

脳波を用いた外来刺激に対する心理状態の評価

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学 公開日: 2015-06-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 陳, 曦 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00008787

静岡大学 博士論文

脳波を用いた外来刺激に対する心理状態の評価

2014年12月

大学院 自然科学系教育部

情報科学専攻

陳 曦

第一章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 心ころとからだ [1]	1
1.1.2 心理的評価の方法 [1,2,3]	1
1.1.3 心理的評価の応用	2
1.2 研究目的	2
参考文献	4
第二章 生理学的基礎	5
2.1 神経系 [1,2,3,4]	5
2.1.1 中枢神経系	5
2.1.2 末梢神経系	9
2.2 情動に関する部位及び神経経路 [5,6,7]	10
2.3 脳波	12
2.3.1 神経細胞及び電気伝達 [3,11,12]	12
2.3.2 脳波電位信号の形成及び分類 [1, 11, 13,14]	14
2.4 心臓	15
2.4.1 心臓構造と興奮伝導 [4,13]	15
2.4.2 心臓電気活動記録ー心電図 [4,15]	16
2.5 聴覚の生理学	17
2.5.1 音とその属性 [16]	17
2.5.2 聴覚器官及びその働き [3,13,16,17]	18
2.5.3 聴覚神経経路 [3,17]	20
参考文献	22
第三章 心理状態の評価法	23
3.1 前頭葉の非対称性と感情モデルーAAE モデル	23
3.1.1 AAE モデルとその心理学上の応用	23
(A) AAE モデルの提出	23
(B) 心理学上の応用[15,16,17]	24
3.1.2 AAE モデルに関する議論	24
3.1.3 解析方法	25
3.2 快適度モデル	26
3.2.1 ゆらぎの定義及び特徴[24]	26
3.2.2 脳波 1/f ゆらぎと快適感	28
3.2.3 心理状態評価の二次元モデルーCircumplex model of affect [31]	29
3.2.4 解析方法 [29]	30
3.3 心拍変動 [33]	32

3.3.1 R-R 間隔	32
3.3.2 心拍変動の解析方法	33
3.4 ウェーブレット解析[33]	34
参考文献	36
第四章 実験	39
4.1 被験者	39
4.2 刺激	39
4.3 主観的評価尺度	39
4.3.1 SD (Semantic Differential) 法による音刺激のイメージ評価	39
4.3.2 POMS (Profile of Mood State) による気分評価	40
4.4 測定	41
4.4.1 電極の配置・装着・導出方法	41
(A) 脳波電極配置[5]	41
(B) 眼球運動及び心電図記録用の電極	43
(C) 電極の装着	43
(D) 脳波導出法[6]	43
4.4.2 測定システム	44
4.5 測定手順	45
参考文献	47
第五章 結果	48
5.1 音刺激の主観的評価	48
5.2 快適度評価モデル	51
5.2.1 二種類の音刺激に対する結果の比較	51
5.2.2 個人差に影響を及ぼす可能な要因	57
(A) 怖い音刺激	59
(B) 心地よい音刺激	66
(C) 興奮度	72
5.2.3 音聴取後の心理状態	74
5.3 AAE モデルと快適度評価モデルによる評価	76
5.3.1 AAE モデルによる評価の例	76
5.3.2 AAE モデルと快適度評価モデルの関係	77
(A) 怖い音刺激	77
(B) 心地よい音刺激	80
(C) 心理状態の三次元評価	82
(D) 個人差	83
5.4 ウェーブレット解析による左右前頭葉活動の比較	89

第六章 考察	97
6.1 快適度モデル有効性の検討	97
6.2 AAE モデルと快適度モデルを併用した結果	99
6.3 限界	100
6.3.1 音刺激の強さと適切さについて	100
6.3.2 雑音について	101
6.3.3 ベースライン時のコントロールについて	101
参考文献	102
第七章 結論・今後の課題	103
7.1 結論	103
7.2 今後の課題	103
付録	104
1. 独立成分分析による脳波のノイズの除去法[1]	105
2. 統計解析[2,3]	107
3. 心電図の誘導法[4]	109
4. 画像刺激	111
5. 結果の補充	121
参考文献	125
図目次	126
表目次	130
謝辞	131

第一章 序論

1.1 研究背景

1.1.1 ころとからだ [1]

人間の心理や意識的なものを調べるために、私達の内なる心の表れである行動を観察することは伝統的な心理学研究によって行われていた。しかしながら、自然科学の客観性が今まで以上に求められている現状がある一方で、精神活動は最も観察し難いことは周知のことである。したがって、心理学的な事象におけるプロセスに対する客観的な測定・評価手法には、それなりの解釈が必要となってくる。

ころとからだの関係、すなわち、心理的機能と生理的機能の関係は緊密で、古くから今に至っても興味の深い課題の一つであり、昔から多くの研究者によって調べられ、論じられてきた。特に近年では脳を中心として多くの研究が行われてきた。そのうちの一部の研究者は、「私達の意識は脳から離れても活動できる」、と主張するが、他の研究者達は、「全てのころの働きは脳の活動を基にしていると考えている」、と考えている。つまり、全ての精神的活動はある物質的な基礎に依存していると考えられている。心理学は生理学との境界領域で、新たな研究分野が形成されてきたことで、古い学問に新しい見方と研究手段が与えられている。ヒト以外の動物を主な研究対象として、脳損傷、或は脳刺激を与えたり、薬物を投与したりしたときの行動を観察し、心理学的な事象のメカニズムを生理学的視点から明らかにしようとする生理心理学が発展してきた。脳内の各部位は心理学的働きにどのような関連があるのか、など客観的な解釈が与えられるようになってきている。

一方、生理心理学と異なる視野の点で、ころとからだ間の相互作用の研究を目的とする精神心理学という分野がある。それから精神疾患の診断と評価または治療も目的とされている。精神心理学の研究手法では、行動・情動を操作し、異なる心理学的条件に対する生理的变化を測り、反応パターンによって生体内に起こる事象を推定する。ただし、それらのパターンは単一ではなく、様々な要因によって影響を受けると想定されている。情動反応の一つの例で、恐怖情動を引き起こす場面に対して、一般的に、心拍数、血圧が上がり、場面から逃げようとする回避行動が生じる。しかしながら、ホラー映画が好きなヒト達であれば、興奮して心拍数と血圧の増加がみられてみ、怖い場面に接近しようとする行動が起こる可能性が高い。また、情動反応は、主観的体験、過去の経験の記憶も持っているから、より複雑なものになる。

1.1.2 心理的評価の方法 [1,2,3]

生理心理学や精神心理学の研究で用いられている評価方法に関して、目的によって採用される方式もそれぞれ異なるが、情動反応の研究によって提唱されたモデルより、顕著的行動、生理反応、主観体験の三つの側面による評価がよく用いられている。電気電子、コンピュータ技術などの著しい発展で様々な生体信号の測定は可能になってきた。生理学的計測の対象は、主として中枢神経系の活動と末梢神経系の活動に分かれている。中枢神経

系の反応の記録に関しては、その電気活動を記録する背景脳波と誘発脳波があり、末梢神経系の反応に関しては、自律神経系の活動を反映している心電図、血圧、血管運動などの心臓血管系の活動と、呼吸、皮膚温、皮膚電気活動などの他、眼球・瞳孔の運動、骨格筋反応などの測定がある。実際に生体反応を測定するときには、できるかぎり異なる系の複数の反応を測ることが望ましい。また、生理系の活動だけではなく、反応時間、正答率などの課題パフォーマンスなどの行動系の活動と、アンケートなどの主観的尺度をあわせて評価を行うことが求められている。研究の目的によって適切な評価手法が選ばなければならない。

1.1.3 心理的評価の応用

現代社会ではストレスで苦しんでいる人がますます増加し、またストレスによる自律神経失調、気分障害、過労などの心身疾患の患者と、自殺者の人数が増えている。

社会問題となったストレスを軽減するために、癒しを目的とする様々な製品やサービスが市場に出回っている。ただし、これらの製品やサービスが私達の心身にどのような効果をもたらすのかに関してははっきりしているわけではなく、社会からの深い関心がある。その一方では、電気電子などの現代技術の発展と共に様々な工業商品が開発され、私達の生活は大変便利となっている。当然のことであるが、製品の効率、コストを考えると同時に、使用者の使い心地を考慮することが要求されてくる。私達の仕事や生活を安全に、快適に、そして楽しくするために、使用者の特性に適した設計や改善が期待されると共に、それに対する心理的計測・評価も開発者と使用者から望まれている。その場合では、従来のような質問用紙による主観的評価だけではなく、より客観的な指標が求められており、心理学的な客観的評価法の確立と検証が必要となる。

1.2 研究目的

私達は日常生活において聴覚刺激を常に受けている。たとえば、工事現場の雑音、交通音などの環境騒音があり、その音量があまり高ければ、私達は「不快」と感じやすく、ストレスを感じる。一方、川のせせらぎ、鳥のさえずりなどや緩やかな音楽（クラシック音楽）などを聴取したら「快」と感じる場合が多い。後者のような刺激はストレスの軽減効果をもたらすのではないかと考えられている。

本研究の目的は、情動を引き起こす聴覚刺激を用いて、それに対する生理心理的評価を行い、聴覚刺激の心身に対する効果を、できる限り客観的に評価することである。

生理心理学的評価手段に関しては、本研究では脳波に注目した。脳波は中枢神経系の電氣的活動を反映し、それによって人間の心理状態を推測可能なほぼ唯一の指標である。前頭葉のアルファ波は人間の覚醒感、さらに心理状態に最も関係している脳波と考えられる[4]。吉田倫幸は前頭葉のアルファ波ゆらぎの特性を用いて快－不快、興奮－鎮静の二軸を用いた快適度評価法という心理的評価法を開発した。この方法は、不快臭、映像、低周波

騒音、フェイシャルマッサージ、テレビ視聴などで検証されている。しかし、この方法に対する他の研究者による報告が少なく、本方法の信頼性の検証が期待がされている[2]。

本研究ではこの快適度評価法と世界中で広く認められている前頭葉の非対称性モデル (Anterior Asymmetry and Emotion model, AAE model) [5]をあわせて検討することで、快適度評価法の信頼性の検証、及び心理状態の多角的評価を試行する。

参考文献

- [1] 藤澤清, 柿木昇治, 山崎勝男 (編集), 宮田洋 (監修) : 新生理心理学, 第一巻, 生理心理学の基礎, 北大路書房, 1998
- [2] 椎塚 久雄 (編) : 感性工学 ハンドブックー感性をきわめる七つ道具ー, 朝倉書店, 2013
- [3] 都甲 潔, 坂口 光一 (編著) : 感性の科学 心理と技術の融合, 朝倉書店, 2006
- [4] 吉田 倫幸. 脳波の周期リズムによる快適度評価モデル[An evaluation model of KAITEKI by using frequency-rhythm of brain wave]. Japanese Psychological Review, 45(1), 38-56, 2002
- [5] Wheeler, R. E., Davidson, R. J., & Tomarken, A. (1993). Frontal brain asymmetry and emotional reactivity: A biological substrate of affective style, Psychophysiology, 30, 82-89, 1993

第二章 生理学的基礎

2.1 神経系 [1,2,3,4]

神経系は中枢神経系と末梢神経系の两部分に分けられている。中枢神経系は全身の制御をしている。末梢神経系は中枢神経からの指令を末梢組織まで伝え、身体からの感覚情報を中枢神経に伝える役割をしている。中枢神経系は脳と脊髄からなり、末梢神経系は解剖的に分類すると、脳から発する 12 対の脳神経と脊髄から発する 31 対の脊髄神経とがある。機能で分類すると、体性神経と自律神経の二種類に分かれる。体性神経は、感覚神経と運動神経とがあり、意識下の運動（随意運動）、反射的な運動（不随意運動）と感覚を司っている。一方、自律神経には交感神経と副交感神経の二種類があり、基本的にはお互いに拮抗して働いている。

2.1.1 中枢神経系

脳

脳は運動や感覚の中枢であり、特に大脳皮質は感情、思考、高次的な認知活動などを司っている。真上から脳をみると、大脳縦裂という一つの深い溝（大脳表面でしわの凸部のことを回、凹部のことを溝という）によって左右の二つの半球に分かれている。大脳縦裂の奥に脳梁という線維の束があり、左右の半球をつないでいる。大脳の表面に、中心溝、外側溝、および頭頂後溝があり、それらを境に大脳半球はさらに前頭葉、頭頂葉、側頭葉、後頭葉の四つの葉に分かれる。この四つはそれぞれ異なる機能に関わっていると考えられている。前頭葉は思考、判断、感情、意思決定など高次知的処理、及び運動に関する役割を果たしている。頭頂葉には体性感覚野があり、皮膚感覚や深部感覚などの知覚に関わっている。側頭葉には聴覚情報を扱う聴覚野が、後頭葉には視覚情報を扱う視覚野がそれぞれ存在している。大脳縦裂にしたがって脳を縦に切断すると、上部から大脳、間脳、脳幹、そして大脳の背側部にある小脳など脳の主要な部位がみる。

大脳

大脳は表面を覆う厚さ 3 mm ほどの大脳皮質という灰白質と、その内部にある髄質という白質からなり、脳全体の約 85%を占めている。大脳皮質は約 140 億個もの神経細胞の細胞体の集まりであり、白質は神経線維の集まりである。大脳皮質は、系統発生的に原皮質、古皮質、新皮質に分類されている。新皮質は大脳表面に平行に重なる 6 層の細胞層で構成されている。神経細胞は形態上、顆粒細胞、錐体細胞、星状細胞などに分類されているが、各層を構成する細胞の種類が異なっている。外側から、分子層、外顆粒層、外錐体細胞層、内顆粒層、内錐体細胞層、多形細胞層である。

ブロードマンは大脳皮質を機能別に分類して脳の地図を作った。各々の領野はそれぞれ異なる機能を担っている。このことを機能の局在という。また、機能別に大きく分けると、ブロードマン 4 野と 6 野の運動野、1~3 野の感覚野、そしてそれ以外の連合野の三種

類の領域がある。視覚野と聴覚野は広義には感覚野の一部とされている。ワイルダー・ペンフィールドによって、運動野と感覚野の領域は手足、顔などのからだの各部位に対応している関係（体部位局在性）が図示された（図 2.1.4）。連合野はヒトで特異的に発達した部位である。大脳皮質のかなり広い面積を占めている連合野は、前頭連合野、側頭連合野、そして頭頂連合野に分かれ、高次の知的活動に関する役割を果たしている。その中で、ヒトでよく発達して他の動物とはっきり区別されるのは、前頭連合野であり、目標を設定し、それを達成するために適切な行動を引き起こす働きをしている。一部には、性格や社会性、感情表出などに関わる領域もある。頭頂連合野は空間的、時間的な認知、判断など、いわゆる知能に、また体の左右を正確に判断することなどの機能に関わっていると考えられる。側頭連合野は物事や人間の顔を認識するなどの認知機能に関係している。

ブロードマンの 41、42 野は一次聴覚野であり、22 野は言語の認知を行う二次聴覚野である。22 野は Wernicke の中枢とも呼ばれ、聞こえてくる言語の意味の認知や理解、音の高さや持続時間の識別などの働きをしている。ここに損傷が発生すると聴覚由来の失語症になる（感覚性失語症）。言語に関するもう一つの中枢は、前頭葉にある 44 野の Broca の中枢である。ここは言葉の発声の機能に関係しており、損傷が起きると言葉の意味は理解できるが言語を発することができない運動性失語症になる。

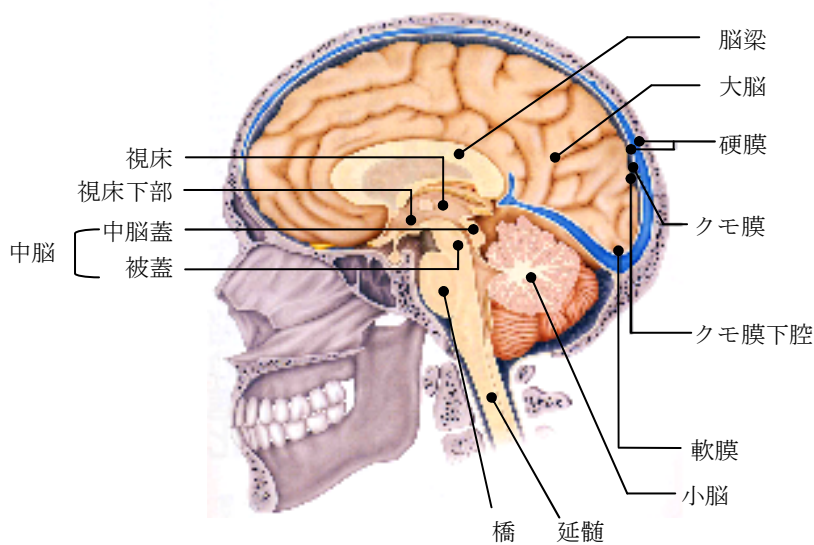


図 2.1.1 断面でみる脳の構造 ([3] p.15 より転載)

間脳

間脳には、視床上部、視床、視床下部などの部位があり、そのうちの最も大きいものは視床である。視床は、嗅覚以外の感覚情報が集まる重要な中継である。また、視床には多くの神経核の集まりがあり、それらの神経核はそれぞれ感覚野や運動野などの連合野を始

めとして、大脳皮質の広い範囲に投射する。視床下部は、自律神経系の活動の制御によって、体内環境を調整し、生体環境の均衡を維持する役割を果たしていると考えられている。視床上部には睡眠や日内リズムに関わる松果体がある。

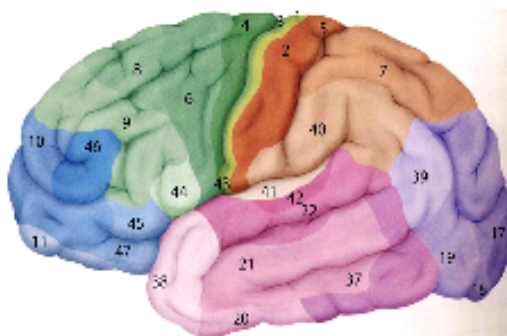


図 2.1.2 大脳皮質の機能局在 ([3] p.33 より転載)

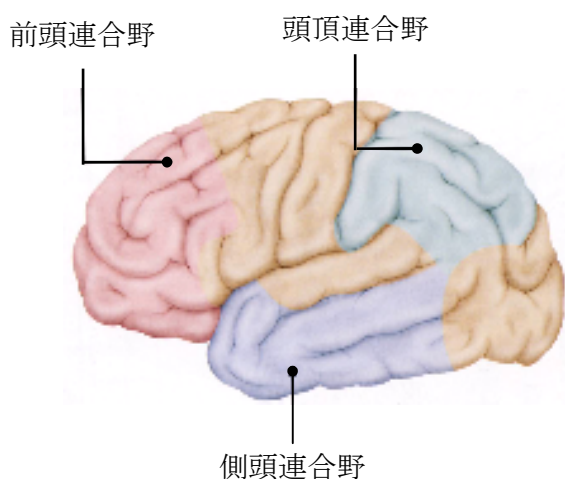


図 2.1.3 三つの連合野 ([3] p.35 より転載)

脳幹

脳幹は中脳、橋、延髄の三つの部位を含み、心臓を中心とした血液循環、血圧、呼吸、嚥下など基本的な生命活動の中枢である。また、脳幹には、末梢から中枢へ情報を伝える上行性線維と、中枢から末梢へ情報を伝える下行性線維の神経伝導路がある。その他、脳幹には細胞体と神経線維が散在している網様体という領域があり、睡眠リズムを調整している。また、網様体には、ノルアドレナリン、セロトニン、ヒスタミンなどモノアミン類の神経伝達物質作動性ニューロン群があり、大脳皮質または脊髄に至るまで広い範囲に投射し、脳の活動や意識-覚醒レベルを制御している。

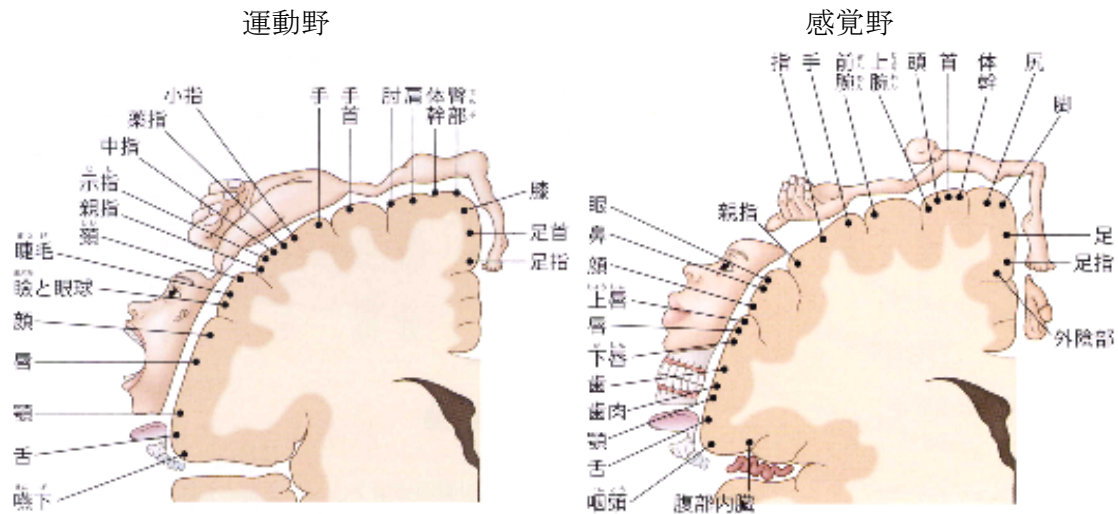


図 2.1.4 運動野及び感覚野の体部位局在 ([3] p.34 より転載)

小脳

小脳は脳幹の背側にあり、左右に張り出した小脳半球と中央の虫部から構成されている。脳幹の中脳、橋、延髄とそれぞれ小脳脚で連絡している。小脳は、発生学的に原小脳、古小脳、新小脳に分けられている。原小脳は最も古い部位であり、内耳にある前庭器から頭部の位置と傾きに関する情報の入力を受け、眼球と頭部の運動を調整、体の平衡を維持する。この部位は前庭小脳とも呼ばれている。古小脳は脊髄小脳とも呼ばれ、脊髄、筋、腱、関節から体の深部感覚情報を受け取り、体幹や四肢の筋肉の緊張を調整し、姿勢の維持をしている。小脳にある最も新しい部位である新小脳は、橋を介し前頭葉や頭頂葉など運動に関わる領域から入力を受け、情報を統合してから視床を介して大脳皮質の運動野に再び送る。これらのループ回路によって、大脳皮質に情報をフィードバックし、実際の動き方を調整している。

脊髄

脊髄は脊柱を構成する椎骨と椎弓に囲まれている脊柱管の中にある長さ 40～45 cm で直径 1 cm の円柱形の索状の構造物である。椎骨は頸骨、胸骨、腰骨、仙骨及び尾骨を含んでいるが、脊髄は第二腰髄までである。脊髄には内側にある灰白質と外側にある白質がある。そのうちの灰白質は機能的に前角、後角、側角に分かれる。前角に運動ニューロン、後角に感覚ニューロン、側角に自律神経ニューロンがそれぞれ多く分布している。白質には神経線維が存在している。神経線維は、下方から脳へ情報を伝える感覚性の上行性線維と、脳から下方へ情報を伝える運動性の下行性線維がある。また、脊髄は高さによって灰白質と白質の分布が異なっている。たとえば、胸髄には胸部と腹部の内臓をコントロールしている自律神経ニューロンが多く分布しているため、側角が発達している。腰髄は下肢の動

きをコントロールしているため、灰白質の分布が他の部分より多い。

2.1.2 末梢神経系

脳神経と脊髄神経

12 対の脳神経は頭蓋底面の孔によって外と連絡し、周辺の頭頸部に多く分布している。脳神経には、(I) 嗅神経、(II) 視神経、(III) 動眼神経、(IV) 滑車神経、(V) 三叉神経、(VI) 外転神経、(VII) 顔面神経、(VIII) 内耳神経、(IX) 舌咽神経、(X) 迷走神経、(XI) 副神経、(XII) 舌下神経、がある。そのうちの (I) 嗅神経、(II) 視神経、(VIII) 内耳神経は嗅覚、視覚、聴覚、平衡覚という感覚の情報を中枢に伝える。また、(III) 動眼神経、(IV) 滑車神経、(VI) 外転神経、(XII) 舌下神経などの体性運動神経は、中枢からの命令を末梢組織に送り、眼球と顔面の筋肉の運動を司っている。

脊髄神経は脊髄から発する神経線維のことを指している。脊髄の表面に前外側溝と後外側溝と呼ばれる浅い溝がある。前根糸と後根糸はそれぞれ前外側溝と後外側溝から出ている神経繊維の束の複数の集まりであり、後根糸は脊髄神経節をつくり、その後、前根糸と合流し一本の脊髄神経となり、椎間孔から出入りする。脊髄神経には、頸神経 8 対、胸神経 12 対、腰神経 5 対、仙骨神経 5 対、そして脊髄の後に下行していく神経根にある一対の尾骨神経を含めて計 31 対がある。

自律神経系

自律神経系は交感神経と副交感神経の二系統があり、体内外の環境の変化に応じて、内臓機能を調整し、適応的な反応を引き起こす。これは無意識的な制御過程である。自律神経は、顔面（眼球運動、涙腺など）、呼吸器、循環器、消化器、泌尿器、生殖器などを含めて全身の内臓と血管をコントロールしている。

交感神経は胸髄と腰髄から発し、頸部、胸部、腰部、そして仙骨部それぞれの近くに交感神経節をつくって、上下につながり脊髄の両側に交感神経幹を形成し、その後末梢に分布する。副交感神経は脳幹と仙髄から発し、交感神経のような神経幹はつくらずに内臓に分布する。内臓器は、交感神経と副交感神経の両方の支配（二重支配）を受けている。また、交感神経と副交感神経はお互いに拮抗して作用している。たとえば、恐怖を感じたり強いストレスを受けたりするときに、交感神経は優位になり、ノルアドレナリン、アドレナリンなどのストレスホルモンの分泌が増加し、心拍数や血圧が上昇して身体は活発になる。副交感神経が優位になると交感神経は抑制される。副交感神経から放出されたアセチルコリンの働きによって、心拍数や血圧は減少し、全身はリラックス状態となる。自律神経系はホルモン系と連携し、体内のホメオスタシス（恒常性）のシステムを構築する。

2.2 情動に関する部位及び神経経路 [5,6,7]

情動と感情は同じような言葉であるが、本論文では外界の刺激に対して惹起される喜怒哀楽のような一時的で比較的強い原始的な“感情”を情動と呼び、情動より弱く、刺激の価値判断を伴う“感情”を所謂感情と呼ぶ。行動反応、生理反応、認知反応は基本的に情動に伴って発生する。本節では情動に関わっている脳の主な部位を述べる。

情動に関わっている神経部位は刺激の評価の働きを果たしている大脳辺縁系の扁桃体、行動・からだの反応に関与する視床下部・脳幹、反応の制御をする前頭葉などさまざまある。

大脳辺縁系にある扁桃体は、側頭部に位置する神経核複合体である。扁桃体が情動処理に関わっている証拠は動物を対象としての損傷研究から示されている。不快と快の両方の情動処理の役割を果たしているが、とくに不快の情動により強く関与している。また、扁桃体は大脳皮質あるいは皮質下の経路を経て全モダリティの感覚信号を受けて、感情の質、さらに刺激のもつ意義を評価し、それに応じて反応に関わるさまざまな脳部位（視床下部・脳幹、前頭皮質など）に出力を送り、活動させる役割を果たしている。辺縁系は生得的な情動刺激にも、学習性の情動刺激に対しても活動する。

視床下部は視床の下に位置する小領域である。下方で下垂体、後方は脳幹の中脳部と結合している。視床下部は体温、摂食、ホルモン分泌の調節、飲水、睡眠などを制御している。さらに、呼吸、循環、消化、排尿などに関する自律神経の働きを調節している。これらの本能行動は主な動機づけ行動である。視床下部は動機づけ及び情動行動の表出における重要な統合中枢と考えられる。たとえば、これらの生理的欲求が満たされなかったり、快感（快情動）が得られなかったら、不快感や怒り（不快情動）が引き起こされる。これらのような快情動あるいは不快情動を動因として、接近行動（快情動行動）あるいは回避行動（不快情動行動）のような動機づけ行動を起こす。また視床下部は、扁桃体における感情評価の結果を受け、脳幹への投射を介して多くの行動反応・身体反応を喚起したり、下垂体への投射により内分泌系の反応を引き起こしたりする役割を果たしている。脳幹の各部位は情動におけるさまざまな行動表出および身体反応の喚起に関わることがわかる。このような行動反応に関する体表的な部位は中脳中心灰白皮質である。また、脳幹の吻側延髄腹外側や伴小脳脚核が、情動における自律神経系の反応に関わり、視床下部からの投射を受け、視床下部－脳幹のネットワークとして身体反応の表出に関わっていると考えられている。

前頭葉の腹側の領域である眼窩前頭皮質は情動の評価に関する役割を果たしている。しかし、生得的な刺激の評価や身体反応の表出ではなく、後天的に学習した複雑な刺激の評価に関与し、内側が快、外側が不快に関わっていることが示唆されている。また、眼窩前頭皮質は情動の評価の他には、情動反応の制御にも関与し、情動を適切なレベルに抑える。もう一つ情動に関係する部位は前頭葉の腹内側部に位置する帯状皮質前部である。これは扁桃体などの辺縁系、視床下部・脳幹など多くの部位に結合している。帯状皮質前部は主

観的な情動体験、そして情動反応の抑制に関する働きをしている。また、眼窩前頭皮質及び帯状皮質前部の背側に位置する前頭葉の背外側部は高次的認知活動に関わっていると示唆されている。前頭葉背外側部は前半部の前頭前野と運動に関する後半部に分かれる。また前頭葉背外側部の吻側は頭頂葉や側頭葉、及び扁桃体や海馬などの辺縁系部位からの入力を受け、それらを統合してから運動野に出力を送る。前頭部背外側は、一般的な情動（特に不快情動）を抑制し、理性的功利の判断に関与し、危険状況を認知・予測し、さらに目標の達成（報酬の獲得）に重要な働きを果たす。前頭皮質の腹側が情動的評価に関与することに較べて、背側のほうがよりさまざまな認知処理活動そして感情の制御に関与している可能性がある[8,9,10]。

また、各部位間の投射は単方向ではなく双方向の流れがある。たとえば、脳幹から辺縁系や前頭葉に投射する上行性の投射経路があり、行動・身体反応を引き起こすと共に、その結果をフィードバックし、上位部位の活動が調整されている可能性が考えられる。扁桃体と前頭葉の間にも相互作用があることが示唆されている。扁桃体は無意識的に情動評価をし、すばやい行動・身体を表出するほか、大脳新皮質に感覚の入力を送り、感覚連合野で第一次感覚野から入力された情報の中から情動的に意味があるものを選択的に処理する過程に影響を及ぼす。さらに、感覚連合野で処理されたより詳細、且つ高度な感情情報は扁桃体に再び送られ、大脳基底核という大脳半球の奥にある運動に関わる神経細胞の集まりを通し、自らの意図に従う随意行動の表出がおこる。また感覚連合野から前頭葉にも情報を伝わり、より高次の情動評価が行われ、その結果扁桃体の活動を抑制する。一方、扁桃体は前頭葉に生物学的価値判断に関する情報を送り、前頭葉における意思決定に影響を及ぼすと考えられる。

上述した脳部位のほか、快情動の処理に関与している側座核、嫌悪情動に関与している大脳基底核と島、情動の調整に関与している小脳、さまざまな脳部位は情動処理において重要な役目を果たしている。これらのことから、感情のプロセスは、意識・無意識の過程にもかかわらず、皮質・皮質下のさまざまな部位の相互作用・連携による行動・生理・認知の非常に複雑な反応である。

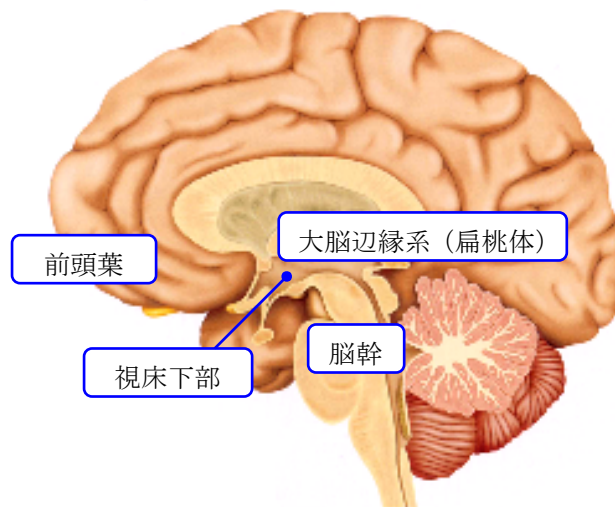


図 2.2.1 情動反応に関する脳部位 ([3] p.125 より転載)

2.3 脳波

2.3.1 神経細胞及び電気伝達 [3,11,12]

脳の全神経細胞数は数百億から一兆、大脳新皮質だけでも百四十億あるといわれている。神経細胞（ニューロン）は脳の構成要素とされ、さまざまな信号を受け取り、信号を次へ伝えるかどうかの判断をし、別の細胞に伝える、という働きをしている。神経細胞の形やサイズは脳部位によってさまざまだが、基本的に樹状突起、細胞体、軸索の三つの要素からなる。形態上では、二種類の異なる突起が細胞体から伸びているのがみられる。一つの枝分かれをした構造は樹状突起といい、ほかの細胞から情報を受け取る役割を果たしている。もう一つの突起のことを軸索という。電気信号は軸索にしたがって伝わる（信号の伝導）。どちらの方向にも情報（電流）を走らせる機能を持っている。また、軸索の末端部分すなわち軸索終末部は、相手方の神経細胞に信号を伝える接合部位をつくる。この接合部位のことをシナプスという。シナプスの構成要素は、信号を出す側の細胞膜（シナプス前膜）、それに対して信号を受け取る相手方の神経細胞膜（シナプス後膜）、及びそれらの間にある隙間（シナプス間隙）の三者である。軸索の終末部位が興奮すると、シナプス前膜からは神経伝達物質と呼ばれる化学物質が放出され、シナプス後膜に伝わって、細胞を発火させ、信号を伝える。電気的なシグナルは化学的なシグナルに変わって、相手方の神経細胞に情報が伝わり、再び電気シグナルになるのである。

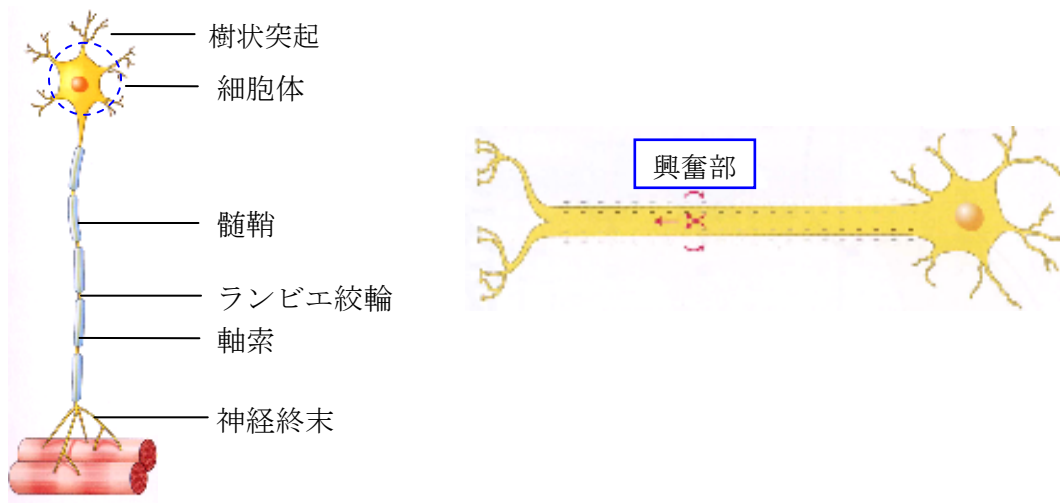


図 2.3.1 ニューロンの構造 (左)、動作電位の伝導 (右) ([3] p.21, 23 より転載)

次に、情報伝達の仕組みを述べる。神経細胞の外部にある液にも内部にある液にも、プラスの電気をもつ陽イオン（ナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオンなど）やマイナスの電気をもつ陰イオン（塩化物イオンなど）が多数含まれている。細胞膜にあるナトリウム-カリウムポンプによってナトリウムイオンは細胞内部から細胞外部に排出され、カリウムイオンは細胞外部から細胞内部に取り込まれる。この働きはエネルギーを消費する能動的なもので間断なく継続している。カリウムイオンに対する細胞膜の透過性が何らかの刺激によって変化すると、カリウムイオンが一斉に細胞外へ出て細胞内電位（膜電位）が負に変化して一定の値になる（分極）。この時の膜電位を静止膜電位という。次にナトリウムイオンに対する透過性が急激に増加してナトリウムイオンが大量に細胞内部に入り込んでくる。その結果、細胞内部は外部に対して正の電位を持つことになるが（脱分極）、この状態は長く続かずやがてナトリウムイオンはポンプによって細胞外へ排出され、再び内部は負電位になる（再分極）。一時的な陽性電位を活動電位といい、この膜電位の変化が移動していくことで情報を伝えている。細胞内部が外部に対して正電位になること、即ち活動電位が発生（脱分極）することを「興奮」という。

この活動電位（電流）が軸索の終末部位までいくと、シナプス前膜から神経伝達物質が放出され、間隙を拡散してシナプス後膜に到達する。神経伝達物質がシナプス後膜にある受容体というタンパク質と接合すると、受容体の形状が変化し、内部のイオン通路が開いて、特定のイオンが細胞膜を通して移動し、膜電位の変化が起きる。神経伝達物質によってシナプス後膜で生じた膜電位変化のことをシナプス後電位と呼ぶ。ある陽イオン（ナトリウム）が細胞内に流入する場合、シナプス後膜は脱分極する。このようなシナプスのことは興奮性シナプスと呼ばれる。シナプス後膜の脱分極化のことを興奮性シナプス後電位（excitatory postsynaptic potential, EPSP）と呼ぶ。陰性イオンが細胞内に流入する場合は、シ

ナプス後膜は過分極する。このようなシナプスのことを抑制性シナプスという。シナプス後膜が過分極する場合、そのシナプス後電位のことを抑制性シナプス後電位 (inhibitory postsynaptic potential, IPSP) と呼ぶ)

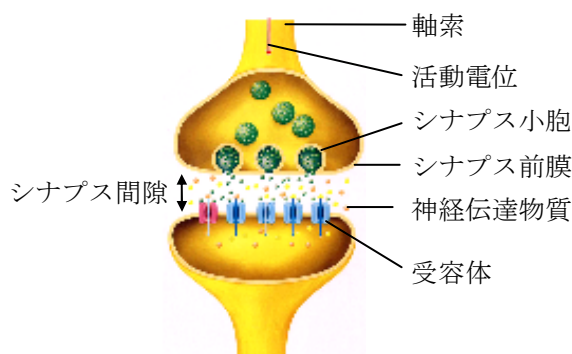


図 2.3.2 シナプスの構造 ([3] p.113 より転載)

2.3.2 脳波電位信号の形成及び分類 [1, 11, 13,14]

ベルガーは 1929 年に脳損傷者の頭に針電極を刺入して脳膜にあてて、人間では初めてとなる大脳表面の律動的電位変動の記録を行って発表した。現在は通常は頭皮上に電極をつけ、神経細胞の活動電位を検出し、記録する。これを脳波または脳電図という。

また、神経細胞の電気活動を記録には、細胞内記録法及び細胞外記録法の二つ方法がある。頭皮に表面電極をつけて記録される脳波は、細胞外記録法による神経電気活動である。しかし、すべての神経細胞の電気活動は頭皮に影響を与えるわけではない。軸索が頭皮に平行に並んでいる錐体細胞の電気活動は頭皮上で検出される電位変化への寄与がほとんどなく、頭皮に垂直に向かって発達した軸索を伸ばしている錐体細胞の電位が主として脳波を作っている。後者のような錐体細胞の表面は多くの興奮性シナプスと接合しており、そこで発生する数多くのシナプス後電位の集積は実際に脳波を形成している。

頭皮上につけた電極によって記録される脳波は、頭皮や頭蓋骨、何層もの膜や髄液などを経て、かなり離れた位置の大脳皮質にある膨大な数の神経細胞 (100 万個にもなるといわれる) が発生する電位変化の積分値であるマクロ的電位変化である。

脳波は意識の水準によって、いくつかパターンに分かれている。まず、注意を集中したり、精神的な活動をしたるときのようなはっきり目覚めた状態にあるとき、ベータ波 (β 波) という振幅が低く速い波があらわれる。 β は 14~30 Hz の範囲にあり、振幅は 50 μ V 以下である。閉眼安静時にあるとき、10 Hz 前後の波を主としているアルファ波 (α 波) があらわれる。 α 波は通常 8~13 Hz の範囲にあり、振幅は 30~60 μ V である。 α 波は感覚刺激を与えると抑制される。暗算をさせるとか、注意を集中させただけでも抑制され、 β 波に移行する。眠気が出てきたときには α 波が減少し、4~7 Hz で振幅は 50 μ V 程度であるシータ波 (θ 波) という鋭波があらわれる。眠りが始まると、14 Hz ほどの紡錘突発波シグマ

波 (σ 波) があらわれる。さらに、深い睡眠になると、0.5~3.5 Hz ほどで振幅の大きい徐波があらわれる。この徐波のことをデルタ波 (δ 波) と呼ぶ。多数の神経細胞の活動電位が同期することによって徐波が形成されると考えられる。薬物麻酔下出る脳波である。徐波睡眠は、脳波の状態によって分けられている二種類の睡眠のうちの一つであり、脳も体も寝ている状態である。もう一つの種類の睡眠状態は眼球が急速運動することからレム (REM: rapid eye movement) 睡眠と呼ばれる。それに対して、徐波睡眠はノンレム (non-REM) 睡眠ともよばれている。

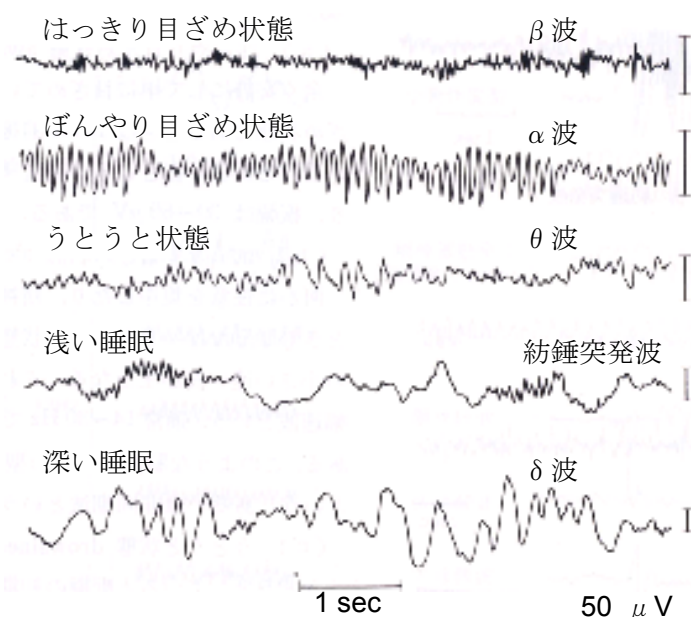


図 2.3.3 脳波の分類 ([13] p.185 より転載)

2.4 心臓

心臓活動は、体の生理的变化をあらわすものだけではなく、その反応は中枢神経からの支配によって制御されており、中枢神経系の活動、即ち心理的变化を反映している。また、心臓の活動は中枢へのフィードバックによって中枢神経系の状態に影響を与える可能もある。したがって、心臓活動は心理学的研究に多く用いられている。

2.4.1 心臓構造と興奮伝導 [4,13]

心臓は心筋線維から構成され、隔壁または膜性の弁膜によって、左右の心房と左右の心室に分かれている。左右の心房はそれぞれ、肺静脈と上下大静脈を受け、左右の心室はそれぞれ、大動脈弁と肺動脈弁をもって大動脈と肺動脈につながっている。また、左心房と左心室の間に二尖弁、右心房と右心室の間に三尖弁がある。

右心房の心筋細胞には、自然に脱分極し、リズムに興奮する洞房結節という細胞群があ

る。ここは内在的ペースメーカーとも呼ばれる。洞房結節の発火によって心房全体が興奮する。その後、興奮は房室結節という結節組織に伝われ、伝導速度が遅い。これを房室結節遅延という。交感神経刺激によって短縮、副交感神経刺激によって延長する。その後の興奮はヒス束-左脚および右脚-プルキンエ線維（ヒス-プルキンエ線維系）の順に、心室へ伝導される。心室における興奮の伝導は以下のような過程である。まず、興奮は中隔の左心室よりの部分から右心室よりの方向へ伝われ、中隔の全体が興奮する。その後、左右両脚に分かれて心尖へ向かって伝導され、心内膜から心外膜へ伝われる。その同時に、心尖から心底に向かって興奮を伝導する。最後に興奮するのは左室心底の後背側部である。

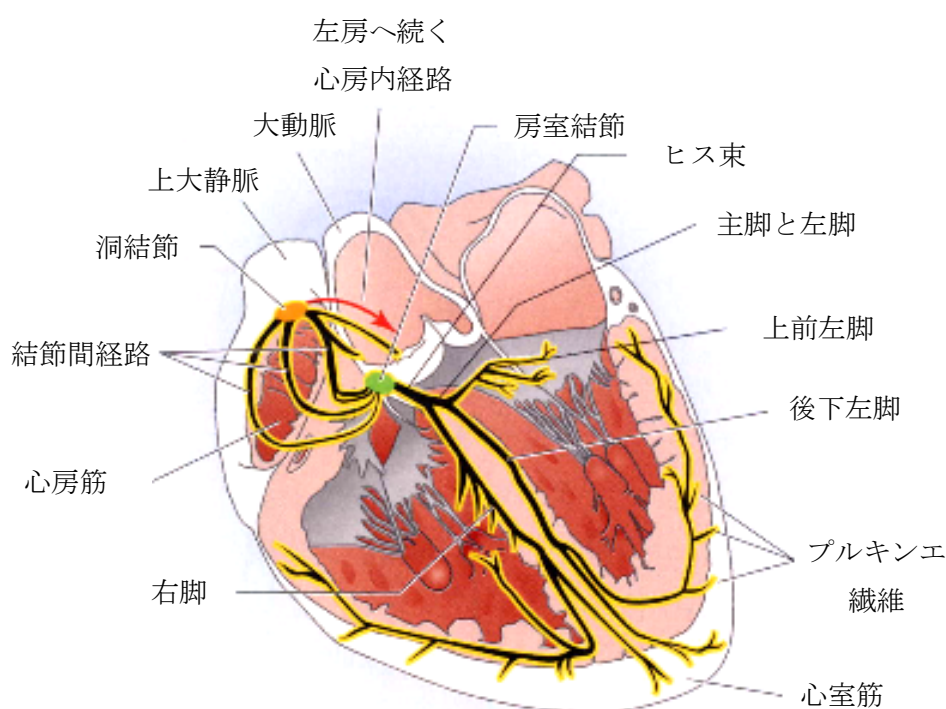


図 2.4.1 心臓の構造 ([15] p.512 より転載 一部改変)

2.4.2 心臓電気活動記録—心電図 [4,15]

心臓の電気活動の記録には、臨床的に心電図が用いられている。心電図は、手足或は胸部に電極を配置し、四肢誘導（標準肢誘導、増高誘導）或は胸部誘導にしたがって記録できる。

いずれの誘導によっても五つの波がある心電図が得られる。それらの五つの波は、P 波、QRS 群、T 波である。P 波は心房の脱分極を反映する。QRS 群は心室の興奮をあらわす。標準肢誘導では、下向きの Q 波がみられる。これは、右心室は左心室の上前の方向にあり、興奮が中隔の左より方向から右より方向に伝導するときに、生体内の伝導は左下後から右上前に向かっていていることに対応している。R 波は興奮が右上から左下へ伝導することに対応

している。S波が下向きになる原因は、左心室の上部の興奮が遅れるためである。T波は両心室の再分極に対応している。心電図のST部は基線にあり、心室の全体的興奮の期間をあらわす。また、PQ部は房室間興奮の伝導時間をあらわし、QT部は心室の収縮時間をあらわす。

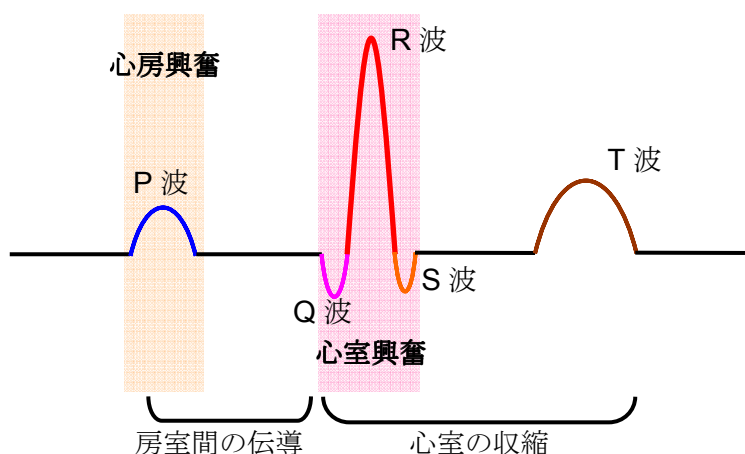


図 2.4.2 心電図の五つの波形

2.5 聴覚の生理学

2.5.1 音とその属性 [16]

音は、高さ（ピッチ）、強さ、音色の三つの属性を持っていると考えられる。音波の振動数が 1000~3000 Hz の範囲では振動数の多い方が高く聞こえるが、これより少ないときは、強さが増えるほど低く聞こえる。16 Hz 以下になれば音として聞こえない。20 kHz の振動は超音波であり、全く感じられない。

音波の最大圧力 (p) と最大速度 (v) との関係は

$$p = zv \quad (\text{式 2.5.1})$$

で与えられる。 z は音響インピーダンスである。音波の強さ (I) は単位面積を通して伝わるパワーの大きさであり、下式のような最大圧力の二乗の関数であらわすことができる。また、上式から、速度の二乗の関数でもある。

$$I = p^2 / 2z = zv^2 / 2 \quad (\text{式 2.5.2})$$

圧力の二乗平均の平方根である RMS (Root Mean Square) 圧力のような物理量は音波のエネルギーに関係しているから、音波の強度の尺度に RMS 圧力を用いることが可能であるが、生理学や精神物理学の目的のためには、尺度の等しい増加分が感覚における等しい増加分にほぼ対応するような、そして用いられる強度のきわめて広い範囲が比較的狭い範囲の数として表示できるような強度尺度を用いる方が便利である。このような尺度は基準強度に対する比を取り、その比の対数を求めることによって得られる。尺度の単位はデシベル (dB) である。

$$\text{デシベル数} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{音の強度}}{\text{基準強度}} \right) \quad (\text{式 2.5.3})$$

音の強度は音圧の二乗の関数であるため、デシベル数を圧力の比の対数によってあらわすことができる。

$$\text{デシベル数} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{音の圧力}^2}{\text{基準圧力}^2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{音の圧力}}{\text{基準圧力}} \right) \quad (\text{式 2.5.4})$$

ここで、一般的に用いられている基準圧力はヒトが普通に検知できる最小音圧の近く、 $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2 \text{ RMS}$ である。これを基準とする音の強度は dB SPL と呼ばれる。いくつかの単純音振動 (正弦波) が同時に発生すると、その合成音が知覚され、楽音と騒音の二種類に大きく分類することができる。楽音は振動数の最も少ない基音と、その整数倍の振動数を持つ倍音からなっている。楽音の音色は部分音の数とそれぞれの強さによって決まり、音波の位相とは関係ない。つまり、音のスペクトルのパターンに依存していると考えられる。

2.5.2 聴覚器官及びその働き [3,13,16,17]

人間の耳は、外耳、中耳、内耳の三つの主な部分から構成されている。そのうちの外耳は三つの部分から成り立つ。それらは耳介と呼ばれる軟骨性の縁、それに含まれる耳甲介と呼ばれる共鳴腔、および鼓膜へと導く外耳道である。外耳の異なる部位による共鳴によって、ある周波数帯域における音圧の利得が起きる。それを調べた結果、外耳道と耳甲介による共鳴で、鼓膜では 2.5 kHz のところで 15-20 dB の音圧利得が起きることがわかった。そのほか、耳甲介だけの共鳴で 5.5 kHz のところで音圧の利得が起きる。これらの主要な音圧利得は相補的に働き、音圧は 2 kHz~7 kHz の帯域で増加し、この周波数帯域で音の吸収効率を増やす。外耳のもう一つの働きは、音源方向の判断である。音源の位置 (上下や前後) である周波数帯域で音圧の増大或は減衰が生じるが、これらの特性は音源定位に重要な根拠を与える。

中耳と外耳との間に鼓膜がある。中耳は鼓膜の奥にあり、鼓室、耳小骨、耳管などから構成されている。音波は外耳道を通して、鼓膜をたたいて振動させる。その振動は鼓室にある三つの耳小骨 (槌骨、砧骨、鐙骨) により卵形窓 (前庭窓) へ伝達される。卵形窓 (前

庭窓) は中耳と内耳との境である。卵形窓に加えられた圧力波は外リンパを通過して、円形窓 (蝸牛窓) へ伝達される。この音波は中耳を通る間に、音圧は 20 倍に増強され (卵形窓の面積は鼓膜の 1/20 である)、実際に音の大きさは 20 dB 前後の増加となり、知覚される音量として四倍に増大される。また、中耳には過大の騒音から内耳を守る機能を果たす鼓膜張筋と鐙骨筋がある。これらの両筋によって、鼓膜の張力が調整されている。鼓膜張筋は鼓膜と槌骨を中耳内に引き、鐙骨筋は鐙骨を前庭窓から引き離す。これらの両筋は強い音振動に対して収縮することで、中耳の伝音系の振動減衰率は大きくなり、内耳の損傷を防いでいる。耳管は中耳と咽頭をつなぐ管である。耳管によって鼓膜の両側の気圧が等しく保たれている。

内耳を構成するのは蝸牛である。蝸牛は長さ 3.5 cm の骨でできた管である。内部には管状に伸びた蝸牛管がある。蝸牛は蝸牛管によって、蝸牛管内部の内リンパを含む中央階、そして両側の外リンパを含む前庭階及び鼓室階の三つに分かれている。前庭階と鼓室階は蝸牛の頂端にある蝸牛孔を介してお互いにつながっている。卵形窓 (前庭窓) の振動は前庭階を通過して蝸牛孔に至り、鼓室階へ伝達されてから円形窓 (蝸牛窓) に到達しエネルギーが消失する。圧力波は蝸牛を通る間に中央階の床部である基底膜を振動させる。基底膜の上にコルチのらせん器官と呼ばれている柱状上皮の細長いシートが乗っている (図 2.5.2)。内有毛細胞、外有毛細胞、そして有毛細胞を支えている柱細胞、ヘンゼン細胞から構成されている。有毛細胞の不動毛は頭上の蓋膜に埋め込まれている。音に反応して基底膜が振動すると蓋膜に対して横ずれが生じるので、有毛細胞が前後に屈曲する。これにより、有毛細胞に周期的な脱分極と過分極が生じ、グルタミン酸という神経伝達物質が周期的に放出される。有毛細胞は蝸牛軸のらせん神経結節で一次聴覚求心線維とシナプス結合している。聴覚求心線維は自発的に発火しているが、音に反応してその発火頻度が増加する。

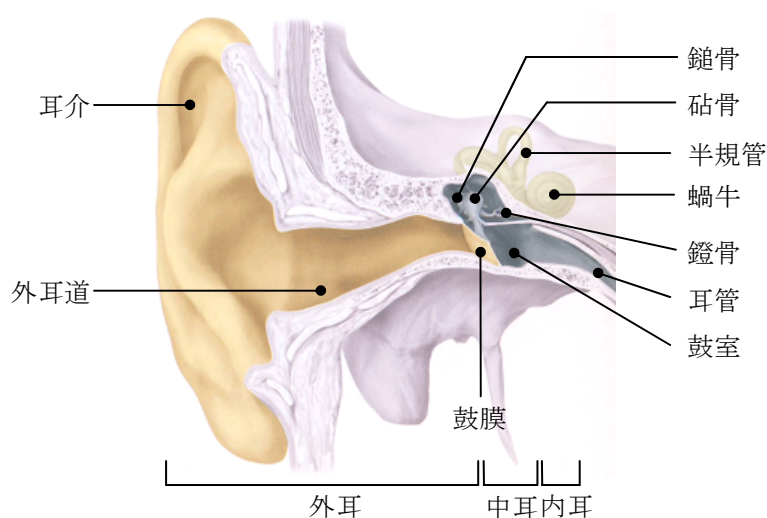


図 2.5.1 聴覚器官—耳の構造 ([18] p.140 より転載)

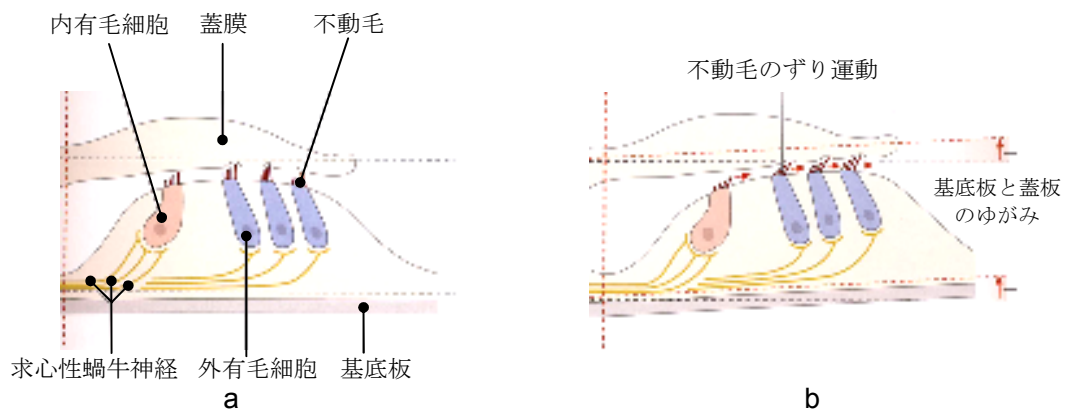


図 2.5.2 コルチ器 静止時 (a) 進行波による振動 (b) ([18] p.151 より転載)

2.5.3 聴覚神経経路 [3,17]

内耳の有毛細胞からの入力を受け、発火の頻度が変化する聴覚求心線維は前庭蝸牛 (VIII) 神経を通して投射し、さらに分岐して橋下部にある腹側及び背側蝸牛核にシナプス結合している。腹側蝸牛核は両側の上オリーブ複合核そして対側の下丘に投射する。上オリーブ複合核は両耳からの入力を比較し、音源がどこにあるかを計算する。上オリーブ複合核はさらに、外側毛帯核に投射を与える。背側蝸牛核は対側の外側毛帯核に直接投射する。外側毛帯は中脳蓋の下丘に投射し、そこから視床の内側膝上体に投射する。内側膝状体は聴放線を経由し、一次聴覚皮質に出力を送る。最大の聴覚経路は対側性であるが、外側毛帯核間の相互結合 (プロブスト交連)、そして下丘間の相互結合により、両耳からの入力の強い相互作用が確保されている。また、内側膝状体と下丘の両方に軸索を送り返し、次に下丘は上オリーブ核と蝸牛核に投射してから、上オリーブ核はらせん器官へ遠心繊維を送ることによって、蝸牛の有毛細胞を調整する。上述した内耳にある蝸牛管では音の高低の識別・感知をし、特定の周波数に対応して一次聴覚野へ投射をする。前部は低音、後部は高音に対応している。

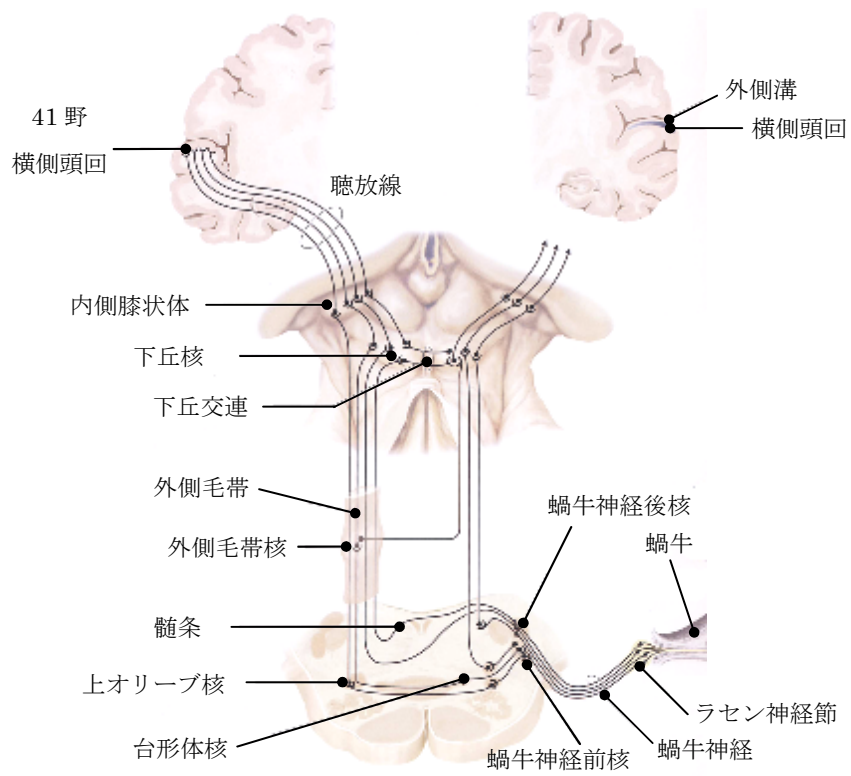


図 2.5.3 聴覚神経経路 ([18] p.366 より転載)

参考文献

- [1] 中村嘉男, 酒田英夫: 脳の科学 I, 朝倉書店, 1983
- [2] 藤澤清, 柿木昇治, 山崎勝男 (編集), 宮田洋 (監修): 新生理心理学, 第一巻, 生理心理学の基礎, 北大路書房, 1998
- [3] 坂井建雄, 久光正 (監修): ぜんぶわかる 脳の事典, 成美堂出版, 2011
- [4] 真島英信 (著), 松村幹郎 (改訂): 生理学 Minor textbook (改訂4版), 金芳堂, 1991
- [5] 村上郁也: イラストレクチャー認知神経科学, 株式会社オーム社, 2010
- [6] 小野武年, 脳と情動—ニューロンから行動まで—, 朝倉書店, 2012
- [7] 高田明和, 感情の生理学 “こころ” をつくる仕組み, 日経サイエンス社, 1996
- [8] Davidson, R.J. (2004). What does the prefrontal cortex “do” in affect: perspectives on frontal EEG asymmetry research. *Biological Psychology*, 67, 219-233.
- [9] Amodio, D.M., & Frith, C.D. (2006). Meeting of minds; the medial frontal cortex and social cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 268-277.
- [10] Miller E.K., & Cohen, J.D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu. Rev. Neurosci.*, 24, 167-202.
- [11] 山内兄人: 脳の人間科学, コロナ社, 2003
- [12] 道又爾, 岡田隆: 認知神経科学, 放送大学教育振興会, 2012
- [13] 真島英信: 生理学 (改訂第18版), 文光堂, 1986
- [14] 末永和栄, 岡田保紀: 最新脳波標準テキスト, メディカルシステム研修所, 2013
- [15] Boron, W.F., & Boulpaep, E.L. (著), 泉井亮 (総監訳): カラー版 ボロン ブールペープ 生理学, 西村書店, 2011
- [16] J.O.Pickles (著), 谷口郁雄 (監訳), 堀川順生, 矢島幸雄 (共訳): 聴覚生理学, 有限会社 二瓶社, 1995
- [17] A.Longstaff (著), 桐野豊, 川原茂敬, 渡辺恵, 松尾亮太 (訳): 神経科学キーノート, シュプリンガー・フェアラーク東京, 2003
- [18] 坂井健雄, 河田光博 (監訳): プロメテウス 解剖学アトラス 頭部/神経解剖, 医学書院, 2009

第三章 心理状態の評価法

3.1 前頭葉の非対称性と感情モデル—AAE モデル

3.1.1 AAE モデルとその心理学上の応用

(A) AAE モデルの提出

Anterior Asymmetry and Emotion model (AAE モデル)は Davidson によって提案され、右前頭葉と左前頭葉の活動の間の差が人間の行動に伴う感情と関係するとしている。それは、左右の前頭葉は感情処理においてそれぞれ異なる働きを果たしているとし唆している。左前頭葉の活動はポジティブな感情と接近行動、右前頭葉の活動はネガティブな感情と回避行動に関与している。また、左前頭葉は感情の調節、ネガティブ感情を回復する働きをしていると考えられている[1-10]。

安静時の左右前頭葉の非対称性（前頭葉の左右側の活動の差）は性格・気質・素質の指標をあらわし、感情タイプのバイアスを示すと考えられている。具体的にいえば、安静時に左前頭葉の活動が右側より活発なヒトは外来刺激に対して適応的な感情反応を引き起こし、またポジティブな刺激に対してより顕著な接近行動或はポジティブな感情をあらわすと共に、感情の回復により高い柔軟性を示す[9,10]。一方、安静時に右前頭葉の活動が左側より活発なヒトの場合はネガティブな刺激に対してより顕著な反応をあらわすが、外来刺激に対して適応的な感情反応をあまり示さない。安静時の前頭葉の非対称性を用いて感情刺激（ポジティブ或はネガティブ）に対する反応の傾向を予測できるのではないかと、という仮説を「Dispositional model」と呼ぶ。そしてこの場合の前安静時の前頭葉の非対称性の測定を「Trait measures（気質的測定）」と呼ぶ。しかしながら、安静時の前頭葉の非対称性パターンはいつでも安定しているようなものではなく、さまざまな要因によって変動している。たとえば、測定時間（午前か午後）、季節、ホルモンのレベル、測定をする期間の被験者の気分状態によって影響されている[11]。したがって、信頼できる活動のパターンを得るためにはある程度の時間的間隔において何回かの測定を行わなければならない。また、Stemmler らの論文[12]より、安静時の前頭葉パターンはヒトの気質・性格・素質との間の関連性がみられなかった研究が報告され、気質などと関係づけている状況だけに対する前頭葉のパターンはヒトの気質の程度と一致したことが報告された。

上述したような議論がある「Dispositional model」に対して、Coan ら[13]によって、「Capability model」が提案された。彼らは、ヒトの気質またはある感情刺激に対する反応の傾向や程度を予測する場合（たとえば、恐怖の刺激に対してヒトはどのぐらいの回避的行動を引き起こすのか）、同じ刺激あるいは類似の感情質を持っている刺激に対する前頭葉の活動パターンを用いる方が、安静時の前頭葉の活動パターンを用いる場合に較べて、より正確な結果（反応の予測）を得た。このような感情刺激に対する前頭葉の非対称性パターンの測定のことを State measures（状态的測定）と呼ぶ。また、Goodman [14]ストレス負荷

をかけた場合の、感情の調節能力と、trait measures そして state measures との関係と比較した。その結果、十分なストレス負荷（必要な条件である）がある場合では、trait measure に較べて、負荷中の state measures のほうが感情の調節反応の傾向をより強く表していた。この結果も「Capability model」の主張を支持していた。Trait measures に対して、state measures のほうが人間-刺激（環境状況）との相互作用をより考慮していると考えられる。刺激に対する心理的な反応の評価を行う場合、二つの測定量ともに考慮する必要があるのではないかと考える。

(B) 心理学上の応用[15,16,17]

前頭葉の非対称性は Major Depressive disorder(MDD) (大抑うつ病性障害) の診断指標とされている。今までの研究によれば、抑うつ患者は外界刺激があってもなくても左前頭葉活動の抑制と右前頭葉活動の活発がみられる（ポジティブ感情或は接近行動が抑制される）。この特徴によって、前頭葉の非対称性を用いて抑うつ患者と健常者との区別ができ、そしてうつ病の治療介入の効果を上げることができると考えられる。たとえば、12 週間の抗うつ治療を受けた患者の左前頭葉の活動は治療を受ける前の状態に較べてより高くなっている結果が示された。また、不安症の患者は右前頭葉が左側より活性化していることが示されている。さらに、認知的行動治療を受けた前後を較べると、治療を受けた後は治療前より左前頭葉が活性化することがわかった。これは、社会的不安症が軽減したことを示している。一方、健常者に較べて、ADHD の患者は左前頭葉の活動がより活発していることも報告されている。

前頭葉の非対称性は感情障害を診断することだけではなく、感情の制御をすることで神経経路におけるフィードバックが働いて抑うつ症状に影響を与えることが示唆されている。つまり、それは左前頭葉の活動を増加することによって抑うつ症状を軽減することが可能であることを意味している。また、抑うつ症状の軽減と共に、思考の柔軟性が増強され、未来に対してポジティブな見方をすることが誘発されることがわかった。

3.1.2 AAE モデルに関する議論

AAE モデルが提出されてから今まで一つの絶えず議論されている課題は、左右前頭葉の非対称性は感情の質（ポジティブ或はネガティブ）か、行動の方向（接近行動或は回避行動）のどちらに関係しているのか、ということである。一般的な場合はネガティブな感情状態と回避行動、ポジティブな感情状態と接近行動に関連していると考えられているが、実際に感情は非常に複雑なものであり、肯定的な成分と否定的な成分の両方が同時に含まれている場合が少なくはないと考えられる。たとえば、怒りという感情状態は一般的にネガティブな感情と思われているが、実際に怒りを感じたときに勇気が湧き、現状を越えてある目標を達成するために接近的行動を起す、などという肯定的な成分を示すことがあるわけである。また、ポジティブな感情とされるリラックスまたは沈静の場合では、環境

や現状に満足し、接近的な行動をもたらさず少なくとも相対的退却な気分が生じてしまう可能性があると考えられる[18]。左右前頭葉の非対称性は感情の質または行動の方向のどちらに対応しているかを検討するときに、怒りは一つの適切な感情だと認められている。そこで、怒りを感じたときの左右前頭葉の非対称性を調べた結果、右前頭葉の活動に較べて左前頭葉の活動のほうがより活発になったことがわかった[19, 20]。したがって、左右前頭葉の活動パターンは感情状態の質（ポジティブ或はネガティブ）より行動の方向を反映しているのではないかと考えられた。これは、Motivational Direction Model（動機づけの方向モデル）といわれており、左前頭葉の活動は接近的行動、右前頭葉の活動は回避的行動に関係しているのを示す。このモデルは多くの研究結果によって認められるようになっているが[21, 22]、まだ議論が残っている状態である。

もう一つ報告されているのは行動の抑制システム（Behavioral Inhibition System, BIS）と行動の活性化システム（Behavioral Activation System, BAS）である[23]。BAS と BIS は動機づけた行動をコントロールしている二つのシステムである。BAS は接近行動を媒介し、また報酬や安全の信号を送る刺激によって活性化させられ、報酬の取得或は罰からの逃避（i.e., 安全に到達する）のための行動をコントロールする。一方で、BIS はお互い両立しない目標の間に矛盾が生じることによって活性化させられる。BIS は進行中の目標指向の行動を中断、或は抑制し、行動の選択に関する判断を再び行い、主観的に危険が少ない選択を達するために矛盾を解決する。このモデルと動機づけの方向モデルの概念との間にある程度の類似性がある、異なっているところもある。それは、行動の方向を問わず誘因（報酬或は安全）で動機づけた(incentive motivated)目標指向の行動（BAS）と、矛盾した目標によって誘導した行動の中断、或は抑制の行動（BIS）の間の区別である。BAS－BIS と前頭葉の非対称性との関連は、Sutton と Davidson によって示唆されている。BAS は左前頭葉の活動に、BIS は右前頭葉の活動に関与していることが示された。これは前頭葉非対称性の BAS－BIS モデルという。このモデルによって、左前頭葉の活発化は右前頭葉の活発化に較べて、より適応的反応（よい刺激に接近、悪い刺激を回避）をするという柔軟性が優位であることに関係していると解釈できるのではないだろうか。

ある外来刺激に対して、左前頭葉の活発化は接近行動を表すが必ずしもポジティブな感情に関係しているわけではなく、また右前頭葉の活発化は必ずしもネガティブな感情に関係しているわけではない。したがって、感情状態の客観的評価を行うとき、前頭葉の非対称性パターンを用いる他に感情の質をあらゆる指標を同時に考慮したほうがより信頼性の高い評価結果を得られると考える。

3.1.3 解析方法

脳波チャンネル F3（左側）と F4（右側）（場所は背外側前頭皮質の領域で、ブロードマンの 46 野付近である）のアルファ波の活動の差を調べる。まず、F3 と F4 の両電極において 1 KHz でサンプリング・記録された脳波を 200 Hz でダウンサンプリングし、その信号を

5sec ずつ高速フーリエ変換 (NFFT=1024 ; 周波数分解能 : $ds_fs/NFFT = 200/1024$ (Hz)) し、パワースペクトル ($\mu V^2/Hz$) を求める。また、目視によって眼球電位は $\pm 300 \mu V$ 、脳波は $\pm 100 \mu V$ の範囲を越えた場合、その辺りのデータを使用しないようにした。その後、アルファ波帯域 (8~13Hz) のパワーを求めてその値を対数値に直し標準化してから、右側のアルファ波パワーから左側のアルファ波パワーを引いた結果を前頭葉のアルファ波左右差とした[9]。

$$Asy = \ln(F4 \ \alpha - power) - \ln(F3 \ \alpha - power) \quad (\text{式 3.1.1})$$

アルファ波パワーはその部位の脳活動との間に逆相関があり、アルファ波パワーが大きいほど活動が抑制されており、パワーが小さいほど、活性化していると考えられるため、式 3.1.1 に示されている前頭葉のアルファ波左右差の値 (Asy) がマイナスであれば、右前頭葉の方が左側より活性化し、値がプラスであれば、左側の方がより活性化していると考えられている。

3.2 快適度モデル

3.2.1 ゆらぎの定義及び特徴[24]

日常生活中にさまざまな事象はゆらぎを持っている。風速の変化、気温変動などの自然界のゆらぎから、熱雑音やブラウン運動などの物理的ゆらぎ、心拍、血圧、呼吸、脳波などの生体のゆらぎと、さまざまな種類がある。ゆらぎは一定値の周りにある時間的変動である。一定値を中心にした時間的変動が完全に規則性を持たない定常過程の場合、ある変動から次の変動を一義的に予測できない。しかし、日常のゆらぎの中には全くランダムなゆらぎではなく、過去・現在・将来に多少に相関をもつゆらぎも多く存在する。つまり、ある時刻に生じたゆらぎ値がそれ以前の時刻に生じたゆらぎ値の影響を受け、さらには未来に生じる値に影響を及ぼすようなゆらぎである。

あるゆらぎに対して、時間遅れ τ の関数 $Rx(\tau)$ (式 3.2.1) を用いて波形の自己相関関数を調べることによって、ゆらぎが時間的に過去・現在・未来にわたってどのような関係があるのかわかる。

$$Rx(\tau) = \overline{x(t) \times x(t + \tau)} \quad (\text{式 3.2.1})$$

日常にみられるゆらぎの自己相関関数を調べると下図に示されているような三種類がみられる。不規則のゆらぎ (白色ゆらぎ) であれば、 $Rx(\tau)$ の値は $\tau=0$ のときに一定値となるが、ずらしがあると $Rx(\tau)=0$ となる。多くのゆらぎは時間経過後もそれ以前の性質をある割合で維持していることが多い。下図のように τ の増加とともに相関は指数的に減少する。

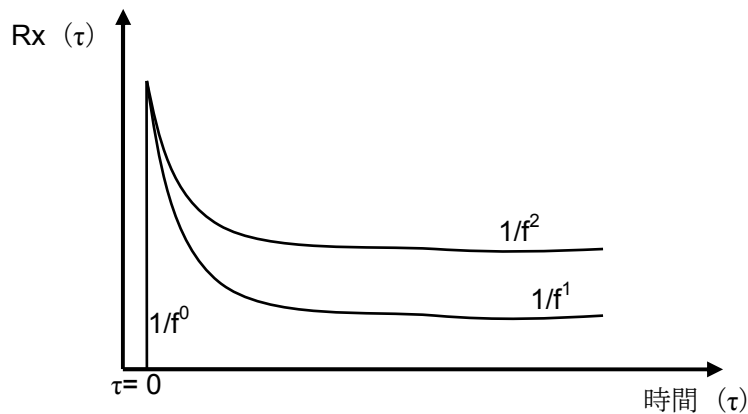


図 3.2.1 ゆらぎの自己相関関数 (模擬図) ([24] p.116 より転載)

また、ゆらぎの自己相関関数とパワースペクトル密度関数是一对一の関係がある。つまり、自己相関関数値の変化が緩やかなほど、低周波数領域のスペクトル値は大きく、周波数の増加とともに急激に減少する。一方、自己相関関数値の変化が急なほど、周波数の増加に対するスペクトル値の減少はなだらかとなる。白色ゆらぎの場合、スペクトルは一定値となることになる。さらに、スペクトルそして周波数軸をそれらの常用対数に直したものを図 3.2.2 に表示する。

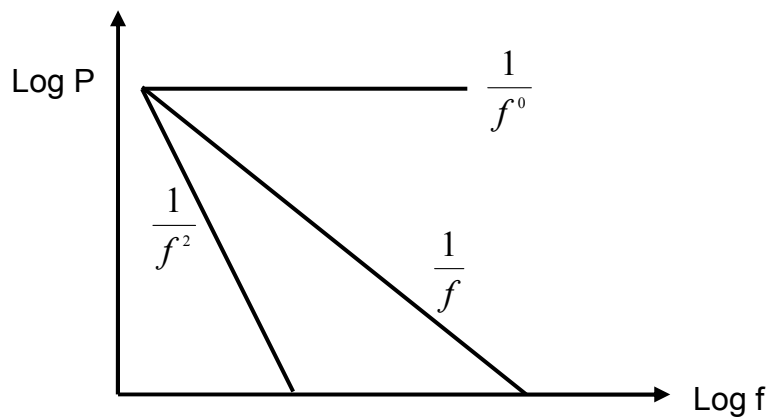


図 3.2.2 ゆらぎのスペクトル (模擬図)

周波数に関係なくスペクトル値が一定の値となるゆらぎを $1/f^0$ ゆらぎ、スペクトル対数値が周波数の対数値に逆比例して傾き-1 で低下するゆらぎを $1/f$ ゆらぎ、周波数の増加とともに傾き-2 で低下するゆらぎを $1/f^2$ ゆらぎと、それぞれ命名して定義されている。ここで示した三つのタイプは、自然界でのゆらぎをスペクトルの特徴を基にして整理したものである。上述したような三つのタイプのゆらぎでは、 $1/f^0$ のほうが不規則性は最も大きく、ランダム度はほかの二種類のゆらぎより高くなっている。 $1/f^2$ ゆらぎは時間的に変化が緩やかで、最

も単調的で慣れやすいものである。1/f ゆらぎは規則さと不規則さの中間的タイプであることがわかる。1/f ゆらぎ特性を持っている多くのクラシック音楽はネガティブ感情や緊張感を低減することが示されている[25]。音楽のこういう特性を用いた音楽療法が気分障害の治療にも多く応用されている。

一般的に、クラシック音楽は心身をリラックスさせる鎮静効果をもたらすと考えられている。しかし、音楽聴取前に覚醒感がより高く維持されていた被験者群は確かに覚醒度が下がり、より沈静状態になったことに対して、聴取前に覚醒感が低かった被験者群は覚醒感が上がっていった[26]。これは同じ刺激に対して同方向性の反応をいつでも発生するわけではなく、刺激受け取るときの心理状態によって効果の双方向性があらわれる可能性があることを示している。また、よく知っている音楽に対しては一般的に快と感じがやすいが、実際は音の慣れによって音刺激に飽きてあまり快と感じなくなる場合がある[27]。音楽や音に対する心理状態の変化は、環境的要因であるそれらの音楽の聴取場所、音自身の要因の音の大きさ、音圧、そして人間側の要因の嗜好、年齢[28]、過去の経験などの、さまざまな要因によって影響されると考えられる。したがって、一般的に期待されているような与えられた刺激によって惹起される主観的或は生理的快適度を判断することはかなり難しいことがわかる。

3.2.2 脳波 1/f ゆらぎと快適感

アルファ波 (8~13 Hz) は閉眼安静時に後頭部で最も優位である脳波であり、そして最もリズム性を有していて、ヒトの覚醒感さらに心理状態の快や不快に最も呼応している脳波であることが明らかにされた[29]。また、前頭葉は感情の処理、行動の調節、意思の決定などの過程に関与していると考えられているために、刺激に対する心理状態の変化を調べるために前頭葉のアルファ波は一つの重要な指標とされている。しかしながら、アルファ波の振幅には個人差が大きく、アルファ波の振幅やパワーによって心理状態を判定するのは難しい。吉田倫幸はアルファ波の周期リズムに着目し、ゆらぎ振動の特徴と心理状態との間の関連を調べ、最終的にアルファ波ゆらぎのパワースペクトルの特徴と心理状態との間のかかわりを快適度平面上のベクトルとして表現する方法を提案した。

ゆらぎの対数に直したパワースペクトルでは、ある周波数を境にパワーが緩やかに減衰する低周波領域、そしてパワーが急に減少する高周波領域の二つの部分がみられる。そのうちの低周波数領域のスペクトルの傾きは感情状態と関係していることが示唆された。長町ら[24]は300人の左前頭葉のアルファ波ゆらぎの特性そして主観的データによる分析結果によって、心地よい状態と感じるときに低周波領域の傾きは-1 に近づいていることに対して、気分よさをあまり感じない状態にあるときに、その領域の傾きは 0 に近づいているとした。また、吉田は左前頭葉は感情の質 (快か不快か) に、右前頭葉は覚醒感に関与していると示唆した[30]。さらに、左右前頭葉からのアルファ波ゆらぎの特性と心理状態との関係を調べた結果、左前頭葉ではパワースペクトルの傾きは-1 に近づいたらより快の心理状

態、0 に近づいたらより不快の状態だと判定し、右前頭葉では傾きは-1 に近づいたらより沈静状態、0 に近づいたらより覚醒感が高い状態だと判定した。したがって、左右の前頭葉のアルファ波ゆらぎの傾きが-1 (1/f) になる場合は心身はリラックスし快適な状態にあると考えられる。

3.2.3 心理状態評価の二次元モデル—Circumplex model of affect [31]

感情状態の円環モデル (Circumplex model) は最初 Russell [32]によって提案された。このモデルによって、すべての異なる感情状態 (恐怖、楽しみ、悲しみ、など) はそれぞれ独立なニューロンシステムから生じるのではなく、お互いに重なり、そして二つの基本的な神経生理的システムから生じているという。この二つのシステムのうちの一つは感情の質 (valence: pleasant-unpleasant) であり、もう一つは覚醒 (Arousal)、或は警戒 (Alertness) である。すべての感情はこの二つの要素の線形的組み合わせで表現される。また、この円環モデルは最近の行動、認知神経科学、神経画像、発達研究の結果と一致していることが示唆された。

下図に円環モデルを示す。二つの直交している軸によって、より快 (pleasant)・覚醒感の高い (activation) 領域、より不快 (unpleasant)・覚醒感の高い (activation) 領域、そしてより快 (pleasant)・覚醒感の低い (deactivation) 領域、より不快 (unpleasant)・覚醒感の低い (deactivation) 領域の四つの象限に分かれている。

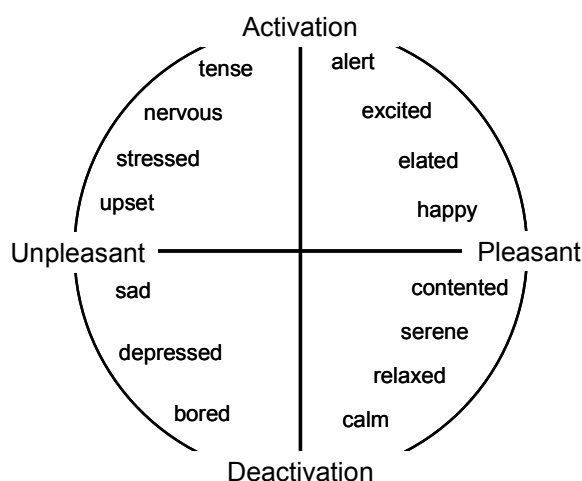


図 3.2.3 感情の円環モデル (横軸：感情の質；縦軸：覚醒) ([31] p.21 より転載)

吉田はこのモデルを発展させて、左右の前頭葉で得たアルファ波ゆらぎの周波数特性を用いて、ヒトの心理状態を快適度平面上の一つの点として感情の質と強さの両方を表した。

3.2.4 解析方法 [29]

以下に快適度ベクトルの算出法を述べる。脳波チャンネル Fp1, Fp2 (場所は前頭極で、ブロードマンの 10 野である。) からの信号をそれぞれ 200 Hz でダウンサンプリングし、バンドパスフィルター (8~13 Hz) を通し、アルファ波を抽出する。そのアルファ波に対して、ゼロクロス法によってアルファ波の周期 ($T_1, T_2, T_3, \dots, T_{n-1}, T_n$) を求める。その後、横軸に時間軸 ($t_1=0, t_2=t_1+T_1, t_3=t_2+T_2, \dots, t_n=t_{n-1}+T_{n-1}$) を、アルファ波の周期を瞬間周波数に直したもの ($f_1=1/T_1, f_2=1/T_2, \dots, f_n=1/T_n$) を縦軸とした一つの時系列データを作る。これがアルファ波ゆらぎである。その後、パワースペクトルを求めるために、アルファ波ゆらぎを等間隔の序列に直さなければならない。そのやり方として、まず、元のアルファ波ゆらぎを 1000Hz で線形補間してから、50Hz で再サンプリングをする。次に、20sec ずつデータの高速フーリエ変換をし、パワースペクトルを求めて、縦軸 (パワー) そして横軸 (周波数) をそれぞれ対数値に直す。対数に直したパワースペクトルで周波数の増加にしたがってパワーが一番顕著に変化したところの周波数を変曲点とする。変曲点によって、パワースペクトルを低周波領域そして高周波領域の二つの部分に分ける。低周波領域のパワースペクトルの傾き (Slope) を Fp1、Fp2 から求め、その絶対値を次の二式 (式 3.2.2) に代入して快適度のベクトルを算出する。図 3.2.4 に傾きの求め方を示す。

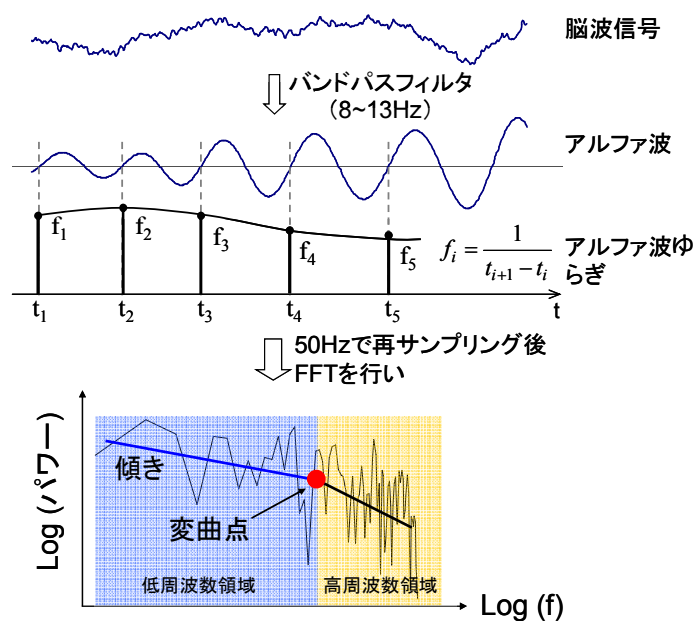


図 3.2.4 傾き (Slope) の求め方

$$\text{角度 } \theta = a \tan \frac{Fp1_slope - 0.5}{0.5 - Fp2_slope} \times \frac{180}{\pi} \quad (\text{式 3.2.2})$$

$$\text{長さ } L = \sqrt{\frac{Fp1_Slope^2 + Fp2_slope^2}{2}} \times 100$$

Fp1_slope と Fp2_slope はそれぞれ、左前額部と右前額部での傾きの絶対値である。角度 θ は横軸から逆時計周りに回った角度であり、長さ L は円中心からの距離であり、その快適度の強さに対応する。角度と長さによって、快適度円平面（図 3.2.5）上の一つの評価点が決まる。

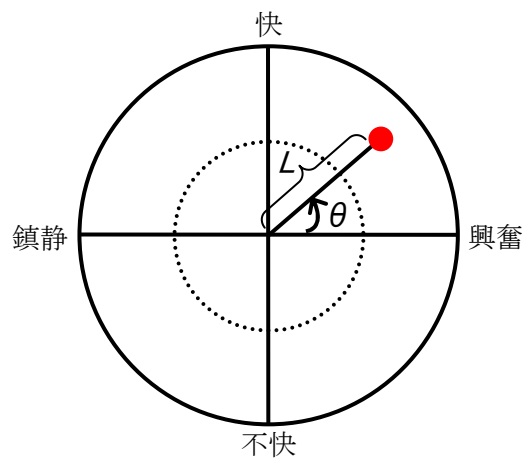


図 3.2.5 快適度円平面

また、本研究では、快適度円平面の互いに直交している二つの軸を境界とし、縦軸の右側を興奮の領域、左側を鎮静の領域に、横軸の上半分を快の領域、下半分を不快の領域にした（図 3.2.6）。前安静時、音呈示時、後安静時において、それぞれの領域に入った点数の割合を対応する感情状態の強度として用いた。興奮の度合+鎮静の度合=100%、快の度合+不快の度合=100%であるので、興奮の度合と快の度合の値を、感情状態の強さをあらわす代表値として用いた。

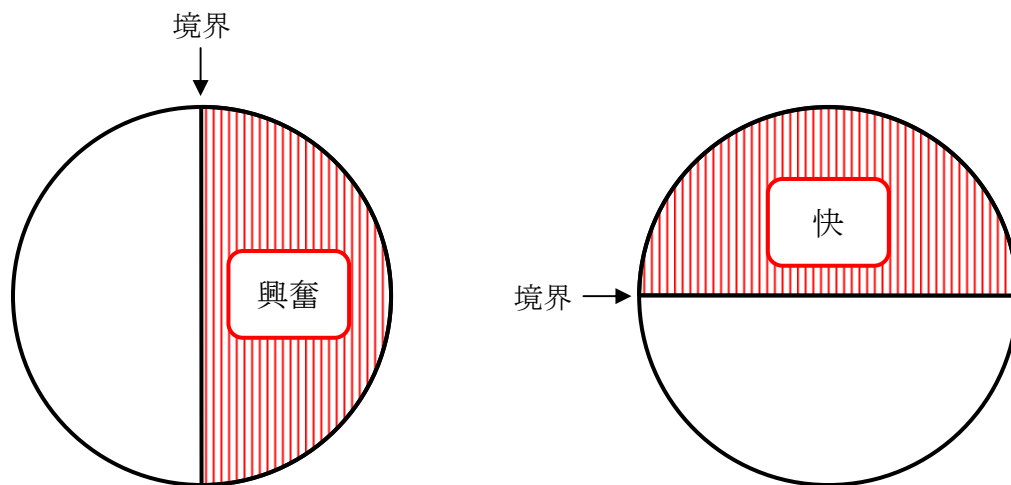


図 3.2.6 感情状態（興奮或は鎮静、快或は不快）の分類

3.3 心拍変動 [33]

3.3.1 R-R 間隔

心拍数は安定しているものではなく、瞬時に変動している。実際に心拍のふるまい (HRV, Heart Rate Variability、心拍変動) を分析する場合は、一拍ごとの拍動間隔を測定し、その値を縦軸に、時間経過を横軸にしたものを用いる。ここでは、一般的に検出されやすい R 波を使って、R-R 間隔が採用されている。R-R 間隔はミリ秒であらわれることが多く、また心拍数は一分間あたりの心臓拍動の回数とされているので、心拍数と R-R 間隔との関係は、 $\text{心拍数} = 60000 \text{ (ms)} / \text{R-R interval (ms)}$ となっている。心拍変動の解析には R-R 間隔の時間的变化が用いられている。

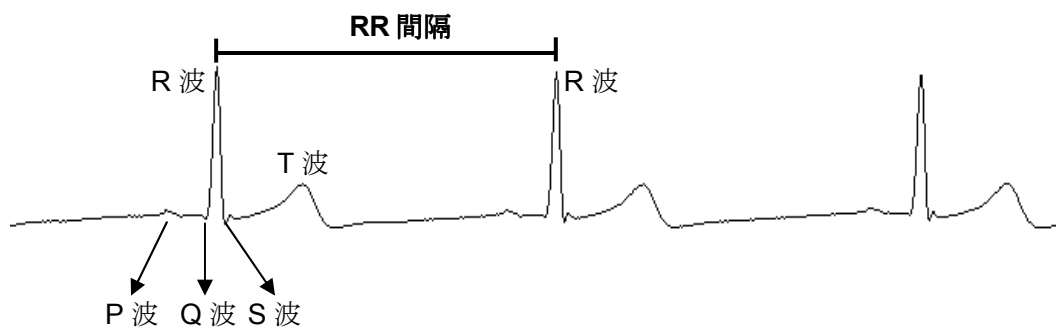


図 3.3.1 心電図の五つの波形と RR 間隔

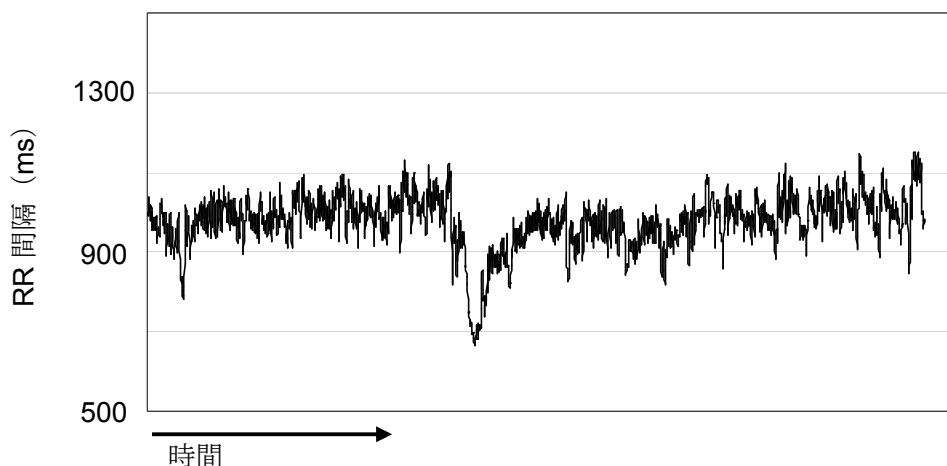


図 3.3.2 時間的 RR 間隔の一例

3.3.2 心拍変動の解析方法

本節では、心拍変動の解析方法を述べる。心臓活動は交感神経と副交感神経の両方によって支配されているので、心拍変動を解析することによって、これらの神経系の活動を別々に検討することができると期待されている。また同時に心拍変動にはさまざまな周波数成分が含まれ、非常に複雑なものだと考えられている。したがって、心拍変動をより詳しく検討する場合には、パワースペクトル解析が一つの有力な方法である。心拍変動のパワースペクトルからいくつかのピーク周波数成分が得られた、それらに対応すると思われる生理的变化が検討されてきた。その結果現在では、比較的低い周波数成分 (0.04~0.15 Hz) は交感神経と副交感神経の両方を反映し、LF (Low Frequency) と表記されている。それより高い周波数成分 (0.15~0.5 Hz 或は 0.4 Hz) は副交感神経の活動を反映していると考えられ、HF (High Frequency) と表記されている。しかし、呼吸運動の吸気と呼気によって R-R 間隔が影響を受け、呼吸は副交感神経の活動にも影響を与えていると考えられている。

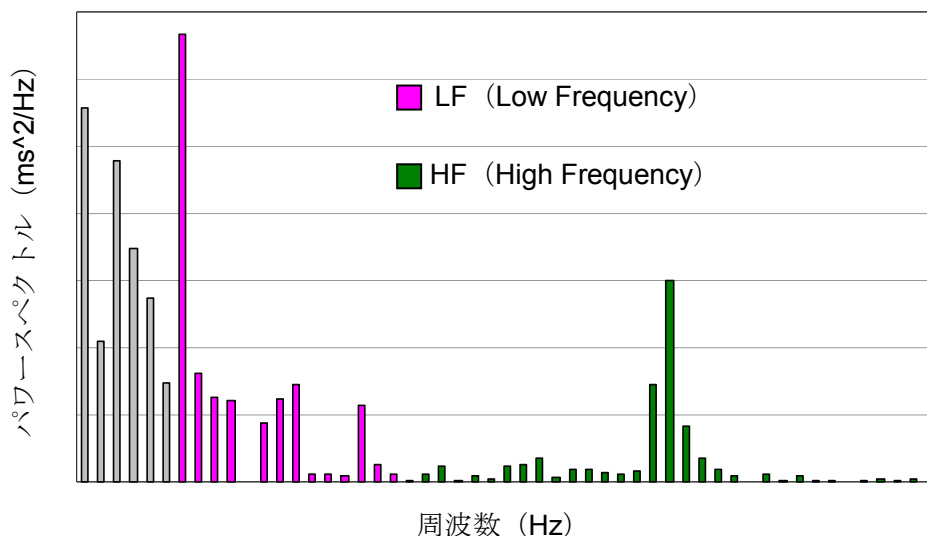


図 3.3.3 R-R 間隔の時間的序列の周波数解析の例

実際には R-R 間隔の時間的序列からパワースペクトルを求めるとき、元のデータを補間し、等間隔の時間的序列にしている。様々な補間法があるが、その中の直線補間は、前後の R 波との距離に比例させて計算する方法である。本研究ではこの直線補間を用いて、1 ms ごとの等間隔のデータを作る。次に補間で得られた 1 ms ごとの等間隔データを 4 Hz (Fs) で再サンプリングし、120 sec の時間間隔ごとに FFT 行う。また 10sec ずつデータを移動して同じ解析を繰り返す。ただし、120 sec 間のデータは 480 個であるが、FFT の計算のためのデータ数は 2 のべき乗にしなければならないため、足りない場合は 0 を追加した。従って、実際に計算するデータ数は 512 (Nfft) 個となり、周波数分解能は $Fs/Nfft=4/512=1/128$ Hz となる。LF と HF の帯域のパワー、またトータルパワー (0.04~0.5Hz、TO) を求め、LF/HF の値と、HF/TO の値をそれぞれ交感神経、副交感神経の指標として用いた。

3.4 ウェーブレット解析[33]

フーリエ変換は三角関数を参照波として時間的関数を周波数関数に変換できる。また、時間的関数に窓関数 $Rd(t)$ を加えて、さらに時間軸上を移動させることによって、任意の時間における局所的な周波数解析ができる。時間的位置を変数 b で表すとフーリエ変換式は以下のようなになる。

$$F(b, w) = \int_{-\infty}^{\infty} Rd(t-b)f(t) * exp(iwt) dt \quad \text{式 (3.4.1)}$$

ウェーブレット解析では、三角関数ではなくマザーウェーブレットと呼ばれる基本参照波 $\varphi(t)$ を用いて行う。参照波を時間軸上で拡大縮小・平行移動することができる。

$$\varphi_{a,b}(t) = (1/\sqrt{a})\varphi((t-b)/a) \quad \text{式 (3.4.2)}$$

変換式は次のようになり、これを「連続ウェーブレット変換」と呼ぶ。

$$W(b,a) = (1/\sqrt{a}) \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\varphi((t-b)/a)dt \quad \text{式 (3.4.3)}$$

基本参照波は以下の式の条件を満たしている。

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t)dt = 0 \quad \text{式 (3.4.4)}$$

a の値は $\varphi(t)$ の幅に対応しているため、周波数に対応していると考えられる。 a の値が大きい場合は低周波に、小さい場合は高周波に対応することになる。

本研究で基本参照波として用いられたウェーブレット関数は Morlet 関数である (図 3.4.1)。

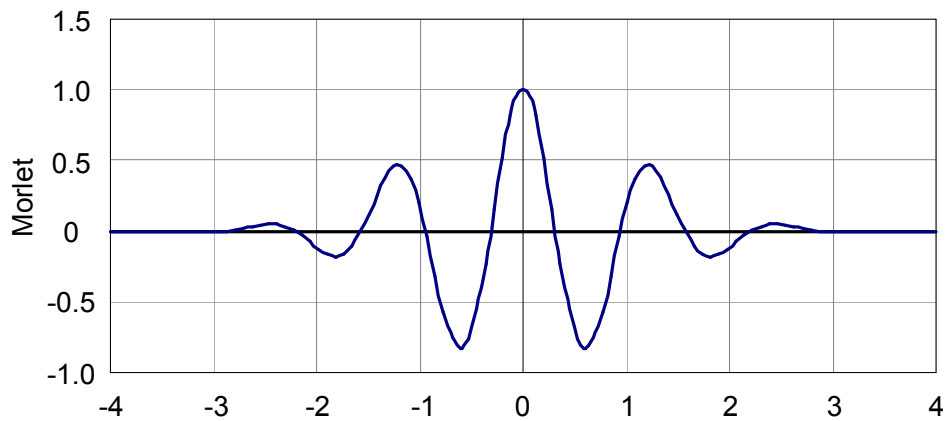


図 3.4.1 Morlet 関数

参考文献

- [1] Ahern, G. L., & Schwartz, G. E. (1985). Differential lateralization for positive and negative emotion in the human brain: EEG spectral analysis. *Neuropsychologia*, 23(6), 745-755.
- [2] Davidson, R. J., & Hugdahl, K. (1996). Baseline asymmetries in brain electrical activity predict dichotic listening performance. *Neuropsychology*, 10(2), 241-246.
- [3] Hofmann, S. G. (2007). Trait affect moderates cortical activation in response to state affect. *International Journal of Psychophysiology*, 63(3), 258-264.
- [4] Jacobs, G. D., & Snyder, D. (1996). Frontal brain asymmetry predicts affective style in men. *Behavioral Neuroscience*, 110(1), 3-6.
- [5] Schmidt, B., & Hanslmayr, S. (2009). Resting frontal EEG alpha-asymmetry predicts the evaluation of affective musical stimuli. *Neuroscience Letters*, 460(3), 237-240.
- [6] Sutton, S. K., & Davidson, R. J. (2000). Prefrontal brain electrical asymmetry predicts the evaluation of affective stimuli. *Neuropsychologia*, 38(13), 1723-1733.
- [7] Tomarken, A. J., Davidson, R. J., Wheeler, R. E., & Doss, R. C. (1992). Individual differences in anterior brain asymmetry and fundamental dimensions of emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 62(4), 676-687.
- [8] Vuga, M., Fox, N. A., Cohn, J. F., Kovacs, M., & George, C. J. (2008). Long-term stability of Electroencephalographic asymmetry and power in 3-9 year-old children. *International Journal of Psychophysiology*, 67, 70-77.
- [9] Wheeler, R. E., Davidson, R. J., & Tomarken, A. (1993). Frontal brain asymmetry and emotional reactivity: A biological substrate of affective style. *Psychophysiology*, 30, 82-89.
- [10] Papousek, I., Reiser, E.M., Weber, B., Freudenthaler, H.H., & Schuster, G. (2012). Frontal brain asymmetry and affective flexibility in an emotional contagion paradigm. *Psychophysiology*, 49, 489-498.
- [11] Peterson, C. K., & Harmon-Jones, E. (2009). Circadian and seasonal variability of resting frontal EEG asymmetry. *Biological Psychology*, 80(3), 315-320.
- [12] Stemmler, G., & Wacker, J. (2009). Personality, emotion, and individual differences in physiological responses. *Biological Psychology*
- [13] Coan, J. A., Allen, J. J., & McKnight, P. E. (2006). A capability model of individual differences in frontal EEG asymmetry. *Biological Psychology*, 72(2), 198-207.
- [14] Goodman, R.N., Rietschel, J.C., Lo, L.C., Costanzo, M.E., & Hatfield, B.D. (2013). Stress, emotion regulation and cognitive performance: The predictive contributions of trait and state relative frontal EEG alpha asymmetry. *International Journal of Psychophysiology*, 87, 115-123.
- [15] Briesemeister, B.B., Tamm, S., Heine, A., & Jacobs, A.M. (2013). Approach the good, withdraw from the bad-A review on frontal alpha asymmetry measures in applied psychological research.

Psychology, 4(3), 261-267.

[16] Allen, J.J.B., Urry, H.L., Hitt, S.K., & Coan, J.A. (2004). The stability of resting frontal electroencephalographic asymmetry in depression. *Psychophysiology*, 41, 269-280.

[17] Allen, J.J.B. (2014). Neural systems underlying risk for depression: towards a neurally-informed treatment approach. *Psychophysiology*, 51 (Abstracts for the fifty-fourth annual meeting, September 10-14), S9.

[18] Carver, C.S. (2004). Negative affects deriving from the behavioral approach system. *Emotion*, 4(1), 3-22.

[19] Harmon-Jones, E., & Allen, J. J. B. (1998). Anger and frontal brain activity: EEG asymmetry consistent with approach motivation despite negative affective valence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(5), 1310-1316

[20] Harmon-Jones, E. (2003). Clarifying the motive functions of asymmetrical frontal cortical activity. *Psychophysiology*, 40, 838-848.

[21] Berkman, E.T., & Lieberman, M.D. (2010). Approaching the bad and avoiding the good: lateral prefrontal cortical asymmetry distinguishes between action and valence. *J Cogn Neurosci*, 22(9), 1970-1979.

[22] Spielberg, J.M., Miller, G. A., Warren, S. L., Engels, A.S., Crocker, L. D., Banich, M. T., Sutton, B.P., & Heller, W. (2012). A brain network instantiating approach and avoidance motivation. *Psychophysiology*, 49, 1200-1214.

[23] Wacker, J., Heldmann, M., & Stemmler, G. (2003). Separating emotion and motivational direction in fear and anger: effects on frontal asymmetry. *Emotion*, 3(2), 167-193.

[24] 長町三生 (編) : 快適科学 人間側からみた商品づくりへ, 海文堂, 1992

[25] Gough, M. M. (2000, September). *The healing power of music*. Paper presented at the 17th International Conference on the Study of Shamanism and Alternative Modes of Healing, Santa

[26] Salimpoor, V. N., Benvov, M., Longo, G., Cooperstock, J. R., & Zatorre, R. J. (2009). The rewarding aspects of music listening are related to degree of emotional arousal. *PLoS ONE*, 4(10), e7487.

[27] Iwaki, T., Hayashi, M., & Hori, T. (1994). Psychophysiological study of arousal modulation model of music. *Memoirs of the Faculty of integrated Arts and Science, Hiroshima University, IV, Science reports: study of fundamental and environmental sciences*, 20, 197-204.

[28] McCraty, R., Barrios-Choplina, B., Atkinson, M., & Tomasino, D. (1998). The effects of different types of music on mood, tension, and mental clarity. *Alternative Therapies*, 4(1), 75-84.

[29] 吉田 倫幸. 脳波の周期リズムによる快適度評価モデル[An evaluation model of KAITEKI by using frequency-rhythm of brain wave], *Japanese Psychological Review*, 45(1), 38-56, 2002

[30] Yoshida, T., & Iwaki, T. (2000). The study of early emotion processing in the frontal area using a two-dipole source model. *Japanese Psychological Research*, 42, 54-68.

- [31] Posner, J., Russell, J.A., & Peterson, B.S. (2005). The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Dev Psychopathol*, 17(3), 715-734.
- [32] Russell, J.A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, 39(6), 1161-1178.
- [33] 藤澤清, 柿木昇治, 山崎勝男 (編集), 宮田洋 (監修): 新生理心理学, 第一巻, 生理心理学の基礎, 北大路書房, 1998
- [34] 一條博 (著): MATLAB/SCILAB によるウェーブレット信号解析入門, 秀和システム, 2012

第四章 実験

4.1 被験者

被験者は心身共に健康な大学生 26 名（平均年齢：23.3±1.2 歳；男性 24 名、女性 2 名）である。彼らは自己申告ではあるが、聴覚、嗅覚および味覚は正常であり現在通院治療中でないことおよび服薬中でないことを確認した。実験の前日は十分な睡眠を取ること、激しい運動やタバコ、カフェイン、アルコール類は控えること、食事は実験の三時間前には済ませることなどを依頼した。本研究は全て静岡大学倫理委員会の承認の下で、ヘルシンキ宣言[1]の精神に則って行われた。

4.2 刺激

実験で用いた感情を引き起こす刺激は二種類の五分間の音である。そのうち、恐怖・不安・緊張などのネガティブ感情を喚起する音刺激は、三つの CD（サウンドコラージュ・シリーズ I：恐怖の館, II: 死霊病棟, 株式会社テイチクエンタテインメント, 2008, BEST HITS HORROR MOVIES, 販売元：フレイヴァー・オブ・サウンド, バウンディ株式会社, 製造：株式会社プライエイド・レコーズ, 2006) から数十個の音のエピソードを選び、女の悲鳴, ゾンビの叫び, 死霊の呻き音, 近づく足音, 荒く乱れる呼吸などつないだものである（風雨の夜に一人の女性がゾンビの群に追いかけられる場面）。一方、快・楽しみ・幸福などのポジティブ感情を喚起するために、パッヘルペルのカノンを心地よい音として用いた。また、耳元に到達した音声の音圧は 70dBA をこえないように調整した。

4.3 主観的評価尺度

4.3.1 SD (Semantic Differential) 法による音刺激のイメージ評価

実験では、各音刺激に対する主観的イメージを調べるために、SD (Semantic Differential) 法を用いた[2]。SD 法は様々な対象物に対する印象やイメージを評価する方法として用いられている。対極の意味をもつ単語を軸の両極に配置し、結果の数値化分析のためにその二つの感性語の間に等間隔の尺度を設けて評価に用いる。また、真ん中の段階は「どちらでもない」であり、ニュートラルな意味をもつ。両極にある感性語に対して、それぞれ「やや」、「かなり」、「非常に」のようなイメージの程度をあらわす段階を設けることで、本研究では全部で七段階に分けたものを用いた（図 4.3.1 にはアンケートの評価項目の一例を示す）。このような軸を複数組み合わせることで、対象物の主観的、且つ多次元的評価を行う。被験者に対象物のイメージとして適切なものをあまり深く考えずに直感的に選択するよう指示をした。使用した実際の尺度は、快—不快、興味がある—興味がない、好き—嫌い、楽しい—つまらない、安らか—怖い、のような五つの感情尺度で被験者の音刺激に対するイメージを調べた。また、各尺度の両極にある感性語に対して、「どちらでもない」から「非常に」までいずれの場所に印をつけることができると指示した。その後の分析では、主観的評価結果を数値化するときに、左端にあるネガティブな感性語から右側にある

ポジティブな感性語まで設けられている七段階の尺度をそれぞれ“0~6”の間の整数に対応させ、段階間の評価値を比例的に算出した。

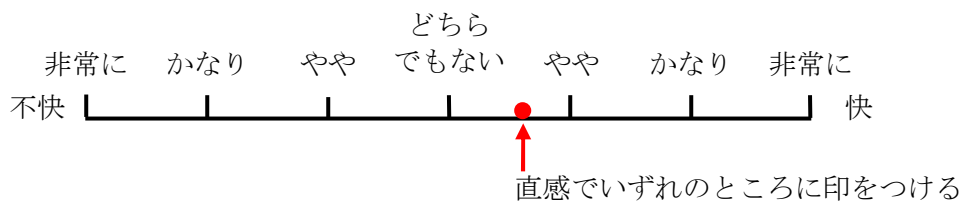


図 4.3.1 音刺激の主観的評価項目の例

4.3.2 POMS (Profile of Mood State) による気分評価

また、実験前および実験後の気分を主観的に評価するためには、POMS (Profile of Mood State) 尺度を用いた。POMS は米国の McNair ら[3]によって開発され、65 個の感情的形容詞から構成した項目によって人間の一時的な気分を「緊張-不安」、「抑うつ」、「怒り-敵意」、「活気」、「疲労」、「混乱」の六つの尺度で主観的に評価する尺度のものである。実験では、被験者の心理的負担をできるかぎり軽減するために、30 個項目から構成した POMS の短縮版[4]を用いた。図 4.3.2 に実際に使用した POMS アンケートの評価項目の例を示す。また、これらの 30 個の感情的形容詞は上述した六つの尺度に分類されている。

下図に示されている質問用紙の左端にある気分の状態をあらわす言葉に対して、被験者に、「まったくなかった、0 点」、「少しあった、1 点」、「まあまああった、2 点」、「かなりあった、3 点」、「非常に多くあった、4 点」の内から気分の程度を最もあらわすことができる段階を選択してもらおう。その後の採点ではあらかじめ決まっているやり方によってそれぞれの尺度の得点を求める。

評価欄	ま た く た か つ た	少 し あ つ た	ま あ ま あ あ つ た	か な り あ つ た	非 常 に 多 く あ つ た
	0	1	2	3	4
1. 気がはりつめる。	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 怒る。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
...					
...					

図 4.3.2 気分の主観的評価である POMS アンケート評価項目の例

4.4 測定

4.4.1 電極の配置・装着・導出方法

(A) 脳波電極配置[5]

脳波電極の一つの配置法に国際 10-20 電極法がある。この方法は頭皮上に 19 個の電極 (Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz, Pz) を装着する (図 4.4.1) 配置の方法 (図 4.4.2) は、まず、正中線にしたがって鼻根から後ろの正中で頭蓋骨の最下部やや突起したところ (後頭結節) までの距離を測る。その距離を A にし、距離 A の中点を①にする。また、両耳の耳介前点 (外耳孔) 間の距離を①を通るように測る (距離 B)。その中点を Cz とする。両耳の耳介前点から距離 B の 10% 上方をそれぞれ T3、T4 とする。つぎに、鼻根から距離 A の 10% 上方を Fpz とし、ニュートラル電極 (ボディアース) とする。同様に後頭結節から距離 A の 10% 上方の点を後頭基準とする。ニュートラル電極と後頭基準間を頭部周囲に T3 または T4 を通るライン上で測定した距離を C とする。その後、ニュートラル電極の左右側に、距離 C の 10% をおいてそれぞれ Fp1、Fp2 をつけ、後頭基準の左右側に、距離 C の 10% はなして O1、O2 をつける。他の電極も同様に 10% の距離を目安に配置する。国際 10-20 法による各々の電極の名称と記号を表 4.4.1 に示す。

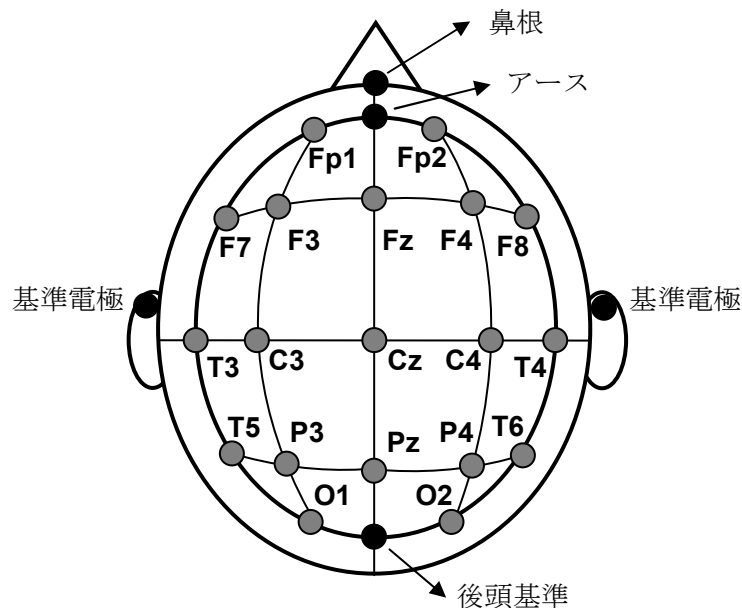


図 4.4.1 国際 10-20 法による脳波電極の配置図 ([5]より転載 一部改変)

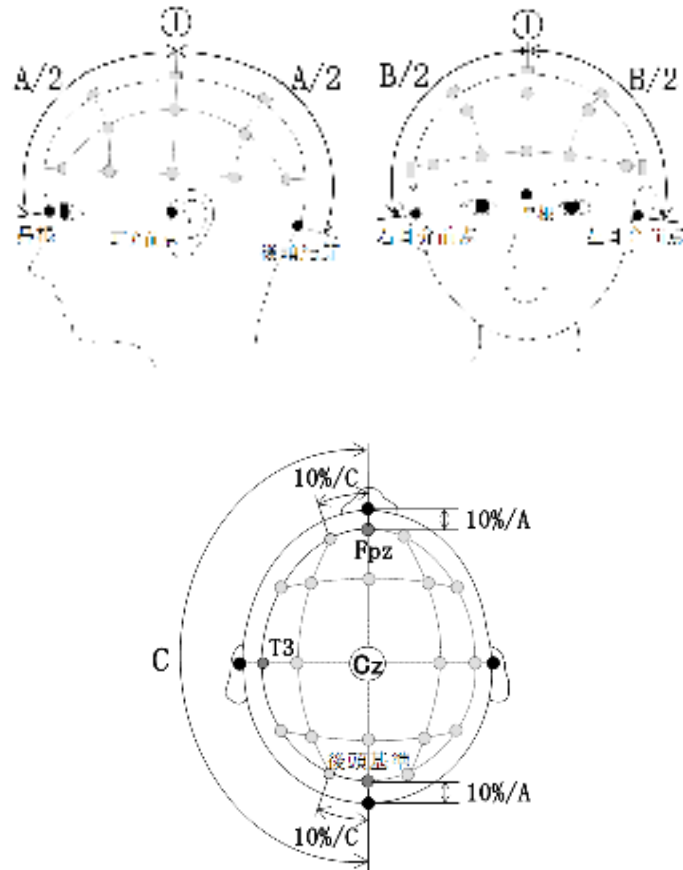


図 4.4.2 国際 10-20 法による脳波電極の配置方法 ([5]より転載)

表 4.4.1 国際 10-20 の電極名称と記号[5]

部位名		記号		
日本語	英語	左	中央	右
前頭極	Frontal Pole	Fp1		Fp2
前頭部	Frontal	F3	Fz	F4
下前頭部	Inferior Frontal	F7		F8
中央部	Central	C3	Cz	C4
頭頂部	Parietal	P3	Pz	P4
後頭部	Occipital	O1		O2
中側頭部	Mid Temporal	T3		T4
後側頭部	Posterior Temporal	T5		T6
耳朶	Auricular	A1		A2

(B) 眼球運動及び心電図記録用の電極

上下または水平の眼球運動を記録するために、左目の下、または左目と右目の外側の横にそれぞれ一つの電極を配置した（図 4.4.3 の左図）。左前頭部につける電極 Fp1 と左目の下につける電極によって垂直方向での眼球運動を記録し、左目と右目の外側の横につける電極で水平方向での眼球運動をそれぞれ記録した。

心電図の電極配置は標準肢誘導の第Ⅱ誘導法を用いた（図 4.4.3 の右図）。左肋骨下部を正とし、右鎖骨部を負とし、右足をグランドとした。

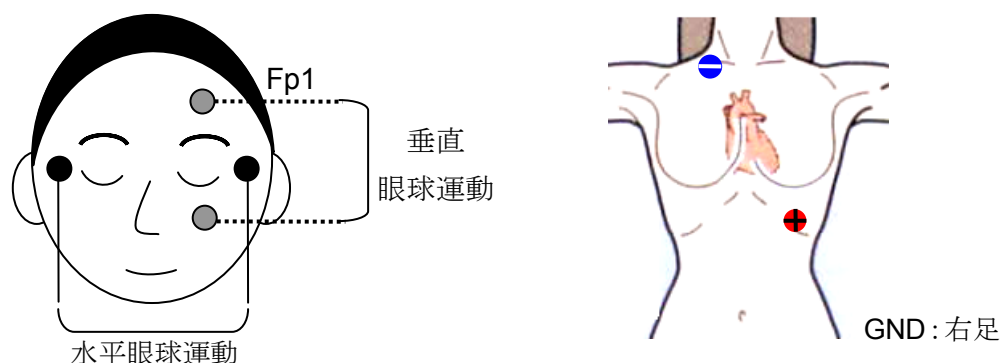


図 4.4.3 眼球運動記録電極配置（左）、心電図の電極配置（右）

(C) 電極の装着

頭皮に装着する電極にはさまざまな金属が使用されているが、電極で発生する分極によるアーティファクトの影響を抑えるために、分極が少ない銀-塩化銀（Ag-AgCl）電極が主として用いられている（図 4.4.4）。

電極を装着するときに、アルコールで（日本薬局方 消毒用エタノール；製造販売元：株式会社ワコーケミカ；組成：15℃でエタノール 76.9～81.4 vol%を含む）電極をつける部位をよく拭いて脂肪分を取り去り、スキンピュア（生体信号モニター用皮膚前処理剤；製造元：日本光電株式会社）で皮膚抵抗をさげて、その部位の皮膚に電極糊（Elefix PASTE for EEG YZ-0019；製造元：日本光電株式会社）をよくすりこんでから、電極糊をつけた電極を接着した（図 4.4.5）。

(D) 脳波導出法[6]

脳波導出法には単極導出と双極導出の二つの方法がある。単極導出法は基準電極導出法ともいわれる。この方法を用いると、頭皮上に設置した活性電極または探査電極と耳朶或は乳様突起との間の脳波が記録される。左側半球の電極には左側耳朶を、右側半球の電極には右側耳朶をそれぞれ基準電極として用いる方法もある。また、双極導出法によって、頭皮上におかれた二つの探査電極下の電位変動の差が記録される。

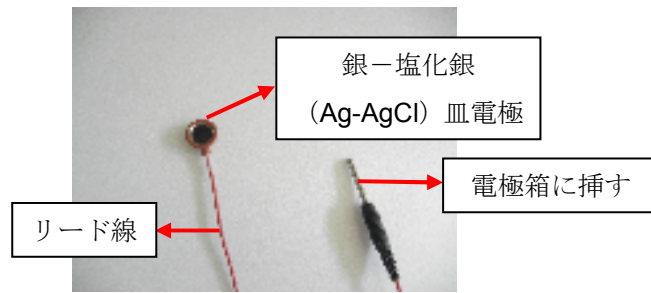


図 4.4.4 銀-塩化銀の皿電極



図 4.4.5 脳波電極糊（左）とスキンピュア（右）

4.4.2 測定システム

頭皮上に装着された電極、眼球運動記録用の電極、心電図の電極と、その導出リード線を通して信号は電極箱（日本電気三栄株式会社製、図 4.4.6 の左図）に導かれ、さらに脳波計（BioTop6R12、日本三栄株式会社製、図 4.4.6 の右図）へと導かれる。また、測定システムを図 4.4.7 に示す。

脳波計によって、脳に発生した 0.5～100 Hz の範囲の微弱の電位活動（マイクロボルト単位）を 4000～20000 倍に増幅、それから AD 変換ボード（Microscience, ADM-687PCI、分解能 16bit、チャンネル数 32ch、最高速度 200kHz）を通して 1kHz でサンプリングし、測定用のパーソナルコンピュータ（AMD Duron processor、1GHz）に取り込む。測定は Bio Signal Acquisition System Version 1.20（noruPro Light Systems.Inc.）というソフトウェアを用いて行い、取り込んだすべての信号をリアルタイムで描画し、ファイルに保存した。また、データの解析はオフラインで行った（図 4.4.7）。



図 4.4.6 脳波電極箱（左）と脳波計（右）（日本電気三栄株式会社 製）

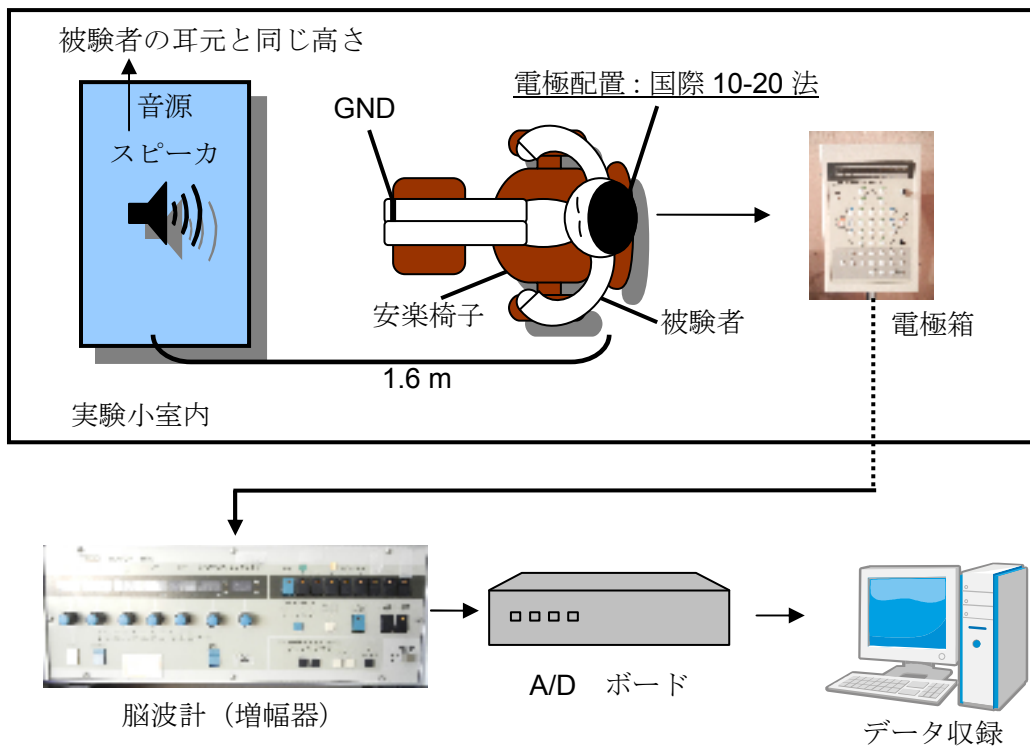


図 4.4.7 測定システム

4.5 測定手順

全ての脳波電極、眼球運動記録用の電極、心電図電極を装着した後で、被験者に楽な姿勢で座ってもらい、しばらく間に安静にしてもらった。全ての測定は閉眼安静状態で行った。

実験の流れを図 4.4.8 に示す。実験を始める前に被験者に現在の心理状態を POMS によって評価してもらった。次に実験のプロトコルを被験者に説明した。被験者は二種類の音を聴取した。一つの音刺激に対して、10 分間の前安静時（ベースライン測定）、5 分間の一種類の音刺激の呈示時、10 分間の後安静時の計 25 分間の測定を行った。その後、被験者に

聴取した音刺激に関する主観的評価（SD 法）と、気分の自己評価（POMS）をしてもらった。その後、10 分程度の休憩を挟んで、もう一つの音刺激に対して、同じような測定と主観的評価を行った。

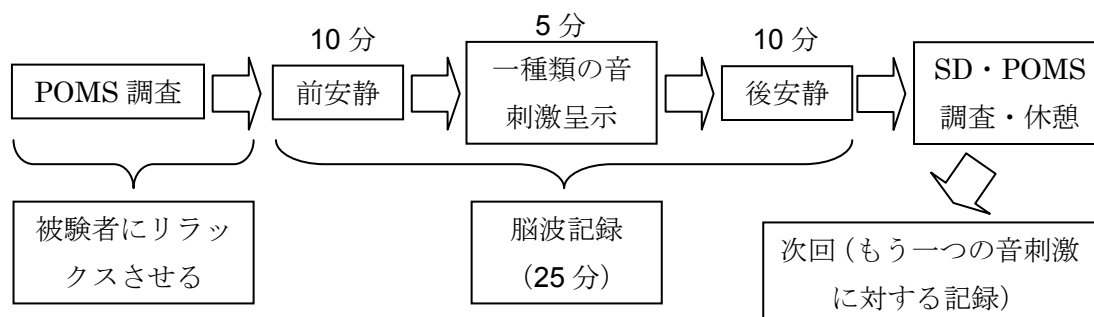


図 4.4.8 実験の流れ

参考文献

- [1] ヘルシンキ宣言：日本医師会ホームページ，<http://www.med.or.jp/>
- [2] 椎塚 久雄（編）：感性工学 ハンドブックー感性をきわめる七つ道具ー，朝倉書店，2013
- [3] McNair, D.M., Lorr M., Droppleman, L.F. (1971). Manual for the profile of mood states. San Diego, CA: Education and Industrial Testing Service
- [4] Lorr, M., McNair, D.M., Heuchert, JW P., & Droppleman, L.F. （原著），横山和仁（構成）：日本語版 POMS 短縮版，金子書房，2005
- [5] 末永和栄，岡田保紀：最新脳波標準テキスト，メディカルシステム研修所，2013
- [6] 藤澤清，柿木昇治，山崎勝男（編集），宮田洋（監修）：新生理心理学，第一巻，生理心理学の基礎，北大路書房，1998

第五章 結果

5.1 音刺激の主観的評価

音刺激に対する主観的評価を図 5.1.1 に示す。図に上から「快—不快」、「興味ある—興味ない」、「楽しい—つまらない」、「好き—嫌い」、「安らか—怖い」の五つの尺度をあらわし、青い丸印は怖い音、赤い三角印は心地よい音の評価値をそれぞれあらわす。左端は「不快」、「興味ない」、「つまらない」、「嫌い」、「怖い」などネガティブなイメージの形容詞があり、右端は「快」、「興味ある」、「楽しい」、「安らか」などポジティブなイメージの形容詞がある。各尺度に関して、真ん中の値は音刺激に対する感じ方は「どちらでもない」であり、左端へいくほど、音刺激に対するネガティブなイメージが強くなり、右端へいくほど、音刺激に対するポジティブな感じを持っていると考える。音刺激に対する主観的な感じ方には個人差がみられてバラツキが大きい。怖い音に対して被験者はより「不快」、「つまらない」、「嫌い」、「怖い」と評価する一方で、心地よい音に対してより「快」、「楽しい」、「好き」、「安らか」と評価した。「興味ある—興味ない」の尺度に関しては、両音刺激に対して他の尺度の評価の強さより弱くみられる。

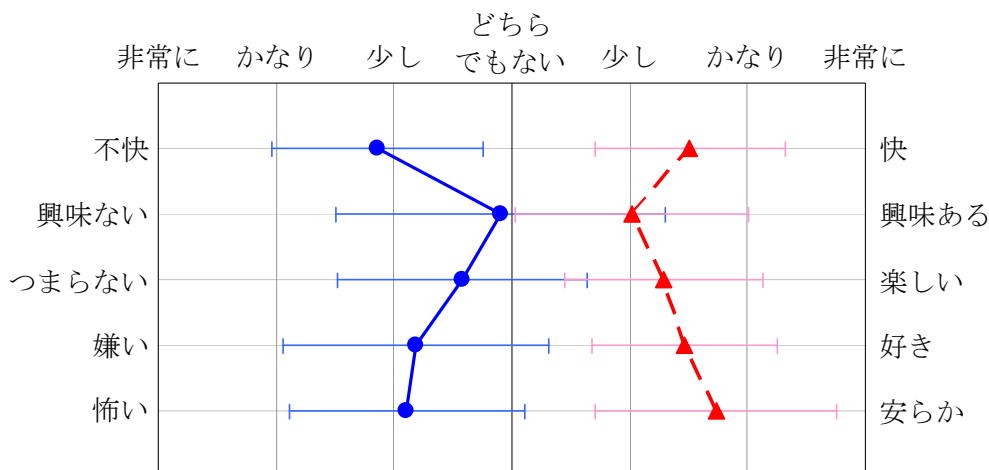


図 5.1.1 SD アンケートを用いた音刺激に対する主観的評価

●— 怖い音 -▲- 心地よい音

また、五つの感情尺度に対して、両音刺激に対する主観評価値の間に有意な差があるかどうかを対応のある t 検定を行って調べた。その結果を表 5.1.1 に示す。いずれの尺度でも二つの音刺激に対する評価値の間の差は有意であった。この二種類の音刺激は被験者の主観的な感じ方に異なった効果を与えていることが分かる。さらに、音刺激（怖い音・心地よい音）を一つの要因として、感情尺度をもう一つの要因として、対応のある二要因の分散分析を行った結果を表 5.1.1 の最後の一行に示す。両要因の間に交互作用があったので、二つの音刺激の違いによって、各尺度に対する主観的感じ方が異なる傾向を示していることが分かる。この二つの音刺激はあまり強いポジティブ感情（或はネガティブ感情）を引

き起こしてはいないが、本研究における感情刺激としては適切であろうと考える。

表 5.1.1 音刺激に対する主観的評価及び統計学的検定

音刺激 \ 尺度	快— 不快	興味ある— 興味ない	楽しい— つまらない	好き— 嫌い	安らか— 怖い
怖い音	1.86	2.91	2.58	2.19	2.11
心地よい音	4.51	4.02	4.29	4.46	4.73
t (25)	-11.02	-3.29	-5.56	-7.32	-8.51
p	2.18E-11	<.005	4.39E-06	5.62E-08	3.66E-09
音×尺度	F(4,100) = 9.753; p=.000				

音×尺度：対応のある二要因（音種類、尺度）の間の交互作用の検定の結果；

POMS 尺度を用いた実験前、怖い音聴取後、心地よい音聴取後の各気分の評価結果を図 5.1.2 に、POMS 尺度評価点の変化及び時間と評価尺度の交互作用の検定結果を表 5.1.2 に示す。図 5.1.2 の横軸は POMS の各尺度（緊張、抑うつ、怒り、活気、疲労、混乱）、縦軸は各尺度に対応する得点を示す。実験前の心理状態（図中の黒い米印、~~✱~~）に較べて、怖い音刺激後（図中の青い丸、~~●~~）では、緊張、抑うつ、怒り、疲労、混乱の得点が大きくなり、活気得点がさがった。さらに、緊張、活気の尺度では有意な変化がみられる。心地よい音刺激後（図中の赤い三角、~~▲~~）では、心理状態は前安静時のレベルへ回復した。怖い音刺激後の心理状態に較べて、緊張、抑うつ、怒り、疲労、混乱の得点がさがり、活気得点が上がったことがわかる。そのうち、抑うつ、怒り、活気、疲労、混乱の尺度の変化は有意であった。表 5.1.2 に示す交互作用の検定の結果から、実験前、怖い音聴取後、心地よい音聴取後の心理状態がそれぞれ異なったことがわかる。

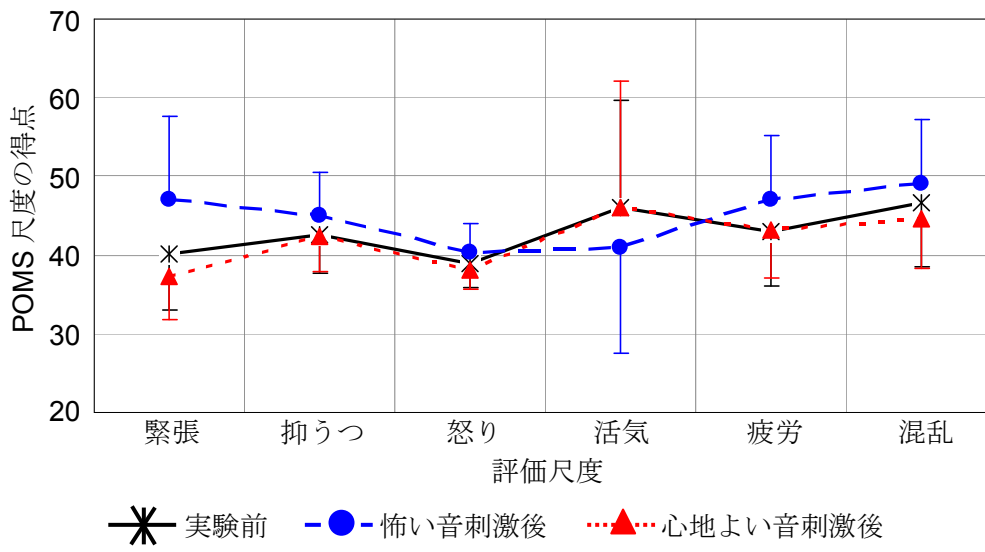


図 5.1.2 音刺激に対する POMS による気分評価

表 5.1.2 音刺激に対する POMS による気分評価結果の統計検定

時間 \ 尺度	緊張	抑うつ	怒り	活気	疲労	混乱
実験前	40.12 ^a	42.65	38.81	46 ^d	43.04	46.62
怖い音刺激後	47.08 ^a	45.08 ^b	40.27 ^c	41 ^{d,e}	47.04 ^f	49.08 ^g
心地よい音刺激後	37.35	42.42 ^b	38.08 ^c	46 ^e	43.12 ^f	44.62 ^g
時間×尺度	F=8.666; p=0.000					

時間×尺度：対応のある二要因（時間、尺度）の間の交互作用の検定の結果；

多重比較の結果：a: p=0.001; b: p=0.019; c: p=0.028; d: p=0.005; e: p=0.025; f: p=0.042; g: p=0.014

5.2 快適度評価モデル

5.2.1 二種類の音刺激に対する結果の比較

本節では、二種類の音刺激の聴取前、聴取時、聴取後の快感そして興奮度の比較の面から怖い音または心地よい音の被験者の心理状態への影響や効果を検討する。

図 5.2.1 に怖い音刺激と心地よい音刺激に対する被験者 B の心理状態の快適度評価モデルによる評価の結果を示す。左側の上からそれぞれ音聴取前の安静時、怖い音聴取中、音聴取後の安静時の心理状態をあらわし、右側に心地よい音の聴取前・中・後の結果を示す。各状態で点は四つの象限に分布しているのがみられるが、怖い音聴取前の安静時では、多くの点は快適度円平面の上半分と左半分、すなわち快の領域と鎮静の領域に分布している傾向がある。この状態から怖い音の聴取によって、多くの評価点が右下にある第四象限に移動した。怖い音を聞いた後の安静時にはまた元の状態に戻る様子が見られる。

心地よい音の聴取前に、評価点の分布は右側の半平面により集中していたが、音の聴取によって左側の半平面に移動し、特に左上の第二象限に集中的に分布していた。後安静時には、四つの象限にばらついて分布しているが、前安静時に比べて、快適度円平面の上半分と左半分により多く分布したことがみられる。

各種類の音刺激に対して、前安静時、音聴取時、後安静時の各象限に入った点数が全部の点数に占める割合を表 5.2.1 に、快の領域（第一、二象限）と、興奮の領域（第一、四象限）に入った点数の割合を表 5.2.2 に示す。怖い音に対して、快の割合は前安静時の 73.3% から 33.3% まで減っていて、後安静時には 69.0% まで回復している。一方、心地よい音の聴取では、快の割合は 66.7% から 93.3% まで増加して、26.6% 程度の増加が見られる。

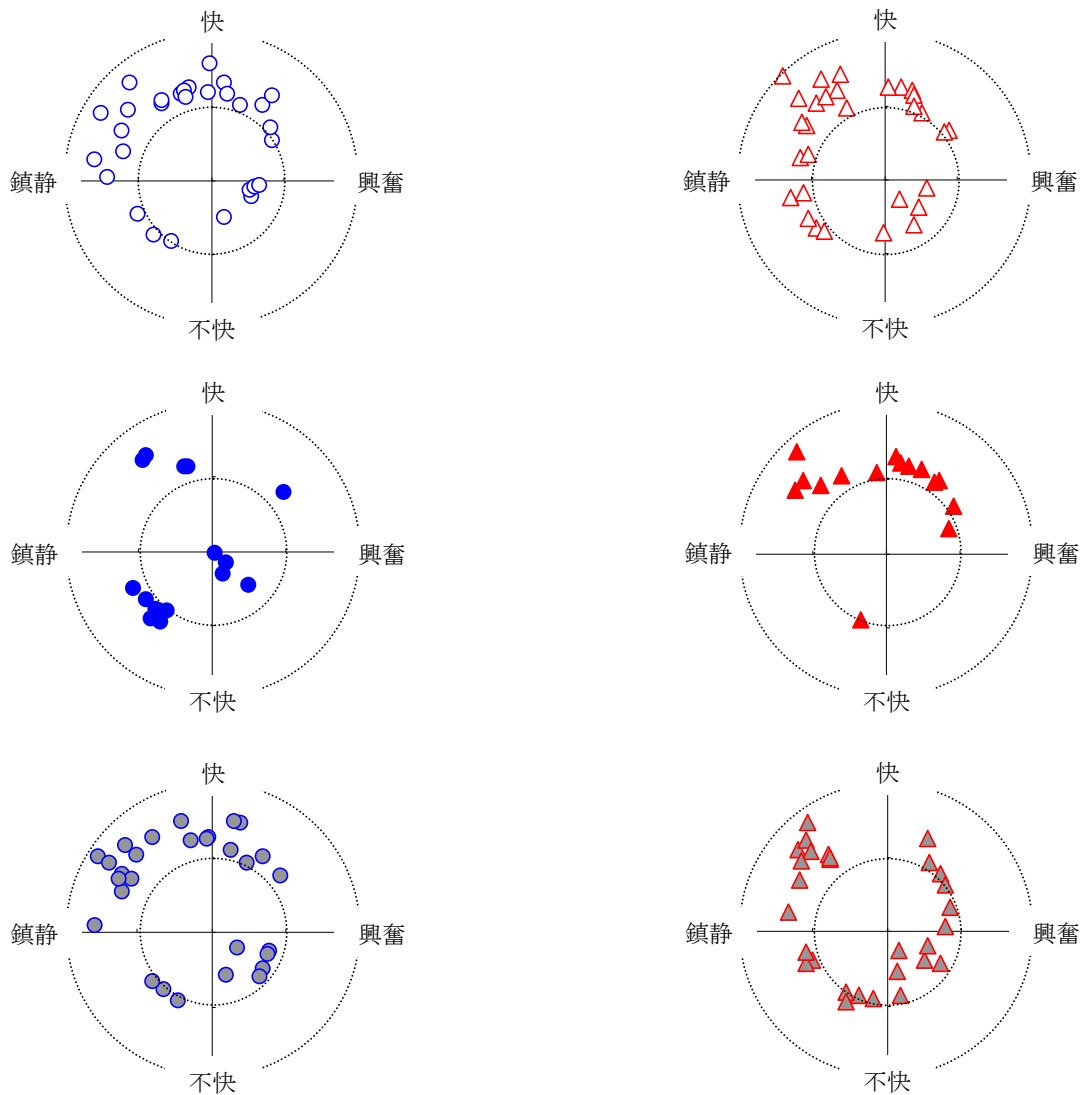


図 5.2.1 快適度評価モデルによる怖い音・心地よい音刺激に対する心理状態 (Sub. B)

○ 怖い音聴取前 ● 怖い音聴取時 ⊙ 怖い音聴取後
 △ 心地よい音聴取前 ▲ 心地よい音聴取時 ▴ 心地よい音聴取後

表 5.2.1 各象限に入った点数の割合 (%) (Sub. B)

	怖い音				心地よい音			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
前安静	23.3	50	10	16.7	26.7	40	20	13.3
音聴取	6.7	26.7	40	26.7	53.3	40	6.7	0
後安静	20.7	48.3	10.3	20.7	20.7	34.5	24.1	20.7

表 5.2.2 音刺激聴取前、中、後の快の度合及び興奮の度合 (%) (Sub. B)

	快の度合 (%)			興奮の度合 (%)		
	前安静	音聴取	後安静	前安静	音聴取	後安静
怖い音	73.3	33.3	69.0	40	33.3	41.4
心地よい音	66.7	93.3	55.2	40	53.3	41.4

次に、怖い音と心地よい音に対する快適度 (L) の 20 秒ごとの変化を図 5.2.2 と図 5.2.3 の a に示す。快適度 (L) は快適度円平面の中心から評価点までの距離の長さである。快適度の長さは 0 から 100 までの範囲で変動し、長いほど快適感が強くなり（より快・沈静の状態）、短いほど快適感が弱くなっている（より不快・興奮の状態）と考える。また、前安静時、音呈示時、後安静時に対してそれぞれ快適度の四分位点 (Q3、中央値、Q1) そして最大値、最小値をあらわす箱ひげを図 5.2.2 と図 5.2.3 の b に示す。それらの値を表 5.2.3 に示す。怖い音を聴取しているときに快適度が減少、心地よい音を聴取しているときに快適度が増える傾向がみられる。

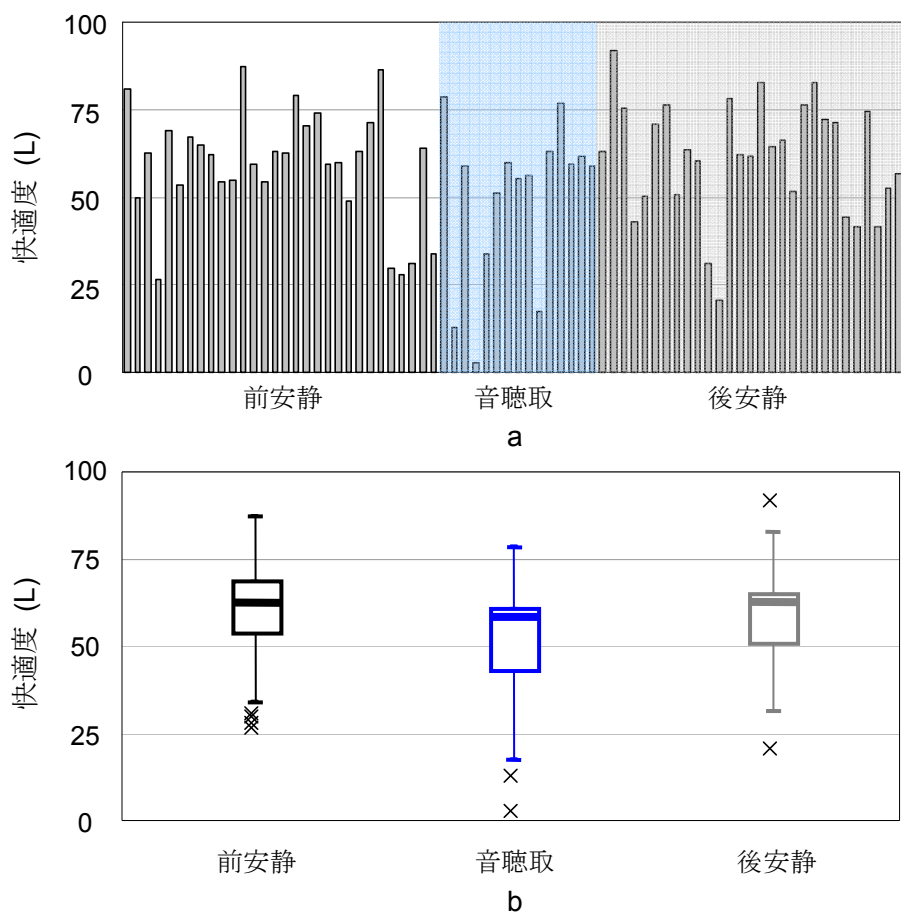


図 5.2.2 怖い音刺激に対する快適度の変化 (Sub. B)

(a) : 20 秒ごとの変化 (b) : 前安静、音聴取、後安静時ごとの変化

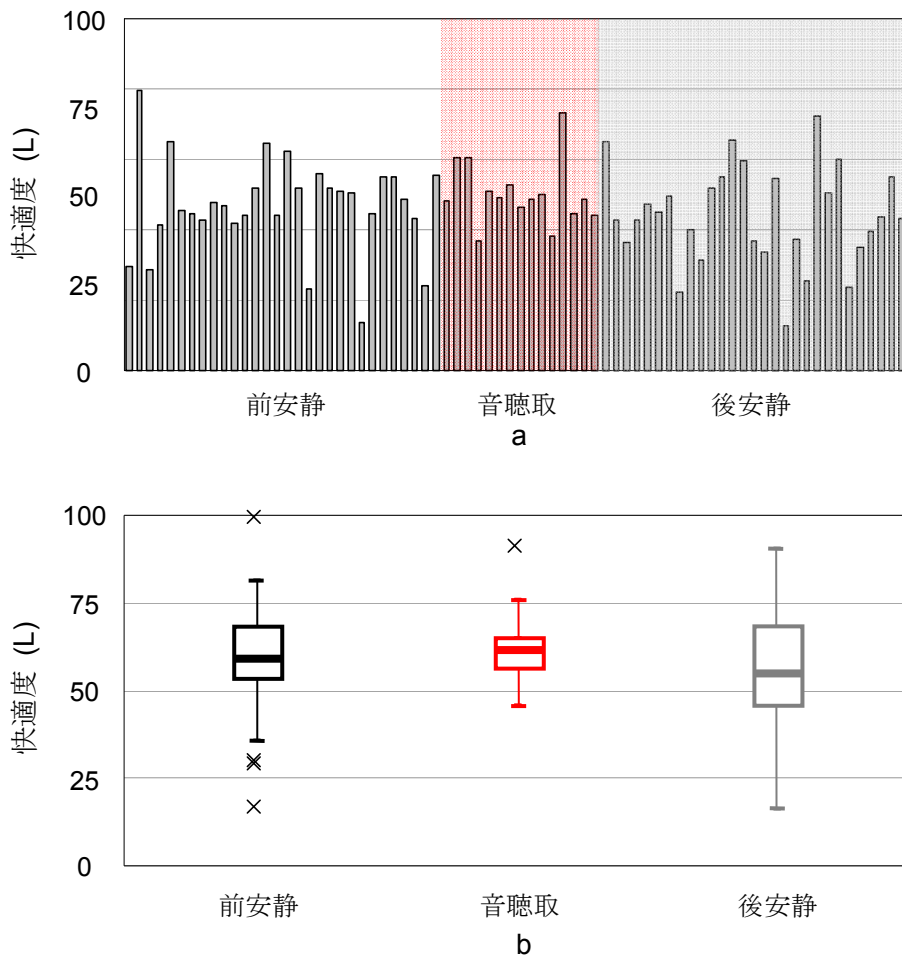


図 5.2.3 心地よい音刺激に対する快適度の変化 (Sub. B)
 (a) : 20 秒ごと (b) : 前安静、音聴取、後安静時ごと

表 5.2.3 音刺激聴取前、中、後の快適度の四分位点の値 (Sub. B)

	怖い音			心地よい音		
	前安静	音聴取	後安静	前安静	音聴取	後安静
最大値	87.3	78.4	82.5	81.1	75.8	90.3
Q3	68.5	60.8	64.5	67.7	64.8	68.0
中央値	62.1	58.7	62.9	58.9	61.0	54.2
Q1	53.6	42.5	50.8	53.6	56.8	45.7
最小値	33.7	17.6	31.3	35.8	45.8	15.9

図 5.2.4 に怖い音と心地よい音に対して前安静時を基準とした音聴取時の被験者全員の心理状態の変化（快の度合と興奮の度合）を同様に四分位の表示（箱ひげ図）を用いて示す。青いほうは怖い音、赤いほうは心地よい音の結果をそれぞれ示す。「×」の印は上限や下限の範囲外にある外れ値を示す（怖い音：5 人；心地よい音：2 人）。横軸に興奮度の変化、縦軸に快度の変化をそれぞれあらわす。また、横軸や縦軸が「0」ところは、興奮の度合や快の度合は前安静時より変化がないと考える。値がプラスであれば興奮の度合や快の度合は前安静時より増加し、値がマイナスであれば前安静時より減少すると考える。興奮度の変化は怖い音聴取時の中央値はなど変化していないが、心地よい音では若干減少している。一方で快度の変化には二つの音刺激による異なった傾向がみられる。怖い音を聴取しているときに快の度合が減少、心地よい音を聴取しているときに快の度合が増加したことがわかる。次に、快の度合と興奮の度合の変化を分けて二つの音刺激による効果を比較してみる。

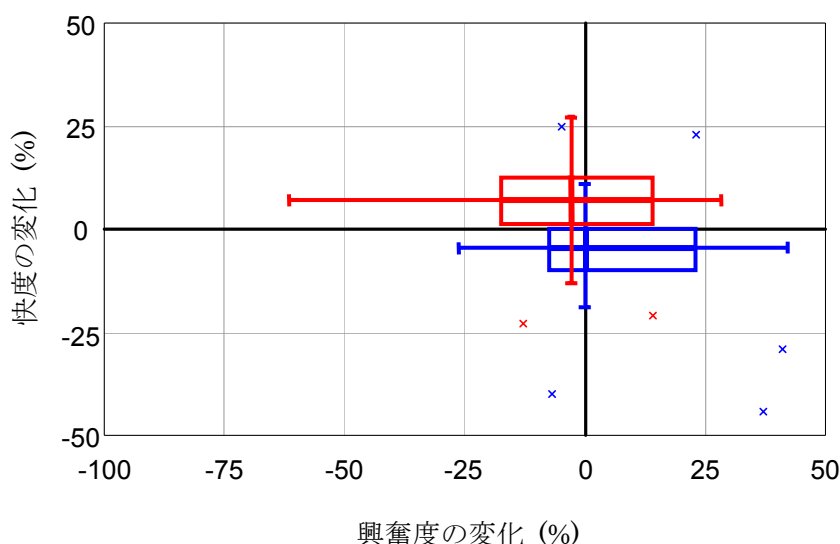


図 5.2.4 怖い音刺激と心地よい音刺激に対する心理状態（快度、興奮度）の変化 (n=26)

— 怖い音 — 心地よい音 ×× はずれ値

怖い音と心地よい音に対する前安静時、音聴取時、後安静時の快の度合または興奮の度合の平均を図 5.2.5 の上図と下図に示す。また、各状態の快の度合と興奮の度合の値を表 5.2.4 と 5.2.5 に示す。表 5.2.4 より、怖い音を聴取しているときに快の度合は 60.6%から 56.1%までさがり、心地よい音を聴取しているときに快の度合は 57.8%から 65.6%まであがった。さらに、二つの音刺激に対して、状態（前安静、音聴取、後安静）を一つの要因とした一元分散分析の結果より、快の度合の有意な変化がみられた。そして、音刺激の種類（怖い音、心地よい音）をもう一つの要因として加えた二元分散分析の結果から、二つの要因との間の交互作用がみられたので、音刺激の違いによって心理状態へ異なる効果を与えたのでは

ないかと考える。しかしながら、表 5.2.5 より、いずれの音刺激に対しても興奮の度合の有意な変化はみられなかった。次に、二種類の音刺激に対する心理状態を被験者ごとに調べてみる。また、前安静時の心理状態のレベルそして主観的評価の結果を合わせて個人差に影響を与える可能な要因を検討する。

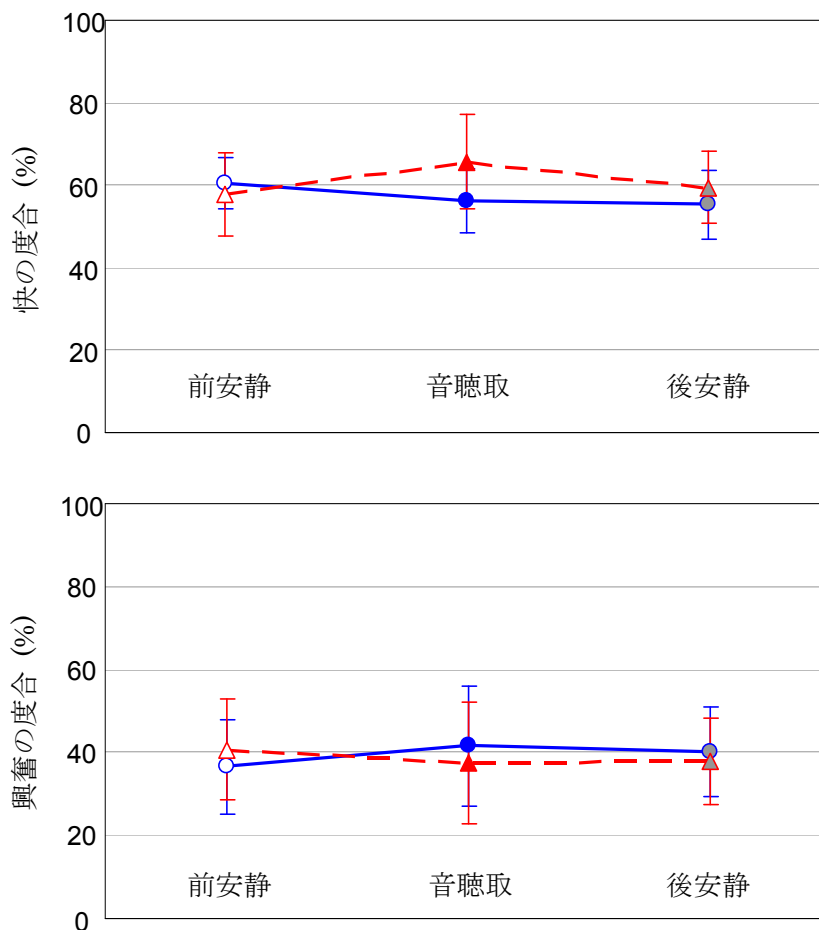


図 5.2.5 怖い音刺激と心地よい音刺激に対する快の度合（上）と興奮の度合（下）（n=26）

○ 怖い音聴取前 ● 怖い音聴取時 ◐ 怖い音聴取後
 △ 心地よい音聴取前 ▲ 心地よい音聴取時 ◑ 心地よい音聴取後

表 5.2.4 音刺激に対する前安静、音聴取、後安静時の快の度合（n=26）

状態	前安静 (M±SD)	音聴取 (M±SD)	後安静 (M±SD)	F	p
怖い音	60.6±6.2	56.1±7.8	55.2±8.4	8.907	.002
心地よい音	57.8±10.1	65.6±11.4	59.5±8.8	7.825	.003
音×状態				7.394	.002

表 5.2.5 音刺激に対する前安静、音聴取、後安静時の興奮の度合 (n=26)

状態 音	前安静 (M±SD)	音聴取 (M±SD)	後安静 (M±SD)	F	p
怖い音	36.6±11.4	41.6±14.5	40.2±10.8	1.123	.342
心地よい音	40.7±12.1	37.5±14.7	37.8±10.4	.457	.639
音×状態				1.385	.260

5.2.2 個人差に影響を及ぼす可能な要因

図 5.2.6 に二種類の音刺激に対する心理状態の被験者ごとの対応関係を示す。青い丸印は怖い音、赤い三角印は心地よい音をあらわす。怖い音と心地よい音に対する心理状態の変化をあらわす二つの印を被験者ごと結ぶ、さらに、快の度合と興奮の度合を分けて、怖い音と心地よい音に対する心理状態の変化の比較を図 5.2.7 に示す。

怖い音を聴取しているときに快の度合が減少し、心地よい音を聴取しているときに快の度合が増加したのは 26 人中 12 人であり、怖い音を聴取しているときに快の度合の変化はなく、心地よい音を聴取しているときに快の度合が増加した被験者は 4 人である。また、二つの音刺激に対して快の度合が同時に増加あるいは減少した被験者はそれぞれ 4 人である。怖い音を聴取しているときに快の度合が減少し、心地よい音を聴取しているときに快の度合の変化はなかった被験者は 1 人である。怖い音を聴取しているときに快の度合が増加し、心地よい音を聴取しているときに快の度合が減少した被験者は 1 人である。

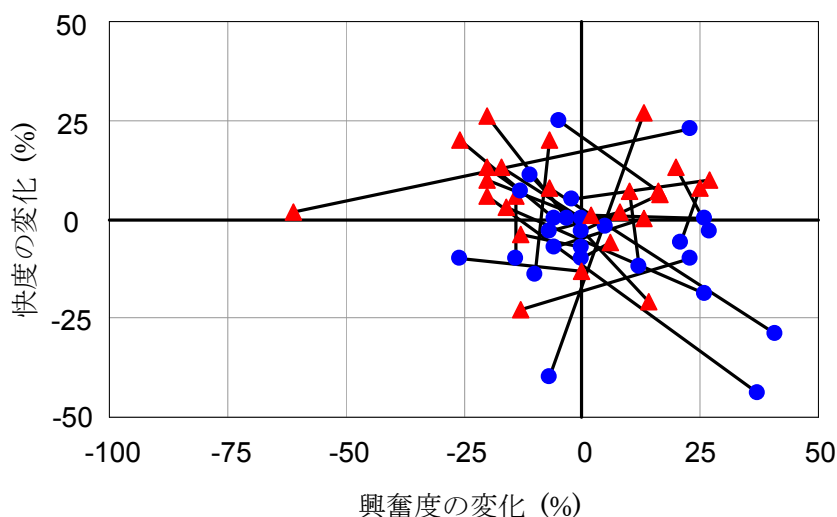


図 5.2.6 二種類の音刺激に対する心理状態の対応関係 (n=26)

● 怖い音 ▲ 心地よい音

二種類の音刺激に対して興奮の度合が増加した被験者は 4 人であり、怖い音を聴取しているときに興奮の度合が増加し、心地よい音を聴取しているときに興奮の度合が減少した

被験者は 6 人である。怖い音を聴取しているときに興奮の度合の変化がなく心地よい音を聴取しているときに興奮の度合が増加あるいは減少した被験者はそれぞれ 2 人がいた。怖い音を聴取しているときに興奮の度合が減少した 12 人のうち、心地よい音を聴取しているときに、興奮の度合が増加した被験者は 6 人であり、減少した被験者は 5 人であり、変化がなかった被験者は 1 人であった。

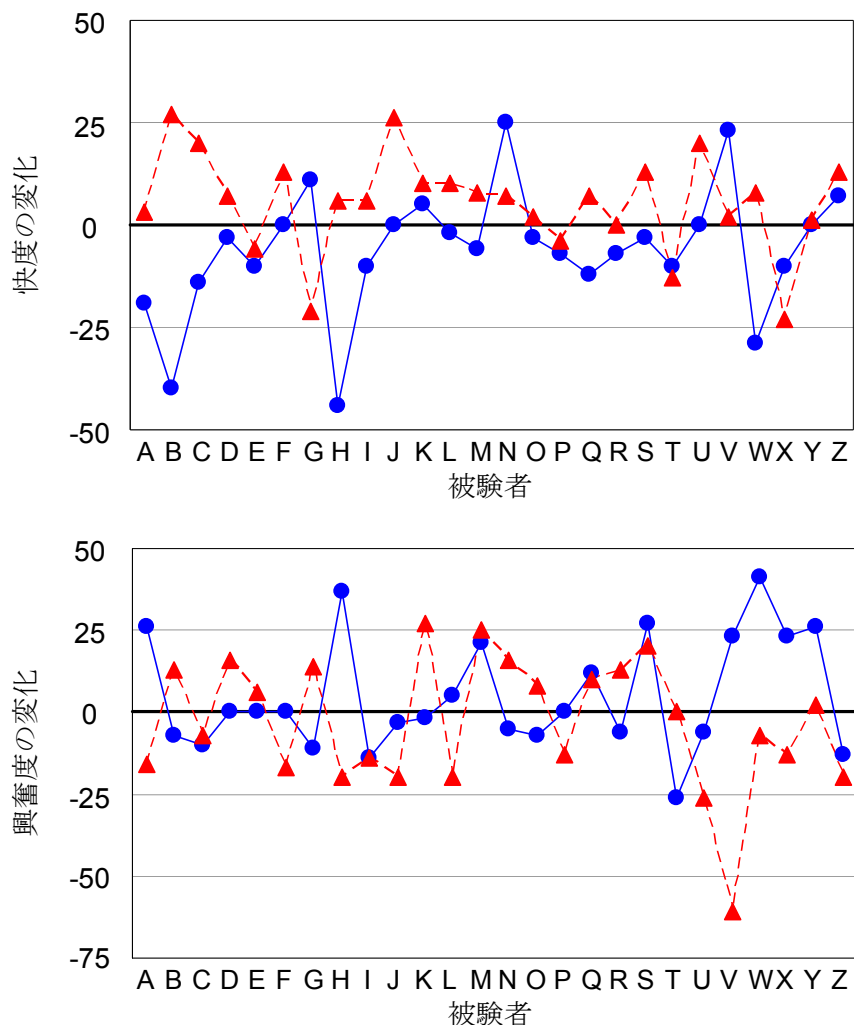


図 5.2.7 二種類の音刺激に対する快感の変化（上）と興奮度の変化（下）の比較

● 怖い音 ▲ 心地よい音

次に、二種類の音刺激に対する反応の個人差に影響を与える可能な原因に関して、前安静時の心理状態のレベル、刺激に対する主観的評価などの面から検討する。

(A) 怖い音刺激

次に、快適度評価法を用いた怖い音刺激に対する快度の変化とその音刺激聴取前の安静時の快の度合のレベル（水準）（図 5.2.8）、アンケートを用いた音刺激に対する主観的評価（図 5.2.9）を示す。

怖い音を聴取しているときに前安静時を基準として快の度合が増加したのは 5 人いた。それらの 5 人をグループ c とした。また、それらを除いた後の 21 人の被験者を、快度の変化の中央値によってさらに二つのグループに分けた。中央値より変化の程度が大きかったのをグループ a（被験者人数：10 人）とし、ほかの被験者をグループ b（被験者人数：11 人）とした。図 5.2.8 と 5.2.9 の横軸にグループ a、b、c の順で示す。各グループに対応するデータ表示の領域を薄い青、ピンク、オレンジ色で塗った。青い丸（●）は快適度評価法による音聴取時の快度の変化（左側）を、白い丸（○）は被験者の前安静時の快の度合（前安静時の水準、右側）を示している（図 5.2.8）。

図 5.2.8 に示すように、前安静時の快の度合に関して、グループ a と b の値はばらついてはいるが、怖い音聴取時に快の度合が増加したグループ c に較べて、より高い水準にあった。各グループの快度の変化とそれらの前安静時の水準、または各グループ間の有意差の検定結果を表 5.2.6 に示す。前安静時の快の度合は、グループ a は $64.1 \pm 6.9\%$ 、グループ b は $59.5 \pm 6.5\%$ 、グループ c は $54.0 \pm 3.9\%$ である。また、グループ間の有意差の検定結果によって、グループ a と c との間に快の度合の水準に有意な差がみられた ($t(13) = 2.84, p < .01$)。怖い音刺激に対して快の度合が比較的に大きく減少したグループ a のほうが前安静時ではより高い水準の快の度合を持っていたことがわかる。

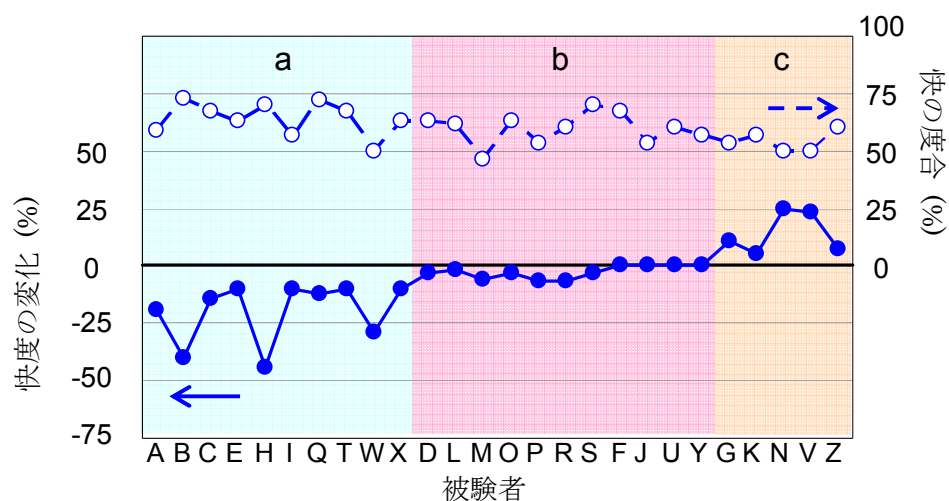


図 5.2.8 怖い音刺激に対する快度の変化と前安静時の快の度合 (n=26)

● 快度の変化 ○ 前安静時の快の度合

表 5.2.6 怖い音に対するグループ a、b、c の快度の変化と前安静時の水準の比較

グループ		グループ a (M±SD)	グループ b (M±SD)	グループ c (M±SD)
快度の変化 (%)		-19.8±12.5	-2.8±2.7	14.2±8.3
前安静時の水準 (%)		64.1±6.9	59.5±6.5	54.0±3.9
有意差 検定	グループ a		t(19) = 1.51, p= 0.07	t(13) = 2.84, p<.01
	グループ b			t(14) = 1.62, p= 0.06
	グループ c			

図 5.2.9 に被験者ごとの快度の変化とアンケートの各尺度の主観的評価値の比較を示す。また、各主観的評価尺度に対するグループ a、b、c の評価値を表 5.2.7 に示す。図 5.2.9 の左側の縦軸は前安静時を基準とした怖い音聴取時の快度の変化（図中の青い丸●）を示し、右側の縦軸は音刺激に対する主観的評価（図中の青い十字+、上へいくほどよりポジティブなイメージ、下へいくほどよりネガティブなイメージを表す）を示す。また、真ん中にある黒い直線は“快度の変化なし”及び“どちらでもない（主観的評価）”を示す。主観的評価値では大きなバラツキがみられる。快度の変化と主観的評価の結果は必ずしも一致しているわけではない。たとえば、怖い音聴取時に快の度合の減少を示した被験者 B と被験者 H がいた。それらの二人の被験者の主観的評価を比較してみると、被験者 B は怖い音に対して、かなりの「不快」、「興味ない」、「つまらない」、「嫌い」、「怖い」と評価したが、被験者 H のほうは、やや「不快」、「興味ない」、「つまらない」、「嫌い」と評価し、「安らか—怖い」の尺度では「どちらでもない」と評価した。そして、被験者 H はあまり怖く感じていないことがわかる。怖い音聴取時に 5 人において快の度合が増加した。そのうちの被験者 K は、やや「不快」と感じたが、同時に怖い音に対して「興味ある」を示し、「つまらない」も「嫌い」も感じなく、やや「安らか」と感じた。被験者 K はこの怖い音刺激に対してそんなにネガティブなイメージを示していなかった。被験者 V と Z はやや「不快」、「嫌い」、「怖い」と評価し、被験者 V は「興味ない」を示し、この音刺激に関心を向けていなかった。被験者 G は「興味ある—興味ない」そして「楽しい—つまらない」の感情尺度では可否を示していなかったが、かなりの「不快」と「怖い」と評価した。

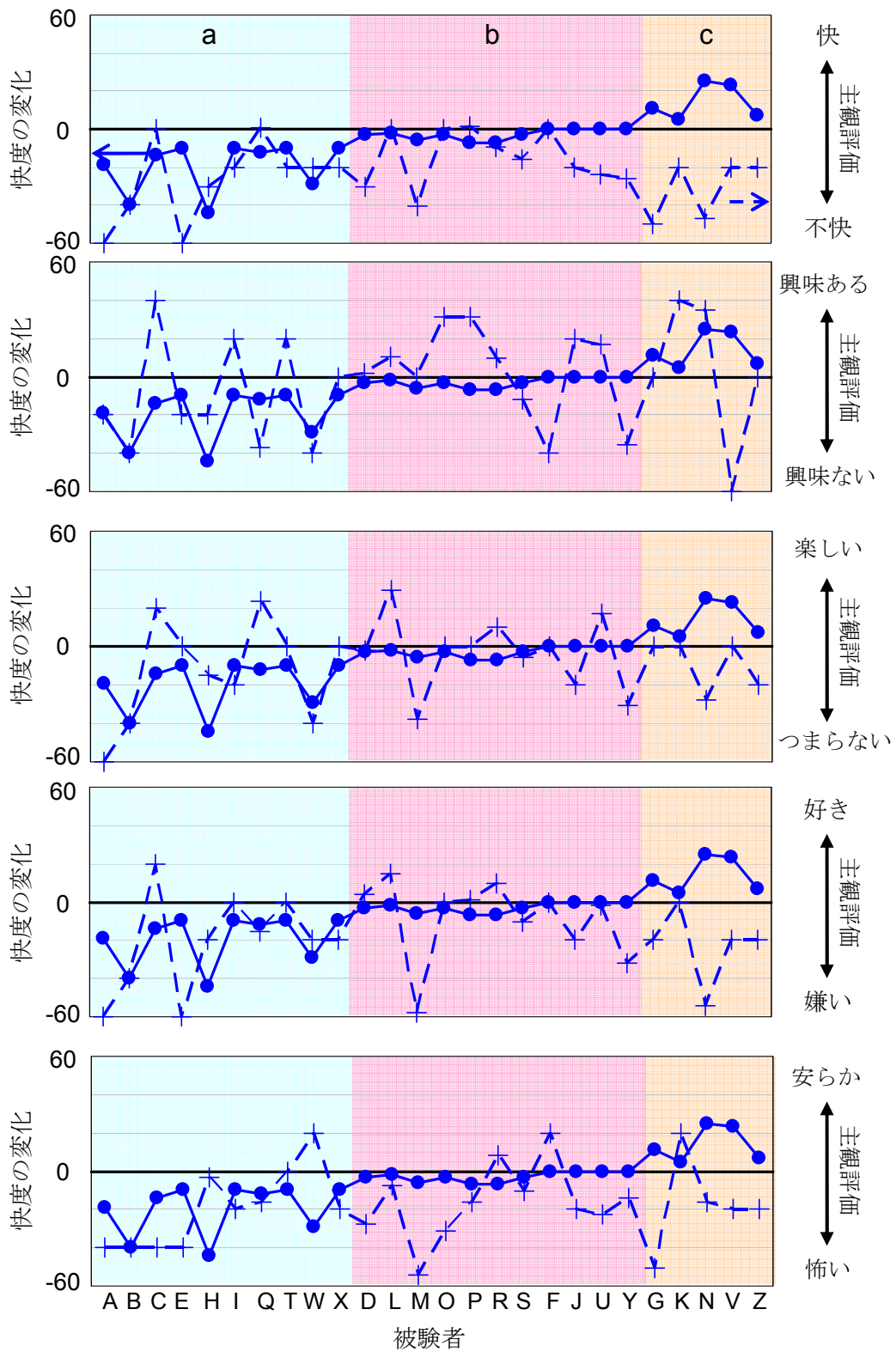


図 5.2.9 怖い音刺激に対する快度の変化と各尺度の主観的評価 (n=26)

● 快度の変化 + 主観的評価

表 5.2.7 各感情尺度に対するグループ a、b、c の主観的評価値（怖い音）

グループ \ 尺度	快— 不快	興味ある— 興味ない	楽しい— つまらない	好き— 嫌い	安らか— 怖い
グループ a	1.65±1.01	2.52±1.34	2.34±1.29	1.92±1.22	2.00±0.99
グループ b	2.25±0.69	3.15±1.14	2.82±0.94	2.58±1.00	2.20±0.94
グループ c	1.43±0.70	3.15±1.78	2.52±0.60	1.86±0.87	2.13±1.12
F	1.981	.590	.485	1.137	.095
p	.161	.562	.622	.338	.910

グループ a、b、c の各被験者の心理状態の一分間ずつの変化をそれぞれ図 5.2.10、5.2.11、5.2.12 に示す。各円平面に入った点を、クラスター分析を用いて幾つかグループに分類することによって被験者達の心理状態がどこに集中しているか調べる。また、それぞれのグループに対して、各一分間の被験者達の心理状態の分布の中心点（横軸座標と縦軸座標の各自の中央値）を求め、音聴取 5 分間の計 5 点を図 5.2.13 に示す。番号 1~5 は音聴取時間の第 1 分間~第 5 分間を示す。黒い矢印は点の移動方向を示す。これらのグラフによって、各グループの音刺激の聴取時間の経過に沿った心理状態の変化がみられ、各グループの感じ方の違いの比較もできる。

また、同じグループにおいても、音刺激に対する感じ方或は感情の調節に差がみられる。たとえば、グループ a に、怖い音を聴取し始めた 1 分後から、被験者 H と I はネガティブな心理状態となった様子がみられ、最後の一分間では、被験者 H はまだ不快の心理状態にあったが、被験者 I の感情状態は快への回復がみられる。総体的な変化をみると、音呈示後の最初の一分間では、三つのグループともに、快適度円平面の四つの象限にばらついて分布しているが、快や鎮静の領域に入った点数がより多かった。次の一分間（第二分間）では、グループ a のうちの多くは右側の興奮の領域、特に第四象限の不快・興奮の領域に移動しているようみられる。第二象限の快・鎮静の領域の点数がかなり減っている。グループ b も似たような傾向を示しているが、右側の興奮の領域特に第四象限に点が集中している。しかし、グループ c においてはこの時間帯ではこのような変化がみられなかった。被験者 V と G は不快の心理状態から快や鎮静状態となった様子がみられる。次の第三分間に、三つのグループともに快の領域に少し回復する様子がみられるが、グループ a のほうが快・鎮静の状態となった被験者（被験者 X）がいたが不快の領域に多くの点が集中していた。グループ c のうちの被験者 G は音聴取の最初の二分間ではより不快の心理状態となったが、それから快へ回復した様子がみられる。第四分間から第五分間にかけてグループ a は興奮の状態からその後は鎮静の状態となり、最後は不快・鎮静の領域の点が前の一分間より増えた。グループ b は最後の一分間では第四象限の不快・興奮の領域に入った点数が再び増えていた。時間と共に快・鎮静の心理状態へ回復した被験者 D、P、U がいたが、第四分間から第五分間にかけて被験者 F、O、R、T は不快の状態になった。グループ c は音聴取時の第三

分間から快や鎮静の領域に多く分布していた。

以上の結果によって、同じ怖い音に対しても被験者ごとに異なった心理状態の反応がみられた。音刺激に対する耐性にも個人差がみられた。

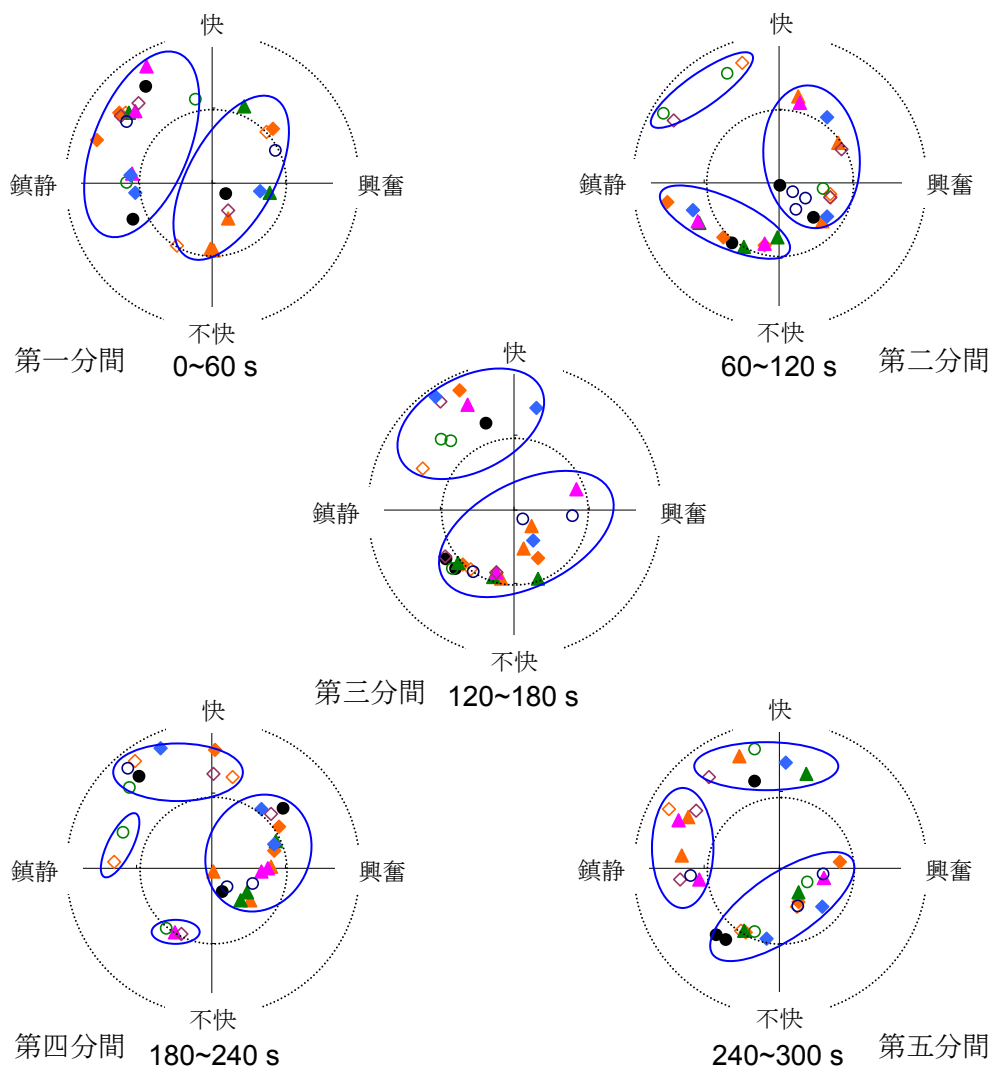


図 5.2.10 怖い音刺激に対するグループ a の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)

- ▲ Sub. A ● Sub. B ◇ Sub. C ◆ Sub. E ▲ Sub. H
 ▲ Sub. I ◇ Sub. Q ○ Sub. T ○ Sub. W ◆ Sub. X

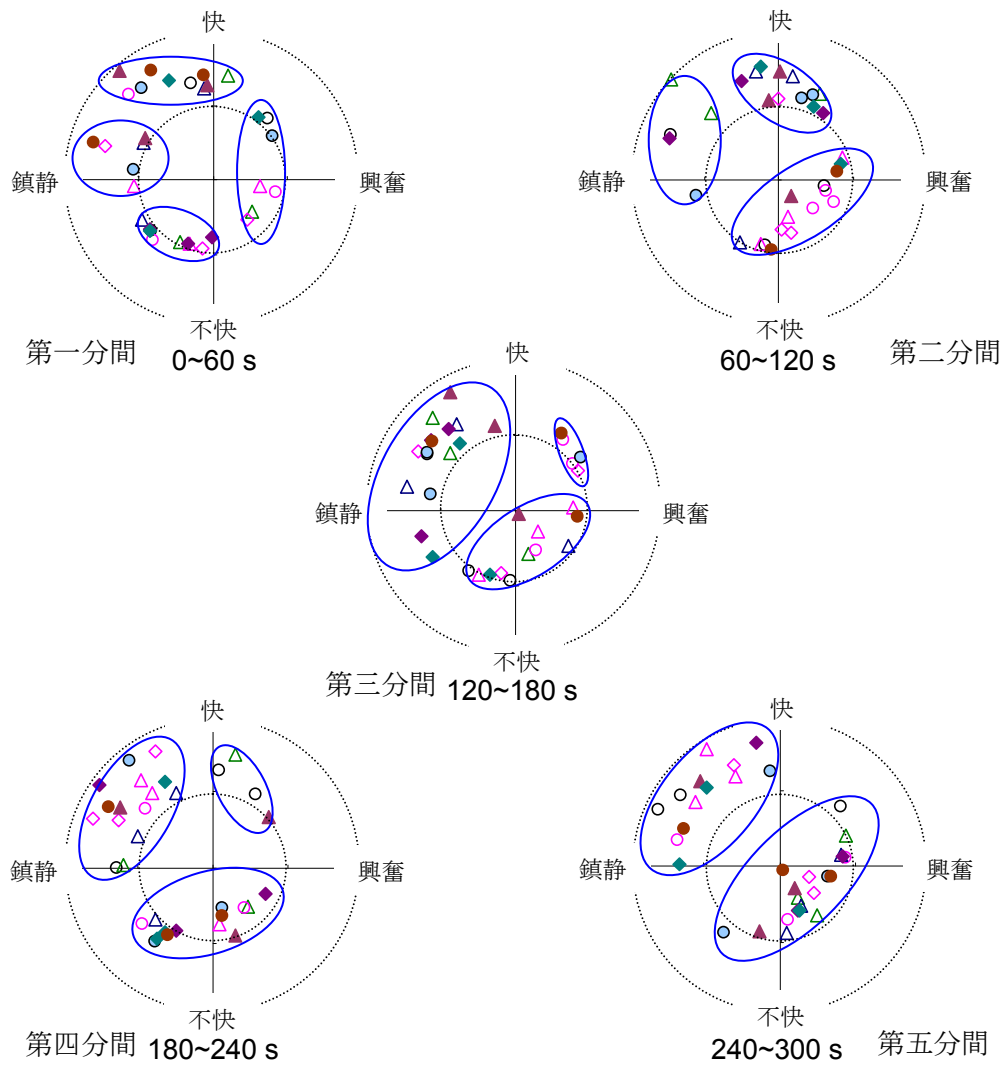


図 5.2.11 怖い音刺激に対するグループ b の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)

- Sub. D △ Sub. L ○ Sub. M △ Sub. O △ Sub. P
- ◇ Sub. R ● Sub. S ▲ Sub. F ◆ Sub. J ◆ Sub. U
- Sub. Y

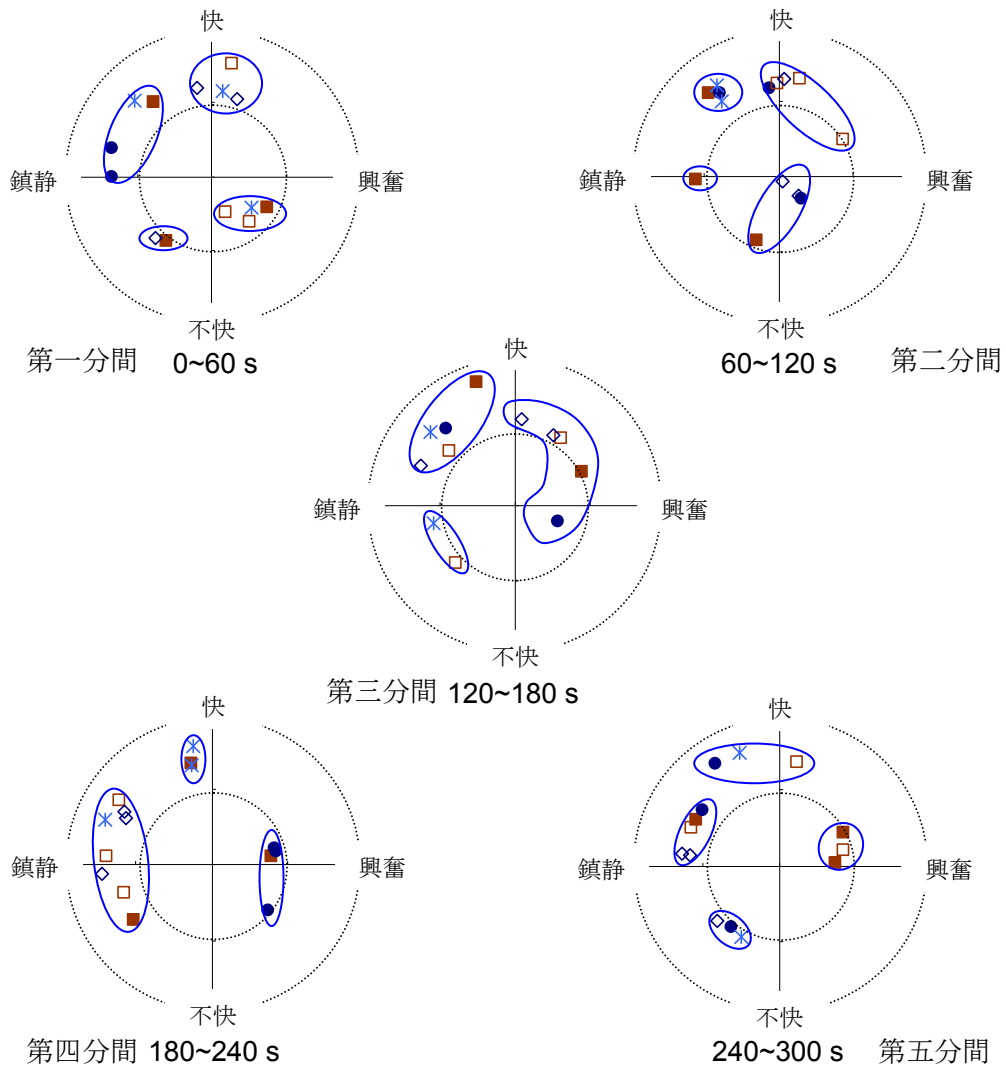


図 5.2.12 怖い音刺激に対するグループ c の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)

■ Sub. G ● Sub. K ✕ Sub. N □ Sub. V ◇ Sub. Z

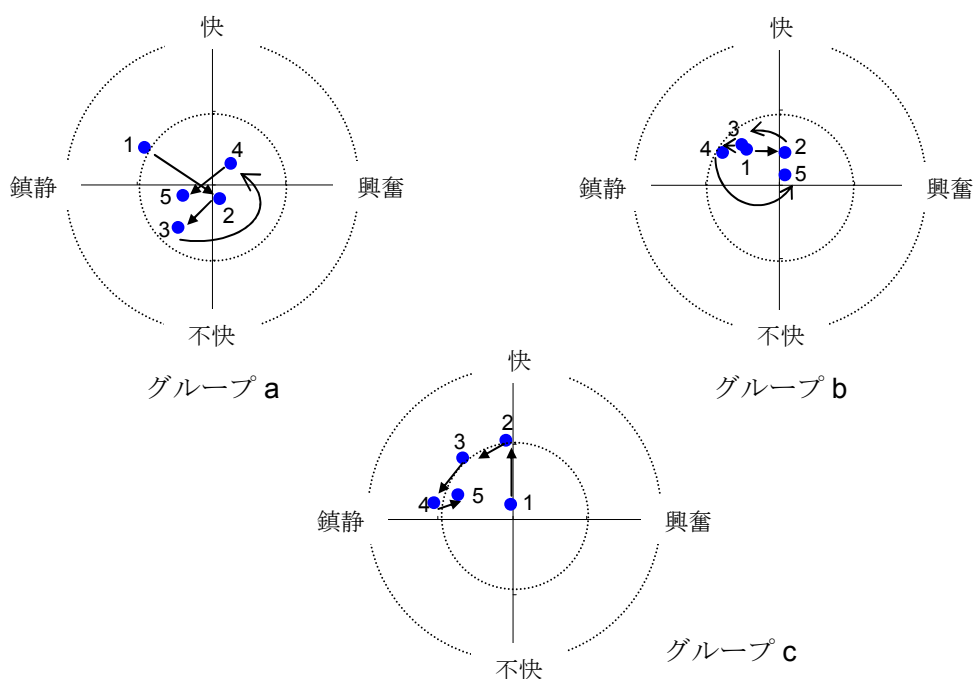


図 5.2.13 怖い音刺激に対するグループ a,b,c の一分ずつの心理状態の変化

(B) 心地よい音刺激

次に心地よい音の聴取時の前安静時の快の度合の水準と快度の変化（前安静時を基準とした）、及び主観的評価との比較を示す。心地よい音刺激に対して、快の度合が減少した被験者は 5 人がいた。その 5 人をグループ c とした。さらに、残りの 21 人の被験者を中央値によって二つのグループに分けた。中央値より快度の増加の程度が大きかったのはグループ a（被験者人数：9 人）とし、他の 12 人をグループ b とした。

怖い音刺激に対する結果の示し方と同様に、心地よい音刺激に対する被験者ごとの快度の変化（左側、▲）とそれらの前安静時の快の度合（前安静時の水準、右側、△）を図 5.2.14 に、快度の変化と主観的評価との比較を図 5.2.15 に示す。横軸にグループ a、b、c の順に示す。また、各グループの快度の変化と前安静時の水準を表 5.2.8 に示す。グループ a、b に較べて、グループ c はより高い水準にあったが、グループ c のうちの五人にはばらつきが大きくグループ a との間に有意な差がみられなかったが、傾向がみられた。グループ c のうちの被験者 P、T、X は前安静時に比較的に高い水準の快の度合を持っていた。

図 5.2.15 に、各被験者の快度の変化（左軸、▲）と主観的尺度の評価値（右軸、+）を示す。また、各感情尺度に対するグループ a、b、c の評価値の平均を表 5.2.9 に示す。快度の変化の程度と主観的評価値の高さは必ずしも一致しているわけではない。グループ a には、快度の増加は比較的大きく、主観的な尺度ではかなり「快」、非常に「興味ある」、「楽しい」、「好き」、「安らか」と評価した被験者（被験者 B）がいたし、快度の増加の程度は同様に比較的高かったが、やや「快」、「興味ある」、「楽しい」、「好き」と感じた被験者（被験者 J）

もいた。グループ c には、心地よい音刺激に対して、かなり「快」、「楽しい」、「好き」、「安らか」、そして非常に「興味ある」と感じた被験者（被験者 P）がいたが、やや「快」、「興味ある」、「好き」と評価し、そんなに「楽しい」と「安らか」と感じていなかった二人の被験者（被験者 T、X）がいた。

また、各グループに対して、音聴取時の一分間ごとの各被験者の心理状態を図 5.2.16、5.2.17、5.2.18 に示す。各円平面に入った点を、クラスター分析によって分類した。また、各一分間のすべての被験者の心理状態の中心（中央値）を求め、グループ a、b、c に対してそれぞれの五分間の心理状態の変化の様子を一つの円平面にまとめた結果を図 5.2.19 に示す。

グループ a の心理状態の変化は、第一分間から第二分間にかけて、快・興奮の領域に入った点数が増え、第二分間から第四分間にかけて興奮すると共に、円平面の上側にある快の領域に入った点数が増加した様子がみられる。音聴取の第五分間では、不快の領域に入った点数が少々増えたが、多くの点が依然として快の領域に集中していた。

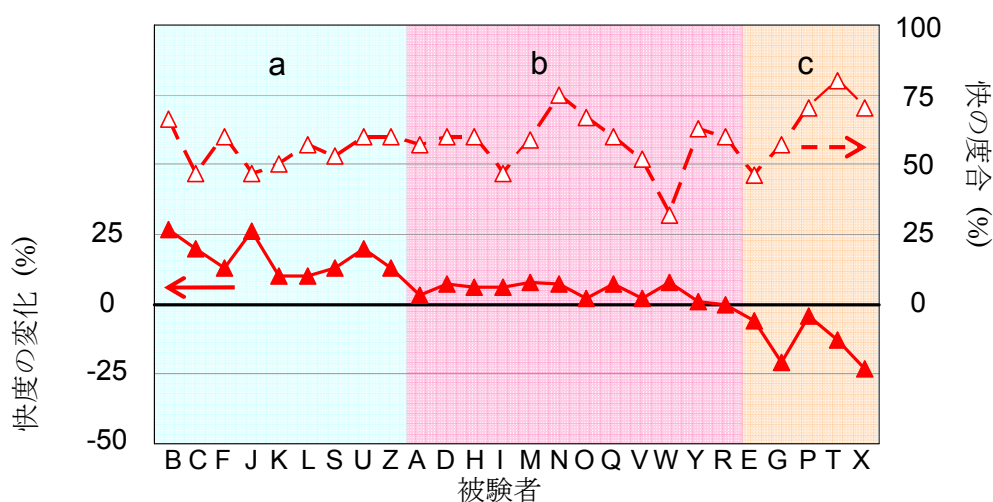


図 5.2.14 心地よい音刺激に対する快度の変化と前安静時の快の度合 (n=26)

▲ 快度の変化 ▽ 前安静時の快の度合

表 5.2.8 心地よい音に対するグループ a、b、c の快度の変化と前安静時の水準の比較

グループ	グループ a (M±SD)	グループ b (M±SD)	グループ c (M±SD)
快度の変化 (%)	16.9±6.2	4.8±2.8	-13.4±7.7
前安静時の水準 (%)	55.6±6.3	57.7±10.2	64.6±11.8
有意差 検定	グループ a	t(19)=-0.52, p=0.30	t(5)=-1.4, p=0.10
	グループ b		t(15)=-1.1, p=0.14
	グループ c		

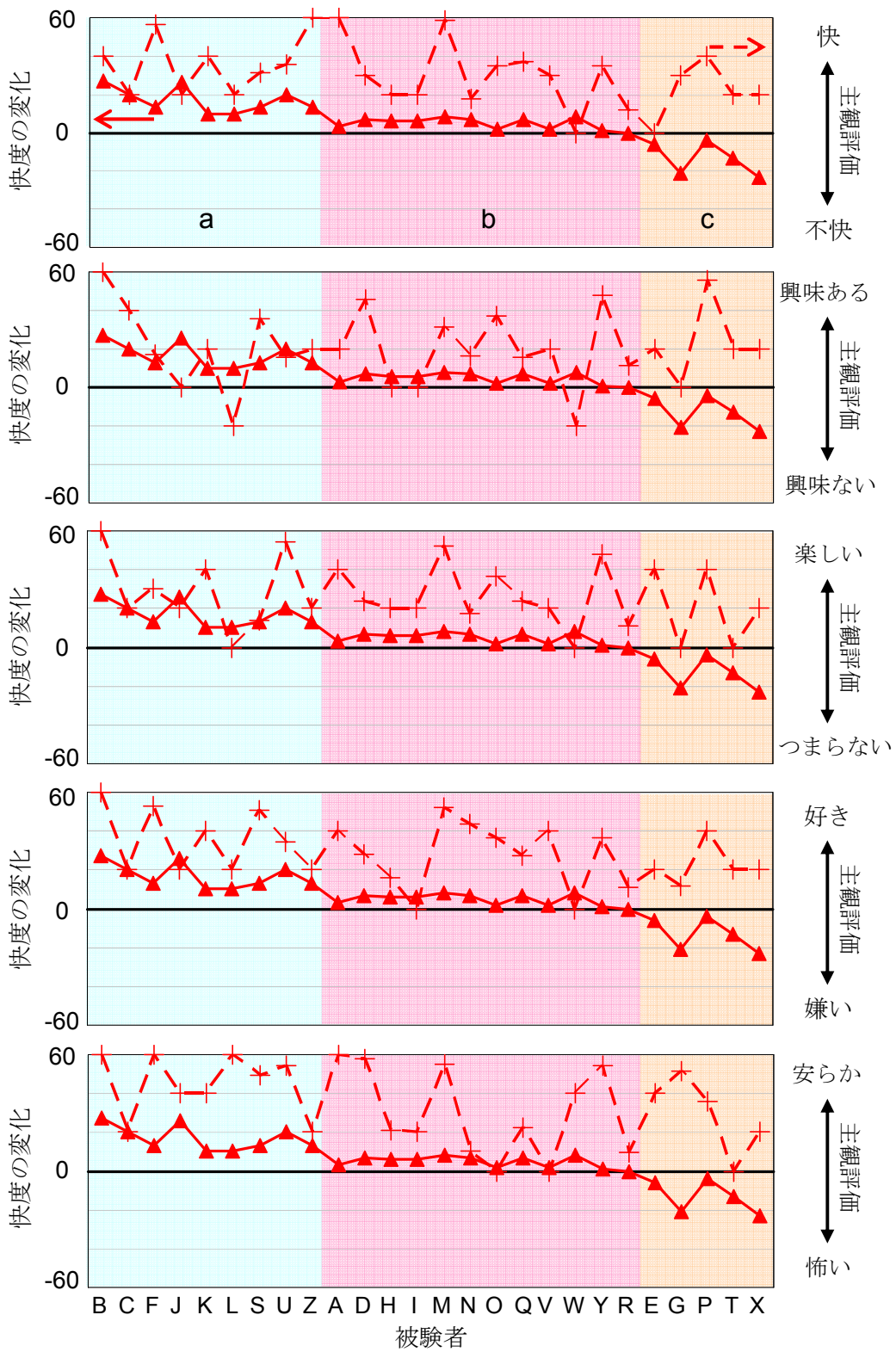


図 5.2.15 心地よい音刺激に対する快度の変化と各尺度の主観的評価 (n=26)

▲ 快度の変化 + 主観的評価

表 5.2.9 各感情尺度に対するグループ a、b、c の主観的評価値 (心地よい音)

グループ \ 尺度	快— 不快	興味ある— 興味ない	楽しい— つまらない	好き— 嫌い	安らか— 怖い
グループ a	4.79±0.71	4.05±1.09	4.43±0.92	4.77±0.77	5.24±0.76
グループ b	4.47±0.84	3.93±0.95	4.31±0.73	4.38±0.82	4.46±1.11
グループ c	4.1±0.66	4.15±0.90	4.00±0.89	4.11±0.47	4.47±0.89
F	1.194	.081	.389	1.194	1.715
p	.321	.923	.682	.321	.202

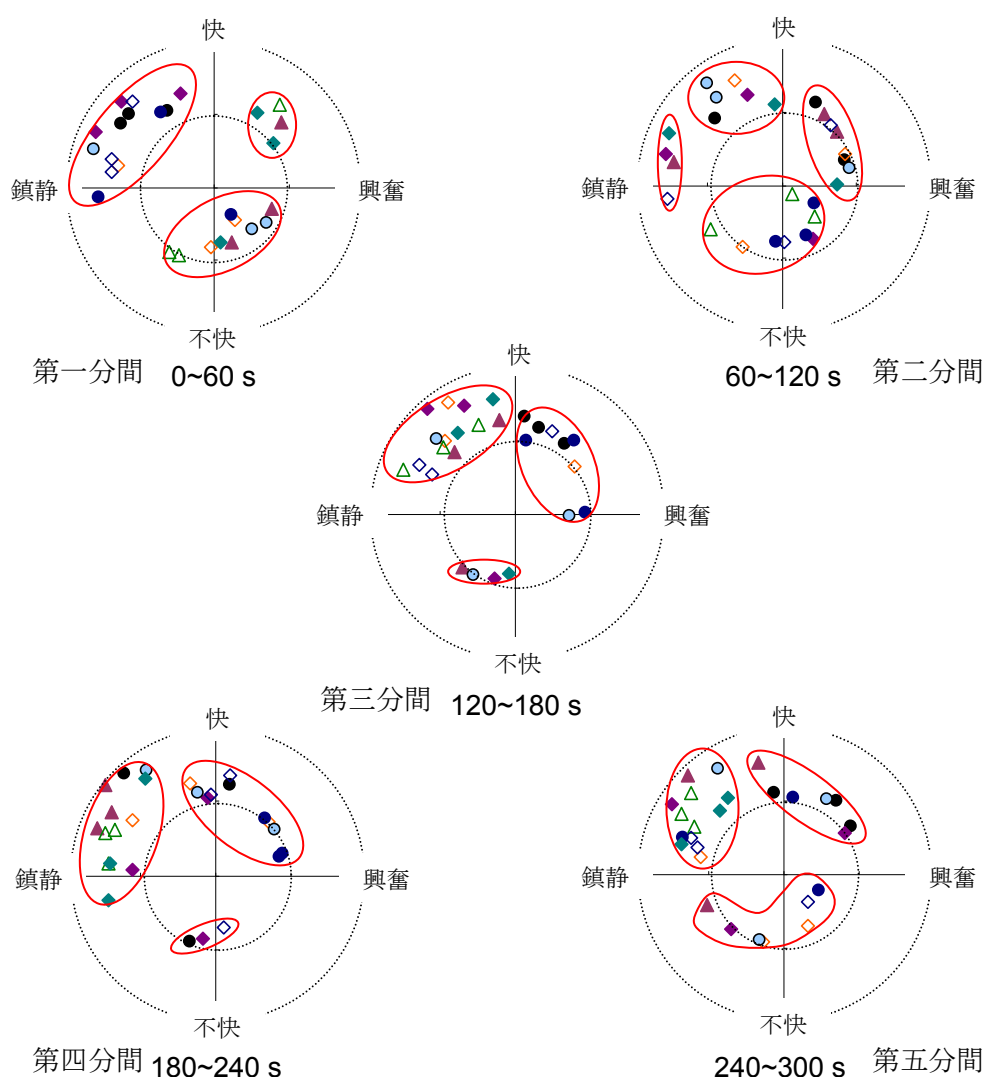


図 5.2.16 心地よい音刺激に対するグループ a の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)

- Sub. B
- ◇ Sub. C
- ▲ Sub. F
- ◆ Sub. J
- Sub. K
- △ Sub. L
- Sub. S
- ◆ Sub. U
- ◇ Sub. Z

グループ b の被験者達の音聴取時の一分ずつの心理状態の変化を図 5.2.17 に示す。最初の一分間では被験者達は四つの象限に分布し、快・鎮静の心理状態となった被験者もいたし、不快・興奮或は不快・鎮静の心理状態となった被験者もいた。音聴取の第二分間では、快の領域、特に第二象限の快・鎮静の領域の点数がかなり増え、多くの被験者達はより快の心理状態となったことが分かる。次の一分間では不快となった人数が増えたことで、快の領域に入った点数がその前の一分間より減ったが、鎮静の領域に集中していた。その次の第四分間では快の領域に入った点数が増え、快の心理状態となった人数が再び増えた。音聴取の最後の一分間では評価点は四つの象限に分布して、快の状態を保っていた被験者がみられるが、快の感情の強さが減って興奮や鎮静の状態が強くなった人数が増えた。

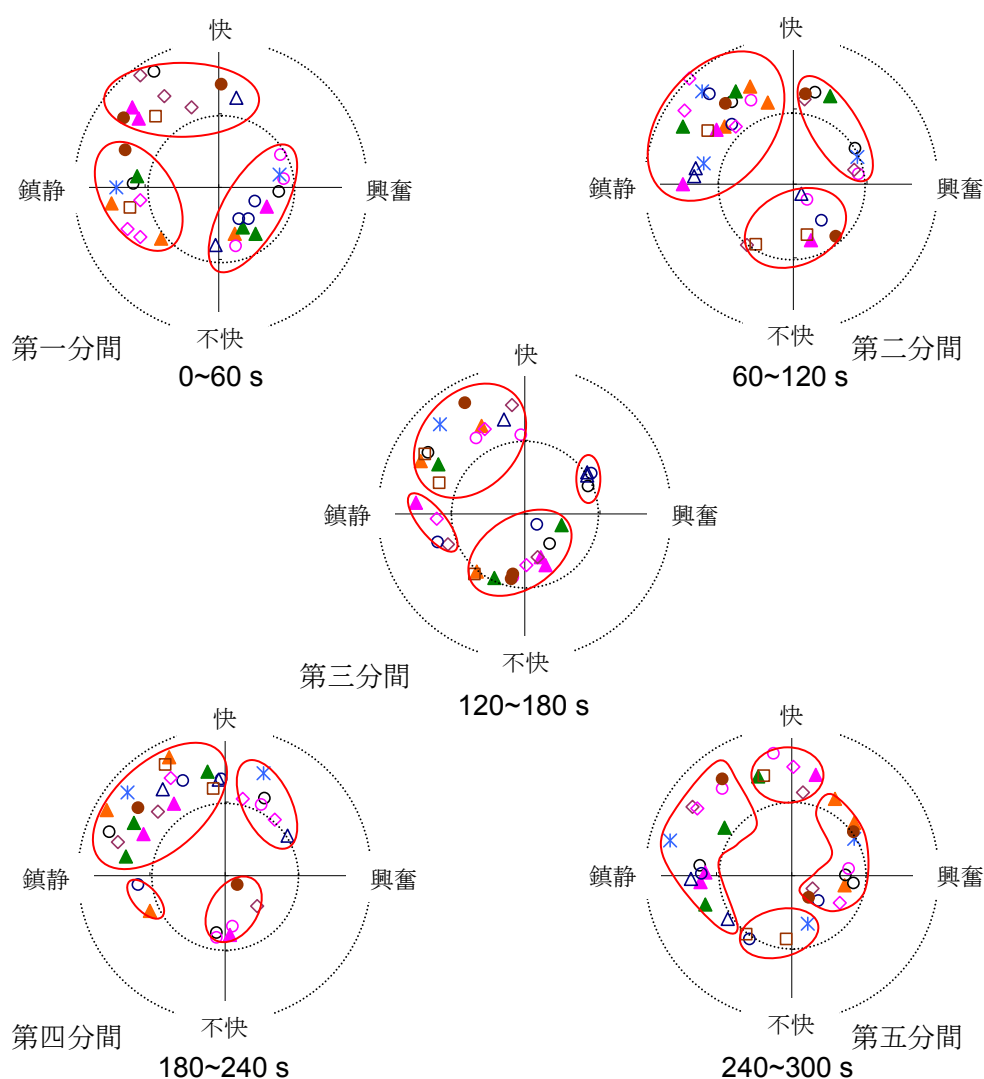


図 5.2.17 心地よい音刺激に対するグループ b の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)

- | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| ▲ Sub. A | ○ Sub. D | ▲ Sub. H | ▲ Sub. I | ○ Sub. M |
| ✕ Sub. N | △ Sub. O | ◇ Sub. Q | □ Sub. V | ○ Sub. W |
| ● Sub. Y | ◇ Sub. R | | | |

図 5.2.18 に、グループ c の被験者の音聴取時の一分ずつの心理状態の変化を示す。音聴取の最初の一分間では、多くの評価点は円平面の下半分の不快の領域に集中していた。その次の一分間では、多くの評価点は快の領域に移動した。音聴取の第三分間では被験者 E、G、T、X はその前の一分間に比べてより不快の領域に移動しながら、被験者 P はより快の状態となっていた。次の一分間では、より快の状態に変化した被験者がいた（被験者 E、P、T）し、不快の状態が続いたかまたは更に不快となった被験者がいた（被験者 G、X）。音聴取の最後の一分間では、被験者達はより鎮静の領域に集中していた。

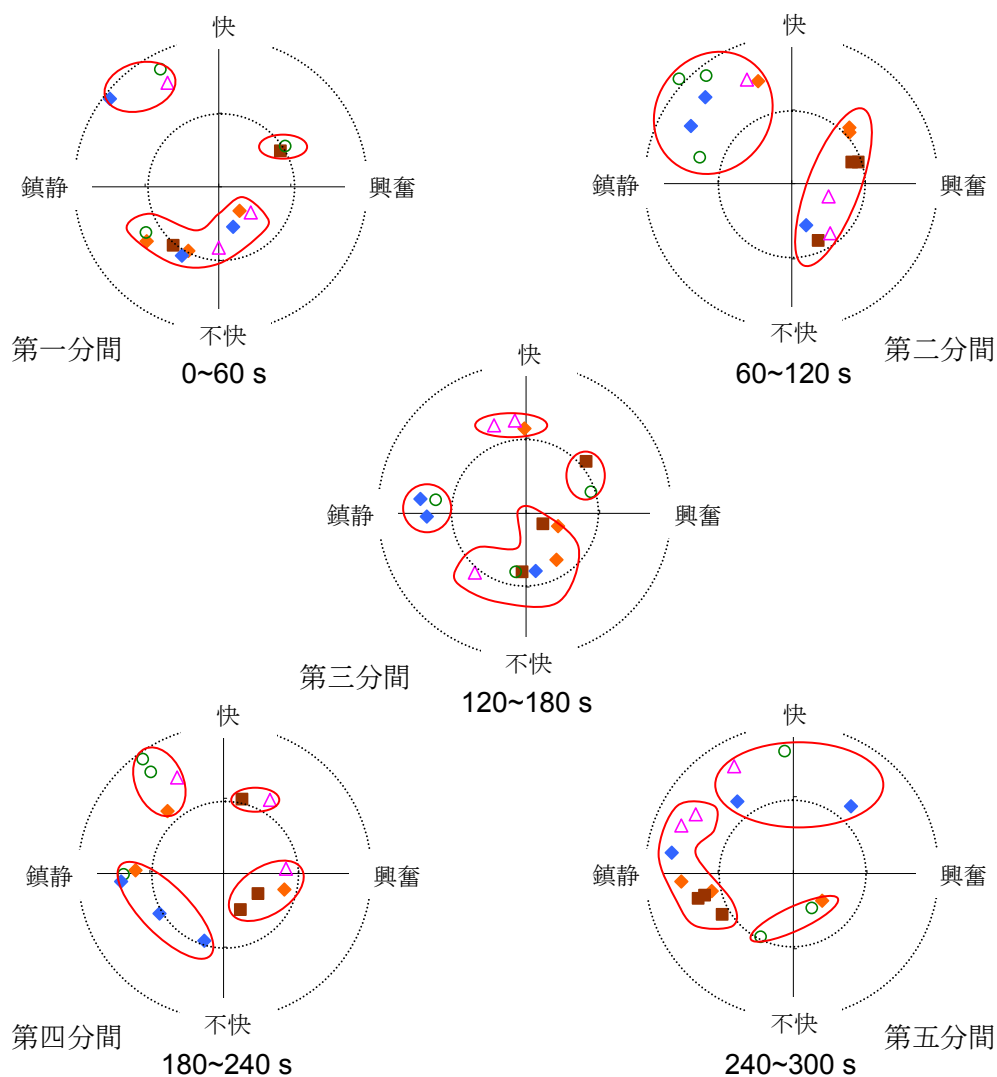


図 5.2.18 心地よい音刺激に対するグループ c の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)

◆ Sub. E ■ Sub. G ○ Sub. T △ Sub. P ◆ Sub. X

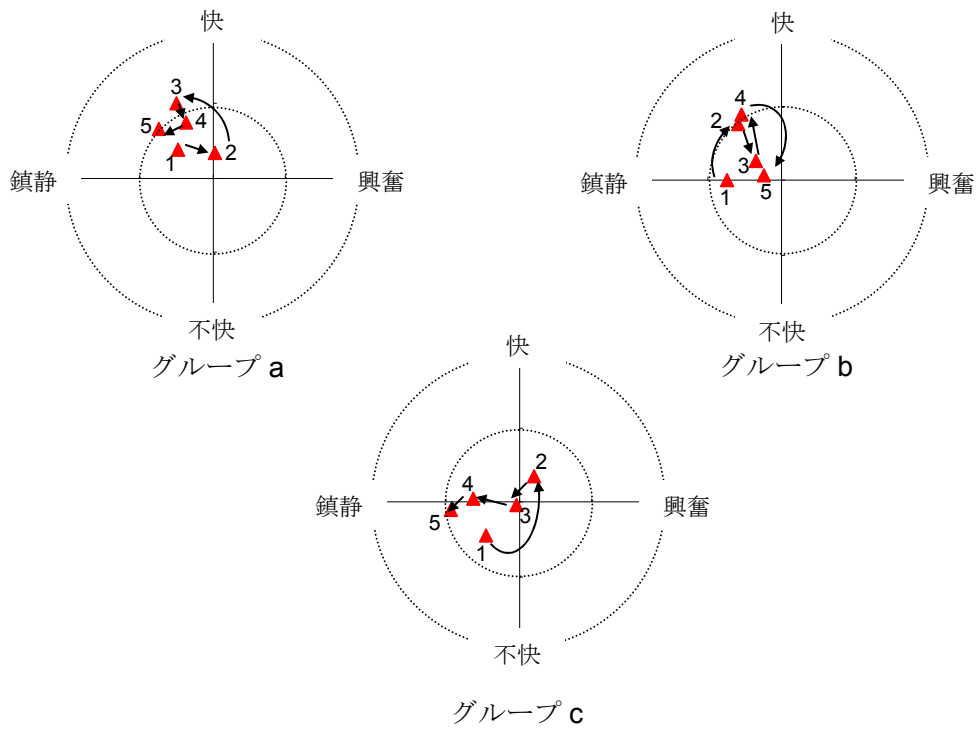


図 5.2.19 心地よい音刺激に対するグループ a,b,c の一分ずつの心理状態の変化

(C) 興奮度

怖い音と心地よい音に対する快度の変化と興奮度の変化（前安静状態を基準とした）を図 5.2.20 と図 5.2.21 にそれぞれ示す。横軸の被験者はグループ a、b、c の順であらわす。

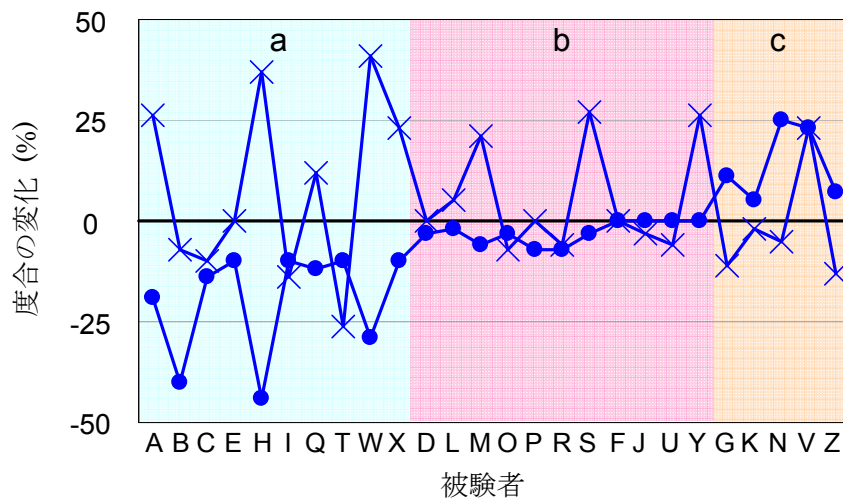


図 5.2.20 怖い音刺激に対する快度の変化と興奮度の変化

● 快度の変化 × 興奮度の変化

怖い音の聴取によって快度の変化がなかった被験者を除いた後は22人がいた。快の度合が減少した17人の内、8人はより不快そして高い覚醒状態（興奮が増えた）となり、6人はより不快そして低い覚醒状態（興奮が減少した）となり、3人はより不快となったが覚醒感の変化はなかった。快の度合が増加した5人の内の4人は覚醒感がより低くなっていて、一人だけが音の聴取によって覚醒感が高くなった。

心地よい音の聴取によって快度の変化がなかった被験者を除いた後は25人がいた。快の度合が増加した20人の内、11人はより快そして低い覚醒状態となり、そのほかの9人はより快そして高い覚醒感となった。快の度合が減少した5人の覚醒感の変化は、2人は覚醒感の増加、1人は変化なし、2は覚醒感の減少をあらわした。快度の変化と覚醒感の変化の間に関係がみられなかった。

また、快度の変化にも関わらず、二種類の音刺激に対して興奮度の変化の傾向（興奮増加、変化なし、興奮減少）によって、被験者を三つのグループに分け、それぞれのグループの前安静時の興奮の度合の水準を調べた結果をそれぞれ表5.2.10、5.2.11に示す。また、グループ間の有意差を対応のない一元分散分析（独立変数：グループ；従属変数：興奮度の変化或は前安静時の興奮の度合）及び対応のないt検定によって調べた。

表5.2.10に示されている結果によって、怖い音の聴取によって覚醒が増えた被験者は前安静時に比較的に低い覚醒（30.6%）をあらわし、音の聴取によって覚醒が減った被験者は比較的に高い覚醒（40.5%）をあらわした。この二つのグループ間（覚醒感増加グループと覚醒感減少グループ）に有意な差がみられた。また、表5.2.11に示されている結果によって、心地よい音の聴取によって覚醒が増えた被験者は、前安静時に比較的に低い覚醒（34.3%）をあらわし、音の聴取によって覚醒が減った被験者は比較的に高い覚醒（48.3%）をあらわしていた。また、この変化はグループ間に有意な差がみられた。

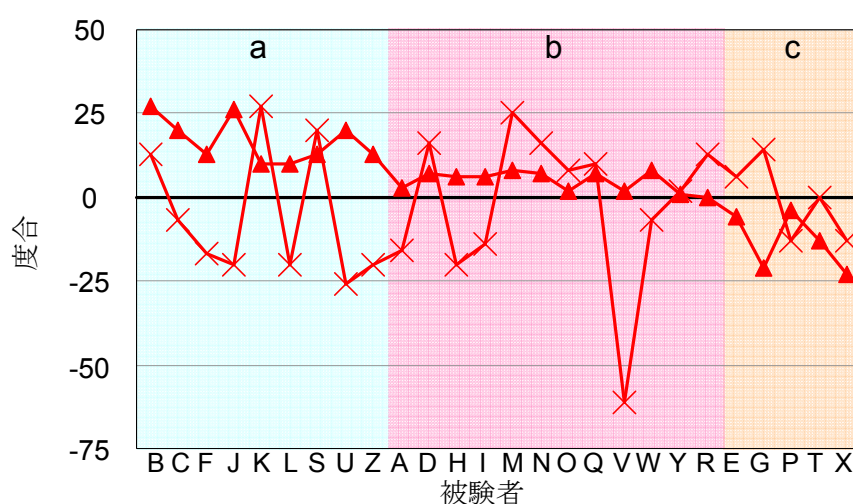


図 5.2.21 心地よい音刺激に対する快度の変化と興奮度の変化

▲ 快度の変化 × 興奮度の変化

表 5.2.10 怖い音刺激に対する興奮度の変化と前安静時の水準

	興奮増加 n=10	変化なし n=4	興奮減少 n=12	F	p
興奮度の変化 (%)	24.1±10.0 ^{†‡}	0±0 [†]	-9.2±6.2 [‡]	48.740	.000
前安静時の水準 (%)	30.6±13.4 ^a	39.8±4.6	40.5±8.8 ^a	2.386	.114

†: 興奮増加と興奮変化なし: p=.000

‡: 興奮増加と興奮減少: p=.000

a: t(20) = -1.98, p=0.03

表 5.2.11 心地よい音刺激に対する興奮度の変化と前安静時の水準

	興奮増加 n=12	変化なし n=1	興奮減少 n=13	F	p
興奮度の変化 (%)	14.2±7.0 ^b	0±0	-19.5±13.0 ^b	29.088	.000
前安静時の水準 (%)	34.3±9.2 ^c	20±0	48.3±9.3 ^c	9.050	.001

b t(19) = 7.797, p=1.23E-07

c t(23) = -3.64, p<.001

5.2.3 音聴取後の心理状態

上述した 5.2.2 節では、二種類の音刺激の聴取時の心理状態の変化を中心に検討した。本節では音刺激を聴取した後の心理状態を検討する。

音聴取前の安静時に較べて怖い音聴取時そして音聴取後の快度の変化を図 5.2.22 に示す。横軸にあらわす被験者をグループ a、b、c の順で示す。青い丸印 (●) は前安静時を基準にした音聴取時の快度の変化を、灰色丸印 (●) は前安静時を基準にした後安静時の快度の変化をあらわす。二つの線によって、音聴取後の後安静時で快の度合の回復の状況がわかる。怖い音の聴取によって快の度合がさがった被験者に対して、灰色丸印であらわす値が青い丸印であらわす値より大きい場合は、音聴取後に快の度合が低下した感情状態からより快の状態へ回復したことをあらわしている。また、灰色丸印であらわす値が青い丸印であらわす値よりマイナスの場合は、音聴取後の後安静時になっても被験者の心理状態が回復せず、さらに不快となっていたことをあらわす。図 5.2.22 によって、怖い音の聴取によって快の度合が減少した 17 人の被験者の内、11 人は怖い音聴取後の値が音聴取時より大きかったで感情がより快の方向へ回復していたことが分かる。その他、一人は (被験者 T) 後安静では音聴取時に較べて快度の変化がみられなく、5 人は音聴取後では更に不快の状態となっていた。また、快の状態へ回復していたと考えた 11 人のうちの 8 人は後安静時の快の度合は前安静時に較べてもより高かった。怖い音の聴取によって快の度合が上がった 5 人の被験者は後安静時には音聴取時に較べて快の度合が減少し、その内の 3 人は前安静時より快の度合が低かった。

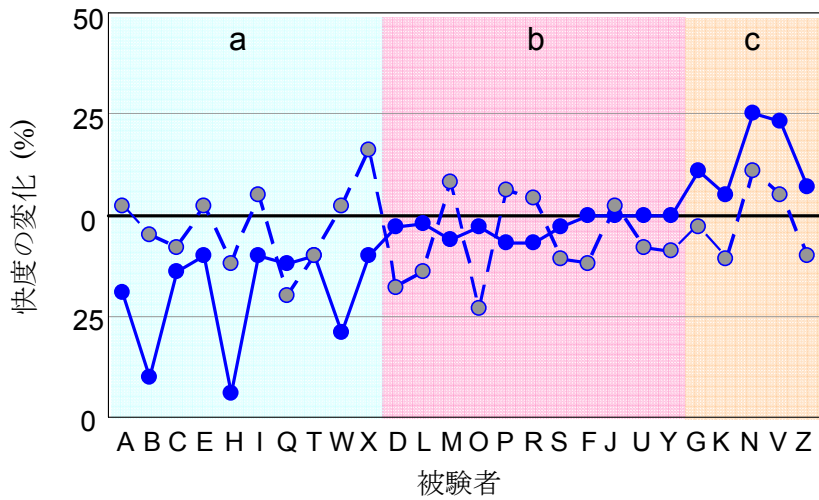


図 5.2.22 前安静時に較べた怖い音聴取時、後安静時の快度の変化

● 快度の変化：音聴取時－前安静時 ○ 快度の変化：後安静時－前安静時

図 5.2.23 に心地よい音聴取前を基準にした音聴取時の快度の変化（赤い三角印、▲）そして後安静時の快度の変化（灰色三角印、▲）を示す。心地よい音の聴取によって快の度合が上がった 20 人の被験者に対して、12 人は後安静時には快の度合は音聴取時よりさがっていて、その内の 9 人は後安静時の快の度合は前安静時より低い水準となった。他の 8 人の内、1 人は（被験者 K）後安静時の快の度合は音聴取時より変化がみられず、7 人は後安静ではさらに快の状態となっていた。

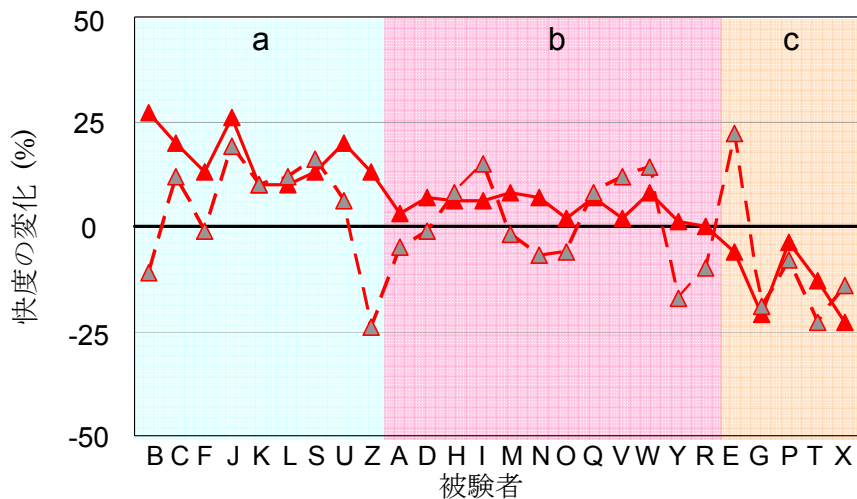


図 5.2.23 前安静時に較べた心地よい音聴取時、後安静時の快度の変化

▲ 快度の変化：音聴取時－前安静時 ▲ 快度の変化：後安静時－前安静時

5.3 AAE モデルと快適度評価モデルによる評価

5.3.1 AAE モデルによる評価の例

図 5.3.1 に、二種類の音刺激に対する被験者 A の前頭葉アルファ波左右差の値を 20 秒ごとに示す。青い実線は怖い音に対する結果、赤い破線は心地よい音に対する結果をそれぞれあらわす。音聴取前から聴取後にかけて、アルファ波左右差の値の増減が繰り返されながらも、怖い音聴取時において左右差の値が全体的に減少し、よりマイナスとなっていた様子がみられる。一方、心地よい音を聴取している時には、左右差の値に関して大きな変化はみられなかった。また、前安静時、音聴取時、後安静時の三つの状態下の左右差の平均の値を表 5.3.1 に示す。怖い音聴取時に左右差の値が前安静時の-0.022 から-0.110 まで減少したことに對して、心地よい音聴取時にその値が前安静時の-0.041 から-0.016 まで増加した。音刺激を聴取後の後安静時では、左右差の値が前安静状態の水準へ回復した。つまり、怖い音を聴取している時に、左右差の値がよりマイナスとなり、右前頭葉の相対的活動が増加し、心地よい音を聴取している時には、左右差の値がよりプラスの方向へ増加して左前頭葉の相対的活動が増加したことが分かる。

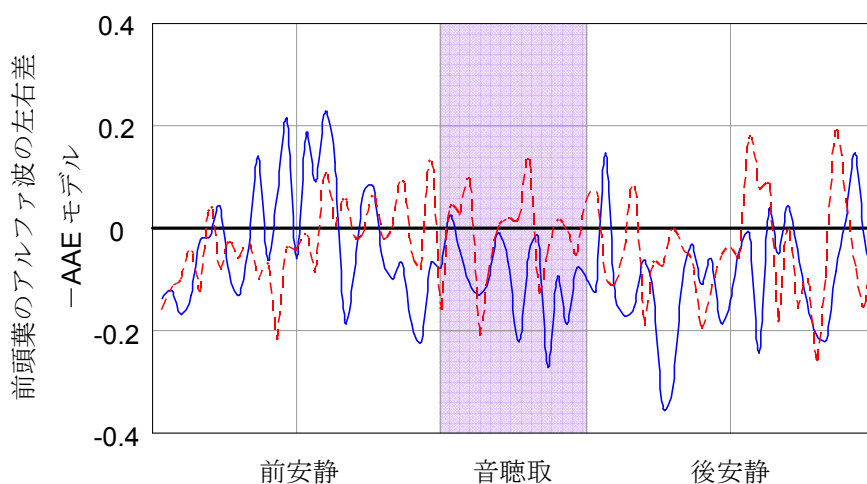


図 5.3.1 二種類の音刺激に対する前頭葉のアルファ波の左右差 -AAE モデル 被験者 A

— 怖い音 - - 心地よい音

表 5.3.1 二種類の音刺激に対する被験者 A の前頭葉アルファ波左右差の変化

音 \ 状態	前安静	音聴取	後安静
怖い音	-0.022±0.12	-0.110±0.07	-0.095±0.11
心地よい音	-0.041±0.07	-0.016±0.09	-0.049±0.11

平均値±標準偏差

5.3.2 AAE モデルと快適度評価モデルの関係

(A) 怖い音刺激

被験者全員 (n=26) の怖い音聴取前の安静時 (ベースライン) の前頭葉のアルファ波パワーの左右差 (AAE モデル) を調べた結果、眼球運動などの原因でノイズが大きかった 3 人をその後の解析から除外した。残りの 23 人の内、その値がマイナスであり、すなわち右前頭葉が左側より活性化していた被験者 (Group-R) は 11 人、他の被験者 (12 人) はプラスの値、すなわち左前頭葉が右側に較べてより活性化していたことを示した (Group-L)。これらの 23 人の被験者に対して、怖い音聴取時の前頭葉のアルファ波の左右差の変化と快適度モデルによって評価した快度の変化を調べた結果。Group-R と Group-L では、アルファ波或は快度の変化が非常に大きかった 4 人をはずれ値としてその後の解析から除外した (Group-R: Sub. B, Sub. G, Sub. H, Sub. W; Group-L: Sub. N, Sub. S, Sub. U, Sub. V)。残りの 15 人に対して、Group-R (7 人) と Group-L (8 人) を分け、AAE モデルによるアルファ波左右差の変化と快適度モデルによる心理状態の変化を比較・検討する。

Group-R と Group-L の前安静時、音聴取時、後安静時のアルファ波左右さの平均と標準偏差を表 5.3.2 と図 5.3.2 に示す。怖い音聴取時では、前安静時を基準にしたアルファ波左右差の変化は、Group-R より Group-L のほうが顕著であった (Group-R: $\Delta \pm SD = -0.01 \pm 0.05$, $t(6) = 0.52$, $p = 0.30$; Group-L: $\Delta \pm SD = -0.06 \pm 0.05$, $t(7) = 3.29$, $p = 0.006$)。

表 5.3.2 怖い音刺激聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の前頭葉アルファ波左右差

	前安静 M(SD)	音聴取 M(SD)	後安静 M(SD)
Group-R (n=7)	-0.07 (0.04)	-0.08 (0.08)	-0.08 (0.06)
Group-L (n=8)	0.13 (0.09)	0.07 (0.09)	0.09 (0.04)

Group-R: Subs. A, C, E, F, I, P, Z

Group-L: Subs. D, J, L, M, O, Q, X, R

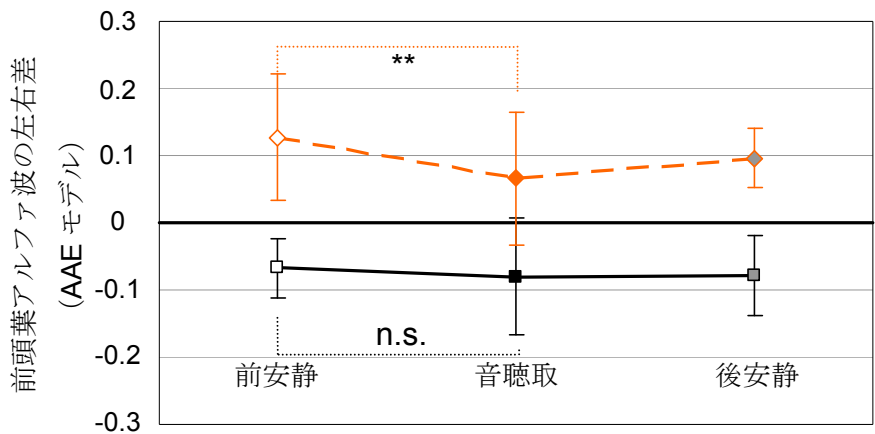


図 5.3.2 怖い音刺激聴取前、聴取時、聴取後の前頭葉アルファ波左右差

** p<0.01

Group-R : □ 前安静時 ■ 音聴取時 ▣ 後安静時
 Group-L : ◇ 前安静時 ◆ 音聴取時 ◆ 後安静時

図 5.3.3 に、怖い音聴取前、聴取時、聴取後の快の度合または興奮の度合を上図と下図にそれぞれ示す。また、前安静時、音聴取時、後安静時の二つのグループの快の度合と興奮の度合をそれぞれ表 5.3.3 と表 5.3.4 に示す。快度の変化に関しては、Group-R と Group-L とともに、怖い音聴取時に快の度合の有意な減少がみられる (Group-R: $\Delta \pm SD = -7.6 \pm 8.1$, $t(6) = 2.30$, $p = 0.03$; Group-L: $\Delta \pm SD = -5.4 \pm 3.9$, $t(7) = 3.67$, $p = 0.003$)。しかしながら、興奮度の変化に関しては、二つのグループのいずれも顕著な変化を示さなかった (Group-R: $\Delta \pm SD = -1.6 \pm 12.7$, $t(6) = 0.30$, $p = 0.38$; Group-L: $\Delta \pm SD = 5.6 \pm 11.1$, $t(7) = -1.34$, $p = 0.11$)。また、怖い音聴取前の安静時における二つグループの心理状態の比較を表 5.3.5 に示す。快の度合そして興奮の度合の水準に関して、二つのグループとの間には差がなかった。

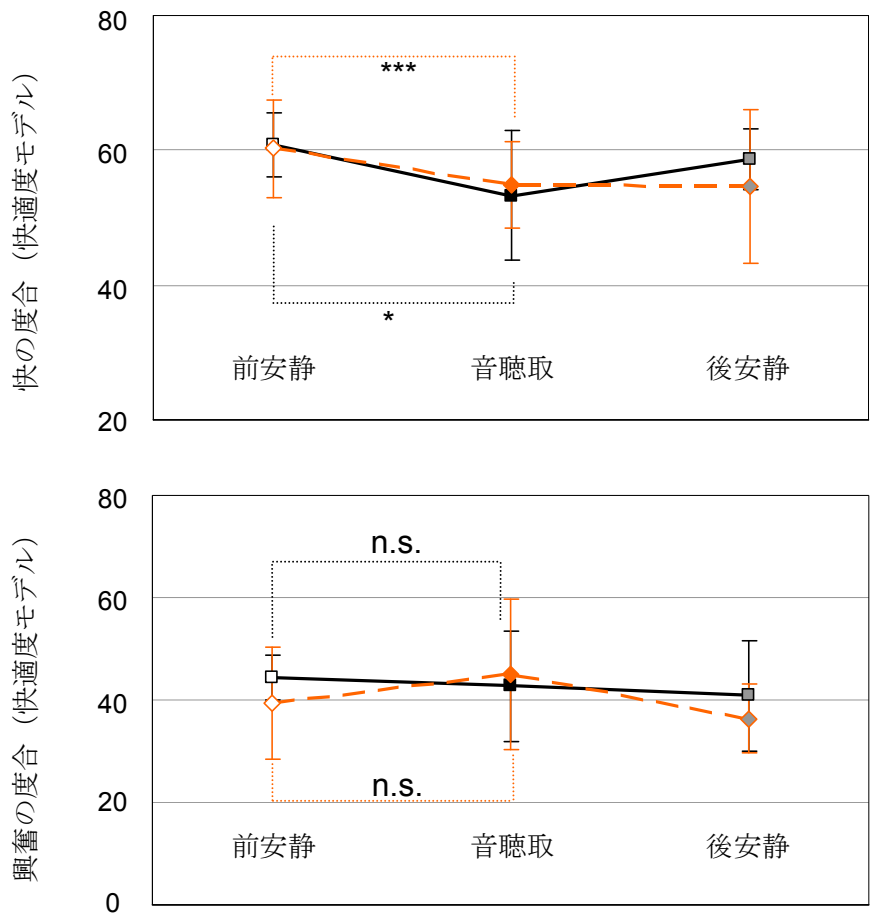


図 5.3.3 怖い音刺激聴取前、聴取時、聴取後の心理状態 — 快適度モデル

* $p < 0.05$ *** $p < 0.005$

(上) : 快の度合 (下) : 興奮の度合

Group-R : □ 前安静時 ■ 音聴取時 ■ 後安静時

Group-L : ◇ 前安静時 ◆ 音聴取時 ◆ 後安静時

表 5.3.3 怖い音聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の快の度合 (%)

	前安静 (M±SD)	音聴取 (M±SD)	後安静 (M±SD)
Group-R (n=7)	60.9±4.8	53.3±9.6	58.7±4.6
Group-L (n=8)	60.1±7.2	54.9±6.5	54.6±11.4

表 5.3.4 怖い音聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の興奮の度合 (%)

	前安静 (M±SD)	音聴取 (M±SD)	後安静 (M±SD)
Group-R (n=7)	44.3±4.4	42.7±10.8	40.9±10.9
Group-L (n=8)	39.4±10.9	45±14.6	36.4±6.6

表 5.3.5 怖い音聴取前の二つのグループ (Group-R, L) の心理状態の比較

	Group-R (M±SD)	Group-L (M±SD)	t	p
前安静時の快の度合 (%)	60.9±4.8	60.3±7.2	0.175	0.43
前安静時の興奮の度合 (%)	44.3±4.4	39.3±10.9	1.095	0.14

(B) 心地よい音刺激

次に、心地よい音刺激に対する被験者の反応を同様に AAE モデルと快適度モデルを用いて比較・検討する。眼球運動が大きかったことで3人が除去された後の23人、Group-R (n=11) と Group-L (n=12) に対して、まず AAE モデルによるアルファ波左右差の変化と快適度モデルによる快度の変化を調べた後、はずれちを除外した。Group-R では Sub. B, Sub. G, Sub. I, Group-L では Sub. X をはずれ値として除外した。

表 5.3.6 と図 5.3.4 にそれぞれのグループの、前安静時、音聴取時、後安静時の前頭葉アルファ波左右さの平均と標準偏差を示す。前安静時から音聴取時にかけて、Group-R の左右差の値が Group-L に較べてよりプラスの方向へ顕著に増加した (Group-R: $\Delta \pm SD = 0.05 \pm 0.04$, $t(7) = -3.2$, $p=0.007$; Group-L: $\Delta \pm SD = 0.02 \pm 0.05$, $t(10) = -1.02$, $p=0.16$)。後安静時では、それぞれ前安静時の水準へ回復していった。

表 5.3.6 心地よい音刺激聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の前頭葉アルファ波左右差

	前安静 M(SD)	音聴取 M(SD)	後安静 M(SD)
Group-R (n=8)	-0.08 (0.08)	-0.03 (0.05)	-0.06 (0.05)
Group-L (n=11)	0.08 (0.10)	0.09 (0.08)	0.08 (0.06)

Group-R: Subs. A, C, E, F, H, W, P, Z

Group-L: Subs. D, J, L, M, N, O, Q, R, U, V, S

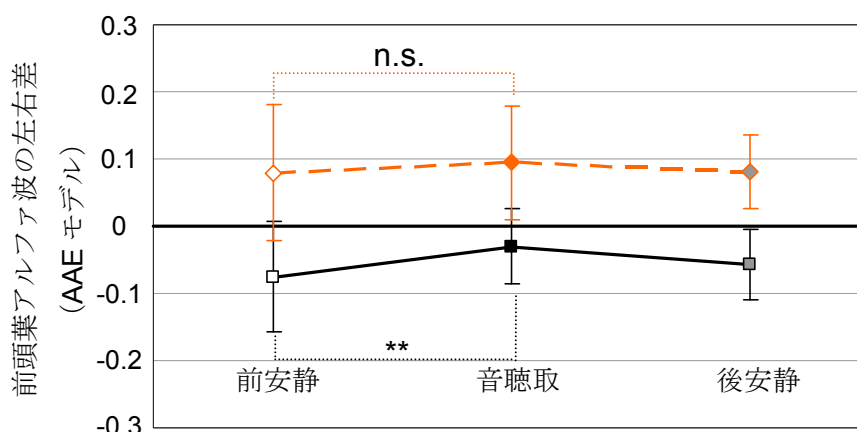


図 5.3.4 心地よい音刺激聴取前、聴取時、聴取後の前頭葉アルファ波左右差 ** $p < 0.01$

Group-R : □ 前安静時 ■ 音聴取時 ▣ 後安静時
 Group-L : ◇ 前安静時 ◆ 音聴取時 ◆ 後安静時

心地よい音聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループの快の度合と興奮の度合を図 5.3.5 の上図と下図にそれぞれ示す。また、それらの値を表 5.3.7 と表 5.3.8 に示す。快度の変化に関しては、二つのグループ Group-R と Group-L ともに、心地よい音の聴取によって有意な増加がみられたが、Group-L の方がより顕著であり、快の度合のレベルもより大きかった (Group-R: $\Delta \pm SD = 6.63 \pm 8.28$, $t(7) = -2.11$, $p=0.03$; Group-L: $\Delta \pm SD = 9.27 \pm 7.50$, $t(10) = -3.91$, $p=0.001$)。後安静時では、それぞれ前安静の水準へ回復していった。興奮度の変化に関しては、Group-R において顕著な低下がみられた (Group-R: $\Delta \pm SD = -11.75 \pm 8.24$, $t(7) = 3.77$, $p=0.003$; Group-L: $\Delta \pm SD = -1.73 \pm 25.28$, $t(10) = 0.22$, $p=0.41$)。

また、心地よい音聴取前の安静時の二つのグループの心理状態の比較結果を表 5.3.9 に示す。快の度合の水準では、二つのグループとの間に有意な差がみられないが、興奮の度合の水準では、Group-R のほうが前安静時により高い水準にあり、Group-L との間に有意な差がみられる (Group-R: 48.3 ± 6.8 , Group-L: 35.4 ± 13.8)。

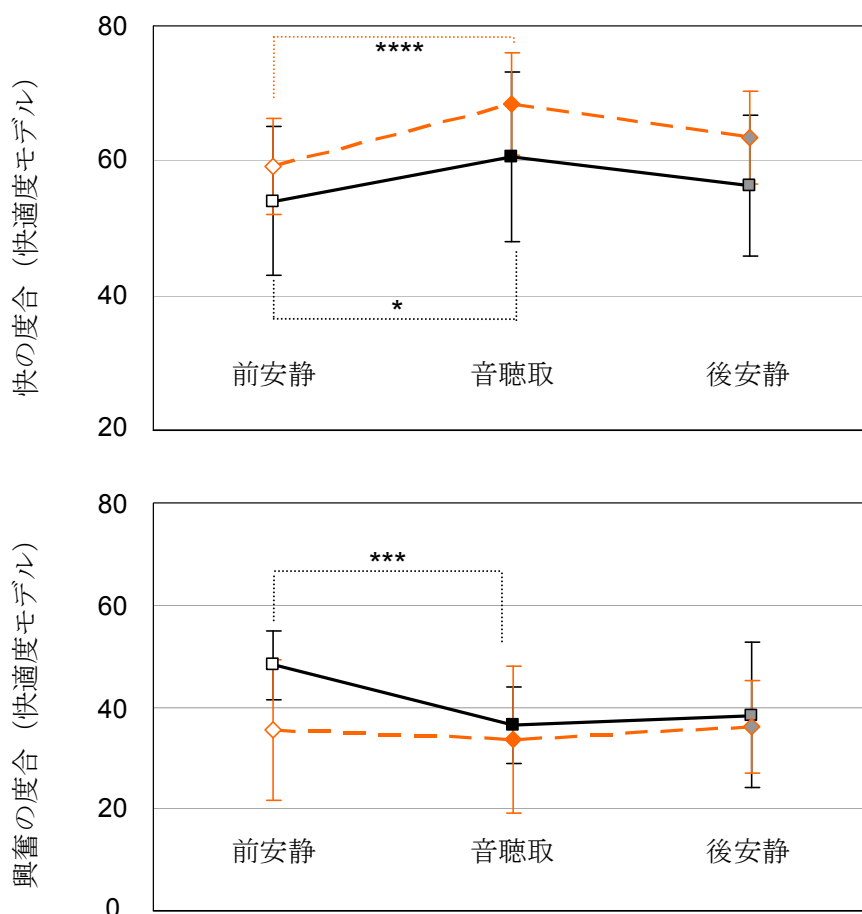


図 5.3.5 心地よい音刺激聴取前、聴取時、聴取後の心理状態 — 快適度モデル
 (上) : 快の度合 (下) : 興奮の度合 * $p < 0.05$ *** $p < 0.005$ **** $p = 0.001$

Group-R : □ 前安静時 ■ 音聴取時 ▣ 後安静時
 Group-L : ◇ 前安静時 ◆ 音聴取時 ◆ 後安静時

表 5.3.7 心地よい音聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の快の度合 (%)

	前安静	音聴取	後安静
Group-R (n=8)	54±11.0	60.6±12.5	56.2±10.4
Group-L (n=11)	59.1±7.1	68.4±7.6	63.4±6.9

表 5.3.8 心地よい音聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の興奮の度合 (%)

	前安静	音聴取	後安静
Group-R (n=8)	48.3±6.8	36.5±7.5	38.4±14.3
Group-L (n=11)	35.4±13.8	33.6±14.4	36±9.1

表 5.3.9 心地よい音聴取前の二つのグループ (Group-R, L) の心理状態の比較

	Group-R (M±SD)	Group-L (M±SD)	t	p
前安静時の快の度合 (%)	54 ± 11.01	59.1 ± 7.11	-1.16	0.13
前安静時の興奮の度合 (%)	48.3 ± 6.8	35.4 ± 13.8	2.54	0.01

(C) 心理状態の三次元評価

図 5.3.6 に、AAE モデルと快適度評価モデルを併用した二種類の音刺激に対する二つのグループの心理状態の変化 (平均値) に対する三次元的評価を示す。それぞれの次元にあらず状態の変化は、前安静状態を基準とした変化である。二次元の平面には、快適度評価モデルの結果を示し、横軸に興奮度の変化、縦軸に快度の変化をそれぞれ示す。さらに、水平面と垂直している第三軸に AAE モデルより左右前頭葉の相対的活動の変化を示し、その値はプラスへいくほど左前頭葉の相対的活動が増加し、マイナスへいくほど右前頭葉の相対的活動が増加すると考える。

二種類の音刺激に対する心理状態の変化を比較すると、怖い音刺激の聴取によって、被験者達の反応に個人差がありながらも二つのグループともにより興奮及び不快の心理状態となり、そしてより回避行動をとる心理状態になった。心地よい音刺激の聴取によって、二つのグループともにより鎮静および快の心理状態となり、そしてより接近行動をとる心理状態になった。この三次元グラフによって、被験者の心理状態に対する多角度的評価 (快及び不快、覚醒感、心理行動状態) ができる。

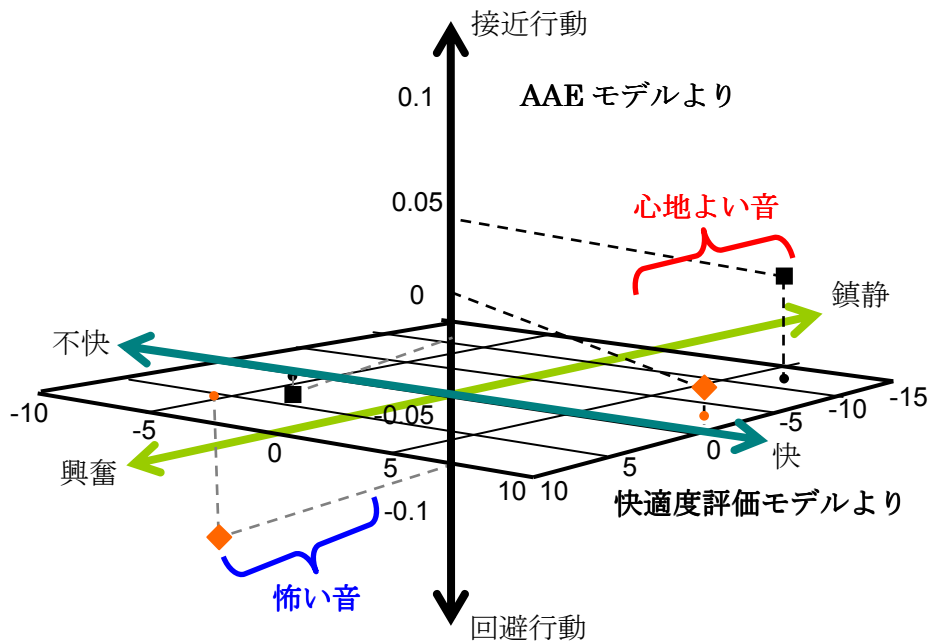


図 5.3.6 AAE モデルと快適度評価モデルを併用した心理状態の評価

■ Group-R ◆ Group-L

(D) 個人差

怖い音刺激に対する前頭葉アルファ波左右差の変化に関して、Group-R では音聴取時に左右差の有意な変化がみられなかった（表 5.3.2 と図 5.3.2）。Group-R の内の七人の被験者の左右差の変化の値を表 5.3.10 に示す。表に示すように、七人の内の被験者 A, C, I, P, Z はマイナスの値をあらわし、被験者 E, F はプラスの値をあらわしたことが分かる。このことは、被験者 A, C, I, P, Z の右前頭葉は怖い音刺激に対してさらに活性化されていることを示している。一方で被験者 E, F は怖い音刺激聴取前に右前頭葉が左前頭葉に較べてより活性化していたが、音の聴取によって逆に左前頭葉が右側より活性化した状態となった。

表 5.3.10 怖い音刺激の聴取による Group-R の被験者の左右差の変化

Group-R	Sub. A	Sub. C	Sub. E	Sub. F	Sub. I	Sub. P	Sub. Z
左右差変化	-0.087	-0.063	0.051	0.088	-0.005	-0.022	-0.050

前安静時の左右差を基準にした

この二人の被験者（被験者 E, F）の快適度評価モデルによる評価結果（快と興奮の度合）と心拍数の変化をそれぞれ図 5.3.7 と図 5.3.8 に示す。被験者 E は怖い音を聴取しているときに快の度合の減少をあらわしたが、被験者 F には変化がみられなかった。興奮度の変化に関しては二人とも変化がみられなかった。図 5.3.8 に怖い音聴取前安静時の心拍数の平均

を基準にした音聴取時の心拍数の変化及び音聴取後五分間の状態を示す。心拍数の結果によって、被験者 E は怖い音刺激の聴取によって心拍数が最初に上がっていき、その後では徐々に下がっていた。しかしながら、被験者 F は怖い音を聴取しているときに心拍数は若干低下しているもののほぼ一定であった。

以上の結果から、被験者 E は怖い音刺激に対して心拍数が増加し緊張感が増えて快感が低下し、被験者 F は怖い音刺激に対して比較的落ち着いており、緊張感または不快感の顕著な増加はなかったと考えられる。

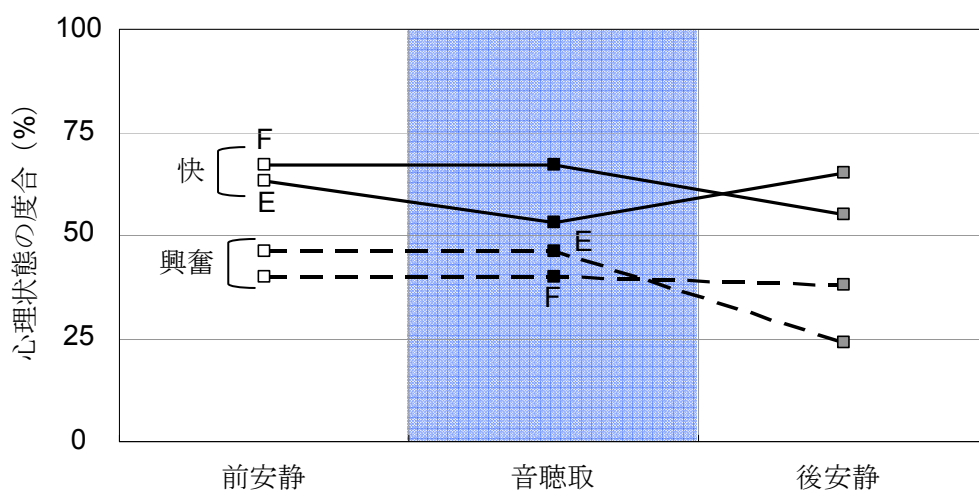


図 5.3.7 怖い音聴取前、聴取時、聴取後の感情状態 (被験者 E, F)

□ 前安静時 ■ 音聴取時 ▣ 後安静時

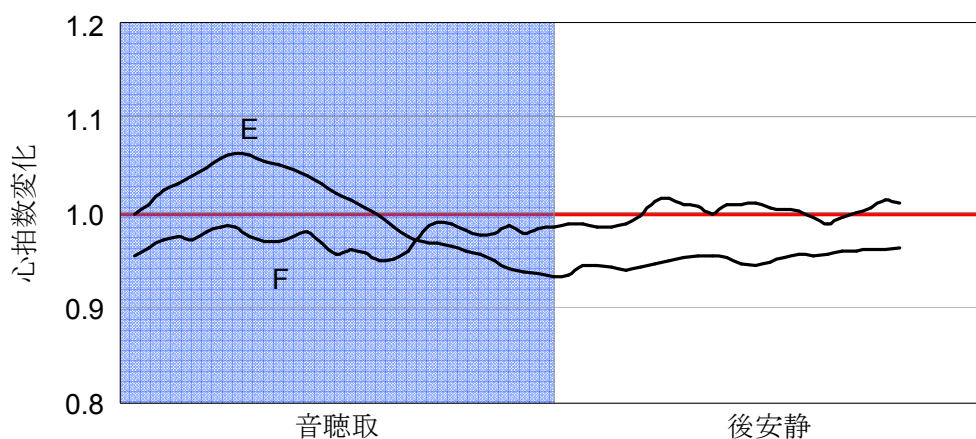


図 5.3.8 怖い音刺激聴取時、聴取後の心拍数変化 (被験者 E, F)

また、怖い音刺激に対する自律神経活動の解析結果を図 5.3.9 (被験者 E) と図 5.3.10 (被験者 F) に示す。いずれの図においてもピンク色の実線は交感神経活動、緑色の破線は副交感神経活動をそれぞれ示す。被験者 E は、怖い音を聴取している間に、交感神経活動は抑

制され、副交感神経はより優位となった様子がみられる。怖い音刺激の聴取が終わったときに交感神経の活動は大きくなったが、その後は再び副交感神経が優位な状態となっていた。被験者 F の結果に関しては、怖い音刺激呈示時では最初に交感神経活動が大きくなり、時間の経過に従って徐々に減少し、副交感神経が優位になった状態となった。

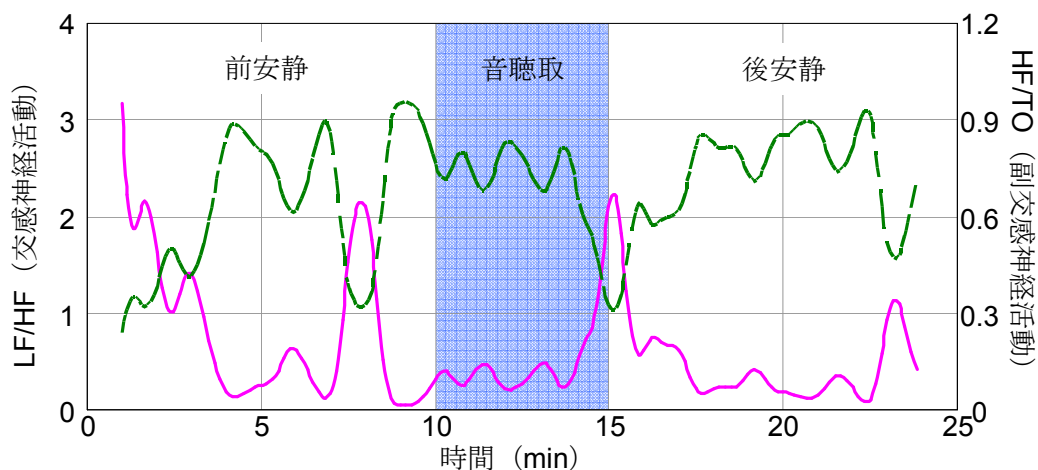


図 5.3.9 怖い音刺激に対する自律神経活動 (被験者 E)

— LF/HF - - - HF/TO

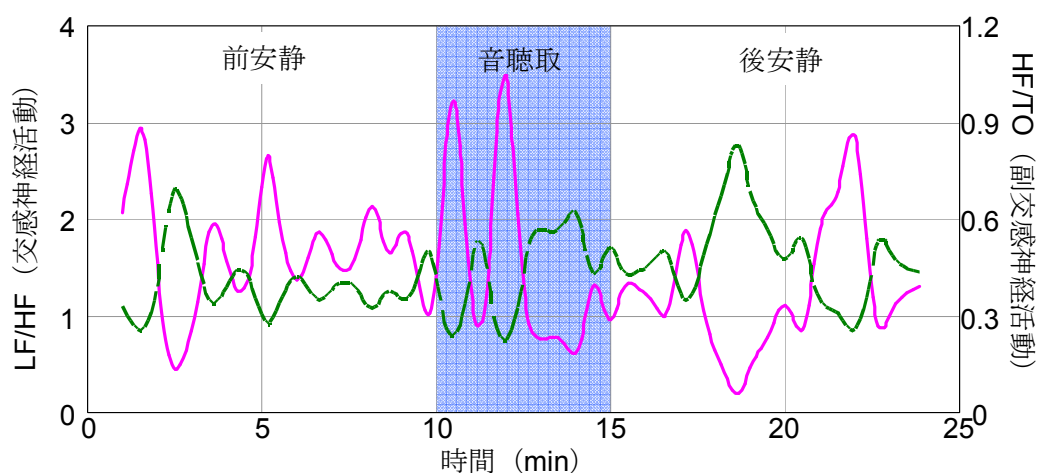


図 5.3.10 怖い音刺激に対する自律神経活動 (被験者 F)

— LF/HF - - - HF/TO

また、心地よい音刺激に対する前安静時を基準にした前頭葉アルファ波左右差の変化では、Group-R は左右差の値の有意な増加を示したが、Group-L は有意な変化を示していなかった(表 5.3.6 と図 5.3.4)。Group-L の内の 11 人の被験者の左右差の変化をまとめて表 5.3.11 に示す。11 人の被験者の内、被験者 J, M, Q, S はプラスの値を示し、被験者 L の左右差はあまり変化がなく、被験者 D, N, O, R, U, V はマイナスの値を示した。心地よい音刺激の聴取

によって、被験者 J, M, Q, S は左前頭葉の相対的活動が前安静時に較べてより増加したことが分かる。しかし、被験者 D, N, O, R, U, V は左右差の正の値が音聴取時に減少し、左前頭葉の相対的活動が減少している。

図 5.3.11 と図 5.3.12 に、左右差の変化の値がマイナスであった被験者の心地よい音聴取前の安静時、音聴取時、後安静時の快の度合、興奮の度合を示す。被験者 D, N, O, U, V は心地よい音聴取時に快の度合の増加がみられ、被験者 R には快度の変化がみられなかった。後安静時では、V 以外の被験者には快の度合の減少（回復）がみられる。また、U, V 以外の被験者は（D, N, O, R）興奮の度合の増加を示した。

表 5.3.11 心地よい音の聴取による Group-L の被験者の左右差の変化

Group-L	Sub. D	Sub. J	Sub. L	Sub. M	Sub. N	Sub. O	Sub. Q
左右差変化	-0.026	0.04	0.0007	0.118	-0.008	-0.006	0.039

Group-L	Sub. R	Sub. S	Sub. U	Sub. V
左右差変化	-0.006	0.076	-0.019	-0.045

前安静時の左右差を基準にした

左右差の変化の値がマイナスであった 6 人の被験者（D, N, O, R, U, V）の心拍数の変化を図 5.3.13 に示す。これは前安静時の心拍数の平均を基準にした音聴取時及び音聴取後の安静時（5 分間）の心拍数変化である。心地よい音を聴取している間に、前安静状態に較べて、被験者 D, R の心拍数が徐々に減少していた様子がみられ、被験者 N, O, V の心拍数はやや増えていたが、そんなに顕著的变化がみられなかった。被験者 U は途中まで心拍数が増加していたが時間の経過によって減少していた傾向をあらわした。

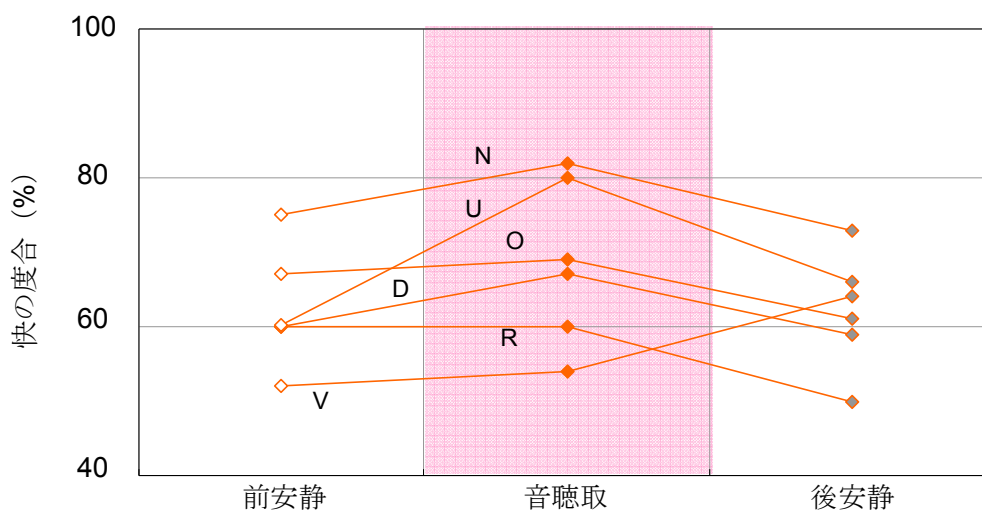


図 5.3.11 心地よい音聴取前、聴取時、聴取後の快の度合（被験者 D, N, O, R, U, V）

◇ 前安静時 ◆ 音聴取時 ◆ 後安静時

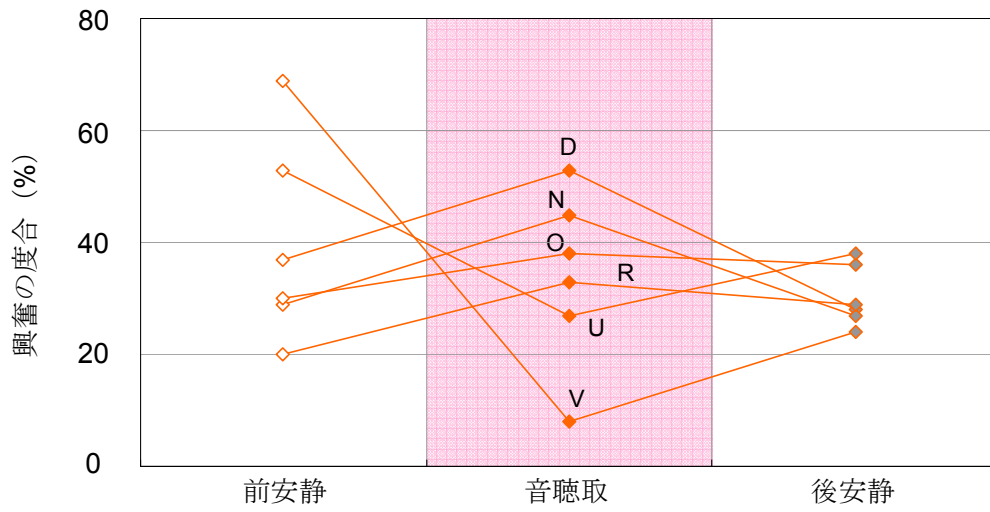


図 5.3.12 心地よい音聴取前、聴取時、聴取後の興奮の度合 (被験者 D, N, O, R, U, V)
 ◇ 前安静時 ◆ 音聴取時 ◆ 後安静時

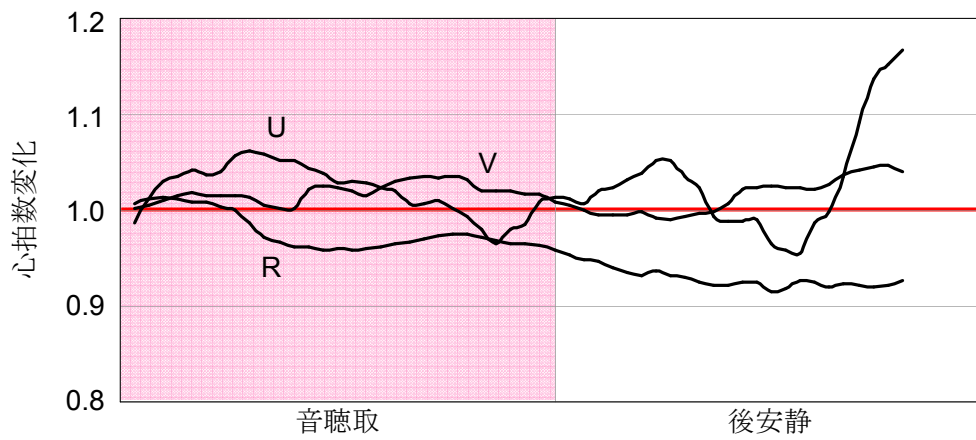
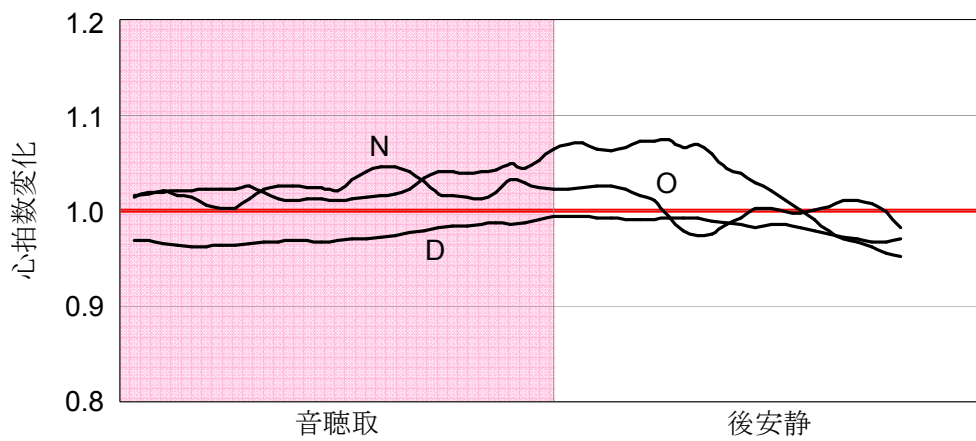


図 5.3.13 心地よい音刺激聴取時、聴取後の心拍数変化 (被験者 D, N, O, R, U, V)

図 5.3.14 に、心地よい音に対する左右差が減少した 6 人の被験者の内の 2 人(被験者 D, N) の自律神経活動の結果を例として示す。上述したように、ピンク色の実線は交感神経活動、緑色の破線は副交感神経活動をそれぞれ示す。被験者 D (上の図) に関しては、心地よい音聴取の最初に副交感神経活動はやや減少していた様子が見られ、その後時間の経過に従って増え、交感神経に比べてより優位な状態となった。また、被験者 N に関しては、心地よい音聴取前に副交感神経はかなり活性化していた状態となり、音を聴取している間にその活動が下がったり上がったりして、そのときの交感神経活動は活性化していた。音聴取後の安静時では、前安静状態に比べて交感神経活動は、副交感神経活動と拮抗しながら活性化していた。

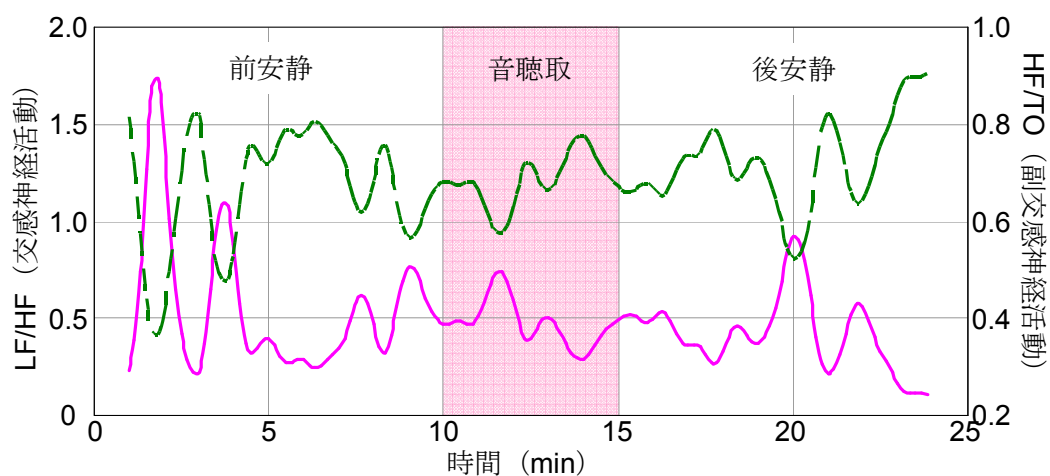


図 5.3.14 心地よい音刺激に対する自律神経活動 (被験者 D)

— LF/HF — — HF/TO

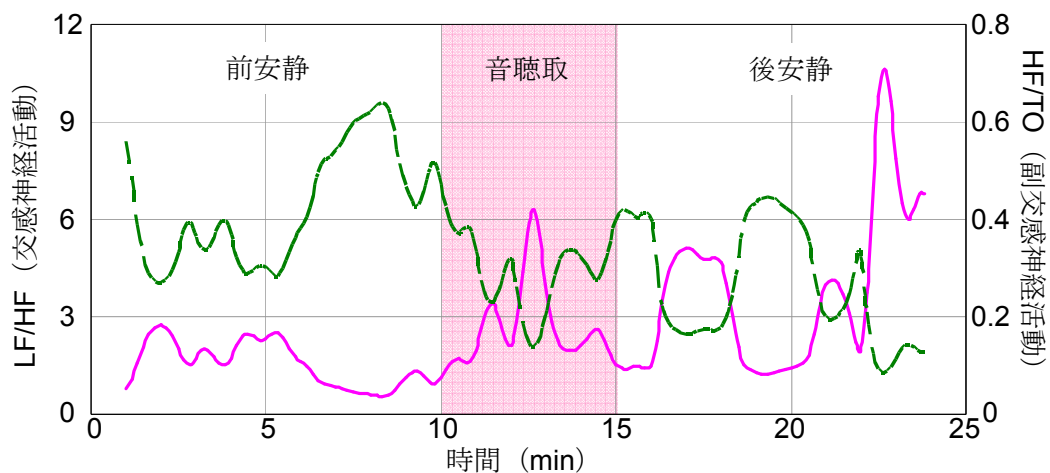


図 5.3.15 心地よい音刺激に対する自律神経活動 (被験者 N)

— LF/HF — — HF/TO

5.4 ウェーブレット解析による左右前頭葉活動の比較

本研究では、ウェーブレット解析を用いて左右前頭葉（F3、F4）から記録された脳波に対して時間一周波数解析を行った。以下に示す結果のグラフでは、解析した周波数領域は4Hz～50Hzの範囲であり、左前頭葉 F3（上の図）、右前頭葉 F4（下の図）の100秒間の解析結果を示す。図 5.4.1、5.4.2、5.4.3 に、前安静時で右前頭葉が左側より活性化していた Group-R の内の一人（被験者 Z）の怖い音聴取前 300 秒間、聴取時 300 秒間、聴取後の 200 秒間の結果をそれぞれ示す。図の二つの赤い線で囲まれている領域は、アルファ波の帯域 8Hz～13Hz である。

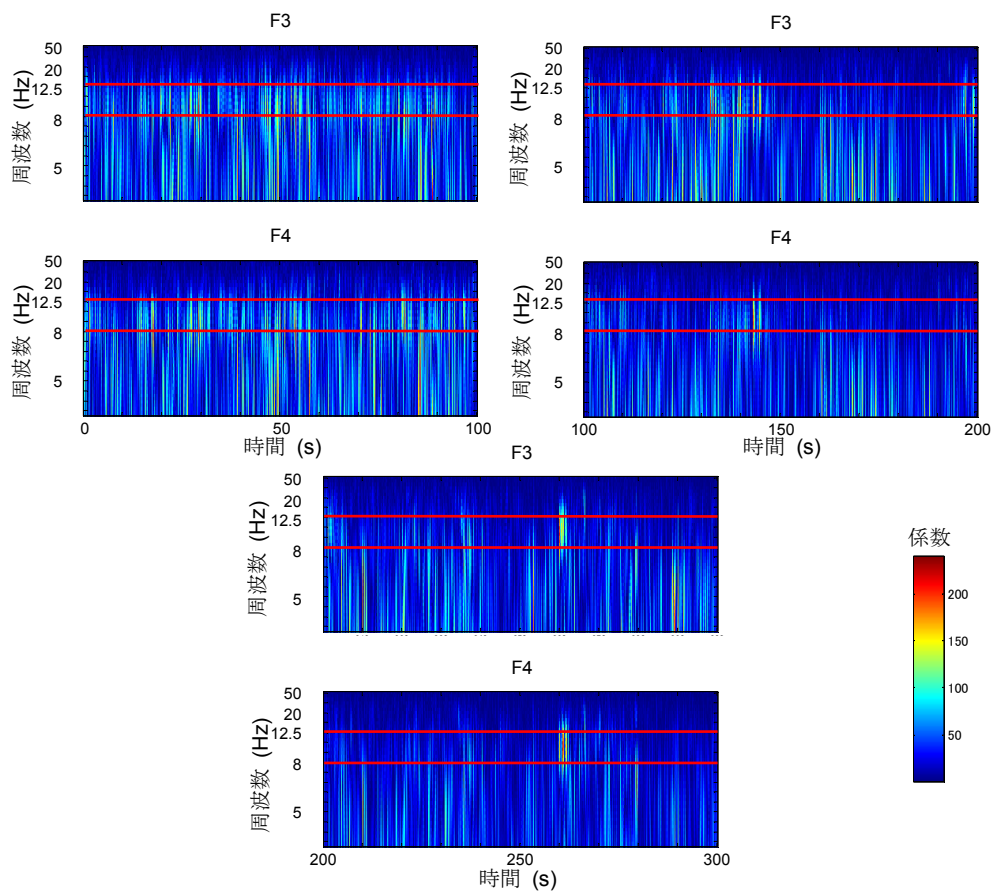


図 5.4.1 怖い音聴取前 300 秒間の時間的な周波数スペクトル（Group-R：被験者 Z）

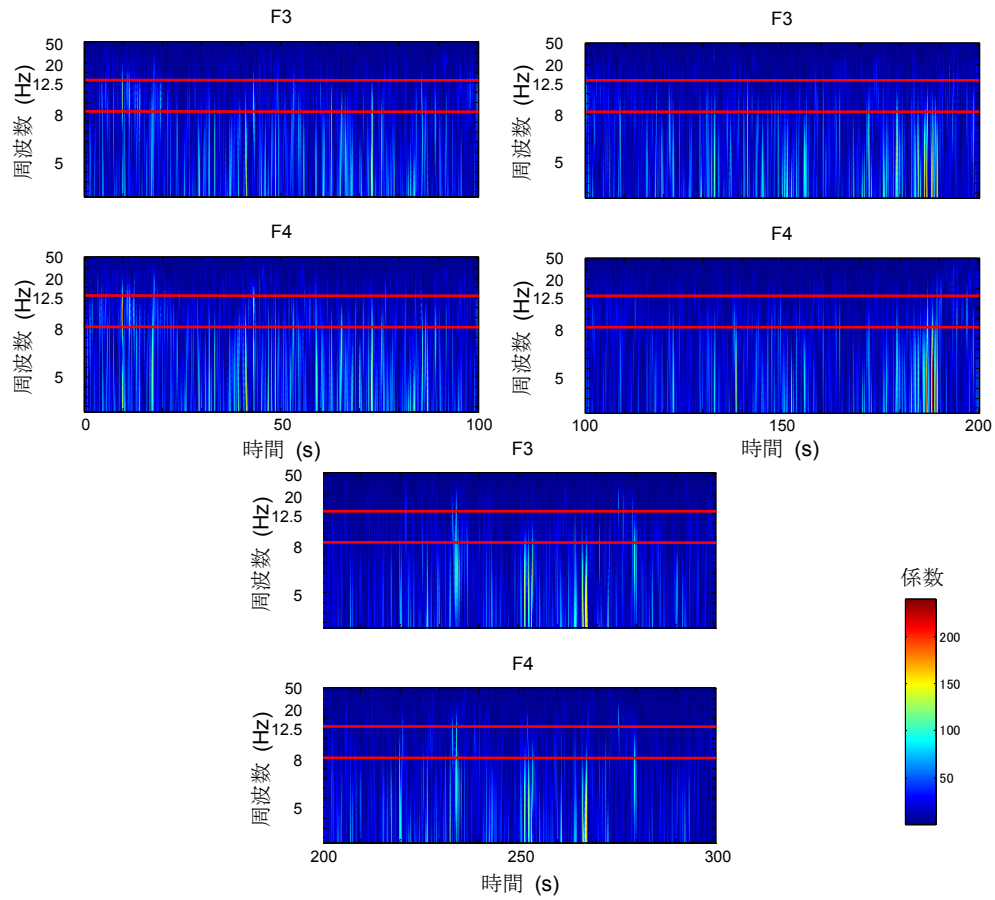


図 5.4.2 怖い音聴取時 300 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-R : 被験者 Z)

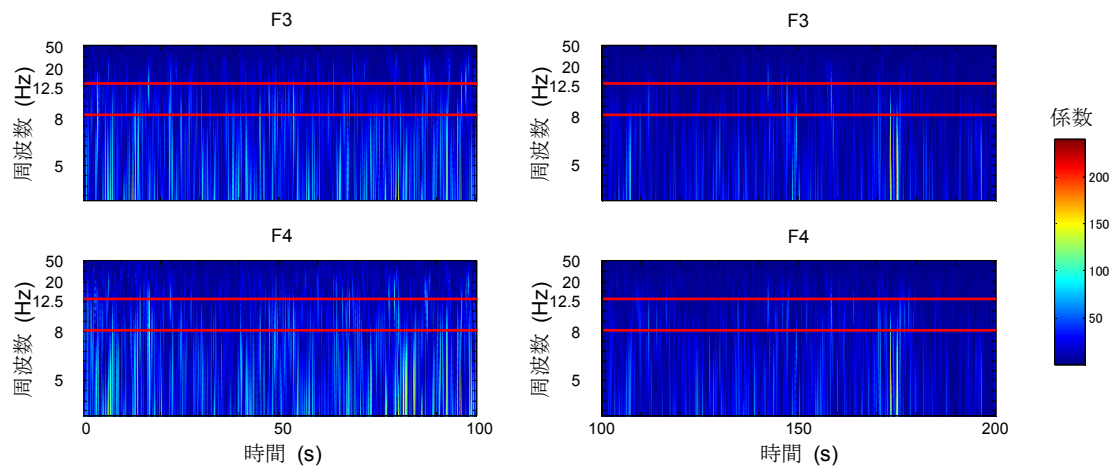


図 5.4.3 怖い音聴取後 200 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-R : 被験者 Z)

図 5.4.1 の左右前頭葉 F3、F4 のアルファ波領域の振幅を比較すると、怖い音聴取前の 300 秒間では、右前頭葉のアルファ波強度は左側に較べてより小さくなっており、アルファ波強度とその活動との間には逆相関があるので、右前頭葉のほうがより活性化していることが分かる。怖い音を聴取しているときには左右前頭葉のアルファ波強度は全体的に前安静時に較べて小さくなっており、両側の活動ともに前安静時より活性化している。

図 5.4.4~5.4.6 に、前安静時で左前頭葉がより活性化していた Group-L の内の一人（被験者 M）の怖い音聴取前の安静時、怖い音聴取時、怖い音聴取後の後安静時の結果を示す。被験者 Z と似たような傾向であり、怖い音を聴取している間の左右前頭葉のアルファ波強度は前安静時に較べて減っている様子がみられる。また、怖い音を聴取しているときに、右前頭葉のアルファ波強度は左側に較べてより小さくなっている。後安静時では両側の強度は前安静時の水準へ回復し、左右の強度の差もあまりみられなかった。

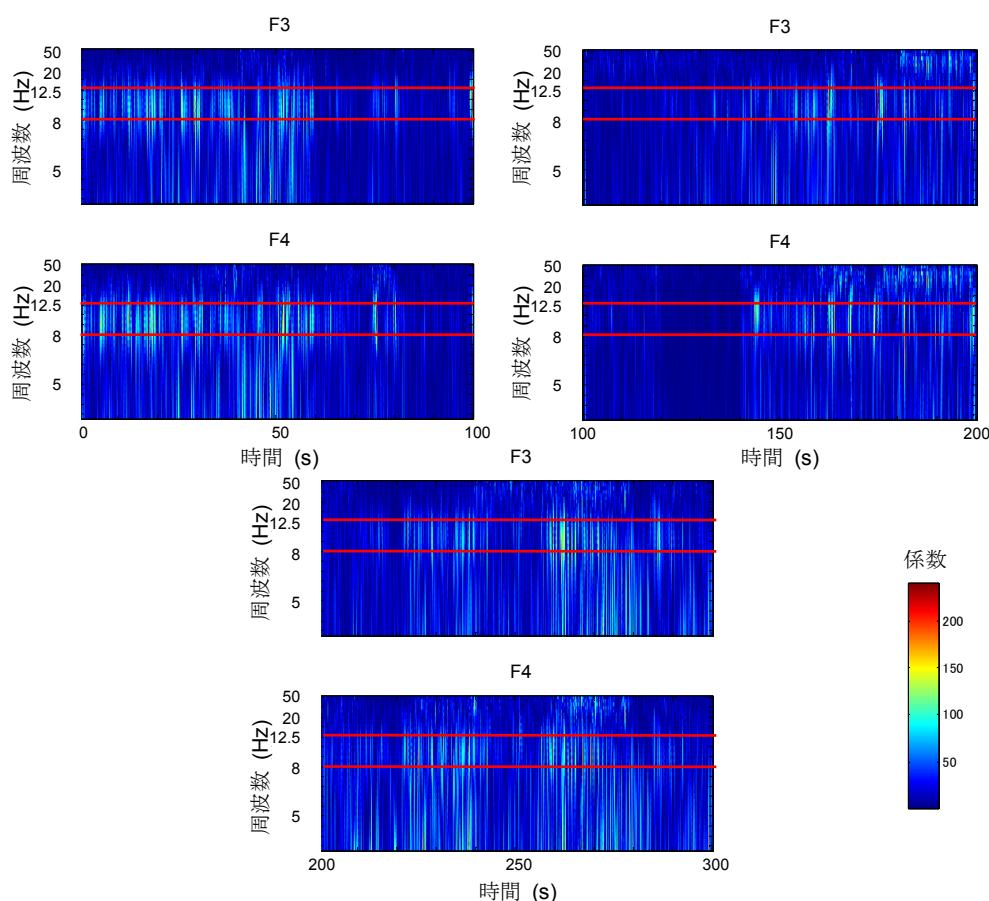


図 5.4.4 怖い音聴取前 300 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-L : 被験者 M)

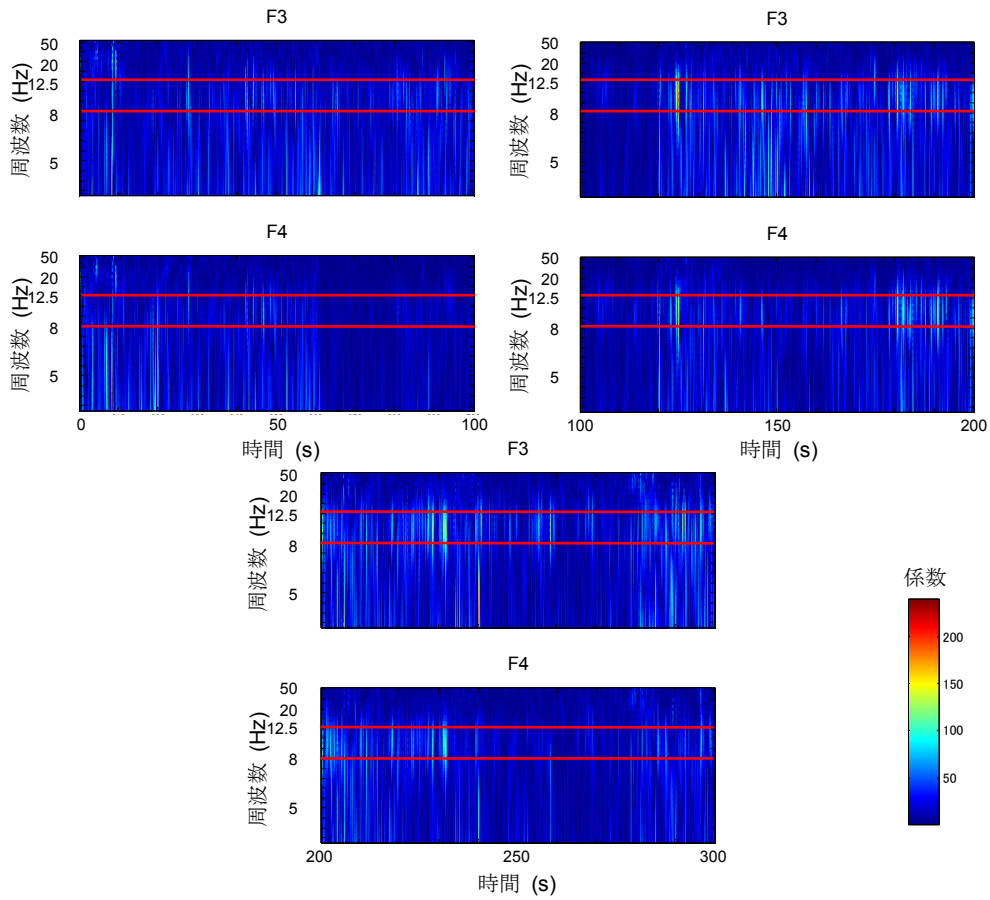


図 5.4.5 怖い音聴取時 300 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-L : 被験者 M)

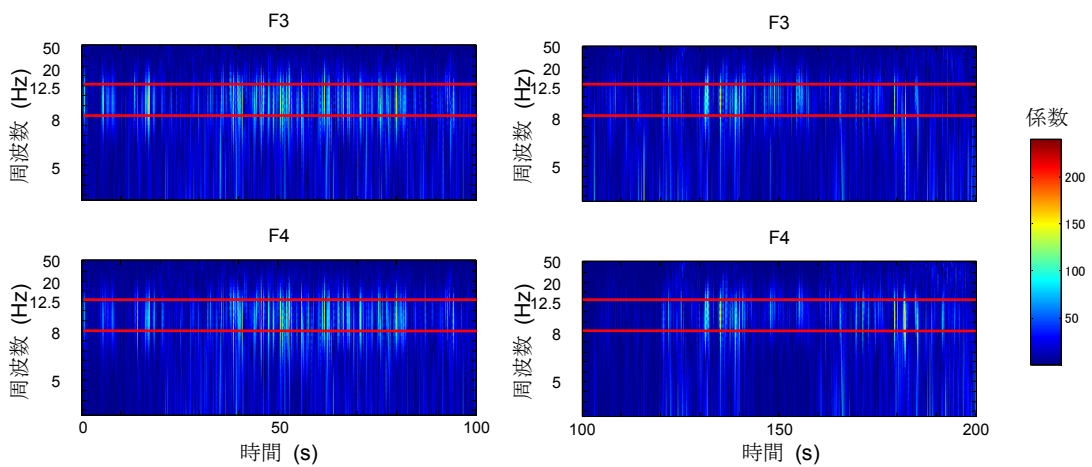


図 5.4.6 怖い音聴取後 200 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-L : 被験者 M)

図 5.4.7～5.4.9 に、心地よい音聴取前、聴取時、聴取後の Group-R の内の被験者 Z の左右前頭葉の各周波数領域の強度を示す。怖い音聴取時の様子と違って、心地よい音を聴取しているときに、右前頭葉のアルファ波強度に較べて左前頭葉のほうが小さくなっており、左前頭葉がより活性化していることが分かる。心地よい音聴取後の安静時でも引き続き同じ傾向がみられる。

図 5.4.10～5.4.12 に同じ音刺激に対して Group-L の内の被験者 M の結果を示す。図 5.4.4～5.4.6 に示したこの被験者の怖い音刺激に対する結果と違って、左右前頭葉のアルファ波強度の差はあまりみられなかった。

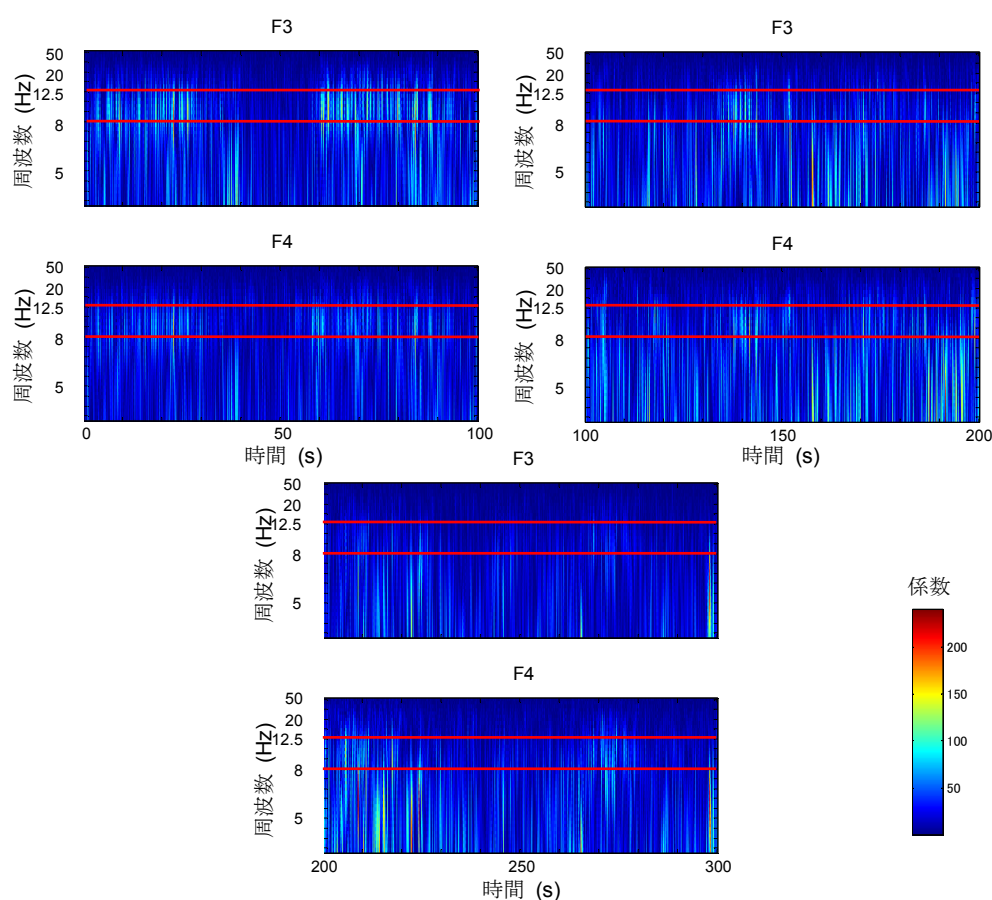


図 5.4.7 心地よい音聴取前 300 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-R : 被験者 Z)

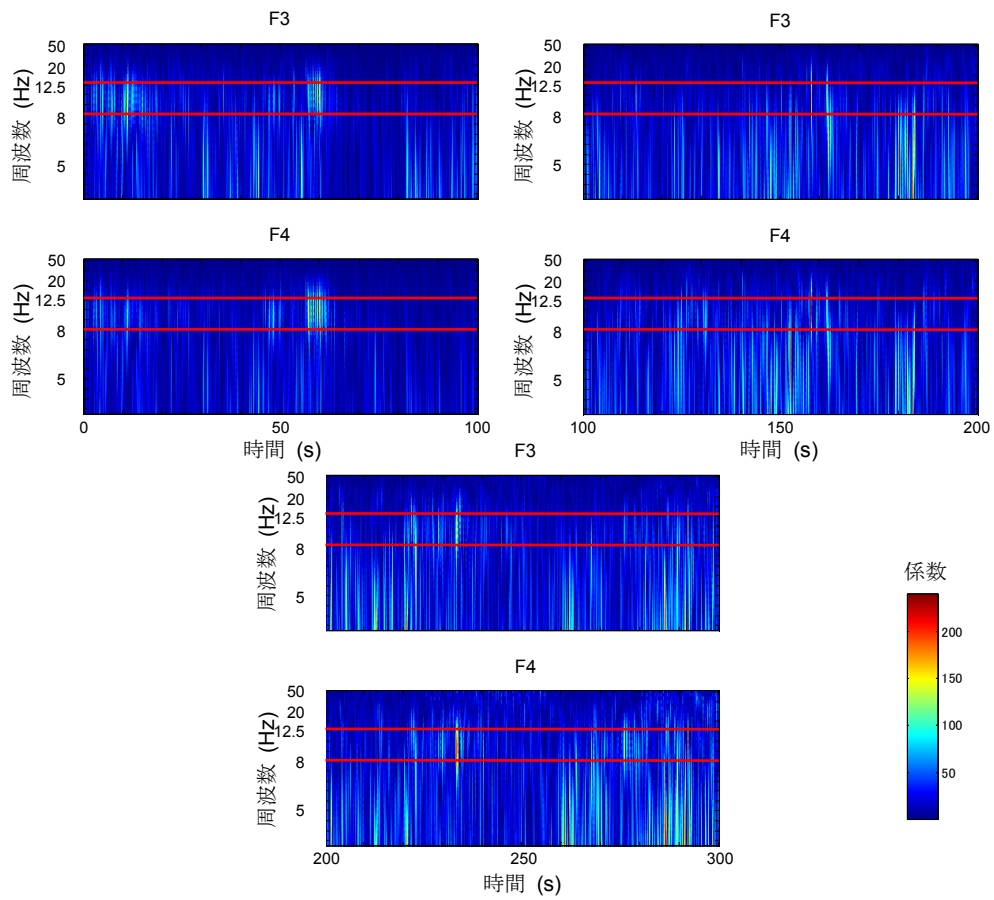


図 5.4.8 心地よい音聴取時 300 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-R : 被験者 Z)

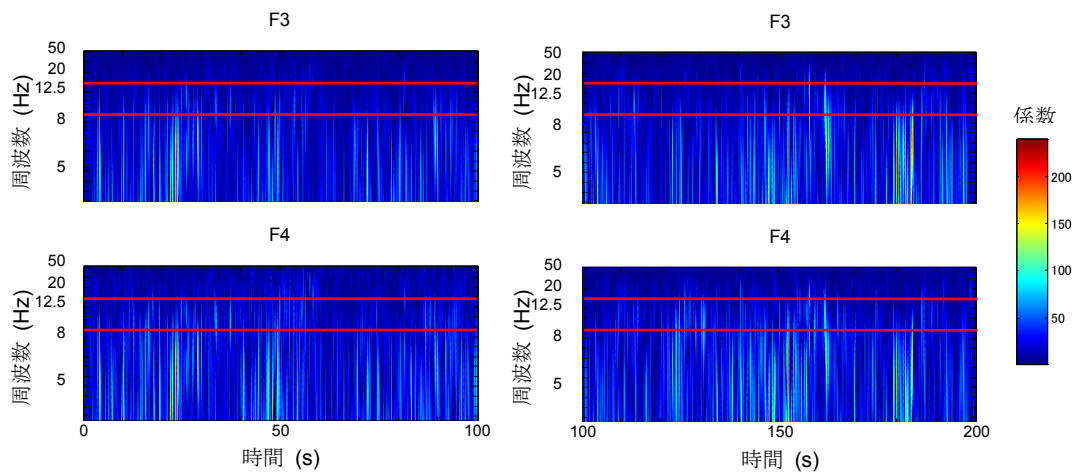


図 5.4.9 心地よい音聴取後 200 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-R : 被験者 Z)

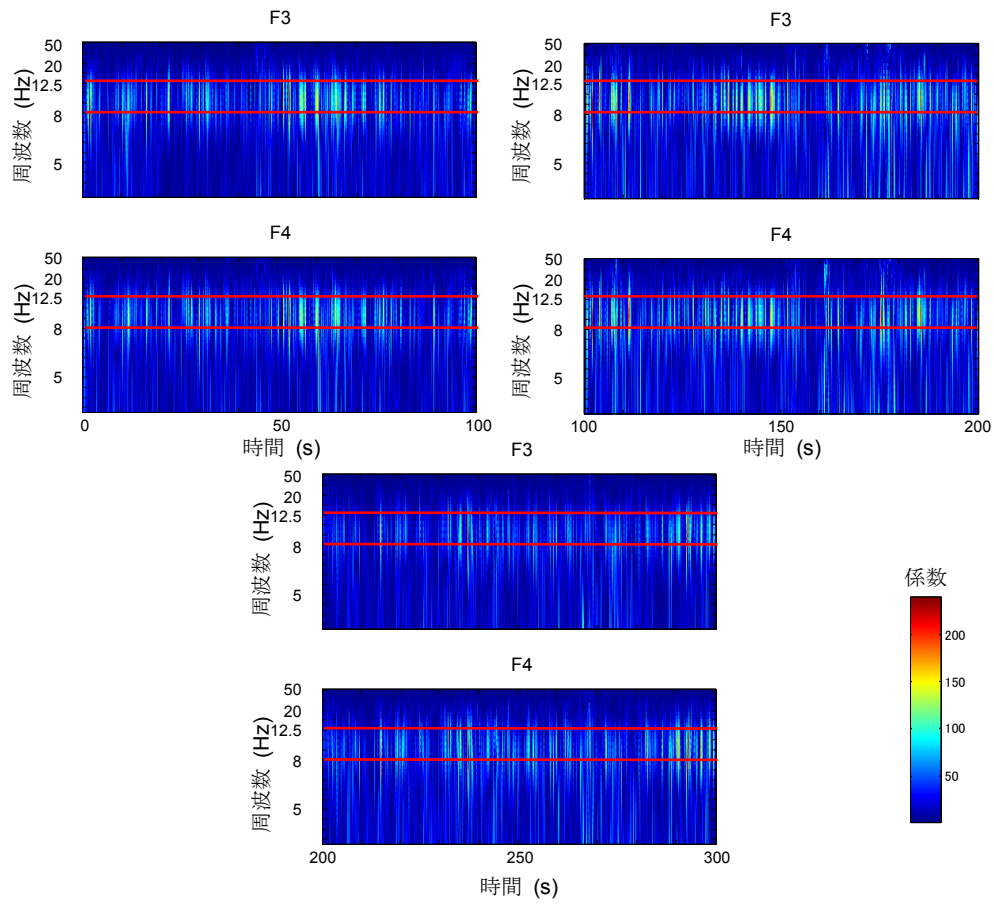


図 5.4.10 心地よい音聴取前 300 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-L : 被験者 M)

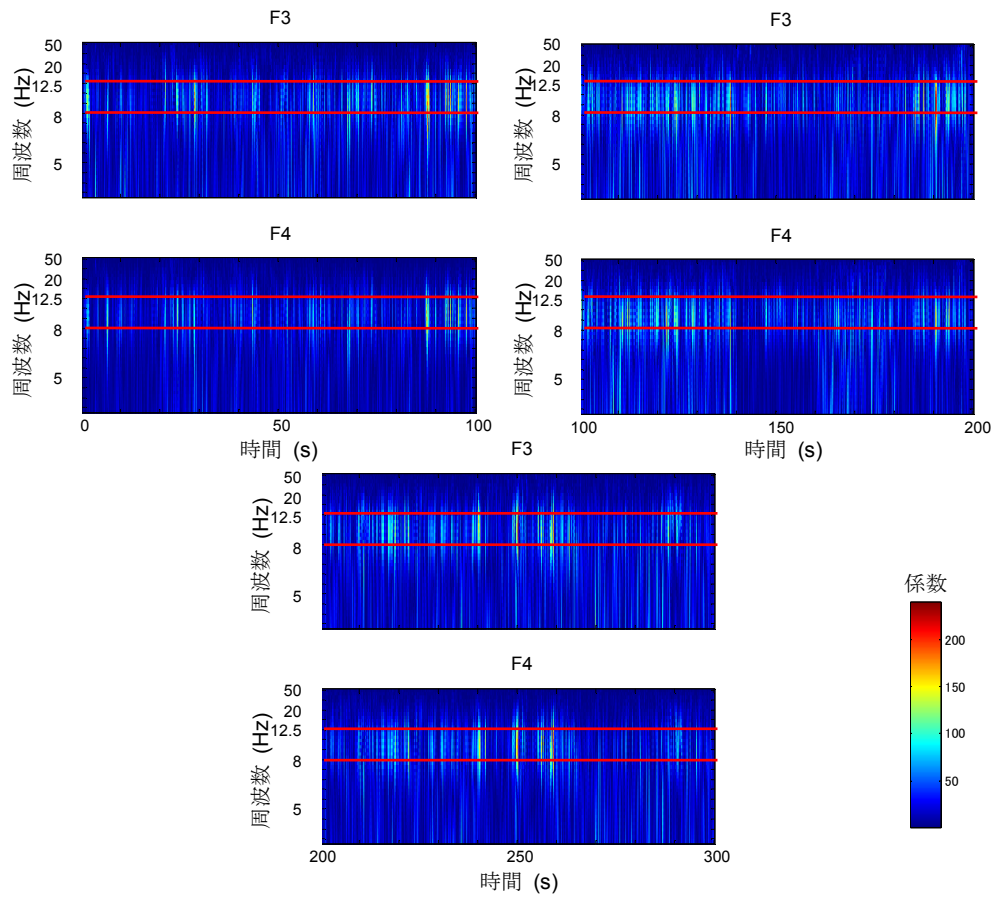


図 5.4.11 心地よい音聴取時 300 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-L : 被験者 M)

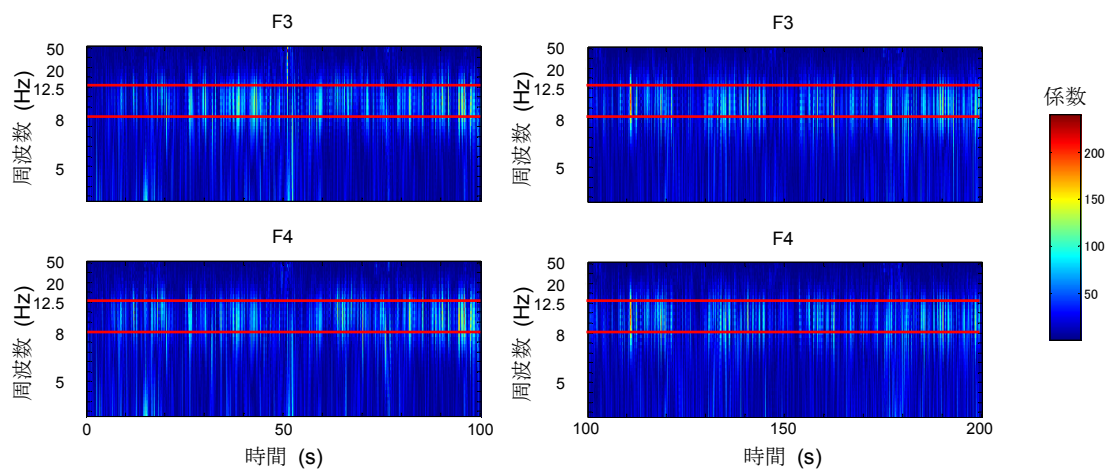


図 5.4.12 心地よい音聴取後 200 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-L : 被験者 M)

第六章 考察

本研究では、前頭葉アルファ波ゆらぎの特徴を利用する快適度評価モデル、前頭葉アルファ波パワーの左右差を利用する AAE モデルを用いて、二種類の音刺激に対する心理状態を総合的に評価した。これらの二つの評価モデルを用いた結果の関係を調べた。さらに、前安静時（ベースライン時）の心理状態状態、または音刺激に対する主観的評価などを通して被験者の反応のバラツキに関する可能な要因を検討した。

6.1 快適度モデル有効性の検討

第五章の結果に、快適度評価モデルによって二種類の音刺激に対する心理状態を評価した結果を示した。その結果、覚醒状態の違いにもかかわらず、怖い音刺激に対して多くの被験者達は不快感が顕著に増大し、心地よい音刺激に対しては快感も顕著的に増える様子がみられた。さらに、快の度合に対して、音刺激（怖い音、心地よい音）と状態（前安静時、音聴取時、後安静時）を二つのある要因とした二要因の分散分析をした結果、交互作用があったことで、音刺激の種類と状態に対して快の度合が異なったことが分かる。つまり、二種類の音刺激は、被験者達の快の感情に異なる心理的効果を与えているのではないかと考えられる。

しかしながら、いずれの音刺激に対しても覚醒感が増加した被験者がいたし、逆に減少した被験者もいた。つまり、本実験で使用した二つの音刺激に関しては、覚醒感の変化の傾向がはっきりみられなかった。音刺激の聴取によって覚醒の変化とベースライン時の覚醒感の水準との関係を調べた結果、音刺激に対しては覚醒感が減少した被験者は覚醒感が増加した被験者に比べてベースライン時の覚醒の水準はより高かった。この結果から、音刺激に対する覚醒感の変化は、刺激を受ける前のベースライン時の水準によって影響される可能性があると考えられる。このようなベースライン時の覚醒感の水準の高低によって音楽に対する覚醒感が増加することは、先行研究のひとつである音楽による覚醒感の調整効果[1]と一致している。

また、快適度モデルの結果に関する検討では、快度の変化の程度によって、被験者を三つのグループ（グループ a：怖い音聴取時に快の度合が大きく減少或は心地よい音聴取時に快の度合が大きく増加した被験者、グループ b：快度の変化が a より小さくまたは変化なしの被験者、グループ c：a とは異なる方向に反応を示した被験者）に分け、それぞれのグループに対して、音聴取時五分間の心理状態を一分間ずつ調べた（怖い音：図 5.2.10-5.2.12、心地よい音：図 5.2.16-5.2.18）。音刺激聴取の最初の一分間では、各グループにおいて心理状態が四つの象限に分布しており、特別な傾向はみられなかった。次の二分間は快度の変化が最も大きかったグループ a は不快の領域（怖い音の場合）と快の領域（心地よい音の場合）に集まっていて、はっきりした傾向を示した。怖い音刺激の場合、三分目から第五分目の間に三つのグループともに感情の回復によって快の状態になったり、また刺激の影響によって興奮や不快の状態になったりしている。同じグループの中でも感情回復の早さが

異なっている様子がみられた。心地よい音の場合は、快の度合が最も増加したグループ（グループ a）は三分目から四分目の間にずっと快の心理状態を持ち続いていた。最後の一分間では心理状態がまた四つの象限に分布していた。音楽に対する慣れが生じた可能性があるのではないかと考えた。したがって、当然のことではあるが、同じ音刺激に対しても被験者ごとに異なった傾向や反応の程度がみられた。音刺激の感じ方だけでなく、時間に伴う心理状態の変化のし方、感情回復にも個人差がみられた。さらに、心地よい音刺激に対する反応のバラツキは、音楽の慣れによって快の心理状態から不快へ変化した可能性があり、また、時間に従って音刺激エピソードの内容が変わっていくので、各時間的エピソードに対する嗜好の違いにも原因がある可能性がある。また、楽曲に関する情報の処理（曲名、著者名など）と記憶の想起は、音声認識の高次機能処理に関わる側頭部にある聴覚野と、側頭部に繋がっている脳深部の海馬で基本的に行われ、西洋音楽・楽器の処理は右脳の側頭部を中心として行われていると考えられていることから、前頭部のアルファ波の活動に影響を与える可能性は少ないと考えられる。

音刺激に対する快度の変化の程度にバラツキがあった理由のもう一つとして、前安静時の水準の違いを考えた。怖い音刺激に対して快の度合が顕著に減少したグループ a と、快の度合がそんなに顕著に変化しなかったグループ b、また快の度合が増加したグループ c の前安静時の快の度合の水準を調べて比較した。その結果、怖い音刺激では、グループ a とグループ b との間に有意な差がみられなかったが、グループ a とグループ c との間に有意な差がみられた。この結果によって、音刺激聴取の前安静時により高い水準の快の度合を持っていた被験者のほうがネガティブな刺激により影響されやすいのではないかと考えた。しかし、心地よい音刺激の結果では有意な差はみられなかったが同じような傾向はみられた。

本研究では、快適度評価モデルを用いた快度の変化を音刺激に対する主観的評価（快－不快、興味ある－興味ない、楽しい－つまらない、好き－嫌い、安らか－怖い）と比較したが（図 5.2.9 と図 5.2.15）、一致したところもそうでないところもあり、主観的評価と脳波による客観的評価では傾向やその程度は被験者全員において必ずしも一致していなかった。それに対していくつかの考えられる原因を以下のように推察した。まず、脳波は非常に変わりやすいため、後から意識される感情である主観的尺度との間に安定した関係は成立し難しいのではないかと考えられる。各主観的尺度に対する評価値にはバラツキがあり、たとえ同じくらいに不快と感じていても、定量化するために数字に直す時に被験者によって評価の程度が異なる可能性がある。外来刺激に対する反応は一般的に主観的反応と生理的反応に分けられ、それぞれの反応系の閾値は異なることを考慮すると、あまり強くない、或いは印象の薄い刺激の場合には被験者の主観的評価と生理的指標の変化の程度が異なる可能性がある[2]。たとえば、怖い音に対して不快と感じられる主観的な閾値は低いが生理的な閾値は高い被験者に関しては、主観的な尺度なら不快、嫌いなどのネガティブな感じがみられるが、生理的な変化であれば顕著ではない可能性があると考えられる。また、被験者が実際に感じたものは音刺激によって伝えたい刺激の質と異なった可能性があると考え

えられる[3]。

詳細は省くが（付録 4 参照）同様な実験を画像刺激に対して行ってその心理状態を快適度評価モデルによって評価した結果、不快画像刺激に対して 7 名の被験者の内の 5 人は前安静時に較べてより不快となったが、快画像に対しては、より快と感じる、快の感情が減少する、特に変化しない、などさまざまであった。視覚的な刺激においても不快刺激（ネガティブな刺激）の方が快刺激よりも反応が顕著であったことは、危険を避けるための進化ストレスの結果と関係していると考えられる[4]。

6.2 AAE モデルと快適度モデルを併用した結果

二種類の音刺激に対する心理状態を快適度モデルによって評価した上で、AAE モデルを併用し、二つのモデルによる評価を行った。ベースライン時の前頭葉アルファ波左右差の値によって、左前頭葉が右側より活性化したグループ（Group-L）と右前頭葉が左側より活性化したグループ（Group-R）に分けて検討した。

怖い音刺激の結果では、Group-L は怖い音刺激に対して前頭葉アルファ波左右差の値がマイナスの方向へ有意に減少した（AAE モデル）。また、快適度モデルの結果によって、これらの被験者は快の度合の有意な減少を示した（快適度評価モデル）。怖い音刺激の聴取によって、不快感情が増えると共に、ベースライン時の活性化した左前頭葉の相対的活動が減少して右前頭葉の相対的活動が増加したことが分かる。これは、怖い刺激に対する回避行動に関係しているのではないかと考えられる[5]。Group-L の結果では二つのモデルによる評価結果の間に関連性がみられた。Group-R の結果に関して、快の度合は有意に減少し（快適度評価モデル）、前頭葉のアルファ波左右差は減少する傾向を示したが有意な変化ではなかった。Group-R の被験者 E、F は他の五人の被験者と異なった傾向を示した。被験者 E、F は怖い音刺激に対して前頭葉のアルファ波左右差はベースライン時のマイナスの値からプラスまで増加し、左前頭葉が安静時より活性化した状態となった。被験者 F のほかの指標では快の度合の減少や心拍数の増加もみられなかった、主観的評価の結果ではこの被験者は怖い音刺激に対してそれほど「不快」、「つまらない」、「嫌い」、「怖い」という感じはもっておらず、刺激に対する感じ方の違いが出ているのではないかと考えられる。

外界刺激に対して感情状態は二つのプロセス（a プロセス、初期反応；b プロセス、調節反応）によって調節されることが示唆されている[6]。最初に生じるのは a-プロセスといい、これによって刺激に対する最初の適切な反応を引き起こすことができる。その後は a-プロセスより b-プロセスのほうが優位になり、感情調節の反応が引き起こされる。外来刺激に対して（この場合、怖い音刺激）あまり不快と感ぜない時は刺激に対する適切な反応（回避行動）を引き起こす a-プロセスの優位性が減少し、感情の調節に関する b-プロセス（この場合は接近行動）に進んでいくこととなるのではないか。感情の調節は左前頭葉の働きであると考えられる[6]ため、怖い音刺激に対して左前頭葉がより活性化したことは、被験者がそれほど怖さを感じなかったために起きた感情の回復過程に関係しているのではない

かと考える。

心地よい音刺激に対する結果では、Group-R は心地よい音刺激の聴取によって前頭葉左右差の値の増加を示した (AAE モデル)。左前頭葉の相対的活動が前安静時に較べて増加したことが分かる。また、快適度評価モデルの評価結果からは快の度合の増加がみられる。これらの被験者は心地よい音に対して快と感じると共に接近行動に繋がる心理状態を示した。Group-R に関しては AAE モデルと快適度モデルによる評価結果の間に関連性がみられる。快の度合が有意に増加した Group-L も前頭葉アルファ波左右差の増加を示したが、変化は有意ではなかった。Group-L の中には、心地よい音刺激の聴取によって快の度合が増加しながら左右差の値が増加した被験者がいたし、減少した被験者もいた。前者は快と感じる同時に接近的な心理状態になったが、後者は回避的な心理状態になったと考えられる。快という感情は、いつも積極的な接近行動と関連しているわけではない。快は、ある対象に接近したい意思また目標達成に関係している快感情 (pre-goal attainment positive affect) と、目標達成後に現状に満足してやや消極的な行動 (回避行動) に関係している快感情 (post-goal attainment positive affect) がある [2, 7, 8]。左右差の値が増加した被験者は、本研究で使用した快の対象と思われるクラシック音楽に対して快適感が増え、音楽をもっと「聴きたくなる」のような報酬行動 [3] を示したと考えられる。一方で左右差の値が減少した被験者は、クラシック音楽の聴取の現状に満足し、かなりリラックスした状態となったのではないかと推測した。この過程では接近行動に関係している左前頭葉の活動があまり活性化していなかったと思われる。

以上より、音刺激による反応評価に関して AAE モデルと快適度モデルの間には一定の関連性がある、と考えられる。これにより今までは不可能に近かった人間の複雑な心理状態の評価を、二つのモデルを併用することによって、感情質 (快か不快) そして覚醒感、さらに行動様式の三つの観点から、さらに適切なアンケートを加えることで主観的な観点を含めた多角的評価が可能になるのではないかと考える。

6.3 限界

6.3.1 音刺激の強さと適切さについて

本研究では、女性の悲鳴、ゾンビの叫びなど市販されている効果音を怖い音とし、クラシック音楽のカノンを心地よい音として用いた。この二種類の音刺激は被験者の心理状態にある程度の効果を与えたが、必ずしも全ての被験者に強い感情 (ネガティブとポジティブ) を引き起こしてはいなかった。刺激に対する耐性や嗜好などには個人差があり、すべて予想通りのネガティブやポジティブな感情が起こるわけではない。たとえば、ホラー映画などが好きで普段よく見ている被験者と、怖い映画が嫌いな被験者がいる。前者と後者は怖い刺激に対して耐性の違いによって異なる反応をあらわすことを想像するのは難しくはない。また、心地よい刺激として用いられていたクラシック音楽は趣味的、審美的刺激なので、基本的な感情反応を誘発する刺激に較べて、音楽の嗜好や過去の経験によってよ

り個広い個人差を引き起こすと考えられる[3]。あまり強い刺激ではなければ予想通りの感情反応やモデル間の関連性がみられない可能性が高い。感じ方の個人差を考慮すると、より単純で、かつ適切な刺激を選んだほうがより明確な結果が得られる可能性が増えるはずと考えられた。

また、予備実験として行った快の画像刺激（付録4）では IAPS（International Affective Picture System）の主観的評価が記載されている先行研究によって快感情の得点が高い画像刺激（スポーツ運動などの場面）を選択したが、被験者に実際に評価してもらったところかなり「快」と評価した被験者がいれば、あまり「快」と感じなかった被験者もいた。スポーツが好きな被験者にとってはスポーツをしている画像を見るとわくわくし快と感じたが、運動が苦手普段はあまり運動しない被験者はスキーなどの画像を見ると緊張したり、場合によっては不快と感じる可能性があると思われる。嗜好の個人差だけでなく、例えば欧米人とアジア人が「快」と感じるものが異なることもあり、刺激に対する評価に文化の差異もみられた。以上より、心理物理実験における刺激に関しては、十分に強く、且つ倫理的に許される範囲の刺激を用意すること、また被験者の刺激に対する主観的評価を詳細に、且つ慎重に行う必要があるが、これらの点は本研究では必ずしも十分ではなかったと考える。

6.3.2 雑音について

脳波で観察されたのは、感情反応に関する複雑な回路のほんの一部である[9]。脳波では感情に最も大きく関係している大脳辺縁系などの皮質下の活動を捕捉できない。また、一般的に筋電図などの雑音の影響を完全に除去できないため、解析に用いた脳波にはそのような雑音の影響も入っている可能性がある。

脳波の解析に用いた独立成分分析は眼球運動などのノイズを脳波から除外する方法であるが[10]、その具体的な方法に関してはまだ確立しているとは言えない。この方法を使わない研究者もいる。本研究では眼球運動を目視によって除外する方法を取ったが、再構成した波形はある程度まで実施者の主観的な判断に影響されていると考えられる。より適切な方法があれば試行する価値がある。

6.3.3 ベースライン時のコントロールについて

本研究では、刺激に対する反応の傾向は刺激を受ける前のベースライン時の水準の差異によって異なり、二つのモデルによる評価結果は安静時（ベースライン）の水準に影響されると考えられた。一方でアンケートによる刺激の評価は被験者の日常的な嗜好が強く反映されるため、モデルによる評価結果と主観的評価を適切に比較するには被験者のベースラインを正確に測定する必要がある。脳波は周囲の気配や物音、或いは被験者本人の考え事などによって容易に変化することを考慮すると、本研究の実験環境下は十分であったとは言いがたい。

参考文献

- [1] Iwaki, T., Hayashi, M., & Hori, T. (1994). Psychophysiological study of arousal modulation model of music. *Memoirs of the Faculty of integrated Arts and Science, Hiroshima University, IV, Science reports: study of fundamental and environmental sciences*, 20, 197-204.
- [2] Davidson, R.J. (1998). Affective style and affective disorders: perspectives from affective neuroscience. *Cognition and emotion*, 12(3), 307-330.
- [3] Salimpoor, V. N., Benvov, M., Longo, G., Cooperstock, J. R., & Zatorre, R. J. (2009). The rewarding aspects of music listening are related to degree of emotional arousal. *PLoS ONE*, 4(10), e7487.
- [4] Davidson, R. J., Jackson, D. C., & Kalin, N .H. (2000). Emotion, plasticity, context, and regulation: Perspectives from affective neuroscience. *Psychological Bulletin*, 126(6), 809-909
- [5] Coan, J.A., Allen, J.J.B., & Harmon-Jones, E. (2001). Voluntary facial expressions and hemispheric asymmetry over the frontal cortex. *Psychophysiology*, 38, 912-925.
- [6] Kline, J. P., Blackhart, G. C., & Williams, W. C. (2007). Anterior EEG asymmetries and opponent process theory. *International Journal of Psychophysiology*, 63(3), 302-307.
- [7] Davidson, R.J. (1994). Asymmetric brain function, affective style, and psychopathology: The role of early experience and plasticity. *Development and Psychopathology*, 6, 741-758.
- [8] Carver, C.S. (2004). Negative affects deriving from the behavioral approach system. *Emotion*, 4(1), 3-22.
- [9] Davidson, R.J. (2004). What does the prefrontal cortex “do” in affect: perspectives on frontal EEG asymmetry research. *Biological Psychology*, 67, 219-233.
- [10] Vigário, R.N. (1997). Extraction of ocular artifacts from EEG using independent component analysis. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 103, 395-404.

第七章 結論・今後の課題

7.1 結論

本研究では、外来刺激に対する心理反応をできる限り客観的に評価することを目的として提案された、前頭葉 α 波揺らぎを用いた快適度評価モデルの妥当性を、二種類の音刺激（怖い音、心地よい音）を用いて検証すると共に、従来より広く用いられている前頭葉 α 波活動の非対称性を用いた AAE モデルとの関連性を検討した。以下に結果をまとめる。

1. 使用した音刺激に対する主観的評価（SD アンケート）の結果から、怖い音刺激に対して被験者はより不快、嫌い、などのネガティブなイメージを評価し、心地よい音刺激に対してより快、好き、などのポジティブなイメージを評価した。また、実験前後の心理状態の主観的評価（POMS アンケート）から、実験前に較べて、怖い音聴取後に被験者はより緊張、抑うつなどのネガティブな気分状態をあらわし、心地よい音聴取後では実験前の安静状態に回復した。本研究で使用した二種類の音刺激は異なる感情反応を引き起こすことができ、刺激として妥当であることを確認した。

2. 二種類の音刺激（怖い、心地よい）に対する心理状態を快適度評価モデルによって評価した結果、前安静状態に較べて、怖い音刺激に対して多くの被験者はより不快の感情を示し、心地よい音刺激に対してより快の感情を示した。これらの客観的評価はアンケートによる主観的評価の結果と一致し、快適度評価モデルが有効であることが示された。

3. AAE モデルと快適度評価モデルを併用して心理状態を評価した結果、前安静状態に較べて、怖い音刺激に対して右前頭葉の相対的活動が増加した被験者（退避的行動、AAE モデル）は不快の感情の増加（快適度評価モデル）を示し、心地よい音に対して左前頭葉の相対的活動が増加した被験者（接近的行動、AAE モデル）は快の感情の増加（快適度評価）を示した。二つのモデルによる評価結果の間に一定の関連性がみられた。この二つのモデルを併用することによって、心理状態を感情の質（快か不快）、覚醒感、心理行動の三つの観点から多角的に評価することが可能になると考えられる。

7.2 今後の課題

1. 被験者の刺激に対する主観的評価を基として、十分に強く、また比較的単純で、且つ倫理的に許される範囲の刺激を探し、それを用いて結果の再現性を確認する。
2. 実験日における被験者の身体状態をコントロールし、または実験室の環境（雑音・電磁場の影響を防ぐなど）を安定にすることを工夫する。
3. 1~2 回の予備実験を行うことによって、被験者をできる限り実験の雰囲気、手順、課題に慣れるようにし、被験者に実験、及び実験室の雰囲気に慣れることによって、眼球運動、及び肩や首の不用意な運動に伴って発生する筋電図の影響を低減し、被験者に与えるストレスを軽減する。

以上。

付録

1. 独立成分分析による脳波ノイズの除去法
2. 統計解析
3. 心電図誘導法
4. 画像刺激に対する心理状態の評価
5. 結果の補充

1. 独立成分分析による脳波のノイズの除去法[1]

本研究では、眼球電位などの雑音が多い場合には独立成分分析 (Independent Components Analysis, ICA) によってできる限りその影響を減弱した。

脳波計によって記録されたデータは、脳内で様々な部位の活動が混合されたものだと考えられる。さらに外部からのノイズが加わる場合が多い。これらが独立だと考えられれば ICA の仮定があてはまる。ICA 処理によって観察された脳波信号を以下の考え方によって独立な成分に分けることができる。

脳波計によって観察された信号の信号源が以下のようなベクトルで与えられるとする。

$$s(t) = (s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t))^T \quad t = 0, 1, 2, \dots$$

観察された信号は

$$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t))^T \quad t = 0, 1, 2, \dots$$

であらわすものとする。

$s(t)$ と $x(t)$ との間に $x(t) = As(t)$ という線型関係を仮定する。A は $m \times n$ の実数行列である。 $n \leq m$ であるならば解が存在する。 $n \times m$ の実数行列 W が存在し、

$$y(t) = Wx(t), \quad WA = I$$

によってお互いに独立な $y(t)$ を再構成できる。このとき $x(t)$ を n 個の独立な信号成分に分離することができる。

本研究では、 m の数は脳波電極のチャンネルの数 19 個にし、独立成分の数を 10 個に設定した。19 チャンネルの各信号を 20 秒ずつ視察し、ノイズに明らかに影響されたものを独立成分分析によって分離した。分離された 10 個の独立成分を観察し、ノイズの形を持っている成分を除去してから残りの独立成分を用いて脳波信号を再構成した。元の脳波信号と独立成分分析を用いて再構成した脳波信号を下図に示す。

また、本研究では快適度モデルを用いた分析では、独立成分分析によって再構成した脳波 (Fp1, Fp2) を使用したが、AAE モデルの分析のほうではそのままの脳波データを使用した (視察によって眼球運動などノイズの影響を受けたデータは除去した)。その理由は、独立成分分析の処理によって脳波自体の振幅が変わってしまうため、アルファ波の振幅の大きさに直接に関係している AAE モデルの解析結果に悪い影響を与える可能性がある一方で、アルファ波のゆらぎを用いた快適度モデルには基本的にそのような影響を及ぼしにくくなると思ったからである。

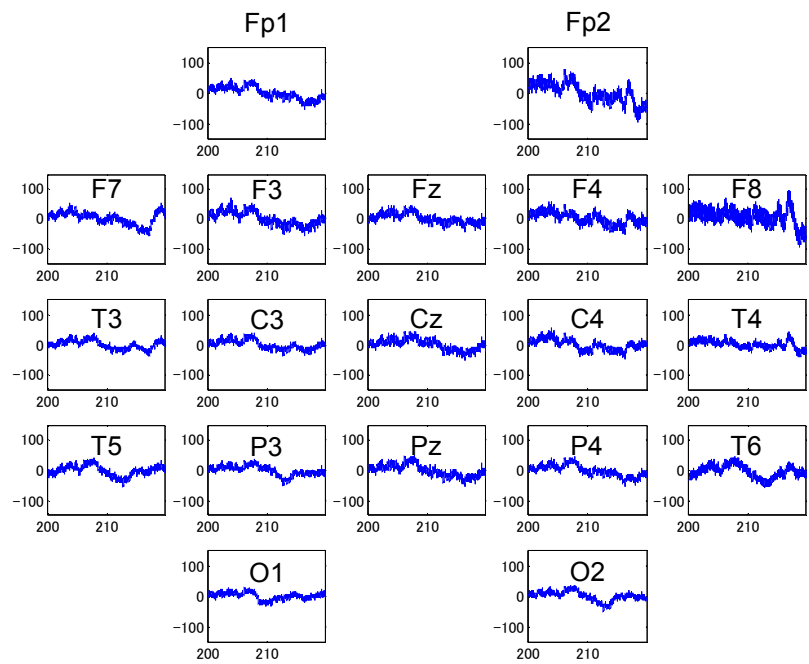
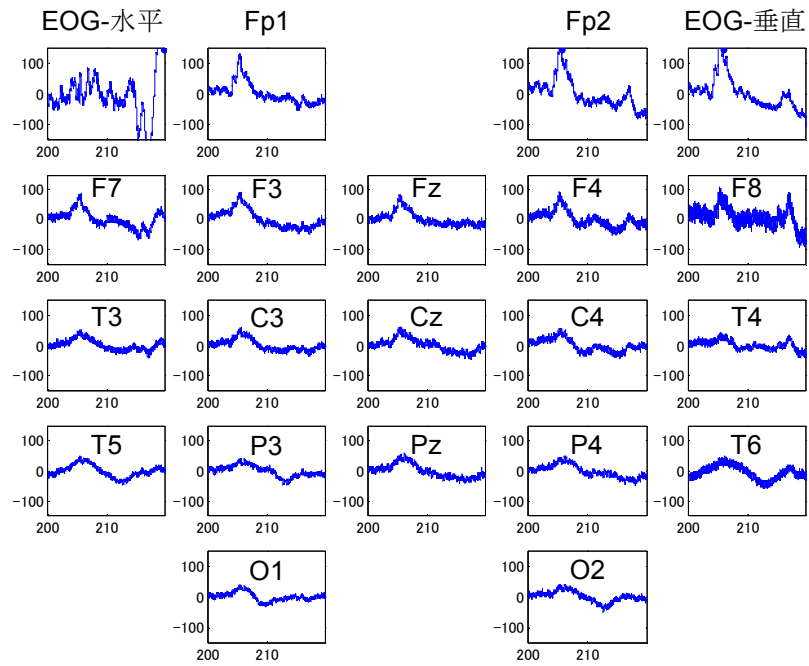


図 1-1 独立成分分析処理前（上）と処理後（下）の 19 チャンネルの脳波

2. 統計解析[2,3]

2-1. 一元要因の分散分析

(1) 対応のある一元配置の分散分析：音刺激による心理的効果

本研究では、怖い音刺激（或は心地よい音刺激）の聴取前の前安静時、音聴取時、音聴取後の後安静時の三つの状態に対応する快の度合、興奮の度合の間に有意な差があるかどうかを調べるために、対応のある一元配置の分散分析を行った。「状態（前安静時、音聴取時、後安静時）」を被験者内の要因とした。

(2) 対応のない一元配置の分散分析

怖い音刺激（或は心地よい音刺激）に対する快度の変化の程度によって被験者を三つのグループ（a、b、c）に分けた。これらの三つのグループの主観的評価の各感情尺度の評価値の間に有意な差があるかどうかを調べるために、対応のない一元配置の分散分析を行った。「グループ」を独立変数、「主観的評価値」を従属変数とした。

また、これらの三つのグループの音刺激に対する興奮度の変化及び前安静時の興奮の度合の水準の間の有意差の検定では同じようなやり方をした。

2-2. 二元要因の分散分析による交互作用の検定

(1) 二種類の音刺激に対する主観的評価の間の有意差の検定では、対応のある二元配置の分散分析を行った。被験者内要因は二つあり、一つは「音刺激（怖い音、心地よい音）」で、もう一つは「主観的評価の尺度（快-不快、興味ある-興味ない、楽しい-つまらない、好き-嫌い、安らか-怖い）」である。

(2) POMS 尺度を用いて実験前、怖い音聴取後、心地よい音聴取後の心理状態の主観的評価の間の有意差の検定では、対応のある二元配置の分散分析を行った。二つの被験者内要因は一つは「時間（実験前、怖い音聴取後、心地よい音聴取後）」であり、もう一つは「心理状態の評価尺度（緊張、抑うつ、怒り、活気、疲労、混乱）」である。

(3) 二種類の音刺激による心理的効果の違いに関する検定では、二種類の音刺激に対する前安静、音聴取、後安静時の快の度合或は興奮の度合に対して、対応のある二元配置の分散分析を行った。二つの被験者内の要因は、「音刺激（怖い音、心地よい音）」と「時間（前安静時、音聴取時、後安静時）」である。交互作用「音×時間」があるかどうかを調べた。

尚、分散分析は SPSS 15.0 J を用いて行い、有意水準は 0.05 とした。

2-3. t検定

(1) 対応のあるt検定

主観的評価の各尺度（快-不快、興味ある-興味ない、楽しい-つまらない、好き-嫌い、安らか-怖い）に対して、二種類の音刺激に対する評価値の間の有意差の検定を行った。

(2) 対応のないt検定

怖い音刺激（或は心地よい音刺激）に対する快度の変化の程度によって被験者を三つのグループ（a、b、c）に分けた。これらの三つのグループの前安静時の快の度合に対して、いずれの二つのグループの間の有意差の検定をした。

音刺激（怖い音或は心地よい音）の聴取によって、興奮の度合が前安静時より増加した被験者と減少した被験者の前安静時の興奮の度合の水準の間の有意差検定を行った。

2-4. クラスタ分析

クラスタ分析は、類似したもの同士を集めてグループ（クラスタ）を作って解析する分析法である。クラスタ分析は対象がいくつかのグループにわかれるはずだと予測がつくような場合に行われる。また、クラスタ分析を行う場合、不特定多数の個体間の差をみる場合よりも、ある程度有意な個体間の関連性をみることが多い。

本研究では、SPSS 15.0 Jを用いて快適度円平面上に分布している数が多い評価点に対してクラスタ分析を行っていくつかのグループに分け、さらに被験者達がどこの領域に集まっているのかを調べた。また、クラスタ分析にはいくつかの方法があるが、本研究では、重心法を採用した。

3. 心電図の誘導法[4]

心電図を得るために、四肢に四つの電極、胸部に六つの電極を配置し、六つの四肢誘導と六つの胸部誘導を使用する。四肢誘導は三つの標準誘導と三つの増高誘導に分かれる。それぞれの誘導は違った角度と平面で心臓の活動を観察する。四肢誘導で定義される一つの平面は前頭面で、胸部誘導で定義される平面は横断面である。これらの二つの平面は直交している。

四肢誘導は、四つの電極を手足に装着することによって心電図を得る方式である。電氣的胴と手足は、鼠蹊部の上に一つの頂点があり、左右の肩関節に二つの頂点がある正三角形（Einthoven 三角形、図）とみなせる。身体は電氣的導体と考えられるので、腕へ電極の接着は肩関節への接着と同等である。また、慣習として、左足は鼠蹊部と同等とする。右足に接着する電極は接地に使用される。四肢電極のうちの二つの電位差から、三種の四肢誘導が得られる。

第Ⅰ誘導は左腕を正、右腕を負とする。この誘導は前頭面の角度 0 度の軸である。第Ⅱ誘導は左足を正、右腕を負とし、前頭面の 60 度軸である。第Ⅲ誘導は左足を正、左腕を負とする。前頭面の 120 度の軸である。（ここで、時計回りを正、反時計回りを負とする）ただし、標準誘導は二つの電極間の差が記録されるので、波形によって心臓電気活動の伝導様式を知ることはできないが、P 波と R 波の関係によって、心房と心室の間の伝導時間の異常や、拍動異常の性質を調べることができる。

もし二つの電極間の電位差を観察するのではなく、一つの調べたいと思う部位の電位を導出する場合には、この部位に探査電極（正極）を配置し、また左腕、右腕、左足の三つの電極を抵抗を介し接続し、心臓の電氣的中点（基準電極）として記録する。これは単極誘導法と呼ばれる。探査電極を手足に接着する場合は単極肢誘導、胸部に接着する場合は胸部誘導という。

左腕、右腕、左足にそれぞれ探査電極を設置し、そのほかの二つの電極の平均との差を求める方法は増高誘導と呼ばれる。この場合で得る波形に大きな変化はないが、振幅の拡大がみられる。三つの増高誘導は以下のように示される。

aVR は右腕を正、左腕を左足の midpoint を負として記録する。前頭面の -150 度軸である。

aVL は左腕を正、ほかの二つの midpoint を負とする。-30 度の軸である。

aVF は左足を正、ほかの二肢の midpoint を負としたものである。これは 90 度の軸である。

六つの四肢誘導は前頭面で 30 度の間隔で心臓の電気軸を観察する。

胸部誘導

胸部誘導は、前頭面と直交している横断面におかれる六つの胸部電極のいずれのものを正極とし、四肢誘導の三つの手足電極の電氣的中点を負極とし記録する。それぞれの胸部電極からの誘導を V1-V6 という。

- V1 : 第4肋間胸骨右縁
- V2 : 第4肋間胸骨左縁
- V3 : V2 と V4 の中間点
- V4 : 第5肋間左鎖骨中線
- V5 : V4 と V6 の中間点
- V6 : 第5肋間腋窩中線

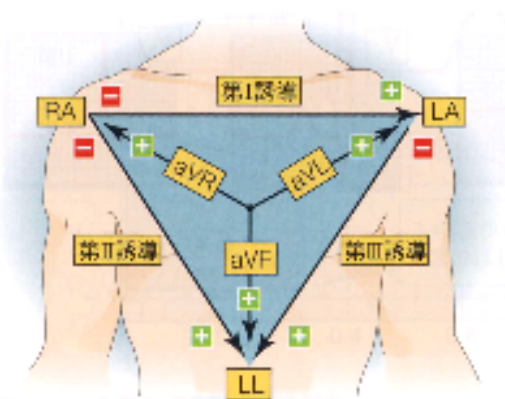


図 3-1 四肢誘導 Einthoven 三角形 ([3] p.524 より転載)

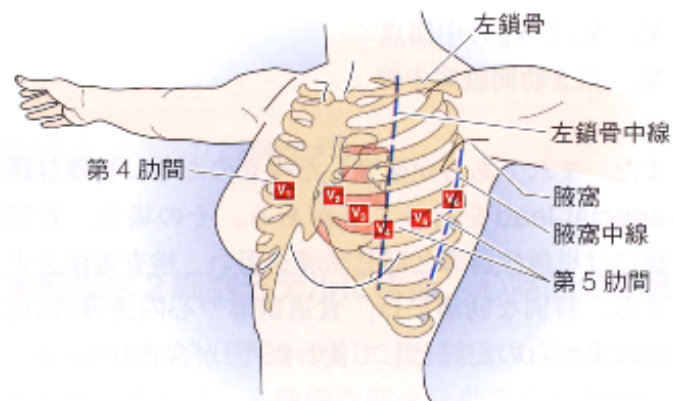


図 3-2 胸部誘導の探索電極の配置図 ([3] p.523 より転載)

4. 画像刺激

不快及び快の視覚刺激に対する心理状態を AAE モデル及び快適度評価法を用いて調べた。不快及び快の視覚刺激は、国際的感情画像システム (International Affective Picture System, IAPS) から六枚ずつ (不快・低覚醒の画像 : No. 2703, 9110, 9326, 9330, 9331, 9433; 快・高覚醒の画像 : No. 5470, 8030, 8185, 8186, 8200, 8492) 選んだ。また、先行研究[5]に記載されている六枚の画像に対する主観的評価 (Ref.) と、実験後に被験者に評価してもらった結果 (i~vii) を図 4-1 に示す。主観的評価は、Self-Assessment Manikin によって感情質 (快-不快、図 4-1 の上図) と、覚醒 (興奮-鎮静、図 4-1 の下図) に対して九段階で評価した。図 4-1 に、左から先行研究に記載されている六枚の画像による参考値そして七人の被験者の評価値をあらわす。青い棒は不快画像・低覚醒画像、赤い棒は快・高覚醒画像をそれぞれあらわす。縦軸にあらわす値が「0」の近くであれば画像刺激に対して「快」でも「不快」でもなく、普通の状態をあらわし、その値がプラスへいくほど画像刺激に対してより「快」と感じ、マイナスへいくほどより「不快」と感じていることになる。

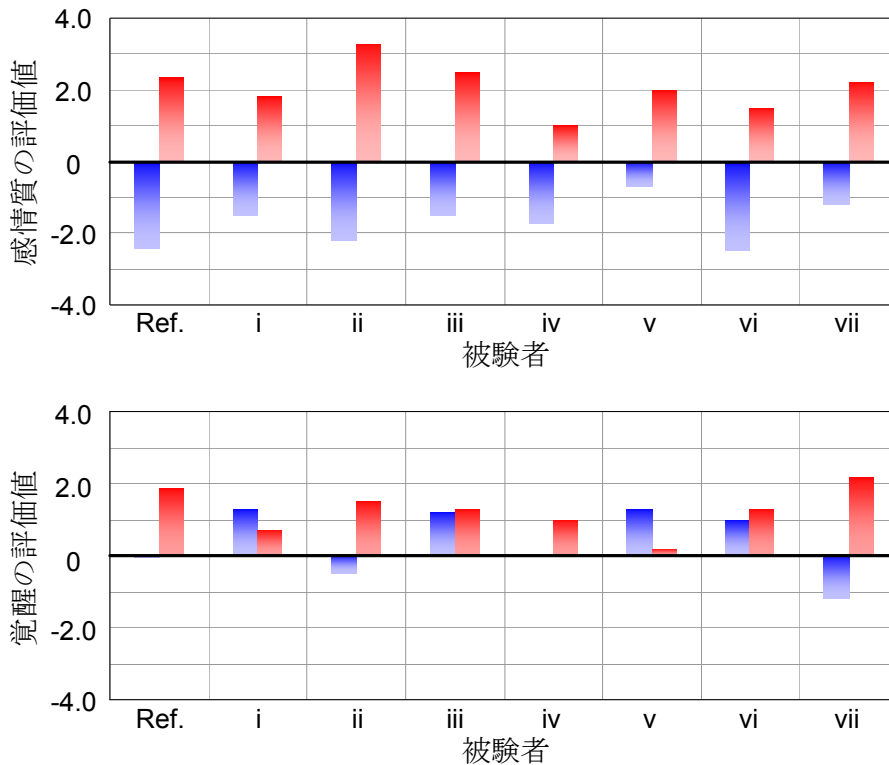


図 4-1 SAM による不快・快の画像に対する主観的評価
 (上) 感情質 : 快-不快 ; (下) 覚醒 : 興奮-鎮静
 ■ 不快画像 ■ 快画像

図 4-1 より、感情質に関する評価 (上の図) では、七人の被験者は「不快・低覚醒」の画

像に対して、より「不快」と感じ、「快・高覚醒」の画像に対して、より「快」と評価したことがわかる。また、その内の被験者 v、vii は他の被験者と比べて不快画像に対してそんなに「不快」と感じていなかったことが分かる。被験者 vi を除いた他の被験者は、参考値に比べて不快感の程度が少なかった。快の画像に対して、被験者 ii、iii を除いた他の 5 人の評価値は参考値より小さかった。覚醒に対して、被験者 ii、iv、vii を除いた他の 4 人は、低覚醒と思われる画像刺激に対してもやや興奮と評価した。高覚醒と思われる画像刺激に対して、被験者 vii を除いた他の 6 人は覚醒の程度が低く、参考値ほどではなかった。

次に、この時の快適度モデル及び AAE モデルの二つの評価モデルによる評価結果を図 4-2、図 4-3 に被験者 ii の結果を例としてそれぞれ示す。図 4-2 では、画像刺激呈示前の安静時、画像呈示時、画像呈示後の安静時の心理状態を示す。いずれの円平面においても、前安静時（白い四角）、画像呈示時（青い或は赤い三角）、後安静時（灰色の丸）の心理状態をそれぞれ 20 秒ずつの 3 点、計 60 秒間の様子を表す。また、それぞれの状態に対応する三点の重心（X、Y の中心）をそのときの感情状態の代表として円平面状のより大きい印であらわす。矢印の方向は前安静時から画像呈示時への感情状態の変化を示す。

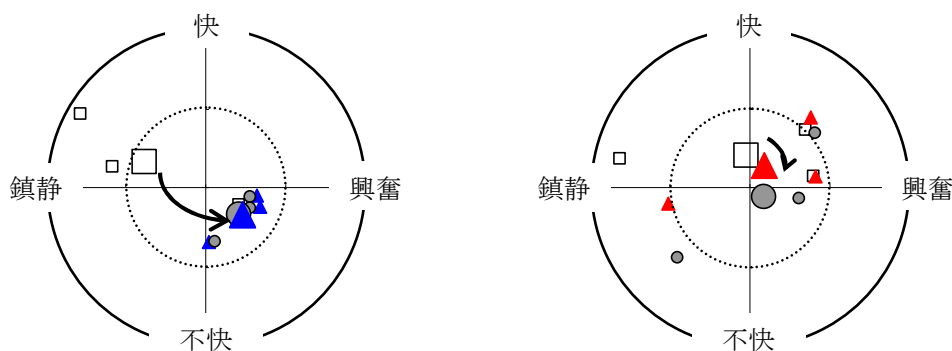


図 4-2 画像刺激呈示前、呈示中、呈示後の心理状態（快適度モデル）

□前安静 ▲不快画像呈示 ▲快画像呈示 ●後安静

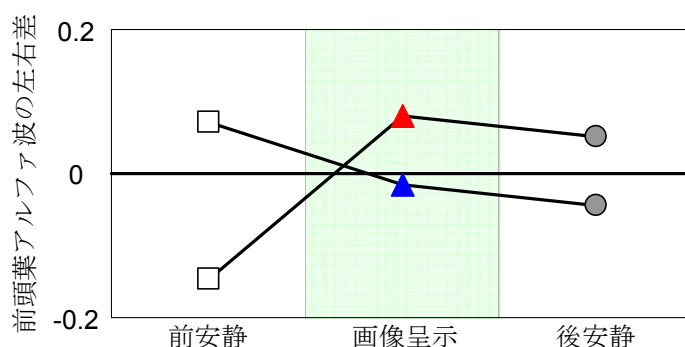


図 4-3 画像刺激呈示前、呈示中、呈示後の前頭葉アルファ波左右差（AAE モデル）

□前安静 ▲不快画像呈示 ▲快画像呈示 ●後安静

図 4-2 より、前安静時では感情状態は快・鎮静の状態をあらわす第二象限にあり、そして快より鎮静の状態が優位である。不快画像の呈示時では不快・興奮をあらわす第四象限に移動し、後安静時まで不快の感情状態が続いていた。快の画像の呈示時では、感情状態は前安静時の快・鎮静から、画像呈示時の快・興奮へ変化し、後安静時にはやや不快・興奮の状態となった。被験者は、快、不快の画像刺激に対して、それぞれ異なる感情状態をあらわした。

図 4-3 に、その時の AAE モデルによるアルファ波パワーの左右差を示す。不快画像刺激の時ではアルファ波の左右差の値は前安静時にプラスであり、画像呈示時ではマイナスとなって、後安静時にさらにマイナスの値が増えていた。この結果、前安静時には左前頭葉がより活性化し、画像の呈示によって右前頭葉の活動が増えて左側に較べてより活性化していたと考えられる。後安静時には右前頭葉の相対的活動度はさらに増加した。快の画像の結果では、前頭葉のアルファ波左右差の値は前安静時にはマイナスであったが快の画像刺激の呈示によってプラスの値となり、後安静時にはその値がすこし減少していたがまだプラスの状態維持していた。この結果、快の画像刺激に対して右前頭葉の活動に較べて左前頭葉の活動がより活性化し、左右のその活動パターンが後安静時まで持続していたことが分かる。

不快画像及び快画像呈示前、呈示中、呈示後における前頭葉の左側 F3 と右側 F4 から記録された脳波に対する時間一周波数解析の結果をそれぞれ図 4-4、図 4-5 に示す。解析した周波数は 4~50Hz の範囲であり、解析時間は 60 秒である。図中に赤い直線で囲まれている領域はアルファ波 (8~13Hz) 帯域である。

図 4-4 の左上の図に示す不快画像呈示前の前安静時の前頭葉左右側のアルファ波活動に関しては、右側に較べて左側のアルファ波強度が若干の小さかった。前安静時には、左前頭葉が右側より活性化したことが分かる。不快画像呈示中では、左右ともに前安静時に較べてアルファ波強度が増加した様子がみられる。また、画像呈示から 80~90s、110~120s の間に左前頭葉に較べて右前頭葉のアルファ波強度がより小さかったので、この時間帯では右前頭葉はより活性化していたことが分かる。後安静時には、左右側のアルファ波強度が減少し、左前頭葉のアルファ波強度は右側に較べて若干的に小さかった。

図 4-5 に示す快画像呈示前、中、後の結果では、左右側のアルファ波強度の間の顕著的違いがあまりみられなかったが、前安静時、快画像刺激呈示時には、右前頭葉に較べて左側のアルファ波強度は相対的に小さかったので、快画像刺激に対して左前頭葉は右側より活性化していたことが分かる。

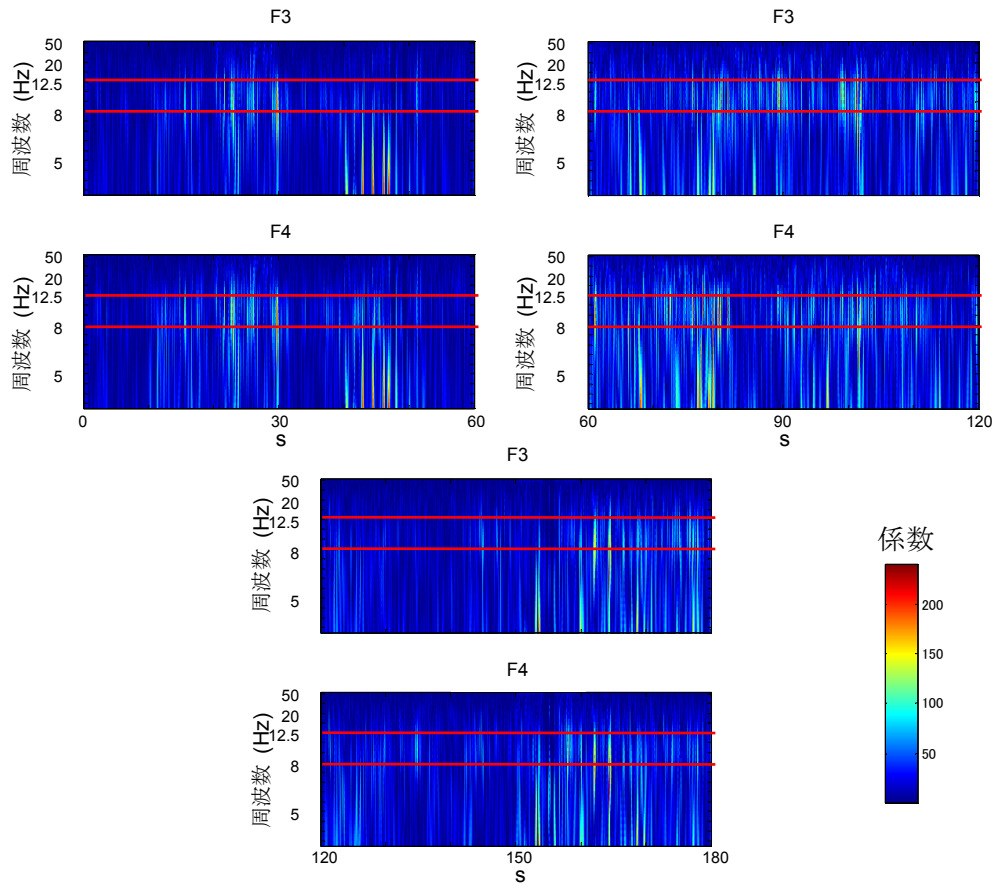


図 4-4 不快画像刺激呈示前、呈示中、呈示後の時間的な周波数スペクトル (被験者 ii)

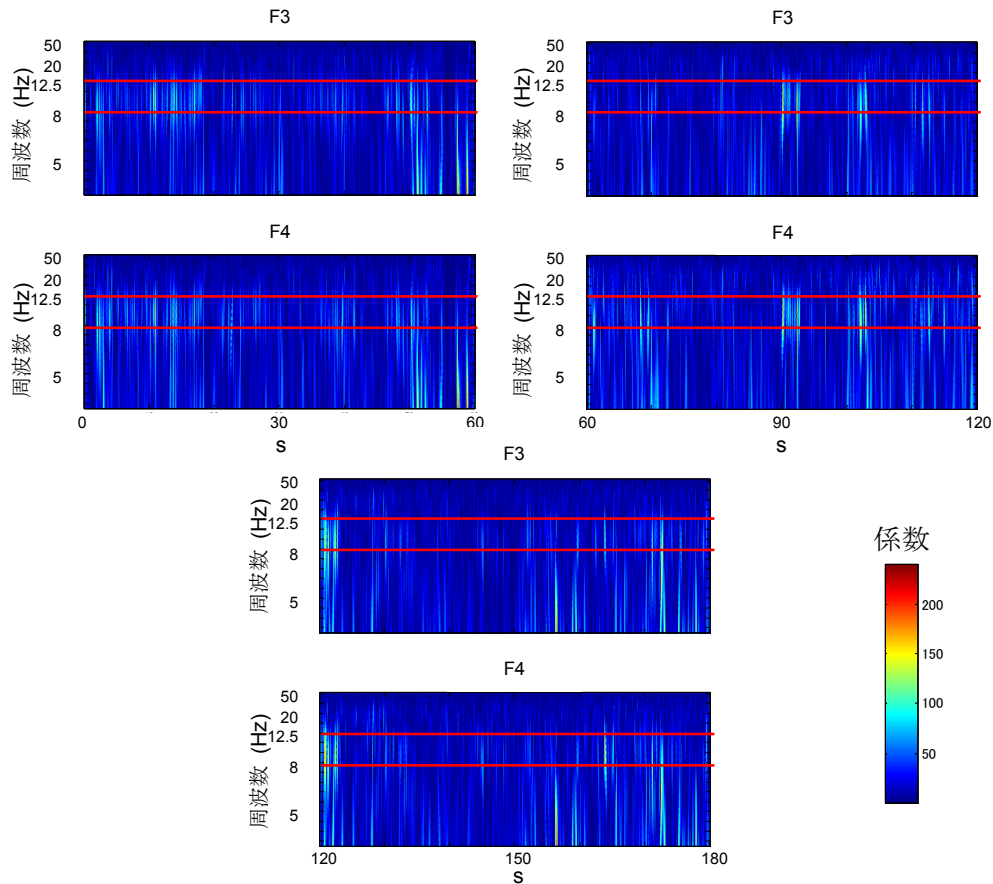


図 4-5 快画像刺激呈示前、呈示中、呈示後の時間的な周波数スペクトル (被験者 ii)

図 4-6 に、不快画像呈示前、呈示中、呈示後の 7 人の被験者の心理状態を示す。線で結ばれた四角、三角、丸は一人の被験者の前安静時、画像呈示時、後安静時の状態をあらわす。その結果、7 人の内の 3 人 (被験者 ii, iv, vi) は、画像呈示前ではより快の領域にあり (円平面の上側)、不快画像の呈示によって、不快の領域に移動し (円平面の下側)、7 の内の 2 (被験者 i, iii) は、不快画像の呈示時では快の領域に残り続いていたが、快の感情の程度は前安静時に較べて下がって、感情状態の変化の程度にかかわらず、これらの 5 人は不快画像に対して感情状態はより不快となっていた。残りの 2 人は (被験者 v, vii)、画像呈示前では不快の心理状態にあり、画像の呈示によって快の領域に入っていた。

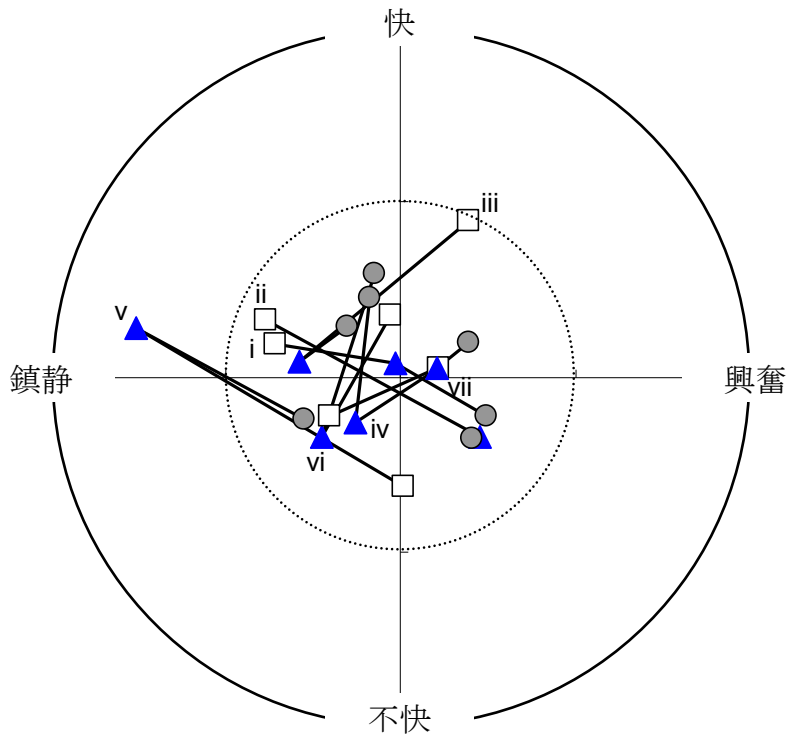


図 4-6 不快画像呈示前、呈示中、呈示後の心理状態（七人）
 □ 前安静 ▲ 不快画像呈示 ● 後安静

図 4-7 に、快の画像呈示前、呈示中、呈示後の心理状態を 7 人の被験者ごとに示す。7 人の内の 2 人は、快の画像の呈示中に快を感じた程度は前安静時に較べてより高かった。7 人のうちの 3 人は覚醒レベルの変化などの原因によって評価点の位置が変化した。7 人のうちの 3 人は快の感情領域（円平面の上側）にあった。残りの 2 は快の画像に対して前安静時より円平面の下側に移動し快の感情の程度が減少した様子がみられる。

図 4-8 に、不快画像呈示中の心理状態と快画像呈示中の心理状態の比較を示す。同じ被験者の二つの刺激に対する結果を線で結んでいる。7 人の内の 5 人（被験者 i, ii, iii, iv, vi）は、不快画像呈示時に較べて快画像呈示時により快感情をあらわした。他の 2 人（被験者 v, vii）は、不快画像呈示時に較べて快画像呈示時に快を感じた程度が減少した。

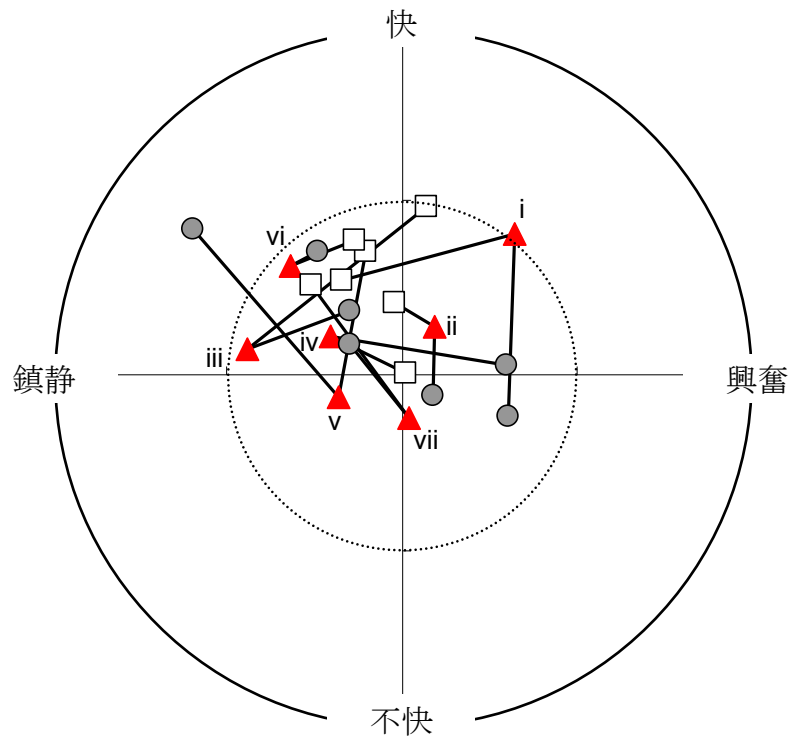


図 4-7 快画像呈示前、呈示中、呈示後の心理状態（七人）

□前安静 ▲快画像呈示 ●後安静

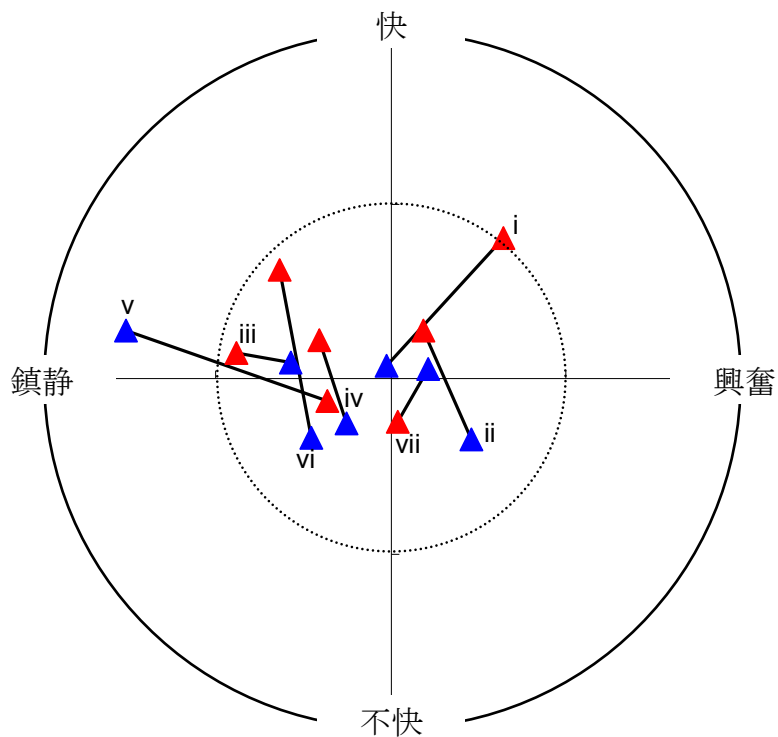


図 4-8 不快画像、快画像呈示時の心理状態の比較

▲不快画像呈示 ▲快画像呈示

図 4-9 に、不快画像（上図）と快画像（下図）刺激呈示前、呈示中、呈示後の前頭葉アルファ波パワーの左右差の結果を示す。不快画像に対する結果（上の図）では、7人の内の3人（被験者 i, ii, iii）は前頭葉アルファ波左右差の値が減少していた。その内の被験者 i は、前安静時で左右差がマイナスの値を示し、左側の活動に較べてこの被験者の右前頭葉の活動がより大きく、不快画像の呈示によって、マイナスの値がより大きくなり、すなわち右前頭葉の相対的活動がより増加していたことが分かる。被験者 ii と iii は前安静時の左右差はプラスであり、右前頭葉の活動に較べて左前頭葉の相対的活動がより大きかった。画像刺激の呈示によって、正の値が減少したか値がマイナスとなっていたことで、左前頭葉の相対的活動がより抑制されたか右前頭葉の相対的活動がより大きくなったことが分かる。7人の内の4人（被験者 iv, v, vi, vii）は、不快画像刺激に対して、左右差の値が増加していた。その内の2人（被験者 v, vii）は前安静時にプラスの値を示し、画像呈示時ではプラスの値が増加した。他の2人（被験者 iv, vi）は前安静時にマイナスの値を示し、画像呈示時ではプラス側へ増加していたが、値はまだマイナスにあった。

以上の不快画像に対する結果によって、左右差の値が減少した3人（被験者 i, ii, iii）は、快感情も低下し（快適度モデル）、左右差の値が増加した4人の内の2人（被験者 v, vii）は、快感情も増えていた。これらの5人の反応では、AAEモデルと快適度モデルの結果の間に関係がみられる。しかしながら、残りの2人は、マイナスである左右差の値がプラスの方向へ増加しながらも快感情が減っていた。また、不快画像呈示前、呈示中、呈示後の AAEモデルと快適度モデルでの評価結果をまとめて表 4-1 に示す。

図 4-9 に示す快画像に対する結果（下の図）では、左右差の値が増加したヒトは5人がいた。その内、左右差は前安静時のマイナスの値から画像呈示時のプラスの値まで増加した4人（被験者 ii, iii, vi, vii）、画像刺激の呈示によって左右差が増加したがまだマイナスの値であった1人（被験者 iv）がいた。また、2人の被験者の（被験者 i, v）左右差は前安静時のプラスの値から快画像呈示時のマイナスの値まで減少した。表 4-2 に、画像刺激呈示前、中、後の左右差の変化（AAEモデル）と快感情の変化（快適度モデル）を被験者ごとに示す。快画像の呈示によって、被験者 iv は左右差（負）が増加し感情状態も快の領域に移動し、被験者 v は左右差が減少し感情状態も不快の領域に移動した。二つのモデルの結果の間に関係がみられる。その他、被験者 ii, iii, vi は、快画像の呈示時では感情状態はより不快側へ移動したがまだ円平面の 50%以内の快の領域に入っていることで、快感情はそんなに変わっていないかもしれないと考えた。

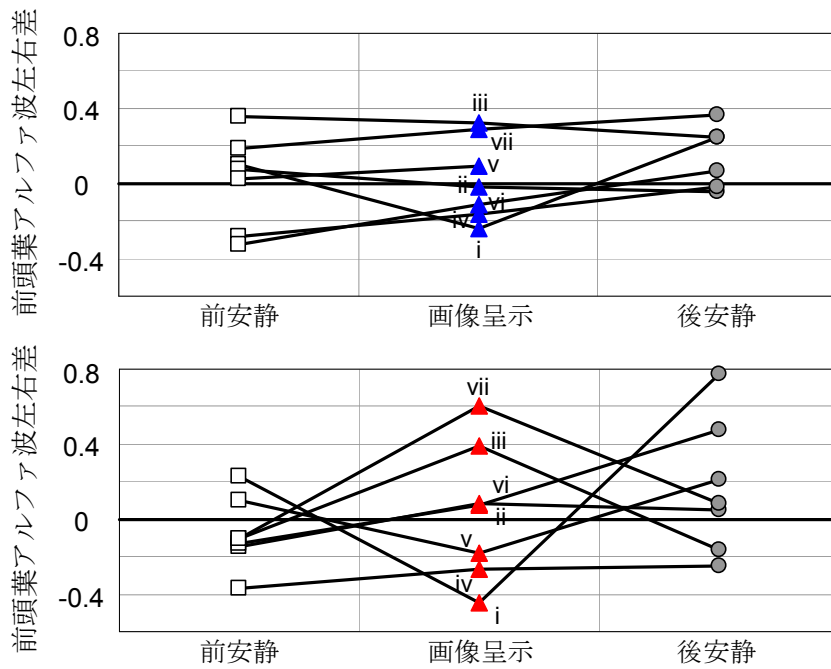


図 4-9 画像刺激呈示前、呈示中、呈示後の前頭葉アルファ波左右差

□ 前安静 ▲ 不快画像 ▲ 快画像 ● 後安静

表 4-1 不快画像呈示前、呈示中、呈示後の AAE モデルと快適度モデルの結果の比較

項目 被験者	AAE モデル			快適度モデル		
	前頭葉左右差の正負 (前安静より変化)			感情状態の領域 (前安静より変化)		
	前安静	画像呈示	後安静	前安静	画像呈示	後安静
i	+	- (↓)	+ (↑)	快	快 (↓)	不快 (↓)
ii	+	- (↓)	- (↓)	快	不快 (↓)	不快 (↓)
iii	+	+ (↓)	+ (↓)	快	快 (↓)	快 (↓)
iv	-	- (↑)	- (↑)	快	不快 (↓)	快 (↑)
v	+	+ (↑)	/	不快	快 (↑)	不快 (↑)
vi	-	- (↑)	+ (↑)	快	不快 (↓)	快 (↑)
vii	+	+ (↑)	+ (↑)	不快	快 (↑)	快 (↑)

表 4-2 快画像呈示前、呈示中、呈示後の AAE モデルと快適度モデルの結果の比較

項目 被験者	AAE モデル			快適度モデル		
	前頭葉左右差の正負（前安静より変化）			感情状態の領域（前安静より変化）		
	前安静	画像呈示	後安静	前安静	画像呈示	後安静
i	+	- (↓)	+ (↑)	快	快 (↑)	不快 (↓)
ii	-	+ (↑)	+ (↑)	快	快 (↓)	不快 (↓)
iii	-	+ (↑)	- (↓)	快	快 (↓)	快 (↓)
iv	-	- (↑)	- (↑)	快	快 (↑)	快 (↑)
v	+	- (↓)	+ (↑)	快	不快 (↓)	快 (↑)
vi	-	+ (↑)	+ (↑)	快	快 (↓)	快 (↓)
vii	-	+ (↑)	+ (↑)	快	不快 (↓)	快 (↓)

「+」と「-」は、左右差の正負をあらわし、「快」と「不快」は、評価点の場所（快の領域か不快の領域を示す）

変化：(↑) または (↓) は前安静時に較べた変化を示す。

5. 結果の補充

音刺激評価のアンケート

(1) 怖い音刺激に対して、Group-R の内、(前安静状態に較べて) 左前頭葉の相対的活動が増加した被験者 (Sub. E, F)、右前頭葉の相対的活動が増加した被験者、Group-L の主観的評価 (グループの分け方は 5.3.2 節に参照)

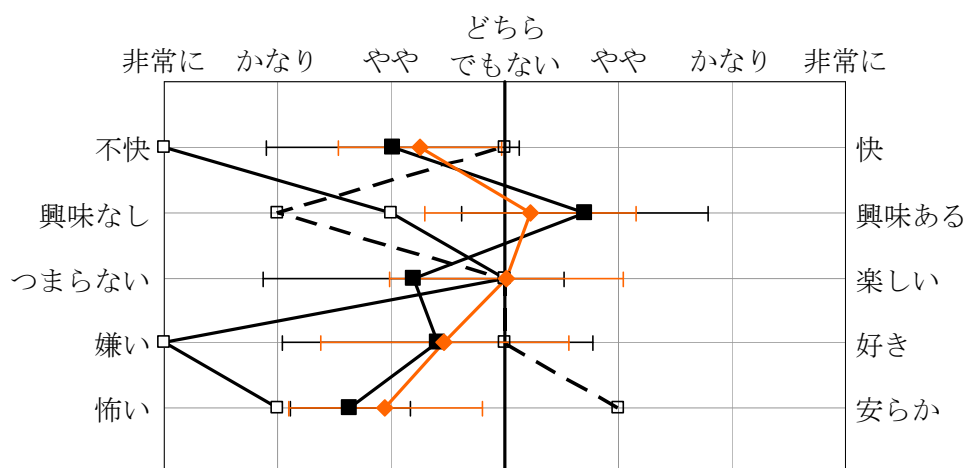


図 5-1 怖い音に対するグループごとの主観的評価

—□— Sub. E --□-- Sub. F —■— Group-R —◆— Group-L

(2) 心地よい音に対して、Group-L の内、(前安静状態に較べて) 左前頭葉の相対的活動が増加した被験者、左前頭葉の相対的活動が減少した被験者、Group-R の主観的評価

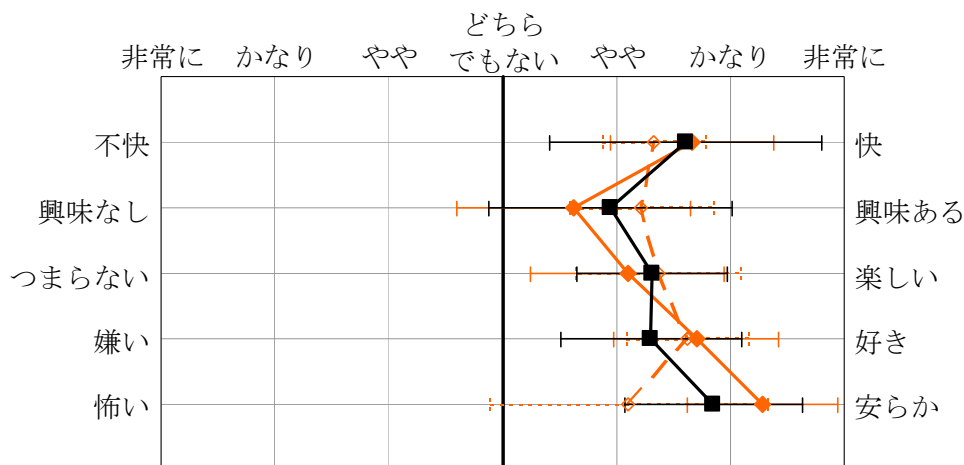


図 5-2 心地よい音に対するグループごとの主観的評価

—■— Group-R —◆— Group-L (左前頭葉の相対的活動が増加した)
 --◇-- Group-L (左前頭葉の相対的活動が減少した)

心拍数

(1) 怖い音に対する心拍数の変化：右前頭葉の相対的活動がより増加した被験者

Group-R: Sub. A, C, I, P, Z

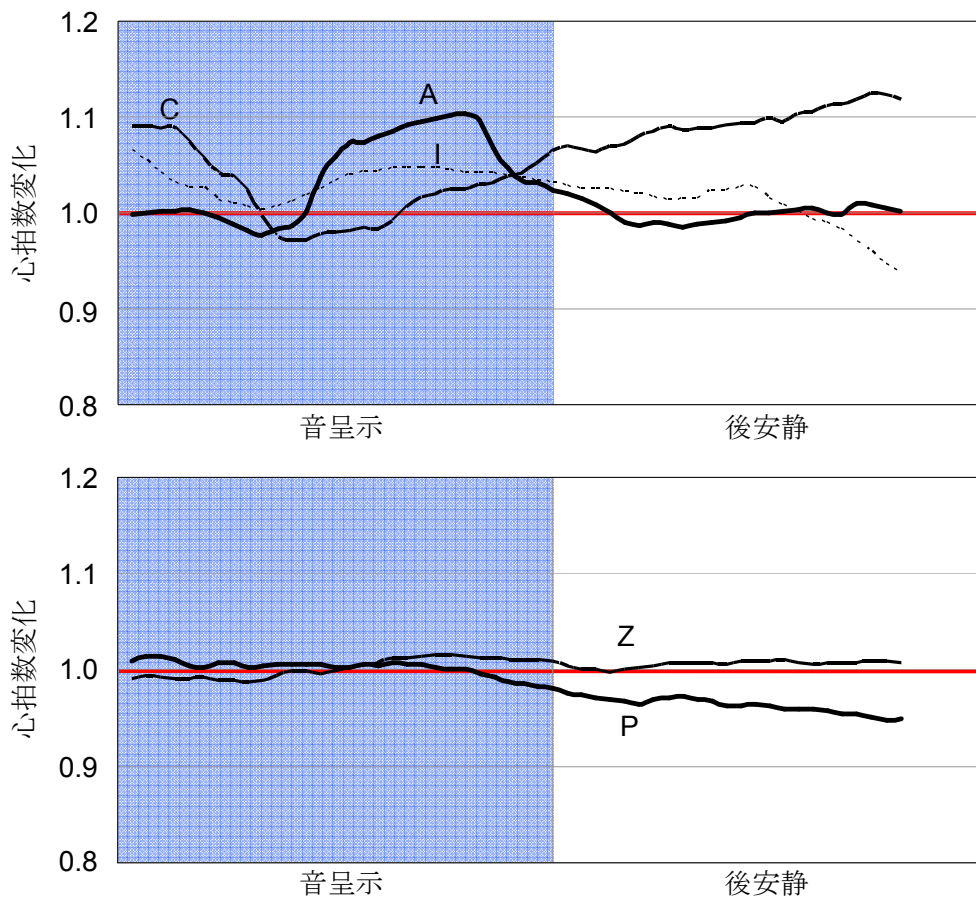
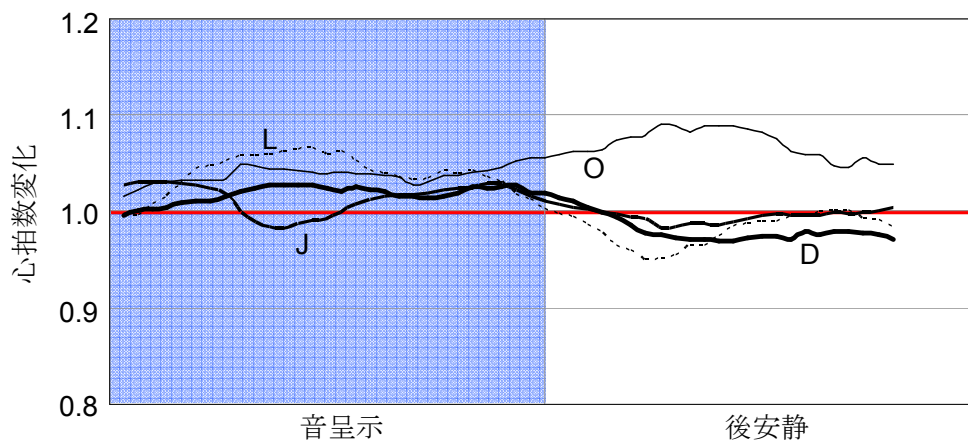


図 5-3 怖い音に対する Group-R (Sub. A, C, I, P, Z) の心拍数変化

Group-L: Sub. D, J, L, M, O, Q, X, R



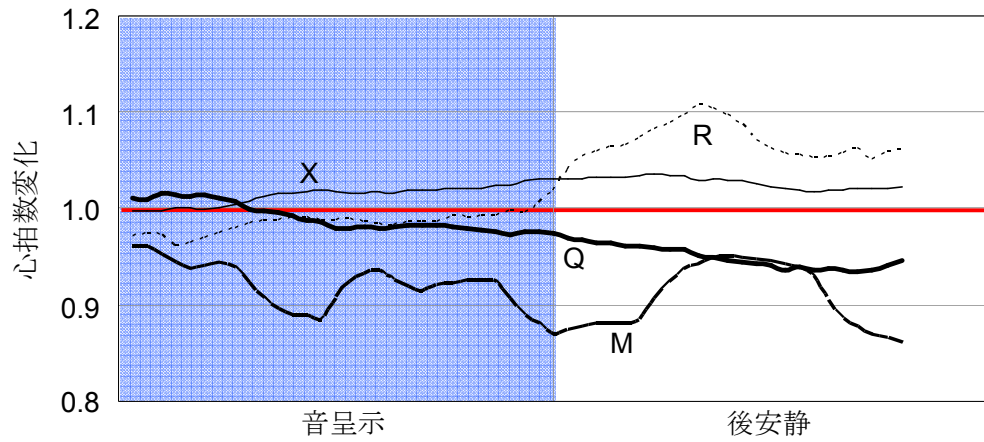


図 5-4 怖い音に対する Group-L の心拍数変化

(2) 心地よい音に対する心拍数の変化：左前頭葉の相対的活動がより増加した被験者
Group-R: Sub. A, C, E, F, H, W, P, Z

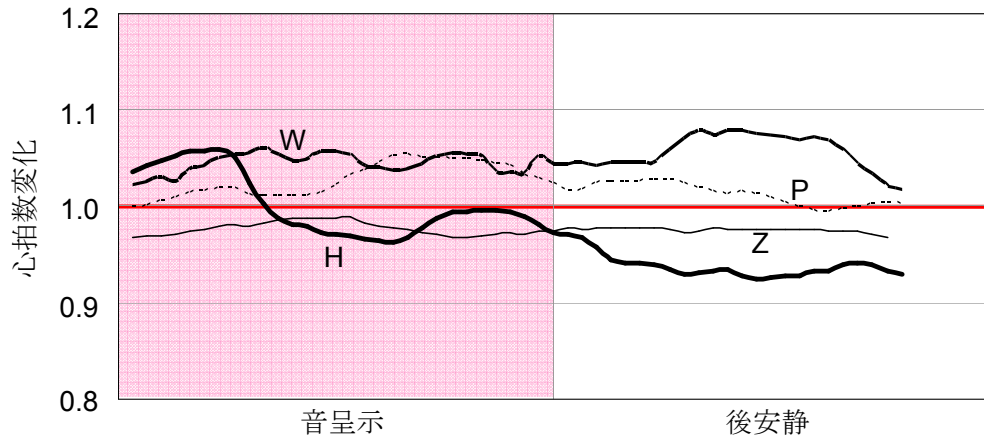
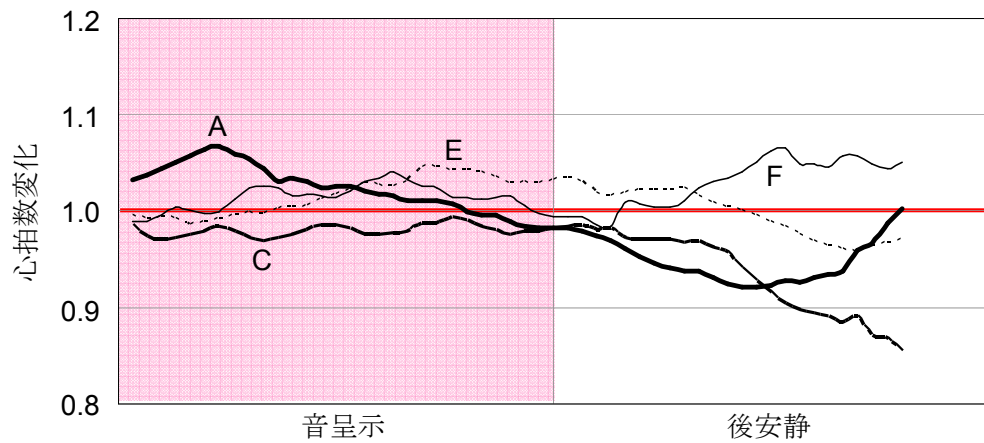


図 5-5 心地よい音に対する Group-R の心拍数変化

Group-L: Sub. J, L, M, Q, S

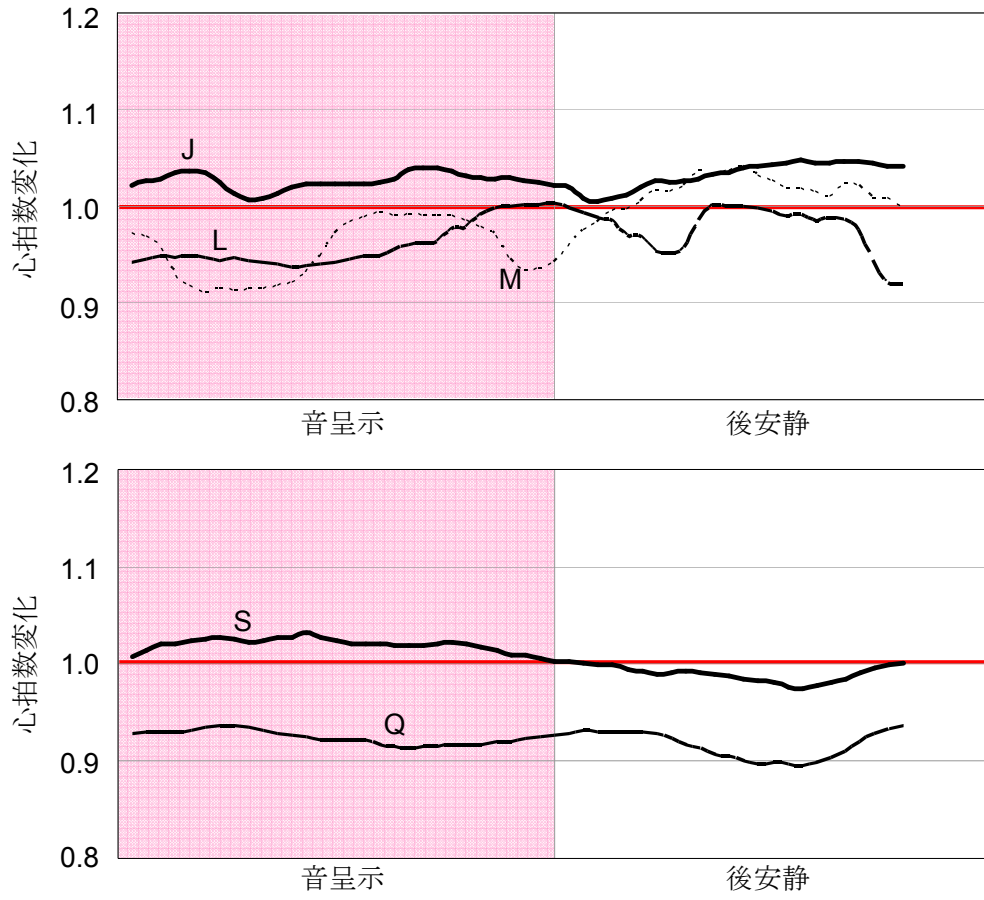


図 5-6 心地よい音に対する Group-L の心拍数変化

参考文献

- [1] 池田思朗：独立成分解析の信号処理への応用
- [2] 石村貞夫，石村光資郎：SPSS による分散分析と多重比較の手順（第四版），東京図書，2011
- [3] 松尾太加志，中村知靖：誰も教えてくれなかった因子分析，北大路書房，2002
- [4] Boron, W.F., & Boulpaep, E.L. (著)，泉井亮（総監訳）：カラー版 ボロン ブールペーパー生理学. 西村書店，2011
- [5] Lang, P.J., Bradley, M.M., & Cuthbert, B.N. (2008). International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical Report A-8. University of Florida, Gainesville, FL.

図目次

図 2.1.1 断面でみる脳の構造 ([3] p.15 より転載)	6
図 2.1.2 大脳皮質の機能局在 ([3] p.33 より転載)	7
図 2.1.3 三つの連合野 ([3] p.35 より転載)	7
図 2.1.4 運動野及び感覚野の体部位局在 ([3] p.34 より転載)	8
図 2.2.1 情動反応に関する脳部位 ([3] p.125 より転載)	12
図 2.3.1 ニューロンの構造 (左)、動作電位の伝導 (右) ([3] p.21, 23 より転載) ...	13
図 2.3.2 シナプスの構造 ([3] p.113 より転載)	14
図 2.3.3 脳波の分類 ([13] p.185 より転載)	15
図 2.4.1 心臓の構造 ([15] p.512 より転載)	16
図 2.4.2 心電図の五つの波形.....	17
図 2.5.1 聴覚器官ー耳の構造 ([18] p.140 より転載)	19
図 2.5.2 コルチ器 静止時 (a) 進行波による振動 (b) ([18] p.151 より転載)	20
図 2.5.3 聴覚神経経路 ([18] p.366 より転載)	21
図 3.2.1 ゆらぎの自己相関関数 (模擬図) ([27] p.116 より転載)	27
図 3.2.2 ゆらぎのスペクトル (模擬図)	27
図 3.2.3 感情の円環モデル (横軸:感情の質;縦軸:覚醒) ([31] p.21 より転載) .	29
図 3.2.4 傾き (Slope) の求め方.....	30
図 3.2.5 快適度円平面	31
図 3.2.6 感情状態 (興奮或は鎮静、快或は不快) の分類.....	32
図 3.3.1 心電図の五つの波形と RR 間隔.....	32
図 3.3.2 時間的 RR 間隔の一例	33
図 3.3.3 R-R 間隔の時間的序列の周波数解析の例	34
図 3.4.1 Morlet 関数.....	35
図 4.3.1 音刺激の主観的評価項目の例.....	40
図 4.3.2 気分の主観的評価である POMS アンケート評価項目の例	40
図 4.4.1 国際 10-20 法による脳波電極の配置図 ([5]より転載 一部改変)	41

図 4.4.2 国際 10-20 法による脳波電極の配置方法 ([5]より転載)	42
図 4.4.3 眼球運動記録電極配置 (左)、心電図の電極配置 (右)	43
図 4.4.4 銀-塩化銀の皿電極	44
図 4.4.5 脳波電極糊 (左) とスキンプュア (右)	44
図 4.4.6 脳波電極箱 (左) と脳波計 (右) (日本電気三栄株式会社 製)	45
図 4.4.7 測定システム	45
図 4.4.8 実験の流れ	46
図 5.1.1 SD アンケートを用いた音刺激に対する主観的評価	48
図 5.1.2 音刺激に対する POMS による気分評価	50
図 5.2.1 快適度評価モデルによる怖い音・心地よい音刺激に対する心理状態 (Sub. B)	52
図 5.2.2 怖い音刺激に対する快適度の変化 (Sub. B)	53
図 5.2.3 心地よい音刺激に対する快適度の変化 (Sub. B)	54
図 5.2.4 怖い音刺激と心地よい音刺激に対する心理状態 (快度、興奮度) の変化 (n=26)	55
図 5.2.5 怖い音刺激と心地よい音刺激に対する快の度合 (上) と興奮の度合 (下) (n=26)	56
図 5.2.6 二種類の音刺激に対する心理状態の対応関係 (n=26)	57
図 5.2.7 二種類の音刺激に対する快度の変化 (上) と興奮度の変化 (下) の比較	58
図 5.2.8 怖い音刺激に対する快度の変化と前安静時の快の度合 (n=26)	59
図 5.2.9 怖い音刺激に対する快度の変化と各尺度の主観的評価 (n=26)	61
図 5.2.10 怖い音刺激に対するグループ a の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)	63
図 5.2.11 怖い音刺激に対するグループ b の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)	64
図 5.2.12 怖い音刺激に対するグループ c の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)	65
図 5.2.13 怖い音刺激に対するグループ a,b,c の一分ずつの心理状態の変化	66
図 5.2.14 心地よい音刺激に対する快度の変化と前安静時の快の度合 (n=26)	67
図 5.2.15 心地よい音刺激に対する快度の変化と各尺度の主観的評価 (n=26)	68
図 5.2.16 心地よい音刺激に対するグループ a の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)	69
図 5.2.17 心地よい音刺激に対するグループ b の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)	70
図 5.2.18 心地よい音刺激に対するグループ c の心理状態の変化 (1 分ずつ表示)	71
図 5.2.19 心地よい音刺激に対するグループ a,b,c の一分ずつの心理状態の変化	72
図 5.2.20 怖い音刺激に対する快度の変化と興奮度の変化	72
図 5.2.21 心地よい音刺激に対する快度の変化と興奮度の変化	73
図 5.2.22 前安静時に較べた怖い音聴取時、後安静時の快度の変化	75

図 5.2.23 前安静時に較べた心地よい音聴取時、後安静時の快度の変化.....	75
図 5.3.1 二種類の音刺激に対する前頭葉のアルファ波の左右差—AAE モデル 被験者 A.....	76
図 5.3.2 怖い音刺激聴取前、聴取時、聴取後の前頭葉アルファ波左右差	78
図 5.3.3 怖い音刺激聴取前、聴取時、聴取後の心理状態 —快適度モデル	79
図 5.3.4 心地よい音刺激聴取前、聴取時、聴取後の前頭葉アルファ波左右差.....	80
図 5.3.5 心地よい音刺激聴取前、聴取時、聴取後の心理状態 —快適度モデル	81
図 5.3.6 AAE モデルと快適度評価モデルを併用した心理状態の評価.....	83
図 5.3.7 怖い音聴取前、聴取時、聴取後の感情状態（被験者 E, F）	84
図 5.3.8 怖い音刺激聴取時、聴取後の心拍数変化（被験者 E, F）	84
図 5.3.9 怖い音刺激に対する自律神経活動（被験者 E）	85
図 5.3.10 怖い音刺激に対する自律神経活動（被験者 F）	85
図 5.3.11 心地よい音聴取前、聴取時、聴取後の快の度合（被験者 D, N, O, R, U, V）	86
図 5.3.12 心地よい音聴取前、聴取時、聴取後の興奮の度合（被験者 D, N, O, R, U, V）	87
図 5.3.13 心地よい音刺激聴取時、聴取後の心拍数変化（被験者 D, N, O, R, U, V）	87
図 5.3.14 心地よい音刺激に対する自律神経活動（被験者 D）	88
図 5.3.15 心地よい音刺激に対する自律神経活動（被験者 N）	88
図 5.4.1 怖い音聴取前 300 秒間の時間的な周波数スペクトル（Group-R：被験者 Z）	89
図 5.4.2 怖い音聴取時 300 秒間の時間的な周波数スペクトル（Group-R：被験者 Z）	90
図 5.4.3 怖い音聴取後 200 秒間の時間的な周波数スペクトル（Group-R：被験者 Z）	90
図 5.4.4 怖い音聴取前 300 秒間の時間的な周波数スペクトル（Group-L：被験者 M）	91
図 5.4.5 怖い音聴取時 300 秒間の時間的な周波数スペクトル（Group-L：被験者 M）	92
図 5.4.6 怖い音聴取後 200 秒間の時間的な周波数スペクトル（Group-L：被験者 M）	92
図 5.4.7 心地よい音聴取前 300 秒間の時間的な周波数スペクトル（Group-R：被験者 Z）	93

図 5.4.8	心地よい音聴取時 300 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-R : 被験者 Z)	94
図 5.4.9	心地よい音聴取後 200 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-R : 被験者 Z)	94
図 5.4.10	心地よい音聴取前 300 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-L : 被験者 M)	95
図 5.4.11	心地よい音聴取時 300 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-L : 被験者 M)	96
図 5.4.12	心地よい音聴取後 200 秒間の時間的な周波数スペクトル (Group-L : 被験者 M)	96

表目次

表 4.4.1 国際 10-20 の電極名称と記号[5].....	42
表 5.1.1 音刺激に対する主観的評価及び統計学的検定	49
表 5.1.2 音刺激に対する POMS による気分評価結果の統計検定	50
表 5.2.1 各象限に入った点数の割合 (%) (Sub. B)	52
表 5.2.2 音刺激聴取前、中、後の快の度合及び興奮の度合 (%) (Sub. B)	53
表 5.2.3 音刺激聴取前、中、後の快適度の四分位点の値 (Sub. B)	54
表 5.2.4 音刺激に対する前安静、音聴取、後安静時の快の度合 (n=26)	56
表 5.2.5 音刺激に対する前安静、音聴取、後安静時の興奮の度合 (n=26).....	57
表 5.2.6 怖い音に対するグループ a、b、c の快度の変化と前安静時の水準の比較 ...	60
表 5.2.7 各感情尺度に対するグループ a、b、c の主観的評価値 (怖い音)	62
表 5.2.8 心地よい音に対するグループ a、b、c の快度の変化と前安静時の水準の比較	67
表 5.2.9 各感情尺度に対するグループ a、b、c の主観的評価値 (心地よい音)	69
表 5.2.10 怖い音刺激に対する興奮度の変化と前安静時の水準	74
表 5.2.11 心地よい音刺激に対する興奮度の変化と前安静時の水準	74
表 5.3.1 二種類の音刺激に対する被験者 A の前頭葉アルファ波左右差の変化	76
表 5.3.2 怖い音刺激聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の前頭葉 アルファ波左右差	77
表 5.3.3 怖い音聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の快の度合	79
表 5.3.4 怖い音聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の興奮の度合	79
表 5.3.5 怖い音聴取前の二つのグループ (Group-R, L) の心理状態の比較.....	80
表 5.3.6 心地よい音刺激聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の前 頭葉アルファ波左右差.....	80
表 5.3.7 心地よい音聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の快の度 合.....	82
表 5.3.8 心地よい音聴取前、聴取時、聴取後の二つのグループ (Group-R, L) の興奮の 度合	82
表 5.3.9 心地よい音聴取前の二つのグループ (Group-R, L) の心理状態の比較	82
表 5.3.10 怖い音刺激の聴取による Group-R の被験者の左右差の変化	83
表 5.3.11 心地よい音の聴取による Group-L の被験者の左右差の変化.....	86

謝辞

本研究は、筆者が静岡大学大学院在学中に、電子工学研究所生体医療計測分野杉浦敏文教授の指導のもとに行われました。杉浦先生から非常に興味深く、面白い研究テーマを頂きました、その遂行にあたって始終、研究の進め方、研究に対する考え方から結果のまとめ方、論文の書き方まで丁寧にご教授して頂きました。修士課程における研究以来一貫して、貴重なご指導、ご助言とご激励な言葉を頂いて参りました。また、多くの知識と豊かな人生経験から世の中の物事に対する考え方、人生の進め方に関しても話してくれまして、自分自身の視野が広くなり、自身を深めることができました。ここに心より深く感謝いたします。

本論文をまとめるにあたっては、電子工学研究所川人祥二教授、大学院工学研究科・電気電子工学専攻竹前忠教授、庭山雅嗣准教授、沖田善光講師に、適切で丁寧なご指導とご助言を頂きました。心より感謝申し上げます。

創造科学技術大学院高橋勲技官に、解析手法及び測定に関して、多くのご援助、ご助言を頂きました。電子工学研究所平田寿技官、梅原登学術研究員（退職）、水谷陽子学術研究員に、研究しやすい環境を支えて頂き、日頃から数々のご助言、ご激励を頂き、大変なお世話になりました。ここに感謝の意を表します。

本研究を進めるにわたり日頃より研究について有益な議論をかわし、一緒に楽しい時間を過ごした杉浦研究室のメンバー、貴志さん、横原君、高野君、卒業した OB の方々、岡田さん、秋元さん、山田さん、小出さん、杉山君、喜田君、許さん、長谷部君、伊藤君、堀田君、穆さん、谷藤君、夏葉君、鈴木君、小川さん、河北君、小柳君、安藤君、今村君、また実験の実施に協力してくれた被験者の方々に心より感謝します。

最後に何時も心を支えてくれている家族の皆様と友人の方々、啓蒙してくれた精神導師の方々に深く感謝いたします。皆様のお陰で、私は楽しく意義のある留学生活を送ることができました。