

平成14年度
修士論文

眼球運動の変化に基づく心理状態の推定

電気通信大学大学院 情報システム学研究科
情報ネットワーク学専攻
ヒューマンインターフェース学講座

0151023 平山 雄介

指導教官

阪口 豊
出澤 正徳
本多 弘樹

平成15年2月3日提出

目次

第1章 序論	1
第2章 心と体	3
2.1 生理心理学，生理心理学的指標	3
2.2 心理状態と生理心理学的指標	3
2.3 眼球運動に関する研究	5
第3章 本研究の目的と特徴と方法	7
3.1 目的と特徴	7
3.2 実験方法	7
3.2.1 実験課題	8
3.2.2 実験システム	8
3.3 各指標の計測装置	10
3.3.1 眼球運動	10
3.3.2 心拍	10
3.3.3 呼吸	11
3.3.4 皮膚電気活動	11
3.3.5 生体アンプとPC	11
第4章 実験1	14
4.1 目的	14

4.2	手続き	14
4.3	被験者	16
4.4	結果	16
4.4.1	眼球運動の例	16
4.4.2	眼球運動解析の結果	18
4.4.3	心拍，呼吸，皮膚電気活動の結果	22
4.5	考察	25
第5章	実験2	26
5.1	目的	26
5.2	手続き	26
5.3	被験者	27
5.4	結果	27
5.4.1	心拍の結果	27
5.4.2	眼球運動解析の結果	29
5.5	考察	30
第6章	実験3	31
6.1	目的	31
6.2	手続き	31
6.3	被験者	32
6.4	結果	32
6.4.1	眼球運動解析の結果	32
6.5	考察	37
第7章	まとめ	40

第1章 序論

「手に汗をかく」「目は口ほどにものを言う」という表現や諺は誰しも聞いたことがあるだろう。人が緊張したり、動揺したり、安らいだり、また喜んだり悲しんだりするとき、人の身体は特有の生体反応を示す。気持ちや心理状態が、人の身体に影響を与えて変化を起こさせている。心はいつの間にか、意図しないところで現れているのである。

人の心が読めたら、誰でもそんなことを考えたことが一度くらいはあるのではないだろうか。人と人とのコミュニケーションにおいて、それは夢でもあり、同時にタブーでもあるのかもしれない。わからないほうが、知らないほうがいいこともあり、人の心を解明しようとするなど、無謀なことなのかもしれない。

しかし、無限の可能性を持った、正にブラックボックスである人間の中身というものに対して大きな興味を持ち、迫りたいと思うことも、また自然なことだろう。

この研究では、普段、私達が日常生活をおくる中で大きな役割を担っており、また、先の諺のように、心理状態が表われる身体の部位として目に着目した。

目は本来、光を受容し、外界の視覚情報を得ることが目的の器官である。目を動かし、必要な情報を取得し、行動する。私達が生まれてから当たり前のように行っていることである。一方で、先の諺のように目の動きや表情に心理状態が表われることが知られている。このような動きは、目の本来の役割である物を見て、外界の情報を得るための動きとは異なるものと考えられる。これらの成分を取り出し、解析することで心理状態を推定できる可能性がある。

よって、本研究では眼球運動と心理状態との関係を明らかにすることを目的とする。

本研究で特徴的なところは、被験者を用いた実験において、視覚情報は用いずに、音声

を使った聞き取り課題を行う点や、従来より心理状態を反映しているとされる他の指標を眼球運動と同時に計測し、相関を見ている点である。

これらを実現するため、眼球運動、心拍、呼吸、皮膚電気活動を計測する装置やセンサと生体アンプ、およびこれらのデータの収録と音声刺激の生成を行うPCを統合した環境を構築した。その環境と被験者を用いて実験を行い、得られた各データを統計的に解析した。その結果、条件に対応して眼球運動に変化が見られたが、心拍や呼吸、皮膚電気活動とは相関が見られなかった。このことより、眼球運動が表しているものは他の指標とは違うものであることや、他の指標より短時間の心理状態変化を検出できる可能性があること、また、それらは視線の停留方向や、低振幅の頻度に着目することで読み取れることがわかった。

第2章 心と体

2.1 生理心理学，生理心理学的指標

1章で述べたように，人間の身体の状態は，心理的な状態の影響を受けて変化する．身近な例で言えば，たとえば，試合の前や面接の時などに緊張すると，汗をかいたり心臓がどきどきしたりする．これは，心理的に緊張した状態が生じたことにより，脳が「汗を出せ」，「心拍数を上げろ」などという命令を出すことによるものである(図 2.1)．このとき体は，五感(視覚，聴覚など) 脳(認知，命令) 自律神経 現象(心拍数が上がるなど) という過程を経ている．もう少し細かく言うと，刺激 受容器 求心性神経 脳 遠心性神経 効果器という「S - R 反応」(刺激 - 反応)と呼ばれるものが起こっている．このように心と生体のシステムは密接な関連をもっていて，神経系は個体の外側，内側からの様々な刺激を検出している．この検出に当たっているのが受容器であり，受容器と周囲の細胞が刺激検出のために集まって構成した細胞集団が，感覚器官である．こうした観点から生理学的な方法を用いて，実証的，客観的レベルで，心理現象(心理状態)を研究，説明しようとする研究分野を生理心理学(生理学的心理学)といい，脳や身体の変化を客観的に読み取るための生体反応の指標を生理心理学的指標という [1]．指標の対象となる生体反応は，主に安全で負荷の少ない状態で測定できるものが選ばれる．

2.2 心理状態と生理心理学的指標

そして，心理状態の情動の違いによって生理反応どのように異なるのか，という問題に対して，脳波や呼吸，心活動といった様々な指標を用いた研究が行われてきている [2]．



図 2.1: 面接時には手に汗をかいたりドキドキしたりする

例えば，興奮時や睡眠時の脳波を観察すると，その周波数から脳の覚醒状態を知ることができる．また，音楽を聴く時，テンポが遅く強弱変化が少なくメロディ性が豊かな音楽だと，心拍や血圧レベルの低下，皮膚電気反応数の減少，筋緊張の低下が起こり，呼吸も遅く深くなる．逆にテンポが早く強弱のメリハリがあってメロディ性に乏しい音楽だと，心拍や血圧の上昇，皮膚電気反応数の増加，筋緊張の高進が起こり，呼吸は浅く早くなる場合が多いと言われている [2] ．

このほか，目に関する生理学的指標として，瞬目頻度と瞳孔径が知られている．瞬目（まばたき）は，怒り，興奮，緊張などで回数が増加し，注意や集中によって減少する．また，瞳孔径は，覚醒水準に対応して変化することが知られている [2] ．

このように生理心理学的指標の計測によって人の精神状態などを知ることができる．

2.3 眼球運動に関する研究

そして、眼球運動についてもまた同じような観点から研究が行われている。精神活動が眼球運動にどのような影響を及ぼすのかという問題は、心理学や医学だけでなく人間工学の分野においても、それが監視作業などの現場の問題に直結するだけに大きな関心事と思われる。問題解決時の眼球運動に関する研究は多いが、それらの大部分は視覚刺激との関係で取り扱っており、主として情報摂取の様相を明らかにする手段として眼球運動を用いたものである。他方、精神活動に影響された眼球活動ではあるが外界からの情報摂取を目的としたわけではない眼球活動を扱った研究も若干ある。たとえば、Asher & Ort (1951) は一点凝視の状態で情緒語と中立語を与えて言語連想させたところ、情緒語の場合は水平方向へのピクツとした眼球運動 (jerk)、閉眼、連続的に起こる瞬目という3種の凝視時の乱れが現れた。また、Antrobus et al. (1964) によれば、ぼんやりしている消極的思考時より何かをどんどん考える積極的思考時の方が、また何かある願望にふけている時よりその抑圧時の方が眼球運動、瞬目とも多かった。問題解決時においても、閉眼時や開眼していても特に視覚刺激らしきものが存在しない状況下での眼球運動を扱った研究があり、視覚心像や注意等との関係で論ぜられることもある。たとえば、古くはStoy (1930) が空間的問題解決時の方が非空間的問題解決時より眼球運動が多かったことを、また Lorens & Darrow (1962) や Amadeo & Shagass (1963) が暗算時に眼球運動の増加がみられたことを報告している。しかし、Nakamizo (1971) はやはり閉眼時に暗算課題を与えたところ、必ずしも眼球運動の増加は見られなかったと述べ、千原 (1974) も心像を生じ易い質問(主に空間的問題)と心像を生じ難い質問(暗算)に対する思考時の眼球運動を測定したが、開眼・閉眼とも2種の質問間に眼球運動率の有意な差はなかった。これらの問題解決時眼球運動の研究では眼球運動に指示を与えていないのが普通で、このため精神に影響された無意図的な眼球運動をとり出すことは難しいように思われる。これらの研究に対して反射性の眼球運動である眼振 (nystagmus) への精神活動の影響をみた研究は興味深い結果を提出している。Collins (1962) は前庭性眼振 (vestibular nystagmus) が暗算時には激しく長

いのに対し，ぼんやりしていると弱く短いことを，また Greenberg (1970) は動体注視眼振 (optokinetic nystagmus) が難しい暗算の時の方が易しい暗算の時より高頻度に起こることを報告している [6] .

第3章 本研究の目的と特徴と方法

本研究では眼球運動と心理状態との関係を明らかにすることを目的とする。

3.1 目的と特徴

本研究で特徴的な点のひとつは、被験者を用いた実験において、視覚情報は用いずに、音声を使った聞き取り課題を行う点である。これは、心理状態が変化することで眼球運動にどのような変化が起こるかを観察することが目的であるため、視覚を用いたり二重課題 (dual task) を遂行する課題では、画像そのものが誘発する眼球運動や課題遂行に必要な眼球運動と心理状態に応じて生じる眼球運動を分離することが難しいためである。

もうひとつの特徴的な点は、従来より心理状態を反映しているとされる他の指標を眼球運動と同時に計測することである。これは、従来から有効とされている指標に対して眼球運動がどのような変化をするかを調べることで、他の指標との相関や、眼球運動の指標としての有効性を客観的に示す証拠と成り得るからである。また、人体は複数の系によって成り立っていて、決してひとつの系だけから全体像を見ることはできない。複数の生体反応が計測できるならば、同時に違う系の反応を計測することが、アーティファクトの少ない、より質の高い原資料を得ることにつながるとされているからである [1]。

3.2 実験方法

同一の被験者に対して異なる刺激を与え、それによって心理状態を変化させたときの眼球運動とその他の指標を計測した。実験は3種類行った。まず、各実験に共通の実験課

題とシステムについて述べる．

3.2.1 実験課題

実験課題には文章や音の聞き取り課題を用いた．これは，視覚を用いる課題では，画像そのものが誘発する眼球運動や課題遂行に必要な眼球運動と心理状態に応じて生じる眼球運動を分離することが難しいためである．

3.2.2 実験システム

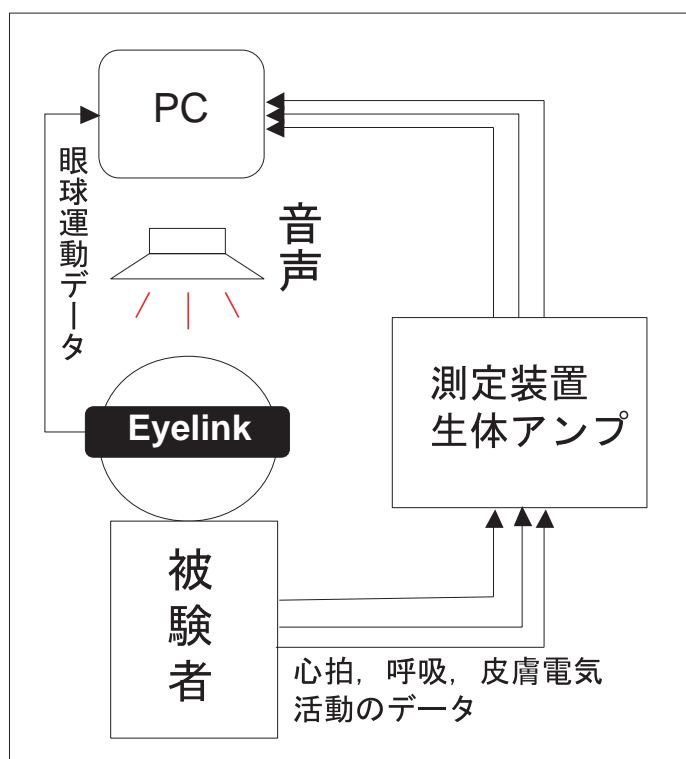


図 3.1: 実験システム概要

実験システムの概要を図 3.1 に示す．

実験は，無地のカーテンが張られた 1メートル四方の実験ブース内で開眼した状態で



図 3.2: 実験ブース

行った (図 3.2) .

眼球運動計測には, SMI 社の Eyelink システム (図 3.3) を使用する. このシステムは, 赤外線カメラにより眼球の向きを撮映するもので, 瞬目, サッカード, 瞳孔径, 垂直・水平方向の注視点の振幅をリアルタイムに計測できる.

脈拍, 呼吸は専用のピックアップ装置 (日本光電社製)(図 3.4, 図 3.5) を用いて検出し, 生体アンプ (日本光電社製)(図 3.7) を用いて増幅した後, PC に入力する. 皮膚電気活動は文献 [4] に基づく回路 (図 3.6) によって検出したものを生体アンプ (日本光電社製) を用いて増幅した後, PC に入力する. 各信号は, PC の AD ボード (Interface 社 PCI-3153) へと送信され, AD 変換される.

以上の各信号を PC において Eyelink 制御プログラム中で同時に計測保存する.

3.3 各指標の計測装置

3.3.1 眼球運動

眼球運動計測装置, Eyelink システム (図 3.3) は頭部装着型の装置で, 眼球を CCD カメラによって撮影し, 画像解析によって瞳孔を検出することで眼球運動を計測する装置である. サンプルレートの 250Hz である.



図 3.3: Eyelink

3.3.2 心拍

心拍数の計測には, 日本光電社製の光電脈波計 MPP3(図 3.4) を使用した. ピックアップはセレン化カドミウム (CdSe) を利用した小形光電導体と小形ランプからなっている. ピックアップを被測定部位 (指) に当てると, 局部的に光を照射して, 測定部血液の容積変化を反射または透過光の変化として CdSe で検出する. これを生体アンプによって波形として出力する.



図 3.4: 脈波ピックアップ

3.3.3 呼吸

呼吸量の計測には、日本光電社製、サーミスタ呼吸ピックアップ TR-611T(図 3.5)、カプラ用アンプ AA-601H を使用した。ピックアップの装着部位は鼻である。ピックアップ尖端の換気量を測定する。

3.3.4 皮膚電気活動

皮膚電気活動の計測は、文献 [4] に習い、ブリッジ回路を作成し、手指に装着した一対の電極間に微弱な電流を流し、皮膚の見かけ上の抵抗変化を調べる通電法 (exosomatic method) を用いた。

3.3.5 生体アンプとPC

各装置からの信号が入力される生体アンプ (日本光電社製ニスタグモグラフ用アンプ AN-601G, 生体電気誘導パネル PB-680G)(図 3.7) と、アンプからの出力を AD 変換してサ



図 3.5: 呼吸ピックアップ



図 3.6: 皮膚電気活動検出回路

ンプリングし、計測プログラムを実行する PC(Dell 社製) である。サンプリングのための AD ボードは Interface 社の PCI-3153 を使用し、サンプリングレートは 1000Hz で行った。



図 3.7: 生体アンプと PC

第4章 実験1

4.1 目的

実験1では、聴覚刺激として聞き取り難易度の違うナレーションを用いた。

この実験は山川 [3] に基づくものである。山川 [3] は、情動の変化が眼球運動の変化を起こす要素であると考え、聞き取り難易度の違うナレーションを刺激として被験者の眼球運動を計測した。図 4.1 は、内容理解の難易度が違う3つのナレーションを提示したときの片眼の水平方向の相対振幅である。ナレーションの内容は、それぞれ中学校レベルの英語の文章、スピードの速い英語の文章、日本語のニュース調の文章である。この図を見ると、聞き取りが難しい英語の速いナレーションを聞いているとき、振幅が小さくなっていることが分かる。他の被験者では振幅の大小と刺激の対応が逆になるなど、個人差がみられたが、課題に応じて眼球運動に何らかの変化が表れているということは、ほぼ間違いないだろう。

実験1は、構築した計測環境を用いてこの結果を追試することを目的に行った。

4.2 手続き

課題を始める前に、電極やセンサなど計測に必要な装置を装着し、PCのモニタを用いて眼球運動測定装置のキャリブレーションを行った(以下、実験1では眼球位置は画面上のドット数を単位として表す)。

課題の流れを図 4.2 に示す。60秒間のナレーションを合計3回、あいだに30秒の無音区間を挟んで聴取した。ナレーションの順序による影響を調べるために、英語、日本語、

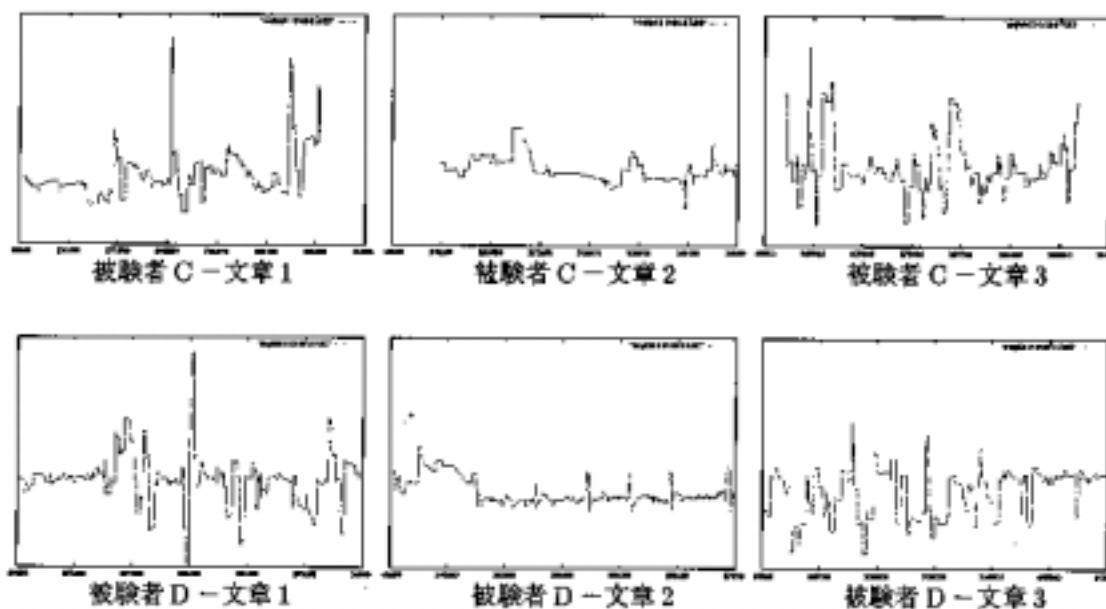


図 4.1: 水平方向の被験者の計測データ (横軸: 時間 (ms), 縦軸: 左眼水平方向の相対振幅)[3]

英語 (グループ 1) の順と, 英語, 英語, 日本語 (グループ 2) の順の二通りを用意した。このうち, 最初の無音状態 (統制条件) と, 三つのナレーションの聴取のあわせて 4 状態のデータについて解析を行った。課題のナレーションはブース内, 足下に設置されたスピーカーより提示した。

また, 課題終了後にはナレーションの内容を問うテストを行い, その事は実験前に教示した。これは, 被験者にナレーションの内容をしっかりと聞かせるために行ったもので, 結果は分析対象としていない。

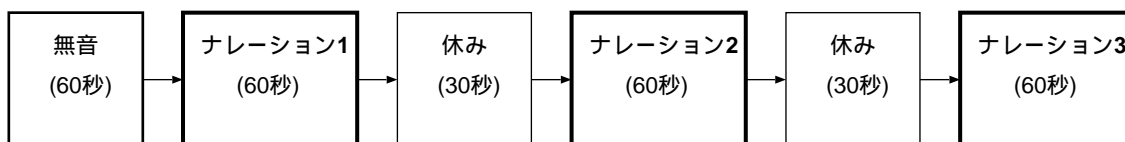


図 4.2: 試行の流れ



図 4.3: 被験者の様子

4.3 被験者

20代の正常な視力または矯正視力を持つ9人が被験者として実験に参加した。

4.4 結果

4.4.1 眼球運動の例

眼球運動の様子を例を図 4.4 に示す。これは、ある被験者が日本語と英語の文章を聴取しているときの左眼水平方向の計測データである。これを見ると、日本語聴取時は、英語聴取時よりも振幅が大きく、動きがはげしいことがわかり、眼球運動に明らかな差があると言える。

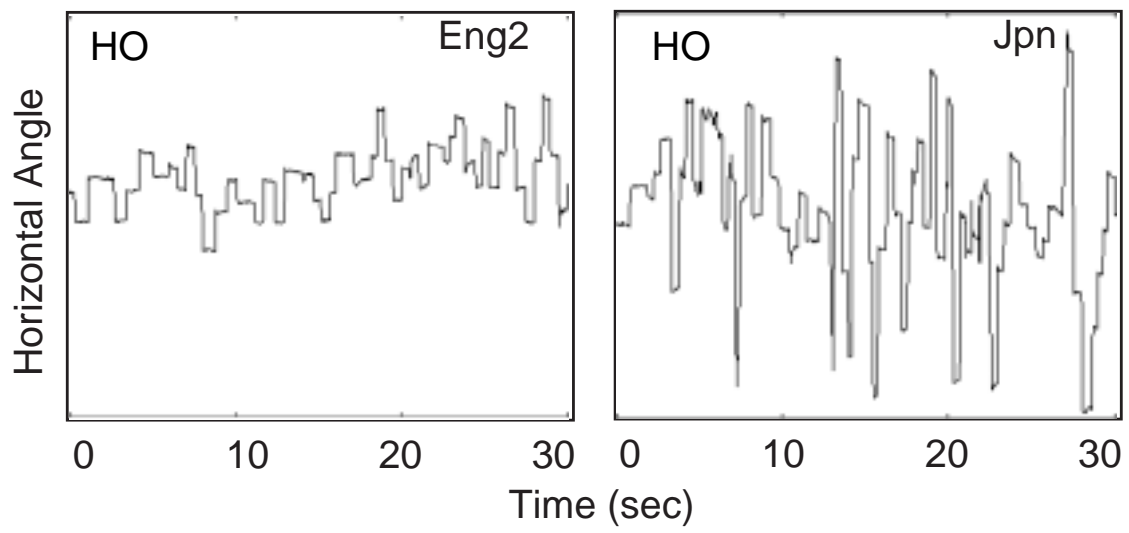


図 4.4: 眼球運動の例

4.4.2 眼球運動解析の結果

次に、この違いを定量的に解析するため、サッカード振幅とその標準偏差、サッカード頻度を特徴量として用いることにした。結果を被験者間で平均したものを、図4.5に示す。

まず、頻度に注目すると、英語条件では、統制条件や日本語条件と比べて、減少していることがわかる。また、振幅と振幅の標準偏差においても同様に減少している。英語を聞いているときは、日本語を聞いているときより、目の動きが少なく、小さくなっているということである。

さらに、二つのグループのデータを別々に集計した結果を図4.6(グループ1)と、図4.7(グループ2)に示す。この図より、文章の順序にかかわらず、日本語条件と英語条件の間には一貫して、サッカードの頻度や振幅に違いがあることがわかる。

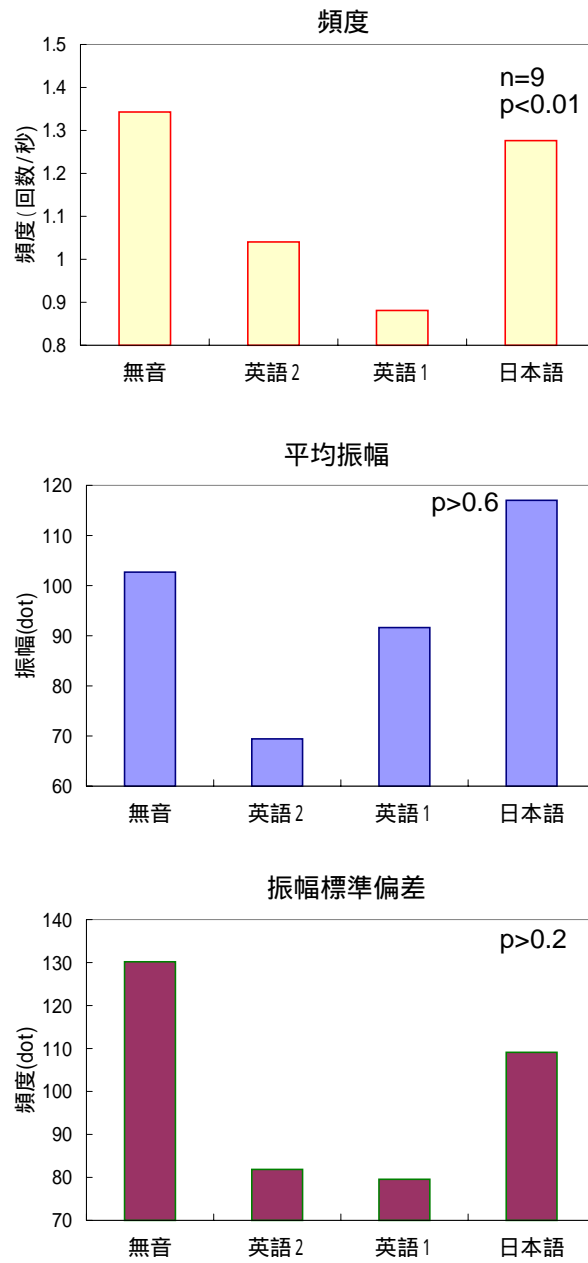


図 4.5: サッカーの頻度, 振幅, 振幅標準偏差

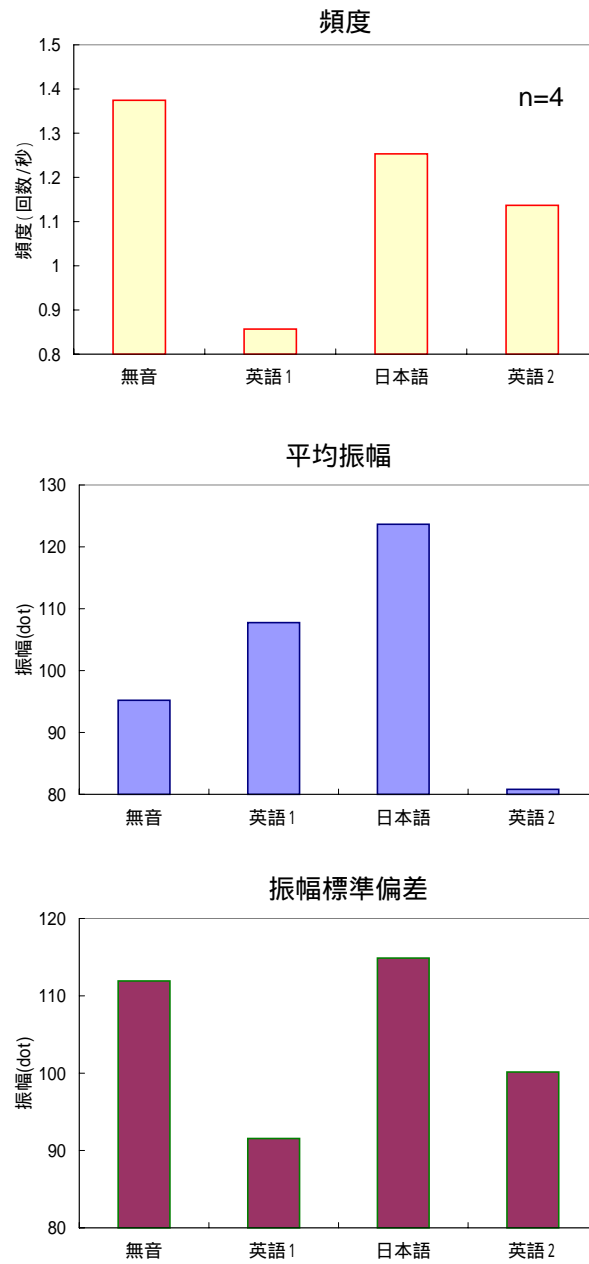


図 4.6: サッカーの頻度, 振幅, 振幅標準偏差 (グループ1)

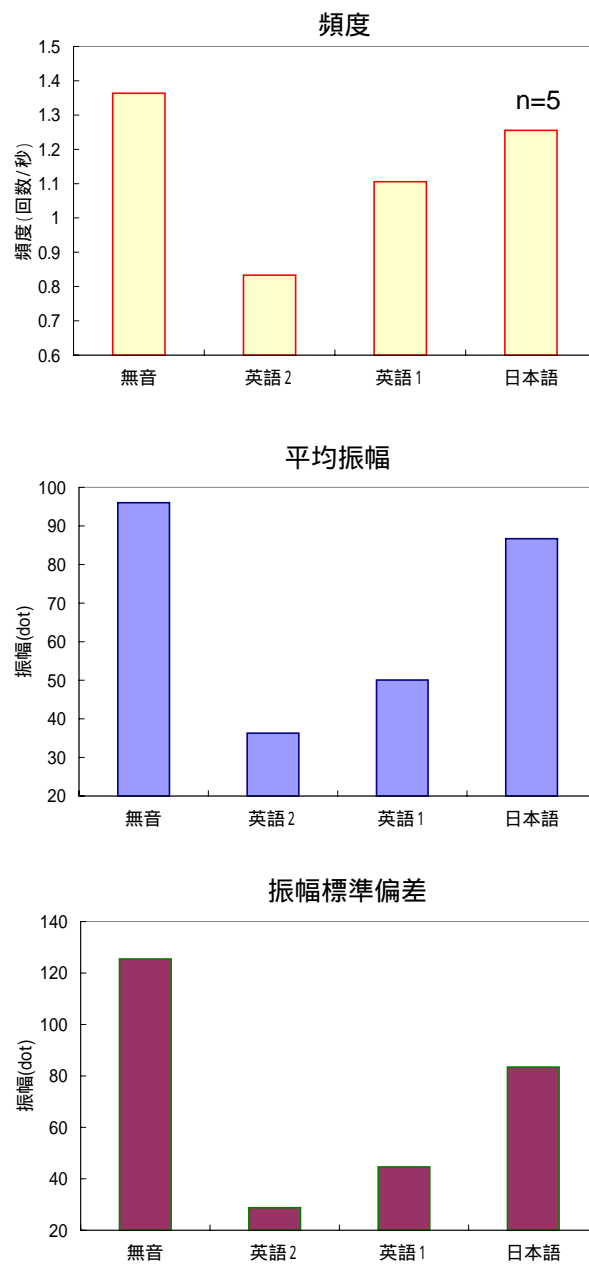


図 4.7: サッカーの頻度, 振幅, 振幅標準偏差 (グループ 2)

4.4.3 心拍，呼吸，皮膚電気活動の結果

次に，同時計測した心拍，呼吸，皮膚電気活動のデータをグループ別にそれぞれ図4.8(グループ1)，図4.9(グループ2)に示す．

まず，心拍に着目する．この結果より，サッカーの頻度や振幅のような，日本語条件と英語条件での一貫した違いは見られず，また条件全体を通して，60秒間で1，2回の変動に留まっており，条件間での違いがあるとは言い難い．

次に，呼吸の様子を見ると，統制条件から文章聴取時にかけて，呼吸の回数が増えている．しかし，日本語条件と英語条件の間には変化は見られなかった．すなわち，安静時と課題遂行時には差があったが，課題条件間での差は見られなかった．

一方，皮膚電気活動の結果に着目すると，各条件間で反応の回数には差があることがわかる．しかし，これは指標の特性が，刺激や環境の変化に対して一過性に生じるもので，本実験のような一定時間内のタスクにおいて定常的に出現するものではなかったため，条件間の違いを表すような反応を示していないと考えらる．実際，グループ1とグループ2ではその傾向に一貫性は全く見られない．

このように，実験1においては，心拍，呼吸，皮膚電気活動には，条件間で有意な差は見ることはできなかった．

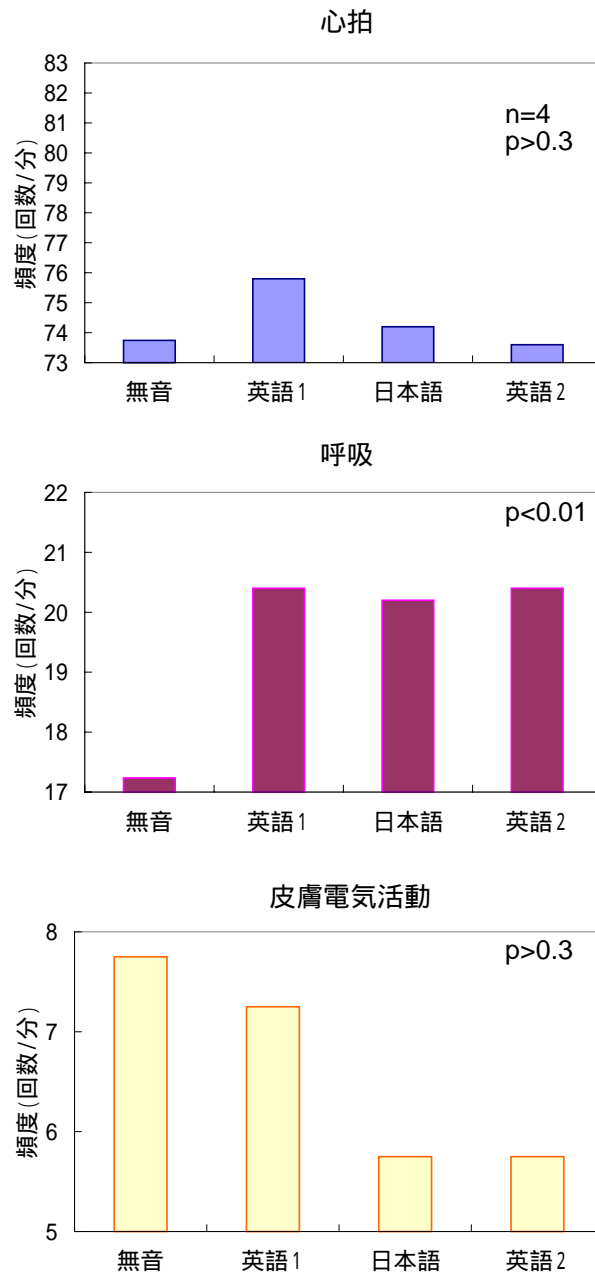


図 4.8: 心拍, 呼吸, 皮膚電気活動のデータ (グループ 1)

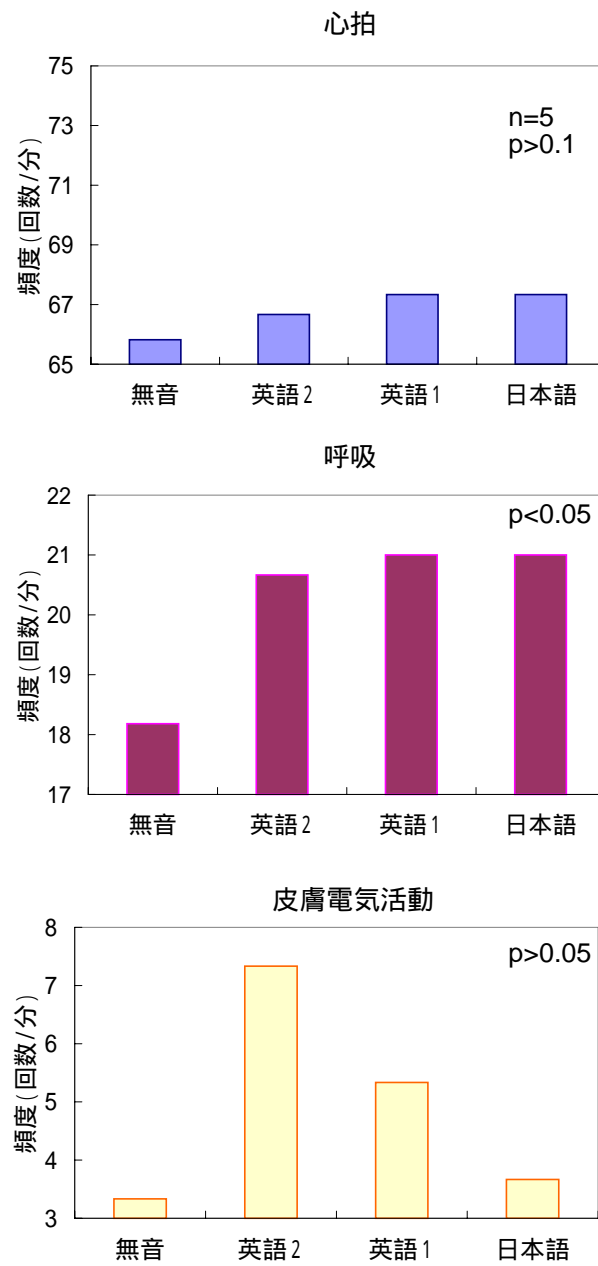


図 4.9: 心拍, 呼吸, 皮膚電気活動のデータ (グループ 2)

4.5 考察

実験1の結果より、英語の聴取時には、日本語聴取時、統制条件に対して、眼球運動の頻度、振幅とともに減少した。つまり、条件によって、眼球運動にはその振舞いの違いに傾向があるということがわかった。

また、心拍は全条件を通して差が見られず、呼吸、皮膚電気活動は、タスクの違いを示すような傾向はなかった。この理由として、このような生理心理学的指標の特性が今回の実験での条件間の違いを表す性質を持っていない、あるいは、これらの生体反応に対し、有意な変動を見いだすには、60秒間という課題の時間が不十分であった可能性が挙げられるだろう。

このことから逆に、実験1のような条件下では、眼球運動の特性変化を分析することにより、心拍などの指標では捉えられない短時間の心理状態変化を検出できる可能性があると言える。

ただし、聞き取り課題の違いが眼球運動の違いを生み出した原因は必ずしも明らかではない。聞き取り課題の難しさは、被験者の緊張や集中といった心理状態だけでなく、思考や推論といった脳内処理の付加にも影響を及ぼす可能性がある。

このことを確かめるために、難易度を揃えた条件で実験をさらに行った。

第5章 実験2

5.1 目的

聞き取り難易度の違うナレーションを用いた実験1に対して、実験2では聞き取りの難しさを一定にし、その上で心理状態を変化させたときに、眼球運動に変化が現れるかどうかを調べることを目的とした。

このために、同じ言語のナレーションを用いて、負荷を揃えた。そして、2つのナレーションに対し、異なる教示を与えることで、心理状態を変化させることを試みた。

実験1の結果で、聞き取りが難しいときとそうでないときで変化に傾向があったように、教示の内容により眼球運動にも変化が表われることが予想できる。具体的には、リラックスしているときと緊張しているときとでは、緊張しているときの方が眼球運動が減少するということが予想できる結果のひとつである。

5.2 手続き

実験1と同様に、課題を始める前に、各装置の装着、キャリブレーションを行った。

課題の流れを図5.1に示す。60秒間のナレーションの聴取を計2回行った。それぞれのナレーションの前には教示が音声で流れる。ナレーションの後には、ナレーションの内容を問う質問と解答を筆記試験の形で行う。このうち、ナレーション聴取時の2状態のデータについて解析を行った。被験者一人あたり、図5.1の流れを1試行とし、言語を日本語に揃えたもの、聞き取りの難しい英語に揃えたもの、聞き取りの易しい英語に揃えたものの計3試行を行った。実験環境は実験1と同様である。

1回目のナレーションは練習であり、その事は教示で被験者に知らされる。そして、2回目のナレーションは本番であり、教示により被験者に伝えられる。同じ難しさの聞き取りでも、その教示により緊張感などが増し、練習と本番の間に眼球運動やその他の指標になんらかの変化が起こることが予想される。

ナレーションの内容を問うテストの目的は実験1と同様、被験者にナレーションの内容をしっかりと聞かせるために行ったもので、結果は分析対象としていない。

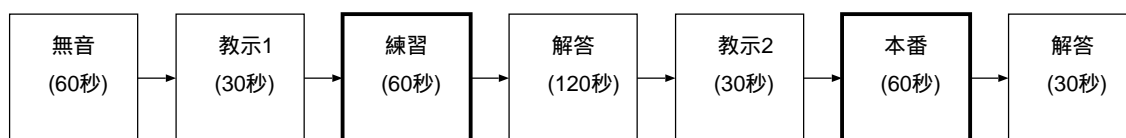


図 5.1: 実験2の試行の流れ

5.3 被験者

10～20代の正常な視力または矯正視力を持つ10人が被験者として実験に参加した。

5.4 結果

5.4.1 心拍の結果

まず最初に、心拍の結果を示す(図5.2)。

実験1では心拍には条件間で有意な差が見られなかったが、この図からわかるように、実験2では、日本語、英語ともに練習と本番の間で顕著な変化が見られた。

練習と本番の心拍の回数を比べると、日本語、英語ともに本番において練習のときよりも増加している。この傾向は、個人差はあれ、実験に参加した被験者ほぼ全員に共通して見られた。

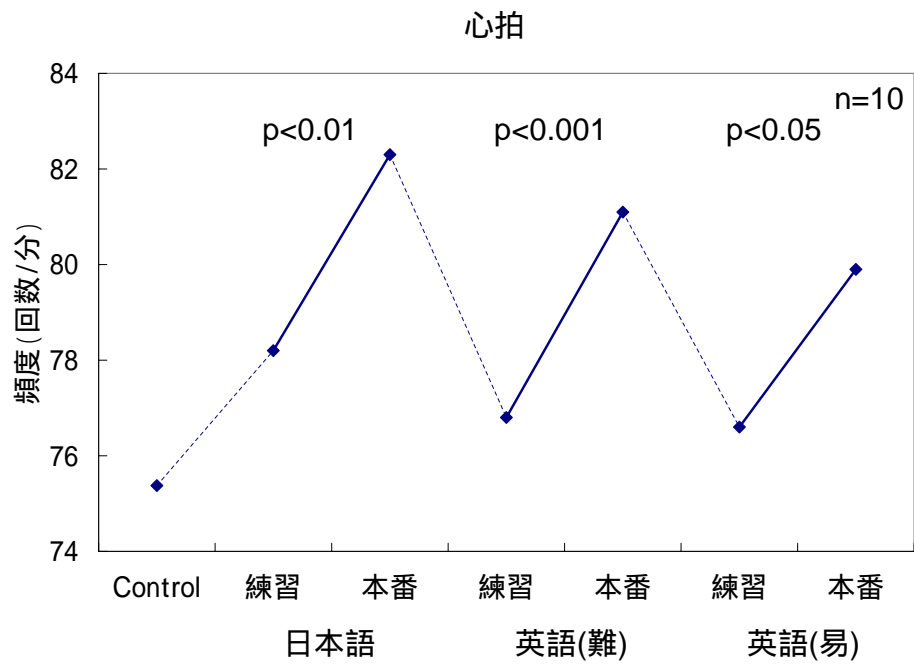


図 5.2: 心拍のデータ

5.4.2 眼球運動解析の結果

次に，眼球運動解析の結果を示す．実験1同様，サッカードの頻度，振幅とその標準偏差に着目し，それぞれ練習を1としたときの本番の比を出したものを図5.3に示す．

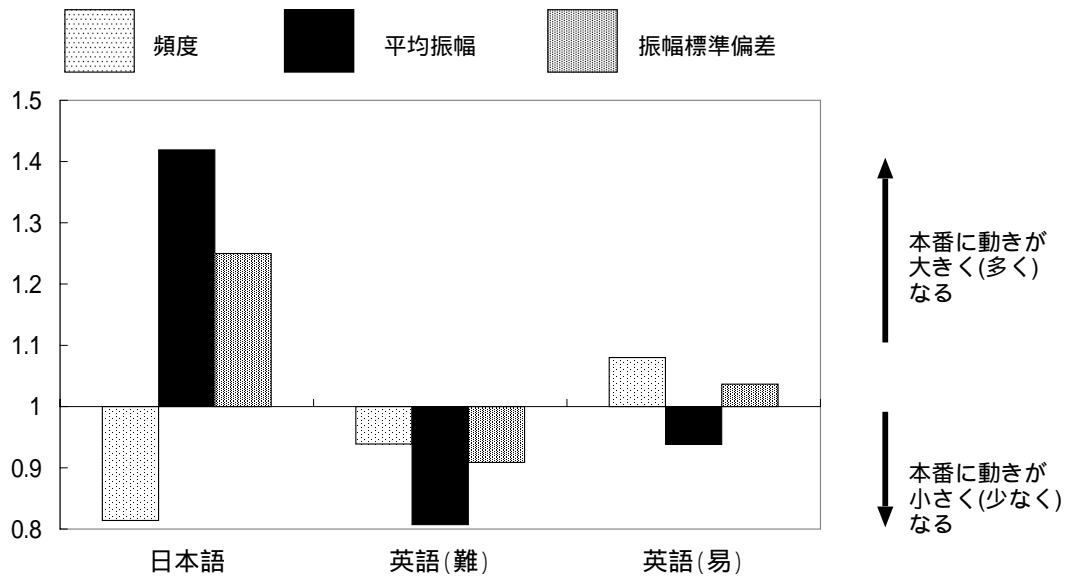


図 5.3: 眼球運動の練習と本番の比

この図より，言語に関らず，練習と本番の間に一定の傾向があるわけではないことが見てとれる．

日本語聴取時には頻度は減少し，振幅が大きくなっている．難しい英語を聞いているときは頻度，振幅ともに減少し，易しい英語の聴取時は，他の二つに比べて，練習と本番の差は少ない．

5.5 考察

実験2においては心拍に顕著な変化が見られた。日本語、英語に関らず、本番において練習のときよりも心拍数が増加している。これは教示の効果が表われていると考えられ、練習の聞き取り時よりも本番の聞き取り時に緊張感が増したと推測でき、結果、心拍数が増加したとみられる。

心拍数は上がる要因としては、緊張時に交感神経が活発に働き、アドレナリンを血液中に放出することなどが知られている。

この結果より、難易度は一定であっても、心理状態を変化させることができたと見てよいだろう。

このとき、眼球運動には本番と練習の間には一定の傾向が見られなかった。心拍の変化の様子と眼球運動の変化の様子に相関が見られなかったこと、また、当初の予想のように本番に眼球運動の頻度や大きさが減ったのは、難しい英語を聞いているときだけであり、他の条件では異なる傾向を示したことは、眼球運動が表しているものは、心拍とは異なるものであると考えられる。

それでは、眼球運動が何を表しているのだろうか。練習と本番の間に一定の傾向がなかったとはいえ、課題の負荷が同じでも動きに変化が出ている。また、日本語と英語で変化の傾向が違うことより、課題に対する集中度や、個人がその状況をどう捉え、どの様に処理しようとしているかといった「主観的」な負荷を反映しているのかもしれない。

この考察から、言語の処理能力や推論、想像と言ったナレーションの聞き取りの際に必要とされる要素を排して、課題への集中度が眼球運動に与える影響を明らかにするための実験を行った。

第6章 実験3

6.1 目的

実験1, 実験2では, ナレーションを聞き取り, 内容を理解するという処理が求められた。この処理には推論や思考, 言語に対する経験や能力といった要素が必要になり, 何が眼球運動の違いを生み出したということが明らかではなかった。そこで, 実験3では, 課題を単純化し, 条件間で集中度だけが異なる設定で実験を行った。

6.2 手続き

実験3では, 課題の試行時間を30秒と短くした。また, 眼球運動のみ計測し, その他の指標は計測しなかった。その理由は, 実験1, 2の結果では, 心拍, 呼吸, 皮膚電気活動と眼球運動の間には相関が見られず, また, 仮に相関があったとしても試行時間を短くした場合では心拍, 呼吸, 皮膚電気活動に有意な差は出ないと考えたからである。

また, 課題には, 周波数440Hz, 時間1秒の単音の検出を用いた。音の検出課題では, 被験者は音が鳴ったかどうかだけに意識を集中すればよいとため, 言語に対する能力や経験, 内容の理解など個人によって違いの大きい要素を少なくできると考えられる。音の提示方法はスピーカーからヘッドフォンに変更し, 被験者には, 単音が鳴ったと知覚した際に合図として手を挙げるように教示した。

課題の流れを図6.1に示す。一試行あたり, 単音検出課題は2回行った。1回目の課題では単音の音量を大(聞き取りに十分な音量)に設定したもの, 2回目の課題では音量を小(聞き取りが困難な音量)に設定したものをを用いた。そして, それぞれ30秒間の課題中に

単音をランダムな間隔で10回提示した。課題の前には提示される単音のサンプルを提示した。このうち、最初の無音状態(統制条件)と、聞き取り課題2つの計3状態のデータについて解析を行った。

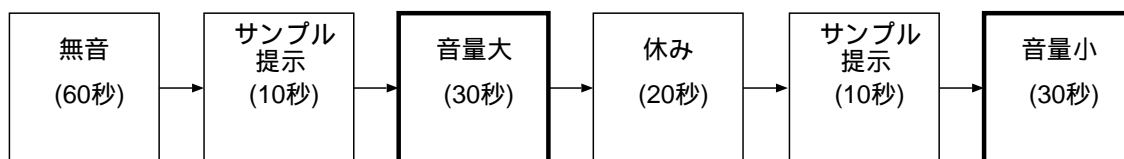


図 6.1: 実験3の試行の流れ

6.3 被験者

20代の正常な視力または矯正視力を持つ8人が被験者として実験に参加した。

6.4 結果

6.4.1 眼球運動解析の結果

サッカード振幅とその標準偏差、サッカード頻度を被験者間で平均したものを、図 6.2 に示す。

まず、無音時と課題遂行時の頻度を比較すると、後者の方が眼球運動の頻度が高い。また、音量大条件と音量小条件を比べると、音量小条件のときに眼球運動の頻度が下がっている。

次に、振幅は、無音時よりも課題遂行中に振幅は小さくなっており、また、音量大条件と音量小条件を比べると、音量小条件時に大きくなっている。

次に、視線の方向を調べるため、各条件毎に固視点の分布を表す散布図を作成した。また、分布の性質を定量的に捉えるため主成分分析を行った。散布図の例を図 6.3 に示す。

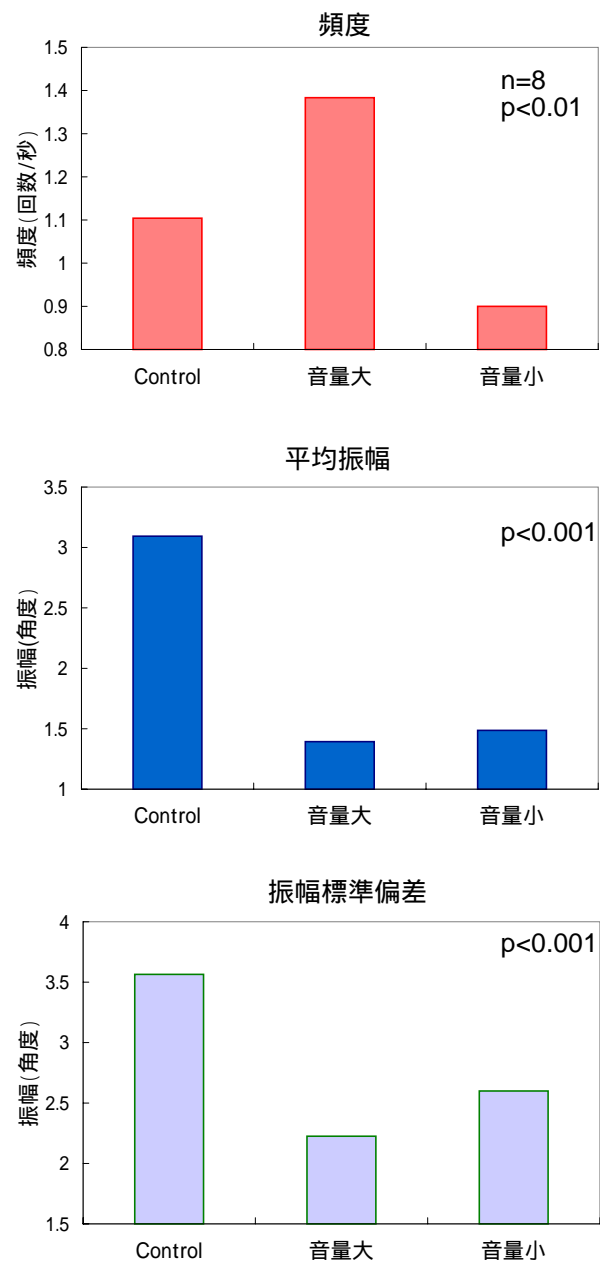


図 6.2: サッカーの頻度, 振幅, 振幅標準偏差

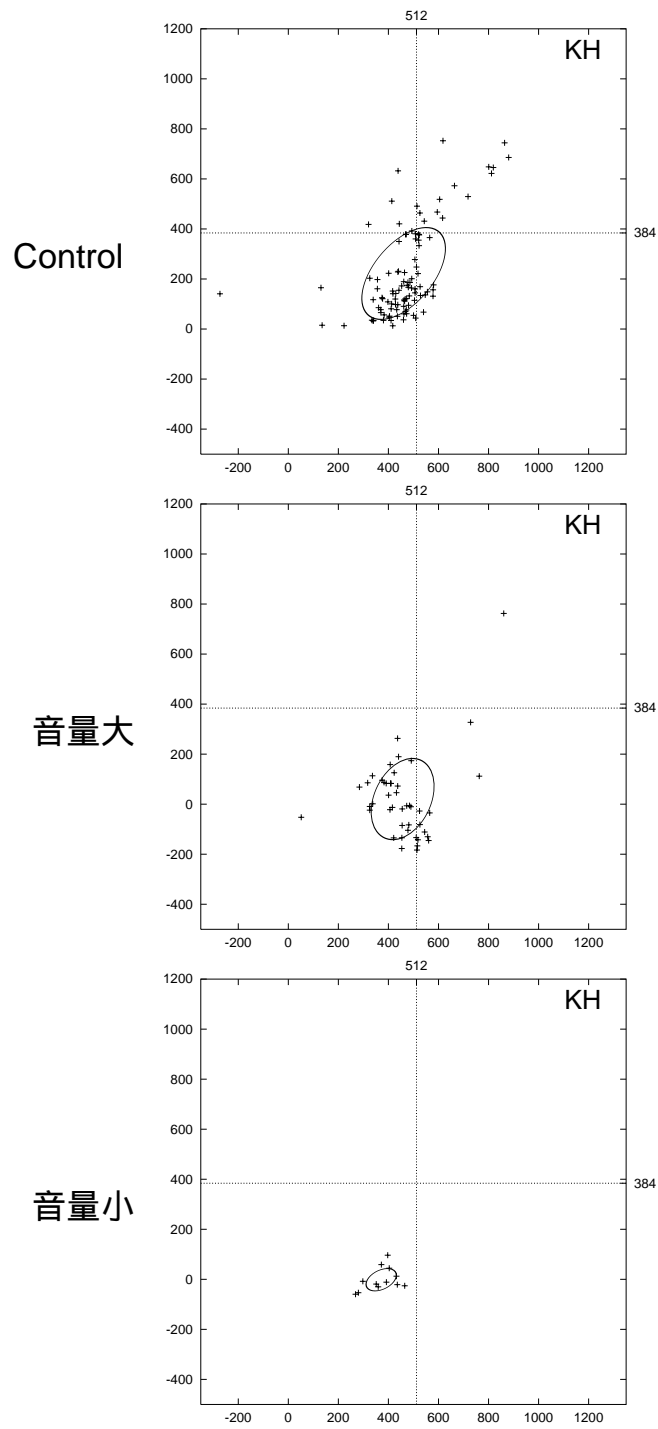


図 6.3: 散布図の例 (単位:画面上のドット数)

この図を見ると、無音時には分布の中心は正面に近く、楕円も大きいのに対し、課題遂行中は分布の中心が、正面より下にずれ、楕円が小さくなる。この傾向は、音量大条件よりも音量小条件においてより強くなっている。分布の中心が正面から離れる方向は、被験者によって様々であったが、正面から外れ、領域が狭くなる傾向は共通して見られた。これらを定量的に表すために、楕円の面積と、正面から楕円の中心への距離を特徴量として表した結果を図6.4に示す。

まず、楕円の面積に着目すると、無音状態と課題遂行中を比較すると、課題遂行中に面積が小さくなる。また、音量大条件と音量小条件を比べると、音量小条件の方が面積が広い。ただし、何人かの被験者については、視線位置がいくつかの点に停留している例が見られた。図6.5に、その典型的な例を示す。このような場合では全体としての平均振幅や楕円の面積は大きくなるが、停留点毎に個別に解析すれば、平均振幅や楕円の面積は大きく下がる。

これらの結果より、課題遂行中に眼球運動の頻度や振幅が減少したことがわかった。次にこの性質について眼球運動の振幅分布の点から分析した。サッカードを振幅1度以下、1度から5度、5度以上に分け、その頻度を表したものを図6.6に示す。

図6.6のグラフで特徴的な点は、無音時間と課題遂行中でグラフの形が異なることである。無音時に比べて課題遂行中では、5度以上の大振幅の眼球運動の割合が減り、1度以下の小振幅の眼球運動の割合が増している。また、この割合は音量大条件と音量小条件でほぼ同じである。このことから、無音状態と課題遂行中では出現するサッカードの振幅の割合に明らかな差があると言える。さらに眼球運動の頻度は、音量小条件において減少している。特に条件間の差を表しているのは1度以下の小振幅であり、小振幅の眼球運動の割合、頻度に着目することでも条件間の差があることがわかった。

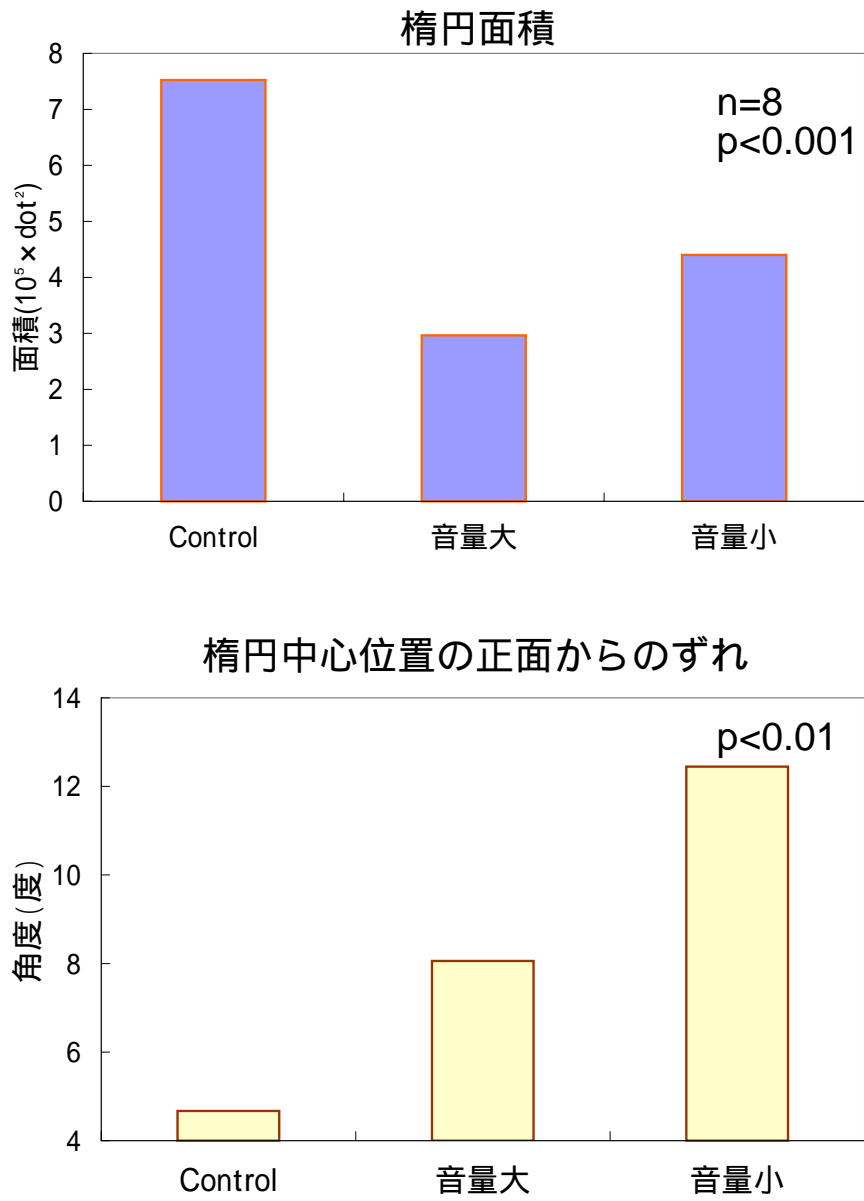


図 6.4: 楕円面積と楕円中心の正面からのずれ

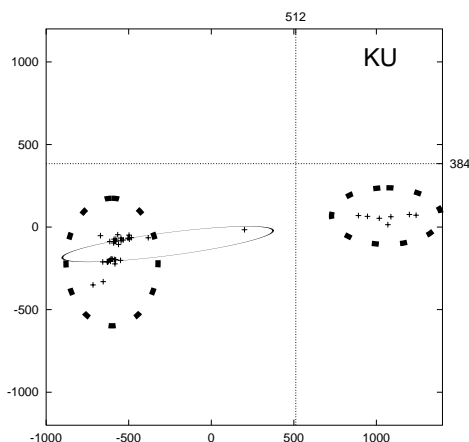


図 6.5: 固視点の領域が複数ある例 (音量小条件)

6.5 考察

実験3では、集中度の違いによる眼球運動の変化を調べるため、記憶や言語処理などの負荷を受けにくい単純な音の検出課題を用いた。

頻度については、音量大条件と音量小条件を比較した場合、音量小条件において頻度が減少しており、聞き取りが難しくなった場合に目が止まる傾向があることがわかった。無音時と音量大条件の比較において、頻度の増加が見られたが、これは課題遂行時には合図として手をあげる動作を行うが、無音時には動作は何もないことが眼球運動に影響した可能性がある。今後、これらの差が無い条件で実験を行う必要がある。

次に振幅においては、聞き取り課題中は無音状態より振幅が小さくなっている。聞き取りに意識を集中すると、目の動く範囲が狭まっていることがわかる。また、音量小条件において、音量大条件より振幅が弱干大きくなっているが、これは図6.5に挙げたような例によるものであり、眼球運動が激しくなったことを表しているとは一概には言えない。

散布図とその主成分分析の結果では、聞き取りに集中力が必要になると、正面から離れたところを中心にして、視線の動く領域が狭まるということがわかった。また、図6.5のような例では、視線の停留領域を個別に分析すれば、平均振幅や領域の面積は小さく

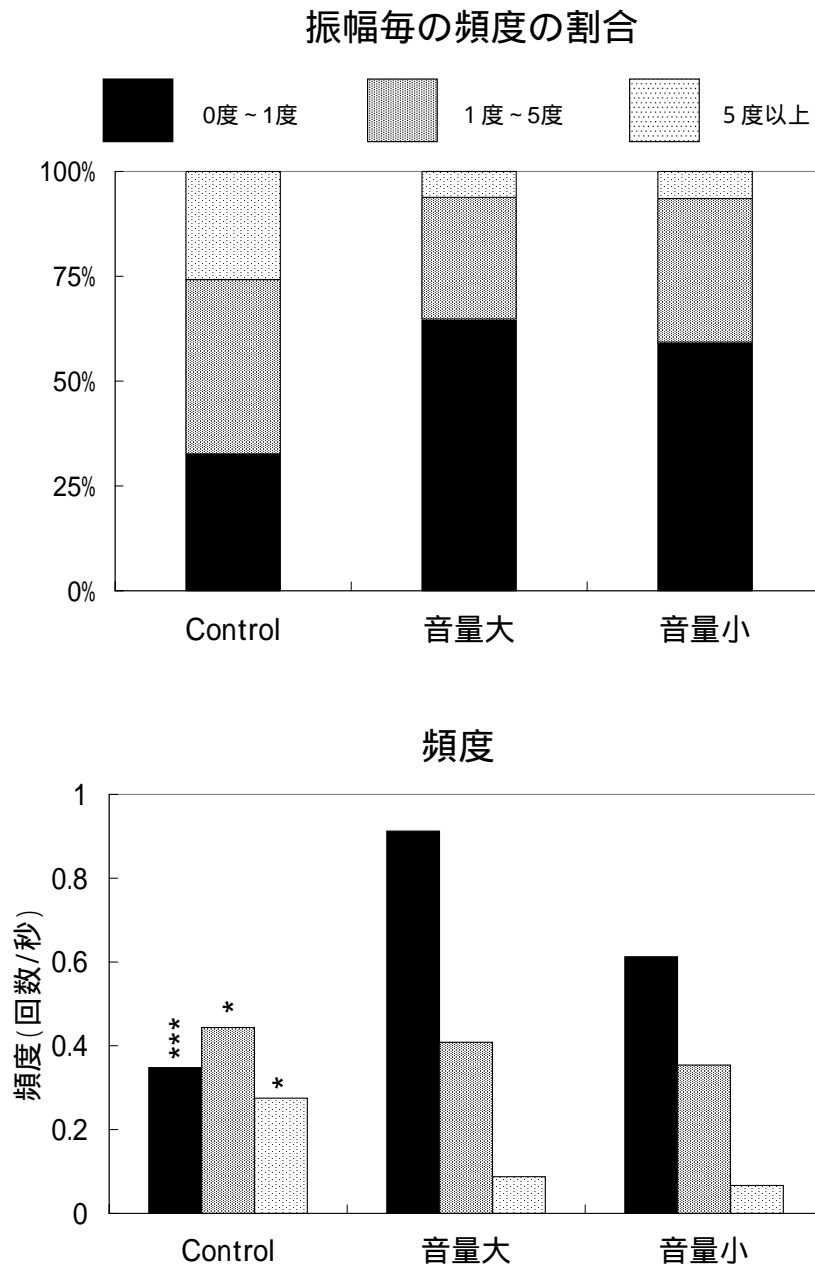


図 6.6: 振幅毎の頻度の割合と頻度の絶対数

なる。

これらの結果より、音量の小さな条件では、眼球運動の頻度、振幅が減少し、視線方向が正面から離れた位置で停留しやすいことがわかった。また、小振幅の眼球運動に着目することでも条件間の違いがあるということも示された。

実験3では単純な単音の検出課題を用いたことにより、意識の集中は自然と耳に集まると考えられる。したがって、本実験で見られた視線が一定の位置と範囲で停留するという現象は、興味ある対象を注視しようとする選択的注意によるものではないと考えられる。

この現象と似た特異的な眼球運動としてラテラル・アイ・ムーブメント (Lateral Eye Movement; LEM) が知られている。LEMは考えることを必要とされる質問を受けたときに起こる知的活動によって誘起される眼球運動、すなわち、人が少し考えるときに横や斜め上下に視線を動かす動作である。LEMの特徴は、随意的なものであるが本人は気づいていないこと、右または左という眼球回転方向が個人により特徴的である [1]。これらの性質は実験3の結果から得られた固視点分布とよく似ている。LEMの生起原因としては、大脳半球活性仮説がある。これは、質問により使われる大脳半球が活性化され、その眼球運動支配領域での興奮が反対側への眼球運動を引き起こすというものであるが、立証されていない。

このように、LEMは思考に伴う特異的な眼球運動とされているが、実験3においては質問などは一切与えず、思考や脳内処理による影響は少ないと考えられる。よって、一般的なLEMが現れたとは考えにくい。眼球運動を抑制制御する大脳基底核や注意との関係からこの現象を論ずることもできるだろう。

第7章 まとめ

本研究では、眼球運動と心理状態との関係を明らかにすることを目的とし、従来から心理状態を反映するとされている心拍、呼吸、皮膚電気活動と同時に眼球運動を計測し、解析を行った。

実験では、心理状態の変化による眼球運動への影響を調べるために、視覚刺激を用いず、聴覚刺激を用いて被験者の心理状態を変化させることを試みた。実験1では、内容理解の難易度が異なる英語と日本語のナレーションを用いた聞き取り課題を行い、英語条件において日本語条件より眼球運動の頻度、振幅ともに減少した。また、同時計測した他の指標には条件間で有意な差が得られず、眼球運動との相関は見られなかった。実験2では、同一言語のナレーションに対し、異なる教示を与えることで、内容理解の難易度が一定の条件でも変化が生じるかどうかを調べた。その結果、教示により心拍には顕著な差が表われたが、眼球運動には教示による影響は見られなかった。実験3では、言語に対する能力や処理の負荷といった要素を軽減し、特に集中度の変化の影響を調べるために、単純な音の検出課題を用いた。音の音量を条件間で変化させた結果、音量が小さい条件のときに眼球運動の頻度、振幅が減少し、視線方向が一定の点で停留するということがわかった。

これらの結果は、眼球運動の性質が人間の心理状態変化を反映して変化することを示唆している。視覚情報を与えず、聴覚刺激のみを用いた場合でも条件間で有意な差が現れることが観察された。また、同時計測した心拍、呼吸、皮膚電気活動の変化と眼球運動の変化には相関が見られなかったことより、人の心理状態変化において眼球運動が表すものは他の指標とは異なること、また、眼球運動の変化に着目すれば、従来用いられている指標では捉えられない短時間での変化を検出できる可能性があることがわかった。

本研究では、視覚情報を用いない環境に限定して実験を行ったが、これらの結果より、視覚情報を与える場合においても眼球運動の同様の成分に着目することで、心理状態の変化に対応して眼球運動の変化を検出できる可能性がある。その場合には、必ずしも精密に注視点を計測する必要はなく、ある程度の視線方向や眼球運動の頻度を計測することで心理状態の変化を検出できることになる。眼球運動計測を困難にさせている装置や精度の問題に対して許容範囲の広い方法と成り得れば、応用の可能性が大きく広がるだろう。

今後の発展の方向としては、視覚情報を用い、目が本来の役割を果たす状況において心理状態変化との対応を調べていくことで、より日常的な場面における眼球運動計測の有効性を検討することや、脳の神経メカニズムの観点から眼球運動の変化の原因を明らかにすることがあげられるだろう。

謝辞

最後にこの研究をおこなうにあたって、熱心にご指導して下さった電気通信大学情報システム学研究科の指導教官、阪口 豊助教授、出澤 正徳教授、石田 文彦助手、また、被験者募集で大変お世話になりました平野さんに心から感謝します。そして、実験への参加、アドバイスをくれたヒューマンインターフェース講座の皆様。皆様の協力なしでは、研究を進めることはできなかったと思います。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] 宮田 洋，新 生理心理学，北大路書房 (1998) .
- [2] 宮田 洋，脳と心，培風館 (1996) .
- [3] 山川 泰明，情動解析を目指した視線計測システムの提案，電気通信大学大学院情報システム学研究科修士論文 (2001) .
- [4] 新美 良純，鈴木 二郎，皮膚電気活動，星和書店 (1986) .
- [5] Ruggieri, V., The running horse stops: the hypothetical role of the eyes in imagery of movement, *Perceptual and Motor Skills*, 89, 1088–1092 (1999).
- [6] Mariko Takeda, Effect of mental activity in problem solving on eye movement, *The Japanese Journal of Ergonomics*, 12, 175–181 (1976) .
- [7] 芋阪良二，中溝幸夫，古賀一男，眼球運動の実験心理学，名古屋大学出版会 (1993) .
- [8] 古賀一男，眼球運動実験ミニハンドブック，(財)労働科学研究所出版部 (1998) .
- [9] 本田仁視，眼球運動と空間定位，風間書房 (1998) .
- [10] Asher, E. J . & Ort, R. S ., Eye movement as a complex indicator, *J. Gen. Psychol.*, 45, 209–217 (1951).
- [11] Antrobus, J. S., Antrobus, J. S., & Singer, J. L., Eye movements accompanying daydreaming, visual imagery, thought suppression, *J. Abnorm. Soc. Psychol.*, 69, 244–252 (1964) .

- [12] Stoy, E. G., A preliminary study of ocular attitudes in thinking of spatial relations, *J. Gen. : Psychol.*, 4, 379–385 (1930).
- [13] Lorens, S. A., Jr. & Darrow, C. W., Eye movements, EEG, GSR, and EKG during mental multiplication, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 14, 739–746 (1962).
- [14] Amadeo, M. & Shagass, C., Eye movements, Attention and hypnosis, *J. Nerv. Ment. Dis.*, 136, 139–145 (1963)
- [15] Nakamizo, S, A psychoophysiological study on eye movement, Some observations of eye movements during waking state with closed eyes by electro-oculograph, 九州大学文学部哲学年報, 第 30 輯, 55–68 (1971).
- [16] 千原孝司, 思考時の眼球運動, 滋賀大学教育学部紀要, 24 号 (人文科学・社会科学・教育科学), 60-68 (1974) .
- [17] Collins, W. E., Effect of mental set upon vestibular nystagmus, *J. Exp. Psychol.*, 63, 191–197 (1962).
- [18] Greenberg, S., Elicitep optokinetic nystagmus during problem-solving and daydreaming, *Unpublished doctoral dissertation*, City University of New York (1970).