視覚代行*

和気洋美**

我々は行動の決定の多くを視覚情報に頼っている。これに対して、視覚系を利用できない盲人は、外界の状況を触覚や聴覚など視覚以外の感覚系によって入手せねばならず、歩行や知的活動などの諸々の点で制約を被っている。また、残余視覚を有する人は、適切な補助具を使用して視覚機能の拡大を図る必要がある。このように視覚障害者の視覚を目的に応じて補助・代行して社会復帰の手助けをすることを視覚代行といい、そのための様々な機器、器具、用具を総称して視覚代行器という。

1. 知的活動の補助器

1-1. 点字入出力機器

点字は1825年にL. Brailleによって発明されて以来、盲人の読み書きに有用な手段として各国で広く用いられ、今も多くの視覚障害者に役立っている。点字は普通文字を一定の約束に従ってコード化し、1音を縦3点、横2列の6点以内で表現したものである。点字器は通常1行32文字で、数行並んだ点字板と打点針からなる。点字を書くには、点字板の枠に点字用紙を挟み、打点針で1つずつ所定の点を打っていく。打点は読み点字の裏文字で、右から左へと打ち、読むときには表裏を逆にして左から右へと読む。

近年、点字をより活用しやすくするための新しい機器の開発が進んできた。そのひとつが、点字を打ちだすためのタイプライターである。点字タイプライターにはバーキンスプレーヤーやライトプレーヤーなど、いくつかの機種があるが、基本的には点字1文字の6点に対応する6個のキーを両手の所定の指で押すことによって、1文字ずつ凸状の文字を印字するのである。我国では仮名文字のような表音文字のほかに、表意文字として漢字が使用されているが、点字においても表意文字をコード化する試みがなされ、その必要から従来の6点点字に代わる8点点字も考案され、6点と8

点両用の点字機器もつくられるようになってきた。オーツキタイプライターは点字タイプライターとしても使用できるが、晴眼者がカナや英字キーボードで打ち込んで盲人に点字情報を提供できるように設計されており、点字と普通文字とが上下に対照表示されるので、晴眼者と視覚障害者とが同時に情報を確認することができる。このタイプライターのプリンター部分だけでも、オーツキプリンターとして商品化されている。

1-2. パターン認識用機器

触覚を利用した文字や図形認識用の機器には、TVSS方式のものとオプタコン方式のものがある。

(1) オプタコン

(Optacon: optical-to-tactile converter)

オプタコンは元来、盲人のための読書補助器としてデザインされたものである(Linvill and Bliss, 1966)。盲人の“普通文字を読みたい”という欲求に応えるために開発されたが、点訳という晴眼者の介助に依存しないで自立できるという利点から、特に知的活動を促進する機器として急速に世界各国に普及した。使用者がカメラを右手で持ち、紙面上を自由に走査して文字をエリアセンサに結像させると、文字に対応する電気的な出力信号が発生し、縦24本×横6本のピエゾ素子からなる触覚ディスプレイの対応部位を駆動させる。素子間隔は縦1.17 mm、横2.2 mm、ピエゾ素子の振動周波数は230 Hzである。オプタコン本体の前の部分にある触覚ディスプレイは指の形状に合わせて彎曲している。そこに左人差指を軽く乗せて、カメラの左から右への動きに連動して、指の右端から入り左へと流れていく文字を読みとるのである。触知している指は静止したままなので、その意味ではオプタコンは受動触を利用しているといえるが、読者自身がカメラを動かして文字を選択的に入力するので、Blissらは能動触による文字読みであると主張している。

オプタコンを使用するためには訓練マニュアルに沿った一定時間の訓練が必要であり、我国ではアルファベット読みの訓練のほかに、独自にカタカナ用(小柳ほか, 1977)と日本語用(小柳, 志村, 1978)のマニュアルなども作成されている。

* 昭和63年4月19日受付

** 神奈川大学 外国語学部

Department of Psychology, Kanagawa Univ.

(2) TVSS (tactile vision substitution system)

TVSSはBach-y-Ritaら(1975)によって考案されたもので、外界の光景をテレビカメラで受像し、触刺激に変換して皮膚に伝達する機器である。我国においても、和気、清水(1975)により第1号機がつくられた。刺激素子としてはソレノイド素子のほかにピエゾ素子の使用も試みられた。駆動方式としては、大きく機械的なものと電気的なものとが考えられている。初期のTVSSは 17×17 または 20×20 マトリックス、素子間隔17mm程度の大型で、背中で触知された。これらTVSSの性能実験として、盲人や閉眼睛眼者による触覚の解像力のテスト、文字や幾何学的図形の判別に関する研究が行われた(Collins and Saunders, 1969; Bach-y-Rita et al., 1975; Loomis, 1974; 和気, 和気, 1980; 和気, 清水, 山下, 1975; Whiteら, 1970)。その後、腹部用の小型TVSSも開発され、実用化試験も行われた。

2. 歩行補助器

視覚障害者は、“歩く”というごく日常的な行動も視機能が活用できないがゆえに制限されている。白杖は古くから盲人の歩行を助ける用具として用いられてきたが、ほかに盲導犬や晴眼者の介添を受けて歩行することもある。視覚障害者の真の自立を促すためには、安全で確実な単独歩行を可能にする機器が必要であるが、そのためには、まず路面や進路の障害物を検知しなければならない。白杖はその目的にかなった歩行補助具のひとつであるが、情報の検出範囲は杖のどく領域内に限定される。その不足を補う機器として、大きく2つの方式が考えられている。ひとつは、眼と同様に自ら物体を探知するための送信用の信号を発することなく、環境情報をTVカメラやMOS, CCDのような半導体を用いて入力し、音パターン(強弱・高低)として出力したり(Fish, 1976)、触覚を通じて検出する方式である。これに対して、もうひとつは、機器からなんらかの信号を発信し、物体からの反射を受信して障害物を検出しようとするものである。以下においては、現在すでに実用に供せられている障害物検出型歩行補助器として、主にソニックガイドとレーザーケー

(1) ソニックガイド

L. Kayは1966年、コウモリが暗い洞窟のなかでも壁面に衝突することなく飛行する事実ヒントを得て、超音波センサを眼鏡のフレームに取り付け、両耳に可聴音を出力する超音波眼鏡を開発した。これがソニックガイドである。眼鏡枠の前面中央部に逆三角形状に

配列された3個の超音波素子のうち、下方の1個は超音波送波器、 15° ずつ外側に向けられた上方の2個が受波器として機能する。障害物に接近するにつれて周波数が低下し、距離が $1/2$ になると1オクターブの変化を示す。

およその有効探知範囲は、前方に対して5m、左右方向では3mである。また、方位の認知には両耳の強度差が手がかりとなる。しかし、実際に使用者に聞こえる状態は、使用環境、すなわち壁などの背景から生じるノイズ、交通音などの環境内のノイズ、装置自体から発せられるノイズなどによっても左右されるので、充実した訓練プログラムに沿って、十分な訓練が行われなければならない。

(2) レーザーケー

自ら電磁波を発信し、その反射の有無から物体の検出を行おうとする試みが、評価実験の結果から白杖に代わるものとして有望視され、1970年代にレーザー光の発信とその反射の受信機能を杖にもたせることに成功した(Benjamin, 1973; Fornaeus and Jansson, 1974)。レーザーは指向性が鋭く、出力も大きいため物体の検出力が高いという利点をもつ反面、駆動方式や価格、寿命の点で問題を残す。そこで、レーザーの代わりにLED(発光ダイオード)を送信する方法も考案されたが、難点も多く、実用化には至っていない。

3. コンピュータ制御による新しい視覚代行器

すでに概観したとおり、個別の目的に応じて視覚を代行するための様々な機器が開発されてきている。それと同時に、今日ではマイコン、パソコンなどとよばれる小型のコンピュータが著しく普及し、比較的安価になって各家庭で個人でも所有することができるようになってきた。このような動静が、ごく最近の視覚代行器にもたらした影響は、これらの機器がコンピュータで制御されたり、初めからコンピュータを組み込んだ機器が開発されるようになったこと、また盲や弱視教育に学習機器としてパーソナルコンピュータを利用する動きが現れてきたことなどであろう。

視覚代行機器がコンピュータ制御される利点は、研究の目的で機器を用いる際に、刺激条件の制御が簡単かつ正確に行えること、実用面では、多量の情報をわずかなスペースに保存できること、情報の追加、削除、修正が簡単にできることなど、多々考えられる。このほかにも、書写、描画など、手と眼の共応動作が必要な動作は弱視児には困難なものであり、訓練によって容易に改善がみられないようなときには、ワードプ

ロセッサが導入されれば有効であろう。

3-1. 点字入出力機器

今日まで、盲人は知的活動の大部分を点字に頼ってきた。特に“読む”ということは、ひとにぎりの晴眼者が点字を習い覚え、長時間をかけて点訳するという奉仕に負って成り立っている。にもかかわらず、点字情報には、使用によって点字が摩耗してしまう、情報量が膨大になり保管に大きな空間を占める、点訳本の種類、数量に限りがあるなどの問題点がある。これらの問題を解決するものとして、最近になって紙を使用しない点字機器（ペーパーレスブレイル）が開発され、いくつかはすでに市販されている。

バーサブレイル（図1）はソレノイド方式の点字ワードプロセッサで、情報を紙の代わりにカセットテープに記録するため、収納スペースを大幅に節約でき、摩耗することがない。また、紙上の点字とは異なり、

図1 バーサブレイル

文章の訂正、追加、削除が簡単にできるという利点もっている。後述のバーサポイントと接続することによって盲人自身による点字資料の作成はかなり楽になると思われるが、晴眼者の使用にはカナ入力による点字変換が困難であるという問題が残されている。

国産のコミュニケータ40（図2）は、独自の入出力機能はもたないが、パーソナルコンピュータのキーボードから打ち込まれた普通文字を、点字コードに変換する機構を内蔵しており、点字を知らない晴眼者が普通文字で点字情報を出力させることができる。作成された多量の文書をフロッピーディスクに格納したり、任意によびだして文書の編集を自由に行うこともできる。ソフト次第で、パーソナルコンピュータのCRT画面上には普通文字を出力することも、点字パターンを出力することもでき、モニターとして利用することが可能である（Wake, 1986）。現在、改行やリセットも本体のスイッチではなく、コンピュータのキー操作でできるように改良が試みられている。

ブレイルマスターはカナの点字ワードプロセッサ、点字のOCR、点字ラインプリンターを一体にした大型の点字入出力機器である（図3）。文書の入力、キーボードからカナまたは点字で打ち込む、紙に打ち出された点字をOCRから読み込む、フロッピーディスクからよびだすなど、任意の方法を選択することができ、カナまたは点字による編集・校正機能も備わっている。出力もカナと点字の両方で、点字教材を効率よく作成するために活用されている。

出力機器としての点字プリンターとしては、従来の大型ラインプリンターのほかに、個人用として最近バーサポイントが開発された。我国では漢字カナ混じり

図2 コミュニケータ 40

図3 ブレイルマスター (点字教材作成装置)

文を取り込んで8点点字に出力することのできる機器も考案されている。このほかに、海外では電子メモ器、すなわち携帯用の点字メモ器も開発されている。

3-2. 文字認識用機器

これからの視覚代行の発展のためには、触覚的な情報処理過程を空間的および時間的両側面から明らかにする必要が大であると思われるが、そのために前記オプタコンのディスプレイを使用することが有効である。オプタコンをこのように研究の目的で利用するときには、コンピュータで制御するのが便利である。Loomisは1975年にIBM PCとオプタコンとの間のインターフェースを行い、その情報を公開した。やはりIBM PCとオプタコンとの別のインターフェースがウィスコンシンのPaul Bach-y-Ritaの研究チームによって設計された。Craigは、オプタコンをLSI-11(DEC)に接続して、受動触のマスキングの実験を行っている

(Craig, 1976, 1985)。SherrickとCholewiak(1986)は、Commodore 64でオプタコンを制御することによって、パターンの変換を敏速に行えるようにしたが、このドライバーでは現在、最大117パターンフレームをメモリー内で利用することができる。和気によるPC型オプタコンインターフェースでは、オプタコン本体背面の20Pコネクタより各種の信号線を取りだし、コントローラーとなるPCとしては、汎用性の高いNECのPC-9801 VXを使用した。これとオプタコンとの間に2段階の回路を介して接続を行ったが、ひとつはPC内に実装された汎用のデジタルI/Oボードであり、もうひとつは信号のレベル変換と同期信号を発生し、これをオプタコンとPCそれぞれに供給する回路である。オプタコンディスプレイに対応するマトリックスがCRT画面上に表示され、マウスによって文字やパターンを自由に作成することができる。作成された文字や図形、文章などの情報は任意の速度で列表示することも、一度に同時に提示することもできるし、一筆書き、その他の異なる表示形式で提示することも可能である。和気らは、自作のNEC-PC-オプタコンを用いて受動触モードによる触パターン認識の研究を行い、能動触との比較検討を試みている。このように、オプタコンのコンピュータコントロールは多くの研究機関において試みられ、研究に役立てられているが、これを教育機器として使用する場合には、従来のカメラ入力では能動触であるのに対し、コンピュータコントロールオプタコンでは受動触であるので、試みやすい提示速度や文字間の時間間隔など、基礎的な条件を検討する必要があると思われる。

図4 キャラクターディスプレイと描画読み取り装置

3-3. パターン認識用機器

和気らは、TVSSの開発と、それらを用いた基礎研究の成果を踏まえて、TVSSを中心とする盲人用知的活動補助システムを開発した(Wake, 1986)。これには、主として文字認識用のキャラクターディスプレイ、図形認識用の大型のグラフィックディスプレイ、加圧式の描画読み取り装置、および上述のコミュニケーター40が含まれている。キャラクターディスプレイは100本のソレノイド素子が6mm間隔で10本×10本のマトリックス状に配列され、全体の形状は、手掌に馴染むように中央部が膨らんだ椀型である(図4)。素子は振動型で、1本ずつ独立にミニコンピュータで制御されている。ディスプレイを包み込むように置かれた手掌に対して、任意の時間、任意の提示順序で素子が飛びだし、手掌を刺激する受動触用のディスプレイである。提示モードとして、文字全体の同時提示や部分提示、一筆書き的な継時提示、ランダムな提示など、様々なモードで触刺激を提示することができるソフトが用意されている。

描画読み取り装置は、板状の電極が縦横に各10本ずつ配列され、各々の対点に加えられた圧を情報として拾い上げる。これとキャラクターディスプレイとを組み合わせれば、将来、盲児のための描画補助や普通文字の学習機器として使用できると考え、そのための基礎的な研究が続けられている(和気、和気、斎田、1986)。

これに対してグラフィックディスプレイ(図5)は、能動触によってある程度複雑な図形を触覚的に認識させることを目的につくられたディスプレイである。

1,024本の小型ソレノイド素子が32本×32本のマトリックス状に配列されており、触知板の大きさは約17cm四方と大型である。コンピュータから刺激情報が送られると、素子全部がいったん突出し、触知板の下部のロックシステムによって文字や図形に該当する素子のみにロックがかけられて、所定の時間突出したままになり、必要のない素子は触知板の下に沈む。刺激はカメラで撮像してコンピュータに取り込んでもよいし、NEXUSとディジタイザとの組み合わせで作図することも、キーボードから入力することもできる。刺激の作成や修正が容易なので、実験研究機器として有用である。素子間隔は5.5mmであるが、38mm角のひらがな文字が練習なしで、盲人では90%、閉眼暗眼者でも平均65%の精度で触読できることが実証されている。盲児のための数学におけるグラフ教育などに役立たせるため、関数グラフのプログラムソフトが開発されている。

4. 音声による入出力機器

近年、視覚代行のために聴覚を利用する可能性が再び注目されだした。その背景には、音声合成技術の進歩と、パーソナルコンピュータなど汎用性のコンピュータの普及があげられる。

(1) Kurzweil 型読書器

1979年にKurzweil型読書器が発表された。シリーズ400は床置型で、光学的に読み取った文字をバッファメモリーに格納し、パターン認識を行い、合成音声を出力する読書器である。新型は音声で取り込むこともできる入出力両用型で、取り込んだ情報を音声だけ

図5 グラフィックディスプレイ

でなく、点字に出力することもできる。

(2) 日本語読書器

日本語用の読書器は、そのすべてが視覚障害者用に開発されたわけではなく、産業用に開発され、視覚障害者に便利ように入力機器とのインターフェースや編集機能をソフト的に改良するなどの工夫がなされたものもある。現在、十数種の機器が実用化されているが、その多くはパーソナルコンピュータのキーボードから文字情報を送ると、それが漢字カナ混じり文であっても、機器をプリンター用インターフェースにつなぐことにより、自然で明瞭な音声を出力する。多くの機器は、訂正、挿入、削除などの編集・校正機能を持ち、音訓を自動的に識別して出力する機能をもつもの、漢字に説明をつけて読み上げるモードを備えたものなどもある。このほか、手書き文字を読み取り、音声で出力する機器もある。これらの読書器は、音読み、一行読みには問題はないが、同音異漢字の識別にはまだ問題が残っているようである。

(3) その他の音声出力型機器

読書器のほかにも、視覚障害者の職域の拡大に貢献しうる機器として、カナタイプライターと音声合成装置をパーソナルコンピュータを介して接続した音声出力と編集・校正機能をもつカナタイプライター、音声出力型の計算機、キャッシュレジスター、音のでの電話帳、デジタル式電圧計や周波数計などの各種計器類も実用化されてきている。上述のように、音声入出力型の機器の開発には目覚ましいものがあり、今後も視覚代行機器として期待されるところが大きいと思われる。しかし、情報の入出力をすべて音声に依存するのは、視覚障害者にとって必ずしも最良ではなく、特に音声入力機器は、情報の伝達が遅い、誤動作が多い、疲労が大きいなどの問題点もある。したがって、聴覚利用の方向としては、入力タイプライターやキーボードから行い、音声で出力するというもので十分であるという考えもある。

5. まとめ

以上、概観してきたような視覚障害者用の視覚代行機器が、どの程度、我国の弱視学級や盲学校に導入され、使用されているかという調査が、国立特殊教育総合研究所により行われている（国立特殊教育総合研究所視覚障害教育研究部編、1987）。その結果、盲学校では弱視教育用教具もかなりの程度に導入されているのに対して、弱視学級においては視覚障害者教育用教具の保有台数が全体的に乏しいこと、盲学校の初回導入年度は、すべての品目において弱視学級のそれより古

いことが明らかにされた。このことは、盲学校に比べて弱視学級の発足が比較的新しいこと、規模や設置者あるいは財源の違いを反映するものであると、この調査は分析している。また、点字教材を作成する機器がよく使用されているのに対し、立体コピー装置やサーモフォームの使用頻度が低いのは、レーザーライターの使用頻度が低いことと併せて考えると、触図への関心が活発ではないことを物語るものであろう。最新の機器については、たとえばオプタコン、バーサブレイル、点字ワードプロセッサなどが、従来のタイプライターの使用頻度を上まわってはいるものの、一部機関を除けば、保有台数自体が非常に少ないのが現状である。これに関しては機器が高価であるためという予算上の問題もあるが、ほかに使用者の新しい機器に対する不安や困難、教育体制におけるカリキュラムの問題など、様々な理由が考えられる。諸外国では、我国に比較して個人においても機器を購入しやすい状況が確立されており、それが漸新な機器の開発や普及に貢献しているように思われる。まずは、行政機関による個人および組織の機器購入に対する補助が望まれるところである。

今後さらに、特定の個人、特定の目的に合わせて簡単に安価な機器を開発すること、すでに普及している一般的な機器を視覚障害者用に最小限の価格と労力で改造し実用化することが必要であろう。特に、いまだ情報提供の乏しい触図の問題は、作図、読図それぞれに基礎的な研究から着実に歩を進めていかなければならない。これらの努力は、たとえば視覚障害者用の絵本の充実を通して、彼らの乳幼児期、児童期における情操や知識の発達を促し、理科や社会など学習教科をより魅力的なものに改善し、プログラミングの有効な手段として情報化社会における視覚障害者の職域を拡大するなど、貢献するところが大きいと考える。このほかに、各種の視覚代行機器を包括した働く視覚障害者のためのワークステーション、視覚障害児のための学習ステーションをという提言、さらには、視覚障害者用のコンピュータネットワークの確立など、組織的な情報機関の構想なども将来の課題として交わされているようである。

参考文献

- 1) Bach-y-Rita, P., Scadden, L. A. and Collins, C. C.: Tactile Television System, Smith-Kettlewell Institute of Visual Sciences, 1975.
- 2) Benjamin, J. M.: The new C-5 laser cane for the blind, Carnahan conference on the electronic Prosthetics, 77~82, 1973.

- 3) Collins, C. C. and Saunders, F. : Tactile television : Electro-cutaneous perception of pictorial images, Abstracts of the Neuroelectric conf., Vol. 5, February, 26~28, 1969.
- 4) Craig, J. C. : Vibrotactile letter recognition : The effects of a masking stimulus, Perception and Psychophysics, 20(5), 317~326, 1976.
- 5) Craig, J. C. : Tactile pattern perception and its perturbation, Perception and Psychophysics, 77(1), 238~246, 1985.
- 6) Fish, R. M. : An audio display for the blind, IEEE Trans., Bio-Medical Engineering, BME-23, 2, 144~154, 1976.
- 7) Fornaeus, L. L. and Jansson, D. G. : The swedish laser cane : development and evaluation, Report on European Conference on Technical Aids for the Visually Handicapped, 61~65, 1974.
- 8) 国立特殊教育総合研究所視覚障害教育研究部編：全国盲学校および小・中学校弱視学級における教材・教具，教育機器・用具等の導入とその活用の実態に関する調査報告書，1987.
- 9) Kay, L. : Ultrasonic spectacles for the blind, In R. Dufton(ed.), Proceedings International Conference on Sensory Devices for the Blind, St. Dunstons, p. 275~292, 1966.
- 10) 小柳恭治，志村 洋：オプタコン・トレーニング・マニュアル（日本語編），心身障害者教育財団，1978.
- 11) 小柳恭治，永田三郎，山県 治，志村 洋：オプタコン・トレーニング・マニュアル，触読研究会，1977.
- 12) Linvill, J. G. and Bliss, J. C. : A direct translation reading aid for the blind, Proc. IEEE, 54, 40~51, 1966.
- 13) Loomis, J. : Tactile letter recognition under different modes of stimulus presentation, Perception and Psychophysics, 16, 401~408, 1974.
- 14) Sherrick, C. E. and Cholewiak, R. W. : Princeton Cutaneous Research Project, Report No. 46, 1986.
- 15) Wake, H. : On tactile and visual system for visually handicapped individuals, The Journal of Psychology and Education (Kanagawa University), 4, 47~60, 1986.
- 16) 和気洋美，和気典二：指頭による触文字知覚，第6回感覚代行シンポジウム論文集，p. 63~67, 1980.
- 17) 和気洋美，和気典二，斎田真也：視覚障害者のための描画補助，神奈川大学心理・教育研究論集，4, 30~46, 1986.
- 18) 和気典二，清水 豊：視覚代行システム，計測と制御，14, 910~918, 1975.
- 19) 和気典二，清水 豊，山下由己男：視覚代行器による訓練過程，第1回感覚代行シンポジウム論文集，製品科学研究所，p. 59~69, 1975.
- 20) White, B. W., Saunders, F. A., Scadden, L., Bach-y-Rita, P. and Collins, C. C. : Seeing with the skin, Perception and Psychophysics, 7, 23~27, 1975.