

Title	視覚認知における補間能力の定量化とその脳の健康検査と機能増進への試み
Author(s)	Jiang, Yinlai
Citation	高知工科大学，博士論文．
Date of issue	2008-03
URL	http://hdl.handle.net/10173/508
Rights	
Text version	author



Kochi, JAPAN

<http://kutarr.lib.kochi-tech.ac.jp/dspace/>

平成 20 年 3 月修了
博士（工学）学位論文

視覚認知における補間能力の定量化と
その脳の健康検査と機能増進への試み

Quantitation of Human Visual Interpolation Ability and its Application to
Brain Health Check and Brain Function Enhancement

平成 19 年 12 月 16 日
高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻
留学生特別コース

学籍番号 1096404
姜 銀来
Yinlai Jiang

目次

第1章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	3
1.3 視覚認知における補間能力	4
1.4 本論文の構成	7
参考文献	11
第2章 補間能力の計測と定量化	13
2.1 緒言	13
2.2 補間能力計測実験	14
2.2.1 刺激信号の選択	14
2.2.2 刺激信号の生成	16
2.2.3 実験システム	18
2.2.4 実験手順	19
2.3 実験条件による補間能力の考察	21
2.3.1 実験条件	21
2.3.2 実験結果	23
2.3.3 結果考察	24
2.4 補間能力の定量化法	34
2.5 結言	46
参考文献	47
第3章 補間能力と年齢との相関性	51
3.1 緒言	51
3.2 実験条件	52
3.2.1 パラメーターの設定	52
3.2.2 被験者	53

目次

3.2.3 実験手順	53
3.3 実験結果	55
3.4 実験結果の考察	62
3.5 結言	64
参考文献.....	65
第4章 補間能力による脳の情報処理能力への評価	67
4.1 緒言	67
4.2 補間能力による脳の情報処理能力への評価法	68
4.2.1 年齢が同じである被験者の補間能力分布による評価	71
4.2.2 補間能力が同じである被験者の年齢分布による評価	73
4.3 補間能力と認知障害との相関を計測するシステムの構築	75
4.3.1 実験システム	76
4.3.2 パラメーターの設定	77
4.3.3 実験手順	78
4.4 結言	79
参考文献.....	80
第5章 視覚補間による脳機能増進への試み.....	83
5.1 緒言	83
5.2 視覚補間による訓練にしたがう補間能力増進の検討	85
5.2.1 パラメーターの設定	85
5.2.2 被験者	85
5.2.3 実験手順	85
5.2.4 実験結果と考察	86
5.3 視覚補間による訓練方法の検討	88
5.3.1 パラメーターの設定	88
5.3.2 被験者	88
5.3.3 実験手順	89

5.3.4 実験結果と考察	89
5.4 結言	93
参考文献	94
第6章 NIRSによる視覚補間における脳機能計測	97
6.1 緒言	97
6.2 視覚補間に関わる脳部位について	98
6.3 実験装置	99
6.4 視覚補間に従う視覚野と前頭前野の賦活に関する検討	102
6.4.1 刺激信号	102
6.4.2 被験者	102
6.4.3 光ファイバーの装着	103
6.4.4 実験手順	104
6.4.5 結果及び考察	105
6.5 視覚補間における認知速度の脳血流への影響	109
6.5.1 刺激信号	109
6.5.2 被験者	109
6.5.3 光ファイバーの装着	110
6.5.4 実験手順	111
6.5.5 結果及び考察	112
6.6 結言	117
参考文献	117
第7章 結論	121
謝辞	125
本論文に関する研究業績	127

第1章

序論

1.1 研究背景

人間の脳は、身体の運動を制御するだけでなく、感情や理性など精神活動においても重要な役割を果たしているため、近年脳機能のトレーニングは様々な方法が提案され盛んに行われている。高齢化が進む日本の社会において、如何にそれらの脳研究の成果を利用して、司令塔である“脳”の健康および機能を向上させるかに関する問題は、持続的に安心して豊かな人間生活の営める社会にとって、重要な課題である。

脳は、人間の体の殆どの機能に関係しており、“司令塔”として、体の最も大切な部分のうちのひとつである。体がいくら丈夫であっても、脳の機能が低下し、または脳が病気にかかることにより、特定の動きを行うことができなくなったり、自宅の場所まで覚えられなくよく道に迷ったりする。しかし、日常生活では、脳健康が体の健康ほど重視されていない。原因の一つは、体の健康状況が脳健康より自覚しやすいと考えられる。例えば、年を取ったら、力がなくなり、若者のように走れなくなってしまう。近視になったら、近づかなければ、いつも見えたテレビの字幕が見られなくなってしまう。それらの現象は容易く体感できる。一方、脳の状態はあまり自覚されていない。加齢につれ、自分の脳機能はどのように変化して行くかに、一般的に関心を寄せられていない。忘れっぽくなっても、脳が病気にかかった恐れがあるとあまり認識していない。それは、日常生活の中に、脳健康状態を評価する方法がないからであると考えている。今までの脳健康検査は、主に脳機能画像法による器質的疾患の検査法と神経心理学による機能的疾患の検査法を用い、実施されている。脳電図 EEG (Electroencephalogram) と磁気共鳴映像法 MRI (Magnetic Resonance Imaging) と陽電子断層撮影 PET (Positron Emission Tomography) などの脳機能画像法は、設備価格が高い、手軽に実施が困難で、専門の医療施設しか実施す

ることができない。脳の構造と生理的機能を測定できるが、高次脳機能の評価が難しい。神経心理学的検査において、Benton 視覚記銘力検査や Peabody 絵画語彙テストなど特定の機能を検査する方法を臨床的に実施されている[1]。近年、認知症を診断するために、認知機能検査 MMSE (Mini-Mental State Examination) と簡易前頭葉機能検査 FAB (Frontal Assessment at Bedside) が幅広く使われている[2-4]。それらの神経心理学的検査は特定の病気に対して開発されて、実施するには、経験と知識を持つ医師による面接が必要である。したがって、従来の脳健康検査法が、日常生活の中に手軽に実施することは困難で、常に病気の症状が出た人に行なう。

もし、何時でも手軽に一人で自分の脳の健康状況を把握できれば、脳の疾病予防と早期発見と早期対応を実現でき、脳の健康を見逃したための手遅れに後悔する人々が無くなり、身体と精神とも健康な生活を送ることができる。特に、高齢社会において、医療や社会福祉の進化により、体が元気で生きる高齢者が増えつつある一方、高齢者認知症にかかる老人が増えていく。厚生労働省要介護（要支援）認定者における痴呆性高齢者の将来推計[5]により、今後 30 年位高齢化が進むにつれ、日本の認知症高齢者数が増えつつあり、2040 年までに今の 2 倍まで増加する。如何に手軽に脳の健康をチェックしたり、保ったり、脳機能を発達したりすることができるかが、高齢社会にとって重要な課題となる。

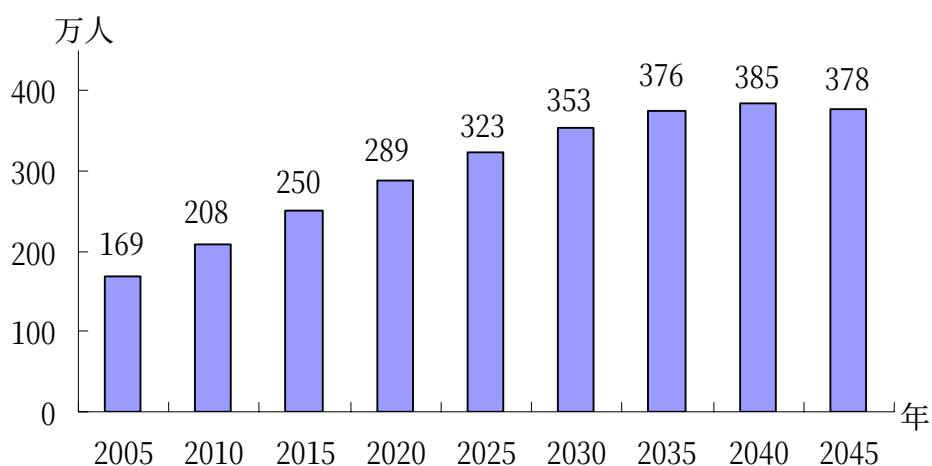


図1.1 認知症高齢者の将来推計

1.2 研究目的

本研究の目的は、視覚認知を通して、視力検査表による視力検査のように、簡単に脳の視覚情報処理能力を検査及び向上させる方法を実現することである。

現在実施されている視力検査表による近視、遠視、老眼などの検査は、センサーとしての目が正常に機能しているかを検査する手段であって、脳内における高次視覚情報の理解能力が反映されていない。脳は、視覚・聴覚・嗅覚・味覚・触覚という五感からの色々な情報に基づいて記憶したり考えたり結論を出したりしている。これらの知覚機能を通じて人間が外界から受け取る情報量は、視覚が最も多く80%以上だと言われている[6]。視覚情報を処理し反応を出すために、視覚野、頭頂連合野、前頭連合野などの皮質領野が関与する。したがって、人間の視覚システムをブラックボックスとして、適切な視覚刺激を利用すれば、脳の視覚情報処理能力を計測したり、脳内の視覚関連部位の健康状況を診断したりできると考えられる。更に、適切な視覚刺激を与えることで、脳内の視覚関連部位を活発化させて、健康増進と情報処理能力が向上することが可能であると考えられる。

本論文では、脳内視覚認知における統覚と連合に個人差があるという事実に着目して、形として欠けている不完全な文字情報を測定信号として、視覚認知の連合機能の一つである補間能力（以下、視覚認知における補間能力を補間能力と略する）を計測することにより、脳健康検査法と脳機能増進法を研究している。

本論文は、まず補間能力の計測実験を開発し、実験結果による補間能力の定量化法を提案する。また、年齢と補間能力の相関性を調べることにより、補間能力の評価法を開発して、補間能力の定量化法と評価法を視覚情報処理における高次脳の健康増進に適用する。さらにNIRS法（近赤外分光法）を用いて視覚補間における脳の血流量を測定することにより視覚補間における脳の賦活部位の考察し、視覚補間の脳活性化への有効性を検証する。

次節では視覚認知における補間能力について述べる。

1.3 視覚認知における補間能力

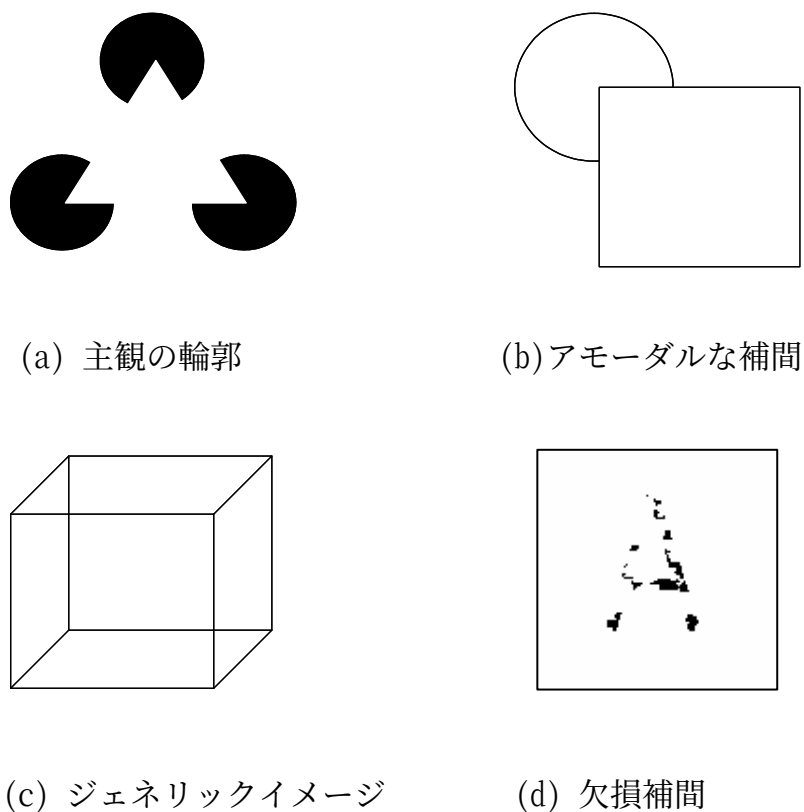


図 1.2 視覚補完の分類

視覚認知における補間能力とは、我々人間が、目から脳に入ってきた不完全な情報に対して、ある程度で情報の意味を判別・理解することができると定義されている。不完全な物体を識別する時に人間の視覚は高度な補間能力を持っている。一般に、外界の事物状況のなかで視覚入力に反映されていないものが、視覚入力にあるものから推定されて知覚される場合、視覚的補間が生じる。

今までの視覚補間に関する研究は、主に次の 3 種類に分けられる：主観の輪郭 (subjective contour)、アモーダルな補間 (amodal completion) とジェネリックイメージ (generic image) [7]。主観の輪郭とは、図 1.2 (a) に示したように輝度や色の違いなどの視覚特性の変化のないところに知覚される輪郭である。

図 1.2 (a) には、誘導図形としての三つの円の間に一つの等辺三角形が見える。主観の輪郭のような明るさの変化の知覚などがなく、色や明るさなどの視覚的な質感を伴わない補間をアモーダル補間と呼ぶ[8]。普段よく見つけるアモーダル補間は図 1.2 (b) のような被遮蔽事物の補間である。図 1.2 (b) の後側の丸が完全な円形をして知覚される。ジェネリックイメーজとは、2 次元画像から、3 次元画像が知覚されることである。図 1.3 のように、視覚系の入力は 2 次元であり、知覚は 3 次元であるから、奥行きに関する次元は視覚入力には少なくとも明示的にはなく、視覚系が補間したものであると考えられる。その 3 種の視覚補間について、幾何学、神経心理学に基づいて、数多くの研究成果があげられてきた[9]。Kellman と Shipley は、一般に遮蔽物の「背後」でエッジが連続して知覚されるアモーダルな補間と、輪郭線や明るさの知覚などの感覚属性をともなって経験される主観的輪郭が、同一の機制にもとづくことが仮定されている。つまり、両者とも「関係づけ可能性」の制約を満たす複数のエッジが補間された後、さらに接合などによる奥行き配置やそれにもとづく整合的な境界の割り当てが決定されることで、遮蔽されたアモーダルな補間か、あるいは主観的輪郭が成立する [10]。Yen と Finkel は、計算理論の立場から一次視覚野の方位選択性をもった神経細胞に類似したフィルターを仮定し、これらの活動間の時間的な同期によって輪郭線が統合されるとするモデルを提案した[11]。Sugita は、サルの実験で、被遮蔽事物に対してサルの大脳の第一次視覚野から見えない部分を能動的に補間する細胞があることが報告された[12]。ジェネリックイメージにおいて、3 次元表面の曲率に対応する 2 次元投影像の曲率に反映されることなどの幾何学的性質に基づいて解釈された[13,14]。

本論文は、図 1.2 (d) のような一部分消された物体に対する欠損補間について研究している。図 1.2 (d) には、消された不完全な文字“ A ”が見分けることができる。アモーダルな補間（特に被遮蔽事物の補間）のように識別に必要な情報が遮蔽物の後に隠されたことではなく、どこにあるかが明示的に示されていない。今まで、欠損補間のメカニズムはまだ述べられていない。欠損補間の場合は、視覚情報に補間に必要な情報がどこにあるかという手掛かりがないた

め、被遮蔽事物の補間より難しいと考えられる。したがって、一部分消された物体を識別する時に、推論、認知などの高次機能を司る前頭前野が関与すると想定している。

また、欠損補間において、我々は欠損事物にたいして、何時も無条件で常に判別・理解できるわけではない。欠損部分が多ければ多いほど、補間するのは難しくなる。補間能力に限界があり、また、その限界が人により違うという事実が経験上で分かっている。その違いは、人々の脳内における視覚情報の理解能力の差別を反映していると考えられる。本論文では、脳内視覚認知における統覚と連合に個人差があるという事実に着目して、形として欠けている不完全な文字情報を測定信号として、視覚認知の連合機能の一つである補間能力の定量化を提案し、実際に脳内視覚認知の検査に適用することにより、有用性を示す。最後に脳内視覚認知機能の増進実験を行い、補間能力向上の可能性について論じる。

以降、特に言わない場合、補間は欠損補間とする。

1.4 本論文の構成

本論文の構成ブロック線図は図 1-3 に示す。

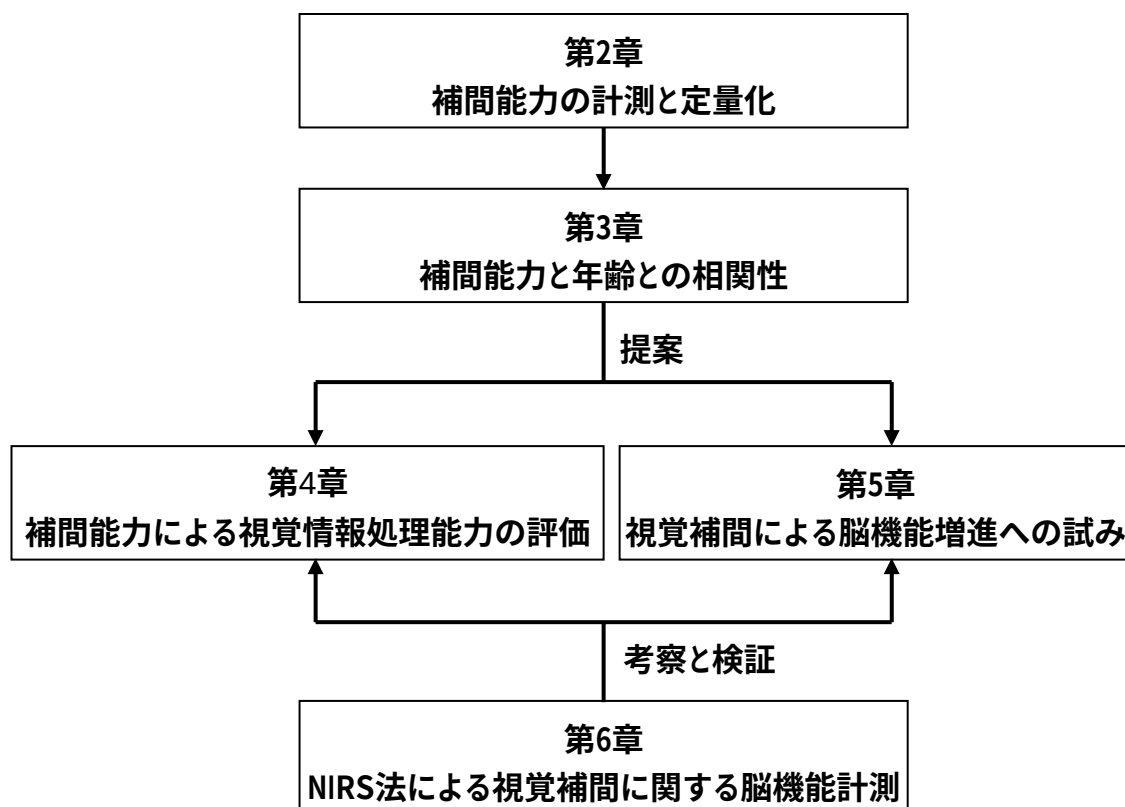


図 1.3 本論文の構成

以下では，論文の各章について説明する。

第 2 章では，補間能力の計測実験と定量化法について説明する。

本論文では，一部分抹消された不完全な英語の文字をテスト情報として，補間能力の計測実験を行なった．英語の文字は世界中で最も幅広く使われ，日常生活によく見えるから，文字の形や意味が，我々の記憶に定着している．被験者が不完全な文字を見てから，その文字の正体を見分けるまでとの過程にある補間能力を実験結果により解析する．文字が，消しゴムを模倣する長方形により，繰り返して一定の比率まで抹消される．実験において，まずランダムな順で一つの文字イメージを選び，抹消処理し，一定の時間で被験者に識別させる．

抹消単位（長方形のサイズ）と抹消比率と表示時間という三つのパラメーターが、どのように被験者の補間能力に影響するかを検討するために、実験を行なった。実験結果により、抹消単位の拡大と抹消比率の増加と表示時間の短縮にしたがって、被験者の正答率が低くなった。また、文字の特徴と特徴間の関連性が、不完全な文字の識別にとって重要であることを示した。

人間は物体の特徴により物体を記憶したり識別したりしている。物体に含まれる複数の特徴の重要さが異なることが、上記の実験で判った。文字にとって、ある文字と他の文字の共有しない特徴がこの文字の識別にとって最も重要であり、特徴を共有した文字が多ければ多いほどその特徴が不重要になると考えている。本論文は、情報理論の概念から、文字特徴の重要さを評価し、不完全な文字の識別における補間能力の定量化法を提案した[16]。コンピュータの中で、ピクセルによりさまざまな物を表示するから、本論文はピクセルを文字の基本的な特徴とし、情報理論に基づき、文字特徴の重要さを計算し、不完全な文字の識別における補間能力の定量化法を提案した。実験結果により、提案した定量化法の妥当性を検証した。

第 3 章では、補間能力と年齢との相関性を計測して、考察する。

人間は、成熟期以降に、年齢を経るに従って脳を含めて各臓器の機能が低下していく。脳の高次情報処理中枢が加齢と共に衰え、視覚認知における補間能力に影響を及ぼし、補間能力も低下していくと考えられる。逆に、補間能力と年齢との相関性がある程度で加齢による人間の脳機能の加齢による変化を反映できる。本論文は、補間能力と年齢との相関性を調べるため、20 代から 90 代までの 81 人の被験者の協力で計測実験を行なった[17]。提案した定量化法により、被験者の補間能力を計算した。実験の結果、平均的に、抹消比率の低い（0.5）場合、被験者の補間能力にある差が小さかったが、抹消比率の高い（0.8, 0.86, 0.9）場合、年齢の増加に従い、被験者の補間能力が低下することがわかった。また、年齢により被験者を 20 代、30 代、40 代、50 代、60 代、70 代との六つのグループに分けて、各グループの補間能力平均値の差の T 検定により、50 代以降補間能力の低下が速くなることが分かった。

第4章では、視覚補間能力による脳の情報処理能力への評価法を提案する。

補間能力は、人により異なる。年齢の増加につれ補間能力が低下する一方、同じ年齢の被験者でも、補間能力に差があり、特に年取るほどその差が大きくなる。上記の実験でわかった。人間の視覚システムでは、網膜で光から生成された視覚情報が、外側膝状体を介して、大脳皮質の後頭葉にある視覚野に入力されて、方位、方向、色などが識別され、そして腹側経路と背側経路を通して側頭葉や頭頂葉に転送され、より高位レベルで対象画像の形状や動きなどが検知される。さらに、視覚情報は、前頭前野に送られて、情報の意味が理解されて、その情報に対する反応が決定される。補間能力の計測実験では、そのすべての過程を通し、被験者が不完全な文字を識別する。したがって、補間能力の差は、ある程度で被験者の視覚情報処理能力を反映すると考えられる。そして、本論文は、補間能力と年齢との相関の計測結果に基づいて補間能力の評価法を提案した[18]。年齢の同じである被験者は補間能力が高いほどよい、補間能力の同じである被験者は年齢が低いほどよいとして、被験者の補間能力が五つのレベル（優れている、よくできる、普通、少々低い、かなり低い）で評価される。

第5章では、視覚補間のよる高次脳視覚認知の健康増進実験について述べる。

脳は加齢とともにニューロンの数が減って行き、ニューロン間の情報伝達速度が遅くなるから、脳の情報処理能力が衰えていく。しかし、脳が可塑性を持っているから、適切な訓練を介し、ある程度で老化によって失われていくニューロンの機能を代償する可能性が十分考えられる。補間能力と年齢との相関の計測実験では、補間能力が若者ほど高い老人もいた。それは加齢による補間能力の低下を抑制する可能性を示した。本論文では、三週間にわたって、同じ抹消方法で抹消された文字を被験者に識別させて、実験の進みにつれ、被験者の補間能力の変化を考察した[19]。実験結果により、被験者の補間が向上することが判った。文字識別により、脳の関与した部位を活発化させ、これらの部位の機能を向上させる可能性を表明した。また、二組の被験者をそれぞれ高い抹消率と低い抹消率で抹消された文字を用い訓練することで、視覚補間による脳

機能増進の方法について検討した。

第 6 章では、NIRS 法により視覚補間に従う脳血流変化を計測して検討する。

本論文では、人間の目から脳までの視覚情報処理システムをブラックボックスとして、補間能力を計測して、補間能力の評価法および視覚補間による脳機能増進法を提案した。視覚補間における脳の賦活部位の考察と視覚補間の脳活性化への有効性の検証のために、本論文では、NIRS 法を用いて視覚補間における後頭葉と前頭葉両側のヘモグロビン濃度変化を計測した。二つの実験を行なった。実験一は、完全な文字と不完全な文字の識別に従うヘモグロビン濃度の差を考察した[20]。実験の結果、平均的に完全な文字の識別より不完全な文字の識別に従う酸素化ヘモグロビン濃度が高かった。その結果は、不完全な文字の識別においては前頭前野の活性化をより増強させることが示された。実験二は、不完全な文字の識別において、早い識別と遅い識別に従うヘモグロビン濃度を計測することで、識別速度の脳血流への影響を考察した[21]。実験の結果、平均的に遅い文字識別より早い文字識別に従うヘモグロビン濃度が高かった。また、後頭葉は前頭葉よりヘモグロビン濃度の差が大きかった。その結果は、早い文字識別においては後頭の活性化をより増強させることが示された。

参考文献

1. R. L. Strub and F. W. Black 著／江藤 文夫 訳：高次脳機能検査法 原著第4版 失行・失認・失語の本態と診断，医歯薬出版，2005.
2. M. F. Folstein, S.E. Folstein and P. R. McHugh: "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. Journal of psychiatric research, vol.12, no.3, pp.189-198, 1975.
3. B. Dubois, A. Slachevsky, I. Litvan, B. Pillon: The FAB: a frontal assessment battery at bedside. Neurology, vol.55, pp.1621-1626, 2000.
4. A. Kugo , S. Terada , T. Ata , Y. Ido , Y. Kado , T. Ishihara , M. Hikiji , Y. Fujisawa , K. Sasaki and S. Kuroda: Japanese version of the Frontal Assessment Battery for dementia, Psychiatry Research, vol.153, no.1, pp.69-75, 2007.
5. 厚生労働省老健局：2015 年の高齢者介護：高齢者の尊厳を支えるケアの確立に向けて，2003 年 6 月.
6. D. G. Treichler: Are you missing the boat in training aids? Film and Audio-Visual Communication, 1, 14-16, 28-30, 48, 1967.
7. 日本視覚協会（編）視覚情報処理ハンドブック，朝倉書店，2000
8. R.K. Yin: Looking at upside-down faces. Journal of Experimental Psychology, vol.81, pp.141-145, 1969
9. 鵜沼秀行，長谷川桐，視覚的補間の幾何学的・神経生理学的モデル，川村学園女子大学研究紀要，vol.16, no.1, pp.45-62, 2005.
10. P.J. Kellman and T.F. Shipley: A theory of visual interpolation in object perception. Cognitive Psychology, vol.23, no.2, pp.141-221, 1991
11. S. C. Yen and L.H. Finkel: Extraction of perceptually salient contours by striate cortical networks. Vision Research, vol.38, no5, pp. 719-741, 1998.

12. Y. Sugita, Grouping of image fragments in primary visual cortex, *Nature*, vol.401, pp.269 – 272, 1999.
13. I. Biederman: Recognition-By-Component: A Theory of Human Image Understanding, *Psychological Review*, vol. 94, no.2, pp. 115-147, 1987.
14. W. A. Richards, J.J. Koenderink and D. D. Hoffman: Inferring three-dimensional shapes from two-dimensional silhouettes, *Journal of the Optical Society of America*, vol.4, no.7, pp.1168-1175, 1987.
15. I. Opris and C.J. Bruce, Neural circuitry of judgment and decision mechanisms, *Brain Research Review*, vol.48, no.3, pp.509-526, 2005.
16. 姜 銀来, 王 碩玉: 視覚認知における補間能力の計測と定量化, 第 17 回インターネットシステムシンポジウム講演論文集, pp.129-132, 名古屋, 2007 年.
17. Y. Jiang and S. Wang: Measurement of Correlation between Age and the Human Visual Interpolation Ability, *Proceedings of SICE Annual Conference 2007*, pp.1548-1551, Takamatsu, Japan, 2007.
18. Y. Jiang and S. Wang: Toward evaluation of the human visual interpolation ability for partially erased objects, *Proceedings of the 1st International Symposium on Frontier Technology*, pp.13-16, Shenyang, China, 2007.
19. Brain enhancement attempt based on visual recognition, *Proceedings of the Twelfth International Symposium on Artificial Life and Robotics*, pp.715-718, Beppu, Japan, 2007.
20. 姜 銀来, 王 碩玉: NIRS 法による文字識別に従う視覚野と前頭連合野の賦活に関する検討, 第 46 回日本生体医工学会大会論文集, 仙台, 2007 年 4 月.
21. Y. Jiang and S. Wang: Speed dependency of cerebral blood volume changes during visual cognitive activation measured with NIRS, *Proceedings of the 3rd International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering*, pp.306-309, Hawaii, USA, May, 2007.

第2章

補間能力の計測と定量化

2.1 緒言

我々人間が、目から脳に入ってきた不完全な情報に対して、ある程度情報の意味を判別・理解することができるという補間能力を持っているが、無条件で常に判別・理解できるわけではない。視覚認知の補間能力に限界があるという事実が経験上で分かっている。しかも、視覚補間における統覚と連合には個人差がある。補間能力の限界および個人差を計測するために、定量的計測法を開発する必要がある。

したがって、本章では、一部分抹消された不完全な英語の文字をテスト情報として、補間能力の計測実験を開発する。実験において、ランダムな順で一つの文字イメージを選び、抹消処理し、一定の時間で被験者に識別させる。計測実験には、抹消単位（長方形のサイズ）と抹消比率と表示時間という三つのパラメーターがあり、それらのパラメーターがどのように被験者の補間能力に影響するかを実験で検討する。また、特徴と特徴間の関連性が、刺激信号の識別にとって重要であることを考察する。

人間は物体の特徴により物体を記憶したり識別したりしている。物体に含む複数の特徴の重要さが異なる。文字にとって、ある文字と他の文字の共有しない特徴がこの文字の識別にとって最も重要であり、特徴を共有した文字が多ければ多いほどその特徴が不重要になると考えている。本章では、情報理論の概念から、文字特徴の重要さを評価し、不完全な文字の識別における補間能力の定量化法を提案する。計測実験の結果により、提案した定量化法の妥当性を示す。

2.2 補間能力計測実験

2.2.1 刺激信号の選択

補間能力が，不完全な情報に対して，統覚と連合を通して，情報の正体を認知するという過程に体现されるため，補間能力を計測するに，適切な刺激信号の選択は重要なことである．刺激信号としては，下記の四つの条件を満たすことが必要だと考えられる．

- ① 被験者によく知られる単純な信号であること．被験者にとって共通の意味を持たなければならない．信号その物による計測結果への影響はできるだけ避けること．
- ② 信号正体の各部分が相互に連結されること．補間能力を計測するには，被験者に離れた不完全な情報に基づいて信号の正体を認知させるため，もし，もともと離れた部分があれば，被験者を困らせる可能性がある．
- ③ 信号にある形状が，多様化であること．実験ではさまざまな形状に対する補間能力の総合評価を計測するべきである．
- ④ 信号の数が適当であること．数が少なければ，被験者が当てずっぽうに答えることができる．多ければ，実験は長時間がかかり，被験者が途中で疲れる可能性がある．

本論文では，この四つの条件に基づいて，英語の文字が刺激信号として選ばれた．日本人にとって，よく知っている単純な信号の中には，図 2-1 に示したようなアラビア数字と英語の文字と日本語の仮名がある．しかし，数字は 10 個しかない，数が少なく形状にも欠けるから，上記の条件③と④を満たさない．仮名は，日本人に英語の文字より慣れているが，数が 46 個で多い，片仮名の“い”，“う”，と平仮名の“し”，“そ”などが，もともと筆画が離れているため，上記の条件②と④を満たさない．英語の文字は，世界中で最も幅広く使われ，日本でも日常生活によく見るから，文字の形や意味が，我々の記憶に定着している [1]．特に英語の大文字においては，すべての筆画が繋がっている．形状におい

て、縦、横、斜め、円弧、交差、角など様々な形がある．数も26個で適当であると考えられる．したがって、本論文は、英語の文字を刺激信号として、計測実験を開発した．

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

(a) アラビア数字

A B C D E F G
H I J K L M N
O P Q R S T
U V W X Y Z

(b) 英語の大文字

ア イ ウ エ オ カ キ ク ケ コ
サ シ ス セ ソ タ チ ツ テ ト
ナ ニ ヌ ネ ノ ハ ヒ フ ヘ ホ
マ ミ ム メ モ ヤ ユ ヨ
ラ リ ル レ ロ ワ ヲ ン

(c) 日本語片仮名

図 2.1 日常生活でよく知られる信号

本論文の計測実験に使われた文字は、128 ピクセル×128 ピクセルの BMP イメージの真ん中に置き、保存した．Windows 2000 のペイントで入力し、文字の字体は筆画の開始と終了に余計な飾りのない細めの HGS ゴシック M であり、色が

白黒であり，サイズは 72 である．文字イメージを Fig. 2 に示す．

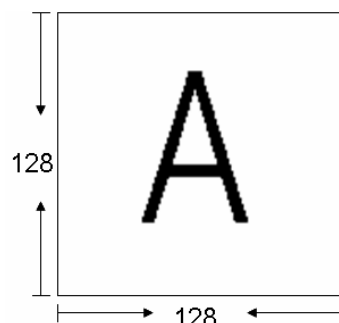
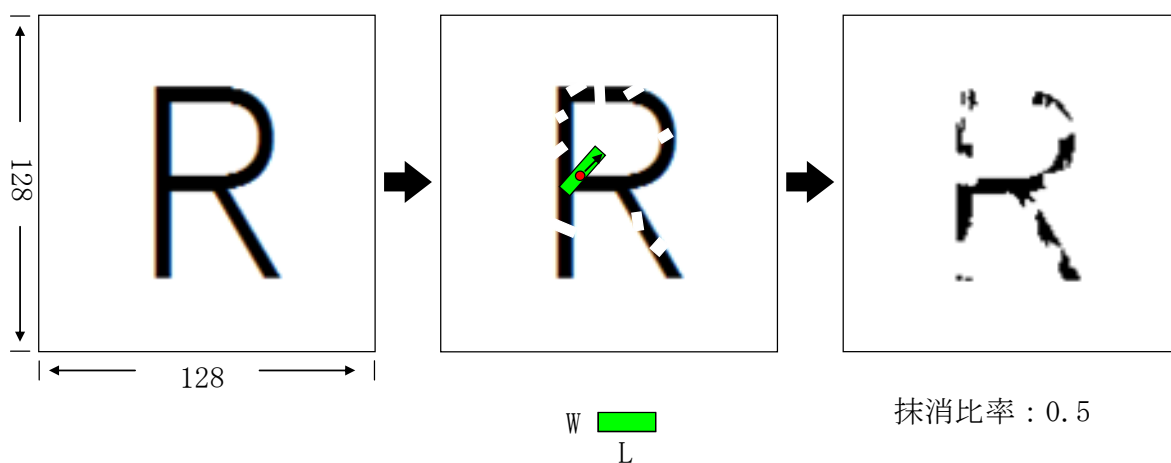


図 2.2 文字イメージ

2.2.2 刺激信号の生成



抹消する長方形 W: 広さ L: 長さ

図 2.3 文字の抹消処理

本論文では，刺激信号の不完全な文字を生成するために，Microsoft Visual C++ 6.0 で作ったプログラムが消しゴムを模倣する長方形を用いて，文字イメージを抹消した．抹消処理では，図 2.3 に示したように，まず文字を抹消する長方形の長さと広さをランダムで決められる．次に，この長方形の傾斜と文字イメージにあたる位置もランダムで決められる．そして，その長方形に覆われた文字の黒いピクセルを抹消する．そのような過程を繰り返し，抹消比率（抹

消されたピクセル数と元の文字の黒いピクセル数との比率) が一定に達するまで文字イメージを抹消する。

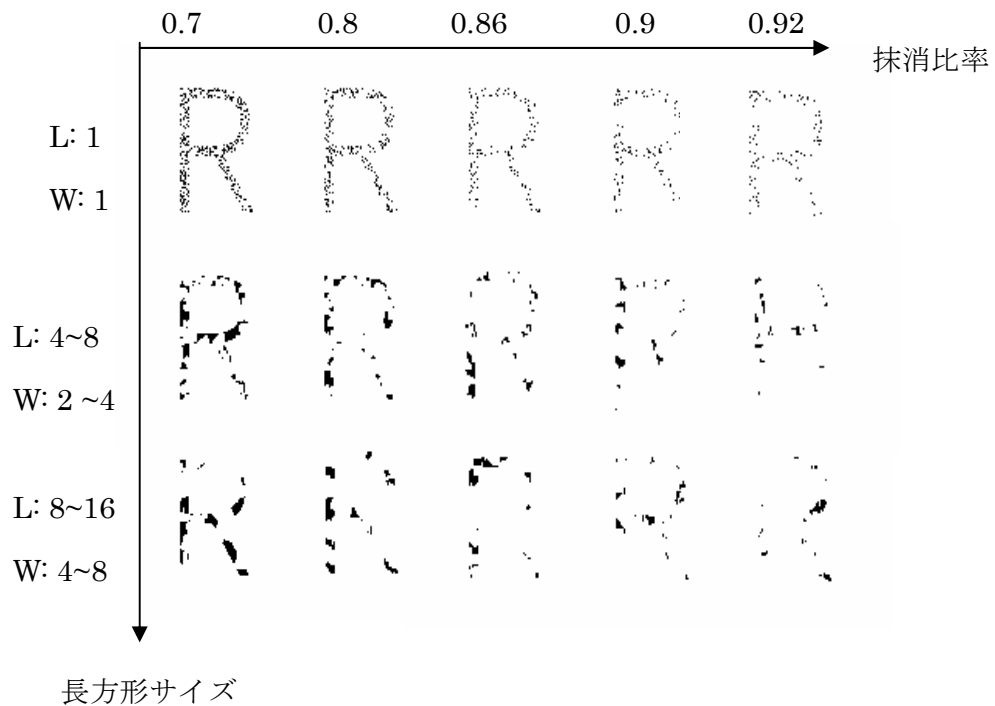


図 2.4 抹消された文字 R のイメージ

そのような抹消処理により生成された不完全な文字のイメージが、長方形のサイズと抹消比率により異なる。文字 R のイメージを例として、不完全な文字の様子を図 2.4 に示す。横軸は、0.7, 0.8, 0.86, 0.9, 0.92 との五つのレベルの抹消比率である。縦軸は、三つのレベルの長方形のサイズである。一行目では長方形の長さと広さが 1 ピクセルである。つまり、文字イメージが 1 ピクセルずつ、抹消比率に達するまで抹消された。二行目では長方形の長さを 4~8 ピクセル、広さを 2~4 ピクセルの範囲からランダムで選ぶ。三行目では長方形の長さを 8~16 ピクセル、広さを 4~8 ピクセルの範囲からランダムで選ぶ。図 2.4 に示したように、抹消比率が高ければ高いほど、生成された不完全な文字に残された黒いピクセルが少なくなるにつれ、残された情報が減ることで、識別が難しくなることが判る。一方、抹消比率が同じでも、抹消単位（つまり、抹消する長方形のサイズ）が異なると、生成された不完全な文字も違う。図 2.4

の一行目に示したように，1 ピクセルずつ抹消された場合，残された黒いピクセルが，密度の均一に分布している．抹消単位が増加すると，図 2.4 の二，三行目に示したように，残された黒いピクセルが，より大きなまとまりに集まり，互いに離れて分布している．生成された不完全な文字の識別においては，抹消単位が大きければ大きいほど文字にまとまりがなくなることが判る．

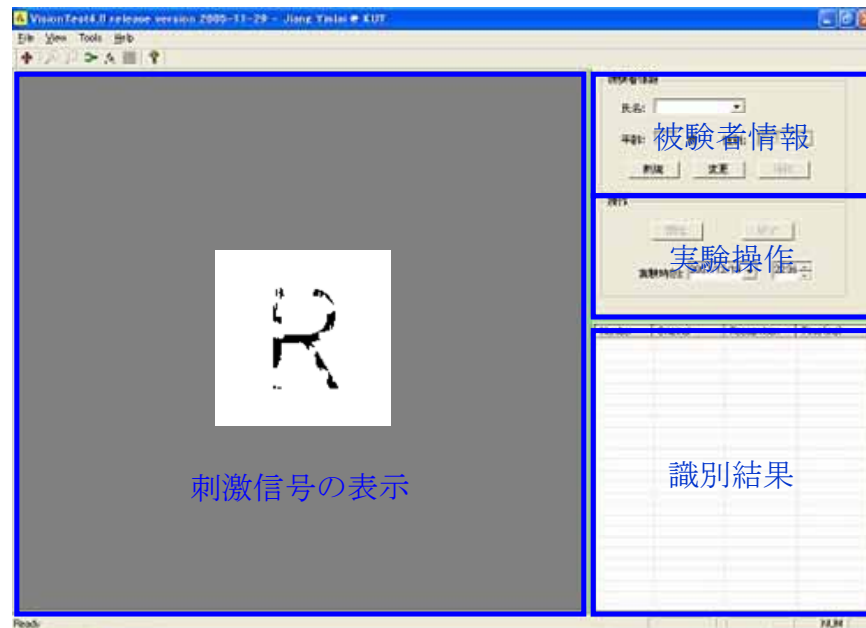
2.2.3 実験システム

実験は HP Compaq nx9000 ノートで行った．ノートパソコンの主な仕様は表 2.1 に説明する．

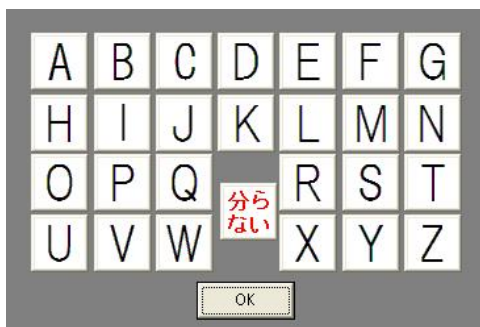
表 2.1 HP Compaq nx9000 ノートの主な仕様

液晶ディスプレイ	15 型 TFT XGA
画面解像度	1024 ピクセル×768 ピクセル
画面の色	32 bit
リフレッシュレート	60 Hz
OS	Microsoft Windows XP Professional
CPU	Pentium4 2.4GHz
メモリ	192MB

本論文では，Microsoft Visual C++ 6.0 を用い，26 個の文字を抹消処理して，被験者に見せて，識別結果を答えてもらって，保存する実験システムを作った．実験システムのインターフェースと実験の様子を図 2.5 に示す．メイン画面の被験者情報の部分で，被験者が名前と年齢と性別を入力してもらう．実験操作の部分で，実験の開始と終了をコントロールする．被験者は図 2.5 (c) のように画面から 50 センチ位離れて坐って実験をする．実験の際，メイン画面の左の部分の真ん中に不完全な文字が現れる．そして，出てくる図 2.5 (b) のような回答画面で，被験者は出た不完全の文字に対応する完全な文字を答えてもらう．不完全な文字を見分けることができなかつたら，回答画面の“分らない”を選んで答えてもらう．



(a) メイン画面



(b) 回答画面



(c) 実験風景

図 2.5 実験システムインターフェース

2.2.4 実験手順

実験は、図 2.6 に示した手順で行なう。被験者が、刺激信号の不完全な文字を予測する、或いは当てずっぽうに答えることができないように、実験では、ランダムな順で完全な文字のイメージを選んで、述べた抹消処理により刺激信号を生成し、被験者に呈示する。このような過程を繰り返し、実験が進められ

る。また、人により感覚情報の処理速度が違ふことで同じ刺激信号に対して、識別にかかる時間は異なるが、実験では、刺激信号の表示が一定の時間に限られ、全ての被験者に、同じ時間で刺激信号を表示することにする。本論文では、被験者の補間能力の差は、不完全な情報に対する処理速度も含めると考えている。次節では、実験のパラメーター、すなわち抹消比率と抹消単位と表示実験による補間能力の変化について考察する。

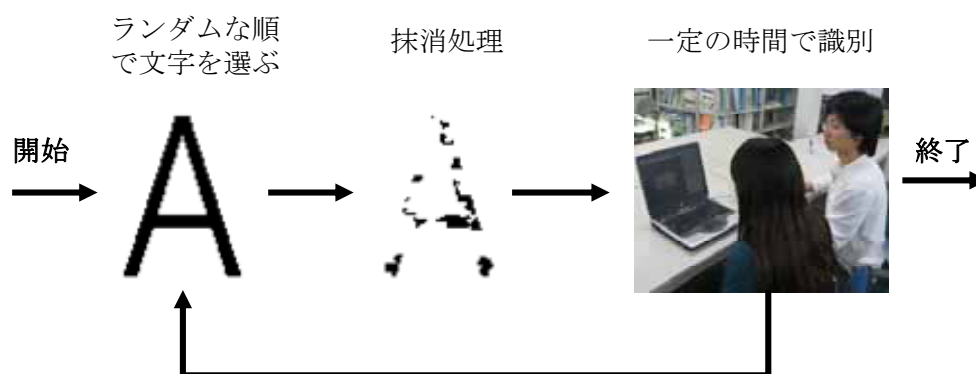


図 2.6 実験手順

2.3 実験条件による補間能力の考察

前節に述べたように、補間能力計測実験では、抹消比率と抹消単位により抹消された文字を刺激信号として、一定の表示時間で被験者に識別させることで、補間能力を計測する。それらのパラメーターによる被験者の補間能力の変化、補間能力の計測に適切なパラメーターの選択を検討するため、本論文では、パラメーターによる補間能力の変化、また刺激信号の文字の形による実験結果への影響について、実験で考察した。

2.3.1 実験条件

【パラメーターの設定】

実験では、図 2.7 に示したように、抹消単位を三つのレベルに、抹消比率を五つのレベルに設定した。それらの抹消単位と抹消比率により抹消された文字の様子を図 2.4 に示した。表示時間は、文献[2, 3]により、100ms, 200ms, 300ms の三つのレベルに設定した。それらのパラメーターを組み合わせ、計 45 (3×5×3) セットがある。被験者のその 45 セットの実験における正答率により、実験パラメーターによる補間能力を考察する。

抹消単位	抹消比率	表示時間
L: 1 W: 1	0.7	300ms
	0.8	
L: 4~8 W: 2~4	0.86	200ms
	0.9	100ms
L: 8~16 W: 4~8	0.92	

図 2.7 パラメーターの設定

ここでは、実験中実際の刺激信号の見える時間について検討する。実験シス

テムでは、図 2.8 に示した流れで、文字が表示された。信号表示コマンドが出されると、定時が始まる。上記の表示時間（100ms, 200ms, 300ms）が経つと定時が終わり、画面更新コマンドが出される。しかし、刺激信号の実際に見える時間は、信号表示コマンドによるディスプレイの画面更新が終わってから、信号消失コマンドによる画面更新が終わるまでの時間である。表 2.1 に示したように画面のリフレッシュレートが 60Hz で、画面更新はおよそ 17ms かかる。したがって、定時開始後およそ 17ms から、刺激信号が見える。Microsoft Windows XP が、マルチスレッドシステムであるが、本実験システムの優先度は最高のリアルタイムに設定され、ほかのスレッド及びプロセスからの影響がないと考えられる。だから、信号消失コマンドの実行時間は、刺激信号の実際に見える時間が表示時間より長いことの原因と考えている。それで、本論文は信号消失コマンドの実行時間を計測した。信号消失コマンドの実行時間は 0.2ms 以下なので実際見える時間が表示時間より、およそ 17ms 遅れるが、定時の精度が十分だと考えられる。

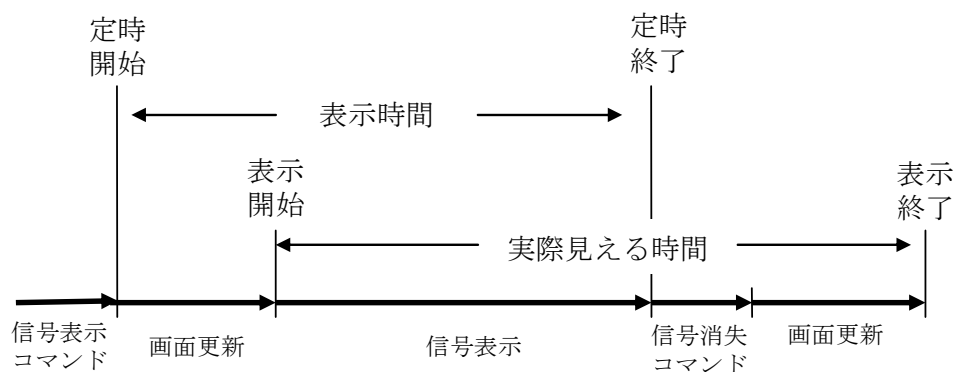


図 2.8 信号の表示時間

【被験者】

被験者は視力あるいは矯正視力の良い高知工科大学の学部生と院生計 6 人であった。被験者には、実験の目的ならびに内容について十分な説明を行い、参加への同意を得た。

年齢：6人の被験者の年齢はそれぞれ22, 22, 23, 23, 23, 24歳であった。

性別：男性6人

【実験手順】

パラメーターの設定により、実験は45セットで構成された。セット毎に2.2.3節に述べた手順のように、26個の文字をランダムな順序で識別させた。一人の実験は、三日間に分けて、行った。毎日一つの抹消単位で抹消比率を0.7→0.8→0.86→0.9→0.92との順に変化させ、文字イメージを処理し、表示した。三日間の抹消単位は抹消する長方形のサイズの拡大する順に設定した。また、毎日、抹消単位と抹消比率毎に刺激信号の表示時間は300ms→200ms→100msの順に変化させた。

2.3.2 実験結果

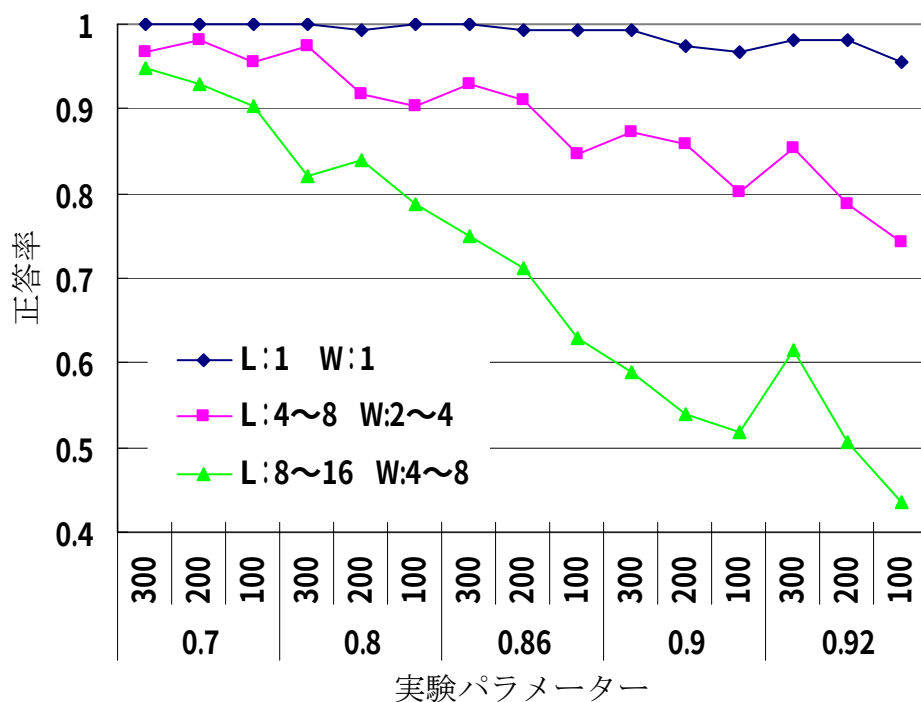


図 2.9 実験結果

6人の被験者の45セットの実験における正答率の平均値を実験結果として、

図 2.9 に示す．図 2.9 の縦軸は平均正答率，横軸は実験パラメーターを示す．0.7, 0.8, 0.86, 0.9, 0.92 は抹消比率であり，100, 200, 300 は表示時間（単位：ms）である．三本の曲線にある点は，それぞれ三つのレベルの抹消単位における平均正答率である．図 2.9 に示したように，抹消比率の増加に従って被験者の平均正答率は下がることが判った．長方形の長さや広さが 1 ピクセルである場合，平均正答率がかなり高かったが，抹消単位の拡大につれ，被験者の平均正答率が低くなった．抹消単位が大きければ大きいほど，正答率の下がる傾斜が急になることが判った．つまり，抹消単位が大きければ大きいほど，抹消比率の増加に従う平均正答率の低下が急になった．また，抹消単位と抹消比率が同じである場合，表示時間の短縮につれ，平均正答率も下がった．特に，抹消単位の大きい場合，表示時間の短縮につれ，平均正答率の低下が急になることが判った．

2.3.3 結果考察

次は，実験結果に基づいて，抹消比率と抹消単位と表示時間と文字の形による被験者の補間能力の変化を考察する．

【抹消比率】

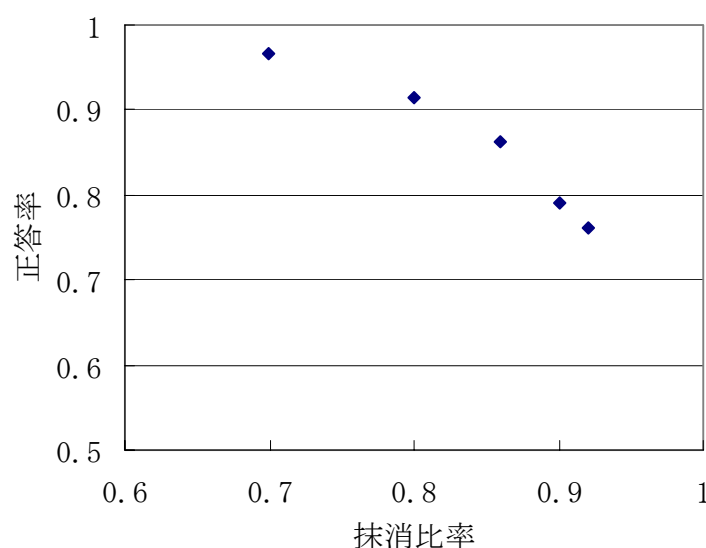


図 2.10 抹消比率の増加にしたがう正答率の変化

図 2.9 に示した実験結果から計算された各抹消比率における正答率の平均値は、図 2.10 に示す。被験者の平均正答率が、抹消比率の増加につれ減る、また、抹消比率が高ければ高いほど、減ることが急になることが、図 2.10 で判った。

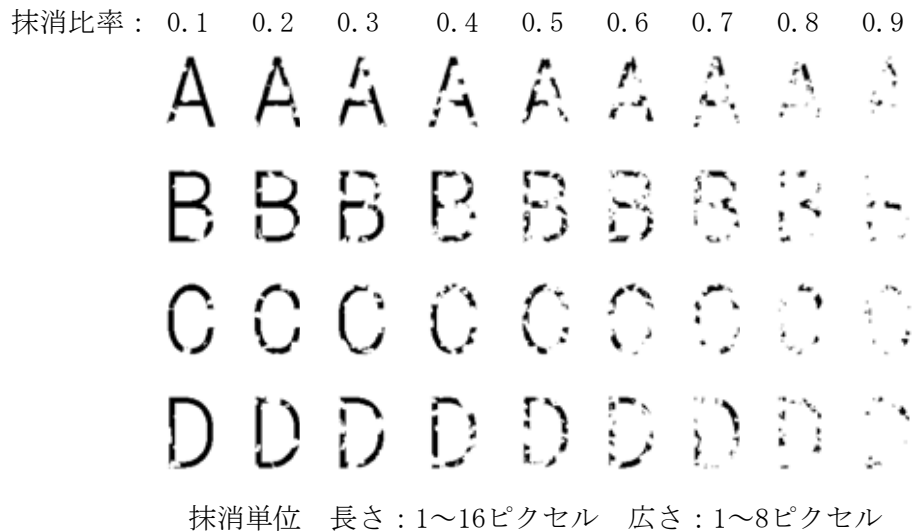


図 2.11 抹消比率の増加に従う刺激信号の変化

図 2.11 には、抹消する長方形の長さを 1～16 ピクセル、広さを 1～8 ピクセルに設定し、抹消比率が 0.1 から 0.9 まで増えるにつれ、生成された不完全な文字の様子を示す。図 2.11 に示したように、抹消比率が低い (0.5 以下) 場合、文字の情報が一部分欠けているのに、よく見分けることができる。抹消比率の高い (0.5 以上) 場合、不完全な文字がどんどん見分け難くなる。抹消比率が高ければ高いほど、抹消比率の増加に従う不完全な文字の識別の難度が、急に増えることが感じられる。

人間は物体の特徴により物体を記憶したり知覚したりしている[4]。物体に含まれる複数の特徴はよく関連している[5]。視覚認知は、特徴検出と物体識別との二つの段階に分けられる。被験者が不完全な文字を識別する時には、まず、残された文字の情報（残された黒いピクセル）に基づいて、文字の一つ一つの特徴を検出し、次に、検出された特徴により、記憶の中にそれらの特徴を含む文字を検索し、回答する[6]。視覚情報処理では、まず、網膜で受けた視覚情報が、外側膝状体を経、大脳皮質の視覚野、視覚性連合野と伝わっていき、大脳

では最終的な情報の統合が行われ、脳の他の部位とも連動し、感覚が生じ、情報の意味まで考える[7]。Mishkin らは、大脳皮質における視覚情報処理には、2つの並列な経路が存在することを提唱した。視覚野から頭頂葉にいたる「背側経路」と、視覚野から側頭葉にいたる「腹側経路」である。前者は、物体の視覚的位置情報の処理に、後者は、物体の視覚的形態情報の処理に関連していると考えられた[8]。視覚情報に関する連合、推測、判断の役割は、運動性言語中枢と視覚認知の短期記憶と推論機能の存在する前頭葉両側が果たしていると言われた[9]。本論文に述べた補間能力計測実験においては、刺激信号の不完全な文字に残された黒いピクセルと残された黒いピクセルの相対位置関係が、文字の特徴として、識別に重要であると考えられる。Pelli と Burns らにより、特徴検出の段階では、各特徴の検出が、それぞれ単独で行なわれ、相対位置に基づいて特徴マップが生成される。物体識別の段階では、特徴検出の段階で生成された特徴マップにより 26 個の文字に照合することで文字を特定する。文字間の違いは、物体識別の段階にとって重要であるといわれた[1]。図 2.11 に示したように、文字が抹消されると特徴が減少するうえに、特徴間の位置関係も破壊される。そのため、抹消比率が高くなると残された特徴が少なくなるので、段々識別することができなくなり、正答率が低くなった。特に、抹消比率の高い場合に被験者は予断したことがあると述べた。

【抹消単位】

図 2.9 に示した実験結果から計算された各抹消単位における正答率の平均値は、図 2.12 に示す。同じ抹消比率で同数の黒いピクセルが抹消されたにもかかわらず、抹消単位の拡大につれ、被験者の平均正答率が減ることが判った。特に長方形の長さや広さが 1 ピクセルである場合、平均正答率がかなり高い、約 1 であった。

前節に述べたように、視覚認知は、特徴検出と物体識別との二つの段階に分けられ、特徴検出の段階では、各特徴を検出し、相対位置に基づいて特徴マップが生成られ、物体識別の段階では、特徴マップにより記憶にある文字の形と

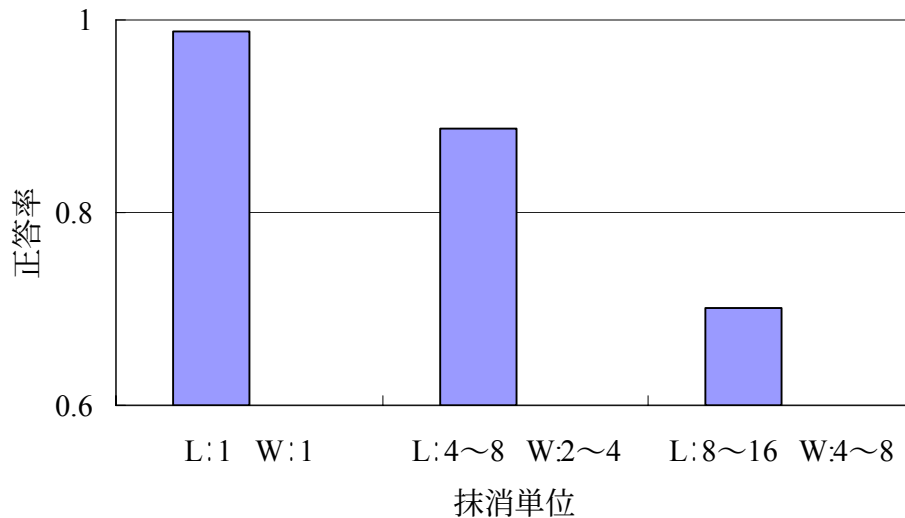


図 2.12 抹消単位の拡大にしたがう正答率の変化

照合することで文字を特定する．図 2.4 に示したように，長方形の長さや広さが 1 ピクセルである場合は生成された不完全な文字に残された黒いピクセルがより平均的に分布することが判った．視覚認知において，対象物体のエッジと輪郭は重要な情報である[7, 10]．視覚情報処理に対して，そのような平均的に分布した特徴にあるエッジと輪郭の検出[11]が行なわれやすい．したがって，抹消単位が小さければ小さいほど，刺激信号に残された黒いピクセルがより平均的に分布し，視覚情報処理にエッジと輪郭の検出が遂行されやすく，正答率が高くなると考えられる．

また，抹消単位の小さい時，生成された不完全な文字に残された特徴に対する特徴の知覚的群化も起こりやすい．知覚的群化とは，視野の中に多くの図が同時に成立した場合，それらはバラバラのものではなく，いくつかのまとまりとなって見えることである[12]．知覚的群化は，すべての可能な見えのなかで，最も単純で，最も安定した図形が知覚される傾向があるといわれている．知覚的群化は，以下の要因によりおきる：近接要因，類同の要因，閉合の要因，よい連続の要因，よい形の要因，共通運命の要因，経験の要因[7, 13]．図 2.13 に，抹消比率が同じの 0.86 で，抹消単位の小さい（長さ：1 ピクセル，広さ：1 ピクセル）時と大きい（長さ：8～16 ピクセル，広さ：4～8 ピクセル）時，

生成された“R”の識別における可能な知覚的群化を示す。上記の群化の要因（主に近接要因，類同の要因，よい連続の要因）により，左のイメージが一つのまとまりに群化されることができ，イメージ全体を一つの“群”として識別することができる。右のイメージが，一つのまとまりに群化されることができずに，図示のような三つのまとまりに群化されるかもしれない。被験者は，その三つの“群”に基づいて，イメージの正体を推測しなければならない。視覚認知の特徴検出段階においては，知覚的群化により生成された特徴マップがより単純であると考えられる。物体識別の段階に，より単純な特徴マップによる識別が遂行されやすい[14]。したがって，抹消単位の小さい時，刺激信号に残された特徴に対しする特徴の知覚的群化も起こりやすいために，正答率が高いと考えられる。

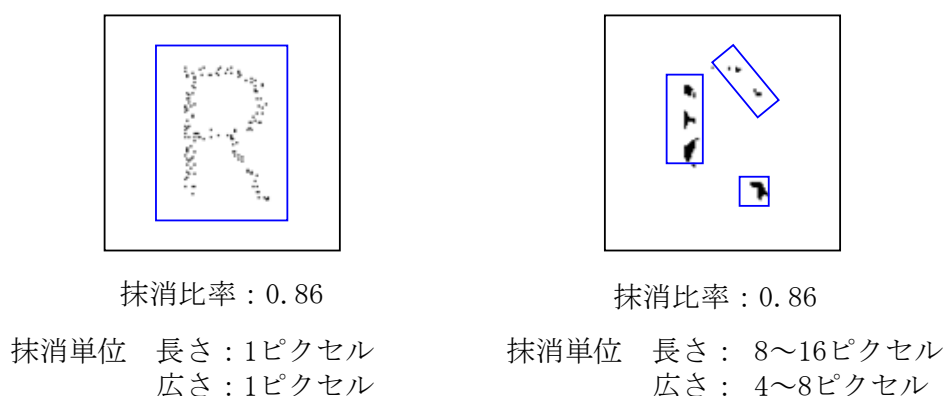


図 2.13 不完全な文字情報処理における知覚的群化

視覚情報からの形状の認知は，外界の物体の同定において，重要である[15]。形状の認知には，下記の三つの情報処理が必要である：視覚情報から物体の形状の表象の構成，記憶から物体の形状の表象の検索，知覚表象と記憶表象の対照[7]。本論文の刺激信号の不完全な文字を認知する場合，線分の方角，線分の交差のタイプ（X 交差，L 交差）の組み合わせは，文字の弁別には有用である。被験者は，上記の三つの過程で刺激信号の情報から文字の線分と交差などの幾何学的形状を検出し，記憶に貯蔵されている文字の形状と比較し，最も高い類似性のある文字として認知される。図 2.4 に示したように，抹消単位が小さけれ

ば小さいほど、生成された刺激信号に、壊された幾何学的形状の情報は少ない、形状による不完全な文字の認知がより正確に遂行され、正答率が高いと考えられる。

以上をまとめて、抹消単位が小さければ小さいほど、生成された刺激信号におけるエッジと輪郭の検出、知覚的群化、幾何学的形状の検出は遂行されやすいため、視覚情報処理が能率的に行なわれ、被験者の正答率が高くなると考えている。

【表示時間】

図 2.9 に示した実験結果から計算された各抹消比率における正答率の平均値は、図 2.14 に示す。被験者の平均正答率が、表示時間の短縮につれ減り、特に、抹消単位の大きい場合、表示時間の短縮につれ、平均正答率の低下が急になることが判った。

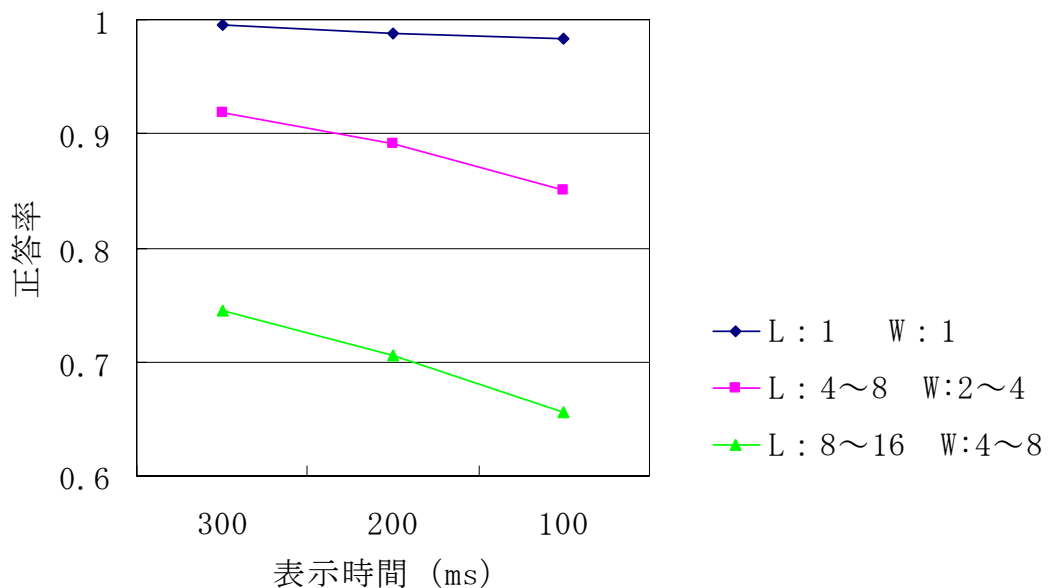


図 2.14 表示時間の短縮にしたがう正答率の変化

我々人間のある刺激に対する反応時間は、刺激により異なる。反応時間とは、刺激が提示されてからそれに対する反応が生起するまでの時間である。運動刺激の変化に対してできるだけ早く応答するという課題を行なうと、運動速度の

上昇とともに、運動の出現への反応時間が短くなることが知られている[16]. Card らにより、人間の反応時間が知覚処理、認知処理、運動処理、出力（行為）という四つの段階に分けて、知覚処理は 100ms、認知処理は 70ms、運動処理は 70ms、出力は 1000ms が必要である[2, 3]. それにより、人間は視覚の刺激信号を見てから、その信号を認知するまでの時間は、およそ 170ms である. 近年、脳機能画像法の発達により、刺激信号が提示されてから、脳内情報処理が始まるまでの時間についての報告が数多く挙げられたが、刺激信号と測定手法により、計測結果が異なる. 例えば、Pegna らは、ERP(事象関連電位)による測定で、単語に対する脳内情報処理は、単語が提示されてから 180-200ms 後に始まると報告した[17]. Petit らは、ERP の測定で単語が提示されてから 150ms 後に始まると報告した[18]. 一方で、Rufin らは、f-MRI(脳機能磁気共鳴法)による計測で、人間は物体を見ると 75~80ms 以内に分類し始め、150ms 後に決断し始めると報告した[19].

本論文の計測実験では、被験者に図 2.8 に示したように、一定の時間に限り不完全な文字を見せる. 被験者が刺激信号を見る同時に、目で収集した視覚情報が脳の視覚野に送られ、視覚野の情報処理により抽出された形状、方向などの情報が、前頭連合野にある視覚的なワーキングメモリ (Working Memory) へ転送され、何らかの判断が行われる[20]. 表示時間の内に、刺激信号からの情報収集が被験者にとって重要であると考えている. 同じ抹消単位において、表示時間が長くなると、その間収集できる情報が増え、正答率が高くなると考えられる. 抹消単位が拡大すると、前項に述べたように、刺激信号に対する視覚情報処理の能率が低くなり、表示時間の内に収集できる情報が減り、正答率が低くなると考えられる. 本実験の刺激信号に対して、信号が提示されてから被験者の決断ができるまでの時間は、抹消単位により違う. 抹消する長方形の長さが 1 ピクセル、広さが 1 ピクセルである時、300ms が十分であり、長さが 4~8 ピクセル、広さが 8~16 ピクセルと長さが 8~16 ピクセル、広さが 4~8 ピクセルである時、300ms がまだ不十分であると推測できる. 前に述べた視覚課題における時間より長い本実験の刺激信号に対する脳内情報処理が、より時

間がかかると考えている。

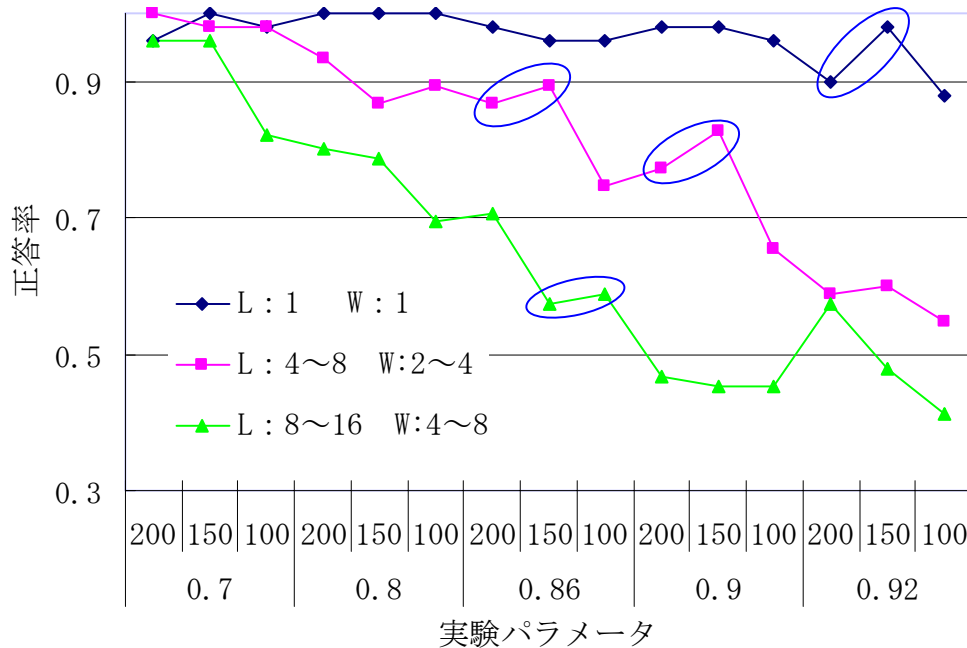


図 2.15 予備実験の実験結果

今まで述べたパラメーターによる補間能力の考察実験の表示時間は 100ms ごとに設定した。その 100ms の差が、結果の正答率の差をもたらすには十分だと推測される。文献[21]に発表された本研究の予備実験の結果を図 2.15 に示す。図 2.15 の縦軸は平均正答率、横軸は予備実験のパラメーターである。予備実験の抹消比率と抹消単位は、述べた実験と同じで、表示時間は 50ms ごとに設定され、100ms と 150ms と 200ms である。被験者は視力あるいは矯正視力の良い二十代の男性 4 人と女性 1 人の合計 5 人であった。図 2.15 に示したように、200ms における平均正答率は 100ms における平均正答率より高かったことが確認できるが、200ms と 150ms、150ms と 100ms における平均正答率の関係はよく確認できなかった。図 2.15 に青い楕円に囲まれた点は、より短い表示時間における平均正答率が、かえって高かった。したがって、予備実験においての 50ms の差は、結果の正答率の差をもたらすにはまだ不十分だと推測される。一方、表示時間が長くなり、一定の限界を超えたら、表示時間による実験結果の差はなくなることが、経験上でわかる。本論文の刺激信号に対するその表示時間の限界は、

まだ計測されていない。本論文では、被験者の補間能力の差は、刺激信号の不完全な情報に対する情報処理速度を含めると考えている。

【文字の形】

人間は物体を記憶したり知覚したりする場合、物体間の相違の特徴が重要である[4]。選択肢の少ないパターンはいいパターンであるといわれた[22]。つまり、物体間の相似の特徴が少なければ少ないほど、人間にとって記憶したり、知覚したりすることは、容易である。本論文の補間能力計測実験に使われた文字において、文字CとGとOとQ、文字PとRとF、文字BとEなど相似の特徴を持っているため、互いに区別することは能率的でないと考えられる。実験では形の似ている文字は相互によく誤認されたことが判った。

表 2.2 よく誤認された文字

	C	G	O	Q	A	Others
C	155	17	40	12	0	46
G	4	208	3	17	0	38
O	21	14	174	10	0	51
Q	3	34	8	187	0	38
A	0	0	0	0	261	9

例として、文字C、G、O、Q、Aの相互に識別された結果を表2.2に示す。文字毎に計270回（6人の被験者×一人ずつ45セット）識別された。例えばCにおいては、正解は155回であった。誤認はGが17回、Oが40回、Qが12回、Aが0回、他の文字が合計14回であった。C、G、O、Qの形が良く似ているために、相互に区別し難く、誤認しやすいことが実験結果に反映された。表2.3に、文字の正答率を示す。例えば、文字Aの正答率は0.967である。つまり、文字Aのイメージから生成された刺激信号に対して、被験者は、96.7%正しくAと識別した。一方、Cの正答率が0.574で低かった。実験結果により、アルファベットの中で一番見分けやすいのは、Iであり、正答率は0.985であった。二

番目は、Aであり、正答率は0.967であった。AとIの形とそれぞれ似ている他の文字が少なく、容易に識別できると考えられる。

表 2.3 文字の正答率

文字	正答率	文字	正答率	文字	正答率	文字	正答率
A	0.967	H	0.815	O	0.644	U	0.885
B	0.822	I	0.985	P	0.793	V	0.907
C	0.574	J	0.933	Q	0.693	W	0.978
D	0.87	K	0.904	R	0.893	X	0.952
E	0.763	L	0.963	S	0.859	Y	0.956
F	0.796	M	0.974	T	0.848	Z	0.926
G	0.77	N	0.867				

2.4 補間能力の定量化法

前節に述べた考察実験により，文字の特徴は，刺激信号の認知にとって重要であることが判った．特に不完全な文字情報により，文字を弁別する時に，文字間の相違の特徴が重要である．一方，文字のどの部分の特徴が弁別特徴になるかは不完全な文字情報の認知されるべき文字の集合に依存する[23]．例えば，文字CとOを弁別するには，円弧の開閉が不可欠な情報である．しかし，OとQを弁別するには，円弧の開閉は重要でなく，Qの右下の点がなければならない．
 いったい，文字の一部分の特徴が，その文字の認知にとってどの位重要であるかを評価する方法は，今までまだ述べられない．また，前節では，正答率を実験結果として，実験条件による補間能力を考察したが，正答率は，文字の形により影響されることが実験結果で判った．したがって，より精確に補間能力を評価するために，文字情報の特徴をより細かく考慮した補間能力の定量化法を提案する必要がある．

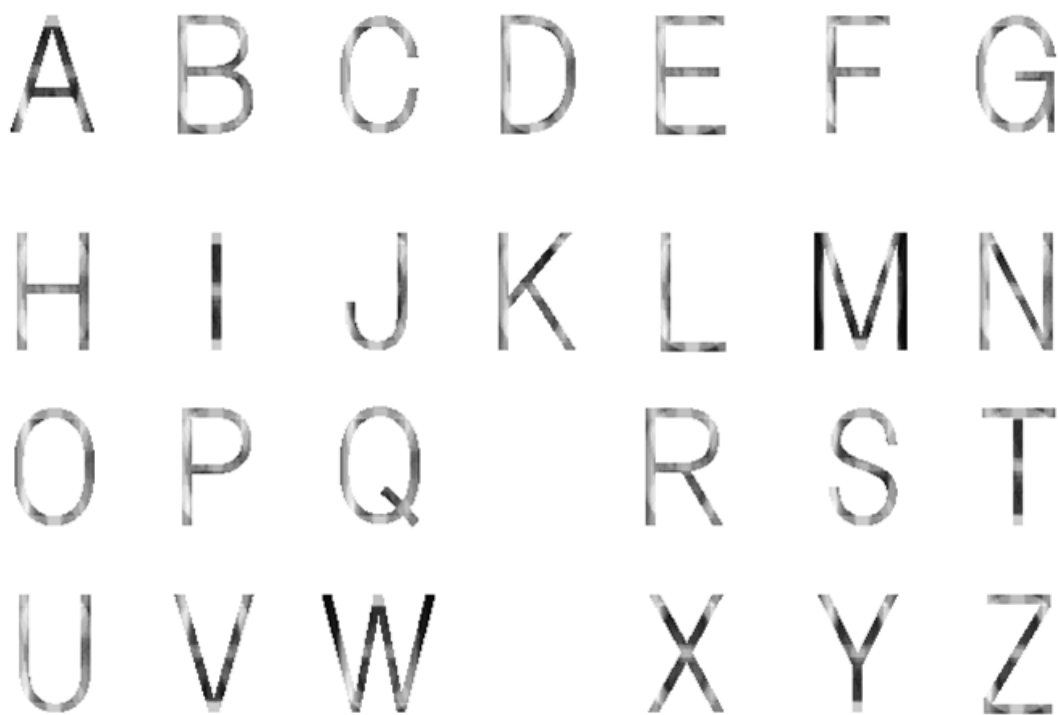


図 2.16 文字の各部分の重要さ

本論文では、ある文字と他の文字が共有しない特徴がこの文字の識別にとって最も重要であり、特徴を共有した文字が多ければ多いほどその特徴が不重要になるという考え方から、ピクセルを文字の基本的な特徴とし、情報理論に基づき、文字特徴の重要さを計算し、不完全な文字の識別における補間能力の定量化法を提案した。

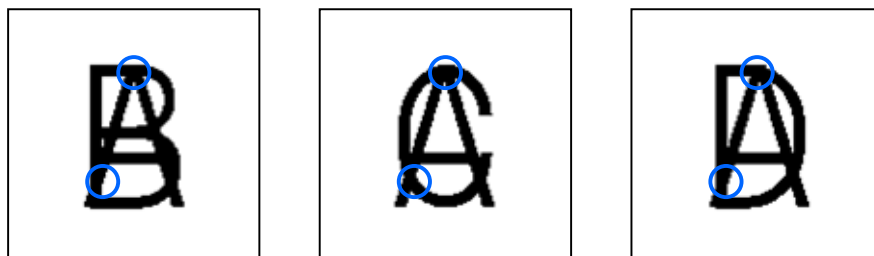


図 2.17 文字 A と文字 B, C, D の重なる部分

図 2.16 には、文字の各部分の重要さが示す。図 2.16 の各文字イメージは、ある文字の画素が、ほかの文字に使われると、その画素を薄くするという方法で生成されたのである。例えば、図 2.17 に示したように、文字 A の左下と上の青い円に囲まれた部分は、文字 B にも使われ、一回薄くし、C, D にも使われて、さらに薄くする。したがって、A のそれらの部分の画素はどんどん薄くなり、図 2.16 に示したように、ほかの部分より薄くなった。その生成方法により、図 2.16 の文字の各部分は、黒ければ黒いほど、この部分がほかの文字に使われる回数が少ない。つまり、文字の各部分は、黒ければ黒いほど、この部分を共有する文字は少ない、その文字の認知にとって、重要な特徴であると考えられる。コンピュータの中で、ピクセルによりさまざまな物を表示するから、本論文ではピクセルを文字の基本的な特徴として、図 2.16 に示された文字各部分の重要さを定量的に定義した。

図 2.18 に示したように、文字は 128 ピクセル×128 ピクセルのイメージの真ん中にある。まず、文字 η のイメージにあるピクセル (x, y) が黒いか白いかを式 2.1 で表す。

$$\phi_{\eta}(x, y) = \begin{cases} 1 & (x, y) \in \eta \\ 0 & (x, y) \notin \eta \end{cases} \quad (2.1)$$

ただし,

x, y : ピクセルの位置座標, $0 \leq x \leq 127, 0 \leq y \leq 127$

η : 文字, $\eta \in A, \dots, Z$

$\varphi_\eta(x, y)$: 文字 η にあるピクセル (x, y) が黒いか白いかを表す二値関数文字 η のイメージにあるピクセル (x, y) が黒ければ $\varphi_\eta(x, y)$ が 1 となり, 白ければ 0 となる. 例えば, 図 2.18 に示したように, $\varphi_A(x_1, y_1)$ は 0, $\varphi_A(x_2, y_2)$ と $\varphi_A(x_3, y_3)$ は 1 である.

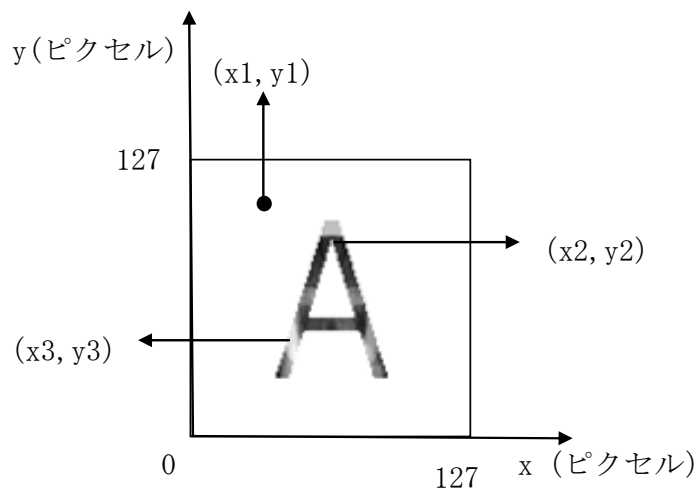


図 2.18 情報量の計算例

(イメージは図 2.16 の A と同じである)

補間能力計測実験では, ランダムな順で文字イメージを抹消処理し, 被験者に識別させることにしたため, ランダムで選んだ文字イメージにあるピクセル (x, y) が, 黒いピクセルである確率は, 式 2.2 で計算する.

$$p(x, y) = \frac{1}{26} \sum_{\eta=A}^Z \varphi_\eta(x, y) \quad (2.2)$$

ただし,

$p(x, y)$: ランダムで選んだ文字イメージにあるピクセル (x, y) が, 黒いピクセルである確率

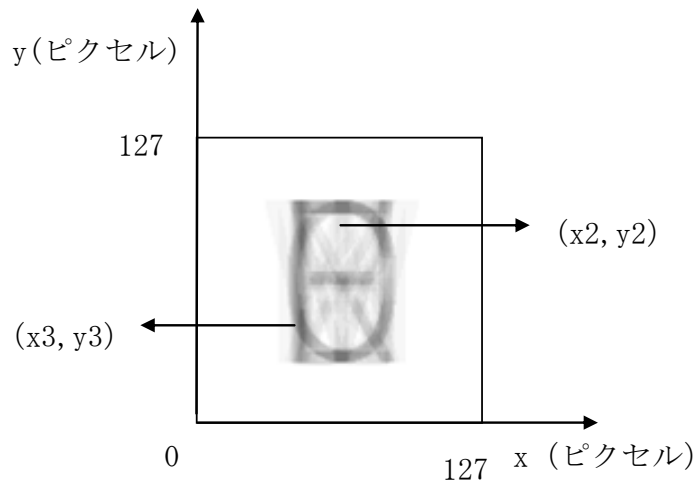


図 2.19 黒いピクセルである確率の高低

図 2.19 には, ランダムで選んだ文字イメージにあるピクセルの黒いピクセルである確率を示す. 図中のピクセル (x, y) の色は, 位置 (x, y) のピクセルの黒い文字が 1 つあれば, 一回濃くすると過程で決められた. 位置 (x, y) のピクセルの黒い文字イメージが多ければ, ピクセル (x, y) の色が濃い. したがって, 図 2.19 のピクセルが黒ければ黒いほど, そのピクセルの黒いピクセルである確率が高い. 実験の際, ランダムで 26 個の文字から一つを選ぶので, この確率はピクセル (x, y) の黒い文字イメージ数を 26 でわるとなる. ピクセルは文字の認知にとって重要であれば, 重要であるほど, 黒いピクセルである確率が低い. 例えば, 図 2.19 の中に, $p(x_2, y_2)$ は 0.115, $p(x_3, y_3)$ は 0.731 である. 図 2.18 では, A の文字イメージの同じ位置のピクセル (x_2, y_2) がピクセル (x_3, y_3) より, A の認知にとって不重要であることが示された.

さらに, ランダムで選んだ文字のピクセル (x, y) が黒い時に, 被験者がこのピクセルから受ける情報量は式 2.3 で定義する.

$$s(x, y) = -\log_2 p(x, y) \quad (2.3)$$

ただし,

$s(x, y)$: ピクセル (x, y) が黒いという情報の持つ情報量(bit)

式 2.3 は情報論の中で、ある事象が起こる確率を p とするとき、それが起こったという情報が持つ情報量を計算する式である [24]。式 2.2 と式 2.3 によると、ピクセル (x, y) の黒い文字イメージが多ければ多いほど $p(x, y)$ が大きくなり、 $s(x, y)$ が小さくなる。例えば、図 2.18 に示した A の文字イメージでは、ピクセル (x_2, y_2) とピクセル (x_3, y_3) の持つ情報量が下記のように計算される。

$$s(x_2, y_2) = -\log_2 p(x_2, y_2) = -\log_2 0.115 = 3.12 \text{ bits}$$

$$s(x_3, y_3) = -\log_2 p(x_3, y_3) = -\log_2 0.731 = 0.45 \text{ bit}$$

それから、文字 η の情報量は式 2.4 で定義する。

$$s(\eta) = \sum_{x=0}^{127} \sum_{y=0}^{127} s(x, y) \phi_{\eta}(x, y) \quad (2.4)$$

ただし、

$s(\eta)$: 文字 η の持つ情報量 (bit)

文字の情報量は文字イメージにある黒いピクセルの情報量の和で定義される。表 2.4 には、各文字イメージの情報量 ($s(\eta)$) と黒いピクセル数 (Number of pixels) とピクセルの平均情報量 (Avg, 文字の情報量 / 黒いピクセル数) を示す。例えば、A の文字イメージに 995 個の黒いピクセルがあり、それらの黒いピクセルの総情報量が 2326.6 bits であり、黒いピクセルの平均情報量が 2.3 bits/pixel である。一方で、0 の文字イメージの黒いピクセル数と情報量と平均情報量はそれぞれ 1068 と 1404.9 bits と 1.3 bits/pixel である。0 の文字イメージは A の文字イメージより黒いピクセルが多いが、情報量が少なく、ピクセルの平均情報量も少ない。C, G, Q, D などの文字が 0 とよく似ており、0 の文字イメージにある黒いピクセルの位置には、ほかの文字イメージも黒いピクセルがある確率が高い。したがって、式 2.2 と式 2.3 により、0 の文字イメージにある黒いピクセルの情報量は少ない。

表 2.4 式 4 の計算結果

η	$s(\eta)$ (bits)	Number of pixels	Avg	η	$s(\eta)$ (bits)	Number of pixels	Avg
A	2326.6	995	2.3	N	1882.9	1221	1.5
B	1852.0	1366	1.4	O	1404.9	1068	1.3
C	1199.4	975	1.2	P	1210.0	954	1.3
D	1586.6	1151	1.4	Q	1750.2	1198	1.5
E	1418.7	1080	1.3	R	1697.9	1188	1.4
F	1033.5	798	1.3	S	1445.1	1004	1.4
G	1599.6	1165	1.4	T	1297.8	672	1.9
H	1442.0	1068	1.4	U	1194.9	953	1.3
I	999.2	438	2.3	V	1748.3	849	2.1
J	1118.5	680	1.6	W	3729.3	1467	2.5
K	1738.2	992	1.8	X	1929.6	933	2.1
L	917.5	648	1.4	Y	1537.2	739	2.1
M	4957.0	1582	3.1	Z	1572.1	895	1.8

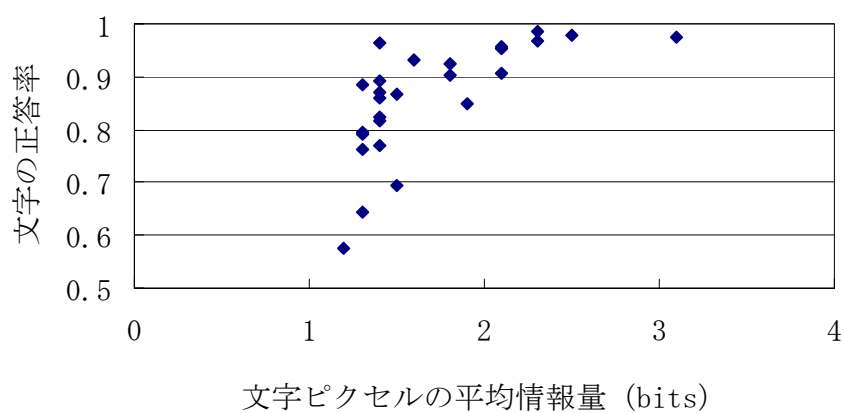


図 2.20 文字ピクセルの平均情報量と文字の正答率の関係

表 2.3 の文字の正答率と表 2.4 式 4 の文字のピクセルの平均情報量の関係は、図 2.20 に示す．横軸は、文字のピクセルの平均情報量であり、縦軸は文字の平均正答率である．図 2.20 に示したように、ピクセルの平均情報量の高い文字は、実験においての正答率の高い傾向が強い．実験では、ピクセルの平均情報量の高い文字イメージから、抹消処理し、生成された刺激信号に残された黒いピクセルの持つ情報量が多いので、ピクセルの平均情報量の高い文字は、正答率が高かったと考えられる．そして、二つの文字 η と θ の共通部分の情報量は式 5 で計算する．

$$s(\eta \cap \theta) = \sum_{x=0}^{127} \sum_{y=0}^{127} s(x, y) \varphi_{\eta}(x, y) \varphi_{\theta}(x, y) \quad (2.5)$$

ただし、

θ : 文字, $\theta \in A, \dots, Z$

$\eta \cap \theta$: 文字 η と δ の共通部分

$s(\eta \cap \theta)$: 文字 η と δ の共通部分の持つ情報量

例として、文字 A と文字 B, C, D の共通部分を、図 2.21 に示す．

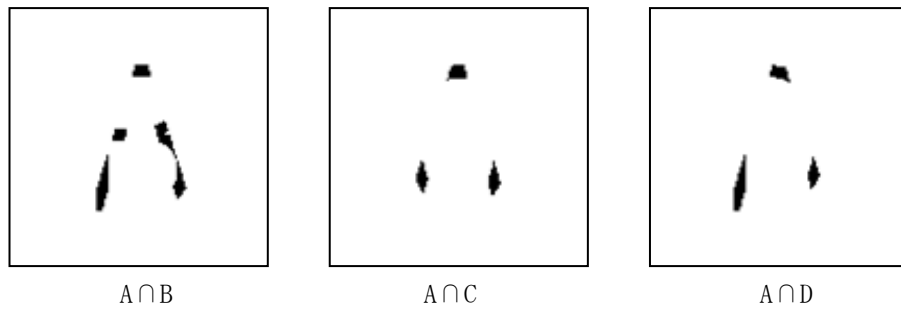


図 2.21 文字 A と文字 B, C, D の共通部分

そして、文字 η と θ の相似性は式 2.6 で定義する．

$$r(\theta, \eta) = \frac{s(\eta \cap \theta)}{\sqrt{s(\eta)s(\theta)}} \quad (2.6)$$

ただし、

$r(\theta, \eta)$: 文字 η と δ の相似性, $r(\theta, \eta) \in [0, 1]$

この定義により、文字間の相似性は、下記の三つの性質を持つ。

- ① 文字と自身の相似性は1である。つまり、 $r(\eta, \eta)=1$ 。
- ② 全く違う二つの文字の相似性は0である。
- ③ $r(\theta, \eta) = r(\eta, \theta)$ 。

式2.6の計算例は表2.5に示す。表2.5と表2.3により、相似性の高い文字は実験でよく誤認されたことが判る。

表2.5 文字間の相似性

	C	G	O	Q	A
C	1	0.75	0.78	0.64	0.10
G	0.75	1	0.77	0.69	0.17
O	0.78	0.77	1	0.80	0.08
Q	0.64	0.69	0.80	1	0.10
A	0.10	0.17	0.08	0.10	1

次は、 δ を一部分抹消された刺激信号とし、もし実験で δ が文字 η に識別されるならば、その識別の正しさを式2.7で計算する。

$$c(\delta \Rightarrow \eta) = \frac{s(\eta \cap \delta)}{s(\delta)} \quad (2.7)$$

ただし、

δ : 刺激信号

$s(\delta)$: 刺激信号 δ に残された情報量

$s(\eta \cap \delta)$: 刺激信号 δ と識別された文字 η の共通部分の情報量

$\delta \Rightarrow \eta$: 刺激信号 δ が文字 η に識別される

$c(\delta \Rightarrow \eta)$: 識別の正しさ、 $c(\delta \Rightarrow \eta) \in [0, 1]$

識別の正しさは、刺激信号の何パーセントの情報が、識別された文字に含められるかで、定義されている。式2.7は、刺激信号 δ にある黒いピクセルが全部文字 η のイメージに含められるかどうかを判断する。もし δ にある黒いピクセルが全部 η のイメージに含められるなら、 δ と η の共通部分の情報量 $s(\eta$

$\cap \delta$)と δ の情報量 $s(\delta)$ と同じで、 $c(\delta \Rightarrow \eta)$ は1となり、その識別が正しいとみなす。そうでなければ、 $s(\eta \cap \delta)$ が $s(\delta)$ より少ない、 $c(\delta \Rightarrow \eta)$ が1より小さい、その識別が正しくないとみなす。

もし、刺激信号 δ が、文字 η に識別されるなら、その識別における補間能力が $h(\delta \Rightarrow \eta)$ で定義される。

$$h(\delta \Rightarrow \eta) = \begin{cases} 1 - \frac{s(\delta)}{s(\eta)} & c(\delta \Rightarrow \eta) = 1 \\ 0 & c(\delta \Rightarrow \eta) < 1 \end{cases} \quad (2.8)$$

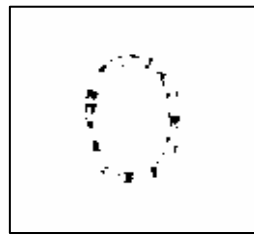
ただし、

$h(\delta \Rightarrow \eta)$: 刺激信号 δ が、文字 η に識別されることにおける補間能力 $h(\delta \Rightarrow \eta) \in [0, 1)$

式2.8の定義により、 $c(\delta \Rightarrow \eta)$ が1（つまり、この識別が正しいとみなす）である場合、その識別における補間能力は、被験者により補間された情報が文字 η の情報の何パーセントを占めるかで定義される。 $c(\delta \Rightarrow \eta)$ が1より小さい（つまり、この識別が正しいとみなす）場合、その識別における補間能力は0となる。百パーセントの情報を補間することが不可能であるから、補間能力は必ず位1より小さい。2.2.2節に述べた文字の抹消処理により、抹消される黒いピクセルが、ランダムで選ばれる。式2.3で定義されたピクセルの持つ情報量は、ピクセルの位置によりだいぶ違うが、平均的に抹消された黒いピクセルの平均情報量は、文字の黒いピクセルの平均情報量とほぼ同じである。したがって、 $c(\delta \Rightarrow \eta)$ が1である場合、式2.8で、計算される補間能力は、抹消比率の近くにある。

前節に述べた考察実験にある二つの刺激信号の識別を例として、式2.8の計算結果を図2.22に示す。図2.22の右のイメージは、90%の黒いピクセルが抹消された文字イメージである。実験ではもしこのイメージを文字Lに識別すれば、その識別の正しさ $c(\delta \Rightarrow L)$ が1となり、この識別に体现された補間能力 $h(\delta \Rightarrow L)$ が0.85となる。すなわち、このイメージが文字Lに識別される場合、文字Lの85%の情報が被験者により補間される。ここでは計算し得た補間能力は抹

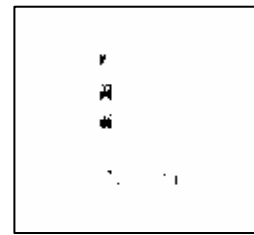
消比率より小さい。それはより少ない情報を持つ黒いピクセルが抹消されたからであると考えられる。図 2.22 の左のイメージは、80%の黒いピクセルが抹消された。もしこのイメージを文字 0 に識別されるなら、その識別の正しさ $c(\delta \Rightarrow 0)$ が 1 となり、補間能力 $h(\delta \Rightarrow 0)$ が 0.81 となる。補間能力は抹消比率より大きい。それはより多い情報を持つ黒いピクセルが抹消されたからであると考えられる。



長方形サイズ：

L: 4~8 W: 2~4

抹消比率：0.8



長方形サイズ：

L: 8~16 W: 4~8

抹消比率：0.9

図 2.22 式 2.8 の計算例

前節に述べたように、実験では、抹消単位と抹消比率と表示時間により、幾つかのセットに分けて、補間能力を計測する。もし、1 つのセットでは、ランダムな順で、 n 回不完全な文字を識別すれば、そのセットの識別に体现された補間能力は、式 2.9 で計算する。

$$h(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h(\delta_i \Rightarrow \eta_i) \quad (2.9)$$

ただし、

n : 1 つのセットにおける識別回数

$h(n)$: n 回の識別における補間能力, $h \in [0, 1)$

式 2.9 により、 n 回の識別における補間能力は、毎回の識別における補間能力の平均値で定義される。

式 2.8 と式 2.9 により、定義された補間能力は直接的に主に二つの要素に影響される：抹消比率と正答率。正答率が高ければ高いほど、補間能力は抹消比

率の近くに接近する．したがって，定義上本論文の計測実験の結果より計算すれば，補間能力の上限は抹消比率の近くにある．一方で，抹消比率が高くなると，正答率が低くなり，補間能力も抹消率より低くなる．前節に述べた考察実験の結果により，計算された6人の被験者の45セットの実験における補間能力の平均値を図2.23に示す．図2.23の縦軸は補間能力，横軸は実験パラメータを示す．0.7, 0.8, 0.86, 0.9, 0.92は抹消比率であり，100, 200, 300は表示時間（単位：ms）である．抹消単位別に，補間能力がつながっている．図2.9に示したように，長方形の長さと広さが1ピクセルである場合，平均正答率がかなり高い，約1であった．式2.8の定義により，正答率が1である場合，計算される補間能力は，抹消比率の近くにある．したがって，図2.23に，長方形の長さと広さが1ピクセルである場合，計算し得た補間能力は，抹消比率とほぼ同じである．抹消単位の拡大につれ，被験者の平均正答率が低くなったため，計算し得た補間能力も低くなり，抹消比率より低くなる．また，表示時間の短縮につれ，被験者の正答率が低くなり，補間能力も低くなることも，図2.23で示された．

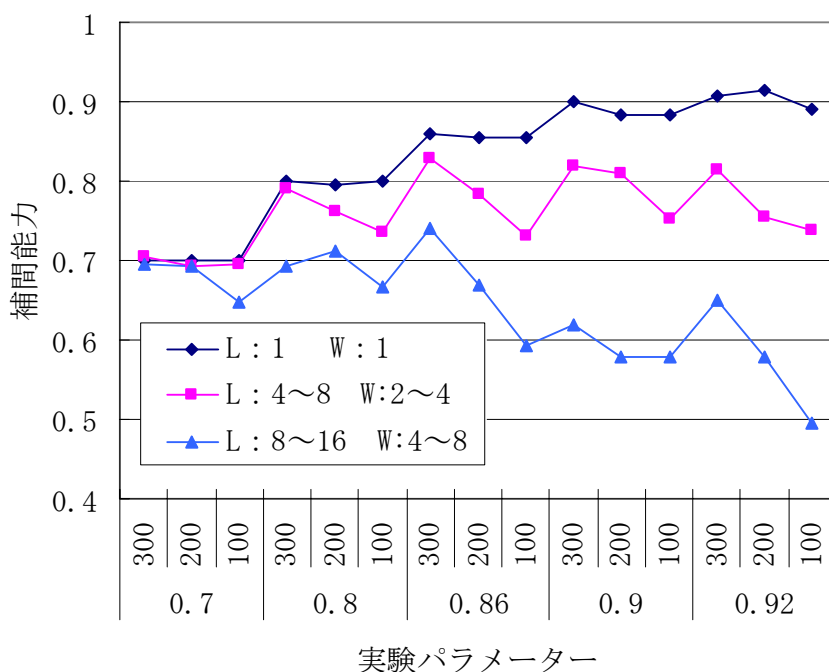


図2.23 式9の計算結果

以上、本論文では、文字情報の特徴をより細かく考慮し、情報理論の概念から、文字特徴の重要さを評価し、不完全な文字の識別における補間能力の定量化法を提案した。本定量化法では、重要性の高い部分が抹消された刺激信号に対して、正しく識別できれば、その識別における補間能力をより高く評価され、重要性の低い部分が抹消された刺激信号に対して、正しく識別できれば、その識別における補間能力がより低く評価される。したがって、本定量化法は、正答率より、精確に補間能力を評価できると考えられる。

一方、提案した補間能力の定量化法はピクセルを文字の基本的な特徴とするため、文字のフォントとサイズに影響される。だから、文字のフォントとサイズが同じでなければならない。フォントが変わると黒いピクセルに持つ情報量が変わる可能性がある。実際、ピクセルは人間の文字を記憶したり識別したりする基本的な特徴ではない。もし点、線、角、形などの文字の特徴に基づいて計算すれば、より精確な結果を得ることができるかもしれない。しかし、文字が特徴で構成され、更に特徴ももっと細かい特徴で構成され、人間視覚認知に使われる基本的な特徴はまだわからない[25, 7]。

2.5 結言

本章では、視覚補間における統覚と連合にある個人差を計測するために、補間能力の計測実験を開発し、補間能力の定量化法を提案した。

計測実験では、一部分抹消された不完全な文字を刺激信号として、一定の時間で被験者に識別させる。実験条件による補間能力への影響を検討するために、実験を行なった。実験結果により、抹消単位の拡大と抹消比率の増加と表示時間の短縮につれ、被験者の正答率が低くなった。実験では、被験者が刺激信号から得られる情報が、抹消単位の拡大と抹消比率の増加と表示時間の短縮につれ、減ることが原因であると考えられる。したがって、実験結果は、被験者の不完全な情報に対する情報処理能力を反映している。

計測実験では、被験者の正答率は、文字の形にも影響されることが実験結果で判った。そして、より精確的に補間能力を評価するために、本章では、文字情報の特徴をより細かく考慮した補間能力の定量化法を提案した。文字によって、ある文字と他の文字の共有しない特徴がこの文字の識別にとって最も重要であり、特徴を共有した文字が多ければ多いほどその特徴が不重要になると考えて、情報理論の概念から、文字特徴の重要さを計算し、不完全な文字の識別における補間能力を定量的に定義した。実験結果により、提案した定量化法の妥当性を検証した。提案した補間能力の定量化法では、重要性の高い部分が抹消された刺激信号に対して、正しく識別できれば、その識別における補間能力がより高く評価され、重要性の低い部分が抹消された刺激信号に対して、正しく識別できれば、その識別における補間能力がより低く評価される。したがって、本定量化法は、正答率による評価より、精確に補間能力を評価できると考えられる。

したがって、本章に述べた補間能力計測実験と補間能力定量化法により、視覚補間における統覚と連合にある個人差を定量的に計測できると考えられる。次は、それらの方法を用い、補間能力と年齢との相関性を計測していく。

参考文献

1. D. G. Pelli, C. W. Burns, B. Farell, and D. C. Moore: Identifying letters, Vision Research (in press).
2. 村田 厚生: 認知科学—心の働きをさぐる, 朝倉書店, 1997.
3. J.M. Carroll: HCI models, theories and frameworks toward a multidisciplinary science, Elsevier Science (USA), 2003.
4. E. L. Bjork and R. A. Bjork: Memory, Academic Press. 1998.
5. H. W. Singer and C. M. Gray: Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis, Annual Review of Neuroscience, vol.18, pp.555-586, 1995.
6. J. T. Townsend and F. G. Ashby: Experimental test of contemporary mathematical models of visual letter recognition. Journal of experimental psychology: Human perception and performance, vol.8, no.6, pp.834-864, 1982.
7. 日本視覚協会 (編) 視覚情報処理ハンドブック, 朝倉書店, 2000.
8. M. Mishkin, L.G. Ungerleider and K.A. Macko: Object vision and spatial vision: two cortical pathways. Trends in Neuroscience. vol.6, pp. 414-417, 1983.
9. I. Opris and C. J. Bruce: Neural circuitry of judgment and decision mechanisms, Brain Research Reviews, vol. 48, no.3, pp.509-526, 2005.
10. R. M. Shapley and D. J. Tolhurst: Edge detectors in human vision, The Journal of Physiology, vol.229, no.1, pp.165-183, 1973.
11. S. O. Murray, D. Kersten, B. A. Olshausen, P. Schrater and D. L. Woods: Shape perception reduces activity in human primary visual cortex, Proceedings of the National Academy of Sciences, vol.99, no.23, pp.15164-15169, 2002.
12. A. Treisman: Perceptual grouping and attention in visual search for features and for objects. Journal of Experimental Psychology: Human.

- Perception and Performance, vol.8, pp.194-214, 1988.
- 13.C. M. Gray: The temporal correlation hypothesis of visual feature integration: Still alive and well. *Neuron*, vol.24, pp.31-47, 1999.
- 14.D. G. Pelli, B. Farell and D. C. Moore: The remarkable inefficiency of word recognition, *Nature*, vol.423, no.12, pp.752-756, 2003.
- 15.B. B. Kimia: On the role of medial geometry in human vision, *Journal of Physiology-Paris*, vol.97, no.2-3, Neurogeometry and visual perception, pp.155-190, 2003.
- 16.P. D. Tynan and R. Sekuler: Motion processing in peripheral vision: reaction time and perceived velocity, *Vision Research*, vol.22, pp.61-68, 1982.
- 17.A. J. Pegna, A. Khateb, C.M. Michel and T. Landis: Visual recognition of faces, objects, and words using degraded stimuli: where and when it occurs, *Hum Brain Mapping*, vol.22, pp. 300-311, 2004.
- 18.J. P. Petit, K. J. Midgley, P. J. Holcomb and J. Grainger: On the time-course of visual word recognition: an ERP investigation using masked repetition priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol.18, no.10, pp.1631-1643, 2006.
- 19.V. Rufin and S. J. Thorpe: The time course of visual processing: from early perception to decision-making. *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol.13, no.4, pp.454-461, 2001.
- 20.A. Baddeley: *Human memory: theory and practice*, revised edition, Psychology Press 1997.
- 21.姜 銀来, 王 碩玉: 人間視覚の補間能力, 日本機械学会論文集 no.065-1('06-3 中国四国支部第44期総会・講演会), pp. 473-474, 広島, 2006年3月.
- 22.W. R. Garner: Good patterns have few alternatives. *American Scientist*, vol.58, no.1, pp.34-42, 1970.

23. P. H. Lindsay, and D. A. Norman: Human information processing: An introduction to psychology (2nd. ed.), Academic Press, New York, 1977.
24. C.E. Shannon: "A mathematical theory of communication", Bell System Technical Journal, vol.27, pp. 379-423 & 623-656, 1948.
25. A. Tarkiainen, P. L. Cornelissen and R. Salmelin: Dynamics of visual feature analysis and object level processing in face versus letter-string perception, Brain, vol.125, pp.1125-1136, 2002.

第 3 章

補間能力と年齢との相関性

3.1 緒言

第 2 章では、視覚補間における統覚と連合にある個人差を計測するために、補間能力の計測実験を開発し、補間能力の定量化法を提案した。考察実験により、計測実験と定量化法の妥当性及び有効性を検証した。本章では、人間の脳内情報処理能力にある個人差をもたらす様々な要素の中の 1 つであると考えられる加齢に着目して、補間能力と年齢との相関性を解明していく。

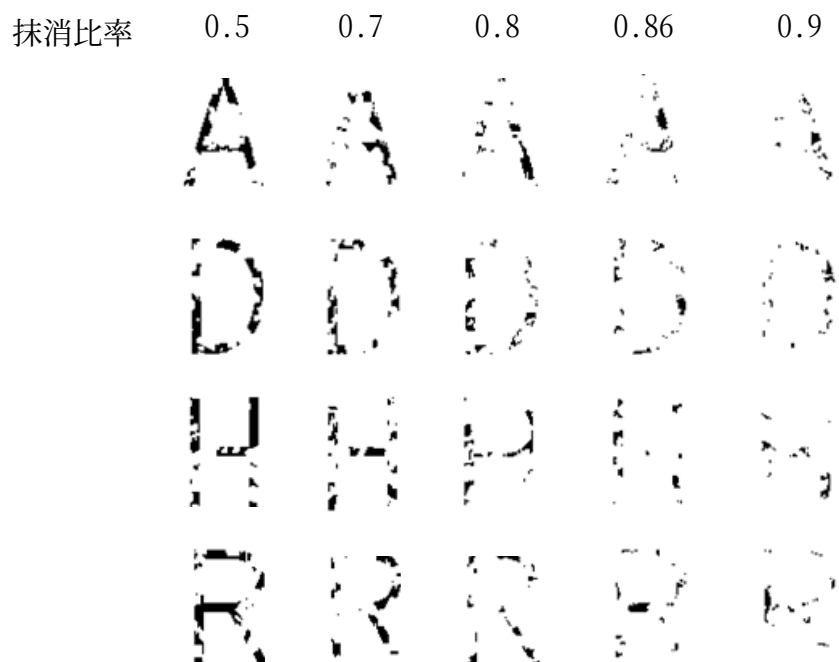
人間は、成熟期以降に、年齢を経るに従って脳を含めて各臓器の機能が低下していく。脳の高次情報処理中枢が加齢と共に衰え、視覚認知における補間能力に影響を及ぼし、補間能力も低下していくと考えられる。逆に、補間能力と年齢との相関性がある程度で加齢による人間の脳機能の加齢による変化を反映できる。

したがって、本章では、補間能力と年齢との相関性を調べるため、第 2 章に述べた計測実験と補間能力の定量化法により、20 代から 70 代までの被験者の補間能力を計測することにより、加齢のよる補間能力の変化を考察し、補間能力にある個人差と年齢との相関性を解析する。

3.2 実験条件

3.2.1 パラメーターの設定

補完能力と年齢との相関性に計測実験のパラメーターは，前章に述べた実験条件による補完能力の考察実験に基づき，設定された．被験者を疲れさせないように，短時間で精確に被験者の補間能力を計測するため，抹消処理の抹消単位を一つのレベルだけに設定した．刺激信号の多様性を保つため，抹消する長方形の長さを1～16ピクセル，広さを1～8ピクセルの範囲からランダムで選ぶことにした．被験者の中に，普段文字をあまりなじんでいない高齢者もいたので，被験者を文字や実験のやり方に慣れさせるために，抹消比率は，やや低いレベルの0.5から始まることにした．実験では，抹消比率が，0.5，0.7，0.8，0.86，0.9という五つのレベルに設定された．それらの抹消単位と抹消比率により抹消された文字の様子を図3.1に示した．図3.1に示したように，抹消比



抹消単位 長さ：1～16ピクセル 広さ：1～8ピクセル

図3.1 刺激信号の例

率の 0.5 である場合、文字の情報が一部分欠けているのに、よく見分けることができると考えられる。また、表示時間も 200ms の一つのレベルだけに設定した。したがって、抹消単位と抹消比率と表示時間を組み合わせ、一回の実験には計 5 ($1 \times 5 \times 1$) セットがあり、所要時間は 7 分間以下となった。

3.2.2 被験者

被験者は高知工科大学の学生と高知県の住民あわせて 81 人であった。事前にすべての被験者の視力あるいは矯正視力は正常であることは確認した。被験者に実験の目的ならびに内容について十分な説明を行い、参加への同意を得た。

年齢：81 人の被験者の年齢は 20 歳から、90 歳までであった。その中に、20 代 25 人、30 代 12 人、40 代 8 人、50 代 12 人、60 代 10 人、70 代 9 人、80 代 3 人、90 代 2 人であった。

性別：男性 42 人、女性 39 人

3.2.3 実験手順

パラメーターの設定により、実験は 5 セットで構成された。セット毎に前章に述べた手順のように、26 個の文字をランダムな順序で識別させた。一人の被験者は、5 分程の休憩を挟んで、2 回の実験をやった。休憩を含めて、被験者一人の実験は 20 分間位かかった。毎回の実験では、抹消比率を $0.5 \rightarrow 0.7 \rightarrow 0.8 \rightarrow 0.86 \rightarrow 0.9$ との高い順に変化させ、文字イメージを処理し、表示した。実験が始まる前に、二つの信号の識別を通して、練習を行なった。

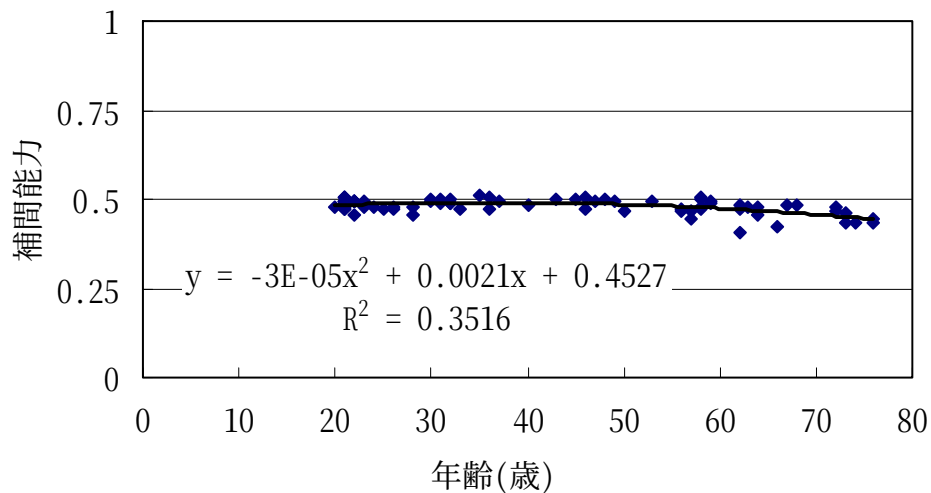
実験風景は、図 3.2 に示す。被験者は画面から 50 センチ位離れて坐って、実験をした。パソコンを使ったことのない、マウスで操作できない被験者がいるので、すべての被験者に対して、筆者は代わりに、操作した。実験の時、筆者は、被験者の右に 30 センチ位離れて、坐った。刺激信号が表示された後で、被験者は声或いは指で図 2.5 (b) に示した回答画面にある選択肢を指すことで回答し、筆者が操作した。



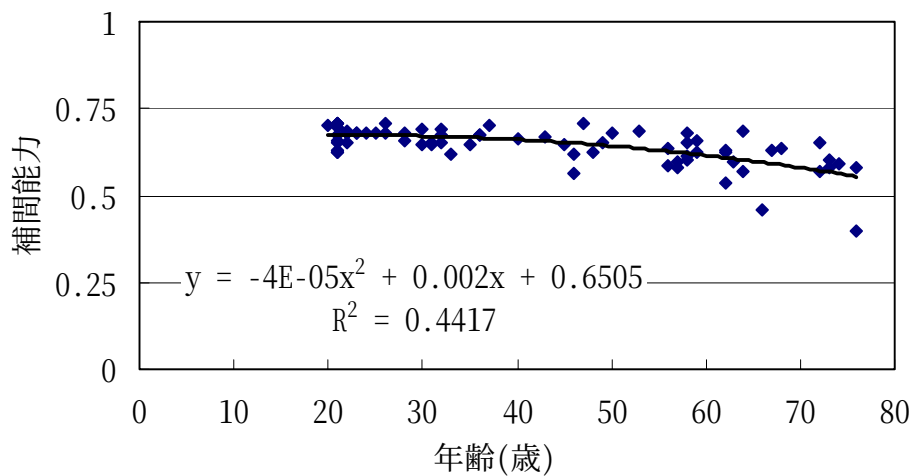
図 3.2 実験風景

3.3 実験結果

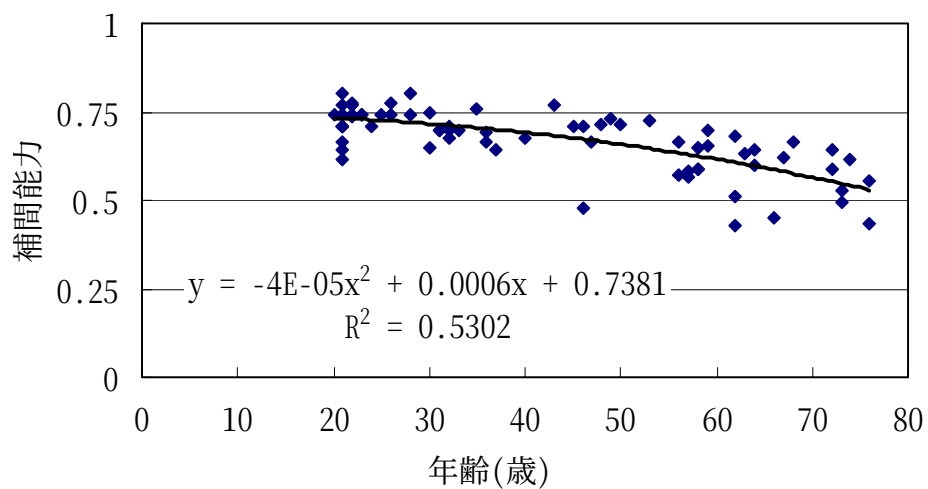
81人の被験者のうち、90代の2人と80代の3人と70代の中の1人は、高い抹消比率の場合、全く刺激信号を見分けることが出来なくなり、途中でやめたまたは当てずっぽうに答えることで、実験を完成したので、その6人の実験結果を無効にした。また、70代の中の1人と60代の中の1人は、文字を勉強したことがない、文字を読むことが出来ない、形だけにに基づき、刺激信号を識別した。すべての被験者の補間能力を、同じ条件の下で、比較すべきなので、その2人の実験結果も無効にした。残り73人の補間能力は、図3.3に示す。



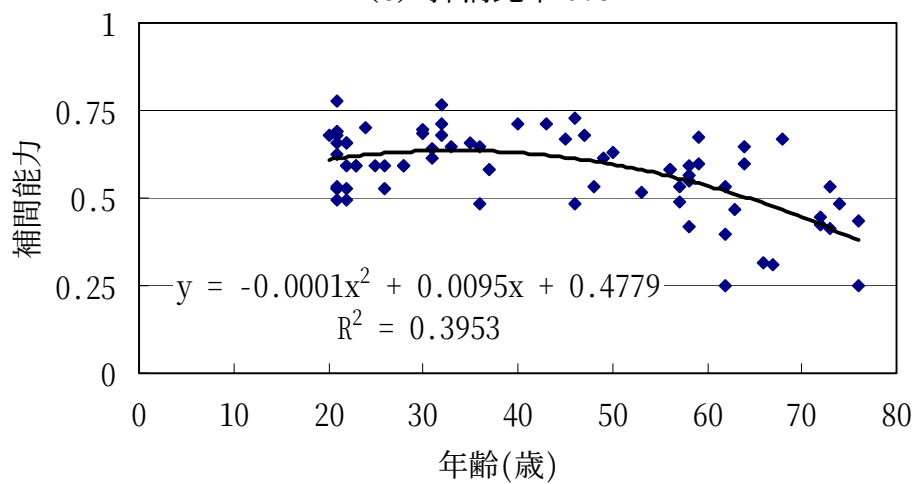
(a) 抹消比率 0.5



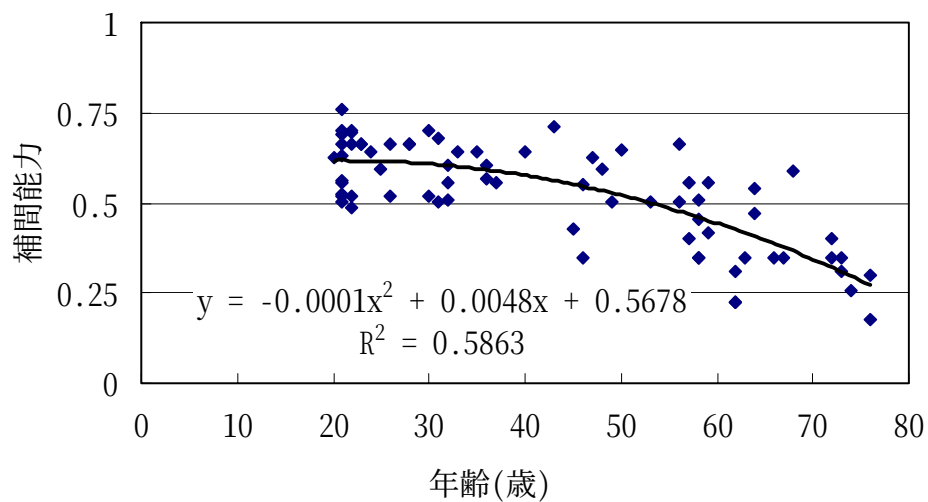
(b) 抹消比率 0.7



(c) 抹消比率 0.8



(d) 抹消比率 0.86



(e) 抹消比率 0.9

図 3.3 実験結果

図 3.3 の横軸は被験者の年齢、縦軸は第 2 章に提案した補間能力の定量化法により計算し得た被験者の補間能力を示す。被験者の補間能力は、抹消比率別に示す。加齢に伴う補間能力の変化傾向を示すために、SPSS により、年齢に対する補間能力の 2 次回帰曲線が求められた。図にある数式は、回帰曲線の関数であり、 R^2 は、回帰の決定係数である。関数にある y は補間能力、 x は年齢である。図 3.3(a)に示したように、抹消比率の 0.5 である場合、年齢の増加にしたがって、補間能力は殆ど変わらないと見える。抹消比率が増え、年齢の増加にしたがう補間能力の低下傾向が明らかになっていく。図 3.3(e)に示したように、抹消比率の 0.9 である場合、年齢の増加にしたがう補間能力の低下が著しくなること見える。例えば、決定係数の高い図 3.3(c)と図 3.3(e)にある曲線の関数から式 3.1 と式 3.2 のように導関数が求められる。式 3.1 により、抹消比率の 0.8 である場合、本実験の年齢範囲において、導関数 y' がいつも負であり、補間能力 y が年齢につれ低下することが示された。式 3.2 により、抹消比率の 0.96 である場合年齢 x は 24 より大きければ、 y' が負であり、年齢 x が 24 を越えると補間能力 y が低下することが示された。式 3.1 と式 3.2 では、年齢 x が大きければ、大きいほど導関数 y' の絶対値が大きくなり、補間能力 y の低下が急になる。しかも、式 3.2 の導関数 y' の絶対値は式 3.1 の導関数 y' の絶対値より大きいので、抹消比率の 0.9 である場合、抹消比率の 0.8 である場合より、年齢の増加のしたがう補間能力の低下が急になることが示された。

$$\begin{aligned} y &= -0.00004x^2 + 0.0006x + 0.7831 \\ y' &= -0.00008x + 0.0006 \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} y &= -0.0001x^2 + 0.0048x + 0.5678 \\ y' &= -0.0002x + 0.0048 \end{aligned} \quad (3.2)$$

補間能力は年齢の増加にしたがい、確かに低下すると判断すればいいか、また、どの位の年齢の差があれば、補間能力に有意差が出るかを検討するため、本論文では、有効とされた 73 人の被験者を年代により六つの組に分け、各組における補間能力の平均値の差に関する T 検定が実施された。表 3.1 には、各組の人数、男性数、女性数、平均年齢、年齢の標準偏差を示す。

表 3.1 各年代の組の情報

年代	人数	男性数	女性数	平均年齢	年齢の標準偏差
20s	25	21	4	22.6	2.32
30s	12	5	7	32.9	2.38
40s	8	1	7	45.5	2.88
50s	12	2	10	56.6	2.65
60s	9	5	4	64.2	2.28
70s	7	5	2	73.7	1.71

表 3.2 T 検定の結果

	0.5	0.7	0.8	0.86	0.9
20代と30代	0	0	0	0	0
20代と40代	0	0	0	0	0
20代と50代	0	0	1	1	1
20代と60代	1	1	1	1	1
20代と70代	1	1	1	1	1
30代と40代	0	0	0	0	0
30代と50代	1	1	1	1	1
30代と60代	1	1	1	1	1
30代と70代	1	1	1	1	1
40代と50代	1	0	0	0	0
40代と60代	1	0	1	1	1
40代と70代	1	1	1	1	1
50代と60代	0	0	0	0	1
50代と70代	1	1	1	1	1
60代と70代	0	0	0	0	0

T 検定では,

帰無仮説 H_0 : 2 つの年代における補間能力に有意差がない

対立仮説 H_1 : 2 つの年代における補間能力に有意差がある

有意水準: 0.05

である. T 検定の結果は, 表 3.2 に示す. 表 3.2 の一行目は抹消比率, 一列目は 2 つの年代を示す. 結果の 0 である場合は, 帰無仮説 H_0 が棄却されない, 2 つの年代における補間能力に有意差がないと判断される. 結果の 1 である場合は帰無仮説 H_0 が棄却され, 2 つの年代における補間能力に有意差があると判断される.

T 検定の結果により, 隣り合った年代の 20 代と 30 代, 30 代と 40 代, 40 代と 50 代, 50 代と 60 代, 60 代と 70 代において, 補間能力には有意差が殆どないと判断された. 20 代と 40 代の補間能力には有意差がないと判断されたが, 30 代と 50 代, 40 代と 60 代, 50 代と 70 代の補間能力には, 有意差がほぼあると判断された. というわけで, 年齢の増加にしたがう補間能力の低下が, 40 代以降加速する傾向があると推測される.

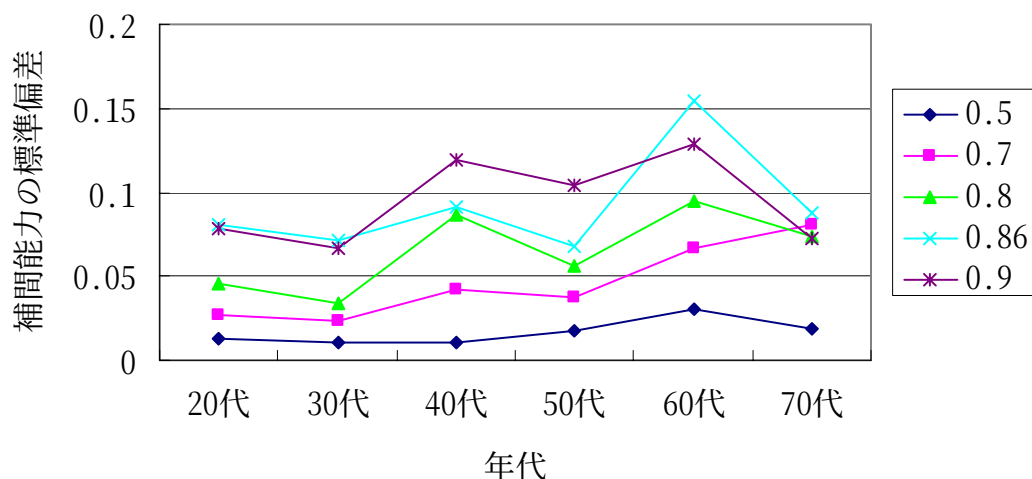


図 3.4 各年代における補間能力の標準偏差

補間能力は, 加齢に伴う低下する同時に, 同じ年代の被験者の補間能力における個人差も拡大する傾向が実験結果で示された. 加齢とともに補間能力が低

下していくが、補間能力の高い高齢者もいる。図3.4には、各年代における補間能力の標準偏差を示す。図3.4に示したように、年代に伴い、計測された補間能力における標準偏差が増えた。70代の補間能力の標準偏差がより低いことの原因は、表3.1に示した70代の被験者の年齢の標準偏差が低いと考えている。

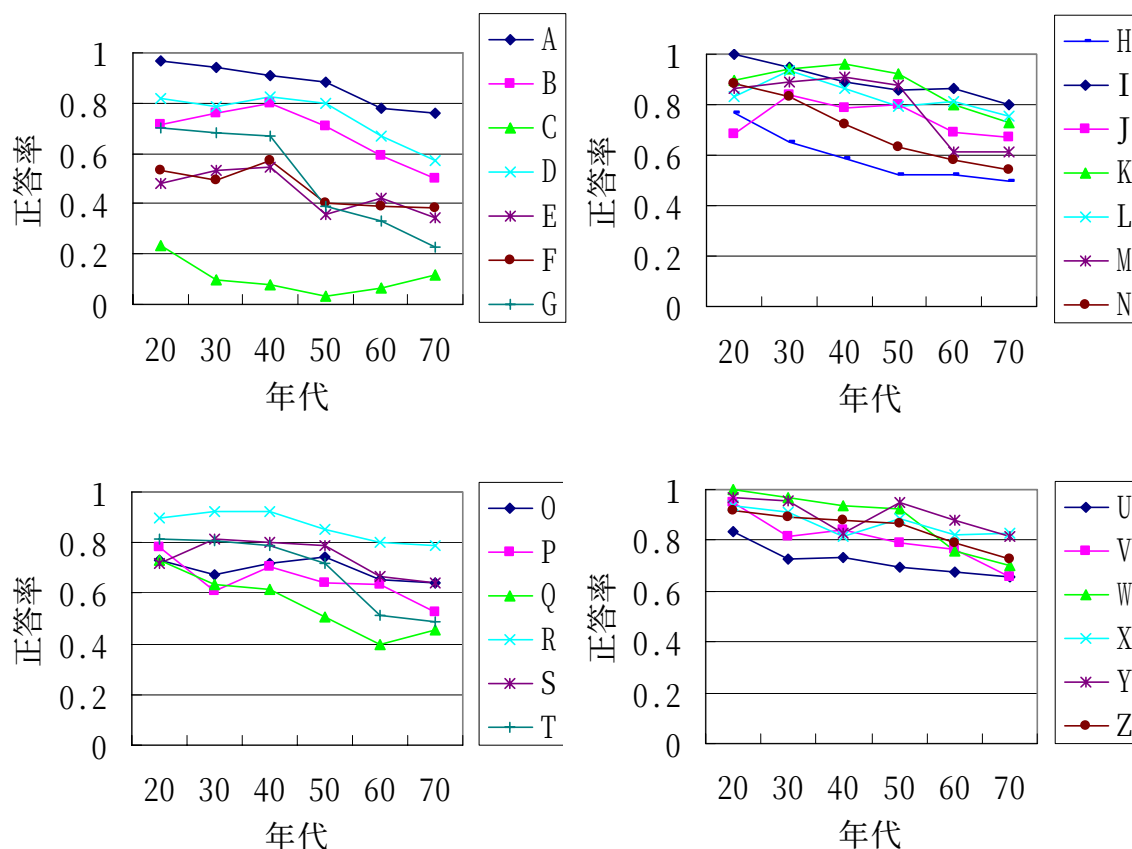


図 3.5 年代における文字の正答率

本論文では、不完全な文字を刺激信号として、補間能力を計測している。文字における各年代の被験者の平均正答率を、図3.5に示す。図3.5の横軸は年代、縦軸は正答率を示す。図3.5により、平均的に年齢の増加につれ、文字における正答率が低くなった。また、ある文字（例えば、A, G, N, Q, V, Z）は、他の文字（例えば、C, O, J, X）より、年齢の増加にしたがう正答率の低下がより明らかに見えることが、示された。これは、加齢により、視覚システムが特定の形に対する情報処理能力がより速く低下する可能性があると考えられている。

いる。

今まで 20 代から、70 代までの 73 人の有効な実験結果について述べた。実験結果が無効とされた 80 代の 2 人と 90 代の 2 人（全て女性であり、年齢はそれぞれ、81 歳、85 歳、90 歳、90 歳であった）にとって、今の実験条件は難しすぎて、実験が最後まで出来なかった。したがって、80 歳以上の高齢者は、視覚情報処理能力が大分衰えたため、補間能力を計測するには、実験パラメーターを易しく設定しなければならないと考えている。

3.4 実験結果の考察

前節に述べた補間能力と年齢との相関性の計測結果により加齢にしたがう脳機能の低下傾向が示された。

人間は、成熟期以降に、年齢を経るに従って脳を含めて各臓器の機能が低下していく[1-3]。人間の視覚認知では、眼球の光学系を通した外界の光から、網膜の受容体で視覚情報が生じられ、そして視神経により、外側膝状体を経、大脳皮質まで伝達され、情報の意味が理解される[4]。目においては、加齢につれ、眼球光学系の組織と機能の変化により、色の弁別や明るさの感じ方が低下していき、老眼などが起きる[5]。光から視覚情報を生じる網膜においては、網膜から中央神経機構に至る細胞が失われる[6]。網膜中心部の錐体密度が有意に変化しないのに、周辺部領域で明らかに減少することが報告されている。錐体外節の長さの減少などの要因により、錐体の実効視物質濃度は加齢によって有意に減少する[7]。視神経においては、加齢による神経節細胞の減少は、加齢に伴う視力の低下をもたらしている可能性がある[8]。視覚情報を理解する大脳皮質においては、加齢につれ、大脳皮質は全体的に萎縮し、ニューロンが変性・脱落する一方で、皮質細胞は可塑性を持っているため、失ったニューロンの機能を代償する機構が備わると知られる。しかし、可塑性そのものは、加齢に伴い減少してゆく[9-11]。近年、脳機能画像化の手法を用い、脳の高次認知機能に関する計測により、加齢とともに大脳の感覚情報処理能力が低下していることが示されている[12,13]。これは、高齢者の高次の情報処理部位で容量或いは効率が低下していることを示唆しているかもしれない。

本論文で開発した補間能力計測実験では、被験者が不完全な文字情報を認知する時、目から脳まで視覚システムのほぼ全ての部分が関与している。したがって、前節で計測された補間能力と年齢との相関性は、上記の加齢による視覚システムの全ての部分の変化に影響された可能性があるといえる。一方で、実験結果においては、抹消比率の0.5である場合、年齢の増加にしたがって、補間能力は殆ど変らない、抹消比率が増え、年齢の増加にしたがう補間能力

の低下傾向が明らかになっていく。抹消比率の増加により刺激信号の認知が難しくなることは、主に脳に情報処理の負担がかかると考えられる。したがって、抹消比率の低い時、加齢に伴い、補間能力が殆ど変わらないという実験結果は、本実験の刺激信号に対して、脳に達する前の視覚情報処理が、加齢により余り影響されていないことが示している。だから、抹消比率の高い時、加齢に伴う補間能力の低下は主に加齢による脳の視覚情報処理能力の低下にもたらされると考えられる。

補間能力と年齢との相関性の計測結果では、加齢に伴う補間能力の低下が急になることが判った。加齢に伴う脳の変化においては、微視的に、ニューロンの数とサイズが減少し、大脳皮質におけるシナプスの樹状突起が減少するなどが報告されている。巨視的に、脳の容量は、加齢につれ、加速的に減少する。30代から50代まで毎年0.1-0.2%減少し、70歳以降毎年0.3-0.5%減少すると報告されている[14]。そのような脳の変化はどのように脳の高次認知機能を影響するかが、まだ明らかにされていないが、加齢に伴う脳容量の加速的な減少は、補間能力の低下の加速的な傾向の原因となるかもしれない。

同じ年代の被験者の補間能力における個人差が、加齢につれ拡大することは、脳の発達と老化に個人差があるからであると考えている。脳の発達と老化が、様々な要素に影響される。遺伝的に、各年齢層で脳を調べることで、40歳を境界として、神経可塑性にとって重要な特定遺伝子の発現が減少することが報告されている[15]。遺伝子の違いが脳の認知能力及び脳の発達と老化にある個人差に関与すると考えられる[16,17]。また脳の健康と機能が生活習慣にも影響される。喫煙、過量飲酒、肥満などが、脳機能の低下をもたらす可能性が報告されている[18,19,20]。一方で、ダイエット、運動、良い生活習慣などが自然の老化による体と脳の機能低下を一部分補うことが出来ると報告されている[20]。それらの要素の影響は、脳の健康及び機能にある個人差に関わると考えられる。しかも、加齢に伴い、遺伝と生活習慣の影響による個人差が明らかに表われていく。したがって、不完全な視覚情報に対する補間能力の個人差も拡大していくと考えられる。

3.5 結言

本章では、第2章に述べた計測実験と補間能力の定量化法により、補間能力と年齢との相関性計測した。

実験結果により、抹消比率の0.5である場合、年齢の増加にしたがって、補間能力は殆ど変らない、抹消比率が増え、年齢の増加にしたがう補間能力の低下傾向が明らかになっていくことが判った。また、加齢に伴う補間能力の低下が急になることが判った。補間能力は、加齢に伴う低下する同時に、同じ年代の被験者の補間能力における個人差も拡大する傾向が実験結果で示された。今までの加齢による視覚システムの変化に関する研究成果を考察することで、それらの実験結果が、加齢に伴う脳の視覚情報処理能力の低下を反映していると考えられる。

これらの研究成果は、人間の補間能力と年齢との相関性を解明することができ、その相関性を利用し、補間能力を計測することで、ある程度で、脳の健康及び機能が判ることが可能であると考えられる。また、補間能力における個人差があり、補間能力の高い高齢者もいるから、適切な訓練を通して、補間能力を向上させ、自然の老化による脳の機能低下を抑える及び一部分補うという脳機能増進を行なう可能性が示された。

そして、本章の補間能力と年齢との相関性に基づいて、本論文の第4章と第5章では、補間能力による脳の視覚情報処理能力の評価と脳機能増進を行っていく。

参考文献

1. M. R. Rose: Evolutionary Biology of Aging, Oxford University Press US, 1991
2. 正高 信男: 老いはこうしてつくられる: 心とからだの加齢変化. 中央公論新社, 2000
3. S. W. Lamberts, A. W. van den Beld and van A. J. der Lely: The Endocrinology of Aging, Science, vol.278. no.5337, pp.419-424, 1997.
4. 日本視覚協会（編）視覚情報処理ハンドブック, 朝倉書店, 2000.
5. H. Bloemendal, W. Jong, R. Jaenicke, N. H. Lubsen, C. Slingsby and A. Tardieu: Ageing and vision: structure, stability and function of lens crystallins, Progress in Biophysics and Molecular Biology, vol.86, no.3, pp.407-485, 2004.
6. P. D. Spear: Neural bases of visual deficits during aging, Vision Research, vol.33, pp.2589-2609, 1993.
7. C. A. Curcio, C. L. Millican, K. A. Allen and R. E. Kalina : Aging of the human photoreceptor mosaic : evidence for selective vulnerability. of rods in central retina, Investigative Ophthalmology and Visual. Science, vol.34, pp.3278-3296, 1993.
8. F. Moya, L. Brigatti, and J. Caprioli: Effect of aging on optic nerve appearance: a longitudinal study, British Journal Ophthalmology. vol.83, no.5, pp.567-572, 1999;
9. 畠中 寛, 池上 司郎, 有松 靖温: 脳の老化 : ニューロンの生と死を考える, 共立出版, 1988.
10. J. H. Morrison and P. R. Hof: Life and Death of Neurons in the Aging Brain, Science, vol.278. no.5337, pp.412 -419, 1997.
11. S. N. Burke and C. A. Barnes: Neural plasticity in the ageing brain, Nature Reviews Neuroscience, vol.7, pp.30-40, 2006.
12. J. Polich: EEG and ERP assessment of normal aging. Electrophysiology

- and clinical Neurophysiology, vol.114, pp.244-256, 1997.
13. C. Robertol: Cognitive neuroscience of aging: Contributions of functional neuroimaging, Scandinavian Journal of Psychology, vol.42, no.3, pp. 277-286, 2001.
 14. M. M. Esiri: Ageing and the brain, The Journal of Pathology, vol.211, no.2, pp.181-187, 2007.
 15. T. Lu, Y. Pan, S.Y. Kao, C. Li, I. Kohane, J. Chan and B.A. Yankner: Gene regulation and DNA damage in the ageing human brain. Nature, vol.429 pp.883-891, 2004.
 16. C. E. Finch, R. E. Tanzi: Genetics of Aging, Science, vol. 278. no. 5337, pp. 407-411, 1997.
 17. 杉本 正信, 古市 泰宏: 老化と遺伝子. 東京化学同人, 1998.
 18. A. B. Ilan, and J. Polich: Tobacco smoking and memory scanning- Behavioral and event-related potential effects. Nicotine & Tobacco Research, 1, 233-240, 1999.
 19. Geisler, M. W. and Polich, J: P300, food consumption, and memory performance. Psychophysiology, 29, 76-85, 1992.
 20. J. W. Rowe and R. L. Kahn: Human aging: usual and successful, Science, vol.237. no.4811, pp.143-149, 1987.

第4章

補間能力による脳の情報処理能力への評価

4.1 緒言

補間能力は、人により異なる。年齢の増加につれ補間能力が低下する一方、同じ年代の被験者でも、補間能力には差があることが、第3章で述べた補間能力と年齢との相関性の計測結果で示された。それらの実験結果が、加齢に伴う脳の視覚情報処理能力の低下を反映していると考えられる。したがって、その相関性を利用し、補間能力を計測することで、ある程度で、脳の健康及び機能が判ることが可能であると考えられる。

また、加齢に伴う脳機能の低下により、情報統合、決断、認知、記憶、推論などの高次脳機能が低下していくと、認知症などの脳の認知障害にかかる恐れがある。もし、脳の認知障害が発症する前に、簡単に将来病気になる可能性を把握できれば、脳の疾病予防と早期発見と早期対応を実現できる。本論文の補間能力により、脳の認知障害を予知する実現性を考察するために、まず、補間能力と脳の認知障害との関係を調べる必要がある。

したがって、本章では、補間能力と年齢との相関の計測結果に基づいて脳の視覚情報処理能力への評価法を提案する。提案する評価法を用い、補間能力と認知障害との関係を計測するシステムを構築していく。

4.2 補間能力による脳の情報処理能力への評価法

今までの脳機能に関する評価は、殆ど脳の病気と障害の診断の為に、提案されてきた。手法としては、主に脳機能画像法による器質的疾患の検査法と神経心理学による機能的疾患の検査法を用い、実施されている[1, 2]。脳機能画像法において、脳電図 EEG と磁気共鳴映像法 MRI と陽電子断層撮影 PET などの手法は、設備の価格が高い、手軽に実施が困難で、専門の医療施設しか実施することができない。また、脳機能画像法により、脳の構造と生理的機能を測定できるが、高次脳の認知機能を評価することは難しい。神経心理学的検査において、認知、行為計画と遂行、記憶、思考、判断、言語、注意などの特定の脳機能に対し、数多くの手法が提案されている。代表的なものとしては、言語機能検査の Peabody 絵画語彙テスト[2]、前向き記憶機能検査の WMS-R (Wechsler Memory Scale-Revised) 法[3]、注意・集中機能検査の PASAT (Paced Auditory Serial Addition Test) 法[4]などが臨床的に実施されている。視覚認知傷害の検査において、日本高次脳機能障害学会により開発された VPTA (Visual Perception Test for Agnosia) 標準高次視知覚検査[5]は、視知覚の基本機能、物体・画像認知、相貌失認、色彩失認、シンボル認知、視空間の認知と操作、地誌的見当識の7大項目の検査が包括的に行なうことができ、日本で普及されている。近年、認知症を診断するために、認知機能検査 MMSE[6]と簡易前頭葉機能検査 FAB が幅広く使われている[7, 8]。それらの神経心理学的検査を実施するには、経験と知識を持つ医師による面接が必要である。したがって、従来の脳機能画像法及神経心理学的検査法は、手軽に実施することは困難で、日常生活の中に普及するには適していない。また、病気の検査手法であるので、発症する前に病気の兆候を発見し、脳の疾病予防と早期発見と早期対応を実現することは難しい。

そして、本論文は、脳内視覚認知機能を評価し、脳の疾病予防と早期発見と早期対応を実現することを目指し、補間能力と年齢との相関の計測結果に基づいて脳の視覚情報処理能力への評価法を提案する。

第3章に述べたように、補間能力が加齢とともに低下していくとの実験結果が、加齢に伴う脳の視覚情報処理能力の低下を反映していると考えられる。したがって、補間能力を利用して、簡単に脳の視覚情報処理能力を評価することが可能であると考えられる。抹消比率の低い時、計測された補間能力は脳に達する前の視力を反映し、抹消比率の高い時、計測された補間能力は主に脳の視覚情報処理能力を反映すると考えられる。したがって、提案する評価法では、抹消比率の低い時に計測された補間能力を被験者の脳に達する前の視覚情報処理能力が正常であるかどうかの基準とし、抹消比率の高い時に計測された補間能力は脳の視覚情報処理能力の評価基準とする。つまり、脳に達する前の視覚情報処理能力が不正常である場合、本論文の計測実験で計測された補間能力により、脳の情報処理能力を評価することはできない。

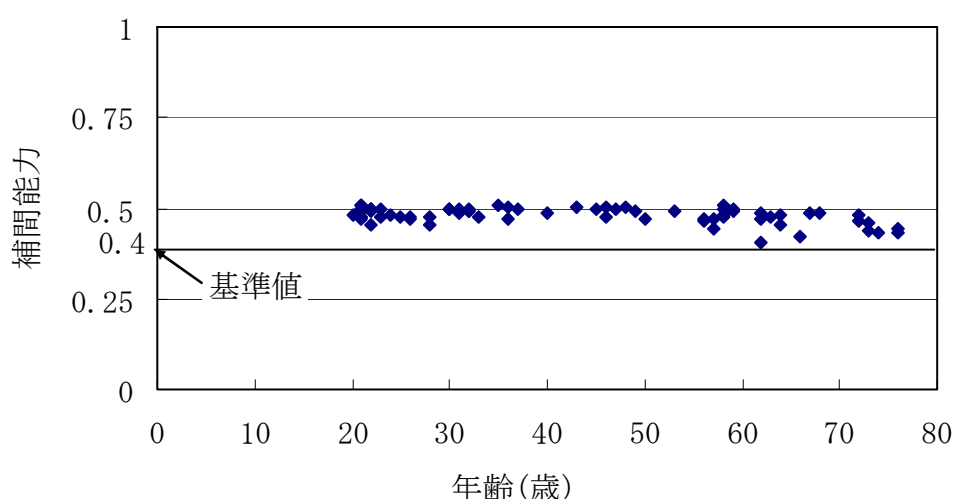


図 4.1 脳に達する前の視覚情報処理能力の正常基準

本論文では、抹消比率の 0.5 の場合における補間能力を脳に達する前の視覚情報処理能力が正常であるかどうかの基準とし、抹消比率の 0.7, 0.8, 0.86, 0.9 の場合の平均補間能力を脳の視覚情報処理能力の評価基準とする。図 4.1 に示したように、本論文の刺激信号に対して、脳に達する前の視覚情報処理能力の基準は、抹消比率の 0.5 の場合の補間能力が 0.4 または 0.4 以上であるとする。つまり、抹消比率の 0.5 の場合における補間能力が 0.4 以下になれば、

脳に達する前の視覚情報処理能力が不正常と判断される．脳の視覚情報処理能力は，抹消比率の 0.7, 0.8, 0.86, 0.9 の場合の補間能力の平均値に基づいて，評価される．図 4.2 には，抹消比率の 0.7, 0.8, 0.86, 0.9 の場合の補間能力の平均値を示す．図 4.2 にある曲線は，年齢に対する補間能力の 2 次回帰曲線である．線の下にある数式は，回帰曲線の関数であり， R^2 は，回帰の決定係数である．

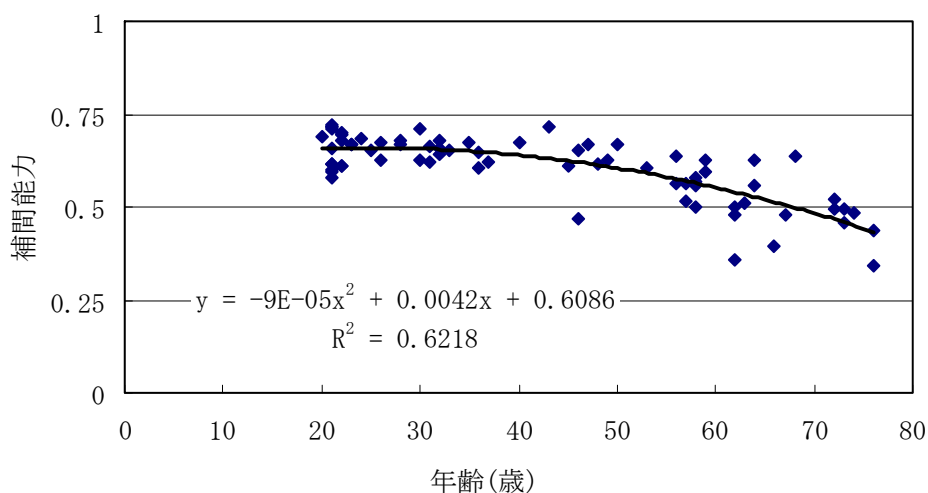


図 4.2 抹消比率の 0.7, 0.8, 0.86, 0.9 の場合の補間能力の平均値

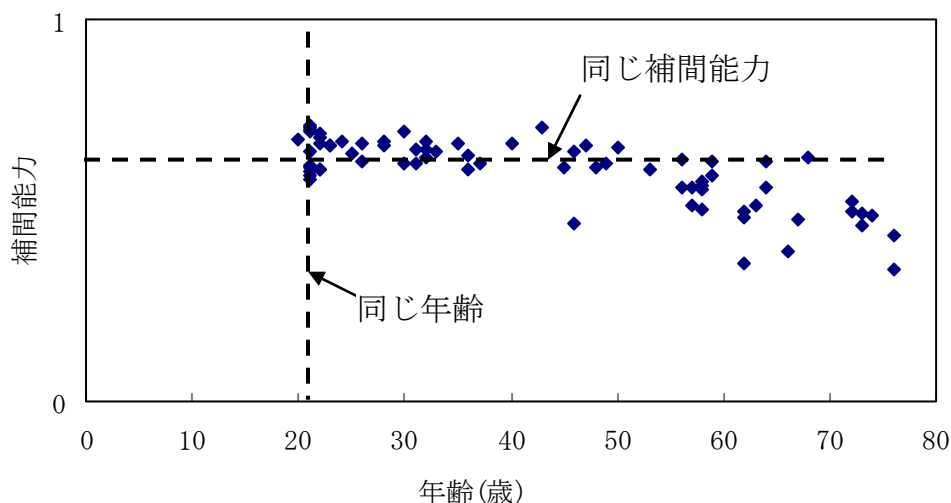


図 4.3 補間能力と年齢の確率分布

年齢に伴う低下する能力を評価する場合，年齢が同じである人を比較し，能

力が高ければ高いほどその人の能力が良いと判断できる、或いは、能力が同じである人を比較し、年齢が高ければ高いほどその人の能力が良いと判断できると考えられる。年齢が同じである被験者の補間能力の確率分布、と補間能力が同じである被験者の年齢の確率分布は正規分布と似ていることは、実験結果で判った。つまり、図 4.3 に示しているように、同じ年齢の点線と同じ補間能力の点線にある点の確率分布は、正規分布と似ている。図 4.3 のデータは図 4.2 に示した補間能力の平均値である。下記には、その 2 つの確率分布に基づき、2 つの評価法が提案される。

4.2.1 年齢が同じである被験者の補間能力分布による評価

もし、ある被験者が、計測された抹消比率の 0.5 の場合の補間能力は 0.4 或いは 0.4 以上、抹消比率の 0.7, 0.8, 0.86, 0.9 の場合の補間能力の平均値は h_0 とする。被験者の年齢は age とする。年齢の age である被験者の補間能力の確率分布の確率密度は $f_{age}(h)$ とすれば、被験者の補間能力は、図 4.4 に示すように、「かなり低い」、「やや低い」、「普通」、「やや高い」、「かなり高い」という 5 つのレベルに評価される。

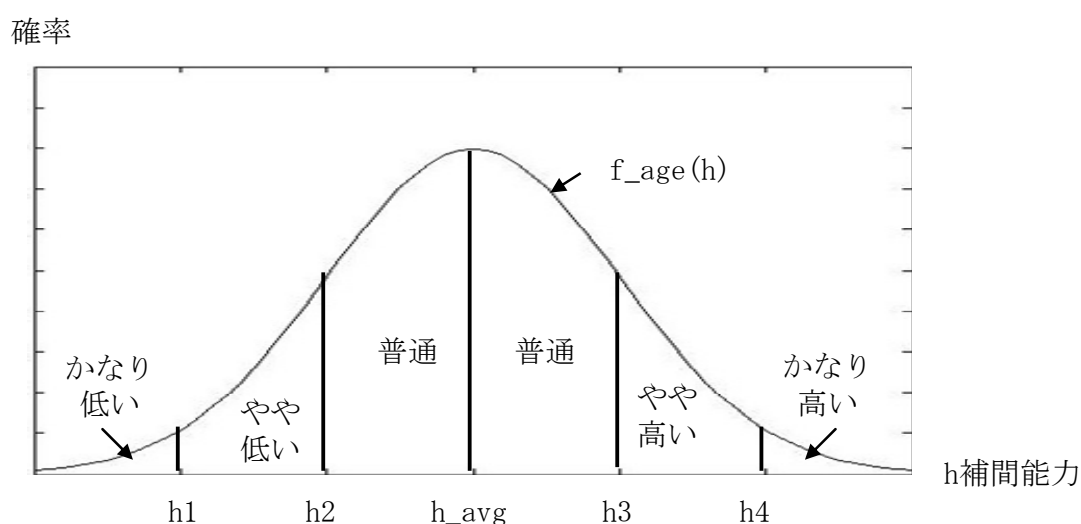


図 4.4 補間能力の確率分布による評価

図 4.4 の横軸は補間能力、縦軸は確率を示す。 h_{avg} は、年齢の age である

被験者の補間能力の確率分布の平均値であり， h_1 , h_2 , h_3 , h_4 は評価基準である．それらの評価基準により，表 4.1 のように評価する．

表 4.1 評価基準

h_0 の範囲	評価結果
$h_0 \geq h_4$	かなり高い
$h_4 > h_0 \geq h_3$	やや高い
$h_3 > h_0 \geq h_2$	普通
$h_2 > h_0 \geq h_1$	やや低い
$h_1 > h_0$	かなり低い

本論文では，年齢の age である被験者の補間能力の確率分布の分布関数が $F_{AGE}(h)$ とすれば， h_1 , h_2 , h_3 , h_4 はそれぞれ，

$$F_{AGE}(h_1) = 0.05, \quad F_{AGE}(h_2) = 0.2,$$

$$F_{AGE}(h_3) = 0.8 \quad F_{AGE}(h_4) = 0.95$$

とする．つまり，補間能力の「かなり低い」，「やや低い」，「普通」，「やや高い」，「かなり高い」の被験者は，それぞれ全体被験者の 5%，15%，60%，15%，5% とする．

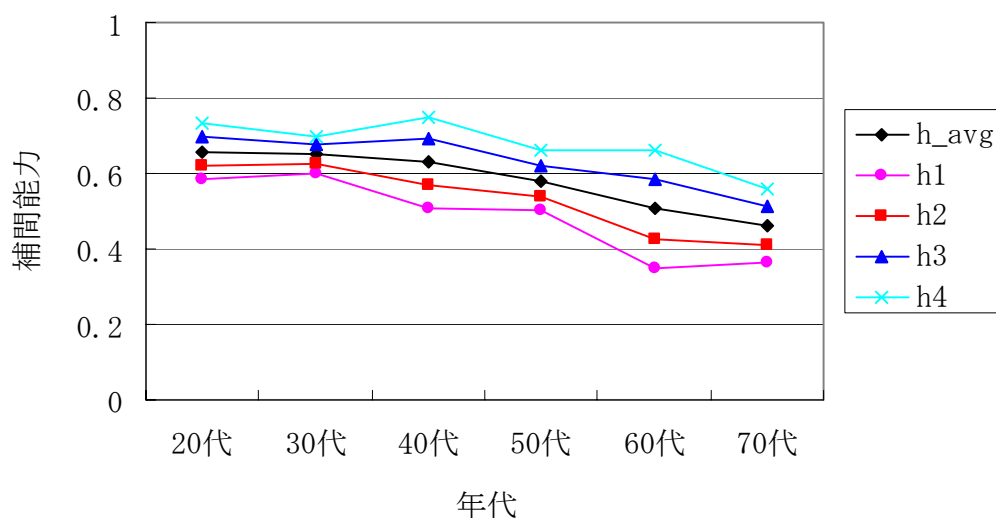


図 4.5 各年代の被験者の評価基準

第3章の補間能力と年齢との相関性の計測実験では、同じ年齢の被験者が少ないので、表3.1に示した各組の被験者は同じ年齢と見做し、図4.2に示した補間能力の平均値から、上記の設定で計算し得た各年代の被験者の評価基準は、図4.5に示す。図4.5の横軸は年代、縦軸は補間能力を示す。年代別における h_1 , h_2 , h_3 , h_4 はつながっている。20代の被験者を例として、

$$h_{\text{avg}}=0.659, h_1=0.583, h_2=0.620, h_3=0.697, h_4=0.734$$

であった。それらの評価基準により、24人の20代の被験者の中に、「かなり低い」、「やや低い」、「普通」、「やや高い」、「かなり高い」と評価された人数は、それぞれ1人、6人、12人、5人、0人であった。

4.2.2 補間能力が同じである被験者の年齢分布による評価

補間能力が同じである被験者の年齢分布による評価は、4.2.1節に述べた年齢が同じである被験者の補間能力分布による評価と類似しているから、省略して述べる。

もし、ある被験者が、計測された抹消比率の0.5の場合の補間能力は0.4或いは0.4以上、抹消比率の0.7, 0.8, 0.86, 0.9の場合の補間能力の平均値は h とする。被験者の年齢は age_0 とする。被験者の補間能力は、補間能力の h である被験者の年齢の確率分布の確率密度により、5%, 15%, 60%, 15%, 5% との確率で「かなり低い」、「やや低い」、「普通」、「やや高い」、「かなり高い」という5つのレベルに評価される。ここでは、 age_0 が高ければ高いほど、評価結果が高い。つまり、自分より若い被験者と同じ補間能力を持つ被験者は、補間能力が高く評価される。

上記のように、2つの分布により、2つの評価法が提案された。確率分布による評価なので、被験者の人数が多ければ多いほど、また被験者の年齢分布が平均であれば平均であるほど、評価は精確になる。したがって、2つの方法の選択では、被験者と同じ年齢の人数が、被験者と同じ補間能力の人数より多ければ、年齢が同じである被験者の補間能力分布による評価を選び、そうでなければ、補間能力が同じである被験者の年齢分布による評価を選ぶ方がより精確に

評価できる。

評価基準においては、今補間能力の「かなり低い」、「やや低い」、「普通」、「やや高い」、「かなり高い」の被験者は、それぞれ全体の5%、15%、60%、15%、5%とされている。それらの率は、年齢にしたがい、適切に設定すれば、より常識に合う評価ができる。つまり、年齢の低い場合、「やや高い」、「かなり高い」の率が高い、年齢の高い場合、「やや低い」、「かなり低い」の率が高い。

4.3 補間能力と認知障害との相関を計測するシステムの構築

認知障害とは、失語、失認、失行、実行、機能障害であり、進行し長期間の経過をもつと規定されている[9]。広義の認知障害には、主に発達障害としての知的障害（0～18歳まで）、脳の損傷による高次脳機能障害、読み書き障害などを含む学習障害、認知症がある。本論文では、主に認知症について述べる。認知症とは、後天的な脳の器質的障害により、いったん正常に発達した知能が低下した状態をいう[10]。認知症を回復できる学習療法が報告されたが、治る認知症の率はまだ低い。主な治療は、早期発見で薬物療法や心理療法で、進行を抑えることである。認知症患者は、家庭、社会に大きな負担がかかるため、発症する前に予防することは、重要であると考えられる。

近年、認知症を予防するために、認知症をもたらす要因において、多くの研究成果が挙げられてきた。Skogらは15年間縦断的に調査した結果は、79歳から85歳に認知症を発症した人は70歳時の収縮期および拡張期、あるいは75歳時の拡張期の血圧が有意に高かったことを示した[11]。Biesselsらは、2型糖尿病の患者が、認知症にかかるリスクが高いと報告した[12]。Whitmerらは、中年期の肥満は後の認知症リスクを増加させると報告した[13]。また、Parkらは、大脳白質病変とメタボリックシンドロームとの関係を計測することで、メタボリックシンドロームの人は、認知症にかかるリスクが高いことを示した[14][15]。それらの要因により、認知症が発症されるメカニズムはまだ明らかにされていないが、それらの研究は、認知症の予防に重要な根拠を提供できる。

本論文の補間能力は、加齢とともに低下する傾向が第3章の計測で判った。もし、補間能力と認知症との相関を計測し、確認できれば、補間能力に基づいて、簡単に将来認知症にかかる可能性を把握でき、認知症の予防と早期発見と早期対応を実現できる。

したがって、本論文は、高知検診クリニックの協力を得、高知検診クリニックの利用者を被験者として、補間能力を計測し、補間能力と被験者の人間ドックと脳ドックの検査結果を比較することで、補間能力と認知症との相関を解析

する．高知検診クリニックでの人間ドック検査は，主に基本計測（身長，体重，肥満度計算，体脂肪測定，視力検査など），血圧測定，血液検査，脂質検査などの項目がある．脳ドック検査は，人間ドック検査の基本項目のほかに，頸部超音波検査，頭部 MRI 撮影，頭部 MRA（Magnetic Resonance Angiography:磁気共鳴血管撮影）撮影，頸部 MRA 撮影も実施される．実験は 2008 年 1 月と 2 月にわたって行い，計 400 人位のデータを計測する予定である．

4.3.1 実験システム

誰でも 1 人で簡単に操作し計測できるようにさせるために，タッチパネルを用い，補間能力の計測システムを開発した．タッチパネルは，タッチセンサ付 TFT カラー液晶モニタ TSD-CT193-CN（三菱電機エンジニアリング）が採用された．主な仕様は，表 4.2 に示す．パソコン本体の仕様は，表 4.3 に示す．

表 4.2 TSD-CT193-CN の主な仕様

TFT カラー液晶パネル	サイズ	19 型 (48.2cm)
	表示画素数	1024×768 (最大 1028×1024)
	カラーフィルタ配列	RGB 縦ストライプ
	視野角 (CR≥10)	左右±80°，上 75°，下 85°
タッチセンサ及びコントローラ	方式	アナログ容量結合方式
	表面処理	ノングレア抗菌処理
	分解能	1024×1024
	反応速度	約 3ms

表 4.3 パソコン本体の主な仕様

OS	Microsoft Windows XP Professional
CPU	Intel Celeron 2.60GHz
メモリ	256MB

タッチパネル上便利に操作できるために、第2章に開発された実験システムのインターフェースが図4.6に示すように改善された。



図4.6 測定システムのインターフェース

4.3.2 パラメーターの設定

実験では、抹消する長方形の長さを1～16ピクセル，広さを1～8ピクセルの

範囲からランダムで選ぶことにした。検診クリニックでの利用者に負担をかけないように、計測時間が5分間程度に限定されるため、抹消比率が、0.7, 0.86, 0.9 との3つのレベルだけに設定した。それらの抹消単位と抹消比率により抹消された文字の様子を図3.1に示した。また、被験者はタッチパネル上で指を使って操作するため、表示時間はやや長くし、250msに設定した。

4.3.3 実験手順

まず、被験者に実験協力の説明書を見せ、実験の目的ならびに内容について十分な説明を行い、参加への同意を得る上で、計測システムの操作説明書を見せ、操作方法を説明する。そして、3つの刺激信号で練習させ、計測が始まる。計測では、まず、図4.6(a)と図4.6(b)に示した画面で、被験者の名前と年齢を入力する。次は、第2章に述べた実験手順で、図4.6(c)と図4.6(d)に示した画面を繰り返し、計測が進められる。抹消比率を0.7→0.86→0.9との高い順に変化させる。実験風景は、図4.7に示す。実験が終わると、前節に述べた評価法に基づき、図4.6(e)に示したように、評価結果が出される。検診クリニックでの実験風景を、図4.7に示す。



図 4.7 実験風景

4.4 結言

本章では、第3章で計測された補間能力と年齢との相関性に基づき、脳の視覚情報処理能力への評価法を提案した。具体的に、補間能力が同じである被験者の年齢の確率分布、と年齢が同じである被験者の補間能力の確率分布により、被験者の補間能力は、「かなり低い」、「やや低い」、「普通」、「やや高い」、「かなり高い」という5つのレベルで評価される。第3章の計測データを利用し、評価法を実現し、有効性を実証した。

また、本論文の補間能力により、脳の認知障害を予知する実現性を考察するために、補間能力と認知障害との相関を計測するシステムを構築した。今後の課題としては、認知障害の新検査方法の開発を目指して、提案した評価法を用い、大量的な実証実験により補間能力と認知障害との相関性を定量的に明らかにする。

参考文献

1. 福田 寛：脳の形態と機能—画像医学の進歩，新興医学出版社，2005.
2. R. L. Strub and F. W. Black 著／江藤 文夫 訳：高次脳機能検査法 原著第4版 失行・失認・失語の本態と診断，医歯薬出版，2005.
3. D. Wechsler: Manual for the Wechsler Memory Scale-Revised. New York: Psychological Corporation, 1987.
4. D.M.A. Gronwall: Paced auditory serial-addition task: A measure of recovery from concussion. Perceptual and Motor Skills, vol.44, pp.367-373, 1977.
5. 日本高次脳機能障害学会(編)：VPTA 標準高次視知覚検査，新興医学出版社，2003.
6. M. F. Folstein, S.E. Folstein and P. R. McHugh: "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. Journal of psychiatric research, vol.12, no.3, pp.189-198, 1975.
7. B. Dubois, A. Slachevsky, I. Litvan, B. Pillon: The FAB: a frontal assessment battery at bedside. Neurology, vol.55, pp.1621-1626, 2000.
8. A. Kugo , S. Terada , T. Ata , Y. Ido , Y. Kado , T. Ishihara , M. Hikiji , Y. Fujisawa , K. Sasaki and S. Kuroda: Japanese version of the Frontal Assessment Battery for dementia, Psychiatry Research, vol.153, no.1, pp.69-75, 2007.
9. 介護保険用語集. http://www.seo-f.net/2007/03/post_88.html.
10. 畠中 寛，池上 司郎，有松 靖温：脳の老化：ニューロンの生と死を考える，共立出版，1988.
11. I. Skoog, B. Lernfelt, S. Landahl, B. Palmertz, L. A. Andreasson and L. Nilsson, et al.: 15-year longitudinal study of blood pressure and dementia, Lancet, vol.347, pp.1141—1145, 1996.
12. G. J. Biessels and L. J. Kappelle: Increased risk of Alzheimer's disease

in type II diabetes: insulin resistance of the brain or insulin-induced amyloid pathology?, Biochemical Society Transactions, vol.33, pp.1041-1044, 2005.

13. R. A. Whitmer, E. P. Gunderson, E. Barrett-Connor, C. P. Quesenberry Jr, and K. Yaffe: Obesity in middle age and future risk of dementia: a 27 year longitudinal population based study, BMJ. 38446.466238.E0, 2005.
14. K. Park, N. Yasuda, S. Toyonaga, S. M. Yamada, H. Nakabayashi, M. Nakasato, T. Nakagomi, E. Tsubosaki, and K. Shimizu: Significant association between leukoaraiosis and metabolic syndrome in healthy subjects, Neurology, vol.69, no.10, pp.974-978, 2007.
15. R. M. Dafer and J. Biller: Metabolic Syndrome: Risk Factor for Leukoaraiosis and Age-Related Dementia? Journal Watch Neurology, 1 - 1, December 21, 2007.

第5章

視覚補間による脳機能増進への試み

5.1 緒言

第3章で述べた補間能力と年齢との相関性の計測結果で示されたとおりに、補間能力には個人差があり、しかも個人差は加齢につれ拡大していく傾向がある。これは、脳の発達と老化に個人差があるからであると考えられる。脳の発達と老化が、遺伝的な要素のほかに、生活習慣にも影響される。良い生活習慣などが自然の老化による脳の機能低下を抑える及び一部分補うことが出来る[1]。さらに、脳が可塑性を持っているから、適切な訓練を介し、ある程度で老化によって失われていくニューロンの機能を代償する可能性が十分考えられる。[2]人間の脳は、身体の運動を制御するだけではなく、感情や理性など精神活動においても重要な役割を果たしているため、近年脳機能増進は様々なトレーニング方法が提案され盛んに行われている[3-5]。それらの方法は、健常の人のほかに、脳の認知障害の予防と治療にも応用されている[6-8]。脳トレによる予防と治療は、薬物を使わずに脳機能の低下を抑え、脳機能回復することができ、薬物による副作用がない、医療費がかからない、大きく期待されている。

脳は、視覚情報を処理し適切な行動を下すことは、視覚野、頭頂連合野、前頭連合野などの皮質領野が関与する。適切な視覚刺激を与えることで、脳内の視覚関連部位を活発させ、健康増進と処理能力が向上することが可能であると考えられる。本論文の補間能力においては、被験者が刺激信号を見た後で、不完全な視覚情報に対する脳内視覚認知における統覚と連合が引き起こされる。したがって、本論文の補間能力を通し、脳内視覚認知における統覚と連合の役割を果たす脳部位を活性化させ、それらの脳機能を向上させることができると考えられる。第3章で述べた計測結果では、加齢とともに補間能力が低下していくが、補間能力の高い高齢者もいる。この実験結果は、適切な訓練を通して、補間能力を向上させ、自然の老化による脳の機能低下を抑える及び一部分補う

第5章 視覚補間による脳機能増進への試み

という脳機能増進を行なう可能性が示された。

そして、本章では、視覚補間による脳機能増進を検討するために、2つの実験が行なわれる。まず、視覚補間による訓練にしたがう補間能力の変化実験では、三週間にわたって、同じ抹消方法で抹消された文字を被験者に識別させて、実験の進みにつれ、被験者の補間能力の向上を考察する。次に、視覚補間による訓練の方法を検討する実験では、二組の被験者をそれぞれ高い抹消比率と低い抹消比率で抹消された文字を用い訓練することで、視覚補間による脳機能増進の方法について考察する。

5.2 視覚補間による訓練にしたがう補間能力増進の検討

5.2.1 パラメーターの設定

実験のパラメーターは、第2章に述べた実験条件による補完能力の考察実験に基づき、設定された。被験者を疲れさせないように、短時間で精確に被験者の補間能力を計測するため、抹消処理の抹消単位を一つのレベルだけに設定した。抹消する長方形の長さを1～16ピクセル、広さを1～8ピクセルの範囲からランダムで選ぶことにした。被験者は、全て20代の学生であるので、抹消比率は、やや高いレベルの0.7から始まることにした。実験では、抹消比率が、0.7, 0.8, 0.86, 0.9, 0.92という五つのレベルに設定した。また、表示時間も200msの一つのレベルだけに設定した。したがって、抹消単位と抹消比率と表示時間を組み合わせ、一回の実験には計5(1×5×1)セットがあり、かかる時間は7分間以下となった。

5.2.2 被験者

被験者は視力あるいは矯正視力の良い高知工科大学の学部生と院生6人であった。被験者には、実験の目的ならびに内容について十分な説明を行い、参加への同意を得た。

年齢：5人の被験者の年齢はそれぞれ21, 21, 21, 22, 22歳であった。

性別：男性5人

5.2.3 実験手順

被験者の補間能力は、長時間の訓練にしたがい、どのように変化するかを考察するため、実験は三週間にわたって行なった。被験者が都合により毎週火曜日から金曜日までの4日間の中から3日間を選び、一人ずつ計9回同じ実験をやった。毎回の実験では、抹消比率を0.7→0.8→0.86→0.9→0.92との高い順に変化させ、文字イメージを処理し、表示した。

5.2.4 実験結果と考察

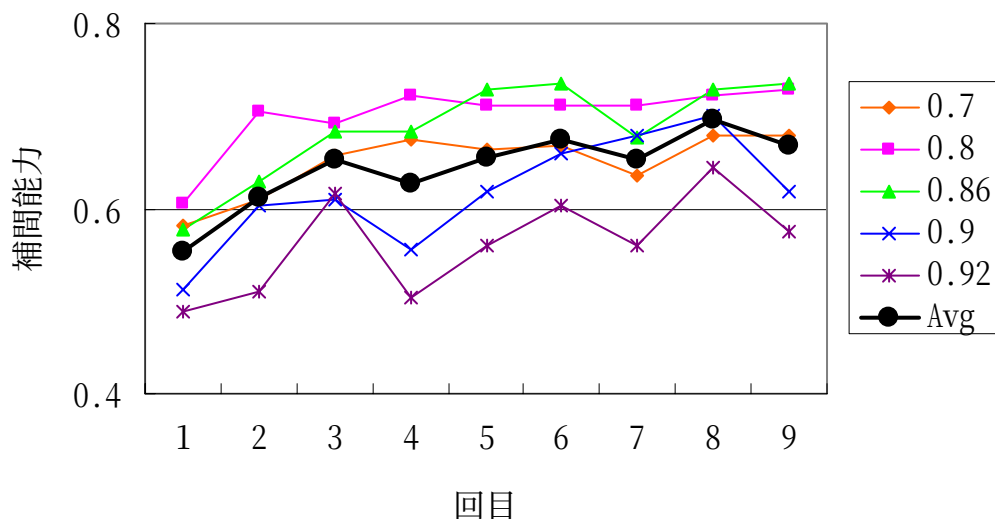


図 5.1 実験結果

3週間にわたる9回の実験における5人の被験者の平均補間能力を実験結果として、図5.1に示す。図5.1の横軸は回目、縦軸は平均補間能力を示す。平均補間能力を抹消比率別に、それぞれの曲線でつながっている。平均値をより太く黒い線でつながっている。図5.1に示した平均値の線のように、第1週、第2週、第3週において、毎週の3日間における5人の被験者の平均補間能力が向上したことが判った。第1週、第2週、第3週の平均補間能力がそれぞれ0.61、0.65、0.67であった。毎週の向上した幅は次第に減少し、前日より平均補間能力低くなったこともある。毎週一日目の平均補間能力が先週3日目の平均補間能力より低かった。九日間の毎日の平均補間能力はそれぞれ0.55、0.61、0.65、0.63、0.66、0.68、0.65、0.70、0.67であった。これにより、毎週平均補間能力が向上し、周の間に3~4日間中断し、平均補間能力が一度下がったことが判った。

我々人間は、脳が可塑性を持っているからこそ、様々な環境に対応でき、認知、感覚、言語、感情などの脳機能が成長できると言える[9, 10]。すなわち、我々の脳は、外界の刺激を受け、それに適応し、反応しながら、成長・発達し

ている。適切な訓練を介し、特定の課題に対する脳の処理能力を向上させる脳内機構がある。様々な知覚学習(perceptual learning)課題において、関与する脳の部位が異なるものの、下側頭葉皮質と紡錘回が視覚学習の間、よく活躍していることが報告されている[11]。本研究では、一部分抹消された文字を識別させることで、被験者の補間能力を向上させたことは、図5.1に示した被験者の平均補間能力が上昇したことで表明された。一方で、脳は可塑性を持っているから、時間を経るにつれ、使わない機能が低下していく傾向がある[12, 13]。それは、実験で3, 4日中断した後で補間能力が一度下がったことの原因であると考えられる。したがって、向上した補間能力を維持する、または高め続けるために、訓練を長時間で中断しないことが必要であるかと考えている。

今の実験では、被験者の補間能力が、訓練にしたがい向上することが確認された。訓練において、刺激信号の難易により、訓練効果が違うはずであると考えられる。そして、どのように実験条件を設定すれば、訓練効果が良いかを、次節で検討していく。

5.3 視覚補間による訓練方法の検討

前節では、長時間にわたって、同じ設定の実験を通して訓練することで、被験者の補間能力を向上させることができることが判った。そして、本節では、2 組の被験者にそれぞれ抹消比率の低い刺激信号と抹消比率の高い刺激信号により識別させることで、視覚補間による訓練の方法について検討する。

5.3.1 パラメーターの設定

実験では、補間能力の計測と訓練が、別々に行なわれた。計測実験と訓練実験の抹消単位と表示時間は同じように設定された。抹消する長方形の長さは 1 ～16 ピクセル、広さは 1～8 ピクセルの範囲からランダムで選び、表示時間は 200ms に設定した。計測実験と訓練実験の抹消比率は別々に設定された。計測実験においては、抹消比率が、0.5, 0.7, 0.8, 0.86, 0.9 という五つのレベルに設定された。訓練実験においては、抹消比率により、2 つの訓練があった。1 つは、抹消比率が 0.55 に設定された。もう 1 つは、抹消比率が 0.85 に設定された。これ以降、抹消比率の 0.55 を低抹消比率、抹消比率の 0.85 を高抹消比率という。

5.3.2 被験者

被験者は視力あるいは矯正視力の良い高知工科大学の学部生と院生 14 人であった。被験者には、実験の目的ならびに内容について十分な説明を行い、参加への同意を得た。被験者は、ランダムで各 7 人の低抹消比率組と高抹消比率組に分けられ、訓練を行なった。

年齢：低抹消比率組の被験者の年齢はそれぞれ 22, 23, 23, 22, 21, 21, 21 歳であり、高抹消比率組の被験者の年齢は、それぞれ 22, 22, 25, 22, 21, 21, 21 歳であった。

性別：男性 14 人

5.3.3 実験手順

実験では、まず、補間能力の計測実験で、被験者の補間能力が計測された。そして、三週間にわたって週に3回、訓練実験を通し、訓練が行なわれた。被験者の補間能力がどのように変化するかを調べるため、毎週3回目の訓練が終わった後で、計測実験で被験者の補間能力が計測された。計測実験において、一人ずつ2回計測して平均値は結果とした。訓練実験において、一人ずつ同じ抹消比率で2回訓練された。

5.3.4 実験結果と考察

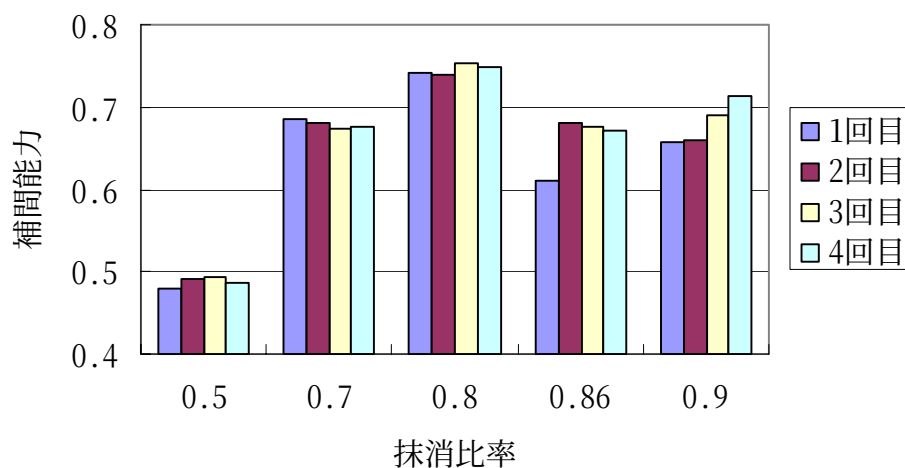


図 5.2 低抹消比率訓練組における補間能力

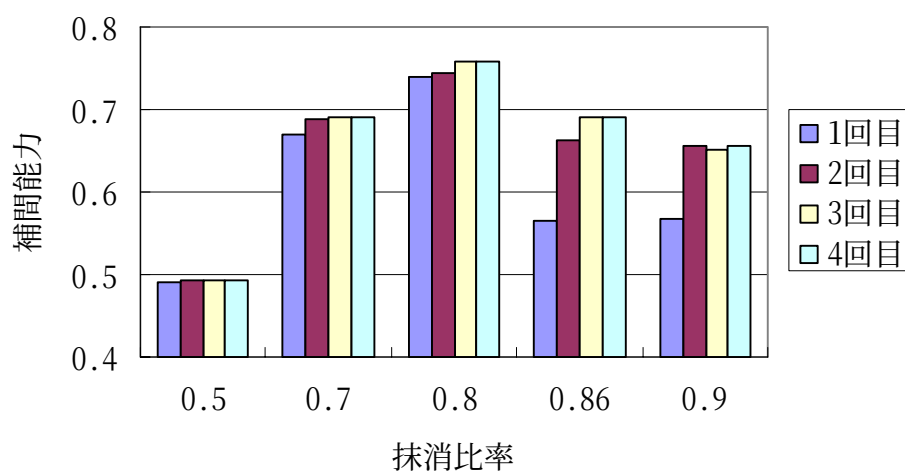


図 5.3 高抹消比率訓練組における補間能力

第5章 視覚補間による脳機能増進への試み

三週間にわたって、被験者一人ずつ、計9回訓練実験をやり、計4回補間能力が計測された。低抹消比率訓練組の被験者と高抹消比率訓練組の被験者の平均補間能力の変化を、それぞれ図5.2と図5.3に示す。図5.2と図5.3の横軸は抹消比率、縦軸は補間能力を示す。図5.2と図5.3に示したように、被験者の補間能力が、訓練にしたがい向上したことが判った。図5.2と図5.3と共に、抹消比率の0.86と0.9の場合補間能力の向上が明らかであり、抹消比率の0.5と0.7と0.8の場合補間能力の向上が明らかでなかった。

各組において、抹消比率別に計測された4回の補間能力における対応のあるT検定 (paired t-test) を行なった。検定の有意水準は0.05とした。有意差のある項目を、表5.1に示す。例えば、低抹消比率訓練組において、抹消比率の0.86の場合、第1回と第3回に計測された補間能力には、有意差があった。表5.1に示したように、低抹消比率訓練組においては、3回目から、高抹消比率訓練組においては、3回目から、有意な訓練結果が得られた。本実験の被験者に対して、高抹消比率による訓練は、効率が良いことが示された。一方で、2回目

表5.1 対応のあるT検定の有意差のある項目

	検定対象		
	先の回	後の回	抹消比率
低抹消比率訓練組	1回目	3回目	0.86
	1回目	4回目	0.86
	1回目	4回目	0.9
高抹消比率訓練組	1回目	2回目	0.86
	1回目	2回目	0.9
	1回目	3回目	0.8
	1回目	3回目	0.86
	1回目	3回目	0.9
	1回目	4回目	0.86
	1回目	4回目	0.9

から高抹消比率訓練組と低抹消比率訓練組と共に各抹消比率における補間能力における対応のある T 検定結果には、有意差がなかった。つまり、2 回目の時点においての被験者の補間能力に対して、これ以降の訓練は、有意な訓練結果が得られなかった。

高抹消比率訓練組と低抹消比率訓練組における訓練結果を比較するため、組別に、4 回計測の各抹消比率における補間能力の平均値を図 5.4 に示す。図 5.4 の横軸は回目、縦軸は補間能力を示す。図 5.4 に示したように、1 回目の補間能力において、低抹消比率訓練組の平均補間能力は高抹消比率訓練組のより明らかに高かったが、2, 3, 4 回目の補間能力は、2 組がほぼ同じであった。2 組の被験者の各抹消比率における補間能力の平均値における T 検定を行なった結果、有意水準は 0.05 である時、有意差がなく、有意水準は 0.15 である時、2 組の 1 回目の補間能力に有意差があった。

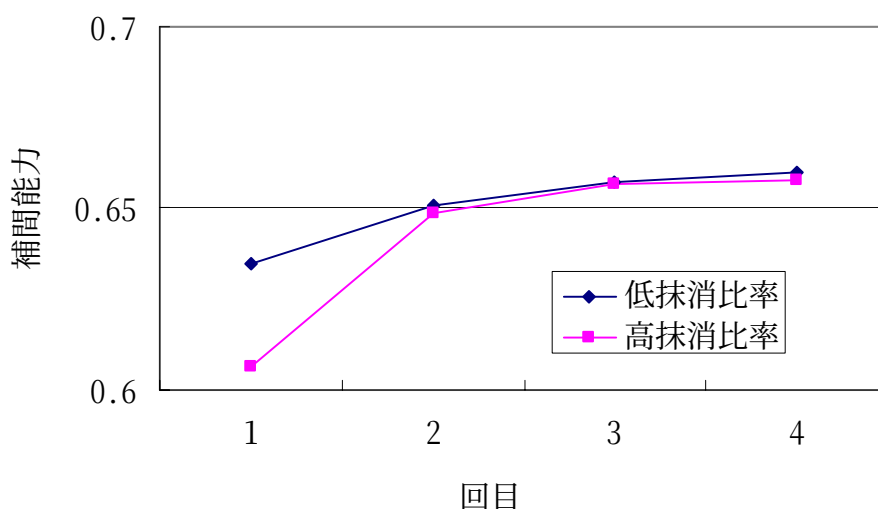


図 5.4 低・高抹消比率訓練組における平均補間能力の変化

本実験に参加した被験者は、全て 20 代の若者であった。第 3 章に述べたように、20 代の被験者は補間能力がもともと高いから、有意な訓練結果が得られることは難しい。特に抹消比率の低い (0.5, 0.7, 0.8) 時、図 5.2 と図 5.3 のように、有意な訓練結果が示されなかった。抹消比率の高い (0.86, 0.9) 時、20 代の被験者にとって、向上できる余裕はまだあるから、有意な訓練結果が得ら

第5章 視覚補間による脳機能増進への試み

れた. 20代の被験者に対して, 抹消比率の0.55である訓練は, 抹消比率の0.85である訓練より, 易しく, 有意な訓練結果の出ることは遅かった. これは, 視覚補間による訓練を行なうときに, 被験者の補間能力にしたがい, 訓練の難易程度を設定すべきであることを示した. また, 20代の脳は, 可塑性が低下していないため, 学習力が高い[2, 14]. したがって, 訓練されると速く高いレベルに達することができる. だから, 図5.4に示したように, 2回目以降, 2組における平均補間能力がほぼ同じであった.

一方で, 図5.2, 図5.3, 図5.4に示したように, 訓練される前に, 高抹消比率訓練組の補間能力が, 特に抹消比率の0.86と0.9の場合, 低かった. これは, 高抹消比率訓練組の訓練結果がより良かったことの1つの原因であるかもしれない. 今後では, より広い年齢範囲, 特に高齢者において検証するつもりである.

5.4 結言

本章では、視覚補間による脳機能増進を検討するために、2つの実験が行なわれた。

視覚補間による訓練にしたがう補間能力増進の検討実験では、三週間にわたって、同じ抹消方法で抹消された文字を被験者に識別させることにより、訓練することで、被験者の補間能力の向上を考察した。実験結果により、被験者の補間が向上することが判った。視覚補間により、脳の関与した部位を活発化させ、これらの部位の機能を向上させる可能性が示された。

視覚補間による訓練方法の検討実験では、二組の被験者をそれぞれ高抹消比率と低抹消比率で生成された刺激信号を用い訓練することで、視覚補間による脳機能増進の方法について考察した。実験結果により、本実験に参加した 20 代の被験者に対して、高抹消比率による訓練は、有意な訓練結果が得られやすいことが示された。これは、視覚補間による訓練を行なうときに、被験者の補間能力にしたがい、訓練の難易程度を設定すべきであることを示した。

今後では、より広い年齢範囲、特に高齢者において、視覚補間による脳機能増進実験を行なうことで、検証するつもりである。

参考文献

1. J. W. Rowe and R. L. Kahn: Human aging: usual and successful, Science, vol.237. no.4811, pp.143-149, 1987.
2. S. N. Burke and C. A. Barnes: Neural plasticity in the ageing brain, Nature Reviews Neuroscience, vol.7, pp.30-40, 2006.
3. 川島 隆太: 脳トレ手帳, 双葉社, 2006.
4. 中森 智佳子: 大人のドリル音楽で脳トレ, あおぞら音楽社, 2006.
5. 松本 幸夫: 仕事に役立つインド式計算入門, フォレスト出版, 2007.
6. 吉田 甫, 川島 隆太, 杉本 幸司, 前山 克次郎, 沖田 克夫, 佐々木 丈夫, 山崎 律子, 田島 信元, 泰羅 雅登: 学習課題の遂行が老年期痴呆患者の認知機能に及ぼす効果, 老年精神医学雑誌, vol.15, no.3, pp.319-325, 2004.
7. A. Sekiguchi and R. Kawashima: Cognitive rehabilitation-the learning therapy for the Senile Dementia, Brain and Nerve, vol.59, no.4, pp.357-365, 2007.
8. 小川 淳子, 若松 直樹, 柴 喜崇, 上田 智子, 坂井 繭良: 認知機能低下を有する高齢者の記憶学習における誤り排除学習の効果, 理学療法学, vol.34, no.Supplement_2(20070420) pp.324, 2007.
9. T. Elbert, S. Heim, B. Rockstroh: Neural Plasticity and Development (in C. A. Nelson, M. Luciana: Handbook of Developmental Cognitive Neuroscience), MIT Press, 2001.
10. P. R. Huttenlocher: Neural Plasticity: The Effects of Environment on the Development of the Cerebral Cortex, Harvard University Press, 2002.
11. R. A. Poldrack: Neural systems for Perceptual Skill Learning. Behavioral and cognitive neuroscience reviews, 1-1, pp.76-83, (2002)
12. D. A. Nembhard and M. V. Uzumeri: Experiential learning and forgetting for manual and cognitive tasks, International Journal of Industrial Ergonomics, vol.25, no.4, pp.315-326, 2000.

13. T. C. Rickard: Forgetting and learning potentiation: dual consequences of between-session delays in cognitive skill learning, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, vol.33, no.2, pp.297-304, 2007.
14. 畠中 寛, 池上 司郎, 有松 靖温: 脳の老化 : ニューロンの生と死を考える, 共立出版, 1988.

第 6 章

NIRS による視覚補間における脳機能計測

6.1 緒言

第 2 章から第 5 章までは、人間の目から脳までの視覚情報処理システムをブラックボックスとして、補間能力計測実験と補間能力定量化法を開発し、補間能力と年齢との相関性を計測し、補間能力による脳の視覚情報処理能力の評価法を提案し、視覚補間による脳機能増進を考察した。本章では、視覚補間に関与する脳部位を考察し、視覚補間の脳活性化への有効性を検証するために、NIRS 法を用いて視覚補間における後頭葉と前頭葉両側の脳血流変化を計測する。

具体的に、二つの実験が行なわれる。実験一では、完全な文字と不完全な文字の認知に従うヘモグロビン濃度を計測することで、視覚補間にしたがう脳の賦活について考察する。実験二では、不完全な文字の識別において、速い認知と遅い認知に従うヘモグロビン濃度を計測することで、認知速度の脳血流への影響を考察する。

6.2 視覚補間に関わる脳部位について

視覚刺激としての光は網膜で受容され、活動電位に変換される。この活動電位は網膜神経節細胞の神経軸索である視神経により網膜から出力され、視床の外側膝状態で中継されて大脳皮質一次視覚野に伝えられる。視覚野は複数の層で構成されており、層を経ることによって入力情報の持つ様々な特徴が分析される。一次視覚野からは、色・形態視情報と空間・運動視情報が視覚前野に分配される。視覚前野から頭頂葉にいたる「背側経路」と、側頭葉にいたる「腹側経路」の並列な投射路により、前頭前野に出力される[1]。Mishkin らにより、「背側経路」は、物体の視覚的方向・速度情報の処理に、「腹側経路」は、物体の視覚的色・形の処理に関連していると提唱されている[2]。大脳皮質には、視覚情報処理に関わる領野が数多く存在している。人間に良く似た機能と構造の視覚系を持つサルの大脳皮質において、32 にも及ぶ視覚関連領野が区別されており、大脳新皮質の中で主に視覚情報処理に関係すると考えられる領域は全体の約半分を占めると考えられている[3]。前頭前野の機能はまだ十分解明されていないが、今までの知見により、前頭前野は、高次視覚認知の最終の段階で、重要な役割を果たしている。前部前頭前野 (anterior prefrontal cortex) が認知における計画と推論に関与していると報告された[4]。視覚認知における視覚ワーキングメモリ[5][6]が前頭前野に存在しており、視覚情報に関する推測、判断の役割を果たしていると言われた[7][8]。

したがって、本論文の補間能力計測実験において、刺激信号の認知は次の過程で行なわれると考えられる。刺激信号により生成された視覚情報が脳に送られると、まず後頭葉の視覚野で視覚情報にある色・形・位置などの情報が抽出され、次に「腹側経路」と「背側経路」を通り、前頭前野に送られ、前頭前野で不完全な情報における連合と統覚が行なわれて刺激信号の正体が推測される。そのため、本章の NIRS による視覚補間における脳機能計測は、主に後頭葉にある視覚野と前頭葉にある前頭前野における血流変化に着目して行なわれる。

6.3 実験装置

本論文は、図 6.1 に示すように、日立メディコ製光トポグラフィ装置 ETG-7100 を用い、視覚補間における脳血流変化を計測した。実験では、筆者が操作パソコンで操作し、別のディスプレイで被験者に刺激信号と呈示し、実験中被験者の脳血流変化が、頭部につけた光ファイバーにより捉えられ、ETG-7100 本体に伝えられた。

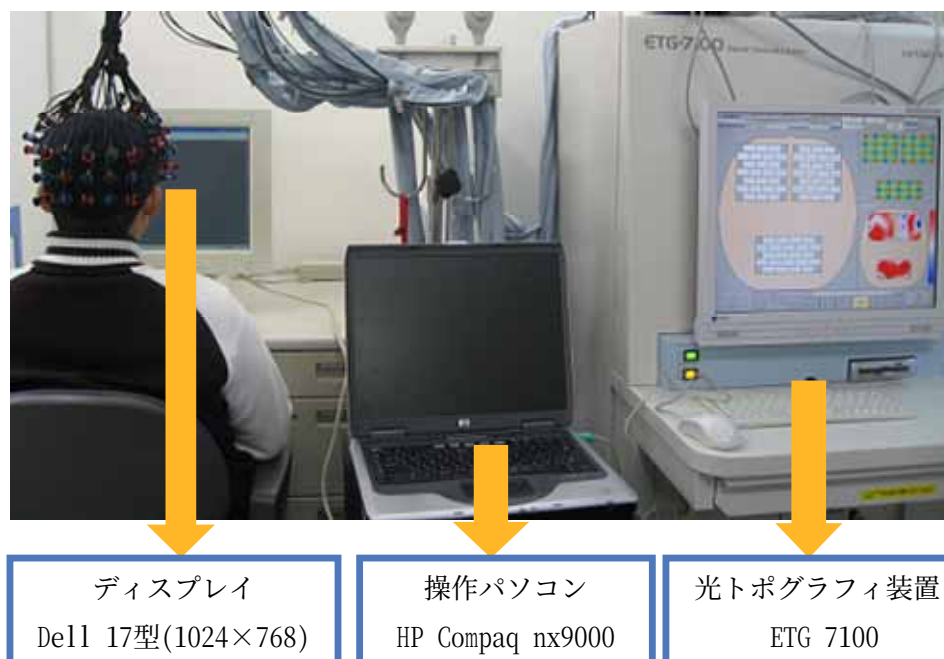


図 6.1 実験風景

実験で用いた光トポグラフィ装置 ETG-7100 の主な仕様を、表 6.1 に示す。光トポグラフィ装置 ETG-7100 は、NIRS による、大脳皮質における脳血流を計測する装置である。脳の情報処理においては、神経活動と脳血流の間に、ニューロバスキュラーカップリング (neurovascular coupling) と呼ばれる関係がある [9]。すなわち、神経活動が起こると、その周囲にある血管が拡張し、エネルギー源となる酸素やグルコースを含む多くの動脈血を供給する調整機構が働く。そして、活動神経近傍の組織では、血流量・血液量が増大し、血液の酸化状態 (酸素化ヘモグロビン濃度 oxy-Hb と還元ヘモグロビン濃度 deoxy-Hb の比率)

が変化する．血液中の oxy-Hb と deoxy-Hb の光吸収特性は異なる．NIRS による計測では，近赤外光を頭皮上から頭蓋内に向けて照射すると，その光成分は，組織内で散乱・吸収を繰り返し，一部は頭皮上に戻ってくる．光トポグラフィ装置は，この戻って来た反射光を検出する．近赤外光照射位置から 30mm 離れた位置で検出される光は，頭皮下 25～30mm の大脳皮質を通ってくるため，この部分の組織中の血流の変化により影響を受ける [10]．NIRS による計測では，ニューロバスキュラーカップリングに基づいて，この検出光から，大脳皮質の oxy-Hb，deoxy-Hb，また，これらを合わせた総ヘモグロビン濃度（total-Hb）の 3 つの Hb の相対的な濃度変化を推定している [11]．これらの指標は，間接的な脳の動きを反映していると考えられている．

表 6.1 ETG-7100 の主な仕様

計測項目	酸素化ヘモグロビン濃度変化 還元ヘモグロビン濃度変化 総ヘモグロビン濃度変化
光源	半導体レーザ 2 波長 (695nm, 830nm)
光検出器	24 個
同時計測点数	72 点
光ファイバー	送信用 24 本／受信用 24 本
ホルダ	4×4(3 個), 3×5(3 個)
サンプリング時間	0.1～10 秒 (任意設定可能)
使用環境	周囲温度 +5～+35℃ 相対湿度 30～75%
外形寸法	600 (W) × 990 (D) × 1340 (H) mm

NIRS による計測の長所は，無侵襲に計測でき，被検者への拘束性も低く，繰り返し，長時間の計測が可能なことなどが挙げられる．また，同じ原理を利用した fMRI と PET に比べ時間分解能力に優れている (10Hz)．短所は，fMRI に比べ

空間分解能が低く、fMRI のように脳機能部位の詳細な解剖学的位置づけが困難であり、脳深部や小脳の計測ができない。

NIRS による計測は、安全・簡便に、より自然な環境下で計測できるため[12, 13]、臨床医学だけでなく、脳・認知科学や教育科学など広範な応用分野が期待され、多数の研究が行なわれている。NIRS による計測の信頼性[14]、変異性[15]、再現性[16, 17]について検証されている。脳機能部位の解剖学的位置づけが困難である問題に対して、Okamoto らは、脳波計測国際 10-20 システムの基準点における頭表-脳表対応基本データを取得し、NIRS 測定のみで脳機能マッピングを行うための確率的脳表-頭表投影法を開発した[18, 19]。NIRS の計測信号の意味について、Haida により、NIRS と fMRI との同時測定で、oxy-Hb と total-Hb 信号は fMRI と用意の相関があり、deoxy-Hb 信号は fMRI と用意の相関がないと報告されている[20]。また、NIRS による計測のデータ解析においては、空間分解スペクトル解析 (spatially resolved spectral analysis) [21]、一般線形モデル[21, 22]などの手法が適用されている。

本論文は、NIRS 法を用いて視覚補間における後頭葉と前頭葉両側のヘモグロビンを計測することで、視覚補間に関わる脳部位を考察し、視覚補間の脳活性化への有効性を検証する。

6.4 視覚補間に従う視覚野と前頭前野の賦活に関する検討

完全な物体を認知するより，不完全な物体を認知する方が，多くの脳の活動が必要であるということはわかっているが，これは，脳血流にどのように反映されるかは，まだ明らかにされていない．本実験では，NIRS を用いて完全な文字と不完全な文字の識別に従う視覚野と前頭前野のヘモグロビン濃度変化を計測することで，視覚補間に関わる脳部位を考察し，視覚補間の脳活性化への有効性について検討する．

6.4.1 刺激信号

実験で使われた刺激信号の完全な文字は，第 2 章に述べた文字イメージであった．不完全な文字は第 2 章に述べた抹消処理により生成された．抹消する長方形の長さを 8～16 ピクセル，広さを 4～8 ピクセルの範囲からランダムで選ぶことにした．抹消比率は 0.90 とした．完全な文字と不完全な文字の例を，図 6.2 に示す．

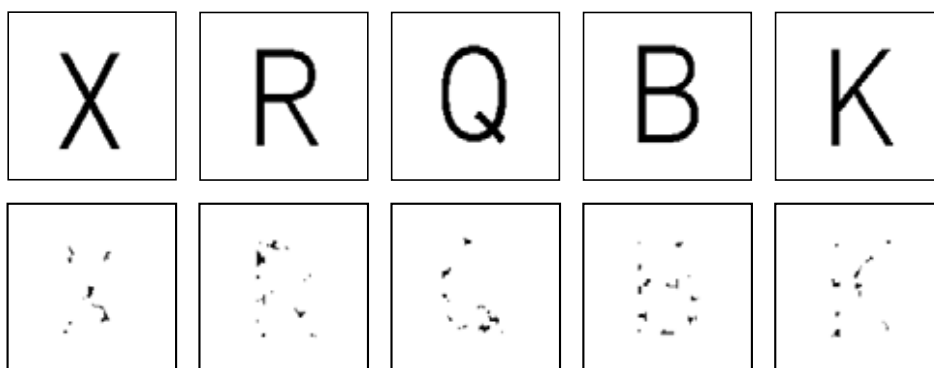


図 6.2 刺激信号の例

6.4.2 被験者

被験者は，視力あるいは矯正視力の良い，右利きの高知工科大学の学部生と院生 13 人であった．被験者には，実験の目的ならびに内容について十分な説明を行い，参加への同意を得た．

年齢：21–24 歳，平均年齢 21.8 歳，標準偏差 1.9 歳．

性別：男性 13 人

6.4.3 光ファイバーの装着



図 6.3 プローブの装着

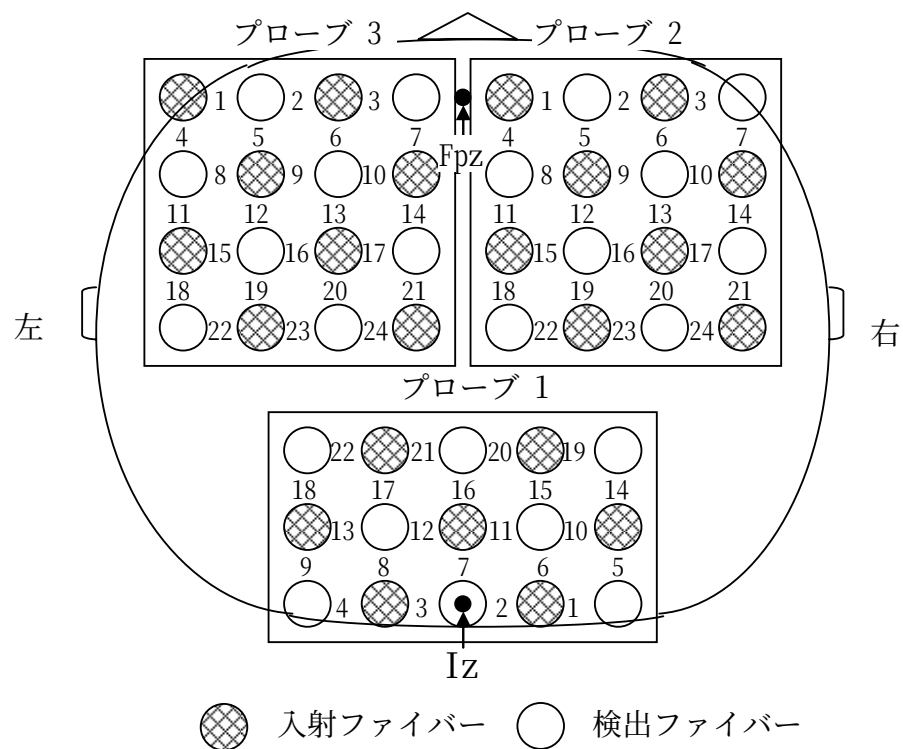


図 6.4 チャンネル番号

実験では，図 6.3 に示すように国際 10-20 システム[23]に準じてプローブを配置した．前頭前野を計測するために，二つの 4×4 のホルダを隣接して固定し，2 つのホルダの前部の中間点を国際 10-20 システムの Fpz に合わせ，前頭の両側

を覆った。視覚野を計測するために、一つの 3×5 のホルダを、中部の最下の検出ファイバーを国際 10-20 システムの Iz に合わせ、後頭に装着した。入射ファイバーが図 6.3 の赤い穴に差し込まれ、検出ファイバーが青い穴に差し込まれた。隣接した赤い穴と青い穴の中間点は、酸素化および還元ヘモグロビン濃度の変化を測定するチャンネルと呼ばれる。各チャンネルの番号を、図 6.4 に示す。図 6.4 に示したように、実験では、前頭左右各 24 チャンネルと後頭 22 チャンネル、計 70 チャンネルで同時に計測が行なわれた。

6.4.4 実験手順

実験手順は、図 6.4 に示すように、設定された。レストとタスク A とタスク B の内容は、次の通りである。

レスト：何も考えずに安静する。

タスク A：完全な文字を識別する。

タスク B：不完全な文字を識別する。

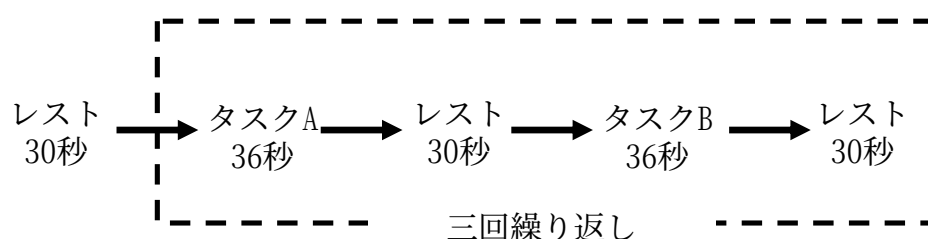


図 6.4 実験手順

実験においては、まず、30 秒安静し、次に、30 秒の安静を挟んで 36 秒の完全な文字識別と 36 秒の不完全な文字識別を 3 回繰り返した。タスク A とタスク B において、文字ごとの表示時間は 1200ms と設定した。つまり、タスク毎に、30 回刺激信号を認知させた。実験中、表示時間の間に、声で回答することとした。声で回答する場合でも脳の活動は必要であるため、実験の前に、被験者に、「必ず、声で回答すること。どうしても分らない場合はあてずっぽうに答えてもいい」との説明が行なわれた。このため、実験中回答による脳血流への影響

は、完全な文字の識別の場合と不完全な文字の識別の場合と同じであり、タスクによる脳血流の違いが、主に視覚補間によりもたらされ则认为られる。

6.4.5 結果及び考察

今までの報告により、NIRS による計測信号の oxyHb は、deoxyHb より、変異性が低く [15]、再現性が高く [16, 17]、fMRI 計測結果との相関が高い [20] ため、本論文では、分析対象を oxyHb に限定した。実験中、体動や髪の毛などによるノイズが計測結果に大きく影響したので、ゆらぎの大きいチャンネルはノイズが入ったと見做し、無効にした。残されたデータは、光トポグラフィ装置の解析ソフトウェアにより加算平均された後、エクセルファイルに導出し、SPSS により解析された。加算平均において、パラメーターは次のように設定した。Analysis Mode : Integral, Pretask Period : 9 秒, Task Period : 36 秒, Recovery Period : 12 秒, Posttask Period : 7 秒。図 6.6 に示したように、加算平均されたデータは計 64 秒であった。

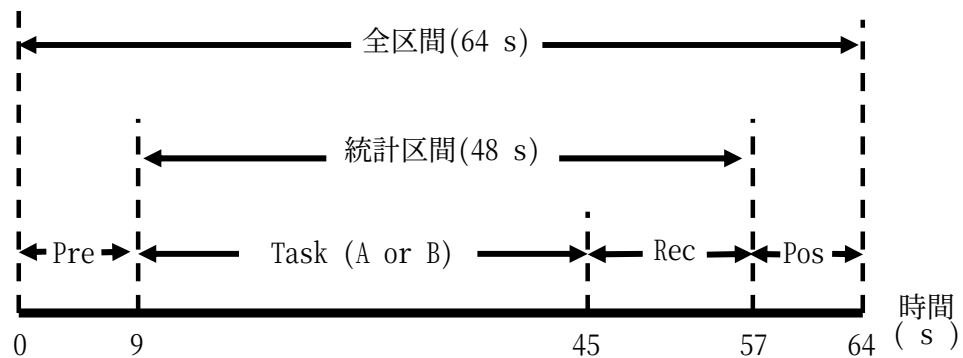


図 6.6 統計区間

本論文は、図 6.6 に示したように、Task Period と Recovery Period を統計空間として、各チャンネルにおいて、タスク B とタスク A における 13 人の被験者の平均 oxyHb 濃度の差 (B-A) を求めた。また、13 人のタスク B とタスク A における平均 oxyHb 濃度における対応のある T 検定により、有意水準を計算した。後頭、右前頭、左前頭、各チャンネルにおける平均 oxyHb 濃度の差とその有意水準を、それぞれ表 6.2、表 6.3、表 6.4 に示す

表 6.2 後頭のチャンネルにおける平均 oxyHb 濃度の差とその有意水準

01*20	02*30	03*30	04*5	05	06*30	07	08*5
0.041	0.042	0.056	0.066	0.026	0.046	0.024	0.091
09*10	010	011	012	013	014*30	015	016*30
0.062	0.017	-0.007	0.030	0.036	0.035	0.012	0.037
017*30	018	019	020*30	021*30	022*30		
0.033	0.023	0.023	0.081	0.045	0.029		

表 6.3 右前頭の各チャンネルにおける平均 oxyHb 濃度の差とその有意水準

R1	R2*10	R3*20	R4	R5*20	R6*1	R7*5	R8
0.018	0.046	0.051	0.008	0.039	0.129	0.093	0.013
R9*10	R10*1	R11	R12	R13*1	R14*5	R15*30	R16*10
0.039	0.159	0.016	0.014	0.098	0.088	0.021	0.037
R17*5	R18*10	R19*20	R20*5	R21*5	R22	R23*20	R24
0.094	0.044	0.035	0.057	0.060	0.018	0.032	0.026

表 6.4 左前頭の各チャンネルにおける平均 oxyHb 濃度の差とその有意水準

L1*20	L2	L3	L4*5	L5*5	L6	L7	L8*1
0.069	0.025	-0.027	0.095	0.093	0.029	-0.029	0.164
L9*10	L10	L11*5	L12*5	L13*30	L14	L15*5	L16
0.053	0.031	0.145	0.111	0.030	0.011	0.120	0.032
L17	L18*10	L19*30	L20*20	L21	L22	L23	L24
0.008	0.071	0.036	0.033	n/a	n/a	n/a	n/a

単位：[mM・mm], n/a：無効, *1：有意水準 $p<0.01$, *5：有意水準 $p<0.05$,
 *10：有意水準 $p<0.10$, *20：有意水準 $p<0.20$, *30：有意水準 $p<0.30$



●有意水準 $p < 0.01$ ●有意水準 $p < 0.05$ ●有意水準 $p < 0.10$
 ●有意水準 $p < 0.20$ ●有意水準 $p < 0.30$

図 6.7 有意差のある領域

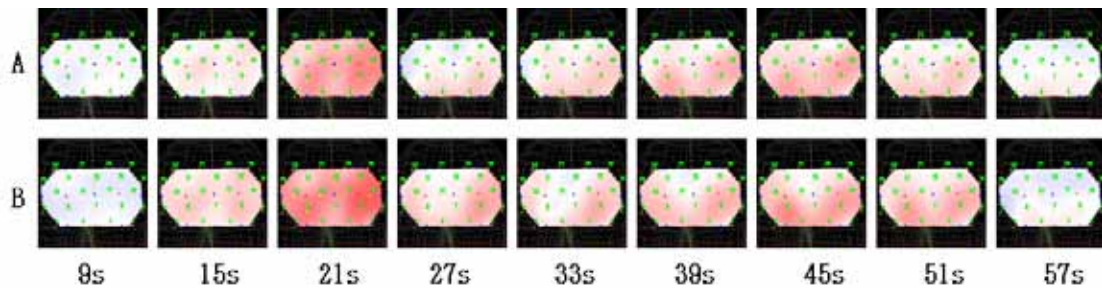


図 6.8 後頭における脳血流の変化

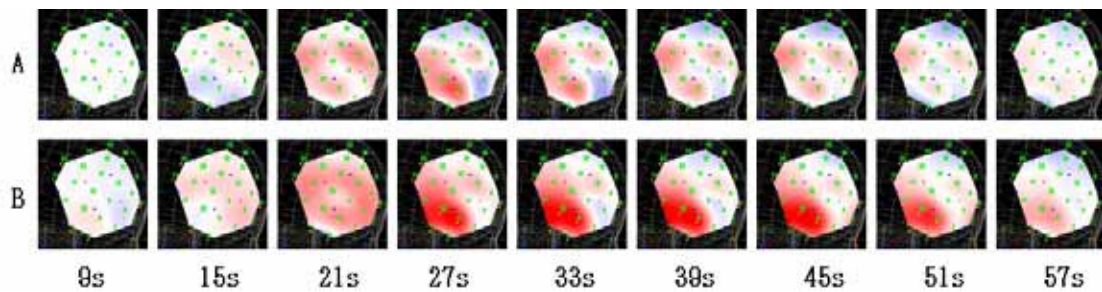


図 6.9 右前頭における脳血流の変化

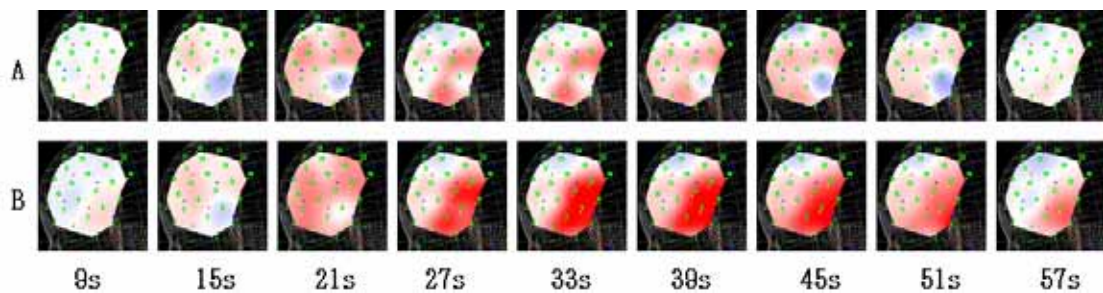


図 6.10 左前頭における脳血流の変化

表 6.2, 表 6.3, 表 6.4 に示した有意差のあるチャンネルの位置は, 図 6.7 に示す. 表 6.2, 表 6.3, 表 6.4 により, 後頭において, 主にチャンネル 1 とチャンネル 4, 8 とチャンネル 21 を中心に, 右前頭において, 主にチャンネル 6, 7, 10, 13, 14 を中心に, 左前頭において, 主にチャンネル 4, 5, 8, 11, 12 を中心に有意差があった. 1 人の被験者を例として, タスク A とタスク B の開始から, 6 秒ごとに, 後頭, 右前頭, 左前頭における脳血流変化を図 6.8, 図 6.9, 図 6.10 に示す.

前頭両側において, 有意差のあるチャンネルは Brodmann Area の Area 44, 45, 46, 47 を記録していたと推定される[18]. これらの領域には, 視覚認知における視覚ワーキングメモリが存在しており, 高次視覚認知に関する分類, 推測, 判断の役割は果たしていると言われた[24–26]. 言語発声に必要な口から口頭の筋を統合支配する運動性言語中枢も同じ領域に存在する[27]. ただし, 本実験では, タスク A とタスク B における回答速度が同じだから, 実験中回答による脳血流への影響は, 完全な文字の識別の場合と不完全な文字の識別の場合と同じであり, タスクによる脳血流の違いが, 主に視覚補間によりもたらされると考えられる. したがって, 実験結果により, 不完全な文字の識別には, 完全な文字の識別により, 前頭葉の両側が, 深く関与していることが示された.

後頭において, 有意差のあるチャンネルは Brodmann Area の Area 17, 18, 19 を記録していたと推定される[18]. これらの領域には, 一次視覚野, 二次視覚野, 三次視覚野が存在しており, 視覚認知の初期段階の色・形態視情報と空間・運動視情報がこれらの領域で処理される[24]. 実験結果により, 不完全な文字の識別には, 完全な文字の識別により, 後頭葉の視覚野が, 深く関与していることが示された.

また, 表 6.2, 表 6.3, 表 6.4 に示したように, 前頭葉における平均 oxyHb 濃度の差は, 後頭葉における平均 oxyHb 濃度の差より大きく, 有意であることが判った. この実験結果により, 不完全な文字の識別においては前頭葉の活性化をより増強させることが示唆された.

6.5 視覚補間における認知速度の脳血流への影響

第 2 章 2.3 節に述べた実験結果により，被験者の正答率が表示時間の短縮につれ，低くなったことが分かった．同じ刺激信号において，より短時間に認知する時に，一定の時間内処理される情報が多いため，より多くの脳の活動が必要であると考えられる．認知速度がどのように脳血流に影響をおよぼすかは，まだ定量的に明らかにされていない．本実験では，NIRS を用いて異なる速度で不完全な文字を識別することにおける視覚野と前頭前野のヘモグロビン濃度変化を計測することで，視覚補間における認知速度の脳血流への影響を定量的に考察し，認知速度の脳活性化への役割について検討する．

6.5.1 刺激信号

実験で使われた刺激信号の不完全な文字は，第 2 章に述べた抹消処理により生成された．抹消する長方形の長さを 8～16 ピクセル，広さを 4～8 ピクセルの範囲からランダムで選ぶことにした．抹消比率は 0.86 とした．刺激信号の例を，図 6.11 に示してある．

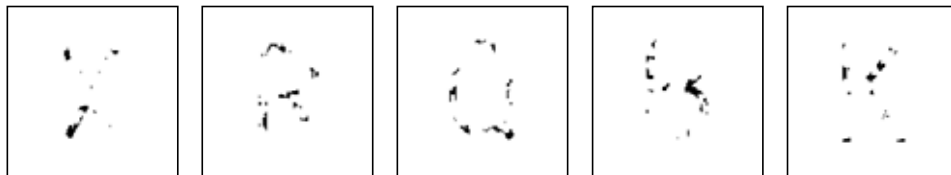


図 6.11 刺激信号

6.5.2 被験者

被験者は，視力あるいは矯正視力の良い，右利きの高知工科大学の学部生と院生 13 人であった．被験者には，実験の目的ならびに内容について十分な説明を行い，参加への同意を得た．

年齢：21－24 歳，平均年齢 21.5 歳，標準偏差 1.0 歳．

性別：男性 13 人

6.5.3 光ファイバーの装着



図 6.12 プロブの装着

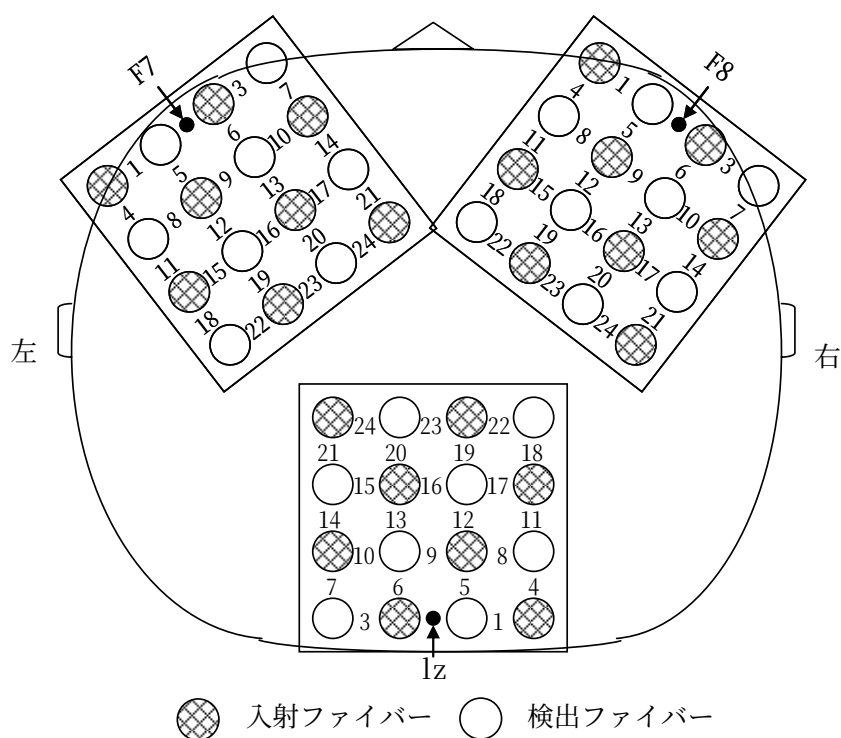


図 6.13 チャンネル番号

実験では、図 6.12 に示すように国際 10-20 システム[23]に準じてプロブを配置した。前節の実験結果により、不完全な文字の識別には、完全な文字の識別により、前頭葉の両側と後頭葉の視覚野が、深く関与していることが示された。したがって、本実験では、前頭葉の両側を計測するために、二つの 4×4 の

ホルダの前部の中間点を、それぞれ国際 10-20 システムの F7 と F8 に合わせ、前頭の両側を覆った。視覚野の頭頂に隣接する領域を計測するために、一つの 4×4 のホルダを、下部の中間点を国際 10-20 システムの Iz に合わせ、後頭に装着した。入射ファイバーが図 6.12 に示した赤い穴に差し込まれ、検出ファイバーが青い穴に差し込まれた。各チャンネルの番号を、図 6.13 に示す。実験では、前頭左右と後頭各 24 チャンネル、計 72 チャンネルで同時に計測が行なわれた。

6.5.4 実験手順

実験手順は、図 6.4 に示すように、設定された。レストとタスク A とタスク B の内容は、次の通りである。

レスト：何も考えずに安静する。

タスク A：不完全な文字を高速で識別する（表示時間 1000ms）。

タスク B：不完全な文字を低速で識別する（表示時間 3000ms）。

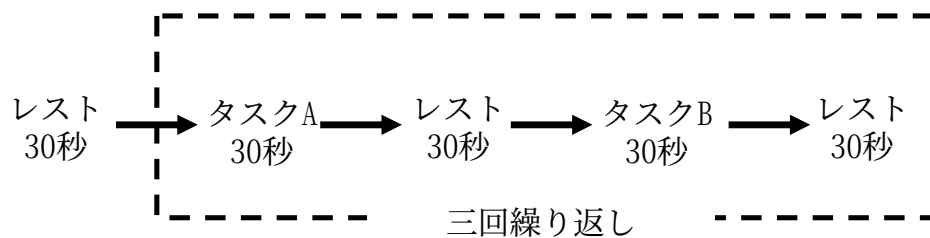


図 6.14 実験手順

実験においては、まず、30 秒安静し、次に、30 秒の安静を挟んで 30 秒の完全な文字識別と 30 秒の不完全な文字識別を 3 回繰り返した。タスク A において、文字ごとに表示時間は 1000ms と設定された。タスク B において、文字ごとに表示時間は 3000ms と設定した。タスク A では、30 回刺激信号が認知され、タスク B では、10 回刺激信号が認知された。タスク A の認知速度は、タスク B の認知速度の 3 倍であった。実験中、表示時間の間に、声で回答することとした。声で回答する場合でも脳の活動は必要であるため、実験の前に、被験者に、「必ず、声で回答すること。どうしても分からない場合はあてずっぽうに答えてもいい」

との説明が行なわれた。つまり、実験中タスクによる脳血流の違いが主に視覚補間と回答の速度によりもたらされ则认为られる。

6.5.5 結果及び考察

本実験では、前節の実験と同じように、分析対象を oxyHb に限定した。実験中、体動や髪の毛などによるノイズが計測結果に大きく影響したので、ゆらぎの大きいチャンネルはノイズが入ったと見做し、無効にされた。残されたデータは、光トポグラフィ装置の解析ソフトウェアにより加算平均された後、エクセルファイルに導出し、SPSS により解析された。加算平均において、パラメータは次のように設定した。Analysis Mode : Integral, Pretask Period : 9 秒, Task Period : 30 秒, Recovery Period : 12 秒, Posttask Period : 7 秒。図 6.15 に示したように、加算平均されたデータは計 58 秒であった。

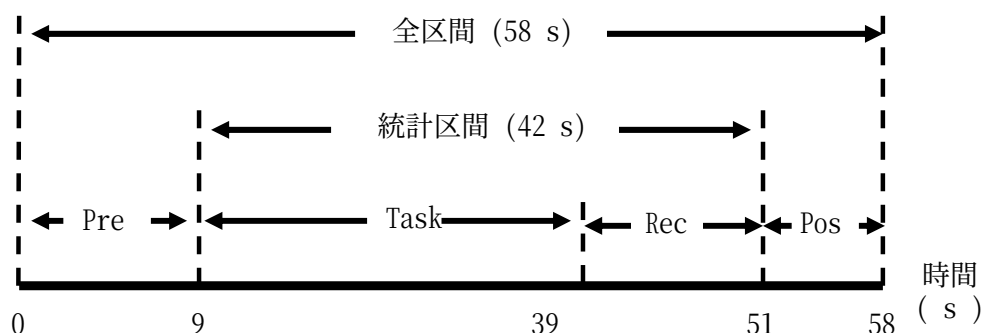


図 6.15 統計区間

本論文は、図 6.15 に示したように、Task Period と Recovery Period を統計空間として、各チャンネルにおいて、タスク B とタスク A における 13 人の被験者の平均 oxyHb 濃度の差 (A-B) を求めた。また、13 人のタスク B とタスク A における平均 oxyHb 濃度における対応のある T 検定により、有意水準を計算した。後頭、右前頭、左前頭、各チャンネルにおける平均 oxyHb 濃度の差とその有意水準を、それぞれ表 6.5、表 6.6、表 6.7 に示す。表 6.5、表 6.6、表 6.7 に示した有意差のあるチャンネルの位置は、図 6.16 に示す。

表 6.5 後頭の各チャンネルにおける平均 oxyHb 濃度の差とその有意水準

01*5	02*5	03*10	04*1	05*1	06*1	07*5	08*1
0.142	0.099	0.088	0.103	0.138	0.112	0.102	0.12
09*1	010*1	011*1	012*1	013*1	014*5	015*1	016
0.121	0.116	0.112	0.106	0.089	0.079	0.12	0.032
017*5	018*1	019	020	021*1	022*1	023*5	024
0.059	0.127	n/a	n/a	0.082	0.084	0.06	n/a

表 6.6 右前頭の各チャンネルにおける平均 oxyHb 濃度の差とその有意水準

R1*10	R2*20	R3	R4*30	R5*30	R6*30	R7	R8
0.078	0.059	0.005	0.043	0.032	0.04	0.005	0.001
R9	R10*10	R11	R12	R13	R14*10	R15	R16
0.02	0.062	0.013	0.012	0.023	0.052	0.008	-0.001
R17*10	R18	R19*10	R20	R21	R22	R23	R24
0.032	n/a	0.04	-0.005	n/a	n/a	n/a	n/a

表 6.7 左前頭の各チャンネルにおける平均 oxyHb 濃度の差とその有意水準

L1	L2*1	L3	L4	L5*30	L6*5	L7	L8*20
0.011	0.092	0.028	0.016	0.034	0.054	0.013	0.061
L9*10	L10	L11*10	L12	L13*10	L14	L15*5	L16
0.05	0.015	0.042	0.013	0.033	0.003	0.04	0.038
L17	L18*10	L19*30	L20	L21	L22	L23	L24
0.019	0.032	0.036	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

単位：[mM・mm], n/a：無効, *1：有意水準 $p<0.01$, *5：有意水準 $p<0.05$,

*10：有意水準 $p<0.10$, *20：有意水準 $p<0.20$, *30：有意水準 $p<0.30$



●有意水準 $p < 0.01$ ●有意水準 $p < 0.05$ ●有意水準 $p < 0.10$
 ●有意水準 $p < 0.20$ ●有意水準 $p < 0.30$

図 6.16 有意差のある領域

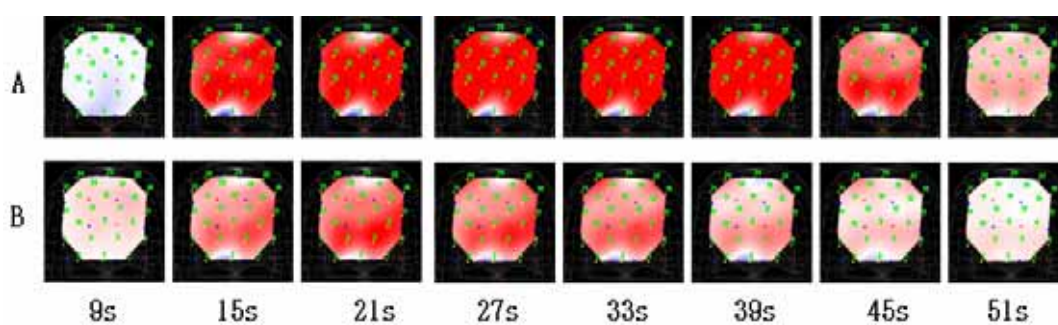


図 6.17 後頭における脳血流の変化

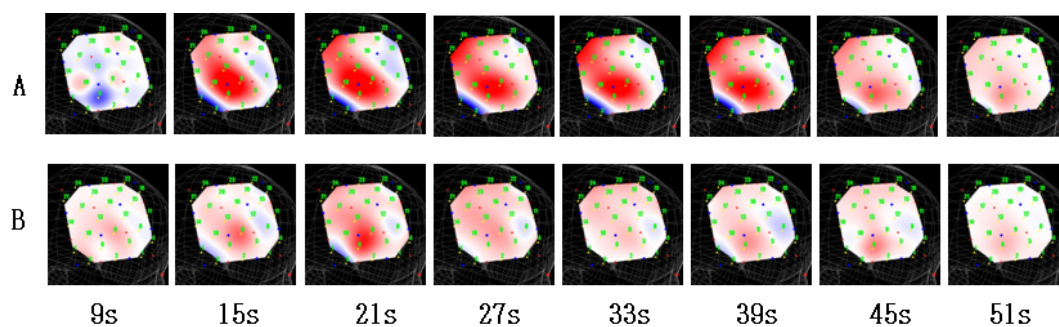


図 6.18 右前頭における脳血流の変化

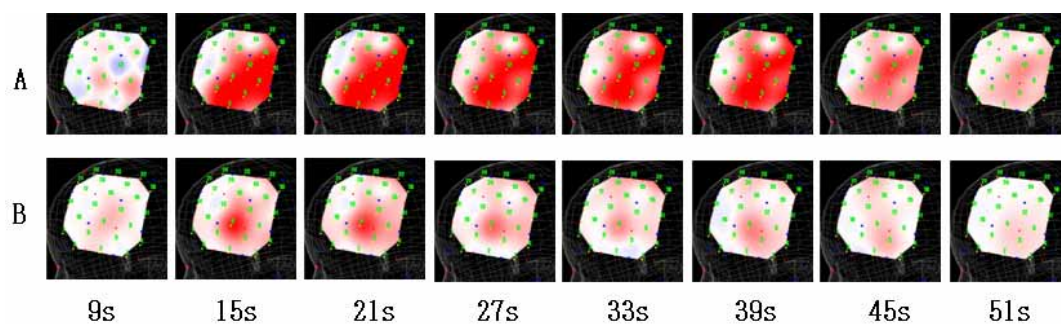


図 6.19 左前頭における脳血流の変化

表 6.5 により、後頭において、全てのチャンネルに有意差があった。表 6.6, 表 6.7 により、右前頭において、主にチャンネル 1, 2, 10, 14, 17 を中心に、左前頭において、主にチャンネル 2, 6, 9, 11, 15 を中心に有意差があった。1 人の被験者を例として、タスク A とタスク B の開始から、6 秒ごとに、後頭、右前頭、左前頭における脳血流変化を図 6.17, 図 6.18, 図 6.19 に示す。

前頭両側において、前節の実験と同じように、有意差のあるチャンネルは Brodmann Area の Area 44, 45, 46, 47 を記録していたと推定される[18]。これらの領域は、高次視覚認知に関する分類、推測、判断の役割は果たしており、言語発声に必要な口から口頭の筋を統合支配する運動性言語中枢も同じ領域に存在する。本実験では、タスク A の認知速度がタスク B の認知速度より速いとともに、タスク A における回答速度も、タスク B における回答速度より、速かった。したがって、本実験において、前頭葉両側におけるタスクによる脳血流の違いが、視覚補間によりもたらされるか、回答によりもたらされるかは、はっきり区別できない。

一方で、後頭においては、全てのチャンネルに有意差があった。つまり、不完全な文字を高速で識別する時、低速で識別する時より、後頭葉にある視覚連合野は全て活性化されたことが示された。具体的に、ホルダ下部にあるチャンネルにおける平均 oxyHb 濃度の差は、ホルダ上部にあるチャンネルにおける平均 oxyHb 濃度の差より、大きかった。これは、後頭葉下部にある一次視覚野の脳血流は、認知速度の変化により、影響されやすいことが示唆された。

また、全体において、後頭葉における平均 oxyHb 濃度の差は前頭葉における平均 oxyHb 濃度の差より大きく、有意であることが判った。この実験結果は、刺激信号が同じであるとすれば、認知速度が高くなると、後頭葉の脳血流の増加は、前頭葉より著しいことが示された。つまり、速い文字識別においては後頭葉の活性化をより増強させることが示された。

6.6 結言

本章では、視覚補間に関与する脳部位を考察し、視覚補間の脳活性化への有効性を検証するために、NIRS 法を用い、視覚補間における後頭葉と前頭葉両側のヘモグロビン濃度変化を計測した。

実験一は、完全な文字と不完全な文字の識別に従うヘモグロビン濃度の差を考察した。実験の結果、平均的に完全な文字の識別より不完全な文字の識別に従う oxyHb 濃度が高かった。また、前頭葉における平均 oxyHb 濃度の差は、後頭葉における平均 oxyHb 濃度の差より大きく、有意であった。その結果は、不完全な文字の識別において前頭前野の活性化をより増強させることが示された。

実験二は、不完全な文字の識別において、速い識別と遅い識別に従うヘモグロビン濃度を計測することで、認知速度の脳血流への影響を考察した。実験の結果、平均的に遅い文字識別より速い文字識別に従う oxyHb 濃度が高かった。また、後頭葉における平均 oxyHb 濃度の差は前頭葉における平均 oxyHb 濃度の差より大きく、有意であった。その結果、速い文字識別においては後頭の活性化をより増強させることが示された。

参考文献

1. 日本視覚協会（編）視覚情報処理ハンドブック，朝倉書店，2000.
2. M. Mishkin, L.G. Ungerleider and K.A. Macko: Object vision and spatial vision: two cortical pathways. Trends in Neuroscience. vol.6, pp. 414-417, 1983.
3. D. J. Felleman and D. C. Van Essen: Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex, Cerebral Cortex, vol.1, no.1, pp.1-47; 1991.
4. E. Koechlin, G. Basso, P. Pietrini, S. Panzer and J. Grafman: The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition, Nature, vol.399, pp.148-151, 1999.
5. E. E. Smith, J. Jonides: Storage and executive processes in the frontal lobes, Science, vol.283. no.5408, pp.1657-1661, 1999.
6. F.M. Mottaghy, M. Gangitano¹, R. Sparing¹, B.J. Krause and A. Pascual-Leone¹ : Segregation of areas related to visual working memory in the prefrontal cortex revealed by rTMS, Cerebral Cortex, vol. 12, no. 4, pp.369-375, 2002.
7. I. Opris and C. J. Bruce: Neural circuitry of judgment and decision mechanisms, Brain Research Reviews, vol. 48, no.3, pp.509-526, 2005.
8. E.K. Miller, J.D. Cohen, “An integrative theory of prefrontal cortex function” , Annual Review of Neuroscience, vol.24, pp.167- 202, 2001.
9. A. Villringer: Understanding functional neuroimaging methods based on neurovascular coupling, Advances in Experimental Medicine and Biology, vol.413, pp.177-193, 1997.
10. 光トポグラフィの原理, <http://www.hitachi-medical.co.jp/info/opt/index.html>.
11. 山下 優一, 牧 敦・山本 剛, 小泉 英明, 光による無侵襲脳機能画像化技術 — 「光トポグラフィ」 —. 分光研究, vol.49, no.6, pp.275- 286, 2000.

12. M. Suzuki , I. Miyai, T. Ono, I. Oda and I. Konishi et al., T. Kochiyama, K. Kubota, “ Prefrontal and premotor cortices are involved in adapting walking and running speed on the treadmill: an optical imaging study ” , NeuroImage, vol.23, no.3, pp.1020– 1026, Nov. 2004.
13. M. Okamoto, H. Dan, K. Shimizu, K. Takeo and T. Amita et al., “ Multimodal assessment of cortical activation during apple peeling by NIRS and fMRI. ” Neuroimage, vol.21, no.4, pp.1275-1288, Apr. 2004.
14. M. M. Plichta , M. J. Herrmann , C. G. Baehne , A-C. Ehlis , M. M. Richter , P. Pauli and A. J. Fallgatter: Event-related functional near-infrared spectroscopy (fNIRS): are the measurements reliable?, Neuroimage, vol.31, no.1, pp.116-124, 2006.
15. H.Sato, Y.Fuchino, M.Kiguchi, T.Katura, A.Maki, T.Yoro, and H.Koizumi: Intersubject variability of near-infrared spectroscopy signals during sensorimotor cortex activation, Journal of Biomedical Optics, vol.10, no.4, 044001, 2005.
16. H. Sato, M. Kiguchi, A. Maki, Y. Fuchino, A. Obata, T. Yoro, and H. Koizumi: “ Within-subject reproducibility of near-infrared spectroscopy signals in sensorimotor activation after 6 months ” , Journal of Biomedical Optics, vol.11, no.1, 014021, 2006.
17. M. M. Plichta, M. J. Herrmann, C. G. Baehne, A-C. Ehlis, M. M. Richter, P. Pauli and A. J. Fallgatter: Event-related functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) based on craniocerebral correlations: Reproducibility of activation?, Human Brain Mapping, vol.28, no.8, pp.733-741, 2006.
18. M. Okamoto, H. Dan, K. Sakamoto, K. Takeo, K. Shimizu, S. Kohno, I. Oda, S. Isobe, T. Suzuki, K. Kohyama and I. Dan: Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the

- international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping, *Neuroimage*, vol.21, no.1, pp.99-111, 2004.
19. M. Okamoto and I. Dan: Automated cortical projection of head-surface locations for transcranial functional brain mapping. *NeuroImage*, vol.26, no.1, pp.18-28, 2005.
20. M. Haida: Implication of a signal from brain optical topography, *Medix*, vol.36, pp.17-22, 2002.
21. M. L. Schroeter, M. M. Bucheler, K. Muller, K. Uludag, H. Obrig, G. Lohmann, M. Tittgemeyer, A. Villringer and D. Yves von Cramon: Towards a standard analysis for functional near-infrared imaging, *NeuroImage*, vol.21, no.1, pp.283-290, 2004.
22. M.M. Plichta, S. Heinzel, A.-C. Ehlis, P. Pauli and A.J. Fallgatter: Model-based analysis of rapid event-related functional near-infrared spectroscopy (NIRS) data: A parametric validation study, *NeuroImage*, vol 35, no.2, pp.625-634, 2007.
23. H. H. Jasper: The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, vol.10, pp.370-375 1958.
24. Brodmann area, http://en.wikipedia.org/wiki/Brodmann_area.
25. P. S. Goldman-Rakic, Cellular basis of working memory, *Neuron*, vol.14, no.3, pp.477-485, 1995.
26. S Funahashi and K Kubota, Working memory and prefrontal cortex, *Neuroscience Research*, vol.21, no.1, pp.1-11, 1994.
27. W. Penfield and L. Roberts: *Speech and Brain Mechanisms*, Princeton University Press, Princeton, 1959

第7章

結論

本論文は、脳内視覚認知における統覚と連合に個人差があるという事実に着目して、視覚認知の連合機能の一つである補間能力を通して、新しい脳健康検査法と脳機能増進法を研究している。

視覚認知における補間能力により、視力検査表による視力検査のように、簡単に脳の視覚情報処理能力を検査及び向上させる方法を実現することを目指し、本論文は、まず補間能力の計測実験を開発し、実験結果による補間能力の定量化法を提案し、年齢と補間能力との相関性を計測した。その相関性により、脳内視覚情報処理能力の評価法を提案した。また、視覚補間を視覚情報処理における高次脳の健康増進実験を行なうことで、視覚補間の脳機能増進への有効性を考察した。さらに NIRS 法を用いて視覚補間における脳の血流量を測定することにより視覚補間における脳の賦活部位を考察し、視覚補間の脳活性化への有効性を検討した。

以下に本論文における各章での内容と考察・結論をまとめておく。

第2章では、一部分抹消された不完全な英語の文字をテスト情報として、補間能力の計測実験を開発した。実験において、ランダムな順で一つの文字イメージを選び、抹消処理し、一定の時間で被験者に識別させる。抹消単位（長方形のサイズ）と抹消比率と表示時間という三つのパラメーターが、どのように被験者の補間能力に影響するかを検討するために、実験を行なった。実験結果は、抹消単位の拡大と抹消比率の増加と表示時間の短縮にしたがって、被験者の正答率が低くなった。文字の特徴と特徴間の関連性が、不完全な文字の識別にとって重要であることを示した。

人間は物体の特徴により物体を記憶したり識別したりしている。物体に含まれる複数の特徴の重要さが異なる。文字にとって、ある文字と他の文字との間で共有しない特徴がこの文字の識別にとって最も重要であり、特徴を共有した

文字が多ければ多いほどその特徴が不重要になると考えている。本論文は、情報理論の概念から、文字特徴の重要さを計算し、不完全な文字の識別における補間能力を定量的に定義した。実験結果により、提案した定量化法の妥当性を検証した。本定量化法では、重要性の高い部分が抹消された刺激信号に対して、正しく識別できれば、その識別における補間能力がより高く評価され、重要性の低い部分が抹消された刺激信号に対して、正しく識別できれば、その識別における補間能力がより低く評価された。したがって、本定量化法は、正答率よる評価より、精確に補間能力を評価できると考えられる。

第 3 章では、第 2 章に述べた計測実験と補間能力の定量化法により、補間能力と年齢との相関性計測した。実験結果により、抹消比率が 0.5 である場合、年齢が増加しても、補間能力は殆ど変らないが、抹消比率が増えると、年齢の増加にしたがう補間能力の低下傾向が明らかになった。また、加齢に伴う補間能力の低下が急になることが判った。補間能力は、加齢に伴い低下すると同時に、同じ年代の被験者の補間能力における個人差も拡大する傾向が実験結果で示された。今までの加齢による視覚システムの変化に関する研究成果を考察することで、それらの実験結果が、加齢に伴う脳の視覚情報処理能力の低下を反映していると考えられる。

第 4 章では、第 3 章で計測された補間能力と年齢との相関性に基づき、脳の視覚情報処理能力への評価法を提案した。具体的に、補間能力が同じである被験者の年齢の確率分布、と年齢が同じである被験者の補間能力の確率分布により、被験者の補間能力は、「かなり低い」、「やや低い」、「普通」、「やや高い」、「かなり高い」という 5 つのレベルで評価される。第 3 章の計測データを利用し、評価法を実現し、有効性を検討した。また、本論文の補間能力により、脳の認知障害を予知する実現性を考察するために、補間能力と認知障害との相関を計測するシステムを構築した。

第 5 章では、2 つの実験により、視覚補間の脳機能増進への有効性を検討した。視覚補間による訓練にしたがう補間能力増進の検討実験では、三週間にわたって、同じ抹消方法で抹消された文字を被験者に識別させることにより、訓練す

ることで、被験者の補間能力が向上したことが、実験結果により、示された。視覚補間により、脳の関与した部位を活発化させ、これらの部位の機能を向上させる可能性が示された。視覚補間による訓練方法の検討実験では、二組の被験者をそれぞれ高抹消比率と低抹消比率で生成された刺激信号を用い訓練することで、実験に参加した20代の被験者に対して、高抹消比率による訓練は、有意な訓練結果が得られやすいことが示された。これは、視覚補間による訓練を行なうときに、被験者の補間能力にしたがい、訓練の難易程度を設定すべきであることを示した。

第6章では、NIRS法を用い、2つの実験において、視覚補間における後頭葉と前頭葉両側のヘモグロビン濃度変化を計測することで、視覚補間に関与する脳部位を考察し、視覚補間の脳活性化への有効性を検証した。実験一では、完全な文字と不完全な文字の識別において、平均的に完全な文字の識別より不完全な文字の識別に従うoxyHb濃度が高かった。また、前頭葉における平均oxyHb濃度の差は、後頭葉における平均oxyHb濃度の差より大きく、有意であった。その結果は、不完全な文字の識別において前頭前野の活性化をより増強させることが示された。実験二では、不完全な文字の識別において、認知速度の脳血流への影響を考察した。実験の結果、平均的に遅い文字識別より速い文字識別に従うoxyHb濃度が高かった。また、後頭葉における平均oxyHb濃度の差は前頭葉における平均oxyHb濃度の差より大きく、有意であった。その結果、速い文字識別においては、後頭の活性化をより増強させることが示された。

今後の展開としては、視覚認知における補間能力を用いて、脳内視覚認知の新検査方法の開発を目指し、提案した評価法を用い、大量の実証実験により補間能力と視覚認知障害との相関性を定量的に明らかにする。補間能力と認知症との相関を確認できれば、補間能力に基づいて、簡単に将来認知症にかかる可能性を把握でき、認知障害の予防と早期発見と早期対応を実現できることが期待される。また、より広い年齢範囲、特に高齢者において、視覚補間による脳機能増進実験を行なうことで、視覚補間による新しい脳機能増進法を開発する予定である。

謝辞

三年前、貴重な留学の機会をくださり、本研究に導き、終始御指導ご激励を賜りました高知工科大学知能機械システム工学科王碩玉教授に心より深く感謝いたします。情報出身の筆者に対して、実験現場で本研究の意義を実感させていただき、研究の態度から研究のプロセスまで、熱心かつ厳格な御指導をいただいたおかげで、本論文の研究成果を挙げることができました。特に、研究への興味と熱意の培養を重要視し、「学海無涯楽在其中」の意味を教えていただきました。ご指導を賜りましたことは貴重な財産となりました。これから、さらに成長した姿をお見せできるよう努力していきたいと思います。ここに、改めて心より厚く御礼申し上げます。

高知工科大学大学情報システム工学科篠森敬三教授には、副指導教員と副査として視覚と脳について、多大な助言を賜り、研究者の真剣さを見せていただきました。ここに深く感謝の意を示します。知能機械システム工学科、井上喜雄教授、辻知宏準教授、芝田京子準教授には副査として有益なご助言をしていただき深く感謝します。

高知大学医学部朴啓彰準教授、高知検診クリニック上地清次長、掛橋崇課長、武市昌士技師のお陰で、本研究を一層深めることができ、嬉しく思います共に、感謝を申し上げます。特に朴啓彰準教授から、審査直前長時間にわたり、暖かい激励と研究に対する貴重なご指導を賜りました。また、社会福祉の現場を見せていただいたウエルプラザやまだ荘の方々にも、厚く御礼申し上げます。

高知工科大学知能機械システム工学科王・三浦研究室の三浦直樹助教には、脳について、ご指導をいただき、謝意を申し述べます。研究室先輩の陳貴林氏、溝渕宣誠氏、尚濤氏、于霞氏、陶衛軍氏とは、お互いの研究について意見を交換する多くの機会を持つことができ、生活上もいろいろお世話になりました。ここに感謝の意を表します。日頃、実験に御協力、学会発表や論文査読に御討論御助言をいただいた大学院生や学部生の多くの方々に深謝致します。博士論文

謝辞

修正において貴重な御応援をいただいた研究室秘書中平みれい氏にこころより感謝いたします。

高知工科大学の留学生の方々，特に一緒に来日した宋紅彬氏らのお陰で，楽しい留学生活を送ることができるようになり，心から感謝の意を表します。

本研究の遂行に当たり，高知工科大学から留学生特別コースSSP奨学金をいただき，全力で研究に取り込めるように援助していただきました。高知工科大学に深く感謝いたします。

末筆ながら，二十年以上苦勞して，筆者の学業を支えていただいた父親姜洪書と母親張承臻に心より深く感謝いたします。

本論文に関する研究業績

特許出願

1. 脳内視覚情報処理能力測定システム, 2008 年 1 月 31 日.

研究論文

1. The Human Visual Recognition Ability for Incomplete Letters, Yinlai Jiang, Shuoyu Wang. International Journal of Innovative Computing, Information and Control. Volume 3, Number 5, pp. 1183-1192, October 2007.
2. Measurement and Quantitative Analysis of Human Visual Interpolation Ability for Partially Erased Objects, Yinlai Jiang, Shuoyu Wang. ICIC Express Letters, accepted.

国際発表

1. The Human Visual Recognition Ability for Incomplete Letters, Yinlai Jiang, Shuoyu Wang. First International Conference on Innovative Computing, Information and Control - Volume II (ICICIC'06), pp. 329-332, Beijing, China, Sep. 2006.
2. Brain Enhancement Attempt Based on Visual Recognition, Yinlai Jiang, Shuoyu Wang. Proceedings of the Twelfth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 12th ' 07), pp.715-718, Beppu, Japan, Jan. 2007.
3. Speed dependency of cerebral blood volume changes during visual cognitive activation measured with NIRS, Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Proceedings of the 3rd International IEEE EMBS Conference on Neural

- Engineering, pp.306-309, Hawaii, USA, May, 2007.
4. Toward Evaluation of the Human Visual Interpolation Ability for Partially Erased Objects , Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Proceedings of the 1st International Symposium on Frontier Technology, pp.13-16, Shenyang, China, Aug. 2007.
 5. Measurement and Quantitative Analysis of the Human Visual Interpolation Ability for Partially Erased Objects, Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Proceedings of the Second International Conference on Innovative Computing, Informatio and Control (ICICIC 2007) - Volume 00, pp.4, Kumamoto, Japan, Sep., 2007.
 6. Measurement of Correlation between Age and the Human Visual Interpolation Ability, Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Proceedings of SICE Annual Conference 2007, pp.1548-1551, Takamatsu, Japan, Sep. 2007.

国内発表

1. 人間視覚の補間能力, 姜銀来, 王碩玉. 日本機械学会論文集 no.065-1(' 06-3 中国四国支部第 44 期総会・講演会), pp. 473-474, 広島, 2006 年 3 月.
2. 人間の不完全な文字に対する識別能力, 姜銀来, 王碩玉. 日本機械学会論文集 no.075-1(' 07-3 中国四国支部第 45 期総会・講演会), pp. 467-468, 徳島, 2007 年 3 月.
3. NIRS 法による文字識別に従う視覚野と前頭連合野の賦活に関する検討, 姜銀来, 王碩玉. 第 46 回日本生体医工学会大会論文集, 仙台, 2007 年 4 月.
(ページ数なし)
4. 視覚認知における補間能力の計測と定量化, 姜銀来, 王碩玉. 第 17 回インテリジェントシステムシンポジウム講演論文集, pp.129-132, 名古屋, 2007 年 8 月.

5. 視覚認知における補間能力への評価法の提案, 姜銀来, 王碩玉. 中国四国支部第 46 期総会・講演会, 東広島, 2008 年 3 月発表予定.
6. 脳内視覚情報処理能力の計測と評価, 姜銀来, 王碩玉. 日本知能情報フuzzy学会・ソフトサイエンス研究部会 第 18 回ソフトサイエンス・ワークショップ, 横浜, 2008 年 3 月発表予定.