タッチパネル操作における利き手と非利き手のエラー特性の違いについて*

— 若年者と高齢者の比較 —

高橋里奈**, 村田厚生**

1. はじめに

近年、駅の自動発券機、銀行や郵便局の自動現金預け払い機 (Automated Teller Machine : ATM)、コンビニエンスストアのマルチメディアステーションなどタッチパネルを用いた機械が多く設置されている。タッチパネルを用いる事の利点として、学習なしで簡単に操作できる点¹⁻³⁾が挙げられる。また、高齢者は利き手の運動能力が低下しているため⁴⁾、タッチパネルは高齢者にとって使いやすい入力デバイスとなる。

非利き手を用いなければならない場合、マウスといった間接入力デバイスでの操作性は利き手に比べて悪化する事がCharnessら⁵⁾によって示されている。Charnessら⁵⁾の実験ではポインティング作業に用いるデバイスとして直接入力デバイス (ライトペン) と間接入力デバイス (マウス) を用いた。Charnessら⁵⁾の行った実験において被験者は、マウスに比べてライトペンの方が非利き手でも操作しやすいと評価している。このことからタッチパネルでも、利き手と非利き手で操作性は変わらないのではないかと予測される。つまり、加齢や疾病・怪我等による利き手の運動能力の低下に対して、タッチパネルは有効な入力デバイスになると考えられる。しかし、タッチパネルの操作を行う際の利き手と非利き手の違いを検証したデータは見当たらない。そこで本研究では、利き手と非利き手でタッチパネルの操作エラーに違いがあるかを検証した。

また、日常生活でよく見られるタッチパネルの画面傾

斜角度は、0度 (ATM) や90度 (発券機) と機械によって極端に異なっており、実際に操作しやすい角度であるかを検証したデータは見当たらない。そこで本研究では、操作をする際の画面傾斜角度を実験要因に加えて実験を行った。以上の事をまとめて本論文では、タッチパネルの画面傾斜角度も実験要因として、操作する際に使用する手の違いが操作エラーに影響を与えるかを考察した。

2. 実験方法

2-1. 被験者

被験者は全員男性で若年者10名、高齢者10名とした。若年者群の年齢は21～25歳 (平均23.0歳, S.D.=1.2歳)、高齢者群の年齢は65～81歳 (平均69.2歳, S.D.=5.4歳) であった。

また、高齢者に関しては3 m視力が0.5以上あり、腕にしびれ等が無い事を確認し、タッチパネル操作を十分に行える身体状況である事を確認した。

本実験ではタッチパネルの設置位置を決定するために被験者の身長と前方腕長を測定した。若年者10名の平均身長は173.0 cm (S.D.=7.0 cm)、高齢者10名の平均身長は167.8 cm (S.D.=2.2 cm) であった。また、若年者10名の平均前方腕長は73.2 cm (S.D.=4.5 cm)、高齢者10名の平均前方腕長は70.1 cm (S.D.=3.1 cm) であった。

さらに、実験開始前に被験者20名の利き手をOldfield⁶⁾とChapmanら⁷⁾による利き手テストによって調べた。両テストの結果から被験者20名は全員右利きである事が分かった。

2-2. 実験システム

実験には10.4インチのデジタル社製タッチパネルFP2500-

* 受付: 2008年9月25日 受理: 2009年4月9日

** 岡山大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

T11を用い、ディスプレイの解像度は640×480 pixelとした。また、ディスプレイのドットピッチは0.033 cmであった。

本実験では画面中心にある円をタッチした時点で課題が開始されたものとした。課題が開始されると正方形のタッチする対象（ターゲット）が1つ表示され、ターゲット内をタッチできた場合は操作成功、ターゲット外をタッチした場合はエラーとして記録した。この開始から記録が終了するまでを1課題とし1課題を遂行するのに要する時間を操作時間とした。また、上記の実験画面と記録システムをVisual Basic 6.0によって構築した。

2-3. 実験環境

室温20度、照度175 lx、輝度240 cd/m²のもとで実験を行った。被験者の姿勢は立位とし、画面へのタッチは人差し指で行う事とした。また、三橋ら⁸⁾がタッチパネル式のATMの使いやすさに影響する要因として、身体から画面への距離を挙げている。よって、本実験では身長と前方腕長がタッチパネル操作に与える影響を極力排除するために、被験者のつま先からタッチパネル画面の中心までの間隔を被験者の前方腕長の50%とし、床面からタッチパネルの台座上面までの間隔を被験者の身長の50%とした。

2-4. 実験内容

ー使用する手と画面傾斜角度の影響ー

画面中心の円をタッチすると図1に示すような正方形のターゲットが表示される実験画面を用いて実験を行った。また、被験者には普段ATMや発券機を利用する時と同様の操作速度で、なるべく正確に画面をタッチするように指示した。

本実験ではタッチする際に使用する手（利き手、非利き手）とタッチパネルの画面傾斜角度を実験要因とした。画面傾斜角度は0・30・45・60・75度の5種類とし、図2のようにタッチパネルを固定した。各画面傾斜角度において、4種類のターゲットサイズ（20×20・40×40・60×60・78×78 pixel（0.7×0.7・1.3×1.3・2.0×2.0・2.6×2.6 cm））と4種類の中心からの距離（操作距離）（50・100・150・200 pixel（1.7・3.3・5.0・6.6 cm））を組み合わせた16種類のターゲット条件を設定した。各ターゲット条件は利き手と非利き手において、8回ずつ実施するものとした。また、被験者ごとに画面傾斜角度の設定順とターゲット条件はランダム化した。本実験での最大ターゲットサイズが78×78 pixel（2.6×2.6 cm）となっている理由は、画面の制約上80×80 pixel（2.6×

図1 実験画面（ターゲットサイズ：60×60 pixel（2.0×2.0 cm）、中心からの距離：200 pixel（6.6 cm））

Fig. 1 Experiments display (target size : 60×60 pixel (2.0×2.0 cm), distance from center : 200 pixel (6.6 cm)).

図2 タッチパネル側面図

Fig. 2 Side view of touch-panel.

2.6 cm) での設置が不可能であったためである。

実験終了後、被験者は各画面傾斜角度において利き手と非利き手のどちらが画面を押しやすかったかを評価した。利き手と非利き手で押しやすさが変わらない場合を3とし、より利き手の方が押しやすければ評価値を3より高く（最大値は5）するものとした。また、反対に非利き手の方が押しやすい場合は評価値を3より低く（最小値は1）するものとした。

3. 実験結果 ー平均エラー率と主観評価ー

3-1. 若年者と高齢者の使用する手と画面傾斜角度における平均エラー率の比較

ある条件（使用する手×画面傾斜角度）において画面をタッチする回数は128回となる。よって、ある条件のエラー回数を128で割る事でエラー率を求めた。

エラー率に対して3元配置（年齢×使用する手×画面傾斜角度）分散分析を行った。この結果、使用する手（F

表1 FisherのPLSDによる多重比較結果

Tab. 1 Result of multiple comparison by Fisher's PLSD for each age group.

Slope	Age group	
	Young	Older adults
0° vs 30°	$p < 0.05$	$p < 0.01$
0° vs 45°	$p < 0.01$	$p < 0.05$
0° vs 60°	$p < 0.01$	$p < 0.05$
0° vs 75°	$p < 0.01$	n.s.
30° vs 45°	n.s.	n.s.
30° vs 60°	n.s.	n.s.
30° vs 75°	n.s.	$p < 0.01$
45° vs 60°	n.s.	n.s.
45° vs 75°	n.s.	$p < 0.01$
60° vs 75°	n.s.	$p < 0.01$

n.s. : not significant

(1,18)=11.8)の主効果と画面傾斜角度 ($F(4,72)=8.0$)の主効果において、有意水準1%で有意差が認められ、年齢 ($F(1,18)=5.0$) による主効果と年齢と画面傾斜角度 ($F(4,72)=2.6$) の交互作用において有意水準5%で有意差が認められた。さらに、年齢群別に使用する手と画面傾斜角度がエラー率に与える影響を分析するために、若年者群と高齢者群のエラー率に対して、2元配置 (使用する手×画面傾斜角度) 分散分析を行った。この結果、若年者群では使用する手 ($F(1,9)=17.4$) の主効果と画面傾斜角度 ($F(4,36)=5.2$) の主効果において、有意水準1%で有意差が認められた。高齢者群では画面傾斜角度 ($F(4,36)=5.5$) の主効果のみ有意水準1%で有意差が認められた。また、若年者群、高齢者群共に画面傾斜角度と使用する手の交互作用に有意差は見られなかった。さらに、若年者群と高齢者群のエラー率に対して、画面傾斜角度による多重比較をFisherのPLSDを用いて行った。この多重比較結果を表1に示す。また、若年者群と高齢者群の使用する手と画面傾斜角度による平均エラー率を図3に示す。

ここで補足として、平均エラー率に関係すると考えられる若年者と高齢者の身体的能力の差を、操作速度によって検証した。そこで、本研究では1課題ごとに中心からの距離 (操作距離) を操作時間で割り、操作速度をcm/s単位で算出した。若年者群と高齢者群の画面傾斜角度と使用する手による平均操作速度を図4に示す。ただし、指幅よりもターゲットサイズが大きいと考えられる60×60 pixel (2.0×2.0 cm) と78×78 pixel (2.3×2.3 cm) のターゲットを押した時のデータを使用した。これは、ターゲットサイズが指幅より小さい場合 (20×20・40×40 pixel (0.7×0.7・1.3×1.3 cm)) は、エラーにならない

図3 若年者群と高齢者群の使用する手と画面傾斜角度による平均エラー率

Fig. 3 Mean error rate as a function of handedness and slope for each age group.

図4 若年者群と高齢者群の使用する手と画面傾斜角度による平均操作速度

Fig. 4 Mean movement velocity as a function of handedness and slope for each age group.

いよう、意図的に操作速度を減速させる事が考えられるためである。また、タッチした際にエラーと判定されたデータは除外した。

まず、平均操作速度に対する3元配置 (年齢×使用する手×画面傾斜角度) 分散分析により、検証を行った。分散分析の結果、年齢 ($F(1,18)=14.0$) の主効果と、画面傾斜角度 ($F(4,72)=5.5$) の主効果において、有意水準1%で有意差が認められ、使用する手 ($F(1,18)=5.4$) の主効果においては、有意水準5%で有意差が認められた。さらに、年齢群別に、平均操作速度に対して2元配置 (使用する手×画面傾斜角度) 分散分析を行うと、若年者群のみ画面傾斜角度 ($F(4,36)=3.8$) の主効果において、有意水準1%で有意差が認められた。また、高齢者群では全ての主効果と交互作用において、有意差は見られなかった。

3.2. 若年者と高齢者の各画面傾斜角度における使用する手の押しやすさの主観評価結果

本実験では、被験者に各画面傾斜角度に対して、利き

図5 若年者群と高齢者群の各画面傾斜角度における使用する手の押しやすさの主観評価結果

Fig. 5 Mean score on ease of press as a function of slope for each age group.

手と非利き手のどちらの手の方が押しやすかったかを1～5の数値で評価させた。この評価値の傾向が年齢群によって違うかを検証するためにMann-WhitneyのU検定を実施した。また、画面傾斜角度の違いが評価値に影響を与えるかを見るためにKruskal-Wallis検定を実施した。

Mann-WhitneyのU検定は、各画面傾斜角度における若年者群と高齢者群の評価値に対して行った。検定の結果、全ての画面傾斜角度で若年者群と高齢者群の平均評価値の差に有意差は見られなかった。

また、Kruskal-Wallis検定は、各年齢群の画面傾斜角度による評価値に対して行った。検定の結果、両年齢群共に画面傾斜角度による平均評価値の差に有意差は見られなかった。

平均評価値は年齢と画面傾斜角度に関わらず3より大きくなっており、値はほぼ一定となった。各画面傾斜角度における若年者群と高齢者群の平均評価値を図5に示す。

4. 考察

4-1. 使用する手に関する考察

図5から全画面傾斜角度において若年者、高齢者共に非利き手よりも利き手の方が画面を押しやすいと感じている事が分かる。しかし、「3-1. 若年者と高齢者の使用する手と画面傾斜角度における平均エラー率の比較」で行った若年者群と高齢者群のエラー率に対する2元配置（使用する手×画面傾斜角度）分散分析では、高齢者群のみ使用する手の主効果に有意差が見られなかった。これより、高齢者はタッチパネルの操作において、非利き手でも利き手と同様に操作できる事が分かる。高齢者は身体能力の低下により、利き手と非利き手の運動能力差が若年者に比べて小さくなっており、このような結果が得ら

れたのではないかと推測される。

ここで、高齢者の運動能力が低下している事に関する裏づけを、「3-1. 若年者と高齢者の使用する手と画面傾斜角度における平均エラー率の比較」で行った平均操作速度に対する分散分析の結果から行う。まず、3元配置（年齢×使用する手×画面傾斜角度）分散分析では、年齢、画面傾斜角度、使用する手の主効果に有意差が認められている。特に年齢による平均操作速度の差は、図4を見ると分かるように、高齢者群は若年者群よりも平均操作速度が1.5～2.0 cm/s遅くなっている。よって、若年者に比べて高齢者は運動能力が低下している事が推測される。さらに、年齢群別に行った2元配置（使用する手×画面傾斜角度）分散分析の結果を見ると、若年者群は画面傾斜角度の主効果に有意差が認められているが、高齢者群においては、全ての主効果と交互作用において有意差は見られていない。これより、使用する手や画面傾斜角度に関わらず、高齢者は操作速度が一律に遅く、身体能力が低下している事が窺える。

また、利き手と非利き手におけるエラー率の差が少ないという事は、利き手が使用できなくなった場合でも、非利き手で利き手と同様の操作が可能であると言う事ができる。このことから、利き手と非利き手におけるエラー率の差が少ない事は、デバイスの有効性を表す指標の一つになると考えられる。

Charnessら⁵⁾は直接入力デバイス（ライトペン）と間接入力デバイス（マウス）によるポインティングタスクの結果から、高齢者の方が若年者に比べて、利き手から非利き手に操作を切り替える事が難しいとしている。この事からも、高齢者が何らかの疾病や怪我で利き手が使用できない場合に、タッチパネルを用いる事は非常に有効であると考えられる。

4-2. 画面傾斜角度に関する考察

「3-1. 若年者と高齢者の使用する手と画面傾斜角度における平均エラー率の比較」で行った平均エラー率に対する3元配置（年齢×使用する手×画面傾斜角度）分散分析の結果、年齢による平均エラー率の差に有意差が認められている。この差について検証するために年齢群別に平均エラー率（図3）を見ると、高齢者群は若年者群に比べて平均エラー率が低くなっている。これより、若年者に比べて高齢者は操作速度が遅く（図4）、そのため若年者より正確にタッチができているという事が推測される。また、3元配置（年齢×使用する手×画面傾斜角度）分散分析の結果では、年齢と画面傾斜角度による交互作用にも有意差が認められる事から、以下で各年齢群別に

画面傾斜角度がエラー率に与える影響の検証を行う。

表1に示した平均エラー率の画面傾斜角度による多重比較の結果と図3に示した平均エラー率に関するグラフから、年齢に関わらず画面傾斜角度0度（画面が地面と水平）に比べ、画面傾斜角度30・45・60度の方が、平均エラー率が有意に低くなる事が分かる。特に画面傾斜角度30度では高齢者における利き手と非利き手の平均エラー率の差が最も小さくなっており、高齢者にとって利き手、非利き手を問わず使用しやすい画面傾斜角度であると考え事ができる。また、若年者群では0度と75度を比較した場合でも平均エラー率に有意差が見られる事から、若年者は30度以上の画面傾斜角度であればよい事が分かる。しかし、高齢者群では、画面傾斜角度が30・45・60度と75度を比較した場合に平均エラー率に有意差が見られ、75度での平均エラー率が上昇している事から、画面傾斜角度がつきすぎると、エラー率が高くなり操作が行いにくくなる事が分かる。

5. まとめ

本実験では、高齢者群は利き手と非利き手で平均エラー率の差に有意差が見られなかった。つまり、高齢者は利き手でも非利き手でも変わりなく操作できると言う事ができる。この事から、若年者に比べて疾患や怪我などで非利き手を利用する機会が増えると想定される高齢者においては、タッチパネルは非常に扱いやすいインターフェイスと言う事ができる。

また、若年者群、高齢者群共に、画面傾斜角度30・45・60度は0度に比べて平均エラー率が低くなる事が分かった。特に画面傾斜角度30度については、高齢者群で利き手と非利き手の平均エラー率の差が最も小さく、高齢者にとって有用な画面傾斜角度と言える。本実験の最大画面傾斜角度（75度）における平均エラー率を見ると、若年者群では画面傾斜角度30・45・60度の場合と同様の平均エラー率となっている。よって、若年者にとっては0度より大きい画面傾斜角度（30度～75度）であれば操作が行いやすいと言う事ができる。しかし、高齢者群では画面傾斜角度が75度になると0度で設定した場合と同様に平均エラー率が増加する事が分かった。以上の事から、高齢者も使用する機会が多いタッチパネルの画面傾斜角度は30度～60度に設定しなければならない事が分かる。ただし、これは被験者の身長や前方腕長の違いが与

える影響を極力排除した実験状況であるため、被験者の身体的特徴を考慮した追実験が必要である。

今後は、高齢者がタッチパネルを利用して操作する場合を増やすために、タッチパネルと他の入力デバイス（マウス、トラックボール、視線入力装置等）を比較し、有用性を検証する必要がある。また、現在ATMや発券機の使用において、タッチパネルはポインティングデバイスとしての機能が大部分を占めている。よって、メニュー選択やスクロール作業¹⁰⁾といったポインティングタスク以外でも、タッチパネルが有効な入力デバイスとして機能するかを検証し、インターフェイスとしての機能を拡張していく必要がある。

参考文献

- 1) H. Iwase and A. Murata : Empirical Study on the Improvement of the Usability of a Touch Panel for Elderly-Comparison of Usability between a Touch Panel and a Mouse, IEICE Transactions on Information and System, E86-D (6), 1134-1138, 2003.
- 2) A. Murata : Usability of Touch-panel Interfaces for Older Adults, Human Factors, 46 (4), 767-776, 2005.
- 3) 村田厚生：対話型システムにおけるポインティング装置の操作性に関する実験的検証, 人間工学, 28 (3), 107-117, 1992.
- 4) 高橋里奈, 壺井直人, 森若誠, 宗澤良臣, 村田厚生：高齢者に優しいウェブデザインのための基礎的研究－ウェブでの情報検索能力に影響する知覚・認知能力評価尺度の開発－, 第15回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, 150-151, 2006.
- 5) N. Charness, P. Holley, J. Feddon, and T. Jastrzembski : Light pen use and practice minimize age and hand performance differences in pointing tasks, Human Factors, 46 (3), 373-384, 2004.
- 6) R. C. Oldfield : The assessment and analysis of handedness : the Edinburgh inventory, Neuropsychologia, 9 (1), 97-113, 1971.
- 7) L. J. Chapman and J. P. Chapman : The measurement of handedness, Brain and Cognition, 6, 175-183, 1987.
- 8) 三橋弘之, 細野直恒：ITのユニバーサルデザイン－ISO 13407, JIS X 8341などへの対応－, 丸善, 2005.
- 9) A. Murata : Empirical evaluation of performance models of pointing accuracy and speed with a PC mouse, International Journal of Human-Computer Interaction, 8 (4), 457-469, 1996.
- 10) W. A. Rogers, A. D. Fisk, A. C. McLaughlin, and R. Pak : Touch a screen or turn a knob : Choosing the best device for the job, Human Factors, 47 (2), 271-288, 2005.