

携帯情報機器でのターゲットポインティング課題における ペンの長さの効果

溝渕 佐知 (ノキア・ジャパン株式会社/慶応義塾大学大学院)
任 向実 (高知工科大学)
安村通晃 (慶應義塾大学)

概要

本研究では、ペンユーザインタフェース (以下ペン UI) を持つ携帯情報機器を用いたターゲットポインティング課題において、スタイラス (以下ペン) の長さがポインティング・パフォーマンスに及ぼす影響を調べるため、1)主観的評価実験 2)この結果に基づく定量的評価実験 3) 2 の手続きを修正した追加実験を行った。まず予備実験として、主観的に「短く持ちづらい」と評価される長さを調べた。実験 1 ではこの長さ (7cm) のペンとそれより長いペン (16cm) を用いたターゲットポインティングの速さと精度の違いを定量的に評価した。また、人差し指によるポインティングも併せて検討した。実験 2 では実験 1 と同じ課題を被験者にフィードバックを与えて行ったところ、エラー率が低下することが確かめられた。2つの実験で、16cm ペンは 7cm ペンより高いパフォーマンスを示し、人差し指によるポインティングは、十分な精度で小さなターゲットをポイントできないことが示された。ペンを持つ手のスタイルとポインティングのパフォーマンスとの関連についても考察を行った。

Long Pen, Short Pen or Index Finger? Investigating Pointing Performance on Handheld Devices

Sachi Mizobuchi (Nokia Japan Co. Ltd./ Keio University)
Xiangshi Ren (Kochi University of Technology)
Michiaki Yasumura (Keio University)

ABSTRACT

We investigated the effects of stylus-pen length on user performance in pointing tasks on handheld devices. Subjective evaluation prior to the experiments revealed that most subjects felt uncomfortable when the pen length was less than 7cm. In Experiments 1 and 2, we compared the speed and accuracy of target pointing with a short pen (7cm) and a long pen (16cm). Performance using the index finger was also examined. The results showed that the subjects performed better with the long pen than the short pen. The index finger was generally not accurate enough to be considered as a primary input method for pointing at small targets. The relationship between pointing performance and hand styles is also discussed.

1. 背景

PDA(Personal Digital Assistants)のような小型携帯情報機器においては、利用者はしばしば小さな画面上で小さなオブジェクトを操作することを求められる。スタイラス (ペン) は、直接的で直観的な操作を実現する有効な入力デバイスとして、すでに多くの PDA で採用されている。

携帯情報機器の設計過程において、インダストリアルデザイナーはしばしば機器のサイズと入力デバイスのユーザビリティの問題に直面する。機器本体を小型化しようとする、ペンを収納するスペースも限られ、ペンの小型化を招くが、あまりにも小さいペンはデバイス自体の操作性を損なう恐れ

がある。しかしながら、ペンそのもののユーザビリティに関する研究はこれまでのところほとんど報告されておらず、現在の携帯情報機器におけるペンの長さは、多くの場合本体のサイズに規定されており、必ずしもペンのユーザビリティの考慮に基づいて設計されているとはいえない。機器のユーザビリティを最適化するためには、ペンの長さといった物理的な側面にも注意を払う必要がある。本研究では、ペン UI を持つ携帯情報機器の操作において、ペンの長さがどのような影響を及ぼすのかを調べる。

2. 関連研究

2.1. ペンに関する人間工学的研究

筆記具のユーザビリティに関する研究として、松崎ら[1]が挙げられる。彼らはペンの重心と被験者の主観的書き心地の関係を調べ、重心がペン先から 75mm の時に最も心地よいと判断されることを報告している。また、Gross ら[2]は 5 つの異なるデザインのペンを、主観的評価、生理学的指標（筋電）および 3 次元での手首の動きから比較している。

これらの研究は、紙などに実際に字や図を書くための筆記具としてのペンを扱ったものであるが、本研究の関心は電子機器において指示デバイスとして用いられるペンすなわちスタイラスにある。

ペンではなく、ペンを持つ手そのものに注目した研究もある。鎌倉ら[3]は 98 種類のオブジェクトを持つ 7 人の被験者の手を詳細に観察し、把握のスタイルを 4 つのカテゴリーからなる 14 のパターンに分類した。彼らの分類によれば、ペンのような棒状のオブジェクトの把持スタイルには、表 1 に示すように、Lat, Tpd, TV1 の 3 つがある（関節の名称については図 1 参照）。彼らの分類は元々、手の機能障害を理解し、リハビリテーションに役立てるという動機に基づくものであるが、こうした分類は HCI 研究においても有効と考えられる。

表 1: 棒状の物体の把持スタイルの分類

(図は鎌倉ら[4]より引用)

<p>側面把握 Lateral Grip (Lat)</p> 	<p>小さな扁平物体の拘束に使われることがある型。示指の末節、中節、基節いずれかの橈側面と母指末節掌側面とが向かい合い、この間に物体がはさまれる。中指橈側面が示指橈側面による支えを補強することもある。</p>
<p>三面把握－標準型 Tripod Grip (Tpd)</p> 	<p>細長い道具（例：筆記具）の拘束に使われることがある型。①中指 DIP 関節周辺の橈側面、②示指末端掌側面、③母指末節掌側面の 3 面が棒状物体の一ヶ所を取り囲んで拘束する。第 2 接触部位は、棒が短ければ示指末節の掌側面（棒の断端を押さえる）、長ければ示指の基節または MP 関節周辺部の橈側にある。指は全体として中程度屈曲。橈側指と尺側指の間の MP 関節の屈曲差は中～小程度。力を入れて拘束する場合は示指 DIP 関節が過伸展位になることがある。</p>
<p>三面把握－亜型 I Tripod Variation 1 (TV1)</p> 	<p>細長い道具の拘束に使われることがある型。三面把握－標準型に似ているが、母指がこれより内転位にある。細長い物体は中指 DIP 関節周辺の橈側面から示指基節の橈側面へ橋のように架け渡され、その間で母指が上から指腹で押え込む形になる。この第一固定に加えて、示指末端が標準型と同じように物体を支える。標準型よりも拘束性が増した型である。</p>

2.2. ターゲットポインティングに関する人間のパフォーマンスモデルの研究

異なる物理的特性を持つスタイラスでのターゲットポインティングパフォーマンスを比較した実験として Fitts[5]がある。Fitts の実験では、被験者は重さ 1 oz. (約 28.35g) のスタイラスと、重さ 1 lb(約 453g)でより長いスタイラスを用いてポインティングを行った。この結果、軽いスタイラスの方が重いスタイラスよりも Index of Performance の値が高かった。Fitts によれば、Index of Performance(IP)は人間の運動システムの処理容量を示す指標であり、課題の難しさ(Index of Difficulty: ID)を、運動タスクに要した時間 (Movement Time: MT)で割ることによって求められる (単位は bit/s)。

$$IP = ID / MT \quad (1)$$

ID は以下の式で求められる。

$$ID = \log_2 (2A / W) \quad (2)$$

A はターゲット間の距離, W はターゲット幅を示す.

Fitts のモデルはその後、多くの研究者によって検討され、データとの適合度を高めるための修正が提案されてきた. MacKenzie[6]は Effective target width を用いる修正式(3)を提案している.

$$IDE = \log_2 (A / We + 1) \quad (3)$$

We はポイントされた点のばらつき具合を示し, X 座標におけるポイント点の標準偏差に 4.133 をかけることによって得られる. この修正式によれば, Fitts の実験における軽いスタイラスの IP は 8.2 bit/s, 重いスタイラスの IP は 7.2bit/s となる. IP は *Bandwidth* もしくは *Throughput* (スループット) とも呼ばれる. 本論文では, ISO 9241-9[7]の定義に基づき, スループットを用いて算出する.

2.3. ペン入力ユーザインタフェース研究

ペンと他の入力方式を比較する研究はこれまで多く報告されている. 例として MacKenzie ら[8]や Mizobuchi ら [9]などが挙げられる. また, 様々なタスクでのペンインタラクションを調べたものとしては Ren ら[10], Brewster [11]などがある. しかしながら, 入力デバイスとしてのペンの物理的な側面について調べた研究例はほとんどない. 例外として, Baird ら [12]は指示棒 (probe) の長さの効果を Fitts の法則の関連から考察している. しかし, 彼らの実験で用いられた棒の長さは 100 mm から 400 mm であった. これは携帯情報端末のスタイラスの長さを検討する範囲として現実的とは言い難い.

3. 予備実験：長さに関する主観的評価

まず, 主観的に短く持ちづらいと感じられる長さを明らかにするための評価実験を行った.

3.1. 方法

3.1.1. 被験者

25歳から28歳の会社員17名(男性11, 女性6). 男性の親指の長さの平均値は 6.23 (SD=0.13)cm, 女性は 5.57(SD=0.14)cm であった. 人差し指の長さの平均値は男性 7.11 (SD=0.13)cm 女性 6.67(SD=0.15)cm であった.

3.1.2. 装置

6種類の長さのペン(ポリエステル製)と松下電器社製携帯電話(P502i)を用いた(図2). 携帯電話は小型の情報端末のサンプルとして使用し, ペンUIを持つものと想定して被験者に持たせた. ペンの直径は5mmであり, 長さは7cmから1cm刻みで12cmまで用意した. それぞれの長さのペンの重さは図2の通りであった.



length (cm)	weight (g)
7	2.4
8	2.8
9	3.1
10	3.5
11	3.9
12	4.3

図1: 主観的評価状況及びペンの長さ重量

3.1.3. 手続き

被験者は着席し, 非利き手で携帯電話を持つよう指示された. 実験者は被験者に6つのペンを一つずつ手渡し, 被験者に, 携帯電話がペンUIを持つものと想定した上で画面上で操作するようなしぐさをさせ, 「ペンが許容できる長さかどうか」を判断するよう求めた. 被験者は最終的な判断を下す前に, 自由にそれぞれのペンを持ち比べることができた.

3.2. 結果

図3の棒グラフはそれぞれの長さで「許容できる」とした被験者の数を表す. 線グラフはそれらの被験者の累積数を表わし, それぞれの長さが, 被験者のうち何%によって許容されたかを示す.

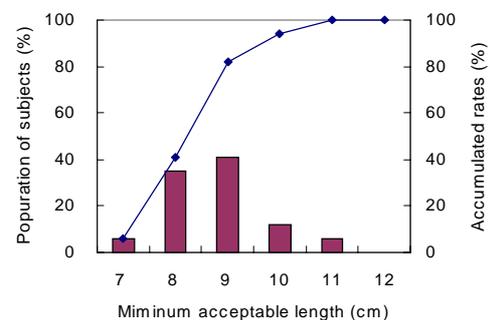


図2: 許容できる最短のペンの長さ

図3から, 9cmまで許容できるとした被験者は全体の約80%, 8cmでは約40%, 7cmでは5%程度であることが分かる. つまり, 9割以上の被験

者が短くて持ちづらいと感じる長さは 7cm と 8cm の境にあるといえる。

4. 実験 1: 異なる長さのペンを用いたポインティング・パフォーマンス

予備実験の結果を踏まえ、実験 1 では主観的に「短くて持ちづらい」と判断された長さのペンと、それより長いペンとでポインティングを行い、ポインティング時間とエラー率、およびスループットを比較した。また、実際の利用場面では指がしばしば利用されることから、小さな画面での入力手段としての指の有効性を併せて検討した。

4.1. 方法

4.1.1. 被験者

20 歳から 22 歳までの学生 12 名 (男女 6 名ずつ)。被験者のうち 2 人は、過去に 2 ヶ月間の PDA 使用経験があった。人差し指の長さは男性が平均 7.28 (SD=0.17) cm, 女性が平均 6.92 (SD=0.17) cm であった。人差し指の長さは実験 1 と 2 の被験者の平均値に有意な差は見られなかった。

4.1.2. 装置

実験プログラムは Java で開発し、Psion 社の PDA(Revo)上で実行した (図 4)。OS は EPOC であった。デバイスのサイズは 157 mm (W) x 79 mm (D) x 18 mm (H), 重さは 200 g であった。表示部分は 480 x 160 pixel のモノクロのタッチディスプレイで、1 pixel は 0.24 mm であった。タッチディスプレイは実験前にキャリブレーションを行った。

入力デバイスとして 7cm と 16cm のペンを使用した。7cm は実験 1 から主観的に短いと判断された長さ、16cm は現在市販されている一般的なボールペンの長さを参考に設定した。素材はアクリル製で、表面を白いテープで覆い、ペン先を黒く塗装した。ペンの直径はいずれも 5mm であった。ペンの重さは 7cm のものが 2.4g, 16cm のものが 5.7g であった。



図 3: 実験に使用した装置

4.1.3. 手続き

課題は ISO9241-9 [7]で定義されている **one-direction pointing task** を用いた。被験者に実験の概要について説明を行った後、課題の実施方法を見せた。本試行の前に、20 回の練習試行を行った。

被験者はデバイスを非利き手で持ち、椅子に座った状態で課題を行った。課題を行っている間、デバイスを持った手はテーブルやその他のオブジェクトの上に置かないよう指示した。

ターゲットとして、ディスプレイ上に白と黒の 2 つの長方形を提示し、被験者には白い方の長方形を、7cm ペン、16cm ペン、および人差し指で「できるだけ速く、かつ正確に」ポイントするように指示した。被験者が画面上をポイントすると、白い長方形と黒い長方形の位置が入れ替わった。すなわち、ターゲットは画面の左右に交互に提示された。課題中、被験者にはターゲット内を正しくポイントできたかどうかのフィードバックは与えなかった。

ターゲットの幅とターゲット間の距離はそれぞれ 3 通りあり (図 5)、これらの組み合わせは 30 試行ごとに変化した。ターゲットの高さは全試行を通じて 90 pixels であった。ターゲット条件 (幅と距離) の提示順序は被験者によって異なっていた。

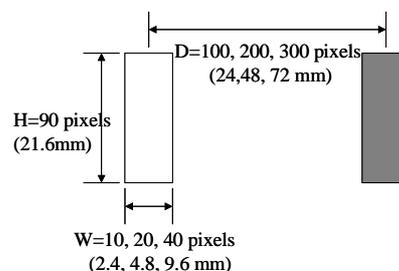


図 4: One-direction pointing task

実験は 3 x 3 x 3 の被験者内実験計画で行われた。要因と水準は以下の通りである。

- ・ 入力方式：7cm ペン，16cm ペン，人差し指
- ・ ターゲット幅：10, 20, 40 pixels
- ・ ターゲット間の距離：100, 200, 300 pixels

12 人の被験者が 3 通りの入力方式を用い、3×3 通りのターゲット条件のもとでそれぞれ 30 試行ずつポインティングを行った。すなわち、全試行回数は計 9,720 試行であった(12×3×9×30)。

ポインティング時間（画面上のある点をポイントしてから次の点をポイントするまで）とポイント位置の座標は実験装置である PDA に自動的に記録された。

4.2. 結果

4.2.1. エラー率

各被験者のそれぞれの入力方式毎に、9 通りのターゲット条件でのエラー率を求めた。これらのエラー率について、入力方式とターゲット幅ごとに平均値を求めたところ、図 6 の通り概して高いエラー率が見られた。

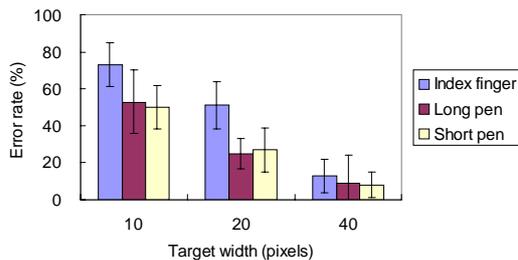


図 5: 各ターゲットサイズにおける各入力方式のエラー率 (実験 1)

16cm ペン，7cm ペン，人差し指のエラー率はそれぞれ 29.8%，28.8%，45.9%であり，分散分析の結果，入力方式 ($F_{2, 297}=49.9, p<.001$)による有意な主効果が認められた。下位検定¹の結果，16cm ペンとその他の 2 つの入力方式の間に有意な差が見られた(いずれも $p<.001$)。人差し指で 10 pixels のターゲットをポイントする条件において最も高いエラー率(73%)が見られた。

4.2.2. 操作時間

16cm ペン，7cm ペン，人差し指での操作時間の平均値はそれぞれ 437ms, 457ms, 384ms であった。分散分析の結果，入力方式による主効果が

認められた($F_{2, 9196}=312.9, p<.001$)。下位検定の結果，人差し指での操作は 2 つのペンによる操作よりも速く(いずれも $p<.001$)，16cm ペンでの操作は 7cm ペンによる操作よりも速いことが示された($p<.001$)。

4.2.3. スループット

16cm ペン，7cm ペン，人差し指のスループットの平均値はそれぞれ 6.7, 6.0, 6.0 bit/s であり (図 8)，分散分析の結果，入力方式による有意な主効果が認められた($F_{2, 9188}=130.18, p<.001$)。下位検定の結果，16cm ペンとその他 2 つの方式との間に有意な差が認められた(いずれも $p<.001$)。

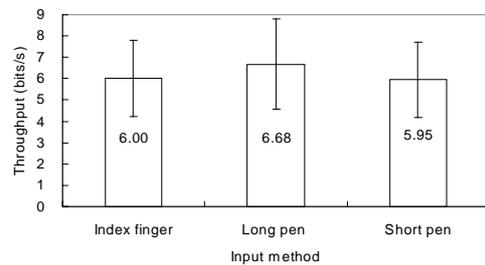


図 6: 各入力方式のスループット (実験 1)

4.2.4. ペンの把持スタイル

被験者がどのようにポインティングタスクを行ったかをより詳細に理解するために，タスク中の被験者の手の様子を収めたビデオデータを観察した。3 名の研究者 (HCI 研究者 1 名，作業療法の研究者 2 名) が観察を行い，16cm ペンと 7cm ペンの把持スタイルを表 1 の鎌倉らの定義に基づき分類した。この結果，7cm ペンについては 9 名が TV1，3 名が Tpd に分類された。16cm ペンについては，6 名が TV1 に分類され，残り 6 名が Tpd と分類された (表 2)。また，図 9 はそれぞれの把持スタイルにおけるスループットの平均値を示す。

Tpd スタイルでは TV1 スタイルよりもスループットの値が高かった。16cm ペンでは Tpd, TV1 のスループットはそれぞれ 6.7bits/s, 6.0bits/s であり，7cm ペンではそれぞれ 6.2bits/s と 5.9bits/s であった。どちらのスタイルにおいても，16cm ペンのスループットは 7cm ペンよりも高かった。分散分析の結果，入力方法による主効果 ($F_{1, 5343}=25.6, p<.001$)と把持スタイルの主効果が有意であり ($F_{1, 5243}=94.1, p<.001$)，それらの間に有意

¹ Tukey の HSD 検定による。以下も同様。

な交互作用が見られた($F_{1, 5343}=12.5, p<.001$).

表 2: 実験 1 で見られた把持スタイルの例

	三面把握－標準型 (Tpd)	三面把握－亜型 I (TV1)
7 cm	 3 名	 9 名
16 cm	 6 名	 6 名

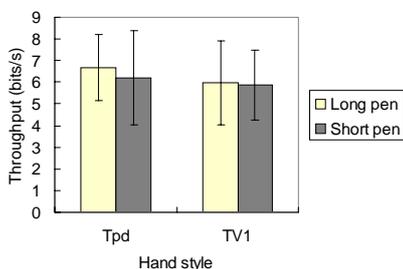


図 7: それぞれの把持スタイルにおけるスループット

5. 実験: フィードバックのある条件でのポインティングタスク

実験 1 で、タスク中被験者に対し正しくポイントできたかどうかの情報が与えなかったことが高いエラー率を導いたと考えられる。そこで、実験 2 ではフィードバックを与えて同じ課題を行った。

5.1. 方法

5.1.1. 被験者

25 歳から 34 歳までの会社員 11 名 (男性 7 名, 女性 4 名), うち二人は左利きであった。ペン入力携帯情報機器を日常使用している者はいなかった。3 名は過去に 1.5–2 年の PDA 利用経験があった。

5.1.2. 装置

実験 1 と同じ装置を用いた。

5.1.3. 手続き

実験 1 と同じ課題を用い、ターゲットを正しく

ポイントできなかった時にはビープ音によって知らせた。被験者は一つの入力方式でのタスクが終わる毎に ISO9241-9 で定義されている Independent rating scale を用いて主観的評価を行った。これは「正確さ」「指の疲労感」など計 12 の評価項目から成り、1 (最も悪い) から 7 (最もよい) までの 7 段階スケールが提示された。

5.2. 結果

5.2.1. エラー率

概して実験 2 におけるエラー率は実験 1 よりも低かった。16cm ペン, 7cm ペン, 人差し指のエラー率の平均値はそれぞれ 6.8%, 7.5%, 21.7% であった。

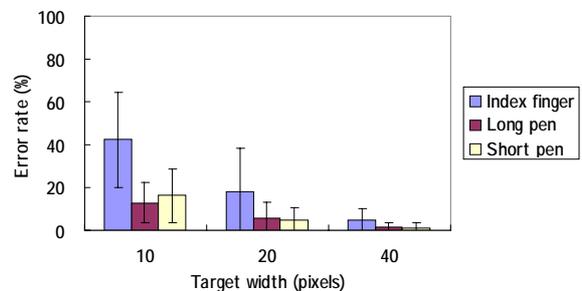


図 8: 各ターゲット幅における各入力方式のエラー率の平均値 (実験 2)

分散分析の結果、入力方式による主効果が認められた($F_{2, 270}=47.70, p<.001$)。下位検定の結果、人差し指とその他のペンの間に有意な差が認められた(いずれも $p<.001$)が、16cm ペンと 7cm ペンの間の差は有意ではなかった($p=.946$)。同じ傾向はすべてのターゲット幅において認められた。

5.2.2. 操作時間

どの入力方式においても、実験 2 における操作時間は概して実験 1 よりも長かった。16cm ペン, 7cm ペン, 人差し指による操作時間の平均値はそれぞれ 555ms, 587ms, 586ms であった。分散分析の結果、入力方式の有意な主効果が認められ($F_{2, 8434}=47.17m, p<.001$)、下位検定の結果、16cm ペンの操作時間と 7cm ペンおよび人差し指の操作時間との間に有意な差が認められた。

5.2.3. スループット

16cm ペン, 7cm ペン, 人差し指のスループットはそれぞれ 6.5 bits/s, 6.2 bits/s, 5.1 bits/s であ

った。分散分析の結果、入力方式による有意な主効果が認められた($F_{2, 8458}=586.1, p<.001$)。下位検定の結果、全ての組み合わせ間で有意な差が認められた(いずれも $p<.001$)。

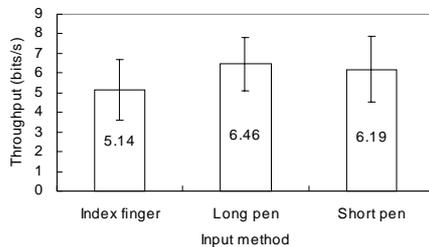


図 9: 各入力方式のスループット (実験 2)

5.2.4. 主観的評価

16cm ペン、7cm ペン、人差し指での入力に対する主観的評価スコアの平均値はそれぞれ 4.4, 3.7, 3.4 であった。入力方式の主効果が有意であった($F_{2, 326}=11.9, p<.001$)。下位検定の結果、16cm に対するスコアは他の 2 つの入力方式よりも有意に高かった(人差し指 $p<.001$, 7cm ペン $p<.01$)。個々の項目別に見ると、「正確さ」と「指の疲労感」において入力方式の有意な主効果が認められた($F_{2, 30}=6.4, p<.01$; $F_{2, 30}=4.0, p<.05$)。

6. 考察

本研究では、まず予備調査で主観的に「短く持ちづらい」と感じられる長さを明らかにし、続く実験でそれより長いペンとでターゲットポインティング課題を行い、実際のパフォーマンスがどのような影響を受けるかを調べた。人差し指でのポインティングについても併せて検討した。

実験 1 では、過去の類似した研究と比べて高いエラー率が認められた。Fitts の実験[5]ではエラー率の平均は軽いスタイラス、重いスタイラスでそれぞれ 1.2%, 1.3% であった。また、MacKenzie らの実験[8]ではタブレットペンで 4.0% のエラー率が報告されている。一方我々の実験では全ての条件下で 8% 以上のエラー率を示し、最もターゲット幅が小さい時にはどの入力方式を用いてもポインティングの 50% 以上がエラーであった。このエラー率の高さは、フィードバックの欠如によるものと考えられたため、実験 2 ではフィードバックを与えて同一の課題を行った。この結果、ポインティングの精度が向上することが確認された。

2 つの実験のどちらも、16cm ペンのスループットは 7cm ペンおよび人差し指よりも高かった。この差は大きなものではないとはいえ、どのターゲット条件においてもこの傾向が見られたことは、ペンの長さによる効果の一貫性を示している。

本研究で見られたスループット (実験 2) は Fitts の報告より低く、MacKenzie らの報告より高い値であった。この違いについて、複数の原因が考えられる。まず、Fitts の実験とは、ターゲットサイズの範囲(6-50mm)もターゲット間の幅(50-400mm)も異なる。第二に、Fitts の実験ではテーブルの上でポインティングを行っているが、本実験では手に持ったデバイス上でポインティングを行っている。MacKenzie らはピクセルピッチを示していないために本実験とターゲットサイズを比べることはできないが、彼らの実験ではタブレットペンが使用されており、操作部分と表示部分が離れていた。これは画面上のオブジェクトを直接ポイントするよりも課題を難しくしていたと推察される。

本実験の結果は、実際に携帯情報機器を用いたものであるため、携帯情報機器上でのパフォーマンスとしてより信頼性の高い値が得られたと考えられる。

表3: 先行研究と本実験におけるスループットおよび Fitts の法則への適合度

Study	Device	Regression Coefficients			Throughput (bits/s)
		r	Intercept, a	Slope, b	
Fitts (1954)	1-oz stylus	0.9937	-31.4	122	8.2
	1-lb stylus	0.9925	-69.9	138.8	7.2
MacKenzie et al. (1991)	Tablet pen	0.968	-55	204	4.9
	Long (16 cm) pen	0.9026	-43.7	175.2	6.5
This study	Short (7 cm) pen	0.7707	18.8	168.1	6.2
	Index finger	0.3321	203.6	141.4	5.1

本実験から、人差し指による入力は携帯情報機器上の小さなターゲットを操作するには十分なものではないことが示された。もし 90% 以上の精度を目標とするならば、ターゲット幅は人差し指用には少なくとも 9.6mm、ペン用には少なくとも 4.8mm は必要である。この結果は、ペン UI におけるターゲットの実用限界を検討し、ペンに対して最低一辺 5mm は必要とした Mizobuchi らの結果[9]とほぼ一致している。

本研究はまた、作業療法の分野から出てきた把持スタイルの分類という観点を導入してペンの持ち方について分析を行った。我々の実験では、Tpd

およびTV1スタイルは観察されたが、Latスタイルは見られなかった。スループットの分析から、16cm ペンは、いずれの把持スタイルにおいても有利であることが示された。

今後の課題として、より多様な利用状況におけるパフォーマンスの検討が必要と考えられる。本実験では静かな室内で着席してポインティングを行う状況のみを検討したが、携帯情報機器は他にも様々な状況で利用されると考えられるためである。また、手の大きさによる影響や、年齢によるパフォーマンスの違いも考えられるため、異なる被験者グループでの検討も必要である。

7. 結論

本研究では、1) ペンの長さについて、主観的に受け入れられる閾値を明らかにした。2) 携帯情報機器における、長い(16cm)ペン、短い(7cm)ペンおよび人差し指によるポインティングのスループットを明らかにした。3) 長いペンは短いペンよりも効率よくターゲットをポイントできることを定量的に示した。4) 携帯情報機器の入力方式としては指は不十分であり、ペンが必要であることを明らかにした。5) ペンUI研究に把持スタイルの分類を導入することを提案し、異なる持ち方をして、長いペンは短いペンよりも効率がよいことを示した。これらの発見は、今後の携帯情報端末でのインタラクション研究のベースとなり、より快適で効率のよい入力デバイスをデザインするための指針を提供するものと考えられる。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（若手研究(B) 課題番号 14780338) による。本研究に対する、小笠原将文氏、中田真由美氏、Miika Silfverberg 氏の協力を感謝する。

参考文献

- 1.松崎伸樹, 木下繁, 香山恒, 刀根幸子: 筆記具の書き心地について, 第47回応用物理学界関係連合講演会 講演予稿集, 2000, p460.
- 2.Gross, J. D., Lloyd, J. D., and Tabler, R. E. Ergonomic Analysis of Pen Comfort and Wrist Dynamics While

Writing. Submitted to *Ergonomics News*.
http://hsc.usf.edu/cpe/cpe_body.htm

- 3.鎌倉矩子, 田中 繁: PT・OT学生のための運動学実習, 1995, 三輪書店.
- 4.鎌倉矩子, 中田真由美, 山崎せつ子: 手の運動の基本パターン, 神経研究の進歩 Vol. 42, No.1, 1998, 7-17, 医学書院.
- 5.Fitts, P. M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 47, No. 6, 1954, pp381-391.
- 6.MacKenzie, I. S. Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction. *Human-Computer Interaction*, Vol. 7, 1992, 91-139.
- 7.ISO9241-9: 2000 Ergonomic design for office work with visual display terminals (VDTs) -- Part 9: Requirements for non-keyboard input devices. International Standardisation Organization.
- 8.MacKenzie, I. S., Sellen, A., and Buxton, W. A Comparison of input devices in elemental pointing and dragging tasks. *Proceedings of the CHI'91 Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1991, 161-166. New York: ACM.
- 9.Mizobuchi, S., Mori, K., Ren, X. and Yasumura, M., An empirical study of the minimum required size and the minimum number of targets for pen input on the small display, in proceedings of *Mobile HCI 2002*, 184-194.
- 10.Ren, X. and Moriya, S., Improving selection performance on pen-based systems: A study of pen-input interaction for selection tasks, *ACM Transactions on Computer Human Interaction (ToCHI)*, Vol.7, No.3, 2000, 384-416.
- 11.Brewster, S. A. Sound in the interface to a mobile computer, in *Proceedings of HCI International'99*, Lawrence Erlbaum Associates, NJ, 1999, 43-47.
- 12.Baird, K. M., Hoffmann, E. R., and Drury, C. G. The effects of probe length on Fitts' law. *Applied Ergonomics*, 33, 2002, 9-24.