

骨格情報を用いた箸の正しい使い方の習得支援

原慎一郎¹ 謝浩然¹ 宮田一乗¹

概要: 日本では、食事中における箸のマナーが生まれており、また、箸の機能は多岐にわたっている。正しく箸を使うことは、マナーを守るだけでなく、箸の持つ機能を最大限に活用することにつながる。箸を正しく使うために、箸に対する加工を行った矯正箸などの商品があるが、加工なしの一般的な箸では正しく使えない可能性がある。また、矯正後に気づかないうちに、矯正前の誤った状態に戻ってしまう可能性がある。そこで、本研究では、箸操作中の手の骨格情報を OpenPose により推定し、箸の正しい使い方の習得を支援する手法を提案する。推定された手の骨格情報を、正しい箸の使い方における骨格情報と比較し、異常部分をユーザにフィードバックすることによって、箸の正しい使い方の習得支援を行う。その結果、ユーザは正しい箸の使い方における手の動作を把握することができる。支援前後における手の異常部分の数と、箸を使った大豆の移動量を比較し、本支援の評価を行う。

キーワード: 箸の使い方, 習得支援, OpenPose

Chopsticks Learning Support Using Hand Skeletons Detection

SHINICHIRO HARA¹ HAORAN XIE¹
KAZUNORI MIYATA¹

Abstract: In Japan, chopstick manners have emerged during meals, and the usage of chopsticks has various functions. Using chopsticks correctly is not only a matter of observing good manners, but also of achieving the own functions. There are numerous products to help use chopsticks correctly such as corrective chopsticks, but it is still challenging for users while using ordinary chopsticks without modification. Furthermore, users may not be able to use chopsticks correctly and return to the incorrect states. In this study, we propose a novel chopsticks learning support system that uses deep learning approach to estimate the hand skeletons to help the learning of correct usage of chopsticks. In our user interface, the detected hand skeletons are compared with the skeletal information of the correct state, and we notice users the abnormal parts to help them correct the chopsticks usage. By using the proposed system, we believed that the users can understand the hand movements in the correct use of chopsticks. Finally, we conduct the evaluation study of soybean movement using chopsticks with and without the proposed chopsticks learning support system.

Keywords: Chopstick Usage, Learning Support, OpenPose

1. はじめに

日本では和食に適した食法として、箸食文化が形成されている。同時に箸を使う際の食事マナーが生まれている。正しく箸を使うことによって食事マナーを守るだけでなく、箸の持つ機能を最大限に活用することにつながると考えられる。現在、文部科学省は学校における食育の推進の必要性を説いており、箸の使い方などの食事のマナーを通して人間関係の形成能力といった社会性を育むことを一つの目標としている[1]。しかしながら、2010年の内閣府の調査によると、18歳以上の45.8%の人が箸を正しく持つことが出来ないと報告されている[2]。箸の使い方による食事マナーの未習得によって人間関係の形成に悪影響を及ぼす可能性がある。また、幼少期から長年にわたって、正しくない箸の持ち方がそのまま癖となってしまう、矯正できないままになってしまっている人が存在していると見受けられる。

箸の正しい使い方を学習する方法として、市販の矯正箸を使用する他に、輪ゴムを使って指を固定する矯正方法や、

動画などの教材や正しく箸を使える人からの指導を参考にしながら真似をする方法が挙げられる。しかしながら、市販の矯正箸や輪ゴムといった矯正のための道具を使用した矯正方法では、その道具がないと箸を正しく使用することができない状態に陥る可能性がある。また、教材や指導内容を参考にしながら学習する矯正方法では、実際に箸を正しく使えているかどうかを判断することが難しい。

2. 関連研究

(1) 箸の使い方の習得支援

Kazuki ら[3]は、各指にそれぞれ異なる色のマーカを装着し、それらの色を抽出して手指の位置の検出を行い、箸の持ち方が正しいかどうかを判定する手法を提案している。様々な箸の操作場面において、各指のマーカから色抽出を行った結果、「指の位置」、「指の角度」、「上下の箸の間隔」を正しい箸の使い方における重要な3要素であることを示している。手指が正しい場合と大きく異なる場合に正しい指の配置の位置を表示しているが、習得に向けた評価実験は今後の課題としている。

Foong-Yi ら[4]は、子供が箸を使って食事をするスキルを

¹ 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology

育むためのインタラクティブなトレーニング箸を提案している。提案システムは、市販で広く普及している子供用の矯正箸上に搭載されたセンサ、食べ物を載せる伝導プレート、視覚的フィードバック用のタブレット PC から構成されている。箸上には、ユーザの操作を把握するための箸の傾きを計測するセンサと箸先の導電率を計測するセンサがある。箸の傾きと箸先の導電率の変化からユーザが行う箸の操作を推定し、推定した箸の状態をフィードバックとしてタブレット PC に表示している。また、フィードバック中には子供が楽しみながら箸の使い方を学習するための様々なゲーム要素を取り入れている。その結果、箸を使うことによる食事を嫌っていた子供が、自ら進んで箸を使って食事をするようになり、箸の使い方の習得に有効であることが報告されている。

松元ら[5]は、伝統的な技術や技能の継承に向けて客観的なデータを測定、評価することが必要であると述べており、その中でも指の繊細な動きに着目し、箸を操作する際の指の動きを例に挙げ、対象としている。ビデオ式モーションキャプチャシステムによって、手指動作を3Dモデルに対応させ、手指の動きから指先間の距離と関節角度を測定し、箸操作の熟練度に関する評価基準として提案している。箸操作における各指先間の距離の時間変化を測定し、箸操作の動きに現れる差を評価している。また、大豆の移動量によって箸の技能を評価した結果、正しい箸の使い方をしての方が、大豆の移動量が増え、技能が優れていることを確認している。

(2) 手の骨格情報を用いた学習支援

油田ら[6]は、OpenPoseによって手の骨格情報を取得し、筆記用具の持ち方に対する正しい手指形状の判別とフィードバックを兼ね備えた学習システムを提案している。誤った持ち方のまま癖となっているユーザに対する学習支援になるだけでなく、ユーザごとに応じたキャリブレーション処理によって、指導者側に対する効率的で柔軟な指導の補助を実現している。

小林ら[7]は、手話習熟者にとって誤読が生じやすいカナ指文字の形状と動作を、正しい文字ラベルへと分類する手法を提案している。OpenPoseにより取得した手の骨格情報を用いてカナ指文字の認識と分類を可能にしている。

(3) 本研究の位置づけ

本研究は、ユーザが箸を使用している際の手の骨格情報を推定し、解析することによって、ユーザが正しい箸の使い方を習得するための支援を実現することに新規性を有している。手の骨格情報を推定することにより、カラーマーカの使用や、箸自体へのセンサや矯正用の道具の装着を行わないため、ユーザは日常での箸使いに支障をきたすことなく、箸の正しい扱い方を習得することが出来る。また、リアルタイムではないが、数秒間の解析後にユーザの手の骨格情報と正しい箸の使い方における手の骨格情報を比較

した際の異常部分を、ユーザにフィードバックすることによって、ユーザは正しい箸の使い方における手の動作を把握し、学習することができる。

3. 提案手法

3.1 システム概要

システムの概要図を図1に示す。ユーザは箸の開閉操作を行い、システムはその際の手指の動作をカメラによって撮影する。撮影されるリアルタイム映像に対し、深層学習姿勢推定ライブラリ OpenPose[8][9]を用いて手指の骨格推定を行い、手指の関節座標を取得する。箸の操作中における各フレームの関節座標より手指動作の解析を行い、その結果を、フレーム毎に異常検知条件と比較し、異常部分を検出した回数をカウントする。ユーザに対するフィードバックとして、異常を検出した指と、それまでにカウントされた異常部分の回数を表示する。また、OpenPoseによって検出された手指動作と、箸の正しい使い方における手指動作を表示する。その結果、ユーザは正しい箸の使い方における手の動作を把握し、学習することができる。

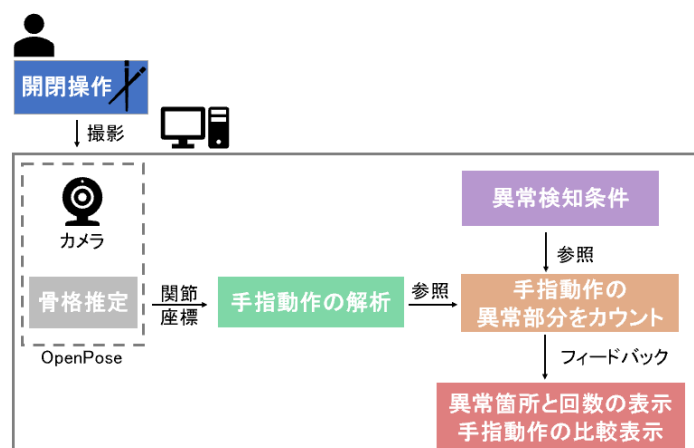


図1 システムの概要

Figure 1 System overview

3.2 正しい箸の持ち方

上原ら[10]は、箸の持ち方は6種類に分類できるとしており、それぞれの持ち方における30秒間での大豆の移動量を比較すると、伝統型(図2)の箸の持ち方が最も多くの大豆を移動させることができ、伝統型を正しい箸の持ち方としている。本研究では、箸を伝統型の持ち方で使用することを正しい箸の使い方とし、その習得を支援する手法について提案する。



図 2 伝統型の箸の持ち方[10]

Figure 2 Traditional usage of chopsticks[10]

3.3 手指の形状検出及び評価

(1) 手指の骨格推定

手指の骨格推定は OpenPose を用いて行う。OpenPose とは、深層学習を利用し、人の姿勢や関節情報を推定する姿勢推定ライブラリである。OpenPose に対し、動画画を入力することによって、リアルタイムで人の姿勢や関節情報が推定される。手指の入力画像に対しては、全部で 21 個の関節座標が推定される(図 3)。Web カメラにより取得した手の動作映像を 1 フレームずつ OpenPose に入力し、各フレームにおける手指の各関節の座標を取得する。

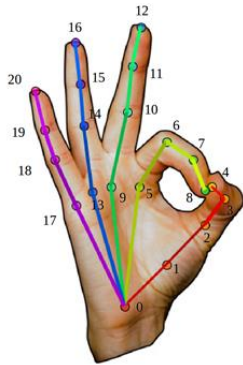


図 3 手指関節のインデックス[11]

Figure 3 Index of finger joints[11]

(2) 手指の形状検出

手指の形状検出には、OpenPose により取得した各フレームにおける手指の各関節の座標を用いる。各指における関節同士を線分でつなぎ、手指の形状検出とする。図 4 で示されている第 41 フレームの OpenPose による骨格推定画像において、同フレームの手指の形状を検出すると図 5 のように示される。

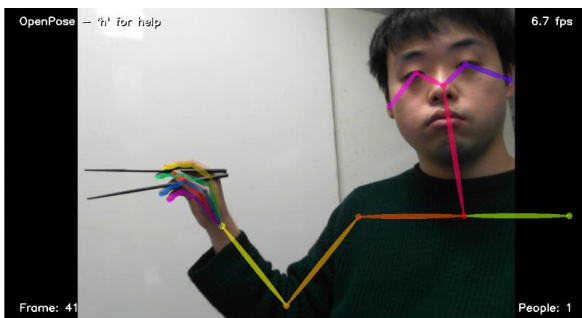


図 4 OpenPose による骨格推定画像

Figure 4 Skeletal Estimation Image by OpenPose

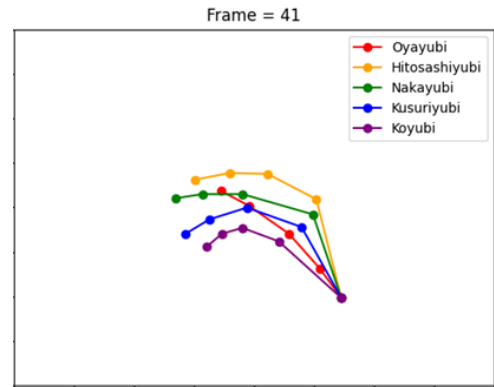


図 5 手指の形状検出

Figure 5 Hand shape detection

(3) 手指の姿勢評価

箸を操作している際における手指の姿勢評価を、関節角におけるコサイン値を用いて行う。姿勢推定を援用した実人物モデルの描画学習支援システムに関する研究[12]では、OpenPose によって取得したモデルの骨格座標を用いてコサイン値を算出し、姿勢の類似度として扱い、描いた絵の骨格の評価を行っている。本研究においても同様に、コサイン値を用いて手指の姿勢の評価を行う。各フレームにおける手指の各関節の座標を用いて各関節角におけるコサイン値を算出する。図 6 のように、各関節から隣り合う関節を結ぶベクトルを定義し、各指の第一関節と第二関節における関節角のコサイン値を考える。

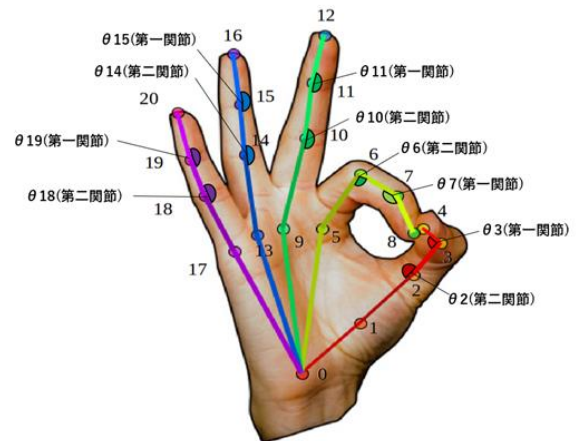


図 6 第一関節と第二関節における関節角

Figure 6 Angles between the first and second joints

一般に、関節の座標 C における関節角におけるコサイン値 $\cos\theta$ は、隣り合う関節の座標を用いて

$$\cos\theta_{f,i} = \frac{(C_{f,i+1} - C_{f,i}) \cdot (C_{f,i-1} - C_{f,i})}{|C_{f,i+1} - C_{f,i}| |C_{f,i-1} - C_{f,i}|}$$

と求められる。このとき、 f はフレーム番号を示し、 i は図 6 中における手指関節のインデックスの番号を示す。

(4) 手指の動作の異常検知条件

箸を操作しているときの手指の動作の異常を検知する条件を設定する．箸の操作は，上側になる箸を親指，人差し指，中指の3点で支え，上側の箸のみを上下に動かすことが正しいとされている(図7)．このとき，動作している指は親指，人差し指，中指の3つの指のみである．従って，箸を操作しているときの手指の動作の異常を検知する条件には，親指，人差し指，中指の第一関節と第二関節における関節角のコサイン値を使用する．

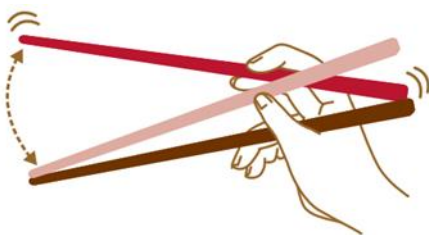


図7 正しい箸の動かし方[13]

Figure 7 Correct usage of chopsticks[13]

正しい箸の持ち方で箸を開いている状態と閉じている状態での，親指，人差し指，中指の第一関節と第二関節における関節角のコサイン値を算出するために，OpenPoseによって手指の骨格推定を行う．このときの様子を図8，図9に示す．



図8 箸を閉じているときの手指の骨格

Figure 8 Hand skeleton while closing chopsticks



図9 箸を開いているときの手指の骨格

Figure 9 Hand skeleton when chopsticks are open

OpenPoseによる手指の骨格推定から取得される関節の座標値より，正しい箸の持ち方で箸を開いている状態と閉じている状態での，親指，人差し指，中指の第一関節と第二関節における関節角のコサイン値を算出する．このとき関節角は鈍角になるため，コサイン値は負の値となる．10

人分の各関節における関節角のコサイン値の100フレーム分の平均値を表1に示す．

表1 各関節角のコサイン値の平均値

Table 1 Average of the cosine values of each joint angle

箸の状態	開いた状態	閉じた状態	差分の大きさ
$\cos\theta_2$ (親指)	-0.94	-0.90	0.04
$\cos\theta_3$ (親指)	-0.97	-0.97	0
$\cos\theta_6$ (人差し指)	-0.88	-0.88	0
$\cos\theta_7$ (人差し指)	-0.98	-0.95	0.03
$\cos\theta_{10}$ (中指)	-0.82	-0.86	0.04
$\cos\theta_{11}$ (中指)	-0.95	-0.95	0

表1より，箸の開いた状態と閉じた状態において， $\cos\theta_3$ ， $\cos\theta_6$ ， $\cos\theta_{11}$ の値の差が0であることが分かる．これより，箸を操作しているときの手指の動作の異常を検知する条件に，親指の第二関節におけるコサイン値である $\cos\theta_2$ ，人差し指の第一関節におけるコサイン値である $\cos\theta_7$ ，中指の第二関節におけるコサイン値である $\cos\theta_{10}$ の値を用いる．従って，正しい箸の使い方における親指，人差し指，中指の動作の条件は表2のように設定する．

表2 正しい箸の使い方における指の動作条件

Table 2 Conditions for finger movement in proper chopstick use

親指	$-0.94 \leq \cos\theta_2 \leq -0.90$
人差し指	$-0.98 \leq \cos\theta_7 \leq -0.95$
中指	$-0.86 \leq \cos\theta_{10} \leq -0.82$

OpenPoseで取得した各フレームにおける手指の各関節の座標から算出した各関節角のコサイン値が，表2による条件を外れているとき，その指の動作に異常があると見なし，指の異常を示す視覚的フィードバックを行う(図10)．図10中において，Frameはフレーム画像の番号を示し，Errorはそのフレーム番号までに異常が検出された総数を示す．

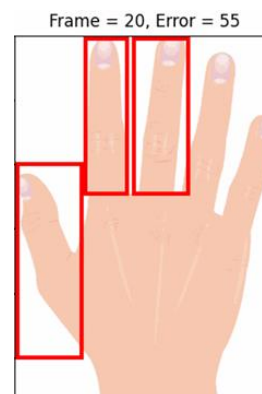


図10 指の異常を示す視覚的フィードバック

Figure 10 Visual feedback indicating finger abnormality

図 10 によるフィードバック時に、ユーザに対して、同フレーム時におけるユーザ自身の手指の形状検出結果を表示する(図 11)。これにより、ユーザは異常部分が見られた手指の動作を確認することができる。また、正しい箸の使い方における手指の形状検出結果(図 12)を表示し、異常部分が見られた手指の動作部分の違いを確認することで、ユーザは正しい箸の使い方における手の動作を把握し、学習することができる。これらのフィードバックおよび手指の検出結果は、ユーザに対し、図 13 のように表示される。

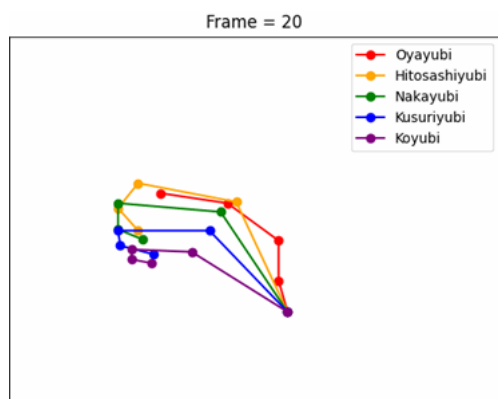


図 11 ユーザの手指の検出結果
Figure 11 Hand detection results

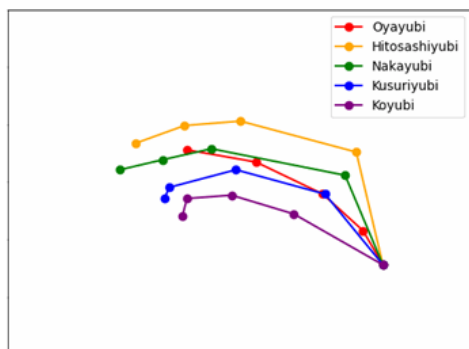


図 12 正しい箸の使い方における手指の検出結果
Figure 12 Hand detection results in correct chopstick use

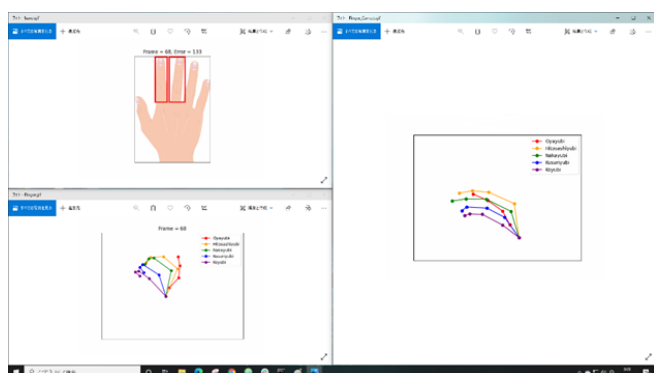


図 13 ユーザが学習する際のスクリーンの様子
Figure 13 A screenshot of the support system

4. 実験

4.1 実験内容

実験環境を表 3 に示す。また、実験概要を図 14 に示す。

表 3 実験環境

Table 3 Experimental environment	
OS	Windows 10 Pro
RAM	16GB
CPU	Intel Core i7-7700
GPU	NVIDIA GTX 1070
OpenPose	V1.3.0

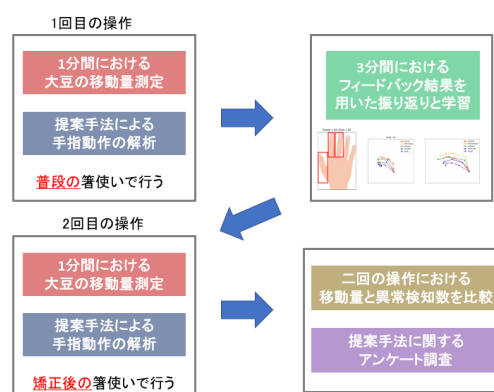


図 14 実験概要

Figure 14 Experiment procedure

被験者は大学院生 10 名(20 代男性 7 名, 20 代女性 3 名)である。被験者であるユーザは全部で 2 回の操作を行う。1 回目の操作では、ユーザの普段の箸の持ち方のまま箸を操作してもらう。正しい箸の持ち方とされる伝統型の箸の持ち方は、箸先にしっかり力を伝えることができ、細かいものまでつかみやすくなる[14]ということから、箸の技能を定量的に評価するために、まず初めに、ユーザが箸で大豆をどれだけ移動させることが出来るかをカウントする(図 15)。大豆を移動させることによって、正しい箸使いに関する技能を競う大会[15]では、制限時間は 1 分間としているので、本実験においても制限時間は 1 分間とする。経済産業省がまとめた資料[16]によれば、20 代の男女の肩幅の平均は 43.1 cm であるので、食事場面における箸の移動距離を想定し、皿の中心間の距離を 40 cm と設定する。

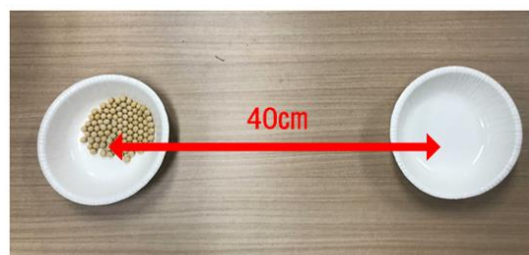


図 15 大豆の移動量のカウント

Figure 15 Counting the amount of soybeans moved
次に、ユーザが箸を開閉操作している様子を Web カメラ

で撮影する．ユーザは箸の開閉操作を行い，その際における手指の動作を図 4 のように OpenPose で 100 フレーム分の推定を行い，検出する．箸の開閉操作における手指の動作情報を解析し，算出したコサイン値を，表 2 による条件と比較する．

ここで，ユーザに対し，正しい箸の持ち方を伝えた後，図 11 のようにユーザが行った手指動作の検出結果と，図 10 のように指の異常を示す視覚的フィードバックを同時にユーザに提示し，異常部分が見られた手指の動作を確認してもらう．また，ユーザに対し，図 12 のように正しい箸の使い方における手指の動作の検出結果を提示し，異常部分が見られた手指の動作部分との違いを確認してもらうことで，正しい箸の使い方における手の動作を把握し，学習させる．ユーザが正しい箸の使い方における手指の動作の確認や異常部分の把握を行うための時間を 3 分間とる．この 3 分間においてユーザは 100 フレーム分の手指の動作状況をちょうど 4 周分確認することが出来る．

2 回目の操作では，ユーザは正しい箸の使い方における手指の動作を把握したうえで 1 回目と同じ操作を行い，同様に箸で移動させた大豆の量と誤っている部分の回数をカウントし，1 回目のカウント量と比較する．実験の様子を図 16，図 17 に示す．



図 16 実験の様子 1

Figure 16 Scene of the experiment 1



図 17 実験の様子 2

Figure 17 Scene of the experiment 2

実験終了後，ユーザに対して，提案システムに関するア

ンケート調査を実施する．アンケート内容を表 4 に示す．

表 4 提案システムに関するアンケート内容

Table 4 Questionnaire about the proposed system

1 検出された手の動きはどの程度一致していましたか？ (五段階評価，1：全然違った — 5：完全に一致していた)
2 手の二次元モデルによって指の動きは 把握しやすかったですか？ (五段階評価，1：全く分からなかった — 5：よく分かった)
3 正しい箸の持ち方における指の動きは 分かりやすかったですか？ (五段階評価，1：全く分からなかった — 5：よく分かった)
4 本システムで正しい箸の使い方が 身についたと感じますか？ (五段階評価，1：全く思わない — 5：とてもそう思う)
5 正しい持ち方における手の動作と、 自身の動作の違いは分かりましたか？ (五段階評価，1：全く分からなかった — 5：よく分かった)
6 本システムに対する自由記述欄(ない場合「なし」)

4.2 実験結果

10 人の被験者が 2 回の操作において箸で移動させた大豆の量と誤っている部分の検出回数を測定した実験結果を図 18，図 19 に示す．

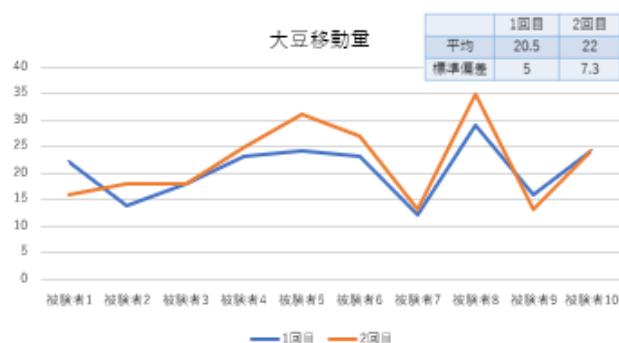


図 18 大豆移動の実験結果

Figure 18 Experimental results of soybean migration

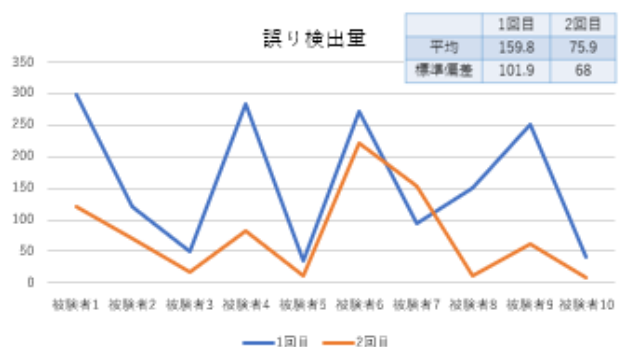


図 19 誤り検出の実験結果

Figure 19 Experimental results of error detection

図 18，図 19 より 1 回目の操作と比べて，大豆の移動量

の平均と標準偏差は増加し、また、手指の動作の誤りの検出数の平均と標準偏差は減少した。

また、表 4 における設問 1～設問 5 の回答結果を図 20 に示す。

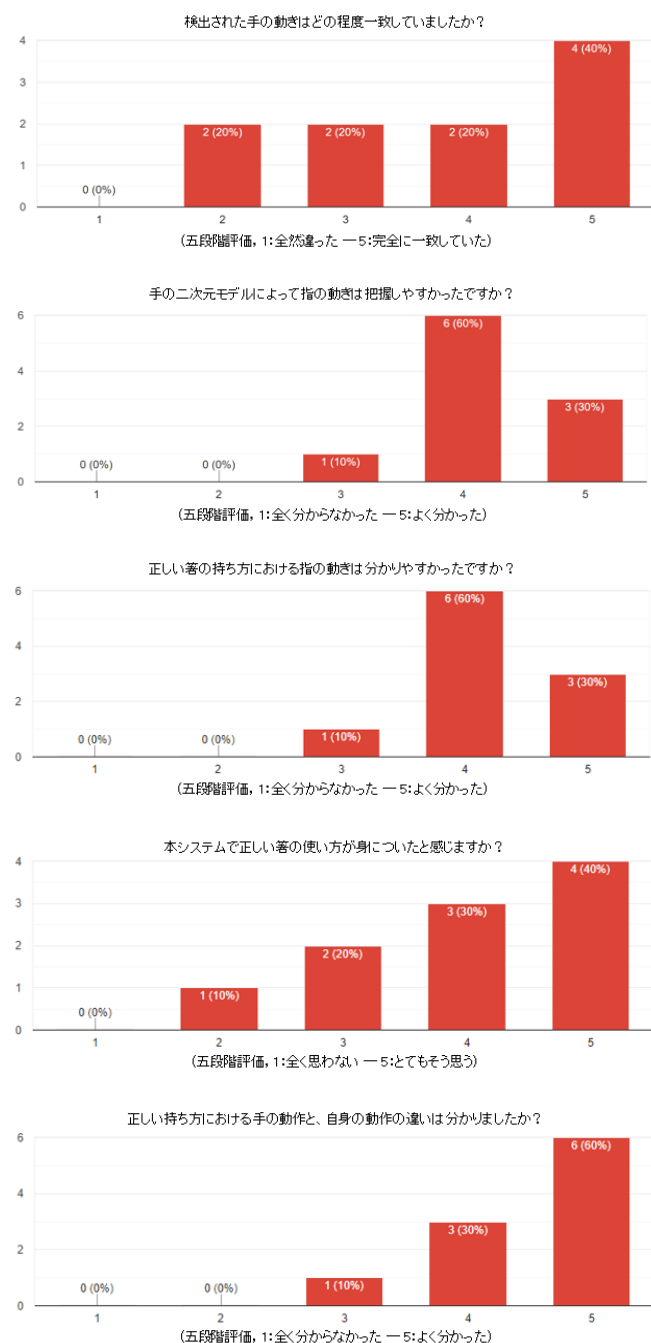


図 20 アンケート結果

Figure 20 Questionnaire results

図 20 より、各設問において被験者の半数以上が高評価の回答をしていることが分かり、本研究手法が有効であることが示された。

また、表 4 における本システムに対する自由記述である設問 6 の回答結果を表 5 に示す。

表 5 本システムに対する意見

Table 5 User comments on this system

被験者 1	正しい指の動きと自身の誤った動きの違いが分かりやすい。 身に着けるには練習時間が必要。
被験者 2	もう少し、カメラ認識の精度が良くなればよいと思います。
被験者 3	コメントなどの UI があるとモチベーションが上がりそうと感じた
被験者 4	なし
被験者 5	3 次元で確認できるともっといい結果も得られそうだと思う
被験者 6	食事の時のような感覚でキャプチャできればよいと感じた。
被験者 7	なし
被験者 8	検出精度を上げてほしい
被験者 9	お箸の長さが合わなかった。 食べるときに合わせて検出出来るとよい
被験者 10	なし

表 5 より、カメラによる手指の動作と箸の検出における精度面に対する言及と、実際の食事の場面に合わせて手指の動作を検出できれば良いとの意見が複数あった。

5. まとめ

本研究では、ユーザが箸を使っている際の手指の骨格情報を推定し、解析することによって、ユーザが正しい箸の使い方を習得するための支援を行った。ユーザへのフィードバックでは、ユーザの手指の動作と正しい箸の使い方における手指の動作の様子の違いが比較できるように同時に出力した。また、ユーザの手指動作の異常部分を検出し、手のイラスト上に表示した。

表 1 においてコサイン値の差が 0 である関節角は、表 2 における動作条件には含まなかった。しかしながら、より多くの人数を対象とした場合、コサイン値の差が生まれ、動作条件が追加される可能性があると考えられる。同時に、動作条件の精度も向上すると考えられる。

図 18、図 19 において 2 回の操作における大豆移動量と誤り検出数の平均と標準偏差の増減に着目すると、誤り検出数では、2 回目の操作において 1 回目より平均値と標準偏差が減少し、正しい箸使いの支援の効果を確認できたのに対し、大豆の移動量では、2 回目の操作において 1 回目より平均値と標準偏差が増加した。大豆移動量の平均値が増加したことに関しては、箸使いの技能の向上が認められるが、標準偏差の増加は箸使いの技能の向上に反した結果となった。この理由として、個人の箸使いのゆらぎが考えられる。箸使いの技能を評価するために大豆を対象とし、その移動量を測定したが、大豆を箸で運ぶには箸先でしっかりとつまむ必要があり、かつ大豆自体が滑りやすく小さ

いので、個人の箸使いの揺らぎが生まれやすい環境であったと考えられる。また、時間制限による焦りも影響したと考えられる。したがって、大豆以外の食品や物を対象として同様の検証を行い、箸使いの技能に関する評価を行う必要があると考える。

また、図 19 において、被験者 7 のみ 1 回目の操作における誤り検出数から 2 回目の操作における誤り検出数が増加した。要因としては、一回目の操作における誤り箇所の表示や、正しい箸の使い方における手指の動作情報と自身の手指の動作情報を比較し、異常部分を確認して把握するための学習時間内で、被験者 7 に対し混乱や誤解を招く結果が出力されたと考えられる。表 5 より、被験者 1 による「正しい指の動きと自身の誤った動きの違いが分かりやすい」という意見もあるが、被験者 3 が言及する「コメントを表示する UI」や被験者 5 が言及する「3 次元で確認できる」というような仕組みを実装出来れば、より分かりやすく異常部分を確認して把握できると考える。

表 5 における実験後のアンケート回答では、コメントを表示するとモチベーションが上がるのではないかという意見があった。本システムでは、ユーザに対するコメント形式でのフィードバックは実現できなかった。また、本システムの利用者に対してガイダンスを行う必要があった。フィードバックやガイダンスの手法として、音声を用いた手法[17]やゲーミフィケーション効果[18]が応用できると考えられる。コメント形式でのフィードバックの機能を兼ね備えた、ユーザに対するガイダンスを行う UI を実装出来れば、ユーザのモチベーションの向上も期待でき、さらに有効なシステムになると考えられる。

また、本システムでは、手指動作に対するフィードバックは 2 次元モデルを使用した。図 20 におけるアンケート回答では、認識しやすかったという意見が多かったが、3 次元モデルで確認できると良いという意見もあった。1 枚の入力画像から 3D モデルを再構築する手法[19][20]が応用できると考えられるが、本研究では未実装である。ユーザは 2D と 3D の観点から、手指動作の異常部分を確認することが出来れば、正しい箸の使い方を習得により近づくのではないかと想定する。

これらのようにシステムの改良を行うことによって、さらにシステムの有効性が向上し、箸の正しい使い方の習得の支援の効果が増大すると考えられる。

参考文献

- [1] 文部科学省, “食に関する指導の手引—第二次改訂版—”, pp17-18, (2019)
- [2] 内閣府食育推進室, “食事に関する習慣と規範意識に関する調査報告書”, pp73, (2010)
- [3] Kazuki Yamakawa, Yuko Tashiro, Mizuki Nakajima, Tsuyoshi Saitoh, “Development of a Support System for Holding Chopsticks Correctly”, IWAIT 2018, (2018)
- [4] Foong-Yi Chia, Daniel Saakes, “Interactive training chopsticks to improve fine motor skills”, ACE '14: 11th Advances in Computer Entertainment Technology, (2014)
- [5] 松元まいこ, 大淵慶史, 坂本英俊, 原田博之, “箸動作における動作解析による熟練度評価”, 日本機械学会九州支部講演論文集, (2014)
- [6] 油田一彌, 岡山将也, “姿勢推定ライブラリ OpenPose を用いた筆記用具持ち方学習装置の提案”, 情報処理学会インタラクシオン 2020, (2020)
- [7] 小林大起, 渡辺裕, “骨格推定と機械学習を用いたカナ指文字の分類”, 早稲田大学大学院, 基幹理工学研究科, (2019)
- [8] Zhe Cao, Gines Hidalgo, Tomas Simon, Shin-En Wei, Yaser Sheikh, “OpenPose : Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields”, arXiv:1812.08008v2, (2019)
- [9] Tomas Simon, Hanbyul Joo, Iain Matthews, Yaser Sheikh, “Hand Keypoint Detection in Single Images using Multiview Bootstrapping”, arXiv:1704.07809v1, (2017)
- [10] 上原正子, 大場和美, 加藤象二郎, “箸の持ち方・使い方の発達段階別の差異”, 瀬木学園紀要 8, pp7-15, (2014)
- [11] CMU-Perceptual-Computing-Lab, “openpose”, https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose/blob/master/.github/media/keypoints_hand.png
- [12] 西澤博大, 浦正弘, 宮田一乗, “姿勢推定を援用した実人物モデルの描画学習支援システム”, 芸術科学会論文誌 Vol.18, No.1, pp.19-27, (2019)
- [13] CLiO Selection, “YUI JAPAN の「基本の箸のマナー」”, <https://www.meiwajisyo.co.jp/clioselection/pdf/2020.1.pdf>
- [14] NHK あさイチ, “コロナ禍で注目度 UP! 「箸」を極める”, <https://www1.nhk.or.jp/asaichi/archive/200914/1.html>
- [15] まめっ子倶楽部, “遊び方・公式ルール”, <https://www.fujicco.co.jp/mamecco/rule/>
- [16] 経済産業省, “主要寸法項目の年代別平均値”, https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/286890/www.meti.go.jp/press/20071001007/004_bessi.pdf
- [17] Naihui Fang, Haoran Xie, Takeo Igarashi, “Selfie Guidance System in Good Head Postures”, ACM IUI 2018 Workshops, SymCollab'18, (2018)
- [18] Haoran Xie, Dazhao Xie and Kazunori Miyata, Body2Particles: Designing Particle Systems Using Body Gestures, Entertainment Computing – ICEC 2020, Springer, 445-458, (2020)
- [19] Dominik Kulon, Haoyang Wang, Riza Alp Guler, Michael Bronstein, Stefanos Zafeiriou, “Single Image 3D Hand Reconstruction with Mesh Convolutions”, arXiv:1905.01326v3, (2019)
- [20] Haoran Xie, Atsusi Watatani and Kazunori Miyata, Visual Feedback for Core Training with 3D Human Shape and Pose, NICOGRAPH International 2019, (2019)