

# 感覚・知覚・認知の研究に基づく感覚代行機器の開発 —将来の医療福祉研究に向かって—

和氣典二（旧製品科学研究所）

## 要旨

筆者は心理学の分野から感覚知覚特性の解明をライフワークとしており、製品科学研究所入所当初は健常者の視覚特性の研究を主として行っていた。これらの研究は60年代に台頭した人間工学と結びつき、道路標識の視認性やグレアの研究で自動車運転時の快適視環境設計へ貢献した。その後、健常者から視覚障害者へと感覚知覚の研究領域を広げ、視覚障害者を対象とした医療福祉の研究に発展させた。

当時、感覚知覚からの医療福祉機器開発はその途に就いたばかりであり、外部有識者との連携が必須であった。国内外の心理学から工学まで多くの研究者との交流から、視覚情報の提示方法等に係わる知見を深めた。視覚情報を触覚情報に変換する手法、触覚情報を提示する身体部位、提示された情報の認知過程などの研究を経て「盲人用人工眼」の開発に至った。この開発を出発点として、当時唯一の医療福祉関連の研究会「感覚代行シンポジウム」を立ち上げ、現在も多くの研究者達により継続されている。

## 1. はじめに

筆者は東京都立大学大学院で感覚知覚を専攻していたが、1967年産業工芸試験所に入所し、意匠第1部に配属された。当時意匠第1部では「人間工学」という特別研究を行っていた。人間工学は人間の心理・生理的特性を解明し、その特性を用いて人間にとって最適な製品やシステムを設計しようとする新しい研究領域であった。感覚知覚は人間工学の一領域として受け止められ、試験所に入所後も大学在学中から続けていた感覚知覚の研究を発展させた。応用研究としては道路標識の視認性を取り上げ、またその基礎研究として視覚の情報処理過程の解明を行った。

入所から2年後に所名変更があり、製品科学研究所人間工学部に配属された。人間工学部になってからは「自動車安全に関する研究」が特別研究になり、「グレアの研究」を行うことになった。初期の頃には、眼球運動計測からグレア（まぶしさ）の程度を評価していたが、夜間時に遭遇する対向車の前照灯のまぶしさを評価するためのグレアの評価式を提案し、その有効性を検討した<sup>1)</sup>。また、照明工学の領域にも興味を持ち、快適視環境設計の資料を得る研究も行った。

## 2. 医療福祉研究への展開

その後、バイオニクス総合研究が注目されるようになり、外部委託を含めて特別研究の募集があった。そこで、研究の深みを求めて筆者と親交のある東京大学の鳥居修晃元教授に外部委託をお願いすることにして、共同で新たな分野（医療福祉）に研究を広げた。鳥居元教授は開眼手術を受けた患者

が、視覚情報獲得のためにどのような教育訓練が必要かについての研究を行っていた。これは感覚知覚であろうと視覚経験がなければ成立しないという「モリニークの疑問」として、哲学上の問題であった。最近では、モネーの白内障の手術前後の絵が話題となったことで有名である。当時、開眼手術を行うと、視覚でものを容易に知覚・認知することができるとみなされていたが、視覚系の発達途中に視覚刺激が眼に入射されていないため、現実には視対象を直視できないし、その形を触覚では判別できるが、視覚ではわからないということが話題となっていた。

一方、電気通信大学の助手であった清水豊氏を製品科学研究所に迎え、筆者と共同で視覚系の医療福祉研究を始めたが、研究所における医療福祉の研究はその途に就いたばかりであり、鳥居元教授の医療福祉についての考えは我々の研究に大きな影響を与えた。ところで、筆者がある大学で心理学の授業をしているとき、盲人の学生が聴講にきた。彼は点字タイプライターやレーズライター（触図を手書きできる用具）を駆使していたが、授業中に生じる点字を打つときに発生する音が他の学生に迷惑をかけることがある。そこで、それを解決するにはどうしたら良いかが我々の研究課題となった。また、心理学の授業では多くの図表が使用されるが、授業中にそれを点字で表示できる方法がなかった。その方法を開発するには触覚版の情報提示装置（TV）が有効であるという思いに至った。そこで、清水氏と相談の結果、我々の研究室では視覚障害者が保有している視覚や触覚機能の研究を基に、医療福祉機器の開発を本格化させた。

### 3. 触刺激提示装置の開発へ

研究の過程で、筆者と親交のあった名古屋大学の(故)市川宏元教授、前述の鳥居元教授、早稲田大学の大頭元教授と相談をしているとき、視覚の医療福祉の技術や知見がどのように発展するか、何がわかっている、何がわかっていないか、そのための実験装置にどのようなものが必要であるかなどについて議論をした。幸いなことに、バイオニクス総合研究が着目され始め、委託研究を含めて、バイオニクス総合研究に「盲人用人工眼の開発」というテーマ名で予算申請を行うことが出来た。(故)市川元教授は眼科学の面から視覚の情報処理の研究を行っており、何らかの疾病のため、眼帯などをして眼に視覚刺激が入らない期間が続くと、廃用性弱視になることについての研究を進めていた。鳥居元教授は上述のように心理学の面から先天盲開眼者がどのようにして視覚を獲得するかについての研究を行っており、両者の研究に接点があることに注目した。また、大頭元教授は光学の面から視覚系の研究を行っており、眼に光を入射できない幼児にレーザー光によって刺激する方法の可能性について検討していた。いずれにせよ、視覚が十分に機能しない人の視覚が外界をどのように知覚・認知するか、そのような視覚をどのようにして補うかについて、医学・心理学・工学の面から検討することが必要であることになった。

さらに、我々の盲人用人工眼をどのように取り上げるかを、バイオニクス総合研究の中で検討した。ここでいう「盲人用人工眼」とは、視覚障害者に視覚情報を他の感覚に変換して提供するものである。そのために、カメラで捉えた画像情報をドットパターンに分割して、そのドットと対応する触覚素子にその情報を伝達し、触覚素子を駆動させて皮膚を刺激するというプロセスが考えられる。この方式

では、視覚刺激を触覚刺激に変換するための技術的な側面と、触覚刺激を皮膚に与えたときに形や文字などがどのように認知されるかという二つの大きな問題が存在する。前者の問題は工学的技術により解決できるが、後者の問題は触覚素子として何を使用するかなどを含めて、画像を触覚刺激に変換して皮膚に伝達させることになるため触覚の問題になる。

そのためには触覚の生理学的・心理物理学的研究が必要となる。そこで触覚刺激用ドットマトリクス装置を試作し(図1)、ドットマトリクスの密度、間隔、提示持続時間、提示間隔時間など最適提示条件を評価すると共に、身体各部皮膚の2点弁別閾や触覚の仮現運動の現れかた等、触覚の諸特性の解明を心理学的な基礎実験により行った<sup>2)</sup>。その後、年齢層別の可読性をひらがな文字を使って検証し、10歳代の可読性は高いが、それ以降は年齢とともに可読性は低下するという結果を得た。これは今までにない知見であった。

他方、視覚障害といえ、失明しているというだけではなく、視覚体験の有無やその程度が視覚や触覚に影響することになる。また、先天盲か後天盲かという視覚体験の有無が触覚の処理能力に影響をすることも知られている。視覚体験があると、触覚情報を視覚イメージに基づいて視覚情報に変換して文字や図形を認知するが、視覚体験がないと視覚情報へ変化する必要がなく、触覚経験で形成された触覚イメージに基づいて文字や図形を認知することになる。

一方で、昔から触覚には受動触と能動触の存在が議論されてきた。受動触は手指を動かさず対象物を皮膚に押しつけたり動かして知覚させることであり、能動触は静止している対象に対して手や指を積極的に動かして対象物を探索して知覚することである。視覚刺激を触覚刺激に変換して皮膚で知覚させるという機器の多くは受動触を利用したものである。しかし我々は、先天盲と後天盲の文字やパターンの知覚・認知の違いや触文字の処理に、視覚イメージが関与するという我々の「視覚化」モデルに基づき、運動指令の働きを視覚イメージがどの程度代替できるかを検討するという能動触の方向に向かった<sup>3)</sup>。

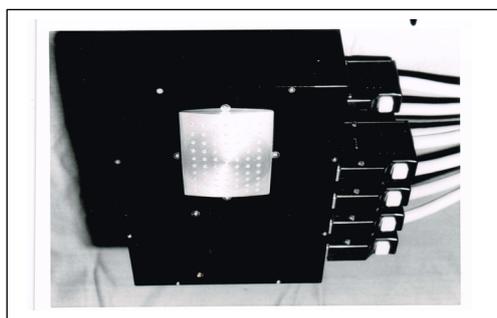


図1 触覚刺激用ドットマトリクス

#### 4. 海外研究者との交流

その後、海外出張の恩恵を受け、オプタコンを開発したスタンフォード大学の Linvill 教授や、オプタコンなどの福祉機器を販売するために設立したテレ・センソリー会社の Bliss 博士からいろいろ情報を得た。後に、触覚に関する研究会が NIH の予算で行なわれたとき、再び、Linvill 教授に会っ

た。彼は電気工学の専門家であるにも関わらず、筆者が心理学出身者であるのを知って、当時、台頭してきた認知心理学の研究に触れて、認知心理学の台頭は生理学と心理学がドッキングしたことを意味すると話されたことを今でも良く覚えている。当時の我々の研究も高く評価され、その研究会に招待された。

話を海外出張のことに戻すと、筆者はスミス・ケットウエル視科学研究所に3ヶ月間滞在し、その後ミシガン大学の眼科に移った。その研究所にTVSS (Tactile Vision Substitution System)を開発したBach-y-Rita博士やCollins博士が福祉機器の開発研究を行っていた。Bach-y-Rita博士は眼科の研究者であるが、触覚を使ったTVSSを試作したのは、脳の可塑性を調べるためであった。またCollins博士は工学の出身で、医療福祉機器開発の技術面を担当し、後述のウオータージェット装置を難聴者の研究に利用しようとしていた。その研究所には複数の視覚障害者が働いており、TVSSの実用化の研究を管理者として働く人もいた。当該研究所で医療福祉研究のいろいろな知見を得、我々の目指す盲人用人工眼に近いことを知った。それ以外に、ソレノイド素子や電気刺激などについてのノウハウを取得した。さらに、ウオータージェット装置が触覚研究の実験機材として有効であることを知り、その原理を取り入れ帰国後に装置化を図り、触覚の研究を発展させた。

また、Bach-y-Rita博士やCollins博士は自分たちで開発したTVSSの小型化を図り、その応用研究を行っていた。装置の小型化を図るためには触覚素子のより小型化が必要となる。筆者も帰国後に触針が皮膚に当たり、反発して元に戻る方式のソレノイド素子 (Collins方式)を含めて、リニア方式など様々な振動子の検討を行った。

## 5. 各種視覚障害者用提示装置の開発

### 1) ペーパーレス点字装置

筆者は心理学の分野から視覚障害者のための実用的な研究を行っていた。その一つが能動/受動触モードを利用した装置の開発である。当時、視覚障害者用の文字読み取り装置としてオプタコンが実用化されていた。オプタコンは片手に小形カメラを持ち、原稿の行に沿って動かせば、文字に対応する圧電素子が高周波振動を発生し、反対の手の人差し指の皮膚を刺激することにより文字を認識する装置である。指を固定し刺激(文字)を動かすため、受動触方式である。

我々もオプタコンの触覚盤を利用して文字などの可読性を検討したが、その結果ソレノイド素子や圧電素子を振動させず、提示した文字などに対応する素子の先端を5mmほど他の素子の先端より高くして、その状態で固定するという自己保持型のソレノイド素子や圧電素子を試作した(図2)。この素子を組み込んだものがペーパーレス点字装置である(図3)。

カメラで読み込んだ文字の部分が触覚盤にドット文字を構成する(図4)。使用者は触覚盤上を手指をわずかに動かしながらドットパターンを読み取る能動触モード方式である。4x6個の素子からなるドット文字の可読性を指先で調べた結果、他の文字との混同は現れないことも確かめた<sup>4, 5, 6)</sup>。

点字利用者は点字用紙などを保管するスペースを必要とし、また過去に作成した資料を検出するのに時間が取られ過ぎることがあり、盲教育のために盲学校などで使用されている。



図2 自己保存型触覚盤



図3 ペーパーレス点字装置  
右下の白い部分が触覚盤

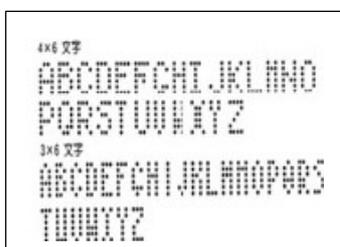


図4 ペーパーレス装置の触文字  
上：3x6 素子の触文字、下：4x6 素子の触文字  
黒点はソレノイド素子の触診に対応する

## 2) 車いすの背に触覚盤を取り付けた人工眼

オプタコンの開発に見られるように、海外の TVSS の開発はソレノイド素子やピエゾ圧電素子を用いた小型化の方向であったが、我々は皮膚に当たる触針の強さを高めるため、空気圧利用の TVSS 開発を行った。空気圧を利用する TVSS の製作過程で、この装置自体がかなり大型・重量化になることがわかり、その装置をどこに設置するかが大きな課題となった。何故かといえば、この装置は視覚障害者が身近で使用するものであり、据え置き型を考えていなかったからである。結論として1) 装置全体の移動型が望ましい、2) 種々の作業では両手が使用できることが望ましい、また、3) 人によっては職域の拡大につながることを望ましいということになり、車椅子の背もたれに触覚盤を取り付けることにした (図5, 6)。

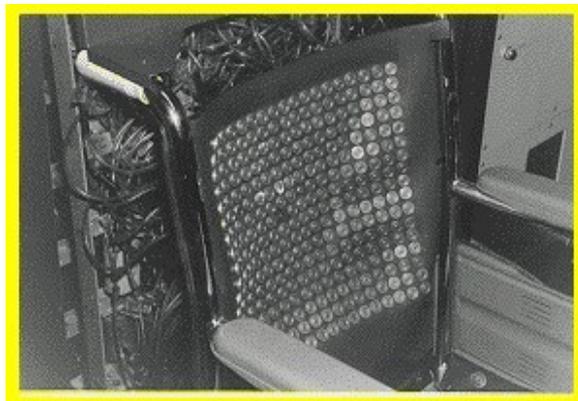


図5 車椅子の背に取り付けた触覚盤

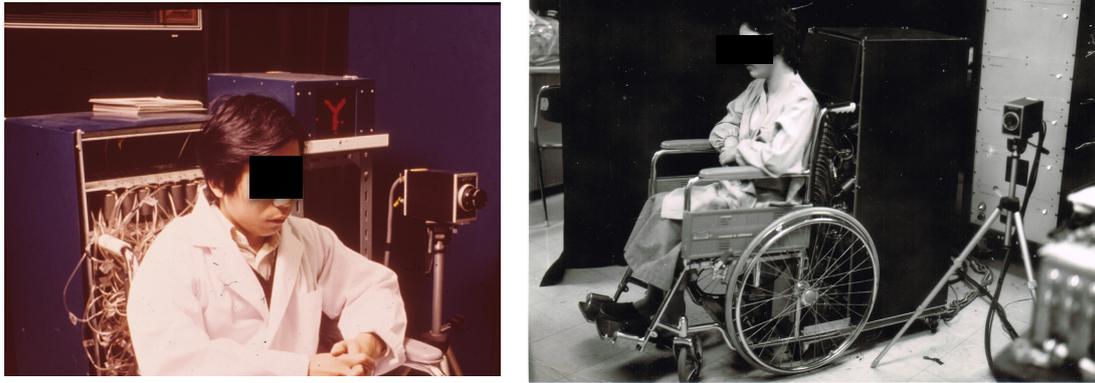


図6 車いす仕様の盲人用人工眼

カメラでとらえた情報を触覚盤を通して背中に振動として与えるが、背中は皮膚感度が低い場所であり、初期の装置の評価実験では、視覚障害者は背中に提示された触刺激だけでは判別が容易でないことが判明した。しかし、両手が空いていることから、同時に障害者は直接手を動かして対象物を触る能動触により判別は向上した<sup>7)</sup>。また、空気圧を調整すればTVSSを着衣の状態で使用しても、利用者が文字を読めることが確かめられ、最終的な触覚盤の仕様を決めた(表1)。

この人工眼により、外界の情報を背中で判別できるため、視覚障害者が廊下など限定された場所で大きな障害物を避け、車いすで移動できることが実証された。

表1 触覚盤の仕様

触覚盤サイズ	315 x 315mm
振動素子駆動機構	空気圧
振動素子数	17 x 17本
振動素子ストローク	5mm
振動素子駆動周波数	2.5pps

### 3) ウォータージェット式提示装置

この装置は薄膜を皮膚(例えば前額)に押し当て、噴射水を薄膜に当てることによって皮膚を刺激するものである(図7)。

この装置では水を極小口径のノズルを通して噴射するが、ノズルの向きを変え、噴射をON-OFFすることによって種々の方向に連続線や間欠的な線を描くことが出来る。触覚盤のように文字をパターンとして同時に提示するのではなく、鉛筆で字を書くように動的な提示となる。噴射水によって一筆書きでひらがな文字を額に描くと、文字を読むことができることが確認された<sup>8, 9, 10)</sup>。

装置は完全密閉型であり、噴射された水は循環利用されるため薄膜外には漏れず、身体を濡らさず

に連続して触知覚の研究をすることができた。

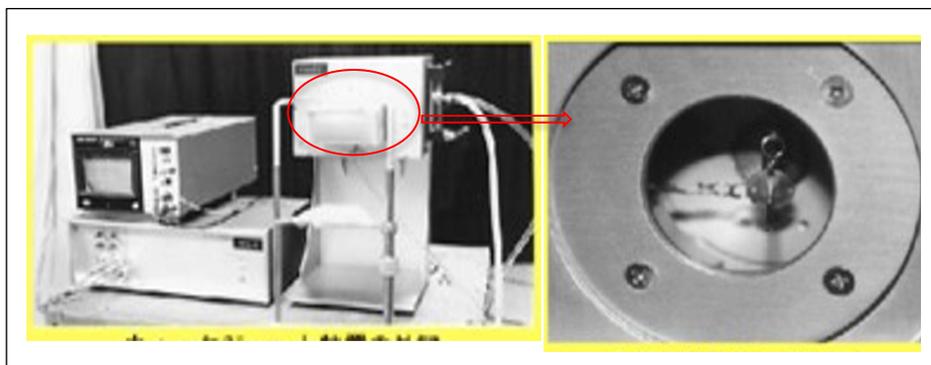


図7 ウォータージェット式提示装置 赤丸部分に前額を押し付ける。右はノズル噴射部

## 6. おわりに

現在、視覚障害者用の情報提示機器の機能・性能は、振動素子やコンピュータの性能向上により格段に進展しているが、約 50 年前に視知覚の研究をしていた筆者が、多くの研究者の協力を得ながら視覚障害者用の情報提示機器を開発するに至った過程を記した。

最後に、盲人用人工眼も感覚代行というように名称を変えて研究開発が進み、また毎年「感覚代行シンポジウム」を産業技術総合研究所の支援を得て開催してきたが、筆者が研究所を離れた後、シンポジウムは独立して発展し、本年（2022年）で48回の開催となる。当初はこのシンポジウム以外に医療福祉の会はなく、多くの研究者の注目を浴びていたが、近年では、類似する名称の学会や研究会が開催されるようになり、このシンポジウムの報告内容も視覚障害に限定されてきたように思える。また、高齢者問題も大きな研究課題となっている。特に、視覚や触覚の注意に関する高齢者の機能低下は今後も大きな問題である。また、このシンポジウムの初期の頃に出版したシンポジウムの中身を集約した「視覚障害と代行」という書籍は多くの研究者を引きつけた。

色々な原因によって、視力や視野の機能が低下するのは、その原因を探ることや彼らがどのような世界（視環境）に生きているかを明らかにすることも必要である。さらに、このシンポジウムに重複障害や発達障害の研究も見受けられるが、そのためには周囲の人に医療福祉の知見を視覚障害に限定せず、この研究領域で得られた知見をいかに普及するかを考え直す必要がある。また、得られた知見を視環境設計に活かせるための仕組みを考え直す時期に来ているようにも思える。

## 参考文献

1. 増田敬史、和氣典二：高齢者の視認性から見た視野．照明学会、交通用視覚調査会報告書、5-6、(1999)．
2. 和氣典二、清水豊、山下由己夫：視覚代行器による訓練課程．第1回感覚代行シンポジウム論文

- 集. 59-69、(1975).
3. 和氣典二、清水豊：視覚代行システム. 計測と制御、14、12、910-918、(1975).
  4. 佐川賢、山下由己夫、菊地正、清水豊、和氣典二：パターン読み取り用点字プロッターの研究 — ひらがなの判読について. 第2回感覚代行シンポジウム論文集. 103-110、(1976).
  5. 佐川賢、山下由己夫、菊地正、清水豊、和氣典二：盲人用点字プロッターの研究 — 漢字かな混じりの触読について. 第3回感覚代行シンポジウム論文集. 51-57、(1977).
  6. 和氣洋美、和氣典二：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. 63-67、(1980).
  7. Saida, S., Shimizu, Y. and Wake, T. : Computer controlled TVSS and some characteristics of vibro-tactile letter recognition. Perceptual and Motor Skills. 55, 3, 651-653, (1982).
  8. Shimizu, Y. and Wake, T. : Tactile sensitivity to two types of simulation: continuous and discrete shifting of a point stimulus. Perceptual and Motor Skills. 54, 4, 1111-1118, (1982).
  9. 清水豊、和氣典二：感覚代行のための一筆書きによる文字の触認識. 人間工学. 19、2、91-97、(1983).
  10. Wake, T., Yamashita, Y., Shimizu, Y., & Wake, H., : Effect of orientation on tactile sensitivity of blind person. Bulletin of the Faculty of General Education, Utsunomiya University. 15, 2, 61-76, (1982).

略歴 和氣 典二 (Tenji WAKE)

- 1970年3月 東京都立大学人文科学研究科心理学専攻博士課程単位取得満期退学  
 1971年3月 博士(文学) 東京都立大学  
 1966年4月 常葉女子短期大学専任講師  
 1967年7月 通商産業省工業技術院産業工芸試験所入所  
 1977年4月 同 製品科学研究所人間工学部人間工学第3課長  
 1979年4月 宇都宮大学教養学部教授  
 1993年4月 東京理科大学経営学部教授  
 1997年4月 東京理科大学大学院経営学研究科教授  
 1999年4月 中京大学大学院心理学研究科教授  
 2007年3月 中京大学定年退職  
 2007年4月 神奈川大学 マルチモーダル研究所研究員 現在に至る

学会役員

ロービジョン学会理事、眼光学学会理事、色彩学会理事、感覚代行シンポジウム委員長

受理日：令和5年1月10日