

第 章 障害のある子どものための マルチメディア利用環境の研究開発

1 視覚障害児・者を対象とした電子レーズライタの開発と評価

1. 研究の背景

重度の視覚障害児・者に図形情報を伝えるには、凸状に盛り上がった点や線で書かれた「触図」を用いることが多い。この触図を視覚障害児・者自身が自由に修正を加えながら作成できる道具を開発することが電子レーズライタ開発の初期の目的であった。従来の触図作成方法を概観すると、授業で使われることの多い立体コピーは晴眼者しか作図ができない。他方、視覚障害児・者が作図可能なレーズライタでは1度書いた線を書き直すことができない。そこで我々は再描画が可能な触覚ディスプレイ素子に着目し、この素子の上でペンを動かすことで触図の作成・修正が可能なシステムの開発を進めてきた。

2. 研究の経過

1年目は、触覚ディスプレイ素子と自作のペン型位置入力装置を組合わせた電子レーズライタを試作し、初期の目的が達成できることを確認した。また、所外研究協力者の小林真氏（筑波技術短期大学）は、科学研究費補助金を使って同様のシステムを開発し、これに自作の漢字教育プログラムを搭載し、盲学校3校（岩手県立盲学校、横浜市立盲学校、福島県立盲学校）にて試用・評価をしてもらった。

2年目は、盲学校における長期評価に耐えられるよう、位置入力部と触覚ディスプレイ部に市販の製品を用いたシステムを設計し、これら入出力機器に対応したソフトウェアを新たに開発した。ソフトウェアには、従来の描画・消去機能のほかに、点滅線描画機能・アニメーション機能（パラパラマンガ）・点字表示機能・触覚ゲームなどの機能拡張・追加を施した。

3年目は、研究協力校である福島県立盲学校と筑波大学附属盲学校において上記のシステムを長期的に試用してもらい、評価を得た。

3. 研究の成果

視覚障害児・者自身が自由に修正を加えながら触図を作成できるシステムの構築という初期の目的は十分達成できた。実際の授業では、視覚障害児自身に描画させることで、図形的な内容を生徒が理解したかどうかを教師が確認することができた。

描画以外の用途の有効性も示すことができた。晴眼の教師がパソコン画面上で図を作成すれば、それを即座に触覚ディスプレイに提示できるので、授業の中で即興的に図を提示することが可能となった。点字の複数行表示が可能となり、歴史の授業では年表の表示に用いられた。これらは、「触覚電子黒板」としての利用と言えるだろう。

触覚情報を直接指示し、これに応じて触覚情報が変化する、または音響を出力するといったインタラクティブ性を活用して、漢字学習システムや触覚ゲームを開発できた。漢字学習システムは盲学校教諭の評価が高かった。一方、触覚ゲームは低学年の児童に大変好評だった。

他方、現在のシステムの問題点も明らかとなった。利用時の問題として、触覚ディスプレイのピン間隔の粗さが度々指摘された。システムが盲学校において実用的に使われるための、当面最大の問題は、システム構築に要する費用であろう。

なお、本研究課題に関連する専門雑誌・学会・研究会における発表一覧は本ページ最後に記した。

4．報告書の内容

「電子レーザーライタのシステム構成と機能」では、2年目に開発したシステムのハードウェア構成とソフトウェア機能を詳細に説明した。また、盲学校における評価を簡単に記した。

「視覚障害者のためのマルチメディア漢字学習システム」では、漢字学習システムの機能と特徴、特に、従来の指導方法にはない新たな機能を述べるとともに、その評価結果を紹介した。

「福島県立盲学校における電子レーザーライタの評価(1) 中途失明者のイメージを描く能力を高める」では、空間イメージの構築という中途失明者が抱える困難について触れ、これを克服するために盲学校で電子レーザーライタを活用した事例を紹介した。同校における「評価(2) 全盲生徒の触察能力を高める 社会科における指導事例」では、電子レーザーライタを社会科の授業で使用した事例を紹介しており、同システムの導入を検討する際の参考になるだろう。

「筑波大学附属盲学校における電子レーザーライタの評価」では、電子レーザーライタ機能(図形の提示と描画)と触覚ゲームとを個別に評価した。高く評価できる点と改良が必要な点が利用者の立場から詳細に述べられている。

(渡辺 哲也(情報教育研究部))

【発表一覧】

1. Tetsuya Watanabe and Makoto Kobayashi, "A Prototype of the Freely Rewritable Tactile Drawing System for Blind Persons," Journal of Visual Impairment and Blindness, Vol.96, No.6, pp.460-464, June 2002.
2. 渡辺哲也, 小林真, "視覚障害者用電子レーザーライタの試作," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.1, pp.87-94, March 2002.
3. 渡辺哲也, 小林真, "盲学校における電子レーザーライタ MIMIZU の評価," 電子情報通信学会技術報告, WIT2003-2, 東京, June 2003.
4. Tetsuya Watanabe and Makoto Kobayashi, "An interactive tactile display for blind children --- Evaluation at a school for the blind ---," The 23rd Asia-Pacific International Seminar on Special Education, pp.45-48, 2003.

電子レーザーライタのシステム構成と機能

渡 辺 哲 也

(情報教育研究部)

1. はじめに

視覚障害者のための視覚代行技術として、触覚ディスプレイに関する研究が従来から数多く行われてきた[1]。これは、視覚で得られるべきパターン情報を、静止、振動、もしくは移動する触覚図形パターンとして、ユーザの皮膚へ提示するものである。システムから視覚障害者へのいわば一方通行的な情報提示であり、視覚障害者自身による図形情報の作成や操作は、ほとんどの場合において目的とされてこなかった。

一方、視覚障害者自身が作図可能な道具としてレーザーライタが実用化されている[2]。また、視覚障害者のための描画支援システムとしてカプセルペーパーとデジタルタイザを用いた装置が研究されている[3]。しかし、これらの道具や機器では、描画対象の物理的性質から、1度書いた盛り上がり線を消すことができない。

このような背景の下で、視覚障害者が触覚図形の描画と消去を繰り返し行えるシステムの開発を目標として、我々は研究を進めてきた。具体的には、触図提示には反応速度の速い触覚ディスプレイデバイスを用い、描画と消去のためにはペン先位置入力用のポインティングデバイスを用いている[4]。このようなシステムについて、実際の利用環境である盲学校において長期評価を行ったので報告する。

2. システム構成と機能

2.1. 目的

盲学校の授業の中でシステムを試用してもらい、教材・教具としてどのような課題に適用できるか、及び、活用のためにはどのような改良が必要かという、実用化により近い段階の評価を得ることを目的とした。

2.2. 概要

実験者が監督する実験・評価時とは異なり、実際の利用場面ではシステムが比較的乱暴に扱われることが予測される。特に盲児においては、ペンに接続したアームの存在を無視してペンを操作する様子がこれまでの評価時にも見られ、脆弱な試作機ではその破損が危惧される。

そこで、盲学校での長期評価に耐えられるように、新しいシステムでは、位置入力部と触覚ディスプレイ

部のハードウェアに市販の製品を用いて耐久性を確保することとした。また、描画/提示できる情報量が増えればシステムの有効性が高まると考え、従来の試作機の4倍の面積(縦横ともに2倍)の触図面をもつ大型点図ディスプレイも利用できるように設計した。

これら入出力機に対応したパソコンとのインタフェースの改変とともに、利用面でのソフトウェア機能の追加を行った。

2.3. ハードウェア構成

入力部には高精度3次元デジタルタイザ(MicroScribe G2, Immersion)を用いた。MicroScribeの最大測定範囲は127cm, 最高精度は0.38mmである。

触覚ディスプレイ部には点図ディスプレイ(DV-1及びGD-8x6B, KGS)を用いた。いずれのディスプレイの触知面も、圧電素子の変位により触知ピン(直径1.3mm)を0.7mm程度突出させる仕組みである。DV-1の触知面寸法は縦72×横96mm、ここに縦24×横32本の触知ピンが3mm間隔の正方格子状に並ぶ。GD-8x6Bの触知面寸法は縦144×横192mm、触知ピン密度はDV-1と同じで、本数は縦48×横64本である。

制御用パソコンには、Tablet PC(Dynabook SS 3500 DS1EP/2, Toshiba)を採用した。晴眼の教諭は、タブレット画面上で直接描画ができる。

デジタルタイザはUSBポート、点図ディスプレイはシリアルポートを介して制御用のパソコンと接続される。このシステム構成を図1に、システムの外観を図2に示す。

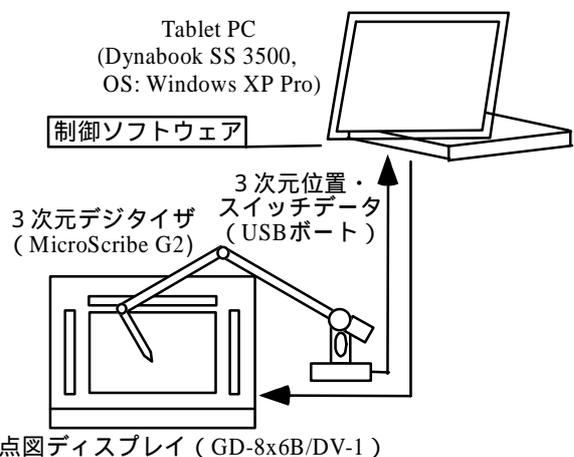


図1 視覚障害児・者用触図描画システム構成



図 2 視覚障害児・者用触図描画システムの外観

2.4. ソフトウェア機能

2.4.1. 基本機能

描画 / 消去機能 ペンの状態が描画モードのとき、ペン先を触知面につけたままペンを動かすと、ペン先の軌跡下にある触知ピンが突出し、凸線を描画したことになる。ペンの状態が消しゴムモードのときは、同様の操作でペン先の軌跡下にある触知ピンが下がり、凸線を消去したことになる。ペンと触知面との接触状態はペン先位置で判断しており、1-2 mm 程度の間隔があっても描画 / 消去状態となるように設定した。

描画モードと消しゴムモード、及び、後で説明する点滅線モードは、触知面右下にあるモード切替ボタンをペンで押すと切替えられる。

全消去機能 触知面右上にあるクリアボタンをペンで押すと、描画情報をすべて消去できる。

カーソル位置表示機能 ユーザが入力面内のペン先の位置を触知面上で触覚的に確認できるように、カーソル位置のドットに対応する触知ピンを点滅させた。点滅ピンの数は 1 または 5 を選べる。点滅の周期は 0.2 から 2 Hz の範囲で、0.1 Hz 単位で設定できる。

音声出力機能 描画モードの切替や、全消去などの操作を行ったときは、操作内容を音声で出力することで、視覚障害者にも操作の実行が確認できる。

音響サポート機能 Windows の Direct X を利用して描画、消去、アニメーションなどの各場面に応じた音響出力を行う。音響サポートの主な役割は、各操作・機能が実行中または完了したことを、ユーザに確認させることである。また、エンターテインメント性をもたせるため、音響ファイルはアニメ・ゲーム効果音

(音・辞典 Vol.1, データクラフト) などから選択した。

2.4.2. 拡張機能

点滅線 (機能拡張) 従来より点滅線の機能は装備していたが、静止画と点滅線を個別に作成しなければならなかった。今回の改良で、表示した静止画面へ点滅線を描き入れることができるようになった。逆に、点滅線が描かれている画面内で静止描線を追加 / 消去することも可能である。このため、ユーザは静止画と点滅線の相対的な位置関係を把握しながら、両描線の交じった触図を作成できる。

描線の種類 (新機能) 描線及び点滅線の特徴を、細線、太線、点線の 3 種類から選択できる。細線は、線の幅を触知ピン 1 ドットで、太線は 2 ドットで表す。点線は、幅 1 ドットで、線分方向に 1 ドットおきに突出させて表現する。描線の種類を使い分けることで触図の提示情報量を増やせると考えている。

2.4.3. 応用機能

スクロール機能 (機能拡張) これまでの左右スクロールアニメーションでは、触知画面 1 枚のスクロールしかできなかった。今回の改良により、触知画面 20 枚分の横長の触図をスクロールすることができるようにした。用意した画面が 20 枚より少ない場合は、用意した枚数だけをスクロールする。

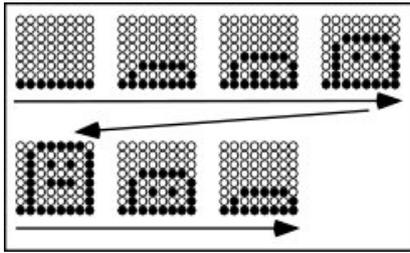
パラパラマンガ機能 (機能拡張) 20 枚の原図を用意し、これを規定時間ごとに順次表示させ、触覚的なアニメーションを提示する機能である。提示する画面の枚数を増やした点と、新たな画面の作成に直前の画面情報を活用できるようにした点が改良事項である。

点字表示機能 (新機能) ダイアログボックスに入力した仮名文字及びアルファベットを、触図の任意の位置に点字表示する機能である。表示位置の決定には、(1)ペンで指定、(2)ダイアログボックス内で座標を数値で指定、(3)ダイアログボックス内の矢印キーで 1 座標値ごとに上下左右移動、の 3 種類の方法が利用できる。

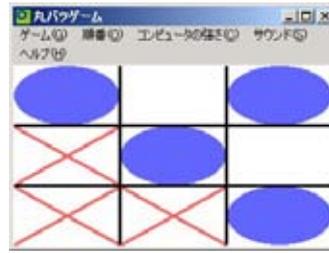
2.4.4. 触知覚訓練用ゲーム (新機能)

モグラ叩きゲーム ゲームを開始すると触知面の中のランダムな位置にモグラが現れる。モグラは、出現時の縦 1 × 横 8 ドットから、最大で縦 8 × 横 8 ドットまで、時間をかけて大きさが変化する (図 3(a))。最大の大きさになった後、再び小さくなり消失するまでの間に、ペンでモグラを叩けば、ユーザは 1 点獲得したことになる。30 秒のゲーム時間内でどれだけ多くのモグラを叩けたかを競う。

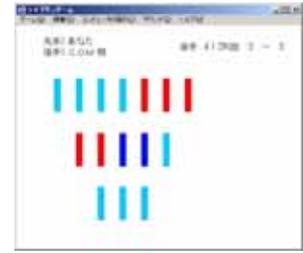
×ゲーム (三目並べ) 縦 3 × 横 3 の升目に先手は「○」、後手は「×」を順番に置いていく (図 3(b))。ユーザとコンピュータが交互にプレイをし、縦、横、斜めのいずれかに「○」または「×」を並べることができたプレーヤが勝ちとなる。プレイの順序、コンピュータのゲーム能力の強弱を設定できる。



(a) モグラ叩きゲームの
モグラの変化



(b) ×ゲーム



(c) 七五三ゲーム

図 3 触覚ゲーム 3 種類

七五三ゲーム ゲーム開始時、縦棒がそれぞれ7本、5本、3本ずつ横に並んだ列が3列ある(図3(c))。プレイヤーは、自分にプレイの順序が回ったときには、1つの列にある棒を任意の数だけ消すことができる。ユーザとコンピュータが交互にプレイをし、最後に残った棒を消す順番が回ったプレイヤーが負けとなる。

2.4.5. キーボード操作

描画プログラムにおいては、描画モードの切替えや全消去などの操作、描線の種類の選択などの各種設定を、すべてプログラムのプルダウンメニューからも実行できる。そのうち頻繁に使うと思われる機能には、ショートカットキーを割り当てた。各種触覚ゲームについても同様なプログラム設計を行っている。これは、キーボード操作が主体の視覚障害ユーザの使い勝手に配慮したものである。

2.4.6. タブレット操作

触知面での描画/消去操作、及び触知面周囲でのボタン操作等は、パソコンのタブレット面でも実行できる。これは、晴眼の教諭が授業中に素早く触図を作成するのを支援するものである。

3. 盲学校における評価

新しい電子レーズライタシステムを、平成15年4月23日から5月28日(予定)にわたり、福島県立盲学校において試用・評価してもらった。

3.1. システム説明会における教諭の意見

電子レーズライタに関する説明会を開き、参加者が操作を体験した後に意見を聞いた。説明会参加者は10人程度、そのうち5人(全員、晴眼者)の意見を、その内容により著者が分類したものを以下に示す。

描画時の問題

- 斜めの線が太くなるのが、漢字を書くときにとても気になった。
- ペンが触知面より浮いているときに描画されると、書きたくない線も書いてしまうので問題である。
- 触知面上ではなかなかうまくかけなかった。
- フリーハンドだと直線をきれいに引けない。

- 消しゴムでピンを消すときにずれているようだが、かえって消しやすかった。

スクロール機能

- 文章が縦書きなので、スクロールは横よりも縦の方が使えると思う。
- 通常、横の認識は「触りながら自分が横の方に移動する」ものなので、この「自分が待っていて移動してきたものを触る」ことで横の認識になるのか、動いていることを知らせるのが難しいかもしれないと感じた。全盲の子は1点の処理が基本とじているので、アニメーションやスクロールは見えている人の見方で作られたものではないか。

パラパラアニメ

- パラパラアニメの原図作成時に、直前のページより前のページの情報も、コピー&ペーストのように利用できるとよい。
- アニメ再生時にBGMをファイルから選びたい。
- 目に見えないものを説明するのに有効だと思う。例えば、「固体」「液体」「気体」の分子の説明をするとき、固体は分子同士の間隔が狭く、液体や気体になるにつれて分子の間隔が広がっていく変化をアニメーションでイメージしてもらうことに使用できると思う。

- 漢字教育において、1つの部首を残して、他の部首を次々と替えて別の漢字を表示する用途に使える。

描画システムの用途

- 授業中、全盲の生徒の脇に常に置いて「ノート」として使い、墨字の生徒と同じ速度で授業ができれば理想的である。

触知面のピン密度

- ピンディスプレイの点と点の間隔が広く、私達が感じる感覚と子どもたちは違うのではないだろうか。「点」の集合体で作った「線」を点としてとらえてしまうのか線として捉えることができるのか疑問。
- 線がボコボコしすぎていると感じた。

触図の理解

- どこまで理解できるかは子供の触察/認知能力によると感じた。理解できる子供には使える。

- 直線、曲線の理解はしてもらえそう。
- 複合図形のような高度なことは無理なので、2 次的なものとして効果を期待したい。
- 認知できる描画面の広さには限界がある。縦横共に手のひら 2 つ分程度だろう。

全体として

- 「手軽さ」「即効性」「簡易性」を感じた。

3.2. 試用 1 週間後のコメント

全盲の成人生徒（糖尿病）に、、、 の図形を提示するなどして授業の中で 40 分ほど使わせた。

触図の理解

- 切り取り紙では図形がわからなかったが、触覚ディスプレイだとよくわかった。立体コピーよりわかりやすかった。これは、疾病により生徒の触知覚機能が鈍くなっており、紙や立体コピーでは触認知が難しいが、凸の高さがこれらより高い触覚ディスプレイでは認知ができたものと考えられる。
- 図形の大きさについては、GD-8x6B の触知面の 4 分の 1 の面積に提示された図形でもわかった。

システムの不具合

- 触知面下のスクロールボタンがうまく動かないことがあった。
- 点図ディスプレイのデバイスドライバが頻繁にエラーを起こした。
- 横方向の太線の幅が 2 本になっていなかった。

機器の形状等に関する問題

- 触知面右側のボタンが触ってわかりにくい。凸状の枠がほしい。
- ペンを元の位置に戻すのが難しかった。

モグラ叩きゲーム

- 児童では、初回から 10 点から 20 点ほど獲得した。一方、全盲の教諭では 2 点しか取れなかった。

x ゲーム

- 縦と横に 3 つ並ぶのは容易に理解できるが、斜めに 3 つ並んで勝つ、あるいは負けたとき、それがなぜなのか理解しにくい。

3.3. 授業での利用状況

全盲の成人男性生徒 2 人にシステムを試用してもらい、その様子を観察した。

利用状況

- ボタンの押下がスムーズにできなかった。
- GD-8x6B の触知面の 4 分の 1 の面積に提示した三角形がわからなかった。この触知面全面に提示した大きい三角形は「小」の字と答えた。
- 人の身体を静止画で描き、ツボの位置を点滅線で表したところ、点滅の位置はよくわかった。
- 同様に、福島県の形を静止画で表し、猪苗代湖を点滅線で表して、位置を説明した。

意見・要望

- ボタンを押したときに、その機能を音声で説明する機能があるといい。
- 消去はペンでなく指の方が操作しやすい。描くときはペンの方がいい。
- 描画 / 消去のときに、点滅カーソルはない方がいい。
- ペンが触知面に触れたときだけ描いたり消したりできるといい。

4. まとめ

システム利用上の問題は多数指摘されたものの、触図の作成・提示における即効性と簡便性は、半数以上の試用者に評価された。

本評価（前半）におけるシステムの利用は、教諭から児童生徒への触図提示にとどまっていた。今後、児童生徒自らの描画におけるシステムの効果を測定する機会を設けるとともに、今回得た意見を整理して、システムの改良を図りたい。

謝 辞

長期評価にあたっては、研究協力者である小野祥一郎先生（福島県立盲学校）のほかに、同校の横山佳子先生、遠藤宣雄先生、ほか多数の先生方に御協力頂きましたことをここに記し、深謝いたします。

文 献

- [1] 清水豊，“視・聴覚障害者用触覚情報伝達機器の設計支援,” 平成 8 年度文部省科学研究費補助金(基盤研究(B)(2)) 研究成果報告書, 1997.
- [2] 香川邦生編著, “視覚障害教育に携わる方のために,” 慶應義塾大学出版会, 東京, 1996.
- [3] M. Kurze, “TDraw: A computer-based tactile drawing tool for blind people,” ASSETS 96, pp.131-138, 1996.
- [4] 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.

視覚障害者のためのマルチメディア漢字学習システム

小林 真

(筑波技術短期大学情報処理科)

1. はじめに

先天的に視覚に障害のある児童に対する漢字教育には、通常、触ってその形を認識する触図が用いられることが多い[1]。しかし静的な触覚教材のみから、へんやつくりといった構造のまとまりを理解するのはたやすいことではない。また、近年のスクリーンリーダの発達により、漢字かな混じり文をコンピュータで作成できるようになってきてはいるものの、実際には漢字の形を理解して利用しているユーザは少ない。彼らは「詳細読み」と呼ばれる漢字の意味を解説した知識から、対応する漢字を決定している場合がほとんどである。そして詳細読みはスクリーンリーダ毎に異なる場合もあり[2]、完全に漢字の知識を習得するには十分ではない。

一方、我々は、格子状の突起ピンによる触覚ディスプレイに、直接ペン型の入力装置で書き込む形式の「電子レーズライタ」システムを提案してきた[3-5]。ここでシステムの特徴を整理してみると、

- ・ 触知ピンにより図形を触覚で提示できる。
- ・ 表示した図形に対して位置入力が可能である。
- ・ 表示した図形は瞬時に変化させることができる。
- ・ 音響・音声提示ができる。

となる。これは動的に変化する触図に対して位置指定を入力、図形の変化と音を出力とするインタラクティブなシステムが構築できることを意味する。この触覚を媒体としたインタラクティブ性は、上述のような背景を持つ漢字教育の分野に対して、有効に活用できると考えられる。静的な触覚教材では区別のつきにくかった部首のまとまりや意味、読みなどを理解しやすくすることが可能になると予測して、我々は漢字学習システムを試作することにした。

2. システムのハードウェア構成

2.1. システム全体の構成

システムのハードウェアは、図 1 に示すように、3 軸のアームに取り付けられたペン型入力装置と、触知ピン部品の集合体である触覚ディスプレイ及び筐体、

それらを制御する液晶タブレット付コンピュータによって構成される。アームからの角度情報はコンピュータに接続された Universal Pulse Processor (UPP) カードを通して取得され、液晶タブレットと同時にユーザからの入力情報を受け付ける。そして出力結果は UPP カードを通して触覚ディスプレイに伝えられる。以下にそれぞれのコンポーネントを説明する。

2.2. ポインティングデバイス

触知ピンの上を自由に動かすことができるペン型の位置入力装置は、従来の触覚ディスプレイにはない本システムの大きな特徴のひとつとなっている。

本システムでは複数のリンクからなるアームでペンを接続して、各リンク間の角度からペン先位置を算出する手法を用いている。この手法は、ペン自体の動きを限定してしまうという難点はあるものの、最も確実かつ簡便にシステムを実現する手法だと我々は考えている。システム提案当初は 2 軸のアームの先にボールジョイントを介してペンを接続した入力装置を製作したが[5]、システムを試用した被験者から、より高い自由度が望まれたため、3 軸のアームを新たに製作した。

ペンの握りの部分には 2 つ、後端部分には 1 つのボタンが備わっており、ソフトウェアによってそれぞれ役割が設定されることになる。各ボタンは UPP カードのデジタル入力ポートに接続され、状態を取得することができる。

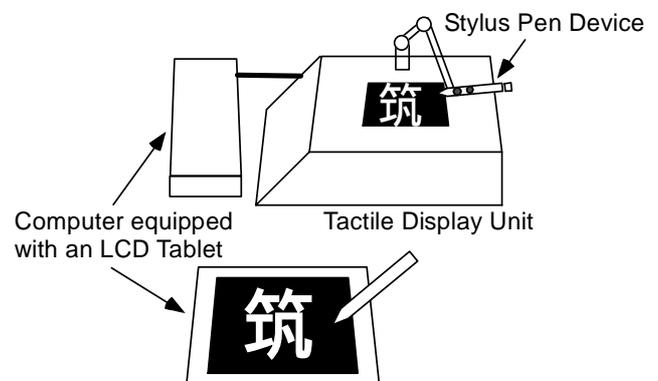


図 1 システムの構成

2.3. 触覚ディスプレイ

触覚ディスプレイを構成する触知ピン部品には、ケーゲーエス株式会社製のグラフィックセル、SC-5を用いている。SC-5は、3 mm 間隔で 8×8 個の触知ピンを備える触覚ディスプレイモジュールであり、板状の圧電アクチュエータに高電圧をかけることで変位を起こし、その力で触知ピンを押し上げている。本システムは、このモジュールを横 4 個、縦 3 個並べて触知面を構成しており、ピン数は横 32 本、縦 24 本の合計 768 本になっている。

ピンの制御には、UPP カードのデジタル出力を使用している。SC-5 の制御は、各モジュール単位で 64 個のデータを TTL レベルでクロック信号に同期して流し込み、最後にストロブ信号を送ると一斉にピンが突出する手順で行われる。横方向に接続されたモジュールは、データ・クロック・ストロブの各信号線が共通化される。本システムでは 12 個のモジュールを並べており、データは 4 つの系列にまとめられているため、制御には 6 つの信号線を使うことになる。更にピンを動かすためには、信号線とは別に制御 LSI 駆動用の 5 V 電源と、アクチュエータ駆動用の 200V 電源が必要であり、200 V の高圧電源は 5 V 電源から DC-DC コンバータを用いて昇圧されたものを用いている。制御用クロックの許容最大周波数は公称値で 1 MHz であり、本システムの場合 64×3 個のデータとストロブ信号の合計 193 クロック分の時間が必要なので、理論上は最短 0.2 ミリ秒以下での全触知ピンのリフレッシュ信号の受け入れが可能となる。

2.4. 液晶タブレット付コンピュータ

システムのデータ制御を行なうコンピュータには、感圧式の液晶タブレットを備えたモデルを用い、晴眼者用のペン入力インターフェイスとしている。そのため晴眼者もコンピュータの画面を見ながらペンで直感的に操作することができる。PC カードスロットには、UPP カードを備えており、ここを通して外部とのデータのやりとりが行なわれる。UPP カードはペン型入力装置のポテンショメータから得られる電圧値を AD 変換してソフトウェアに渡し、ソフトウェアから指定のあったポートにデジタル値を出力して触覚ディスプレイを制御する。

3. 漢字学習ソフトウェア

製作した漢字学習のためのソフトウェアは、ユーザが位置を入力し、触覚の変化や音でフィードバックを得ることができるというシステムの特徴を生かし、漢字の部首や構成を分かりやすく提示するものである。

ソフトを起動すると、まず漢字の全体図が触覚ディスプレイ上に突起で表現される。そしてその後ユーザがペンで任意の位置を指し示すと、ペン先が含まれる領域の部首を構成するピンを、約 1 Hz の速度で上下に振動させることでまとまりを触覚的に理解させる。更にその振動状態においてペン先側のボタンを押すと、部首を説明する音声が出力される(図 2)。このような流れで、システムは漢字学習支援を行なう。ペンを漢字のエリアから遠ざけると上下振動は停止するので、両手で漢字の全体像を理解することもできる。試作したソフトウェアは、「福」「特」「筑」といった漢字を表示するものである。それぞれ各部首の上でボタンを押すと、「しめすへん・すうじのいち・くち・たんぼのた」「たけかんむり・こうじのこう・へいぼんのぼん」「うしへん・つちど、どうぶのど・ながさのすん」という構成部分の説明を音声で出力する。「特」については更に「土」と「寸」の間で「寺」をまとめて上下振動させ、音声では「てらじ、おてらのてら」と説明することにした。各部首の読みは、代表的な日本語スクリーンリーダーである 95Reader(SSCT)における、構成される漢字の詳細読みを参考にしている。

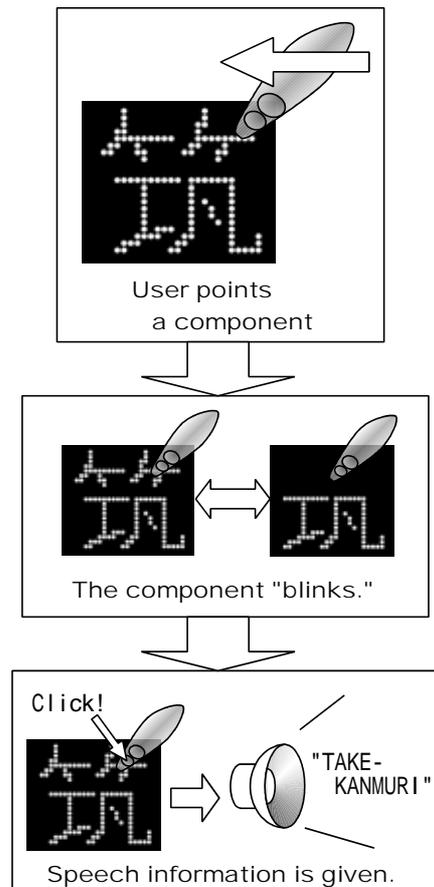


図 2 漢字学習支援ソフトの動作概要

4. 視覚障害者による評価

以上のハードウェア・ソフトウェアで構成されるシステムを、筑波技術短期大学、横浜市立盲学校、福島県立盲学校、筑波大学附属盲学校（評価順）の各校における晴眼・視覚障害の教師や視覚障害の児童・生徒・学生に試用を依頼し、その様子を観察すると共に評価コメントを述べてもらった。評価の目的は、試作したハードウェアとソフトウェアに対する視覚障害者の反応を得ることであるので、特に課題を設けて時間を競うといったことは行わず、自由に触れて使ってもらい、自由記述で思いのまま操作とコメントをしてもらうというスタイルで進めた。

その結果、本システムは、教師や専攻科の学生など、常日頃コンピュータとスクリーンリーダーを用いて漢字かなまじり文を作成している被験者に高く評価され、有用であるとのコメントを得た。高い評価をした被験者は、自分の漢字の知識、特に形状の理解に対して問題意識を持っていたように感じられた。ただし触覚ディスプレイの解像度に関しては不満が多かった。

5. 考察

先天的な視覚障害児童に対する漢字教育において、澤田らは、多くの漢字が、それより画数の少ない基本漢字をから構成されることに着目し、学習漢字を「木、田、十」などの構成要素に分けて学習させることが、それらを組み合わせた漢字の学習に有効であることを示している[6]。しかし、このような指導方法で用いられる教材としては、現在のところ、漢字の図形と点字を立体コピーや点図プロッタで出力したもののみである[1, 6]。これらの媒体で触図を表した場合、その表示情報は静的なものであるために、どこからどこまでが何を表現しているのかを視覚障害児が1人で理解することは難しく、晴眼者による補足説明が欠かせない。授業では、児童1人1人に教師が個別に対応し、児童が触っている部分を説明したり、児童の手に教師が手を添えて範囲を指定したりしないと構成要素の範囲を示すことは難しい。このような状況において、説明対象の部首を振動で示し、その説明が音声で与えられる本システムは、児童が漢字を自習する場面で有効に活用できると考えられる。

6. まとめと今後の課題

アームに接続されたペン型入力装置を位置情報入力装置として、触覚ディスプレイと組み合わせて製作した電子レーズライタを、漢字教育支援に応用すべく、新たなソフトウェアを実装してシステムを試作した。そして試作したシステムを視覚障害者に評価してもらったところ、漢字の知識に対する意識の高い被験者からは高い評価を得ることができた。今後は更に触地図や通信ゲームなど、提案システムのハードウェアの特徴を生かすことのできるソフトウェアを開発していく予定である。

謝 辞

システムの試用に快く了解して下さった各学校の教師及び児童・生徒・学生の皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] “盲人の漢字学習用「点図」教材,” ASAHI パソコン 2001年3月15日号, 2001.
- [2] 渡辺哲也, 藤沼輝好, 渡辺文治, 澤田真弓, 鎌田一雄, “視覚障害者用スクリーンリーダーの「詳細読み」に関する検討,” 電子情報通信学会技術報告, HCS2002-41, 2003.
- [3] 小林真, 渡辺哲也, “視覚障害者がペン入力可能な触覚ディスプレイ,” 月刊ディスプレイ, Vol.7, No.3, pp.57-60, 2001.
- [4] 小林真, 渡辺哲也, “ペン入力装置を備えた触覚ディスプレイによる盲教育,” ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001 論文集, pp.309-310, 2002.
- [5] 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.
- [6] 澤田真弓, 香川邦生, 千田耕基, 木塚泰弘, “点字使用者に対する漢字構成要素学習の有効性に関する一考察,” 日本特殊教育学会第40回大会論文集, p.295, 2002.

福島県立盲学校における電子レーズライタの評価（１）

中途失明者のイメージを描く能力を高める

小野 祥一郎

（福島県立盲学校）

1. 問題の所在

中途失明者は、視覚からの空間的同時的で大量の情報に基づいたイメージ構築ができなくなるため、触覚や聴覚からの継時的情報に基づいて世界のイメージを描くシステムを習得しなければならない。従って触覚等からの情報を基に、イメージを描く能力を高めることが視覚障害者として生活するためには重要となる。中途失明者の社会自立における困難として文字処理と歩行がよくあげられる。点字の読みと単独歩行ができるようになるためにもイメージを描く能力が重要である。

視覚を失ったからといって急に他の感覚が敏感になるわけではない。通常点字を読む指も他の指も２点弁別閾は特別変わらない。点字を読めるようになるということは新たな情報活用のネットワークが構築されることによると考える。『火星の人類学者』（オリバー・サックス、1997）によると「点字を読むためにいつも１本の指を使っていると、その指に対応する皮質部分が肥大化することが明らかになっている。」とオリバー氏は言っている。点字を読むには、触知した点の情報をメンタル内で点から線、線から形へと積分処理しなければならない。さらに、形から文字、文字から文、文から文節、文節から文脈、文脈から要旨へと情報をより高いレベルにあげながら意味づけしなければならない。一方、足の裏や白杖からの断続的な触知情報と左右の聴覚スペクトルを基に道路や廊下、壁やブロックの線をメンタル内にイメージし、自分が進む方向とクラッシュしないように計算しながら自らをコントロールして移動するとともに、移動した方向と距離を逆算してイメージをローテーションしなければならない。このように情報入手直後の重要な処理としてイメージを描き解析することがある。

だが触知情報をイメージへ変換し、多層的解析をする能力を習得するためには、皮質神経のシナプス接続を効率的に省略するネットワークが形成されなければならない。そのためには時間がかかる。特にシステム構築において遅れるのが糖尿病による中途失明者である。

本校過去 12 年間の中途失明者について、点字の読みと単独歩行が初歩的レベルに達したか、調査した結果を表 1 に示す。達した場合を ○、達しない場合を

で示した。この中でどちらも ○ となった 3 名は全員糖尿病性網膜症であった。糖尿病は、代謝障害をきたし、動脈硬化や腎臓病だけでなく神経障害を伴う全身疾患である。そのため触覚と聴覚を基にしたイメージ構築のためのネットワーク形成が遅れ、点字の読みや単独歩行への適応が困難になるのであろう。

そこで今回、中途失明からの社会復帰プロセスを追究するため、現在在学中の E と Y について本課題を設定した。なお 2 名とも指の触覚について 2 点弁別閾はともに 2.0 mm であり異常はないことを確認している。

表 1 本校中途失明者（平成 4～15 年）の点字の読みと単独歩行についての実態

中途生徒	1	2	3	4	5	6	7	8	E	Y
点字の読み										
単独歩行										

2. 対象生徒の実態

（１）生徒 E

年齢 40 歳、男性。所属（学年）は保健医療科 2 年である。3 年前に糖尿病性網膜症で失明した（視力左右とも 0）。現在腎臓障害も併発している。

これまでの歩行及び点字学習の経過は、平成 14 年 4 月、単独歩行は全くできず、どこへ行くときもガイドされていた。頭の中で地図を浮かべることができないといった。点字の書き方については、五十音・濁音・拗音・英数字も習得したが、点字の読みが遅れている。読速度は 10 分で 1 文字程度。1 つの文字のみに集中して判別しようとしているが、点字は左右を流れる知覚の中で比較しながら読むものであることを説明したが、分からないところをとりあえず飛ばして行くことが性格的にどうしてもできないようである。

平成 15 年 1 月、教室から昇降口・トイレ・保健室・情報処理室までは 1 人で行けるようになった。点字を書くことは思うようにできるようになった。自分が書いたノートを読む練習をした。はじめの 12 文字はすらすら読んだが、読めない箇所がでてきて怒りを伴う心理的混乱がはじまり、そのために非常に疲労するようであった。

(2) 生徒 Y

年齢 27 歳、男性。所属(学年)は保健医療科 1 年である。2 年前に糖尿病性網膜症で失明した(視力左右とも 0)。

これまでの歩行及び点字学習の経過は、平成 15 年 4 月、単独歩行は全くできない。点字は全く学習していなかった。パーキンスブレイラーの使用と五十音を学習した。

4 月 18 日、単独歩行はまだできない。点字の五十音・濁点・拗音・数字・アルファベットは習得した。だが読みはまだ全くできない。1、2、3 の点だけを使った文を書いて読む練習をした。点の組み合わせが線になり、形になり、文字として組立てられることを説明した。

3. 研究計画・方法

- (1) 平成 15 年 4 月：先行研究の調査と課題の設定
- (2) 5 月：中途失明者 E と Y の作図力を比較、仮説の設定
- (3) 5～10 月：断続的触覚情報の活用を指導実践とびとびの触覚情報からメンタル内に図を描くこと、これを短期記憶に保ちながら新たな触覚情報と比較し続けること、始点の重要性を認識すること、柔軟にイメージの間違いを修正することを指導する。
- (4) 5 月及び 10 月：電子レーズライタを活用した指導、研究
- (5) 11 月：研究のまとめ

4. 研究の仮説

「中途失明者が点図の作図を通してイメージを描く能力を高めれば、点字の読みや単独歩行の習得がスムーズになるであろう。」

5. 仮説設定の理由

中途失明から立ち直るうえで重要な能力は、視覚以外の触覚や聴覚情報を基にイメージを描くことであると考えられる。特に糖尿病による中途失明の場合は、合併する神経障害の程度に個人差がある。従って、触覚からイメージまでのプロセスで、個別にどこでつまづきがあるかを分析して無理のない的確な支援をしなければならない。

点字の触読はどうしてなかなかできるようにならないかを検討した。その結果、神経のネットワーク形成に時間がかかることが考えられる。点字を普段触読

している指も普段使わない指も 2 点弁別閾はともに 2 mm 程度であり、どちらも点字の 2 点間距離 2.0 mm を弁別できることが校内の点字使用者のデータで明らかになっている。そして点字を読む指と他の指との 1 分間に読める文字数の差は、人によって 9.7 倍から 19.9 倍と、倍率は異なるが、明らかに差がある。従って点字の触読ができるようになることとは、皮膚が敏感になることではなく、触覚情報を多層的解析処理するネットワーク形成を意味すると推定した。だが、その形成を促すためにいきなり点字を読ませたり単独歩行をさせることは心理的に自信を失わせたり身体的な危険を伴う。

そこで触知覚からどのように情報を受け取ったか、どのようにイメージをメンタル内に描いたかを手軽に失敗を恐れずにディスプレイ上で描くことを通してトレーニングし、確認する必要がある。このためのツールとして電子レーズライタの活用がある。作図によって発達レベルを分析し、始点の重要性、枠組みを考慮しながら並行してペン先の方向と距離を常にカウントし続けることの重要性に気付かせ、うまく書けた喜びや推測が当たる経験を積みあげれば、自信を取り戻し社会参加の意欲を高めるであろうと考えた。

6. 電子レーズライタ活用の結果と考察

(1) 課題解決的指導の内容

- 課題 1 点図で標示された、正三角形・正四角形・星形・菱形・三日月・雪だるま・十字型を触って言い当てる。
- 課題 2 標示された漢字、目・手・足・背・耳を言い当てる。
- 課題 3 左端に標示された課題 1 の図形を触知して、同じ形を描く。

(2) 生徒 E に活用した結果と生徒 Y に活用した結果を比較し、イメージを描く能力発展のプロセスを分析した。

(ア) 生徒 E の場合

- 課題 1 は、全部 20 秒以内に分かった。
- 課題 2 は、背以外は直ぐに分かった。
- 課題 3 は、よくできた。

電子レーズライタを使用中「面白い」と度々発言した。普通文字の記憶に比べて、点字をまだ形として文字としてメンタル内にしっかり焼き付けていないことを自覚した。終ってから部屋を出るとき情報処理室のドアについて位置関係を改めて確認して帰った。1 年前には全く単独で歩けなかったが、電子レーズライタによる指導後は体育館まで 1 人で行くことと決意を述べた。

体育館までは、階段を下り、廊下や中庭の通路、北校舎を横切り校庭の縁にある通路を通らなければならない。

なぜ「面白い」という感想がでたのか考察すると、以前視覚を通して楽しんだ経験があること、形を読み書きしたり修正することのような中途失明のためあきらめていたことができたことで喜びを感じたこと、単独歩行や点字の読みができるようになるのではないかという期待感がでてきたことが考えられる。実際、給食のために食堂までの往復は、現在一人で歩行するようになってきている。

(イ) 生徒 Y の場合

課題 1 正三角形は 5 秒、正四角形は 7 秒で分かった。だが星型は 1 分過ぎても分からなかった。菱形と十字形は 20 秒で分かったが三日月と雪だるまは分からなかった。

課題 2 は、背以外は 25 秒以内に分かった。

課題 3 は、正三角形を 2 度試みたがうまく書けなかった。始点にもどることができないでずれた。正四角形も 90 度がうまくとれず角が丸まったり鋭角になったりした。菱形は画面の端に寄り過ぎたり見本の方に寄り過ぎたりした。

Y については、中途失明後まだ間もないため、触知情報の解析活用レベルが初期段階であることが考えられる。電子レーズライタ活用中「これはすごい」「すばらしいものを触らせてもらって」という発言が度々きかれた。「またやりたい」という積極的な発言がきかれた。これは、情報障害を克服しようとする意欲とその可能性への期待を意味すると解釈した。

7. 研究の成果と今後の課題

突然視覚を失った者が、触覚からの情報を基にイメージを描く能力が発達する段階は、本校中途失明者の発達分析から次のように進むと考える。

(1) 同時的触知(手の平を当てての触知)

全体像を容易にとらえられるが、細かい分析はできず手の平の範囲という限界がある。

(2) 連続的触知(手指を動かして辿りながらの触知)

手指を動かすことにより 2 点弁別閾は下がり、分析は細かく範囲は大きくなるが、全体像はメンタル内で作りあげ、そのイメージを短期記憶に維持し続けなければならない。これができないと、バラバラな触知情報の羅列になってしまう。

(3) 断続的触知(とびとびの接触)

とびとびの触知から全体像をメンタル内に描く方法である。効率がよくこの能力が点字の読みにつながり、足や白杖などからの触知情報を分散並列処理して単独歩行を可能にする。だが常に間違いがある可能性があるため予測と確かめを行い、始点との比較を重視し、確認と修正をし続ける必要がある。

視覚による場合は全体を同時に見回すことができ、図形を描くためには始点がどこであってもあまり重要ではない。触覚による場合は、手の平サイズの簡単な形であれば同時的に把握できるので、視覚のような特性がある。触知情報活用の極初期レベルでは、片手で見ながら作図するような方法も有効であろう。

次に実用的効率的に触知情報を利用するレベルでは、継時的断続的な情報を活用しなければならない。そのため、常に全体像をイメージとして描き続け、解釈し続けなければならない。それには始点とそこからの方向と距離が重要となる。生徒 E と Y との比較検討を行なった結果、これらのことを中途失明後間もない Y は、まだよく認識していないことが考えられる。全体の枠組みを常に意識しながら始点からの方向と距離を計算し続けること、触覚情報を目の前に写しだす心掛けをするようアドバイスする必要がある。

平成 15 年度は、開発中の電子レーズライタを特総研から借りることができ活用することができた。だが今後は安価で地方の盲学校でも入手できるようなピンディスプレイが開発され電子黒板としていつも指導に活用できるような新しいシステムが待望される。

福島県立盲学校における電子レーズライタの評価（２）

全盲生徒の触察能力を高める 社会科における指導事例

遠藤 宣雄

（福島県立盲学校）

1. はじめに

全盲の生徒の場合空間の認知は、触察や音の響きなどで周囲の広さや形状を理解することであり、このことはその生徒が生活の中で色々な物に触れ形状を理解したり、歩いて空間の広さなどをイメージしたりすることにより体験的に成長してゆく。

このように空間の認知は主に触察行動の向上により高められる。このようなことから触察の基本学習ができるような補助具やコンピュータ機器の活用を考えて、社会科の指導の中で実施してみることにした。

社会科の中で地理的分野は触察地図などを利用して国や都市などの位置や距離などを空間的な概念として理解することが重要である。そこで必要となってくるのが色々な地域の触察地図である。全国や世界となるとほとんど触察地図は少ないのが現状であり、立体コピーや点図などを活用しているのが実態である。だから立体的にとらえたりすることが難しい。また、模型などを使って触察させるがこれも模型の数が少なく、必要に応じて自作の教材を作成する必要がある。

また、社会科の地図を理解するのにもうひとつ重要な課題がある。それは、地図を描く活動である。これは地図以外にも色々な物を描くことは自分のイメージをより確かなものにし発展させることができる。描画ができる情報機器として国立特殊教育総合研究所が開発した電子レーズライタがあり、これは、電子ペンでピンディスプレイ上を描画することによりピンが浮き出てペンの軌跡を描くことができ、さらに消すこともできる。このことにより自分で描いたイメージを簡単に描くことができるようになり指導する方にも明確に理解することができる。

社会科の指導においてこの電子レーズライタを用いた指導事例をこれから紹介したいと思う。

2. 対象生徒の実態

中学部 2 年男子、学年相当の学習が可能である。

（１）障害名・視力

視覚障害（網膜芽細胞種）

右：0 左：0.01

（２）学習の様子

明るい性格であり色々なものに興味を示して触察する活動が多い。特に触察できる立体地図などは地形の形状や山脈の高さ土地の広さなどを整理して理解することができる。また、基本的な図形などは理解しているため触察したものがどのような形をしているのかすぐにイメージできる。電子レーズライタ利用以前は、図形の描画はあまり経験がなかったが、利用後は、これを用いて自由に描画することが好きになり、北海道などをフリーハンドでかなり正確に描くことができる。

3. 社会科における触察活動の重要性

知識だけの理解であれば問題はないが、入ってきた情報がどんな意味を持っておりどのように使われるのかななどをイメージ化することが難しいことがある。これは点字だけの情報では概念が入りづらいためである。これは、社会科においては地図や写真などの資料の活用や本物の土器などに触れたり現地で建物を観察したりすることが重要であり、そのような経験が基礎となって概念が形成されてゆく。しかし、全盲の場合は知識だけの情報が優先し、寺院などの建物に触れたり、資料を活用する機会が少ない。

そこで、電子レーズライタの活用を考えてみた。電子レーズライタは電子ペンで自由に描画することができ消すこともできコンピュータが操作のコマンドを音声案内してくれるので始めてでもすぐに使いこなすことができる。これを使えば自分でイメージしたものを自由に点図出力をすることができ相手にも理解してもらうことができる。

電子レーズライタの触知面寸法は縦 144 × 横 192 mm、ピン間隔：3mm、ピン本数は縦 48 × 横 64 本、合計 3072 本である（MIMIZU MSGD システム）。このピンは点字の点とほぼ同じである。図 1 のように点と点の間は 1.6 mm 以上あけないと幅として認知されず、図 2 は点字の 6 点だが、これは点と点の幅が 2.3 mm になっている。

図形や絵などを触察するには点の間を 3 mm 以上あける必要がある。触察図を手のひらで見るときは 7 mm 以上あける必要がある。

このような特性から電子レーザーライタのピンとピンの間は 3 mm に設計され、点図を作成するには最適な構造となっている。

この電子レーザーライタを実際に社会科の授業で使用した事例を以下に紹介する。

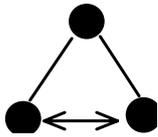


図 1 2 点弁別に必要な距離

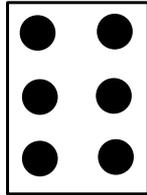


図 2 点字の点の並び

4. 研究事例 1 地球の番地

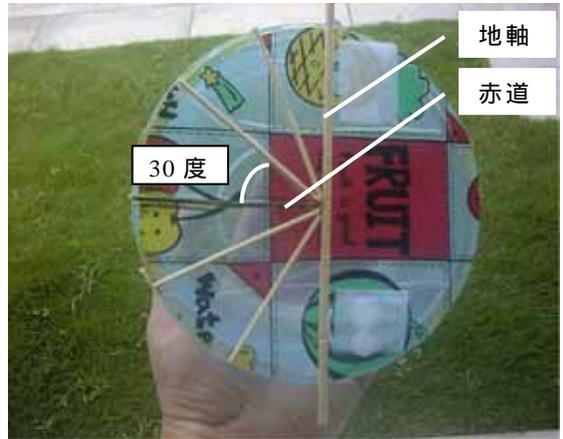
中学、社会地理では地球の探検という単元がある。この単元で経線、緯線で地球上の位置を表現していることを学習するが、全盲の生徒がその線を触察できる地球儀がなく、また、角度で表されていることを確認する資料もない。写真や図などでの資料は豊富だが、全盲生徒がこの単元で核となる体験ができる資料はほとんどない。そこで、「なければ作る」という基本からさっそく経線、緯線が触察できる地球儀を作ってみた(図 3)。また、その線の基準となる角度はどこを基準としているのかを確認できるモデルも作ってみた(図 4 (a), (b))。本生徒は、経線、緯線については言葉として理解していたが、どのような意味がありどのように使うのかわからなかった。そこで概念として理解させるための触察教材としてモデルをつくり、触察活動をさせ概念として理解できたなら最後に電子レーザーライタでどのように理解したのかを描画し確認することにした。この活動を以下に述べたいと思う。



図 3 経線、緯線を触察できる地球儀



(a) 外観



(b) 断面

図 4 経線、緯線軒順を示す地球儀の模型

ミニ地球儀に経線、緯線ともに 30 度ごとに扇糸をボンドで貼り触察活動をさせて経線と緯線の交点で位置を表現することは問題なく理解できた。しかし指定した A 地点を表現させる活動では、本初子午線から東へ 120 度、赤道から北へ 60 度といった東西南北などの方向が理解していなかったため、本初子午線から右が東、赤道から上が北とミニ地球儀を触察させながら説明することにより理解することができた。

次に経線、緯線はどこを基準として角度を表しているのかを確認する活動では、図 4 (b)のように赤道と地軸の間に 30 度ごとに竹ひごで緯度を作り触察させた。触察する素材が竹ひごでとても見やすかったようなのですぐに理解することができ、経度も同様な活動で理解することができた。

最後に、触察した地球儀の断面のイメージを電子レーザーライタで平面に表現する活動である。この活動は本生徒が触察したイメージを描画することにより、概念形成を高めることが目的で、触れたものが何であることを認知する触察活動の最大の目的である。



(a) 描画の様子



(b) 手元の様子

図5 生徒が電子レーザーライタで描画している様子

地球儀を地軸に沿ってふたつに分けた断面に、竹ひごで地軸と地軸の中心に交わる30度ごとの緯線を表示した模型を触察したイメージを電子レーザーライタでさっそく表現させた。断面の基本である円がなかなか納得いくように描くことができず、いくどか書き直しをして何とか円らしく描くことができた。また、北緯60度などの緯線を描くときも直線がうまく引くことができずやはりいくども書き直しをした。これは点図の場合図6のように隣接する線の幅が狭くなると混乱して見づらくなったためである。

できた断面図をアニメーション効果で地軸 北緯60度 北緯30度 赤道 南緯30度 南緯60度の順に描いた線を表示してみせると、かなり納得することができた。

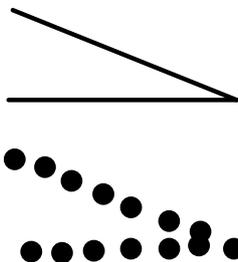


図6 斜め線の点図表示の例

5. 研究事例2 鎌倉仏教

文化や仏教が取り扱う内容には、無形(信仰心など)の内容が多くそれを取り扱う手段としては、写真や映像などが有効的と考えられる。したがって、鎌倉時代に宗教に救いや願いを求めた武士や民衆の気持ちを盲児に理解させるには、コンピュータのマルチメディアや電子レーザーライタなどの活用が有効的と考えた。また、ミニ仏像や仁王像を触察させ立体的に把握させることにも配慮した。具体的には、ミニ仏像を触察させ形状を立体としてイメージ化させ、電子レーザーライタの触覚ディスプレイで仏像を平面上で触察し、どのようにイメージしたか模倣させた。このように実施した授業の経過を以下に紹介する。

5.1. 立体(実物)から平面(触覚ディスプレイ)に、そして模倣させイメージを検証する

実際のミニ仏像は立像であるが平等院鳳凰堂に安置されている仏像は座像なので相違点を口頭で説明した。手のポーズはどのように違うかを図7(a)の点図を触察させ質問した。

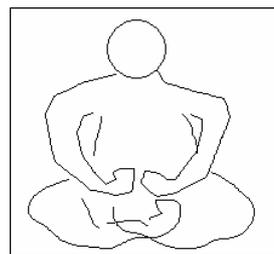
ミニ仏像は合掌で、点図の仏像は両腕を両膝の上に置いていることはすぐに理解し、両手のポーズは細部を描けなかったのでこぶしを握っているように描き、そこを点滅線モードで強調した。

次に点滅線モードの両手の部分を拡大した点図を次ページで細部を拡大した点図を触察させると図7(b)のような手のポーズをイメージすることができ、実際に両手で模倣させると両手を膝の上に置き図7(b)と同じようにポーズをとることができた。

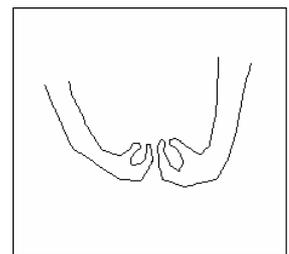
この点図の提示で良かった点は図7(a)で全体のイメージをつかませ、次に両手の部分の細部を拡大した図6(b)を触察させた点ではないかと思う。単に図7(b)の両手の部分だけを触察させ、模倣させたらどのような結果になったかを考えたいと思う。

両手のポーズは同じでも両膝の上に置くのではなく、両手を手前に水平に押し出すようにしたのではないかと思う。これは平面上で触察するので部分的に触察すれば水平でイメージするのが当然と思われるからである。

今回は図7(a)で全体のイメージから両手は両膝の上にあることをイメージすることができたので問題はなかったかと思う。



(a) 全体のイメージ



(b) 手の部分の詳細な図

図7 仏像を触図で表した図

5.2. 触覚ディスプレイを電子黒板として使う

スクリーンに表示したプレゼンテーションの文字（複数行）を、触覚ディスプレイに点字として出力し読ませた。触覚ディスプレイの点字は読みづらいようだが、教師の説明と一緒に自分で点字情報を確認できたので大変効果があった。

5.3. 電子レーザーライタで描画活動（立体から平面への変換）

ミニ仏像を触察し立像のイメージをつかませ、電子レーザーライタの触覚ディスプレイに仏像を描画させた。これは、立体のイメージを平面に変換させることが目的であったが頭部を大きく描き全体が描けなくなったり、思うように輪郭が描けなかったりした。これはやはり触覚ディスプレイ上に目標などがなく、線を描いてから触察するので全体のバランスを見て描くことができない。つまり、リアルタイムに描く線をフィードバックできないことである。しかし、電子レーザーライタを使いこなしてくると間違えたり納得いかないとすぐに消しゴムモードにして描き直したり、点滅線モードで強調したり操作が早くなり、自分で納得いく形を描くことができるようになると頭部や胸部などをスムーズに描くことができ仏像の全体の輪郭をフリーハンドで描くことができるようになった。

6. 考 察

触察行動は小さいころからの豊かな体験が重要であり、色々なものに触れ、形や材質、肌触りなどの特性を体験して習得することにより、対象物に少しだけ触れただけでもどのような形をしているかをイメージすることができるようになる。つまり核となる体験の積み重ねが重要である。また、体験したことは絵や粘土などで描画や造形活動をすることにより、概念形成が高められるのではないかとと思う。このような核となる体験や描画活動は幼児期に遊びの中で自然と経験しながら成長する。しかし、全盲児においては付添えが必要なことから体験が少なかったり、体験したことを絵に描く手段がなかったりすることから表現が乏しかったり、抽象的なイメージを間違えて捉えていることがある。

触察は予測しながら触察できるようにすることが大切であり、社会科の授業においても触察地図や模型などを触察するときには予測できるような提示や説明を加えている。今回の研究事例で取り扱った「地球の番地」では、自作のミニ地球儀を作りそれを触察させた時に地球の表面や断面は丸く、そこに線を引くことにより位置を現すことができることが予測できたので平面上に描いた縦と横の線が立体上に描かれた経線、

緯線に変換できたのではないかとと思う。

また「鎌倉仏教」では、ミニ仏像を触察することにより頭部が鏡餅のように2段になっていることをイメージ化することができた。このような触察活動において予測させるには実際の地球儀に触れさせたり、鏡餅に触れたりした経験が前提となる。従っていくら時間をかけて触察させ説明を加えても概念として理解できない場合があるので、触察させた時にはそのイメージを表現させ、どのように概念として理解したか確認する必要がある。しかし、実際に授業の中でイメージを表現させるには模倣動作などで表現するのは簡単であるが、絵に描いて表現する場合はその手段となる道具が少ない。そこで電子レーザーライタを授業の中で活用し、触察したイメージを実際に表現させてみた。

電子レーザーライタは前述したように電子ペンで自由に描画できるだけでなく、教師がパソコンのディスプレイに描いた図を触覚ディスプレイ上にそのまま表現し、図式しながら説明することができるので、空間や位置を理解させるのに有効的である。

図8のように福島県の地図を描き、そこに を描き福島県の主な都市の位置関係を図式しながら理解させることができた。このような活動は立体コピーや点図などで表現するので準備する時間が必要であったが、電子レーザーライタの活用では簡単に表現でき、さらに修正や追加もその場に応じて自由にできた。

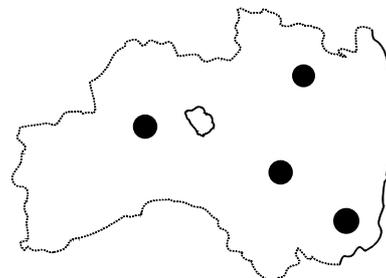


図8 福島県の地図

また、アニメーション効果を使って鳥が飛んでいるイメージを理解させることもできた。

図9のように鳥が羽ばたいている様子を上から下の図方へ連続して触察することにより実際に動いているように見え、触察後模倣させると両腕を広げ上下に動かし羽ばたく様子を模倣することができた。

このように電子レーザーライタは触察活動を通して空間の位置関係や動いている様子を概念として理解させるのにかなり有効的であった。また、仏像を触察させイメージを電子ペンで描画させると頭部の鏡餅の特徴をイメージ通りに描き、両手をあわせて合掌しているポーズを自分なりに工夫を加えて発展的に表現することができた。

今回の電子レーザーライタの活用を通して、概念として理解を深めただけではなく、全盲生徒が描く楽しみを味わいながら創造力や工夫する力を育てることができた。これは、晴眼者が用紙に鉛筆などで描画する感覚にかなり近づいているからではないかと思われた。

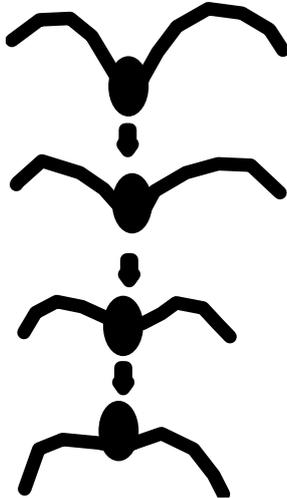


図 9 アニメーション効果を使って、鳥が羽ばたいている様子を触覚的に表現する

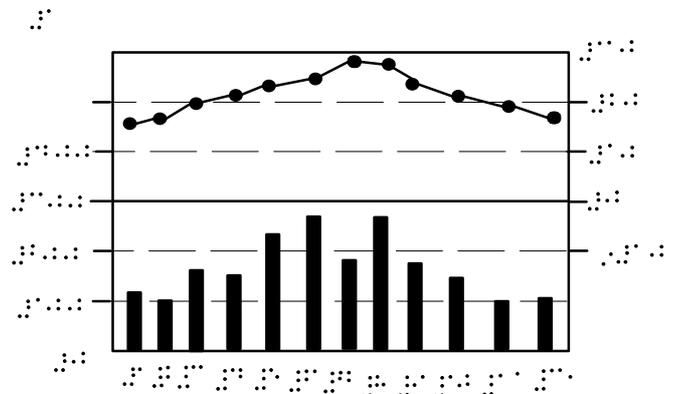
7. 今後の課題

電子レーザーライタの触覚ディスプレイは縦 144 × 横 192 mm である。この中に点字や点図の情報は限りがある。たとえば、図 10 のようなグラフの情報を提示する場合は、縦 210 × 横 300 mm のディスプレイは必要となる。しかし、形状認知の場合は形を一度に触察できるほうが良いので触覚ディスプレイのサイズは手のひらサイズが適していると思う。

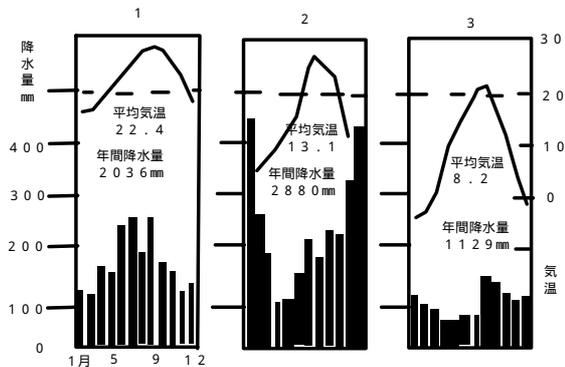
図 10 (a) は年間降水量（棒グラフ）と気温（折れ線グラフ）を表したグラフであるが、このグラフを図 10 (b) のように 3 種類のグラフを 1 度に触察できるように B4 サイズの立体コピーで表し触察させてみた。その結果、グラフをデータとして読み取ることが難しかった。次に (a) のように 1 種類のグラフだけに A4 サイズの用紙で立体コピーで表し触察させてみた。その結果 1 月から 12 月までの降水量と気温の変化をデータとして正確に読み取ることができた。このことから、グラフなどを表示する場合は、見やすく拡大するだけでなく、1 種類の情報ずつ提示する配慮と工夫が必要であることがわかった。

このことから電子レーザーライタの触覚ディスプレイを大きくしてたくさんの情報量を表現できても触察活動に混乱をおこしてしまうので、縦 210 × 横 300 mm くらいのディスプレイサイズが理想的と思われる。また、前述したように形状認知などの場合は手のひらサ

イズ縦 144 × 横 192 mm が理想的であり、内容に応じてディスプレイの大きさをこの 2 種類に変えることができるように改善できればと思う。



(a) 1 枚の図に 1 つのグラフ



(b) 1 枚の図に 3 つのグラフ

図 10 年間降水量と気温のグラフ

社会科においてこのように立体コピーで資料を触察する活動は多い。しかし、既存の資料をそのまま立体コピーにかけると図 10 (b) のグラフのように触察してもわからない教材となってしまうので実態に応じて資料を作り直す必要がある。そのため単元によってはたくさん作らなければならないので教材の準備に大変時間がかかってしまう。このことから 1 度作った立体コピー用の資料などを本校のネットワークフォルダに保存し、学校全体で共有して使えるように考えてみた。

現在、鎌倉時代～室町時代までの年表や 47 都道府県の白地図などを試行的に運用しているが、今後は、河川や山脈、グラフなどできるだけ多くの資料を集め授業に役立つ資料収集をしてゆきたいと思う。

また、国立特殊教育総合研究所が開発した電子レーザーライタがたくさん普及して本校にも設置されれば、電子レーザーライタと本校のネットワークデータを共有して使えるように工夫すれば有効的な使い方に広げることができると思う。

筑波大学附属盲学校における電子レーズライタの評価

高 村 明 良

(筑波大学附属盲学校)

1. はじめに

ここでは、グラフィカル点図ディスプレイと3次元位置入力装置を組み合わせで開発された2つのシステムを用いて、筑波大学附属盲学校の生徒の協力で、その使いやすさや改良点などを調べると共にグラフィカル点図ディスプレイによるオブジェクトの提示と3次元位置入力装置によるオブジェクトへの直接アクセスの有効性について検討した結果を報告する。

2. 方法

評価に用いたシステムは、以下の2つである。

(1) 触覚ゲームシステム

2つのハードウェア(横32ドット・縦24ドットのグラフィカル点図ディスプレイ DotView, KGS、3次元位置入力装置 Microscribe G2, Immersion)を組み合わせた上に実現した3つのゲームソフトウェア(A)三目並べ、(B)七五三ゲーム、(C)モグラ叩きゲーム。

(2) 触図描画システム

グラフィカル点図ディスプレイに描画されている基本的な図形や動きのある図形の読み取りと、3次元位置入力装置を使って簡単な図形を書くための、2つのハードウェア(横72ドット・縦48ドットのグラフィカル点図ディスプレイ GD-8x6B, KGS または DotView、3次元位置入力装置)を組み合わせで開発したソフトウェア MIMIZU MSGD 及び MIMIZU MSDV。

これら2つのシステムの大きな特徴は、グラフィカル点図ディスプレイ上に点図を表示できることと3次元位置入力装置のスタイラスを用いてグラフィカル点図ディスプレイ上の任意の位置をポインティングできることである。

全体を通して、主にグラフィカル点図ディスプレイに表示されたオブジェクトの読み取りと3次元位置入力装置のスタイラスの使い方について検討した。協力してくれた生徒は、いずれもグラフィカル点図ディスプレイと3次元位置入力装置に初めて触れる人たちであった。

3. 結果及び考察

3.1. 3つのゲーム

これら3つのゲームでは、グラフィカル点図ディスプレイ上に表示されるオブジェクトにそれぞれ異なる特徴があり、また、3次元位置入力装置のスタイラスによるグラフィカル点図ディスプレイ上の位置の指定範囲にも違いがある。

3.1.1. 三目並べゲーム

このゲームは、横32ドット・縦24ドットのグラフィカル点図ディスプレイ上に3×3の升目を表示して、コンピュータと三目並べを競うものである。先手はプログラム開始時に決め、特に時間制限は設けられていない。

対戦者からの意志は、3次元位置入力装置のスタイラス(形状はペンに似ているもの)によって9個の升目の1つを直接ポインティングすることで、コンピュータへ伝えることができる。コンピュータからの反応は、グラフィカル点図ディスプレイ上の変化を触察によって確認する。スタイラスによる指示は、スタイラスの先で線で囲まれた正方形の内部のどこかに触れることで実現している。さらにその結果をグラフィカル点図ディスプレイ上の変化で確認する。

最初のうち生徒の多くは、両手の人差し指を中心に中指・薬指の6本の指先でグラフィカル点図ディスプレイに表示されている状態を確認して、それからスタイラスを持って升の中をポインティングしていたが、すぐに片手にスタイラスを持ったまま主にもう片方の手の3本の指を使って点字ディスプレイ上を確認する方法をとるようになった。もちろん、最初からこの方法で触察による確認とスタイラスによるポインティングを繰り返す生徒も見られた。

これまでに、これと同様なものとして、CRT画面上に n 個 $\times n$ 個の正方形を表示して三目並べや五目並べをコンピュータと対戦するソフトウェアが作られている。対戦者からの意志は、キーボードから縦・横の位置を表す2つの数字の組み合わせで入力する。画面の変化は、カーソルキーなどを使ってそれぞれの升目の中の状態の違いを異なる音によって受け取るものである。この方法では、画面の確認をするために頭の中に仮想画面を作り、キーを動かしながら実際の画面の複

製を頭の中の仮想画面に作る必要がある。このような方法に比べて、グラフィカル点図ディスプレイの活用は、

(1) 特別な記憶力を必要としないで画面の確認が容易である。

(2) 画面の変化を平面的に捉えやすい。

などのほか、

(3) 一手・二手先のシミュレーションが容易である。の利点が認められる。

また、このゲームでは、3次元位置入力装置のスタイラスによる入力、ある1升をポインティングするだけでよく、そのポインティングする場所は、線で囲まれた正方形の内部であればどこでも受け付けられるため比較的広く、範囲が明確で、初めて使う人にとっても困難は見られなかった。

3.1.2. 七五三ゲーム

このゲームは、グラフィカル点図ディスプレイ上を縦に3つの部分に分け、それぞれの部分に7本・5本・3本の縦に列んだ平行な線分を表示する。この計15本の線分をある規則に従って取り合い最後にどちらが取るかで勝敗を競うものである。コンピュータへの指示は、3次元位置入力装置のスタイラスで行い、コンピュータからの反応は、グラフィカル点図ディスプレイ上の変化を触察によって確認する。三目並べでは、同じ面積の9個の正方形の内部にオブジェクトがあるかないか、オブジェクトがある場合にはそれは自分のものであるかコンピュータのものであるかの3種類を判断して、その位置関係を把握することでゲームを進めることができた。しかし、七五三ゲームでは、選択された線分を完全にグラフィカル点図ディスプレイ上から消去するのではなく、線分の内部を消し線分の両端の部分を残すことで、その痕跡を示したために点字ディスプレイ上の変化は、上記のゲームの場合に比べて触察では捉えにくくなっている。それぞれの線分は、幅1点で縦に表示されていて、変化はその内部の一部分を消したために変化が少なく、これを確認するためには指先で辿る必要がある。そのためグラフィカル点図ディスプレイ上に変化が起きるたびに主に人差し指を使ってその状態を再認識しなければならない。

3次元位置入力装置のスタイラスの使い方も上記のゲームとは異なる。三目ならべでは、枠で囲まれた正方形の内部のどこか1点をスタイラスでポインティングするだけで十分であったが七五三ゲームでは、1本以上の線分を選択しなければいけないために線分の左側あるいは右側にスタイラスの先でポインティングした後、そのスタイラスを右あるいは左方向に動かして選択すべき線分をすべて横切った位置でスタイラスを止めなければならない。この動作には、ある程度の

上下移動を許容範囲としてスタイラスを水平に移動することと、スタイラスの移動と同時に選択したい線分を横切ったことを確認するという2つの操作が必要である。

生徒たちの動作は、三目並べに比べて、このゲームではグラフィカル点図ディスプレイ上を触察するための指先の動きが多くなり、時間が必要となった。スタイラスの操作では、最初の数回余計な線分を選択したり・選択すべき線分を残したりということもわずかに見られたが馴れるに従ってそのようなことは、完全になくなった。また、回を重ねるうちに片手にスタイラスを持ちもう片方の手でグラフィカル点図ディスプレイ上を確認する方法とスタイラスを親指のところに挟みながら両手の指を使ってグラフィカル点図ディスプレイ上を確認する方法が見られるようになった。

3.1.3. モグラ叩きゲーム

このゲームは、横32ドット・縦24ドットのグラフィカル点図ディスプレイ上の任意の位置に小さなオブジェクト(モグラ)が表示されるのをできるだけ早く見付けて、それを3次元位置入力装置のスタイラスの先でポインティングして(叩いて)オブジェクトを発見したことをコンピュータへ伝え、プレイ時間(30秒)の間に叩いたオブジェクトの数を競うものである。オブジェクトの表示は、短い時間の間隔で表示ピンが上下してその変化を捉えやすいようになっている。このゲームは、上記2つのものと比べて、ゲームそのものの特徴の違いに加えて、触察の面でもスタイラスの使い方の点でも大きく異なる。ゲームの特徴では、三目並べ、七五三では、スタイラスを使ってグラフィカル点図ディスプレイ上をポインティングする前に点字ディスプレイ上に表示されている内容を確認して、それに対する自分の意志を決定してオブジェクトをポインティングしなければならない。しかし、モグラ叩きでは、対戦者がスタイラスでポインティングする位置を決定するのではなくコンピュータが示してくるポインティングすべき位置を早く見付けることである。触察の点では、グラフィカル点図ディスプレイ上に表示されているものの状態を正確に認識する必要があるがモグラ叩きでは、点字ディスプレイ上に何が表示されているのではなく点字ディスプレイ上のどの位置に変化が起きているかを認識することが重要となる。3次元位置入力装置のスタイラスによるポインティングは、三目並べでは、枠で囲まれている正方形の内部であればどこをポインティングしてもかまわない。七五三では、グラフィカル点図ディスプレイ上に縦に表示されている線分を選ぶことでポインティングすべきエリアを限定して次に線分の長さから最終位置を決定する。モグラ叩きでは、グラフィカル点図ディスプレイ上に起き

ている変化を認めた位置を直接ポインティングする。また、コンピュータにポインティングが正しいと判断されるエリアも非常に狭い。

生徒たちの動作にはいくつか違いが見られた。片手に3次元位置入力装置のスタイラスを持ち、もう片方の手でグラフィカル点図ディスプレイを触察する形は共通している。点字ディスプレイの触察方法は、人差し指の先を中心に5本の指先を使って変化の位置を捉えようとする方法と第2関節あるいはそれ以上の部分を使って手の動きをできるだけ少なくして変化の位置を捉えようとする方法である。また、スタイラスでオブジェクトの位置をポインティングするときには、グラフィカル点図ディスプレイを触っている手の人差し指の先がポインティングの位置の近くへ移動する傾向も見られるようである。しかし、今回はこの点について詳しく検証することはできなかった。さらに、得点の個人差も大きく、グラフィカル点図ディスプレイの触察方法の違いやグラフィカル点図ディスプレイ上に表示されるオブジェクトの位置と3次元入力装置のスタイラスによるポインティングの位置の関係についても検証することはできなかった。

3.2. MIMIZU MSGD/MSDV システム

MIMIZU システムは、横 72 ドット・縦 48 ドットのグラフィカル点図ディスプレイと3次元位置入力装置の組み合わせにソフトウェアによって触察図形の表示機能とレーズライタ機能を実現したものである。触察図形の表示機能は、マウスなどを利用してあらかじめ作成しておいた図形をグラフィカル点図ディスプレイ上の任意の位置へ表示したり表示されている図形を左右へスクロールするなどの機能が用意されている。レーズライタ機能としては、3次元位置入力装置のスタイラスをグラフィカル点図ディスプレイ上でペンを使うように動かすとその上にその軌跡が描かれたりあるいはすでに書かれているものが消去されたりするものである。

残念ながら今回十分な時間を取ることができず以下の基礎的な評価をすることができなかった。

3.2.1. 図形の触察について

グラフィカル点図ディスプレイ上にあらかじめ準備した直線や曲線で囲まれた基礎的な平面図形（三角形、四角形、円など及びこれらの図形やその一部を組み合わせた図形）を表示して、それを触察する。表示されている図形を左右方向へスクロールしている図形を触察して、その図形の形や様子を理解する。

紙に書かれている図形であってもグラフィカル点図ディスプレイ上に表示されている図形であっても触察によってそれを理解する過程は変わらない。左右の人差し指を中心に他の指をその補助として線を辿り頭

の中へその複製を作り上げることで全体を理解する。また、同じところを何度も触察することで、記憶の曖昧さを修正していくことができる。

このシステムでは、表示されている図形の理解において、グラフィカル点図ディスプレイのハードウェア上の限界から生じる斜め線や曲線の表示などの不明確さの問題が明らかになった。とくに斜め線を含む三角形などでは、意図した図形と認識して貰えないこともある。

また、スクロールしている図形の触察では、あらかじめ静止図形を触っておくことで、その流れて行く様子を理解することは可能である。手の動きは、静止図形を触察するときとは異なり、時間と共に変化するグラフィカル点図ディスプレイ上の全体を理解しようと指先だけでなく手全体でその変化を捉えようとする傾向が見られた。

このようなことから推測すると、リアルタイムに表示位置が移動して行く複雑な図形を触察によって理解することはかなり困難なことであり、表示する図形やその目的に合わせた補助的ないろいろ工夫をする必要があると考えられる。

3.2.2. 電子レーズライタ

3次元位置入力装置のスタイラスの先で、グラフィカル点図ディスプレイ上をなぞるとその軌跡がその上に表示される。また、モードを変えてグラフィカル点図ディスプレイ上にすでに表示されている部分をなぞるとその部分が消去される。今回は、この2つの機能を使って貰った。

一般に点字使用者がレーズライタを使って図を書くときに上げられる問題点の1つは、ペンを動かして線を書く、直前に書かれた線を確認する、これからペンを動かしていく方向と位置を確認するの3つの動作を平行して行わなければならないことである。しかし、この3つの動作を両手の指先だけで平行して行うことはかなり困難なことであり、レーズライタで図を書くときには定規などの道具を使ったり右から左へまっすぐペンを動かすなど経験的に憶えた動作を組み合わせ、ペンを動かしながら書かれている線を確認する、ペンを止める位置を明確にしておいてそこまでペンを動かすなど主に2つの動作を平行して行うことが多い。

今回は、左から右へ直線を引く、左上からやや右下へ直線を引く、交叉する2本の直線を引きその内の1本を消すという3つの操作を試みた。最初の動作では、3次元位置入力装置のスタイラスを動かしながらその軌跡を確認する2つのことを同時に行うことができるがスタイラスの方向を補助する道具がないためにわずかに上下へずれることも見られた。

左からやや右下がりの直線を引く動作では、上のこ

とに加えて、グラフィカル点図ディスプレイの解像度が粗いためにスタイラスが動いていく方向の軌跡を正確に表示することが難しい場合も見られた。

交叉する2直線から1本の直線を消去する動作では、消去する直線の上をなぞるだけでなくその周辺をなぞることで目的の直線を消す方法も使ってかなり正確に消すことができるが、交点付近では、もう1本の直線の点までも消してしまうことが多かった。

グラフィカル点図ディスプレイ上では、作図を補助する定規や画鋸などの道具を使うことは難しい。電子レーザーライタシステムでは、このような道具が補助する機能をソフトウェアや別のハードウェアの組み合わせで実現すること、基本的な図形の描画を支援するソフトウェアを開発すること、スタイラスの動いていく方向を音や物理的な抵抗で補助したりすること、スタイラスを動かしながら触察しやすいようなスタイラスの形を検討することなど改良すべき点は多いように思われる。

4. おわりに

グラフィカル点図ディスプレイの研究は、10年ほど前から見られるがその製作コストが高額になること、表示ドットの解像度が粗く紙に書かれる点図と同様な表示が困難であること、ハードウェアの制限の下で実用的なソフトウェアの開発が難しいことなどからその実用化には時間がかかっている。最近、ハードウェアの進歩とコストダウンによってグラフィカル点図ディスプレイの商品化も進んできたがそれを活用する実用的なソフトウェアの開発にはもう少し時間がかかりそうである。しかし、紙に点図を書くことは、多くの時間を必要とし複製も困難であり、グラフィカル点図ディスプレイへの期待は大きい。

ここで使用したシステムは、グラフィカル点図ディスプレイに加えて、3次元位置入力装置を利用してグラフィカル点図ディスプレイ上の任意の位置へのアクセスを可能にしたものである。現在広く使われている点字を表示するための点字ディスプレイは、1行16文字から80文字のもので、この1行内の任意の位置へアクセスする手段としてカーソルルーティンスイッチと呼ばれるスイッチを利用する方法が考え出され、最近のほとんどの点字ディスプレイがこれを備えている。グラフィカル点図ディスプレイにおいても、ディスプレイ上の任意の位置への直接アクセスの必要性和有効性は今回の試みの中で十分に認められることである。今回の試みでは、平面への直接アクセスの手段として、3次元位置入力装置を利用しているが直接アクセスの方法を提供する手段としての3次元位置入力装置の有

効性の検証には至っていない。

次の段階では、グラフィカル点図ディスプレイ上を触察しながら平面上の任意の位置への直接アクセスの方法を提供するためにどのような場面においてどのような手段が考えられ、どのように実現して行くかが課題となる。