

上肢障害者を対象としたCSアンプラグド学習活動支援教材

間 辺 広 樹^{†1,†2} 兼 宗 進^{†2} 並 木 美 太 郎^{†3}

本研究の目的は、障害を抱えた学習者が身体性の高いコンピュータサイエンスアンプラグドの学習を可能にするための要件を調査検討するものである。上肢障害者の学習支援に必要な要件を推測し、複数の支援教材を検討した。障害者職業能力開発校に通う上肢障害者1名とその指導員を対象に評価実験を行った結果、動作を補助教材としてCSアンプラグドの支援教材を検討する際に必要な要件を得ることが出来た。

Educational Materials to Enable CS Unplugged Activities for Upper Limb Disabilities

HIROKI MANABE,^{†1,†2} SUSUMU KANEMUNE^{†2}
and MITAROU NAMIKI^{†3}

The purpose of this research is to examine the requirements to enable disabled people to learn Computer Science Unplugged. We checked some requirements for the people with upper limb disorders to study it and examined several supporting materials. We practiced an experiment to evaluate the materials with one upper limb disorder person and his instructor at a vocational training school. The experiment showed us the requirements of the materials for them to study Computer Science Unplugged.

1. はじめに

情報社会の進展に伴って、情報教育の中でコンピュータ科学を学ぶことの必要性が高まっている。しかし、コンピュータ科学の内容は論理的思考力を必要とするものが多く、誰もが容易に理解できる内容とは言えない。そこで、ゲームやグループワークなどの活動を通して

†1 秦野総合高校 Hadano Sogo High School

†2 大阪電気通信大学 Osaka Electro-Communication University

†3 東京農工大学 Tokyo University of Agriculture and Technology

コンピュータ科学を学ぶCSアンプラグド学習法¹⁾²⁾(以下、CSアンプラグドと記す)が注目されている。

CSアンプラグドの学習は通常の教授型授業とは異なり、学習者が教材を手にとって試行錯誤しながら考えるような体験型の授業が多い。学習者は自らの身体を使って問題解決をしていくことで、コンピュータ科学への興味を高めたり、学習内容が定着するといった効果が期待できる。

しかし、このような身体性の高い学習は、障害など身体の状態によっては活動できないことが問題となる。障害者教育の場においてはもちろん、障害を持った児童・生徒が普通学校に入るケースも多く、学習支援教材を検討する必要性は高いと考えられる。そこで、本研究ではCSアンプラグドの全12学習の中から上肢障害者の活動の困難が予想される4つの学習項目に対して支援教材を検討し、その評価実験を通して支援に必要な要件を明らかにする。

2. CSアンプラグドの学習特性と身体性

2.1 CSアンプラグドの学習内容

CSアンプラグドはコンピュータ科学に関する体験的な学習法の一つである。2進数やアルゴリズム、プログラミングなどコンピュータ科学に関する様々な概念を扱っている。活動自体は子供でも楽しめるように工夫されているが、扱っている概念は高度なものも含まれている。年齢や学力など学習者の特性に応じて工夫され、中学、高校、大学、職業訓練校など多くの校種で実践されてきた³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

CSアンプラグドの特徴として、カードなどの具体物を手で動かしながら考えられる点にある⁷⁾。学習者は与えられた課題に対し、具体物で試行錯誤しながら解決を目指し、結果としてその活動の先にあるコンピュータ科学の知識を得ることになる。他の特徴として、グループで共同作業を行いながら問題解決する点にある。学習者同士が意見の交換を通して知識やアイデアを広げられるという利点がある。

しかし、このような利点が、障害者にとって学習活動に支障をきたす要因となる。例えば具体物を動かす活動は上肢に障害がある場合、困難なことがある。動きまわる活動は下肢に障害がある場合、困難であるか危険なことがある。聴覚や言語に障害がある場合、コミュニケーションを必要とする活動は他者との意思疎通が課題になる。そこで、これら困難を生じる要因を活動毎に調べて支援策を検討することが必要となる。

CSアンプラグドを構成している12の学習項目とその身体性を示す。本研究では、活動との関係を整理するために障害の区分を上肢、下肢、聴覚に分けた。それぞれの学習と身体

表 1 CS アンブラグドの学習活動と障害との対応表

学習項目	内容	身体的な活動	上肢	下肢	聴覚
学習 1	点を数える (2 進数)	1 列に並んだカードを裏返す	×		
学習 2	色を数で表す (画像表現)	昇目に色を塗る (消す)	×		
学習 3	それ、さっきも言った! (テキスト圧縮)	文字や線を書く	×		
学習 4	カード交換の手品 (エラー検出とエラー訂正)	マトリックス状のカードを裏返す	×		
学習 5	20 の扉 (情報理論)	コミュニケーション			
学習 6	戦艦 (探索アルゴリズム)	コミュニケーション			
学習 7	いちばん軽いといちばん重い (整列アルゴリズム)	おもいを載せる	×		
学習 8	時間内に仕事を終える (並び替えネットワーク)	体を移動させる		×	
学習 9	マッピー市プロジェクト (最小全域木)	特になし			
学習 10	みかんゲーム (ルーティングとデッドロック)	物を受け渡す・コミュニケーション			×
学習 11	宝探し (有限状態オートマトン)	体を移動させる		×	
学習 12	出発進行 (プログラミング言語)	絵を描く・コミュニケーション	×		×

性の対応を検討した表が表 1 である。可否の程度を表すための記号は「○」：概ね可能，「△」：程度により可能，「×」：かなり困難」を意味するものとした。

我々は、これまでも CS アンブラグドの支援教材について研究を行ってきた⁸⁾⁹⁾。しかし、それらの研究は、すべてデジタル教材による支援であり、コンピュータが使えない場所では支援にならなかったことから、具体物による支援教材を検討すべきではないかということが反省点として残った。そこで今回は、具体物による支援教材を主に検討すると同時に、教材作成の補助的な資料とするためにデジタル教材との比較も行うこととした。

2.2 本研の研究対象とする障害の区分と程度

本研究では、CS アンブラグドの中で困難な活動が最も多い上肢障害者を対象とする。上肢障害と言ってもその程度や社会との関わり方は多様である。そこで、学校や職場での社会活動が可能な障害者を想定することとした。そのために、「パソコンのキーボードで、指定されたキーを押すことができる」という基準で検討した。これは、本研究で実証実験を行った障害者職業能力開発校で、入校選考の適性検査に用いられている基準である。このことは、同基準以上の障害者が学校や職場で活動していると考えられ、研究の対象範囲として適切と考えたからである。また、本研究を進めるに当たって、同能力開発校の指導員がこれまで指導してきた上肢障害者の中で、「重度」と思われる複数の訓練生から筆記やパソコンの利用方法等に関する共通点を上げてもらった。

- 握力はゼロまたはそれに近く、物を掴むことはできない。
- 筆記には手に付けた装具に固定するか、本人用に作られた特殊なペンを用いる。
- 筆記には時間が掛かる。

- ポインティングデバイスにはトラックボールを用いる。
 - キーボードは両手に付けた特殊なペンでキーを 1 つずつ押す。
- このことから、上肢障害者は力は弱くても「書く」「(上下または左右に)動かす」「(ペンなどで)押す」という動作は可能であるが、「掴む」「物を持ち上げる」「物を載せる」等の握力を必要とする動作は難度が高いことが推測される。

3. 上肢障害者が学習活動を実施するための要件の推測

3.1 動作の可否

支援技術を検討する際には、課題分析として、ユーザーが実際に行くと予測される課題のすべてを確認することが必要である¹⁰⁾。ことから、ここでは 2.2 で想定した上肢障害者が学習活動を行うための要件を推測した。上肢障害者の困難が想定される CS アンブラグドの学習は、学習 1、学習 2、学習 3、学習 4、学習 7、学習 12 の 6 活動である (表 1)。学習 1 では、5 枚程度のカードを横一列に並べて「カードを裏返す動作」を繰り返しながら 2 進数を学ぶ。学習 2 では、「小さなマス目に色を塗る動作」を繰り返して画像のデジタル化を学ぶ。学習 3 では、プリントに言葉や矢印を「ペンで書く動作」を繰り返してデータ圧縮を学ぶ。学習 4 では、「カードを裏返す動作」を繰り返す手品を通してパリティ符号を学ぶ。学習 7 では、天秤に「おもいを載せる動作」を繰り返してソートアルゴリズムを学ぶ。学習 12 では、グループで行い近くの人に「物を受け渡す動作」を繰り返してルーティングを学ぶ。

このようにこれらの学習は、すべて何らかの動作の繰り返しからコンピュータ科学の概念を学ぶため、それぞれの動作の可否が活動の可否に繋がる。従って、これらの動作を可能にすることが、支援の第一段階 (動作の可否) である。次に、この動作の継続的に進めるようにすることが、支援の第二段階 (動作継続の可否) である。更に、動作自体に意識が削がれることなく、学習として求められる思考に意識を集中できるようにすることが支援の最終段階 (意識集中の可否) である。そこで、研究対象の上肢障害者が出来る・出来ない動作を踏まえて、オリジナルの CS アンブラグドで使用された教材⁴⁾を用いて 6 活動を行った場合の「動作の可否」「動作継続の可否」「意識集中の可否」を推測した (表 2)。

次に、動作の観点から支援対象学習の絞り込みを行う。まず、学習 10 の「物を受け渡す」動作では教材として軽いお手玉のような物を机の上で受け渡し動作を行えば良いので検討は不要である。学習 3 については「文字を消す」動作に支援が必要であるが、学習での重要度が高い「字を書く」という動作ができることから、検討は不要である。学習 12 についても学習 3 と同様に「絵や図形を描く」という動作ができていることから、検討は不要である。

表 2 オリジナルの CS アンブラグドで使われた教材と上肢障害者の動作の可否

動作番号	動作内容	学習番号	動作の可否	動作継続の可否	意識集中の可否
動作 1	字を書く	学習 3			
動作 2	字を消す	学習 3		×	×
動作 3	絵や図形を描く	学習 12			
動作 4	絵や図形を消す	学習 12		×	×
動作 5	色を塗る	学習 2			×
動作 6	色を消す	学習 2		×	×
動作 7	カードを裏返す	学習 1, 学習 4		×	×
動作 8	おもりを天秤に載せる	学習 7	×	×	×
動作 9	おもりを天秤から下ろす	学習 7	×	×	×
動作 10	おもりを並べる	学習 7			
動作 11	おもりを入れたケースを開閉する	学習 7	×	×	×
動作 12	物を受け渡す	学習 10			

学習 1 と学習 4 の「カードを裏返す」動作はその動作の繰り返しから科学の概念を学ぶので支援を検討する。学習 2 の「色を塗る / 色を消す」動作もその動作の繰り返しから科学の概念を学ぶが、表と裏で異なった色を持つカード等で代用できるので、動作 7「カードを裏返す」動作の支援の検討で代替する。学習 7 の「おもりを載せる」等動作 8～動作 11 はその動作の繰り返しから科学の概念を学ぶので支援を検討する。

以上より、動作 7「カードを裏返す」動作を支援することで、学習 1、学習 2、学習 4 の支援に繋げ、動作 8～動作 11 の「おもりの取り扱い」を支援することで、学習 7 を支援することに繋げることとした。

4. 支援教材

4.1 基本的な考え方

支援教材の目的は、障害者が CS アンブラグドの活動で想定される「本来の思考」を得られるかどうかである。作成や購入に掛かる手間や費用が膨大なものでは、支援の現実味がなくなる。学習環境や学習者がコンピュータを使えるかどうかによらない支援が好ましい。以上のような状況を考慮して基本的な考え方を定めた。

- 支援の最終段階「意識集中」を目指した支援を検討する。
- 「簡単に作れるもの」「安価なもの」を検討する。
- コンピュータを使ったデジタル教材も合わせて検討する

4.2 カードを裏返す動作の支援

学習 1「点を数える(2進数)」は、複数のカードを使って2進数を学ぶ。カードは表が

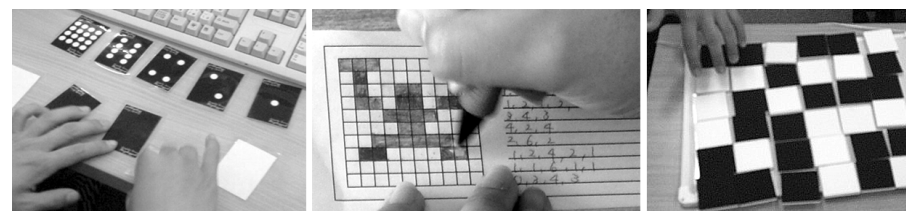


図 1 学習 1,2 進数のオリジナル教材(左) 学習 2, 画像表現のオリジナル教材(中央) 学習 4, エラー検出とエラー訂正のオリジナル教材(右)

白・裏が黒のような2つの状態を持ち、表にしたり裏にしたりする動作で10進数と2進数との変換を行う。5枚のカードを使い、10進数の0から31までと2進数の00000から11111を対応させる。例えば教師が10進数の14を告げたら、学習者は2進数の01110に対応させた「白黒黒黒白」のようにカードの必要箇所を裏返す動作を繰り返す(図1左)。

学習 2「色を数で数える(画像表現)」は、数値がどのように画像として表現されるかという画像のデジタル化について、小さなドットへの色塗りを通して学ぶ。図1(中央)は、10×10のドットマトリクスを使って数値から画像へと変換させている。この活動はドットの数を増減させたり、3.1で述べたようにカードで代用することも可能である。学習者は他の学習者から受け取った数値から、必要箇所のカードを裏返して色をつけていくことで、画像として表現させる活動がある。

学習 4「カード交換の手品(エラー検出とエラー訂正)」は、ビットで表されたデータにパリティビットを付与することで通信の信頼性が上がることを手品を通して学ぶ。図1(右)は、5×5のドットマトリクスで文字や画像などのデータを表し、パリティビットを周りに付けて6×6のマトリクスにすることで通信エラーが検出されて訂正される仕組みを扱っている。手品をするためにカードの色をシャッフルしたり、パリティビットを付ける際に何枚ものカードを裏返す必要がある。

このように、学習 1、学習 2、学習 4 はすべて白と黒など2値の状態を持つカードを複数枚使い、それを裏返す動作を繰り返して学習する。そこで、裏返し動作をできる数枚から数十枚のカードとして、2種類の支援教材と1種類のデジタル教材を検討した。

4.2.1 支援教材 1(スチロールカード)

厚さ5mm程度のスチロール板を購入し、縦横3cm四方に切って数十枚のカードを作った。片面が白・片面が黒であるので(図4)、学習 1、学習 2、学習 4 にそのまま使えると考えた。また、非常に軽量であることから、力の弱い上肢障害者であってもペン先などを使っ

て裏返し動作を行える可能性があるのではないかと期待した。

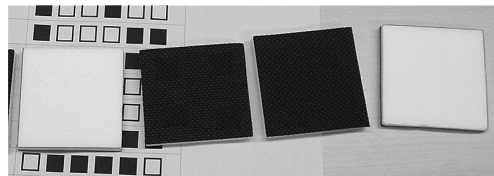


図 2 スチロール板を切って作成したカード

4.2.2 支援教材 2 (一体型オセロゲーム)

マトリクス状のドットを使う学習 2 と学習 4 での使用を想定して、市販されているオセロゲーム購入した。オセロゲームとは、白面と黒面の 2 面を持つ駒と縦 8 個×横 8 個の盤を使って勝敗を競うボードゲームである。一般のオセロゲームは盤と駒は独立しているが、本研究で使ったオセロゲームは、盤と駒とが一体となった特殊な作りをしていた。それぞれの駒は盤の各マスにあらかじめセットされていて、その上部または下部を押すと、マスの状態が初期状態の緑面から白面や黒面に变化する仕組みが作られていた(図 3)。従って、上肢障害者がキーボードのキーを 1 つずつ押すときの要領で駒を押せば、マトリクス状の面であっても、繰り返しの裏返し動作が可能ではないかと考えた。



図 3 盤と駒が一体になったオセロゲーム

4.2.3 デジタル教材：ドットマトリクス

ブラウザ上で動作し、ポインティングデバイスのクリックにより動作するプログラムを開発した。ドットの個数はオセロと同様に縦 8 個×横 8 個とした。各ドットは初期状態はすべて白であるが、クリックすることで黒に反転し、再度クリックすると白に戻る仕組みを作っ

た(図 4)。ポインティングデバイスを使える上肢障害者であれば、繰り返して使用することが可能ではないかと考えた。

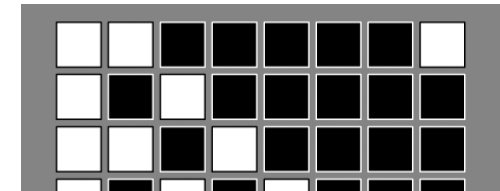


図 4 クリックで色を反転させるデジタル教材

4.3 物を載せる動作の支援



図 5 学習 7、いちばん重いといちばん軽いオリジナル教材

学習 7「いちばん軽いといちばん重い(整列アルゴリズム)」は、天秤ばかりとおもりを使って並べ替えアルゴリズムを学ぶ学習である。図 5 は、重さの異なるおもりを入れたプラスチックケースを 6 個用意し、天秤に 2 個ずつ載せて重さの違いを測ることを繰り返して重さの順に並べ替えている。並べ替えが出来たところで、ケースを開けて並べ替えが正しかったかどうかを確認する。従って、学習者はおもりの上げ下げや移動、更にはケースを開けて中を確認するという動作が必要になり、支援の検討はそれらの動作を対象とする。しかし、対象者が図 5 のようなおもりを掴んで上げ下ろししたり開け閉めすることは明らかに不可能である。そこで、何をおもりとして使うのかの検討から始め、2 種類の支援教材と 1

種類のデジタル教材を検討した。

4.3.1 支援教材 1：カード型のおもり

オリジナルの活動で使われるプラスチックケースのおもりの上げ下げと開閉は不可能であったので、別のおもりの検討が必要であった。そこで、軽量であり裏返すと数が書かれていることからトランプを使ったカード型のおもりを検討した。数に合わせた重さを設定することで、天秤に載せた時に重さの比較を可能にすることと、裏返すことで重さの順番を確認できると考えた。重さとして携帯電話などに貼りつける飾りを使った。飾りの裏面にはシールが付いているので、マークの数だけ飾りを貼りつけることで、カードの数と重さの順番とを対応させた(図6)。

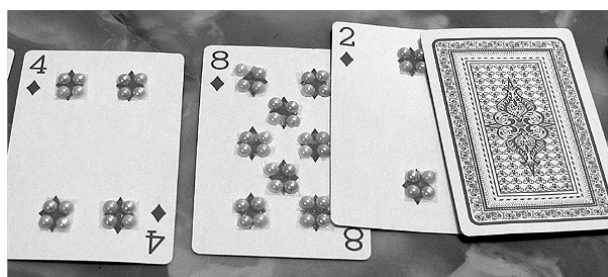


図6 飾りを貼りつけておもりとして使用したトランプ

4.3.2 支援教材 2：おもり着脱用器具

支援教材1のおもりの上げ下げを片手で行うために、磁石の使用を検討した。ペン先に小さな磁石の取り付け、カードにはホチキスの芯をセロテープで貼りつけただけで、片手で持ち上げる仕組みを作ることができた。ただし、上皿へ載せるには上皿の上でカードを磁石から外さなくてはならないため、鉄製の金具を木製の台に取り付けて取り外す仕組みを作った(図7)。図の位置までカードを運んだのち、垂直方向へ引き上げるとカードが金具に引っ掛かってペン先から離れるという仕組みである。

4.3.3 デジタル教材：仮想天秤

ブラウザ上で動作し、ポインティングデバイスのドラッグ&ドロップによって動作するプログラムを開発した。おもりの数を選んだら、その数だけ分銅が表示され、中央に配置した仮想天秤へドラッグ&ドロップすることで、あらかじめ設定された分銅の重い方に傾くという仕組みを作った(図8)。ポインティングデバイスを使える上肢障害者であれば、繰り返し

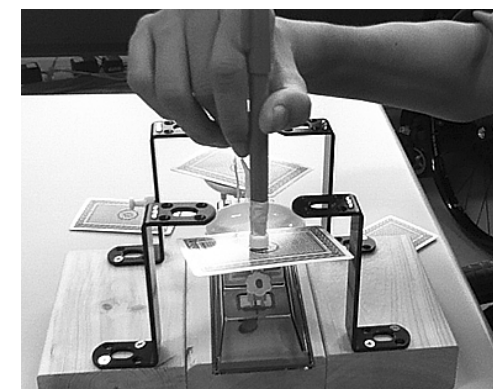


図7 カード型のおもりを磁石から外すための器具

して使用することが可能ではないかと考えた。

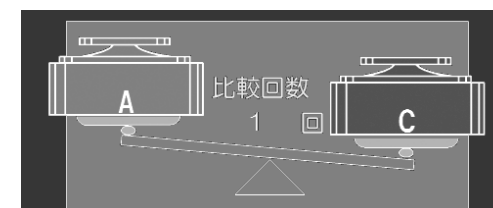


図8 ドラッグ&ドロップでおもりを載せる仮想天秤

5. 評価実験

5.1 評価実験の方法と被験者

前章で検討した支援教材を使った評価実験を、障害者職業能力開発校で学ぶ訓練生1名とその指導員を対象に行った。被験者は、握力はほとんど無いが親指で軽い物を挟む力を有している。また、筆記のためには装具に固定するのではなく、「穴に親指を通して使う特殊なペン」を用いている。パソコンはトラックボールと通常のキーボードで操作する。キーボードは両手に持ったペンで1つずつキーを押す。担当の指導員は「上肢障害としては重度である。同開発校には101名の障害者が訓練生として在籍しているが、上肢に障害を抱えてい

る訓練生は 13 名である．その中で被験者と同程度の重度障害を抱えているのは、被験者を含め 2 名である」とのことである．

実験は、指導員による観察の下でマンツーマンで行われた．それぞれの教材を用いて「動作の可否」「動作継続の可否」「学習内容への意識集中の可否」を被験者の感想と指導員の観察結果を記録した．また、必要に応じて「一連の動作」に掛かる時間を計測した．

5.2 カードを裏返す動作の支援教材の評価

5.2.1 支援教材 1：スチロールカードの評価

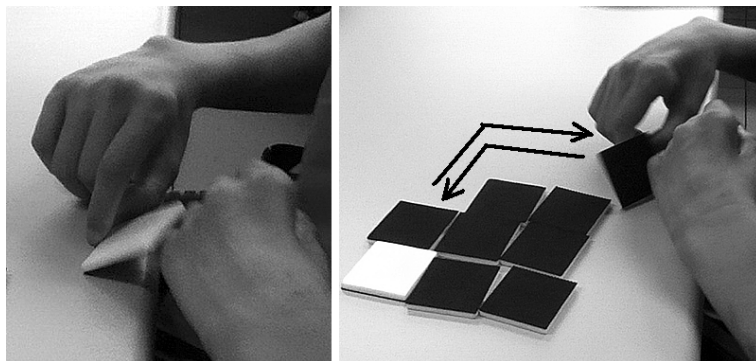


図 9 単独のカード(左)とマトリックス状に並んだカード(右)

スチロール板を 3cm 四方に切ってカード状にした教材を試した．本実験前、指導員は被験者の障害の重さからスチロールカードを裏返すことは出来ないだろうと予測していた．しかし、被験者は両手のひらの側部を使ってカードを机の縁までたぐり寄せると、両手を器用に使って見事にカードを裏返した(図 9 左)．「机の縁に段差がないこととスチロールカードに厚みがあることでこの動作が可能になる」ということであった．横一列に数枚並べたカードも、動作を継続しても困難な様子もなく短時間にすべてを裏返した．被験者は「この動きは簡単」ということで、指導員はこのカードで学習 1 における「意識の集中」が望めると判断した．

次に、学習 2 と学習 4 を想定してカードを縦 3 枚×横 3 枚のマトリックス状にした．本来であればそれぞれのカードは、置かれた位置で裏返して活動をするが、被験者はカードを裏返すためにはそれを手元にたぐり寄せる必要があった．従って、奥にあるカードや他の

表 3 支援教材とデジタル画教材で「一連の動作」に掛かる時間を比較した結果

教材	描く(1 回目)	消す(1 回目)	描く(2 回目)	消す(2 回目)
オセロゲーム	30 秒	25 秒	20 秒	20 秒
デジタル教材	12 秒	11 秒	11 秒	11 秒

カードに囲まれているカードを裏返すためには、そのカードの「通り道」を作り、一旦手元に手繰り寄せてから裏返し、再度通り道を通して元の位置に戻す必要があった(図 9 右)．被験者はこれを「まるでリハビリをしているようだ」と表現した．一連の手間や時間を考えると「動作の継続」は困難であり、指導員はこの教材で学習 2 や学習 4 を行うことは無理と判断した．

5.2.2 支援教材 2：オセロゲームの評価

駒と盤が一体となったオセロゲームを試した．被験者は親指を穴に通した特殊なペンで駒の上部または下部を上から押して駒を回転させた．駒の面は初期状態は緑色であるが、回転によって白面や黒面になった．使用開始直後こそ回転動作に戸惑いが見られたが、数分の使用でどの場所を押せば状態が変わるかのコツを掴み、滑らかな動きが出来るようになった．

ただし、被験者は「黒面の時は回転させやすいが、そうではない時はやりにくい」「駒によって硬さが違ってやりにくい」などのやりにくさを感じていることがわかった．活動そのものについては、「数個であれば苦ではないが、数が多くなると意識が学習からそれる」と感想を述べたことから、我々はこの教材による「動作の継続」は困難と判断した．

5.2.3 デジタル教材：ドットマトリックスの評価

我々が開発したデジタル教材についても検討した．同タイプのデジタル教材については過去の研究⁹⁾での活用実績があったが、本実験においても被験者の使用状況から「動作継続」が可能であることは改めて確認できた．そこで、本実験においては、「一連の動作」をオセロゲームとデジタル教材で比較し、オセロゲームに代わる教材作成の参考資料とすることとした．

実験は、同一の状態(同一の絵)を作るまでの時間と元の状態に戻すまでの時間を計測して比較した(表 10)．動作に掛かる時間は、明らかにデジタル教材の方が早かった．ただし、被験者は「コンピュータがやっているような気がして、あまり自分がやっている気がしない」と使った感想を述べた．

5.3 物を載せる動作の支援教材の評価

5.3.1 支援教材 1：カード型のおもりの評価

プラスチックケースの代わりとなるおもりとして、トランプを使ったカード型のおもりを

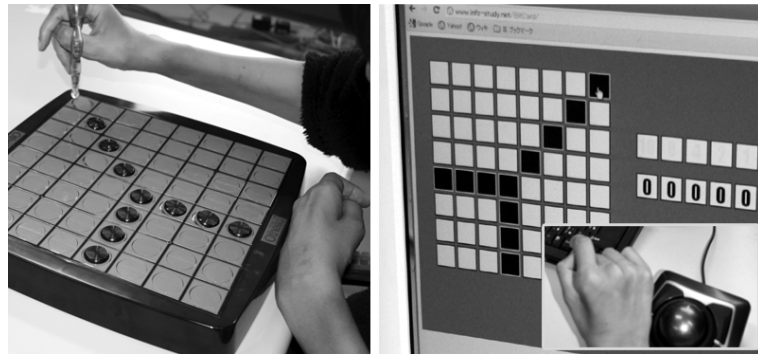


図 10 「裏返す動作」の支援に使ったオセロゲーム（左）とデジタル教材（右）

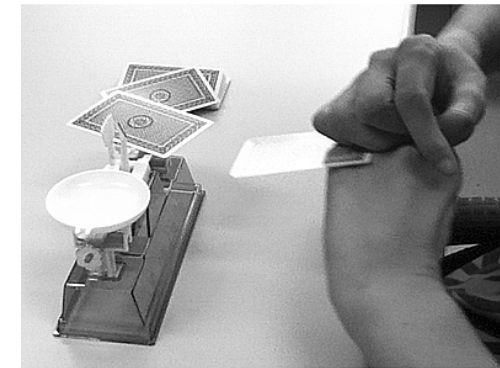


図 11 カードをおもりとして使用した並べ替えの学習

検討した。我々は当初、被検者がこのカードを単独で使えるとは思わなかったが、スチロールカードを扱った時のように、手元に手繰り寄せて縁のない机の端で両手で挟むと、難なく上皿へと載せた（図 11）。更に、上皿からはみ出たカードの部分を再度両手で挟むことで、上皿から机の上へ下ろす動作も可能であった。

その理由として、マークに貼りつけた飾りがトランプに凹凸を持たせ、手繰り寄せることが出来たことと、トランプが上皿からはみ出たことで、下ろす動作が出来たことがわかった。凹凸のないトランプでは手繰り寄せる動作はできないし、皿の中に入ってしまうおもりでは下ろす動作は無理、ということであった。被検者の良好な使用状況から、ある程度の「動作の継続」も可能であると考えられたが、上皿に載せる際に落としてしまうことが何度か確認されたため、工夫を施した方が良いこともわかった。

5.3.2 支援教材 2：おもり着脱器具の評価

カード型のおもりにホチキスの芯を貼り付け、ペン先には磁石を付けた状態にして、おもり着脱器具を使った。この工作器具は、被験者のカードの上げ下ろしと着脱とを極めて容易にした。両手をそれぞれ独立させて使うことが出来るので、2つのおもりを同時に上皿に載せることも出来るようになった。

おもりを上皿から机に下ろす際も磁石付きのペンを使った。外す際は空いている方の手を使うか、器具などにトランプの縁をぶつければ外すことが出来た。ホチキスの芯の個数で、磁石の吸着力が変わるので、手の力に応じて芯の個数を調整すれば良いこともわかった。

唯一の欠点といえば、ペン先の磁石と金具とが吸着してしまう点にあった。磁石は協力なものを使っていたので、一度吸着してしまうと被検者の力では外すのが困難であった。その

点を除けば、工作器具は「動作の継続」だけではなく「意識の集中」が得られる支援教材になると判断した。

5.3.3 デジタル教材：仮想天秤の評価

我々が開発したデジタル教材についても検討した。被験者はすぐに使いこなし、トラックボールによるおもりのドラッグ&ドロップによって、おもりの上げ下げと重さの比較とを繰り返した。トラックボールにはクリックロックという、ボタンを押さなくてもドラッグできる機能があり、その ON と OFF を切り替えることで操作性が変わる。被験者はその確認も行いながらデジタル教材を試用した。クリックロックを OFF にした際は両手をトラックボールに載せて操作した（図 12）。

今後の教材作成の参考資料として、4つのおもりを使って並べ替えという「一連の動作」に掛かる時間を比較した。比較実験は、カードのみを使った天秤、工作器具を使った天秤、トラックボールのクリックロック機能を ON にしたデジタル教材、トラックボールのクリックロック機能を OFF にしたデジタル教材の 4 通りで行った（表 4）。動作に掛かる時間は、明らかにデジタル教材の方が早かった。

天秤（カードのみ）と天秤（工作器具の使用）を比較すると、天秤（工作器具の使用）では 85 秒も掛かっている、天秤（カードのみ）の方が早いように見える。その理由は、磁石が工作器具の部品に吸着して離れないというハプニングがあったため、実際の動作時間は天秤（工作器具の使用）の方が早いというのが、指導員の見立てである。また、天秤（カードのみ）が「両手を使うので疲れる」のに対し、天秤（工作器具の使用）は片手でも出来る

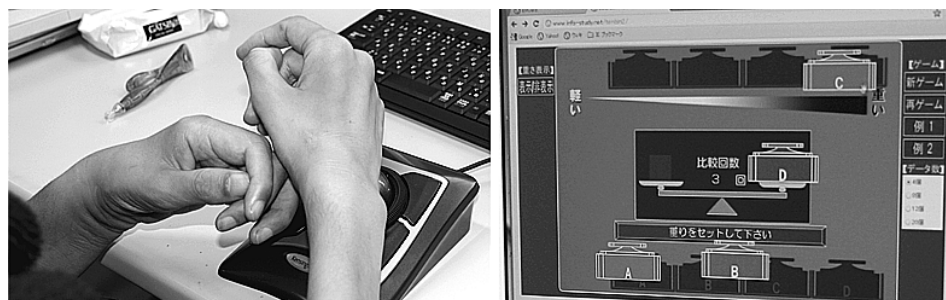


図 12 トラックボールのクリックロック機能の ON / OFF を切り替えながら計測した天秤のデジタル教材

表 4 支援教材とデジタル教材で「一連の動作」に掛かる時間を比較した結果

教材	1 回目	2 回目
天秤（カードのみ）	60 秒	60 秒
天秤（工作器具の使用）	85 秒	60 秒
デジタル教材（クリックロックあり）	45 秒	60 秒
デジタル教材（クリックロックなし）	35 秒	35 秒

ので、総合的に見ると継続使用では工作器具を使用した方が良いと考えられる。

デジタル教材（クリックロックあり）とデジタル教材（クリックロックなし）を比較すると、スピードではクリックロックなしの方が早いことは明らかであるが、こちらも「両手を使うので疲れる」ということであった。

また、天秤とデジタル教材を比較すると、明らかにデジタル教材の方が早い。また、被検者は「次に何をすれば良いか考えられる」と動作に惑わされず学習へ集中できる様子を述べた。ただし、学習 1~4 の時と同様に「コンピュータがやっているような気がして、あまり自分がやっている気がしない」とデジタル教材への不満を述べたと共に、「リアルに重さを実感しながら出来るのでやりやすい」と述べた。

6. 考 察

6.1 カードを裏返す動作の支援教材について

スチロールカードは軽く厚みがあることで被験者は裏返し動作を行うことができた。学習 1 のような一列にカードを並べる学習であれば使用可能である。しかし、学習 2 や学習 4 のようなマトリクス状に並べる学習は困難であり、同一の素材を使ってもできる学習と

できない学習があることがわかった。

オセロゲームは支援教材として使用可能と考えられる。特に、学習 2 と学習 4 のようなマトリクス状で学ぶ学習には適していると言える。また、購入さえすればすぐに活用できることは大きなメリットである。ただし、「継続使用」は厳しく、裏返す駒の数が多いと意識が学習からそれてしまう可能性が高くなる。そこで、同じようなマトリクス状をした素材で、より少ない力で裏返しができる教材が望まれる。そのような教材を市販のものに求めることは難しいので、自作することを前提に今後の検討課題としたい。

6.2 物を載せる動作の支援教材について

トランプを使ったカードは当初の予測に反して被検者の学習活動を飛躍的に可能にした。軽量かつ凹凸のあるカード型の素材は、上肢障害者の教具として活用範囲が広いことを示唆している。プラスチックケースと比べると、重さの順番の確認も容易であった。支援教材として十分に活用が可能と考えられる。

更に、磁石とおもり着脱用の工作物を組み合わせることで、被検者の負担を減らせることがわかった。工作物の作りは単純で安価な素材の組合せで作成できるので、適用範囲が広いと考えられる。鉄製の部品を使ったことで磁石が吸着して離れないトラブルがあったが、材質を変更すれば解決できそうである。

6.3 デジタル教材について

支援のためにコンピュータを使った 2 つのデジタル教材を開発した。支援教材と比べれば「一連の動作」を時間を掛けずに行えたことは学習者の負担を減らすと共に学習へ意識を集中させる効果があったと考えられる。従って、どちらのデジタル教材についても十分に使用が可能と考えられる。

しかし、実験中に「自分がやっているように思えない」と被検者は実体のないデジタル教材に違和感を抱いた。そして、「リアルに重さを実感しながら出来るのでやりやすい」と支援教材の魅力述べた。そもそも CS アンプラグドは実体のある教材を動かしながら学ぶ学習法であり、教材の重さや感触などが学習法の魅力の一部になっていると考えられる。支援教材とデジタル教材でそれぞれにメリットとデメリットがある。それらを明らかにすることが今後の大きな課題となった。

6.4 支援教材に必要な要件

ここまでの実験と考察から、支援対象となった動きや学習がどのように改善されたかの結果を表 5 に示す。「カードを裏返す」動きは一列の場合とマトリクス状の場合では、別に検討しなければいけなかった。一列の場合は、スチロールカードで支援が可能であるが、マ

表 5 支援教材と上肢障害者の動作の可否

動作番号	動作内容	学習番号	動作の可否	動作継続の可否	意識集中の可否
動作 7-1	カードを裏返す (一列)	学習 1			
動作 7-2	カードを裏返す (マトリックス)	学習 2, 学習 4			×
動作 8	おもりを天秤に載せる	学習 7			
動作 9	おもりを天秤から下ろす	学習 7			
動作 10	おもりを並べる	学習 7			

トリックス状になった場合の支援方法は今後の課題となった。凹凸のあるカードの使用は効果的であり、学習 7 の支援を可能にした。おもりの上げ下げに使った磁石と工作器具の利用もまた効果的であった。

以上の考察を踏まえて、本研究で明らかになった上肢障害者に対する支援教材を検討する際に必要な要件をまとめる。

- (1) 上肢障害者の動作の支援には軽量で適度な大きさのあるカードの利用は有効である。
- (2) カードを裏返す動作の支援には厚みや凹凸のあるカードが必要である。
- (3) カードを裏返す動作の支援には縁に段差がない机が必要である。
- (4) 物を載せる動作の支援にはカードが有効である。
- (5) 物を持ち上げるために磁石を使用すると良い。
- (6) 磁石に付けたカードを載せるためには補助器具が必要である。
- (7) デジタル教材はカードを裏返す・物を持ち上げる動作どちらにも有効である。
- (8) デジタル教材は他の教材と併用したそれぞれのメリットを生かした活用方法を考えると良い。

7. ま と め

CS アンブラグド学習法の中から、上肢障害者が活動困難な身体性のある学習活動についての支援教材を検討した。CS アンブラグドは具体物を試行錯誤しながらコンピュータ科学の原理を理解する学習法であるため、学習者自身が学習に必要な動作を繰り返せるかどうか支援の可否に繋がる。本研究では、「カードを裏返す」「カードを皿に載せる」「カードを下ろす」といった動作を使う 4 つの学習活動についての支援教材を検討した。

その結果、安価な素材とほんの少しのアイデアを活用するだけで、障害者自身が試行錯誤しながら学べる教材になることがわかった。また、状況によりデジタル教材を活用または併用することで、学習者の負担を減らすなどの効果が得られることも確認した。しかし、教材の継続使用も含め、多くの検討の余地が残されていることも分かった。今後も研究を進めて

それらを改善していきたい。

障害者が一般教育として情報教育を受ける場面はもちろん、経済的自立などを見据えて専門的なコンピュータの職業訓練を受ける場面が今後も増えていくことが予想される。そのような場面において CS アンブラグドのような素晴らしい学習法が取り入れられていくことを望む。また、その際に、本研究の成果が一助となれば幸いである。

謝 辞

本研究に協力して下さった神奈川障害者職業能力開発校 OA システムコースの秋山泰秀指導員、並びに訓練生の皆様に感謝致します。

本研究は、科学研究費補助金 (奨励研究)23910018, (基盤研究 (C))22500828 の補助を受けています。

参 考 文 献

- 1) Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows: Computer Science Unplugged - An enrichment and extension programme for primary-aged children, 2005.
- 2) 兼宗進監訳『コンピュータを使わない情報教育～アンブラグド・コンピュータ・サイエンス』イーテキスト研究所, 2007.
- 3) 井戸坂幸男, 久野靖, 兼宗進: コンピュータサイエンスアンブラグドに基づく授業方法改善の試みとその実践, 日本産業技術教育学会誌, 第 53 巻第 2 号, pp.115-123, 2011.
- 4) 間辺広樹, 兼宗進, 並木美太郎: アンブラグド学習法を取り入れた情報 A 「デジタル化」単元の実践報告, 日本情報科教育学会誌, Vol.3, No.1, pp.44-53, 2010.
- 5) 和田 勉: アンブラグドコンピュータサイエンスと板書講義を併用した大学でのアルゴリズムの授業, コンピュータと教育研究会報告, 2009-CE-100(5), 1-7, 2009
- 6) 間辺広樹, 兼宗進, 並木美太郎: 障害者職業訓練校の情報教育, SSS2008, 情報教育シンポジウム, pp.171-178, 2008
- 7) Tomohiro Nishida, Susumu Kanemune, Yukio Idosaka, Mitaro Namiki, Tim Bell, Yasushi Kuno: A CS unplugged design pattern ISSEP 2008 Proceedings, LNCS 5090, Springer, pp.241-252, 2008.
- 8) Tim Bell, Mick Grimley, Giovanni Bianco, Daniela Marghitu, Hiroki Manabe: "Kinesthetic Computer Science activities in a virtual world", SIGCSE2009, 2009
- 9) Hiroki Manabe, Susumu Kanemune, Mitaro Namiki, Yoshiaki Nakano: CS Unplugged Assisted Digital Materials for Handicapped Persons at School, ISSEP2011, Informatics in Schools(LNCS7013), pp.82-93, 2011
- 10) ジョゼフ・ラザー口著, 安村通晃監訳: アダプティブテクノロジー慶応義塾大学出版会, 2002