

手首装着型運動センサを用いた キーボードタイピング個人特徴の数値化

菅野谷知佳[†] 松下宗一郎[†]

概要：知的作業等においてキーボードは広く普及しており，様々なタイピング方法が用いられている．さらに小学校の教育案においてタイピング技術について言及されていることから未来でも使用されることが考えられる．しかしながらタイピング操作における望ましい運動については言及されていない．そこで本研究では，好ましくないタイピング運動を促す要因を調査するため，小型軽量な手首装着型の運動センサを用いてタイピング操作の個人特徴について客観的に観察する手法の検討を行った．

1. はじめに

多くの情報や紙媒体が電子化され始めている現代では，文字の入力動作は必須となっている．そこで，人間の意図を素早くかつ正確に表現するためのデバイスとしてキーボードが広く使用されている．このキーボードの仕組みとしては，100個以上のキーから正しいキーを1つだけ選択し入力する必要がある．ここで，素早く目的のキーを押す動作を習得するために些か時間を要し，特に初学者にとっては慣れない動作を要求されることとなる．一方で，2020年からは小学校の授業においてプログラミングの授業が必修になることが発表されており[1]，キーボードに初めて触れる児童も多いと考えられる．現代ではスマートフォンにおけるフリック入力や，音声入力等があるもののキーボードより早く正確に入力可能なものは存在しない．このことからキーボードはこれからも必要な入力デバイスとして使用されると考えられる．また，文部科学省は小学校卒業までに10分間に200文字以上の文字入力スキルを習得させると教育案の中で述べている[2]．このようにタイピングを行うにあたりスピードと正確さが求められていることがわかる．

しかしながらスピードや正確さが求められる一方で，タイピングにおける詳細な手法については触れられていない．このことで，人によってタイピング方法に差が生まれると考えられる．現在でも人によってタイピング方法は異なっており，他人と比較した際，必要以上に力を使用している可能性や大きく手を動かしているような状態といった非効率なタイピング方法があると考えられる．そして，人体にとって必要以上の力や姿勢による非効率な運動をくり返すことで負傷する可能性があると考えられる．Chin-Wei Luらはコンピュータ使用時の手首傾斜角とCTS(Carpal Tunnel Syndrome)のリスクに関係があると報告しており，[3][4]では，適切な姿勢を保つことや積極的なストレッチを行うことによってタイピング操作における負傷を予防できると報

告している．このようにコンピュータ操作と負傷について関係があると考えられている一方で，[5]では疫学的な視点からは質が不十分である点や，バイアスが関係している点，さらに一貫性の欠如が見られる点からコンピュータ操作と負傷における関係は示唆できないと報告している．

ここで，問題となるのはコンピュータ操作とけがについて関係があると考えられる報告はあるものの実際にコンピュータ操作について詳細に調査されていない点である．そこで，本研究ではコンピュータ操作において初学者にとってネックになるタイピング操作について注目し個人における特徴差を詳細に調査することで身体にとって効率的なタイピング操作について検討する．

2. タイピング操作特徴評価に用いるデバイス

計測方法においてはタイピング操作時に操作者への影響が少なく，かつ詳細な運動を計測できる必要がある．そこで近年の運動センサ性能の進歩によりモーショントラッキングデバイスが正確で安定していることに注目する．さらに，外部にカメラを使用せずに使用できるモーションキャプチャシステムを実現する腕時計サイズの姿勢角追跡装置[6][7]が報告されていることから，運動センサを用いることとする．また，高精度な角速度センサ手首に装着し，タイピング操作における個人特徴について報告されている[8]．ここで，本研究にて使用する腕時計型デバイスを右手に装着した際の様子を図1に示した．デバイスの重さは約30gであり，大きさは38mm×48mm×10.5mmとなっておりタイピング操作において大きく影響はしないものと考えられる．そして被験者の肘から人差し指へ向かう方向をX軸とし，それを中心としてY軸，Z軸と決定した．また，加速度3軸(±4G, 1G = 9.8m/s²)，角速度3軸(±1000dps)，磁場3軸(μT)の計9軸での運動信号を計測する運動センサが搭載されている．また，デバイス内部では重力に対す

[†] 東京工科大学大学院コンピュータサイエンス専攻
Graduate School of Computer Science, Tokyo University of Technology

る姿勢角をそれぞれの軸において出力している。ここで計測された加速度から重力成分を除去することでリニア加速度や絶対座標での姿勢角を求めることが可能である。これらの出力値は、時間積分を用いて計算されているためキーボード打鍵時に生じる瞬間的な衝撃からほとんど影響を受けないことから、タイピング操作における手首運動を評価できると考えられる。

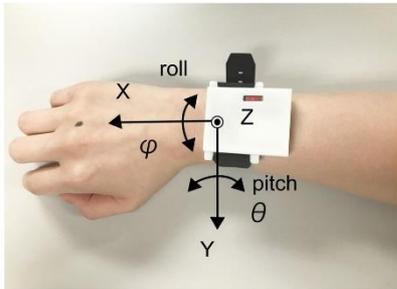


図 1 手首装着型運動センサ装着時の座標定義

3. タイピング運動特徴パラメータの検討

3.1 挨拶文を用いた実験

タイピング運動について、個人差が現れる特徴にはキーを押下する手指の力や、キーボードに対する手首姿勢角が大きく影響すると考えられる。[9]では、タイピング運動特徴を構成するものとして手首ロール姿勢角とリニア加速度であると報告している。そこで、タイピング運動特徴の計測に際し、手首姿勢角とリニア加速度について注目することとした。

実験を行うにあたり、より自然な運動を計測するため、被験者が普段タイピングを行っている環境を再現する必要があると考える。さらに被験者が打鍵しやすいテキストを用いることでより普段のタイピング特徴を計測できると考え、実験には 28 文字のアルファベットからなる日常的に使用される挨拶文を用いることとした。またこの挨拶文は、母音が全て含まれる点やキー配列に対し、対応する指が全て使用される可能性がある点から決定した。さらに、プログラミングを行ってきた操作者のタイピング特徴に注目するため、プログラミング経験がある 11 名（20-53 歳：男性 8 名、女性 3 名）を被験者とした。そして被験者は両手首に腕時計型の運動センサを装着し、パンタグラフ式のキーボードにて挨拶文を 4 回繰り返し打鍵した。

3.2 リニア加速度とロール角を用いた個人差特徴

被験者の手首に生じた力の大きさを評価するため、タイピング運動中のリニア加速度について解析を行った。図 2 は、11 人の被験者の結果を示したものである。ここで、図 2 からほとんどの被験者が y 軸方向、すなわち横方向に生じ

る加速度を多く使用していることがわかった。ここで、このタイピング特徴を Y 型と称することとする。他に、x 軸に多くリニア加速度が発生するタイピング特徴を X 型、同様に Z 型とした。そして、X 型と Z 型はそれぞれ 1 人ずつ発見されたが、右手と左手において特徴が異なっている被験者がいることも分かった。また、左手に関しては各軸についてリニア加速度の約半分の大きさを有する同様の異方性パターンが観測された。さらに、毎秒 2.5 文字から 4.3 文字の範囲にて入力スピード差があり、リニア加速度とは強い関係を示さなかった。

そしてより詳細に比較するため同じ異方性を示した中で最も特徴的であった被験者 5 と被験者 11 の手首ロール角について解析を行ったところ、平均値において有意差が見られた。被験者 2 名の平均姿勢ロール角は約 14 度の差があり、被験者 11 の方が回外側に傾いた姿勢でタイピングを行っていることがわかった。さらに、被験者 5 は手首が内側にねじれることが多く被験者 11 よりも手首に生じるストレスが大きい可能性があると考えられる。そしてロール角標準偏差については平均ロール姿勢角との相関が小さい値を示したため、平均姿勢角と手首運動の不安定さに影響を与えないことが考えられる。以上から、個人のタイピング運動において特徴が大きく異なることがわかった。

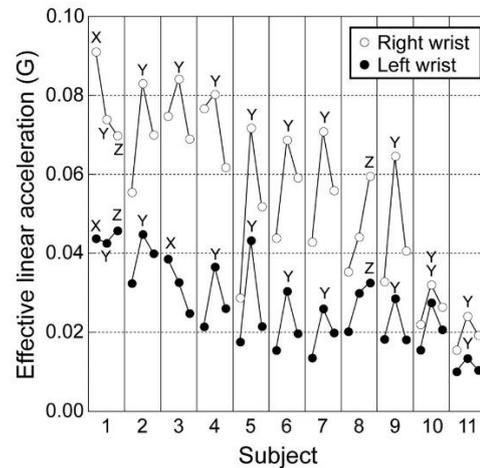


図 2 各被験者におけるリニア加速度特徴

4. キーボードによるタイピング特徴変化

4.1 アンケートによるキーボード選定

タイピング運動について個人差が大きく見られることがわかったが、道具を使用することで特徴差が変化する可能性が考えられる。近年でも用途に合わせて様々なキーボードが販売されており形状やキー入力のスウィッチ部分も異なっている。例えば、人間工学的に優れているとされるエルゴノミクスやゲームを行う際に用いられる入力遅延の少ないものやタッチが軽く感じられるもの等がある。そこで、一般

に広く使用されているキーボードから形状やスイッチ方式が異なるものを用意し被験者のキーボード嗜好についてアンケートを行うに伴い、タイピング特徴の変化について調査を行った。ここで、キーボード特徴についてバイアスがかかることを防ぐためアンケート対象者にはキーボードそれぞれの特徴を伝えないまま番号のみで選定を行った。

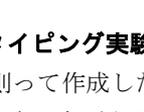
アンケートでは日常的にタイピングを行っており、3年以上キーボードに触れている被験者 12 名 (21-25 歳, 男性 8 名, 女性 4 名) に、作業を行う際に好ましいキーボードと好ましくないキーボードについて順位を質問した。そこで用意された 12 種類のキーボードから被験者の好みを参考に 5 種類選定した。そして、作業に好ましいキーボードについて回答した際 1 位に支持されたキーボードに 3 ポイント、2 位のキーボードに 2 ポイント、3 位には 1 ポイントと点数を割り当て、最終的に合計ポイントが高かったキーボードを上位のキーボードとした。また、作業に好ましくないと評価されたキーボードには 1 位に -3 ポイント、-2 ポイント、-1 ポイントを割り当て、最も点数の低かったキーボードを選出することとした。

表 1 はアンケート結果から選定された 5 つのキーボードの一覧を示したものである。まず最も評価が高かった 1 番のキーボードはノートパソコンに広く使用されているタイプである。このパンタグラフと呼ばれるキー構造はストロークが浅いことが特徴である。さらに、キーとキーの距離を示すキーピッチは今回選出した全てのキーボードが 19mm であることを基準としている。続いて評価が高かったキーボードは 4 番である。エルゴノミクスと呼ばれ、自然な姿勢にてタイピングができるように設計されている。このキーボードは従来の形状とは異なり、左右の手にあわせてキー配置が 2 つに分割されていることが大きな特徴である。次に評価が高かったキーボードは 3 番である。このキーボードはデスクトップ型のコンピュータにてよく使用されるメンブレンのキー構造が特徴である。

そして、最も好ましくないと評価されたキーボードは 5 番のキーボードである。投影型と呼ばれ、レーザーにて机に投影されたキーの映像部分に触れて入力する点が特徴である。次に好ましくないとされた 2 番のキーボードは、1 番のキーボードと同様にパンタグラフ構造ではあるもののキーとキーの間隔を指すキーピッチが 16mm と他のキーボードと比して狭いことが特徴である。

さらに、アンケート結果から被験者を 2 つのグループに分けることとした。1 番のキーボードが一番好ましいと回答した被験者グループ 5 人をグループ A、その他の被験者をグループ B とし、以上 5 つのキーボードにて実験を行うこととした。

表 1 実験に使用した各種キーボードの一覧

Number	Model Number(Brand)	
	特徴 / キーピッチ	
1	TK-FCP082BK (ELECOM)	
	パンタグラフ 19mm ピッチ	
2	SKB-SL28BK (SANWA SUPPLY)	
	パンタグラフ 16mm ピッチ	
3	TK-FDM063BK (ELECOM)	
	メンブレン 19mm ピッチ	
4	L5V-00030 (Microsoft)	
	エルゴノミクス 19mm ピッチ	
5	TYJP002 (ODB)	
	投影型 19mm ピッチ	

4.2 5種類のキーボードを用いたタイピング実験

図 3 は VDT 作業ガイドラインに則って作成した実験環境であり、キーボードをそれぞれ交換させながら実験を行った。また、実験を行うにあたり日常的なタイピング状況を再現するために被験者には自然な姿勢にてタイピングするように指示をした。実験では前章においても使用した、日常的に多用する短文をキーボード毎に 3 回繰り返してタイピングを行い、さらにこのルーティンを 2 回繰り返した。そして、被験者の手元における実験状況の録画記録を行ったが、目視の範囲では目的とした運動特徴について有意な解析を行うことは困難であった。



図 3 タイピング操作を行う周辺環境

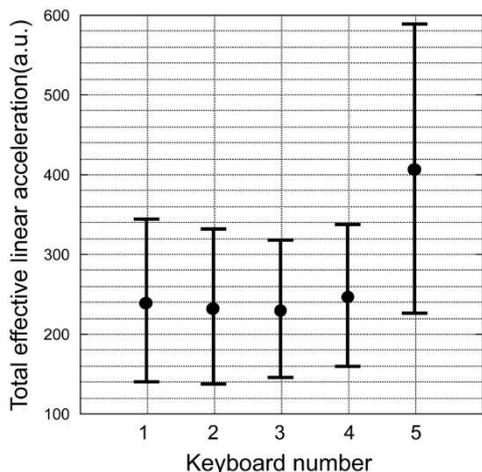


図 4 各キーボードによるリニア加速度の平均値変化

4.3 各キーボードによるリニア加速度変化

実験結果から、タイピング操作時に使用した力とロール角に注目して解析を行っていく。図4は、各キーボードによる被験者全員のタスク終了時における総合リニア加速度の平均値と標準偏差を示したものである。ここで、キーボードごとに使用されたリニア加速度が異なっていることが分かるが、顕著に違いがみられたものとしては、5番の投影型キーボードである。他のキーボードと比べて被験者がタイピング操作中に使用したリニア加速度が約1.6倍の値を示している。さらに標準偏差の大きさから被験者によって使用する力も大きく異なっており、リニア加速度のパラつきが最も大きかった。このことから5番のキーボードは使用する力の視点から様々なタイピング方法を促し非効率的なタイピング手法の習得を招く可能性のあるキーボードであったと言える。さらに、アンケート結果では最も評価の低かったキーボードであることから、必要以上にリニア加速度が生じるものに対して使いにくいと感じている可能性がある。

次に5番以外のキーボードについては大きな差は見られなかったものの、最もリニア加速度の平均値が小さかったキーボードは、3番であり、標準偏差が小さかったものは4番のキーボードであった。これらのキーボードはアンケートにて使いやすいと判断した理由として「手に馴染みやすい」と多く回答されていたことから、使用するリニア加速度が小さくなるキーボードに対して使いやすいと感じる可能性があると考えられる。

4.4 キーボード嗜好とタイピング操作特徴

次にリニア加速度に加え、ロール角における標準偏差についても注目して解析を行った。図5は全キーボードを使用した際の各被験者におけるロール角標準偏差とリニア加速度の関係を示したものである。また、被験者をグループAとグループBに分けてプロットしている。

まず、横軸に関してはロール角の標準偏差が大きければ大きい程タイピング操作時の手首の回内回外運動の幅が大きくバタついた運動をしていることを示している。このことから、タイピング操作時のロール角標準偏差が大きい値を示すにしたがって、使用する力が大きくなっていることが分かる。次にグループから分かる特徴としては、グループAは全体的にロール角標準偏差やリニア加速度が大きい位置に集中している傾向にあると言える。一方で、グループBのロール角標準偏差は分散しているものの小さい値を示しており、リニア加速度も小さい傾向があると言える。さらにグループAの被験者が1番のキーボードを支持した際の理由としては5人中4人が「普段の環境に近いため」と回答している。このことから、普段1番のキーボードのようなパンタグラフ方式を使用している人は他のキーボードを使用している人よりも必要以上に手指の力を使用しており、手首のバタつきが大きくなっていると考えられる。

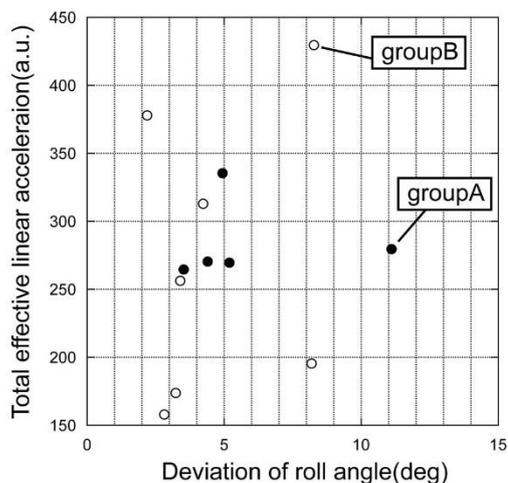


図 5 各被験者のロール角標準偏差と総合リニア加速度の関係分布図

5. 結論

本研究では、手首に装着された小型軽量の運動センサを用いてタイピング操作時における特徴や、キーボードによる特徴の変化について調査を行い、タイピング評価におけるあらたなパラメータの提案を行った。また、実験結果から得られた所見は以下の通りである。

- (1) リニア加速度を用いて、肘から指先を X 軸としたときにそれぞれの軸に対する加速度の割合から操作者を X 型 Y 型 Z 型の 3 タイプに分けることができる。
- (2) タイピング速度と生じる力について大きな関係はみえない。
- (3) タイピング操作中のリニア加速度と手首ロール角標準偏差を利用することでより詳細な操作者特徴を見出すことができる。
- (4) 作業に好ましくないキーボードにおいてリニア加速度は大きくなる傾向がみられた。
- (5) キーボードによって被験者のタイピング運動の特徴は影響を受けると考えられる。

結論として、タイピングの評価について従来のスピードやミスタイプ数だけではなく、手指の運動からも個人差の評価が可能であることを示唆した。さらに、被験者自身の特徴だけではなく、キーボードといった道具においてもタイピング操作時の特徴が変化すること可能性を示した。

6. 今後の展望

小型軽量な腕時計型の運動センサを用いてタイピング運動を計測し、リニア加速度とロール角を用いることで個人差特徴を観察できることがわかった。また、形状の異なるキーボードによってタイピング運動の特徴に変化を与える可能性を見出した。今後は、効率的なタイピングについてより詳細に調査を行い、初学者へのトレーニングや店頭にて使用できる個人に合うキーボードを教示するシステム等の開発を目指していきたいと考える。

参考文献

- [1] “文部科学省「教育の情報化に関する手引き」(案) 第四章 情報教育”(2009).
- [2] “文部科学省「小学校プログラミング教育の手引き(第二版)」”(2018).
- [3] Babski K., Crumpton L.L. 1997. The Use of Ergonomic Measures to Prevent and Control the Occurrence of Cumulative Trauma Disorders: Carpal Tunnel Syndrome and Cubital Tunnel Syndrome. In Proceedings of the 1997 16 Southern Biomedical Engineering Conference, pp.407-410.
- [4] Sonne T., Grønbaek, K. 2013. Exploring New Potentials In Preventing Unhealthy Computer Habits. In Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI'13), pp.487-492.
- [5] Chin-Wei Liu, Tien-Wen Chen, Ming-Ceng Wang, Chia-Hsin Chen, Chia-Ling Lee. 2003. RELATIONSHIP BETWEEN CARPAL TUNNEL SYNDROME AND WRIST ANGLE IN COMPUTER WORKERS. The Kaohsiung Journal of Medical Science. vol 19, no 12.
- [6] Young A.D., Ling M.J., Arvind D.K. 2007. Orient-2: A Realtime Wireless Posture Tracking System Using Local Orientation Estimation. In Proceedings of the 4th workshop on Embedded networked sensors, pp.53-57.
- [7] Young A.D., Ling M.J., Arvind D.K. 2010. Distributed Estimation of Linear Acceleration for Improved Accuracy in Wireless Inertial Motion Capture. In Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks, pp.256-267.
- [8] 菅野谷知佳, 松下宗一郎: 手首装着型運動センサを用いたタイピング操作安定度の評価, インタラクション 2018 第 21 回一般社団法人情報処理学会シンポジウム, 発表番号 1A02(東京)