

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	視覚情報処理に関する人間特性とヒューマン・コンピュータ・インタフェースへの応用に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	伊藤謙治
Author(English)	Kenji Itoh
出典(和文)	学位:工学博士, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第1925号, 授与年月日:1989年3月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:
Citation(English)	Degree:Doctor of Engineering, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第1925号, Conferred date:1989/3/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

視覚情報処理に関する人間特性と
ヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計
への応用に関する研究

伊藤 謙治

1988年12月

視覚情報処理に関する人間特性とヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用に関する研究

目次

第1章 緒論	1
1.1 本論文の背景	1
1.2 マン-マシン・システム設計へのアプローチ	7
1.3 本論文の目的	10
1.4 本論文の構成	13
参考文献	19
第2章 視覚情報処理における認知構造	27
2.1 視覚認知過程の処理構成	27
2.1.1 眼球運動による処理の理解	27
2.1.2 視覚認知過程	28
2.1.3 眼球運動前の注視における処理	31
2.1.4 眼球運動後の注視における処理	33
2.2 視覚情報の獲得	33
2.2.1 表示情報の取り込み	33
2.2.2 視覚情報の生成	34
2.3 眼球運動の判断とプログラミング	35
2.3.1 眼球運動の判断	35
2.3.2 眼球運動のプログラミング	35
2.4 眼球運動	36
2.5 認知情報への変換	36
2.5.1 プロトタイプとの比較	36
2.5.2 認知文字の決定	37
参考文献	38
第3章 視覚的特徴抽出に関する共通因子	41
3.1 序	41

3.2 英文字認知における視覚的特徴抽出	42
3.2.1 英大文字認知実験(実験 3.1)	42
3.2.2 英大文字の視覚的特徴因子	44
3.2.3 視覚的特徴因子による英大文字の分類	46
3.3 文字混同の方向性	48
3.3.1 文字混同の方向性の定義と仮説	48
3.3.2 文字混同方向性モデル	49
3.3.3 文字混同の方向性と視覚的特徴因子の関係	50
3.4 視覚的特徴因子の検証	51
3.4.1 英小文字の視覚的特徴因子	51
3.4.2 英字母国民の視覚的特徴因子	53
3.5 考察	55
3.5.1 視覚的特徴因子と特徴抽出細胞の関係	55
3.5.2 視覚的特徴分析モデル	56
3.5.3 視覚情報の内部表現と VDT 表示文字パターン	57
3.6 結語	58
参考文献	60
第4章 視覚形状に対する処理特性と認知メカニズム	62
4.1 序	62
4.2 ドット文字パターンの認知	63
4.3 ドット文字パターンの認知処理特性	65
4.3.1 構成ドット数による正答率への効果(実験 4.1)	65
4.3.2 パターンによる正答率への効果(実験 4.2)	68
4.3.3 パターンによる処理時間への効果(実験 4.3)	71
4.4 ドット・パターン認知モデル	73
4.4.1 内部表現モデル	73
4.4.2 比較操作モデル	75
4.4.3 文字決定モデル	77
4.5 モデルの検証	77
4.5.1 文字混同の予測	77
4.5.2 他モデルとの比較	79

4.5.3 文字認知時間の予測	81
4.6 結語	82
参考文献	85
第5章 表示位置に対する処理特性と眼球運動判断メカニズム	87
5.1 序	87
5.2 近中心視内の刺激に対する認知構造	88
5.3 眼球注視認知実験	89
5.3.1 実験の種類	89
5.3.2 実験方法	90
5.4 実験結果と仮説の検証	92
5.4.1 刺激提示位置による影響(仮説5.1)	92
5.4.2 認知情報への変換過程(仮説5.2)	94
5.4.3 眼球運動の判断時間(仮説5.3)	95
5.5 文字認知困難度モデル	97
5.5.1 モデルの構築	97
5.5.2 モデルの検証	100
5.6 考察	101
5.6.1 記憶システムと認知との関連	101
5.6.2 文章読み取りへの応用	103
5.7 結語	104
参考文献	106
第6章 VDT 作業における表示情報設計のための視覚認知モデル	108
6.1 序	108
6.2 視覚認知モデル	109
6.2.1 視覚認知過程	109
6.2.2 第1回注視モデル	110
6.2.3 第2回注視モデル	112
6.3 眼球運動を伴う認知処理特性	114
6.3.1 眼球運動認知実験(実験6.1)	114
6.3.2 眼球運動プログラミング実験(実験6.2)	121
6.4 視覚認知モデルの検証	123

6.5 考察	126
6.5.1 眼球運動の判断とプログラミング	126
6.5.2 表示方向の効果	128
6.5.3 視覚認知モデルの適合性	128
6.6 結語	129
参考文献	131
第7章 視覚認知モデルのメニュー検索システムへの応用	133
7.1 序	133
7.2 視覚認知モデルのメニュー検索への応用	134
7.2.1 視覚認知モデルの応用	134
7.2.2 メニュー検索システム	136
7.2.3 メニュー検索モデル	137
7.3 画面フォーマットの設計(応用1)	141
7.3.1 方法	141
7.3.2 結果	143
7.4 メニュー階層構造の設計(応用2)	145
7.4.1 方法	145
7.4.2 結果	147
7.5 考察	148
7.5.1 メニュー検索モデルの修正	148
7.5.2 提案方法の利点	149
7.5.3 メニュー検索システムへの提言	152
7.6 結語	155
参考文献	158
第8章 認知過程におけるコンテキストの効果	160
8.1 序	160
8.2 単語認知過程	161
8.3 単語認知の正確さへの効果	165
8.3.1 単語認知正答率実験(実験8.1)	165
8.3.2 実験結果	170
8.4 単語認知時間への効果	174

8.4.1 単語認知時間実験(実験 8.2)	174
8.4.2 実験結果	175
8.5 考察	177
8.5.1 単語認知と文字認知の比較	177
8.5.2 単語認知における隣接文字の効果	179
8.6 結語	180
参考文献	182
第9章 結論	184
9.1 本論文のまとめ	184
9.2 本論文の成果の応用	188
9.2.1 視覚認知作業への応用	188
9.2.2 コンテキストの利用	190
9.3 本論文における今後の課題	193
参考文献	195
謝辞	196
付録	197
A1 視覚認知作業における精神疲労測定方法	198
A2 人間処理のモデル(“Model Human Processor”)	222
参考文献	230

第1章 緒論

1.1 本論文の背景

近年の情報処理関連の技術革新には、目ざましいものがある。特に、ハードウェア、ソフトウェアを含めたコンピュータの技術進歩の速度が、非常に速いことが目につく。現在のコンピュータの処理方式の原型である蓄積プログラム方式が、von Neumann によって提案され、最初の電子計算機である ENIAC が Eckert らの手によって、1946 年に完成してから、まだ 40 年を少し経過しただけである。その間に、コンピュータは記憶容量、処理速度ともに、驚くべき進歩を遂げている。このような技術的進歩に伴って、使用形態、処理の規模などにより、コンピュータの形態も汎用計算機だけでなく、ミニコンピュータ、マイクロコンピュータ、オフィスコンピュータ、ワークステーションなど、多種多様に展開されてきている。

コンピュータの成長の段階を振り返ってみると、わずか数年前まではその技術開発の目標は、処理の高速化、大容量化といった規模の向上、および拡大が中心であった。すなわち、第1世代の真空管から始まり、第2世代のトランジスタ、第3世代の IC(Integrated Circuit)を経て、現在の LSI(Large-Scale Integrated Circuit)、超 LSI に至るまで、その発展過程のほとんどはハードウェアの進歩の歴史といってよく、CPU(Central Processing Unit; 中央演算装置)の処理速度の向上、記憶素子の集積度の増大など、その計算能力は格段の進歩を遂げてきた。

コンピュータを利用するという立場からみると、コンピュータ・システムは人間と機械で構成される作業形態であり、マン-マシン・システム(man-machine system)の一種と考えることができる。マン-マシン・システムは、図 1.1 に示すように、人間および機械の情報処理過程とともに、機械から人間へ、および人間から機械へという 2 つの情報の流れが存在する。このような情報の流れに対して人間を主体としてみると、機械から人間への情報の流れを“入力(input)”，その逆の流れを“出力(output)”ということが

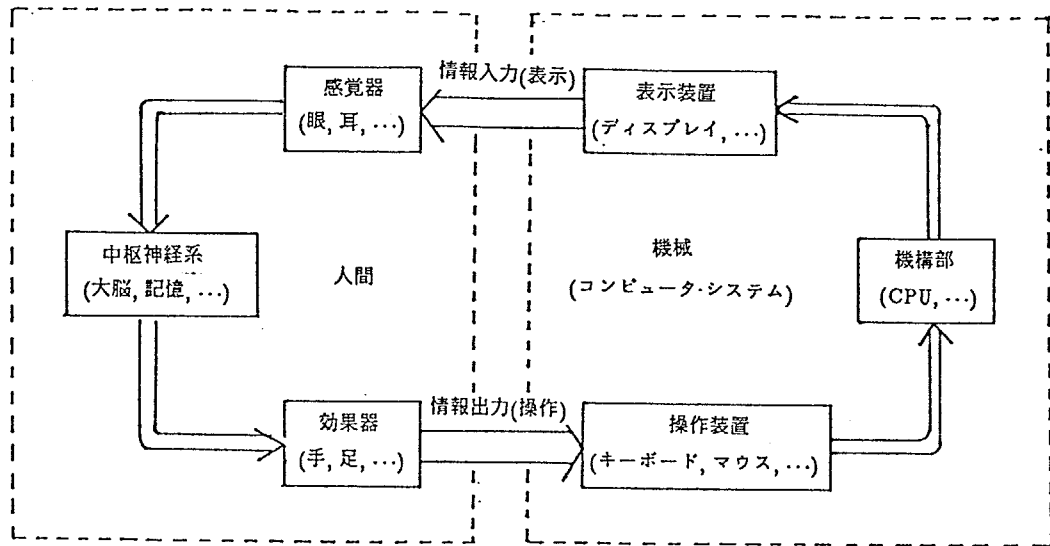


図 1.1: マン-マシン・システム

できる。一般に、コンピュータ・システムではディスプレイに表示される情報を入力とし、キーボードなどによる人間のコンピュータへの情報の伝達が出力となる。マン-マシン・システムにおいて、人間と機械間の相互の情報の伝達手段を、マン-マシン・インタフェース(man-machine interface)という。これは、単に入出力装置の機能だけでなく、コンピュータのCPUで処理された情報が、人間の主要な情報処理系である脳に届き、その情報に対して応答するまでに行う、人間のあらゆる情報処理過程を援助するようにプログラムされたソフトウェアにより、実現することができる。

このようなコンピュータ・システムにおいて、コンピュータそのものの情報処理過程は、主としてハードウェアの性能向上により、現在ではほぼ満足のいく能力が得られている。そのため、技術開発の目標は、処理速度、処理容量の進歩だけでなく、人間の情報処理過程を支援するようなマン-マシン・インタフェースの向上など、人間の使用環境に対する質的な向上を重視するようになってきた。たとえば、実際のビジネス・オフィスで使用されている対話型(interactive) アプリケーション・ソフトウェアにおいては、インタフェース部分に全プログラミング量の59%が費やされているという報告もある[68]。

以上述べたような技術進歩を背景に、エンジニアリング・ワークステーション、パーソナル・コンピュータ、ワード・プロセッサなど、コンピュータ、電子部品を組み込んだ情報処理機器が、安価に入手できるようになり、オフィス、生産現場などを中心に大量に導入されるようになってきた。このような情報処理機器の利用者は、管理者、設計者など、幅広い職種にわたっている。従来の汎用大型計算機のオペレータなど、その機械

の操作を専門職としている者と違い、これらの利用者のほとんどがコンピュータの操作に不慣れな人間である。このようなことから、簡単な操作で 사용할 ことができるような、マン・マシン・インタフェースを持つコンピュータに関する要求がますます強くなってきており、近年この種の研究が非常に盛んに行われるようになってきた[58]。

一方、今日の企業を取り巻く社会的情勢は、昭和30年代後半から40年代にかけての高度成長期とは代わって、安定成長、あるいは低成長期と呼ばれる時期に入っている。すなわち、需要が伸びないため、各企業は事務、生産の合理化などにより、原価低減を行い、利潤を追求している。このような目的のため、OA(Office Automation)、FA(Factory Automation)などが推進され、現在では各企業ともかなりの成果を上げている。

OAにおいては、今までは紙と鉛筆で行っていた事務作業に対して、ワード・プロセッサ、パーソナル・コンピュータなどの情報処理機器を用いて、オフィス内に山積みされていた膨大な量の書類を削減するとともに、個々の作業の効率化を実現している。それとともに、経営の意思決定に必要な膨大な量の情報をデータベース(database)として、各種の情報を有機的に結合し、一元管理するシステムを利用することにより、事務作業のような日常業務だけでなく、複雑な意思決定を必要とする非定形的業務に対しても、効率化、省力化はいうに及ばず、質の向上においても役立っている。

FAにおいては、日程計画、生産スケジュールなど、生産業務に必要な情報、および各生産設備を制御する情報をコンピュータにより統合し、各生産設備をローカル・エリア・ネットワーク(local area network; LAN)¹により統合し、それらを同期化することにより、生産を自動化、効率化している。さらに現在では、需要情報、生産情報などの企業経営に必要な情報をデータベースとして持ち、生産だけでなく、在庫管理、原価管理、製品設計など、生産を取り巻く企業活動を、コンピュータにより統合し、円滑に運営しようとするCIM(Computer Integrated Manufacturing)が指向されている。

このように、OA、FAともに、コンピュータを中心とする情報処理機器、およびこれらの機器を統合する情報ネットワークを利用することにより、はじめて実現できるものであり、前述の技術進歩によるところが大きい。

以上述べてきたような情報処理関連の技術革新と、企業を取り巻く社会的背景から、人間の行う作業形態の中心は、事務作業においては、紙と鉛筆による机上の作業から、情報処理機器の操作へと、また生産現場においては、従来の手扱い(manual)作業から、

¹工場内など比較的狭い範囲において、高速(10～100Mbps)で処理する情報通信網。

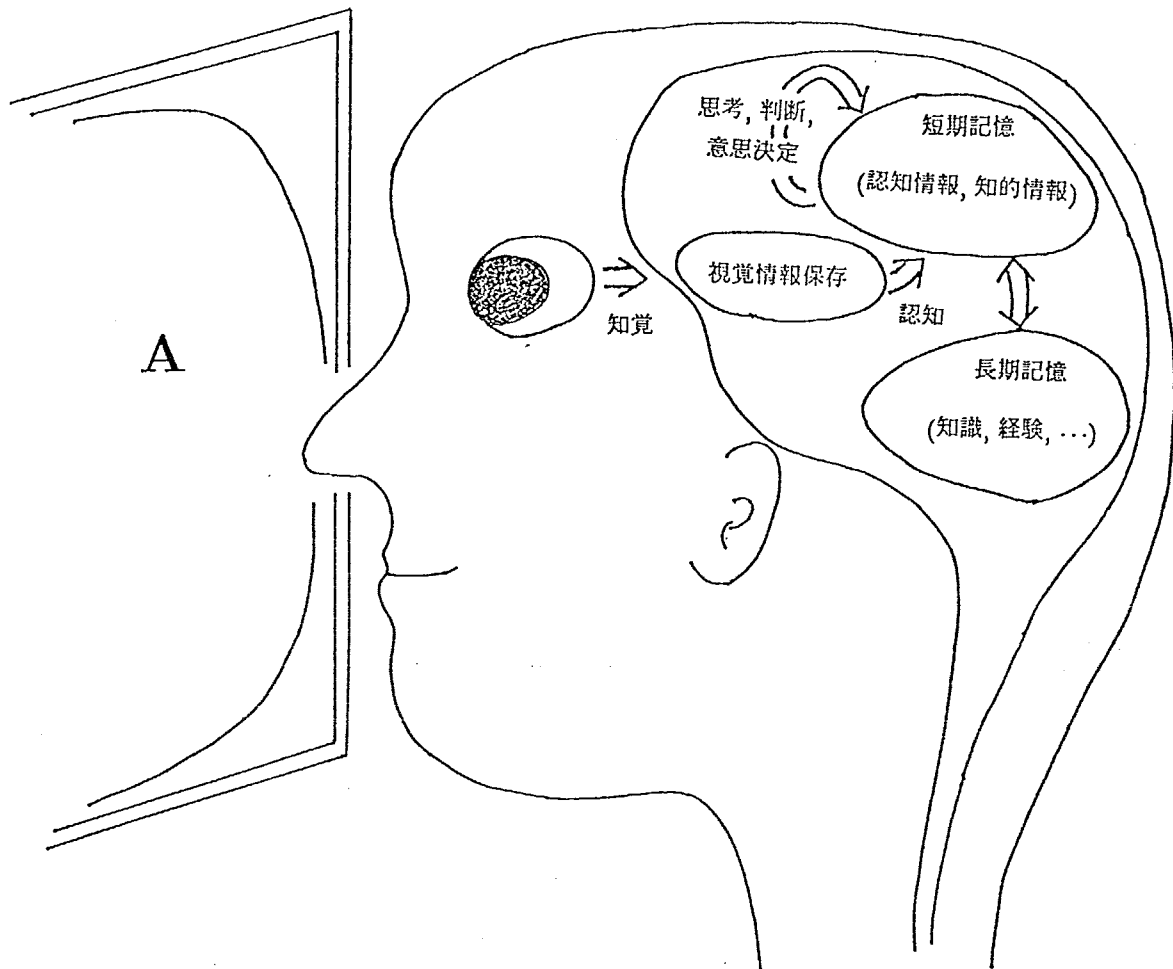


図 1.2: VDT 作業における人間の処理

情報処理機器に表示された生産状況の監視、制御といった視覚認知作業へと変化してきている。オフィス、生産現場における作業で用いられているこれらの情報処理機器は、その入力インタフェースに発光原理を利用した VDT(Visual Display Terminal)²を備えている。このような機械を用いて行う作業を総称して、VDT 作業と呼んでいる。以上述べてきたような作業形態の変遷に従って、新たに次の問題が発生してきている[25,26]。

1. 作業による疲労 … VDT 作業は視覚系、および中枢神経系の機能を主として使うので、VDT 作業を長時間行うことにより、従来の手扱い作業で多く認めら

²ヨーロッパ諸国では、VDU(Visual Display Unit)と呼んでいることが多い。

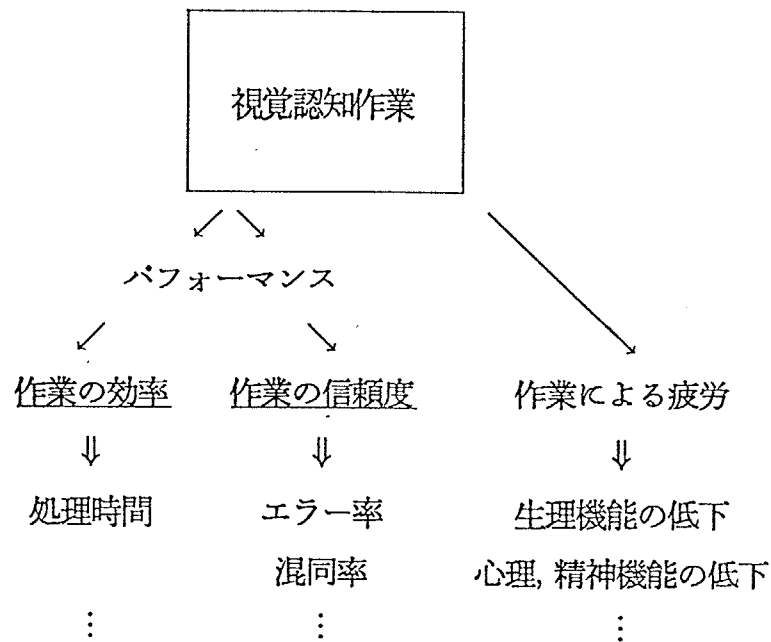


図 1.3: 視覚認知作業の評価

れている肩、腰、背中などの筋骨格系の疲労[4,11,15,31,62]だけでなく、眼のイライラ、かすみ、ぼやけ、眼球調節時間の延長、視力の低下などの視機能の低下[16,29,49,63]が認められている。また、疲労感、作業に対するやる気の低下など、精神疲労に関する訴え[17,22,63]が増加してきている。

2. 作業の効率(作業時間) … コンピュータなどの情報処理機器の導入により、膨大な事務作業から作業者は解放されたが、現在の作業方法で十分な作業効率が得られているとは限らない。たとえば、VDTを使用して作業を行った場合、印刷物を用いた同種の事務作業と比べ、作業時間の延長がみられる場合がある[23,24]。また、導入前に想定したほどの効果が上っていない作業も数多く見受けられる。
3. 作業の信頼度(正確さ、作業ミス) … 上記の作業の効率と同様に、印刷物を用いた同種の事務作業と比べ、作業ミスが増加するなど、VDT作業は作業の正確さが落ちる場合が多くみられている[48,72,75]。VDT作業は、従来の作業と比べ、1つのミスが大きな損失、または事故を招くことが多く、作業ミスの低減に関しては、十分注意を払う必要がある。

従来の生産現場における管理の重点であった手扱い作業については、時間研究、動作研究[8]などのIE(Industrial Engineering; インダストリアル・エンジニアリング) [1]

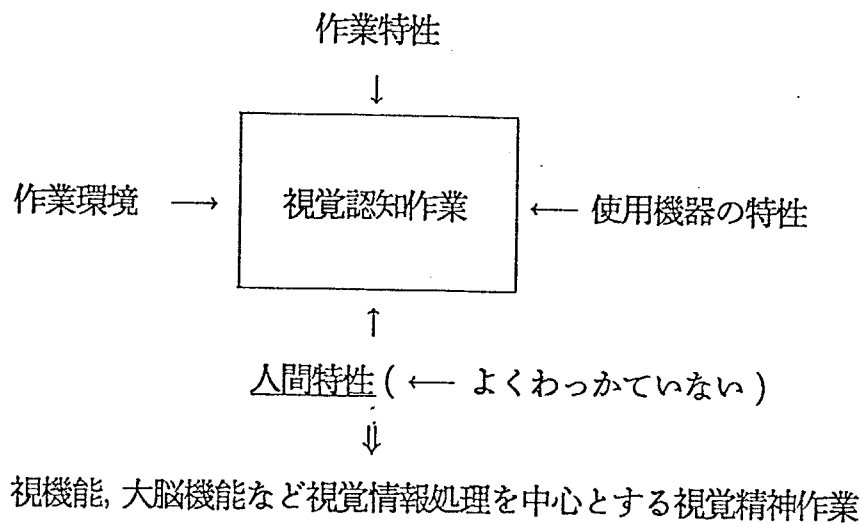


図 1.4: 視覚認知作業の要因

手法を適用することにより, かなりの効果を上げてきた. 従来 IE が主として対象としてきた手扱い作業は, (1) 人間の動作とともに, 作業の進行, ならびにその状況が容易に把握, 判断できる, (2) 作業を管理, 評価する特性値として, 作業時間が適切である, (3) 作業に影響を与える主な要因として作業方法があり, これと作業時間との関係は, PTS(Pre-determined Time Standard)法(たとえば, MTM(Methods-Time Measurement)[41])といった手法でおおむね明らかになっている, および(4) 作業に伴う疲労は筋骨格系への影響がほとんどで, これらに対しては余裕率といった, その作業に特有な特性値で対応できる, などといった特徴が存在する.

一方, 近年増加してきた VDT 作業は, 図 1.2 に示すように, 眼から取り込んだ VDT 上の表示情報に対して, 大脳内でさまざまな変換過程を施し, この変換された情報と人間の持っている知識により, 意思決定を行い, コンピュータに対して応答するといったように, 視機能, および中枢神経系の機能を中心とした処理で構成される視覚認知作業である. このような視覚認知作業の特徴としては, (1) 手足などの動作を伴う作業ではないので, 作業の進行状況が把握しにくい, (2) 作業を評価する場合は, 図 1.3 に示すように, 作業の効率(作業時間)のほか, 作業の信頼度(作業の正確さ), 作業による疲労などといった複数の特性により, 検討する必要がある, および(3) 作業に影響を与える要因は, 図 1.4 に示すように多数あり, これらと作業を評価する特性との関係は, 現在のところほとんどが明らかになっていない, などが挙げられる.

このような VDT 作業の特質のため, 従来有効な手法であった IE が, 作業設計, ま

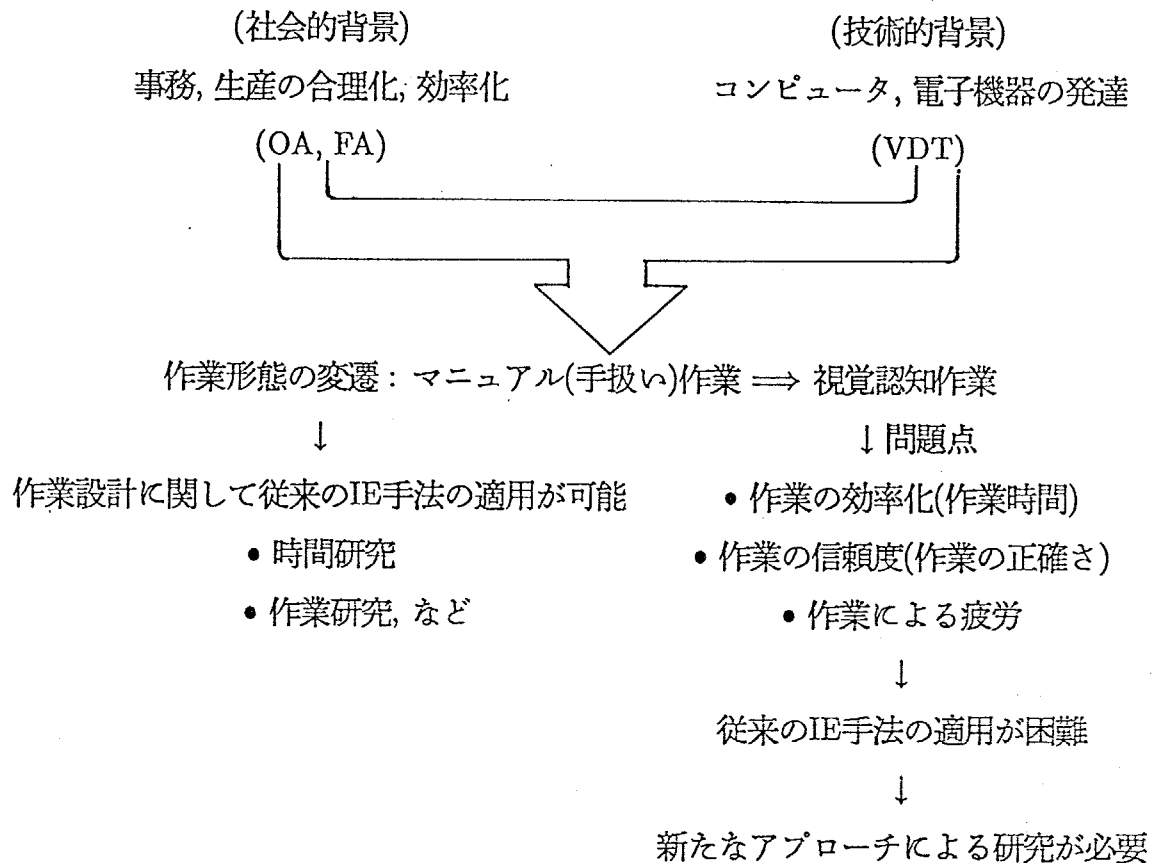


図 1.5: 本論文の背景

たは作業改善の際に, それほど効果的に適用することができない。

以上述べてきた本論文の背景を簡単にまとめると, 図 1.5 のようになる。この図に示すように, 現在の作業管理の重点である VDT 作業に対して, これを管理, 改善, さらに設計していく方法論が, 従来の研究体系の中には見いだすことができない。すなわち, このような VDT 作業の改善, 設計に適用が可能な手法, 資料等を提供するためには, 従来の IE 的アプローチの枠を超えた, 人間の生理, 心理的機能の解明を含めた, 新たな方法論が必要であるということが, 本論文をまとめるにいたった直接の動機である。

1.2 マン-マシン・システム設計へのアプローチ

前節で述べたように, VDT 作業を行う際に, コンピュータを簡単に操作したいという要求が強くなってきており, その機器のマン-マシン・インタフェースの向上が大き

な課題となってきた。しかし、コンピュータ・システムに関して、このようなインタフェースの重要性が認識されているにもかかわらず、現在のところこの問題は最も理解に乏しい、複雑な技術的側面をもつものの1つである[6]。このような問題に対する研究分野の1つに、ヒューマン-コンピュータ・インタラクション(Human-Computer Interaction; 略してHCI)と呼ばれる領域があり、現在盛んに研究が行われている[5,20]。

ヒューマン-コンピュータ・インタラクションに対して、現在のところ明確な、統一された定義はないが、本論文では次のように定義する。すなわち、ヒューマン-コンピュータ・インタラクションとは、マン-マシン・システムのうち、特に対象をコンピュータ・システムに限定し、人間がコンピュータ、またはこれを応用した情報処理機器を使用して作業を行うときに、快適なインタフェースを与えることを目的とする、さまざまな方法を提案するための、基礎的および応用的研究と定義することができる。この定義からもわかるように、ヒューマン-コンピュータ・インタラクションには、非常に幅広い領域が含まれ、コンピュータ、入出力装置のハードウェア、コンピュータ・グラフィックスなどのソフトウェアに関する知識だけでなく、たとえば自然言語理解、エキスパート・システムなどのAI(Artificial Intelligence; 人工知能)に関する知識、作業設計、作業分析などのIEに関する知識、人間の認知、知覚、および運動能力など、認知科学・人間工学的知識、およびシステム設計論など、さまざまな分野の知識を必要とする学際的な研究分野である[6]。これらの分野のうち、現在特に研究対象として要望の強い領域が、人間がコンピュータを使用する際の人間の情報処理方法の理解と、そのコンピュータ・システムへの応用に関する方法である[6]。

このような人間の使いやすいコンピュータ・システムの設計に対して、指針を与えることを目的とする分野の1つに人間工学がある。この分野に関連する研究は数多くあり、たとえばディスプレイ画面への情報表示、簡易入力に対する入力装置ならびに入力方法、コンピュータとの会話方式に関するものなど、さまざまな要因に対する影響の解明、推奨値などが提案されてきた。

一例を挙げると、たとえばディスプレイ画面への情報表示に関しては、文字の大きさ[30]、文字の形状[34,67]、文字を構成するドット数[40]、文字の輝度、コントラスト[7,65]、テキストの表示密度[69]、ディスプレイ画面への反射光[66]などの視認性(legibility)への影響を明らかにしている。また、特にカナ、漢字を含む日本語文章の表示条件に対するもの[35]などもある。

入力装置とその方法に関しては、キーボードの種類[46,45]、キーの配列[28,33]など

に関する多くの研究がある。また、タッチ・スクリーン(touch screen)[50,54], タブレット(tablet)[19,70], マウス(mouse)[56,60], ライトペン(light pen)[60], トラックボール(trackball)[54,56], ジョイスティック(joystick)[54,56,60] など、キーボード以外の入力装置について、その長所、および欠点を明らかにしている文献も見受けられる。さらに、これらの各方式を比較、検討しているものも、数多くみられる[12,18,27]。

コンピュータとの会話方式、操作方式に関しては、コマンド方式、メニュー検索方式などの各種の会話方式の比較[73], 推奨[74]などを行っている研究がある。さらに、各会話方法における設計項目に対するガイドライン³, 設計パラメータに関する設計の目安⁴を提示しているものもある。また、コンピュータ・システムの操作に関しては、エディタ(editor)⁵の操作性の比較[13,55]を行っているものなどがある。

これらの研究は、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースに影響を与える各要因の効果を明らかにし、コンピュータ・システム、およびこれを使用する作業の設計に対する提案を行っているが、そのほとんどは事例研究、もしくは現象論として、各要因と結果との関係を表層的に論じているものである。すなわち、実験あるいは調査で得られた結果を、人間の視覚情報処理から考察を行っているものはほとんどなく、この種の研究で得られた結論は、理論的な裏付けに乏しいという問題点を内在している。

一方、人間の情報処理のメカニズム、および処理特性の解明を目的としている代表的な分野の1つに、心理学がある。VDT作業において対象となる人間の処理、機能には、主として視覚[9], 眼球運動[52,53], 記憶[43,71], 問題解決[3,47], 知識表現[21,44,51,57,59]などがあり、これらの分野で数多くの成果が挙げられている。しかし、従来の心理学は、人間の処理メカニズムを明らかにすることに重点がおかれ、それをVDT作業の設計、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計等に応用するといったことは、ほとんど考えられていなかった。

近年、このような人間の処理メカニズムのヒューマン-コンピュータ・インタフェースへの応用の必要性から、人間を1つの情報処理機械とみなし、そのメカニズムおよび処理特性を明らかにし[39], この成果をヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計に積極的に利用していこうという研究が現われてきたが、まだ始まったばかりで

³たとえば、メニュー検索システムに関しては、[61]などの研究がある。

⁴たとえば、メニュー検索システムに関しては、階層の深さと1画面に表示する項目数のトレードオフなどの設計パラメータがあり、これに関しては [32,37,38,42,64] などの研究がある。このメニュー検索システムの設計に関して詳しくは、本論文の第7章で取り上げる。

⁵文章、あるいはプログラムなどの作成、編集用のソフトウェア。

ある。このような研究の最も代表的なものに、S. K. Card, T. P. Moran, A. Newell による研究[14]がある。

本論文で主張するマン-マシン・インタフェース設計のコンセプトは、上述の Card, et al. [14]と同様、設計対象とする機械のマン-マシン・インタフェースは、それを使用する人間の処理メカニズム、処理特性に一致していなければならない、という考えに基づく。

このようなコンセプトを満足する設計を行うためには、設計対象となるシステムを用いて作業を実行する際に行われる人間の情報処理のメカニズム、および処理特性に対する知見、あるいは資料が必要であり、これには以下の条件が必須と考える。

1. 解明すべき人間の処理特性に関しては、前節で述べたように、作業を効率、信頼度、疲労など、種々の側面から評価できるものが必要である。
2. 処理メカニズムに対しては、人間が作業、あるいは機械の操作を行う際の、作業モデルを簡単に作成できるような資料であることが重要である。
3. このような人間の処理メカニズム、処理特性に関する資料を利用して、マン-マシン・インタフェースの設計へ適用するときの方法を提供する必要がある。

1.3 本論文の目的

マン-マシン・システムの設計に関して、近年利用の機会が多く、人間の使いやすい機器の設計の要求が高まっているコンピュータ・システムを対象として、前節で述べたようなヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計へ適用が可能な資料を提供することを本論文の目的とする。本論文ではこの目的を達成するために、これらをさらにブレイクダウンし、以下に述べる各項目を目的とする。

(1) 視覚情報処理の基本的構成要素

コンピュータ・システムを用いた VDT 作業などの視覚認知作業は、VDT などの表示装置上に提示された情報を眼から取り込み、その情報にさまざまな変換過程を施し、意思決定を行い、キーボードなどの操作装置を通して、コンピュータに応答するといったように、視覚情報処理を中心に行う作業である。研究成果の適用範囲を広くするためには、作業の遂行に際して人間の行う処理で、すべての作業において必ず構成され

るような、共通性の高い処理を取り上げることが重要である。

コンピュータ・システムを使用するいかなる視覚認知作業においても、上で述べた処理のサイクルを繰り返し行う。このサイクルの後半部分では、個々の作業に固有な処理が多いが、前半部分である表示情報の認知過程は、すべての視覚認知作業に対して必須の処理で、共通性が高い。このような観点から、本論文では主として、人間の視覚的情報に対する認知過程を取り上げ、その処理特性、および処理メカニズムを解明することを目的の1つとする。

視覚認知過程は、眼などの視覚系から、大脳を代表とする中枢神経系まで、複数の器官、機能を統合して、成り立っている。そこで、本論文では、ヒューマン・コンピュータ・インタフェースの設計へ応用するという立場から、視覚認知過程を構成する基本的処理要素を分割し、これらに対してその特性、および処理メカニズムを解明する必要がある。

(2) 作業の評価特性

コンピュータ・システムを用いた作業は、1つのヒューマン・エラー(human error)により、大きな事故、あるいは損失を招くことがあり、作業に対する信頼度(正確さ)は重要な特性である。また、これらの機器は作業の効率化を目標に導入されている場合が多く、作業時間など、作業の効率を問題にすることはいうまでもない。このようなシステムを用いて作業を行うとき、疲労の影響も十分考慮に入れ、システムを設計する必要がある。このように、VDT作業、またはヒューマン・コンピュータ・インタフェースを評価する場合、1.1節で述べたように、作業の効率、信頼度、および作業による疲労の各特性から検討する必要がある。

本論文の主要な目的の1つは、(1)で述べたように、視覚認知作業を構成する人間の視覚情報処理の各機能の処理特性を明らかにすることである。上述の評価特性に対して、特に作業による疲労に関しては、1.1節で述べたように、疲労の存在は認められているものの、現在のところ、その発生メカニズムなどははっきりしておらず、疲労測定についても決め手となるような指標、および方法⁶は確立されていない[2]。

以上の理由により、本論文では上記(1)で分割、定義した視覚認知過程における各処

⁶VDT作業は、1.1節でも述べたように、視覚認知機能を主として用いる作業である。そのため、従来の手扱い作業と比べて、特に特徴的な疲労形態は、視覚系と中枢神経系に対するものである。本論文では、中枢神経系の疲労に対する1つの疲労測定方法の提案を付録として、A1にまとめておく。

理要素に対して、ヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用の際に、その設計パラメータとなるような要因を取り上げ、特に処理の効率⁷、および処理の正確さ⁸、の2つの特性を主として解析することにより、その処理特性を解明する。

(3) 処理のモデル化

(2)で明らかにした視覚認知過程を構成する各処理の人間特性を、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計に適用するためには、個々の処理ごとに、その処理メカニズムを明らかにするとともに、その処理をモデル化することが重要と考える。すなわち、そのシステムを使用し、実際の作業を行うときの作業モデルを、人間の処理モデルを用いて構築する。さらに、この作業モデルを用いることにより、人間が実際の作業を行わなくても、作業が再現でき、これによりその問題点などを明らかにし、評価できるような仕組みを作ることが重要である。

本論文においては、人間の認知過程を構成する各処理をモデル化することにより、処理メカニズムを理解することを目的の1つとする。このような処理のモデル化について、以上述べてきたことをまとめると、次に示す条件が必須と考える。

1. モデルの信頼性 … 人間の処理メカニズムを正確に表現していなければならない。
2. モデルの簡潔性 … ヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用という観点から考えると、作業モデルを構築するときに、必要にならない詳細な項目は省略し、処理の本質的な部分を簡潔に表現していることが望ましい。
3. 作業分析への適用性 … ヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計のときに、作業分析のツールとして簡単に応用できることが必要である。
4. 実作業への予測性 … 作業モデルを作成し、簡単な計算をすることにより、作業時間、エラー率などの特性値を推定する能力が必要である。

⁷代表的な特性値としては、処理時間がある。

⁸代表的な特性値としては、正答率、およびエラー率などがある。

(4) ヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用方法

本論文の最終的な目的は、成果として得られた人間特性、ならびに処理メカニズムを表現するモデルを、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計へ適用することである。本論文ではそのために、そのような適用方法の例を示すことが重要であると考え、人間の処理特性に合致したヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計に対する方法論を提案するために、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計で現実に起こっている問題を例に取り上げ、実例を示すことも本論文の重要な目的の1つである。

1.4 本論文の構成

前節で述べた本論文の目的に従って、第1章の問題提起、論文の目的、および構成に引続き、第2章では、人間の視覚情報処理のうち、本論文で取り上げる視覚認知過程を構成する各基本的処理を定義する。第3章から6章では、第2章で定義した視覚認知過程を構成する各処理の人間特性を明らかにするとともに、ここで得られた知見を、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計などに、簡単に応用できるようにするために、人間の処理過程をモデル化する。第7章、および第8章では、第3章から第6章で明らかにされた人間の処理特性を、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計に応用する方法について、実例をもとに論ずる。最後に、第9章では結論として、本論文のまとめを行う。本論文を構成している各章の関係は、図 1.6に示すとおりである。以下、第2章以降の各章の概要について述べる。

第2章では、人間の視覚認知過程を構成する基本的処理要素を定義する。本論文は、コンピュータ・システムなど、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計に応用が可能な人間の処理特性を解明することに重点をおいている。前節で述べたように、研究成果の応用性という観点から、本論文では人間の視覚情報処理中、特にすべての視覚認知作業に対して必須の処理で、共通性が高い認知過程に焦点を当て、それを構成する各プロセスの情報処理特性を、実験により明らかにする。

この章では従来の心理学、および生理学などの研究成果をもとに、視覚認知過程を“表示情報の取り込み”、“視覚情報の生成”、“眼球運動の判断”、“眼球運動のプログラミング”、“眼球運動”、および“認知情報への変換”の6つの処理に分類し、これらの各処理を定義する。ここではさらに本論文で対象としている人間の認知過程の枠組みを

示し、これらの処理の内容の説明と、各処理の関係について論じる。

第3章では、第2章で定義した視覚認知過程のうち、その初期段階である表示情報の取り込み、および視覚情報の生成に関する人間の処理特性について明らかにする。これらの処理は、眼から取り込んだ表示情報を視覚的特徴抽出を経て、内部の心理表現に変換する段階である。表示情報に対する誤認は、結果的には認知情報への変換過程において起こるものであるが、その主要な原因は、この章で扱う視覚情報の生成過程で内部表現された視覚情報が不明瞭なために起こるものであり、この段階に起因することが多い。

ここでは、誤認の直接的原因となる視覚情報を生成するためのプロセスである、人間の視覚的特徴抽出に関する機能を特徴づける因子を明らかにする。英大文字と英小文字を視覚刺激として用いた実験による誤認データをもとに、MDSCAL[36]というノンメトリカルな多次元尺度構成法(MDS; Multi-Dimensional Scaling)の手法を用いることにより、表示情報の種類によらない視覚的特徴抽出に関する共通因子を抽出する。さらに、英文字を母国語とする被験者(オランダ人)の誤認データ[10]を、同様の解析を行うことにより、ここで抽出した因子が刺激の使用頻度に関係のない、すべての表示情報に共通したものであることを示す。

この章で扱う視覚情報の生成に関する処理について、文字 i を文字 j に誤認する頻度と、文字 j を文字 i に誤認する頻度が異なるという、文字混同の方向性に対して、人間の視覚的特徴抽出という機能からみた性質を、モデルを立てることにより明らかにする。

第4章では、作業の正確さ、および効率という側面から、文字認知の正答率、および処理時間という処理特性を取り上げる。認知過程におけるこれらの処理特性に対して、表示情報の形状、および大きさがどのような影響を与えるかを実験的に明らかにする。VDT上の表示情報は、ドット・マトリックスで構成された文字パターンである。このことから、この章の要因となる表示情報の形状、ならびに大きさに対して、ドット・パターンの構成ドット数、およびドット・マトリックスのパターンを取り上げる。

さらに、ここで得られたドット文字パターンに対する処理特性を一般化し、その処理メカニズムを考察するために、“ドット・パターン認知モデル”を構築し、実験データを用い、従来から視覚情報の内部表現モデルとして提案されている鋳型照合モデル、特徴分析モデルなど、他のモデルと比較することにより、このモデルの検証を行う。この章で処理メカニズムのモデル化の対象となるのは、第2章で定義した視覚認知過程を構

成する処理のうち、視覚情報の生成、および認知情報への変換である。視覚情報の生成については、第3章で明らかにした視覚的特徴抽出の後処理である視覚情報の内部表現の記述形式をモデル化する。また、認知情報への変換に対しては、その処理を比較段階、および決定段階に分け、各段階での処理メカニズムを“Error Transformation”という概念を導入して、モデル化する。

第5章では、VDT作業において、作業の信頼度、および効率上、重要な要因である表示情報の提示位置に着目し、認知処理時間を特性値として、この要因の認知の効率に与える影響について解明する。第6章で眼球運動を伴った認知を扱う前に、この章では異なる表示位置の情報を眼球運動を起こさずに、そのままの注視位置で認知するときの各処理の特性を調査する。そのため、この章で行う実験はすべて、視覚刺激を被験者の近中心視(parafoveal vision)⁹に提示する。第2章で定義した認知過程中、ここで対象となる処理は、表示情報の取り込み、視覚情報の生成、眼球運動の判断(ここでは、“眼球運動を行わない”という判断)、および認知情報への変換であり、これらの処理に対する人間特性を3つの実験を通して明らかにする。

眼球運動を伴わない認知の場合、この章で要因として取り上げた表示情報の提示位置に対して影響を受ける処理は、ここで対象となった4つの処理のうち、主として眼球運動の判断である。この処理について、その処理メカニズムを記述する“文字認知困難度モデル”を構築し、実験データにより、その妥当性を検証し、さらにいくつかの考察を加える。

第6章では、通常のVDT作業などを行う場合と同様の認知過程である、眼球運動を伴って認知する場合を取り扱う。ここでは、認知過程を構成する基本的処理のうち、これまでの各章でその処理特性が明らかになっていない、眼球運動の判断(ここでは、“眼球運動を行う”という判断)、および眼球運動のプログラミングが特にその対象となる。これらの処理に対して、要因としては第5章と同様、表示情報の提示位置(注視点からの角度)と、さらに表示方向(注視点の右/左)を取り上げ、2つの実験により、認知時間、および各表示位置での眼球運動を行う割合などの処理特性を明らかにする。

この章では、その結果とこれまでの各章における知見とから、ヒューマン-コンピュータインタフェース設計のときに、その作業モデルの作成が可能な“視覚認知モデル”を構築し、実験データによりこのモデルを検証する。この“視覚認知モデル”は、通常のVDT作業などと同様、眼球運動を伴った認知において、第2章で定義した認知過程中

⁹注視点から2～10°程度周辺の網膜上の位置。

の各処理を個々にモデル化するものである。このモデルでは、表示情報の提示位置をパラメータとして、認知過程を構成する各処理の困難度からその処理時間を推定するのに利用できる。

第7章では、第6章で提案した“視覚認知モデル”について、そのヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用方法を提案する。この方法の概要は、次のような手順で行うものである。(1) 対象とするシステムに対して、いくつかの代替案を設定する。(2) これらの代替案のシステムを用いたときの人間の操作を、認知過程については視覚認知モデル、その後続段階である知的処理については Card, et al. [14]の“Model Human Processor”を用いてモデル化する。(3) これらのモデルをシミュレーションし、その操作時間を推定する。(4) シミュレーション結果を比較、検討し、代替案を選択し、さらに改善項目を発見する。

この提案方法について、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースの例として、メニュー検索システムを取り上げ、画面フォーマット、およびメニュー階層構造の設計の2つに適用し、その有用性、およびこの方法の利点などを検討する。さらに、これらから得られた結果を考察し、メニュー検索システムの設計に対する提言などを行う。

第8章では、概念駆動型(トップダウン)処理における認知過程の処理特性を明らかにする。第3章から6章までで明らかにした処理特性は、1文字単独の情報に対するものであった。これに対して、通常のVDT作業において表示する情報は、単語、プログラムといったコンテキストを含む情報である。パターン1文字を視覚刺激としたときの認知過程は、主として第2章で定義した各処理を、表示情報の取り込みから認知情報の変換に至るまで、順次行うデータ駆動型(ボトムアップ)処理である。これに対して、単語などコンテキストを含んだ情報の認知過程では、データ駆動型処理とともに、コンテキスト情報を利用して、概念に基づく認知を行う、概念駆動型処理も行われている。

このような認知処理に関して、この章では概念駆動型処理とデータ駆動型処理の割合を決定する概念として、コンテキスト情報量と視覚情報の明瞭度を導入し、認知過程を説明する。ここでは、コンテキストを含んだ表示情報の例として英単語を取り上げ、その認知過程におけるこれらの諸概念が、認知の正確さ、および処理の効率に与える影響について、3つの実験の結果から明らかにする。

最後に、第9章では、以上の各章で得られた人間特性に対して、本文中では述べられなかったヒューマン-コンピュータ・インタフェースをはじめとするマン-マシン・シス

テムに関するその他の応用方法について、若干の考察を加えるとともに、本論文で残された課題、および今後の展望について述べる。

なお、本文中では取り上げることはできなかったが、VDT作業を評価するときの特性の1つである、中枢神経系の疲労に対して、その測定方法の提案について付録A1に示す。また、第7章のヒューマン-コンピュータ-インタフェースへの応用方法で適用したCard, et al. [14]の“Model Human Processor”について、その考え方の概要を付録A2にまとめておく。

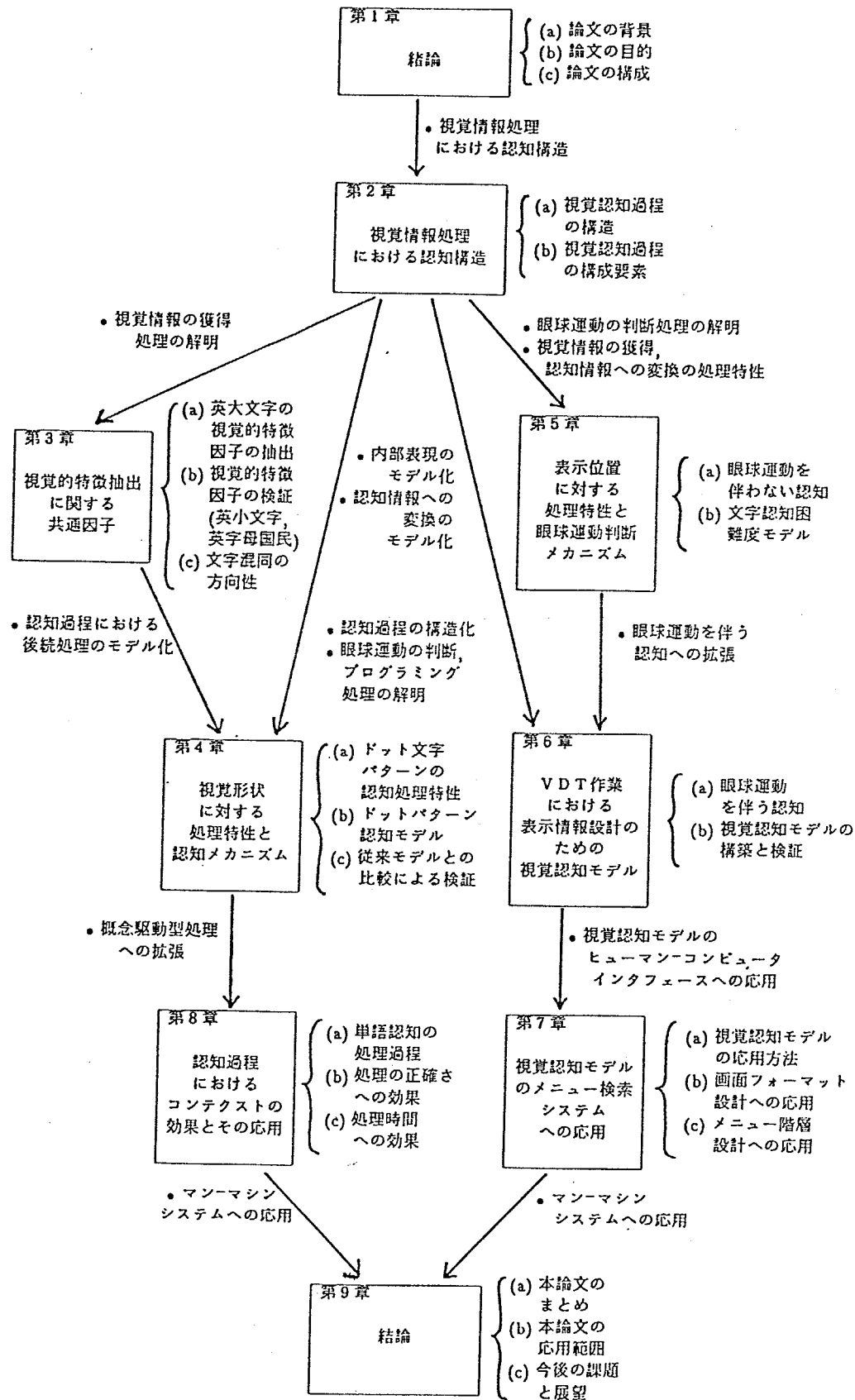


図 1.6: 本論文に構成と各章の内容の関連

参考文献

- [1] 秋庭雅夫：インダストリアル エンジニアリング，日科技連出版，1978.
- [2] 秋庭雅夫：VDT 視覚作業への人体への影響とその要因の解明と視覚疲労測定方法の確立(課題番号61450081)，昭和62年度文部省科学研究費補助金(一般研究(B))研究成果報告書，1988.
- [3] Anderson, J.R. : *Cognitive Psychology and Its Implications*, 255 ~ 295, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1980.
- [4] Arndt, R. : Working Posture and Musculoskeletal Problems of Videodisplay Terminal Operators : Review and Appraisal, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 44, 437 ~ 446, 1983.
- [5] Badre, A. and Shneiderman, B. : *Directions in Human-Computer Interaction*, Ablex Publishing Corporation, Norwood, 1984.
- [6] Baecker, R.M. and Buxton, W.A.S. : *Readings in Human-Computer Interaction : A Multidisciplinary Approach*, Morgan Kaufmann Publishers, Los Altos, 1987.
- [7] Bäuninger, U., Grandjean, E., van der Heiden, G., Nishiyama, K. and Gierer, R. : Lighting Characteristics of VDTs from an Ergonomic Point of View, In Grandjean, E. (ed), *Ergonomics and Health in Modern Offices*, 383 ~ 390, Taylor & Francis, London, 1984.
- [8] Barnes, R.M. : *Motion and Time Study (4th ed.)*, John Wiley & Sons, New York, 1958.

- [9] Boff, K.R., Kaufman, L. and Thomas, J.P. : *Handbook of Perception and Human Performance, Volume I : Sensory Processes and Perception*, John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [10] Bouma, H. : Visual Recognition of Isolated Lower-Case Letters, *Vision Research*, **11**, 459 ~ 474, 1971.
- [11] Cakir, A., Hart, D.J. and Stewart, T.F.M. : *The VDT Manual*, Ince-Fry Research Association, Darmstadt, 1979.
- [12] Card, S.K., English, W.K. and Burr, B.J. : Evaluation of Mouse, Rate-Controlled Isometric Joystick, Stop Keys, and Text Keys for Text Selection on a CRT, *Ergonomics*, **21**, 601 ~ 613, 1978.
- [13] Card, S.K., Moran, T.P. and Newell, A. : Computer Text Editing : An Information Processing Analysis of a Routine Cognitive Skill, *Cognitive Psychology*, **12**, 32 ~ 74, 1980.
- [14] Card, S.K., Moran, T.P. and Newell, A. : *The Psychology of Human-Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1983.
- [15] Dainoff, M.J. : Occupational Stress Factors in VDT Operation, *Behaviour and Information Technology*, **1(2)**, 141 ~ 176, 1982.
- [16] de Groot, J.P. and Kamphuis, A. : Eyestrain in VDU Users : Physical Correlates and Long-Term Effects, *Human Factors*, **25(4)**, 409 ~ 413, 1983.
- [17] Elias, R., Cail, F., Tisserand, M. and Christman, M. : Investigations in Operators Working with CRT Display Terminals : Relationship between Task Content and Psycho-Physiological Alterations, In Grandjean, E. and Vigliani, E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 211 ~ 218, Taylor & Francis, London, 1980.
- [18] English, W.K., Engelbart, D.C. and Berman, M.L. : Display Selection Techniques for Text Manipulation, *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, **HFE-8**, 5 ~ 15, 1967.

- [19] Foley, J.D. and Wallace, V.L. : The Art of Natural Graphic Man-Machine Conversation, *Proceedings of the IEEE*, 62, 462 ~ 471, 1974.
- [20] Frese, M., Ulich, E. and Dzida, W. : *Psychological Issues of Human-Computer Interaction in the Work Place*, North-Holland, Amsterdam, 1987.
- [21] Galambos, J.A., Abelson, R.P. and Black, J.B. : *Knowledge Structures*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1986.
- [22] Ghiringelli, L. : Collecting Subjective Opinions on the Use of VDUs, In Grandjean, E. and Vigliani, E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 227 ~ 232, Taylor & Francis, London, 1980.
- [23] Gould, J.D., Alfaro, L., Barnes, V., Finn, R., Grischkowsky, N. and Minuto, A. : Reading Is Slower from CRT Displays than from Paper : Attempts to Isolate a Single-Variable Explanation, *Human Factors*, 29(3), 269 ~ 299, 1987.
- [24] Gould, J.D. and Grischkowsky, N. : Doing the Same Work with Hard Copy and with Cathode-Ray Tube (CRT) Computer Terminals, *Human Factors*, 26(3), 323 ~ 337, 1984.
- [25] Grandjean, E. : *Ergonomics and Health in Modern Offices*, Taylor & Francis, London, 1984.
- [26] Grandjean, E. and Vigliani, E. : *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, Taylor & Francis, London, 1983.
- [27] Haller, R., Mutschler, H. and Voss, M. : Comparison of Input Devices for Correction of Typing Errors in Office Systems, *Proceedings of the Interact '84 Conference, First IFIP Conference on "Human-Computer Interaction"*, Vol.2, 315 ~ 319, 1984.
- [28] Hanes, L.F. : Human Factors in International Keyboard Arrangement, In Chapanis, A. (ed), *Ethnic Variables in Human Factors Engineering*, 189 ~ 206, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1975.

- [29] Hedman, L.R. and Briem, V. : Short-Term Changes in Eyestrain of VDU Users as a Function of Age, *Human Factors*, **26**(3), 357 ~ 370, 1984.
- [30] Helander, M. : Design of Visual Displays, In Salvendy, G. (ed), *Handbook of Human Factors*, 507 ~ 548, John Wiley & Sons, New York, 1987.
- [31] Hünting, W., Läubli, T. and Grandjean, E. : Constrained Postures of VDU Operators, In Grandjean, E. and Vigliani, E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 175 ~ 184, Taylor & Francis, London, 1980.
- [32] Kiger, J.I. : The Depth/Breadth Trade-Off in the Design of Menu-Driven User Interfaces, *International Journal of Man-machine Studies*, **20**, 201 ~ 213, 1984.
- [33] Kinkead, R. : Typing Speed, Keying Rates, and Optimal Keyboard Layouts, *Proceedings of the Human Factors Society 19th Annual Meeting*, 159 ~ 161, Human Factors Society, Santa Monica, 1975.
- [34] Kume, Y., Ohzu, H., Ishikawa, K. and Hatada, T. : Legibility of 5 × 7 Dot-Matrix Alphanumerics as Determined by Element Configuration, *Proceedings of the Society for Information Display*, **25**(3), 225 ~ 230, 1984.
- [35] 栗田正一, 宮本 正, 位下雄二, 網島智子 : 読みやすさの観点より求めたCRTディスプレイにおける日本語表示条件, テレビジョン学会誌, **39**(11), 1103 ~ 1109, 1985.
- [36] Kruskal, J.B. : Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit to a Non-Metric Hypothesis, *Psychometrika*, **29**(1), 1 ~ 27, 1964.
- [37] Lee, E. and MacGregor, J. : Minimizing User Search Time in Menu Retrieval Systems, *Human Factors*, **27**(2), 157 ~ 162, 1985.
- [38] Lee, E., MacGregor, J. and Lam, N. : Keyword-Menu Retrieval : An Effective Alternative to Menu Indexes, *Ergonomics*, **29**(1), 115 ~ 130, 1986.
- [39] Lindsay, P.H. and Norman, D.A. : *Human Information Processing (2nd ed)*, Academic Press, New York, 1977.

- [40] Maddox, M.E. : Two-Dimensional Spatial Frequency Content and Confusions among Dot-Matrix Characters, *Proceedings of the Society for Information Display*, **21(1)**, 31 ~ 40, 1980.
- [41] Maynard, H.B., Stegemerten, G.J. and Schwba, J.L. : *Methods-Time Measurement*, McGraw-Hill, New York, 1948. (林 茂彦訳 : MTM メソッド～タイム設定法, 技報堂, 1956.)
- [42] Miller, D.P. : The Depth/Breadth Tradeoff in Hierarchical Computer Menus, *Proceedings of the Human Factors Society, 25th Annual Meeting*, 296 ~ 300, 1981.
- [43] Miller, G.A. : The Magic Number Seven, Plus or Minus Two : Some Limits on Our Capacity for Processing Information, *Psychological Review*, **63**, 91 ~ 97, 1956.
- [44] Minsky, M. : A Framework for Representing Knowledge, In Winston, P.H.(ed), *The Psychology of Computer Vision*, McGraw-Hill, New York, 1975.
- [45] 中迫 勝 : キーボードの人間工学的設計, 人間工学, **22(2)**, 53 ~ 61, 1986.
- [46] Nakaseko, M., Grandjean, E., Hünting, W. and Gierer, R. : Studies on Ergonomically Designed Alphanumeric Keyboards, *Human Factors*, **27(2)**, 175 ~ 187, 1985.
- [47] Newell, A. and Simon, H.A. : *Human Problem Solving*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1972.
- [48] Nordqvist, T. and Nilsson, L.G. : Fatigue and Reading of Text on Videotex, *Human Factors*, **28(3)**, 353 ~ 363, 1986.
- [49] Östberg, O. : Accommodation and Visual Fatigue in Display Work, In Grandjean, E. and Vigliani, E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 41 ~ 52, Taylor & Francis, London, 1980.

- [50] Pfauth, M. and Priest, J. : Person-Computer Interface Using Touch Screen Devices, *Proceedings of the Human Factors Society 25th Annual Meeting*, 500 ~ 504, Human Factors Society, Santa Monica, 1981.
- [51] Quillian, M.R. : Semantic Memory, In Minsky, M.(ed), *Semantic Information Processing*, MIT Press, Cambridge, 1968.
- [52] Rayner, K. : Eye Movements in Reading and Information Processing, *Psychological Bulletin*, 85(3), 618 ~ 660, 1978.
- [53] Rayner, K. : *Eye Movements in Reading*, Academic Press, New York, 1983.
- [54] Ritchie, G.J. and Turner, J.A. : Input Devices for Interactive Graphics, *International Journal of Man-Machine Studies*, 7, 639 ~ 660, 1975.
- [55] Roberts, T.L. and Moran, T.P. : The Evaluation of Text Editors : Methodology and Empirical Results, *Communications of ACM*, 26(4), 265 ~ 283, 1983.
- [56] Rubinstein, R. and Hersch, H.M. : *The Human Factor : Designing Computer Systems for People*, Digital Press, Burlington 1984.
- [57] Rumelhart, D.E. : Schemata : The Building Blocks of Cognition, In Spiro, R., Bruce, B. and Brewer, W.(eds), *Theoretical Issues in Reading Comprehension*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1980.
- [58] Salvendy, G. : *Human-Computer Interaction*, Elsevier, New York, 1984.
- [59] Schank, R.C. and Abelson, R.P. : *Scripts, Plans, Goals, and Understandings : An Inquiry into Human Knowledge Structure*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1977.
- [60] Scott, J.E. : *Introduction to Interactive Computer Graphics*, John Wiley & Sons, New York, 1982.
- [61] Shneiderman, B. : Designing Menu Selection Systems, *Journal of the American Society for Information Science*, 37(2), 57 ~ 70, 1986.

- [62] Smith,M.J. : Mental and Physical Strain at VDT Workstations, *Behaviour and Information Technology*, 6(3), 243 ~ 225, 1987.
- [63] Smith,M.J. Cohen,B.F.G., Stammerjohn,L.W. and Happ,A. : An Investigation of Health Complaints and Job Stress in Video Display Operations, *Human Factors*, 23(4), 387 ~ 400, 1981.
- [64] Snowberry,K., Parkinson,S.R. and Sisson,N. : Computer Display Menus, *Ergonomics*, 26(7), 699 ~ 712, 1983.
- [65] Snyder,H.L. and Maddox,M.E. : On the Image Quality of Dot-Matrix Displays, *Proceedings of the Society for Information Display*, 21(1), 3 ~ 7, 1980.
- [66] Stammerjohn,L.W., Smith,M.J. and Cohen,B.G.F. : Evaluation of Work Station Design Factors in VDT Operations, *Human Factors*, 23(4), 401 ~ 412, 1981.
- [67] Suen,C.Y. and Shiau,C. : An Interactive Technique of Selecting an Optimal 5 × 7 Matrix Character Set for Display in Computer Output Systems, *Proceedings of the Society for Information Display*, 21(1), 9 ~ 15, 1980.
- [68] Sutton,J.A. and Sprague,R.H. : A Study of Display Generation and Management in Interactive Bussiness Applications, *IBM Research Report*, RJ2392(31804), 1978.
- [69] Trollip,S.R. and Sales,G. : Readability of Computer-Generated Fill-Justified Text, *Human Factors*, 28(2), 159 ~ 163, 1986.
- [70] Whitfield,D., Ball,R.G. and Bird,J.M. : Some Comparisons of On-Display and Off-Display Touch Input Devices for Interaction with Computer Generated Displays, *Ergonomics*, 26, 1033 ~ 1053, 1983.
- [71] Wickelgren,W.A. : *Learning and Memory*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1977.

- [72] Wilkinson,R.T. and Robinshaw,H.M. : Proof-Reading : VDU and Paper Text Compared for Speed, Accuracy and Fatigue, *Behaviour and Information Technology*, 6(2), 125 ~ 133, 1987.
- [73] Williges,B.H. and Williges,R.C. : Dialogue Design Considerations for Interactive Computer Systems, In Muckler,F.A.(ed), *Human Factors Review*, 167 ~ 208, The Human Factors Society, Santa Monica, 1984.
- [74] Williges,R.C. : Evaluating Human-Computer Software Interfaces, *Proceedings of the 1984 International Conference on Occupational Ergonomics*, 81 ~ 87, Toronto, 1984.
- [75] Wright,P. and Lickorish,A. : Proof-Reading Texts on Screen and Paper, *Behaviour and Information Technology*, 2(3), 227 ~ 235, 1983.

第2章 視覚情報処理における認知構造

2.1 視覚認知過程の処理構成

2.1.1 眼球運動による処理の理解

本論文では、コンピュータ・システムを用いたときのVDT作業を応用の対象として、視覚認知過程の解明を目的にすることは、既に第1章で述べた。本章では、このような視覚認知作業を行ったときの、認知過程を構成する処理要素について論ずる。まず最初に本節では、人間の認知過程を解明するときの方法論について述べる。ここではさらに、視覚認知過程を構成する個々の処理要素を分割するとともに、VDT上に表示された情報を認知するまでの処理過程の構造に関する仮説を立てる。次節から2.5節において、従来の心理学、および生理学の知見をもとに、本節で分割する認知過程を構成する個々の処理を定義するとともに、その内容を詳しく説明する。

人間の処理を解明する方法として、心理学では内省(introspection)[1]という方法が、かなり以前からよく用いられていた。この方法は、高度に訓練された被験者を用い、注意深くコントロールされた実験条件のもとで、被験者の意識を集中させ、現在自分の頭の中でどのような処理が行われているか、その内容を報告させるというものである。この方法の応用として、エキスパート・システム(expert system)における専門家の知識抽出(knowledge elicitation)などの際に利用している言語プロトコル・アナリシス(verbal protocol analysis)[8]などがある。

本論文で対象としているVDTに表示された視覚的情報の認知過程の解明に対しては、次に挙げるような、主として2つの理由により、内省は好ましい方法とはいえない。(1) 視覚認知作業は、第1章でも述べたように、幅広い層のVDT作業者を対象としているので、内省で必要とされている高度に訓練されている被験者だけを、ここで用いることは不可能である。(2) 人間の技能(skill)の学習(learning)段階は、その進

展とともに認知段階(cognitive stage), 連合段階(associative stage), および自動段階(autonomous stage) の3つに分類される[2]. 自分自身が頭の中で行っている処理を意識できるのは, 上記の学習段階のうち, 連合段階までである. 連合段階からさらに学習が進むと, 意識しなくても処理を自動的に, 素早く実行できる自動段階に移行する. VDT 作業のような視覚認知作業における認知過程は, そのほとんどが自動段階に入っている処理であり, 内省を適用して, 処理過程を解明することは困難と思われる.

このような方法に対して, 人間を1つの情報処理器とみなし, 入力された情報についてその変換過程を客観的事実をもとに, 構造的に解析していこうとする研究が近年多く発表されている. 特に, 視覚認知作業は, 眼から取り込んだ入力情報に対して認知処理を行うので, ここでの処理に関しては, “immediacy assumption”, “eye-mind assumption”[13], および“process monitoring hypothesis”[23]と呼ばれる“眼球運動(eye-movement)と眼球の注視(fixation)が人間の認知処理をモニタしている”という仮定が成り立っていると思われ, これらの仮定がさまざまな研究でよく利用され[19], 人間の処理メカニズムの解明に役立っている. これらの仮定はどれも, 表示情報に対する人間の情報処理は, 眼球が注視している情報に対して, その時間内に行われているというものである. すなわち, 視覚認知過程中の注視, および眼球運動を記録し, そこでの注視時間, 処理のエラー率などを測定することにより, 視覚認知過程における処理のメカニズム, および特性を明らかにできると考えられている.

本論文においても, これらの仮定を利用し, 第3章以降で行う各実験で, アイマーク・レコーダ(eye-mark recorder)を用いて, 眼球運動, ならびに注視時間, 誤認率などを記録, 測定し, それらにより人間の視覚認知過程を明らかにするものである.

2.1.2 視覚認知過程

コンピュータ・システムを使用する VDT 作業において, VDT 上に表示される情報の認知に対して行われる処理は, データ駆動型処理(data-driven processing)¹ と概念駆動型処理(conceptually driven processing)² の2とおりがあある[16]. これら2つの対称的な処理は図 2.1によって, 簡単に説明することができる.

ここでは, 電話番号の検索をコンピュータ・システムを用いて, 行っていると仮定する. 図中のディスプレイの1行目を読み進み, “V”マークの位置を注視している状況

¹ボトムアップ処理(bottom-up processing)と呼ばれることもある.

²トップダウン処理(top-down processing)と呼ばれることもある.

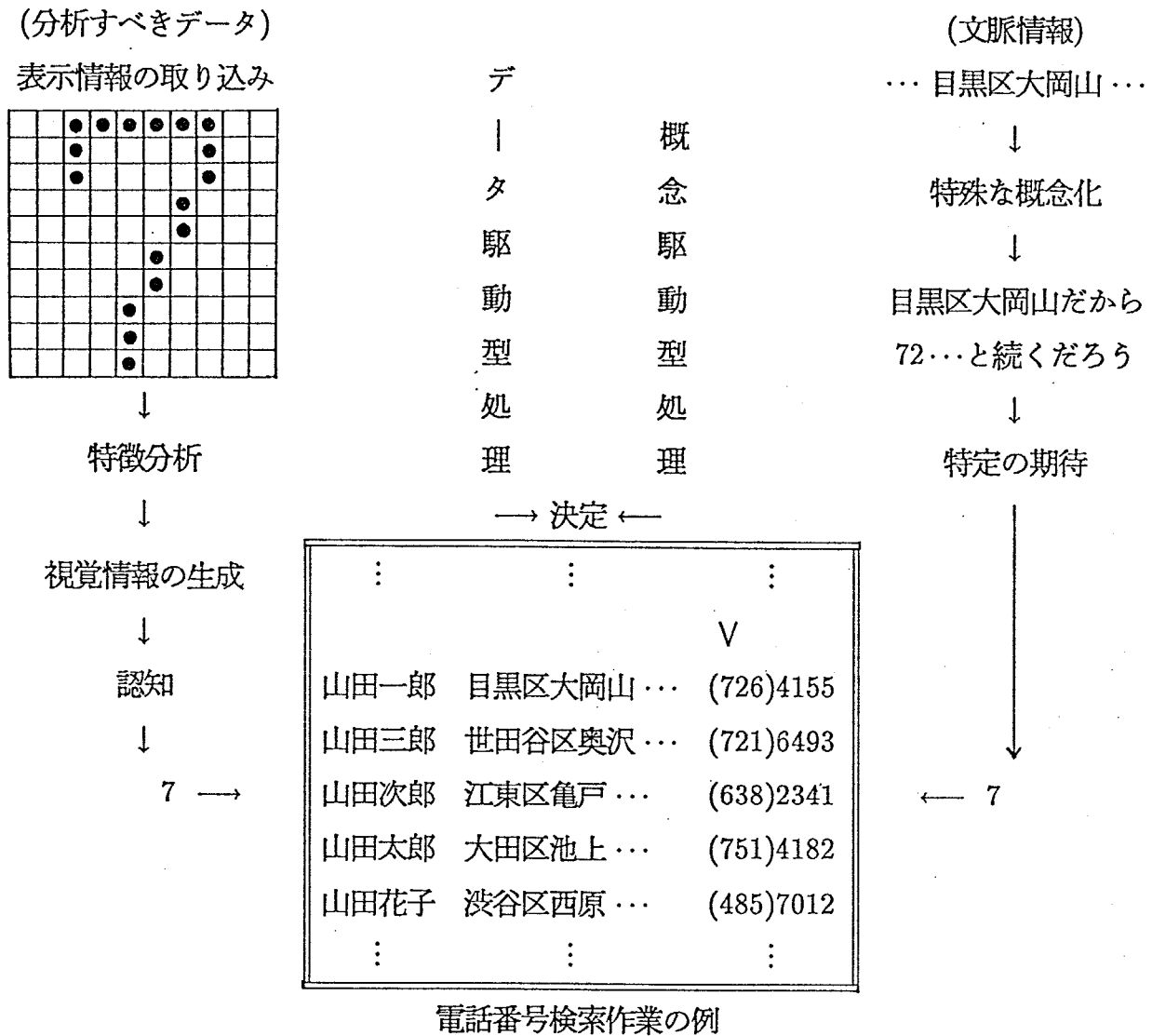


図 2.1: 概念駆動型処理とデータ駆動型処理

を考える。ここでは前述のとおり、データ駆動型処理と概念駆動型処理の両方が並行して行われている。ここで、データ駆動型処理は、図 2.1の左側の流れに示されている。すなわち、眼から取り込まれた情報は、視覚的特徴抽出を経て、視覚情報を生成し、文字を認知していく。さらに次の文字に対しても同様な処理で認知する。このようにして、ひとまとまりの文字群を順次1文字ずつ認知した後、それらを意味のあるまとまりである電話番号として認知する。このように、入力された情報(データ)の変換過程に従って、認知していく処理過程が、データ駆動型処理である。

データ駆動型処理に対して、今まで読み進んできたコンテキスト(context)、あるいは文脈情報を認知に際して利用するものが概念駆動型処理であり、図 2.1の右側の流

れがこれを示している。すなわち、既に認知した内容のコンテキストを利用することにより、現在認知すべき表示情報に対する処理が軽減される。この図の例では、現在の注視位置に到達する前に、既に“目黒区大岡山…”という内容を読んでいる。ここまで来たとき、この住所のコンテキストが電話番号と組合わさり、これに対応する電話番号は、“72…”と続くであろうという特定の期待ができる。そのために、電話番号の認知に対してその処理が軽減される。

表示情報1文字に対する認知過程は、通常コンテキストを利用することができない³ので、主としてデータ駆動型処理だけで構成される。本論文では主として、このデータ駆動型処理による認知過程を扱い、次章から第6章で、この処理過程におけるメカニズム、および特性を解明する。また、概念駆動型処理におけるコンテキスト利用の効果については、第8章で扱う。

前述のように、データ駆動型処理においては、眼から取り込んだ表示情報を順次、データ変換し、認知している。このような文字認知過程を構成する処理は、次の3つに分類することができる[12]。最初は、視覚情報の内部表現段階であり、ここで外部の視覚刺激の物理的情報を内部の視覚心理的表現に変換する。次の比較段階で、内部表現された視覚情報と記憶内に存在する文字に関する情報とを比較し、その類似度を計算し、それをもとに最後の決定段階で、表示情報に対応する文字を決定する。

最初の視覚情報の内部表現段階は、眼から取り込んだ表示情報を、内部の心理的表現としての視覚情報を生成するまでの過程であり、これは前半の表示情報の取り込みと、後半の視覚情報の生成とに分けられる。ここまでの過程をここでは、視覚情報の獲得と称することにする。

次の比較段階と決定段階は、上記の視覚情報をもとに、普遍的な意味として意識できる認知情報に変換する過程である。本論文ではこの処理過程を認知情報への変換と名付ける。

視覚認知作業においては、現在注視している位置の情報だけでなく、注視点から離れた情報に対しても認知する必要がある。そのためには、視覚情報の生成、および認知情報への変換の準備段階として、その情報の位置に眼球運動を行う必要がある。また、眼球運動を行うためには、それに付随した眼球運動の判断、および眼球運動のプログラミングという処理が必要である。

³漢字など、その文字自体にコンテキストを含む情報は別である。ここで対象としている英字、数字などは、1文字ではコンテキストを含まないと考えるのが妥当である。

以上まとめると、本論文で対象とする視覚認知過程は、以下に示す6つの構成要素に分類することができる。このような分類は、実作業への適用をふまえた区分であり、これにより VDT 作業のモデル化が可能となるなど、ヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用が容易になると考える。

1. 表示情報の取り込み
2. 視覚情報の生成
3. 眼球運動の判断
4. 眼球運動のプログラミング
5. 眼球運動
6. 認知情報への変換

2.1.3 眼球運動前の注視における処理

以上分類した視覚認知過程の構成要素をもとに、本論文で仮定している視覚認知過程の処理構造について述べる。VDT 上に表示された情報に対する認知過程の概要は、図 2.2 に示すとおりである。VDT 上のある点を注視している状況において、新たに情報が提示されたとき、オペレータはその眼球注視(第1回注視)⁴ 位置で、VDT 上に提示された表示情報を取り込み、その視覚情報を生成する。ここで生成した視覚情報に対して、眼球運動を行うか、否かの判断を行う。“眼球運動を行わない”と判断した場合、この注視で生成した視覚情報をもとに、認知情報に変換し、VDT に提示された表示情報の認知を完了する。

一方、“眼球運動を行う”と判断した場合、眼球運動をどのように行い、目標位置に移動させるかをプログラミング[19]し、そのプログラムに従い、眼球運動を行い、その位置で注視(第2回注視)⁵ する。

⁴または眼球運動前の注視と称する。

⁵または眼球運動後の注視と称する。

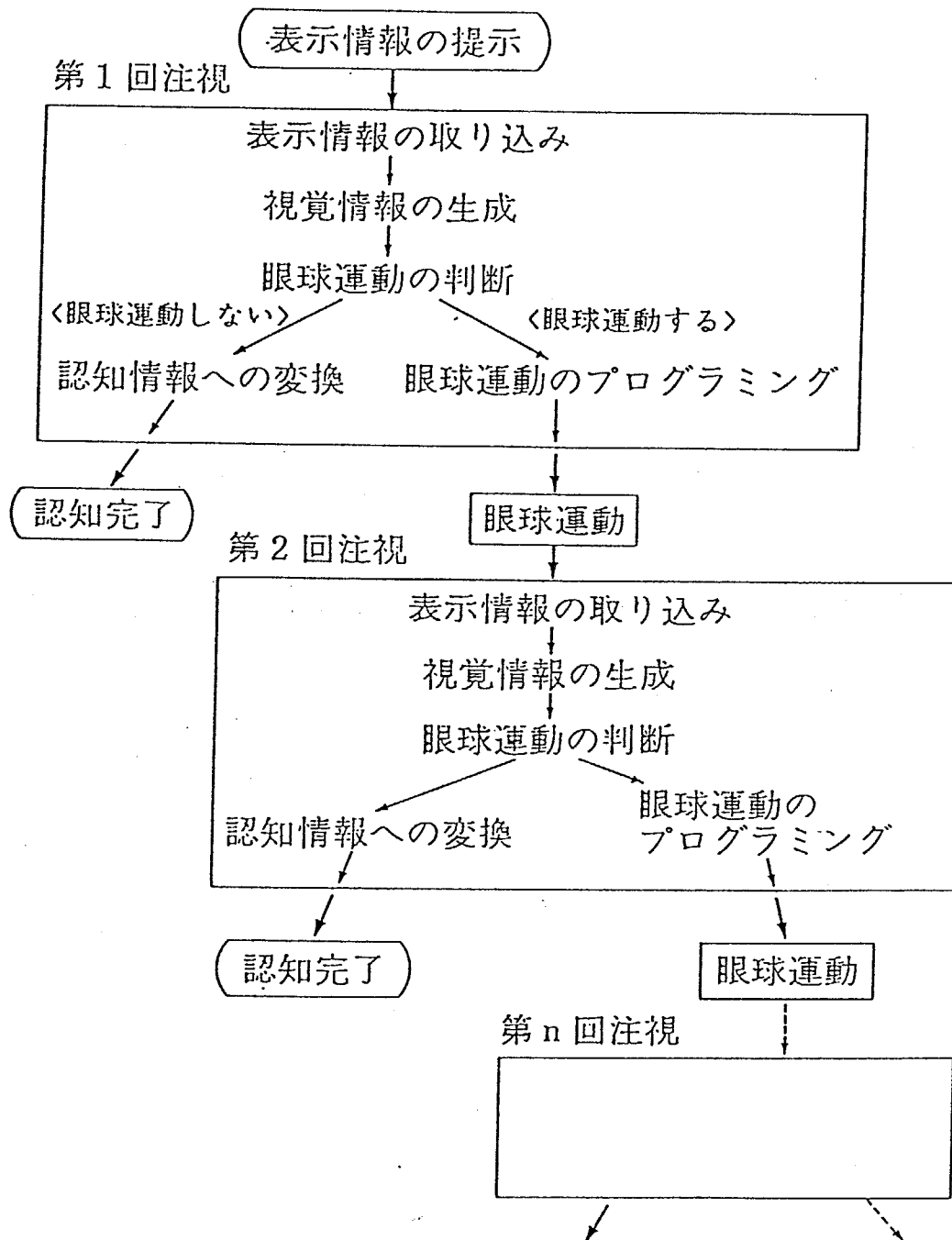


図 2.2: 視覚認知過程の概要

2.1.4 眼球運動後の注視における処理

眼球運動後の第2回注視における処理は、第1回注視と同様に、表示情報の取り込みから始まるが、第1回注視と異なる点として、第1回注視で取り込み、生成した視覚情報を利用することができる。そのため、第2回注視における表示情報の取り込み、および視覚情報の生成に対する処理が軽減される。視覚情報の生成以降の処理は、第1回注視と同様である。

第2回注視において、VDT上に表示されている情報を正しく認知できる位置に注視しておらず、眼球運動を必要と判断した場合は、図2.2に示すように、さらに第2回めの眼球運動を起し、第3回注視に移り、処理を続ける。以下同様に、表示情報を正しく認知できる位置に注視するまで眼球運動を行い、認知情報に変換し、認知は完了する。

2.2 視覚情報の獲得

2.2.1 表示情報の取り込み

VDT作業では、オペレータの眼はVDT上の一点を注視し、作業を遂行している。その間に視覚対象としての情報が継続的に表示され、それを素早く、正確に認知することが必要となる。この間に起こる人間の処理について、本節では、前節で分類した視覚認知過程の処理要素のうち特に、最初の段階、すなわち提示された表示情報に対して、視覚情報を生成するまでの段階において行われる処理を定義する。

眼から入力された表示情報は、光受容細胞により網膜上に像を結ぶ。光受容細胞は光の明暗に対する反応性が高い杆体(rod)と、光に対する反応性はそれほど高くないが、色の識別が可能な錐体(cone)とからなり、これらの細胞の網膜上の分布密度が視力と呼ばれる視覚の解像度に関係している[26]。視力は中心窩(fovea)で最もよく、周辺に行くにつれて急激に低下し、中心窩から5°外側の位置では中心窩の50%以下に低下する[14]が、視覚情報処理においては、中心視(foveal vision)⁶だけでなく、近中心視(parafoveal vision)⁷からの情報も有用であることが知られている[3]。

網膜上に投影された情報は、神経節細胞(ganglion cells)を經由して視覚中枢に転送

⁶注視点の回り1～2°の範囲。

⁷中心視の外側から、注視点の回り10°までの範囲。

される。視覚情報の伝送系である神経節細胞は、網膜の中心部に多く、色刺激に反応し、インパルスの伝送速度が遅いX細胞(X cells)と、網膜の周辺部に多く、過渡的変化の光刺激に強く反応し、インパルスの伝送速度が速いY細胞(Y cells)、およびW細胞(W cells)からなっており、これらも視覚情報の処理過程において重要な役割をもっていることが知られている[26]。生理学的にいうと、ここまでの処理、すなわち眼から取り込まれた表示情報が視覚中枢に転送されるまでの段階を、前節で分類した表示情報の取り込みと解釈することができる。また、ここまでの段階を心理学的にみると、視覚系の感覚記憶(sensory memory)である視覚情報保存(visual information store)に表示情報を取り込む過程であり、これを表示情報の取り込みと定義する。

この処理段階に関与している光受容細胞、および神経節細胞の分布密度は、この処理段階だけでなく、2.3節で述べる眼球運動の判断とプログラミングの処理の困難さ、および効率に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

2.2.2 視覚情報の生成

視覚中枢に転送された情報は、単純細胞(simple cells)、複雑細胞(complex cells)、および超複雑細胞(hyper-complex cells)により、表示情報を形成する線分の位置、方向、長さなどの図形要素を検出する[5,17]。これら3種類の特徴抽出細胞により検出された図形要素は、図形の形状の違いなどを表現できるような視覚的特徴因子として、とらえることができる。実際にはどのような形式で表現されているか明らかではないが、ここで抽出された視覚的特徴をもとに、1つの文字、あるいは図形としての心理的内部表現の視覚情報が生成される。表示情報の取り込みの後、ここまでの段階を、前節で分類した視覚情報の生成として定義する。

視覚情報の内部表現には、従来主として3種類のモデルが考えられている。その1つは鋳型照合(Template Matching)モデル[24]であるが、現在では数多くの理由から現実的でない[16]とされている。残りの2つは、特徴分析(Feature Analysis)モデル[9,10,15]と空間周波数(Spatial Frequency)モデル[11]であるが、その評価は研究者により異なっている[7,12]。

視覚認知過程における文字の誤認は、結果的には認知レベルである決定段階において起こるものであるが、その主要な原因は視覚情報の内部表現段階において、認知対象となる文字の内部表現が不明瞭であり、結果的に誤認してしまう文字に近い形式で形成されたためと考えることができる。このように、誤認の原因のかなりの部分は視

覚情報の内部表現段階に起因しており、この表現形式を解明することは重要な意味をもつ。

2.3 眼球運動の判断とプログラミング

2.3.1 眼球運動の判断

VDT 作業において、VDT 上に表示されている情報のうち、必要とする情報が現在の注視点の位置にあるという状況は極めて少ない。そのため、現在の注視点から遠く離れている情報に対して、認知する必要がある。このような状況においては、現在の注視位置で次に必要とする情報に対して、眼球運動が必要かどうかを判断するという処理が存在する。

眼球運動は、必要とする情報の内部表現が十分に鮮明でないときに必要となるものであり、眼球運動の判断の困難さの原因として、視覚情報の解像度が考えられる。解像度が強い(または弱い)情報に対しては、眼球運動の必要がない(ある)という判断が容易にできる反面、中程度の情報に対しては眼球運動の判断が難しくなることが考えられる。すなわち、解像度の特性値である視力に関して、最も判断の困難な値が存在し、網膜上のその位置から遠ざかるほど、眼球運動の判断が容易になると考えることができる。

2.3.2 眼球運動のプログラミング

眼球運動を行うと判断した場合は、移動目標位置に対する眼球運動のプログラミングを行い、そのプログラムに従い、眼球運動を行う。眼球運動のプログラミングについては、眼球運動中の全時間に渡る速度、方向等のプログラミングを眼球運動の開始直前に行うと、ここでは仮定する。このように仮定すると、移動角度の大きさに対する眼球運動のプログラミング量は、眼球運動時間に関係すると考えることができる。

また、不鮮明な視覚情報に対しては、そのプログラミングの精度が落ち、プログラミング処理がしにくくなると仮定することができる。このように、眼球運動のプログラミングの困難度は、プログラミング量に対応する眼球運動時間と、視覚情報の不鮮明度の両方が関係すると考えることができる。

英語の文章のように左から右へ読み進んでいく言語を使用している国民にとっては、

注視点の左側の情報より右側の情報の方が速く処理することができる[21]ことも知られており、この効果は眼球運動の判断、およびプログラミングに関するものと考えられる。日本人も同様に、通常左から右に文章を読解していくので、同様の効果が認められることが推測される。

2.4 眼球運動

視覚対象を取り込むために行う眼球運動は、ゆっくり動く指標⁸に対して、スムーズな動きで追跡する追隨眼球運動(pursuit eye-movement) [25]と、静止している視覚対象に対して行う、高速な断続性運動であるサッケード(saccade)[20]に分けられる。本論文で対象としている VDT 作業において行う認知過程は、VDT 上に表示されている静止している視覚対象に対するものであり、このときの眼球運動はサッケードである。

視覚対象に対する眼球運動中、およびその直前、直後に、サカディック・サプレッション(saccadic suppression)[18]と呼ばれる、視覚機能が著しく低下する現象がみられる。これはサッケードで眼球が高速に動いている最中の視覚のブレを取り除こうとする機能であり、人間の視覚情報処理においては重要な機能である。

VDT 作業への応用という観点からすると、移動角度に対する眼球運動速度、および眼球運動時間をモデル化することが重要である。サッケードの平均角速度は、運動角度に対して単調増加の関数になる[20]ことが知られており、このことを利用すると、これらの特性は簡単にモデル化することができる。

2.5 認知情報への変換

2.5.1 プロトタイプとの比較

視覚情報の生成段階において内部表現された視覚情報をもとに、これに続く比較段階と決定段階で、認知情報に変換し、その情報は短期記憶(short-term memory; STM)に格納され、視覚認知過程は完了する。視覚情報の生成が終了してから、ここまでの処理を認知情報への変換と定義し、この段階はさらに比較段階と決定段階に分けられる。

文字のような頻繁に使用されている視覚的情報に対しては、典型的な形状のイメー

⁸最大 30°/秒程度の速さ。最大 100°/秒程度の速さという報告[4]もある。

ジとしての情報であるプロトタイプ(prototype) [6]があり,それが長期記憶(long-term memory; LTM)内に貯えられている[9,12]. 比較段階においては,内部表現された視覚情報と長期記憶内のプロトタイプの情報を比較して,その結果に基づき,次の決定段階で文字を決定する[12]. しかし,一般にこれら2つの情報は一致しないため,比較段階では,決定すべき文字の候補となるべきもの,すなわち内部表現された視覚情報との相異度が,ある値より小さい文字のプロトタイプに対して,視覚情報との視覚的相違度を定量化していると考えられる.

2.5.2 認知文字の決定

比較段階でのプロトタイプと生成された視覚情報との視覚的相違度の定量化については,内部表現された視覚情報を,ある特定の方法で候補となる文字のプロトタイプに内部的に修正しており,そのときの変換処理量に関する処理量を視覚的相違度と仮定できる. このように考えると,いくつかの候補に対して,その変換処理量の最も小さい文字を,表示情報に対応する文字として認知するという処理方法が考えられる.

ここで,この認知情報への変換に必要な処理時間は,上記の内部的修正を必要とするプロトタイプの数,あるいは変換に関する全候補に対する内部的修正の総量に関係する可以考虑することができる.

参考文献

- [1] Anderson, J.R. : *Cognitive Psychology and Its Implications*, 6 ~ 10, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1980.
- [2] Anderson, J.R. : *Cognitive Psychology and Its Implications*, 226 ~ 235, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1980.
- [3] Balota, D.A. and Rayner, K. : Parafoveal Visual Information and Semantic Contextual Constraints, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 9(5), 726 ~ 738, 1983.
- [4] Bermark, N.H. : Dynamic Visual Acuity as an Index of Eye Movement Control, *Vision Research*, 10, 1377 ~ 1391, 1970.
- [5] Blackmore, C. and Campbell, F.C. : On the Existence of Neurones in the Human Visual System Selectively Sensitive to the Orientation and Size of Retinal Image, *Journal of Physiology*, 203, 215 ~ 243, 1969.
- [6] Chase, W.G. : Visual Information Processing, In Boff, K.R., Kaufman, L. and Thomas, J.P. (eds), *Handbook of Perception and Human Performance* (Chapter 28), John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [7] Coffin, S. : Special Frequency Analysis of Block Letters Does Not Predict Experimental Confusions, *Perception & Psychophysics*, 23(1), 69 ~ 74, 1978.
- [8] Ericsson, K.A. and Simon, H.A. : *Protocol Analysis : Verbal Reports as Data*, MIT Press, Cambridge, 1984.
- [9] Geyer, L.H. and DeWald, C.G. : Feature Lists and Confusion Matrix, *Perception & Psychophysics*, 14, 471 ~ 482, 1973.

- [10] Gibson, E.J. : *Principles of Perceptual Learning and Development*, Meredith Press, New York, 1969.
- [11] Harvey, L.O. and Gervais, M.J. : Visual Texture Perception and Fourier Analysis, *Perception & Psychophysics*, **24**, 534 ~ 542, 1978.
- [12] Harvey, L.O. and Gervais, M.J. : Internal Representation of Visual Texture as the Basis for the Judgement of Similarity, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, **7**(4), 741 ~ 753, 1981.
- [13] Just, M.A. and Carpenter, P.A. : A Theory of Reading : From Eye Fixation to Comprehension, *Psychological Review*, **87**, 329 ~ 354, 1980.
- [14] 神作 博 : 感覚・知覚ハンドブック(第5章 視覚), 和田陽平, 大山 正, 今井省吾編, 250 ~ 267, 誠信書房, 1969.
- [15] Laughery, K.R. : Computer Simulation of Short-Term Memory : A Component Decay Model, In Bower, G.T. and Spence, J.T. (eds), *The Psychology of Learning and Motivation : Advances in Research and Theory*, Vol. VI, Academic Press, New York, 1971.
- [16] Lindsay, P.H. and Norman, D.A. : *Human Information Processing (2nd ed.)*, 2 ~ 55, Academic Press, New York, 1977.
- [17] Lindsay, P.H. and Norman, D.A. : *Human Information Processing (2nd ed.)*, 230 ~ 237, Academic Press, New York, 1977.
- [18] Matin, E. : Saccadic Suppression : A Review and an Analysis, *Psychological Bulletin*, **81**(12), 899 ~ 912, 1974.
- [19] McConkie, G.W. : Eye Movements and Perception during Reading, In Rayner, K. (ed), *Eye Movements in Reading*, 65 ~ 96, Academic Press, New York, 1983.
- [20] Rayner, K. : Eye Movements in Reading and Information Processing, *Psychological Bulletin*, **85**(3), 618 ~ 660, 1978.

- [21] Rayner,K. : Eye Movements Latencies for Parafoveally Presented Words, *Bulletin of the Psychonomics Society*, **11**, 13 ~ 16, 1978.
- [22] Rayner,K. : *Eye Movements in Reading*, Academic Press, New York, 1983.
- [23] Rayner,K. and McConkie,G.W. : What Guides a Reader's Eye Movement ?, *Vision Research*, **16**, 829 ~ 837, 1976.
- [24] Selfridge,O.G. and Neisser,U. : Pattern Recognition by Machine, *Scientific American*, **203**, 60 ~ 68, 1960.
- [25] Stark,L. : *Neurological Control Systems : Studies in Bio-Engineering*, 236 ~ 290, Plenum Press, New York, 1968.
- [26] 外山敬介 : 感覚器と脳の生理, 生体における情報処理(南雲仁一編), 岩波書店, 1 ~ 42, 1982.

第3章 視覚的特徴抽出に関する 共通因子¹

3.1 序

人間の視覚系機能を中心とする視覚認知作業は、VDT 作業だけでなく、原子力プラントにおける制御盤の操作、航空機のコックピット内での操作など、あらゆる作業現場において行われている。このような作業は、産業界における作業に限らず、たとえば自動車の運転など、我々の日常生活のあらゆる面において、広く行われている。このような作業、行動は、眼から取り込んだ視覚的情報を瞬時に認知、判断し、それに対する処理、応答を行うものである[9]。このような作業は、必ずしも適正な環境、または状況のもとで行われているとは限らず、厳しい状況下では誤認などが起こり、時としてそれがもとで作業ミス、事故などを誘発することがある。このような作業ミス、事故を未然に防ぐための方法の1つとして、人間の視覚情報処理の特性を十分に把握し、誤認を引き起こす危険性の少ない視覚的情報を提示する必要がある。

第2章でも述べたとおり、視覚認知作業における表示情報の誤認は、結果的には認知レベルである決定段階において起こるものであるが、視覚情報の内部表現段階において、認知対象となる表示情報に対する内部表現が不明瞭であることが、その主要な原因と考えられる。本章では、第2章で分類した視覚認知過程の処理の枠組みのうち、視覚情報の獲得過程、すなわち表示情報の取り込みと視覚情報の生成に焦点を当て、特に誤認という作業の正確さに関連する重要な現象をもとに、その処理メカニズムを明らかにする。

本章で対象とする視覚情報の獲得過程において誤認に関連する重要な機能は、生成

¹本章の内容の一部は、伊藤謙治：“文字認知過程における視覚的特徴抽出に関する共通因子”として、日本人間工学会誌, Vol.23, No.3, pp.145 ~ 154, 1987 に掲載されたものである。

した視覚情報の内部表現と、そのための前段階である視覚的特徴抽出に関する機能である。視覚情報の内部表現形式については、次章で詳しく述べる。それに先立ち本章では、視覚情報の内部表現の前段階である視覚的特徴抽出に関して、その機能を明らかにすることを目的とする。このように、表示情報に対する視覚的特徴の抽出は、視覚情報を生成する前に行われるので、表示情報の違いによらないいくつかの共通因子で説明できるという立場から²、この機能を明らかにしようとするものである。

以上の目的に従い、ここでは実験で使用する視覚刺激として英大文字を選択し、実験により収集した誤認に関するデータを、コンフュージョン・マトリックス(confusion matrix)としてまとめる。これを多次元尺度構成法の1つである MDSCAL[5] を用いて解析することにより、視覚情報の内部表現に関係する視覚的特徴因子を抽出する。英大文字に対して抽出した視覚的特徴因子が、本章で主張するように、表示情報の違いによらない共通因子であるかどうかを考察するために、同様の手続きを用い、英小文字に対する視覚的特徴因子を抽出する。さらに、英字母国民から得られたコンフュージョン・マトリックスにより、同様にして視覚的特徴因子を抽出する。これらの因子をもとに、本章の実験データから抽出した英文字に対する視覚的特徴因子が、使用する母国語の違いにより異なるかどうかを調べる。

視覚皮質内の単純細胞、複雑細胞、および超複雑細胞が視覚的特徴抽出に関与しているという事実から、ここで抽出した視覚的特徴因子のこれらの細胞との関連について考察する。

本章ではさらに、このような視覚的特徴抽出の機能に対して存在する、“文字混同の方向性”という名称で定義する誤認の傾向を明らかにし、これと視覚的特徴因子との関係をモデルを立てて、考察する。

3.2 英文字認知における視覚的特徴抽出

3.2.1 英大文字認知実験(実験3.1)

英大文字を視覚刺激として、視覚的特徴抽出の共通因子の獲得を目的とする英大文字認知実験(実験3.1)を行なう。実験はディスプレイに表示した英大文字を認知させるものであるが、実験により得られたデータを文字間の類似性を示す指標として使用

²たとえば、英字、漢字、さらに図形など、どのような表示情報に対しても、同じような基準で特徴を抽出する共通の因子が存在するという考え方。

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

図 3.1: 刺激に用いる英大文字

するために、文字認知の正答率が約50%になるように制御する必要がある[2]。この条件を満足する方法として、被験者から距離的に遠く離れた位置に刺激を表示する方法(distance vision)、被験者の周辺視に表示する方法(eccentric vision)、および視覚マスキング(visual masking)[13] を利用する方法の主として3種類がある。上記の方法のうち、“distance vision”と“eccentric vision”の2つの方法は、結果に類似性が認められている[2]。また、通常のVDT作業においては至近距離で、自動車の運転においては至近距離ではないが、周辺視からの視覚的情報も活用しているので、本実験では周辺視に刺激を表示する“eccentric vision”による方法を採用する。

(1) 被験者

英文字に熟知しているという条件を考慮に入れ、本実験では本学の男子学生5名(20～23歳)を被験者として用いた。5名のうち4名は、眼鏡などの矯正を必要としない正常な視機能を有する者であり、他の1名は眼鏡の矯正により正常な視機能を有する者である。

(2) 実験装置と文字刺激

実験は、VDT作業の推奨照度[10,12]に従い、水平面照度280～320luxに保たれた室内で、反射光の影響の少ない位置に設置されたパーソナルコンピュータ(NEC PC-9801E)と、これに接続された14インチディスプレイ(NEC PC-8853N; 80文字×25行)により実施した。表示する英大文字は、図3.1に示すような7×13ドットで構成されたA～Zの26文字を使用した。また、ディスプレイへの表示は白黒ポジ表示で、輝度は文字27cd/m²、背景2cd/m²、輝度比13.5の条件で表示した。

(3) 実験手順

被験者は通常のVDT作業の推奨視距離[12]と同様のディスプレイの手前約45cmに座り、予備実験により文字正答率が約50%になるように、あらかじめ設定されたディ

表 3.1: 英大文字のコンフュージョン・マトリックス

S\R	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	計
A	12												1		1												14
B		5			1			1					1		2		3										13
C			10												1		4										15
D				5		1			1	1		1			5												14
E					14															1							15
F						13				1															1		15
G	1		2				3							1		5			1								13
H								8					2	1									4				15
I				1			1	10	1		2																15
J									15																		15
K			2		1		1			10																	14
L								1			14																15
M							3					8	4														15
N		1						3				5	2										4				15
O			1					3						1	8		3						1				15
P		1				2						1			10												14
Q	2		2				3							1		1	4						1				14
R						1		1		1		2	1		1			6	1								14
S							1			1								1	9								12
T					1																14						15
U												1										6	1	7			15
V														1								1	5	6	1	1	15
W												2										4		8			14
X											1	1													13		15
Y																				3					12		15
Z			1		1														1	1						11	15
計	15	7	18	5	18	18	7	18	11	18	13	17	24	13	8	21	12	7	18	20	11	6	31	14	13	12	375

スプレイ中央の注視点から 12°右方向の位置に、文字刺激 1 文字(視角約 0.36°に相当)が提示される。刺激提示時間は文字の認知には十分であり、かつ提示中に眼球運動を行う余裕を与えない時間値として、50msec とした。被験者は提示された文字刺激に対して、眼球運動を行わずに認知し、その文字をキーボードを打鍵することにより報告する。

すべての被験者とも、実験前日と当日における十分な練習後、英大文字 26 文字に対し各 3 回、計 78 回の試行をランダムな順序により実験を実施した。

3.2.2 英大文字の視覚的特徴因子

英大文字認知実験の結果、5名の被験者とも全体的な傾向において差異がみられなかったため、全被験者の実験データを総合して、表 3.1に示す刺激 i に対する応答 j の頻度 f_{ij} を成分としてもつコンフュージョン・マトリックス($F = [f_{ij}]$)としてまとめる。こ

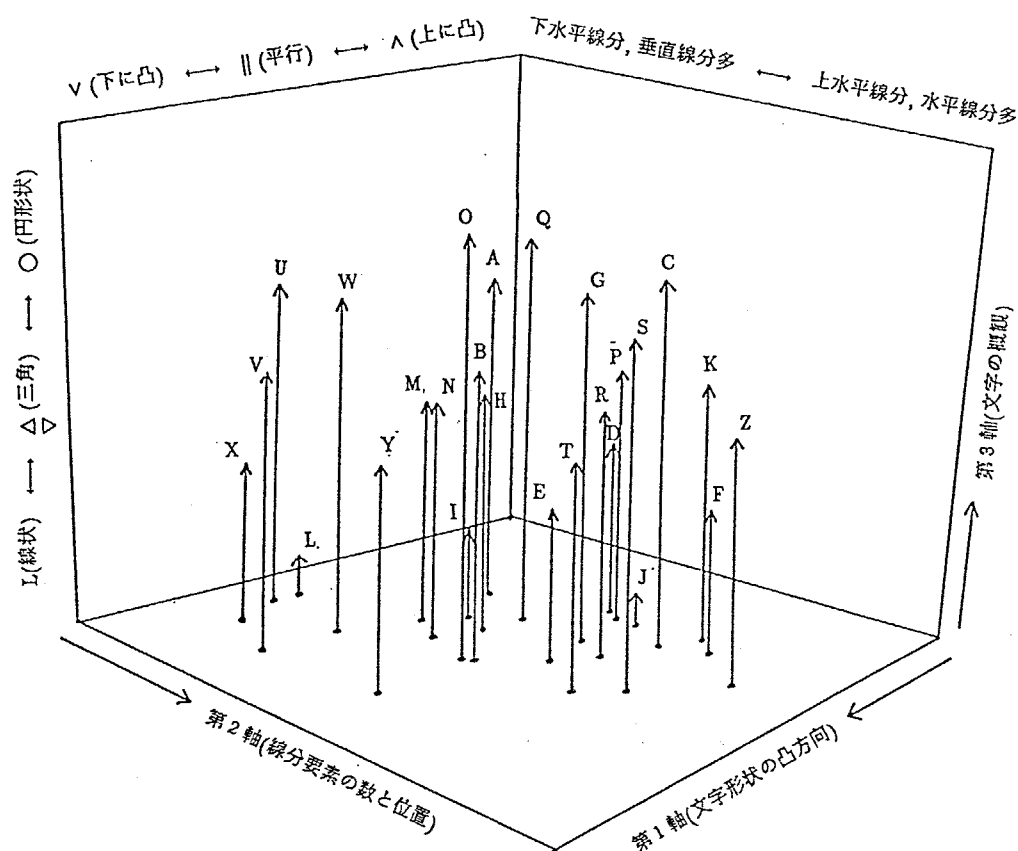


図 3.2: 英大文字の空間布置

のコンフュージョン・マトリックスをもとに、文字 i, j の類似性を示す尺度 S_{ij} を式(3.1)により計算する。この指標は、2文字 i, j を混同した相対的割合に相当し(この指標を相対的混同率という言葉で定義する)、Shepard[11]のモールス符号の知覚の解析に用いた類似性指標と同様のものである。

英大文字の認知過程における視覚的特徴因子を抽出するために、この相対的混同率 S_{ij} をさらにランク・オーダに直したものを2文字間の非類似性を表わすノンメトリカルなデータとして、このデータをMDSCALにより解析する。

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{f_{ij}}{f_{ii}} + \frac{f_{ji}}{f_{jj}} \right) \quad (3.1)$$

MDSCALによる解析の結果、英大文字の視覚的特徴抽出は、3次元の因子により説明することができる。このときの因子構造の適合度を示すストレス(stress)は0.041であり、“よいあてはまり”[6]を示している。このときの英大文字26文字の空間布置の様子を図3.2に示す。

第1軸は、“文字形状の広がりの方”に関する因子と解釈でき、軸の負から正の方

向に向かい、下に広がっている(上に凸)文字、平行な文字、上に広がっている(下に凸)文字と変化していることがわかる。実際、この軸に沿って、負の方向には、A, J, K などの下に開いている文字が位置し、I, H, E, M, N などの平行な文字を経て、正の方向には、U, W, V, Y などの上に開いている文字が位置している。

第2軸は、“文字を形成する水平および垂直線分要素の数と位置”に関する因子と解釈することができる。この軸の負の方向には、垂直線分の本数の多い文字、または水平線分が全体の下側にある文字が位置し、正の方向には逆に水平線分の本数が多い文字、または水平線分が全体の上側に多くついている文字が位置している。軸の負から正の方向への変化に従い、位置している文字をみると、 $L \rightarrow U \rightarrow M \rightarrow I \rightarrow H \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow T \rightarrow Z$ となっている。

最後に第3軸には、直線形状(直線状開図形)、三角形形状(直線状閉図形)、円形状(曲線状閉図形)といった形状の文字が並び、この軸は“文字形状の概観”に関する因子と解釈することができる。軸の負の方向に位置しているI, L, J, F, Eなどの直線で形成されている単純な線形状の文字から、T, Y, V, W, Aなどの三角形形状の文字を経て、軸の正の方向のO, C, Q, G, Sなどの円形状の文字へと移っていることがわかる。

以上、英大文字の誤認データをもとに、3種類の視覚的特徴因子が抽出できた。

3.2.3 視覚的特徴因子による英大文字の分類

英大文字の認知過程において、文字形状の広がり方向(第1軸)、文字を形成する水平および垂直線分要素の数と位置(第2軸)、および文字形状の概観(第3軸)という3つの視覚的特徴因子が抽出できた。この3つの因子を基準に英大文字をグルーピングすると、表 3.2に示す9つのグループに分類できる。この9つのグループについて、(a)文字を正しく報告した率(文字正答率)、(b)グループ内の他の文字を報告した率(グループ内文字正答率)、および(c)グループ内の文字を報告する率(グループ正答率; (a)+(b))の各々を計算したものを表 3.2に併せて示す。

グループ正答率は61.9 ~ 95.6%の範囲に分布し、特に直線形状の文字のものが高く、逆に円形状の文字の比率が低いことがわかる。全グループを平均すると、グループ正答率は81.1%となり、16の図形的特徴リストを用いて英小文字をグルーピングした Bouma [2]の実験におけるグループ正答率の平均75%より高い。このようなことから、§ 3.2.2 で抽出した3つの視覚的特徴因子が、文字認知における視覚的特徴抽出において十分寄与していることがわかる。

表 3.2: 英大文字の分類と認知正答率

3軸	1軸		下に凸	平行	上に凸	
	2軸					
円形状	水平			CRS 0.610 0.146 0.756		0.482
	垂直			GOQ 0.357 0.262 0.619		0.217 0.699
三角形状	水平	Y 0.8 — 0.8	BDPZ 0.554 0.143 0.697			0.556
	垂直	UVWX 0.542 339 0.881	HMN 0.4 0.4 0.8	A 0.857 — 0.857		0.243 0.799
直線状	水平		EFKT 0.864 0.051 0.915			0.865
	垂直		IJL 0.867 0.089 0.956			0.067 0.932
水平総計	垂直総計					
0.696	0.566	0.595	0.622	0.857		0.625
0.099	0.259	0.270	0.174	—		0.186
0.795	0.825	0.865	0.796	0.857		0.811

最上段：グループに属する文字 第2段：文字正答率
 第3段：グループ内文字正答率 最下段：グループ正答率

表 3.3: 2 文字間の混同の頻度と方向(大文字)

	文字		混同の方向			文字		混同の方向	
	i	j	$i \rightarrow j$	$j \rightarrow i$		i	j	$i \rightarrow j$	$j \rightarrow i$
1	H	W	14	4	18	H	N	4	4
2	B	E	17	0	19	M	N	4	4
3	M	H	13	4	20	C	E	7	0
4	K	L	15	1	21	N	W	7	0
5	J	I	9	5	22	Z	F	6	1
6	V	U	11	2	23	F	E	5	2
7	O	Q	8	5	24	T	I	4	3
8	M	W	7	4	25	G	E	6	0
9	W	U	6	5	26	R	E	6	0
10	D	P	10	0	27	R	F	6	0
11	S	E	10	0	28	G	O	4	2
12	P	F	9	1	29	U	M	4	2
13	I	L	6	4	30	Q	L	5	0
14	V	W	6	3	31	Y	V	4	1
15	S	F	8	0	32	H	U	3	3
16	Z	E	8	0	33	Q	C	3	2
17	G	C	6	2					

3.3 文字混同の方向性

3.3.1 文字混同の方向性の定義と仮説

前節では、2 文字間の視覚心理的距離が接近しているものほど、この2 文字を混同する割合が高いことを仮定し、英大文字に対する3つの視覚的特徴因子を抽出した。2 文字 i, j の混同データとして解析に用いた相対的混同率には、文字 i を文字 j と間違える場合と、文字 j を文字 i と間違える場合の両方を含んでいる。2 文字 i, j の混同における上記2通りの発生割合の違いを文字混同の方向性と定義すると、明らかに文字混同

の方向性が存在することがわかる。たとえば、表 3.3 に示すように、D を P と誤認することはあっても、P を D と誤認することはない。このようなとき、混同の方向性が強い、または方向性があると定義する。逆に、M と N のように、M を N と誤認する割合と、N を M と誤認する割合が等しい、またはその差が小さいとき、混同の方向性がない、または弱いと定義する。

網膜中心窩は錐体細胞の数が多く高解像度である。一方、周辺では錐体細胞の数はわずかで、細胞のほとんどは杆体細胞であり、中心窩と比べ解像度が低い[3]。本実験は周辺視に文字刺激を提示する方法(eccentric vision)を採っており、文字の混同は周辺の低解像度の情報を取り込んでいるため起こると考えられる。文字を形成する表示情報の知覚は、より単純な形状に知覚する傾向があり、したがってより単純な形状の文字に誤認するという仮説が立てられる。

ここで、単純な形状というのは、§ 3.2.2 で抽出した3つの視覚的特徴因子に対してであり、すなわち第1軸では上に凸、または下に凸な形状より、平行な形状が単純であると考えられる。第2軸に関しては、垂直線分が多く正立している文字、または水平線分が下側に多く安定感を与える形状を単純な形状と考える。また、第3軸に関しては、円形状より三角形状、さらに直線形状のものを単純な方向と考える。

単純な形状をこのように定義すると、2文字の混同について3つの視覚的特徴因子のうち、ある因子に関しては一方の文字が複雑であり、また他の因子に関しては他方の文字が複雑であるといったような文字の組合せに対しては、§ 3.2.2 で抽出した3つの視覚的特徴因子の影響が相殺しあい、全体の形状としてみて、その複雑度が大差がなく、文字混同の方向性は弱いと考えられる。逆に、3つの視覚的特徴因子に関して、一方の文字から他方の文字に向かい、各因子とも単純な形状の方向に向いているものほど、文字混同の方向性が強いことが期待される。

3.3.2 文字混同方向性モデル

英大文字 i は、3つの視覚的特徴因子 $p_i^{(1)}, p_i^{(2)}, p_i^{(3)}$ で構成されていることから、その形状を視覚特徴ベクトル $\mathbf{p}_i = (p_i^{(1)}, p_i^{(2)}, p_i^{(3)})$ で表わすことができる。ここで、英大文字 i から j への視覚的な相違を3つの視覚的偏差成分 $d_{ij}^{(1)}, d_{ij}^{(2)}, d_{ij}^{(3)}$ をもつ視覚的偏差ベクトル $\mathbf{d}_{ij}$ として、式(3.2)で表わす。

$$\mathbf{d}_{ij} = \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j \quad (3.2)$$

$$\mathbf{v}_{ij} = \frac{\mathbf{d}_{ij}}{\|\mathbf{d}_{ij}\|} \quad (3.3)$$

$$r_{ij} = \frac{\max(f_{ij}, f_{ji})}{f_{ij} + f_{ji}} \quad (3.4)$$

一般に2文字*i, j*間の視覚的距離 $\|\mathbf{d}_{ij}\|$ が近いほど、その成分である $d_{ij}^{(1)}, d_{ij}^{(2)}, d_{ij}^{(3)}$ は小さくなる。文字混同の方向性尺度 r_{ij} を式(3.4)で定義し、 r_{ij} を $\mathbf{d}_{ij}$ で説明しようとする、 $\|\mathbf{d}_{ij}\|$ が小さいとき、方向性尺度 r_{ij} の過小評価が起こり、逆に $\|\mathbf{d}_{ij}\|$ が大きいときは過大評価が起こる。この効果を取り除くための説明変数として、視覚特徴相違ベクトル $\mathbf{v}_{ij}$ を式(3.3)で定義し、文字混同の方向性尺度 r_{ij} を、これにより説明する。

3.3.3 文字混同の方向性と視覚的特徴因子の関係

文字混同の方向性と、§ 3.2.2で抽出した3つの視覚的特徴因子との関係を解析するために、英大文字認知実験(実験3.1)と同様の手続きで、英大文字認知実験に参加していない別の8名の被験者を使用し、実験を行った。その結果、混同の頻度の多い2文字の組み合わせ上位33組を表3.3に示す。この33組の混同データを用い、§ 3.3.2で述べたように、文字混同の方向性尺度 r_{ij} を目的変数、視覚特徴相違ベクトル $\mathbf{v}_{ij}$ の3つの視覚的特徴因子に対応する成分 $v_{ij}^{(1)}, v_{ij}^{(2)}, v_{ij}^{(3)}$ を説明変数として、重回帰分析によりこれらの関係を解析する。

解析の結果、文字混同の方向性は、§ 3.2.2で抽出した視覚的特徴因子に関する視覚特徴相違ベクトル $\mathbf{v}_{ij}$ により、かなりよく説明することができる(重相関係数 $R = 0.914$; $F_0 = 49.10^{**}$)³。視覚的特徴因子の第1～3軸に対応する各視覚特徴相違成分に対する偏回帰係数は、それぞれ $-0.2676, 0.2180, 0.5866$ 、またこれらに対応する*t*値はそれぞれ $-2.729^*, 2.935^{**}, 10.289^{**}$ であり、すべての視覚特徴相違成分とも、文字混同の方向性の説明に寄与していることがわかる。また、各視覚的特徴因子に関する特徴の複雑度を、§ 3.3.1で述べた方向と仮定すると、33組のデータ中、3つの視覚特徴相違成分がすべて複雑な方向を示しているものではなく、形状が明らかに複雑な文字の方向に混同しているケースがないことを示している。

³†: 10%有意; *: 5%有意; **: 1%有意, 以下同様。

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

図 3.3: 刺激に用いる英小文字

文字混同において、簡単な形状の方向に混同するという仮説について、視覚的特徴因子の第1軸からみていくと、第1軸の視覚特徴相違成分に対する偏回帰係数は負の値をもち、第1軸に対する混同は正の方向に向き、下に広がっている形状を平行な形状に知覚する傾向がある。第2軸の文字を形成する水平および垂直線分要素の本数におけるバランスと、垂直方向における水平線分要素の位置に関しては、垂直線分を中心に文字を形成しているものに知覚する傾向があることがわかる。最後に、最も顕著な傾向を示している第3軸の文字形状の概観の混同の方向に関しては、軸の負の方向、すなわち円形状、三角形状のものを、より単純な形状をしている線形状のものに知覚する傾向がある。以上の結果より、文字混同の方向性に関する仮説は成り立つと考えられる。

3.4 視覚的特徴因子の検証

3.4.1 英小文字の視覚的特徴因子

英大文字認知実験(実験3.1)を通じて、“文字形状の広がり方向”、“文字を形成する水平および垂直線分要素の数と位置”、および“文字形状の概観”の3つの視覚的特徴因子の存在が示唆された。これらの因子が英大文字に対してだけでなく、一般的な視覚情報処理の特徴抽出の共通因子になりうることを検証するために、英小文字を例にとり、その視覚的特徴因子を抽出することを目的とする英小文字認知実験(実験3.2)を行う。被験者は英大文字認知実験と同一の5名を用い、同様の手続きにより実験を行った。刺激として使用する英小文字を図3.3に示す。

各被験者の文字認知の結果は、全体的傾向において差異がみられないと判断でき、英大文字の場合と同様に、全被験者のデータを総合して、誤認データをコンフュージョン・マトリックスにまとめた。このコンフュージョン・マトリックスをもとに、英大文字の解析に用いたものと同様の非類似性指標を用い、MDSCALにより解析する。英小文字に関する視覚的特徴因子は、英大文字の結果ほど明確ではないが、解析の結果、

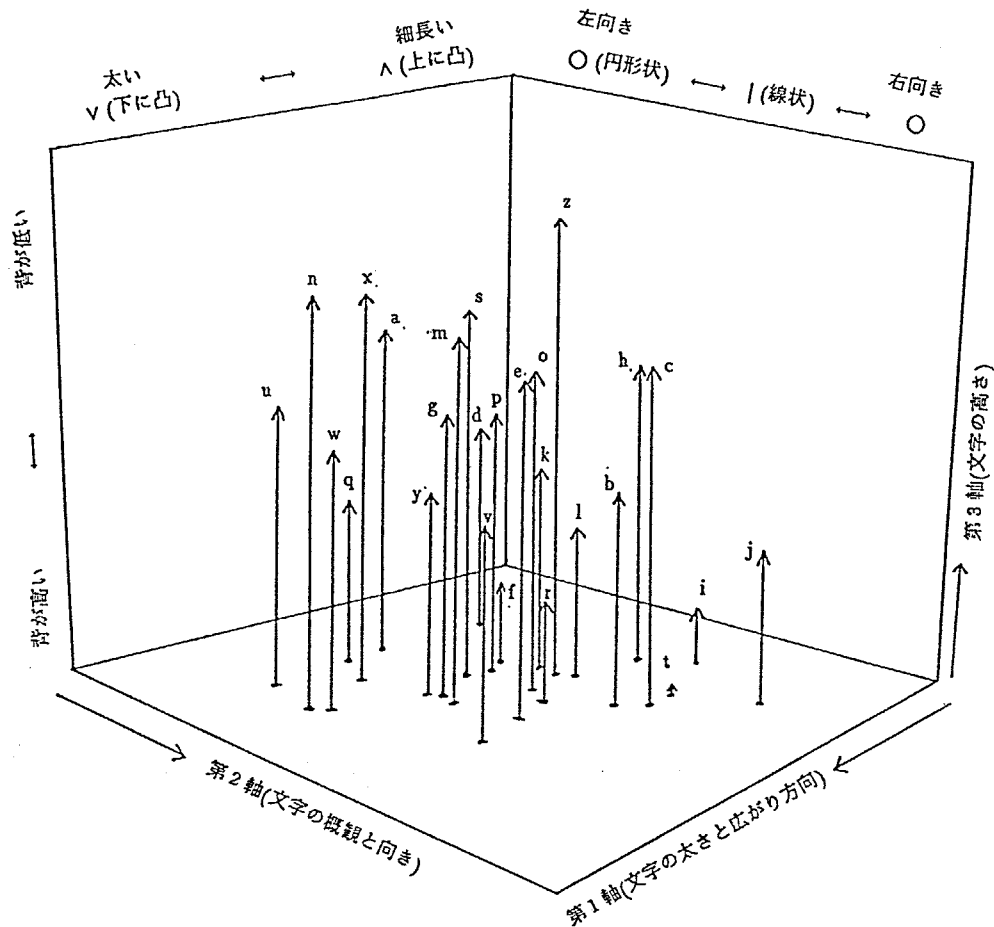


図 3.4: 英小文字の空間布置

図 3.4に示すように、英小文字の特徴抽出は3次元の因子により説明することができる(ストレスは0.052).

第1軸は、“文字の幅と広がり方向”に関する因子と解釈でき、英大文字に関する視覚的特徴因子の第1軸に対応する因子と考えられる。この軸の負の方向には、l, h, i, j のような細長く下に広がった形状の文字が位置している。一方、正の方向には、v, w, u などの背が低く幅の広い、上に広がった形状の文字が位置している。

第2軸は、“文字形状の概観とその向き”に関する因子と解釈することができ、英大文字に関する第3軸に対応する因子と思われる。この軸の負の方向には、d, q, a などの円形状で左向きの文字が絶対値の大きい位置に布置され、絶対値の小さい位置には y, n などの直線形状で左向きの文字が並んでいる。一方、軸の正の方向には c, e, b などの円形状で右向きの文字が座標値の大きい位置に、h, r, i などの直線形状で右向きの文字が座標値の小さい位置に布置されている。

最後に、第3軸は“文字の垂直方向の高さ”に関する因子と解釈でき、英大文字に関

する第2軸に対応する因子と考えられる。いくつかの例外はあるが、軸の負の座標には l, f, t などの背の高い文字が位置し、正の座標には n, x, s, m などの背の低い文字が位置している。

以上、英小文字の視覚的特徴抽出において、英大文字とまったく同じではないが、特性としてかなり類似した3つの視覚的特徴因子が抽出できた。英大文字と英小文字に関する視覚的特徴因子の関係は、§ 3.5.1で考察する。

次に、英大文字と同様に英小文字に対する文字混同の方向性をみるために、この実験による誤認データを用い、混同の頻度の多い2文字の組み合わせ上位23組を表 3.4に示す。この表からわかるように、英小文字においても文字混同の方向性が存在することとは示唆されるが、単純な形状の方向を向いているかについては、このデータからは英小文字の場合ほど明確でない。これは英大文字において抽出した3つの視覚的特徴抽出因子の各軸に対して、形状の単純な方向を容易に定義することができないために起こるものと考えられる。

3.4.2 英字母国民の視覚的特徴因子

§ 3.2.2, および§ 3.4.1で、日本人被験者に対して英大文字と英小文字に、ほぼ共通した3つの視覚的特徴因子をそれぞれ抽出することができた。次に、英字を母国語とする国民の視覚的特徴因子と、母国語としない日本人の因子構造の相違を調べるために、Bouma[2]の注視点から7°周辺の位置(eccentric vision)に英小文字を提示したオランダ人被験者10名に対する実験データを用い、同様の方法で MDSCALにより、視覚的特徴因子を抽出する。解析の結果、図 3.5に示すとおり、3次元の因子により説明することができるが、その適合度は日本人被験者の英大文字と英小文字における実験結果よりは悪く、“まあまあの適合具合”(ストレスは0.12) [6]である。

第1軸は、“文字形状の概観”に関する因子と解釈でき、日本人被験者による英小文字の視覚的特徴因子の第2軸に対応する因子と考えられる。この軸の負の方向には i, l, t などの直線形状の文字が位置し、軸の正の方向に向かって、x, n, u などの矩形形状の文字を経て、o, q, c などの円形状の文字が正の座標に位置している。

第2軸は、“文字の幅”に関する因子と解釈でき、これは日本人被験者の英小文字の第1軸に対応するものである。軸の負の方向には f, j, l, i などの細長い文字が並び、正の方向に移るにつれて、n, u, m などの幅の広い太った文字が布置されるようになる。

表 3.4: 2 文字間の混同の頻度と方向(小文字)

文字 混同の方向					文字 混同の方向				
	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>i</i> → <i>j</i>	<i>j</i> → <i>i</i>		<i>i</i>	<i>j</i>	<i>i</i> → <i>j</i>	<i>j</i> → <i>i</i>
1	i	l	9	5	13	l	f	2	2
2	z	s	8	0	14	s	o	2	2
3	c	o	6	2	15	c	e	3	0
4	n	m	6	1	16	b	h	3	0
5	u	w	5	2	17	g	p	3	0
6	y	p	5	1	18	w	m	3	0
7	k	h	5	0	19	r	p	3	0
8	t	i	5	0	20	a	s	2	1
9	r	f	3	2	21	o	e	2	1
10	k	l	4	0	22	t	f	2	1
11	j	l	3	1	23	s	p	2	1
12	w	n	3	1					

最後に、第3軸は“文字の垂直方向の高さ”に関する因子と解釈され、日本人被験者の英小文字の第3軸と一致する。軸の中央を境に、背の高い文字と低い文字がきれいに分かれていることがわかる。

以上のことからわかるように、英字を母国語としている国民(オランダ人)と、そうでない国民(日本人)との間に、視覚的特徴因子の相違はほとんどないといえ、本章で抽出した3つの視覚的特徴因子は英字を母国語としない日本人に特有な因子ではなく、英字を母国語として利用している人間に対しても、かなり共通性のある因子であることが示唆される。

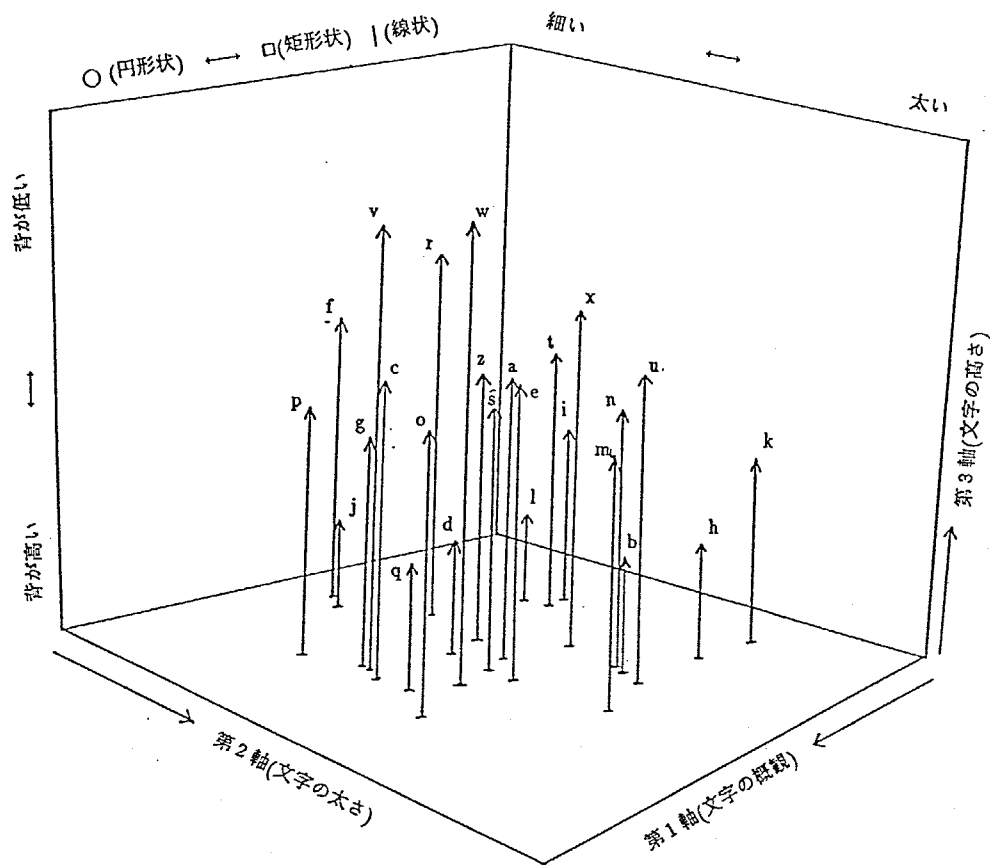


図 3.5: オランダ人被験者に対する英小文字の空間布置

3.5 考察

3.5.1 視覚的特徴因子と特徴抽出細胞の関連

以上, 英大文字と英小文字を例にとり, 人間の文字認知過程における3つの視覚的特徴因子を抽出した. 本節では, この視覚的特徴因子と, 冒頭で述べた大脳の視覚皮質内にある3種類の特徴抽出細胞[1]との関連について考察する.

単純細胞は位置と方向に, 複雑細胞は方向に, また超複雑細胞は位置, 方向のほか, 長さに対して選択性があることが知られている[8]. 英大文字認知実験(実験3.1)で抽出した視覚的特徴因子に関する第1軸の“文字形状の広がり方向”に関する視覚的特徴因子は, 線分方向性に関連する因子と解釈でき, 特に複雑細胞に関連の大きい因子であると考えられる. 第2軸の“文字を形成する水平および垂直線分要素の数と位置”に関する因子は, 主として線分の位置と方向に関するものであり, 単純細胞が関与しているものと思われる. また, 第3軸の“文字形状の概観”に関する因子は, VDT 表

示においては、文字がドット・マトリックスで形成されているため、斜線、曲線は短い直線の組み合わせで構成されていることを考えると、ある方向性をもった線分の有無とその長さに関係し、主として超複雑細胞との関連が強いものと考えられる。

英小文字認知実験(実験3.2)において抽出した視覚的特徴因子について考えてみると、第1軸の“文字の幅と広がり方向”に関する因子は、線分の方向性と水平線分の長さに関するものであり、複雑細胞と超複雑細胞との関連の大きい因子であると考えられる。第2軸の“文字形状の概観とその方向”に関する因子は、ある方向性をもった線分の有無とその長さ、および垂直線分の位置と解釈でき、単純細胞と超複雑細胞とに関連するものとする。第3軸の“文字の垂直方向の高さ”に関する因子は、垂直線分の長さに関する因子であり、超複雑細胞の関与が考えられる。

以上、英大文字と英小文字を対象とする文字の認知過程を通して、大脳の視覚皮質における単純細胞、複雑細胞、および超複雑細胞が抽出する線分の位置、方向、および長さの各特徴に対して、その特徴が単独に、またはこれらのうちのいくつかが相互に組み合わせられたものに関連の深い視覚的特徴因子を抽出することができた。ここで、英大文字と英小文字に対して抽出した視覚的特徴因子の表現の若干の違いは、たとえば英小文字は背の高い文字と低い文字が混在しているのに対し、英大文字はすべての文字に関して、背の高さは等しいといったように、英大文字、英小文字全体を通してみられる形状の違いに起因するものと思われる。また、このような関係を考慮に入れた英大文字、英小文字に共通な英文字の視覚的特徴因子は、(1) 文字形状の広がり方向、(2) 文字を形成する垂直線分、水平線分のバランス、および(3) 文字形状の概観と結論づけることができる。

3.5.2 視覚的特徴分析モデル

従来提案されている視覚情報の内部表現モデルの1つである特徴分析モデル[4]と、本章で抽出した視覚的特徴因子とは、表示情報の誤認を視覚的特徴により、説明できるという点でよく似ている。従来の特徴分析モデルと、本章において抽出した視覚的特徴因子の異なる最も大きな点は、以下に示す内容と考えられる。

本章で抽出した視覚的特徴因子は、視覚皮質内の単純細胞、複雑細胞、および超複雑細胞が、視覚的特徴抽出に関与しているという事実から、視覚刺激の種類によらないこれらの細胞に関連したものである。さらに、この視覚的特徴因子の数値により、その

特徴の程度を定量的に把握することが可能であり、これにより、認知過程における特徴抽出の機能を説明できるというものである。それに対して、従来の特徴分析モデルは、あらかじめ与えられた10数種類の特徴を含む特徴リストにより、表示情報の違いを表現するというものである。

特徴分析モデルの特徴リストは、たとえば英小文字といったような限られた刺激の集合に関して有効であったのに対して、本章で抽出した視覚的特徴因子は、視覚的情報の特徴抽出に関して、視覚対象を限定しないような共通因子となりうるようなものを考えている。たとえば、Geyer & DeWald[4]のモデルは英大文字に対してのみ適用が可能であるのに対して、本章の視覚的特徴因子は、少なくとも英大文字と英小文字に対して適用が可能であることは確認され、さらにそれほど複雑な形状をしていない視覚情報に対しても、適用が可能であると考えられる。

英小文字に対する視覚的特徴に関して、Kuennapas & Janson[7]は、因子分析により、(1) 垂直線分(代表的文字: t, f, l), (2) 円形状成分(o, c, e), (3) 複数の垂直線分(n, m, h, u), (4) 円形状成分と垂直成分(p, q, g, b, d), (5) 上に広がった形状(v, y, x), (6) ジグザグ形状(z, s)などの因子を抽出している。因子(1)と(5)は英小文字認知実験の第1軸の両端に位置する属性であり、また因子(2),(4)の代表的文字は、第2軸に一直線状に布置されている。

このように、本章で抽出した視覚的特徴因子とこれらの因子とは密接な関係が認められ、このようなことから、本章で抽出した視覚的特徴因子の妥当性が強調される。

3.5.3 視覚情報の内部表現と VDT 表示文字パターン

本章では、視覚刺激の表示位置、表示時間を制御するために、パーソナルコンピュータに接続されたVDT表示を用いた。VDT表示はドット・マトリックスで構成されているドット・パターンにより、文字を表示しているもので、そのパターンにより文字の形状が異なってくる。ドット数が多くなるに従い、なめらかな曲線、斜線が描けるようになるが、本章で用いた7×13ドットのパターンでは、そのような形状のパターンを作ることとはできず、図3.1に示したような垂直線分を含んだ形状になっている。活字文字ではUとVは、その形状にかなりの相違がみられるにもかかわらず、ここで用いたパターンではかなり似かよった形状となっている。このようなことが、表3.3におけるUとVの混同率、および図3.2の文字の空間布置におけるUとVとの距離に正

しく反映していることがわかる。

16×16 ドットで構成されているより活字文字に近いパターンで、U と V の混同をみると、図 3.1 に示した 7×13 ドットのパターンの文字と比べ、その混同率はかなり低下することがわかる。

このことから、文字の誤認の主要な原因は、第 2 章で分類した文字認知過程を構成する処理のうち、視覚情報の内部表現段階にあることが確認され、文字認知の混同によるデータから視覚的特徴因子を抽出することの正当性を支持するものと考えられる。

3.6 結語

本章は、視覚認知過程を構成する処理のうち、その初期の段階である表示情報の取り込みと視覚情報の生成について焦点を当てた。そのうち特に、表示情報の誤認の原因となる人間の視覚的特徴抽出の機能に関して、その処理メカニズムの解明を目的とした。自動車の運転などでもわかるように、視覚認知作業においては網膜中心窩からの情報だけでなく、視野の周辺からの情報に対しても、即座に処理、応答する必要があるといったことから、本章で行った実験では、特に周辺視に文字刺激を提示する方法を採用した。その結果、本章では以下に示す結論を得た。

1. 英大文字、および英小文字をそれぞれ刺激として用いた実験により得られた文字の混同データを視覚的類似性データとして、MDSCAL により解析した結果、表示情報の種類によらない視覚的特徴抽出に関する 3 つの共通因子を抽出することができた。これらの因子は、それぞれ(1)文字形状の広がり方向、(2)文字を形成する垂直線分、水平線分のバランス、および(3)文字形状の概観と解釈できる。
2. 上記 1 の視覚的特徴抽出に関する共通因子は、視覚皮質内の単純細胞、複雑細胞、および超複雑細胞に関連があることを示した。
3. ここで獲得できた視覚的特徴抽出に関する共通因子は、英字を母国語とする被験者による実験データから抽出した因子と、ほとんど相違のない因子であることがわかった。このことより、この視覚的特徴因子は日本人に特有な因子ではなく、英字母国民にも共通している因子であることが示唆される。
4. 2 文字 i, j 間の誤認に関して、文字 i を文字 j に誤認する頻度と、文字 j を文字 i に誤認する頻度が異なるという、文字混同の方向性の存在を明らかにした。さら

に、この文字混同の方向性に関して、より単純な形状の文字に誤認するという仮説についても、上記の視覚的特徴因子から説明することができた。

視覚的特徴因子をはじめとする本章で得られた結果は、VDT 作業における情報表示方法、誤認、誤動作を低減するマン-マシン・インタフェースの設計といった分野の基礎的資料として応用が可能であると考える。また、本章で取り上げた英大文字、英小文字などの文字情報だけでなく、工場内の標識、原子力プラント、装置産業などにおける計装パネル、操作パネルなどの図形的情報表示の設計をする際の基礎的資料にもなりうると考える。

参考文献

- [1] Blackmore, C. and Campbell, F.C. : On the Existence of Neurones in the Human Visual System Selectively Sensitive to the Orientation and Size of Retinal Images, *Journal of Physiology*, **203**, 215 ~ 243, 1969.
- [2] Bouma, H. : Visual Recognition of Isolated Lower-Case Letters, *Vision Research*, **11**, 459 ~ 474, 1971.
- [3] Gerrissen, J.F. : Theory and Model of the Human Global Analysis of Visual Structure, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **SMC-12(6)**, 805 ~ 817, 1982.
- [4] Geyer, L.H. and DeWald, C.G. : Feature Lists and Confusion Matrix, *Perception & Psychophysics*, **14**, 471 ~ 482, 1973.
- [5] Kruskal, J.B. : Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit to a Non-Metric Hypothesis, *Psychometrika*, **29(1)**, 1 ~ 27, 1964.
- [6] Kruskal, J.B. : Nonmetric Multidimensional Scaling : A Numerical Method, *Psychometrika*, **29(2)**, 115 ~ 129, 1964.
- [7] Kuennapas, T. and Janson, A.J. : Multidimensional Similarity of Letters, *Perceptual and Motor Skills*, **23(1)**, 3 ~ 12, 1969.
- [8] Lindsay, P.H. and Norman, D.A. : *Human Information Processing (2nd ed)*, 230 ~ 237, Academic Press, New York, 1977.
- [9] 於保鴻一, 坂田雅光 : 自動車における視認性と操作性について, 人間工学, **21(1)**, 23 ~ 27, 1985.

- [10] Östberg, O. : Accommodation and Visual Fatigue in Display Work, In Grandjean, E. and Vigliani, E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 41 ~ 52, Taylor & Francis, London, 1980.
- [11] Shepard, R.N. : Analysis of Proximities as a Technique for the Study of Information Processing in Man, *Human Factors*, 5, 33 ~ 48, 1963.
- [12] Stammerjohn, L.W., Smith, M.J. and Cohen, B.G.F. : Evaluation of Work Station Design Factors in VDT Operations, *Human Factors*, 23(4), 401 ~ 412, 1981.
- [13] 田崎京二, 大山 正, 樋渡涓二編 : 視覚情報処理, 238 ~ 243, 朝倉書店, 1982.

第4章 視覚形状に対する処理特性と 認知メカニズム¹

4.1 序

VDT表示を用いたマン・マシン・インタフェースにおけるヒューマン・エラーは、VDT上の表示情報を誤認することにより引き起こされることが多い。第3章では、誤認の大部分は視覚情報の獲得段階における処理に起因するということから、人間の視覚的特徴抽出に関する機能を明らかにした。このような人間の処理からみると、表示情報に対する誤認の発生は、表示情報の形状、大きさなど、かなりの部分はその表示パターンに起因していると思われる。VDTにおける表示文字は、縦横ともに5～30ドット程度のドット数で構成されるドット・マトリックス(dot-matrix)により形成されている。すなわち、VDT表示文字の形状は、このドット・マトリックスのパターンと、ドット数に大きく依存する。そこで本章では、VDT作業における表示情報の認知特性に関する要因として、このドット・パターンの形状に着目する。

文字認知に関する文字の混同などの特性については、数多くの研究(たとえば、[1,4,12]など)が行われているが、これらの多くはタキストスコープ(tachistoscope)を用い、1種類の文字セット内での文字間の混同を扱ったものである。VDT表示パターンの可読性(legibility)については、文字の大きさに関する推奨値[9]のほか、構成ドット数[14]、およびパターン形状[10,19]などの効果が示唆されている。これらの研究は数種類の英数字(alphanumeric)の表示パターンについて、認知正答率などの処理特性を比較し、各要因に対する効果を明らかにしているが、人間の視覚情報処理からの考察を行っているものはほとんどない。

¹本章の内容の一部は、伊藤謙治、圓川隆夫、秋庭雅夫：“CRT表示におけるドット文字パターンの認知処理特性”として、日本人間工学会誌，Vol.23，No.5，pp.333～343，1987に掲載されたものである。

そこで、本章の目的は、VDT 作業の正確さに関する特性だけでなく、作業の効率という側面からも認知過程を考察するために、文字認知の正答率、および処理時間という特性を取り上げ、ドット文字パターンの違いが人間の文字認知過程に対して与える影響を明らかにする。さらに、ドット文字パターンの認知過程を一般化し、その特性を考察するために、ドット文字パターンに対する人間の認知過程をモデル化し、実験データを用いて検証する。本章ではドット・パターンの例として、VDT 表示における表示情報で最も多く用いられている英大文字を用い、またドット・パターンの要因としては、ソフトウェアにより変更が可能な要因である構成ドット数とドット・マトリックスのパターンを取り上げる。

以上の目的に従い、本章では実験 4.1、および実験 4.2 の 2 つに実験により、文字認知の正答率に対するドット・マトリックスを構成するドット数の効果と、同一ドット数におけるドット・パターンの違いによる効果を明らかにする。次に、実験 4.3 により、文字認知の処理時間に対するドット・パターンの違いによる効果を明らかにする。

4.2 ドット文字パターンの認知

本節では、第 2 章で述べた視覚認知過程を構成する処理に対して、認知の対象となる表示情報をドット文字パターンに限定したときの処理の仮説について述べる。文字認知過程は、外部環境からの情報を得るための準備段階である眼球運動の判断、眼球運動のプログラミング、および眼球運動を除くと、視覚情報の内部表現段階、比較段階、および決定段階の 3 つに分類できる[8]ことは、既に第 2 章で述べた。

視覚情報の内部表現段階は、眼から入力したディスプレイ上の表示情報を、内部の心理表現に変換するプロセスである[8]。本章では、この段階の処理特性が文字認知の正確さに、以下のように影響を及ぼすと考えられる。すなわち、この内部表現が明瞭で、各文字情報の内部表現の相異度が大きいほど、誤認が少ないと考えられる。ドット文字パターンの場合、文字を構成するドット数はある程度多く、線の形状などの特徴が際立っているパターンほど、明瞭な内部表現を形成することができ、各文字間の相異度も大きくすることができる。

文字のような頻繁に使用されている表示情報に対しては、典型的な形状のイメージに関する情報であるプロトタイプ(prototype) [2]があり、それが長期記憶(long-term memory)内に貯えられている[5,8]。このような前提から、英大文字に対するプロトタ

イブは、各人により若干異なることはあるが、各人にほぼ共通な、その文字に不可欠な特徴を有し、なめらかな直線または曲線で構成されていると想定される。

内部表現された視覚情報は比較段階において、長期記憶内のプロトタイプの情報と比較して、文字を決定する[8]が、一般にこれら2つの情報は一致しない。第2章でも述べたように、内部表現形式は鋳型照合モデル(Template Matching Model)[16]、特徴分析モデル(Feature Analysis Model) [5,6,11]、空間周波数モデル(Spatial Frequency Model)[7]などが代表的なものとして考えられているが、実際にどのような形式で表現されているかは明らかではない。本章では、パターンのわずかな違いに対しても、文字の混同は影響を受けるということから、この内部表現形式をパターンを構成する線分要素の形状と、それらの結合の状態で表現できると仮定する。この表現形式については4.4節で述べる。ここで、内部表現された視覚情報との相異度が、ある値(しきい値)より小さい文字のプロトタイプに対して、内部表現された文字形状に各線分要素の形状と、それらの結合状態を変換(この変換を“Error Transformation” [13]と称する)し、その変換処理量の最も小さい文字を、VDT上の表示情報に対応する文字として、決定段階で認知するものと仮定する。ここで、この処理時間は“Error Transformation”を必要とするプロトタイプの多いパターンほど、時間がかかると考えることができる。

以上をまとめ、ドット文字パターンの認知に対する処理特性に関して、次の3つの仮説を立てることができる。これらの仮説について3つの実験により検証する。

仮説4.1： 文字を構成するドット数はある程度までは多いほど、文字認知の正確さは増大する。

仮説4.2： ドット文字パターンはその形状がプロトタイプに近いほど、文字認知の正確さは増大する。文字の形状をプロトタイプに近づけるためには、その文字を形成するドット・マトリックスに対して、その文字に不可欠な視覚的特徴を際立たせること、および文字を構成する直線、曲線をなめらかにすることが必要である。

仮説4.3： 文字認知の処理時間は、ドット・パターンにより異なり、“Error Transformation”を必要とするプロトタイプの数に関係し、文字正答率の高い文字セットほど、その処理時間は短い。

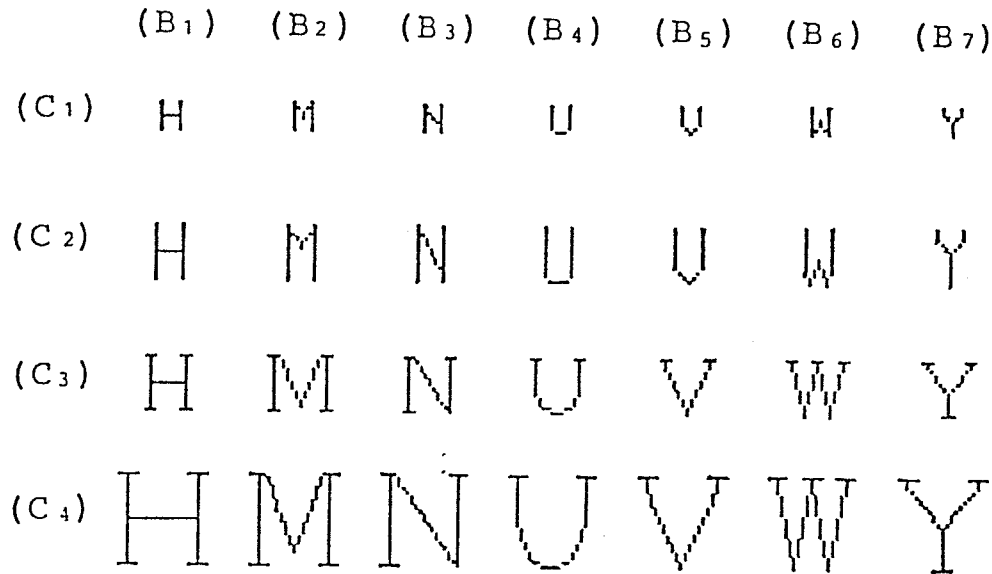


図 4.1: 実験 4.1 に使用する文字セットのパターン

4.3 ドット文字パターンの認知処理特性

4.3.1 構成ドット数による正答率への効果 (実験 4.1)

(1) 実験方法

ドット文字パターンの認知の正確さに対する構成ドット数の効果を明らかにするために、実験 4.1 を行う。実験はパーソナル・コンピュータ(NEC PC-9801E)と、これに接続された 14 インチ・ディスプレイ(NEC PC-8853N; 80 文字 × 25 行)により、文字をディスプレイ上に表示し、被験者に両眼視で認知させ、その文字を報告させるというものである。文字認知の正答率に対する各実験因子の効果の感度をよくするために、本実験では被験者の注視点から右側 10° 周辺的位置に文字刺激を提示する。

実験は被験者(A)として、本学男子学生 8 名(20 ~ 23 歳)を用いる。このうち 7 名は眼鏡等の矯正を必要としない正常な視機能を有する者、他の 1 名はコンタクト・レンズの使用により、近視を正常な視機能に矯正した者である。ディスプレイに表示する文字刺激に関しては、第 3 章で抽出した人間の視覚的特徴抽出に関する共通因子に従い、誤認する文字が刺激として選択された文字のいづれかになるように、類似の視覚的特徴をもつ文字種(B)として、図 4.1 に示す H, M, N, U, V, W, Y の 7 文字を選択した。また、構成ドット数(C)としては、5 × 7, 7 × 13, 16 × 16, および 24 × 24 ドットの 4 水準を取り上げる。

表 4.1: 実験 4.1 における正答率の分散分析結果

要因	s.s.	d.f.	m.s.	F ₀
A(被験者)	7.255	7	1.036	1.650
B(文字種)	44.167	6	7.361	11.716**
C(構成ドット数)	259.733	3	86.578	137.803**
A × B	37.304	42	0.888	1.414
A × C	9.526	21	0.454	0.722
B × C	23.637	18	1.313	2.090*
誤差	79.162	126	0.628	
合計	460.783	233		

* : 5%有意 ; ** : 1%有意

実験は、2回のセッションに分けて行われ、最初のセッションは習熟効果を取り除くための練習であり、数日後に2回めのセッションを行う。このセッションのデータを解析に使用する。個々のセッションは、被験者をブロック因子として、他の因子に関してくり返し4回のランダムな順序で実施した。

なお、実験はVDT作業の推奨照度[15,18]に従い、キーボード上の水平面照度220～260luxに保たれた室内において、反射光の影響の少ない被験者の手前45cmの位置に、ディスプレイを設置し(視距離45cm)、文字輝度平均27cd/m²、背景輝度2cd/m²、輝度比13.5の白黒ポジ表示で実施した。

(2) 実験結果と考察

各文字刺激に対する文字認知の正答率は二項分布をしていると仮定でき、正答率に対して式(4.1)に示す経験ロジスティック(logistic)変換[3]した値を特性値として、分散分析した。その結果を表4.1に示す。

$$z_i = \sqrt{\frac{n(N-n)}{N-1}} \times \log \frac{n - \frac{1}{2}}{N - n - \frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

n_i : 文字刺激*i*の正答数

N_i : 文字刺激*i*のサンプル数

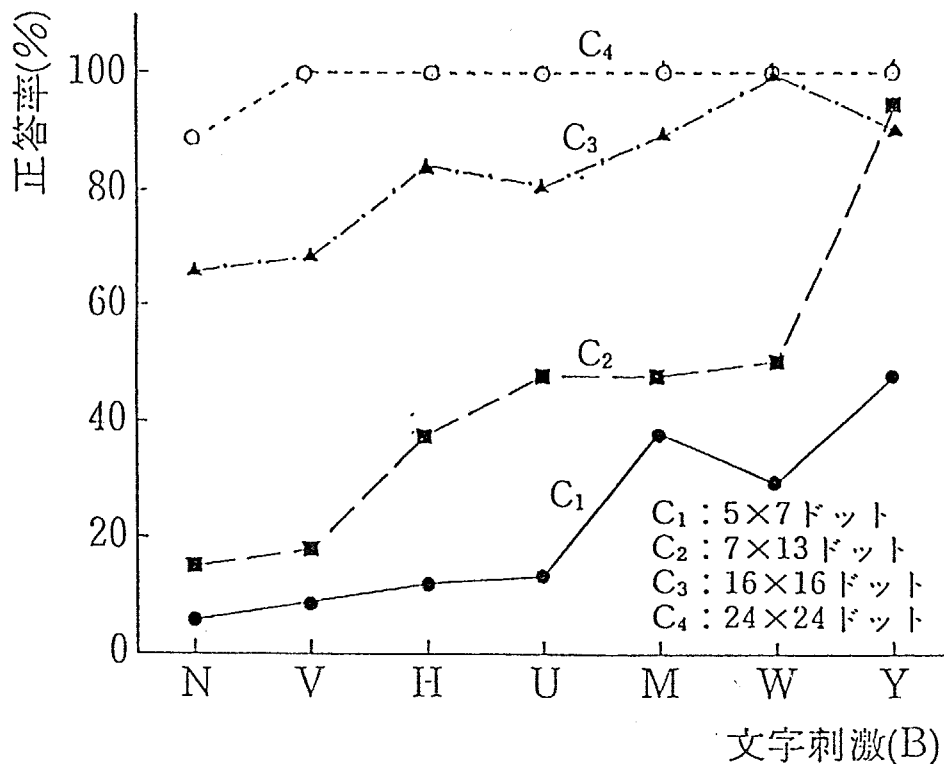


図 4.2: 実験 4.1 における各文字構成ドット数の正答率

表 4.1 から明らかなように、ここで注目している文字種(B)、構成ドット数(C)、およびこれらの交互作用(B × C)に有意差が認められる。これらの実験因子と文字正答率との関係をさらに詳しくみるために、文字種、構成ドット数ごとの正答率を図 4.2 に示す。この図から明らかなように、構成ドット数(C)に関しては、5 × 7、7 × 13、16 × 16、24 × 24 ドットと、ドット数が多くなるに従い、正答率は高くなっていく。特に、7 × 13 ドットと 16 × 16 ドットの間で、その差が大きくなっている。ここには構成ドット数の違いによる効果とともに、ドット・マトリックスのパターンの違いによる効果も含まれていると考えられる。このパターンの効果に関しては、次の実験 4.2 でさらに検討する。

文字種(B)の違いによる効果に関しては、構成ドット数の異なるすべての文字セットにおいて、その傾向はほぼ等しく、N、V、H、U、M、W、Y の順に正答率が高くなっている。この文字種による正答率の違いは、4.2 節で述べた文字認知過程に関係するものであり、5 × 7、7 × 13 ドットの N、V、H、U などの文字は、内部表現において類似の文字パターンを多くもつために、正答率が低いと考えられる。7 × 13 ドットの Y が非

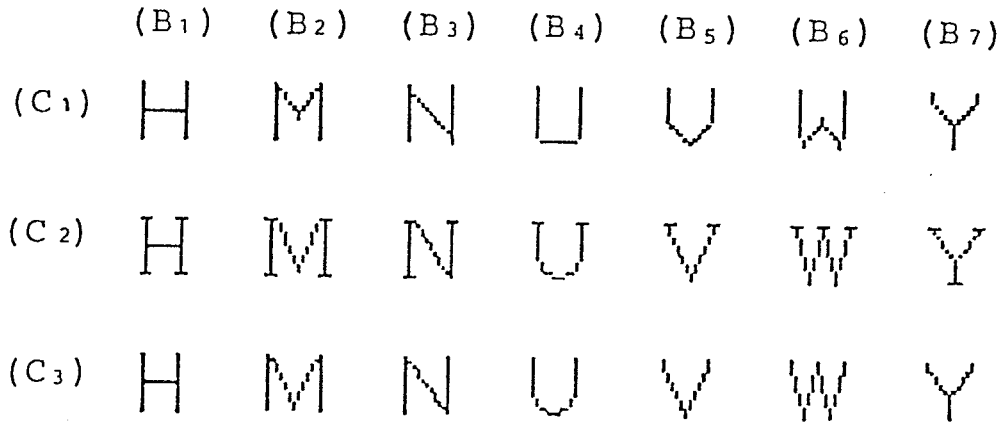


図 4.3: 実験 4.2 に使用する文字セットのパターン

常に高い正答率を、また 5×7 ドットの W が低い正答率を示しているため、文字種と構成ドット数の交互作用 ($B \times C$) は有意水準 5% で有意になっている。これは、 7×13 ドットの Y に関する 3 つの直線成分は、その特徴を抽出するのに、 16×16 ドットの Y と同様に、十分な長さを持っており、逆に 5×7 ドットの W の内側の 2 つの直線成分は十分な長さを有していないためと考えられる。

以上の結果により、構成ドット数の正答率への効果に関する仮説 4.1 は、成立すると思われる。

4.3.2 パターンによる正答率への効果(実験 4.2)

(1) 実験方法

ドット文字パターンの認知の正確さに対するドット・パターンの違いによる効果を明らかにするために、実験 4.1 と同様の手続きにより、実験 4.2 を行う。実験因子としては、実験 4.1 と同様の 8 名の被験者(A)をブロック因子とし、同じく 7 種類の文字種(B)、および図 4.3 に示す 16×16 ドットで構成される 3 種類のドット・パターン(C)の文字セットを取り上げる。これらの実験因子に対して、くり返し 5 回のランダムな順序により実験を実施する。使用する文字セットは、実験 4.1 の 7×13 ドットの形状をそのままに保ち、 16×16 ドットに拡大した“ 7×13 ドット拡大パターン”(C₁)、実験 4.1 の 16×16 ドットのパターンのセリフ(serif; 飾りヒゲ)を削除した“セリフなしパターン”(C₂)、および実験 4.1 の 16×16 ドット・パターンと同様の“セリフありパターン”(C₃)の 3 種類を用いる。

表 4.2: 実験 4.2 における正答率の分散分析結果

要因	s.s.	d.f.	m.s.	F ₀
A(被験者)	7.018	7	1.003	1.923
B(文字種)	39.117	6	6.520	12.508**
C(ドットパターン)	14.778	2	7.389	14.176**
A × B	72.284	42	1.721	3.302**
A × C	10.018	14	0.716	1.373
B × C	47.549	12	3.962	7.602*
誤差	43.784	84	0.521	
合計	234.548	167		

* : 5%有意 ; ** : 1%有意

なお, 実験因子以外の実験室内の条件については, 実験 4.1 と同様である.

(2) 実験結果と考察

実験 4.1 と同様に, 経験ロジスティック変換を施した文字正答率を特性値とする分散分析を行い, その結果を表 4.2 に示す. この表より, この実験で注目している文字種(B), ドット・パターン(C), およびこれらの交互作用(B × C)に有意差が認められる. これらの因子と正答率との関係をさらに詳しくみるために, 文字種, ドット・パターンごとの正答率を図 4.4 に示す.

ドット・パターン(C)の効果に関して, セリフなしパターン(C₂)およびセリフありパターン(C₃)と比べ, 7 × 13 ドット拡大パターン(C₁)は正答率が低く, このパターンと他の 2 つのパターンとは, 両方とも有意水準 1% で有意差が認められる. すなわち, 文字を構成する直線, 曲線成分がなめらかなセリフありパターンとセリフなしパターンが, 直線, 曲線成分がなめらかでない 7 × 13 ドット拡大パターンより正答率が高いことを示している. また, 7 × 13 ドット拡大パターンのうち, 他の 2 つの文字セットと比べ, 正答率が著しく低い文字は W である. これは外側の 2 つの直線成分が他の 2 つのパターンの W が斜線であるのに対し, 7 × 13 ドット拡大パターンでは鉛直線分で形成されているためと思われる. このように, このパターンの形状は, W のプロトタイプ

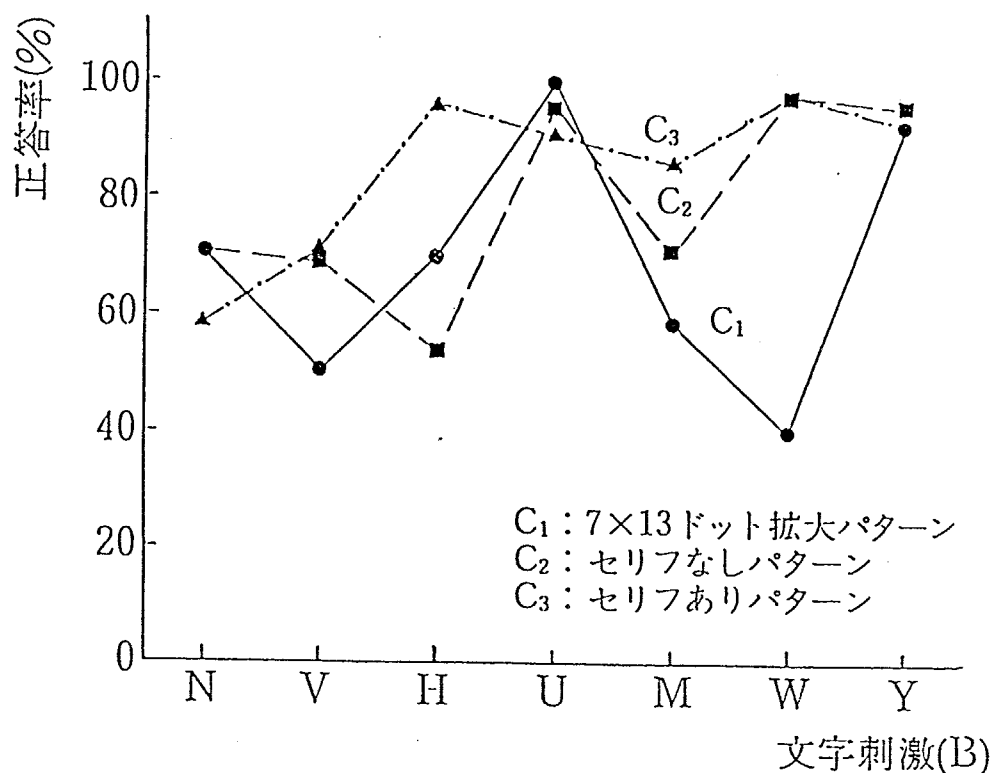


図 4.4: 実験 4.2 における各文字パターンの正答率

と大きく異なっていることが考えられ、H、M、N、Uなどの文字に誤認することが多い。

セリフなしパターン(C₂)、およびセリフありパターン(C₃)の正答率に関しては、Hを除くと有意差はみられず、文字パターンに付随しているセリフが正答率に与える効果はほとんどみられない。この結果から、英大文字の各文字に関するプロトタイプは、通常の手書き活字文字のような、なめらかな線分で形成されているセリフのないパターンであることが想像できる。しかし、この2つの文字セットのうち、Hだけは正答率が大きく異なり、セリフありパターンの方がかなり高い。これはHのような鉛直に立ち、垂直線分と水平線分だけで構成されている文字に対しては、鉛直線分にセリフをつけることにより、これらの線分の特徴が際立ち、内部表現段階での視覚像が明瞭になるためと思われる。

文字種(B)に関しては、実験 4.1 の結果とほぼ同様の傾向が認められる。また、被験者と文字種の交互作用(A × B)は、文字の比較・決定段階において、プロトタイプを内部表現された文字形状に変換する処理のしやすさに、個人差が若干あることを示唆するものである。これについては、4.4節のドット・パターン認知モデルを用いて考察す

表 4.3: 実験 4.3 における眼球注視時間の分散分析結果

要因	s.s.	d.f.	m.s.	F ₀
A(被験者)	246519.2	7	35217.0	36.574**
B(文字種)	8224.8	6	1370.8	1.424
C(ドットパターン)	36588.7	4	9147.2	9.500**
A × B	49934.8	42	1188.9	1.235
A × C	25540.7	28	912.2	0.947
B × C	15807.8	24	658.7	0.684
A × B × C	177963.7	168	1059.3	1.100
誤差	469900.0	488	962.9	
合計	1035689.0	767		

* : 5%有意 ; ** : 1%有意

る。以上, ドット・パターンの違いによる正答率への効果に関する仮説 4.2 は, 成立すると考えられる。

このほか, 実験 4.1, および実験 4.2 を通じて, 第 3 章で明らかにしたように, パターン i をパターン j に誤認する頻度と, パターン j をパターン i に誤認する頻度が大きく異なる文字混同の方向性も認められるが², これについては 4.4 節で考察する。

4.3.3 パターンによる処理時間への効果(実験 4.3)

(1) 実験方法

ドット文字パターンの認知時間に対するドット・パターンの効果を明らかにするために, 実験 4.3 を行う。実験は, 前の 2 つの実験と同様のディスプレイに, 被験者の中心視に文字刺激を提示し, 被験者に認知させ, その反応時間を処理時間として測定する。ここでは, この反応時間からキー操作などによる運動時間を取り除くために, 被験者の眼球運動をアイマーク・レコーダ(NAC V 型)と, U マチック VTR(SONY VO-5800; サンプリング間隔 1/60 秒)により記録する。ここで, 視覚刺激が提示されてから認知

²たとえば, 実験 4.2 の 7 × 13 ドット拡大パターンでは, V を U に誤認する頻度は 18/64 であり, 逆に U を V に誤認する頻度は 0/64 である。

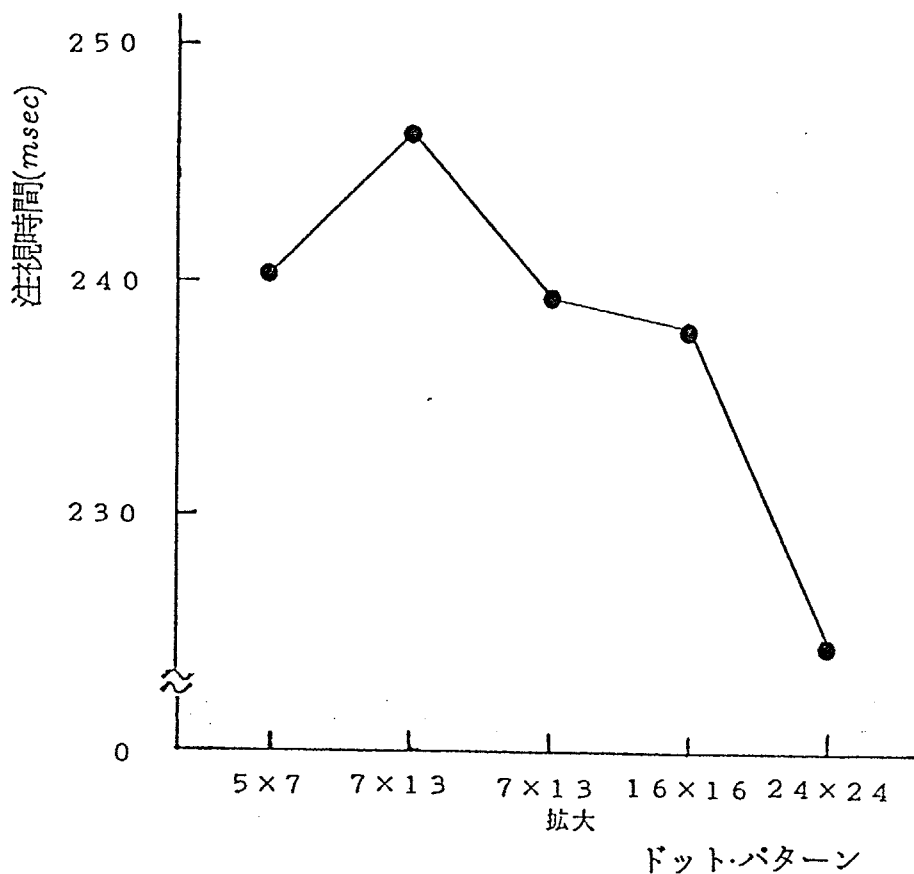


図 4.5: 実験 4.3 における各文字セットの眼球注視時間

し、キー操作のための下方向の眼球運動を起こすまでの注視時間を、認知に必要な処理時間として測定する。なお、この刺激提示からキー入力に至る認知シーケンスは、あらかじめインストラクションと練習により徹底した。

実験因子は、実験 4.2 と同様の次の 3 因子を取り上げる。被験者(A)は本学男子学生 9 名(21 ~ 24 歳)であり、うち 5 名は実験 4.1, および実験 4.2 と同様の被験者である。また、全被験者とも眼鏡等の矯正を必要としない正常な視機能を有する者である。文字種(B)は前の 2 つの実験と同様の 7 文字、ドット・パターン(C)は、実験 4.1 と同様の 5 × 7, 7 × 13, 16 × 16, 24 × 24 ドット, および実験 4.2 で使用した 7 × 13 ドット拡大パターンの 5 水準を取り上げた。

実験は被験者をブロック因子として、他の因子に関して、くり返し 3 回のランダムな順序で実施した。なお、他の実験条件に関しては、前の 2 つの実験と同様の条件を設定した。

(2) 実験結果と考察

文字認知における眼球の注視時間を特性値として、分散分析³を行った結果を表 4.3 に示す。この表から明らかなように、被験者(A)のほかに、この実験で注目しているドット・パターン(C)に、有意差が認められる。被験者に対しては、処理の速さに関する個人差は認められるが、ドット・パターンの違いに対しては、すべての被験者ともほぼ同様の傾向が認められる。

ドット・パターンと処理時間の関係を詳しく調べるために、図 4.5 にドット・パターンごとの注視時間を示す。この図から、5×7 ドットを除いては、構成ドット数が多くなり、実験 4.1、および実験 4.2 において正答率の高い文字セットほど、文字認知時間は短くなっていくことがわかる、すなわち、パターンの形状がプロトタイプに近づき、“Error Transformation”するプロトタイプの数が少なくなるほど、処理時間は短くなる。このような結果から、仮説 4.3 はおおむね成り立つと考えられる。しかし、5×7 ドットの文字セットについては、7×13 ドット拡大パターンの文字セットより正答率は低いにもかかわらず、その処理時間は短い。

このようなことから、処理時間は“Error Transformation”を必要とするプロトタイプの数に関係するのではなく、その文字を認知するのに必要な“Error Transformation”の総数に関係することが考えられる。これについては、4.4 節でドット・パターン認知モデルを構築した後、§ 4.5.3 で考察する。

4.4 ドット・パターン認知モデル

4.4.1 内部表現モデル

以上3つの実験により明らかになったドット文字パターンの認知特性から、その処理過程を一般化し、さらにその処理特性を考察するために、ドット文字パターン認知モデルを構築する。4.2 節で述べたように、ドット文字パターンの認知過程は、内部表現段階、比較段階、および決定段階に分けられ、本章で構築するドット・パターン認知モデルは、これらの処理を各々モデル化するものである。最初に内部表現モデルについて簡単に説明する。

³実験中に、誤認、および眼球運動を起こして認知した場合のデータを解析から除外した。また、実験で無効データの多かった1名の被験者を除いた8名の被験者のデータにより解析を行った。

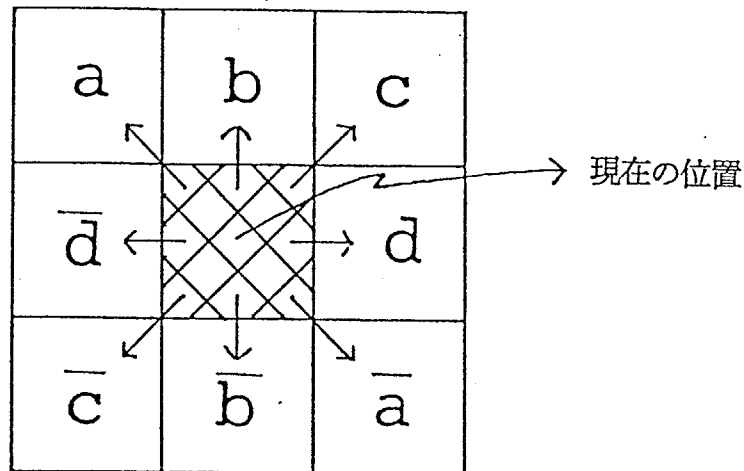


図 4.6: プリミティブ要素

本章はドット文字パターンの認知を対象としているので、構成ドット数の違い、ドット・マトリックスのパターンの違いに対して、感度の高い内部表現モデルであることが必要である。この理由から、視覚情報の内部表現を記述するモデルとして、ここでは PDL(Picture Description Language)[17]を利用する。PDLは本来、コンピュータの図形処理用記述言語であるが、上記必要条件のほかにも、第3章で明らかにした文字混同の方向性に対しても対応できるなど、視覚情報の内部表現を記述するものとして、強力なモデルである。PDLはパターンの記述に関して、パターンの構成要素であるプリミティブ(primitives)と、プリミティブ間の結合状態(concatenation)を表わすオペレータ(operators)で構成されており、それぞれ次のように定義される。

PDLでは本来、プリミティブの種類は規定されておらず、利用する状況において自由に規定してよい。本章において、プリミティブはパターンを形成する各線分要素に対応するものであるが、ここではドット・パターンの認知ということから考え、以下に記すように規定する。

プリミティブを形成するプリミティブ要素(primitive components)を図 4.6に示すように、現在のドット位置の回りの8つの方向のドットと定義する。

$$a, b, c, d, \bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d} \in V_c \text{ (プリミティブ要素の集合)}$$

プリミティブは以下に示すように、これらのプリミティブ要素の組み合わせで表現することができる。ただし、プリミティブは直線、または曲線を表わすものであり、45°を超えて方向を変える線分は1つのプリミティブとして扱わず、次に述べるオペレータを

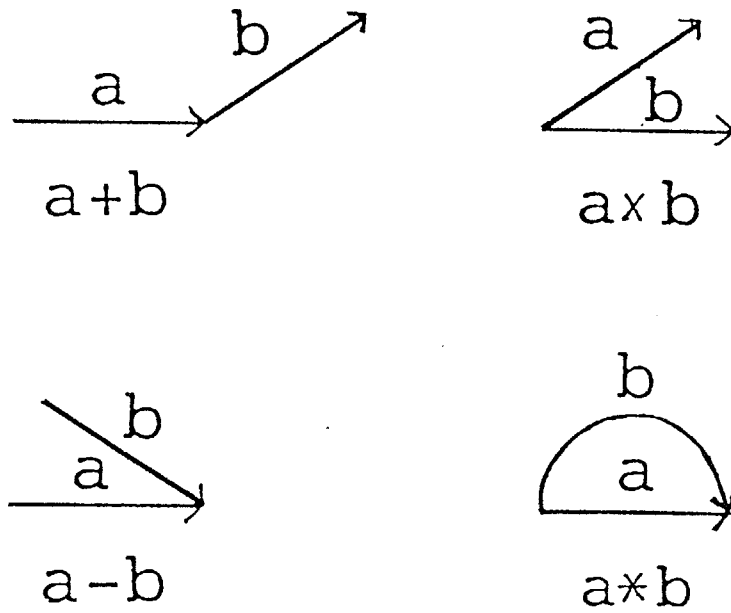


図 4.7: PDL のオペレータ

介して、複数のプリミティブの結合として記述する.

$$p \longrightarrow a^i | b^i | c^i | d^i | \bar{a}^i | \bar{b}^i | \bar{c}^i | \bar{d}^i | pp, \quad p \in V_p \text{ (プリミティブの集合)}$$

(i は 1 以上の任意の整数, プリミティブ要素の数を表わす)

オペレータは複数のプリミティブの結合の状態を表現するもので, 図 4.7 に示すとおり, PDL には “+”, “ $\times$ ”, “-”, および “*” の 4 つのオペレータがある⁴. 以上述べた定義と記述方法を適用し, ドット文字パターンをこの内部表現モデルで記述した例を図 4.8 に示す.

4.4.2 比較操作モデル

内部表現されたドット文字パターンの視覚情報は, 長期記憶内のプロトタイプに関する情報と比較するために, “Error Transformation” を行い, その相異度を計算する. この “Error Transformation” は, (1) プリミティブに対する変換と, (2) オペレータに対する変換がある. また, これらプリミティブ要素, またはオペレータの変換に対し

⁴このように, PDL には 4 種類のオペレータがあるが, 本章で扱うドット・パターン認知モデルでは, “-”, および “*” は, それぞれ “+”, および “ $\times$ ” で書き直すことができるので, ここでは単純な “+” と “ $\times$ ” だけを適用して内部表現する.

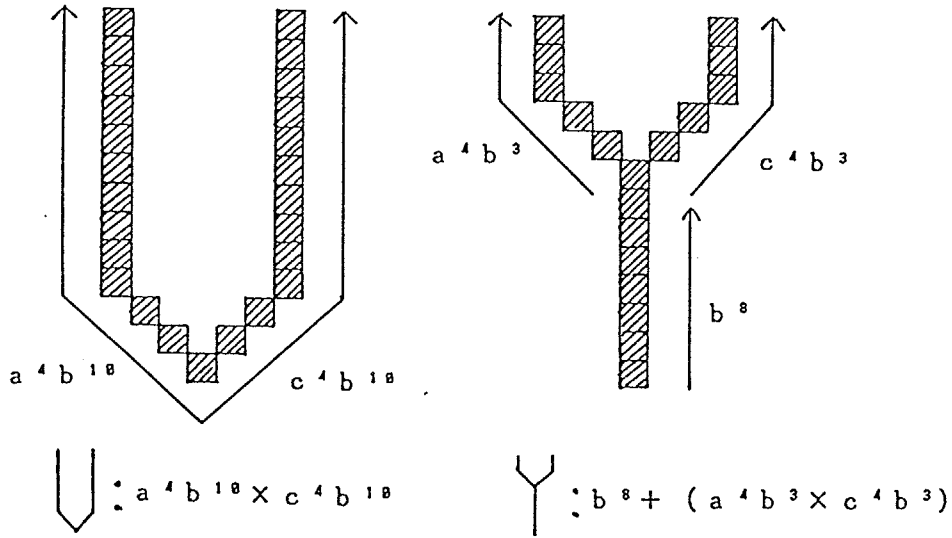


図 4.8: 内部表現モデルによるドット文字パターンの記述例

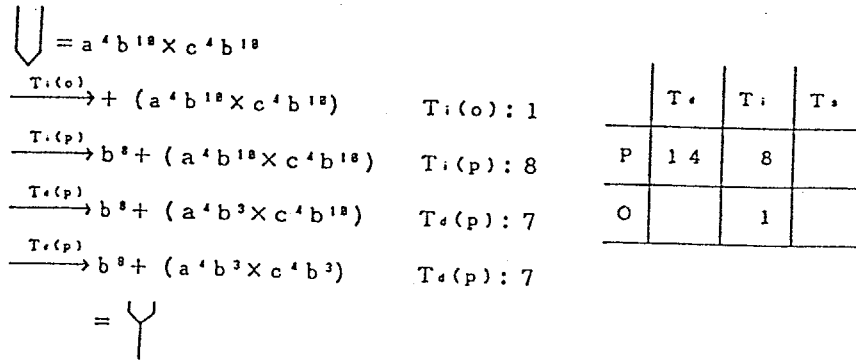


図 4.9: 比較操作モデルによる“Error Transformation”の記述例

て, (a)削除変換(Deletion Transformation), (b)挿入変換(Insertion Transformation), および(c)置換変換(Substitution Transformation)の3種類が考えられ, 以下に示すような, 合計6種類の“Error Transformation”が定義できる.

(a) 削除変換

$$c_1 c_2 c_3 \xrightarrow{T_d(p)} c_1 c_3, \quad c_1, c_2, c_3 \in V_c$$

$$p_1 \phi p_2 \xrightarrow{T_d(o)} p_1 p_2, \quad p_1, p_2 \in V_p, \phi \in V_o \text{ (オペレータの集合)}$$

(b) 挿入変換

$$c_1 c_2 \xrightarrow{T_i(p)} c_1 c_3 c_2, \quad c_1, c_2, c_3 \in V_c$$

$$p_1 p_2 \xrightarrow{T_i(o)} p_1 \phi p_2, \quad p_1, p_2 \in V_p, \phi \in V_o$$

(c) 置換変換

$$c_1 c_2 c_3 \xrightarrow{T_s(p)} c_1 c_4 c_3, \quad c_1, c_2, c_3, c_4 \in V_c$$

$$p_1 \phi_1 c_2 \xrightarrow{T_s(o)} p_1 \phi_2 p_2, \quad p_1, p_2 \in V_p, \phi_1, \phi_2 \in V_o$$

ここで定義した“Error Transformation”を用い、図 4.8 に示した 2 文字について、 V を Y に変換した例を図 4.9 に示す。

4.4.3 文字決定モデル

比較段階での“Error Transformation”において、1つのプリミティブとオペレータに対する削除、挿入、および置換が必要とする処理量は、各々異なると考えられる。プリミティブとオペレータに対する削除、挿入、および置換変換数をそれぞれ $D(p), D(o), I(p), I(o), S(p), S(o)$ とすると、変換処理量 Q は式 (4.2) で定義できる。ここで、 $p_i (i=1, \dots, 6)$ は、各変換のウェイトである。

$$Q = p_1 D(p) + p_2 D(o) + p_3 I(p) + p_4 I(o) + p_5 S(p) + p_6 S(o) \quad (4.2)$$

決定段階では、 Q の値に関係した確率で文字を混同するものと思われる。ここで変換処理量 Q の値が大きくなるほど、その 2 文字の混同率は減少することが予想できるが、 Q が小さいときは、混同率に対して Q の感度は非常に高く、逆に Q の値が大きいたまは感度が鈍いことが容易に推測できることから、2 文字間の混同率 R と変換処理量 Q とは、直線的な線形関係にあるというよりも、式 (4.3) で示すような対数線形関係を想定することができる。

$$\begin{aligned} R &= K e^{-Q} \\ &= e^{p_0 - Q} \\ &= \exp[p_0 - p_1 D(p) - p_2 D(o) - p_3 I(p) - p_4 I(o) - p_5 S(p) - p_6 S(o)] \end{aligned} \quad (4.3)$$

4.5 モデルの検証

4.5.1 文字混同の予測

本章で提案するドット・パターン認知モデルを検証するため、実験 4.1、および実験 4.2 で得られたデータのうち、誤認を起こした組のデータにより、§ 4.4.3 の式 (4.3) の

文字混同率 R と変換処理量 Q との関係を重回帰分析により解析する。ここで、目的変数である文字混同率 R_{ij} は、式(4.4)で定義し、6つの説明変数は、パターン i を j に“Error Transformation”するときのそれぞれの変換数である。

$$R_{ij} = \frac{F_{ij}}{F_i} \quad (4.4)$$

F_{ij} : パターン i をパターン j と混同する頻度

F_i : パターン i を提示する頻度

この解析において、ある程度多くのサンプル数が必要であることから、この条件を満足する実験4.1の 7×13 ドットの文字セット($n = 23$)と、実験4.1、および実験4.2の 16×16 ドット・セリフありパターンの文字セット($n = 29$)の2種類の誤認データで解析を進める。

最初に、実験4.1の 7×13 ドットの文字セットの誤認データを用いて、すべての説明変数を取り込み、重回帰分析を行った結果、重相関係数は有意水準1%で有意な値 $R = 0.87(F_0 = 8.03)$ を示す。さらに、有意な効果のみられない $D(o)$ と $S(o)$ を除いて、再度重回帰分析を行うと、同様に有意水準1%で有意な $R = 0.85(F_0 = 11.86)$ となり、非常にあてはまりがよいことがわかる。また、このときの $D(p), I(p), I(o)$ 、および $S(p)$ の t 値はそれぞれ $-3.06^{**}, -5.73^{**}, 3.24^{**}, -2.02^{\dagger}$ である⁵。

ここで、 $I(o)$ を除く変数の偏回帰係数はすべて負の値を示し、変換数が増加するほど、文字混同の比率は減少するという仮定に一致する。一方、 $I(o)$ の偏回帰係数の正の値は、次のように解釈することができる。すなわち、 7×13 ドットというような比較的ドット数の少ないパターンでは、本章のように注視点から 10° の周辺視に刺激を提示した不明瞭な内部表現においては、オペレータを挿入する傾向で誤認が生じると考えられる。

オペレータの挿入変換($I(o)$)の正の効果に関して、挿入するオペレータの違いをさらに詳しく調べるために、 $I(o)$ の代わりに“+”オペレータの挿入の個数($I(o; +)$)と、“×”オペレータの挿入の個数($I(o; \times)$)で置き換え、同様に重回帰分析を行った結果、有意水準1%で有意な重相関係数 $R = 0.86(F_0 = 9.83)$ を得ることができた。ここで $I(o; +)$ と $I(o; \times)$ に対する t 値は、それぞれ $3.07^{**}, 0.64$ であり、この効果のほとん

⁵†: 10%有意, *: 5%有意, **: 1%有意; 以下同様。

どは、プリミティブ間のより簡単な結合を示す“+”オペレータであることがわかる。

次に、実験4.1、および実験4.2の 16×16 ドット・セリフありパターンの誤認データを用いて、同様に重回帰分析を行うと、 $D(o), I(o)$ 以外の変数はほとんど効果がないことがわかり、これらの変数を除いて、再度重回帰分析を行うと、有意水準5%で有意な重相関係数 $R = 0.50 (F_0 = 4.43)$ が得られる。このときの $D(o), I(o)$ の t 値は、それぞれ $-2.96^{**}, -1.79^{\dagger}$ である。

以上、 7×13 ドット、および 16×16 ドット・セリフありパターンの2種類の文字セットの実験データによる解析の結果、本章で構築したドット・パターン認知モデルで定義した説明変数により、文字の混同をよく説明できることがわかった。

4.5.2 他モデルとの比較

§ 4.5.1で解析した 7×13 ドット、および 16×16 ドット・セリフありパターンの実験データを用い、従来の内部表現モデルである鋳型照合モデルと特徴分析モデルについて、同様に文字混同率を目的変数とする回帰分析を行う。

鋳型照合モデルについては、パターン i とパターン j を形成するドットに対して、両者の重なり合うドット数の割合を、パターン i と j の照合率(matching ratio) M_{ij} とし、式(4.5)で定義し、これを説明変数として回帰分析を行う。

$$M_{ij} = \frac{D_{ij}}{D_i + D_j - D_{ij}} \quad (4.5)$$

D_{ij} : パターン i, j のオーバーラップしたドット数

$D_i (D_j)$: パターン $i (j)$ を形成するドットの総数

特徴分析モデルに関しては、数多くの研究者により、異なる特徴リスト(feature list)

[5,6,11]が考案されているが、ここではその中でも文字混同のパターンを最もよく説明することができるGeyer[11]の特徴リストを採用する。ここで、パターン i とパターン j が持つ特徴に対して、共通して持つ特徴の割合を、パターン i と j の類似度(similarity ratio) S_{ij} として、式(4.6)で定義する。これを説明変数として回帰分析を行う。

$$S_{ij} = \frac{G_{ij}}{G_i + G_j - G_{ij}} \quad (4.6)$$

表 4.4: モデルの適合度の比較

パターン \ モデル	本章のモデル	鋳型照合モデル	特徴分析モデル	
			S_{ij}	h_{ij}^*
7×13	$R = 0.85$	0.52	0.32	0.15
	$R^2 = 0.75$	0.27	0.11	0.02
	$F_0 = 11.86^{**}$	7.88*	2.47	0.50
16×16	0.50	0.33	0.10	0.01
	0.25	0.11	0.01	0.00
	4.43*	3.39	0.27	0.00

上段：相関係数, 中段：寄与率, 下段：F値 (* : 5%有意, ** : 1%有意)

G_{ij} : パターン i, j が共通して持つ特徴の数

$G_i(G_j)$: パターン $i(j)$ が持つ特徴の数

このようにして定義した照合率 M_{ij} , および類似度 S_{ij} は, 文字混同の方向性を区別することができない. 特徴分析モデルにおいて, 第3章で述べた文字混同の方向性を表現できる指標として, 式(4.7)で定義される Geyer & DeWald[11] の“hit ratio” h_{ij}^* を説明変数として, 同様に回帰分析を行う.

$$h_{ij}^* = \frac{G_{ij} - G_{i\bar{j}}}{G_i} \quad (4.7)$$

h_{ij}^* : パターン i をパターン j と混同するときの“hit ratio”

$G_{i\bar{j}}$: パターン i は持っているが, パターン j は持っていない特徴の数

以上述べた変数により回帰分析を行った結果を表 4.4 に示す. この表から明らかに, 本章で構築したドット・パターン認知モデルは, 鋳型照合モデル, および特徴分析モデルと比べ, 文字混同率をよく説明できることがわかる. これは, ドット数の違い, ドット・パターンの違いに対して感度が高い, 文字混同の方向性に対応できるなど, このモデルの持つ特長に起因しているものと思われる.

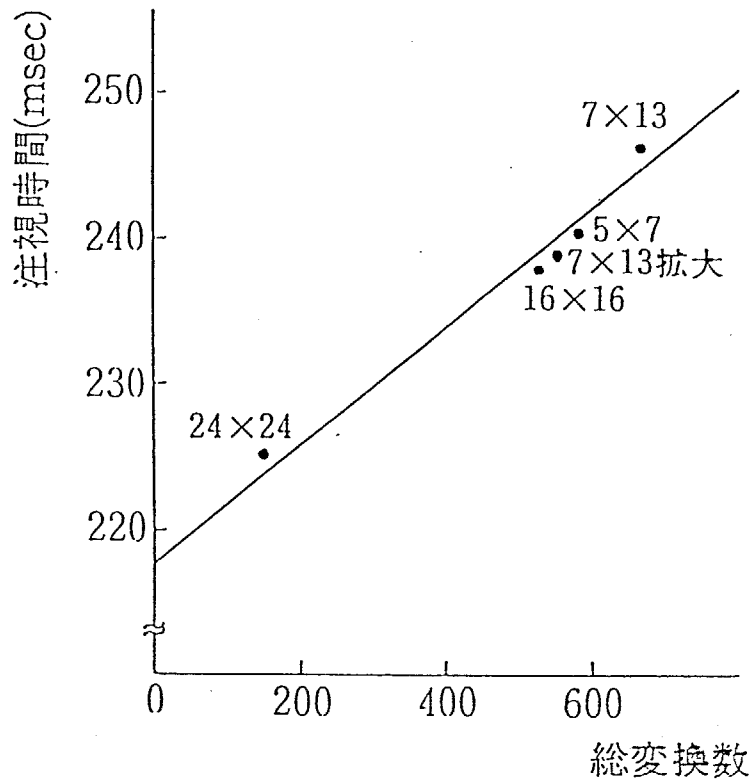


図 4.10: 文字認知時間と総変換数の関係

4.5.3 文字認知時間の予測

§ 4.3.3において、ドット・パターンにより、その文字認知時間は異なることがわかった。この文字認知時間について、従来のプロトタイプ・セオリー[2]を適用すると、認知時間は比較段階で比較するプロトタイプの数⁶に比例すると考えることができる。本節では、4.4節で構築したドット・パターン認知モデルを用い、この効果を説明する。

文字認知時間が異なるのは、比較段階における変換操作の変換数の違いによるものと考えられる。すなわち、ある刺激パターン i に対して、比較段階で変換操作をする変換数 T_i は、相異度がある閾値より小さいプロトタイプのパターンに対して行う“Error Transformation”の総数と考えることができ、式(4.8)で定義することができる。

$$T_i = \sum_{j \in A(i)} t_{ij} \quad (4.8)$$

t_{ij} : パターン i をパターン j と混同するときの“Error Transformation”の総数

⁶式(4.8)の記法を用いると $j \in A(i)$ となる j の個数。

$A(i)$: パターン i に対して “Error Transformation” を必要とするパターンの集合

さらに, ある文字セット k に属するパターンの平均文字認知時間は, その文字セットに属するパターンに対する T_i の総数 (C_k), すなわち式 (4.9) に関係すると仮定する.

$$C_k = \sum_{i \in B(k)} T_i = \sum_{i \in B(k)} \sum_{j \in A(i)} t_{ij} \quad (4.9)$$

$B(k)$: 文字セット k に属するパターンの集合

式 (4.8) において, 一般にパターン i に対して, “Error Transformation” を必要とする集合 $A(i)$ は明らかではないが, ここでは実験 4.1, および実験 4.2 で少なくとも, 1 回以上の混同が起こったパターンの集合を $A(i)$ とする. また, 式 (4.9) における $B(k)$ は, ここでは実験 4.3 で使用した文字種である H, M, N, U, V, W, および Y の 7 文字とする. 以上のようにして定義した総変換数 C_k と文字認知時間との関係を, 実験 4.3 のデータを用い解析し, その結果を図 4.10 に示す. これらの相関係数は, $r = 0.994 (p < 0.01)$ となり, 直線上に非常によくのっていることがわかる.

以上の結果から, ドット・パターン認知モデルは文字混同率だけでなく, 文字認知時間も説明することができると考える.

4.6 結語

本章は, 第 3 章で明らかにした視覚的特徴抽出に関する機能を受け継ぎ, 認知の対象となる表示情報を, 特に VDT 表示文字であるドット文字パターンに限定し, そのパターンの形状を要因として, その認知特性を明らかにすることを目的とした. 本章では 3 つの実験により, 以下の結論が得られた.

1. ドット・パターンの認知について, 作業の正確さと効率に関する特性を取り上げ, パターンの形状, および大きさについて, 次に示す効果が認められた.
 - パターンを構成するドット数が大きくなるほど, 認知正答率が増すという, 構成ドット数による正答率への効果.

- ドット・パターンの形状がなめらかになり、プロトタイプに近づくほど、認知正答率が向上するという、ドット・パターンの形状による正答率への効果。このパターンの効果に関して、活字文字にみられるセリフは、文字を飾る美感のためのものであり、文字認知の正確さにはほとんど貢献していないことがわかった。
 - パターンを構成するドット数が大きく、パターンの形状がなめらかに、プロトタイプに近づくほど、認知時間が短縮するという、ドット・パターンによる処理時間への効果。
2. 本章ではこれらの実験結果をもとに、その処理過程を“ドット・パターン認知モデル”としてモデル化した。ここでモデル化した処理は、第2章で分類した視覚認知過程を構成する処理のうち、視覚情報の生成における内部表現段階、および認知情報の変換における文字の比較段階と決定段階である。このドット・パターン認知モデルを、文字混同率と文字認知時間による実験データを用いて検証し、これらの特性をかなりよく説明できることを確認することができた。これらの実験結果により、ドット・パターン認知モデルがドット・パターンの設計、評価の方法となる可能性を示すことができた。これらの処理をモデル化したことにより、人間の視覚認知過程のかなりの部分が明らかになったと考えられる。
3. 上記2のドット・パターン認知モデルは、第3章で明らかにした文字混同の方向性を表現できるモデルである。このモデルは従来提案されている鋳型照合モデル、特徴分析モデルなどの内部表現モデルより、文字混同をよく説明できたが、このような文字混同の方向性を表現できることも理由の1つになっている。

以上の結果、VDT作業、およびヒューマン-コンピュータ・インタフェースに関して、誤認の少ないドット文字パターンの設計、評価のための基礎資料を提出できると考える。たとえば、ディスプレイの大きさ、解像度などにより若干異なると思われるが、ドット文字パターンに関して、次のことが提案できると考える。文字パターンを構成するドット数は増加するほど、誤認は減少するが、その増加に対する誤認の減少の割合、および文字認知時間などから、 16×16 ドット程度でよいと考えられる。ドット・マトリックスのパターンに関しては、誤認を減少させるためには、各文字のパターンを典型的な形状のイメージであるプロトタイプに近づけると、各文字のパターン形状の違いをできる限り大きくすることである。そのためには、手書き活字文字に近い、

なめらかな直線、および曲線で形成されたパターンにすべきである。

ドット・マトリックスを構成するドット数が多くなると、ドット文字パターンは印刷の活字文字のようなドット・パターンでない、連続的な線分で構成される文字と見分けがつかなくなってしまう。これは本章で提案する視覚情報の内部表現モデルが、連続的な線画による文字に対しても、有効であることを示唆するものである。このように考えると、このモデルはドット・パターンの認知に限らず、一般の表示情報の認知における処理のモデルと解釈することも可能である。たとえば、文字パターンに限らず、印刷文字、手書き文字などのような、ドット・マトリックスで構成されていない文字に対しても適用が可能と考える。さらに、CAD(Computer Aided Design)などにおける図形パターンなどの構成ドット数、ドット・パターンによる誤認の程度、および認知時間への応用の可能性を示唆するものであると考えられる。

参考文献

- [1] Bouma, H. : Visual Recognition of Isolated Lower-Case Letters, *Vision Research*, 11, 459 ~ 474, 1971.
- [2] Chase, W.G. : Visual Information Processing, In Boff, K.R., Kaufman, L. and Thomas, J.P. (eds), *Handbook of Perception and Human Performance* (Chapter 28), John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [3] Cox, D.R. : *The Analysis of Binary Data*, Chapman and Hall, London, 1970.
- [4] Gervais, M.J., Harvey, L.O. and Roberts, J.O. : Identification Confusions among Letters of the Alphabet, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 10(5), 655 ~ 666, 1984.
- [5] Geyer, L.H. and DeWald, C.G. : Feature Lists and Confusion Matrix, *Perception & Psychophysics*, 14, 471 ~ 482, 1973.
- [6] Gibson, E.J. : *Principles of Perceptual Learning and Development*, Meredith Press, New York, 1969.
- [7] Harvey, L.O. and Gervais, M.J. : Visual Texture Perception and Fourier Analysis, *Perception & Psychophysics*, 24, 534 ~ 542, 1978.
- [8] Harvey, L.O. and Gervais, M.J. : Internal Representation of Visual Texture as the Basis for the Judgement of Similarity, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 7(4), 741 ~ 753, 1981.
- [9] Helander, M. : Design of Visual Displays, In Salvendy, G. (ed), *Handbook of Human Factors*, 507 ~ 548, John Wiley & Sons, New York, 1987.

- [10] Kume,Y., Ohzu,H., Ishikawa,K. and Hatada,T. : Legibility of 5×7 Dot-Matrix Alphanumerics as Determined by Element Configuration, *Proceedings of the Society for Information Display*, **25(3)**, 225 ~ 230, 1984.
- [11] Laughery,K.R. : Computer Simulation of Short-Term Memory : A Component Decay Model, In Bower,G.T. and Spence,J.T.(eds), *The Psychology of Learning and Motivation : Advances in Research and Theory*, Vol. VI, Academic Press, New York, 1971.
- [12] LeBlank,R.S. and Muise,J.G. : Alphabetic Confusion : A Clarification, *Perception & Psychophysics*, **37**, 588 ~ 591, 1985.
- [13] Lu,S.Y. and Fu,K.S. : A Sentence-to-Sentence Clustering Procedure for Pattern Analysis, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-8(5), 381 ~ 389, 1978.
- [14] Maddox,M.E. : Two-Dimensional Spatial Frequency Content and Confusions among Dot-Matrix Characters, *Proceedings of the Society for Information Display*, **21(1)**, 31 ~ 40, 1980.
- [15] Östberg,O. : Accommodation and Visual Fatigue in Display Work, In Grandjean,E. and Vigliani,E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 41 ~ 52, Taylor & Francis, London, 1980.
- [16] Selfridge,O.G. and Neisser,U. : Pattern Recognition by Machine, *Scientific American*, **203**, 60 ~ 68, 1960.
- [17] Shaw,A.C. : A Formal Picture Description Scheme as a Basis for Picture Processing System, *Information and Control*, **14**, 9 ~ 52, 1969.
- [18] Stammerjohn,L.W., Smith,M.J. and Cohen,B.G.F. : Evaluation of Work Station Design Factors in VDT Operations, *Human Factors*, **23(4)**, 401 ~ 412, 1981.
- [19] Suen,C.Y. and Shiau,C. : An Interactive Technique of Selecting an Optimal 5×7 Matrix Character Set for Display in Computer Output Systems, *Proceedings of the Society for Information Display*, **21(1)**, 9 ~ 15, 1980.

第5章 表示位置に対する処理特性と 眼球運動判断メカニズム¹

5.1 序

第4章では、VDT作業の正確さという側面から、表示情報の誤認に対して重大な要因となるドット・パターンの視覚形状を取り上げ、その処理特性を明らかにした。このような処理特性に対して、本章では主として、作業の効率に焦点を当てる。

視覚認知作業を効率よく行うためには、広い視野での視覚対象に対して処理を行うことが必要となってくる。しかし、広い視野で作業を行うと、周辺視の情報に対しても処理が必要となる。このような情報は、第2章で述べたように、視覚情報が不明瞭となり、多くの誤認を引き起こす原因となる。すなわち、正確に信頼性の高い処理を行うためには、中心窩に近い視野で処理を行うことが必要となる。このように、認知対象となる表示情報の提示位置に対して、作業の正確さと効率のトレードオフが存在する。そこで本章では、この表示情報の提示位置を認知過程における要因として取り上げ、主として作業の効率の観点からその処理特性、および処理メカニズムを明らかにすることを目的とする。

第2章で述べたように、眼から入力された表示情報は、光受容細胞により網膜上に像を結ぶ。この情報は神経節細胞を経由して、視覚中枢に転送される。視覚中枢では単純細胞、複雑細胞、および超複雑細胞により視覚的特徴が抽出され、視覚情報が生成される。光受容細胞は光の明暗に対する反応が高く、網膜の周辺部に多い杆体(rod)と、色と形状に対する識別が可能で、網膜中心部に多い錐体(cone)からなる。これらの細胞の網膜上の分布密度が視力と呼ばれる視覚の解像度に関係している[15]ことが知ら

¹本章の内容の一部は、伊藤謙治、圓川隆夫：“視覚情報処理における近中心視内の刺激に対する認知”として、日本経営工学会誌, Vol.38, No.1, pp.12～19, 1987 に掲載されたものである。

れている。また、視覚情報の伝送系である神経節細胞は、網膜の中心部に多く、色刺激に反応し、インパルスの伝送速度が遅いX細胞、網膜の周辺部に多く、過渡的変化の光刺激に強く反応し、インパルスの伝送速度が速いY細胞、およびW細胞からなっている。これらも視覚情報の処理過程において、重要な役割をもっていることが知られている[15]。

このような過程を経て獲得した視覚情報をもとに、文字の認知を行うが、本章では表示情報の提示位置を要因として取り上げるため、注視点から離れた情報に対しては、視覚情報は不明瞭になり、正しい認知情報へ変換することは困難になる。そのため、認知情報への変換の前に、処理を必要とする認知対象に対して、眼球運動を行う必要があるか否か、また行う必要があるとすると、いつ、どのようなタイミングで、どの位置に眼球運動を行うかを判断するという処理が必要となる。眼球運動を行う必要があるときに、眼球運動を行い、その位置で文字を認知する。このような理由により、本章で取り上げた表示情報の提示位置という要因に対して、解明すべき処理の中心は眼球運動の判断と考える。

本章では、上記の目的に対して、その認知対象として英大文字を取り上げ、ここでの処理特性を3つの実験により明らかにする。これらの実験結果に関して、短期記憶などの記憶システムとの関連、文字読み取りとの対応など、さまざまな観点から認知処理特性を考察する。さらに、本章で扱う処理の中心となる眼球運動の判断については、“文字認知困難度モデル”を構築することにより、その処理を一般化し、考察する。

なお、本章では特に、近中心視内に提示された文字刺激に対し、眼球運動を起こさないうで認知する場合を問題として扱う。眼球運動を伴う認知については、次章で詳しく論ずる。

5.2 近中心視内の刺激に対する認知構造

本章で扱う近中心視内の刺激に対して行う眼球運動を伴わない場合の認知は、第2章で定義した処理のうち、視覚情報の獲得、眼球運動の判断²、眼球運動、および認知情報への変換の4つの処理で構成される。これらの処理に対して、前節で述べたような

²眼球運動の判断は、通常は無意識に行っているものであるが、意識的に行わないようにし、十分練習することにより、この処理を排除することができると考える。この判断は眼球運動を行うという判断と、行わないという判断の2通りの判断を含むが、本章では、眼球運動を行って認知した場合のデータは解析から除外しているので、結果的には眼球運動を行わないという判断を対象としていることになる。

光受容細胞、神経節細胞などが関与し、これらの細胞の性質、分布密度から、以下に示す3つの仮説を立てることができる。

仮説5.1： 近中心視における一定視野内の文字の認知に関して、視覚情報の獲得、および認知情報への変換に必要な処理時間の合計は、注視点から文字表示位置までの角度(刺激提示位置)にかかわらず一定である。

仮説5.2： 文字認知に関して、その処理時間の大部分は、視覚情報の獲得に必要な処理時間であり、認知情報への変換に必要な処理時間は、視覚情報の獲得に比べわずかである。

仮説5.3： 文字認知において、認知対象に対する眼球運動の判断のうち、眼球運動を行わないという判断に必要な処理時間は、注視点から文字表示位置までの角度(刺激提示位置)に関係する。

なお、本章では、近中心視内に文字刺激を提示したときの、眼球運動を起こさない場合の認知を問題としており、近中心視内の視野を予備実験により最大 8° (注視点の回り左右 4°)に定め、また眼球運動は対象として扱わない。

5.3 眼球注視認知実験

5.3.1 実験の種類

上記の仮説を検証するために、本章では3種類の実験を行う。各実験の目的と、認知過程中、各実験で対象となる処理を以下に示す。

実験5.1(1文字認知実験)： 近中心視内における英大文字1文字の認知に対して、視覚情報の獲得、および認知情報への変換に関する特性を解明するための実験。第2章で定義した認知過程で行う処理のうち、この実験で対象となるのは、視覚情報の獲得と、英大文字1文字に対する認知情報への変換である。

実験5.2(2文字認知実験)： 近中心視内における英大文字2文字の認知に対して、視覚情報の獲得、および認知情報への変換に関する特性、特に文字数の違いが及ぼす影響を解明するための実験。実験対象となる処理は、視覚情報の獲得と、英大文字2文字に対する認知情報への変換である。

実験5.3(眼球運動判断実験)： 近中心視内の英大文字2文字を認知する際の眼球運動の判断に関する特性を解明するための実験。実験対象となる処理は、視覚情報の獲得、眼球運動の判断、および英大文字2文字に対する認知情報への変換である。

5.3.2 実験方法

(1) 被験者

全実験を通じて、同一の男子学生4名(22～23歳)を被験者として用いた。各被験者とも眼鏡等で視機能を矯正する必要のない正常な視機能(視力1.0以上)を有する者である。

(2) 実験装置

すべての実験において、文字刺激はパーソナルコンピュータ(Apple II plus)により表示、制御した。また、アイマークレコーダ(NAC IV型)を被験者に装着し、VTR、およびVTRタイマにより、眼球運動を記録した。なお、実験室内の照度は、スウェーデンのVDT作業の推奨値[10]に従い、キーボード上の水平面照度200～240luxの値に保った。

(3) 文字刺激

文字刺激は図5.1に示すような16インチのディスプレイに表示される。被験者はディスプレイから約80cm離れた位置で実験を実施した。ディスプレイ上に表示される文字は、5×7ドットで構成され、その寸法は横8.3mm、縦11.7mmであり、視角に直すとそれぞれ、36'、50'である。表示する英大文字は、視覚的、発音的に類似性のない等音節の10文字を選択した。

(4) 実験手順

各実験とも2回のセッションに分けて行った。最初のセッションは習熟効果を取り除くための練習であり、1週間後に2回めのセッションを行う。解析には、この2回目のセッションのデータを使用するものとする。各実験とも被験者(A)をブロック因子として、刺激提示位置(注視点から文字表示位置までの角度; B)を因子として取り上げ、

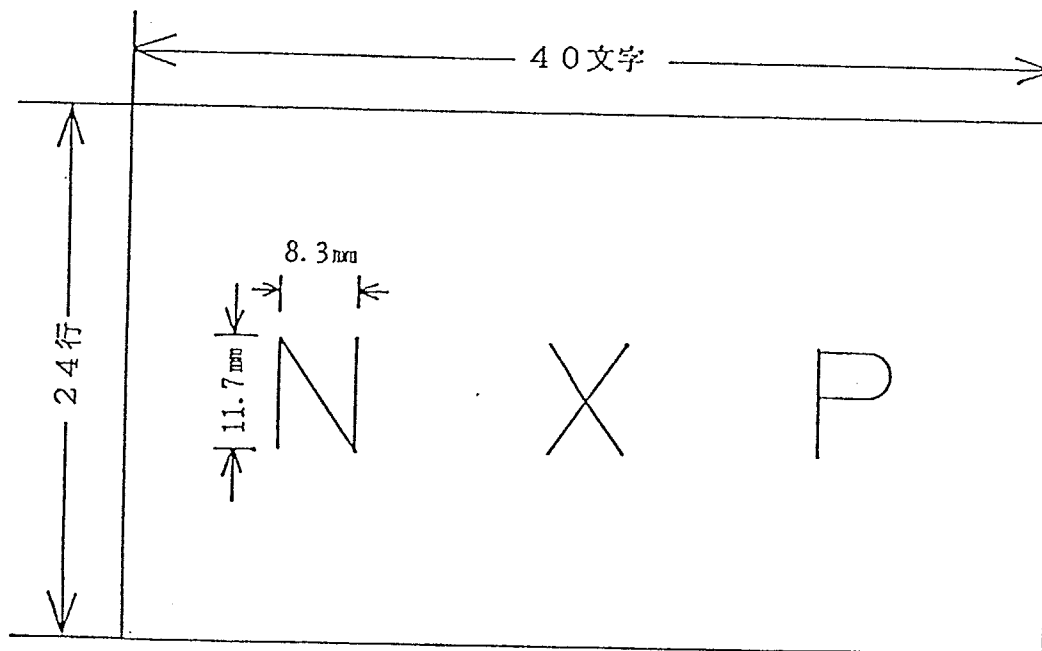


図 5.1: 認知文字 2 文字の刺激表示例

表 5.1: 実験における刺激提示位置(因子 B)の水準(注視点からの角度)

実験5.1	B_1 : 右 0.67°	B_2 : 右 1.33°	B_3 : 右 2.00°	B_4 : 右 2.67°
	B_5 : 左 0.67°	B_6 : 左 1.33°	B_7 : 左 2.00°	B_8 : 左 2.67°
実験5.2, 5.3	B_1 : 左右 0.67°	B_2 : 左右 1.33°	B_3 : 左右 2.00°	B_4 : 左右 2.67°
	B_5 : 左右 3.33°	B_6 : 左右 4.00°		

くり返し 3 回のランダムな順序により実施した。各実験における刺激提示位置(B)の水準を表 5.1 に示す。

実験上の全般的な注意として、表示された文字に対して、可能な限り速く認知すること、実験 5.1, および実験 5.2 に対しては、眼球運動の判断を排除するために、注視点から眼球を移動させずに認知すること、また実験 5.3 に対しては、眼球運動判断に関する特性を解明するための実験であり、眼球運動を自由に行って認知してよいことを被験者に徹底した。

実験実施前に、刺激提示位置の各水準に対して 2 回の練習後、以下の手順により実験を実施した。

1. ディスプレイ中央に表示されている“X”を注視しながら、キーボード上の任意のキーを押す。
2. ディスプレイ上に認知対象の文字が図 5.1 に示すように、注視点から離れた位置に表示され、その文字を素早く認知する。
3. 文字の認知後、直ちに眼球をディスプレイ上の注視点から移動させ、リターン・キーを押す。
4. 文字を正しく認知しているかどうかを確認するために、認知した文字をキーインさせる。

本章では、認知対象の文字がディスプレイ上に表示されてから、ディスプレイ上の注視点から眼球が移動を開始するまでの注視時間を、認知のための処理時間として測定した。本章では眼球運動を伴わない場合の認知を問題としているので、実験 5.3 において眼球運動を起として認知している場合のデータは、解析から除外した³。また、実験 5.1、および実験 5.2 においても眼球運動を起している場合も若干みられ、これらについても異常値として、データ解析から除外した。なお、認知後被験者が報告した文字は、全実験においてすべて正答であり、実験において正しく文字を認知していたことが確認されている。

5.4 実験結果と仮説の検証

5.4.1 刺激提示位置による影響(仮説 5.1)

実験 5.1、および実験 5.2 について、それぞれ注視時間を特性値として分散分析した結果を表 5.2、および表 5.3 に示す。実験 5.1 においては、ブロック因子である被験者(A)には有意水準 5% で有意差がみられたが⁴、ここで注目する刺激提示位置(注視点か

³実験において、2 回以上のサッケード、または認知文字とは逆方向へのサッケードを行って、認知している場合も若干あり、これらを解析データから除いた。実験 5.3 で眼球運動を行い認知した被験者は 4 名中 1 名で、その被験者についても比率は 3/18 と低く、その比率はわずかであった。また、認知文字数 1 文字で眼球運動を自由に行い認知してよい実験を別に行った。この結果から、眼球運動を行った認知について、§ 5.6.1 で考察する。

⁴実験 5.1、および実験 5.2 について、被験者(A)に有意差があるのは、被験者 A₃ のためであり、A₃ のデータを除いて分散分析を再度行くと、実験 5.1、実験 5.2 とともに被験者に有意差がなくなる。この

表 5.2: 実験 5.1 における注視時間の分散分析結果

要因	s.s. [‡]	d.f.	m.s. [‡]	F ₀
A(被験者)	244.16	3	81.39	3.74*
B(刺激提示位置)	141.99	7	20.28	0.93
A × B	319.99	21	15.24	0.70
誤差	1240.67	57	21.77	
合計	1946.81	88		

* : 5%有意, ‡ : ×100

表 5.3: 実験 5.2 における注視時間の分散分析結果

要因	s.s. [‡]	d.f.	m.s. [‡]	F ₀
A(被験者)	105.43	3	35.14	3.56*
B(刺激提示位置)	108.60	5	21.72	2.20
A × B	168.22	15	11.21	1.14
誤差	454.33	46	9.88	
合計	836.58	69		

* : 5%有意, ‡ : ×100

ら文字表示位置までの角度; B)には, 有意差が見られず, また被験者と刺激提示位置の交互作用(A × B)にも有意差は認められなかった。

実験 5.2 についても, 実験 5.1 とほぼ同様の傾向が見られるが, 刺激提示位置(B)の効果が実験 5.1 より大きくなっている。これについては, § 5.6.1で考察する。以上の結果から, 近中心視内の一定視野においては, 視覚情報の獲得, および認知情報への変換に必要な処理時間は, 注視点から文字表示位置までの角度(刺激提示位置)にかかわらず, 差がないことがわかり, 英文字のような見慣れた簡単な刺激に対しては, 仮説 5.1 は成立すると考えられる。

とき, 刺激提示位置(B)の結果は変わらない。また, 被験者A₃について, 再度実験をやり直したが, 実験5.1 ~ 5.3の傾向に変化は見られなかった。

表 5.4: 認知文字数を加えた注視時間の分散分析結果

要因	s.s. [‡]	d.f.	m.s. [‡]	F ₀
A(被験者)	328.06	3	109.35	6.61**
B(刺激提示位置)	208.07	3	69.36	4.19**
C(認知文字数)	135.07	1	135.07	8.16**
A × B	188.99	9	21.00	1.27
A × C	35.67	3	11.89	0.72
B × C	27.20	3	9.07	0.55
A × B × C	157.68	9	17.52	1.06
誤差	1737.00	105	16.54	
合計	2817.74	136		

** : 1%有意, ‡ : ×100

5.4.2 認知情報への変換過程(仮説5.2)

実験5.1と実験5.2で行われる認知における処理の違いは、認知情報への変換処理において変換する情報量の違いだけである。これらの実験における刺激提示位置(B)を対応させて、この実験5.1と実験5.2の違い(すなわち、認知文字数の違い)をブロック因子(C)と考え、分散分析を行った結果を表5.4に示す。この表が示すように、認知処理のための注視時間は、認知文字数(C)に有意水準1%で有意差が認められる。これより、認知情報への変換処理は、変換する情報量である認知文字数の影響を受けるとがわかる。

各被験者について、1文字認知(実験5.1)、および2文字認知(実験5.2)における注視時間の母平均の推定値を表5.5に示す。視覚情報の獲得においては、文字が表示されていない部分についても、視覚情報として取り込んでおり、また情報を取り込む範囲を自由に制御しているわけではなく、同一被験者においては、刺激提示位置、文字数にかかわらず、これに必要な処理時間は一定であると仮定することができる。また、認知情報への変換について同一被験者においては、認知文字1文字に対する認知情報へ

表 5.5: 認知文字数の違いによる注視時間(msec)

被験者	1文字認知	2文字認知	情報変換
A ₁	209.5	234.7	25.2
A ₂	225.2	226.1	0.9
A ₃	247.9	257.1	9.2
A ₄	200.0	227.8	27.8
平均	221.5	236.1	14.6
95%信頼限界	±19.0	±14.9	

表 5.6: 実験 5.3 における注視時間の分散分析結果

要因	s.s. [‡]	d.f.	m.s. [‡]	F ₀
A(被験者)	50.01	3	16.67	1.40
B(刺激提示位置)	194.10	5	38.82	3.26*
A × B	150.59	15	10.04	0.84
誤差	512.50	43	11.92	
合計	907.19	66		

*: 5%有意, ‡: ×100

の変換に必要な処理時間はどれも等しいと仮定すると, 2文字認知と1文字認知の注視時間の差が, 認知文字1文字に対する認知情報への変換に必要な処理時間と考えられる。この時間は, 視覚情報の獲得に必要な処理時間と比べ, わずかであることがわかる。以上により, 認知情報への変換処理に関する仮説 5.2 は成立すると考えられる。

5.4.3 眼球運動の判断時間(仮説 5.3)

実験 5.3 の注視時間の分散分析の結果を表 5.6に示す。この表が示すように, 実験 5.1, および実験 5.2 と異なり, 実験 5.3 では刺激提示位置(B)に有意水準 5%で有意差がみられる。この傾向を明らかにするために, 実験 5.3 における各被験者の注視点から文字表示位置までの角度と, 注視時間との関係を図 5.2に示す。

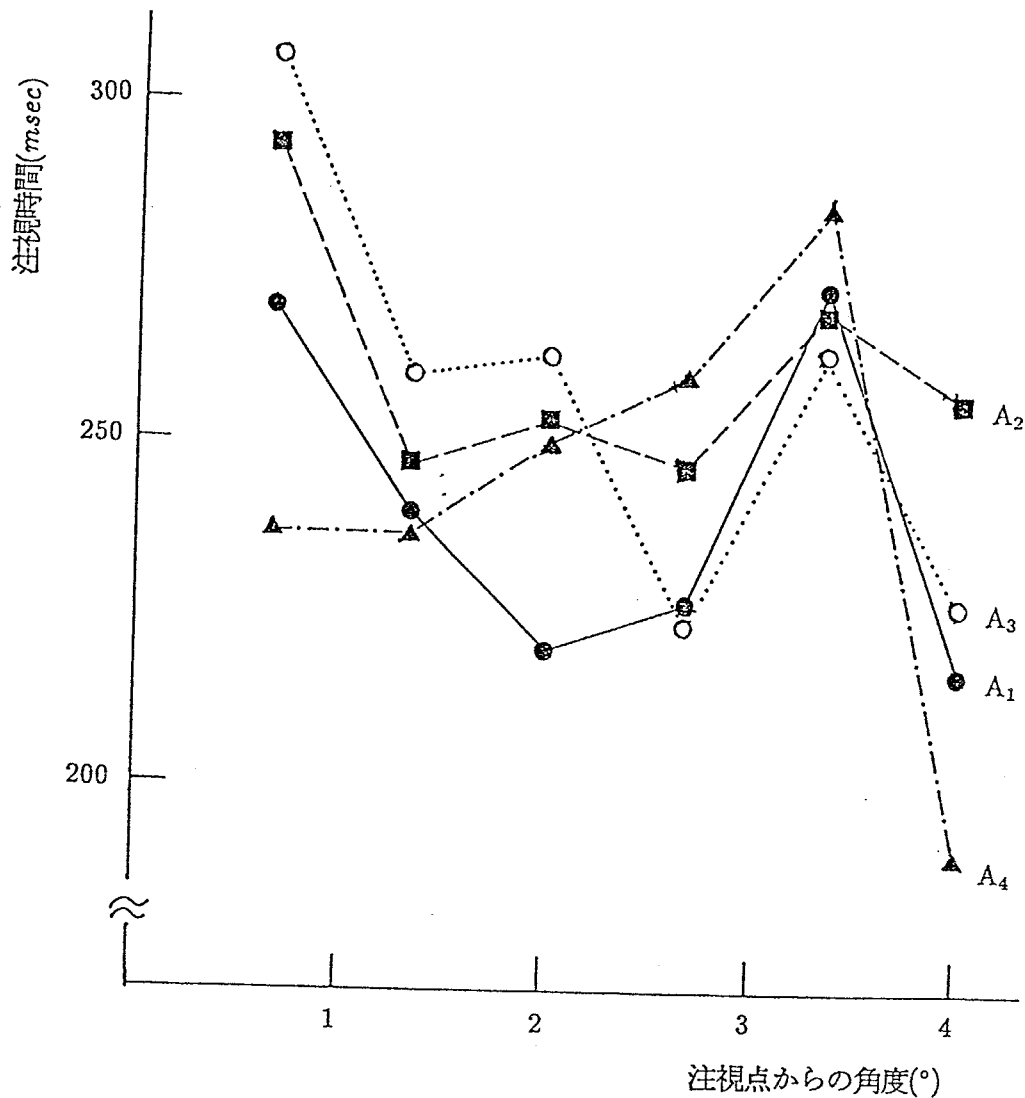


図 5.2: 実験 5.3 における刺激提示位置と注視時間の関係

被験者(A)に関して, 実験 5.1, および実験 5.2 では有意差がみられたのに対し, 実験 5.3 では有意差はみられない. 実験 5.3 で対象としている文字認知過程は, 通常の作業, 活動で行っている認知過程とほぼ同じである. 正しい視機能を有する同年齢の人間では, 実験 5.3 のように日常的に行われている認知に対する処理時間は, 前の 2 つの実験のような制限された認知と比べ, 個人差は小さくなると考えられる.

実験 5.2 と実験 5.3 で行う処理の違いは, 眼球運動の判断の有無と考えられる. 各被験者について, 眼球運動の判断の有る場合(実験 5.3), およびない場合(実験 5.2)の注視時間の母平均の推定値を表 5.7 に示す. 実験 5.3 で眼球運動を起こした場合のデータは除いてあるので, 眼球運動判断ありの場合の注視時間と, 判断なしの場合の注視時間の差が, 眼球運動の判断に必要な処理時間と考えることができる. この処理時間は被験者により個人差があるが, 表 5.7 の右欄に示すとおり, 眼球運動の判断という

表 5.7: 眼球運動判断の有無による注視時間(msec)

被験者	判断なし	判断あり	眼球運動判断時間
A ₁	234.7	239.4	4.7
A ₂	226.1	261.1	25.0
A ₃	257.1	257.2	0.1
A ₄	227.8	247.1	19.3
平均	236.1	251.6	15.5
95%信頼限界	±14.9	±16.4	

処理のために、数 msec から数 10 msec の時間が費やされていることがわかる。

実験 5.1, および実験 5.2 の注視時間の分散分析で有意にならなかった刺激提示位置(B)が, 実験 5.3 で有意になった原因は, この眼球運動の判断に関する処理によるものと考えられる。この注視点から刺激提示位置までの角度と, 眼球運動の判断との関係については, 5.5 節で考察する。

以上の結果から, 文字の認知に関して, “眼球運動を行わない” という眼球運動の判断に必要な処理時間は, 注視点から文字表示位置までの角度に関係があることがわかり, 眼球運動の判断処理に関する仮説 5.3 が成り立つことが確かめられた。

5.5 文字認知困難度モデル

5.5.1 モデルの構築

以上の実験の結果から, 仮説 5.1 ~ 5.3 は検証できたと考えられるが, 仮説 5.3 で述べている注視点から刺激提示位置までの角度と注視時間に関しては, 実験 5.3 の結果からわかるように, 何らかの一定の関係が認められる。図 5.2 に示したように, すべての被験者について, 両者の関係が線型とはならない, 共通のパターンが存在することがわかる。ここで, 図 5.3 に示すような視覚対象において, 認知のための注視時間は, 認知対象文字が注視点に近すぎても, また遠すぎても長くかかるという一般的傾向がみられる。

この一般的傾向は, 注視点から刺激提示位置までの角度による眼球運動の判断のし

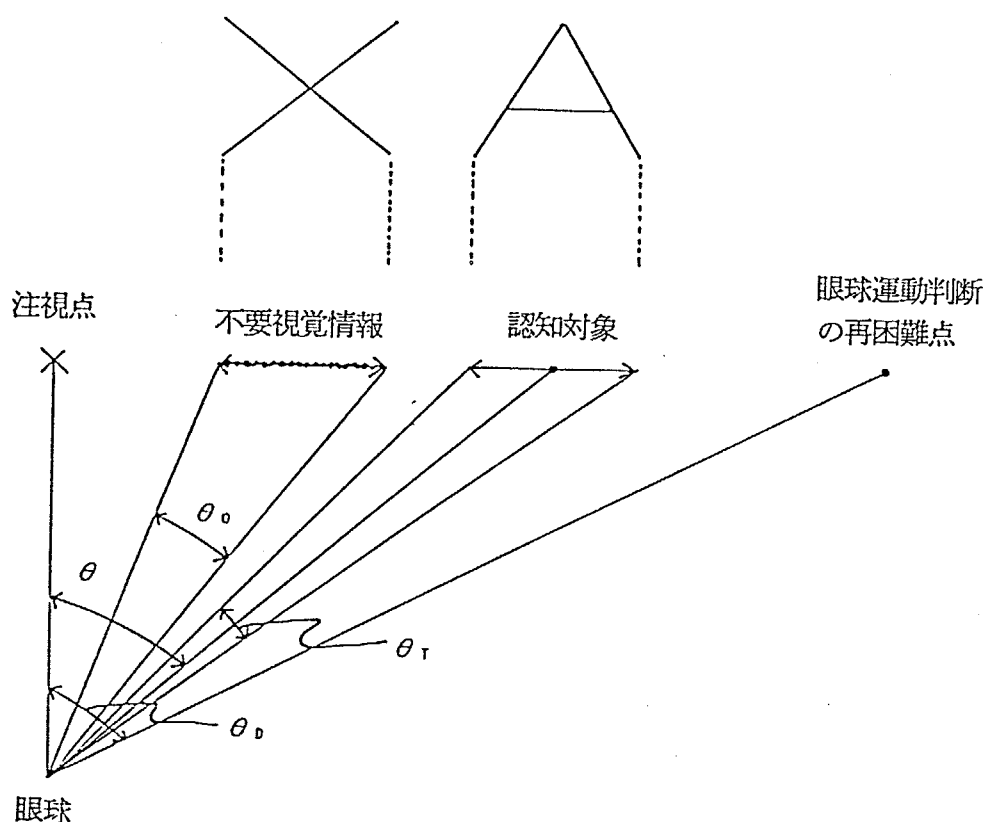


図 5.3: 文字認知困難度モデルにおける視覚対象

やすさと、認知対象視野内の不要視覚情報の占める割合による不要情報の除去のしやすさの2点から説明が可能と考えられる。前者は、近中心視内において眼球運動の判断が最も困難な点が存在し、その点を中心に困難度が減少する曲線である。これを眼球運動判断困難度と名づけ、式(5.1)で定義する。後者は、認知対象文字が注視点に近く、不要な視覚情報の割合が大きくなるほど、不要情報の除去が困難になるという曲線である。これは式(5.2)で定義することができ、不要情報除去困難度と名づける。

$$f(\theta) = \frac{1}{\frac{1}{\theta_T}|\theta - \theta_D| + 1} \quad (5.1)$$

$$g(\theta) = \frac{\theta_O}{\theta - \frac{1}{2}\theta_T} \quad (5.2)$$

$f(\theta)$: 眼球運動判断困難度

$g(\theta)$: 不要情報除去困難度

θ : 注視点から文字表示位置までの角度

θ_T : 認知対象文字の視角

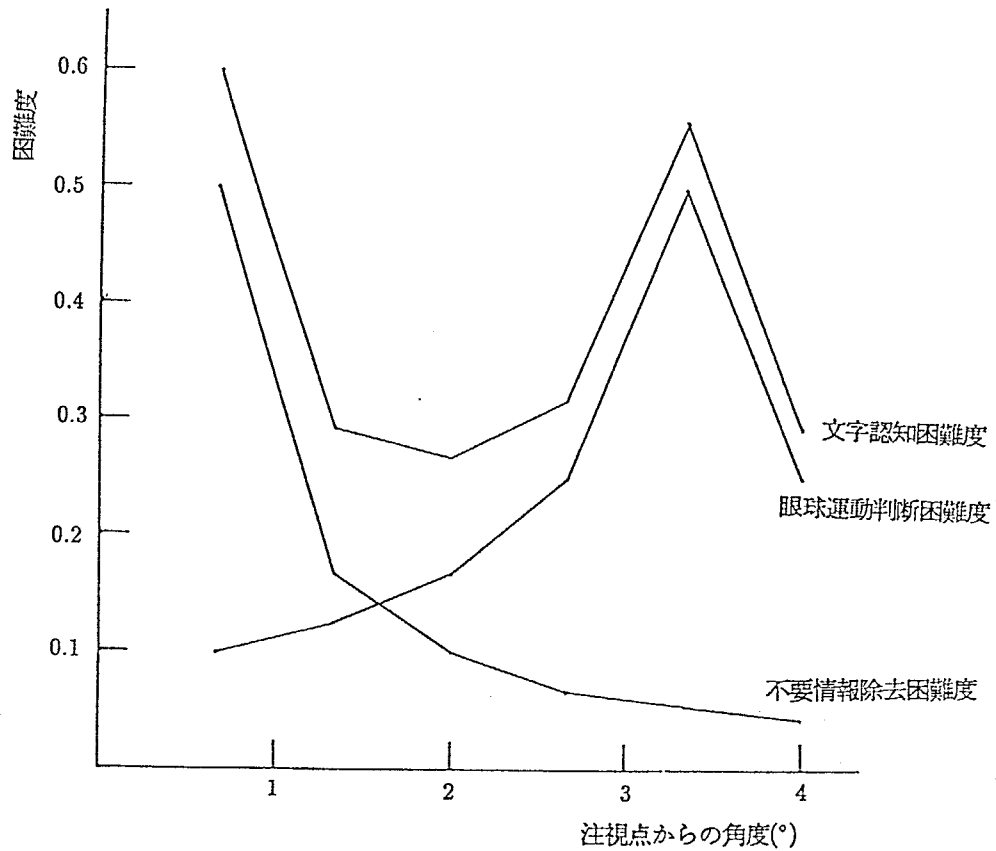


図 5.4: 文字認知困難度曲線

θ_D : 眼球運動の判断が最も困難な位置の注視点からの角度

θ_O : 不要視覚情報の視角

これらの困難度を式(5.3), および式(5.4) で合成したものを文字認知困難度と定義する.

$$h(\theta) = pf(\theta) + qg(\theta) \quad (5.3)$$

$$p + q = 1, \quad p, q \geq 0 \quad (5.4)$$

$h(\theta)$: 文字認知困難度

p : 眼球運動判断困難度係数

q : 不要情報除去困難度係数

ここで、係数 p, q について $p = q = 0.5$ としたときの眼球運動判断困難度、不要情報除去困難度、および文字認知困難度の様子を、図 5.4に示す。

5.5.2 モデルの検証

文字認知困難度モデルに対して、被験者ごとに、実験 5.3 のデータをもとに、係数 p, q を算出し⁵、注視点から文字表示位置までの角度による文字認知困難度を求めたものを、図 5.5に示す。図 5.5に示した各被験者の文字認知困難度の曲線は、図 5.2に示した実験 5.3 における注視点から刺激提示位置までの角度に対する注視時間の曲線の形状に非常によく似ていることがわかる。

文字認知困難度モデルの適合性をみるために、被験者ごとに文字認知困難度と実験 5.3 の注視時間との回帰分析を行い、その結果を表 5.8に示す。回帰分析の結果、各被験者とも回帰式が有意となり、眼球運動判断困難度と不要情報除去困難度により、文字認知の一般的傾向を説明できることが確認できた。

このモデルから、眼球運動の判断の困難さと、不要な視覚情報の除去の困難さについて考察する。実験 5.3 の結果からすべての被験者とも、刺激提示位置に対して注視点からの角度 3.3° で注視時間は極大となり、この位置の付近で眼球運動の判断が最も困難であることがわかる。また、不要な視覚情報の除去の困難さについてみると、これは取り除く情報量が少ないほど、また認知対象となる視覚情報と不要な視覚情報が互いに離れているほど、困難度が小さく、不要な情報は取り除きやすいといえる。実験 5.1、および実験 5.2 に関しては、取り除くべき不要情報が多く、実験 5.1 と比べ、実験 5.2 における視覚状況が、認知対象視野の範囲が広い。そのため、注視点からの角度の増加に伴う不要情報の占める割合の変化量が大きくなり、注視点からの角度の効果が大きくなると考えられる。

⁵ここでは眼球の注視時間を目的変数とし、式(5.1)、および式(5.2)で計算された眼球運動判断困難度と不要情報除去困難度を説明変数とし、重回帰分析を行い、それにより推定された2つの偏回帰係数を式(5.4)の条件を満たすように変換して、係数 p, q を求めた。

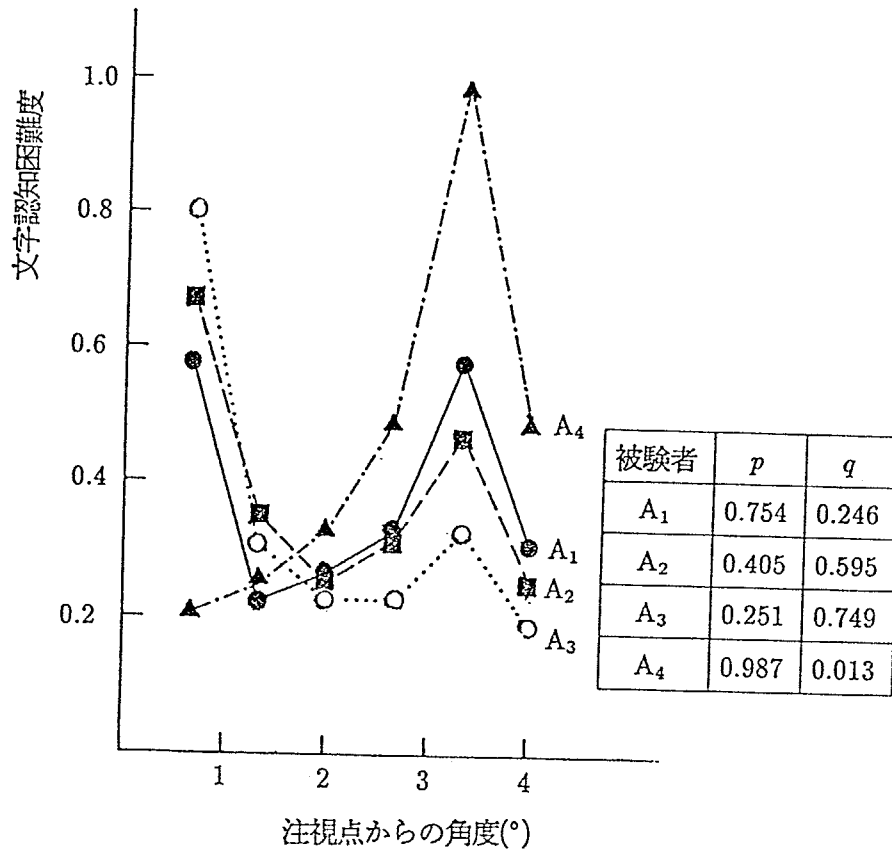


図 5.5: 各被験者の文字認知困難度

5.6 考察

5.6.1 記憶システムと認知との関連

認知過程に主として関連する記憶システムには、視覚情報保存と短期記憶があり、各々視覚情報、および認知情報が保存されている[3]。認知は、これら2つの記憶システムへの情報の貯蔵過程と考えることができる。本章で扱った認知過程中的4つの処理は、それぞれ次のように解釈することができる。視覚情報の獲得は、必要とする視覚対象を含む外部情報を視覚情報として、視覚情報保存に貯蔵するまでの過程である。認知情報への変換は、視覚情報保存内の視覚情報をもとに、短期記憶に認知情報を保存するまでの過程である。また、眼球運動の判断、および眼球運動は、必要な外部環境の情報を獲得するための準備段階と解釈できる。

単一光刺激の提示に応答する簡単刺激反応実験における反応時間は、約180msecであることが知られている[11]。この時間は、上で述べたように、視覚情報保存に視覚情報を貯蔵するまでの処理時間に対応すると考えられる。選択的注意(selective attention)

表 5.8: 注視時間と文字認知困難度との回帰分析結果

被験者	F値	相関係数
A ₁	7.769*	0.812
A ₂	30.139**	0.939
A ₃	13.573*	0.878
A ₄	30.537**	0.940

$$F(1, 4; 0.05) = 7.71 \quad F(1, 4; 0.01) = 21.2$$

表 5.9: 眼球運動を伴う認知(1 文字)

被験者	眼球運動の比率	注視時間(msec)	
		1回め	2回め
A ₁	5/24	160	66
A ₂	2/24	205	88
A ₃	3/23	173	130
A ₄	17/23	170	222
平均	0.287	171	173

における単一回路説(Single Channel Theory) [2]を適用すると、視覚情報保存内の視覚情報は、短期記憶に認知情報として貯蔵される際、選択的機構が働き、1 文字ずつ順次変換される。ここで、実験 5.1、および実験 5.2 のデータを用い、視覚情報の獲得に必要な処理時間を、認知処理全体の注視時間から認知情報への変換に必要な処理時間を差し引いて求めると、前述の簡単刺激反応実験における反応時間にほぼ等しくなることがわかる。

実験 5.3 で眼球運動を行い、文字を認知した比率はかなり少なく、ほとんどは眼球運動を行わずに文字を認知していた。これは実験 5.3 においては、2 文字の刺激が注視点から左右等角度の位置に、提示されていたためと考えられる。この左右対称の効果を取り除くために、認知文字数を 1 文字にして、眼球運動を自由に行うことを許す実験を、実験 5.1 と同様の実験因子と水準により行った。各被験者の眼球運動を起こす

比率は、表 5.9の左欄に示すとおり、実験 5.3 と比べかなり高いことがわかる。

表 5.9に示した第1回めの注視時間は、文字刺激を提示してから眼球運動を起こすまでの時間であり、前述の視覚情報の獲得に必要な処理時間よりわずかに小さい値を示しており、このことより、眼球運動の判断は、視覚情報の獲得の終了後、または後半に行われると考えられる。また、第2回めの注視時間とは、眼球運動が終わり、表示文字の注視位置で視覚情報の獲得から認知情報への変換を終了するまでに必要な処理時間であり、被験者A₄を除き、第1回めの注視時間より短い値を示している。これは第2回めの注視の間に行う処理において、第1回めの注視中に獲得した視覚情報を利用していることを示唆するものである⁶。

第2回めの注視時間においては、第2章で述べたように、サカディック・サプレッション(saccadic suppression) [8]と呼ばれる現象も含まれる。この現象は、眼球運動だけでなく、その直後にも視覚機能が著しく低下する。そのため、注視時間を延長させる効果がある。この時間には個人差があり、被験者A₄はこの時間が長いと考えられる。

5.6.2 文章読み取りへの応用

英文の読み取り(reading)中、サッケードを起こす長さは通常8～9文字程度であるが、その範囲は2～18文字に広がっていることが知られている[14]。文章を読む場合、サッケードの範囲は視覚の強さにより決定されているのではなく、ある一定視力以上を持つ視野内において、単語を構成する文字数、文脈などに関係すると思われる。Kolars, et al. [6]においては、1行に35文字表示できるディスプレイにおいて、1回の眼球の注視あたりに処理する情報は、平均7.3文字、視角に直すと3.6°、またこれを単語数に換算すると平均1.2単語という結果がでている。この視角3.6°という数字は、本章で設定した文字認知に有効な視角である8°の1/2弱にあたる。また、同じ研究[6]で、1行の表示文字数を2倍の70文字にしても、1回の眼球の注視あたり平均8.75文字、1.46単語と、それほど増加しない。

以上のことより、英文の読み取りにおいては、サッケードの長さ、または注視中において処理する文字数は、視覚の強さから決定されるのではなく、一定視力以上の視野内において、短期記憶等の処理能力、および文脈情報などにより決定され、この傾向は

⁶この現象に関しては次章で詳しく論ずる。

日本語文においても同様であると考えられる。

英文の読み取りにおいて、1回の注視時間は200～250msecといわれている[14]。この数値と本章の実験で得られたデータから考えると、文字の読み取りで行われる処理は、表示情報から文字を1文字ずつ認知し、それを構成して単語として認知するというデータ駆動型処理だけではなく、概念駆動型処理も行われていることが考えられる⁷。

5.7 結語

本章は、VDT作業の効率化を、オペレータへの表示情報の提示方法の改善として捉え、その基礎資料を与えるために、認知過程における表示情報の提示位置を要因として取り上げ、その処理特性の解明を目的とした。本章では、認知対象を近中心視内の刺激に限定し、視覚刺激の例として英大文字を取り上げ、実験的に得られたデータをもとに、以下に示す認知過程のいくつかの基本的特性を明らかにすることができた。

1. 文字認知過程において、眼球運動の判断に関する処理の存在が認められた。この処理に関して、その処理時間は眼球運動の判断が注視点からの角度に対して、最も困難な位置が存在し、その点から近くても、あるいは遠くても、増加するという一定の関係が認められた。
2. 近中心視内の刺激に対する文字の認知に関して、視覚情報の獲得、および認知情報への変換に必要な処理時間の合計は、表示情報の提示位置にかかわらず、一定であることが認められた。
3. 文字認知に関して、その処理時間の大部分は、視覚情報の獲得に関するものであり、認知情報の変換に必要な時間は、わずかであることがわかった。
4. 眼球運動の判断を中心とする認知過程をモデル化するために、文字認知困難度モデルを構築した。これにより、表示情報の提示位置に対する認知の困難さは、眼球運動の判断の困難さと、不要情報を取り除くための困難さの2つがあることがわかった。

認知する視覚対象の違いにより、認知情報への変換に必要な処理時間は異なると思われるが、本章で立てた仮説、およびモデルは、数字、カナ文字など、一般に見慣れた

⁷概念駆動型処理におけるこの文脈効果については、第8章で詳しく論じる。

簡単な視覚対象に対しては、応用が可能であると考える。

本章で得られた結果を、作業効率の面からみて、VDT作業の表示情報の提示方法に応用すると、数文字がまとまって処理対象となる視覚情報は、視角 8° 以内にまとめて提示することが望ましく、1つの視覚対象と他の視覚対象とは適当な間隔をあげ、過度に大きな文字を表示する必要はないといえる。

参考文献

- [1] Balota, D.A. and Rayner, K. : Parafoveal Visual Information and Semantic Contextual Constraints, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, **9**(5), 726 ~ 738, 1983.
- [2] Broadbent, D.E. : *Perception and Communication*, Pergamon Press, London, 1958.
- [3] Dodd, D.H. and White R.M. : *Cognition*, 11 ~ 22, Allyn and Bacon, Boston, 1980.
- [4] Just, M.A., and Carpenter, P.A. : A Theory of Reading : From Eye Fixation to Comprehension, *Psychological Review*, **87**, 329 ~ 354, 1980.
- [5] 神作 博 : 感覚・知覚ハンドブック(第5章視覚), 和田陽平, 大山 正, 今井省吾編, 250 ~ 267, 誠信書房, 1969.
- [6] Kolars, P.A., Duchnicky, R.L. and Ferguson, D.C. : Eye Movement Measurement of Readability of CRT Displays, *Human Factors*, **23**(5), 517 ~ 527, 1981.
- [7] Lindsay, P.H. and Norman, D.A. : *Human Information Processing*(2nd ed.), 11 ~ 22, Academic Press, New York, 1977.
- [8] Matin, E. : Saccadic Suppression : A Review and an Analysis, *Psychological Bulletin*, **81**(12), 899 ~ 917, 1974.
- [9] McConkie, G.W. : Eye Movements and Perception during Reading, In Rayner, K.(ed), *Eye Movements in Reading*, 65 ~ 96, Academic Press, New York, 1983.

- [10] Östberg, O. : Accomodation and Visual Fatigue in Display Work, In Grandjean, E. and Vigliani, E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 41 ~ 52, Taylor & Francis, London, 1980.
- [11] 大山 正 : 反応時間研究の意義, 日本人間工学会第25回大会講演集, 24 ~ 25, 1984.
- [12] Pollastek, A. and Rayner, K. : Eye Movement Control in Reading: The Role of Word Boundaries, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 18(6), 817 ~ 833, 1982.
- [13] Rayner, K. : Eye Movements in Reading and Information Processing, *Psychological Bulletin*, 85(3), 618 ~ 660, 1978.
- [14] Rayner, K. and McConkie, G.W. : What Guides a Reader's Eye Movements ?, *Vision Research*, 16, 829 ~ 837, 1976.
- [15] 外山敬介 : 感覚器と脳の生理, 生体における情報処理(南雲仁一編), 1 ~ 42, 岩波書店, 1982.

第6章 VDT作業における表示情報 設計のための視覚認知モデル¹

6.1 序

第5章においては、主としてVDT作業の効率という側面から、表示情報の提示位置を要因に取り上げ、その処理特性、および処理メカニズムを明らかにした。そこでは、被験者の近中心視に刺激を提示し、その位置で眼球運動を起こさずに、認知する場合を対象とした。VDT作業など、一般の視覚認知作業においては、提示された表示情報に対して、処理を必要とする情報が注視点から離れた位置にあり、十分明瞭な視覚情報を形成できない場合がほとんどである。このとき、必要とする情報の提示位置に眼球運動を行い認知するのが普通である。そこで、本章では、第5章で明らかにした眼球運動を起こさないときの認知処理特性を、眼球運動を伴う場合の認知に拡張する。

第2章で分類、定義した認知過程を構成する処理のうち、第3章から第5章において、表示情報の取り込み、視覚情報の生成、眼球運動の判断²、および認知情報への変換の各処理のメカニズムと特性が明らかになっている。本章では、まだ明らかになっていない眼球運動の判断(ここでは、“眼球運動を行う”という判断)、眼球運動のプログラミング、および眼球運動の各処理が、特に解明の対象となる。

本章では特に、ヒューマン-コンピュータ-インタフェース設計への応用という点を考慮して、一般の視覚認知作業で行っている処理と同様な認知過程に対して、それを

¹本章の内容の一部は、伊藤謙治：“ヒューマン-コンピュータ-インターフェースにおける表示情報設計のための視覚認知モデル”として、日本人間工学会誌，Vol.24, No.3, pp.177～187, 1988に掲載されたものである。

²“眼球運動を行わない”という判断については、第5章で既に明らかになっている。本章では、“眼球運動を行う”という判断が解明の対象となる。

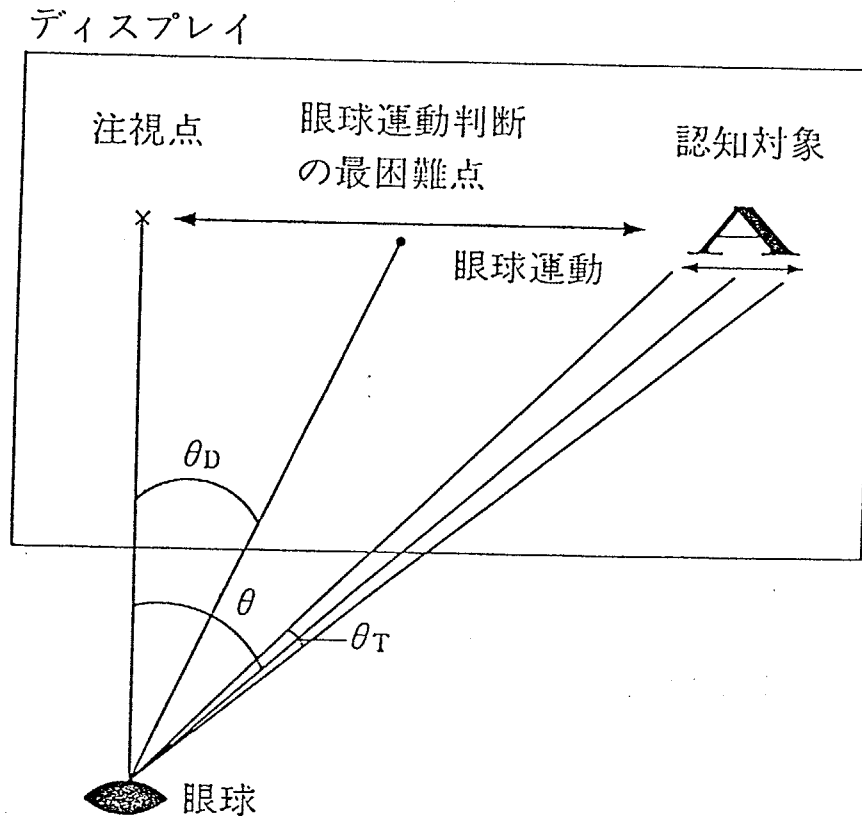


図 6.1: 視覚認知モデルの状況

構成する各プロセスのメカニズムをモデル化することにより、明らかにすることを目的とする。そのため本章では、第5章と同様に、英大文字を表示情報の例として、2つの実験を行うことにより、これらのメカニズムを明らかにする。最初の実験6.1により、眼球運動を伴う認知過程全般をモデル化し、それを検証する。次に、これまでの各章において明らかにされていない眼球運動のプログラミングについて、その処理特性を明らかにするために、実験6.2を行う。

6.2 視覚認知モデル

6.2.1 視覚認知過程

VDT 上に表示された情報に対する認知過程の概要は、図2.2をもとに、第2章³で既に述べたとおりである。本論文は、第1章で述べたように、ヒューマン-コンピュー

³特に、§2.1.3、および§2.1.4で述べられている。

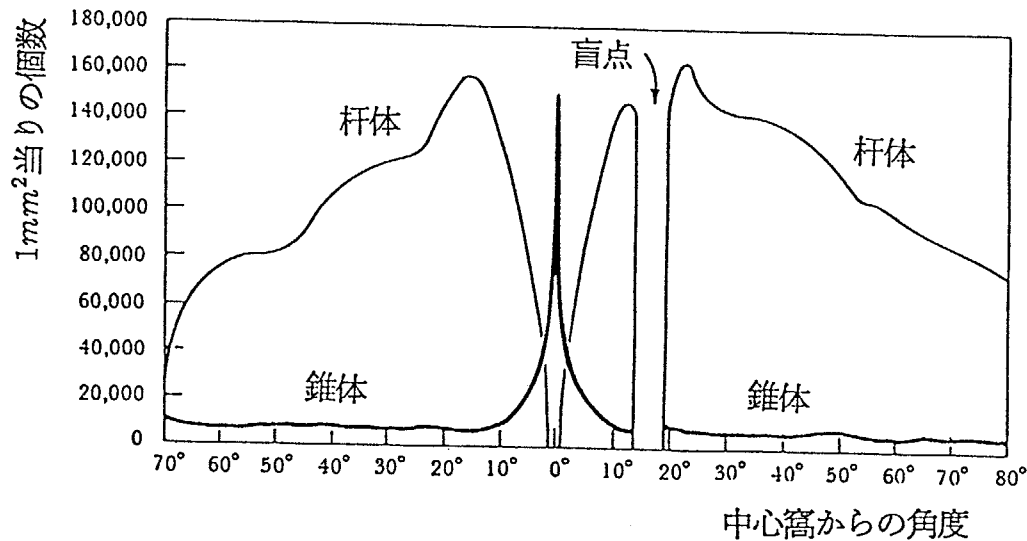


図 6.2: 網膜における桿体と錐体の分布密度(Pirene[9]による)

タ・インタフェースを主要な応用対象としている。このようなコンピュータ・システムの視覚インタフェースである VDT の表示範囲は、上下、左右それぞれ 10° 程度である。このような状況においては、1 回の眼球運動で認知対象の表示情報の位置に正しく移動すると仮定できる⁴。そこで本章では、1 回の眼球運動で表示情報を認知する場合を対象とし、その処理メカニズムを明らかにする。

これまでに述べてきた各章での知見、および従来の心理学、生理学などの成果を総合して、図 6.1 に示すような視覚状況における第 1 回注視、眼球運動、および第 2 回注視における処理をそれぞれモデル化する。これらの処理モデル全体をここでは、“視覚認知モデル”と名付ける。以下、§ 6.2.2 で第 1 回注視モデル、§ 6.2.3 で第 2 回注視モデルを構築する。

6.2.2 第 1 回注視モデル

第 5 章の結果から、表示情報の取り込みと視覚情報の生成に必要な処理時間の合計は、注視位置から認知対象までの距離にかかわらず、一定であることがわかった。このことは、ここで構築する第 1 回注視モデルにおいても、成り立つものと考えられる。

視覚の解像度(精緻さ)と感度(強さ)は図 6.2 に示すように、網膜上の細胞である桿体と錐体の分布密度に関係し[5]、注視点から周辺に移るに従い、解像度は急激に低下する[4]。解像度は、その特性値として視力で表わすことができ、中心窩からの角度と

⁴注視点から 8.8° 以内の情報に対して、86%は 1 回の眼球運動で認知できる[15] という報告もある。

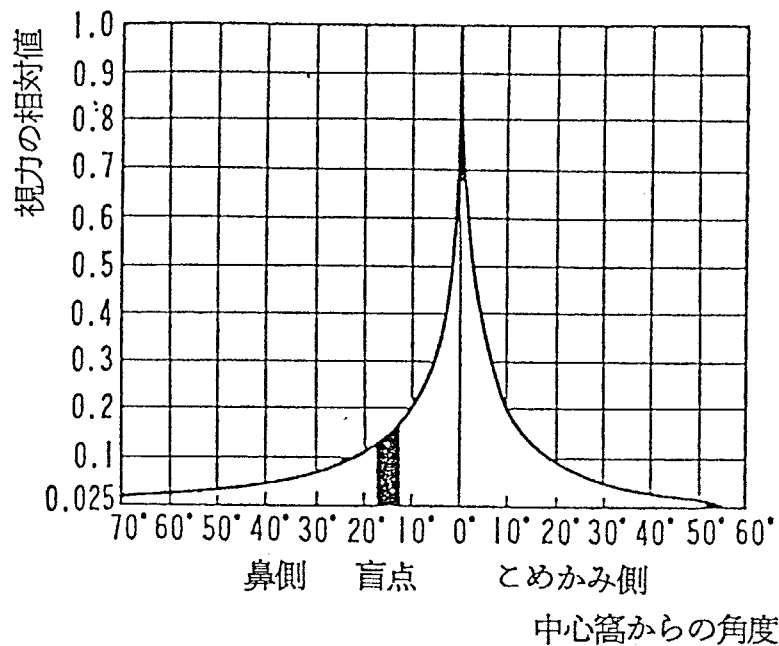


図 6.3: 中心窩からの角度による視力(感覚・知覚ハンドブック[4]による)

の関係は図 6.3 に示すとおりである[4]。眼球運動の判断の困難さの原因として、視覚の解像度と感度が考えられる。解像度が強い(または弱い)情報に対しては、眼球運動の必要がない(ある)という判断が容易にでき、中程度の情報に対して眼球運動の判断が困難になることが考えられる。すなわち、解像度の特性値である視力に関して、最も判断の困難な値が存在する。その網膜上の位置(中心窩からの角度)を、眼球運動判断の最も困難な点 θ_D とし、注視点からの角度 θ の位置にある情報に対して、その眼球運動判断困難度 $f_1(\theta)$ は、式(6.1)で定義できる。これは第5章で対象とした“眼球運動を行わない”という判断のときの眼球運動判断困難度と同様の式である⁵。眼球運動の判断に必要な処理時間は、この困難度に比例すると考える。ただし、式(6.1)の θ_T は認知対象文字の視角である。

眼球運動のプログラミングについては、眼球運動中の全時間に渡る速度、方向等のプログラミングを、眼球運動の開始直前に行うと仮定すると、運動角度 θ に対する眼球運動のプログラミング量は、眼球運動時間 $T(\theta)$ に関係すると考えることができる。また、不鮮明な視覚情報に対しては、プログラミング処理がしにくいと仮定することができる。すなわち、眼球運動のプログラミングの困難度は、眼球運動時間と視覚情報の不鮮明度との積で与えられる。ここで、視覚情報の不鮮明さを、視力 $a(\theta)$ (ここでは、

⁵第5章の式(5.1)参照。

中心視を1としたときの解像度の相対値)の逆数とすると、注視点からの角度 θ に対する眼球運動プログラミング困難度 $f_2(\theta)$ は、式(6.2)のように表わせる。眼球運動のプログラミング時間は、この眼球運動プログラミング困難度に関係することが考えられる。

このときの眼球運動はサッケードと呼ばれる断続性運動であり、サッケードの平均角速度は運動角度に対して単調増加の関数になる[10]ことが知られている。ここで、本章で対象としている注視点から $0 \sim 10^\circ$ 程度の眼球運動に対しては、その平均角速度 $v(\theta)$ は運動角度と線形関係で近似できると仮定すると、平均角速度は式(6.3)のように、また眼球運動時間 $T(\theta)$ は式(6.4)で定義できる。ただし、 α, β は定数である。

英語の文章のように、左から右へ読み進んでいく言語を使用している国民にとっては、注視点の左側の情報より、右側の情報の方が速く処理することができる[11]。この効果は眼球運動の判断とプログラミングに関するものと考えられる。この表示方向の効果についても、本章のモデルでは考慮する。

第1回注視における処理時間 $\hat{D}_1(\theta)$ は、以上のように、表示情報の取り込み、視覚情報の生成、眼球運動の判断、および眼球運動のプログラミングの処理の合計時間にさらに、上記の表示方向の効果 $f_3(d)$ (d : 表示方向)を加え、式(6.5)のように推定できる。ここで、 p_1, p_2, p_3 は各処理に対する係数であり、 C_1 は第1回注視における表示情報の取り込み、および視覚情報の生成に必要な処理時間の合計である。

$$f_1(\theta) = \frac{1}{\frac{1}{\theta_T}|\theta - \theta_D| + 1} \quad (6.1)$$

$$f_2(\theta) = T(\theta) \frac{1}{a(\theta)} \quad (6.2)$$

$$v(\theta) = \alpha\theta + \beta \quad (6.3)$$

$$T(\theta) = \frac{\theta}{v(\theta)} = \frac{\theta}{\alpha\theta + \beta} \quad (6.4)$$

$$\hat{D}_1(\theta) = p_1 f_1(\theta) + p_2 f_2(\theta) + p_3 f_3(d) + C_1 \quad (6.5)$$

6.2.3 第2回注視モデル

第2回注視中に行う処理に関して、表示情報の取り込み、および視覚情報の生成では、第1回注視において獲得した視覚情報を利用しており、それによりこれらの処理が軽減されることが考えられる⁶。第1回注視中に獲得した視覚情報量 $I_1(\theta)$ は、その表示位置

⁶これに関しては、第5章の§5.6.1で示唆された。

の視力 $a(\theta)$ と注視時間 D_1 の積に関係し、式(6.6)で定義する。ここで、 p_4 は比例定数である。

獲得された視覚情報は、感覚記憶(sensory memory)である視覚情報保存(visual information store)に貯えられており、この情報は時間とともに指数関数的に急速に失われていき[1,13]、時間 t 後に存在している視覚情報量 $I_1(\theta; t)$ は、式(6.7)で与えられる。ここで、 δ は視覚情報の半減期⁷である。

認知対象に対する眼球運動中、サカディック・サプレッション(saccadic suppression)[6]と呼ばれる視覚機能が著しく低下する現象がみられる。すなわち、この期間中には、表示情報の取り込みが行われないうちに、視覚情報保存内の情報に対し、リハーサル(rehearsal)⁸が行われないうちに、第1回注視中に生成された視覚情報は、この時間 $T(\theta)$ 分だけ減少すると考えられる。以上のことより、第2回注視で利用できる視覚情報量 $I_2(\theta)$ は、式(6.8)で定義でき、その情報量分だけ、表示情報の取り込み、および視覚情報の生成の処理が軽減される。

§ 6.2.1でも述べたように、第2回注視位置は眼球運動により正しく認知対象上にあると仮定できるので、運動角度 θ の関数である眼球運動の判断、およびプログラミングにかかる処理時間は、それぞれ $p_1 f_1(0)$ 、 $p_2 f_2(0)$ となり、この値はもとの表示位置にかかわらず一定となる。また、表示情報の取り込みと視覚情報の生成と同様に、第5章の結果から認知情報への変換処理についても、同種類の認知対象に対しては一定と考えることができる。

以上まとめると、第2回注視における処理時間 $\hat{D}_2(\theta)$ は、式(6.9)で推定できる。ここで、 C_2 は第2回注視における表示情報の取り込み、視覚情報の生成、眼球運動の判断、プログラミング、および認知情報への変換に必要な処理時間の合計である。また、 p_4, p_5 , および p'_5 は、第1回注視と同様、各処理に対する係数である。

$$I_1(\theta) = p_4 D_1 \cdot a(\theta) \quad (6.6)$$

$$\begin{aligned} I_1(\theta; t) &= I_1(\theta) \cdot \exp\left(-\frac{\log 2}{\delta} \cdot t\right) \\ &= p_4 D_1 \cdot a(\theta) \cdot \exp\left(-\frac{\log 2}{\delta} \cdot t\right) \end{aligned} \quad (6.7)$$

$$I_2(\theta) = I_1(\theta; T(\theta))$$

⁷現在の情報量が半分に減少するのにかかる時間。

⁸情報を把持するために、何度もその情報を意識的にくり返す努力。

$$= p_4 D_1 \cdot a(\theta) \cdot \exp\left(-\frac{\log 2}{\delta} \cdot \frac{\theta}{\alpha\theta + \beta}\right) \quad (6.8)$$

$$\begin{aligned} \hat{D}_2(\theta) &= p_5 I_2(\theta) + C_2 \\ &= p'_5 D_1 \cdot a(\theta) \cdot \exp\left(-\frac{\log 2}{\delta} \cdot \frac{\theta}{\alpha\theta + \beta}\right) + C_2 \end{aligned} \quad (6.9)$$

6.3 眼球運動を伴う認知処理特性

6.3.1 眼球運動認知実験(実験6.1)

(1) 実験方法

認知過程における第1回注視, および第2回注視中に行われる各処理の特性を明らかにし, 6.2節で設定した視覚認知モデルを検証するために, 英大文字を視覚刺激として用いる眼球運動認知実験(実験6.1)を行う。

(a) 被験者

本実験は, 視覚刺激として英大文字を使用するため, 英大文字を普段見慣れているという条件を考慮に入れ, 本学の日本人男子学生9名(21 ~ 24歳)を被験者として用いた。なお, 被験者は全員, 眼鏡等の矯正を必要としない正常な視機能を有する者である。

(b) 実験装置と視覚刺激

実験はVDT作業の推奨照度[8,14]に従い, キーボード上の水平面照度290 ~ 350luxに保たれた室内において, 自然光, および天井灯の反射光の影響が最も少ない位置で行われた。実験に用いた視覚刺激は, パーソナル・コンピュータ(NEC PC-9801E)により制御され, これに接続された14インチ・ディスプレイ(NEC PC-8853N; 640 × 400ドット)上に白黒ボジ表示で提示される。ディスプレイ上に表示される文字は, 7 × 13ドットで構成されるものであり, その寸法は縦横とも平均約6mm, 視角に直すと46'である。

なお, 被験者の眼球運動をアイマーク・レコーダ(NAC IV型), これに接続されたUマチック VTR(SONY VO-5800; サンプルング間隔6.7msec), および14インチ・モニタ(ナショナル WV-5410; 解像度水平850本, 垂直350本)により記録, 測定した。

(c) 実験手順

被験者は通常のVDT作業の推奨視距離[14]と同様のディスプレイ手前45cmの位

表 6.1: 第1回注視位置で認知する割合

表示位置からの角度	1.5°(B ₁)		4.5°(B ₂)		6.0°(B ₃)		7.5°(B ₄)	
被験者 \ 表示方向	左	右	左	右	左	右	左	右
A ₁	3/9	2/9	0/9	0/8	0/9	0/9	0/9	0/8
A ₂	6/9	4/9	1/9	0/9	0/9	0/9	1/9	0/9
A ₃	6/9	7/9	0/9	2/9	2/9	1/9	0/9	1/9
A ₄	1/9	0/9	0/8	0/7	0/8	0/8	1/9	2/9
A ₅	4/9	0/9	1/9	0/9	1/9	0/9	1/9	0/9
A ₆	0/8	5/8	0/9	1/8	0/9	1/8	0/8	1/8
A ₇	5/9	3/9	0/9	0/9	1/8	0/9	0/7	0/9
A ₈	0/9	3/9	0/9	0/9	0/9	0/9	0/9	0/9
A ₉	0/8	1/8	1/9	0/9	0/8	0/9	0/9	0/9
合計	25/79	25/79	3/80	3/77	4/78	2/79	3/78	4/79

10.5°以降(B₅, B₆)は第1回注視位置で認知する比率はすべて0.

置に座り、眼球運動を測定するため、アイマーク・レコーダを装着して、ディスプレイ中央を注視する。この状態で、被験者の注視点から1.5°～12.0°離れた位置に提示される視覚刺激1文字に対し、自由に眼球運動を行い、認知し⁹、その文字をキーボードを打鍵することにより報告する。なお、被験者の注視点には、“X”マークを表示し、被験者がリターン・キーを押すことにより、刺激が提示され、認知完了のリターン・キーが押されるまで、ディスプレイ上に表示されている。ここで、視覚刺激が提示されてから、被験者が刺激を認知し、キー操作のための下方向の眼球運動を起こすまでの注視時間、ならびに眼球運動時間を、認知に必要な処理時間として測定する。

実験因子としては、被験者(A)のほかに、文字刺激の表示位置(注視点からの角度; B)、文字刺激の表示方向(C)、および文字刺激の形状(D)を取り上げる。文字刺激の表示位置(B)に関しては、注視点からの角度で、1.5°(B₁)、4.5°(B₂)、6.0°(B₃)、7.5°(B₄)、10.5°(B₅)、および12.0°(B₆)の6水準、文字刺激の表示方向(C)に関しては、注視点の左側(C₁)、および注視点の右側(C₂)の2水準を取り上げる。また、文字刺激の形状(D)

⁹ この実験では眼球運動を行わずに、その注視位置で視覚刺激を認知してもよい。

表 6.2: 実験 6.1 における第 1 回注視時間の分散分析結果

要因	s.s.	d.f.	m.s.	F ₀
A(被験者)	2602.6	8	325.3	87.534**
B(刺激表示位置)	114.2	4	28.5	7.091**
C(刺激表示方向)	108.8	1	108.8	27.032**
D(文字形状)	18.9	2	9.5	2.301
A × B	264.6	32	8.3	2.061**
A × C	153.8	8	19.2	4.778**
B × C	29.3	4	7.3	1.821
B × D	49.8	8	6.2	1.546
C × D	14.1	2	7.1	1.752
誤差	2270.3	546	4.0	
合計	5776.2	633		

* : 5%有意 ; ** : 1%有意

については、第 3 章で抽出した人間の視覚的特徴抽出に関する共通因子をもとに、円形状の文字(D₁ : C, G, O, Q, R, S), 三角形の文字(D₂ : U, V, W, X, Y), および線形状の文字(D₃ : E, F, K, I, J, L, T)の 3 水準を取り上げる。

実験は習熟効果を取り除くために、アイマーク・レコーダを装着せずに十分に練習を行った後、被験者をブロック因子として、他の因子に関して、くり返し 3 回ランダムな順序で実施した。

(2) 実験結果

(a) 第 1 回注視における処理特性

眼球運動認知実験(実験 6.1)において、第 1 回注視位置で眼球運動を起こさずに、文字を認知した割合¹⁰を表 6.1 に示す。この表からわかるように、被験者による若干の傾向の違いはみられるが、注視点からの角度が大きくなるほど、眼球運動を起として認知する頻度が急激に高くなっていく。注視点から 10.5° 以上周辺の位置の表示情報

¹⁰ この実験において、表示文字とは逆方向の眼球運動をする場合、および 2 回以上の眼球運動を行い認知する場合は若干あり、これらを解析データから除外した。

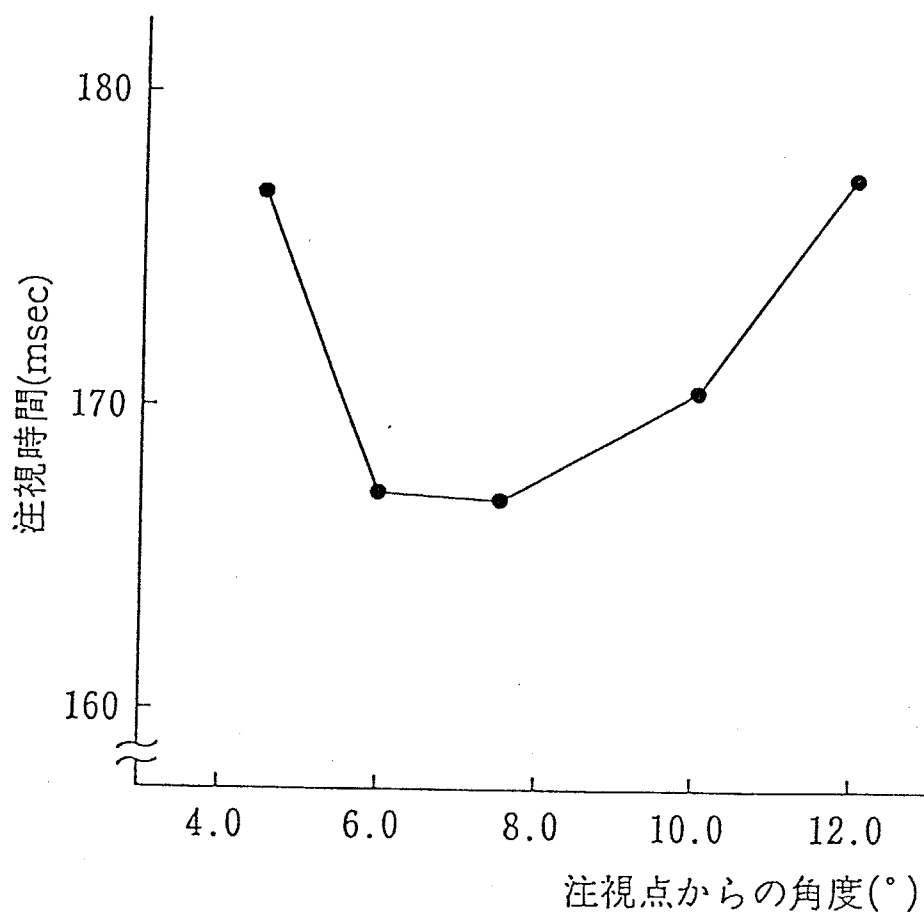


図 6.4: 実験 6.1 における各刺激表示位置での第 1 回注視時間

に対しては、必ず眼球運動を起こして認知することがわかる。この表から、注視点から 1.5° 周辺の表示情報に対しては、眼球運動を 起こさないで認知する場合が多いことがわかる。

本章では 1 回の眼球運動を行い、表示情報を認知する場合をその対象としているので、この水準のデータを除き、視覚刺激の表示位置(B)に対して、 $4.5^\circ \sim 12.0^\circ$ の 5 水準のデータで、第 1 回注視における注視時間を特性値とした分散分析を行った。その結果を表 6.2 に示す。この実験で特に注目している視覚刺激の表示位置(B)に、有意水準 1% で有意差がみられる。この関係を詳しく調べるために、刺激表示位置ごとの第 1 回注視時間を図 6.4 に示す。この図から第 1 回注視時間は注視点からの角度に対して、U 字カーブを描くことがわかる。これは本実験で解析した $4.5 \sim 12.0^\circ$ の範囲では、6.2 節で構築した視覚認知モデルにおいて、注視点からの角度に対して単調減少の眼球運動の判断に必要な処理時間と、単調増加の眼球運動のプログラミングにかかる処理時間との合成による曲線の形状と一致している。

表 6.3: 実験 6.1 における第 2 回注視時間の分散分析結果

要因	s.s.	d.f.	m.s.	F ₀
A(被験者)	24261.8	8	3032.7	245.367**
B(刺激表示位置)	2633.6	4	658.4	53.269**
C(刺激表示方向)	12.3	1	12.3	0.994
D(文字形状)	54.7	2	27.3	2.214
A × B	602.1	32	18.8	1.522*
A × C	301.2	8	37.6	3.046**
B × C	96.1	4	24.0	1.944
B × D	124.5	8	15.6	1.259
誤差	6995.5	566	12.4	
合計	37722.3	633		

* : 5%有意 ; ** : 1%有意

第 1 回注視時間は、被験者(A)に対して有意差がみられるように、個人差は大きい
が、注視点からの角度に対してすべての被験者とも、U 字カーブになるという共通の
パターンがみられる。しかし、被験者間に眼球運動判断困難度と、眼球運動プログラ
ミング困難度の大きさに個人差がみられ、U 字カーブの極小値の位置がずれるために、
被験者と刺激表示位置との交互作用(A × B)に有意差が認められる。

刺激表示方向(C)に対しても、有意水準 1% で有意差がみられる。注視点の右方向の
刺激に対する注視時間は 167msec であり、左方向の刺激に対するものより 9msec 速
い。Rayner[11]の結果と同様に、日本人においても通常、左から右へと文章を読んでい
るため、注視点の右側の刺激に対して、眼球運動の判断とプログラミングの処理が速
いと考えられる。なお、被験者と刺激表示方向との交互作用(A × C)に有意差がみられ
るのは、9 名中 1 名の被験者が左右ほとんど差がなく、また他の 1 名が注視点の右側の
刺激に対しては注視時間が短いためであり、これらの被験者は例外と思われる。

最後に、文字形状(D)については有意差は認められず、英大文字といったように、限
られた範囲の同種の情報に対しては、眼球運動の判断、およびプログラミングの処理
において、文字形状の違いによる影響はないと考えられる。

(b) 第2回注視における処理特性

第1回注視と同様に、第2回注視時間を特性値とした分散分析の結果を、表 6.3に示す。第1回注視と同様に、刺激注視位置(B)に有意差がみられる。その様子を図 6.5に示す。この図からわかるように、刺激表示位置が第1回表示位置から離れるに従い、注視時間が長くなる。この結果は視覚認知モデルの第2回注視での処理に符合し、第2回注視において、第1回注視で生成した視覚情報を利用し、第2回注視における処理を軽減していることを示唆するものである。

被験者(A)に関しては、第1回注視と同様に、処理時間に対して個人差は大きい、すべての被験者とも注視点からの角度が大きくなるに従い、処理時間は増加するという共通のパターンが認められる。ここで、被験者と刺激表示位置との交互作用($A \times B$)に有意差がみられるのは、各被験者の注視点からの角度に対する処理時間の増加の割合が異なるためであり、被験者により第1回注視による視覚情報を利用できる割合¹¹が異なることを示唆している。

刺激表示方向(C)については、眼球運動後の第2回注視位置では、認知対象である視覚刺激を正しく注視していることが期待できる。このような理由のため、眼球運動の判断とプログラミングにおいて、この表示方向の影響がでない、すなわち有意差が認められないのは当然の結果と言える。また、被験者と表示方向の交互作用($A \times C$)に有意差が現れたのは、眼球運動の判断とプログラミングにおける効果ではなく、知覚の範囲(perceptual span)[7]など、他の処理に与える効果であると思われるが、この実験だけでは原因はよくわからない。

文字形状(D)に関しては、第1回注視と同様、有意差は認められず、英大文字のような同種の情報においては、眼球運動の判断、および眼球運動のプログラミングと同様に、認知情報への変換処理に対しても、形状により処理時間は変わらないことがわかる¹²。

¹¹ 視覚情報の利用割合 p_4 とともに、サカディック・サプレッションの時間、ならびに視覚情報の半減期 δ に対して個人差が存在することが考えられる。

¹² この結果は第5章の眼球運動を伴わないときの認知と同様の結果である。

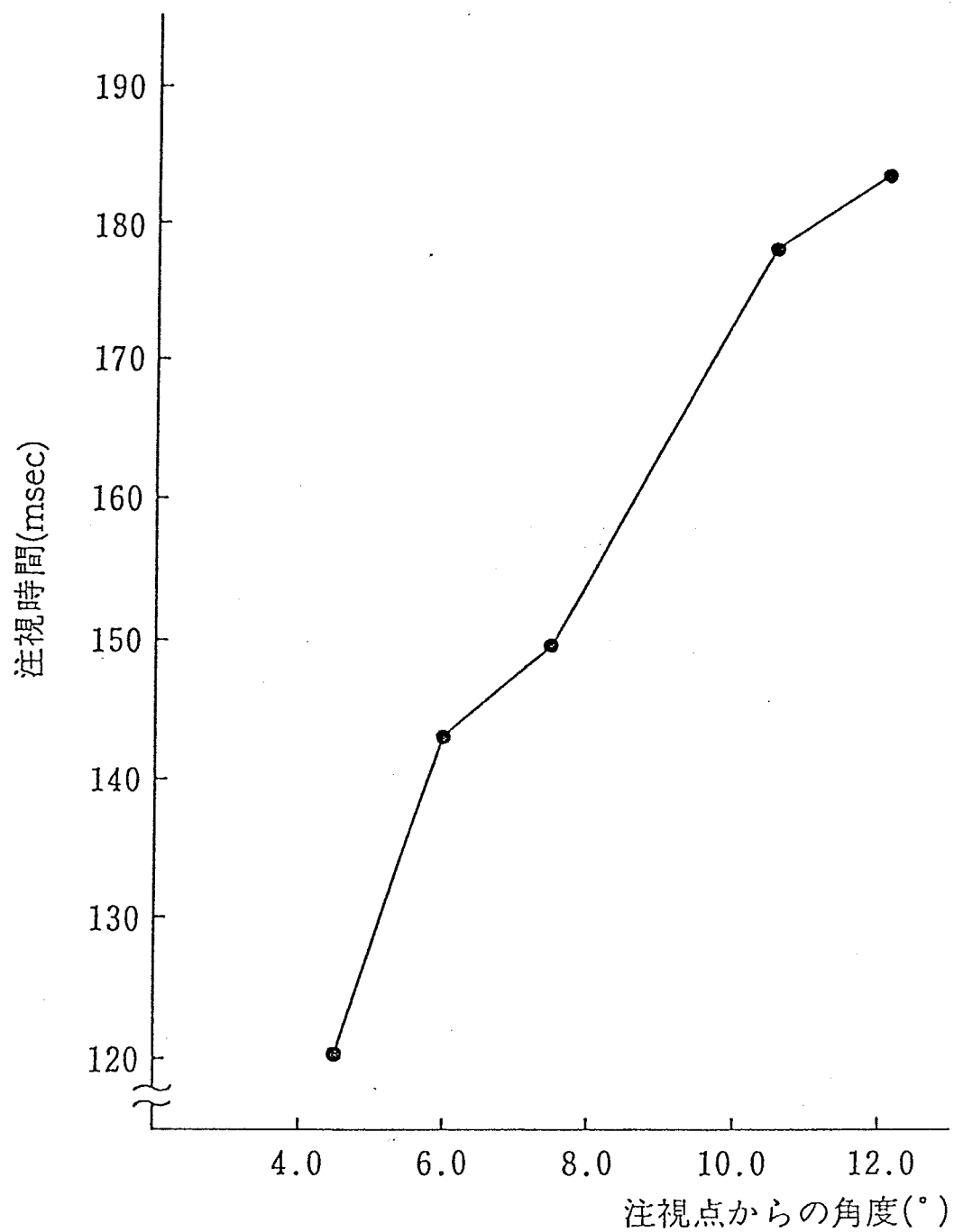


図 6.5: 実験 6.1 における各刺激表示位置での第 2 回注視時間

6.3.2 眼球運動プログラミング実験(実験6.2)

(1) 実験方法

本実験では視覚刺激の提示位置が視野の周辺に移るとともに、処理時間が短くなる効果を眼球運動の判断、逆に長くなる効果を眼球運動のプログラミングによるものと考え、眼球運動認知実験(実験6.1)により、これらの効果を確認した。そこで、これら2つの処理のうち、眼球運動のプログラミングに関して、注視点から刺激提示位置までの角度に対する効果をさらに詳しく調べるために、眼球運動認知実験と同様の実験設備と視覚刺激を用い、眼球運動プログラミング実験(実験6.2)を行う。

本実験では、文字認知過程の第1回注視において、眼球運動の判断とプログラミングの効果を分離するために、文字認知処理から眼球運動の判断を排除する手続きが必要となる。そのため、視覚刺激の注視点からの角度にかかわらず、刺激が提示された後、視覚刺激の表示位置に可能な限り早く眼球運動を行い、文字を認知するように徹底した¹³。他の実験手順に関しては、眼球運動認知実験(実験6.1)とまったく同様に行い、眼球運動認知実験と同一の被験者(A)9名を用いた。

実験因子に関しては、刺激表示位置(B)を3.0°, 4.5°, 6.0°, および9.0°の4水準、刺激表示方向(C)2水準、および眼球運動認知実験と同様の文字形状(D)3水準を取り上げ、くり返し3回のランダムな順序により、実験を実施した。

(2) 実験結果

第1回注視時間を特性値とした分散分析の結果を、表6.4に示す。全体的な傾向としては、眼球運動認知実験(実験6.1))の結果と非常によく似ている。この実験で注目している刺激表示位置(B)に関しては、有意水準1%で有意差がみられる。刺激表示位置ごとの注視時間を図6.6に示す。この実験の第1回注視における処理では、眼球運動の判断を行っていないことを想定しているので、第1回注視時間は注視点からの角度に対して単調増加することを期待していたが、眼球運動認知実験と同様に、U字カーブを示していることがわかる。この理由として、眼球運動の判断とプログラミングは、視覚認知モデルで仮定したように順次行われるのではなく、同時に並行して行われて

¹³ 提示された刺激に対して、どのような位置の場合にも、ただちに眼球運動を行うことを徹底し、十分練習することにより、眼球運動の判断を排除することができると考えた。このようにして、眼球運動の判断を排除することにより、眼球運動のプログラミング時間を抽出することができると考えられる。この点については、§6.5.1で考察する。

表 6.4: 実験 6.2 における第 1 回注視時間の分散分析結果

要因	s.s.	d.f.	m.s.	F ₀
A(被験者)	1737.7	8	217.2	63.458**
B(刺激表示位置)	197.4	3	65.8	19.213**
C(刺激表示方向)	77.2	1	77.2	22.557**
D(文字形状)	1.2	2	0.6	0.173
A × B	193.6	24	8.1	2.357**
A × C	79.8	8	10.0	2.914**
A × D	60.6	16	3.8	1.107
B × C	49.7	3	16.6	4.838**
B × D	25.8	6	4.3	1.258
誤差	1680.6	491	3.4	
合計	4320.7	562		

* : 5%有意 ; ** : 1%有意

おり、片方の処理だけを取り除くことはできないということが考えられる。

他の理由として、眼球運動のプログラミングの処理そのものが、表示情報の注視点からの角度に対して、U字カーブを示す要因を持っているということが考えられるが、いずれの理由によるものかは、今回の実験結果だけでは、正確に判断することはできない。しかし、眼球運動プログラミング実験における他の実験因子の効果についても、眼球運動認知実験と類似の傾向がみられるので、前者の理由による可能性が高いと考える。これに関しては 6.5 節で考察する。

この実験においては、刺激表示位置と表示方向の交互作用(B × C)にも有意差がみられた。この関係を図 6.7 に示す。この図から表示方向の左/右の効果は注視点から周辺に離れるほど、弱くなることがわかる。これについても 6.5 節で考察する。この表示方向の左/右の効果に関して、同様の傾向は眼球運動認知実験(実験 6.1)においてもみられたが、この実験においては有意差を認めるまでには至らなかった。

なお、他の実験因子についても、眼球運動認知実験の第 1 回注視時間とほぼ同様の結果が認められている。

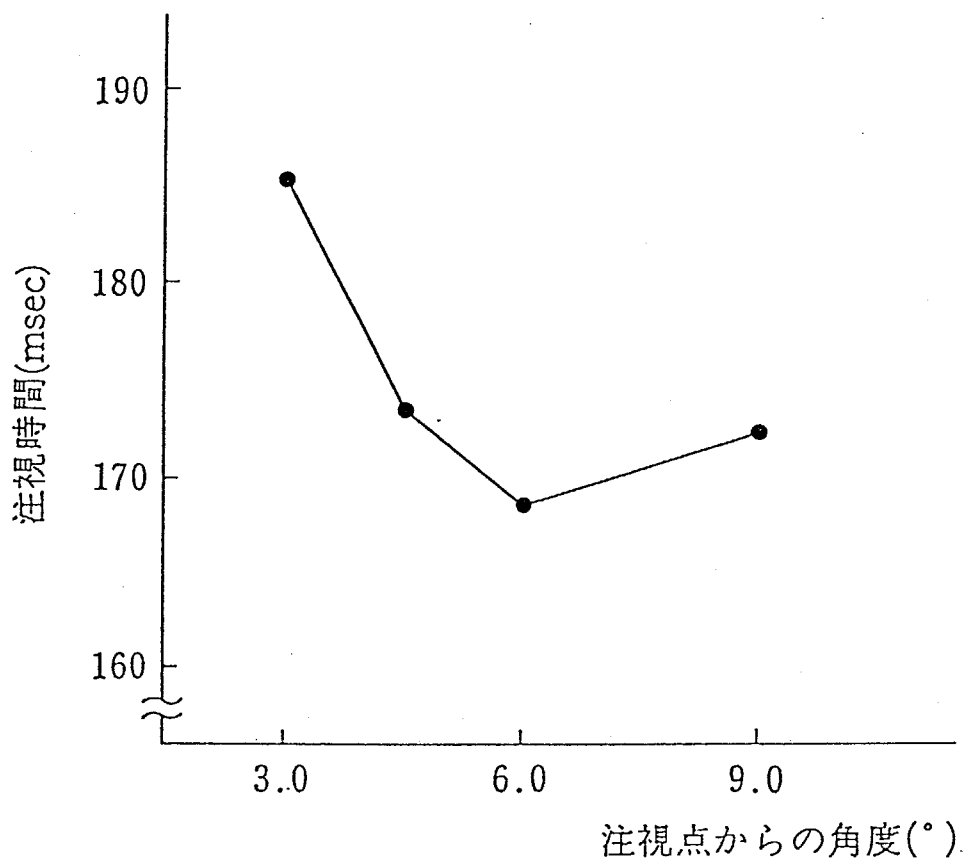


図 6.6: 実験 6.2 における各刺激表示位置での第 1 回注視時間

6.4 視覚認知モデルの検証

眼球運動認知実験(実験 6.1), および眼球運動プログラミング実験(実験 6.2)により得られた認知処理特性は, 概略的には 6.2 節で構築した視覚認知モデルに合致することがわかった. ここではさらに, 眼球運動認知実験で得られたデータを用い, 視覚認知モデルの適合性を重回帰分析により検証する. 眼球運動認知実験の結果から, 眼球運動を含めた認知処理特性に関して, 各被験者とも共通のパターンを示すが, その処理時間に関しては個人差が非常に大きいので, 被験者ごとに解析を進める.

視覚認知モデルにおける認知対象文字の大きさは, 実験で実際に用いた文字より, $\theta_T = 0.75^\circ$, また眼球運動判断の最困難点は, 視力が中心視より約 50% 低下[4]する位置として, 図 6.3 から, $\theta_D = 2.0^\circ$ とする. 眼球運動の平均角速度については, Rayner[10]より 2.0° のサックードに対して 27.5msec , 5.0° に対して 37.5msec という数値より計算して, $\alpha = 0.0202$, $\beta = 0.00323(^\circ/\text{msec})$ の値を用いる. また, 注視点からの角度 θ での視力は, 図 6.3 から, 眼球運動認知実験で取り上げた 1.5° , 4.5° , 6.0° , 7.5° , 10.5° , お

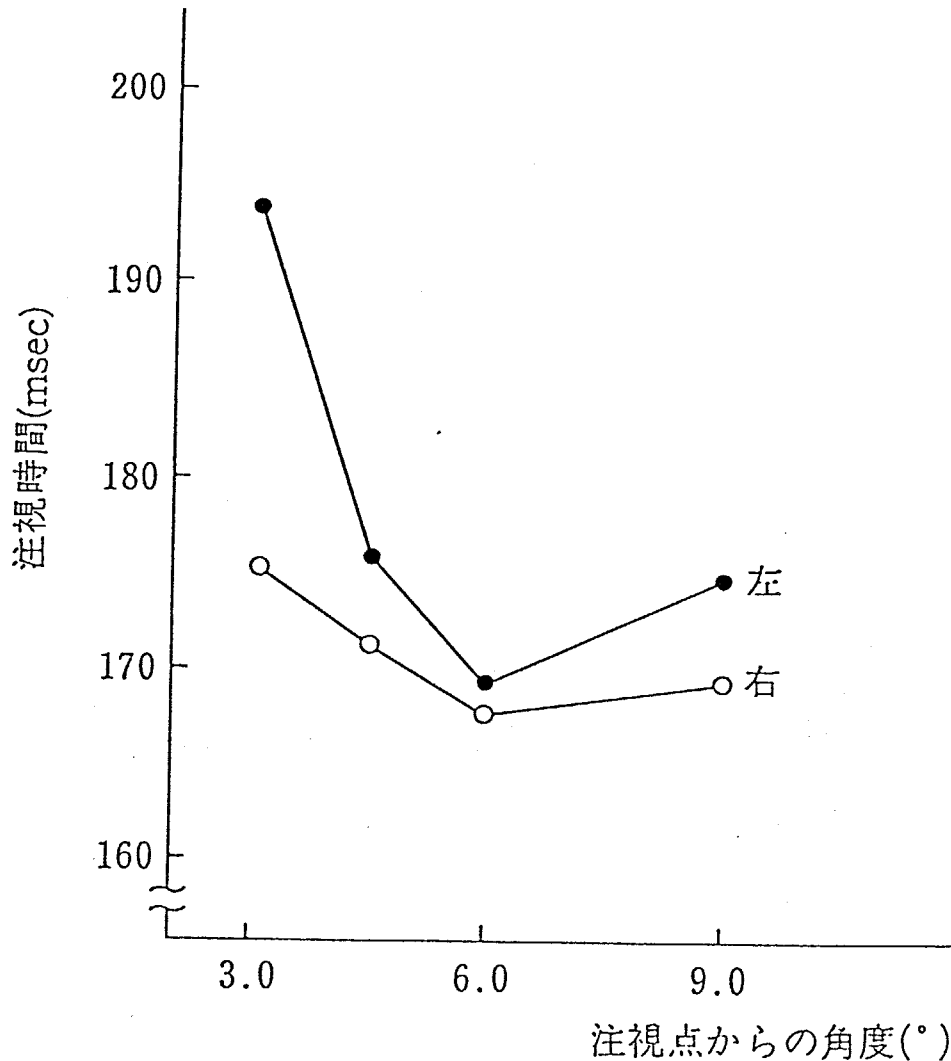


図 6.7: 実験 6.2 における刺激表示方向と第 1 回注視時間との関係

よび 12.0° に対して, それぞれ 0.63, 0.40, 0.33, 0.27, 0.19, および 0.16 の各値を読み取った. 視覚情報の半減期については, 本実験では刺激として英大文字 1 文字を用いており, 情報の把持に関する条件はよいと考えられるので, Card, et al. [2] より, 最も長い時間値として, $\delta = 1000\text{msec}$ を使用する.

眼球運動認知実験において, 眼球運動を起として認知したときのデータを用いて計算した, 注視点からの角度 θ における眼球運動判断困難度, 眼球運動プログラミング困難度, および刺激表示方向を説明変数とし, 第 1 回注視時間を目的変数とする重回帰分析を行った. その結果を表 6.5 に示す.

眼球運動の判断に対しては, 被験者全員が有意な効果を示している. また眼球運動のプログラミングに対しては, 約半数の被験者について, 有意な効果が認められる. 有

表 6.5: 視覚認知モデルの重回帰分析結果(第1回注視)

被験者	サンプル数	重相関係数	F値	t値		
				判断	プログラム	表示方向
A ₁	78	0.690	22.461**	6.313**	3.963**	-5.479**
A ₂	72	0.645	16.161**	5.143**	4.191**	-4.498**
A ₃	63	0.720	21.181**	6.242**	0.565	1.356
		0.718	31.974**	7.936**	—	1.428
A ₄	77	0.561	11.173**	3.388**	3.296**	-4.700**
A ₅	89	0.377	4.694**	1.545	0.464	-3.269**
		0.374	6.997**	1.943†	—	-3.257**
A ₆	70	0.491	7.004**	3.550**	0.980	-0.106
A ₇	79	0.623	15.859**	5.367**	1.614	0.642
		0.620	23.766**	5.374**	1.559	—
A ₈	90	0.477	8.424**	4.373**	3.627**	-2.122*
A ₉	93	0.687	26.444**	5.658**	0.529	-1.070
		0.685	39.845**	8.856**	—	-1.078

—: 解析から除外した変数; †: 10%有意, *: 5%有意, **: 1%有意

意な効果を示さない他の被験者についても値は小さいが, t 値はすべて正の値を示しており, これらの効果を認めてよいと考えるが, 眼球運動のプログラミングに関しては, よりあてはまりのよいモデルの存在も示唆される. 刺激表示方向の効果に対しては, 被験者のほとんどが負の有意な効果, すなわち右方向の刺激に対して処理が速いことが示されている.

最後に, 回帰式全体に対するあてはまりの程度を示す F 値は, 全被験者とも高度に有意な値を示していた. 以上により, 本章で構築した視覚認知モデルの第1回注視における処理モデルは, おおむねあてはまっていると考えられる.

第1回注視と同様に第2回注視についても, 第2回注視時間を目的変数として, § 6.2.3の式(6.9)を回帰分析した結果を表 6.6に示す. この表から明らかなように, 全被験者について, 説明変数である第2回注視において利用できる第1回注視の

表 6.6: 視覚認知モデルの回帰分析結果(第2回注視)

被験者	サンプル数	相関係数	F値	t値(第1回注視の情報量)
A ₁	78	0.492	24.296**	-4.929**
A ₂	72	0.617	43.090**	-6.564**
A ₃	63	0.774	91.150**	-9.547**
A ₄	77	0.657	56.855**	-7.540**
A ₅	89	0.563	40.391**	-6.355**
A ₆	70	0.609	40.153**	-6.337**
A ₇	79	0.604	44.294**	-6.652**
A ₈	90	0.714	91.493**	-9.565**
A ₉	93	0.760	124.818**	-11.172**

†: 10%有意, *: 5%有意, **: 1%有意

視覚情報に高度に有意な効果が認められる。また、この変数の t 値は、すべての被験者に対して負の値を示し、第2回注視において利用できる第1回注視による情報量が多いほど、第2回注視における処理を軽減できることを示している。回帰式の F 値についても、すべての被験者に対して高度に有意な値を示しており、第2回注視における処理モデルもよくあてはまっていることがわかる。

以上の結果より、6.2節で構築した視覚認知モデルはおおむね妥当であると考えることができる。

6.5 考察

6.5.1 眼球運動の判断とプログラミング

本章では、眼球運動を自由に行い文字を認知する場合(眼球運動認知実験)と、視覚認知過程から眼球運動の判断の処理を排除することを意図し、強制的に眼球運動を行わせ、文字を認知する場合(眼球運動プログラミング実験)とで、その結果はほとんど同じパターンを示した。ここでは、眼球運動の判断とプログラミングに関して考察する。

眼球運動認知実験(実験 6.1)での第1回注視時間は、認知対象の注視点からの角

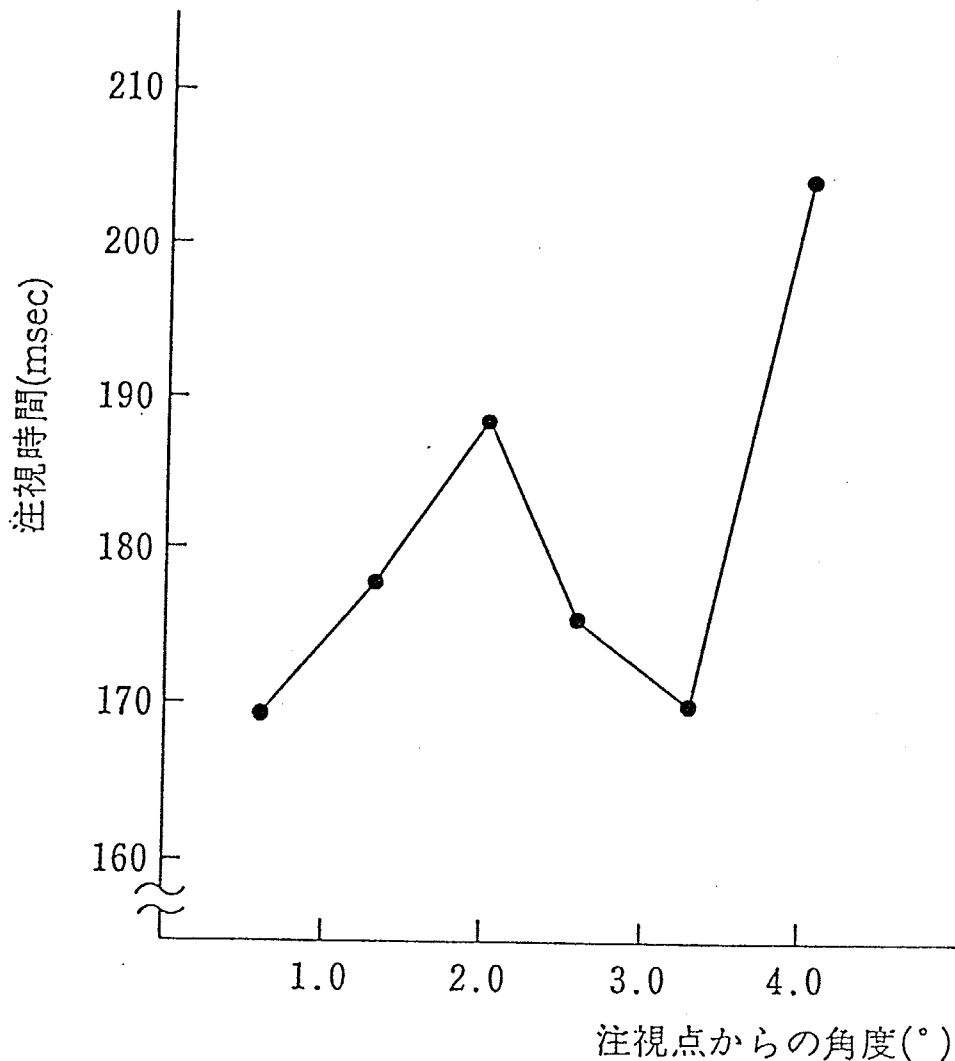


図 6.8: Rayner, et al. [12]における各刺激位置での“saccadic latency”

度 $4.5^\circ, 6.0^\circ$ で、それぞれ $177\text{msec}, 167\text{msec}$ であった。一方、眼球運動プログラミング実験(実験 6.2)での注視点からの角度 $4.5^\circ, 6.0^\circ$ での第 1 回注視時間は、それぞれ $174\text{msec}, 168\text{msec}$ であり、眼球運動認知実験とほとんど変わらない値を示している。

眼球運動プログラミング実験で、眼球運動の判断が意図したとおり排除され、眼球運動のプログラミングの処理そのものが、注視点からの角度に対して、U 字カーブを示す要因を持っていると仮定すると、眼球運動プログラミング実験における第 1 回注視時間は、眼球運動認知実験のものより短いはずである。しかし、これら 2 つの実験での第 1 回注視時間には、ほとんど差がみられないことから、この仮定は棄却され、眼球運動の判断とプログラミングは順次処理されるものではなく、同時に並行して処理されていると考えることができる。

6.5.2 表示方向の効果

視覚認知過程において、左側より右側に提示した情報の方が処理が速く、その効果は注視点からの表示位置までの角度が小さいほど、大きいことがわかった。この理由は次のように考察することができる。本章で被験者として用いた日本人は、通常文章を左から右へと読んでいる。すなわち、右方向への眼球運動の頻度は左方向に比べて多い。日本語文章読解の研究[3]において、日本語文章は文節単位に眼球運動を行い、読解しており、その眼球運動の大きさは平均約 2.88° である。この結果から、文章読解において通常は、角度の小さい右方向への眼球運動を行っていることがわかる。眼球運動の判断とプログラミングに関する習熟度は、眼球運動の頻度に関係すると仮定すると、表示方向の左/右側の効果の差は、眼球運動角度が大きくなるほど、小さくなると考えることができる。そのため、表示方向に対して習熟度の大きく異なる注視点に近い情報に対して、注視時間の差が大きいと考察することができる。

6.5.3 視覚認知モデルの適合性

本章で構築した視覚認知モデルにおいては、眼球運動判断の最も困難な点として、視力が中心視の約 $1/2$ に対応する網膜上の点である、注視点からの角度 2.0° を用いた。Rayner, et al. [12]では、本章の眼球運動プログラミング実験と類似の手続きで、注視点からの角度を要因に取り、眼球運動を行ったときの“saccadic latency”（サッケードを起こすまでの潜時）¹⁴を測定している。その結果は図 6.8に示すように、本章における実験結果と同様のパターンを示すことがわかる。図 6.8において、注視点からの角度 2.0° 付近で極大値となり、すなわち眼球運動判断の最も困難な点であることを示すものであり、視覚認知モデルで用いた仮定は妥当であると考えられる。

視覚認知モデルでの第1回注視による視覚情報の半減期 δ に対して、本章では英大文字1文字の情報ということで、全被験者に対して 1000msec という大きい値を用いた。これに関しても、個人差は十分に考えられ、被験者ごとに半減期の値を適切に選ぶと、モデルのあてはまりはさらによくなると思われる。

最後に、6.4節でも述べたとおり、本章で構築した視覚認知モデルは、おおむね良好なあてはまりを示しているが、眼球運動のプログラミングに関しては、その効果が有意にはならない被験者が何名かいた。このモデルにおいて眼球運動のプログラミング

¹⁴本章における第1回注視時間と同様の内容である。

は、眼球運動中の全時間に渡る速度、方向等をプログラミングし、その困難度は視覚情報の鮮明さに関係すると仮定し、その処理時間は眼球運動時間と視力の逆数との積によるとした。しかし、実際にプログラミングしている内容はここで仮定しているものとは別の可能性があり、これに関しては、今後さらに検討する必要があると考える。

6.6 結語

本章は、第5章で明らかにした眼球運動を伴わない認知過程を、眼球運動を伴う場合に拡張し、その処理特性、およびメカニズムの解明を目的とした。本章では、第5章と同様に、表示情報の提示位置を要因として取り上げたが、認知に際して眼球運動を許すので、その提示範囲は周辺視にまで広げ、英大文字を視覚刺激とする2つの実験を行った。その結果、本章では以下に示す結論が得られた。

1. 眼球運動を伴う認知に関して、表示情報の提示位置に対する眼球運動の判断、および眼球運動のプログラミングの処理特性を明らかにした。眼球運動の判断については、第5章の“眼球運動を行わない”という判断のときと、ほぼ同一の傾向を示すことがわかった。また、眼球運動のプログラミングについては、その処理時間が眼球運動の移動時間に関係することが認められた。これらの眼球運動の判断とプログラミングは、順次行われるのではなく、同時に並行して行われていることもあわせて示唆された。
2. 日本語、または英語文章のように、左から右へ文章を読み進んでいくことに慣れている人間にとっては、眼球運動の判断とプログラミングにおいて、注視点の左側の情報と比べ、右側のものに対して処理が速いという特性が確認できた。
3. 眼球運動後の注視において、眼球運動前の注視で取り込んだ視覚情報を利用できることが確認できた。
4. 上記1～3で述べた認知処理特性を一般化するために、眼球運動前と眼球運動後の両方の注視において行われる処理をモデル化した“視覚認知モデル”を構築し、実験データによりその妥当性を確認した。このモデルは、これまでの各章で得られた知見と、従来の心理学、生理学の成果を総合して、構築したものである。

VDT作業をはじめとする、マン-マシン・システムを使用する実際の作業は、本章で対象とした認知処理の後に、その作業に固有な意味処理、知的処理を行うと考えると

とができる。実際の作業設計、および機器設計において、この意味処理、知的処理の時間を何らかの方法で見積ることができれば、本章で構築した視覚認知モデルと組み合わせることにより、実際の作業モデル、操作モデルを簡単に作成することができ、設計の評価等に役立つと考える。これに関しては、次の第7章で詳しく論じる。

本章では英大文字を対象として視覚認知モデルを検証したが、本モデルの対象はここで扱ったような文字情報だけでなく、図形情報にも応用が可能と考える。たとえば、CADにおける図形情報の表示方法などの設計に対しても、視覚認知モデルは有効な方法となりうる可能性があると考えられる。

参考文献

- [1] Avervach,E. and Coriell,A.S. : Short-Term Memory in Vision, *Bell System Technical Journal*, 40, 309 ~ 328, 1961.
- [2] Card,S.k., Moran,T.P. and Newell,A. : *The Psychology of Human-Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1983.
1987.
- [3] 蒲谷 孝 : 眼球運動による日本語文章の理解構造の解析に関する研究, 昭和 59 年度東京工業大学卒業研究, 1984.
- [4] 神作 博 : 感覚知覚ハンドブック(第 5 章視覚), 和田陽平, 大山 正, 今井省吾 編, 250 ~ 267, 誠信書房, 1969.
- [5] Lindsay,P.H. and Norman,D.A. : *Human Information Processing (2nd ed.)*, 56 ~ 82, Academic Press, New York, 1977.
- [6] Matin,E. : Saccadic Suppression : A Review and an Analysis, *Psychological Bulletin*, 81(12), 899 ~ 912, 1974.
- [7] McConkie,G.W. : Eye Movements and Perception during Reading, In Rayner,K. (ed), *Eye Movements in Reading*, 65 ~ 96, Academic Press, New York, 1983.
- [8] Östberg,O. : Accommodation and Visual Fatigue in Display Work, In Grandjean,E. and Vigliani,E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 41 ~ 52, Taylor & Francis, London, 1980.
- [9] Pirenne,M.H. : *Vision and the Eye (2nd ed.)*, Associated Book Publishers, London, 1967.

- [10] Rayner, K. : Eye Movements in Reading and Information Processing, *Psychological Bulletin*, 85(3), 618 ~ 660, 1978.
- [11] Rayner, K. : Eye Movements Latencies for Parafoveally Presented Words, *Bulletin of the Psychonomics Society*, 11, 13 ~ 16, 1978.
- [12] Rayner, K., Slowiaczek, M.L., Clifton, C. and Bertera, J.H. : Latency of Sequential Eye Movements : Implications for Reading, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 9(6), 912 ~ 922, 1983.
- [13] Sperling, G. : The Information Available in Brief Visual Presentations, *Psychological Monographs*, 74, (11, Whole No. 498), 1960.
- [14] Stammerjohn, L.W., Smith, M.J. and Cohen, B.G.F. : Evaluation of Work Station Design Factors in VDT Operations, *Human Factors*, 23(4), 401 ~ 412, 1981.
- [15] Viviani, P. and Swensson, R.G. : Saccadic Eye Movements to Peripherally Discriminated Visual Targets, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 8(1), 113 ~ 126, 1982.

第7章 視覚認知モデルのメニュー検索 システムへの応用¹

7.1 序

VDTを視覚インタフェースとして備えた情報処理システムは、コンピュータ・プログラマ、CAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)システムの技術者などの専門家の使用だけでなく、設計者、管理者など、幅広い層のユーザにまで普及してきている。近年特に、情報ネットワークの進歩にともない、ビデオテキスト(videotex)[9,19]と呼ばれる情報検索システムが発達し、産業界だけでなく、一般ユーザにまで利用されるようになってきた。

このように、コンピュータに不慣れな一般ユーザが使用する情報処理システムに対しては、その処理時間、処理の正確さなどの作業パフォーマンスは、VDT上に提示される表示情報だけでなく、コンピュータとの会話方式、入力方法など、数多くの要因が関係している。このような情報処理システムに対するヒューマン-コンピュータインタフェースに関しては、特に人間の視覚情報処理特性に適合するような設計、評価が必要がある。

しかし、第1章でも述べたように、人間の視覚情報処理に関して、ヒューマン-コンピュータインタフェースの設計に応用が可能な研究は数多くは見当らない。本論文では、第2章で人間の認知過程をサブプロセスに分割、定義し、第3章から第6章で、これらのサブプロセスにおける人間特性、および処理メカニズムを明らかにしてきた。第6章ではさらに、これらの各章で得られた知見を、ヒューマン-コンピュータインタフェースの設計に適用が可能な形式にまとめるために、認知過程を構成するこれら

¹本章の内容の一部は、伊藤謙治：“視覚認知モデルのメニュー検索システム設計への応用方法”として、日本人間工学会誌，Vol.24, No.5, pp.319～330, 1988に掲載されたものである。

のサブプロセスに対して、その処理メカニズムを個々にモデル化した“視覚認知モデル”を提案した。

本章は人間の視覚情報処理特性に適合したヒューマン-コンピュータ-インタフェースの設計を可能とするために、第6章で構築した視覚認知モデルのヒューマン-コンピュータ-インタフェース設計への応用方法を示すことを目的とする。本章では、ヒューマン-コンピュータ-インタフェースの例として、近年特に普及してきた情報検索システムの一つであるメニュー検索システム(menu retrieval system)を取り上げる。ここでは、メニュー検索システムの設計項目のうち、画面フォーマットとメニュー階層構造の設計の2つの応用例に対して、視覚認知モデルを適用する。さらに、これらの応用例に関して、同様の作業による実験を行い、これらの結果を比較、考察することにより、本章で提案するヒューマン-コンピュータ-インタフェース設計への応用方法の有用性を検証する。

7.2 視覚認知モデルのメニュー検索への応用

7.2.1 視覚認知モデルの応用

第6章で提案した視覚認知モデルは、認知過程を構成する各処理の困難さを、表示情報の提示位置²の関数として定式化し、これらに係数を掛け合わせることで、注視中の各処理時間を推定することができる。

視覚認知モデルをヒューマン-コンピュータ-インタフェースの設計、評価に利用するためには、モデル中の各処理の係数を、それを使用する平均的人間の処理に合うように、決定する必要がある。本章では、第6章で視覚認知モデルの検証のために行った眼球運動認知実験(実験6.1)のデータから、各実験因子に対する被験者の平均値を求め、そのデータを重回帰分析することにより、視覚認知モデルの各処理の係数を決定する。

重回帰分析の結果、モデル中の各処理とも、表7.1の“*t*値”欄に示すとおり、有意な効果を示すとともに、回帰式全体の寄与率も高く³、このモデルが平均的被験者の処理時間の推定に関して、十分利用が可能であると考えられる。表7.1の“係数”欄に示すように、この解析で得られた偏回帰係数を認知過程中の各処理の係数として用いる。

²すなわち、現在の注視点から対象となる表示情報までの角度。

³眼球運動前の注視： $R = 0.81$, $F_0 = 18.90(p < 0.01)$; 眼球運動後の注視： $R = 0.89$, $F_0 = 127.86(p < 0.01)$ 。

表 7.1: 視覚認知モデルとその係数

処理	処理時間	係数(msec)	t値
• 眼球運動前の注視			
1. 眼球運動の判断	$f_1(\theta) = p_1 / (\frac{1}{\theta_T} \theta - \theta_D + 1)$	79.08	6.246**
2. 眼球運動のプログラミング	$f_2(\theta) = p_2 T(\theta) \frac{1}{a(\theta)}$	0.08	2.928**
3. 表示方向の効果	$f_3(d) = p_3 \psi(d)$	-7.22	-2.663*
4. 表示情報の取込み 視覚情報の生成	$C_1(const.)$	150.14	
• 眼球運動	$T(\theta) = \frac{\theta}{v(\theta)}$ $= \frac{\theta}{0.0202\theta + 0.0323}$	1.00	
• 眼球運動後の注視			
5. 処理の軽減	$f_4(\theta) = p_4 D_1 a(\theta)$ $\times \exp(-\frac{\log 2}{\delta} T(\theta))$	-8.45	-11.300**
6. 表示情報の取込み 視覚情報の生成 認知情報への変換	$C_2(const.)$	192.80	

θ : 注視点から表示情報までの角度

$a(\theta)$: 注視点から θ 離れた位置での視力

θ_T : 認知対象文字の視角

$\psi(d)$: 左側の表示 $\psi(0) = 0$; 右側 $\psi(1) = 1$

θ_D : 眼球運動判断の最困難点

D_1 : 第1回注視時間

$v(\theta)$: 平均眼球運動速度

δ : 視覚情報の半減期

* 5%有意 ** 1%有意

ターゲット：東京工業大学

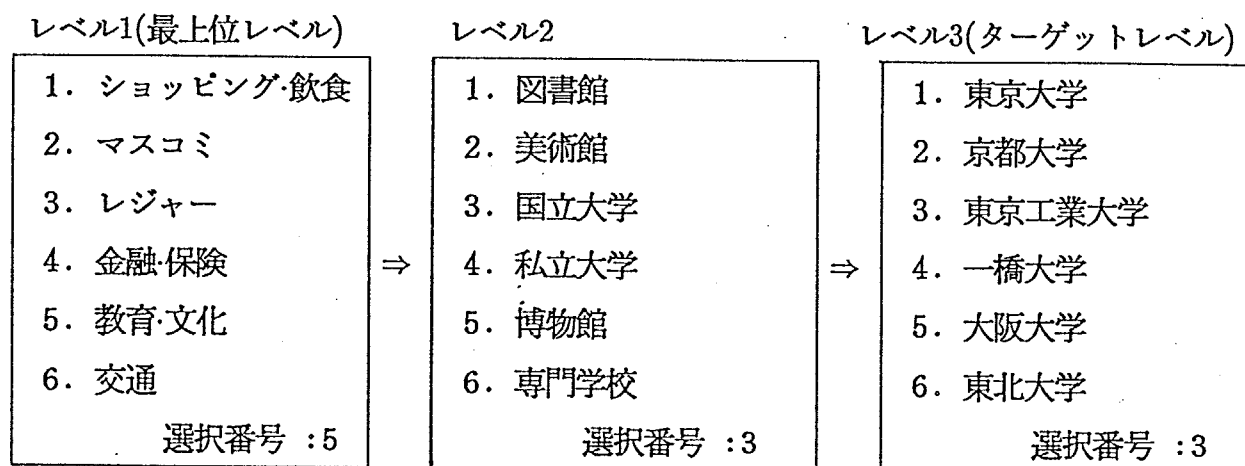


図 7.1: メニュー検索システムの例

7.2.2 メニュー検索システム

情報検索システムにおける人間とシステムの会話方式としては、いくつかの方法が提案されている[2]。このシステムはコンピュータの操作に不慣れなユーザが使用するという理由から、メニュー検索方式[11,17]が多く利用されている。このメニュー検索方式は情報検索システムだけでなく、たとえば航空機のコックピット内の情報表示[14]や、FMS(Flexible Manufacturing System)の監視システム[15]といったように、数多くの機器やシステムに応用されており、マン・マシン・インタフェースにおける標準的な会話方式として、幅広い分野で適用されている。

メニュー検索システムは、図 7.1に示すように、検索すべきターゲットに対して、メニュー画面が階層的に構成され、最上位レベルのメニューから始まり、各レベルであらかじめ用意されているメニューから、順次適切なアイテムを選択し、ターゲットとなる情報を検索するシステムである。図 7.1は3階層を持つ“電話番号検索”システムの例である。この例では、“東京工業大学”の電話番号を検索するために、各レベルでそれぞれ適切なアイテムを番号で選択し、ターゲットに到達している。

メニュー検索システムの設計項目に対して、Schneiderman[16]は、(1) メニューの意味的階層化、(2) メニューの階層数の決定、(3) 画面フォーマット、およびレイアウトの決定、(4) タイトルとアイテムのネーミングなどを挙げている。これらの設計項目のう

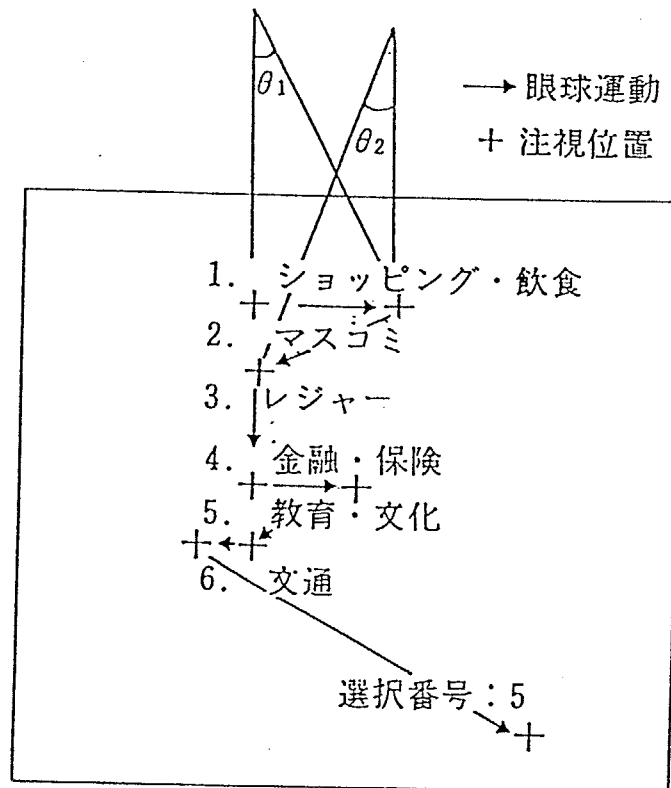


図 7.2: メニュー検索における視覚情報処理

ち, 従来の研究のほとんどが, (2)のメニューの階層数に関するものである[6,7,8,11,17]. これに対して, 本章で提案する方法は, (2)と(3)に対して適用が可能である. これらについては, 7.3節, および 7.4節で個々に論じる.

7.2.3 メニュー検索モデル

本章で提案する視覚認知モデルのヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用方法の概要は, 次のとおりである. (1) 設計しようとするコンピュータ・システムに関して, 候補となるいくつかの代替案を列挙する. (2) これらの代替案によるシステムを使用したときの人間の行う作業を, 視覚認知モデルを用いてモデル化⁴する. (3) これらのモデルをシミュレーションなどを行うことにより, 作業時間を推定する. (4) 各モデルの結果を比較, 検討することにより, 妥当な代替案を選択し, さらに改善項目をするというものである.

本節ではメニュー検索システムを例にとり, そのシステムの操作に対する人間の作

⁴すなわち, そのシステムを操作するときの人間の処理をモデル化した, 作業モデルを作成する.

表 7.2: アイテムに対する注視回数の割合

文字数 \ 注視回数	1	2	3	4	5
1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.931	0.013	0.056	0.0	0.0
3	0.946	0.054	0.0	0.0	0.0
4	0.898	0.080	0.016	0.003	0.003
5	0.889	0.111	0.0	0.0	0.0
6	0.781	0.153	0.033	0.026	0.007
7	0.782	0.200	0.018	0.0	0.0
8	0.634	0.290	0.072	0.004	0.0

業モデルであるメニュー検索モデルの作成方法について論じる。

メニュー検索中の各レベルのアイテムの選択に対して行う人間の処理について、眼球運動を中心に示したものが図 7.2 である。ここでは、第一番目のアイテムから順次探索し、選択すべき適切なアイテム(ターゲット・アイテム)に到達したとき、入力する番号を調べるために、その番号の表示位置に眼球を移動させる。そして、アイテム番号を入力するために所定の位置⁵に眼球運動し、キー入力後、そのレベルでの処理は終了する。

第一番目のアイテムからターゲット・アイテムを決定するまでの各アイテムの探索過程を探索戦略(search strategy)というが、MacGregor, et al. [10]によると、この探索戦略は次の3つのタイプに分類できる。すなわち、1画面内のすべてのアイテムを探索した後、適切なアイテムを決定する“全数探索型(exhaustive)”[1]、図 7.2 の例のように、適切と思われるアイテムを探索した時点で、後のアイテムは探索しないで決定する“目標終結型(self-terminating)”[12]、および全数探索の後、さらにいくつかのアイテムを探索して、ターゲット・アイテムを決定する“冗長型(redundant)”[10]の3種類に分類されている。しかし、アイマーク・レコーダを用いて、メニュー検索作業中の眼球運動を測定した実験[5]から、実際には全数探索型と目標終結型の中間の戦略を採っていることがわかった。すなわち、現在探索中のアイテムが適切であるかどうかを、

⁵図 7.2 の例においては、“選択番号：”と表示されている位置。

表 7.3: 単一アイテム検索における処理と時間

◀ 第1回注視 ▶		◀ 第2回注視 ▶	
処理	処理時間	処理	処理時間
表示情報の取込み } 視覚情報の生成 } 認知情報への変換 }	C_1	表示情報の取込み } 視覚情報の生成 } 認知情報への変換 }	C_2
眼球運動の判断	$f_1(\theta_1)$	第1回注視による処理の軽減	$f_4(\theta_1)$
眼球運動のプログラミング	$f_2(\theta_1)$	単語としての認知	τ_C
表示情報の方向の効果	$f_3(d)$	カテゴリー分類	τ_C
合計	$\hat{D}_1$	表示情報照合	τ_C
$\hat{D}_1 = C_1 + f_1(\theta_1) + f_2(\theta_1) + f_3(d)$		応答決定	τ_C
$\hat{D}_2 = C_2 + f_4(\theta_1) + 4\tau_C + f_1(\theta_2) + f_2(\theta_2)$		眼球運動の判断	$f_1(\theta_2)$
1アイテム当りの処理時間 = $\hat{D}_1 + \hat{D}_2$		眼球運動のプログラミング	$f_2(\theta_2)$
		合計	$\hat{D}_2$

それ以前のアイテムと順次、比較判断しながら進み、全数探索しなくても、ターゲット・アイテムを決定できる時点で探索を終了する。また、一回の探索では決定しにくいアイテムが複数ある場合には、前に戻って必要なアイテムを探索するという戦略を採っていることがわかった。

この探索戦略を“比較判断型(pairwise-judging)”と称し、この戦略における効率を表わす指標を、探索効率(search efficiency)として、実際にターゲット・アイテムに到達するまでに探索したアイテム数と、最も効率のよい戦略である目標終結型で探索したときのアイテム数との比率で定義する。本章で使用するメニュー検索システムを用いた予備実験の結果から、この探索効率はターゲット・レベルでは1.0、その他のレベルでは平均約0.85であることがわかった。

1つのアイテムの検索に対して必要な処理は、各注視位置での認知処理、眼球運動、および意味処理で構成される。各アイテムに対する注視回数は、アイテムを形成する文字数に依存し、これらの関係は、予備実験により表 7.2に示す比率が得られている。

各アイテムの検索に必要な処理のうち、認知処理時間と眼球運動時間については、第

6章の6.2節で述べた視覚認知モデルを利用して、推定が可能である。また、意味処理時間に関してここでは、Card, et al. [3]の“Model Human Processor”⁶の考え方を応用する。その概要を以下に簡単に示す。

各アイテムの意味処理は、表示情報であるアイテムの“単語としての認知(recognize)”，検索すべきターゲットの“カテゴリー分類(classify)”，“アイテムとターゲットの属するカテゴリーとの照合(match)”，および“応答決定(initiate response)”の4つのサブプロセスで、1つの意味処理サイクルを構成する。各サブプロセスの処理時間(認知サイクル時間)はすべて等しく、 τ_c と仮定すると、1アイテム当りの意味処理時間は $4\tau_c$ で計算できる。ただし、ターゲット・レベルでの意味処理に関しては、選択すべきアイテムはターゲットそのものであるため、“カテゴリー分類”は不要であり、このときの意味処理時間は $3\tau_c$ で推定できる。

認知サイクル時間 τ_c の大きさに関しては、Cavanagh[4]によると、単語としてのアイテムを照合する処理に対しては、 τ_c は36 ~ 52msecである。本章ではアイテムとして、1つあるいは2つの単語の組合せを使用しているため、この範囲内で最も長い、 $\tau_c = 52\text{msec}$ を採用する。

以上述べたような1アイテムの検索に必要な処理の例として、図7.2のアイテム“1”に対する処理のように、2回の注視でそのアイテムの検索を終了し、次のアイテムに移るような場合について、そこで行う処理と、それに必要な時間をまとめると、表7.3に示すようになる。

図7.2のアイテム“3”のように、そのアイテムの処理に関して、その表示位置で注視しなくても、前のアイテムの位置で検索が可能な場合がある。このときは、前のアイテムの注視位置で意味処理を行っていると考えられる。このように、注視点から角度 θ だけ離れている情報に対して、眼球運動を行わずに認知できる比率は、第6章の眼球運動認知実験(実験6.1)のデータ⁷から、

$$p(\theta) = 1.967^{-\theta}$$

でよく近似できる。ここで構築するメニュー検索モデルでは、この関数を利用する。

モデルで使用するその他の数値については、第6章の視覚認知モデルで使った係数⁸と同様の値を用いる。

⁶“Model Human Processor”については、A2でさらに詳しく説明する。

⁷第6章の表6.1を参照。

⁸たとえば、眼球運動判断の最困難点 θ_D 、眼球運動角速度の係数 α, β 、視覚情報の半減期 δ など。

表 7.4: 応用1に使用する画面フォーマット

メニュー番号 \ レベル	アイテム数／画面	段数	行間隔	
1	1	13	2	0
	2	18	2	0
2	1	13	2	1
	2	18	2	1
3	1	13	3	1
	2	18	3	1
4	1	13	3	2
	2	18	3	2

7.3 画面フォーマットの設計(応用1)

7.3.1 方法

本章で提案する視覚認知モデルのヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用方法を、メニュー検索における画面フォーマットの設計に適用(応用1)し、その結果からここで提案する方法の評価を行う。

そのための評価方法としては、§ 7.2.3で構築したメニュー検索モデルについて、数種類の画面フォーマットを設定し、個々の画面フォーマットのデータを用いて、シミュレーションを実行し、ここで設定したシステムを使用したときのメニュー検索時間を推定する。また、このシミュレーションと同様のメニュー検索を行う実験を実施し、その結果とシミュレーション結果とを比較、考察する。

(1) シミュレーション方法

本節の応用例で行うメニュー検索は、図 7.1 に示したような電話番号検索を対象とする。ここで使用するメニューはすべて2階層で、表 7.4に示すような段数と行間隔が異なる4種類の画面フォーマットを選択した。ここで、段数というのは1画面内の各行に表示されているアイテム数であり、また行間隔とは隣接するアイテム間のスペースの広さである。図 7.1に示した例は、1画面6つのアイテムに対して、段数1-行間隔

1(1-1)の画面フォーマットである。

上記の4種類のメニューを実際に作成⁹し、各アイテムの文字数、表示位置等を決定した。また、表7.2のデータをもとに、各アイテムでの注視回数を乱数で割り付けることにより、注視位置が決定でき、これらの情報によりメニュー検索モデルのシミュレーションを行なう。

シミュレーションは、後で同様のメニューに対する実験結果と比較するために、各画面フォーマットに対して、216個の全ターゲットからランダムに20個ずつ、計80個のターゲットを選択し、それらに対して各100回行った。

(2) 実験方法

実験はシミュレーションに用いたメニューと同様の4種類の画面フォーマットに対して、同様の各20個のターゲットに対するメニュー検索を行なった(実験7.1)。

被験者は男子21名、女子2名の計23名(20～25歳)の正常な視機能を有する本学の日本人学生である。

実験はVDT作業の推奨照度[13,18]に従い、キーボード上の水平面照度約300luxに保たれた室内において、自然光、および天井灯の反射光の影響の少ない位置で実施した。実験で用いたメニュー検索システムは、パーソナルコンピュータ(NEC PC-9801VM2)により制御され、これに接続された14インチディスプレイ(NEC PC-KD853; 640×400ドット、漢字表示モード: 40文字×25行)に白黒ボジ表示で提示される。メニュー上の文字(漢字パターン)は、16×16ドットで構成され、その寸法は縦横とも6mm、視角に直すと46'である。

被験者は通常のVDT作業の推奨視距離[18]と同様のディスプレイ手前約45cmの位置に座り、実験を行った。第1レベルのメニューから始まり、第2レベルのメニューでのアイテム番号の入力により、1回の試行が完了する。このとき、メニュー検索モデルで想定している検索順序と一致させるために、各レベルのメニューに対し、第1番目のアイテムから順次探索し、選択するアイテムが決定した時点で、その番号をキーボードから入力するように被験者に徹底した。ここで、各レベルにおいてメニューが画面に表示されてから、ターゲット・アイテムのキーを入力するまでの時間を各レベルでの検索時間とし、パーソナルコンピュータに内蔵のタイマにより測定した。

実験はメニュー検索システムの操作に慣れるために、実験で用いる電話番号検索と

⁹各アイテムは図7.1に示すように、日本語で表示する。

は別の種類のメニュー検索システムで練習を行った後、シミュレーションと同様の計80回の試行に対して、ランダムな順序で実施した。

7.3.2 結果

メニューの各レベルにおける検索時間は、ここで扱った4種類のメニューとも、シミュレーションと実験結果に類似性が認められた。これらの結果を比較しやすいように、各画面フォーマットのメニューの総検索時間(各レベルでの検索時間の合計)について、シミュレーションと実験結果をまとめたものを、図7.3に示す。メニュー検索モデルでは、検索ミスは想定していないので、実験における時間値は検索ミスの試行を除いたものである。

この図からわかるように、段数2-行間隔0(2-0)のメニューを除き、シミュレーションと実験結果の傾向はほぼ一致している。すなわち、総検索時間について、時間値の短い順に、(2-0)のメニューを除いた3種類のメニューを並べると、シミュレーションと実験結果において、その順序は一致する。

(2-0)のメニューについて、シミュレーションと実験結果の一致度がよくなかった理由として、このメニューは行間隔がないために、第5章の文字認知困難度モデルにおける不要情報除去困難度からもわかるように、必要な情報を抽出するのに時間がかかったことが考えられる。これについては、§7.5.1で詳しく考察する。

次に、メニュー検索モデルの適合度をより詳細にみるために、対応する各試行に対して、シミュレーションと実験結果との一致度を調べる。4種類のメニュー全80回の試行に対して、シミュレーションと実験から得られた総検索時間の相関分析を行なうと、高度に有意($r = 0.74$; $n = 80$)な相関関係が得られた。

また、80回の全試行に対して、実験値に対するシミュレーションの誤差を計算すると、平均-0.02秒、標準偏差1.50秒が得られる。この数字はシミュレーションにより、95%の信頼水準では±2.93秒の誤差で総検索時間を推定できることを意味する。

この誤差は平均総検索時間の約30%に当たり、かなり大きい数値のように思われる。しかし、シミュレーションではなく、実験により総検索時間を推定しようとする場合は、全被験者の平均値を計算するのが通常である。本実験のデータを適用すると、被験者間の標準偏差は2.38秒となる。さらに、推定誤差の95%信頼幅を求めると、±4.79秒となり、本方式を適用した上記のシミュレーションによるものより、大幅に大きくなる。

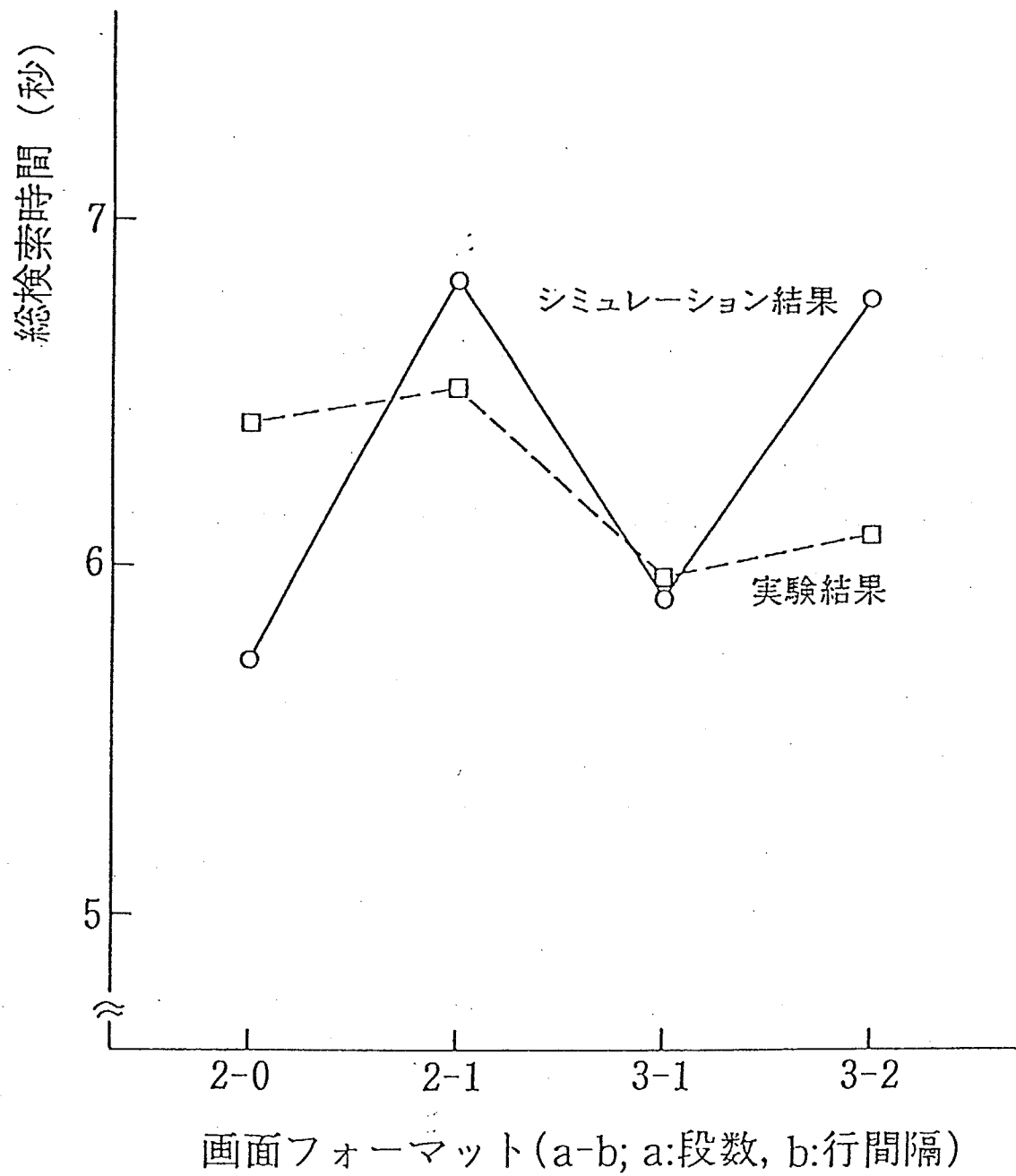


図 7.3: 応用1におけるシミュレーションと実験結果の比較

表 7.5: 応用2 に使用する画面フォーマット

メニュー番号 \ レベル	アイテム数/画面	段数	行間隔
1 1	18	2	1
2 1	13	2	1
	2 12 または 18	2	1
3 1	6	1	2
	2 6	1	2
	3 6	1	2

以上, 本章で提案する視覚認知モデルのヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用方法は, 応用例であるメニュー検索システムにおける画面フォーマットの設計に関しては, ほぼ妥当な推定値を算出することが確認できた。

7.4 メニュー階層構造の設計(応用2)

7.4.1 方法

本章で提案する視覚認知モデルのヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用の第2の例として, メニュー検索システムにおけるメニュー階層構造の設計(応用2)を取り上げる。応用1と同様, メニュー検索システムに対して, シミュレーションと実験から得られた検索時間をもとに, 応用方法を評価する。

この応用例で用いるメニューは表 7.5に示すような, メニュー階層が1～3の3種類である。これらのメニューの画面フォーマットを形成する項目は, 応用1と同様, 1画面当りのアイテム数, 段数, および行間隔の3項目であり, 3種類のメニューに対するこれらの値を表 7.5に併せて示す。

シミュレーション方法は応用1とまったく同じであるが, 今回は3種類のメニューに対し, 各20回, 計60回の試行をランダムに選択し, 各々100回のシミュレーションを行った。

実験方法についても, 応用1とまったく同様の方法で実施した。ただし, 今回の被験者としては, 本学の日本人男子学生19名(20～25歳)を使用した。

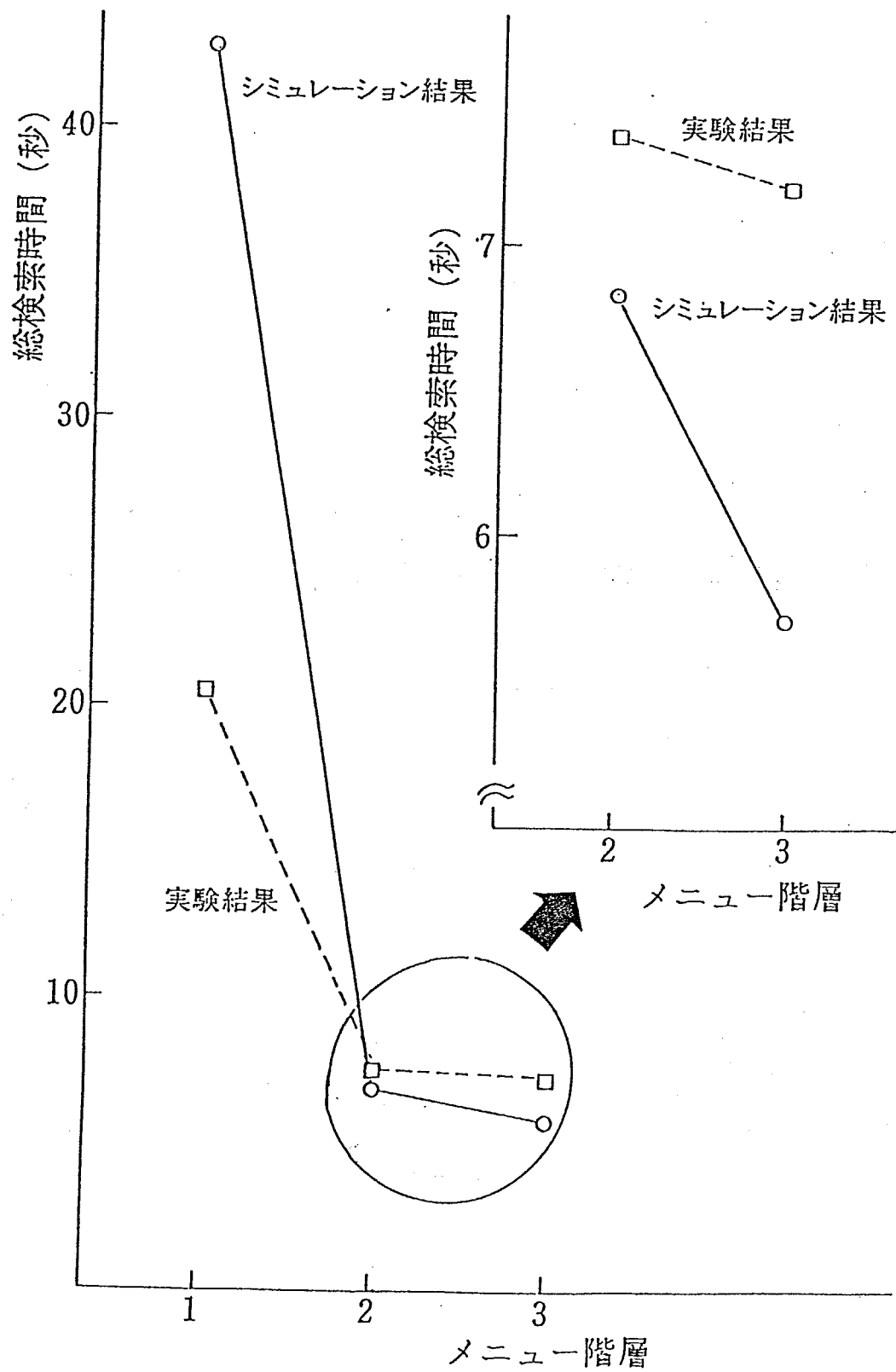


図 7.4: 応用 2 におけるシミュレーションと実験結果の比較

7.4.2 結果

各階層のメニューの各レベルにおける検索時間は、応用1と同様、シミュレーションと実験結果について類似の傾向を示すことがわかったので、総検索時間に対してまとめたものを、図 7.4に示す。

この図より、各階層のメニューに対して、総検索時間はシミュレーション、実験結果とも同様の傾向を示すことがわかる。特に、1階層のメニューでは、他の2つのメニューに比べて、総検索時間が非常に長く、効率の悪いメニューであることを示しているが、このメニューに関しては、シミュレーションと実験結果とが大きく異なっている。これは1階層のメニューの操作に対する人間の視覚情報処理が、他の2つのメニューにおける処理とは異なっており、メニュー検索モデルがその処理を正しく反映していないと考えられる。このことについては、§ 7.5.1 でさらに詳しく考察する。

2階層と3階層のメニューに関しては、シミュレーションと実験結果がおおむね一致していると考えられるが、これらの総検索時間の差は3階層のメニューで特に、応用1のときより大きくなっている。これは意味処理時間が実際の値より小さいためと考察される。ここで行われる意味処理のうち、カテゴリ分類、および表示情報の照合について考えると、メニューのレベルが上位になるほど、そこに表示されているアイテムの抽象化レベルは高くなるので、その処理時間は長くなると考えるのが自然である。しかし、メニュー検索モデルでは、意味処理を構成するすべてのサブプロセスについて、同じ時間 t_c がかかるとしている。そのため、最上位レベルにおいて抽象化レベルの高いアイテムを持つ3階層のメニューに関しては、実際より短い意味処理時間を算出すると思われる。

応用1と同様に、対応する各試行に対するシミュレーションと実験結果の一致度を調べるために、1階層のメニューを除いた計40回の試行に対して、相関分析を行うと、応用1の場合より低いが、同様に高度に有意($r = 0.45$; $n = 40$)な相関関係が得られた。

以上の結果から、本章で提案する視覚認知モデルのヒューマン-コンピュータインタフェースへの応用方法は、画面フォーマットへの応用と同様に、メニュー階層構造への応用に対しても可能と考えられる。特に、いくつかの代替案の中から、適切なメニュー階層を選択する場合には有効であることがわかった。

7.5 考察

7.5.1 メニュー検索モデルの修正

本章で提案する視覚認知モデルのヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用方法の検証のために行ったメニュー検索システムに関する2つの応用例では、全体としてはシミュレーションと実験結果は、ほぼ一致したと考えられる。しかし、応用1の段数2-行間隔0のメニューと応用2の1階層のメニューにおいて、シミュレーションと実験結果の一致度がよくなかった。これは、§ 7.2.3で構築したメニュー検索モデルで記述された処理と、これらのメニューにおける被験者の実際の処理に若干の相違点があったためと考えられる。ここでは、これら2つのメニューに対する人間の視覚情報処理について考察する。

(1) 不要情報の除去

第5章で構築した文字認知困難度モデルより、表示情報に対する認知過程では、不要な情報を除去するための処理が認められている。この処理の困難度(不要情報除去困難度)は、処理対象の範囲に対する不要情報の大きさの比率に関係する。メニュー検索の場合、現在処理中のアイテムとそれを囲む不要情報である前後のアイテムが処理対象範囲を形成すると解釈できる。このとき、不要情報除去困難度は、式(7.1)¹⁰で定義される。

$$g(\theta) = \frac{\theta_o}{\theta - \frac{1}{2}\theta_T} \quad (7.1)$$

θ : 処理対象範囲

θ_T : 認知処理中のアイテムの視角

θ_o : 不要情報の視角

この不要情報除去困難度に対する平均的な処理の係数を、第5章の眼球運動判断実験(実験5.3)で求めた各被験者の係数の平均値0.25と仮定すると、この処理時間は $0.25 \times g(\theta)(msec)$ で計算できる。不要情報除去困難度の式(7.1)からわかるように、応用1で適用した4つの画面フォーマットのうち、 θ の最も小さい、すなわちアイテム

¹⁰第5章の式(5.2)と同様である。

間の行間隔のない段数2-行間隔0のメニューが、この処理の影響を最もよく受けることがわかる。

不要情報除去の処理をメニュー検索モデルに組み込み、このメニューに対して、シミュレーションを再度行なうと、(2-0)のメニューの総検索時間は平均6.04秒となり、実験結果にかなり近づくことがわかる。

(2) 意味処理

応用2の1階層のメニューにおけるアイテムの選択に関する意味処理においては、カテゴリ分類、および表示情報の照合を必要としない。そのため、大多数のアイテムは最初の1文字を認識するだけでよく、結果的には単語としての認知は必要ないと考えられる。このように考えると、このメニューにおいて必要となる1アイテム当りの意味処理は、応答決定に対する t_c だけになる。メニュー検索モデルをこのように修正し、再度シミュレーションを行なうと、1階層のメニューの総検索時間は27.36秒となり、実験結果とかなり近い値になる。

このように、アイテムの選択を先頭の1文字で決定すると、注視点から離れたアイテムに対して、眼球運動を行わずに認知できる確率は、モデルで仮定したものよりはるかに高くなることが予想できる。この確率を正しく推定できれば、さらに実験結果に近いシミュレーション結果が得られるものと考えられる。

以上、個々のメニュー検索システムにおける処理を詳しく分析し、モデルに組み込むことにより、検索時間に対して、より正確な推定値が得られることが示唆される。

7.5.2 提案方法の利点

本項ではヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計に関して、実験により設計項目を決定する場合と比較して、本提案方法を利用したときの利点について考察する。

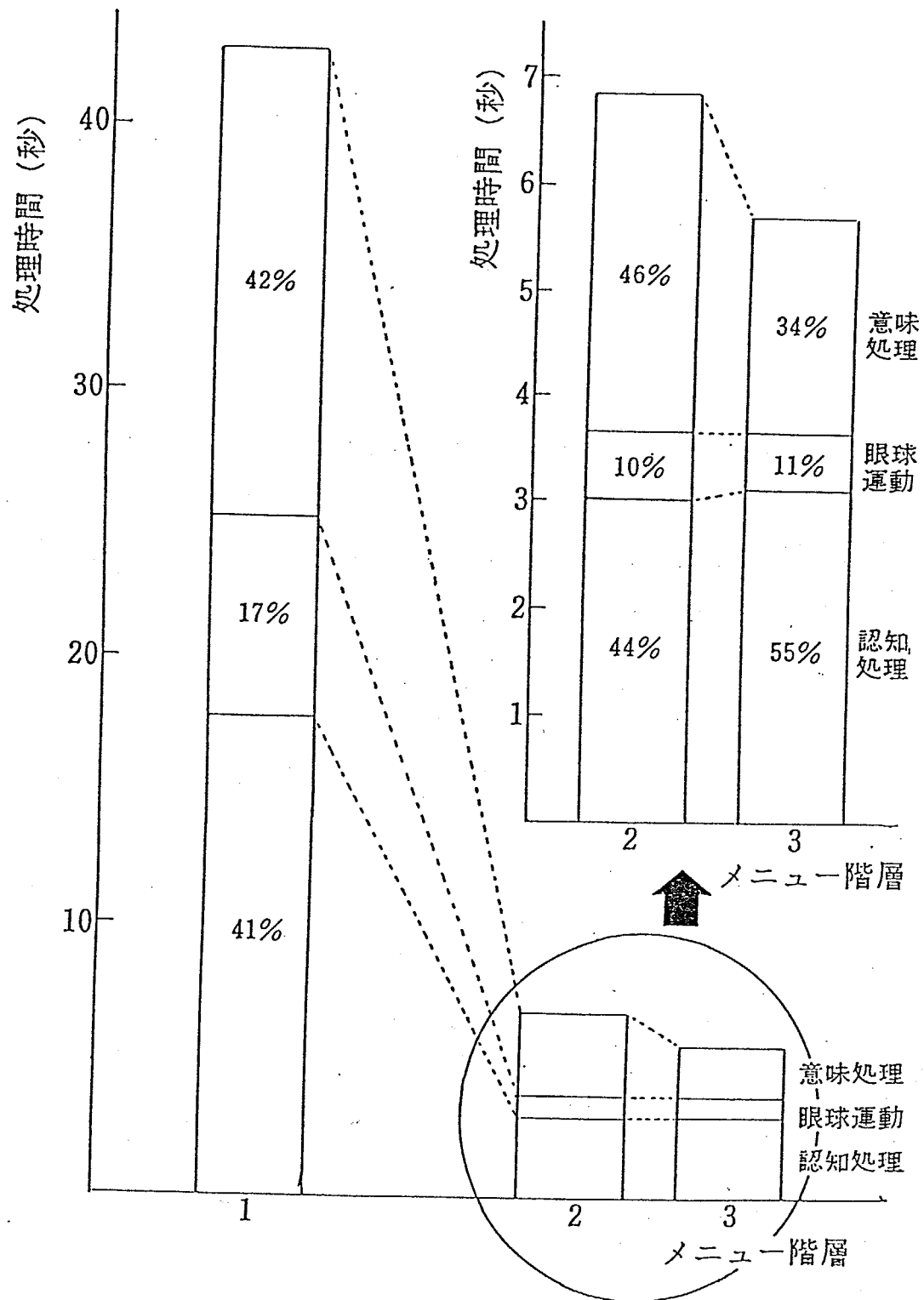


図 7.5: 応用2のシミュレーションによる各処理の比率

(1) サブプロセス構成時間

実験によりメニュー検索システムの検索時間を測定する場合、検索時間を構成するサブプロセスである認知処理時間、眼球運動時間、および意味処理時間を個別に測定することは非常に困難である。それに対して、本章で提案する方法を適用すると、上記のサブプロセスの処理時間は簡単に推定することができる。

これらの処理時間がわかると、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計に関する改善方法の発見などに利用することができる。たとえば、処理時間の構成比率の最も大きな処理を、改善効果の大きな項目として、見い出すことができる。改善手段は認知処理に対するものと、意味処理に対するものでは異なるのが通常であり、このように改善する対象を絞ることは重要である。このような方法を用いると、モデルに組み込めなかった設計項目に対しても、設計、改善方法を発見することが可能になる。

上記の例として、応用2における各メニューの検索時間の処理構成を図7.5に示す。メニュー階層が1～3の範囲では、階層が増加するに従い、認知処理時間の比率が高くなっていく。総検索時間の最も短い3階層のメニューに関しては、認知処理が全体の処理時間の半分以上を占めていることがわかる。この処理構成に着目すると、モデルに組み込んである設計項目のほかにも、たとえば文字フォント、解像度など、認知処理に対する負荷の軽減に関連のある改善項目が示唆される。

(2) ターゲットの試行数

実験室的なシステムと違い、実際のメニュー検索システムでは、そのターゲット数は数百、あるいは数千と膨大な数に及ぶ。実験では時間的制約などの理由から、全ターゲットについて試行を実施することはできず、本章で実施したように、せいぜい数十個程度(全ターゲット数の数パーセント)の試行をランダムにサンプリングする方法がとられる。この程度の試行回数では、偶然片寄ったサンプリングが行なわれる可能性があり、その結果が設計全体を反映していると考えるのは危険である。

本章の提案方法のようなシミュレーションにより検索時間を推定する方法では、ターゲット数にかかわらず、あらゆるケースを想定して、全ターゲットを考慮に入れた結果の評価が可能である。本章で用いた2つの応用例に対して、216個の全ターゲットについてシミュレーションを実行した結果を図7.6に示す。応用2に関しては、シミュレーションと実験の両者の結果はほぼ一致しているが、応用1については、かなり違う結果が得られた。これは、たとえば段数3-行間隔1のメニューでは、各レベルで番号

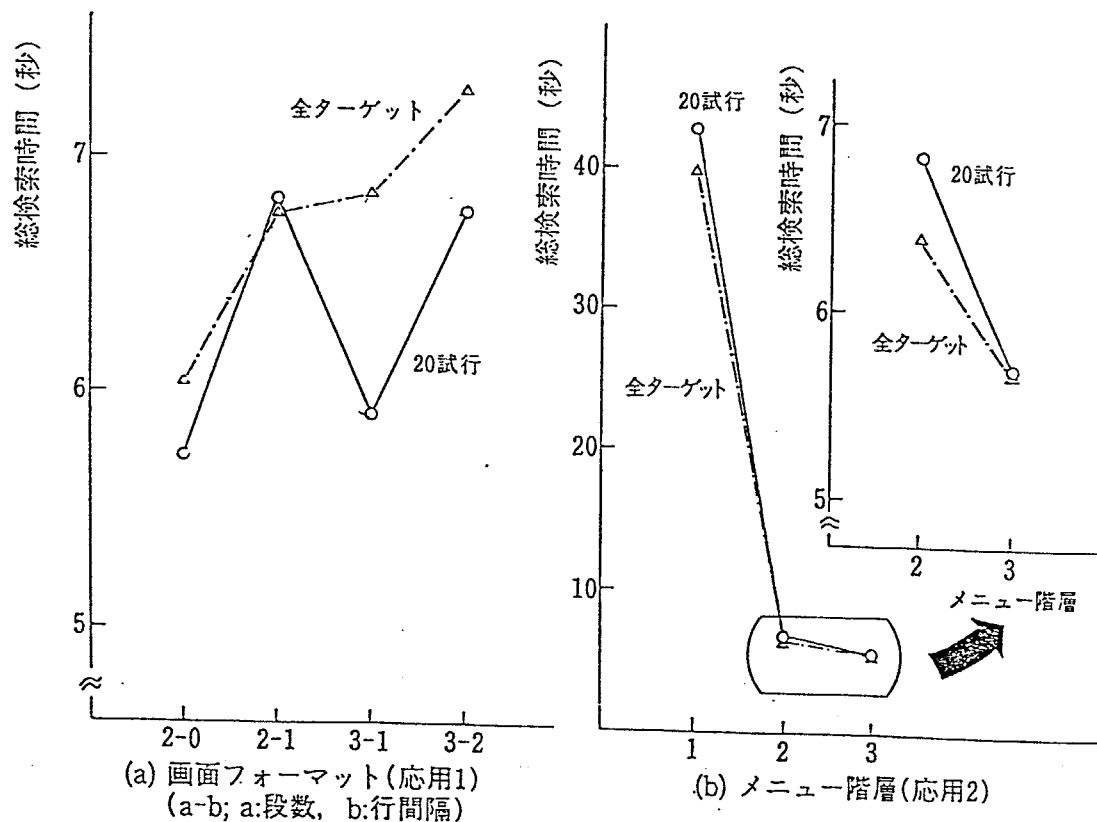


図 7.6: 全ターゲットによるシミュレーション結果

の若いアイテムがターゲット・アイテムとなる試行が多くサンプリングされたためであり、メニューの特徴を正しく反映していないことがわかる。

以上のように、選択された試行により、結果は大きく変化するので、各代替案の特徴を正しく反映する結果を得るためには、全ターゲットを選択することが望ましい。

7.5.3 メニュー検索システムへの提言

本項では本章で提案する応用方法を利用したときのメニュー検索システムに対するより一般的な考察を行う。

(1) メニュー階層

メニュー検索システムの設計において、メニュー階層の決定は最も重要な項目の1つである。ターゲット数が64個程度の小規模のシステムを用いた従来の研究[11,17]では、2～3階層のシステムが最も検索時間が短くなるといわれている。しかし、実際のメニュー検索システムのターゲット数はケタ違いに多い。この場合、メニュー階層

表 7.6: シミュレーション(2～7階層)に使用する画面フォーマット

メニュー番号	レベル数	ターゲット数	アイテム数／画面	段数	行間隔
1	2	1024	32 × 32	3	1
2	3	1000	10 × 10 × 10	2	1
3	4	1080	5 × 6 × 6 × 6	1	1
4	5	1024	4 × 4 × 4 × 4 × 4	1	1
5	6	972	3 × 3 × 3 × 3 × 3 × 4	1	1
6	7	972	2 × 2 × 3 × 3 × 3 × 3 × 3	1	1

に関して、ターゲット数にかかわらず、2～3階層がよいと考えるより、ターゲット数に依存すると考えた方が自然である。

そこで、本章で提案する方法を用いて、約1,000個¹¹のターゲットに対して、2～7階層のメニューを構成したときの総検索時間を求める。ここで用いる6つのメニューに対して、各メニューの階層数、各レベルの1画面あたりのアイテム数、段数、行間隔などの画面フォーマットの諸特性を表7.6に示す。シミュレーションは各メニューに対して、全ターゲットについて100回行う。そのほかについては、応用1,2の方法と同様である。

シミュレーションの結果、各メニューに対する総検索時間を図7.7に示す。この図より、4階層のメニューが最も短い総検索時間を与えることがわかる。従来の研究で得られた2～3階層という適切な階層数が、ターゲット数が増えることにより、増加することがわかる。

メニューの階層数の問題はターゲット数だけでなく、各レベルのメニューをどのように構成するかという意味的階層化¹²にもかかわる問題であるが、このシミュレーションの結果からみると、各レベルのメニューが、5～10個程度のアイテムを持つように構成するのがよいと思われる。

¹¹各メニューで階層数が異なるため、ターゲット数をすべてのメニューで1000個ちょうどにすることは、非常に困難である。

¹²メニューの意味的階層化に対しては、次章において扱う概念駆動型処理におけるコンテキストの効果に関する処理特性を、応用することが可能である。この知見を適用した意味的階層化については、第9章において、本論文の応用方法として簡単に紹介する。

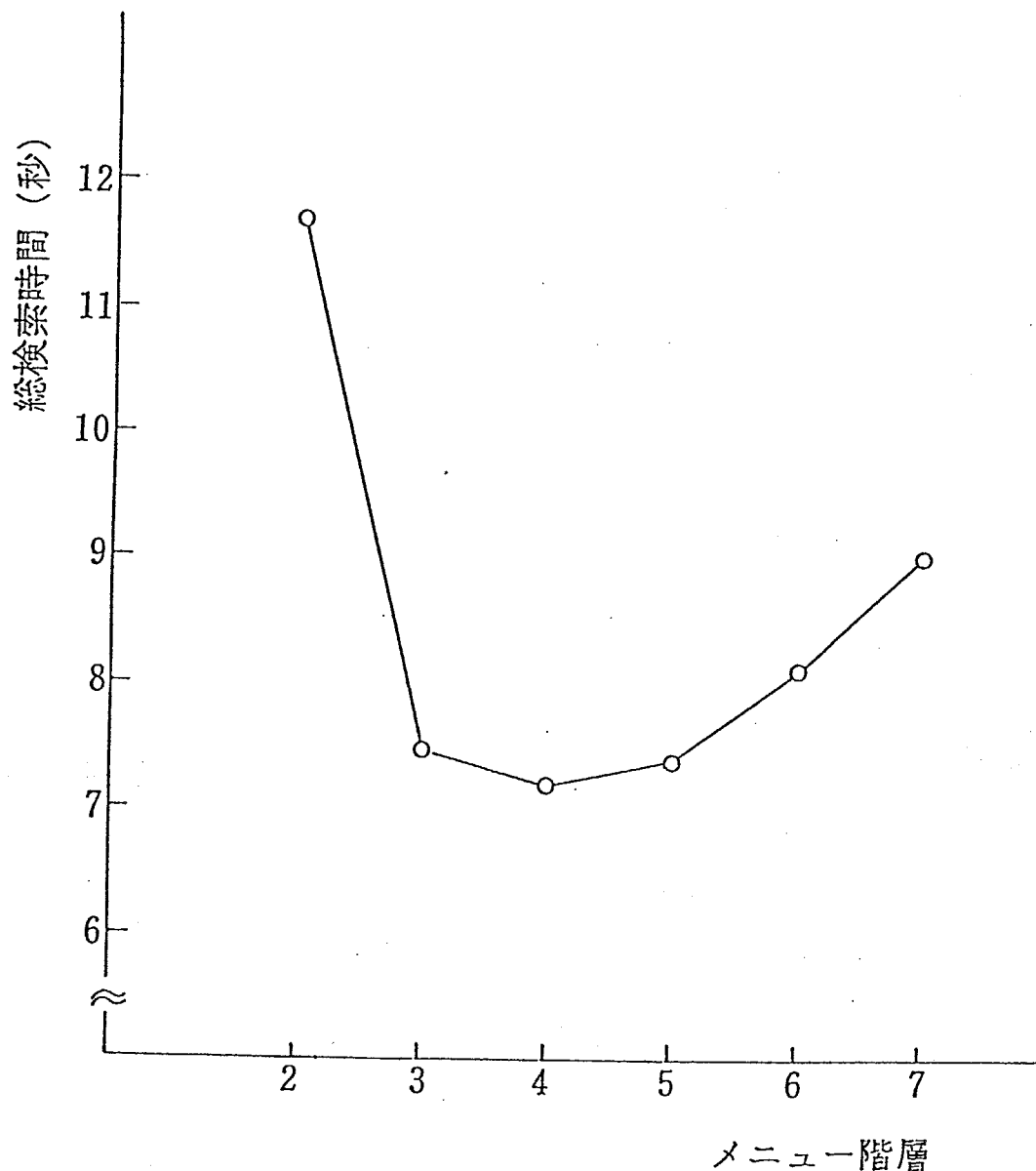


図 7.7: メニュー階層 2～7 のシミュレーション結果

(2) 探索戦略

ここまでの応用例で構築したメニュー検索モデルは、その探索戦略として、すべて比較判断型探索を適用したものである。§ 7.2.3で述べたように、探索戦略はほかに、全数探索型、目標終結型がある。メニュー検索システムにおいて、意味的階層化の優れたメニューが構成できたとき、またはオペレータがそのシステムに十分習熟した場合は、その探索戦略は目標終結型に限りなく近づくと思われる。逆に、システムの初期、あるいは意味的階層化の劣るメニューの使用においては、全数探索型に近い戦略をとられると思われる。このようなことから、メニュー検索システムの設計に関して、これらの

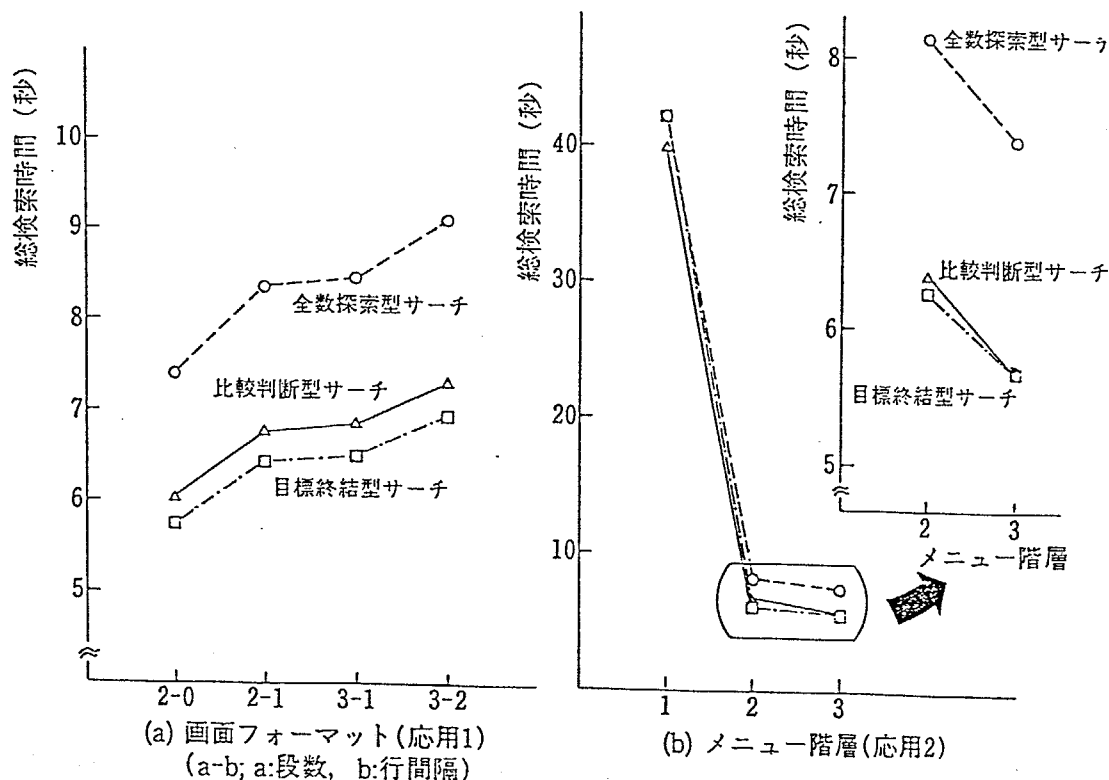


図 7.8: 各探索戦略のシミュレーション結果

探索戦略に対する状況を把握しておくことは重要である。

7.3節, および 7.4節で述べた2つの応用例に対して, 上記の探索戦略でモデル化したときのシミュレーション結果を図 7.8に示す。ただし, このシミュレーションは各メニュー 20 回の試行ではなく, 全ターゲットに対して行ったものである。

どのような戦略をとっても各メニューに対する総検索時間の傾向は等しいが, その時間値は大きく異なることがわかる。この探索戦略の違いはオペレータの習熟過程とともに, 意味的階層化によるメニューの構成に大きく依存すると思われる。本章では, この意味的階層化については直接扱ってはいないが, たとえば目標終結型探索による検索時間を目標値として, 実際の実験的試行による検索時間がその値に近づくようにメニューを構成するといった意味的階層化の効率尺度などに利用することができる。

7.6 結語

本章はヒューマン-コンピュータ・インタフェースに関して, 人間の視覚情報に適合した設計を行うことを目的に, 第 6 章で構築された視覚認知モデルの応用方法を, 実

例とともに示した。本章では、ここで提案するヒューマン-コンピュータ-インタフェース設計への応用方法について、メニュー検索システムに関する2つの応用例を適用し、その結果と実験結果を比較することにより、以下の結論を得た。

1. 本章で提案した人間の視覚情報処理にかなったヒューマン-コンピュータ-インタフェースの設計方法の概要、ならびに手順は次のようなものである。

- 対象とする作業に対して、いくつかの代替案を設定し、認知処理については視覚認知モデル、また意味処理などの知的処理については“Model Human Processor”を用いて、その作業を行うときの人間の処理をモデル化する。
- 作成した代替案のモデルをシミュレーションなどを行うことにより、その作業時間を推定する。
- シミュレーション結果を比較、検討し、代替案を選択し、さらに改善項目を発見する。

2. メニュー検索システムを例にとり、上記1の方法により構築した作業モデルをシミュレーションした結果、実際のメニュー検索の作業時間を、かなりよく推定できることがわかった。特に、シミュレーションにより処理時間そのものを推定するために利用するのではなく、推定した処理時間を比較、検討することにより、適切な設計代替案の選択に利用する場合は、本章で提案する方法は、現在のままでも十分有効な手法になりうると考えられる。

本章で扱った応用例に対しては、おおむね妥当な検索時間が推定できたと考えるが、ここで扱った7つのメニューのうち2つに対しては、よい推定値が得られなかった。これらのメニューに対しても、さらに詳細なモデル化を行なうことにより、ほぼ妥当な推定値を得ることができた。このように、対象作業を詳細にモデル化することにより、すべての作業に対し、適用が可能と考える。

3. 本章で提案する方法について、シミュレーションによる作業時間の推定だけでなく、実験による設計方法と比較したときの利点などについても考察した。その結果、本章で提案する方法には、以下に示す利点があることがわかった。

- 本方式は実際に作業をしなくてもよいので、作業改善に対してだけでなく、作業の設計段階においても利用できる。

- 作業全体を構成する認知処理, 眼球運動, および意味処理の各サブプロセスの処理時間を個別に推定することができる. このことは作業の改善項目の発見に役立つ.
- あらゆる場合を想定した作業時間が推定できる. これにより, 代替案の評価に対する信頼度が増大する.

本章ではモンテカルロシミュレーションを用いて検索時間を推定したが, これは各アイテムの注視回数などが確率的に変化するという理由による. このような要因のない作業モデルに対しては, モンテカルロシミュレーションを行う必要はなく, 簡単な計算により作業時間を推定できる. また, 意味処理のモデル化に関しては, 本章ではCard, et al. [3]の“Model Human Processor”を利用した. このモデルは非常に単純なものであるが, ほぼ満足のいく処理時間を推定できることがわかった.

参考文献

- [1] Atkinson, R.C., Holmgren, J.E. and Juola, J.F. : Processing Time Influenced by the Number of Elements in a Visual Display, *Perception & Psychophysics*, 6, 321 ~ 326, 1969.
- [2] Cakir, A. : Toward an Ergonomic Design of Software, *Behaviour and Information Technology*, 5, 63 ~ 70, 1986.
- [3] Card, S.k., Moran, T.P. and Newell, A. : *The Psychology of Human-Computer Interaction*, 23 ~ 97, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1983.
- [4] Cavanagh, J.P. : Relation between the Immediate Memory Span and the Memory Search Rate, *Psychological Review*, 79(6), 525 ~ 530, 1972.
- [5] 蒲谷 孝 : 意味構造を考慮したメニュー検索方式の設計方法に関する研究, 昭和61年度東京工業大学修士論文, 1987.
- [6] Kiger, J.I. : The Depth/Breadth Trade-Off in the Design of Menu-Driven User Interfaces, *International Journal of Man-machine Studies*, 20, 201 ~ 213, 1984.
- [7] Lee, E. and MacGregor, J. : Minimizing User Search Time in Menu Retrieval Systems, *Human Factors*, 27(2), 157 ~ 162, 1985.
- [8] Lee, E., MacGregor, J. and Lam, N. : Keyword-Menu Retrieval : An Effective Alternative to Menu Indexes, *Ergonomics*, 29(1), 115 ~ 130, 1986.
- [9] Lee, E., Whalen, T., McEwen, S. and Latrémouille, S. : Optimizing the Design of Menu Pages for Information Retrieval, *Ergonomics*, 27(10), 1051 ~ 1069, 1984.

- [10] MacGregor,J., Lee,E. and Lam,N. : Optimizing the Structure of Database Menu Indexes : A Decision Model of Menu Search, *Human Factors* , 28(4), 387 ~ 399, 1986.
- [11] Miller,D.P. : The Depth/Breadth Tradeoff in Hierarchical Computer Menus, *Proceedings of the Human Factors Society, 25th Annual Meeting*, 296 ~ 300, 1981.
- [12] Naus,M.J., Glucksberg,S. and Ornstein,P.A. : Taxonomic Word Categories and Memory Search, *Cognitive Psychology*, 3, 643 ~ 654, 1972.
- [13] Östberg,O. : Accommodation and Visual Fatigue in Display Work, In Grandjean,E. and Vigliani,E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 41 ~ 52, Taylor & Francis, London, 1980.
- [14] Roske-Hofstrand,R.J. and Paap,K.R. : Cognitive Networks as a Guide to Menu Organization : An Application in the Automated Cockpit, *Ergonomics*, 29(11), 1301 ~ 1311, 1986.
- [15] Seppälä,P. and Salvendy,G. : Impact of Depth of Menu Hierarchy on Performance Effectiveness in a Supervisory Task : Computerized Flexible Manufacturing System, *Human Factors*, 27(6), 713 ~ 722, 1985.
- [16] Shneiderman,B. : Designing Menu Selection Systems, *Journal of the American Society for Information Science*, 37(2), 57 ~ 70, 1986.
- [17] Snowberry,K., Parkinson,S.R. and Sisson,N. : Computer Display Menus, *Ergonomics*, 26(7), 699 ~ 712, 1983.
- [18] Stammerjohn,L.W., Smith,M.J. and Cohen,B.G.F. : Evaluation of Work Station Design Factors in VDT Operations, *Human Factors*, 23(4), 401 ~ 412, 1981.
- [19] Tyderman,J., Lipinski,H., Adler,R., Nyhan,M. and Zwimpfer,L. : *Teletext and Videotex in the United States*, McGraw-Hill,New York, 1982.

第8章 認知過程におけるコンテキスト の効果¹

8.1 序

本論文では、VDT 作業など視覚認知作業における人間の処理として、すべての作業に共通性が高い認知過程を取り上げてきた。第2章で述べたように、認知過程には、データ駆動型処理と概念駆動型処理の2つがあるが、これまでの章では特に、データ駆動型処理に焦点を当て、その処理特性について論じてきた。本章ではこのようなデータ駆動型処理に対して、概念駆動型処理における認知特性を解明の対象として扱う。

本論文においては第4章で、ドット・パターンに対する人間の視覚情報処理の解明という観点から、人間の視覚認知過程をモデル化²するとともに、パターン1文字を単独に提示したときの認知(文字認知)の正確さ、および処理時間に対するドット・パターンの効果を明らかにした。しかし、実際のVDT作業においてディスプレイ上に提示する表示情報は、1文字を単独に提示するというより、単語、文章、あるいはプログラムといったコンテキスト(context)[1]を含むものが普通である。このような情報の認知においては、そのコンテキストを利用する概念駆動型処理が、データ駆動型処理とともに行われている。

このようなコンテキストを含む情報の認知処理特性に関する研究としては、ある特定の文字セットを視覚刺激として用い、1文字の認知(letter recognition)と単語認知(word recognition)との処理特性を比較したもの[8]、単語(word)と無意味綴り文字列

¹本章の内容の一部は、伊藤謙治、圓川隆夫、秋庭雅夫：“視覚認知過程におけるコンテキストと表示情報の明瞭度の効果”として、日本人間工学会誌，Vol.24, No.5, pp.291～301, 1988に掲載されたものである。

²“視覚認知モデル”としてモデル化した。第4章の4.4節参照。

(nonword) との処理特性を比較したもの[11], ある特定の単語に対して視覚特徴的に曖昧な表示情報を提示して[14], 単語認知におけるコンテキスト利用の効果を明らかにしたものなどがある. このコンテキストの効果はさらに, 文章読解[2], 文章校正時のミスの発見[5]などにおいても知られている.

このように, 視覚的情報提示による視覚認知作業においては, その処理の傾向, およびパフォーマンスは表示情報の見やすさと, その表示情報の持つコンテキストに大きく依存していると考えられる. マン-マシン-システムの設計において, その作業内容, およびそこで必要とする人間の処理を十分に分析し, このような2つの要因を適切にコントロールしたマン-マシン-インターフェースを実現することにより, 視覚認知作業のパフォーマンスは著しく向上することが期待できる.

そこで, 本章ではディスプレイ上の表示情報の認知に際して, コンテキストを利用できるという現実のVDT作業により近い状況を設定し, 認知の正確さ, および処理時間などの認知処理特性に対して, 表示情報の明瞭度, コンテキスト, およびこれらの両方が作用する効果を明らかにすることを目的とする.

本章では, コンテキストを含む情報の例として, コンテキストの情報量, および表示情報の明瞭度が異なるような英大文字で形成された数種の簡単な英単語を用いる. ここでは2つの実験による単語の認知過程を通して, 認知の正確さ, 処理時間などに対するコンテキストと表示情報の明瞭度を明らかにし, さらに第4章で得られた文字認知の結果と比較, 考察する.

8.2 単語認知過程

文字認知の場合と異なり, 単語認知においてはその単語の持つコンテキストを利用できる[1]. 文字認知の場合は表示情報を眼から取り込み, その内部表現として視覚情報を生成し, 認知情報に変換するというデータ駆動型処理がほとんどであるが, 単語認知の場合はその情報の持つコンテキストを利用できるため, 前節でも述べたように, データ駆動型処理とともに概念駆動型処理も並行して行われている[10]. 単語認知においては, この概念駆動型処理の比率が高いと, 取り込んだ表示情報の内部表現である視覚情報が不明瞭であっても, 正しい単語として認知することができる. また逆に, 表示情報が綴りに誤りを含む単語であっても, 正しい綴りの単語に誤認するという現象が生ずることも容易に想像できる.

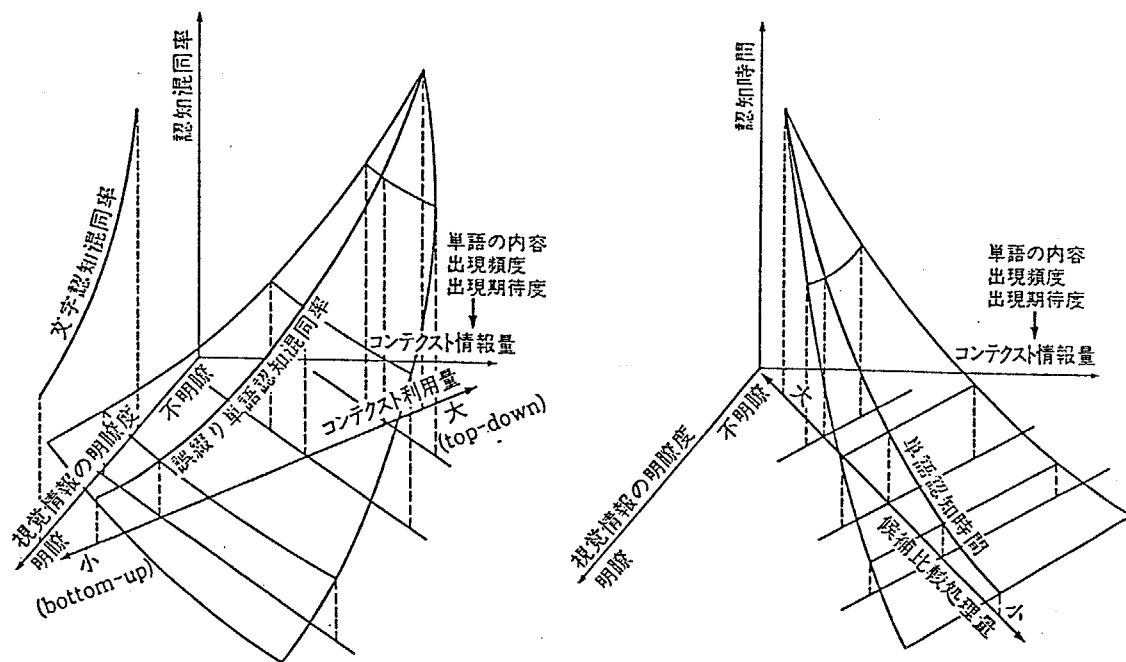


図 8.1: 単語認知処理特性の仮説

表示情報として、ディスプレイに単語を提示するとき、その単語に含まれるコンテキストの情報量(コンテキスト情報量)は、その単語の内容、出現頻度[13]などに関係し、さらに実行中の作業における出現の期待度(出現期待度)などにも、関係することが考えられる。このコンテキスト情報量を定量化するのは困難であるが、その単語の内容に親近度が高く、よく出現する見慣れた単語ほど、コンテキスト情報量は大きい。また、出現期待度については、たとえばプログラム作業中では、使用しているシステム、言語の命令などの出現が期待され、そのような表示情報のコンテキスト情報量は大きいと仮定することができる。

視覚情報の明瞭度とは、取り込んだ表示情報を内部表現したときの視覚情報の明瞭さの度合であり、文字の形状に関しては、簡単な形状の文字で形成されている単語ほど、明瞭な視覚情報を表現できると仮定することが可能である。さらに、表示パターンを構成するドット数と、ドット・マトリックスの形状に関しては、構成ドット数が多いほど、また典型的な視覚イメージであるプロトタイプ(prototype) [4]に形状に近いほど、明瞭な視覚情報を表現できると考えられる。

単語認知においては、前述したとおりデータ駆動型処理と概念駆動型処理の両方が並行して行われるが、これらの処理の比率は単語認知において利用するコンテキストの量(コンテキスト利用量)に関係すると仮定できる。コンテキスト利用量は図 8.1に

示すように、コンテキスト情報量が多く、視覚情報が不明瞭なほど大きいと定義する。これは以下の考えに基づくものである。すなわち、概念駆動型処理の可能最大量はコンテキスト情報量だけに關係するが、実際の認知処理では、すべてのコンテキスト情報量を利用するものではなく、視覚情報の不明瞭度による情報の減少量を補う形で視覚情報と同時に、コンテキスト情報を利用して認知する。このコンテキスト情報の利用率に関しては、視覚情報が不明瞭なものほど、コンテキストに頼る比率が高くなる。このように、認知処理に利用するコンテキストの量は、コンテキスト情報量と、コンテキスト情報の利用率に關係する視覚情報の明瞭度の逆数の積に關係すると考えられる。

コンテキスト利用量の大きい単語は図 8.1 に示したように、概念駆動型処理に頼る傾向が強く、このような単語は綴りに誤りを含む単語に対しても、正しい綴りの単語に認知(誤認)する頻度が多くなる。また逆に、コンテキスト利用量が小さい単語の場合は、概念駆動型処理の比率が相対的に小さくなるので、綴りに誤りのある単語を正しい綴りの単語に誤認する傾向はより小さくなる。

単語認知過程全体に必要な処理時間は文字認知処理[6]と同様に、視覚情報の内部表現時間、候補比較時間、および単語決定時間に区分できると仮定する。内部表現時間は、第5章の結果から、表示情報にかかわらず一定と考えることができるので、単語認知時間の変動は候補比較時間と単語決定時間による。候補比較と単語決定における処理量は、式(8.1)に示すように、各候補の処理量の合計となり、この大きさにより単語認知時間が決まると考える。

$$TQ_j = \sum_{i \in A(j)} Q(i) \quad (8.1)$$

$$Q(i) = f(E(i)) \quad (8.2)$$

TQ_j : 表示情報 j の候補比較総処理量

$A(j)$: 表示情報 j の候補の集合

$E(i)$: 候補 i の選択期待度

$Q(i)$: 候補 i の比較処理量

候補比較段階で処理対象となる候補は、内部表現された視覚情報が不明瞭なほど、表示情報を一意に決定することが困難となり、数多くの候補が作り出されると考えることができる。

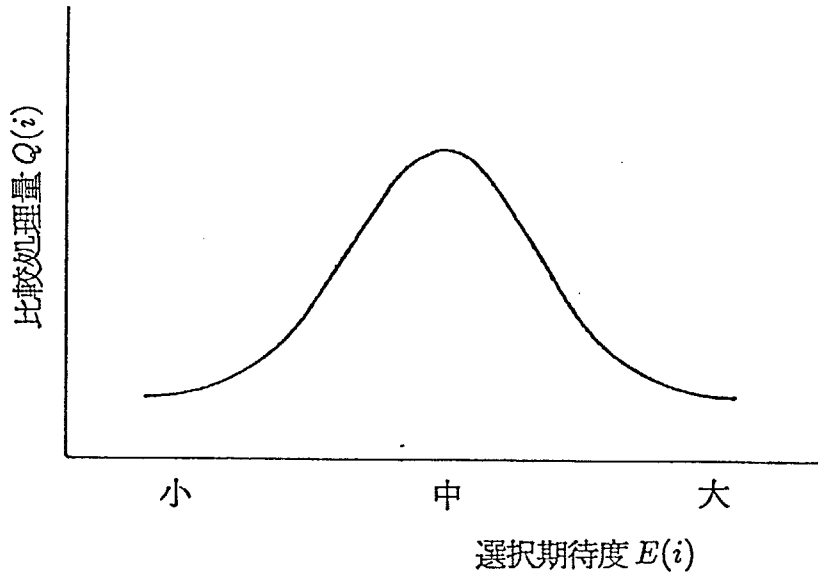


図 8.2: 選択期待度と比較処理量との関係

1つの候補に対する候補比較処理に関しては、式(8.2)に示すように、その候補の選択期待度の関数になると思われる。この関数は図8.2に示すように、その候補が単語決定段階で選択される期待度(選択期待度)が中程度するとき、その選択を十分に判断する必要があるので、その比較処理量は大きいと仮定することができる。すなわち、コンテキスト情報量の大きい単語は、その単語と一致する候補の選択期待度が大きくなるため、他の候補の期待度が小さくなり、候補1個あたりの平均的な比較処理量は小さくなる。逆に、コンテキスト情報量の小さい単語は、比較処理量が大きな選択期待度の中程度の候補が多くつくられるため、平均的な比較処理量が大きくなると仮定できる。

以上、単語認知時間についてまとめると、ある単語についてその単語の持つすべての候補を比較する候補比較処理量は図8.1に示したように、処理する候補の数に関する視覚情報の明瞭度と、候補1個当たりの平均的処理時間に関するコンテキスト情報量の両方に依存する。これらの関係は視覚情報が明瞭で、コンテキスト情報量が大きいものほど、その候補比較処理量は小さく、単語認知時間が短いと考えられる。

以上述べてきた単語認知における処理の仮説について、2種類の実験により、その処理特性を調べ、その結果について、8.3節、および8.4節で述べる。

8.3 単語認知の正確さへの効果

8.3.1 単語認知正答率実験(実験8.1)

単語認知の正確さに対する視覚情報の明瞭度, すなわち表示パターンの効果と, 単語の持つコンテキストの効果を明らかにするために, 単語認知正答率実験(実験8.1)を行う。

(1) 被験者

本実験は視覚刺激として簡単な英単語を用いるため, 英語に慣れている被験者として, 本学男子学生10名(22～25歳)を用いた。すべての被験者とも正常な視機能を有する者であり, うち4名は眼鏡等で視機能を矯正した者である。

(2) 視覚刺激

本実験は第4章で得られた文字認知の処理特性と比較, 考察できるように, コンテキストを含む視覚刺激の例として, 文字認知の実験³と同様に英大文字を取り上げ, それで記述される簡単な英単語を用いた。実験では, (a)綴りの正しい単語(正綴り単語)と, (b)正綴り単語中に綴りの誤りを1カ所含む単語(誤綴り単語)の2種類の文字列(単語)を使用した。これらの単語の認知に関して, 単語を形成する文字列の最初と最後の文字以外の位置⁴に, 第4章の実験4.1～4.3で使用した7文字のうちのいずれかを含む単語を選択した。単語文字列中のこの文字をテスト文字と称することにする。

実験で使用する単語は, その単語の持つコンテキスト情報量に関して, 出現頻度, および内容については, 日本人被験者を用いるために, わかりやすい単語を選ぶ必要がある。そのため, すべての単語とも内容に対して親近性の高い, 出現頻度の多いと思われる単語を使用した。また, 実験では英大文字で形成されている単語を用い, パーソナルコンピュータのディスプレイ上に刺激を提示するため, コンピュータの言語, コマンド等は出現期待度が高いと考えられる。このカテゴリーに属するものとして, 表8.1に示すように, TYPE(パーソナルコンピュータ MS-DOS のコマンド), WHAT(汎用コンピュータのコマンド), および AUTO(パーソナルコンピュータ N88-BASIC

³第4章の実験4.1～4.3。

⁴単語の最初と最後の文字は, 中間の文字より綴りの誤りに気づきやすいので, この効果を取り除くために, 文字列の中間に綴りに誤りを挿入した。

表 8.1: 実験に使用する単語の出現頻度と形状の複雑度

出現期待度 \ 形状	複雑	簡単
大	WHAT	AUTO TYPE
小	NAME SWIM	LONG GIVE

表 8.2: 実験に使用する正綴り単語と誤綴り単語

置換え文字	H	M	N	U	V	W	Y
正綴り単語	WHAT	NAME	LONG	AUTO	GIVE	SWIM	TYPE
誤綴り単語	WMAT	NAHE	LOHG	AVTO	GIUE	SUIM	TYPE
	WNAT	NANE	LOMG	AWTO	GIYE	SYIM	TWPE

下線はテスト文字

のコマンド)を取り上げる。また、出現期待度の低いものとして、コンピュータの言語、コマンドではないが、自然言語としてよく用いられる SWIM, GIVE, LONG, NAME を取り上げる。

単語刺激の形状の複雑度について、ここではテスト文字についての複雑度ではなく、単語全体としての形状に着目し、第3章で抽出された人間の視覚的特徴抽出に関する3つの因子を基準に、単語を構成する各文字の複雑度を総合して、表 8.1に示すように分類した。

上記の単語に対する誤綴り単語としては、表 8.2の中段、および下段に示すように、正綴り単語中に含むテスト文字を、第4章の文字認知実験(実験 4.1 および実験 4.2)において、最も誤認の比率の高い、各2種類のテスト文字に置き換えた文字列を作成し、これらを実験に用いる。

	7×13ドット	7×13拡大	セリフなし	セリフあり
WHAT	WHAT	WHAT	WHAT	WHAT
	WHAT	WMAT	WMAT	WMAT
	WNAT	WNAT	WNAT	WNAT
NAME	NAME	NAME	NAME	NAME
	NAHE	NAHE	NAHE	NAHE
	NANE	NANE	NANE	NANE
LONG	LONG	LONG	LONG	LONG
	LOHG	LOHG	LOHG	LOHG
	LOMG	LOMG	LOMG	LOMG
AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO
	AUTO	AVTO	AVTO	AVTO
	AWTO	AWTO	AWTO	AWTO
GIVE	GIVE	GIVE	GIVE	GIVE
	GIUE	GIUE	GIUE	GIUE
	GIYE	GIYE	GIYE	GIYE
SWIM	SWIM	SWIM	SWIM	SWIM
	SUIM	SUIM	SUIM	SUIM
	SYIM	SYIM	SYIM	SYIM
TYPE	TYPE	TYPE	TYPE	TYPE
	TUPE	TUPE	TVPE	TVPE
	TWPE	TWPE	TWPE	TWPE

図 8.3: 実験に使用する視覚刺激

単語の表示パターン⁵としては、(1)PC-9801で使用している7×13ドットのパターン、(2)7×13ドットのパターンの形状をそのままにして16×16ドットに拡大したもの(7×13ドット拡大パターン)、(3)PC-9801の16×16ドットのパターンのセリフ(serif; 飾りヒゲ)を除いたもの(16×16ドット・セリフなしパターン)、および(4)PC-9801の16×16ドットのパターン(16×16ドット・セリフありパターン)の4種類の文字セットを用いた。実験で使用する各単語刺激のパターンを図8.3に示す。

(3) 実験手順

実験はパーソナルコンピュータ(NEC PC-9801VM2)と、これに接続された14インチディスプレイ(NEC PC-KD853; 640×400ドット)により、視覚刺激をディスプレイ上に表示し、被験者に認知、報告させるものである。このとき、単語認知の正答率に対する各実験因子の効果の感度をよくするために、被験者の注視点の上方3°の位置に刺激を提示した。刺激の視覚情報を曖昧にする方法としては、通常左右方向の周辺視、または近中心視に刺激を提示する方法が普通である⁶。しかし、本実験で刺激として使用する英単語は、視角が広く(平均約3°)、注視点の左右方向に提示すると、単語の内側の文字と外側の文字の見え方が大きく異なる。これを防ぐために、ここでは注視点の上方に刺激を提示した。また、刺激提示時間は単語の認知には十分であり、かつ提示中に眼球運動を行う余裕を与えない時間として50msecとした。このような視覚状況において、被験者は提示された視覚刺激に対して眼球運動を行わずに認知し、その文字をキーボードを打鍵することにより報告する。

なお、注視点の上方に1文字を提示する予備実験を行い、左右方向の周辺視に提示した場合⁷と、文字の混同の生じた組合せを対応させ、その混同率について相関分析を行った結果、相関係数は、 $r = 0.64$ ($n = 85$; $p < 0.01$)と、混同の傾向が非常によく似ていることを確認してから、実験を進めた。

実験は疲労などの影響を考慮に入れ、実験時間を短くするために、2回のセッションに分けて行い、最初のセッションを実施した数日後に、第2回めのセッションを実施した。なお、正綴り単語の正答率については、セッション間の反復に有意差は認められなかった。また、誤綴り単語についてはセッション間の反復が有意となり、習熟効果が

⁵これらは、第4章の実験で用いたものと同じである。

⁶これまでの各章の実験はすべてこの方法を採用した。

⁷第4章の実験4.1.

表 8.3: 正綴り単語の認知正答率の分散分析結果

要因	s.s.	d.f.	m.s.	F ₀
A(単語)	20.76	6	3.46	7.94**
B(パターン)	3.24	3	1.08	2.48
誤差	7.84	18	0.44	
合計	31.85	27		

* : 5%有意 ; ** : 1%有意

表 8.4: 誤綴り単語の認知正答率の分散分析結果

要因	s.s.	d.f.	m.s.	F ₀
A(単語)	135.73	6	22.62	21.62**
B(パターン)	45.41	3	15.41	14.47**
誤差	18.84	18	1.05	
合計	199.98	27		

* : 5%有意 ; ** : 1%有意

認められたが、本実験で問題としている表示パターンと単語の違いによる効果は、各セッションとも同じ傾向を示していた。そのため、以下に述べる解析では正綴り単語、および誤綴り単語のどちらについても、2回のセッションを総合して正答率を求め、それを解析データとして使用する。

個々のセッションは前述のとおり、10名の被験者に対して、単語(A)7水準、表示パターン(B)4水準を取り上げ、正綴り単語に対してくり返し2回、誤綴り単語に対してくり返しなしの全試行をランダムな順序により実施した。

なお、実験はVDT作業の推奨照度[15]に従い、キーボード上の水平面照度200～240luxに保たれた室内の反射光の影響の少ない位置にディスプレイを設置し、その手前45cmの位置で被験者は実験を行った。また、温度など、他の実験条件についても、実験中一定に保つようにした。

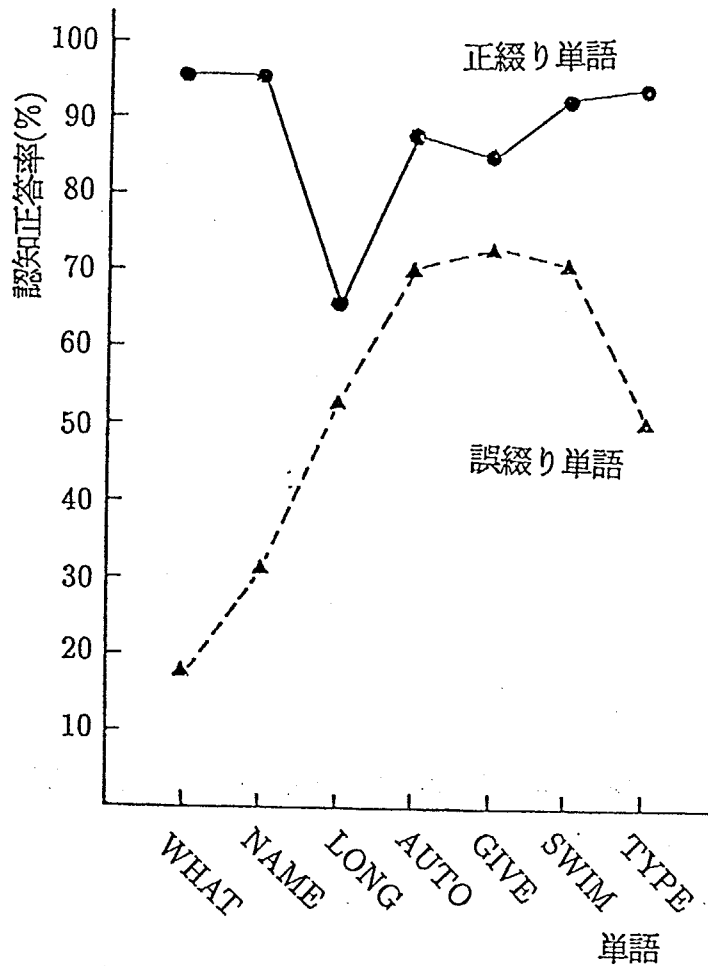


図 8.4: 単語ごとの認知正答率

8.3.2 実験結果

この実験で注目している表示パターンと単語の違いに対して、本実験での認知処理特性は各被験者ともほぼ共通の傾向がみられたので、認知正答率については、全被験者をまとめたデータを用いて解析する。認知正答率は二項分布していると仮定でき、経験ロジスティック変換[7]した正答率を特性値として、正綴り単語、および誤綴り単語について、個別に分散分析を行った。その結果をそれぞれ表 8.3、および表 8.4に示す。分散分析の結果、単語(A)の違いに関しては、正綴り単語、誤綴り単語の両方とも有意差が認められた。その様子を図 8.4に示す。この図よりすべての単語に対して、誤綴り単語と比べて正綴り単語の認知正答率が高く、8.2節で示したように、コンテキストを利用して認知していることを示している。

単語認知におけるコンテキスト利用のより直接的な特性値として、誤綴り単語を正綴り単語に混同する割合(正綴り単語混同率)を、式(8.3)で定義する。この正綴り単語混同率は図 8.5に示すように、誤綴り単語の認知正答率とは逆の傾向を示し、認知

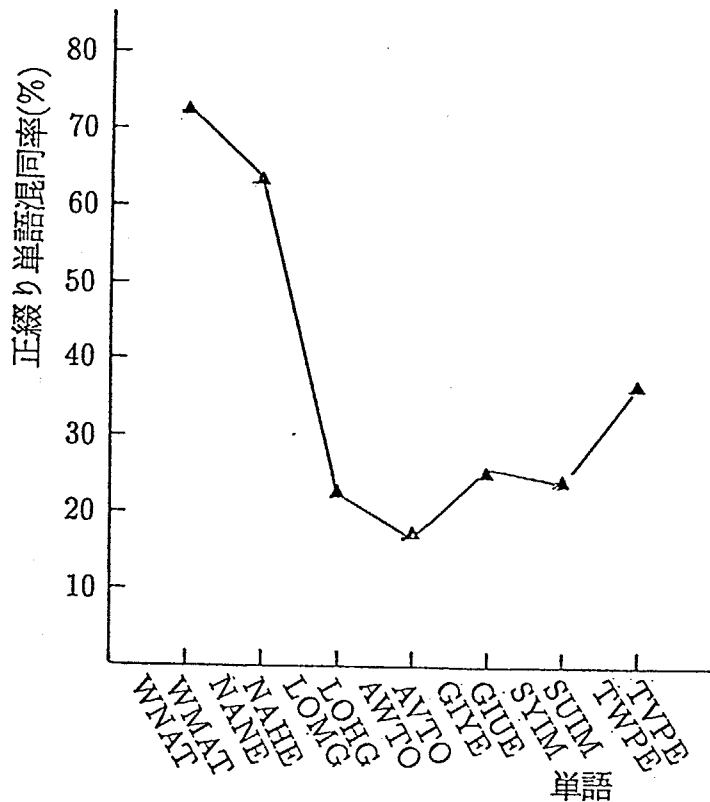


図 8.5: 誤綴り単語の正綴り単語混同率

に際してコンテキストの影響を強く受けていることがわかる。なお、後で述べる表示パターンの効果についても、誤綴り単語の認知正答率と正綴り単語混同率に関しては、これと同じ傾向を示している。

$$C_{ji} = \frac{f_{ji}}{N_j} \quad (8.3)$$

C_{ji} : 誤綴り単語 $\bar{j}$ の正綴り単語 j への混同率

f_{ji} : 誤綴り単語 $\bar{j}$ の正綴り単語 j に混同する頻度

N_j : 誤綴り単語 $\bar{j}$ の提示頻度

単語個々についてみると、WHAT, NAME といった単語は正綴り単語の正答率は高いが、誤綴り単語の正答率は著しく低い。また、正綴り単語への混同率は非常に高い。これは表 8.1 に示したように、これらの単語が視覚情報が不明瞭となる形状の複雑な文字で形成され、コンテキスト利用量が大きく、概念駆動型処理の割合が高いためと思われる。

一方、AUTO, GIVE といった単語については、誤綴り単語の正答率は正綴り単語

のそれには及ばないが、かなり高い値を示している。これらの単語は比較的形状の簡単な文字で形成されており、視覚情報がかなり明瞭に表現でき、データ駆動型処理にかかる比重が高いためと解釈できる。

LONG, TYPE は、認知正答率に関して上記2群の中間に位置する結果となった。これらの文字は単語全体の形状は簡単なものに属するが、テスト文字は比較的複雑な形状の文字であったために、このような結果になったものと思われる。また、SWIM に関して、誤綴り単語の正答率はかなり高かった。これは LONG, TYPE の理由と同様に、SWIM の誤綴り単語 SUIM のテスト文字 U が比較的単純な形状の文字であったため、コンテキスト利用量が減少したためと思われる。

以上のように、単語により認知正答率、および正綴り単語への混同率は大きく異なるが、テスト文字に着目すると、すべての単語とも、第4章の文字認知のときより、正綴り単語の文字に混同する頻度は明らかに多く、単語認知の際のコンテキスト利用の影響が認められる。また、このコンテキスト利用の影響は、その単語の視覚情報の明瞭度にかかなり依存することがわかった。これらの結果は、8.2節で仮定した単語認知処理に合致するものである。

ここまでの結果を概略的にまとめると、出現期待度が大きく、形状の複雑な単語の認知に際して、概念駆動型処理における効果が最も大きくみられる。逆に出現期待度が小さく、形状の簡単なものが概念駆動型処理による効果が、最も小さいことが確認できた。すなわち、コンテキスト利用量は出現期待度などのコンテキスト情報量と、視覚情報の明瞭度の両方に関係し、これらが単語認知の正確さに影響を及ぼすという 8.2節で述べた単語認知の処理仮説は、ほぼ妥当と考えることができる。

次に、認知正答率に対する表示パターンの効果を図 8.6 に示す。各パターンの認知正答率について、誤綴り単語に対しては表示パターンの効果に高度な有意差、また正綴り単語に対しては有意水準 10% で有意差が認められた。この表示パターンの効果については、正綴り単語、および誤綴り単語に、図 8.6 に示すように、共通な傾向がみられる。正綴り単語の認知に関して、文字認知の際に正答率の低かった 7×13 ドットパターンが、 16×16 ドットで構成される3つのパターンに対して、有意差が認められないほど正答率が向上したのは、コンテキストの影響が現われたものと考えられる。すなわち、この 7×13 ドットのパターンは、視覚情報の不明瞭な表示パターンであるために、コンテキストの利用量が大きく、概念駆動型処理の割合が大きくなり、正綴り単語に認知する傾向が強くなり、結果的に正答率が高くなったものと思われる。

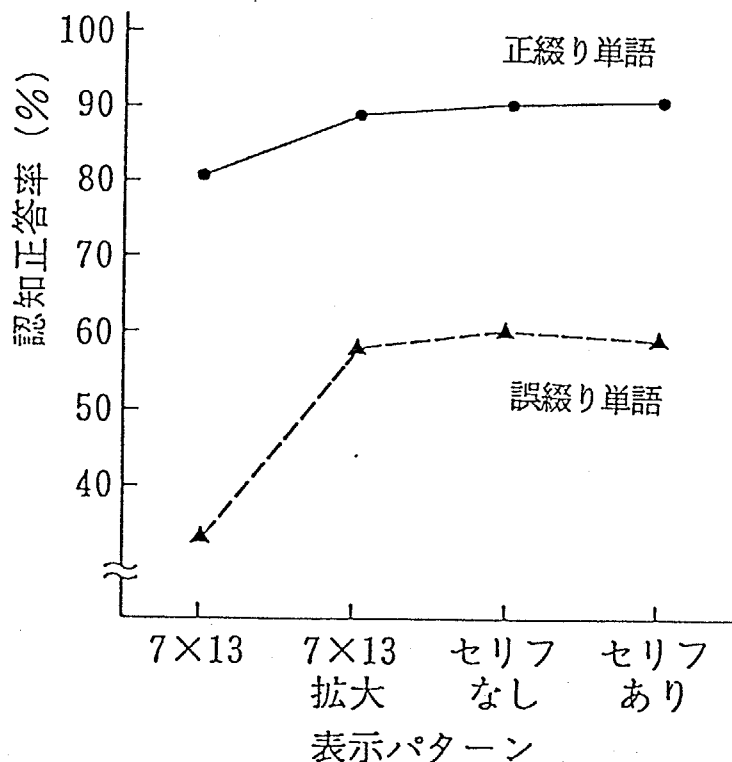


図 8.6: 表示パターンごとの認知正答率

全体的には、構成ドット数の少ない7×13ドットの表示パターンと比べ、16×16ドットで構成されている他の3つの表示パターンの正答率が高いことがわかる。しかし、16×16ドットの3つのパターンについてみると、第4章の文字認知のときは7×13ドット拡大パターンが、セリフあり、およびセリフなしパターンの2つより低い正答率を示していたのに対し、単語認知である本実験ではこれら3つのパターンに有意差は認められない(正綴り単語: $F_0(2, 12) = 0.24$; 誤綴り単語: $F_0(2, 12) = 0.06$)。このように、文字認知のときとその傾向が若干異なる。すなわち、同じ形状のパターンにおいて、1文字を内部表現するときと、数文字で構成された単語を内部表現するときでは、視覚情報の明瞭度が変化することが考えられる。

この理由の1つとして、単語においては複数の文字で文字列を形成しているため、実験におけるテスト文字の知覚に対して、隣接している文字が視覚的に妨害し[3]、視覚情報が曖昧になるという効果も考えられる⁸。たとえば、7×13ドット拡大パターンは、パターン1文字としてはそれほど見やすいパターンではないが、他のパターンよりは全体的に細長くできているために、隣接する文字との間隔が広く、文字列としては見

⁸この効果は、第5章で構築した“文字認知困難度モデル”における不要情報除去困難度からも示唆される。

表 8.5: 実験 8.2 における正綴り単語の認知時間の分散分析結果

要因	s.s.	d.f.	m.s.	F ₀
A(被験者)	32263.75	8	4032.97	81.06**
B(単語)	905.30	6	150.88	3.03**
C(パターン)	270.28	3	90.09	1.81
B × C	977.22	18	54.29	1.09
誤差	21990.87	442	49.75	
合計	57547.48	477		

** : 1%有意

やすくなることが考えられる。これについては§ 8.5.2で考察する。

8.4 単語認知時間への効果

8.4.1 単語認知時間実験(実験 8.2)

単語における視覚情報の明瞭度と、単語の持つコンテキストの認知時間に対する効果を明らかにするために、単語認知正答率実験(実験 8.1)と同様の設備を用い、単語認知時間実験(実験 8.2)を行う。認知時間として眼球の注視時間を測定するために、アイマーク・レコーダ(NAC V 型)を被験者に装着させ、実験を行った。被験者の中心視に視覚刺激を提示し、それを認知させ、実験 8.1 と同様に、キーの打鍵により、認知した単語を報告させるものである。ここで、視覚刺激が提示されてから認知し、キー操作のための下方向の眼球運動を起こすまでの注視時間を、認知に必要な処理時間として測定する。

被験者(A)として、眼鏡等の矯正を必要としない正常な視機能を有する本学男子学生 9 名(22 ~ 25 歳)を選んだ。視覚刺激である単語(B)は、表 8.2 に示した実験 8.1 で使用したもののうち、正綴り単語については、実験 8.1 と同一の 7 種類の単語、また誤綴り単語については、表 8.2 の中段に示した 7 種類の単語を使用する。表示パターン(C)としては、実験 8.1 と同様の 4 種類の文字セットを取り上げる。

実験は被験者をブロック因子として、上述の要因 B、および C の 2 因子に対して、正

表 8.6: 実験 8.2 における誤綴り単語の認知時間の分散分析結果

要因	s.s.	d.f.	m.s.	F ₀
A(被験者)	25971.32	8	3246.42	66.43**
B(単語)	626.26	6	104.38	2.14*
C(パターン)	300.54	3	100.18	2.05
A × C	1733.23	24	71.28	1.46
誤差	21263.56	434	48.86	
合計	51327.80	475		

* : 5%有意 ; ** : 1%有意

綴り単語, および誤綴り単語それぞれくり返し 2 回の全試行に対して, ランダムな順序で実施した. なお, その他の実験条件については実験 8.1 と同様である.

8.4.2 実験結果

正綴り単語, および誤綴り単語の認知時間をそれぞれ特性値とする分散分析を行い, そのプーリング⁹ 後の結果を, それぞれ表 8.5, および表 8.6 に示す. 正綴り単語, および誤綴り単語とも, 単語の違い(B)による効果に有意差がみられ, 提示する単語により認知時間が異なることを示している. この関係を詳しく調べるために, 図 8.7 に単語ごとの認知時間を示す. この図より, 正綴り単語, および誤綴り単語ともほぼ同様の傾向を示すことがわかる.

単語ごとにみると, 候補比較処理量の小さいと考えられている, すなわち形状が簡単で, 出現期待度の高い TYPE, AUTO といった単語の認知時間が短い. また, LONG, GIVE といった出現期待度は低い, 形状が簡単な単語も認知時間が短いことがわかる.

これらの単語に対して, 形状が複雑で, 出現期待度が小さく, 実験に使用した単語のうち, 最も候補比較処理量が大いと思われる NAME が, 最も認知時間が長い. また, SWIM, WHAT といった形状の複雑な文字に分類される単語が, NAME に続

⁹正綴り単語の解析においては, A × B, A × C, および A × B × C, また誤綴り単語の解析においては, A × B, B × C, および A × B × C の各交互作用項をプーリングした.

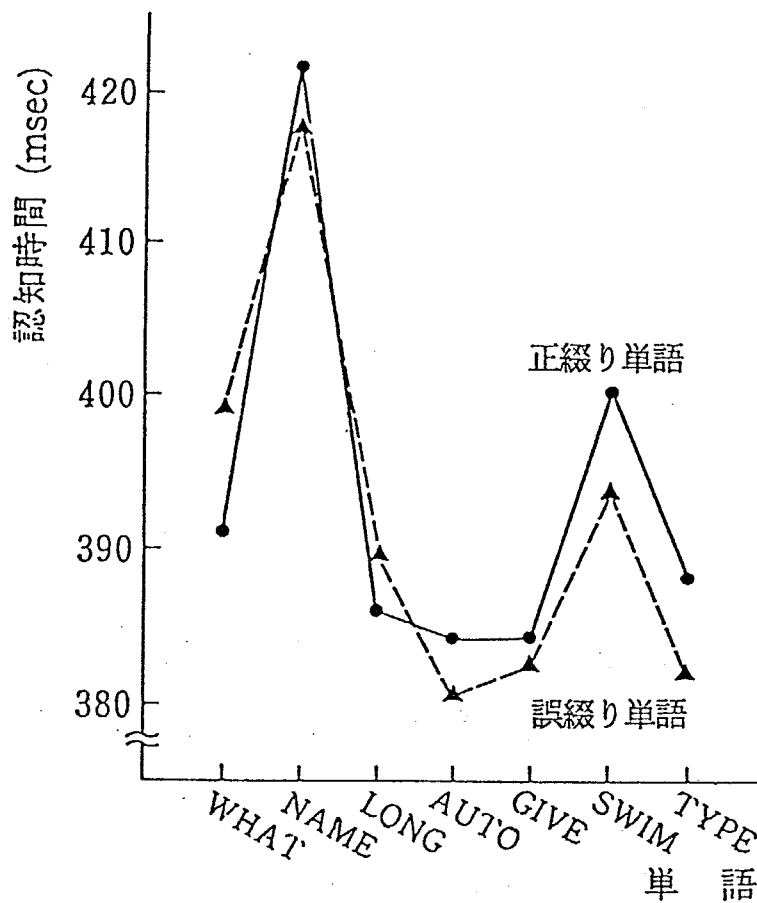


図 8.7: 単語ごとの認知時間

き, 認知時間が長いことがわかる.

以上, 単語認知において, 視覚情報の明瞭度とコンテキスト情報量の両方に関係する候補比較処理量により, 認知時間を説明できることがほぼ確認できた. また, この候補比較処理量に関しては, 認知正答率のときのコンテキスト情報量と視覚情報の明瞭度との関係と同様に, コンテキスト情報量より視覚情報の明瞭度の方が効果が大きいと思われる.

表示パターン(C)については, 正綴り単語, 誤綴り単語のいずれの場合にも, 有意差は認められない. これは単語認知の正確さと同様に, 隣接文字との間隔により, 各表示パターンの視覚情報の明瞭度に変化し, すべてのパターンともほぼ同程度の明瞭度になったためと考えられる.

表 8.7: 正綴り単語のコンフュージョン・マトリックス(%)

刺激 \ 応答	H	M	N	U	V	W	Y
H	71.3	11.3	16.3	0.0	0.0	1.3	0.0
WHAT	94.7	2.6	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0
M	45.0	33.8	18.8	0.0	0.0	2.5	0.0
NAME	0.0	94.4	2.8	0.0	0.0	2.8	0.0
N	21.3	22.5	50.0	0.0	0.0	6.3	0.0
LONG	12.8	30.8	48.7	0.0	0.0	0.0	0.0
U	16.3	2.5	3.8	75.0	0.0	2.5	0.0
AUTO	2.5	0.0	0.0	80.0	10.0	7.5	0.0
V	7.5	1.3	5.0	60.0	12.5	11.3	2.5
GIVE	0.0	0.0	0.0	27.5	72.5	0.0	0.0
W	26.3	17.5	18.8	13.8	0.0	23.8	0.0
SWIM	2.7	0.0	0.0	2.7	0.0	83.8	10.8
Y	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	97.5
TYPE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7	92.3

上段：文字認知 下段：正綴り単語の認知

8.5 考察

8.5.1 単語認知と文字認知の比較

単語認知に関しては、コンテキストを利用しているため、認知の際の混同の傾向が文字認知のときと大きく異なることが示唆された。文字認知と単語認知の混同の傾向の違いを詳しく調べるために、実験 8.1 における正綴り単語でのテスト文字と、文字認知に関する予備実験¹⁰ における刺激文字を対応させたコンフュージョン・マトリックスを表 8.7 に示す。また、誤綴り単語に関するコンフュージョン・マトリックスを表 8.8 に示す。実験で使用した 4 種類の文字セットについて、ほぼ同様の傾向がみられるため、ここでは代表して 7 × 13 ドットの文字セットの場合について示す。

¹⁰ 実験 8.1 と同様に視覚刺激を注視点の上方 3.0° に提示した実験。

表 8.8: 誤綴り単語のコンフュージョン・マトリックス(%)

刺激 \ 応答	H	M	N	U	V	W	Y
H	71.3	11.3	16.3	0.0	0.0	1.3	0.0
LO <u>H</u> G	40.0	20.0	35.0	0.0	5.0	0.0	0.0
M	45.0	33.8	18.8	0.0	0.0	2.5	0.0
W <u>M</u> AT	90.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N	21.3	22.5	50.0	0.0	0.0	6.3	0.0
N <u>A</u> NE	0.0	90.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U	16.3	2.5	3.8	75.0	0.0	2.5	0.0
G <u>I</u> UE	5.6	0.0	0.0	61.1	33.3	0.0	0.0
V	7.5	1.3	5.0	60.0	12.5	11.3	2.5
A <u>V</u> TO	0.0	0.0	0.0	75.0	10.0	15.0	0.0
W	26.3	17.5	18.8	13.8	0.0	23.8	0.0
T <u>W</u> PE	5.3	0.0	0.0	0.0	10.5	42.1	42.1
Y	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	97.5
S <u>Y</u> IM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.4	52.6

上段：文字認知 下段：誤綴り単語の認知

表 8.7に示すように、正綴り単語の場合は、LONGを除いて、表示情報を正しく認知する割合は、文字認知と比べ、単語認知の方がはるかに高いことがわかる。また、M(刺激) → H(応答), W → H, W → Nなどのように、文字認知のときに混同の比率の高かった刺激-応答の組合せについても、単語認知の場合はそのような混同はほとんどなくなることがわかる。

一方、誤綴り単語中のテスト文字の認知に関しては、表 8.8からわかるように、文字認知の際に混同の多い文字に誤認するというより、正綴り単語を形成する文字に混同する傾向が明らかに強いことを示している。たとえば、W → Y, Y → Wなどは文字認知のときは混同率0であるのに対し、TWPE, SYIMのように誤綴り単語を形成すると、半数近くはTYPE, SWIMという正綴り単語に誤認する。逆に、N → H, M → N, W → Nなどのように、文字認知のとき混同の多かった組合せでも、NANE, WMAT,

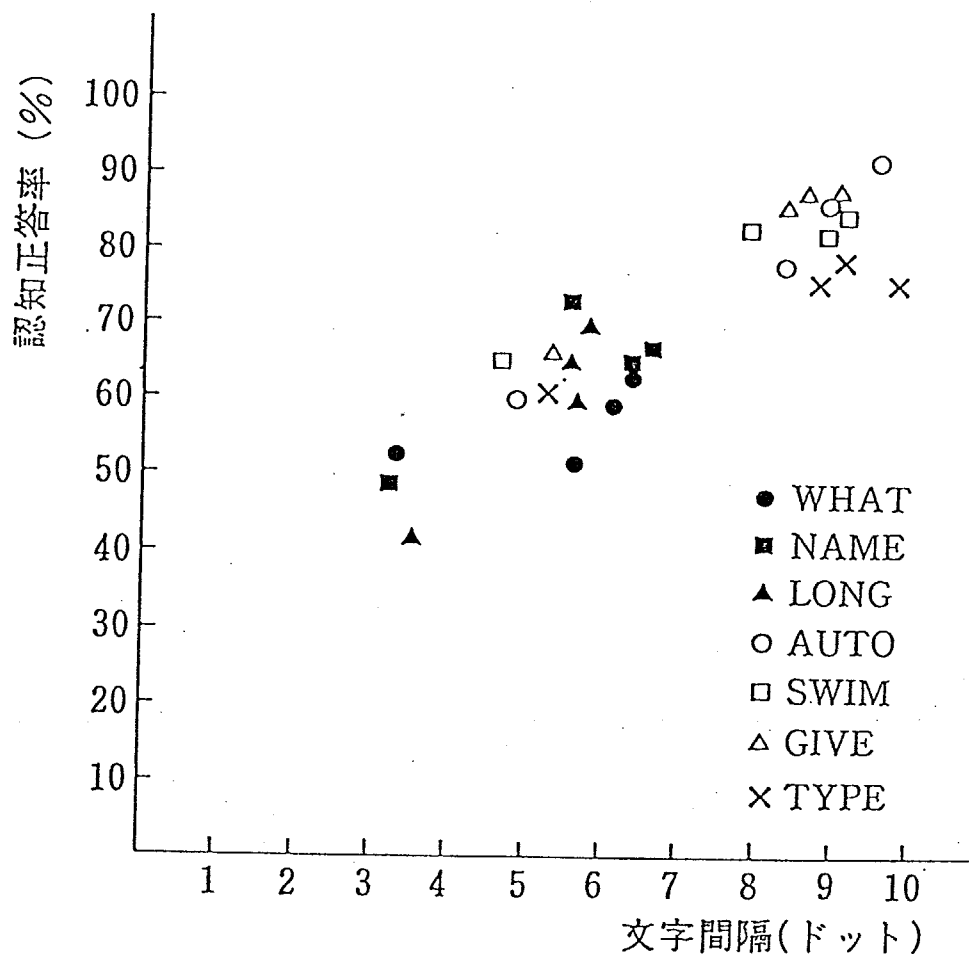


図 8.8: 文字間隔の単語認知の正確さに対する効果

TWPE などのような誤綴り単語になると, NAHE, WNAT, TNPE のような文字認知のときに混同が多かった方向には, まったく混同しないことがわかる。

8.5.2 単語認知における隣接文字の効果

実験 8.1 の結果より, 単語認知において認知の正確さに対する隣接文字, すなわち隣接する文字間のスペースの影響が示唆された。この影響を詳しく考察するために, 実験 8.1 のデータを用いて, 各単語について正綴り単語, および誤綴り単語全体の認知正答率と, 単語中のテスト文字に隣接する両側の文字との間隔の平均ドット数との関係を, 各単語, 各パターンごとに図示したものが図 8.8 である。全体の傾向としては, 隣接する文字との間隔が大きいほど, 単語認知の正答率は向上することがわかる。さらに詳しく各単語ごとにみると, ほとんどすべての単語について, 隣接する文字との間隔が増えるほど, 認知の正確さが増すことがわかる。

以上のように、単語認知の正確さに関しては、表示パターンの形状とともに、単語を形成する文字間のスペースも重要な要因となることが示唆され、このことも考慮に入れ、表示パターン、および視覚的情報の提示方法などを設計する必要があることがわかった。

8.6 結語

本章は、これまでの各章で対象としてきたデータ駆動型処理に対して、概念駆動型処理に焦点を当てた。本章では特に、第4章で明らかにした1文字を単独に提示したときの文字認知過程に対して、さらに表示情報の認知に際してコンテキストを利用できるといふ、現実のVDT作業により近い状況を設定した。このような視覚状況において、認知の正確さ、および処理時間に対するコンテキストの情報量と視覚情報の明瞭度の効果について、2つの実験により、以下の結論が得られた。

1. 単語認知の正確さに対するコンテキストの効果について、正綴り単語では認知に際してコンテキストを利用できるために、文字認知の場合と比べ、大幅に正答率が向上することがわかった。誤綴り単語に対しては、コンテキスト情報量が多く、視覚情報の不明瞭な単語ほど、コンテキスト利用量が大きく、概念駆動型処理に頼る傾向が強くなるために、正綴り単語に混同する比率が高くなることがわかった。
2. 単語認知時間に対するコンテキストの効果について、正綴り単語、および誤綴り単語ともに類似の傾向がみられた。すなわち、コンテキスト情報量が多く、視覚情報が明瞭な単語ほど、単語認知の候補比較・決定段階における処理量が小さくなるために、認知時間が短くなるという傾向が認められた。
3. 認知の正確さに対する表示パターンの効果について、文字認知の場合と同様に、構成ドット数の多い方が認知の正確さは増大するという結果を得たが、コンテキスト利用の効果のために、その傾向は文字認知の場合より小さいことがわかった。また、認知時間に対する表示パターンの効果については、文字認知のときの1文字の形状としては見にくいパターンが、数文字で形成される単語になると、たとえば文字間のスペースなどといったパターン形状以外の要因により、見や

すくなることが考えられ、有意な効果は認められなかった。この単語を形成する文字間のスペースの効果は、認知の正確さに対しても認められた。

以上の結果により、ヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用という立場から考えると、システムにおいて必要とする機器の操作の内容、性質などを十分考慮し、その操作の遂行に必要な表示方法、および情報入力方法などを、コンテキスト情報量と視覚情報の明瞭度の2つの特性から設計する必要性が示唆された。

たとえば、病院における外来患者の伝票照合業務[9]では、ディスプレイ画面にはほとんど誤りのない情報だけを提示できる。この業務はその情報に対して、オペレータはすばやく処理することが要求されるので、視覚情報が明瞭な、コンテキスト情報量の大きい情報を提示することが望ましい。

また、実際のプログラミング作業において、変数名などの誤りに気づかず、大きなバグ(bug)の原因になるということもよくある事実である。このような作業では、作業スピードはそれほど要求されないが、変数の綴りの誤りを見逃すことなく、確実に発見できることが要求される。この種の作業ではコンテキスト情報量が大きく、視覚情報の不明瞭な変数名などを用いるべきではない。すなわち、文字列内の1文字だけを何種類にも置き換えた識別子(identifier)は、もともになる単語または文字列の出現期待度が高くなり、コンテキスト情報量が大きくなるので、同一プログラム内では使用することを避けるべきである。

最後に、本章ではコンテキストを利用できる表示情報の例として、簡単な英単語を取り上げ、実験によりいくつかの認知特性を明らかにした。コンテキストを含む他の表示情報の例として、英単語だけでなく、カナ文字で形成された単語などに対しても同様の特性を示すと思われる。さらに、文章やプログラムなどに対しても同様の傾向を示すと思われるが、これらの情報は、情報の単位がさらに大きく、コンテキストの効果とともに、大きな情報を1つの記憶単位にまとめるという情報のチャンク(chunk)化[12]とも関連があり、これについては今後とも検討する必要があると考える。

参考文献

- [1] Anderson, J.R. : *Cognitive Psychology and Its Implications*, 21 ~ 59, W. H. Freeman, San Francisco, 1980.
- [2] Balota, D.A., Pollastek, A. and Rayner, K. : The Interaction of Contextual Constraints and Parafoveal Visual Information in Reading, *Cognitive Psychology*, 17, 364 ~ 390, 1985.
- [3] Bouma, H. : Visual Recognition of Isolated Lower-Case Letters, *Vision Research*, 11, 459 ~ 474, 1971.
- [4] Chase, W.G. : Visual Information Processing, In Boff, K.R., Kaufman, L. and Thomas, J.P. (eds), *Handbook of Perception and Human Performance* (Chapter 28), John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [5] Haber, R.N. and Schindler, R.M. : Error in Proofreading: Evidence of Syntactic Control of Letter Processing, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 7(3), 573 ~ 579, 1981.
- [6] Harvey, L.O. and Gervais, M.J. : Internal Representation of Visual Texture as the Basis for the Judgement of Similarity, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 7(4), 741 ~ 753, 1981.
- [7] 広津千尋 : 離散データの解析, 33 ~ 37, 教育出版, 1982.
- [8] Johnston, J.C. : Effects of Advance Precuing of Alternatives on the Perception of Letters Alone and in Words, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 7(3), 560 ~ 572, 1981.

- [9] 小松原明哲, 横溝克巳, 山本 栄, 野呂影勇: 2つのVDT作業における計算機応答速度の改変が作業者に与える影響について, *人間工学*, 21(4), 211 ~ 217, 1985.
- [10] Lindsay, P.H. and Norman, D.A. : *Human Information Processing (2nd ed)*, 489 ~ 492, Academic Press, New York, 1977.
- [11] Massaro, D.W. : Perception of Letters, Words and Nonwords, *Journal of Experimental Psychology*, 100(2), 349 ~ 353, 1973.
- [12] Miller, G.A. : The Magic Number Seven, Plus or Minus Two : Some Limits on Our Capacity for Processing Information, *Psychological Review*, 63, 91 ~ 97, 1956.
- [13] Morton, J. : Interaction of Information in Word Recognition, *Psychological Review*, 76(2), 165 ~ 178, 1969.
- [14] Oden, G.C. : Dependence, Independence, and Emergence of Word Feature, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 10(3), 394 ~ 405, 1984.
- [15] Östberg, O. : Accommodation and Visual Fatigue in Display Work, In Grandjean, E. and Vigliani, E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 41 ~ 52, Taylor & Francis, London, 1980.

第9章 結論

9.1 本論文のまとめ

本論文は、近年急増している VDT 作業に対して、そのヒューマン-コンピュータ-インタフェースに関して、人間特性に合致した設計、改善を行うための基礎資料を提供することを目的として、研究を進めてきた。本論文の主題は、次の2つにより構成されている。1つは、コンピュータ-システムなどを使用して、VDT 作業を行うときに、人間が行う視覚情報処理に関する特性、およびメカニズムを解明することである。他の1つは、ここで明らかになった人間の処理特性、および処理メカニズムを、VDT 作業、あるいはヒューマン-コンピュータ-インタフェースの設計へ応用できる形式にまとめること、そしてそれを応用する方法を提案することである。

本論文では、人間の視覚情報処理に関して解明すべき対象として、特にヒューマン-コンピュータ-インタフェース設計への応用の範囲が、最も広いと思われる視覚認知過程を取り上げた。以下、本節では本論文で得られた成果についてまとめる。また、9.2節では、本文中で述べるができなかった応用例を中心に、本論文の応用の範囲とその方法について簡単に述べる。さらに、9.3節では、本論文の範囲内では解決することのできなかった今後の課題について述べる。

(1) 認知過程の処理要素

本論文で対象とした認知過程には、さまざまな処理が含まれており、その処理特性、およびメカニズムの解明に際しては、この過程を形成する処理を適切に分割する必要がある。本論文では、ヒューマン-コンピュータ-インタフェース設計への応用という項目を考慮に入れ、従来の心理学、および生理学などの知見をもとに、認知過程を構成する基本的処理要素として、6つの処理を分類、定義した。

これらの処理は、(1) 表示情報の取り込み、(2) 視覚情報の生成、(3) 眼球運動の判

断, (4) 眼球運動のプログラミング, (5) 眼球運動, および(6) 認知情報への変換である。認知過程をこのように, 6つに分割することにより, 次に述べるような処理特性の解明, およびそのモデル化が容易に実現できた。

(2) 処理特性の解明

本論文では, ヒューマン-コンピュータ・インタフェース, あるいはこれを使用する VDT 作業を評価するときの特性として, 正答率, 混同率など, 作業の正確さを表わす特性と, 処理時間など, 作業の効率を示す特性の2つを取り上げた。これらの特性に対して, 認知過程を構成する6つの処理について, 実験により個々にその処理特性を解明していった。本論文では, 視覚認知過程に影響を与える要因として, ヒューマン-コンピュータ・インタフェースにおける画面フォーマット, 会話方式などの設計の際に, その設計項目として重要な, 表示情報の提示位置, および表示情報の形状などを取り上げ, これらの処理特性を明らかにした。以下, 各章で明らかにした処理特性を簡単にまとめる。

本論文では, 第3章で特に, 表示情報の取り込みと視覚情報の生成のプロセスに焦点を当て, 人間の視覚的特徴抽出の機能が明らかになった。この視覚的特徴抽出の機能は, 3つの視覚的特徴因子により説明することができる。これは, (1) 文字形状の広がり方向, (2) 文字を形成する垂直線分のバランス, および (3) 文字形状の概観の3つで構成される。これらの視覚的特徴因子は, 表示情報の種類, 人種などによらない, 共通的な因子であることがわかった。

さらに, 2文字間の誤認について, 文字 i を文字 j に誤認する頻度と, 文字 j を文字 i に誤認する頻度が異なるという, 文字混同の方向性の存在, およびその特性を明らかにした。この文字混同の方向性に関しては, より単純な形状の文字に誤認するといった傾向が, 視覚的特徴因子により説明することができた。

第4章では, 視覚情報の生成と認知情報の変換を, 解明すべき処理の対象として選択した。VDT 上に表示される情報は, ドット・マトリックスで形成される表示パターンであるということから, これらの処理に対して, ドット・パターンの形状と構成ドット数を要因として取り上げ, これらの要因の認知の正確さ, および処理時間に与える効果を明らかにした。その結果, パターンを構成するドット数がある程度多く, その形状がなめらかで, プロトタイプに近づくほど, 認知正答率は増加し, 認知時間は減少するという傾向がみられることがわかった。

第5章では、眼球運動を起こさず、その注視位置で情報を認知する場合を対象とした。このときの要因として、表示情報の提示位置を取り上げ、そのときの処理時間に対する効果を明らかにした。ここで、認知過程を構成する6つの処理のうち、その処理時間の大部分は、視覚情報の獲得に関するものであり、認知情報に変換する時間はわずかなのであることがわかった。また、この視覚情報の獲得と認知情報への変換に必要な処理時間の合計は、表示情報の位置にかかわらず、一定であることが認められた。このことは認知過程をモデル化する上で、非常に重要な特性である。

この章で要因として取り上げた表示情報の提示位置に影響を受ける処理は、主として眼球運動の判断である。この眼球運動の判断に関しては、注視点からの位置に対して、処理が最も困難な表示位置が存在し、その点から離れるに従い、近くても、あるいは遠くても、処理の困難度は減少するという特性が存在することがわかった。

第6章では、第5章で取り上げた眼球運動を起こさずに認知する場合を、通常のVDT作業などを行う場合と同様の眼球運動を伴い認知する場合に拡張した。要因としては、第5章と同様に、表示情報の提示位置を取り上げ、主として眼球運動の判断とプログラミングの処理を明らかにした。

第8章では、これまでの章で扱ったデータ駆動型処理における認知特性と異なり、概念駆動型処理に対する認知特性を解明の対象とした。ここでは、表示情報に含まれるコンテキストの効果と、このような情報を認知するときの視覚情報の明瞭度の影響を明らかにし、次のことがわかった。

認知の正確さに関しては、コンテキストの効果により、コンテキストを含まない情報の認知と比べて、正答率は大幅に向上する。しかし逆に、コンテキストの影響があるために、誤りを含んだ単語であっても、正しい綴りの単語に誤認する頻度が高くなるという傾向が認められた。また、認知時間に関しては、コンテキストの効果により、出現頻度、出現期待度などが大きい情報ほど、速く認知できる傾向が認められた。

(3) 処理メカニズムのモデル化

上記(2)で述べたように、実験により明らかになった処理特性を一般化し、さらにヒューマン-コンピュータ-インタフェースの設計へ応用が可能となるような形式にまとめるため、認知過程を構成する個々の処理に対して、そのメカニズムをモデル化した。以下、本論文の各章で構築したモデルについて、その内容を簡単にまとめる。なお、これらのモデルは実験データにより、その妥当性が検証されている。

第4章では、視覚情報の内部表現形式、認知情報への変換のメカニズムを段階ごとに比較操作段階、および文字決定段階についてモデル化した“ドット・パターン認知モデル”を構築した。これらのモデルは、パターン間の視覚的類似度を混同率として推定することができ、表示パターンの作成などに利用が可能である。このモデルは、文字の混同率だけでなく、パターンの違いによる認知時間の推定に対しても、使用できるとが確認された。

第5章では、文字認知における眼球運動の判断をモデル化した“文字認知困難度モデル”を構築した。このモデルは、表示情報の提示位置に対して、認知の困難さを、眼球運動の判断の困難さと、不要情報を取り除く処理の困難さの度合により、説明するものである。

第6章では、これまでの各章の知見と、心理学、および生理学における成果を総合して、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計への応用が可能な“視覚認知モデル”を構築した。このモデルは情報を表示する位置に関して、認知過程を構成する6つの処理の困難度を計算するものである。これにより情報の表示位置に対する認知時間を推定することが可能である。

(4) 人間特性の応用

本論文により解明された人間特性に関する成果をヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計へ応用する方法として、第6章で構築した“視覚認知モデル”の応用方法を、第7章で実例をもとに示した。ここでは、応用の対象としてメニュー検索システムの設計を取り上げ、視覚認知モデルを利用して、メニュー検索時間を推定した場合と、同様の検索作業を実験により行い、そのメニュー検索時間を測定した場合の時間値がかなり近い値を示していた。このようなことから、ここで提案するヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用方法の妥当性が認められた。

この応用方法はさらに、次の利点がみられる。すなわち、この方法を利用することにより、作業を構成する認知処理、眼球運動、および意味処理の各サブプロセスの処理時間を、個別に推定することができる。また、あらゆる場合を想定した作業時間の推定が可能であるので、作業設計の信頼性が増大するなどの効果がある。

9.2 本論文の成果の応用

9.2.1 視覚認知作業への応用

本論文は、その対象を主として VDT 作業など、ヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用を意図して、研究を進めてきた。このような装置、システムを使用して行う作業を構成する処理は、視覚系、中枢神経系の機能を中心とする視覚認知作業である。視覚認知作業は、VDT 作業だけでなく、たとえば航空機のコックピット内での操作、原子力プラント、装置産業などの大型プラントにおける監視、管理作業など、数多くの現場、組織において見受けられる。また、自動車の運転なども一種の視覚認知作業であり、われわれのまわりのあらゆる場で視覚認知作業が行われている。

これらのうち、特に原子力プラントでは、近年安全性に対する議論が非常に盛んである。この原子力プラントの制御においては、人間の作業ミスにより、事故を招くことが非常に多く、各企業、発電所ではヒューマン・エラーの防止を最も重要な問題と認識している[5]。このような問題に対して、ヒューマン・エラーを人間の認知処理の側面から分析し、人間の処理特性に合った装置、ならびに作業方法を設定していこうというアプローチが主流である。このようなアプローチは、本論文で提案するマン-マシン・インタフェース設計のアプローチと同じ考え方である。本論文の成果は、VDT 作業だけでなく、このような現場における視覚作業、およびシステムの設計にも応用が可能と考える。

本論文で明らかにした認知過程における人間の処理特性、および処理メカニズムのヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用については、章ごとにいくつかの応用例を挙げてきた。これらについてまとめると、以下に示す項目に整理することができる。

(1) 人間処理のモデル化

本論文で明らかにした人間の認知過程における処理特性、および処理メカニズムに関する成果を利用することにより、視覚認知作業を行うときの人間の処理をモデル化し、作業分析のツールとして使用することが可能である。特に、第7章で示したように、第6章で構築した“視覚認知モデル”を利用することにより、作業の分析だけでなく、作業の設計、評価にも適用が可能と考える。

(2) 表示パターンの作成と評価

第4章で得られたドット文字パターンの認知特性は、その結果自身がそのまま表示パターンの作成と評価のための指針になり得ると考える。また、この章で構築した“ドット・パターン認知モデル”を適用すると、文字パターンだけでなく、図形パターンに対しても、パターン間の誤認に対する混同率を推定することができ、パターンの定量的評価が可能となる。

(3) 視覚的表示情報の作成

本論文の成果は、上記(2)で述べた VDT 上に表示するパターンだけでなく、たとえば工場内の標識、プラントの計装パネル、制御パネルなど、あらゆる表示情報作成のための指針となり得る。これらに関する指針としては、第3章の視覚的特徴因子から、どのような形状の情報が見やすいかわかる。また、文字混同の方向性に関する特性から、誤認の傾向を推定することができる。ここで表示する複数の情報に対して、誤認したときの損失、あるいは事故の程度などから、情報 i を情報 j に誤認するときの損失を見積る。この誤認の方向性と誤認による損失の結果を利用して、表示情報を安全側に誤認する方向に、表示情報を作成することが重要である。

また、第4章の“ドット・パターン認知モデル”を適用することにより、上記(2)と同様に、パターン間の混同率の程度などを比較することができる。

(4) 画面フォーマットの作成

VDT 表示における画面フォーマット作成への応用方法は、第7章にその例を示したとおりである。そこで示したように、“視覚認知モデル”を適用することにより、どのような位置に、どのようなフォーマットで情報を提示すればよいのかを決定することができる。画面フォーマットの決定とともに、個々の表示位置に、どのような内容の項目を提示するかを決定することも、重要な問題である。これらを決定するとき、第8章で明らかにしたコンテキストの効果を考慮に入れ、ここでの成果を指針として利用することができる。これに関する応用例を、§ 9.2.2で簡単に紹介する。

(5) 入力方式の設計と評価

画面フォーマットの作成への応用と同様に、第7章“視覚認知モデル”を適用した応用方法の例を示した。ここでは、メニュー検索システムにおける階層構造の設計を対象として、入力方式への応用について述べた。この例のように、視覚認知モデルを用いて、人間がシステムを使用するときの作業モデルを作成することにより、メニュー検索方式だけでなく、コマンド入力方式、空欄記入方式など、他の入力方式[1]に対する設計にも、応用することが可能と考える。また、これらの入力方式を比較、検討することもできる。

このような入力方式を設計、評価するときには、概念駆動型処理による効果も十分考慮する必要がある。本論文の第8章で明らかにしたコンテキストの効果だけでは十分ではないが、たとえばコマンド入力方式におけるコマンド名の決定などに、ここでの成果が指針として利用できると思われる。

(6) VDT 作業への指針

本論文では、VDT 作業の評価項目を構成する作業の信頼度と効率を特性として、これらに影響を与えると思われるいくつかの要因を取り上げ、その人間特性を解明してきた。特に、誤認の少ない表示情報の提示方法などに対しては、ここでの成果そのものが、VDT 作業に対する指針になり得ると考える。

また、第8章の結語でも述べたように、設計、改善の対象となる作業の入力情報の特徴、およびその処理項目などを詳しく分析することにより、効率のよい作業を編成することも可能である。このときの指針として、第8章の成果であるコンテキストと視覚情報の明瞭度に関する効果を、利用することができる。

9.2.2 コンテキストの利用

(1) 意味的階層化技法

第7章で取り上げたメニュー検索システムの設計において、メニューの階層構造、画面フォーマットの設定などとともに、意味的構造化が重要な問題であることを述べた。ここでは、第8章で解明した概念駆動型処理におけるコンテキストの効果に関する成果を応用して、メニュー検索システムにおける各レベルのメニューを作成する意味的階層化技法について、簡単に説明する。

メニュー検索において、各レベルのメニューに対して、適切なアイテムを効率よく検索する方法として、第8章で得られた概念駆動型処理におけるコンテキストの効果に関する結果を応用すると、次のような考え方を導き出すことができる。すなわち、このようなメニューの必要条件として、各レベルのメニューは、コンテキスト情報量の多いアイテムにより構成されていなければならない。そのようなメニューを構成するためには、次に示す条件を満足する必要がある。(1) 通常よく用いる耳慣れた言葉による出現頻度の高い名称のアイテムを使用する。(2) 下位レベルの複数のアイテムを意味的に完全に統合するような概念を持つ、出現期待度の高いアイテムでメニューを構成する。このような条件を満たすメニューを機械的に作成する方法として、意味的階層化技法[3]が考案されている。

ここでは詳しい説明は省略するが、意味的階層化技法の概要は、次のとおりである。最下位のターゲット・レベルのエンド・アイテムからはじめ、以下各レベルのメニューの作成に対して、まったく同様な手続きを用いて、上位のレベルのアイテムを1段階ずつ、最上位のレベルまで形成していく。このようなメニュー形成過程を実現するために、各レベルで行う手続きは、次の3種類のルールにより構成される。(1) そのレベルにあるいくつかのアイテムを意味的に同質なグループに分類し、それらのアイテムに対する上位レベルのアイテムを生成するためのルール(統合ルール; integration rule). (2) ここで生成された上位レベルのアイテムを評価するためのルール(評価ルール; evaluation rule). (3) 上記(1), (2)のルールより作成されたメニュー階層に対して、さらに上位のメニューを作成する必要があるかどうかを決定するためのルール(ストップ・ルール; stopping rule).

統合ルールは、(a) 現在作成の対象としているレベルのアイテムに対して、意味的に同じグループに属するアイテムを比較的小さな単位(一応のめやすとして、3～5個程度のアイテム数)で統合し、これらのアイテムに対する1つ上位のレベルの暫定アイテムを作成するルール、(b) この暫定アイテムの持つ属性、性質を列挙するルール、および(c) これらの暫定アイテムの属性、性質から、さらに複数の暫定アイテムを統合し、新たな暫定アイテムを作成するルールの3つから成る。

評価ルールは、統合ルールにより作成された暫定アイテムに対して、その属性、性質などから、それが上位レベルのアイテムとして適切かどうかを評価する。適切と判断された場合は、その暫定アイテムを上位レベルのアイテムと決定する。また、適切でないと判断された場合は、上記の統合ルール(b)を使用して、さらにアイテムの統合を行

表 9.1: 意味的階層化技法の効果

		レベル1	レベル2	レベル3	合計
検索時間 (秒)	Miller[4]	3.22	1.98	0.91	6.11
	意味的階層化技法	2.31	1.37	1.02	4.70
検索エラー数 (個)	Miller[4]	18	2	0	20
	意味的階層化技法	1	0	0	1

い、再び評価ルールを適用する。現在対象としているレベルに存在するすべてのアイテムを、このような方法によりいくつかのグループに統合し、これらのアイテムに対して、その1つ上位のアイテムがすべて作成できた時点で、このレベルのメニューの作成は終了する。

ストップ・ルールは、メニュー階層化の終了を次に示す基準で判断する。すなわち、(a) 現在のレベルを構成するアイテムの数が、決められたメニュー画面内に収まっているか、(b) さらにアイテムの属性、性質などから、上位レベルのメニューとしてアイテムを統合する必要があるかどうか、検討することにより、メニュー階層化の完成を判断する。

(2) 意味的階層化技法の効果

意味的階層化技法の有用性を評価するために、第7章で述べたメニュー検索作業と類似の実験を行った。実験は、この分野の先駆的研究である Miller[4] において使用された64個のエンド・アイテムを含むメニューを、日本語版に翻訳したものと、これと同じエンド・アイテムに対して、意味的階層化技法を適用して作成したメニューの2つを用意した。なお、どちらのメニューとも階層数は3である。これらのメニューに対して、5名の被験者を用いて、各々20個のターゲットを検索したときの検索時間と検索エラーを測定した。

実験の結果を表 9.1にまとめる。総メニュー検索時間(各レベルでの検索時間の合計; 表 9.1の“合計欄”)については、Miller[4]のメニューが、平均6.11秒であるのに対し、意味的階層化技法によるメニューは4.70秒であり、この方法で作成されたメニューが明らかに効率よくターゲットを検索することができることを示している。なお、この検

索時間を特性値に、被験者、メニューの種類、レベルを要因とした3元配置の分散分析を行った結果、ここで着目しているメニューの種類に、高度な有意差($F_0(1, 8) = 7.06$)が認められている。

検索エラーに関しては、Millerのメニューでは、最も抽象化レベルの高い最上位のレベル1において、数多くのミスをしているのに対し、意味的階層化技法により作成したメニューの検索では、ほとんどエラーを起こさず、正しく検索できていることがわかる。

ここでの実験結果は解析のほんの一端であるが、メニュー階層作成に関する意味的階層化技法の有用性が検証できたと考える。概念駆動型処理におけるコンテキスト利用の効果の応用方法として、ここで紹介した意味的階層化技法は、その1つの例でしかないが、このようなことから、本論文の成果のヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用性が示唆される。

9.3 本論文における今後の課題

本論文の中心課題は、人間処理の解明と、そのヒューマン-コンピュータ・インタフェース設計への応用である。人間処理の解明に関して、本論文ではデータ駆動型処理を中心に論じ、概念駆動型処理を対象とした人間特性に関しては、第8章で扱ったコンテキストの効果だけであった。また、作業を評価する処理特性について、本論文では作業の信頼度と作業の効率を取り上げ、作業による疲労については取り上げなかった。

以上のように、本論文には今後の課題として、いくつかの問題が残されている。各章において、さらに検討しなければならない詳細な項目はいくつかあるが、本論文における今後の課題としては、次の3つの内容に集約される。

(1) 作業分析手法の確立

本論文で解明した視覚認知過程における人間の処理特性、ならびに処理メカニズムを、ヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計に応用する方法として、第7章でメニュー検索システムを例にとり、“視覚認知モデル”の適用方法を示した。この方法に代表されるように、本論文で提案する人間特性に合ったヒューマン-コンピュータ・インタフェースの設計方法は、解明された人間の処理モデルを利用して、そのシステムを使用して作業を行うときのモデル(作業モデル)を作成し、それによりシステムの評

価を行うというものである。

この方法を可能にするためには、設計、改善の対象となる作業を詳細にモデル化する必要がある。この作業モデルの構築を精度よく、効率的に行うためには、本論文で対象としている意味的、認知的処理を多く行う視覚認知作業に対する分析手法を確立する必要がある。これが、本論文における最も大きな今後の課題である。

(2) 意味的処理の解明

本論文は、成果の適用範囲という点から、人間の視覚認知過程を解明すべき対象として選択した。VDT作業においては、この認知過程は必須の処理であるが、この認知過程の後に各作業に固有な意味処理過程があり、これらで1つの処理サイクルを形成している。本論文では、概念駆動型処理における特性も含めて、この意味処理過程の人間特性の解明を、ほとんど対象とすることができなかった。

このような理由で、第7章におけるメニュー検索作業のモデル化において、この意味処理に対しては、Card, et al. [2]の“Model Human Processor”を利用した。このモデルは、構成が単純でモデルの記述は簡単であるが、その反面すべての認知サイクルを同一の時間値により計算するといったように、精度の荒い方法である。そのため、作業時間を正確に推定することができないといったことが起こってしまう。

以上のように、視覚認知作業における意味処理のメカニズム、および処理特性の解明、さらにそのヒューマン-コンピュータ・インタフェースへの応用方法の確立が、今後の課題として残されている。

(3) 作業による疲労の解明

VDT作業など、視覚認知作業における疲労の問題に関しては、第1章でも述べたように、疲労の測定方法さえ確立されておらず、この問題自身が1つの大きな研究分野である。そのため、本論文ではこれを取り上げて、人間特性を論ずることはできなかった。しかし、現実の問題として、VDT作業の視覚系、中枢神経系への影響が注目を浴びており、今後解明すべき問題であることにかわりない。

参考文献

- [1] Cakir,A. : Toward an Ergonomic Design of Software, *Behaviour and Information Technology*, 5, 63 ~ 70, 1986.
- [2] Card,S.k., Moran,T.P. and Newell,A. : *The Psychology of Human-Computer Interaction*, 23 ~ 97, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1983.
- [3] 蒲谷 孝 : 意味構造を考慮したメニュー検索方式の設計方法に関する研究, 昭和61年度東京工業大学修士論文, 1987.
- [4] Miller,D.P. : The Depth/Breadth Tradeoff in Hierarchical Computer Menus, *Proceedings of the Human Factors Society, 25th Annual Meeting*, 296 ~ 300, 1981.
- [5] (財)原子力工学試験センター : 実用原子力発電所ヒューマンファクター関連技術開発に関する調査報告, 1988.

謝辞

終わりに臨んで、学生時代から今日に至るまで、懇篤なご指導いただき、また本研究を遂行するにあたり、終始温かいご助言とご鞭撻をいただいた東京工業大学秋庭雅夫教授、ならびに圓川隆夫教授に心からの感謝の意を表します。また、日頃からのご指導を賜り、さまざまご配慮と励ましの言葉をいただいた東京工業大学工学部経営工学科の諸先生に厚く御礼を申し上げます。

さらに、実験の実施、およびプログラムの作成など、本研究の一部に直接の援助をしていただいた秋庭・圓川研究室の卒業生の Ang Khoon Chye, 暦本文哉(現在、三菱銀行)、蒲谷 孝(現在、日本経済新聞社)の諸君に、心からお礼を申し上げます。

なお、本論文中の第3章“視覚的特徴抽出に関する共通因子”、第4章“視覚形状に対する処理特性と認知メカニズム”、第6章“VDT 作業における表示情報設計のための視覚認知モデル”、および第8章“認知過程におけるコンテキストの効果”の一部は、昭和61年度文部省科学研究費補助金奨励研究(A)(課題番号61780032)、また第5章“表示位置に対する処理特性と眼球運動判断メカニズム”の一部は、昭和61年度文部省科学研究費補助金一般研究(B)(課題番号59450068; 研究代表者: 東京工業大学 黒澤一清教授)の助成であることを付記し、謝意を表します。

1988年12月

伊藤 謙治

付録

目次

A1	視覚認知作業における精神疲労測定方法	198
A1.1	序	198
A1.2	チャネルキャパシティ減衰モデルによる疲労測定	199
A1.3	データ入力型作業への適用(実験 A1.1)	204
A1.4	対話型作業への適用(実験 A1.2)	209
A1.5	騒音下での VDT 作業への適用(実験 A1.3)	212
A1.6	提案方法の評価	215
A1.7	結語	220
A2	人間処理のモデル化(“Model Human Processor”)	222
A2.1	“Model Human Processor”の概要	222
A2.2	知覚システムのモデル化	225
A2.3	運動システムののモデル化	225
A2.4	認知システムののモデル化	226
A2.5	“Model Human Processor”の応用例	227
	参考文献	230

A1 視覚認知作業における 精神疲労測定方法¹

A1.1 序

本論文で応用の対象として扱っている VDT 作業は、第 1 章で述べたように、作業の効率、正確さ、および作業による疲労など、多面的に評価する必要がある。しかし、本論文ではこれらの評価特性のうち、特に作業の効率と正確さの面から、人間特性を論じてきた。作業による疲労を論じなかった主な理由としては、現在のところ、VDT 作業における疲労発生のメカニズムは、あまりよくわかっていないということが挙げられる。すなわち、現在のところ疲労を測定する方法さえ、確立されていない。ここでは、このような視覚認知作業における疲労研究の現状から鑑み、VDT 作業などの視覚認知作業に関する精神疲労の測定法の試みについて論じる。

VDT 使用に対する視覚系の疲労に関して、従来の研究では疲労測定法として、眼球の調節時間[12]、調節運動[13]の測定、および近点距離[12]がよく用いられているが、他に眼球運動時間[16]、まばたき率(blink rate)[27]、視力測定[4]なども行なわれている。これらの疲労測定法のうち、現在では特に眼球の調節時間がよく用いられ[12,14,20,24]、眼疲労の測定方法として定着しつつある。しかし、通常の VDT 作業では、平面的なディスプレイ画面を注視して作業を行っており、この方法で測定する奥行き方向の調節機能、輻輳(convergence)を行うことはごくわずかであるという問題点がある。従来報告されている研究の中にも、この調節時間を用いることにより、作業により疲労の影響を感度よく検出できないものもある[7]。

精神疲労を含む、中枢神経系の疲労測定法としては、疲労感、イライラなど、作業

¹本章の内容の一部は、伊藤謙治、圓川隆夫、秋庭雅夫：“視覚認知作業におけるチャネルキャパシティの減衰に基づいた精神疲労測定方法”として、日本人間工学会誌に投稿中である。

者の自覚症状の調査によるものが多い[6,8,9]。この方法は作業者の主観的評価に頼るものであり、結果の客観性に欠けるという問題点が存在する。この自覚症状の調査とともによく用いられる精神疲労の測定法に、CFF(Critical Flicker Frequency)がある。CFFは大脳皮質の覚醒水準を示す尺度と言われ、簡単な測定で検査することができるが、生理学的、および測定上のいくつかの問題点が指摘されている[11]。このように、現在行われている視覚認知作業に対する疲労測定法にはいくつかの問題点があり[17]、疲労を客観的に検出できるような測定法の確立が急務となっている。

中枢神経系の機能は知覚、認知などの比較的単純なものから、言語、思考など高次精神機能まで広くわたっている。このことも中枢神経系の疲労を理解しづらいものになっている原因と思われる。このように複雑な中枢神経系の疲労に対して、疲労のメカニズムを想定することにより、これに従った比較的単純な方法により測定することが、ここで目指す疲労測定方法である。

ここでは、単一チャネル説[1]を適用したチャネル・キャパシティ減衰モデルを疲労発生の心理学的根拠とし、これに基づき、チャネル・キャパシティの減衰により、疲労を測定する方法を提案することを目的とする。ここでは、VDT作業を代表とする視覚認知作業における中枢神経系の疲労に対して、このような疲労測定方法を実際のVDT作業に適用し、その結果から提案する疲労測定法の妥当性を評価する。

A1.2 チャネル・キャパシティ減衰モデルによる疲労測定

A1.2.1 チャネル・キャパシティ減衰モデル

ここで提案する疲労測定方法について、その心理学的根拠となるチャネル・キャパシティ減衰モデル(Channel Capacity Attenuation Model)を、図 A1.1 をもとに説明する。Broadbent[1]の単一チャネル説(Single Channel Theory)を適用すると、VDT上に表示された情報に対する人間の情報処理過程は、以下のように仮定することができる。

VDTに表示された情報は、感覚器である眼から取り込まれ、さらにチャネル(channel)を経由し、理解、判断など、知的・認知的処理を制御する認知処理器(cognitive processor)に入る。ここで、情報の通り道であるチャネルは、処理量に限界があり(この限界処理量をチャネル・キャパシティ(channel capacity)という)、すべての情報を通過させるのではなく、必要な情報を選択して通過させる。このチャネルを通過できた情報に対し

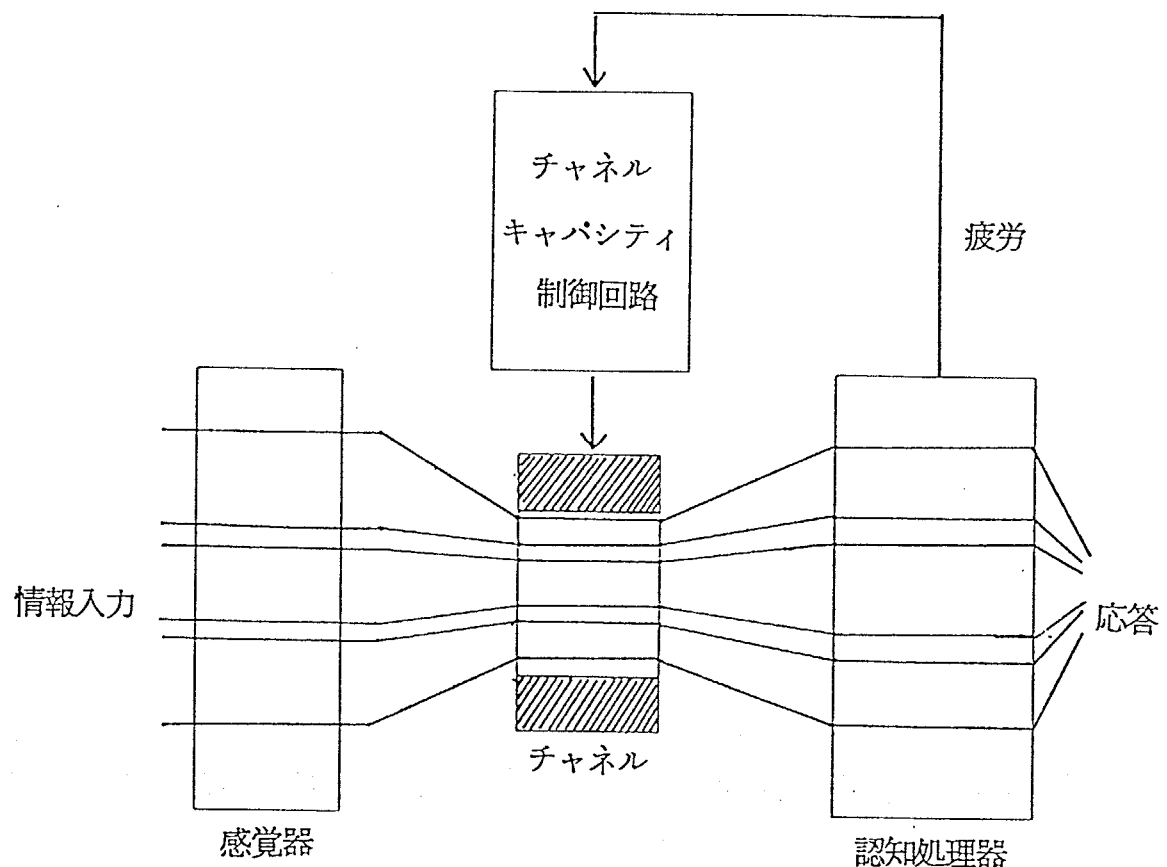


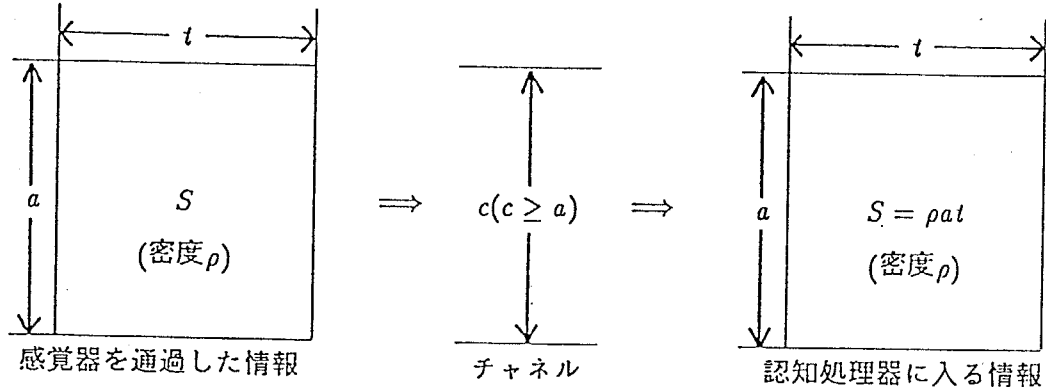
図 A1.1 チャンネル・キャパシティ減衰モデル

て、この認知処理器において、さまざまな処理が行われ、応答を出力する[1]。

このように、チャンネルを通過して、認知処理器に入力された情報は、そこですべての知的・認知的処理が行われる。ここで、VDT 作業の状況を考えると、作業の経過とともに、中枢神経系である認知処理器の負荷が増大してくる。このような状態においては、認知処理器は入力されるすべての情報に対する適切な処理、制御ができなくなり、処理すべき外部環境からの情報による負荷の増大に対する適応制御のために、自己制御回路が働き、チャンネル・キャパシティを減少させ、入ってくる情報量、すなわち認知処理器で処理する情報量を減少させる。チャンネル・キャパシティ減衰モデルでは、この自己制御回路をチャンネル・キャパシティ制御回路と呼び、この制御回路がチャンネル・キャパシティを減少させた状態を、ここでは中枢神経系の疲労と考える。

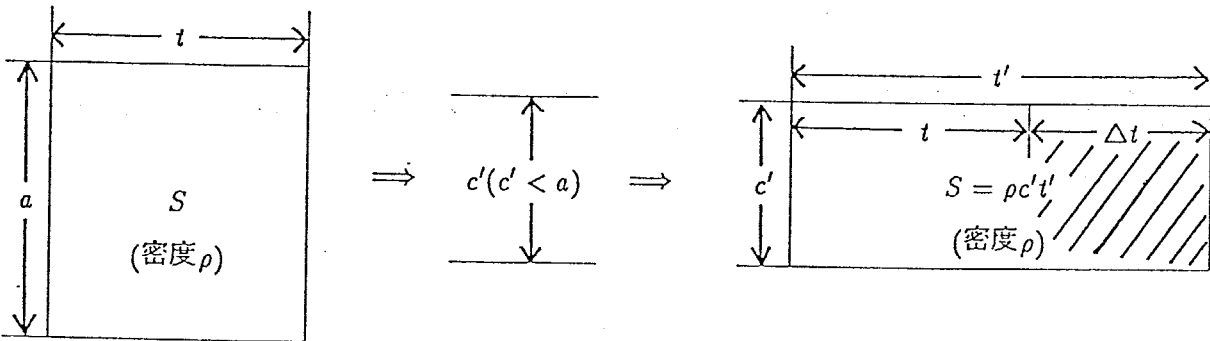
疲労によりチャンネル・キャパシティが減少した状態で作業を続けると、その作業に必要な情報がチャンネルを通過できず、作業エラーが増加するなど、チャンネル・キャパシティ減衰モデルから、現実の VDT 作業で発生する現象を説明することができる。

(a) 疲労前

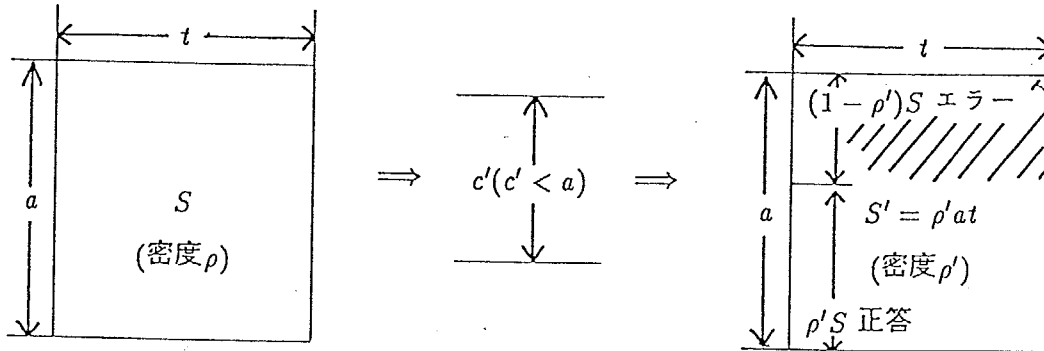


(b) 疲労後

(1) 形態1 : 処理時間の増大



(2) 形態2 : 処理エラーの増加



S, S' : 処理すべき情報

a : 単位時間当りの処理必要量

ρ, ρ' : 情報の密度(通常 $\rho = 1$; $\rho' < \rho, a\rho' = c'$)

t, t' : 処理時間($t' = t + \Delta t$)

c, c' : チャンネル・キャパシティ($c > c'$)

図 A1.2 チャンネル・キャパシティによる疲労測定法概念

A1.2.2 疲労測定方法

§A1.2.1で述べたように、ここでは中枢神経系の疲労の尺度として、チャンネルキャパシティの減少を取り上げ、このチャンネルキャパシティに基づく疲労測定方法の概念を図A1.2に示す。入力情報量 S (単位時間当りの処理必要量 $a \times$ 処理時間 $t \times$ 情報密度 ρ)の疲労測定タスクを考える。疲労前のチャンネルにおいては、チャンネルキャパシティ c が測定タスクの単位時間当りの処理必要量 a より大きい($c \geq a$)ので、時間 t でこの測定タスクを正確に処理することができる。

数時間の作業後においては、疲労のためチャンネルキャパシティが c' ($c' < a$)に減少し、疲労前には通過できた測定タスクの情報量 S が、完全な状態でチャンネルを通過できない。この状態において、チャンネルを通過する形態は図A1.2に示すように、主として2通りが考えられる。その1つとしては、測定タスクの単位時間当りの処理必要量(a)をチャンネルキャパシティ(c')に合わせ、全情報量 S ($S = \rho t' c'$)を通過させる場合で、これにより処理時間は Δt だけ増大する。

他の1つは、処理時間 t の間に、チャンネルを通過できる情報量 S' ($S' = \rho' a t$)だけを通させる。すなわち、処理時間 t の間に、単位時間当りの処理必要量(a)でチャンネルの情報を通過させると、疲労前と同じ情報密度 ρ (通常、 $\rho = 1$)で通過することはできず、その密度は ρ' (ただし、 $\rho' = c'/a$; $\rho' < \rho$)に減少する。ここで、チャンネルを通過する情報量が処理の正確さに関係すると考えられる。すなわち、疲労前の完全な情報量 S と比べ、疲労後はその情報量が ρ'/ρ に減少し、疲労前と比べ $(1 - \rho')$ の比率で作業エラーが発生すると考えられる。

VDT作業による疲労に関して、これらのいずれの形態をとるにしても、チャンネルキャパシティそのものを直接測定することはできない。しかし、単位時間当りの処理必要量(a)が疲労後のチャンネルキャパシティより大きい($c' < a$)測定タスクを選ぶことにより、式(A1.1)、および式(A1.2)に示すように、測定タスクにおける処理時間、または処理エラー(作業正答率)の増加率の測定から、チャンネルキャパシティの減少率(変動率) r を推定することができる。

$$\frac{t - t'}{t'} = \frac{\frac{S}{c} - \frac{S}{c_0}}{\frac{S}{c_0}} = \frac{c' - c}{c} = r \quad (\text{A1.1})$$

$$\frac{\rho' S - \rho S}{\rho' S} = \frac{\frac{c_0}{a} - \frac{c}{a}}{\frac{c_0}{a}} = \frac{c' - c}{c} = r \quad (\text{A1.2})$$

以上述べた方法で、チャンネル・キャパシティの変動率を正確に、感度よく測定するためには、単位時間当りの処理必要量(a)の観点から、適切な測定タスクを設定する必要がある。このような測定タスクを理論的に探し出すことは現在のところ不可能である。そこで、ここではこのような測定タスクを実験的に探索する。

前述したとおり、ここで提案するチャンネル・キャパシティに基づく疲労測定法としては、(1) 処理時間の増大、および(2) 処理エラーの増加を測定する方法の2つが考えられる。処理時間を正確に計測するためには、アイマーク・レコーダを装着するなど、測定に必要な時間が長くかかり、その解析も簡単ではない。そこでここでは、処理エラーの増加により、チャンネル・キャパシティの変動を測定する方法を選択する。

人間の視覚認知処理に関して、チャンネル・キャパシティの大きさに対応するように、測定タスクの単位時間当りの処理必要量を設定するためには、認知の際に生成される視覚情報[10]を不明瞭にし、認知処理に適当な負荷をかけることにより実現できる。この方法には主として、(a)刺激提示時間を制限する、(b)刺激提示位置を中心視から離すという2つが考えられる。これらの方法を応用した測定法の画面表示例を、図 A1.3 に示すとともに、その概要について以下に述べる。

測定法1(提示時間を制限した認知)： 中心視(foveal vision)に短時間文字刺激を提示し、これを認知させ、その認知正答率を測定するものである。この測定法では、文字刺激を人間の視覚情報の取り込みに関する処理限界の10msec[23]の間提示し、その提示時間後残像を防ぐために、マスキング・パターンを提示する。この測定法では、表示する文字の品質により、単位時間当りの処理必要量が変化すると考えられるので、表示パターンを要因として、 5×7 、 7×13 、および 16×16 ドットの3水準を取り上げる。これら3つのパターンに対して、文字の混同を起しやすくするために、第3章の結果から類似の視覚的特徴を持つH, N, M, W, U, V, Yの7文字を選択し、これらをランダムに提示する。

測定法2(近中心視による認知)： 測定法1が刺激提示時間を制限するのに対し、この方法は視力の弱まる近中心視(parafoveal vision)に刺激を提示することにより、単位時間当りの処理必要量をコントロールし、同様に認知正答率を測定するものである。この方法では刺激提示位置が要因となり、注視点からの角度 4.6° 、 5.3° 、 6.1° 、 6.8° および 7.6° の5水準を取り上げる。この測定法では、(C, G)、(C, O)などの視覚的特徴が類似している11組の英大文字2文字の組合せを視覚刺激と

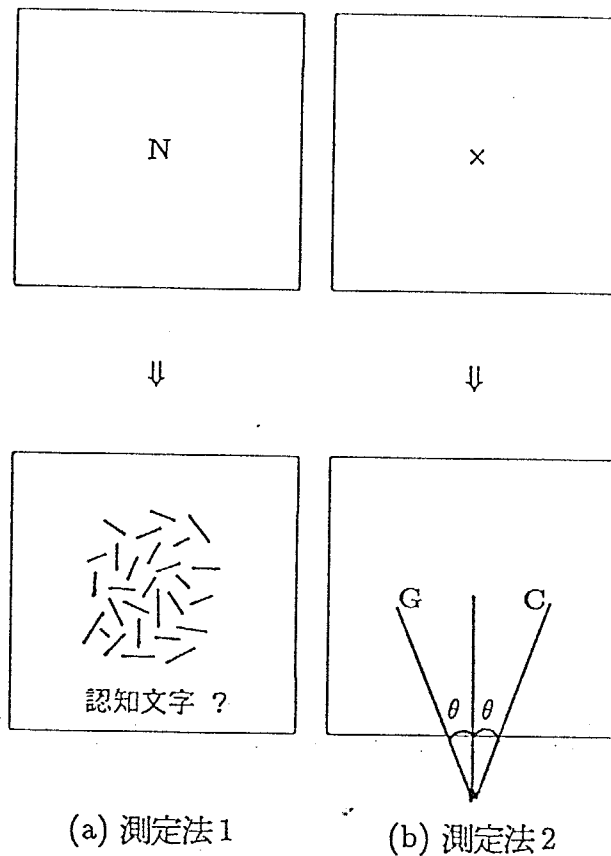


図 A1.3 疲労測定法の画面表示例

して使用する。

A1.3 データ入力型作業への適用(実験 A1.1)

A1.3.1 実験方法

VDT 作業は、データ入力型(data entry)作業と対話型(interactive)作業に分類することができる[18]。本節では提案するチャネル・キャパシティに基づく疲労測定方法を評価するために、これらの作業のうち、データ入力型作業を取り上げ、この作業に提案する疲労測定法を適用する実験(実験 A1.1)を行う。

(1) 被験者

本実験では、眼科的疾患のない正常な視機能(視力 0.9 以上)を有する本学の男子学生 5 名(23 ~ 25 歳)を用いた。被験者のうち 1 名は、眼鏡等により近視を矯正した者

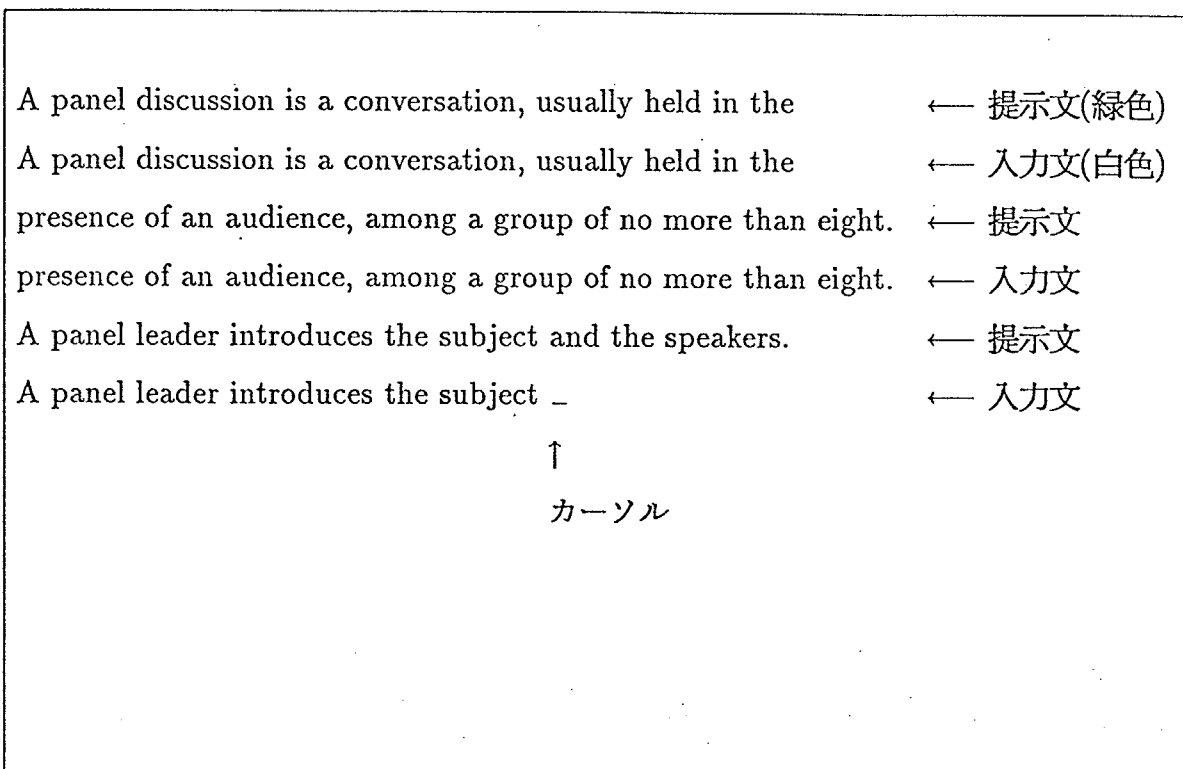


図 A1.4 タイピング作業中のディスプレイ画面

(矯正視力0.9)であり、残り4名は全員眼鏡などの矯正を必要としない者である。なお、実験前日の睡眠時間は全員普段の生活と同様であることを確認して、実験を実施した。

(2) タイピング作業

本実験では実施するデータ入力型作業の例として、タイピング作業(typing task)を取り上げる。タイピング作業では通常、原稿や書類など、キーボードから入力する情報は、机上に置かれているが、本実験ではA1.4節の視覚探索作業における結果と比較するために、画面注視の比率を両者が同程度になるように、制御する必要がある。このような条件を満足するように、作業中のディスプレイ以外への視線の移動を避けるため、図A1.4に示すようにディスプレイ上に緑色で提示し、その下の行に同じ内容の文章を行単位で入力する。

(3) 疲労測定

実験の作業前後に行なう疲労測定に関して、§A1.2.2で述べたように、測定法1においては、表示パターン(C: 3水準)、測定法2においては、刺激提示位置(注視点からの角

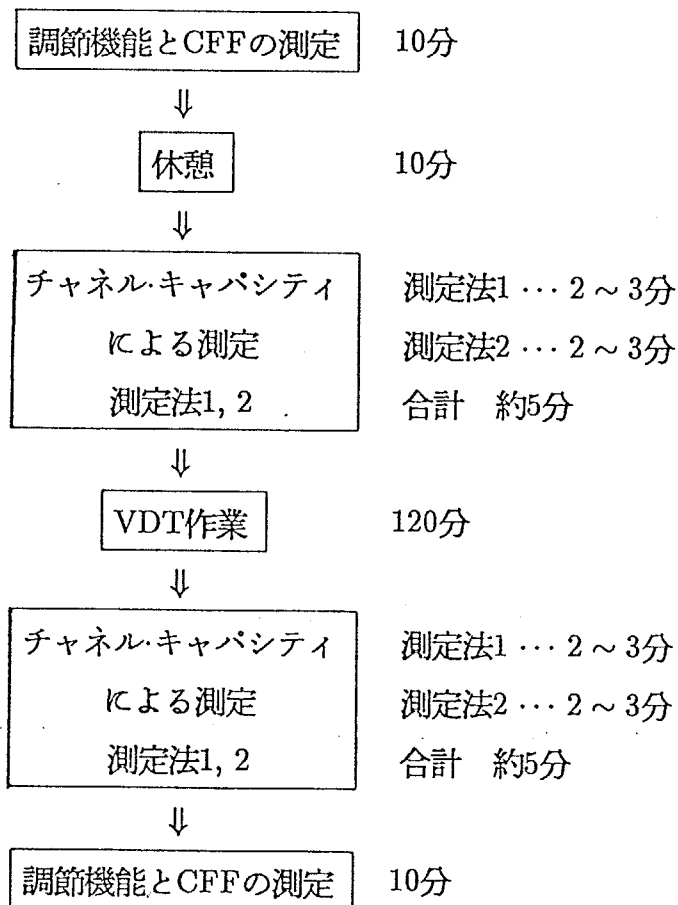


図 A1.5 実験手順

度; C: 5 水準)を実験因子として取り上げ, 1 回の測定タスクにつき, それぞれ 42 回(測定法1: 7 文字 $\times$ 3 水準 $\times$ 繰り返し 2), および 55 回(測定法2: 文字の組合せ 11×5 水準)の試行を行う。

本実験では提案する 2 つの測定法とともに, 従来の研究でよく用いられている眼球の調節時間(緊張時間と弛緩時間), 近点距離, および CFF 値を疲労の尺度として測定した。これらの測定は作業前後の各時点における各 5 回の測定値の平均値を特性値として解析に用いた。

これらの疲労測定とあわせて, 作業の経過時間とともに変化する作業中のパフォーマンスに関して, 単位作業時間当りのキーストローク数(キーストローク数/秒), および単位キーストローク当りのエラー数(エラー回数/キーストローク数)を, それぞれタイピング率, エラー率として測定した。

表 A1.1 タイピング作業におけるチャンネル・キャパシティの分散分析結果

(a) 測定値(正答率)		(b) 変動率		
要因 測定法	作業前/後(B)	要因 測定法	被験者(A)	表示パターン(C) 刺激提示位置
測定法1	65.146**	測定法1	5.689*	3.787†
測定法2	10.093**	測定法2	0.611	0.268

表内の数値はF値。 †: 10%有意; *: 5%有意; **: 1%有意

(4) 実験手順

実験におけるタイピング作業と提案する疲労測定は、パーソナル・コンピュータ(NEC PC-9801E)と、これに接続された14インチ・カラー・ディスプレイ(NEC PC-8853N; 640×400ドット)により行った。ディスプレイ上に提示する文字は、輝度平均 $50\text{cd}/\text{m}^2$ 、ネガ表示で提示した。また、実験はタイピング作業、疲労測定を通じて、VDTの推奨照度[19]に従い、水平面照度 220lux 、垂直面照度 150lux の実験室内において、天井灯、自然光の反射の影響の少ない位置にディスプレイを設置し、視距離 45cm で行った。なお、室内の音圧レベル(騒音レベル)は平均 $55\text{dB}(A)$ であった。

実験は作業、および疲労測定法に対する習熟効果を取り除くために、前日に十分な練習を行った後、サーカディアン・リズムの影響を排除するために、すべて同一の時間帯(午後1:30～5:00)に、図A1.5に示す順序で行った。

A1.3.2 実験結果

測定法1, 2における認知正答率を特性値として、被験者(A)、作業前/後(B)、および測定法に固有の変動要因(C;測定法1では表示パターン、測定法2では刺激提示位置)を要因とする分散分析の結果を表A1.1(a)に示す。この表より、測定法1, 2とも、作業前/後(B)に高度な有意差が認められるとともに、この値は作業後の方が正答率が低く、作業によるチャンネル・キャパシティの減少を検出できることを示している。

§A1.2.2に述べたように、この測定値自身の数値はそれほど意味を持つものではなく、チャンネル・キャパシティの変動率として分析する必要がある。そこで、作業前と後

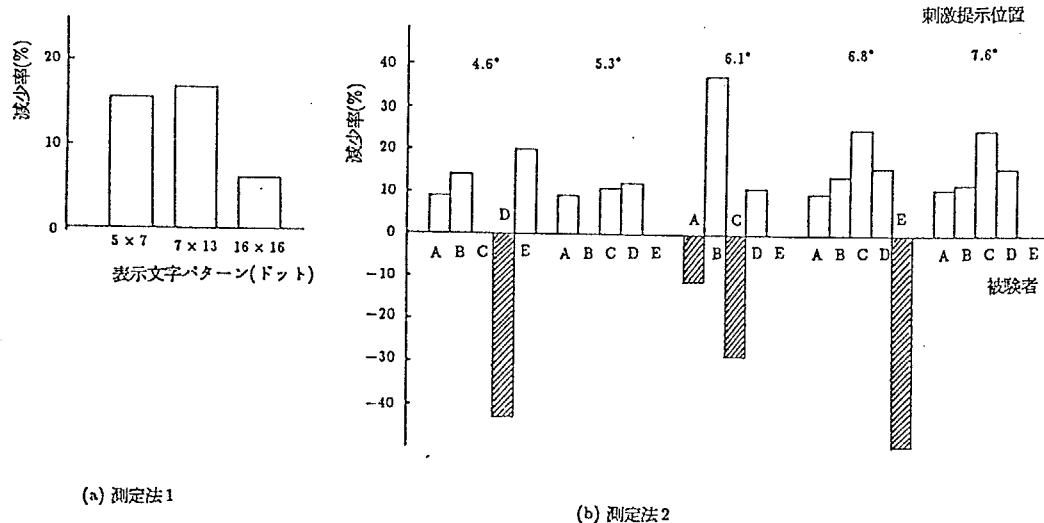


図 A1.6 タイピング作業におけるチャネル・キャパシティの変動率

の測定値よりチャネル・キャパシティの変動率を求め、これを特性値として被験者(A)と測定法に固有の変動要因(C)の2つを要因とする分散分析を行った。その結果を表 A1.1(b)に示す。この表より、測定法1においては、表示パターン(C)に有意水準10%で有意差が認められる。この関係を図 A1.6(a)に示すと、5 × 7 ドット、および 7 × 13 ドットの表示パターンを用いることにより、チャネル・キャパシティの変動率を感度よく検出でき、2時間の作業により、各々平均15.7%、16.7%低下することがわかった。

測定法2においては、刺激提示位置(C)に有意差が認められなかった。これは図 A1.6(b)に示すように、刺激提示位置に関して個人差が大きいためと思われる。刺激提示位置が注視点からの角度6.1°までの近中心視では、測定タスクの単位時間当りの処理必要量が、作業後の減少したチャネル・キャパシティに比べて、十分大きくなく、チャネル・キャパシティの変動率を安定して測定できなかったものと考えられる。注視点からの角度7.6°では、各被験者とも安定してチャネル・キャパシティの減少率を測定することができ、その値は平均13.1%であった。

以上、2時間のタイピング作業に対して、測定法1,2により、チャネル・キャパシティの減少を測定することができることを確認した。特に、5 × 7 ドット、または 7 × 13 ドットのパターンを使用したときの測定法1が、チャネル・キャパシティの減少を感度よく検出することがわかった。また、測定法2においては、視覚刺激を注視点から7.6°程度周辺に離さないと、安定した結果が得られないことがわかった。

なお、調節時間、CFFなどの疲労測定、および作業パフォーマンスについては、ここで行ったすべての実験結果をまとめて、A1.6節で述べる。

GVFH ← ターゲット文字列

探索リスト

CUFN	GWFN	GVFH	GVFN	GVFH	CUFN	CWEH	GWFN	GVFH	GWFN
CWFN	GVFN	GVFN	CVFN	GVFN	CWFN	CVFN	GWFN	CWFH	GVFH
CVEN	GUEN	CWFN	CWFH	GVFN	CWEN	CVEN	CVFN	GWFN	CVFN
CWFN	CVFN	CVFN	GVFH	GWFH	GVFH	CWFH	CVFN	CWFN	GUFH

ターゲット文字列はいくつありますか？

図 A1.7 視覚探索作業中のディスプレイ画面

A1.4 対話型作業への適用(実験 A1.2)

A1.4.1 実験方法

A1.3 節で取り上げたデータ入力型作業とともに、代表的な VDT 作業である対話型作業に、ここで提案する疲労測定法を適用する実験(実験 A1.2)を行う。

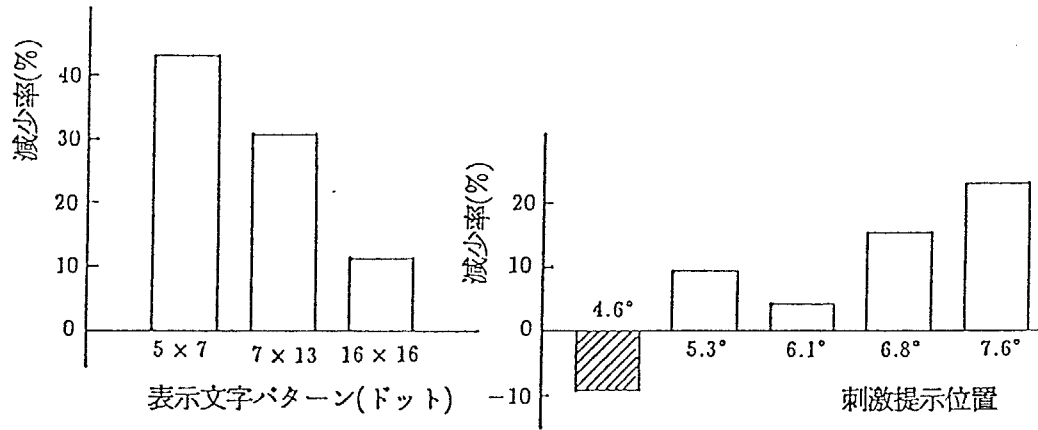
被験者は、正常な視機能を有する本学の男子学生 6 名(23 ~ 25 歳)を用いた。そのうち 5 名は実験 A1.1 と同様の被験者である。

本実験では対話型作業の簡単な例として、視覚探索作業(visual search task)[16]を取

表 A1.2 視覚探索作業におけるチャンネル・キャパシティの分散分析結果

(a) 測定値(正答率)		(b) 変動率		
要因	作業前/後(B)	要因	被験者(A)	表示パターン(C) 刺激提示位置
測定法		測定法		
測定法1	47.452**	測定法1	6.724**	8.127**
測定法2	12.236**	測定法2	0.744	2.600†

表内の数値はF値。 †: 10%有意; *: 5%有意; **: 1%有意



(a) 測定法1

(b) 測定法2

図 A1.8 視覚探索作業におけるチャネル・キャパシティの変動率

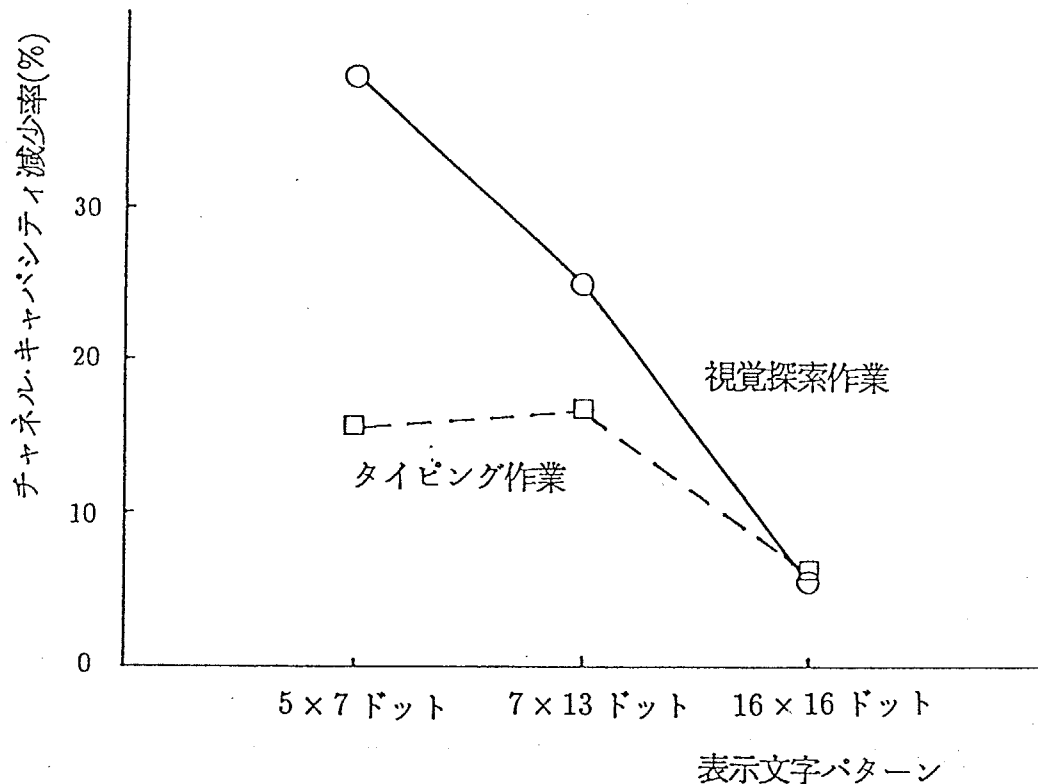
表 A1.3 作業を要因に入れたチャネル・キャパシティの分散分析結果

測定法 \ 要因	被験者(A)	作業(B)	表示パターン(C) 刺激提示時間	交互作用		
				A × B	A × C	B × C
測定法1	4.512*	9.682*	15.004**	9.619**	2.478	4.498*
測定法2	0.434	0.302	1.431	0.707	0.696	0.360

表内の数値はF値. †: 10%有意; *: 5%有意; **: 1%有意

り上げる. 視覚探索作業とは図 A1.7 に示すように, 与えられたターゲットと同じ文字列を探索リストから探し出し, その個数を報告するという作業である. この作業では, ターゲット文字列の提示, および個数の報告をコンピュータ・システムと対話的に行う. 実験で使用する探索リストは 40 の文字列からなり, 3 ~ 8 個のターゲット文字列が存在するように構成した.

なお, この画面表示の提示時間には制限を設けず, ターゲットの個数の報告が行われるまで表示されている. また, 作業以外の疲労測定, 実験条件などは, 実験 A1.1 と同様である.



図A1.9 測定法1による作業の違いに対する影響

A1.4.2 実験結果

測定法1, 2で得られるチャンネルキャパシティの変動率の解析を行う前に, 作業前/後(B)の測定値に対する有意差の検定を行った結果, 表A1.2(a)に示すように, 測定法1, 2ともに, 作業前/後(B)に高度な有意差が認められたので, §A1.3.2と同様の方法で, チャンネルキャパシティの変動率の解析を行う。その結果, 表A1.2(b)に示すように, 実験A1.1のタイピング作業とほぼ同様の結果が得られた。

測定法1においては, 表示パターン(C)に高度な有意差がみられ, 図A1.8(a)に示すように, 5 × 7 ドットの表示パターンで, チャンネルキャパシティの減少を最もよく検出でき(43.3%), 次いで, 7 × 13 ドット(31.2%), 16 × 16 ドット(11.5%)の順となっている。

測定法2においては, 刺激提示位置(C)に対しては, 有意水準10%の有意差が認められるだけである。これは図A1.8(b)に示すように, 実験A1.1と同様, 刺激提示位置(C)が注視点に近いとき, 測定タスクの単位時間当りの処理必要量が小さく, チャンネルキャパシティの変動を安定して測定できなかったものと考えられる。しかし, 注視点から6.8°, および7.6°離れた周辺的位置では, それぞれ平均15.5, 24.0%のチャンネル

キャパシティの減少を検出することができた。

次に、実験 A1.1 で行なったタイピング作業と、本実験での視覚探索作業の疲労への影響度の違いを調べるために、個々の測定法に対してチャンネル・キャパシティの変動率を特性値に、被験者(A)、測定法に固有な変動要因(C)に、これらの作業(B)の違いを要因に加えた分散分析を行う。結果は表 A1.3 に示すように、測定法1ではここで着目している作業(B)、表示パターン(C)とこれらの交互作用(B × C)に有意差が認められる。これらの関係は図 A1.9 に示すように、タイピング作業より視覚探索作業の方がチャンネル・キャパシティの減少は大きく、最も検出能力の高い5 × 7 ドットの表示パターンによるチャンネル・キャパシティの減少率は、タイピング作業の15.7%に対して、視覚探索作業は38.6%と、2倍以上の減少度であることがわかる。この作業によるチャンネル・キャパシティの減少度の違いに関しては、§A1.6.1 で考察する。

測定法2では、ここで注目している要因すべてに有意差はみられない。測定法1では検出できた作業(B)の違いによる影響を、測定法2により検出することができなかった。

A1.5 騒音下での VDT 作業への適用(実験 A1.3)

A1.5.1 実験方法

A1.3 節、および A1.4 節では、提案するチャンネル・キャパシティに基づく疲労測定方法を、データ入力型作業、および対話型作業にそれぞれ適用し、これらの方法により、チャンネル・キャパシティの減少を検出できることを確認できた。特に、測定法1では、作業の違いによる影響の相違度も検出することができた。これらの測定法に対して、異なる作業環境による影響度の違いに対する検出能力の有無について、実験(実験 A1.3)によりさらに検討する。本節では、実験 A1.1、および実験 A1.2(静寂下)とは異なる作業環境の例として、近年 OA オフィスに数多く導入されているプリンタ音による騒音下での VDT 作業を取り上げる。

実験で行う作業は、実験 A1.1、および実験 A1.2 と同様のタイピング作業と視覚探索作業である。騒音発生源であるプリンタ(NEC NM-9400)は、被験者の右斜め前方、ディスプレイの横に置かれている。作業中の被験者の位置での騒音レベルは、平均70dB(A)であった。

表 A1.4 環境条件を要因に入れたチャネル・キャパシティの分散分析結果

作業	測定法	要因 被験者 (A)	環境条件 (静寂/騒音) (B)	表示パターン 刺激提示位置 (C)	交互作用		
					A × B	A × C	B × C
タイピング 作業	測定法1	5.347*	4.023 [†]	2.810	3.370 [†]	2.227	—
	測定法2	0.197	0.608	2.156	1.003	1.090	0.872
視覚探索 作業	測定法1	5.414*	4.248 [†]	2.797	2.508	0.741	2.254
	測定法2	0.654	3.170 [†]	1.305	—	—	—

表内の数値はF値。 †: 10%有意; *: 5%有意; **: 1%有意; —: プーリングした要因

実験はタイピング作業については、実験 A1.1 と同様の 5 名、また視覚探索作業についても、実験 A1.2 と同様の 6 名の被験者を用いて行われた。

実験装置、疲労測定を含めた実験手順、および実験条件は実験 A1.1、および実験 A1.2 と同様であるが、1 日に行う作業は 1 つで、2 つの作業の間は 1 週間程度の間隔をあけ、被験者によりその順序はランダム化した。

A1.5.2 実験結果

静寂下で行われた実験 A1.1、および実験 A1.2 と同様に、各作業において提案する測定法の作業前/後(B)でのチャネル・キャパシティの減少に対する検出能力を、同様の分散分析により解析する。その結果、タイピング作業においては、測定法 1($F_0 = 13.902, p < 0.01$)、測定法 2($F_0 = 62.495, p < 0.01$)ともに、作業前/後(B)に有意差が認められ、チャネル・キャパシティの減少を検出できることを示している。また、視覚探索作業において、測定法 2 に関しては有意差はみられなかった($F_0 = 0.100$)が、測定法 1 については有意差が認められた($F_0 = 28.248, p < 0.01$)。

このように、これらの測定法は騒音下においても、チャネル・キャパシティの減少をおおむね検出できると考えられるので、VDT 作業における騒音の影響をさらに詳しく調べてみる。被験者(A)、測定法に固有な変動要因(C)を対応させ、実験 A1.1 のタイピング作業(静寂下)、または実験 A1.2 の視覚探索作業(静寂下)と、本実験の作業(騒

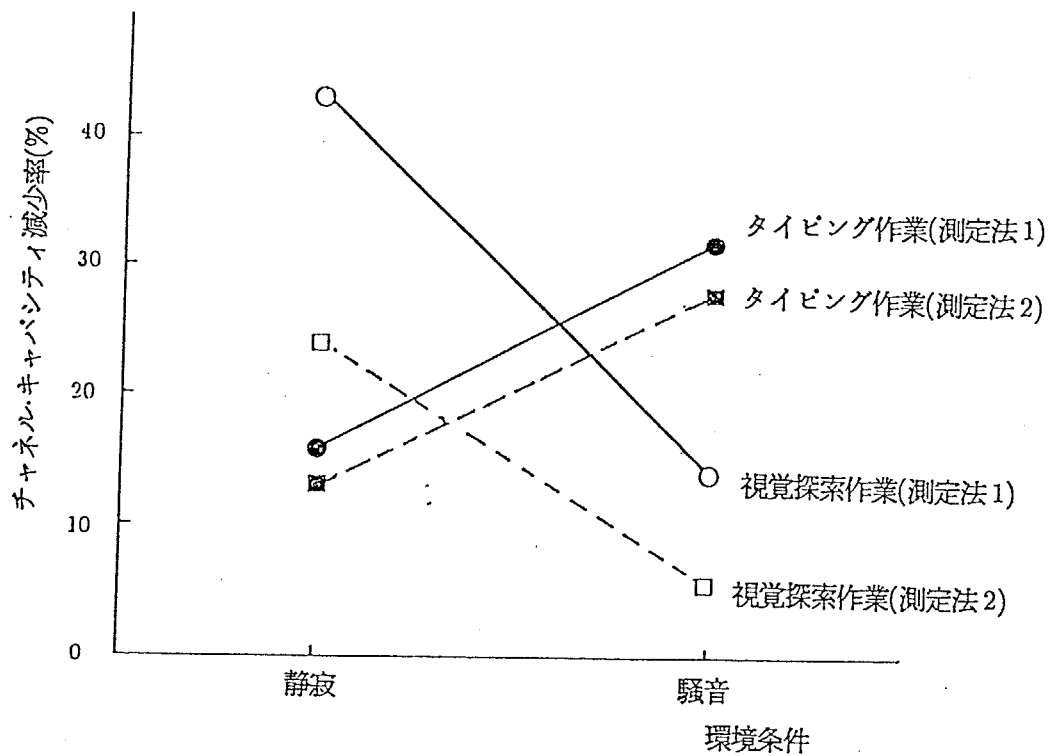


図 A1.10 測定法1と2による作業環境の違いによる影響

音下)を環境条件(B)として要因にとり、チャンネル・キャパシティの変動率を特性値として、2つの測定法について個々に分散分析を行う。その結果を表 A1.4 に示す。

この表より、ここで着目している環境条件(B)に対して、測定法1ではタイピング作業、視覚探索作業ともに、有意水準10%で有意差が認められ、§A1.4.2の作業による影響度とともに、作業環境の違いによる疲労の影響を検出できることを示している。測定法2においては、タイピング作業には有意差は認められないが、視覚探索作業には有意水準10%で有意差がみられた。これらの結果は§A1.4.2で述べたように、視覚探索作業と比べ、タイピング作業の方がチャンネル・キャパシティの減少に対する影響が小さいために、環境条件の差が顕著に現われなかったものと思われる。

以上のように、作業環境の違いによる影響に関して、2つの測定法によるチャンネル・キャパシティの減少率により、おおむね検出できることがわかった。最も検出能力の高い5×7ドットの表示パターン(測定法1)と、注視点からの角度7.6°(測定法2)について、その様子を図 A1.10 に示す。2つの測定法とも同様の傾向を示し、タイピング作業に関しては、騒音によりチャンネル・キャパシティの減少が加速することがわかった。一方、視覚探索作業においては、騒音によりチャンネル・キャパシティの減少が抑制されるという、常識とは逆の傾向を示すことがわかる。これは VDT 作業の性質により、騒音の効果の方向に変化が起るものと考えられる。これについては、§A1.6.1で

さらに詳しく考察する。

A1.6 提案方法の評価

A1.6.1 チャネル・キャパシティによる疲労測定法

(1) 表示パターンと刺激表示位置

実験 A1.1 ~ A1.3 の結果, 提案するチャネル・キャパシティに基づく 2 つの疲労測定方法は, VDT 作業によるチャネル・キャパシティの減少を十分感度よく検出でき, A1.2 節で仮定したように, この指標は中枢神経系の疲労測定になりうることが考えられる。これらの測定法では, §A1.2.2 で述べたように, 単位時間当りの処理量が作業前(疲労前)のチャネル・キャパシティに等しいか, あるいはわずかに大きい値をとるような測定タスクを設定する必要があった。このような測定タスクを設定するために, 測定法 1 においては表示パターン, 測定法 2 においては刺激表示位置を変動要因に取り上げた。

測定法 1 においては, 比較的ドット数の少ない 5×7 ドット, および 7×13 ドットの表示パターンが, チャネル・キャパシティの減少を感度よく検出できた。 16×16 ドットの文字は, そのパターンの形状が人間の持つプロトタイプ[3]と近く, 表示品質が高いために, 単位時間当りの処理必要量が小さく, 疲労後のチャネル・キャパシティの減少を感度よく検出できなかったものと思われる。

5×7 ドットと 7×13 ドットのパターンを比べると, 7×13 ドットの表示パターンの方が鮮明な視覚像を生成できるため, 単位時間当りの処理必要量が小さくなる。そのため, 騒音下の視覚探索作業のように, 作業後においてもチャネル・キャパシティがそれほど低下しない場合は, 安定してチャネル・キャパシティの減少を検出することが困難であった。また, 5×7 ドットのパターンを用いたときの測定法 1 は, 各作業における作業前後のチャネル・キャパシティの減少だけでなく, 作業の違い, および作業環境の違いによる影響を検出することも可能であった。これらの結果から考えると, 測定法 1 では 5×7 ドットの表示パターンが妥当と思われる。

測定法 2 においては, 実験で行ったすべての作業, および作業環境で, 注視点からの角度 6.1° より近い位置に刺激を提示したときは, チャネル・キャパシティの減少を安定して検出することはできなかった。これは測定法 1 の 16×16 ドットの表示パターン

と同様、この測定法に対する認知過程において、ディスプレイに表示された情報を明瞭に内部表現でき、単位時間当りの必要処理量がチャネル・キャパシティに比べて、十分小さかったためと考えられる。

注視点からの角度 6.8° と 7.6° の提示位置ではほぼ安定して、チャネル・キャパシティの減少を測定することができた。このときの疲労検出能力は、 7.6° の場合の方がはるかによく、測定法2において視覚刺激を提示する位置は、注視点からの角度 7.6° がよいと思われる。

以上、提案するチャネル・キャパシティに基づく疲労測定方法に関して、測定法1では表示パターンとして 5×7 ドット・パターン、また測定法2については、注視点からの角度 7.6° の刺激提示位置が選択された。これらのパラメータを選択したときのこれら2つの測定法は、いずれも作業の影響をよく検出できたが、作業の違い、作業環境の違いなどについて、測定法2では安定して検出することができず、測定法1の方が優れていると思われる。

(2) 作業の違い

測定法1では、タイピング作業と視覚探索作業のチャネル・キャパシティの減少に対する影響度の違いを検出できた。その影響の大きさは、静寂下ではタイピング作業より視覚探索作業の方が大きかった。実験で行った視覚探索作業は、実験方法を簡単にするため、実際のVDT作業では存在しないような非常に単純な作業である。そのため、被験者はこの作業に価値観を見い出すことができず、疲労度が大きくなったと思われる。

タイピング作業で扱った文章は、大学生が理解できる程度の英文であり、その興味度、価値観は視覚探索作業に比べて、はるかに大きかったと思われる。作業内容による疲労の影響を論じた研究[26]より、作業に対する価値観が低く、単調で変化に乏しい作業は、疲労感が大きいことがわかっている。この研究[26]の成果と、タイピング作業より視覚探索作業の方が疲労の影響が大きかったという、ここでの結果とは一致することがわかる。このことから、ここで提案するチャネル・キャパシティの減少率が、疲労測定に関する指標として妥当性をもつことが示唆される。

(3) 作業環境の違い

作業の違いと同様に、測定法1では、静寂下と騒音下の作業環境の違いを検出することができた。タイピング作業においては、図 A1.10 に示したように、静寂下より騒音下での作業の方が疲労の影響が大きい。視覚探索作業では逆に、騒音により疲労の影響度が緩和されるという一見矛盾した結果が得られた。また、静寂下ではタイピング作業より疲労度の影響の大きかった視覚探索作業が、騒音下では図 A1.10 に示したように逆転している。

騒音が作業に与える影響を調べている研究は従来から数多く行われているが、これらの研究では騒音の影響は作業の困難度とともに増加すること[5]が知られている。そのため、困難度のより高いタイピング作業と困難度の低い視覚探索作業の影響度が、図 A1.10 に示したように、逆転したものと思われる。

Weinstein[25]は、文章校正のように知的処理を多く必要とする作業では、騒音の影響を強く受けることを報告している。また、意味的処理を必要とする作業は騒音の影響を強く受けるが、実験で行った視覚探索作業のような物理的情報を記憶するような作業では、騒音は作業パフォーマンスを向上させることを報告している研究[21]もある。ここで扱った2つの作業で、より知的処理の多いタイピング作業が騒音により影響を強く受け、また物理的表示情報の記憶を中心に行う視覚探索作業は、騒音によりチャンネル・キャパシティの減少が緩和されるという現象は、上述したような過去の研究成果と一致するものである。

以上、作業および作業環境に関する考察からも、チャンネル・キャパシティに基づく疲労測定方法の妥当性が示唆される。

A1.6.2 調節機能と CFF

従来の研究で視覚系、および中枢神経系の疲労の尺度としてよく利用されている眼球の調節時間(緊張時間と弛緩時間)、近点距離、および CFF に関して、各実験ごとにこれらをそれぞれ特性値として、被験者(A)、作業前/後(B)を要因とする分散分析を行った。その結果を表 A1.5 に示す。

実験 A1.1 のタイピング作業における作業前/後(B)の影響に対して、弛緩時間以外の特性には、有意水準5%、ないしは10%の有意差が認められ、チャンネル・キャパシティに基づく測定法と同様に、視覚系、および中枢神経系に対する影響が示唆される。

表 A1.5 調節機能と CFF 値の分散分析結果

作業	作業環境	測定法 要因	近点距離	調節時間		CFF値
				緊張時間	弛緩時間	
タイピング 作業	静寂下 (実験A1.1)	被験者	5.093 [†]	109.522**	10.148*	25.701**
		作業前/後	7.401 [†]	13.216*	1.407	18.786*
	騒音下 (実験A1.3)	被験者	10.062*	2.026	7.958*	4.337 [†]
		作業前/後	3.730	1.511	0.913	2.340
視覚探索 作業	静寂下 (実験A1.2)	被験者	24.944**	15.292**	7.014*	15.507**
		作業前/後	2.429	0.008	0.121	12.536*
	騒音下 (実験A1.3)	被験者	7.822*	91.397**	13.227**	20.378**
		作業前/後	6.784*	3.280	0.112	2.459

表内の数値はF値. †: 10%有意; *: 5%有意; **: 1%有意

実験 A1.2 の視覚探索作業においては、CFF を除いて、他の特性には作業前/後(B)に有意差は認められない。§A1.4.2 で述べたように、チャネル・キャパシティに基づく測定法ではタイピング作業と比べ、視覚探索作業の影響の方が大きかったことを考慮すると、タイピング作業で認められた有意差が視覚探索作業で認められなかったのは、疲労の影響がなかったというよりも、これらの指標により、疲労の影響を検出することができなかったと解釈するのが妥当と思われる。

同様に実験 A1.3 の騒音下での VDT 作業に関しても、ここで注目している作業前/後(B)については、視覚探索作業における近点距離以外には、有意差は認められない。これらすべての作業に対して、前節で述べたチャネル・キャパシティによる測定法では、作業によるチャネル・キャパシティの減少が認められたので、実験 A1.2 と同様、従来の研究で用いられているこれらの方法は、疲労の影響を適切に検出することができなかったものと考えられる。

以上のように、3つの実験に対して、これらの特性値は安定して疲労の影響を検出できず、これらの測定法には、A1.1 節で述べたような従来から指摘されている生理的、および測定上の問題点の所在が示唆される。

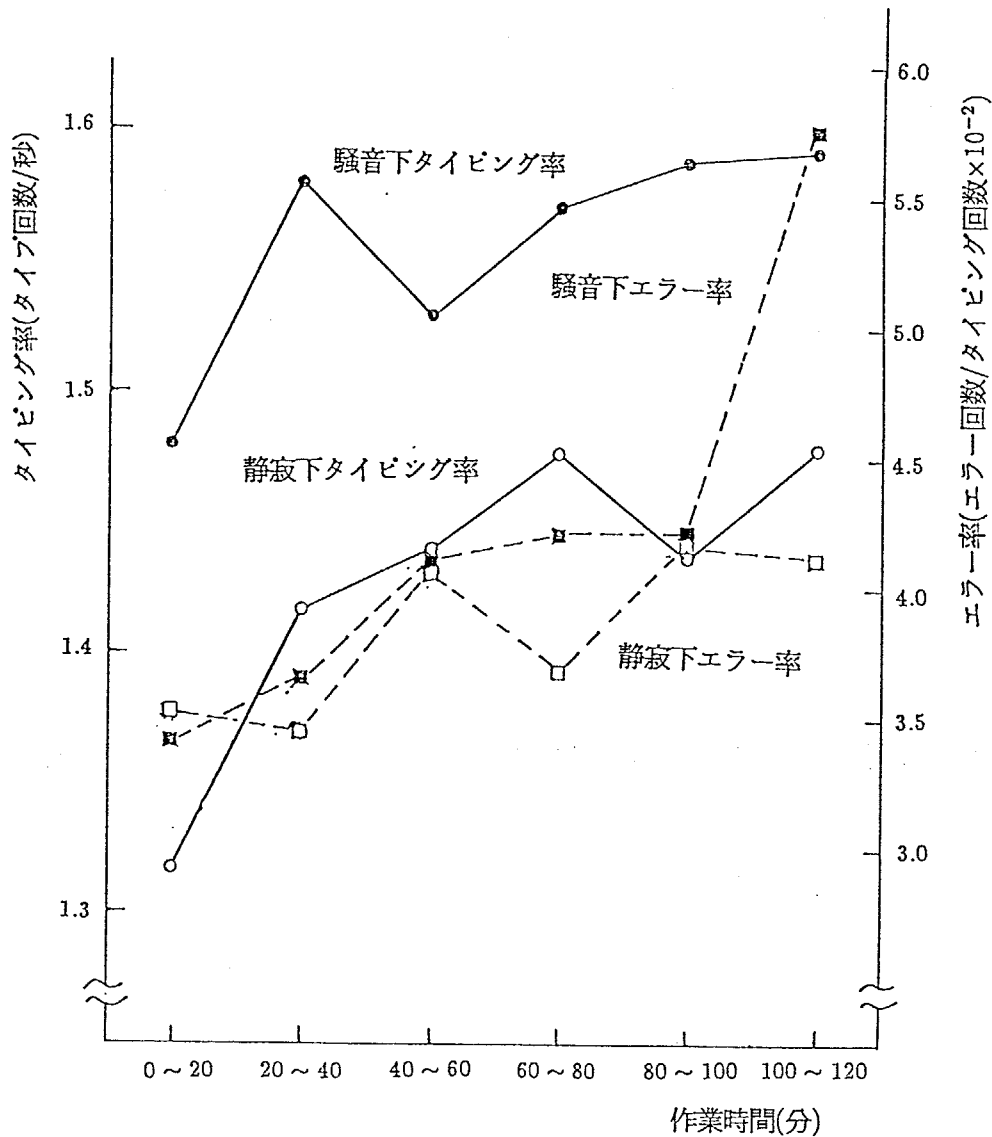


図 A1.11 タイピング作業における作業パフォーマンスの変化

A1.6.3 作業パフォーマンス

2時間の作業中のパフォーマンスの変化を観察するために、連続する20分間を1つの作業フェーズとし、全作業を6つのフェーズに分割する。ここでは、タイピング作業を例にとり、静寂下と騒音下でのタイピング率、およびエラー率を図A1.11に示す。

エラー率に関しては、作業時間の経過とともに、両方の環境条件において、エラーの頻度がゆるやかに上昇している。その大きさは静寂下と騒音下の両方の作業において、最後の20分間を除いてほとんど変わらないことがわかる。

タイピング率に関して、静寂下での作業では作業開始から80分後まで、また騒音下では40分後まで上昇しており、これは習熟による効果と解釈できる。静寂下では開始

80 分から 100 分の間、また騒音下では 40 分から 60 分の間、タイピング率の低下がみられるが、この作業フェーズにおいて、疲労の影響が強く現われ、習熟による効果を上回ったため、処理速度の低下として現われたものと思われる。これら 2 つの作業において、静寂下と比べ騒音下における作業の方がタイピング率が高く、疲労の影響が小さいと思われる。

これらのタイピング率、およびエラー率の示す疲労傾向は、静寂下と騒音下においてエラー率にほとんど差がないにもかかわらず、タイピング率は騒音下の方が高かった。すなわち、作業パフォーマンスに関しては、騒音下より静寂下での作業の方が影響が大きいことを示しており、提案するチャンネル・キャパシティに基づく疲労測定方法の結果と一致することがわかる。

A1.7 結語

VDT 作業などの視覚認知作業に対して、社会的問題となっている視覚精神疲労を取り上げ、特に現在決め手のない中枢神経系の疲労に対する測定法を提案することを目的とした。精神疲労測定の心理学的根拠として、単一チャンネル説をもとにしたチャンネル・キャパシティ減衰モデルを構築し、この考え方に基づいた 2 つの疲労測定法を提案した。この疲労測定方法の適用可能性を検証し、適切な測定タスクを選択するために、作業の種類、および作業環境の異なる 3 種類の実験を実施した。その結果、以下の事柄が明らかになった。

1. 提案したチャンネル・キャパシティに基づいた 2 つの疲労測定方法とも、2 時間の VDT 作業による疲労を的確に検出することができた。
2. 疲労の検出能力の点から、測定法 1 では 5×7 ドットの表示パターン、測定法 2 では注視点から 7.6° 周辺の位置に刺激を提示することが望ましい。
3. 2 つの測定法のうち、特に測定法 1 には作業の違い、作業環境の違いによる疲労度の検出能力がある。これらの影響については、従来の研究の成果と一致する結果が認められ、この測定法の信頼性の高さを示すものである。
4. 実験では作業パフォーマンスの推移が、提案する測定法の結果と一致するものであった。このことから本測定法の妥当性が強調される。

5. 調節時間, 近点距離, CFF など, 従来の研究で使用されている疲労測定法は, すべての作業, 作業環境で疲労を検出できたわけではなく, これらには従来から指摘されている問題点が存在するものと思われる.

ここで提案する疲労測定方法はさらに, 次のような特徴をもち, これらは特に疲労測定法の必要条件に合致するものと考ええる.

1. 作業時間の影響だけでなく, 作業の違い, 作業環境の違いに対する影響を検出できるなど, 疲労検出能力が高い.
2. 測定指標に関して, 心理学的裏付けをもつ.
3. 測定が簡単であり, 測定時間が短い.
4. 測定ソフトウェアを解析ソフトウェアと組み合わせることにより, 解析に時間がかからず, 測定結果がすぐにわかる.
5. 本測定法は, 汎用のパーソナルコンピュータで実現されているため, どこでも手軽に利用できる.
6. 本測定法は, 実際の VDT 作業の遂行に必要な人間の認知能力を測定しているので, これにより作業ミスの少ない作業設計が可能である.

提案したチャンネル・キャパシティに基づく2つの疲労測定方法は, VDT 作業によるチャンネル・キャパシティの減少により, 疲労度を定量化するものである. この指標により, 疲労度に関する相対的評価は可能であるが, どの時点をもって休息が必要な疲労状態かを判定するといった, 疲労の絶対的評価に使用するには本実験の結果だけでは困難であり, 今後の課題と考える.

ここではチャンネル・キャパシティの減少を A1.2 節で述べたように, チャンネル・キャパシティの減少とともに, 作業エラーだけでなく, 処理時間の増加も考えられ, これにより疲労を測定する方法も実現可能と考える.

チャンネル・キャパシティに基づく疲労測定方法に関して, 本提案方法は作業を中断して測定を行うものであった. 作業の前後で測定する2つの測定法だけでなく, 作業中のチャンネル・キャパシティの変化を作業を中断することなく, 作業をしながら行える疲労測定方法は, 数多くの利点があり, このような方法を見つけ出す必要があり, これについても今後の課題と考える.

A2 人間処理のモデル化

(“Model Human Processor”)

A2.1 “Model Human Processor”の概要

人間の使用しやすいヒューマン-コンピュータ-インタフェースを設計するには、実施すべき作業の内容を十分に分析し、その作業を人間の情報処理の方法に合致したものにする必要がある。このような人間の情報処理メカニズムに合致したヒューマン-コンピュータ-インタフェースを設計するための基礎資料を提供するために、本論文ではVDT作業を行うときの人間の処理の前半部分である認知過程における処理特性を明らかにした。VDT作業における人間の行うコンピュータの操作をモデル化するためには、本論文で対象とした認知過程だけでなく、その後半部分である意味処理についても、モデル化する必要がある。この意味処理のモデル化に関して、本論文では第7章でCard, et al. [2]による“Model Human Processor”を利用した。ここでは、第7章のメニュー検索モデルの内容を理解するのに最低限必要な、“Model Human Processor”の考え方を簡潔に説明する。

VDT作業のようなマン-マシン-システムを対象とする作業において、人間の処理特性にあった設計、改善を行うためには、実施する作業に対して人間の処理をモデル化し、これにより理解することが重要である。このようなモデル化に必要な条件として、以下の事項が挙げられる。

- 作成した作業モデルを用いて作業分析が可能なこと。
- 簡単な計算により作業時間、作業ミスなどの作業における諸特性を求めることができること。

- 作業を構成する重要な処理を簡潔に記述できること。

Card, et al. [2]の“Model Human Processor”は、このような必要条件を満足する人間処理のモデルということがいえる。このモデルの中で、人間の行う処理は、知覚(perception)、認知(cognition)、および運動(motor)に大別することができる。ただし、ここで認知といっている機能は、本論文中で使用している意味より、かなり高次の機能が含まれている。すなわち、ここで使用している“認知”という言葉は、本文中で使用している意味処理にほぼ対応する機能である²。

これらの処理に対して、“Model Human Processor”では、人間の処理を以下の概要に示すように、モデル化している。これらの処理はそれぞれ、(1) 知覚システム(perceptual system)、(2) 認知システム(cognitive system)、および(3) 運動システム(motor system)の各システムで実行される。これらの各システムは、その処理器(processors)と、それに付随する記憶(memories)により構成される。また、各システムを構成する処理器と記憶は、図A2.1に示すように、記憶容量(μ)、記憶保存時間(δ)、記憶のコード体系(κ)、処理のサイクルタイム(τ)の4つのパラメータにより記述される。

これら4つのパラメータのうち、最初の3つは記憶をモデル化する要素である。ここで、記憶容量(μ)は各記憶に貯蔵し、処理できる容量であり、そこに貯蔵される形式が記憶のコード体系(κ)である。また、記憶保存時間(δ)に関しては、その記憶に貯えられた情報量が半分になるまでにかかる時間、すなわち半減期として、ここではとらえられている。

処理のサイクルタイム(τ)とは、知覚、認知、および運動の各処理器の処理時間をモデル化するための要素である。ここで、サイクルとは、各処理器で行われる最小の処理単位であり、その処理時間がサイクルタイム(τ)である。

この“Model Human Processor”の考え方を利用して、作業時間を推定しようとする場合は、その作業を知覚、認知、運動の各処理に対して、各々いくつのサイクルで構成されているかを分析する。分析した各処理のサイクル数に対して、各処理のサイクルタイムに、時間値を代入することにより、作業時間を推定することができる。本論文では、この考え方を利用して、第7章においてメニュー検索作業を構成する意味処理時間を推定した。

²ここで用いられている“認知”の意味の違いに関して、日本語では同じ用語になってしまうが、英語で表現すると、本論文中で使用している認知は、“recognition”であるのに対して、Card, et al. [2]で使用している意味は、“cognition”である。

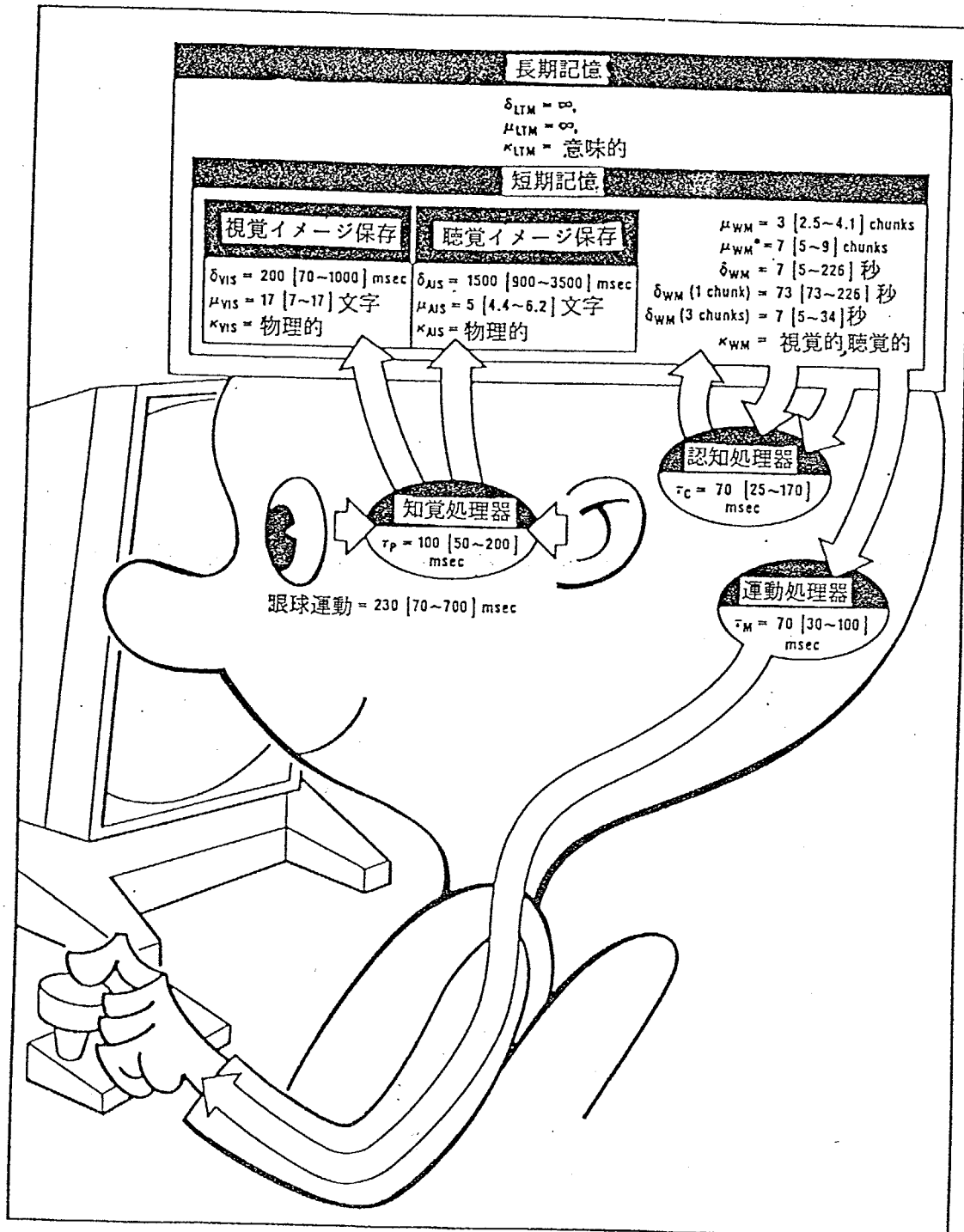


図 A2.1 人間の処理モデル(Card, et al.[2]より)

A2.2 知覚システムのモデル化

知覚システムは、外部の情報を感覚器を通して、内部の心理表現として感覚記憶に貯蔵するまでの処理を行う。本論文中の第2章で定義した認知過程を構成する処理のうち、表示情報の取り込みから、視覚情報の生成までの処理と、これらの準備段階である眼球運動の判断とプログラミング、および眼球運動がこれに対応する。知覚には5つの感覚があるが、一般に作業時によく使われるのは視覚と聴覚である。このうち、本論文で対象としたVDT作業に特に重要な感覚は視覚である。

知覚システムには、感覚器からの入力情報を一時的にストックするバッファとしての機能を持つ感覚記憶がある。上記に示した視覚と聴覚に関しては、それぞれ視覚イメージ保存(Visual Image Store)³、および聴覚イメージ保存(Auditory Image Store)がある。これらの感覚記憶のコード体系(κ_{VIS} , κ_{AIS})は、ともに物理的なイメージである。記憶容量については、視覚イメージ保存(μ_{VIS})は17文字程度であるのに対し、聴覚イメージ保存(μ_{AIS})は約7文字とかなり少ない。記憶保存時間に関しては、視覚イメージ保存の $\delta_{VIS} = 200msec$ に対して、聴覚イメージ保存は $\delta_{AIS} = 1500msec$ と、記憶容量とは逆に聴覚イメージ保存の方が保存時間は長い。視覚より聴覚の方が残像が長いのはこのためである。

知覚処理のサイクルタイム(τ_P)とは、あるまとまった1単位の情報を知覚するまでの時間であり、この時間値は50 ~ 200msecの範囲であり、典型的な時間値として100msecが与えられている。たとえば、VDT作業中の1画面の表示情報の知覚はその情報量によらず、すべての場合1サイクルである。

眼球運動については、眼球運動角度などにより異なるが、その時間値は70 ~ 700msecの範囲で与えられている。ここでの時間は、実際に眼球運動している時間だけではなく、サッケード時間と注視時間の合計である。

A2.3 運動システムのモデル化

運動システムにおけるサイクルとは、単一の注意を集中して行う離散的な短い運動であり、その時間が τ_M である。VDT作業においては、手-腕-指系(hand-arm-finger-system)と、頭-眼系(head-eye-system)が、最も重要な運動システムを構成する。たと

³本文中で使用している視覚情報保存(Visual Information Store)と同じものである。

例えば、リターンキーを押すという動作は、1サイクルを必要とする。このときのサイクルタイム(τ_M)は、30～100msecで与えられている。この範囲における典型的な数値は、70msecを推奨している。

A2.4 認知システムのモデル化

認知システムで対象となる処理は、知覚システムで処理された後に行われる認知と、さらに高次の知的、意味的処理である。この区分に従うと、本論文中で述べた認知情報への変換は、この認知システムで行われることになる。

認知システムに付随する記憶としては、長期記憶(long-term memory)⁴、および短期記憶(short-term memory)⁵の2種類の記憶がある。長期記憶の容量は、一般には制限がない($\mu_{LTM} = \infty$)とされている。

短期記憶における記憶容量の単位であるチャンク(chunk)とは、ある事柄をコード化したときの記憶単位である。たとえば、“010010101101”という0と1で構成された12個の数字列について、これをそのまま2進数として記憶した場合は12チャンクである。また、8進数“2255”とコード化したときは4チャンク、16進数“4AD”とコード化したときは3チャンクである。図A2.1に示したように、記憶容量はチャンク数としては一定なので、うまくコード化すると、多くの情報を記憶できる。このような単位で測定できる短期記憶の記憶容量(μ_{WM})は、平均7チャンクであり、 ± 2 チャンクの個人差がある[15]。

短期記憶と長期記憶におけるコード体系は、短期記憶(κ_{WM})が聴覚、または視覚による記号的(symbolic)コードであるのに対して、長期記憶に貯えられている情報(κ_{LTM})は、意味的(semantic)にコード化されている。

記憶保存時間に関しては、長期記憶は1度貯えられると、忘れることはない($\delta_{LTM} = \infty$)とモデル化されている。これに対し、短期記憶の保存時間は短く($\delta_{WM} = 5 \sim 226$ 秒; 典型的な時間値は7秒)、このことが人間のパフォーマンスを大きく左右している。

認知システムにおける認知サイクル(τ_C)は、短期記憶、または長期記憶にアクセスする処理、それ自身で1サイクルを形成する。たとえば、画面に表示された情報が文字ならばリターンキーを押すといった操作に対して、画面に“a”が表示されたときに

⁴永久記憶(permanent memory)と呼ばれることもある。

⁵作動記憶(working memory)と呼ばれることもある。

は次の処理が行われる。すなわち、その情報の認識(recognize; τ_C)、その情報が文字に属するか否かのクラス分け(classify; τ_C)、分類すべきクラスと表示情報が一致しているかの判断(match; τ_C)、および応答(この場合、リターン・キーを押す)の起動(initiate response; τ_C)がそれぞれサイクルを形成し、ここで行った認知処理は4サイクルであり、その時間は $4\tau_C$ である。この τ_C の時間値は、処理対象の違いにより、25 ~ 170msecの範囲で与えられている。

A2.5 “Model Human Processor”の応用例

認知システムで例として挙げた文字の分類操作に対する全処理時間は、認知サイクル($4\tau_C$)だけでなく、さらに知覚サイクル(τ_P)、および運動サイクル(τ_M)を加えることにより、合計、 $\tau_P + 4\tau_C + \tau_M$ で計算でき、平均的な時間値は、図A2.1の値より、450msecとなる。このようにして、“Model Human Processor”の考え方を応用することにより、作業時間を推定することができる。ここでは、判断の内容の違いにより、処理を構成するサイクルがどのように変化するかを、いくつかの例をもとにみていく。

上記の文字分類操作の例と類似した以下の4つの処理を考えてみる。

1. 単純反応(simple reaction) … 記号がディスプレイに表示されたら、ただちにキーボードから“YES”キーを押す。
2. 物理的照合(physical match) … あらかじめ提示された記号と同じものがディスプレイ上に表示されたとき、キーボードから“YES”キーを押す。
3. 名前照合(name match) … あらかじめ提示された記号と同じ名前の文字がディスプレイ上に表示されたとき、キーボードから“YES”キーを押す。たとえば、“a”-“A”という対応。
4. クラス照合(class match) … ディスプレイ上に文字(A ~ Z, または a ~ z)が表示されたとき、キーボードから“YES”キーを押す。認知システムの文字の分類操作の例と同じ。

これらの作業で行う人間の処理と、その時間について各処理ステップごとに、画面表示、視覚情報保存、短期記憶、および手の状態を表A2.1に示す。表A2.1において、 α 、 β 等の記号の意味は次のとおりである。 α 、 β 等の'(ダッシュ)の付いていない記号は、

まだ認識していない情報を表わす。 α' , β' 等の'の付いている記号は、視覚イメージ保存内に存在する入力情報の物理的表現である。 α'' , β'' 等の"の付いている記号は、短期記憶内に存在する視覚的コードを表わす。 " α ":文字"といった表現は、視覚的コードとそれを文字と分析した後の抽象的コード化との短期記憶内における共存の状態を示している。 また、VIS とは、視覚イメージ保存のことである。

この表より、これら4つの作業に必要な処理時間は、それぞれ、 $\tau_P + \tau_C + \tau_M$, $\tau_P + 2\tau_C + \tau_M$, $\tau_P + 3\tau_C + \tau_M$, $\tau_P + 4\tau_C + \tau_M$ であることがわかる。 このように、"Model Human Processor"を利用して、作業分析と作業時間の推定を行う。

表 A2.1 “Model Human Processor”の分析例(Card, et al.[2]より)

ステップ	表示	VIS	短期記憶	手	経過時間
● 単純反応					
初期状態					
1. 記号表示	α				0
2. VISへ転送		α'	α''		τ_P
3. 応答の起動		α'	α'' , “YES”押す		$\tau_P + \tau_C$
4. 手の動作		α'	α'' , “YES”押す	“YES”押す	$\tau_P + \tau_C + \tau_M$
● 物理的照合					
初期状態					
1. 記号表示	α	α'	α''		0
2. VISへ転送		α', α'	α'', α''		τ_P
2.1 照合		α', α'	α'', α'' , 照合=真		$\tau_P + \tau_C$
3. 応答の起動		α'	α'', α'' , “YES”押す		$\tau_P + 2\tau_C$
4. 手の動作			α'', α'' , “YES”押す	“YES”押す	$\tau_P + 2\tau_C + \tau_M$
● 名前照合					
初期状態					
1. 記号表示	α_2	α'_1	$\alpha''_1:A$		0
2. VISへ転送		α'_1, α'_2	$\alpha''_2, \alpha''_1:A$		τ_P
2.01 認識		α'_1, α'_2	$\alpha''_2:A, \alpha''_1:A$		$\tau_P + \tau_C$
2.1 照合		α'_1, α'_2	照合=真		$\tau_P + 2\tau_C$
3. 応答の起動		α'_2	“YES”押す		$\tau_P + 3\tau_C$
4. 手の動作			“YES”押す	“YES”押す	$\tau_P + 3\tau_C + \tau_M$
● クラス照合					
初期状態					
1. 記号表示	β	α'	α'' :A:文字		0
2. VISへ転送		α', β'	β'', α'' :A:文字		τ_P
2.01 認識		α', β'	β'' :B, α'' :A:文字		$\tau_P + \tau_C$
2.02 分類		α', β'	β'' :B:文字, α'' :A:文字		$\tau_P + 2\tau_C$
2.1 照合		β'	照合=真		$\tau_P + 3\tau_C$
3. 応答の起動			“YES”押す		$\tau_P + 4\tau_C$
4. 手の動作			“YES”押す	“YES”押す	$\tau_P + 4\tau_C + \tau_M$

参考文献

- [1] Broadbent, D.E. : *Perception and Communication*, 297 ~ 316, Pergamon Press, London, 1958.
- [2] Card, S.K., Moran, T.P. and Newell, A. : *The Psychology of Human-Computer Interaction*, 23 ~ 97, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1983.
- [3] Chase, W.G. : Visual Information Processing, In Boff, K.R., Kaufman, L. and Thomas, J.P. (eds), *Handbook of Perception and Human Performance* (Chapter 28), John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [4] de Groot, J.P. and Kamphuis, A. : Eyestrain in VDU Users : Physical Correlates and Long-Term Effects, *Human Factors*, **25**(4), 409 ~ 413, 1983.
- [5] Dornic, S. : Some Studies on the Retention of Order Information, In Rabbitt, P.M.A. and Dornic, S. (eds), *Attention and Performance, Vol. V*, Academic Press, New York, 1975.
- [6] Elias, R., Cail, F., Tisserand, M. and Christman, M. : Investigations in Operators Working with CRT Display Terminals: Relationship between Task Content and Psycho-Physiological Alterations, In Grandjean, E. and Vigliani, E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 211 ~ 218, Taylor & Francis, London, 1980.
- [7] 福住伸一, 本田勝己 : ソフトウェア開発者の目の調節時間変化, 日本人間工学会第28回大会講演集, 70 ~ 71, 1987.

- [8] Ghiringelli, L. : Collecting Subjective Opinions on the Use of VDUs, In Grandjean, E. and Vigliani, E. (eds) *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 227 ~ 232, Taylor & Francis, London, 1980.
- [9] Gould, J.D. and Grischkowsky, N. : Doing the Same Work with Hard Copy and with Cathode-Ray Tube (CRT) Computer Terminals, *Human Factors*, **26**(3), 323 ~ 337, 1984.
- [10] Harvey, L.O. and Gervais, M.J. : Internal Representation of Visual Texture as the Basis for the Judgment of Similarity, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, **7**(4), 741 ~ 753, 1981.
- [11] 橋本邦衛 : Flicker 値の生理学的意味と測定上の諸問題, *産業医学*, **5**(9), 3 ~ 18, 1963.
- [12] Hedman, L.R. and Briem, V. : Short-Term Changes in Eyestrain of VDU Users as a Function of Age, *Human Factors*, **26**(3), 357 ~ 370, 1984.
- [13] Iwasaki, T. and Kurimoto, S. : Objective Evaluation of Eye Strain Using Measurements of Accommodative Oscillation, *Ergonomics*, **30**(3), 581 ~ 587, 1987.
- [14] 栗本普二 : VDT 作業が視機能に与える影響, *人間工学*, **19**(2), 87 ~ 90, 1983.
- [15] Miller, G.A. : The Magic Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information, *Psychological Review*, **63**, 91 ~ 97, 1956.
- [16] Mourant, R., Lakshmanan, R. and Chantadisai, R. : Visual Fatigue and Cathode Ray Tube Display Terminals, *Human Factors*, **23**(5), 529 ~ 540, 1981.
- [17] NAS : *Video Displays, Work and Vision*, Washington, D.C., National Academy Press, 1983.
- [18] 野呂影勇 : ビジュアルディスプレイ作業の研究, *人間工学*, **19**(2), 65 ~ 73, 1983.
- [19] Östberg, O. : Accommodation and Visual Fatigue in Display Work, In Grandjean, E. and Vigliani, E. (eds), *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals*, 41 ~ 52, Taylor & Francis, London, 1980.

- [20] Saito,M., Tanaka,T. and Oshima,M. : Eyestrain in Inspection and Clerical Workers, *Ergonomics*, **24(3)**, 161 ~ 173, 1981.
- [21] Schwartz,S. : Decision Processes in Recognition Memory, In Kaplan,M.G. and Schwartz,S. (eds), *Human Judgement and Decision Processes*, Academic Press, New York, 1975.
- [22] Smith,M,J, Cohen,B.F.G., Stammerjohn,L.W. and Happ,A. : An Investigation of Health Complaints and Job Stress in Video Display Operations, *Human Factors*, **23(4)**, 387 ~ 400, 1981.
- [23] Sperling,G. : A Model for Visual Memory Tasks, *Human Factors*, **5**, 19 ~ 31, 1963.
- [24] 鈴木昭弘 : 眼の疲労検査, 人間工学, **17(3)**, 115 ~ 121, 1981.
- [25] Weinstein,N.D. : Effects of Noise on Intellectual Performance, *Journal of Applied Psychology*, **59**, 548 ~ 554, 1974.
- [26] 尹 哲皓, 秋庭雅夫, 圓川隆夫, 伊藤謙治 : VDT作業内容の違いによる生理・心理的影響の考察, 日本経営工学会誌, **38(2)**, 132 ~ 138, 1987.
- [27] 吉武良治, 岩長光一 : VDT作業時の生理負担に及ぼす文字輝度の影響, 人間工学, **22(1)**, 19 ~ 26, 1986.