

# QAZ キーボード：タッチパネル端末向け縦型 QWERTY キーボード

箱田 博之 志築 文太郎 田中 二郎\*

**概要.** 片手親指入力が容易な、タッチパネル端末向け縦型 QWERTY キーボード、QAZ キーボードを示す。本研究は、片手親指にて楽に（親指に負担をかけずに高精度に）入力可能なキーボードの開発を目的とする。設計のために、我々はまずタッチパネル端末に対する片手親指によるポインティング性能を調査する実験を行った。キーボードとして最適な領域を判定する関数を考案し、その結果を基にキーボード位置を定めた。その結果、端末画面中央付近の縦長領域が、ポインティング精度および速度において最適であることを示した。これを基に、我々は Android 端末上に動作するキーボードを設計および実装した。ユーザの学習コストを最小限にするために、QWERTY 配列を採用した。4 人の被験者を対象とした長期実験を行ったところ、平均入力速度は 18.2wpm、平均エラー率は 9.1%であった。QWERTY キーボードと比較したところ、QAZ キーボードのエラー率が有意に低かった。

## 1 はじめに

タッチパネル端末のユーザは、片手操作を望んでいる [5] 一方で、表示領域の拡大への需要があるため、タッチパネル端末の端末サイズが大きくなりつつある。これにより、片手親指によって届かない領域が発生し、ユーザは両手操作、または端末の持ち替えをする必要がある。この問題を解決するため、片手親指操作によるポインティング性能を改善した研究が多くある [17, 7, 1, 6]。しかし、片手親指による文字入力を対象とした研究はなされていない。Karlson ら [5] によれば、文字入力においても片手操作が望まれている。

本研究の目的は、タッチパネル端末において、片手親指による QWERTY キーボード入力を楽に、即ち親指に負担をかけずに高精度にすることである。タッチパネル端末における文字入力の性能を改善する研究は数多く存在する。例として、指の動きを最小限にするようにキーを配置した研究 [11, 18]、言語モデルおよび把持姿勢に基づくモデルによって補正する研究 [15, 3] などがある。これらに対し、我々の手法は単純であり、以下の特徴を持つ。

- ソフトウェアキーボードを片手親指によってタッチが容易な領域に配置した。
- 学習コストを抑えるため、QWERTY 配列を採用した。

本研究は、片手操作を行うには大きいがファブレットより小さいタッチパネル端末を対象とする。我々はまずキーボードの設計のために、ポインティング性能を調査する実験を行った。その結果から、縦型 QWERTY キーボードである QAZ キーボードを

Android 端末上に実装した。その後、キーボードの基本性能を測定するための長期被験者実験を行った。本稿では、これらについて報告する。

## 2 関連研究

### 2.1 片手親指特性

片手親指によるタッチ入力特性は、幅広く調査されている [15, 3, 12]。結果として、端末画面の領域ごとにポインティング精度および速度が異なることが示されている。この特性をタッチの補正に用いた研究もある [15, 3]。関連して Trudeau ら [14] は、タッチパネル端末の、片手把持時における親指の運動性能を測定した。その結果、UI の設計を行う際は、端末画面の右下や左上のような、指を曲げるまたは伸ばす必要がある領域へのキー配置は非効率であることが判明した。さらにこれらの研究は、端末画面中央のように、親指を自然に伸ばしたときに届く領域が高いポインティング精度を示すことを明らかにした。

### 2.2 ソフトウェアキーボード

タッチパネル端末の文字入力性能を改善するために様々な手法が研究されている。高濱と郷 [19] は、端末上にて、片手親指によるラビング操作によって文字入力を行う手法を提案した。Kimioka ら [8] は、タブレット上にて、端末画面の両側に弧状のキーボードを配置する両手持ち向けの文字入力手法を開発した。これらは、親指の動作特性を活用した文字入力手法である一方、既存の文字入力手法とは大きく異なった入力体系を持つ。これらに対して我々の提案する QAZ キーボードは、一般的に使用されている QWERTY 配列を採用しているため、学習コストが低いと考えられる。

キーボードの位置は、文字入力性能の改善のため

Copyright is held by the author(s).

\* Hiroyuki Hakoda, 筑波大学大学院システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻, Buntarou Shizuki and Jiro Tanaka, 筑波大学 システム情報系.

の重要な要因のひとつである。中川と上野 [20] は、端末画面の上部、下部、およびテキストボックスの直下の 3 パターンにおける文字入力速度、精度および使用感を検証した。その結果、端末画面の下部、すなわち通常キーボードが配置されている領域の文字入力速度が最も速かったが、誤入力を頻繁に引き起こすことが示された。iGrasp[2] は、タブレットの持ち方に応じてソフトウェアキーボードの配置や表示位置を自動で提供するシステムである。持ち方によって好まれるソフトウェアキーボードの配置および表示位置が異なることを示し、iGrasp が入力速度と使いやすさを向上させたことを示した。

### 3 実験 1：ポインティング性能

タッチパネル端末における片手親指特性を詳しく調査するため、およびキーボード位置として最適な領域を探るため、2つの実験を行った。

実験 1-A は、どれだけ速く正確にターゲットをポインティングできるかを、実験 1-B は、タッチすることが可能な端末画面領域を調査する実験である。これら 2つの実験の違いは把持姿勢の条件のみである。実験 1-A では、ターゲット位置に応じて、タッチしやすいように把持姿勢を変えることを被験者に推奨した。実験 1-B では、把持姿勢を出来る限り固定するよう指示した。もし実験中に持ち方がずれてしまった場合、セッションを試行しなおすこととした。被験者は、右手親指の第一および第二関節のみ動かすことが可能であり、親指の付け根を端末に常時接着させて実験を行った。

#### 3.1 被験者

大学生・大学院生 12 名（男性 9 名、女性 3 名、年齢 21-24）を被験者とした。すべての被験者が、日常的にタッチパネル端末を使用し、右手によって操作していた。また、利用歴は、1.5~72 ヶ月、平均 24.4 ヶ月であった。

#### 3.2 実験機器

実験には、Android 端末 (LG Electronics Optimus G L-01E, 端末サイズ: 高さ 137mm × 幅 69mm × 厚さ 9.6mm, 画面サイズ: 4.7 インチ (高さ 103.6mm × 幅 58.3mm), 解像度: 720 × 1280 ピクセル, OS: Android 4.1.2) を用いた。

#### 3.3 実験手順

被験者に椅子に座り、端末を右手で把持するよう指示した (図 1)。被験者間の実験条件を統制するために、机や身体によって支えることなく端末を持つよう指示した。また、ターゲットを出来る限り正確にタップするよう教示した。親指が届かないターゲットが提示された場合、出来る限りターゲットの近くをタップするよう指示した。



図 1. 実験 1 の様子

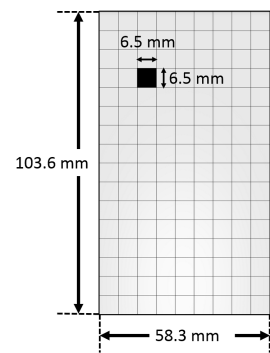


図 2. 端末画面に提示されるターゲット

ターゲットは、図 2 のように端末画面上に表示される。被験者がターゲットにタッチした後、チャタリング防止のため、新しいターゲットは 0.2 秒後に表示される。ターゲットは、9 × 16 の格子のセルで、長さ 6.5 mm, 80 ピクセルの正方形である。水平および垂直方向の性能を同様に調査するため、ターゲットが正方形になるよう、端末画面を 9 × 16 の格子に分割した。それぞれの実験において、被験者は 5 セッション行った。それぞれのセッションでは、すべてのターゲットがランダムに 1 回ずつ提示された。したがって、被験者には 1440 回 (5 セッション × (16 × 9) セル × 2 条件) ターゲットをタッチしてもらった。セッション間には 1 分以上の休憩を取ってもらった。2つの実験の所要時間は、一人当たり 45~55 分であった。

#### 3.4 実験結果と考察

実験 1 におけるポインティング精度および時間の結果を図 3, 4 に示す。これらは、[3, 12] のように、ポインティング性能を調査した先行研究と同様の結果を示した。実験 1-A の結果から、端末画面中央付近のポインティング精度が高く、ポインティング時間が短いことがわかる。実験 1-B の結果から、伸ばした親指が描く弧上の領域におけるポインティング精度が高く、ポインティング時間が短いことがわかる。これらの結果から、把持姿勢の条件によらず、親指を自然に伸ばして届く領域が高いポインティング性能を示すことがわかった。また、実験 1-A のにおける平均ポインティング時間が 764.7 ms, 実験 1-B では 801.1 ms となり、実験 1-B、即ち把持姿勢を固定した条件の方がポインティング時間が長い結果となったが、これは親指を伸ばすまたは曲げる動作の方が、端末の持ち替えより遅いことを示唆している。従って、端末の持ち替えが発生しないキーボードほど、入力速度が速くなると考えられる。

さらにこれらのデータを用いて、キーボードとして最適な領域を探るための分析を行った。具体的には、キーボードを配置することが可能な領域間のポインティング性能を比較することにより、最適な領

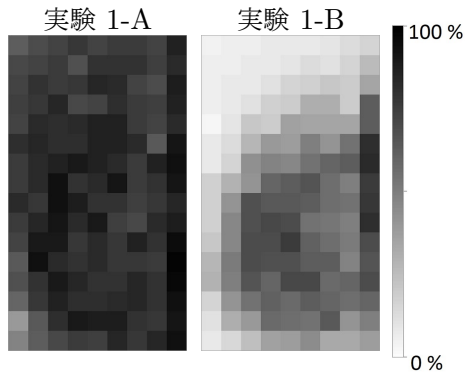


図 3. 実験 1 の結果：ポインティング精度

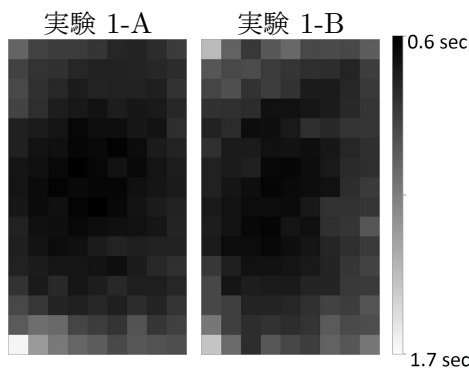


図 4. 実験 1 の結果：ポインティング時間

域を決定する。まず、図 5 の領域ごとに平均ポインティング精度および時間を計算した。この領域の大きさは、本実験において使用した端末に搭載されていた QWERTY キーボードと同程度とした。横長の領域の大きさは  $9 \times 6$  セル ( $58.5 \text{ mm} \times 39.0 \text{ mm}$ ) であり、縦長の領域の大きさは  $6 \times 9$  セル ( $39.0 \text{ mm} \times 58.5 \text{ mm}$ ) である。搭載されていた QWERTY キーボードの大きさは  $58.3 \text{ mm} \times 38.9 \text{ mm}$  であった。合計 43 種類の領域が考えられ、横長の領域が 11 種類 ( $\text{ID} = 0, \dots, 10$ )、縦長の領域が 32 種類 ( $\text{ID} = 11, \dots, 42$ ) である。

実験 1-A と 1-B におけるすべての領域のポインティング性能を図 6, 7 に示す。これらの図におい

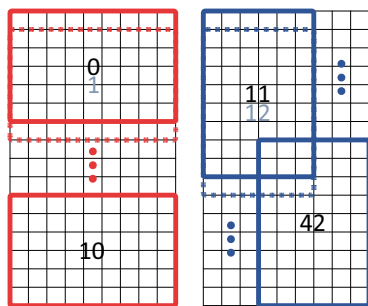


図 5. キーボード領域

て、赤と青の点はそれぞれ横長と縦長領域を表す。これらの図から、赤い点に比べ青い点が比較的グラフの右下に位置していることがわかる。さらに、全体的に実験 1-A の方が 1-B より良い性能を示していることがわかる。これらの結果は、1) 縦長領域のほうが横長領域より高い性能を示すこと、2) 把持姿勢を固定しない条件のほうが固定する条件より高い性能を示すこと、の 2 つを示唆している。

ポインティング精度および時間の両方を考慮してそれぞれの領域を評価するために、我々は以下のコスト関数を用いた。

$$\text{Cost}(P, T) = NT(1 + (1/P - 1)M)$$

この関数におけるコストとは、その領域にキーボードを配置したときに、100 字の入力にかかる時間を表す。 $P$  はその領域のポインティング精度、 $T$  はポインティング時間の平均である。 $N$  は文字列を入力するのに必要なタイプ数を表す定数である。また、誤入力の損失を表すため、訂正に必要なタイプ数のパラメータ  $M$  を導入した。コストが低い領域ほど文字入力に適している。

$M = 1$ ,  $N = 100$  としてすべての領域のコストを計算した結果を図 8, 9 に示す。従来のキーボードが配置されている領域 (領域 10) は比較的ポインティング性能が低い結果となった。我々は、実験 1-A において最もコストが低かった領域 23 ( $\text{Cost} = 80.5$ ) をキーボード領域として用いることとした。

#### 4 QAZ キーボード

実験 1 の結果から縦型 QWERTY キーボードである QAZ キーボードを設計し、Android アプリケーションとして実装した (図 10)。

**QWERTY 配列** 一般的に使用しているキーボード配列である QWERTY 配列を採用した。

**縦長領域** 高いポインティング性能を示す領域は、キーボードとしても高い性能を出す領域であると考えた。実験 1 より、横長領域ではなく最もコストが低かった縦長領域 23 に我々は QWERTY キーボードを配置した。

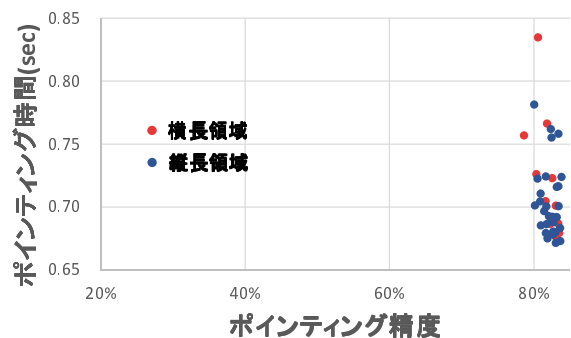


図 6. 実験 1-A における各領域のポインティング性能

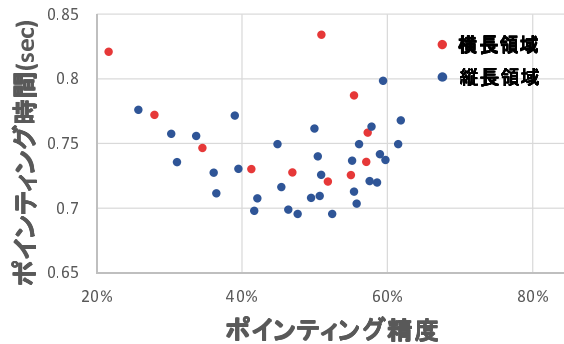


図 7. 実験 1-B における各領域のポインティング性能

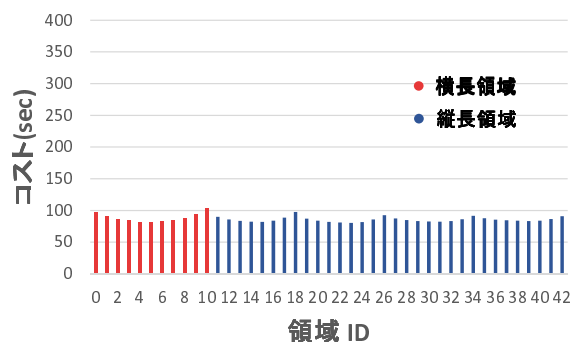


図 8. 実験 1-A における各領域のコスト

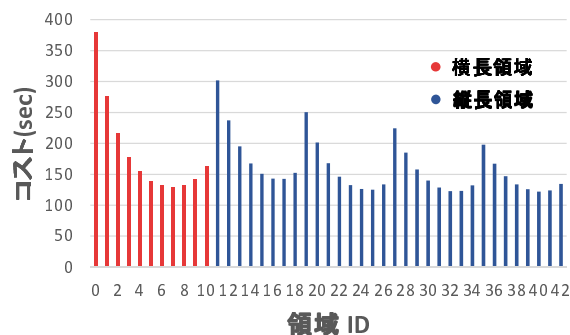


図 9. 実験 1-B における各領域のコスト

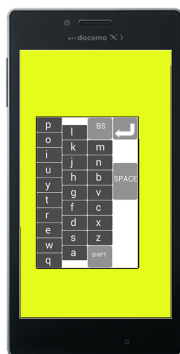


図 10. QAZ

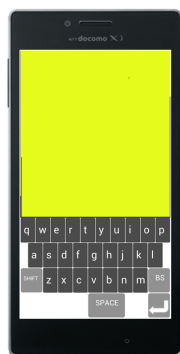


図 11. QWERTY

## 5 実験 2: 評価

QAZ キーボードと QWERTY キーボードの性能を比較する実験を行った。

大学生・大学院生 4 名（男性 4 名，年齢 22-24）を被験者（P1～P4）とした。すべての被験者が，日常的にタッチパネル端末を使用し，右手で操作していた。利用歴は，22～43 ヶ月，平均 31.5 ヶ月であった。タッチパネル端末における文字入力には，日常的に 1 人は QWERTY キーボードを使用し，2 人はフリック入力を使用し，もう 1 人は両方を併用していた。各被験者には，1 時間につき 820 円の謝礼を渡した。また，実験 1 と同様の端末を用いた。

まず被験者に実験の目的を説明した。実験用の文字セットとして，MacKenzie ら [9] が提供している 500 フレーズの文字セットからランダムに用いた。フレーズの長さは 16～43 文字，平均 28.61 文字である。これらのフレーズは小文字のみであり，句読点は含まれていない。被験者はまずトレーニングタスクとして 5 フレーズの入力を行った。その後，以下に示すような 2 つのパートに分けて評価を行った。

### パート I

パート I は，QAZ キーボードの基本性能を測定するために，文字入力システムの先行研究 [10, 16, 13, 4] と同様の長期実験を行った。10 セッションから成り，被験者は 1 日に 2 セッションまで行うことを可能とした。また，セッション間を 2 日以上空けてはならないこととした。1 セッションは 12 ブロックに分けられ，1 ブロックは 5 フレーズから成る。被験者には利き手で端末を把持し，その手の親指のみを用いて入力を行ってもらった。被験者にはブロックやセッション間に自由に休憩を取ってもらった。さらに，被験者間の実験条件を統制するために，机や身体によって支えることなく端末を把持することを指示した。

### パート II

パート I の後，QAZ キーボードと QWERTY キーボード (図 11) の性能を比較するためにパート II の実験を行った。各キーボードごとに 1 セッションずつ，計 2 セッションから成る。セッション 11 では QAZ キーボードを，セッション 12 では QWERTY キーボードを用いて行った。実験条件を統制するために，両セッションを同日に行った。キー配列，キーサイズ，形は両キーボードとも同様であり，キーとキーボードの向きのみが異なる。パート II ではパート I と同様の文字セットを用いたが，学習効果を抑制するために，両セッションにおいて異なるフレーズを用いた。また，両セッションとも，被験者には利き手で端末を把持し，その手の親指のみを用いて入力を行ってもらった。



QAZ キーボード：タッチパネル端末向け縦型 QWERTY キーボード

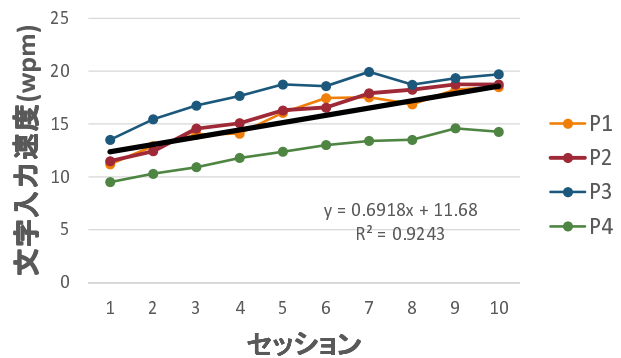
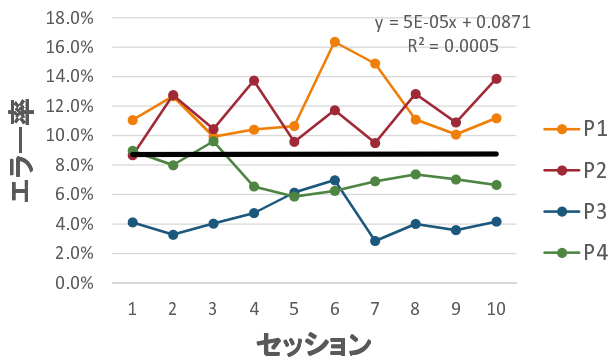


図 12. 実験 2 パート I の結果

それぞれのセッションの所要時間は20-35分であった．すべてのセッションが終了した後、アンケートに答えてもらった．

## 6 実験結果と考察

### 6.1 パート I - 基本性能

パート I 全体のエラー率は8.7% (図 12 左) であった．エラー率はセッションを通してわずかに上昇した ( $R^2 = .0005$ )．最も低かったエラー率は P3 のセッション 7 における 2.9% であった．

パート I における平均文字入力速度を図 12 右に示す．セッション 1 では 11.4 wpm ( $SD = 1.4$ )，パート I の終了時には 17.8 wpm ( $SD = 2.1$ ) となり、56% 上昇した．図 12 における黒線は回帰直線である ( $R^2 = .9243$ )．最高速度は P3 のセッション 7 における 19.9 wpm であった．

P1 と P2 は、P3 と P4 に比べて高いエラー率を記録している一方で、入力速度が速い傾向にある．これは、P1 と P2 が精度よりも速度を重視して入力を行ったためと考えられる．また、P4 は入力速度が遅い傾向にある．これは速度よりも精度を重視した結果であると考えられる．P3 のエラー率はセッション 5、6 を除いて他の被験者より低く、文字入力速度は全てのセッションにおいて他の被験者より速かった．アンケートにおいて P3 は、QAZ キーボードのキーサイズの方が、QWERTY キーボードより大きく感じたと述べていた．これは、P3 にとって最適なキーボードであったため、親指を動かしやすかったと考えられる．

### 6.2 パート II - QWERTY キーボードとの比較

パート II におけるエラー率と平均文字入力速度を図 13 に示す．平均エラー率は、QAZ キーボードと QWERTY キーボードがそれぞれ 9.09% ( $SD = 0.017$ )、13.1% ( $SD = 0.015$ ) であった． $t$  検定を行ったところ、QAZ キーボードのエラー率が QWERTY キーボードに比べて有意に小さい結果となった ( $t_{11} = 6.046, p = .000 < .01$ )．また、平均文字入力速度はそれぞれ 18.2 wpm ( $SD = 0.52$ )、

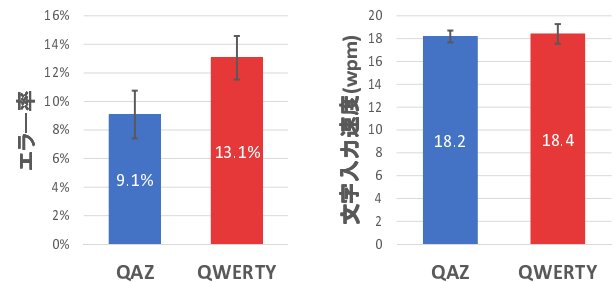


図 13. 実験 2 パート II における両キーボードのエラー率と平均文字入力速度

18.4 wpm ( $SD = 0.87$ ) であった． $t$  検定を行ったところ、これらのセッション間に有意差は認められなかった ( $t_{11} = .728, p = .482 > .01$ )．これらの結果は、QAZ キーボードの方が優れていることを示唆している．

## 7 議論

アンケートによると、3 人の被験者 (P2, P3, P4) は、違和感が無かったと述べ、2 人の被験者 (P1, P4) は指の負担が少なかったと述べていた．しかし、2 人の被験者 (P2, P4) は QAZ キーボードの位置を端末画面下側に少し移動させて欲しいと述べていた．この 2 人の QAZ キーボードを用いた文字入力速度は、QWERTY キーボードよりも遅かった．この結果は、ユーザによって最適なキーボード位置が異なることを示唆している．

現在、コスト関数の計算に用いているパラメータは、全被験者の結果を平均したものである．しかし、実験 2 の結果から性能および使用感はユーザによって異なることが判明したため、ユーザ特有のパラメータを加えるという改善をコスト関数に施すことを考えている．

QAZ キーボードは端末画面中央付近に配置されているため、画面のコンテンツを遮蔽している．今後は、遮蔽による影響を抑えるために、端末画面右端に配置、キーボードを半透明化する等の工夫によって性能がどう変わるかを検証する．

キーの向きによって、QAZ キーボードの学習コ

ストが変化すると考えられる。本稿にて示した QAZ キーボードのキーはユーザ側に向いている。しかし、これは本来の QWERTY キーボードとは外観が異なるため、学習コストを大きくしている可能性がある。

また、本稿にて述べた QAZ キーボードは右手用であるため、左手用の QAZ キーボードを設計する際は、キーボード位置およびその向きを考える必要がある。キーボード位置に関しては、左右の手の動作特性が線対称であると考え、本研究にて採用した領域 23 と線対称の位置にある領域 31 を採用する。キーボードの向きに関しては調査が必要である。

今回は実験 2 において、実験負荷を軽減させるために QWERTY キーボードのトレーニングを行わなかったが、被験者間の経験が異なる結果となった。これが実験結果に何らかの影響を及ぼしている可能性があるため、今後は同量のトレーニングを課し、実験の統制を取る。また、キーの形状が、両キーボードで縦長横長と異なることも性能に影響している可能性がある。どの要因がどれだけ性能に影響を及ぼすかを、今後実験にて検証する必要がある。

## 8 まとめと今後の課題

本稿では、タッチパネル端末向けの縦型 QWERTY キーボード、QAZ キーボードを示した。Android デバイス上にて QAZ キーボードを実装した。4 人の被験者を対象とした長期評価実験によって基本性能を測定した。その結果、平均エラー率は 9.1%、平均入力速度は 18.2wpm であった。QWERTY キーボードとの比較実験を行ったところ、QAZ キーボードのほうが高い性能を示した。また、QWERTY キーボードに比べ、親指に負担をかけずに、高精度に入力できることを示した。その一方、実験によって、ユーザによって最適なキーボード位置が異なることが判明した。今後は、QAZ キーボードの性能を向上させている要因を究明する。また、キーボード位置を定めるコスト関数を改良する。

## 参考文献

- [1] S. Boring, D. Ledo, X. A. Chen, N. Marquardt, A. Tang, and S. Greenberg. The Fat Thumb: Using the Thumb's Contact Size for Single-handed Mobile Interaction. *MobileHCI '12*, pp. 207–208.
- [2] L.-P. Cheng, H.-S. Liang, C.-Y. Wu, and M. Y. Chen. iGrasp: Grasp-based Adaptive Keyboard for Mobile Devices. *CHI '13*, pp. 3037–3046.
- [3] N. Henze, E. Rukzio, and S. Boll. 100,000,000 Taps: Analysis and Improvement of Touch Performance in the Large. *MobileHCI '11*, pp. 133–142.
- [4] P. Isokoski and R. Raisamo. Device Independent Text Input: A Rationale and an Example. *AVI '00*, pp. 76–83.
- [5] A. K. Karlson and B. B. Bederson. Understanding Single-handed Mobile Device Interaction. Technical report, Department of Computer Science, University of Maryland, 2006.
- [6] A. K. Karlson and B. B. Bederson. One-handed Touchscreen Input for Legacy Applications. *CHI '08*, pp. 1399–1408.
- [7] S. Kim, J. Yu, and G. Lee. Interaction Techniques for Unreachable Objects on the Touchscreen. *OzCHI '12*, pp. 295–298.
- [8] G. Kimioka, B. Shizuki, and J. Tanaka. Niboshi for Slate Devices: A Japanese Input Method Using Multi-touch for Slate Devices. *HCI International 2011*, pp. 81–89.
- [9] I. S. MacKenzie and R. W. Soukoreff. Phrase Sets for Evaluating Text Entry Techniques. *CHI EA '03*, pp. 754–755.
- [10] I. S. MacKenzie, R. W. Soukoreff, and J. Helga. 1 Thumb, 4 Buttons, 20 Words Per Minute: Design and Evaluation of H4-writer. *UIST '11*, pp. 471–480.
- [11] I. S. MacKenzie and S. X. Zhang. The Design and Evaluation of a High-performance Soft Keyboard. *CHI '99*, pp. 25–31.
- [12] Y. S. Park and S. H. Han. Touch Key Design for One-handed Thumb Interaction with a Mobile Phone: Effects of Touch Key Size and Touch Key Location. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1(40):68–76, 2010.
- [13] D. Sato, B. Shizuki, M. Miura, and J. Tanaka. Menu-Selection-Based Japanese Input Method with Consonants for Pen-Based Computers. *APCHI '04*, pp. 399–408.
- [14] M. B. Trudeau, J. G. Young, D. L. Jindrich, and J. T. Dennerlein. Thumb Motor Performance Aaries with Thumb and Wrist Posture During Single-handed Mobile Phone Use. *Journal of Biomechanics*, 45(14):2349–2354, 2012.
- [15] Y. Wang, C. Yu, J. Liu, and Y. Shi. Understanding Performance of Eyes-free, Absolute Position Control on Touchable Mobile Phones. *MobileHCI '13*, pp. 79–88.
- [16] J. Wobbrock, B. Myers, and B. Rothrock. Few-key Text Entry Revisited: Mnemonic Gestures on Four Keys. *CHI '06*, pp. 489–492.
- [17] N.-H. Yu, D.-Y. Huang, J.-J. Hsu, and Y.-P. Hung. Rapid Selection of Hard-to-access Targets by Thumb on Mobile Touch-screens. *MobileHCI '13*, pp. 400–403.
- [18] S. Zhai, M. Hunter, and B. A. Smith. The Metropolis Keyboard - an Exploration of Quantitative Techniques for Virtual Keyboard Design. *UIST '00*, pp. 119–128.
- [19] 高濱 健児, 郷 健太郎. 親指の往復運動に基づく小型タッチ画面端末向けソフトウェアキーボード. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, 12(3):269–275, 2010.
- [20] 中川 尊雄, 上野 秀剛. 携帯端末におけるソフトウェアキーボードの表示位置に着目した使いやすさの評価. *シンポジウムモバイル研究論文集*, pp. 3–8, 2012.