

人間の自立を誘う支援技術に関する一考察（二）

— 上肢運動機能の評価方法について —

西口 宏美

一、はじめに

筆者は、人間行動を「S-Rモデル」によつて捉えることにより、「感覚機能」、「知覚・認知機能」、あるいは「行動・操作機能」のいずれかに低下や損失が生じるとそれに起因したバリアが生じる可能性があることを整理し、さらにそのバリアを除去するための支援策について日常生活の場に見られるバリアフリー設計の事例を取り上げながら考察した（西口、二〇〇二）。さらに、バリアフリー設計を有効なものとするには、バリアに遭遇してしまう人々の機能低下の度合いを客観的に把握することが必須である。具体的には、機能低下をどのように補助・代替すればバリアを除去することが可能か〔注1〕という命題に関して、例えば物理的環境をどのように変更すべきなのか、あるいはどのようなアクセステクノロジー〔注2〕を活用すべきなのか等々、試行錯誤的なプロセスを経てその実現化が進められる。

一方、感覚機能には低下や損失が生じていない（仮に低下や損失が生じていても、何らかの有効な補助・代替策が提供されている）状況であっても、行動機能に低下や損失がある場合には自身の意思決定を他者にも認識可能な形で提示することが困難となってしまう。特に脳性麻痺者（cerebral palsy）においては、知覚・認知機能には何ら障害を持たない場

合が多いにもかかわらず、痙性や不随意運動といった特有の運動機能障害〔注3〕のために、意思決定に基づく反応行動をとることが困難な場合が多くみられる。このような場合には、低下・損失した行動機能に対して何らかの補助・代替策が提供されることにより、意思決定の内容を他者が認識可能な反応行動として提示することができると考えられる。

そこで本稿においては、行動機能に何らかの低下あるいは損失によって生じる反応行動のバリアに焦点を当て、ADL（日常生活動作）や職業生活における作業遂行において重要な役割を担う上肢運動に関する能力の評価方法について、脳性麻痺者の事例を挙げながら紹介していくこととする。

二、上肢動作の構成

ここで、人間の四肢動作がどのような動作の組み合わせで行われているかについて考えてみることにする。

例えば、「机の上に置かれたボールペンを利き手で掴んで、机の上に置かれているノートに文字を書く」という一連の動作においては、まず「利き手を今ある位置からボールペンのある位置まで空間的に移動させ」、次に「上肢の構成部位である指（親指と人指し指など）を用いてボールペンを掴む」。さらに、「ボールペンを把持した状態で利き手をノートの上まで移動させ」、「ペンをノート上の特定の場所に位置決めして置き」、その後文字を書くという動作を行う。このように、人間の四肢動作は、空間的な位置を変化させるといって「移動動作（movement activities）」と、「掴む」あるいは「置く」という結果的に移動動作を終結させる「終局動作（terminal activities）」との組み合わせで行われることが知られている。上述した知見は、Gibbren, F.B. (1868～1924) により開発された「サブリング分析」〔注4〕にも組み込まれており、後述するMODAPTSなどのPTS（Predetermined Time Standards；既定時間標準）の基礎となっている。

また終局動作においては、文字を書きたいノート上の位置にペン先を正確に置きたい場合には、視覚機能（眼）を用い、上肢の移動を微調整しながら終局動作を行うという、「眼と上肢の協調動作」〔注5〕が要求され、その度合いにより終局動作の困難度が決定される。この困難度に打ち勝つ上肢の操作能力のことを「巧緻性」と呼び、巧緻性が高い程より短時間で終局動作を終了させることが可能となる。

三、上肢動作能力の評価方法

上肢動作能力の評価においては、「量的な評価 (quantitative evaluation)」と「質的な評価 (qualitative evaluation)」の両面からのアプローチが必要である。

量的な評価においては反応行動として遂行される上肢動作の所要時間を尺度として用いる場合が多い。つまり、外部情報（刺激）に対する知覚・認知処理により決定された反応行動としての上肢動作が開始されてから完了するまでの時間値を用いて上肢動作能力の評価を行うというものである。つまり、単位動作（作業）当りの所要時間値を把握することにより、単位時間当たりの作業量を把握できることになる。上述した「机の上に置かれたボールペンを利き手で掴んで、同じく机の上に置かれたノートに文字を書く」という上肢動作であれば、移動動作や終局動作に要する時間値の合計でその動作能力が評価されることになる。

しかしながら、量的な評価のみでは上肢機能の低下を有する脳性麻痺者の上肢動作能力の特性を客観的に把握しきれない。つまり、痙性や不随意運動が上肢の空間的な移動軌跡や巧緻性にどのような影響を与えているのかが把握できないのである。よって、作業時間値といった量的な尺度以外に、上肢の空間的移動の状況や作業の困難度に対する巧緻性

の度合いといった質的な評価も合わせて行う必要性がある。

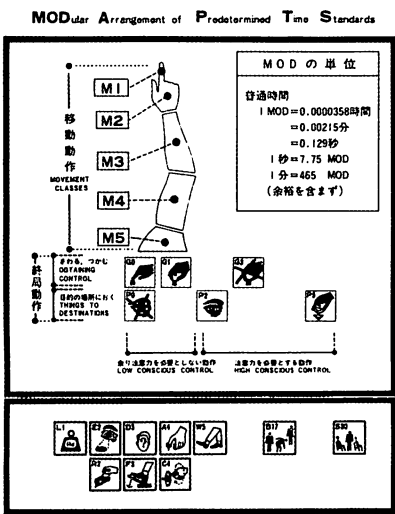
以上のような視点より、上肢動作（作業）能力作業に関する量的ならびに質的な評価方法の紹介を行うこととする。

(一) 量的な評価方法

人間の上肢運動は、Gibsonの開発したサーブリッグ分析でも説明されているように、移動動作と終局動作との組み合わせで構成されている。その後、多くの実務家や研究者によって人間の上肢運動に関する研究が進められた。その結果、移動動作はその移動距離によって、さらには終局動作は要求される巧緻性の度合いによって時間値が決定されることが実験的方法により明らかにされ、「基本的な動作に対して標準的な所要時間が与えられる」というPTSが開発された。PTSには、MTMやWFといった詳細法、MODA PTSといった簡易法がある。

これらのPTSの中でMODAPTS(MODular Arrangement of Predetermined Time Standards)は、オーストラリアにおいてHyde, G.C.によって、MTMを基にその精度は保ちつつ、より簡易なPTSを目指して開発されたものである。MODAPTSでは、図1に示したように人間の基本動作を二十一種類に集約し、その中で人間の上肢動作は移動動作五種類と終局動作六種類にカテゴリー化されている（日本

MODAPTS 基本図



MODAPTSを十分理解してからこの表をご使用下さい。
THE AUSTRALIAN ASSOCIATION FOR PREDETERMINED TIME STANDARDS AND RESEARCH

日本モダプツ協会
無断転載複製を禁ず

図1 MODAPTS基本図

表 1 MODAPTSにおける移動・終局動作

記号	概 要
M 1	指先の動作であり、約2.5cmの移動距離のもの
M 2	手首から先の手の動作であり、約5 cmの移動距離のもの
M 3	(肘から先の) 前腕の動作であり、約15cmの移動距離のもの
M 4	上腕の動作で、約30cmの移動距離のもの
M 5	肩から先の(伸ばしきった) 腕全体の動作で、約45cmの移動距離のもの
G 0	指先または手のひらで目的物に触れるつかみ動作
G 1	指先を閉じる普通のつかみ動作
G 3	つかみにくい目的物をつかむ複雑なつかみ動作
P 0	最も簡単な普通に置く動作
P 2	目で見ながら1回の修正を行って目的物を置く動作
P 5	目で見ながらもっとも複雑な置く動作

モダプツ協会、一九九五)。また、MODAPTSで用いられている記号は、「動作の内容」とその標準的な「所要時間値」が記されている。移動動作と終局動作の概要を表1に示してあるが、例えば「M1」という記号は、指先で行う移動動作であり、さらに1モード(MOD)の時間を要することを示している。例えば、「30センチメートル上肢を移動してボールペンを掴む動作」はM4G1と分析され、所要時間値は4+1+5(モード)と算出される。なお、MODAPTSで用いられる基本時間値はモードで、1モード=0.129秒と決められているので、上述した動作の所要時間値は5×0.129=0.645秒と換算される。

当初MODAPTSはオーストラリアの産業界において標準時間の設定などを目的に導入されたが、その後電機メーカーであるセンター・インダストリー社において脳性麻痺者の就労職場選定の手段で用いられたことを契機に、職業リハビリテーション(vocational rehabilitation)分野においてもリハビリ効果の測定や職業前評価を目的とした活用方法が世界的に広まった。

西口ら(一九九七、二〇〇二)は、このMODAPTSを用いて脳性麻痺者のキーボード操作を想定した上肢動作を評価法について考察している。なお、機能評価する際には、以下に示した「機能評価指数(function index)」を用いている。ここで、基準作業時間値とは「ある課題作業を遂行するのに要する時間値」とし、MODAPTS分析により算出された値を用い、「実際に作業を遂行するのに要した時間値」を測定作業時間値としている。

機能評価指数Ⅱ(基準作業時間値/測定作業時間値)×100(%)
つまり、機能評価指数が示す値は上肢機能に低下を生じていない状態では100%

に近い値を示し、何らかの機能低下が生じてしまうと、100%よりの低い値を示すこととなる。

その結果、キーボード操作を想定した上肢動作評価法においては、測定データを因子分析を用いて解釈したところ、「キーからキーへの上肢の移動動作」や「キーボードを押すという巧緻性の高い終局動作」の能力因子を把握できることが明らかになった。脳性麻痺者一七名を対象にした測定結果では、「キーからキーへの上肢の移動動作」では平均で35・5%、「キーボードを押すという巧緻性の高い終局動作」では平均で24・7%の機能評価指数を示し、上肢機能に低下を生じている脳性麻痺者の場合には、上肢の移動能力に比べて巧緻性の高い終局動作により能力の低下が生じていることが把握できた。さらに詳細な属性別に検討した結果、病型や障害等級〔注6〕、さらにはADLの自立度によっても機能評価指数に違いが見られている。

(二) 質的な評価方法

次に、質的な面から移動動作と終局動作から構成される上肢動作の機能・能力評価方法について見ていくこととする。

① 空間上での上肢の移動動作に関して

横溝ら（身体障害者雇用促進協会、一九七九）は、脳性麻痺者の上肢の移動動作特性を「微細動作研究」により観測を試みている。微細動作研究とは図2に示すように、作業者の上肢の特定の部

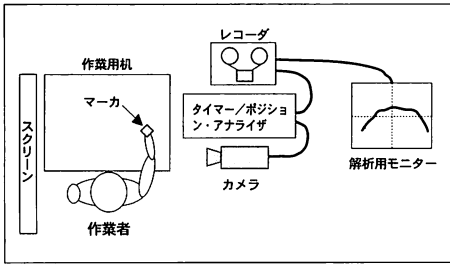


図2 微細動作研究のレイアウト



図3 脳性麻痺者の上肢の移動軌跡
(身体障害者雇用促進協会 1997より引用)

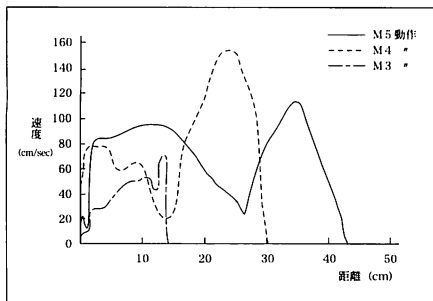


図4 脳性麻痺者の上肢の移動速度
(身体障害者雇用促進協会 1997より引用)

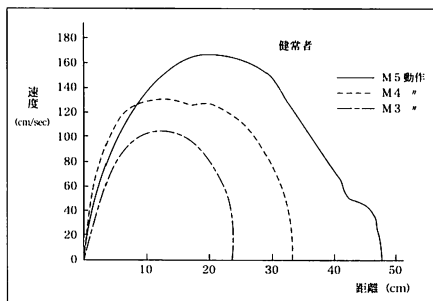


図5 健常者の上肢の移動速度
(身体障害者雇用促進協会 1997より引用)

位置にマーカーを装着した上で上肢の移動動作を側面よりカメラ撮影するものである。映像上に時刻や座標も合わせて記録しておくことにより移動軌跡の解析が可能となる。

② 移動誤差と巧緻性の評価

原田ら(二〇〇〇)は、「コンピュータ画面上に表示された正方形の基点から目標点まで、マウスを入力デバイスとして用いてカーソルを移動させる」というVDT作業〔注7〕課題を用いて、脳性麻痺者のマウス操作能力を以下の二つの側面から検

定することができるようになってい

最近では三次元動作解析システムも開発されており、身体部位の立体的な動きも測定することができるようになってい

② 移動誤差と巧緻性の評価

原田ら(二〇〇〇)は、「コンピュータ画面上に表示された正方形の基点から目標点まで、マウスを入力デバイスとして用いてカーソルを移動させる」というVDT作業〔注7〕課題を用いて、脳性麻痺者のマウス操作能力を以下の二つの側面から検

定することができるようになってい

最近では三次元動作解析システムも開発されており、身体部位の立体的な動きも測定することができるようになってい

② 移動誤差と巧緻性の評価

原田ら(二〇〇〇)は、「コンピュータ画面上に表示された正方形の基点から目標点まで、マウスを入力デバイスとして用いてカーソルを移動させる」というVDT作業〔注7〕課題を用いて、脳性麻痺者のマウス操作能力を以下の二つの側面から検

討している。

a、移動誤差率

図6に示すように、ある二点間を直線に近い軌跡で移動するほど移動速度も速くなると考えられる。よって、二点間の直線距離に対する移動誤差の割合を「移動誤差率」と定義し、移動効率の評価指標として用いることが可能である。その計算式は次の通りである。

$$\text{移動誤差率} = (\text{移動誤差} / \text{直線距離}) \times 100 (\%)$$

$$= (\text{実際の移動距離} - \text{直線距離}) / \text{直線距離} \times 100 (\%)$$

この指標を用いて脳性麻痺者の画面下方から上方へ、垂直方向にカーソルを移動させるマウス操作特性について検討したところ、痙直型の脳性麻痺者の場合には数%〜数十%、アテトーゼ型の場合には100%を超える移動誤差率が観測された(原田ら、二〇〇一)。

b、IDとIP

上肢を用いて、「ある基点から目標点に目的物を移動させて位置決めする作業」の困難度の評価に関しては、Fitts, P. M.の提案した「ID (Index of Difficulty: 動作の困難度の指標)」(Fitts, P. M., Posner, M. I., 1967) が用いられる。このIDはShannon, C.の通信容量の定理を応用したもので、「手に持った鉄筆を基点から移動して指定された目標に接するまでの運動過程」を対象にして、その困難度を次の式で定義している。

$$ID = \log_2 \left(\frac{2A}{W} \right)$$

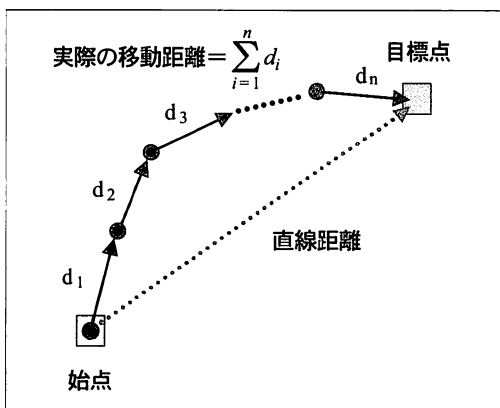


図6 移動誤差の概念

ここで、Aは基点から目標までの距離を示し、Wは目標点の幅である。

なお、目標点が円形の場合には直径、正方形の場合には一辺の長さをWとしている。

さらに、「動作の困難さの指標」を動作完了に要した時間値 t で除した値を「IP (Index of Performance : 作業の処理能力)」とし、巧緻性を評価する指標が定義されている。つまり、単位時間当たりにとの位動作の困難さに打ち勝つことができるかを求める指標であるといえる。

$$IP = \frac{1}{t} \log_2 \left(\frac{2A}{W} \right)$$

Fittsにより提案されたこれらの法則は、その後多くの研究者によって検証され、VDT作業におけるポインティング作業にも利用できることが検証されている(田村、二〇〇一)。

「垂直方向にカーソルを移動させるマウス操作」におけるIP値に関しては、健常者では平均で6 (bit/秒)程度であるのに対して、平均で3 (bit/秒)程度にとどまることが報告されている(原田ら、二〇〇二)。

四、おわりに

本稿においては、行動機能に何らかの低下あるいは損失によって生じる反応行動のバリアに焦点を当て、ADL(日常生活動作)や職業生活における作業遂行において重要な役割を担う上肢運動に関する機能・能力の評価方法について、脳性麻痺者の事例を挙げながら概観した。単位時間当たりの作業量で上肢作業能力を評価するという「量的な評価」のみならず、上肢が空間上をどのような軌跡を描きながら移動するのか、また作業の要求する困難度に対してどの程度の

巧緻性を有しているのかといった「量的な評価」が重要である。

次稿においては、本稿で紹介した量的および質的な評価法により把握できた資料を基にして、身体障害を有する人々のADL、さらには職業生活における作業遂行に必要な運動機能を、自助具や補装具あるいは物理的環境の改善（建築学的な配慮や機器のインターフェイス改善など）といったアクセステクノロジーを用いた補助・代替策について考察したいと考える。

注

- [1] 対象となる機能に残存機能がある場合には自助具や補装具あるいは物理的環境の改善（建築学的な配慮や機器のインターフェイス改善など）を行い、完全に機能が損失している場合には他の機能や第三者、機器などの代替機能を活用して補助・代替を進めていく。
- [2] 身体機能に障害を有する人々の日常生活や職業生活における身体的活動を補助・代替する自助具や補装具、機器や工程改善などを総称してアクセステクノロジーと呼んでいる。
- [3] 脳性麻痺者には、痙性や不随意運動に代表される特有の運動機能障害が見られる。痙性が強く見られる場合には痙直型（spastic type）、不随意運動が強く見られる場合にはアテト・ゼ型（athetoid type）という病型を用いることがある。さらに、言語障害や聴覚障害、歯の異常、四肢における感覚異常、失認・失行などの随伴障害を有する場合もある。
- [4] サブリック分析では、人間の基本的動作を十八種類（後に十七種類）に集約している。上肢の移動については、「空手移動（手に何も持たない状態での移動）」と「荷重移動（手に物を持った状態での移動）」、終局動作については「掴む」と「手放す（置く）」、操作機能については「位置決め」といった動作の分類がなされている。さらにこれらの十八種類の動作は、第Ⅰ類（作業を進めるのに必要な動作）、第Ⅱ類（作業を進めるのに直接必要ではない動作）、第Ⅲ類（ムダな動作）の三つのカテゴリに分類され、作業方法の改善指標として産業界で利用されている。
- [5] 「掴む」あるいは「置く」という終局動作においては、その動作の困難度が高くなると要求される巧緻性の度合いも高くなる。つまり、掴みにくい物を掴む動作（MODAPTSではG3）や一点あるいは直線上に物を置く動作（MODAPTSではP2、P5）では、視覚機能（眼）で対象物を注視しながら動作を行う「眼と上肢の協調動作」が必要となる。
- [6] 日本における身体障害の分類に関しては、身体障害者福祉法施行規則別表第五号の「身体障害者障害等級度表」にまとめら

れている。身体障害の種別には、「視覚障害」、「聴覚・平衡機能の障害」、「音声・言語・咀嚼機能の障害」、「肢体不自由」、「内部障害（心臓、腎臓、呼吸器、ぼうこう、直腸、小腸の機能障害）、ヒト免疫不全ウイルスによる免疫機能障害」の五分
類がある。脳性麻痺は、肢体不自由の中の「乳幼児期以前の非進行性の脳病変による運動機能障害」に分類され、上肢機能
に関しては、「不随意運動・失調等により上肢を使用する日常生活がほとんど不可能」な場合には「障害等級一級」、「不随意
運動・失調等により上肢を使用する日常生活が極度に制限される」場合には「障害等級二級」と認定される。

[7] VDT (Visual Display Terminal) 作業とは、パソコンやワークステーションなどの出力機器の一つである（ヒジュアル・ディ
スプレイとしての）モニター画面を見ながら何らかの処理を行うことである。通常は、入力機器としてキーボードやマウス
などを用いる。

参考文献

- Fitts, P. M., Posner, M. I. (1967) 「関忠文、野々村新、常盤満訳」、『作業と効率』、福村出版、一三〇～一三二頁。
- 原田太郎、西口宏美、齋藤むら子（二〇〇〇）、「VDT作業における脳性麻痺者の位置決め作業に関する研究」作業用自動具の
有効性について」、日本人間工学会誌第三十六巻特別号、三二二～三三三頁。
- 日本モダプツ協会編 『企業活性化と生産性向上のためのモダプツ実践マニュアル』、技報堂出版、一五頁。
- 西口宏美（二〇〇二）「人間の自立を誘う支援技術に関する一考察―感覚機能、行動機能の低下損失の補助・代替を中心に」、東
北公益文科大学総合研究論集第四号、一三～二五頁。
- 西口宏美、佐藤肇（一九九七）「Work Study手法を用いた職業評価法に関する一考察、職業リハビリテーション第十巻、一七～二四頁。
西口宏美（二〇〇二）「障害者の作業能力評価に関する一考察（第二報）―脳性麻痺者のキーボード能力評価について―」、九州
看護福祉大学研究紀要第四巻第一号、一八五～一九三頁。
- 身体障害者雇用促進協会編（一九七九）『身体障害者の作業特性と作業工程の改良（昭和五十三年度研究調査報告書八）』、身体障
害者雇用促進協会、一七～二七頁。
- 田村博編（二〇〇一）『ヒューマンインターフェイス―十章入力機器とのインタラクション―』、オーム社、一七〇頁。