

フリックかな入力における注視情報を用いた 入力速度と入力精度の分析

横山諒† 加藤恒夫† 山本誠一†

概要：フリック式入力は4×5のキーと4方向のフリックを組み合わせた入力手法である。その入力の手軽さから若い世代を中心に広く普及している。しかし、慣れている人でも入力速度を測定すると約2倍の個人差が生じることがわかった。そこで本研究では、フリックかな入力における入力効率の個人差について、特に視線行動に着目して、アイトラッカーを装着してフリック入力時のデータを収集し、分析を行った。その結果、入力速度は指を離してから次のキーを押すまでの時間が強く影響を与えることが分かった。また、キーボードを中心に見ている場合でも入力速度の高い人がいたことから、フリック式入力はハードウェアキーボードと異なりタッチタイピングを必ずしも必要としないことが分かった。そして、キーボードを注視している割合が高い人ほど入力精度が高くなる可能性が示唆された。

キーワード：ソフトウェアキーボード、フリック式入力、視線追跡

1. はじめに

朝夕の通勤電車で、スマートフォン上で上下左右にせわしなく指を走らせ、テンポよくテキストチャットを楽しむ若者を見かける。彼らは器用に指を操り、平均的な大人や高齢者よりもずっと速くテキストを入力できていると見られる。スマートフォン上で普及したフリック文字入力はタッチスクリーンの操作特性を活かした優れたテキスト入力手法であるが、個人による入力効率の違いは何によって生み出されるのであろうか？

様々な効率的なテキスト入力方式が提案されている一方、入力効率の個人差に着目した研究報告は多くない。これは、テキスト入力が手指の運動系の制御、記憶、習熟、その他の行動認知能力が絡む複雑な操作であり、要因分析が容易でないことと関係していると考えられる。個人差に着目した先行研究として、AllenらはiPhone発売時にソフトウェアQWERTYキーボードと、それまでのテンキーとQWERTYのハードウェアキーボードの入力効率を比較している[1]。文字入力誤り率はソフトウェアキーボードの方が高いが、入力速度はユーザが普段利用している入力方式に依存する他、iPhoneの使用歴によっても異なった。Armstrongらはタブレットの文字入力方式として、ソフトウェアQWERTYキーボード、ジェスチャキーボードと同サイズのハードウェアキーボードを比較している[2]。文字入力速度はハードウェアキーボードが他のソフトウェアキーボードよりも著しく優れていたが、文字入力誤り率では全てのキーボードにおいて統計的な有意差がなかった。Feitらは、PCのハードウェアキーボードにおいて実際のユーザのタイピングを分析するために、タイピング中の手指の動きと視線を記録し、分析している[3]。ここでは、キーボードの視認時間が長い人ほど入力速度が低下するという結果が提示されている。また、Reyalらはソフトウェア

QWERTYキーボードとジェスチャキーボードの入力を、ラボ内の実験と実利用との観点での比較を行っている[4]。

フリック文字入力においては、ユーザはタッチ位置とフリック方向を正しく選択し、かな漢字変換候補から正しい候補を選択し、入力したテキストを確認するという複雑なタスクを遂行している。ハードウェアキーボードのような触覚的なフィードバックはないが、ソフトウェアQWERTYキーボードと同様にタッチしたキーの色が瞬間的に変化し、さらにタッチしたキーを中心にフリック方向と入力文字の対応を示すフリックガイドが表示される。目標のキー以外を押すとキーの色の変化とフリックガイドの表示位置が異なる箇所に現れる。これらを視覚的フィードバックとして活用していると考えられる。

そこで、本研究ではスマートフォンのフリックかな入力における個人特性について、特に視線行動に着目し、文字入力中の視線を眼鏡型アイトラッカーにより記録するとともに、タッチの情報を詳細に記録し、個人毎の分析を行った。また、travel distance（指を動かす距離）に関わるフリック移動時間、visual scan time（次に押すキーを見つけるまでの時間）に関わるタッチ間移動時間を計測し、入力速度、入力精度との関係性を調べた。

2. フリックかな入力実験

2.1 実験協力者

本実験では、22～23歳の大学生18名を実験協力者とした。フリック式入力の平均利用年数は5.1年であった。男性は16名、女性は2名であった。また、左手打ちが3名、右手打ちが8名、両手打ちが7名であった。5人目から視線情報を取得したため、視線情報を取得できた人数は14名であった。

2.2 実験環境

実験は静かな室内で行われた。文字入力の端末にはGalaxy S4（縦137mm×横70mm×厚み8mm）を用いた。キーボードには日本語入力システムのOpenWnn[5]を用いた。

† 同志社大学 大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering,
Doshisha University

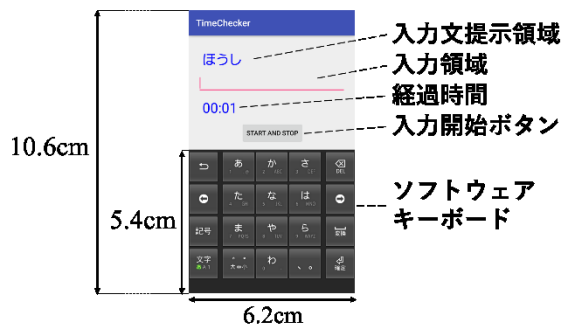


図1 実験画面

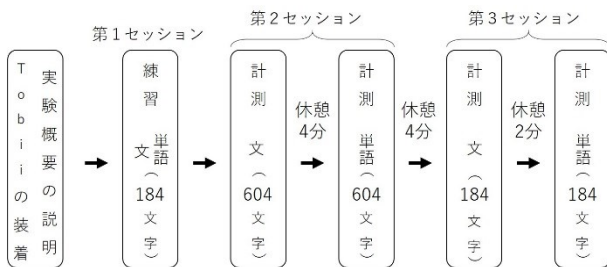


図2 実験の構成

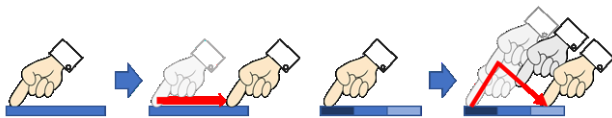


図3 フリック移動時間とタッチ間移動時間

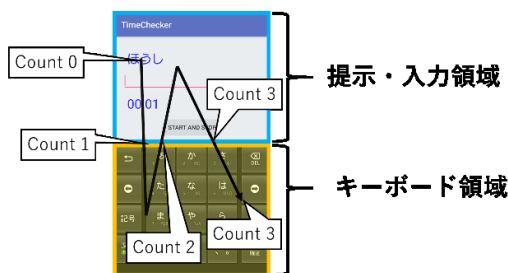


図4 提示・入力領域とキーボード領域

OpenWnnにはフリック式入力を追加で実装し、文字入力時の入力キー、入力座標、入力時間や入力文字などを記録できるようにした。また、実験協力者に入力してもらった文は図1のアプリケーション上の入力文提示領域に表示した。視線情報を取得するために視線追跡装置の Tobii Pro Glasses2[6]を実験協力者に装着してもらった。Tobii Pro Glasses2は眼鏡型のウェアラブルアイトラッカーで45gと軽量である。サンプリングレートは50Hzである。精度は60cm先を見る場合、直径1cm以内の誤差とされている。

2.3 実験の手順

実験協力者には椅子に座って文字を入力してもらった。入力時の姿勢については特に指定しておらず、普段どおりに入力するように伝えた。実験協力者には課題として、図1の入力文提示領域に提示された入力文を入力領域に入力してもらった。入力開始ボタンを押すと計測が開始されて経過時間が表示される。提示された文を入力後、確定ボタンを押すと次の入力文が提示される。ただし、提示された

入力文と異なる文を入力した場合は次の入力文が提示されないため、実験協力者は入力した文を修正する必要があった。全ての入力を終わると終了画面が表示される。提示された文を書き出す課題にすることで自発的に文を考える時間を最小限にした。

図2は実験の構成である。実験では文を提示した場合と単語を提示した場合で入力速度に差が出るかを検証するため、3つのセッションに分けて行った。実験概要の説明と Tobii Pro Glasses2の装着後、第1セッションでは文と単語が混合した入力文184文字を入力してもらい、計測の流れを学ぶことを目的とした。第2セッションでは文と単語を604文字ずつ入力してもらい、キーボードに慣れることを目的とした。第3セッションでは文と単語を184文字ずつ入力してもらい、文と単語のそれぞれにおける入力速度を得ることを目的とした。それぞれの計測の間には4分、4分、2分の休憩を挟んだ。実験順序の影響を省くために文を先に入力する人と単語を先に入力する人に均等に分けた。

2.4 実験で使用した入力文

本実験で使用した入力テキストは2種類である。1つは2~5文字の単語で構成しており、もう1つは6~22文字の文で構成した。第1セッションでは6単語と2文、第2セッションでは174単語と40文、第3セッションでは62単語と16文を入力してもらった。総入力文字数は1576文字であった。また、入力テキストでは各キーを入力する回数の偏りを小さくするために全体で32個のパングラム文セットで構成した。パングラムとは濁点・半濁点・小文字を除いたひらがな46文字をそれぞれ1回以上使用したものとした。そのため、1文字に対して32回以上入力した。

2.5 評価指標

客観評価指標として、入力速度は1分間当たりの入力文字数(CPM: Characters Per Minute)で表す。入力精度は1文字当たりのエラー率(EPC: Error Per Character)で表す。EPCは誤って入力した文字数を総入力文字数で割って求めた。

入力速度との関係性を調べるために図3のようにフリック移動時間とタッチ間移動時間を求めた。フリック移動時間とはキーを押してから離すまでのフリックに要した平均時間である。タッチ間移動時間とはキーを離してから次のキーを押すまでに要した平均時間である。

実験協力者毎のタッチ位置のばらつきを調べるため、実験協力者毎にタッチ位置の標準偏差 s_p を式(1)のように求めた。 s_k は13種類の各キーの標準偏差であり、式(2)のように平均二乗誤差(RMSE: Root Mean Square Error)を用いて求めた。

$$s_p = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s_k \quad (1)$$

$$s_k = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \{(x_{ki} - \bar{x}_k)^2 + (y_{ki} - \bar{y}_k)^2\}} \quad (2)$$

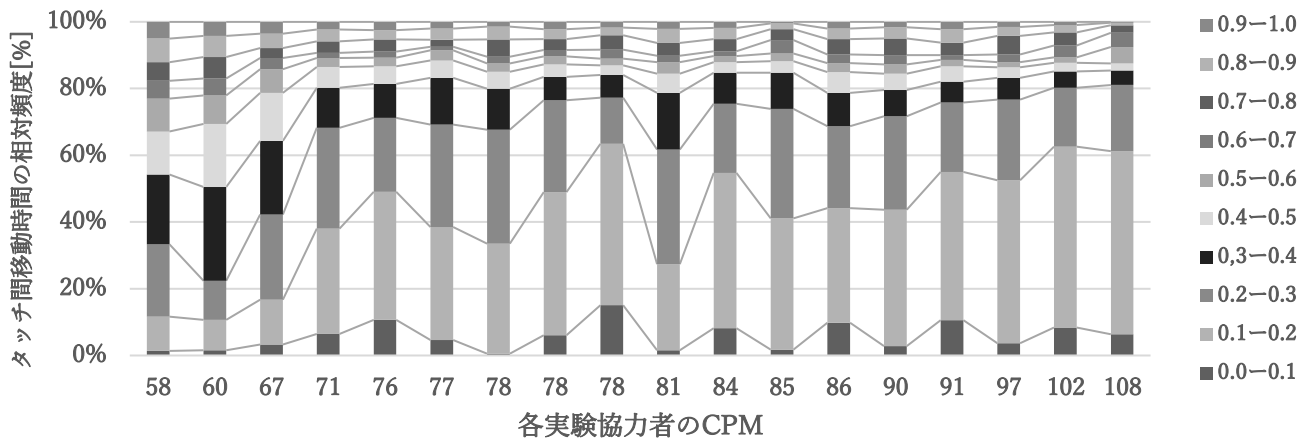


図8 実験協力者ごとのタッチ間移動時間の相対頻度分布. 下から100ms刻みで占有割合を積み重ねている

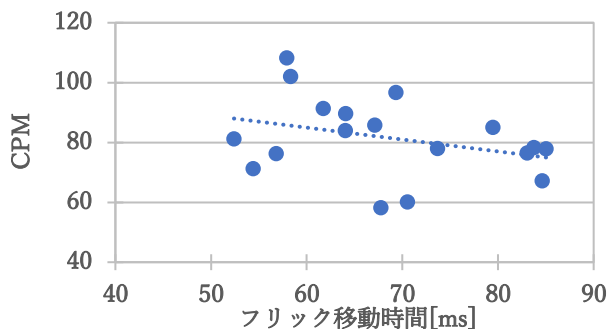


図5 CPM とフリック移動時間 ($r = -0.32$)

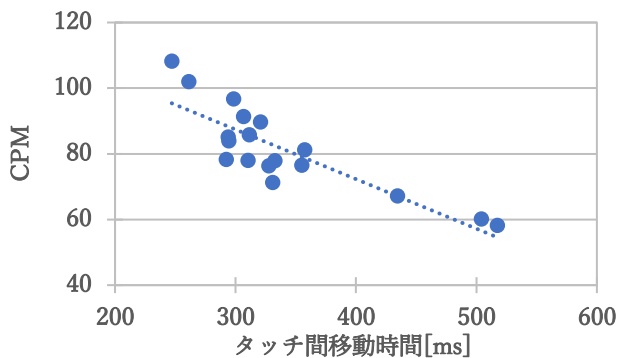


図6 CPM とタッチ間移動時間 ($r = -0.85$)

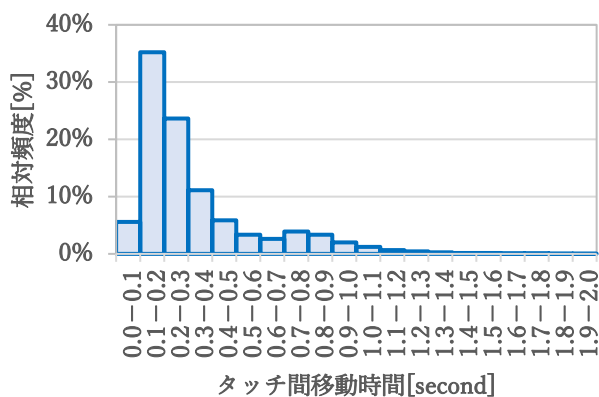


図7 タッチ間移動時間の相対頻度分布

p と k と i は, それぞれ p 番目の実験協力者の k 番目の入力キーの i 番目のタッチを表している. 本論文の入力キーの対象は, あ〜わ, 濁点, 削除, 確定の13個のキーである. x_{ki} と y_{ki} は各キーの xy 方向の入力座標であり, \bar{x}_k と \bar{y}_k は実験協力者毎の各キーの重心の座標である.

入力速度・入力精度と視線行動との関係性を調べるためにキーボード注視率 [%], 領域間横断回数 [回], 視線移動距離 [pixel/minute] を求めた. キーボード注視率は図4の画面上を提示・入力領域とキーボード領域の2つの領域に分割したとき, 計測時間中にキーボード領域を注視した時間の割合とした. 領域間横断回数は実験協力者の視線が提示・入力領域とキーボードを横断した回数とした. また, 1分間あたりの領域間横断回数 [回/minute] を求めた. 視線移動距離は, 注視情報を図1の実験画面の画像データに割り当て, 画像データ上の視線の移動距離の和を入力に要した時間で割ることで1分間あたりの視線移動距離を求めた.

3. 実験結果と考察

3.1 入力速度の分析

3.1.1 入力速度と入力動作の関係分析

本論文では, 図2の第2セッションと第3セッションで得たデータをもとに集計した. 実験の結果, CPM の値は58.2 - 108.3, 平均 81.6 であった. 最も入力が遅い人と速い人では CPM の値に約2倍の差があった. 図5と図6に実験協力者ごとの CPM と平均のフリック移動時間, 実験協力者毎の CPM と平均のタッチ間移動時間の関係を示す. CPM とフリック移動時間には弱い負の相関があった ($r = -0.32$). CPM とタッチ間移動時間には強い負の相関があった ($r = -0.85$). 図7は実験協力者全員のタッチ間移動時間のヒストグラムである. 0.1-0.2秒が最も多い一方, 1.2秒以上の相対頻度は累積1%未満となった. また, 図8は実験協力者毎のタッチ間移動時間の相対頻度分布を表している. 横軸は各実験協力者の CPM である. 縦軸はタッチ間移動時間の0.1秒毎の相対頻度を表す. CPM の値が大きいほど0.1-0.2の入力割合が増え, 0.3-0.5の入力割合が減る傾向があった.

入力速度と入力動作について分析した結果, フリック式入力においてはフリック動作と比べて, キーを離してから次のキーを押すまでの時間が CPM に強く影響を与えることが分かった. また, CPM の値が高い人はキーを離してから

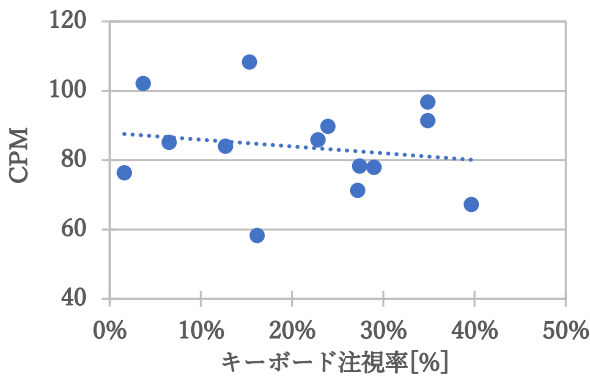


図9 キーボード注視率と CPM ($r = -0.17$)

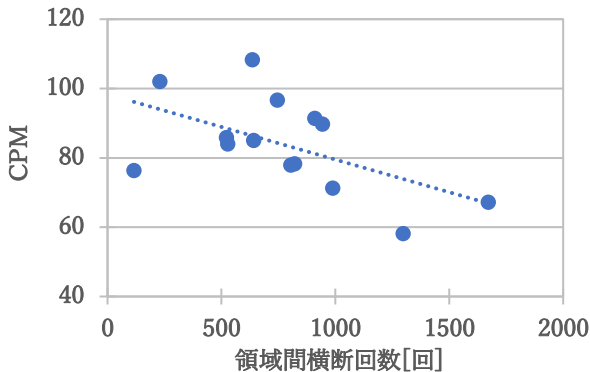


図10 領域間横断回数と CPM ($r = -0.55$)

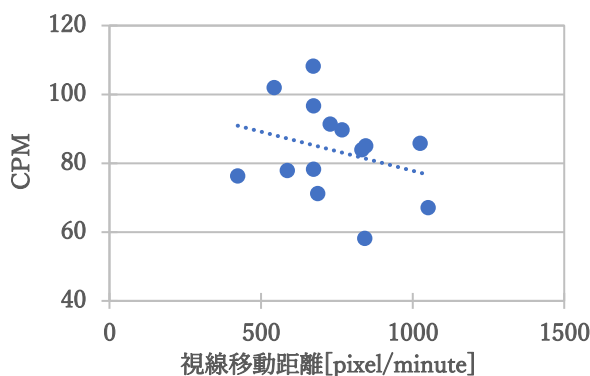


図11 視線移動距離と CPM ($r = -0.28$)

ら次のキーを押すまでの時間を短くする必要があるため、次に押すキーを判断するまでの時間 (visual scan time) が短いと考えられる。

3.1.2 入力速度と注視行動の関係分析

図9に実験協力者ごとのキーボード注視率と CPM の関係を示す。キーボード注視率の値は2 - 40%, 平均21%であった。キーボード注視率と CPM には相関がなかった ($r = -0.17$)。図10に領域間横断回数 [回] と CPM の関係を示す。両者の間には負の相関があった ($r = -0.55$)。図11に視線移動距離と CPM の関係を示す。両者の間には相関がなかった ($r = -0.28$)。

従来のハードウェアキーボードではタッチタイピングが推奨されていることからキーボード注視率が低い人ほど CPM が高い結果になると考えられたが、CPM とキーボード注視率には相関がなかった。そして、図9では CPM の値が高い人の中にキーボードを中心に見て入力する人と入

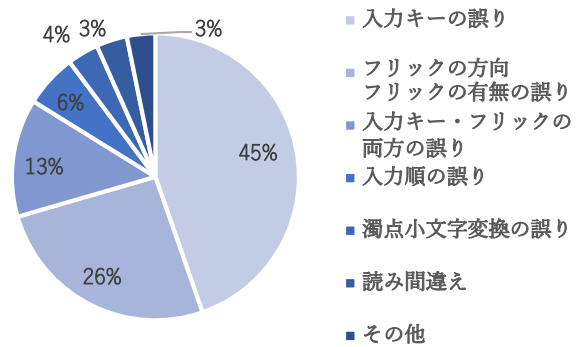


図12 誤入力の分類と相対頻度分布

力中の文を中心に見て入力する人の両者が存在した。また、CPM の値が低い人にも両者が存在した。その理由として、ハードウェアキーボードのタッチタイピングでは、入力文を常に確認してフィードバックを得ることで入力誤りに早く気づくことができるという利点があるが、ソフトウェアキーボードではキーボードからも視覚的フィードバックを得ることができるため、必ずしもタッチタイピングをしなくても高い CPM が得られることが分かった。今回の実験環境において、キーボードからの視覚的フィードバックは2つある。1つはタッチした瞬間にキーの色が瞬間的に変化することで、もう1つはタッチしたキーの上に表示されるフリックガイドである。誤ったキーをタッチした場合、入力したいキー以外のキーの色が変わり、フリックガイドが意図したキー以外の場所に表示される。これらのフィードバックから、入力誤りに気づく可能性が高い。今回の実験環境ではキーの色の変化とフリックガイドの位置のどちらでフィードバックを得ているかは両者の距離が近いと判断することが出来なかった。

入力速度と唯一相関があったのは領域間横断回数[回]であった。CPM の値が高い人は入力文を確認する回数に対して入力する文字数が多いということが分かった。しかし、1分間当たりの領域間横断回数と CPM には相関がなかった ($r = -0.22$)。そのため、CPM の値が高い人ほど少ない領域間横断回数で効率よく入力していることが分かった。

3.1.3 入力速度と入力テキストの関係分析

単語を入力する場合と文を入力する場合では入力速度が異なるかを調べた結果、第3セッションにおける単語を入力した時の CPM の値と文を入力した時の CPM の値に対して t 検定を行ったが統計的な有意差はなかった。

3.2 入力精度の分析

3.2.1 入力誤りの分類

次に入力精度の原因と視線の関係性を調べた。図12は実験協力者全員の入力誤りを OpenWnn に保存された記録から手作業で分類した結果である。その結果、入力キーの押し間違いが45%、フリック操作の誤りが26%、入力キーとフリックの両方の誤りが13%と入力キーとフリック操作の誤りが多いことが分かった。それ以外の誤りとしては、“あか”を“かあ”のように入力する順番が反転する「入

3%	24%	4%
10%	入力目標	14%
3%	25%	1%

それ以外のキー15%

図13 入力キータッチ位置の誤りの相対位置の分類と相対頻度分布



図14 フリック操作の誤りの軌跡

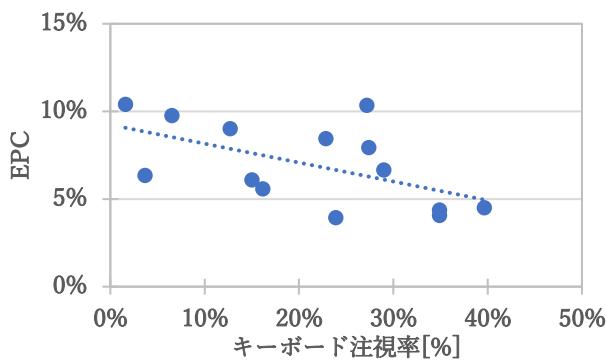


図15 キーボード注視率とEPC ($r = -0.55$)

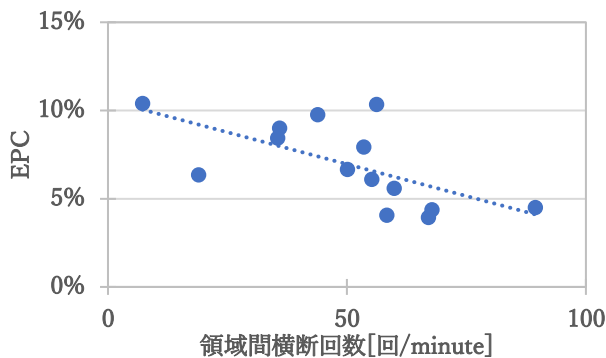


図16 1分間当たりの領域間横断回数とEPC ($r = -0.64$)

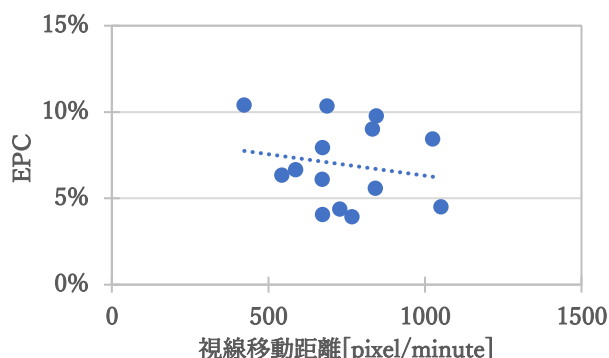


図17 視線移動距離とEPC ($r = -0.28$)

力順の誤り」が4%、濁点や小文字の変換を忘れるなどの「濁点小文字変換の誤り」が3%、提示された入力文を読み間違えて接続詞などを誤って入力する「読み間違い」が3%となった。また、「入力順の誤り」は両手打ちの人によく見られた。以上の点を踏まえて、誤りの大部分を占めていた入力キーの誤りとフリック操作の誤りをさらに調べた。

図13に入力目標に対してどの位置のキーを誤って押したかを示す。入力目標に対して隣接した上下左右方向に押し間違える割合が7割以上であり、特に上下方向に押し間違えていることが多かった。その理由として、端末に対して視線の角度と指を出す角度が異なるため、入力目標に対して上下のずれが生じているためであると考えられる。また、キーボードを見ない人においては、端末を保持することでキーの横幅は直感的に予測することができるが、縦方向に関しては予測するための触覚的なフィードバックがないため、入力誤りの回数が増えたと考えられる。

図14に誤って入力したフリックの軌跡を示す。出力する人数が多いと軌跡が分かりにくいいため、今回は無作為に選んだ4名分のみを出力した。点はタッチ開始点を表わしており、線はフリックの軌跡を表わす。また、フリック方向を誤った入力(「い」→「え」、 「ぬ」→「ね」など)に限定した。図14のフリックの軌跡から上下左右の直線状に伸びていることが分かる。このことから、フリック方向を誤って入力している場合でも入力を終えるまでは誤っていることに気づかないと推測される。フリック式入力是非常に短い時間間隔でフリック動作を求めるため、フリック方向についての記憶が混同して誤りが生じたと推測できる。

3.2.2 入力精度と視線の関係性

図15にキーボード注視率とEPCの関係を示す。両者の間には弱い負の相関があった($r = -0.55$)。図16に1分間当たりの領域間横断回数とEPCの関係を示す。両者の間には負の相関があった($r = -0.64$)。図17に視線移動距離とEPCの関係を示す。両者の間には相関がなかった($r = -0.28$)。

以上より、キーボード注視率と1分間当たりの領域間横断回数はEPCに影響を与えていると考えられる。図12の誤入力の分類で述べたように文字入力の誤りの約45%が入力キーの誤りであった。そのため、キーボードを注視する時間が長いほどキーの位置を正確に認識できるため、誤入力が減少したと考えられる。視線はEPCに影響を与えていると考えられるが、視線移動距離に関してはEPCに相関がなかった。今回の実験では実験協力者が入力テキストを考える時間を最小限にするために提示された文を書き写す課題を与えた。しかし、提示されたテキストを確認するために視線移動を頻繁に行うことで視線行動に影響を与えた可能性がある。そのため、提示するテキストを漢字で表示する、四字熟語や諺などの瞬時に理解できる入力テキストを用意するなど視線行動への影響を抑える必要がある。

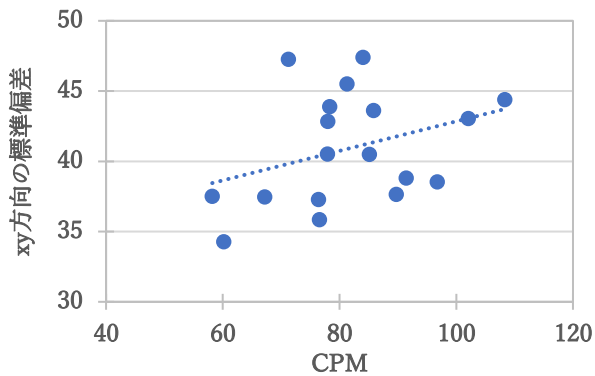


図 18 CPM と各キーの xy 方向の標準偏差 ($r = 0.35$)

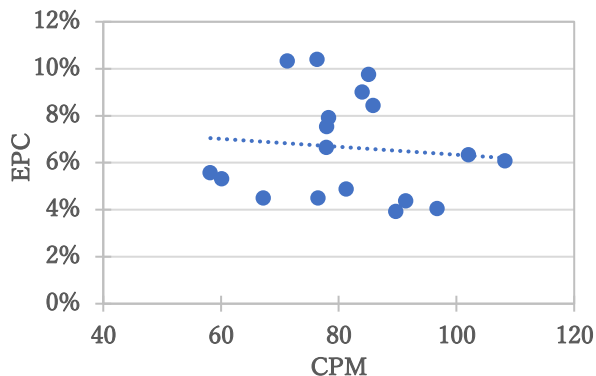


図 19 CPM と EPC ($r = -0.1$)

3.3 入力速度と入力精度の関係分析

最後に、入力速度と入力精度の関係性について調べた。図 18 は CPM と各キーの xy 方向の標準偏差、図 19 は CPM と EPC の関係を表している。それぞれ弱い正の相関 ($r = 0.35$) と相関がない ($r = -0.1$) という結果になった。ただし、どちらの図においても CPM の値が平均付近の人達において、標準偏差もしくは EPC の値が個人によってばらつきが大きい。それに対して CPM の値が低い人、また CPM の値が高い人においては近い傾向がある。このことから、入力速度は 3 つの習熟段階に分類できる可能性があると考えた。入力速度が遅い人は、各キーを丁寧に押し分けているため EPC は小さいが CPM も小さい。入力速度が平均的な人は速く入力しようとすることで入力が粗くなるため EPC が大きい人が含まれる。入力速度が速い人は入力の速さと正確性を両立できている。ただし、現状では実験協力者の人数が少なく統計的な有意な差はないため、今後人数を増やすことによって更なる検証をしていく必要がある。

4. おわりに

本論文ではフリックかな入力における個人特性と視線が文字入力に与える影響を明らかにするために 20 代の実験協力者 18 名を対象にフリックかな入力の実験を行って分析した。traveling distance (指を動かす距離) に関連するフリック移動時間は、入力速度と弱い負の相関を示し、入力速度に対してあまり影響を与えていないことが分かった。一方、visual scan time (次に押すキーを見つけるまでの時間) に関わるタッチ間移動時間は入力速度と強い負の相関があ

ったことから、visual scan time を短くすることが入力効率の向上に繋がるといえる。また、実験協力者の中にはキーボードをあまり見ないで十分に速い入力速度を実現できる人が存在した。これは 4×5 の各キーの領域が十分に大きいため、キーボードをあまり注視しなくても押し分けられるからだと考えられる。

視線情報に着目すると入力速度が速い人の中にはキーボードをよく見る人とほとんど見ない人が混在していた。このことから、ソフトウェアキーボードにおいて高速な入力に、入力文を注視するタッチタイピングは必須ではないと考えられる。その理由として、キーボードからフィードバックを得ている可能性が挙げられる。例えば、キーの境界付近で入力した際は、入力目標以外のキーの色が変わったり、フリックガイドの表示される位置が大きくなりすぎたりするため、入力誤りに気づく可能性がある。また、キーボード注視率が高く、1 分間当たりの領域間横断回数が少ない人ほど入力精度が高くなる傾向があった。これは入力誤りの約 45% がキーの押し間違えであるため、キーボードを注視する時間が長い人ほどキーの位置を正確に認識して、押し分けることで入力精度が高くなったと考えられる。

今後の課題として、さらに実験協力者を増やす必要があると考えている。今回の実験結果より、入力速度と入力精度の関係性について 3 段階の習熟過程の仮説を立てたが、統計的有意差を確認できなかった。これについては、個人の習熟過程を追跡する実験を検討している。また、今回の実験では実験協力者にテキストを書き写す作業を課した。しかし、提示されたテキストを確認するための視線移動が、測定された視線行動に影響した可能性がある。そこで、四字熟語や諺などの瞬時に理解できる入力テキストを用意するなど視線行動への影響を抑える必要がある。

参考文献

- [1] J.M.Allen, L.A.McFarlin, T.Green, An In-Depth Look into the Text Entry User Experience on the iPhone. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society*, 508–512, 2008.
- [2] P.Armstrong, B.Wilkinson, Text entry of physical and virtual keyboards on tablets and the user perception. *Proceedings of the Australian Conference on Computer Human Interaction, ACM, New York, NY, USA*, 401-405, 2016.
- [3] A.M.Feit, D.Weir, A.Oulasvirta, How We Type: Movement Strategies and Performance in Everyday Typing, *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM New York, NY, USA*, 4262–4273, 2016.
- [4] S.Reyal, S.Zhai, P.O.Kristensson, Performance and User Experience of Touchscreen and Gesture Keyboards in a Lab Setting and in the Wild. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, New York, NY, USA*, 60-71, 2015
- [5] OpenWnn
<https://android.googlesource.com/platform/packages/inputmethods/OpenWnn>
- [6] Tobii Pro Glasses2
<https://www.tobii.com/>