

点図ディスプレイを用いた
視覚障害者用触図作成システムに関する研究

守井清吾

2013年3月

目次

第1章	序論	3
1.1	研究の背景	3
1.2	研究の目的	4
1.3	本論文の構成	7
第2章	視覚障害者の情報送受信の現状と課題	8
2.1	スクリーンリーダを用いた言語情報へのアクセス	8
2.2	触図を用いた視覚的情報へのアクセス	9
2.2.1	触図の利用	9
2.2.2	触図作成と問題点	11
第3章	マウスを用いた触図作成システムの検討	13
3.1	本システムの機能	13
3.2	使用感から得られた問題点	14
第4章	点図ディスプレイを用いた触図作成システムにおけるペン・指先入力 の比較	16
4.1	実験用装置	17
4.1.1	装置の構成	17
4.1.2	機能	19
4.2	実験	19
4.2.1	方法	20
4.2.2	結果	23
4.3	考察	28
第5章	数値入力による触図作成システム	31
5.1	システムの機能	33
5.2	システムの使用感	33
5.3	指先入力システムとの融合	35

第 6 章	仮想的な触図提示面積の拡大	37
6.1	実験	38
6.1.1	実験用装置	38
6.1.2	方法	40
6.2	結果	42
6.3	考察	45
第 7 章	結論	46
	業績一覧	50
	謝辞	51

第1章 序論

1.1 研究の背景

我々は日々の生活の中でさまざまな情報を送受信している。送信される情報とは、自身の内面を外在化させ、他者に伝達するものであり、受信される情報とは、他者が外在化した情報である。これら情報の送受信によって、人々は相互に理解し、コミュニケーションを行っている。近年、インターネット、パーソナルコンピュータ、スマートフォンなどの普及は情報の獲得と発信の方法を変化させ、我々に様々な恩恵をもたらした。インターネットを利用することで、膨大な情報の中から自身の希望に沿ったものを即座に受信することができるし、遠方の相手や多くの人々に容易に送信が可能である。スマートフォンやタブレット端末、小型のパーソナルコンピュータの普及は、インターネットの利用をより身近なものとし、情報の送受信がより簡便となった。その他にも、多くの恩恵が考えられるだろう。

このような機器の発達・普及は、特に視覚に障害を持つ人々の情報の送受信に大きな影響を与えた。平成18年に実施された厚生労働省の調査 [1] によると、国内の視覚障害者は31万人、うち11万人が1級視覚障害者である。1級視覚障害とは、裸眼あるいは矯正の視力の輪が0.01以下の状態を指す。また、原因とその割合は、同調査によると、疾患によるものが19.7%、事故によるものが8.1%、加齢によるものが2.0%、出生時の損傷によるものが4.5%、不明・不詳等その他が65.7%とされている。障害の程度にもよるが、特に1級視覚障害の場合、日常的に視覚を用いた上方送受信は困難であり、その解決手段の一つとして、IT技術の進歩が挙げられる。

詳細は第2章で述べるが、視覚に障害を持つ人々が情報端末を利用する時には、画面の文字情報を音声で読み上げることができるソフトや、点字ディスプレイなどを用いることで、言語情報には容易にアクセスできる。たとえば、紙に書かれた文字を独力で読むことは難しいが、紙をスキャンしOCRを行うことで、そこに書かれた文字を読み取ることができる。さらに、この音声読み上げや点字出力を使用しながら、自分で漢字を含んだ文書7字賀作成でき、視覚に障害のない人々、晴眼者とも情報の共有ができるようになった。インターネットに存在する多量な情報へのアクセスも、このようなソフトや機器を利用することで可能である。こ

のようにして視覚障害者は、自ら多くの情報へのアクセスが可能となった。しかしながら、これらはすべて「言語情報」に限る。

インターネットなどを介して送受信されるのは文字情報だけでなく図形やグラフなどの視覚的情報も含まれ、その重要性はますます高まっている。言語だけでは表現が難しい情報や、理解の補助などを目的として頻繁に視覚的情報、つまり画像情報が使用されている。内容の理解の補助のため、文章のみで書かれたものと、文章とイラストなどの画像情報を含めた文章を作成し、被験者実験によって理解度を検討した研究も報告されており [2][3][4]，それらの結果から、画像情報を含んだ文章のほうがより理解度が高い、ということが明らかとなっている。したがって、他者への情報伝達として、画像情報が重要な役割を持っている。しかし、これらの画像情報に対して、視覚障害者自らがアクセスすることは容易ではない。前述の報告からも明らかであるが、内容理解のためには画像情報のアクセスも重要であり、視覚障害を持つ人々へも何らかの方法でこれらの問題を改善する必要がある。

1.2 研究の目的

日常の中では、言語情報だけでなく、図形情報も多く送受信されており、言語情報図形情報のいずれも、物事の理解には必要なものである。しかし、視覚に障害を持つ人々はこの図形情報を扱うことが難しい。一部の視覚的情報に関しては言語による説明や数表などに変換されてきたが、全てを言語化するのは容易ではない。何らかの方法で、図形情報を図形として伝達することが望ましい。視覚的情報を視覚障害者に伝えるには、図や文字を隆起させ情報を触覚的に提示することが可能な「触図」の利用が有効であり、専用機器を用いれば、触図は作成できる。この触図を用いて、図形情報を触って確認できるので、言語情報への変換は必要でない。触図の中に点字を挿入することで、グラフなどに含まれる文字情報も確認できる。視覚障害者がこれらの機器を使って予め用意された原稿から触図を作成することは比較的容易であるが、原稿を視覚障害者が描くことは困難である。自ら情報を送受信するという観点から、視覚障害者が独力で画像情報を作成できることも、受信と同様に重要であろう。そこで、本研究では、視覚障害者自らが触図を作成するシステムの構築について検討を行った。作成対象となる図形は、初等的なものとし、複雑なもの、色表現などは扱わなかった。

まず、視覚障害者用触図作成システムに求められる要件を以下のように規定する。

- 触覚により確認できること
- 直感的に操作できること

- 何度でも書き換え可能であること
- デジタルデータへの変換ができること

作成中の図形を触覚で確認できることは、視覚障害者用のシステムとして最も重要なことであると考えられる。今自分がどのような図形を描画しているのか、描画結果としてどのようなものが出来上がるのかの確認のため必要である。システム全体が複雑になると、ユーザビリティが低下し、結果意図する描画が行えない、システム自体が使いづらいなどの問題が生ずるため、なるべく容易な操作も目的とした。手描きスケッチのような創造的行為は、暫定的に決めた解を図として外在化させ、その結果を確認し、それに対する修正箇所を思考する、という過程を経る[5]。行為者が満足する解を得るまで、これらが循環されることになる。視覚障害者による触図作成も創造的行為であるので、同様の過程が取られると考えた。この点から、何度でも書き換えが可能であることは描画システム要件に求められる。デジタルデータへの変換、つまり、作成した触図をパソコンなどで取り込むことができれば、使用用途が広がるだろう。

さて、触図描画システムの構築においては、どのように触図を提示するかということも重要である。触図提示手段として広く用いられている方法に、専用の用紙とボールペンなどを用いて、要旨上を隆起させ、触覚によって確認できる筆記用具がある。作成が容易であることもあって、一般的に用いられているが、これでは上記システム要件の3を満たすのは難しい。ボールペンを用いた描画に類似しているかもしれない。一度描画を行うと、部分的な消去は行えず、消去のためには初めから描きなおす必要がある。しかし、これでは利便性が著しく低い。同時に、デジタルデータへの変換も容易でない。作成した触図をスキャナで読み取るなどの作業が都度必要である。

これらの課題を解決するためには、ソフトコピーを提示することのできる点図ディスプレイ[6][7]の利用が有効であろう。点図ディスプレイは、電気信号によって上・下を制御できる点字端末用の触知ピンをマトリックス状に配置したものである。点図ディスプレイの一例を図1.1に示した。ユーザは、触知面を手指で走査することでそこに書かれた2次元図形を認知することが可能である。触知ピンはプログラムによって自由に制御できるため、リアルタイムにピンの上下が可能である。したがって、ピンの上下を制御することで、何度でも異なった図形が提示でき、結果書き換え可能である。さらに、現在のピンの上下情報を用いれば、そこからデジタルデータも作成できる。本研究では、上記の点図ディスプレイを用いている。



図 1.1: 点図ディスプレイ

1.3 本論文の構成

本論文は以下のように構成されている。第2章では、日常我々が扱う情報を言語的情報と視覚的情報に大別し、視覚障害者がこれらの情報を扱うことについて、現状と問題点を述べる。特に、視覚的情報についてはいくつかの方法が実用化されているが、視覚障害者自ら送信することの困難さについて述べる。第3章では、視覚障害者用触図作成システムの第1次検討として、点図ディスプレイとマウス入力によるシステムを試作した。視覚障害者の使用感から、システムの可能性と、明らかとなった問題点について述べる。第4章では、1次施策で明らかとなった問題点のうち、入力方法に関する点について、従来使用されていたペン入力と、触知行動を簡便に行うため、指先入力の二つの入力方法の比較実験をおこなったので、その全体を述べる。第5章では、1次策で明らかとなった二つ目の問題点、きれいな描画を行うという点に対して、デジタル処理によって描画できるシステムの施策を行った。その使用感と問題点、指先入力システムとの融合について述べる。第6章では、触図提示面積の拡大手法について、仮想的な方法による拡大を試みた。物理的な条件と仮想的な条件において、線分長の認識に関する実験を行ったので、その全体像を述べる。第7章では、本論文を総括し、今後の課題や展望について述べる。

第2章 視覚障害者の情報送受信の現状と課題

2.1 スクリーンリーダを用いた言語情報へのアクセス

視覚に障害を持つ人々が言語情報にアクセスする手段としては、パーソナルコンピュータなどのIT機器とスクリーンリーダと呼ばれるソフトウェアの利用が広く普及している。スクリーンリーダとは、パーソナルコンピュータなどに組み込むことで、画面に表示される多くの文字情報を、TTS(Text To Speech)エンジンに伝達し、合成音声によって文字情報を音声読み上げ可能にするものである。編集集中の文章、インターネットを利用する際に用いるブラウザ、コンピュータの各種メニュー項目などを音声で確認できるので、視覚障害者はIT機器を利用した言語情報へのアクセスが簡便となった。また、文字情報は音声だけでなく、点字端末にも出力することができ、音声では聞き取りにくい文章の確認や、盲聾者の利用にも有効である。

スクリーンリーダが普及する以前は、誰かに読み上げてもらったり、自分が話した内容、あるいは点字で書いた文章を代筆してもらう必要があった。すなわち、文字を「読み」「書き」するのではなく、「聞く」「話す」必要があった。このような作業は時間と労力を必要とし、多くの情報獲得が難しいという問題点がある。それゆえ、視覚障害者はこのような観点から「情報障害者」とも言われていた。一般的に扱われる情報は視覚に訴えるものが多く、それらを認識する手段が少なかったため、さまざまな情報を入手できないためである。

視覚障害者を取り巻くこのような問題は、IT機器の発達やスクリーンリーダの登場により大きく変化してきた。昨今、さまざまな情報をインターネットを介して入手することができ、スクリーンリーダや点字端末を利用することで、視覚障害者はこれらの情報にアクセスできる。また、用紙に印刷された文章も、OCR(Optical Character Recognition)を行うことで、パーソナルコンピュータなどで確認ができる[8][9]。OCRとは、用紙をスキャナで画像として取り込み、画像解析によって文字認識を行うものである。OCRを行うソフトウェアも、スクリーンリーダで操作可能なものがあり、視覚障害者が人に頼らず、独力で印刷された文章を読むこ

とも可能である。ただ、OCRの精度に関しては、英文や日本語のみの文章であれば高精度で認識可能であるが、図表や数式など、文字以外の情報が混在した文章では、精度が低下する問題がある。これらに対応するため、理系文章の読み取りに特化したOCR技術の開発が行われている[10]。

このように、視覚障害者がIT機器を利用して情報の送受信を行うために必要不可欠となりつつあるスクリーンリーダに対しても、いくつかの問題点が考えられる。一つは、日本語固有の問題として、漢字の伝達方法である。点字は表音文字であり、原則としてひらがなとアルファベット、数字や各種記号から構成されている。カタカナや漢字は特殊な記法により表現できるが、一般的には普及していない。したがって、視覚障害者の中には漢字を知らないものも多い。しかし、晴眼者と同様の文章を書くためには、漢字を利用する必要がある。視覚障害者はどの漢字が適当であるかという判別が難しい。そのため、スクリーンリーダには漢字の詳細読みという機能が設けられている。たとえば、「障害」という漢字は詳細読みでは「しょうがいしゃのしょう、さわい」「そんがいのがい」などと読み上げられる。これらの漢字詳細読みを頼りにして、漢字混在文章を作成できるが、どのような詳細読みを行うことで目的の漢字を想起できるか、という問題は検討が行われている[11]。スクリーンリーダの持つもう一つの問題は、文字情報以外の視覚的情報の音声読み上げが不可能という点である。インターネット上の文章には、文字以外の数表やイラスト画像のような視覚情報が多く、またGUI(graphical user interface)を多用したソフトウェアも多く存在する。画像が存在することは確認できるが、その内容を読み取ることはできない。さらに、GUIソフトウェアでは、キーボード入力でなく、マウスなどのポインティングデバイスの利用が想定されており、スクリーンリーダではこれらに対応できない。GUIソフトウェアの利用を目的としたスクリーンリーダの検討がなされているが[12]、未だ実用化には至っていない。

以上のように、文字情報を電子化することで、視覚障害者は独力で言語情報の送受信が行えるようになった。しかし、視覚的情報へのアクセスという大きな問題が残る。

2.2 触図を用いた視覚的情報へのアクセス

2.2.1 触図の利用

前節で述べたように、スクリーンリーダを用いることで電子化された言語情報へのアクセスは簡便なものとなった。しかし、スクリーンリーダの持つ問題点でも述べたように、図形のような視覚的情報へのアクセスは行えない。パーソナル

コンピュータなどで扱われる情報は、言語だけでなく、視覚的情報も多いため、視覚障害者に画像情報を伝達することも重要である。比較的簡単な図形やグラフ、表のような情報は言語化によって伝達することも可能である。

「右側には〇〇があって、左には××がある」

「表の1行目は左から…であり、2行目は…である」

「放物線のようなグラフでx軸と接している」

このように言語化することで伝えられる図形情報もあるが、複雑なものでは使用できない。そこで、視覚的情報を言語化によらず、そのまま画像情報として伝達することが必要である。

視覚障害者に画像情報を直接伝達する手段としては、「触図」が用いられている。触図は、提示したい文字や画像を隆起させ、触覚によって認識可能にしたものである。写真のように、色情報などを伴う微細な表現などは行えないが、比較的複雑な画像の提示が行え、ある程度の時間をかけて触察することで、視覚障害者が視覚的情報を認識することができる [13]。画像情報の提示以外にも、文字を提示することで、漢字の構造を知らない視覚障害者の漢字学習の場面でも利用されている [14]。画像のように、一度に多くの情報を認識するためには、その情報を受け取る受容器の空間分解能の高さが重要であろう。空間分解能とは、離れた2点が2点として独立して認識可能な最小の距離を指す。これは視覚が最も高く、次いで触覚である。この値は研究者や実験状況によって変化するようであるが、たとえば Valbo の行った実験では [15] によると、指の指先で 1.6mm、指の指先以外で 3.7mm、手のひらで 7.7mm であることが報告されている。したがって、画像のような視覚情報の提示には触図の利用が有効である。

触図を提示する手段には、大きく二つの方法が考えられる。一つは、紙に提示する方法である。紙の上に点や線を隆起させ、触図を構成するものである。専用の用紙や機器を用いて作成することもできるし、ある程度薄い用紙であれば、ペンなどで強い筆圧で描くことで、容易に触図が作成できる。もう一つは、第1章でも述べたように、点図ディスプレイを用いる方法である。表示したい画像に合わせて、ディスプレイ上の該当するピンを上下させ、ピンの凹凸で画像を構成するものである。点図ディスプレイ上のピンはプログラミングによって電氣的に制御できるので、画像の修正や、パーソナルコンピュータなどで取り込んだ画像を瞬時に提示できるなどの利点がある。しかし、点図ディスプレイが高額であることや、提示するためには専用のソフトウェアが必要であること、柔軟な提示のためにはソフトウェアを自作する必要があることなどから、触図の提示手段としては用紙に描く方法が多く用いられている。

2.2.2 触図作成と問題点

次に、上記で述べた触図の作成方法について考える。専用の用紙や機器を用いて作成する方法にはいくつか考えられるが、もっとも単純なものに、立体コピー機 [16] の利用が挙げられる。これは、カプセルペーパーと呼ばれる専用の用紙に、一般的に使われているプリンタなどでモノクロ印刷によって提示したい画像を印刷する。その後、立体コピー機に挿入すると、カプセルペーパーが熱せられ、黒く印字された部分が隆起するものである。熱する温度を調整することで、隆起する度合いを変えることも可能である。また、画像中に文字や点字をあらかじめ挿入しておけば、それらの文字情報も触察によって確認できる。作成したい触図の原図が書籍やインターネット上に存在していれば、コピーが容易であることや、カプセルペーパーに直接手描きすることが可能であることなどの理由から、立体コピー機を用いた触図作成は容易である。

しかし、より詳細な触図の作成、たとえば点種を使い分けての表現や線の太さを変えるなどの表現は立体コピー機では容易でない。そこで、より詳細な触図を作成する手段として、触図描画ソフトウェア「エーデル」と点字プリンタを用いた方法がある [17]。点字プリンタは、点字を印刷することができる点字専用のプリンタであるが、点の大きさや点間隔などを調整して、点で表現された触図の作成も可能である。描画ソフトウェアのエーデルでは、一般の描画ソフトウェアのように、自由な直線や曲線の描画が行えるほか、下絵を取り込み、その下絵を確認しながら、点の大きさや点間隔などの調整が行える。さらに、キーボードから文字を入力すると、その文字が点字に変換され、触図内に点字として文字情報を挿入することもできる。したがって、点字や触図にあまり詳しくない人でも、エーデルと点字プリンタを使用することで、比較的容易に詳細な表現を含む触図の作成が可能である。

さて、これらの触図作成の手段は、いずれも視覚を必要とする。すなわち、視覚障害者が自ら触図を作成することは困難である。立体コピーであれば、用紙に印刷された原図、あるいは原図の電子ファイルがあれば、カプセルペーパーに印刷・コピーを行い、立体コピー機に挿入し、触図を作成することはできる。しかし、カプセルペーパーに直接描画を行うことは難しい。描画ソフトのエーデルは、描画そのものはパーソナルコンピュータのディスプレイを確認しながら操作する必要があり、スクリーンリーダーを用いても、描画内容を確認することはできない。したがって、視覚的情報のコミュニケーションにおいては、現状晴眼者 → 視覚障害者という、1方向のコミュニケーションのみであり、双方向のコミュニケーションを実現するため、視覚障害者自らが触覚を用いて画像情報を作成できるシステムが必要であると考えられる。

現在、視覚障害者が晴眼者の協力を得ずに触図を作成するためのものとしては表面作図器がある。これは、鉄筆等で線を引くと軌跡が凸状となって浮き上がるセロファン状シートを使用する視覚障害者用の筆記用具である。触覚で作成途中の図形を確認しながら触図作成を進めることが可能である。表面作図器は盲学校における教育でも用いられている [18]。構造が単純で直感的操作によって使用が可能な道具であることが教育現場で用いられてきた要因の一つであると考えている。直感的に操作できることは創造的行為を行う上で重要な要素であり [19]、この意味で表面作図器は優れた道具であるといえるが、描画システムとしては2つの改善可能性があると思われる。1つは、一度描いた線を消去できないことである。セロファン用紙そのものが隆起するため、後で消去することはできない。図形の修正には加筆だけでなく消去機能が必要である。もう1つは、デジタルデータへの変換作業に晴眼者の協力が必要となることである。セロファン用紙に描画された内容を、スキャナなどで取り込むことでデジタルデータへ変換することは可能かもしれないが、適切な位置にあるか、正しく読み取ることができたかなどは、視覚障害者が確認することは難しい。デジタルデータへ変換できれば、自分の文章に挿入したり、インターネット上に公開するなど、その利用用途は多岐にわたる。

このように、視覚的情報を視覚障害者に伝達する手段、視覚障害者が視覚的情報を確認する手段として、触図の利用が有効であるが、触図の作成が独力では難しいことや、これまで用いられてきた表面作図器の問題点など、視覚障害者の触図を取り巻く現状は問題が多い。本研究では、触図作成に関する問題点を取り上げるが、色情報の扱いや、動画像のような静止画以外の提示なども、解決すべき課題であろう。

第3章 マウスを用いた触図作成システムの検討

第1章で述べたように，本研究では視覚障害者自らが触図を作成できるシステムにおいて，触察可能，直感的操作が可能，書き換え可能，デジタルデータへの変換が用意であるという点に着目している．これらを満足するため，触図提示には点図ディスプレイを使用した．特に，書き換え可能，デジタルデータへの変換が容易であることが，点図ディスプレイの有効性といえる．点図ディスプレイを制御するため，適切なソフトウェアを開発することで，これらが実現できる．

触図作成システムの検討にあたって，まず初めにマウスを入力装置としたシステムの試作を行った．晴眼者がパーソナルコンピュータを用いて簡単な描画を行う際には，マウスがしばしば用いられている．マウスカーソルの現在位置を確認しながら，目的の描画を行っており，直感的な操作であると考えた．そこで，視覚障害者用のシステムにおいても，マウス入力による可能性を2名の視覚障害者の使用感から検証した．

3.1 本システムの機能

本システムは，触図を提示する点図ディスプレイ，描画内容を入力するマウス，およびこれらを制御するパーソナルコンピュータから構成された．点図ディスプレイ上には，現在位置を確認するため，10Hzで点滅する1点が常に表示されていた．ユーザはマウスを上下左右に動かすことで，この1点が同方向に移動した．この1点を確認しながら，ユーザは描画行動を行う．

描画のため，描画機能，消去機能，全消去機能をそれぞれ設け，マウスのボタンにそれぞれの機能を設定した．具体的には，マウスの左ボタンを押したままマウスを移動させると，その軌跡に合わせて，点図ディスプレイ上のダウン状態のピンがUp状態になった（描画機能）．つまり，マウスの軌跡がディスプレイに描画される．マウスの右ボタンを押したまま移動させると，その軌跡に合わせてディスプレイ上のUp状態のピンがDown状態になり，描画内容を消去することができ

た（消去機能）。マウス中央ボタンを1度押すと、これまでの描画内容がすべて消去され、ディスプレイのすべてのピンがDown状態になった（全消去機能）。なお、どのボタンも押さない状態では、ディスプレイのピンに変化はなく、現在の描画内容を確認することができた。ユーザはこれらの機能を用いて、目的の描画を行っていく。

さらに、点図ディスプレイのピンの状態からデジタルデータを作成し、保存できる機能も設けた。保存するデジタルデータの解像度は、点図ディスプレイを元に、横480ピクセル、縦320ピクセルとした（点図ディスプレイのピン数は、横48本、縦32本）。点図ディスプレイの一つのピンを、10ピクセルの正方形に対応させ、Down状態のピンは白色、Up状態のピンは黒色で表示した。なお、画像の解像度や色は自由に変更することができた。画像の保存に関する操作は、すべてスクリーンリーダーを用いて可能であった。

3.2 使用感から得られた問題点

本システムを2名の視覚障害者に使用してもらい、感想を求めた。初めに機能の説明をし、その後は自由に操作しながら好きな描画を行ってもらった。わずかな練習時間で本システムを使用することができ、直線や4角形、文字などを描画していた。

マウスを動かすだけという直感的な操作で描画が行えることや、デジタルデータに変換できることで、晴眼者にも伝達できることなどが評価された。特に、表面作図器では難しかった、部分消去や、初めから描きなおせる機能が挙げられた。しかし、「後1, 2ピン長くしたい」「1, 2ピンのみを消去したい」などのように、細かな修正が難しいという意見もあった。マウスを少し動かすだけで、数ピンずれてしまい、カーソルを目的の位置まで移動させることが困難であるなどが挙げられた。

その他、本システム全体に対する大きな問題点として、次の2点が挙げられた。一つは、触図提示面と入力面が一致していないことである。本システムの触図提示面は点図ディスプレイであり、入力面はマウスが置かれている机上である。したがって、この状態では片手でマウスを操作し、もう片方の手で点図ディスプレイを確認しなければならない。今回使用したユーザは、いずれも右利きであったため、右手でマウスを操作し、左手で点図ディスプレイを確認していた。この場合、マウスを動かす右手の運動と、触図を確認する左手の運動は独立して行われ、これらを統合して作業を行わなければならない。そのため利便性が低下している。つまり、マウスの移動量と点図ディスプレイ上のカーソルの移動量の関係は直接的

でないため、それぞれをつねに把握しながら描画を行わなければならない。これらを象徴する意見として

「マウスを動かすと点図ディスプレイのカーソルがどこかに行ってしまう、都度カーソルを探さなければならない」

「カーソルを探していると、次に自分がどの位置に描画すればよいか分からなくなる」

「描画や消去中、カーソルがどこまで移動したか確認できないので、余分に描画したり、不要な消去を行ってしまう」

などがあつた。得られた意見から、触図提示面と入力面を等しくすることの必要性が確認できた。これらを等しくするという事は、すなわち、触図提示面に直接描画を行うということであり、直接描画できれば、全体の描画内容と入力開始・終了点を直接的に比較した描画が行える。

もう一つの問題点は、直線などがきれいに描画できないことである。直線を引いているつもりでも、線がぶれてしまい、結果直線として認識できないというものである。これに対する意見としては、

「直線を引いても線がゆがんでいるので、直線かどうかの判別が難しい」

「きれいな直線を引こうとすると、マウスをゆっくり慎重に動かさなければならないので、時間がかかるしやりにくい」

「直線のゆがんだ部分が他の線と干渉し、区別することが難しい」

などがあつた。しかし、この問題は本システム固有のものではないと考えられる。定規などを使用せずに、手書きで直線を描画した場合、多くの場合は線がゆがむ。ただし、今回使用した点図ディスプレイの解像度は非常に小さいため、そのゆがみがより強調されてしまった。結果として、ユーザの触図作成に影響がでた。また、この問題に関連して、曲線の描画が難しいことも挙げられた。直線のゆがみと同様に、曲線もきれいな表示は行えず、さらに線が2重3重に重なって描かれるなどが確認できたが、やはりディスプレイの解像度に依存する問題であると考えた。

本システムの検討を通して、点図ディスプレイを利用した触図作成システム構成の可能性が明らかとなった。ユーザ評価からも、書き換え・消去機能があること、デジタルデータへの変換が容易であることが評価された。これらの実現には、点図ディスプレイの利用が有効であった。ただし、上で述べたように、入力方法や整った描画を行うためには問題があることが分かった。整った描画のためには、手描きではなく、デジタル処理が必要であろう。そこで、次章以降では、これらの課題に対しての検討を行う。

第4章 点図ディスプレイを用いた触 図作成システムにおけるペン・ 指先入力の比較

前章で述べたように、視覚障害者用の触図作成システムにおいては、常に触知を伴うという観点から、触図提示面と入力面を一致させる必要がある。これらが同一であれば、触知によって確認しながら次の描画行動にスムーズに移ることができ、さらに、直接追加したいポイントなどを確認できるので、システムの有効性が高まるのではないかと考えた。

渡辺と小林は、点図ディスプレイと2次元の位置計測装置を組み合わせて電子的な表面作図器を試作した[20]。位置計測装置には入力用ペンが接続されており、左手で触図を確認しながら右手で保持したペンで描画できるようになっていた。この装置では図形の編集や保存が可能となっていた。彼らは、2名の視覚障害者を被験者として実験を行い、点図ディスプレイを用いた触図作成システムの実用可能性を示した。

さて、触知における左右の手の使い方について、左右双方の手を活用して読み進めることが最適であると報告されている[21][22][23]。利き手を主体的に使いながら、反対の手指も協調的に使うのである。前述した渡辺と小林のシステムでは、利き手で保持したペンで描画し、反対の手で触図を確認することを想定しており、両手での触知は考慮されていない。手からペンを放すことで両手指での触知が可能になるが、描画動作に移るときにはペンを再び持ち直さなければならない。我々は、両手での触図確認が可能で、かつ、この時の手指の姿勢に近い状態で作図が可能なシステムが有効である、と考えた。

近年、液晶パネルのような表示装置とタッチパッドのような位置入力装置を組み合わせたタッチスクリーンを採用した情報機器が普及してきた。タッチスクリーンは、ユーザが画面上の対象を見ながら指先で操作できるため、直感的に分かりやすく、操作が簡単になるという点で優れている。視覚障害者用の触図入力システムにおいても、触知面上の図形を触りながら指先で描画する方法が有効となる可能性がある。指先で入力できれば、ペンを持ったり放したりする動作が不要と

なり、両手での触知が容易になると想定できるからである。

そこで本章では、このような指先で操作するタッチスクリーンの考えを拡張し、指先で描画可能な視覚障害者用の描画システムを提案する。点図ディスプレイを用いて指先入力で描画・消去できるシステムを試作し、ペン入力によるシステムとユーザビリティの比較をする。近年見られるタッチパネルとペン入力を共に備えたノート PC 等の使用感から、視覚障害者用描画システムのユーザビリティをおおよそ予測することは可能かもしれない。しかし両者は、情報の獲得という点で同一ではない。ノート PC の場合は視覚で情報を獲得し手指で外界に働きかけるが、本研究のシステムでは手指の触覚で情報を獲得し手指で外界に働きかける。そこで視覚障害者用の描画システムを対象として、特に、目標を達成するために用いられる際の有効さ（正確さ）、効率（費やした時間）、ユーザの満足度の度合いを被験者実験によって調べる。

4.1 実験用装置

4.1.1 装置の構成

比較実験に用いた装置は、指先あるいはペン先の位置を検出するために用いられる画像取得装置、触図を提示する点図ディスプレイ、およびこの2つを制御するためのパーソナルコンピュータから構成されていた。図 4.1 に画像取得装置と点図ディスプレイを示す。

画像取得装置には 640×480 画素、30FPS の USB カメラを用いた。点図ディスプレイは piezo 素子駆動の触知ピンによって構成されていた。1 本の触知ピンの直径は 1.2mm、上下のストロークは 0.7mm であり、ピン先は丸め加工がなされていた。横 48 本、縦 32 本のピンがマトリックス状に配置されており、ピン間隔は 2.4mm であった。点図ディスプレイとパーソナルコンピュータは USB で接続された。点図ディスプレイを机上に水平に置き、上方に配置したカメラで触知面を撮影した。カメラの画角と触知面は一致させた。

人差し指の爪の先端付近に光学マーカを取り付け、画像処理によってマーカの重心位置を求め、この点を指先の位置とした。(図 4.2 左)。これらの処理は Windows 7 上の Visual C# および OpenCV によって実現された。Core i5(1.7GHz) の CPU および 4096MB のメモリーを搭載したパーソナルコンピュータで実行したところ、画像取得から点図を表示するまでのサイクルは 20FPS 程度であった。同一のシステムで、マーカをペン先に付け換えることで、ペン入力を実現した。(図 4.2 右)。



図 4.1: 実験装置

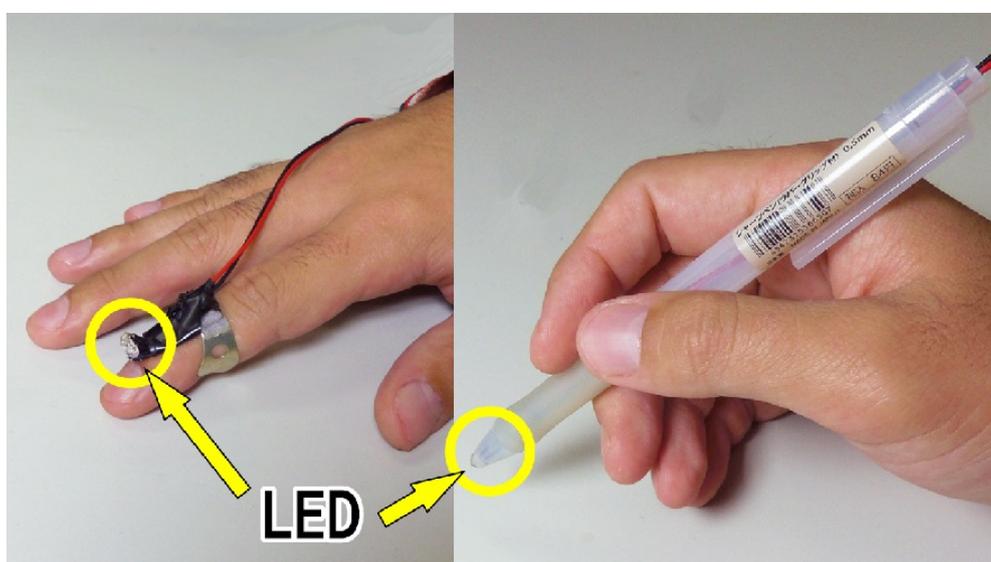


図 4.2: マーカー

4.1.2 機能

主要な機能として3つの操作モードを設定した。1つ目は閲覧モードである。このモードでは、ユーザーは点図ディスプレイに表示されている触図を自由に触って確かめられる。描画や消去は行われない。2つ目は描画モードである。このモードでは、マーカー直下のピンがDOWN状態ならばUP状態に変更される。この状態で指あるいはペンを移動させると、軌跡にあるピンがUPとなり線を描いたことになる。3つ目は消去モードである。この状態で指あるいはペンを移動させると、軌跡にあるピンがDOWNとなる。

これらのモード切り替えは触知面の手前に配されたボタン1によって行われる。システムの基本機能としては、ボタン1が1回押されるごとに、「閲覧」⇒「描画」⇒「消去」⇒「閲覧」と循環的にモードが切り替わる。

モードが切り替えられた時には、それぞれ「閲覧モード」「描画モード」「消去モード」と音声読み上げを行い、ユーザーに現在のモードを伝えた。その他の補助機能として、初期化ボタン（ボタン2）、全消去ボタン（実験では使用していない）などを設定した。実験用には、タスク完了通知ボタン（決定ボタン）を設定した。これらのボタンは親指での操作を想定し、触知面の近くに配置されている。

4.2 実験

点図ディスプレイを用いた視覚障害者用触図作成システムにおける指先入力とペン入力の違いを明らかにするために、(1)有効さ、すなわち達成された課題の正確さ、(2)効率、具体的には課題を達成するために費やされた時間、(3)ユーザ満足度、を晴眼者と視覚障害者の被験者実験によって調べた。

本論文の冒頭で述べたように、本研究では触図作成システムにおける描画の修正機能に着目している。特に、既存の触知図形に対して所望の場所に所望の図形要素を新たに追加できること、および、既存の触知図形の所望の場所の所望の図形要素を消去できることが重要であると考えている。そこで、以下に示す3種類の課題における有効さと効率を調べることにした。

- a 決められた場所に1つの点を追加する課題（ポイント課題）
- b 決められた場所に決められた長さ・向きの線分を追加する課題（描画課題）
- c 決められた場所の決められた図形要素を消去する課題（消去課題）

実験終了時に被験者から得た意見や感想を分析し、ユーザ満足度評価とした。これらは、質問項目を設けず、自由に発言してもらった。実験の最後に、ペン入力と指先入力を総合的に比較した場合、どちらが優れていると感じるか尋ねた。

4.2.1 方法

課題

上で述べた3つの課題，すなわち a, b, c に対して，それぞれ2種類の課題を設定した。つまり，本研究で用いた課題は6種類であった。なお，ターゲットが右方にある場合と左方にある場合の実験試行を行っている。それぞれの課題を図4.3～図4.5に示す。ここでは，触知面の左右方向を水平，上下方向を垂直と表現し，触知ピンの1つをドットと表現する。図4.3～図4.5において，白丸はDOWN状態，黒丸はUP状態のドットを表している。灰色の丸は被験者が描画または消去すべきドットである。

ポイント課題1は，触知面上に2つの点P1, P2が与えられ， $P1P2 = P2P3$ となるような点P3を，線分P1P2の右または左方向の延長線上に追加する課題であった。なお，P1およびP2は水平な位置にあり，P1P2は10ドットであった(図4.3上段)。ポイント課題2は2つの点P1, P2が与えられ，P1P2P3が正三角形となるような点P3を，線分P1P2の右または左側に追加する課題であった。P1およびP2は垂直な位置にあり，P1P2は11ドットであった(図4.3下段)。ポイント課題を実験する際には，決定ボタンを押すとマーカー直下のピンがUP状態になるようにした。

描画課題1は正方形の3辺が与えられ，残りの1辺の線分を追加して正方形を完成させるものであった。1辺の長さは12ドットであり，追加すべき線分は右辺あるいは左辺であった(図4.4上段)。描画課題2は，H型図形の2本の線分が示され，1本の線分を追加してH型の図形を完成させるものであった。1本の線分の長さは13ドットであり，追加すべき線分は右側あるいは左側の垂直線分であった(図4.4下段)。描画課題を実験する際には，「閲覧」⇒「描画」⇒「閲覧」とモードが切り替わるようにした。

消去課題1は正方形とその外側に線分が与えられ，線分を消去する課題であった。消去対象の線分は，正方形の右辺あるいは左辺の midpoint に接するように置かれた。正方形の1辺は20ドットであり，線分の長さは7ドットであった(図4.5上段)。消去課題2は，消去課題1の線分を1辺7ドットの正方形に置き換えた課題であった(図4.5下段)。消去課題を実験する際には，「閲覧」⇒「消去」⇒「閲覧」とモードが切り替わるようにした。

なお，点図ディスプレイのドットはマトリックス状に配置されており，さらに解像度が低いため，滑らかな斜線を表現することは困難であった．そこで今回の実験では斜線は扱わないこととした．

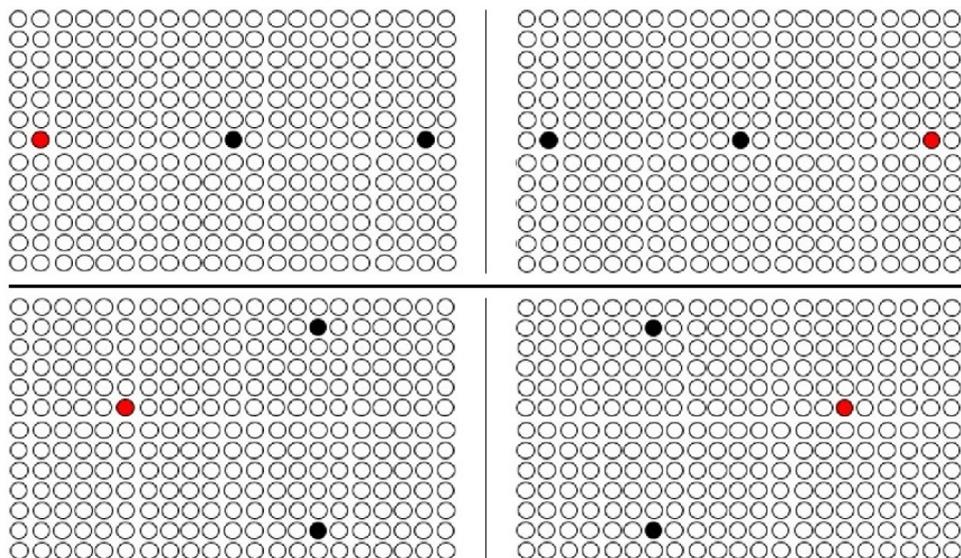


図 4.3: ポイント課題 (上:課題 1 下:課題 2)

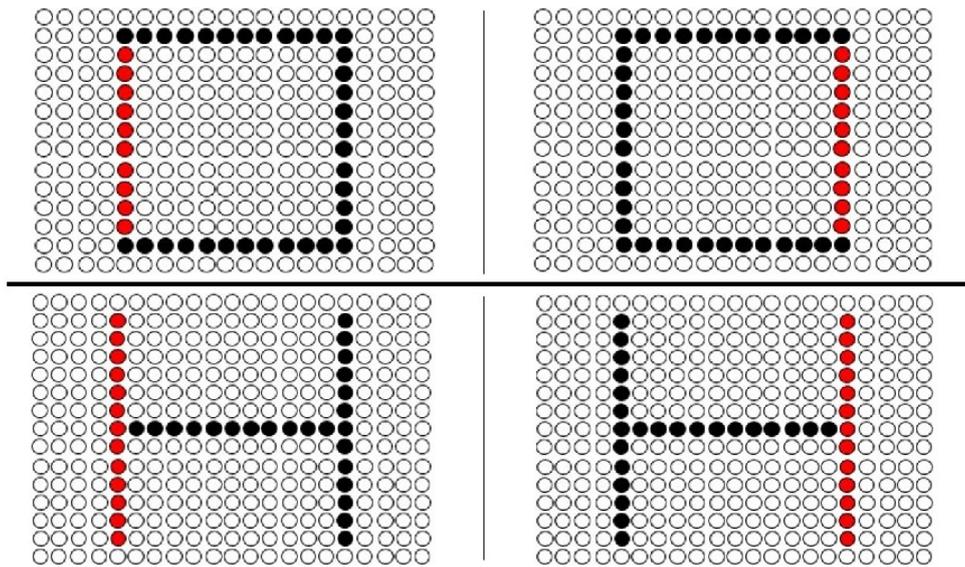


図 4.4: 描画課題 (上:課題 1 下:課題 2)

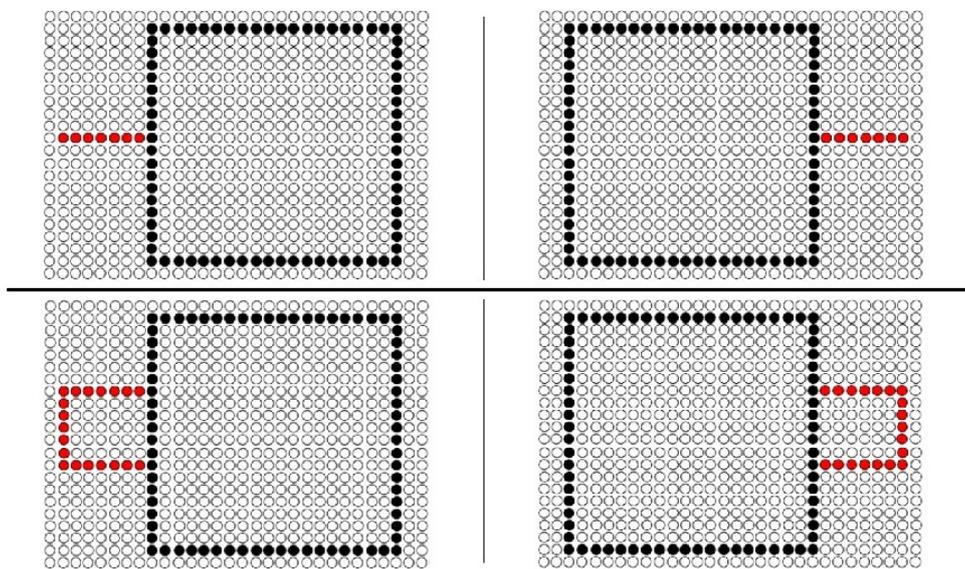


図 4.5: 消去課題 (上:課題 1 下:課題 2)

手順

6種類の課題が、2種類の入力方法で遂行された。1つの条件について5回の試行がなされた。ペン入力と指先入力はそれぞれ別のブロックとして実験した。順序効果を考慮して、晴眼被験者のうち半数の被験者はペン入力の実験を行ってから指先入力の実験を行い、残りの被験者は、その逆の順番で実験を行った。視覚障害被験者の半数はペン入力から、残りは指先入力から実験を行った。それぞれのブロックの中では、各条件がランダムに試行された。

実験前、被験者は点図ディスプレイを経験する時間が5分間与えられた。この時、触知面には簡単な図形が提示された。また、実験用装置の機能に関する説明がなされ、被験者はその動作を確かめた。各試行の開始時には、被験者は手を膝の上に置くように指示された。試行開始の合図が与えられ、各課題を開始した。被験者は、なるべく速く、正確に課題を行うように指示されていた。被験者は、課題を終えたら、ボタンでその旨を知らせた。

ポイント課題ではドットを追加するべき位置が右方か左方が不明確であったので、当該試行の前には、右あるいは左が音声で指示された。ペン入力の際には、ペンを机の上において両手指で図形を確かめることが許可されていた。

被験者

晴眼被験者は、20歳代の右利きの男性7名であった。いずれの被験者も裸眼あるいは矯正で正常な視覚を有していた。被験者は実験前には点字や触図に触れた経験がほとんどなかった。全ての被験者は、実験の目的を知らなかった。実験中はアイマスクを装着した。

視覚障害被験者は、40歳代後半および20歳代後半の右利き男性2名で、いずれも全盲であった。日常的に点字や点図をよく利用している。なお、著者の2名がこれらの被験者であった。

4.2.2 結果

初めに晴眼被験者の結果について述べる。ターゲットが右方にある場合と左方にある場合の実験試行を行ったが、左右差は見られなかったため、今回は両者を統合して解析した。

正確さ

達成された課題の正確さに関しては、課題毎に別々の基準を定めて評価した。ポイント課題は、被験者が追加したドットの位置が目標のドット位置と一致した実験試行の割合（表 4.1）、さらに、目標あるいはその周囲 8 近傍のドットの位置と一致した試行の割合（表 4.2）によって評価した。描画課題は、追加された線の長さ、具体的には目標に対して過不足したドットの数（表 4.3）、さらに、位置ずれ、ここでは水平方向のずれ量（表 4.4）によって評価した。消去課題は、未消去ドット数、つまり消し残したドットの数（表 4.5）、および過消去ドット数、つまり消去対象でない正方形の線分を消したドットの数（表 4.6）によって評価した。6 種類の全ての課題において、指先入力とペン入力の間には差は認められなかった（ t 検定, 対応あり, 両側, 有意水準 5%）。

効率

各試行の開始から終了までにかかった時間（5 試行の平均）を課題達成時間とした。図 4.6 に実験の結果を示す。値は被験者 7 名 × 2 種類の平均で、エラーバーは標準偏差である。全ての課題において、指先入力はペン入力よりも短い時間で遂行されている。指先入力とペン入力の平均課題達成時間の差が統計的に有意かを確かめるために、有意水準 5% で対応あり両側検定の t 検定を行ったところ、有意差が認められた ($t(13)=2.16$)。それぞれの t 値を示す。ポイント課題 1 ; 3.105, ポイント課題 2 ; 4.593, 描画課題 1 ; 2.204, 描画課題 2 ; 2.614, 消去課題 1 ; 2.186, 消去課題 2 ; 3.559 であった。

表 4.1: 正しい位置へのポイント率 (pct.)

課題	ペン	指先
ポイント 1	14.3	12.9
ポイント 2	2.9	1.4

表 4.2: 近い位置にポイントされた率 (pct.)

課題	ペン	指先
ポイント 1	62.9	65.7
ポイント 2	22.9	38.6

表 4.3: 追加された線分長の平均誤差 (ドット)

課題	ペン	指先
描画 1	0.3	0.0
描画 2	0.2	1.2

表 4.4: 水平方向の平均誤差 (ドット)

課題	ペン	指先
描画 1	0.9	0.9
描画 2	0.7	0.7

表 4.5: 平均未消去ドット数 (ドット)

課題	ペン	指先
消去 1	1.3	1.3
消去 2	1.7	2.1

表 4.6: 平均誤消去ドット数 (ドット)

課題	ペン	指先
消去 1	0.6	0.3
消去 2	1.1	0.6

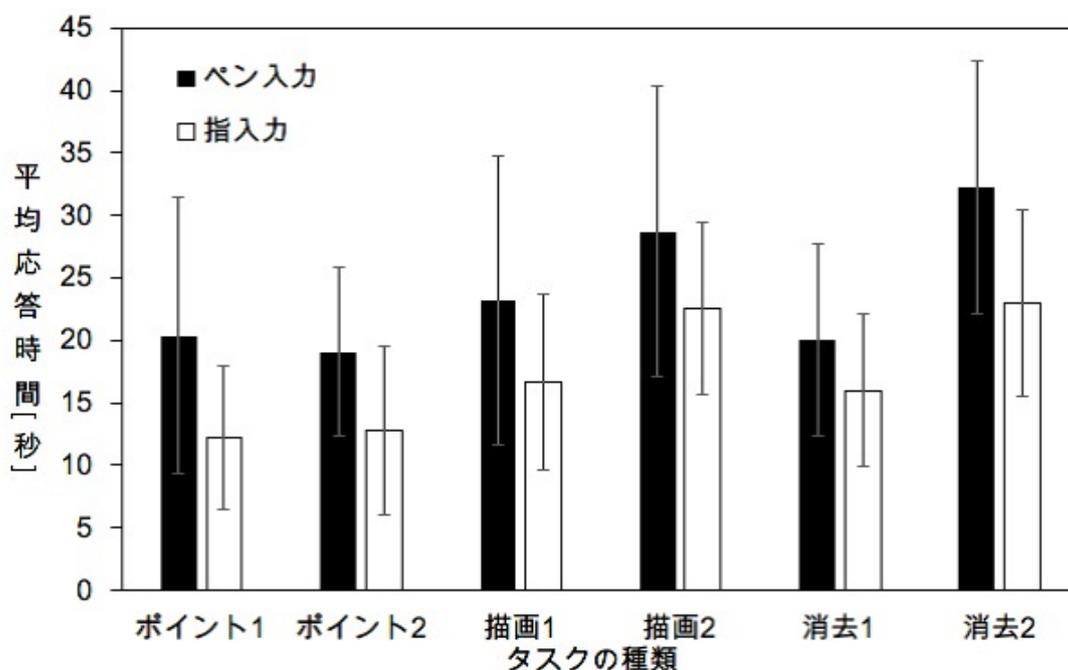


図 4.6: 平均課題達成時間と標準偏差 (秒)

満足度

ペン入力と指先入力のどちらが総合的に優れているか、の質問に対しては、ポイント課題では7名、描画課題では5名、消去課題では6名が指先入力の方が優れていると答えた。被験者から得られた感想の中で指先入力の優位性を示すものには次のようなものがあった。

「指先入力では、即座に変更箇所を認知できる」

「指先入力では、多くの指を同時に使えるので、図形が認知しやすい」

「ペン入力では、利き手での図形確認が面倒だった」

一方、ペン入力の優位性を示す意見は、次のようなものであった。

「Hの文字はペンが書きやすかった」

「日頃鉛筆で描いているから、ペンを持ったほうがいつも通りで書きやすいと感じた」

「指だと今どこを書いているかよくわからなかった」

などがあげられた。また、全体に対する意見として次のものがあった。

「モードの切替が面倒である」

これらの被験者は晴眼者であり、日常的にペン類を扱っている。つまり彼らにとっては指先入力よりもペンの方が馴れていると思われる。ここに示した被験者の発言は、ペンに馴れた被験者であっても閉眼時の触図作成では指先入力の方が使いやすいのではないかと示唆する。

視覚障害者による評価

図4.7に課題達成時間を示す。前述した晴眼者の結果と類似した結果であった。なお、被験者数が少ないため、統計的な検定を行わないこととした。正確さに関する結果では、晴眼被験者と同様に、ペン・指先入力での差は見られなかった。その結果を表4.7～表4.12に示す。

満足度に関しては、ポイント課題についてはペン入力の方が良く、描画課題と消去課題についてはどちらの入力方法でも同等であると感じた。ポイント課題でペン入力を支持するのは、ペン先は1点を確実にとらえることができるが、指先では指の腹全体が描画先であるので、どの1点が入力されるのか分かりにくいからである。

表 4.7: 正しい位置へのポイント率 (pct.)

課題	ペン	指先
ポイント 1	0.0	25.0
ポイント 2	0.0	20.0

表 4.8: 近い位置にポイントされた率 (pct.)

課題	ペン	指先
ポイント 1	60.0	95.0
ポイント 2	20.0	70.0

表 4.9: 追加された線分長の平均誤差 (ドット)

課題	ペン	指先
描画 1	0.0	-0.4
描画 2	1.9	4.1

表 4.10: 水平方向の平均誤差 (ドット)

課題	ペン	指先
描画 1	1.1	1.3
描画 2	0.8	3.0

表 4.11: 平均未消去ドット数 (ドット)

課題	ペン	指先
消去 1	0.6	0.5
消去 2	0.9	0.9

表 4.12: 平均誤消去ドット数 (ドット)

課題	ペン	指先
消去 1	1.4	0.6
消去 2	2.5	1.1

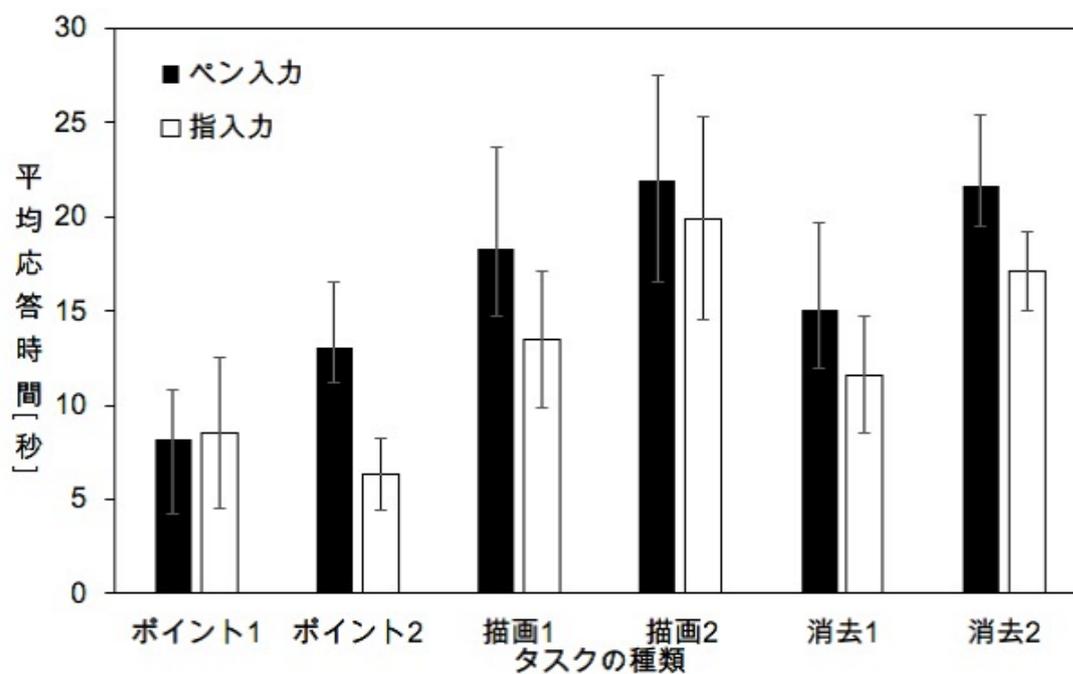


図 4.7: 平均課題達成時間と標準偏差 (秒)

4.3 考察

触図作成過程では、まず現在の状態を触知により確認する。その後、行為者の意図する描画あるいは消去を行い、その結果を確認する。このような行動を繰り返すことで、漸近的に解である図形を「見つける」。すなわち、触図作成過程では、触知による確認行動が頻繁に行われている。冒頭でも述べたように、触知による確認行動については、多くの手指を用いることが最適であるとされており、この意味で、ペンを持った描画では一度に使える手指が少なくなる。したがって、最適な触知のため、行為者はペンを置く・持つ動作を繰り返しながら描画を行うこととなり、結果としてこのような行動が描画に費やす時間に含まれることとなる。結果の効率の項でも述べたが、すべての課題に対して、費やした時間は指先入力の方が短く、これはペンを置く・持つという動作の有無が関係していると考えられる。被験者ごとに見ると、2名の被験者がペン・指先入力のいずれでもほぼすべての課題に対して平均より大幅に時間がかかっていた。また、ポイント課題でペン入力ではすべての被験者が10秒以上費やしているのに対し、指先入力ではおおむね10秒前後、中には3秒前後という場合もあった。実験後の聞き取り調査でも、「指先で直接入力できることは、ペンを持ち直す動作が必要ないので簡単だった」という意見があった。また、描画行動そのものにおいても、ペン入力では所望の場所にペンを置いた後で、ペン先が行為者の意図した位置にあるかを指先で確認する必要があるが、指先での入力はこのような確認は必要ないので、効率が向上した要因となっていると考えられる。

効率およびユーザ満足度では指先入力が優位であったが、作成した画像の正確さについては、入力方法による差は確認できなかった。実際の描画行動は、ポイント課題であればペン・指先を所望の位置に置くこと、直線描画課題であれば、所望の始点から終点まで動かすこと、消去課題では、消去領域をなぞることである。いずれの行動においても、行為者はまず現在描かれている状態を触知により確認し、描画・消去を行いたい領域を把握してから具体的な描画・消去行動を行う。渡辺らの報告にもあるが、今回のポイント課題や直線描画課題のように、「2点間の距離を比べる」「ある点から次の点まで線を引く」などの行動では、2本の指を開きその位置や距離を常に確認しながら空いた手でペンで描画する。複雑な描画内容になれば、位置や距離の把握に必要な指が増え、両手の使用も想定される。このような場合、表面作図機や渡辺らのシステムのようなペン入力システムでは、ペンを持つために指を描画面から離す必要があり、位置や距離把握が困難であろう。さらに、表面作図機のような消去不可能なものでは、描画行動の後で失敗すると、初めからやりなおす必要があり、すでに何度か描画している場合には、正確な描画より初めから書き直す労力を優先することも考えられる。結果として満足する

描画が行えない。そこで、消去可能であり指先入力も可能な本システムを試作した。本システムは消去を行えることはもちろんであるが、いずれの入力方法でもなるべく描画面から指を離す必要がないように、各種ボタンは描画面の近くに配置した。今回の比較実験の結果では、描画・消去行動に対して、触知の時のような、多くの手指を利用できることは、作成された画像に影響しないと言える。

ところで、視覚障害者は大きく、先天的な視覚障害と後天的な視覚障害に分けられる。先天的な障害の場合、文字や画像の入力は主として点字・触図を利用している。すなわち、先天的な視覚障害者は日ごろから触知行動を行っており、上述の「位置と距離の把握」に十分慣れていると考えられる。一方、視覚を失った年齢にも依存するが、後天的な視覚障害者は先天的な視覚障害者に比べ、触知行動に慣れていない場合が多く、今回の被験者は後天的な視覚障害者に相当すると考えることができる。そのうえ、本実験では被験者は初めに練習する時間を数分与えられただけで、この時間で触知に十分なれることができたとは考えにくい。その結果として、正確さについては入力方法による違いがみられなかったのではと考える。先天的な視覚障害者では、効果的な触知行動が行えるため、効率が向上することが予想される。実験に示した2名の視覚障害者はいずれも視覚を失ってから15年以上が経過している。この結果では、いずれの入力方法、すべての課題に対して効率が向上している。「位置と距離の把握」だけでなく、触知による探索の速さも影響しているだろう。正確さについては、「位置と距離の把握」に慣れている先天的な視覚障害者で指先入力がより正確な結果となることが予想されるが、2名の視覚障害者からは読み取ることができなかった。被験者数が少ないため、効率も含めてより詳細な検討が必要である。

今回試作したシステムは、ペン・指先位置の検出精度や、各種ボタン配置はいずれの入力でも同じであり、したがって入力方法以外で効率や正確さに影響は与えない。本システムを用い、後天的な視覚障害者に相当する被験者で入力方法の違いを比較したところ、効率と満足度では指先入力が優位となった。正確さについての違いがみられなかったことから、指先入力での描画システムの可能性が示された。また、指先につけるマーカーの位置を自由に変えられるので、左右どちらが利き手のユーザーでも使用できる。しかし、正確さとも関連して、本ディスプレイは点の集合で描画するため、斜線や曲線などの描画、あるいは直線を描くことは難しい。さらに、前述したように被験者から、触知面が小さい、そして、モードの切替が面倒である、との意見があった。本実験で用いた点図ディスプレイの解像度は、横48本、縦32本であり、十分な大きさとはいえない。さらに大きなディスプレイが理想的であると思われる。大きな点図ディスプレイを用いる際には、モード切り替えに関しての何らかの工夫が必要となるだろう。両手は触知のために使われているので、手指以外の方法でモードを切り替える方法である。例

えば、音声による入力や足で押すスイッチなどが考えられる。また、実験システムを体験した視覚障害者の1人は、指の腹のどの部分が入力点になるかが分かりにくいとコメントした。この点に関しては、ユーザが触っている箇所への認知が容易になるよう、当該ピンを数 Hz 程度で上下に振動させるという方法が提案されている [20]。これにより、位置の認知に関する問題は改善されると考えられるが、指の直下のピンを常に振動するように制御すると、触図閲覧時の認知を低下させるのは明らかである。ユーザの意志で振動と無振動の状態を切り替えるか、ユーザの意図をくみ取ってこれらの切り替えを自動で行うような仕組みが必要になると思われる。

第5章 数値入力による触図作成システム

第3章で明らかとなった問題のうち，入力方法については前章で述べたように，指先で直接入力することの可能性が示された．本章では，もう一つの問題である，きれいな直線を引くという点について，試作を行い検討した結果を述べる．比較のため，前章の実験のうち，描画課題について，実際に被験者が描画した画像の1例を図5.1，図5.2に示す．それぞれ右側の縦の1直線が被験者が描画したものである．

きれいな直線を描画するためには，定規などを用いる方法があるが，よりきれいな描画を行うため，本システムでは数値によって直接図形を描画する手法を採用した．晴眼者が使用する一般のペイントソフトウェアなどでは，適当な大きさの図形をいったん描画し，位置や大きさなどをマウスによって微調整を行う．しかし，これまでに述べたように，視覚障害者がこのような操作を行うことはできない．そこで，別の方法として，プログラミングを用いた描画手法を考えた．プログラミングでは，所望の図形を描画する位置や大きさなどの数値データを引数として関数に入力する．本システムでは，プログラミング言語としてC#を参考とし，C#言語において描画する際に引数となる数値データをユーザが入力することで描画できるシステムを検討した．また，点図ディスプレイの解像度の関係から，曲線を含むような図形は扱わず，直線のみで表現される図形に限定した．



図 5.1: ペン入力による描画



図 5.2: 指先入力による描画

5.1 システムの機能

本システムは、点図ディスプレイ、数値入力のためのインターフェイスソフトウェア（以下単にソフトウェアと表記）、およびこれらを制御するパーソナルコンピュータから構成された。ソフトウェアはすべてスクリーンリーダで操作可能であった。ソフトウェアに入力した数値データをもとに描画を行い、その結果は点図ディスプレイとパーソナルコンピュータで確認できた。

本システムで描画可能であった図形と、数値データの与え方は以下の通りである。なお、数値データを与える際には、点図ディスプレイの左上を原点とし、横方向をx軸、縦方向をy軸と表現する。すなわち、座標を用いた表現として、原点は(0,0)、x軸方向に10、y軸方向に20の位置の点は(10,20)などと表現される。

直線: 始点と終点のx y座標を入力する

3角形: 3点のx y座標を入力する

4角形: 4角形の左上隅x y座標と縦横の長さを入力する

たとえば、1辺の長さが10である正方形を座標(10,10)の位置に描画するためには、左上隅座標として(10,10)、縦横の大きさとして10を入力すればよい。

また、本ソフトウェアには描画した図形ごとの消去機能や、全消去機能も設けた。描画を行った順に、「1.直線」「2.4角形」「3.直線」などと表示する領域があり、それらを選択することで該当の描画内容のピンが10hzで振動した。これにより、消去したいもののみが判別可能で、消去ボタンを押すことで、その部分のみが消去された。さらに、描画内容をデジタルデータに変換できる機能も設けた。作成される画像は、マウス入力システムと同様であった。

5.2 システムの使用感

2名の視覚障害者に本システムを使用してもらった。いずれのユーザもプログラミング経験があり、数値入力による描画にはある程度慣れていた。機能を簡単に説明しただけでただちに使用することができた。

システムになれた時点で、初めに前章の実験に用いた描画課題の図を作成した。実験では、あらかじめいくつかの直線が与えられていたので、それらの数値データを伝えたうえで、残りの1直線の描画を行った。数度描画を繰り返し、作成された画像が図5.3である。



図 5.3: 描画結果

図 5.1, 図 5.2 とは異なり, 直線の開始・終了位置が正確であることや, ゆがみのない直線であることがわかる. 数値データによつて的確に開始・終了点を指定することができるので, このような整つた描画を行うことができた.

このほかにも, 自由にシステムを使用してもらい, 感想を求めた. 数値を入力するだけできれいな図形を作成できることや, これまでの描画内容を逐次確認できることなどが評価された. マウス入力システムとは異なり, ゆがみのない直線が描画できることは, 画像全体が整っており, 触察時において, ゆがみなどの図形とは無関係な点がないことなどが挙げられた. 比較的簡単な図形であれば, きれいな図形が容易に作成できる点も評価された.

一方, 多少複雑な描画時においては, 与えるべき適切な数値データの決定が難しいという意見もあった. ユーザが本システムを用いて描画を行う時, 入力した数値データは別にメモとして作成するなどの工夫が必要であった. たとえば, 長さ 10 の直線の中点から垂線を引きというときには, まず基本線の終点・始点の座標をメモする. 次に, 中点座標を計算し, そこから所望の方向・長さで直線を引いた場合の終点座標を計算する必要がある. このような作業を繰り返して, 全体の描画を行わなければならない. 数値の値が 1 でもずれてしまうと, 意図した描画にならない. そのため, 描画された線分のピン数を数えるという場面もあった. 結果, 全体を描画するために要される時間が長くなり, ユーザへの負担が大き

なる。この点が指摘された。

さらに、3 角形の描画においては、描きたい 3 角形の形状（直角 3 角形、2 等辺 3 角形など）を決めたうえで、初めに基準となる 1 点を定める。その後、形状に合わせて他の 2 点を計算する必要がある。しかし、点図ディスプレイのピンはマトリックス上に配置されており、与えられる数値はすべて整数でなければならないが、常にこのような計算結果とはなりえない。このことから、3 角形の描画はとても困難であった。これは、触図作成システムの要件として規定した「直感的な操作」に反していると考えられる。

5.3 指先入力システムとの融合

きれいな直線を描画するためには、ソフトウェアレベルでのデジタル処理が有効であることが分かった。前述のシステムでは、デジタル処理のために数値を用いていたが、その決定が容易ではないという問題点が明らかとなった。適切な数値の算出のためには、開始・終了点となる 1 点の計算や、全体の中での大きさの決定など、ユーザはさまざまな計算を事前に行ったうえでシステムに数値を入力する必要がある。描画回数の少ない比較的容易な図形であれば、数値入力でも可能かもしれないが、より詳細な描画に対してはユーザ評価からも、その有効性はみとめられなかった。

描画を行う際、ユーザにとって重要なことは、直線であれば開始・終了となる点の位置、3 角形や 4 角形であればそれぞれの頂点の位置である。つまり、ある 1 点を適切に決定することができれば、その位置をソフトウェアに送信することで、デジタル処理が可能である。その 1 点を、前述のシステムでは数値として与えたが、直接描画面の 1 点を決定することができれば、その情報を処理すればよい。その 1 点の決定のためには、前章で用いた指先入力システムが有効であると考えられる。このシステムは、多くの手指を用いて効果的な触察を行いながら、位置計測装置によって、描画面上の手指の位置情報を 1 点としてとらえることができる。直線の開始・終了点をポイントすることで直線が引ける、頂点の位置をポイントすることで 3 角形が描ける、という手法であれば、ユーザは描画面を触るだけでよく、直感的な操作性も損なわれないだろう。

プログラミングを用いた描画方法では、円や扇型など、初等的な曲線を描くことは可能であるが、自由曲線などを扱うことは難しい。今回参考とした C# 言語において、カーディナルスプラインやベジエ曲線などを描画する際には、曲線上の代表点をいくつか入力する必要があるが、これらを適切に指先でポイントすることは困難であろう。描画内容にもよるが、手書きで簡単に曲線を表現したい場合

も想定される。そのような場合においても、指先入力システムを用い、きれいな描画を行う時、曲線に限らず自由に手描きしたい時など、設定を使い分けるなどすれば、さらに自由な触図作成の可能性もある。

第6章 仮想的な触図提示面積の拡大

視覚障害者が独力で触図を作成できるシステムの構築のため、前章までは主に入力方法について検討を行った。その結果、比較的単純な図形であれば指先で直感的に入力可能であることが明らかとなった。しかし、より複雑な図形内容、すなわち多くの線分から構成される図形の描画を考えた場合、触知のしやすさという観点から、大きな触図提示面積が必要であると考えられる。線分の数が増えれば増えるほど、限られた領域のディスプレイに高密度で描かなければならず、結果として各線分の識別が困難になるであろう。

触図提示面積の拡大には、マトリックス状のピン数を増やし、物理的にディスプレイ面積を拡大する方法と、ある大きさのディスプレイで全体の一部を認識しながら、最終的に全体像を確認するという、仮想的に拡大する方法が考えられる。前者は、ディスプレイの作成という意味では比較的容易かもしれないが、大型なディスプレイでは持ち運びの面などで理想的とは考えにくい。さらに、具体的にどの程度の面積が必要であるかという決定は、提示する触図の内容に依存するので、妥当な大きさの決定が難しい。そこで、仮想的に面積を拡大する方法について、実験を行った。

仮想的な面積の拡大では、実際に描かれている内容より小さなディスプレイを用い、そのディスプレイには描画内容の一部のみが表示されている。ユーザの操作によって、ディスプレイの表示内容を動かし、全体を確認していく。このような手法の一つとして、渡辺らは触覚マウスと呼ばれるものを用いた。これは、通常使用されるマウスの上面に、横8本立て4本の触知ピンをマトリックス状に配置したものである。ユーザがマウスを動かすと、その位置に応じた図が触知ピン上に現れ、さまざまな方向にマウスを動かすことで、描かれている内容を確認するものである。しかし、前章までに述べたように、効果的な触知のためにはより多くの手指の使用が求められ、触覚マウスでは指先2本程度の領域しか使用できない。したがって、本実験では、触図提示には前章までと同様の点図ディスプレイを用いた。

さて、ユーザ操作によってディスプレイに表示される内容を移動する方法には、次のようなものが考えられる。ひとつは、ディスプレイは固定のままで、レバーのような外部入力装置によって表示内容が移動するものである。ユーザは上下左

右方向のレバーを操作し、その方向に対して、ディスプレイの表示内容が移動するものである。もうひとつは、ディスプレイそのものを見たい位置までいどうさせ、ディスプレイの現在位置に応じた内容を表示させるものである。そこで、本実験ではこれら2条件のどちらがより効果的にディスプレイ面積の拡大を行えるかという点について、線分長の認識という観点から検討を行った。大きなディスプレイを用いて一度に線分が提示できる場合には、その長さを確認することは容易であるが、仮想的に拡大した場合、断片的な情報からそれらを融合して認識しなければならない。その際、長さに関する情報は、移動量から推測され、それは上記の条件で異なると考えた。なお、移動方向に関しては、水平方向のみを扱った。実験では比較のため、上の2条件に加え、物理的に大きなディスプレイを想定した条件も加えた。すなわち、移動することなく、直線全体がディスプレイに表示されている状態である。あらかじめ提示された参照直線に対して、これら3条件それぞれで、長さの異なる比較直線を提示し、参照直線との長さの違いを、被験者にマグニチュード推定法によって応答してもらった。

6.1 実験

触図提示面積の拡大を目的として、線分長の認識の観点から、効果的な図の移動方法を明らかにするために、次の3条件で線分長の認識の違いを調べた。条件1は、物理的に大きなディスプレイを想定したもので、線分全体が一度に表示可能なものである。条件2は、外部入力装置によって、図のみを移動するものである。条件3は、ディスプレイそのものを移動させ、ディスプレイの位置に応じた内容を表示するものである。

6.1.1 実験用装置

装置の構成

条件1と条件2では、点図ディスプレイのみを用いた。条件3では、点図ディスプレイに加え、点図ディスプレイの位置を計測するためのペンタブレット、点図ディスプレイを移動させるためのレールを用いた。レール上の台に点図ディスプレイを置き、被験者が手で軽く押すと、点図ディスプレイは水平方向に移動した(図6.1参照)。また、これらの制御のためにパーソナルコンピュータを用いた。

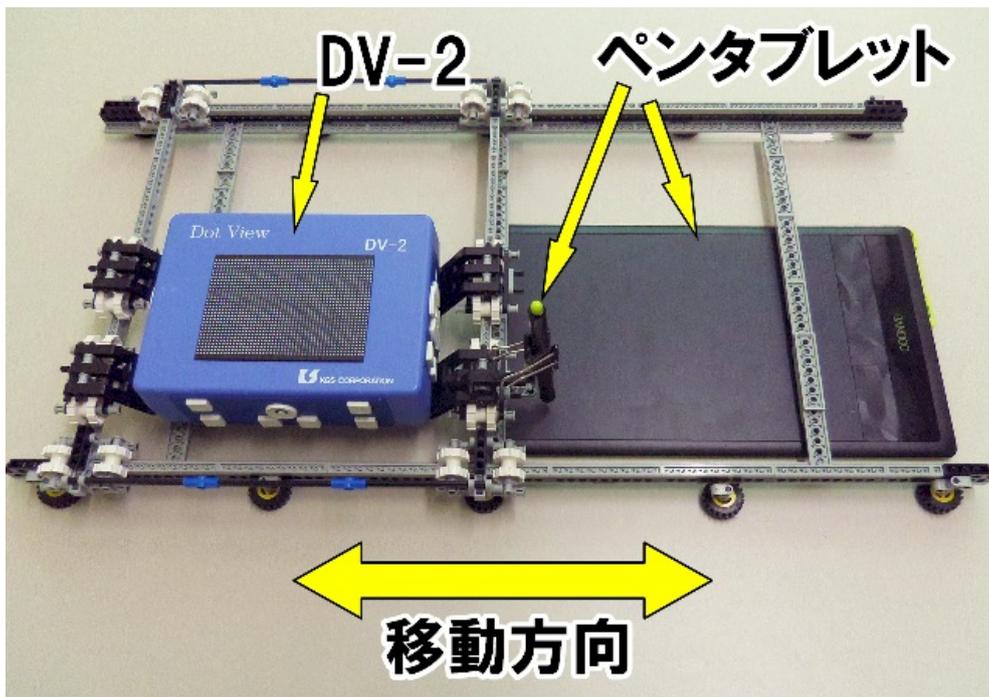


図 6.1: 実験装置 (条件 3)

機能

条件 1 では、特に機能を設けず、点図ディスプレイには課題のみを提示した。条件 2 では、点図ディスプレイ手前の左右キーを押すことで、ディスプレイ上の表示内容が水平方向に移動した。右キーを押すと、表示内容が右に動き、左キーを押すと左に動く。いずれのキーも、一度押すと表示が 1 ドット分変化した。条件 3 では、レール上の点図ディスプレイを軽く動かすことで、その位置に応じた内容を表示した。点図ディスプレイの移動量は、ペンタブレットで計測した。点図ディスプレイのピン間距離は 2.4mm なので、同移動量で表示内容が 1 ドット変化した。

6.1.2 方法

課題

上で述べた3つの条件について、点図ディスプレイ上側に参照直線、下側に比較直線を提示した。参照直線は長さ20ドット高さ3ドットであった。比較直線は、長さ16ドット、18ドット、20ドット、22ドット、24ドットの5種類を用いた。いずれも高さは参照直線と同じく3ドットであった。

条件1では、図6.2のように、参照直線の下に比較直線の全体が表示されていた。条件2と条件3では、図6.3のように、参照直線の下側に小さな表示部を設け、表示部の中に比較直線の一部が提示されていた。表示部の大きさは、縦横16ドットであり、その周囲を幅1ドットの線で囲んだ。条件2は、点図ディスプレイ手前の左右キーを押すことで、表示部内の比較直線が水平方向に移動した。条件3は、ルール上の点図ディスプレイを水平方向に動かすことで、表示部内の比較直線が水平方向に移動した。被験者は、表示部内に部分的に表れる比較直線を水平方向に連続的に移動することで、比較直線の全体を確認した。全ての条件において、被験者は参照直線と比較直線の長さを比較し、参照直線の長さを10として、比較直線の長さをマグニチュード推定法により相対値で応答した。

手順

3つの条件それぞれで、5種類の比較直線に対して5試行の計25試行がなされた。各条件はそれぞれ別のブロックとして実験した。それぞれのブロックでは、25試行がランダムに試行された。順序効果を考慮して、それぞれの被験者で異なったブロック順で実験を行った。各ブロックの実験前、実験方法について説明がなされ、被験者はランダムに選ばれた5試行で装置の動作を確認した。全ての試行において、ドットの数を数えないこと、さらに条件2では、左右キーを押した回数を数えないことが支持された。

被験者

被験者は20歳代の晴眼被験者2名であった。いずれの被験者も裸眼あるいは矯正で正常な視覚を有していた。実験中はアイマスクを着用した。

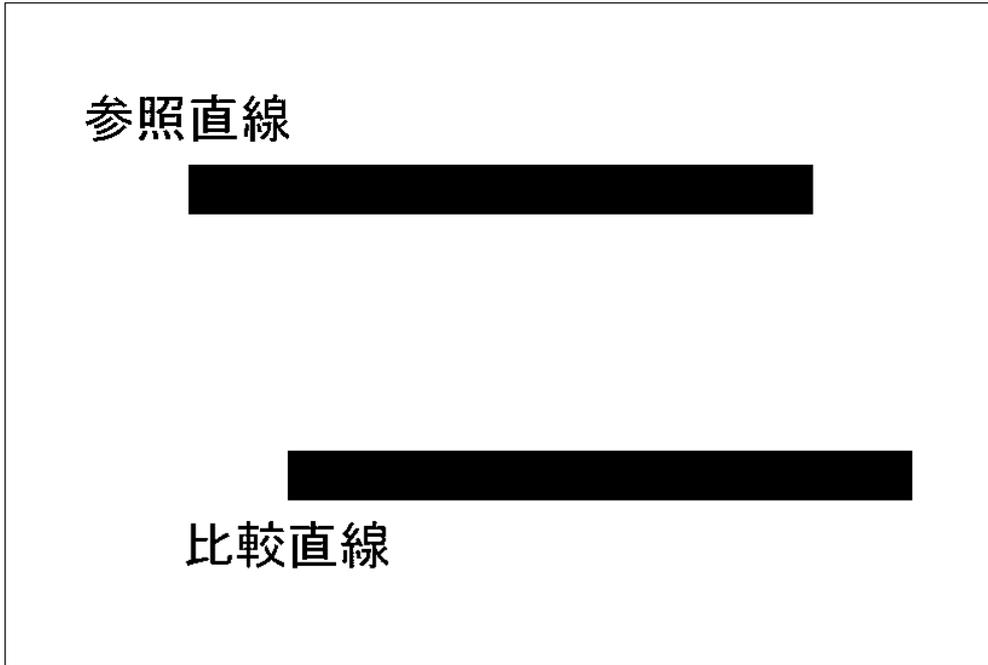


図 6.2: 課題提示 (条件 1)

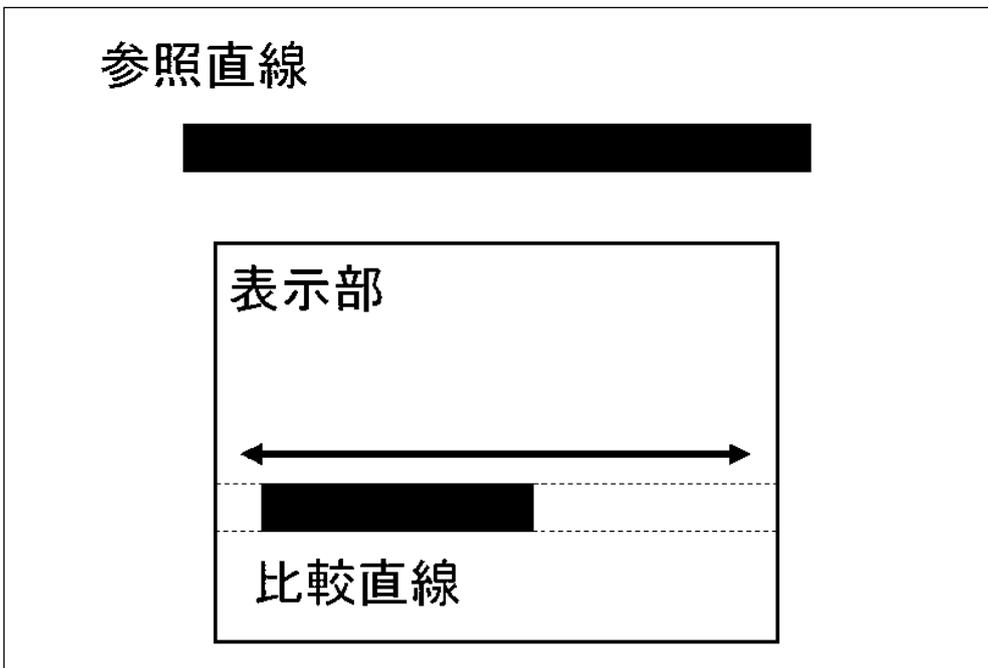


図 6.3: 課題提示 (条件 2, 条件 3)

6.2 結果

それぞれの条件において、比較直線の長さとは被験者が実際に感じた長さの関係を見るために、単回帰分析を行った。長さには相対値を用いた。5種類の比較直線の相対値はそれぞれ8, 9, 10, 11, 12である。2名の被験者の結果を図6.4, 図6.5に示す。図中、データ店が黒丸のものは条件1, 正方形のものは条件2, 三角形のものは条件3を表している。また、それぞれの回帰係数と決定係数を表6.1, 表6.2に示した。

被験者1についてみると、比較線分長の変化量と認識された変化量の割合（回帰係数）は、条件1で1.12, 条件2で0.50, 条件3で1.06であり、理想値である1に近い条件は、条件1と条件3であった。条件2は理想値と大きく異なっている。それぞれの決定係数からも、条件2では特に正しく認識されていないことがわかる。被験者2では、被験者1のような顕著な結果ではないが、ほぼ同様の傾向であった。変化量の割合は、条件1で1.08, 条件2で0.32, 条件3で0.76であり、条件1が最も理想値に近く、次いで条件3, 条件2であった。ただ、決定係数は、条件2で0.11, 条件3で0.35であり、被験者1ほど正しく認識できているとは言えない。

表 6.1: 回帰係数と決定係数 (被験者 1)

	条件 1	条件 2	条件 3
回帰係数	1.12	0.50	1.06
決定係数	0.90	0.37	0.80

表 6.2: 回帰係数と決定係数 (被験者 2)

	条件 1	条件 2	条件 3
回帰係数	1.08	0.32	0.76
決定係数	0.71	0.11	0.35

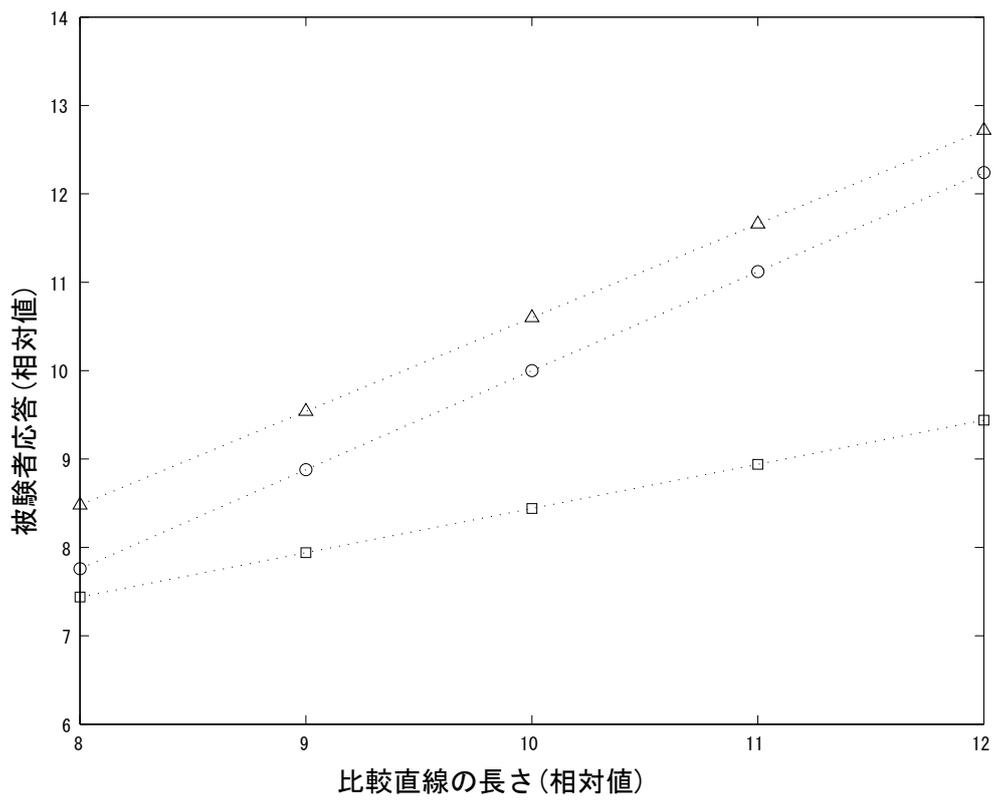


図 6.4: 比較直線と被験者応答の関係 (被験者 1)

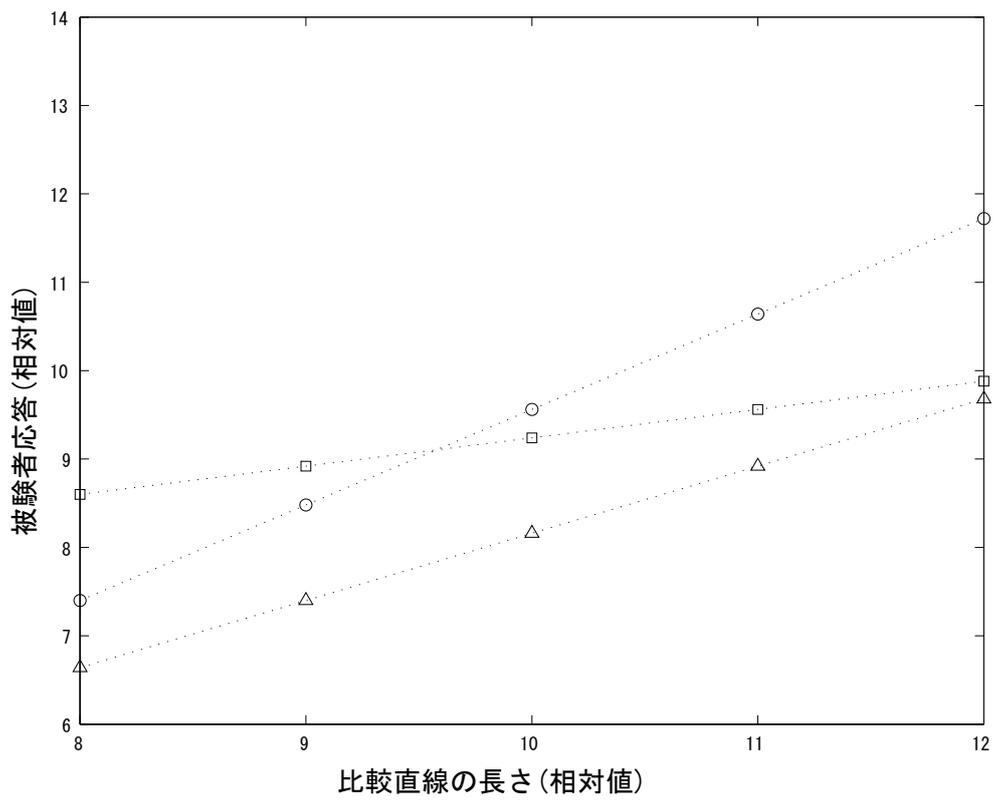


図 6.5: 比較直線と被験者応答の関係 (被験者 2)

6.3 考察

冒頭でも述べたように、多くの線分から構成される触図の提示を考えた場合、小さな表示面積に対して高密度な表示を行うことは、触知のしやすさの観点から効果的ではないと考えた。描画行動においても、以前に描いた線分の判別が難しく、結果所望の場所に所望の描画が行えないことなどが想定される。そこで本章では、触図提示面積の拡大を試みた。面積を拡大する方法には、物理的に大きなディスプレイを作成する方法（条件1）と、ある程度の大きさのディスプレイで、全体の一部を確認しながら、逐次表示内容を変化させ、最終的にそれらを総合して確認するという仮想的な方法が考えられるであろう。さらに、表示内容を変化させる方法について、ユーザ操作によって図そのものを移動させる方法（条件2）と、ディスプレイを移動させ、現在位置に応じた内容を表示させる方法（条件3）がある。これらの条件で、表示された線分長の認識に関する実験を行った。

条件1は、物理的に大きなディスプレイを想定し、線分全体が一度に触察可能であるため、効果的な認識が期待される。実際、2名の被験者実験の結果からも、知覚される線分長の変化量の割合は、理想値である1に近い値であった。条件2と条件3では、それぞれの被験者で程度の違いは見られたものの、いずれも条件2より条件3で効果的な知覚がなされていた。これらの条件の違いは、比較直線の移動量を被験者がどのように受け取るかという点にある。条件3では、直接ディスプレイを移動させるので、その移動量はそのまま被験者に伝えられる。しかし、条件2では、ボタンを押すという操作において、ボタンを押した回数を数えることが禁止されていたため、比較直線の移動量を被験者が認識することは困難であった。

指先による触図の探索においては、指先に伝わる皮膚感覚と、腕や肩などの筋肉に伝わる指の移動量や方向などの、運動感覚が共に作用し、形状や大きさなどを認識している [25]。条件3では、ディスプレイの移動量が運動感覚を介して被験者に伝わり、その結果長さの認識が行えたと考える。しかし、条件2では、移動量に関する情報は被験者に伝えられなかったため、効果的な認識が行えなかったであろう。

本実験から、線分長の認識という点で、条件3による仮想的な提示と、条件1のような物理的な提示で、同様の認識傾向を示した。このことから、ユーザがディスプレイを移動させ、連続的に認識行動を行う、仮想的な拡大手法の可能性が示された。さらに、被験者1は触図に触れた経験が多く、これは視覚障害ユーザを想定できる。被験者2は、本実験で初めて触図を経験した。したがって、先天的視覚障害者に加え、後天的な場合でも、触図に触れる経験を重ねることで、本手法が有効であると考えられる。

第7章 結論

我々は日常、他者とのコミュニケーションを行うために、さまざまな情報の送受信を行っている。自身の内面を外在化させ他者に伝達する、他者が外在化したものを受け取り、他者を理解している。これら送受信される情報には、大別して、文字や言葉などで表現される言語情報と、図表やイラスト・写真などのような視覚的情報がある。近年インターネットやパーソナルコンピュータの著しい進歩に伴い、情報送受信の形態は変化を見せている。IT 機器などを利用することで、即座に多くの人々に情報発信が行えたり、膨大な情報の中から自分の目的とする情報にすばやくアクセスできるようになったことで、我々の生活は豊かなものとなった。このような現状は晴眼者のみならず、視覚に障害を持つ人々にも変化を与えた。特に、パーソナルコンピュータなどに組み込むことで画面の文字情報などを音声読み上げ可能にするスクリーンリーダの普及は、IT 機器を用いた視覚障害者の情報送受信を簡便なものとした。しかし、スクリーンリーダを用いて扱える情報は、主として言語情報に限られる。インターネット上やパーソナルコンピュータを用いて扱われる情報は、言語情報のみならず、画像などの視覚的情報も多く、より詳細な理解や、理解の補助を目的として視覚的情報がしばしば用いられている。

視覚障害者に視覚的情報を伝達する手段としては、図を隆起させ指先の触察によって確認可能な触図が用いられている。教育課程においては、学習の補助として、教科書や教材など、多くの場面で使用されている。これらの触図は、専用の用紙や機器を用いることで比較的容易に作成可能であるが、これまでに研究・開発されている機器類は、晴眼者の操作を対象にしている。触図作成のためには、パーソナルコンピュータのディスプレイを確認しながらおこなわなければならない、これらの操作はスクリーンリーダでは行えない。

そこで、本研究では、視覚障害者自らが晴眼者の手を借りず触図を作成できるシステムについて試作・検討を行った。自身で触図の作成が可能であれば、これまで晴眼者から視覚障害者への1方向であったコミュニケーションが、双方向で行え、視覚障害者も言語と合わせてより豊かに自身の内面を他者へ伝達することができると考えた。システムの検討にあたり、必要な要件として、触覚で確認できること、直感的に操作できること、修正が可能なこと、デジタルデータへの変換が容易なことを設定した。修正機能とデジタルデータへの変換を考える時、専

用の用紙に直接描画する手法ではこれらが満足されないと考え、触図の提示には電子的にピンの凹凸を制御できる点図ディスプレイを使用をした。適切なソフトウェアの自作により、描画・消去に合わせてピンの DownUp 状態を制御でき、またピンの状態からデジタルデータへの出力が容易であった。

第1次検討は、点図ディスプレイとマウス入力によるものであった。ユーザがマウスを移動させると、その軌跡に合わせて点図ディスプレイ上のピンの状態が変化し、それらを確認しながら触図を作成することができた。消去やデジタルデータへの変換機能も設定し、視覚障害ユーザに使用感を求めた。その結果、マウスで直感的描画が可能であることなどが評価されたが、触図提示面と描画面の不一致、すなわち入力方法の問題があきらかとなった。また、手書きスケッチのため、きれいな直線が描画できないという点も指摘された。この結果を受けて、描画を行う際の入力方法と、きれいな直線を描画できる手法についての検討が必要となった。

入力方法については、一般的にペンなどを用いて描画される。表面作図器のように、ペンと専用の用紙を用いた視覚障害者用の触図筆記用具が開発されているが、やはり設定した要件のうち3・4番目が満たされない。表面作図機を電子化したものも検討されているが、効果的な触知のためには、両手の使用が有効であると考え、指先で入力できるシステムを試作し、ペン・指先入力による比較実験を行った。7名の晴眼被験者と2名の視覚障害被験者に対して、両入力で描画を行い、描画に要した時間、作成された画像の正確さ、ユーザ満足度を見た。その結果、指先入力では、触知行動が即座に行え、その結果として効率とユーザ満足度が高かった。一方、作成された画像の有効さについては、入力方法による違いは見られなかったが、被験者の中にはペンに慣れていることからペン入力を支持するものもあった。視覚障害者を対象とした場合、ペンや触知行動への慣れは障害を負った時期に影響される。今回の比較実験から、後天的な視覚障害者に対して、効率やユーザ満足度の観点では指先入力の可能性が示唆されたが、先天的な視覚障害者や、作成される画像の有効さについては今後のさらなる検討が必要であることが分かった。

次に、第2次検討として、きれいな直線描画を行うため、描画内容を数値によって入力するシステムを試作した。直線、3角形、4角形を描画するため、開始・終了点の位置や大きさなどを数値として入力することで、その内容が点図ディスプレイに表示された。視覚障害者の使用感では、比較的簡単な描画内容であれば、手描き入力とは異なり、きれいな直線で描画することができる点が評価されたが、これら初等的な図形をいくつも組み合わせて全体の描画内容を構成する場合、適切な数値の与え方、計算方法がわかりにくく、描画行動に時間がかかるという点が指摘された。この点に関しては、前述の指先入力システムの可能性を考えている。描画を行う時重要となるのは、開始・終了となる1点などを適切に決められるこ

とであり、数値による計算でなく、直接指先で描画面に1点を決められることで、ユーザの負担が少なく、かつきれいな描画が行える。

最後に、触図提示面積の拡大手法について検討を行った。上述のような入力方法により、初等的な図、すなわち、比較的少ない線分から構成される図の描画は可能であることが分かったが、より多くの線分から構成される図の描画には、触知のしやすさの観点から、大きな提示面積が求められると考えた。第4章の実験でも、被験者からこのような意見があった。そこで、物理的に拡大した条件と、2種類の仮想的に拡大した条件で、線分長の認識に関する実験を行った。その結果、ユーザ操作によってディスプレイを連続的に移動させ、全体像を部分的に認識するという、仮想的な拡大手法の可能性が示された。

これらの実験は、主に晴眼被験者を対象に行い、実験中は視覚情報を遮断するためにアイマスクを着用した。彼らは触図に触れた経験が少なく、実験直前に数分程度経験する時間が与えられたのみであった。このような被験者は、後天的な視覚障害者であるとみなせる。第1章で示した構成労働省の調査によれば、視覚障害の原因として、出生時の損傷によるものが4.5%であり、視覚障害者の大多数は後天的である。したがって、本論文の結果は多くの視覚障害者を想定できるであろう。

以上の結果を通して、視覚障害者が自ら触図を作成でき、デジタルデータとして晴眼者に伝達することの可能性を確認することができた。従来研究では、視覚障害者がどのようにして視覚的情報を認識することが有効であるか、という点について扱われてきた。たしかに、認識できることは重要な要素である。本研究でも、触図作成過程においては、その内容を認識できることが重要である。しかし、認識、すなわち受信できることと、作成、すなわち送信できることは、コミュニケーションにおいて等しく重要なことであると考えられるので、視覚障害者用触図作成システムは重要な役割を担っていると考えられる。また、今回検討したシステムは、晴眼者の使用も想定できる。晴眼者が使用する場合には、触図提示面を視覚で確認しながら、指先やペンを用いて描画することが可能である。したがって、視覚障害者と晴眼者の双方向での伝達・使用が可能である。

視覚障害者用触図作成システムとして、今後以下の点について検討が必要であると考えている。ひとつは、色情報の負荷である。晴眼者への提示を考慮した場合、色情報は必要不可欠なものであろう。触知ピンの振動周波数を変えることで、異なる種類の色を表現したり、触っている位置に応じた色の名前を音声によって読み上げさせる方法などが考えられる。もうひとつは、点図ディスプレイの小型化である。本論文では、横48本、縦32本の触知ピンを持つディスプレイを使用した。触察時の瞬間では、指先程度の面積しか使用していない。そこで、両手数本の指先に、指先と同程度の点図ディスプレイを装着することで、小型化が期待

できる。第6章で述べたように、小さなディスプレイをユーザが移動させ、部分的に認識しつつ、全体像を認識するという方法の可能性が示された。このことから、指先装着型点図ディスプレイの有効性も期待できる。

終わりに、第1章でも述べたが、平成18年時点で、国内には約31万人の視覚障害者がいる。そのうち、30%程度が重度な視覚障害を持っており、視覚による情報送受信は困難である。視覚障害者の全人口比を見ると、それほど高い値とは言えないかもしれないが、今後高齢化社会を迎えるに当たって、その割合は増大すると予想される。視覚障害の主な原因である疾患・事故・加齢の割合を合わせると、29.8%であり、高齢に伴って、疾患・事故の確率は上昇するであろう。このような視覚に何らかの障害を持つ人々の増加傾向は、国内外を問わず当てはまると考えられる。したがって、このような人々に対する情報保障、特に言語による表現が難しいグラフィカルな情報の送受信に関しては、今後のさらなる発展が求められるであろう。

業績一覧

査読ありフルペーパー

1. 守井清吾, 石井雅博, 鈴木淳也, 川原茂敬, 広林茂樹, 点図ディスプレイを用いた触図作成システムにおけるペン・指先入力の比較, 映像情報メディア学会誌, Vol.67, No.12, pp.J448-J454
2. 鈴木淳也, 守井清吾, 篠原寛明, 広林茂樹, 移動する音源によるアルファベット形状の提示, 映像情報メディア学会誌, Vol.67, No.12, pp.J441-J447

謝辞

本論文の執筆に当たり，富山大学の川原茂敬教授，広林茂樹教授，津田正明教授，札幌市立大学の石井雅博教授には，実験企画段階から，実験の組み立て方や解析手法，論文ご指導など詳細なご指導をいただいた。共に博士研究を行った富山大学生命融合科学教育部の鈴木淳也さんには，毎週土曜日にスカイプによるゼミで，プログラミングに関するご指導をいただいた。3年間研究室が同じであった木下義成君には，実験装置の組み立てなどでご協力いただいた。広林研究室の学生のみなさんには，論文の修正作業などでご協力いただいた。ケージーエス株式会社には実験用システムの構築に関してご協力をいただいた。カレッジ・ウイメンズ・アソシエーション・オブ・ジャパンから，2012年度に岡靖秀記念CWAJ視覚障がい学生奨学金を受けた。両親には，研究活動にまい進できるよう、生活面で支えていただいた。以上，記すとともに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 平成 18 年身体障害児・者実態調査結果, 構成労働省,<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/shintai/06/index.html>
- [2] Eva L. Baker, W. James Popham, Value of pictorial embellishments in a tapeslide instructional program, AV communication review, Winter 1965, Volume 13, Issue 4, pp 397-404
- [3] Robert M. Bernard, Chris H. Petersen, Mohamed Ally, Can images provide contextual support for prose?, ECTJ, Summer 1981, Volume 29, Issue 2, pp 101-108
- [4] Michael Bock, Bernhard Milz, Pictorial context and the recall of pronoun sentences, Psychological Research 27. VI. 1977, Volume 39, Issue 3, pp 203-220
- [5] Schoen, D. A., The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action, Basic Books, New York, (1983)
- [6] Collins, C., Tactile television—Mechanical and electrical image projection, IEEE Transactions on Man-Machine Systems, Vol. MMS-11, pp. 65-71, (1970)
- [7] Linvill J. G., and Bliss J. C., A direct translation reading aid for the blind, Proceedings of IEEE, Vol. 54, pp. 40-50, (1966)
- [8] 渡辺哲也, 指田忠司, 長岡英司, 岡田伸一: 視覚障害者のインターネット利用状況とその課題 -ユーザ調査と PDF 文書のアクセシビリティ-, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.6, No.1, pp.139-146, (March 2004)
- [9] 視覚障害者用の機器・ソフトの研究・開発 / マニュアル / 研究報告 / 調査報告 (2008-9-9)
<http://www.nise.go.jp/research/kogaku/twatanab/PCUserSurvey/PCUserSurveyJp.html>

- [10] M.Suzuki, T.Kanahori, N.Ohtake, K.Yamaguchi, An Integrated OCR Software for mathematical Documents and Its Output with Accessibility, Computers Helping people with Special Needs, 9th International Conference ICCHP2004, Paris, July 2004, Lecture Notes in Computer Sciences 3119, Springer (2004) pp.648-655
- [11] 渡辺 哲也, 渡辺 文治, 藤沼 輝好, 大杉 成喜, 澤田 真弓, 鎌田 一雄, スクリーンリーダの詳細読みの理解に影響する要因の検討：構成の分類と児童を対象とした漢字想起実験, 電子情報通信学会論文誌. D-I, 情報・システム, I-情報処理 J88-D-I(4), 891-899, 2005-04-01
- [12] 渡辺 哲也, 岡田 伸一, 伊福部 達, GUIに対応した視覚障害者用スクリーンリーダの設計, 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-情報処理 J81-D-2(1), 137-145, 1998-01-25
- [13] 池宗 佐知子, 谷津 忠志, 一幡 良利, 全盲学生に触図教材を用いた微生物学教育に関する研究, 筑波技術大学テクノレポート 17(2), 30-33, 2010-03-00
- [14] 湯瀬 裕昭, 姚 肇清, 石川 准:“点図ディスプレイと音声ガイドを用いた墨字の筆順学習システムの試作”, 信学技報. ET, 教育工学 102(697), pp73-78 (2003-02-28)
- [15] Valbo, A. B. Johanson, R. S. ,The tactile sensory innervation of glabrous skin of the human hand. In G. Gordon(Ed.), Active Touch. 2954,Pergamon Press, 1978
- [16] 福留 麗実, 村上 旬平, 堤 香奈子, 安田 美貴子, 秋山 茂久, 森崎 市治郎, 障害者歯科 = JOURNAL OF THE JAPANESE SOCIETY FOR DISABILITY AND ORAL HEALTH 28(3), 356, 2007-09-20
- [17] 辰巳 公子, 富澤 邦子, 藤野 稔寛, 『エーデルをはじめよう! : 図形点訳ソフトウェア ver. 6.20』, 筑波技術大学障害者高等教育研究支援センター障害者支援研究部, 2009.10
- [18] 東京教育大学附属盲学校, 本校における養護・訓練＝その歩みと方向に, 養護・訓練公開授業資料, (1975)
- [19] Yamamoto, Y. , and Nakakoji, K. , Interaction Design of Tools for Fostering Creativity in the Early Stages of Information Design, International

- Journal of Human-Computer Studies, Vol. 63, No. 4-5, pp. 513-535, (2005)
- [20] 渡辺哲也, 小林真, 視覚障害者用電子レーズライタの試作, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 1, pp. 87-94, (2002)
- [21] 黒川哲宇, 点字の legibility と触野について, 心身障害学研究, 1, 11-18, (1977)
- [22] Burklen, K., Touch reading of the blind. New York: American Foundation For the Blind, (1932)
- [23] Foulke, E., Braille. In Heller M. Schiff W. (Eds.) Psychology of Touch. Erlbaum, pp. 219-233, (1991)
- [24] 渡辺哲也, 久米祐一郎, 伊福部達:触覚マウスによる図形情報の識別, 映像情報学会誌, Vol.54, No.6, pp.840-847, (June 2000)
- [25] Revets, G. : Psychology and art of the blind. Longmans Green, 1950.