

ハンドジェスチャを用いた2次元 GUI 操作における 若年者, 高年齢者, 脳性麻痺者の操作特性の比較

森山 雄大*¹, 西口 宏美*², 辛島 光彦*³

Comparison of characteristics of Two-dimensional GUI operation by Hand Gesture obtained from the Young, the Elderly people and Cerebral Palsy Patients

by

Yudai MORIYAMA *¹, Hiromi NISHIGUCHI *² and Mitsuhiro KARASHIMA *³

(received on Mar. 30, 2015 & accepted on Jul. 14, 2015)

あらまし

近年, 身振り手振りに代表されるハンドジェスチャを用いた2次元GUIの操作が, 新たな操作方法として提案されている. 従来のGUI操作については, マウスによる操作について, カーソルをターゲットに移動させクリックする操作に要する時間が距離に比例しターゲットのサイズに反比例するという特性が, 実空間の人間の動作特性を表したFittsの法則を修正したモデルに適合することが明らかにされている. しかしながら, ジェスチャによる操作については, その操作特性は十分に検討されていない. 本研究では, ジェスチャによる2次元GUI操作時の操作特性について, 若年者, 高年齢者, 脳性麻痺者の操作特性を比較した結果について報告する.

Abstract

Two-dimensional GUI is conventionally operated on the touch-screen of tablet PC or via the PC mouse. Recently the hand gesture in three-dimensional space has been proposed as an advanced method of the two-dimensional GUI operation. It enables the users to operate intuitively two-dimensional GUI by physical motion and also operate the GUI from the distant place without any devices. The characteristics of the mouse operation have been examined. However the characteristics of the hand gesture operation have not been adequately examined. This research focused on examining the characteristics of the two-dimensional GUI operation by hand gesture through the comparison among the young, the elderly people and cerebral palsy patients.

キーワード: ハンドジェスチャ, GUI 操作, フィッツの法則, 高年齢者, 脳性麻痺者

Keywords: Hand Gesture, GUI Operation, Fitts' Law, Elderly Subject, Cerebral Palsy Subject

1. はじめに

現在, GUI (Graphical User Interface) 操作については, PC (Personal Computer) などの2次元 GUI を操作する際の代表的な操作方法として, マウスやタッチパネルによる操作が普及している. 特に情報化の進展に伴い, 日常生活においてコンピュータの存在は欠かせないものとなった今日, 高齢者や障がい者も日常的に PC などの2次元 GUI を操作する機会は増えている. 障がい者については具体的に, 脳性麻痺者が PC を用いたデータの入力や文書作成・編集作業を

職務として福祉工場などに就労している事例が多くみられる. これらのことから, 情報機器を日常的に利用している, または利用したいと考える高齢者や障がい者の2次元 GUI 操作時の操作特性について把握することは必要であると思われる.

しかし, 高齢者や障がい者を対象とした2次元 GUI 操作時の操作特性については, マウスを用いた操作や指を用いたタッチパネルの操作に関する研究は多くみられるものの, 高齢者や障がい者を対象としたジェスチャによる2次元 GUI の操作特性については, 未だ十分な検討がなされていない.

そこで本研究では, 若年者, 高年齢者ならびに脳性麻痺者を被験者とし, Fitts の法則に基づく困難度の異なる9通りの実験課題を, ポインティング操作及びドラッグ操作について行わせ, その実験により得られたデータをもとに, 若年者, 高年齢者, 脳性麻痺者の操作特性を比較・検討した結果を報告する.

2. 関連研究

- *1 情報通信学研究科情報通信学専攻 修士課程
Graduate School of Information and
Telecommunication Engineering, Course of
Information and Telecommunication Engineering,
Master's Program
- *2 情報通信学部経営システム工学科 准教授
School of Information and Telecommunication
Engineering, Department of Management Systems
Engineering, Associate Professor
- *3 情報通信学部経営システム工学科 教授
School of Information and Telecommunication
Engineering, Department of Management Systems
Engineering, Professor

2.1 ポインティング操作

カーソルをターゲットに移動させクリックするというポインティング操作は、PCなどの2次元 GUI 上の操作に際する代表的な操作の1つである。従来から、マウスなどの操作器を用いたカーソルの2次元間接環境、およびタッチパネルのような2次元直接環境におけるポインティング操作については、移動に要する時間に対するターゲットサイズと移動距離の関係について、Fitts の法則に従うことが知られている¹⁾。

Fitts の法則は、実空間における人間のポインティング動作特性をモデル化したもので、目標までの移動に要する時間 (MT ; Movement Time) は、ターゲットサイズ W と移動距離 D で表される困難度指標 (ID ; Index of Difficulty) に依存するという法則である。GUI の登場以降、より精度の高いモデルを構築しようとする研究が盛んに続けられている。Mackenzie らによる Fitts の法則の2次元ポインティング操作への拡張に関する研究では、Fig.1に示すようなターゲットサイズ W と移動距離 d のとき、ポインティング操作に要する困難度 ID は式 (1) のように示される。このとき実験により導き出される定数 a , b を用いて移動時間 MT は式 (2) のように示される²⁾。

$$\text{困難度} \quad ID = \log_2 \left(\frac{d}{W} + 1 \right) \quad (1)$$

$$\text{移動時間} \quad MT = a + b \times ID \quad (2)$$

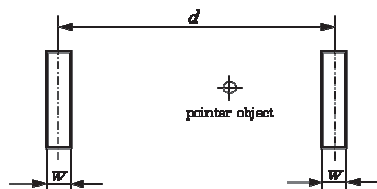


Fig.1 Fitts' law paradigm.

2.2 ドラッグ操作

ポインティング操作と並んで、マウスやタッチパネルによる2次元 GUI 上の操作に際する代表的な操作に、ドラッグ操作（オブジェクトを保持し、そのままターゲットまで移動し、オブジェクトを放すまでの操作）がある。

2.1項でも述べた Fitts の法則は、ドラッグ操作に要する時間にも適用できることが示唆されている。辛島らは、マウスにおけるドラッグ操作に着目し、Fitts の法則への適合を調査した上で、従来の Fitts の法則2次元版を更に修正し、式 (3) のようなドラッグするオブジェクトサイズ O を組み込んだモデルとすることで、従来のモデルよりもよりドラッグ操作の特性を反映したモデルを提案した³⁾。

$$ID_{new} = \log_2 \left\{ \frac{W}{W-O} \times \left(\frac{d}{W} + 1 \right) \right\} \quad (3)$$

2.3 高齢者の GUI 操作における操作特性

情報化の進展に伴い、日常生活においてコンピュータの存在は欠かせないものとなった。特にインターネットの普及によって、ネットワークを利用した商品の購入やメディアコンテンツの購入、各種申請等が可能となっており、日常生活において多くの人々に対する情報化の恩恵は大きい。以前は、高齢者については、利用する際の知識や技術に関する隔たりから利用が困難とされていたが、昨今では高齢者を対象とした PC 講習会などに代表されるリテラシーの充実を図る試みが増加している。そうした背景からも高齢者が PC を利用する機会は増え、情報機器の操作性について、それを利用したいと考える、または利用している高齢者の特性を検討することは重要であると考えられる。

高齢者のマウスによる GUI 操作の特性について、山西らはインターネットの使用経験の長さや、操作時の運動方向の違いなどによって操作時間が変化することを指摘している⁴⁾。特に高齢者にとっては、マウスカーソルを斜めに移動することが困難であることが示されている。さらに、加藤らは高齢者と若年者の PC マウス操作時の特性の差を明らかにすることで、より使いやすいマウス開発の資料を構築することを目的とし、マウス自身の挙動の変化についての定量的な分析を通じて、回転動作の特性、高齢者と若年者の違いを明らかにしている⁵⁾。

このように、高齢者のマウスによる操作についてはその操作特性が検討されているが、高齢者のジェスチャによる操作特性を対象とした研究は、過去にほとんど見られない。

2.4 脳性麻痺者の GUI 操作における操作特性

1968年、「厚生省脳性麻痺研究班会議」（班長：高津忠夫）で脳性麻痺（CP; cerebral palsy）の定義が定められており、その時点での、この疾患に対する理解を具現化したものとして、他国のものとの共通性も高く、現在、わが国で最も汎用されている (Table 1)^{6), 7)}。近年、妊娠や出産に関わる医療の進歩により、新生児の死亡率は減少したものの、脳性麻痺の患者はやや増加傾向にあり、1,000人に2人前後の割合で発症すると報告されている。また脳性麻痺は、運動障害の特性から手足が硬直し、突っ張った状態になる痙直型と、意図しないのに体のあちこちが動くアテトーゼ型に大別され (Table 2)、さらに失調型、混合型などに分けられる。以下の Table 3に示すように障害部位別にも分けることができ、これらを組み合わせることで表現することもある⁸⁾。

現代社会においては、脳性麻痺者が PC を用いたデータの入力や文書作成、編集作業を職務として、福祉工場などに就労している事例が多くみられる⁹⁾。GUI 仕様の PC の普及により、ポインタをマウスなどの操作器によって操作することで、画面上のアイコンやメニューをクリックすることによって、アプリケーションの起動や機能選択が可能となった他、印刷物のレイアウトやデザインを編集する作業についてもその利点が活かされている。

西口らは、脳性麻痺者の GUI 画面上におけるマウスポインタの操作特性について検討している^{10) -12)}。その結果から、「画面上のポインタの移動距離が短くなると単位距離当たりのポインタの移動時間値が遅延する」、「D/C 比を調整することにより、ポインタ操作作業時間値 MT を最小とすることが可能であり、ポインタの移動距離によって MT を最小にする D/C 比の値が変化する」などの知見が得られている¹¹⁾。

このように、脳性麻痺者のマウスによる操作についてはその操作特性が検討されているが、脳性麻痺者のジェスチャによる操作特性を対象とした研究は、過去にほとんど見られない。

Table 1 Definition of cerebral palsy.

脳性麻痺とは胎児から新生児期（生後 4 週間以内）までの間に生じた脳の非進行性病変に基づく、永続的な、しかし変化しうる運動および姿勢の異常である。その症状は満 2 歳までに発現する。進行性疾患や一週性運動障害または将来正常化するであろうと思われる運動発達遅延は除外する。
7) より引用。

Table 2 Type of cerebral palsy.

	痙直型	アテトーゼ型
自発運動・姿勢以上	緩慢 全体的に固い	意思と一致しない動作 姿勢の変動
筋の緊張	固い	変動し睡眠中は リラックス
変形・拘縮	尖足（つま先立ちの姿勢） はさみ足、股関節・膝が曲がる	斜頸（首をかしげたような形） 非対称性緊張性頸反射（片側が伸びて反対側が縮まる形）

8) より引用。

Table 3 Characteristics of palsy.

	障害部位
四肢麻痺	両側の上・下肢
両麻痺	両側下肢または両側上肢
片麻痺	同側上・下肢
三肢麻痺	両側の上・下肢のうち三肢
対麻痺	両側下肢のみ
単麻痺	上・下の一肢のみ

8) より引用。

3. 実験方法

3.1 実験概要

若年者、高齢者、脳性麻痺者に対して、ジェスチャによる 2 次元 GUI 上におけるポインティング操作ならびにドラッグ操作について、移動時間 MT とターゲットサイズ W と移動距離 D に基づく困難度 ID の関係について若年者、高齢者、脳性麻痺者のその操作特性を比較することを目的として実験を行った。前半をジェスチャによるポインティング操作実験、後半をジェスチャによるドラッグ操作実験とした。

3.2 被験者

日頃から PC 操作に慣れている利き手が右手の健康若年者 9 名（20 歳～23 歳、男性 5 名・女性 4 名）、健康高齢者 30 名（60 歳～79 歳、男性 9 名・女性 21 名）、障害等級 1 級の脳性麻痺者 6 名（24 歳～53 歳、男性 5 名・女性 1 名、痙直型 1 名・アテトーゼ型 3 名・混合型 1 名・手に軽い麻痺のみ 1 名）を被験者とした（脳性麻痺者については、日常生活において PC 操作を行う実用手が右手であることも確認した）。なお被験者に対しては、当該実験の趣旨ならびに実験で取得した各種データについて統計的処理した上で個人が特定できない形で使用することなどを実験前に説明し、倫理的配慮にも留意した。なお、東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の審査を受け、承認された（承認番号 14001）。

また、被験者を募集するにあたり、高齢者については、東京都某区の独立行政法人シルバー人材センターに、脳性麻痺者については東京都内の社会福祉法人が経営する 2 箇所の就労施設に協力を要請し、それぞれ担当者を通じて当該実験の趣旨の説明を依頼し、了承が得られた登録者、従業員を紹介して頂いた。

3.3 実験装置

実験は森山¹³⁾の実験方法と同様の実験装置を用いて行われた。

具体的に用いた実験機材は、以下の通りである。

- ・大型ディスプレイ（58inch, 1920px×1080px, Panasonic 製 TH-58PF12）
- ・ノート型 PC（hp 社製 pavilion dv6-7000, OS : Windows7, CPU: Intel Core i7-3820QM @ 3.70GHz, メモリ : 8GB）
- ・ビデオカメラ（Panasonic 社製, SDR-H80）
- ・ノビテック製 VENUS 3D モーションキャプチャシステム

当該実験の実施にあたっては、ノビテック社製 VENUS 3D によって取得した反射マーカー（被験者の右手に装着）の位置座標と GUI 上のカーソルの位置が連動するシステムによってデータを取得した。VENUS 3D の制御と GUI の制御を hp 製 pavilion dv6-7000 にて行った。なお、VENUS 3D によって取得したデータをもとにカーソルの位置が連動するプログラムは Microsoft Visual C++ 2008 を用いて、実験課題は Microsoft Visual Basic 2010 を用いてそれぞれ実装した。

3.4 実験環境

若年者と高齢者については、東海大学高輪キャンパス ユーザビリティラボにて実験を行った。脳性麻痺者については、長距離の移動が困難であることなどから、各被験者が就労している現場（社会福祉法人東京コロニー コロニー中野, 社会福祉法人東京コロニー コロニー東村山）にて、各施設長の同意の

もと、若年者と高齢者の場合と同様の実験環境を構築した上で実験を実施した。

被験者は、大型ディスプレイからの視距離2mとし、高さの調節できる椅子に座り、当該実験の課題を行った。操作感をできるだけ統一するため、各被験者の外眼角の高さが大型ディスプレイの中心の高さと一致するように座面高を調整した。脳性麻痺者については、日常的に車いすを利用しており、車いすを降りることが困難であったため、実験システムによって構築した実空間上の腕の操作域の仮想平面を、若年者と高齢者の全被験者の座面高の平均と車いすの標準的な前座高の差分だけ下げることと同様の操作感が得られるよう調整した。

なお、キャプチャシステムの都合上、被験者の右手に反射マーカを装着した。

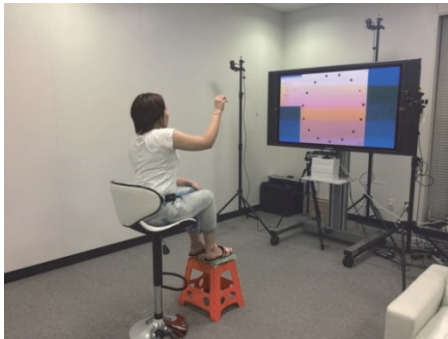


Fig.2 A scene during the gesture operation.

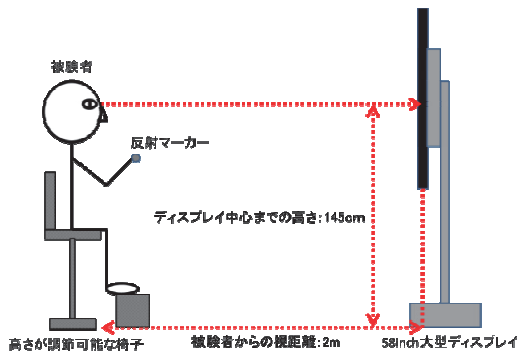


Fig.3 Experimental layout.

健常者及び高齢者の実験の様子、実験のレイアウトは Fig.2, Fig.3に示す通り、森山¹³⁾と同様である。また室温は約21℃～26℃、被験者位置の床面1mの水平面照度は約650lx (±50lx)であった。

3.5 実験課題

実験課題は、森山¹³⁾と同様に、ISO 9241-411 Annex B¹⁴⁾ (JIS Z 8519 附属書 B) の多方向タッピング課題を基にしたカーソルの移動操作課題とした。

Fig.4に示すように円周上に等間隔に配置された15点のターゲットのうち、ポインティング操作については、赤色に表示されたターゲットを番号順にポインティングする作業(多方向のタッピング作業)

を行わせた。またドラッグ操作については、同様の画面に対して青色に表示されたオブジェクトを赤色に表示されたターゲットに移動させる作業を行わせた。ともに一周するごとに同じIDについて15回分のデータが得られるようになっている。各IDでこの課題を2周することとした。

ターゲットサイズ W と移動距離 D (円の大きさ) は Table 4に示すように3通りずつ用意し、困難度 ID は9パターンとした。

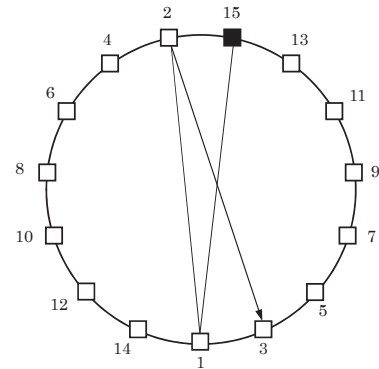


Fig.4 Experimental task.

Table 4 Amplitude conditions used in the experiment.

	W (px)	D (px)	ID
①	60	400	2.94
②	60	700	3.66
③	60	1000	4.14
④	45	400	3.31
⑤	45	700	4.05
⑥	45	1000	4.54
⑦	30	400	3.84
⑧	30	700	4.60
⑨	30	1000	5.10

3.6 操作方法

3.6.1 ポインティング操作

森山¹³⁾の操作方法と同様の操作方法をポインティング操作として用いた。具体的には、被験者は大型ディスプレイから2m離れた位置で右手を動かすことでカーソルの移動操作を行った。ジェスチャでは従来のマウスやタッチパネルなどのデバイスにおけるクリック操作に相当する操作が難しいため、それに相当するものとして、ウェイトング法¹⁵⁾による2秒間の静止時間 (dwell time) の判定によってクリック操作を行う方法を採用した。なお前述の実験課題においては、視覚的フィードバックとして次のターゲットが点灯することによりクリックが完了したことを被験者が認識できるようにした。

3.6.2 ドラッグ操作

ポインティング操作と同様に、被験者は大型ディスプレイから2m離れた位置で右手を動かすことでカーソルの移動操作を行った。同じく、ジェスチャではクリック操作に相当する操作が難しいという理由から、判定については、ポインティング操作に用

いたウェイティング法による2秒間の静止時間 (dwell time) の判定をドラッグ操作に拡張し、1秒間の静止時間によってオブジェクトを保持し、2秒間の静止時間によってオブジェクトを放すという方法を採用した。なお前述の実験課題においては、視覚的フィードバックとして、オブジェクトを保持する操作が完了するとカーソルが同系色の網掛けの状態オブジェクトと同じ形の画像に切り替わることにより、オブジェクトを放す操作が完了すると次のオブジェクトとターゲットが点灯することにより、それぞれオブジェクトを保持する操作と放す操作が完了したことを被験者が認識できるようにした。

3.7 実験手順

- ① 実験開始前にジェスチャによるポインティング操作の練習を、実験課題を用いて行わせた。練習に用いた課題は、若年者と高齢者については、Table 4の困難度 ID の値が最も高いものに統一した。脳性麻痺者については、ジェスチャ操作が可能か否かも含めた検討を行う必要があることが予測されたため、練習に用いた課題は困難度 ID の値が最も低いものに統一した。
- ② ポインティング操作についての実験課題とその操作方法を十分に理解したことを確認した上で、ポインティング操作について、実験課題を行なわせた。ターゲットをポインティングしたときの位置情報及び作業開始時からの経過時間情報を記録するとともに、被験者の操作方法をビデオカメラにより記録した。
- ③ ②を9つのパターンの困難度 ID について行った。その際、順序効果を考慮し、ラテン方格法により被験者間で9つのパターンの困難度 ID にカウンターバランスを施した。また被験者の腕や肩の疲労の影響を軽減にするため、各パターンの作業が終了するごとに約2分間の休憩時間を設けた。なお、脳性麻痺者については休憩時間中に操作性や日常のPCを用いた業務に関する簡単なヒアリングを行った。
- ④ ポインティング操作について、9つのパターンについての試行が終了した時点で約10分間の休憩を設けた。続いてジェスチャによるドラッグ操作についての練習を、実験課題を用いて行わせた。練習に用いた課題は、ポインティング操作と同様に若年者と高齢者については、困難度 ID の値が最も高いもので、脳性麻痺者については困難度 ID の値が最も低いものに統一した。
- ⑤ ドラッグ操作についての実験課題とその操作方法を十分に理解したことを確認した上で、ドラッグ操作について、実験課題を行なわせた。その際、オブジェクトを保持した位置の情報、オブジェクトをターゲットまで移動させて放した位置の情報及び作業開始時からの各操作の経過時間情報を記録するとともに、被験者の操作方法をビデオカメラにより記録した。
- ⑥ ⑤を9つのパターンの困難度 ID について行った。

その際、課題の順序効果に対するカウンターバランスについて、同一被験者においては、ポインティング操作とドラッグ操作の間に十分な休憩時間を設けたことから、ポインティング操作と同様の困難度 ID の順に課題を行うこととした。また、被験者の腕や肩の疲労の影響を軽減するため、各パターンの作業が終了するごとに約2分間の休憩時間を設けた。なお、脳性麻痺者については休憩時間中に操作性や日常のPCを用いた業務に関する簡単なヒアリングを行った。

3.8 評価項目

当該実験における測定項目は、以下のTable 5の通りである。測定項目より、各操作ともターゲットが点灯してから、それぞれクリックされるまでの時間、オブジェクトが放されるまで時間から判定に要した静止時間を引いた時間を操作時間として扱った。

なお、実験により得られたデータについては、ターゲットサイズ W と移動距離 D の組み合わせ毎に有意水準5%でスミルノフ・グラブス検定を行なうことで、異常値を除去した。また、本研究において操作性に関する各指標については、Kopperらの遠距離からのポインティングについての研究¹⁶⁾と同様に全ての被験者の平均値を用いて議論することとした。

Table 5 Measurement items.

(ポインティング操作)	
画面上でターゲットがクリックされた時の時間値 (msec)	
画面上でターゲットがクリックされた時のXY座標 (px)	
(ドラッグ操作)	
画面上でオブジェクトが保持された時の時間値 (msec)	
画面上でオブジェクトが保持された時のXY座標 (px)	
画面上でオブジェクトが放された時の時間値 (msec)	
画面上でオブジェクトが放された時のXY座標 (px)	

4. 結果・考察

4.1 若年者、高齢者、脳性麻痺者の操作時間と精度の比較

実験により得られた若年者、高齢者、脳性麻痺者のデータについて、困難度 ID と各属性の平均ポインティング操作時間 MT の関係を以下のFig.5に、平均ドラッグ操作時間 MT との関係を図6に示す。

被験者の属性ごとに回帰分析を行ったところ、次の式(4)～(9)の回帰式と決定係数 R^2 を得た。

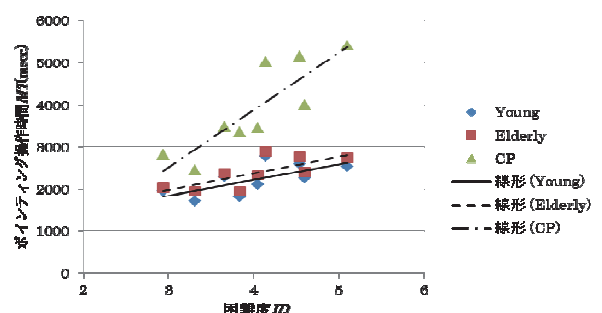


Fig.5 Pointing operation by young, elderly and cerebral palsy.

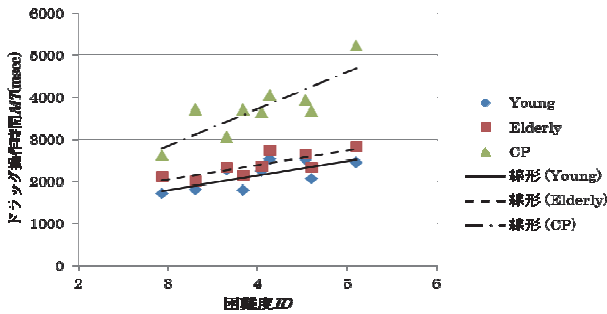


Fig.6 Dragging operation by young, elderly and cerebral palsy.

①ポインティング操作の場合

・若年者
 $MT = 745.25 + 366.53 \times ID \quad (R^2 = 0.4508) \quad (4)$

・高年齢者
 $MT = 787.24 + 393.65 \times ID \quad (R^2 = 0.5398) \quad (5)$

・脳性麻痺者
 $MT = -1567.2 + 1359.8 \times ID \quad (R^2 = 0.7350) \quad (6)$

②ドラッグ操作の場合

・若年者
 $MT = 759.4 + 343.9 \times ID \quad (R^2 = 0.5080) \quad (7)$

・高年齢者
 $MT = 984.79 + 348.07 \times ID \quad (R^2 = 0.6433) \quad (8)$

・脳性麻痺者
 $MT = 169.98 + 886.64 \times ID \quad (R^2 = 0.6869) \quad (9)$

無相関検定の結果より、若年者と高年齢者の各平均ポインティング操作時間 MT と困難度 ID 、若年者の平均ドラッグ操作時間 MT と困難度 ID の間に有意水準5%で、脳性麻痺者の平均ポインティング操作時間 MT と困難度 ID 、高年齢者と脳性麻痺者の各平均ドラッグ操作時間 MT と困難度 ID の間に有意水準1%で相関関係が認められた。しかしながら、先行研究より Mackenzie らが、Fitts の法則における2次元平面の移動に対するターゲットサイズの取り方に着目した検討を行った結果得られた寄与率0.8097を低いと考え、Fitts の法則の2次元モデルへの拡張を試みた²⁾ ことなどを考えると、従来の Fitts の法則^{1)・2)} と比較し、当該実験により得られた寄与率が、必ずしも高い値であるとは言えないことも示唆された。

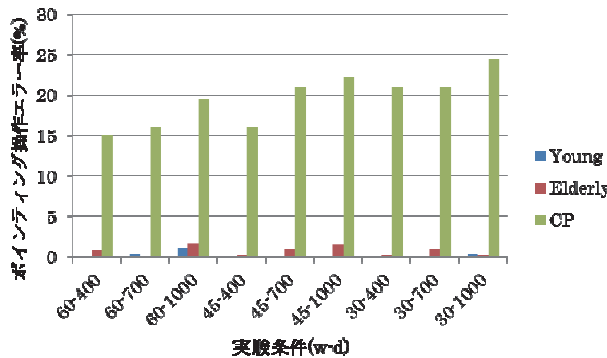


Fig.7 Error rate of pointing operation.

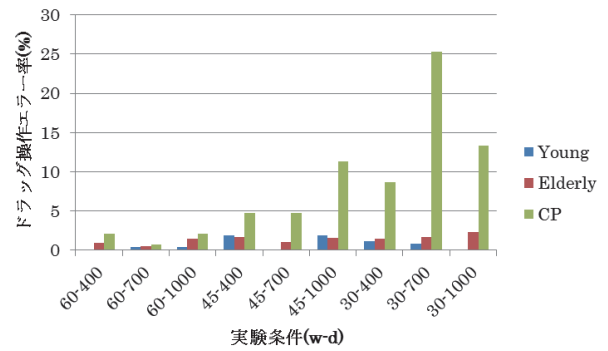


Fig.8 Error rate of dragging operation.

次に、各操作のエラー率をそれぞれ Fig.7, Fig.8 に示す。各操作のエラー率については、 $W=60$ 以外では脳性麻痺者のエラー率が若年者、高年齢者と比較し極端に高いが、若年者、高年齢者では同様に正確な操作ができることが示唆された。ターゲットやオブジェクトの中心からのズレについては、当該実験においては、実験開始時に被験者に対して「できるだけターゲットやオブジェクトの中心をクリックするように」といった指示を行っていないなどの理由から、特徴的な傾向は見られなかった。

また、先の Fig.5, Fig.6 における回帰直線の傾きに着目すると、脳性麻痺者の回帰式の傾きの値が他の2属性に比べてとりわけ高いことが見て取れる。

このことから、当該実験に用いた困難度 ID と平均ポインティング操作時間 MT および平均ドラッグ操作時間 MT の関係について、ジェスチャによる2次元 GUI 操作時の操作特性としては、脳性麻痺者の操作特性と他の2属性では著しく異なることが示唆された。その要因として、とりわけ脳性麻痺者については、被験者ごとに麻痺の種別や強さが異なり、個人差が大きいことが挙げられ、脳性麻痺者については、他に麻痺の種別や強さを考慮した検討が必要であると考えた。

そこで、脳性麻痺者については実験中の観察記録と休憩時間に行った簡単なヒアリングをもとにした考察を、また若年者と高年齢者の操作特性については実験結果をもとにした考察を別に後述することとした。

4.2 若年者と高年齢者の操作特性について

若年者や高年齢者の操作特性においては、平均ポインティング操作時間および平均ドラッグ操作時間と困難度 ID について、繰り返しのない2元配置分散分析を行った。その結果、若年者、高年齢者の属性間に1%有意で差が認められ ($F(1, 8) = 53.14, p < .01$)、困難度 ID 間に1%有意で差が認められた ($F(8, 8) = 136.20, p < .01$)。また、平均ドラッグ操作についても、同様に属性間に1%有意で差が認められ ($F(1, 8) = 32.96, p < .01$)、困難度 ID 間に1%有意で差が認められた ($F(8, 8) = 22.80, p < .01$)。

このことから、平均操作時間について、ポインティング操作、ドラッグ操作ともに若年者よりも高齢者の方が操作時間を要する傾向が示唆された。

当該実験により得られた傾向から、実際のジェスチャによる2次元 GUI のインタフェース設計においては、当該研究において対象とした困難度 ID の範囲について、高齢者を対象とする操作においては、若年者と比較して操作時間を要するため、ある程度の余裕時間を設けるなどの方策が有効であると考えられる。

4.3 脳性麻痺者の操作特性について

若年者や脳性麻痺者の操作特性においては、平均ポインティング操作時間および平均ドラッグ操作時間と困難度 ID について、繰り返しのない2元配置分散分析を行った。その結果、若年者、脳性麻痺者の属性間に1%有意で差が認められ ($F(1, 8) = 45.79, p < .01$)、困難度 ID 間に1%有意で差が認められた ($F(8, 8) = 3.59, p < .05$)。また、平均ドラッグ操作については、同様に属性間に1%有意で差が認められたものの ($F(1, 8) = 62.98, p < .01$)、困難度 ID 間に有意な差は見られなかった ($F(8, 8) = 2.44, p > .05$)。このことから、平均操作時間について、ポインティング操作、ドラッグ操作ともに若年者よりも脳性麻痺者の方が操作時間を要する傾向が示唆された。さらに実験の観察記録と実験後に筆者が行ったヒアリングの結果から、考察を展開する。

当該実験においては、痙直型脳性麻痺の被験者1名、アテトーゼ型脳性麻痺の被験者3名、痙直型とアテトーゼ型の混合型の被験者1名、腕に軽い麻痺のみの被験者1名に実験課題を行わせたが、脳性麻痺のタイプによって操作の難しさが異なることが示唆された。

たとえば、意志と一致しない動作や姿勢の変化を伴うアテトーゼ型の麻痺をもつ被験者は、当該実験におけるクリックにおけるウェイトの判定について、「腕を静止させる操作が困難である」という被験者の声を複数得た。一方、痙直型の麻痺をもつ被験者は、手足が硬直してしまうという特性からクリックにおけるウェイトの判定については、「違和感なく操作できる。」「通常のマウスによる操作よりも便利に思う。」などの声を得た。

また、すべての被験者が障害等級1級であったが、その中でも麻痺の強さや日常業務におけるPCの操作方法が違うことが分かった。通常のマウスによる操作やキーボードによる入力も可能な被験者や印刷物のレイアウト編集に従事しているという被験者がいる反面、強いアテトーゼ型の麻痺をもつ被験者については、「らくらくマウス¹⁷⁾という手が不自由なユーザ向けに開発されたマウスでなければ、細かい操作はできない」という。

加えて、ビデオ撮影後の観察により、生理的振戦も被験者により様々であった。操作中に連続した腕の静止動作が困難な被験者については、左手で右腕を抑えることでカーソルを静止させる被験者や、1回の移動動作を分割し、作業中にたびたび腕を止めて小休憩を設ける被験者がいたことも事実である。そ

うしたことが、脳性麻痺者のポインティング操作およびドラッグ操作において、個人差が大きくなった原因の1つであると考えられる。

脳性麻痺者のジェスチャによる2次元 GUI 操作については、その操作方法が彼らにとって必ずしも有効なものとは言えず、むしろ麻痺のタイプや強さによっては困難であることが示唆された。また、その操作特性については、麻痺のタイプにより詳細に属性を分け、限定的な条件を定めて実験を試みるのが有効であると考えられる。

5. まとめ

本研究の目的は、ジェスチャによる2次元 GUI 操作時の特性について、若年者、高齢者、脳性麻痺者の操作特性を比較することであった。

本稿においては、ハンドジェスチャを用いた2次元 GUI 操作時の操作特性について、以下のような知見が得られた。

- I. ジェスチャによる2次元 GUI 上のポインティング操作およびドラッグ操作について、若年者、高齢者、脳性麻痺者の順に操作に要する時間が短く、各操作のエラー率についても、各同様の順に正確な操作ができる。とりわけ高齢者を対象としたジェスチャインタフェースを提案する際には、若年者を対象としたものよりも操作の余裕時間を設けることが望ましい。
- II. 脳性麻痺者の操作特性は、ポインティング操作およびドラッグ操作の各平均操作時間について若年者や高齢者の操作特性とは統計的に異なる。特に、脳性麻痺者の操作については、麻痺のタイプや強さにより、個人差が大きく、特にアテトーゼ型の脳性麻痺者については、腕の静止動作を伴うようなジェスチャによる操作方法は有効であるとは言えない。

これらの知見を活用して、ジェスチャによる操作方法の提案や画面設計を行うことにより、効率的かつ快適な GUI の操作環境を提供できると考えられる。

なお、本研究は科研費（研究課題番号24500152）の助成を受けた「2次元 GUI 操作時のハンドジェスチャの操作特性に関する研究」の一部として実施したものである。

参考文献

- 1) Paul M. Fitts : The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement, *Journal of Experimental Psychology*, Vol.47-No.6, 381-391, 1954.
- 2) I. Scott Mackenzie et. al. : Extending Fitts' Law to two-dimensional Tasks, *Proc. CHI '92*, 219-226, 1992.
- 3) 辛島光彦, 西口宏美 : Fitts の法則のマウสดラッグ操作に対する適用に関する研究, *日本人間工学会*, Vol.44 特別号, 290-291, 2008.

- 4) 山西潤一, 池田俊秀, 中村智美: ポインティング時間を指標とした高齢者のマウス操作特性, 日本教育工学会講演論文集, Vol.20, 507-508, 2004.
- 5) 加藤麻樹, 下平佳江: PCマウスを用いたポインティング作業時の高齢者の動作特性—マウス操作時に生じる回転動作の分析—, 長野県短期大学紀要 第61号, 99-108, 2006
- 6) 五味重治: 脳性麻痺の長期予後. 岩谷力, 岩倉博光, 土肥信之 編: 《臨床リハビリテーション》小児リハビリテーション I—脳性麻痺. 医歯薬出版, 47-48, 1990
- 7) 公益社団法人 日本リハビリテーション医学会: 脳性麻痺リハビリテーションガイドライン(第2版), 金原出版, 13-18, 2014
- 8) グラクソ・スミスクライン株式会社: 「小児脳性まひの下肢痙縮に伴うに尖足について」, <http://btxa.jp/shoni/sympton/sympton02.html>, (アクセス日: 2015.2.4)
- 9) 社会福祉法人 東京コロニー: 「事業目的」, <http://www.tocolo.or.jp/about/mokuteki.html>, (アクセス日: 2015.2.4)
- 10) 西口宏美, 齋藤むら子: GUI画面上での脳性麻痺者のマウスポインタの移動と位置決め作業についての一考察, 日本人間工学会, Vol.43-No.5, 124-131, 2007.
- 11) 西口宏美: 脳性麻痺者の GUI画面でのマウスポインタ操作の効率化の支援方策に関する一考察—D/C比の調整による作業時間値の短縮について—, 日本経営工学会, Vol.59-No.5, 411-417, 2008.
- 12) 西口宏美: 脳性麻痺者の GUI画面でのマウスポインタ操作特性に関する一考察—D/C比が移動および位置決め時間値に与える影響について—, 日本経営工学会, Vol.60-No.2, 95-103, 2009.
- 13) 森山雄大, 西口宏美, 辛島光彦: ハンドジェスチャを用いた2次元GUI操作時の操作特性に関する研究, 東海大学紀要情報通信学部, Vol.8-No.1, 2015.
- 14) ISO/TS 9241-411: Ergonomics of Human-system interaction – Part411: Evaluation methods for the design of physical input devices, 2012.
- 15) 中村卓, 高橋伸, 田中二郎: “大画面環境におけるハンドジェスチャの選択手法—ダブルクロッシングの提案と他の選択手法との比較—”, 電子情報通信学会, Vol.J96-D-No.4, 478-488, 2013.
- 16) R. Kopper et al.: A human motor behavior model for distal pointing tasks, Int. J. Human-Computer Studies 68, 603-615, 2010.
- 17) 特定非営利法人こことステップ: 「らくらくマウスII」, <http://www.kktstep.org/product/raku2mouse.html>, (アクセス日: 2015.2.4)