

腕時計型運動センサによる所作評価システム ～正しく紅茶を飲むために～

稲垣俊典^{†1} 梅本暖^{†1} 田代佳大^{†1}
森下貴康^{†1} 金島諒^{†1} 吉田海^{†2} 松下宗一郎^{†1}

概要： 利用者の手首に装着する腕時計型運動センサにて、作法の視点にて所作を評価するシステムの検討を行った。3軸加速度センサ及び3軸角速度センサを組み合わせるセンサフュージョンの手法により、重力に対する手首上面の傾斜角を推定するとともに、角速度の時間二階微分値である角加加速度（角躍度）の二乗時間積算値をもとにした運動のスムーズさを表す数値を計算している。このシステムでは、カメラといった外部機器を必要としないことや、腕時計型デバイスという実装形態から、日常生活の中でいつでもどこでも手軽に所作の評価が行えることが特徴である。ティーカップにて紅茶を飲む動作について実験を行ったところ、正しいとされている所作に対し、手首傾斜角の時間ゆらぎが小さくなるとともに、運動がよりスムーズに行なわれていることが分かった。

1. はじめに

歴史的な経緯等により、古来飲料の飲み方については、それぞれに一定の礼儀や作法が存在していることが多い。この中で、紅茶の飲み方では、ティーカップの取手をつまむように持つことや、顎を上げずにカップを傾けて飲むことなどが、美しい飲み方の作法として知られている[1]。このような作法は生活環境の中で身につけていくという側面を有している反面、少子高齢化や核家族化といった社会的な要因により、自然な伝承は困難となりつつある。このため、社交的なパーティといった、他人からの教示や指摘がいささか妥当ではない場面において、周囲の人々に良くない印象を与えてしまう可能性がある。ここで、飲み方の作法は、所作の見た目を美しく見せることを目的としているため、動画カメラによる評価手法が考えられる。しかしながら、プライバシーの問題や設置の手間といった視点からは、いつでもどこでも手軽に評価を行うことは困難である。

そこで本研究では利用者の手首に取り付けた腕時計型運動センサにより、手首の運動信号から飲料を飲む所作の正しさを定量評価する手法の検討を行った。

2. 腕時計型運動センサデバイス

図1に本研究にて製作した腕時計型運動センサデバイスによるティーカップ所作運動分析の様子を示す。運動信号としては、3軸加速度（ $\pm 4G$, $1G = 9.8m/s^2$ ）及び3軸角速度（ $\pm 1000dps$, degree per second）を使用し、サンプリング周波数 100Hz にてデバイスに内蔵されているマイクロSDメモ리카ードに連続最長 16 時間のデータ記録を行うことができる。ここで、腕時計型デバイスは被験者の利き手側（図では右手）に装着しており、センサフュージョンの原理により、デバイス上のセンサ感度軸が重力に対してな

す角度、すなわち手首の傾斜角をリアルタイムにて推定することができる。また、腕時計バンドを外した状態でのデバイスのサイズは約 $45 \times 35 \times 10mm$ であり、重量は約 30 グラムと小型軽量であることから、利用者の自由な運動をほとんど妨げることなく長時間使用することができる。

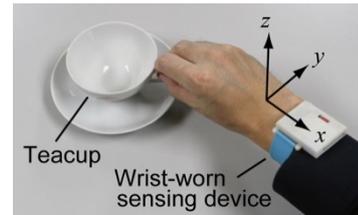


図1 腕時計型運動センサデバイスと座標系定義

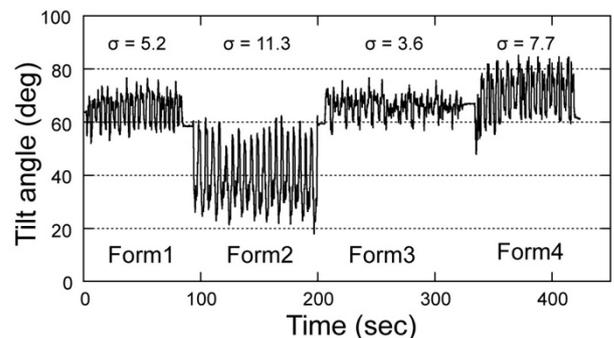


図2 ティーカップを保持する手首の傾斜角変化

3. 正しい所作を表現する運動パラメータ

ティーカップを用いる所作の評価では、動きの正しさといった主観的な評価と、運動センサによる計測信号との関係性を調べる必要がある。また、飲料を飲む一連の行動は、「ティーカップを持ち上げる」、「移動させる」、「傾けて飲料を飲む」といった要素に分解することができる。

図2は、カップの受け皿を約 30cm の距離にてテーブル上に2つ設置し、着席した被験者がティーカップを受け皿の間にて 10 回往復させた際の手首（z 軸）傾斜角の時間変

^{†1} 東京工科大学コンピュータサイエンス学部

^{†2} 東京工科大学大学院コンピュータサイエンス専攻

化を示したものである。ここで、Form1 ではティーカップの取手ではなく、カップ全体を上から掴んだ状態で移動をさせており、Form4 は Form1 と同様な状態で意図的にややラフにカップを扱った状態である。また、Form2 では、カップの取手に人差し指を入れた状態でカップを保持しているのに対し、Form3 では、カップの取手をつまむ「正しい」方法での所作を行っている。ここでは、図2に示した結果により、正しい所作においてはティーカップを保持する手首の傾斜角の変化が小さくなっていることが分かった。

一方で、指で取手をつまむ「正しい」フォームでは、カップをしっかりと支えることが難しくなることが予想される。そこで、手の震えや、ぎこちない動作にตอบสนองする運動パラメータとして、回転運動のスムーズさ（Angular Smoothness : AS）を表現する数式の適用を試みることにした[2]。ここで AS は、時刻 t における角速度ベクトルの値を $\omega(t)$ とし、サンプリング周期を Δt とする時、次の数式にて近似的に計算することができる：

$$AS = (T^3 / \Omega^2) \sum |\omega(t + \Delta t) - 2\omega(t) + \omega(t - \Delta t)|^2 (\Delta t)^3$$

(ただし、 T はタスク時間、 Ω は角速度の時間平均値)

この式は、角躍度の二乗値を時間積算した値について、最終的な物理次元が無次元となるように (T^3 / Ω^2) の項を乗じた形となっており、数値が小さいほど運動のスムーズさが高いことに対応している。表1は、図における各所作に対する AS の値を計算した結果であるが、ティーカップの保持における姿勢の不安定性から、正しい所作に対応する Form3 にてスムーズさが大きく低下していた。

表1 ティーカップを運ぶ所作における運動評価結果

所作	傾斜角(deg)	AS ($\times 10^{11}$)	備考
Form1	65.0 \pm 5.2	3.0	上方から掴む
Form2	39.0 \pm 11.3	10.1	取手に指を入れる
Form3	66.2 \pm 3.6	16.4	取手を指でつまむ
Form4	70.3 \pm 7.7	4.6	ラフに掴む

4. トレーニングによるパラメータの変化

ティーカップにおける正しい所作では、手の姿勢が変動しないことに加え、スムーズな運動がなされていることが同時に達成されていることが必要であると思われる。そこで、被験者4人(20歳代、男性)について、文献[1]に記載された「正しい紅茶の飲み方」に沿ったトレーニングを行った上で、運動パラメータを比較することとした。実験では、実際にティーカップに飲料を適宜注いだ上で、利き手(右手)にて一連の動作を行い、手首の傾斜角と、運動のスムーズさ(AS)の計算を行った。図3は手首の傾斜角とその変動幅を、所作の種別によりプロットしたものであるが、「正しい」所作では変動幅が一定数値以内に収まっていることが見て取れる。しかしながら、一部の「正しくない」所作について、手首傾斜角の変動幅が小さくなって

いるケースが散見されている。そこで、運動のスムーズさ(AS)と、手首傾斜角変動幅の分布を調べたところ、図4に示すように、「小さな手首の傾斜角変化」と、「スムーズな手の動き」とが両立できている運動パラメータの領域にて、トレーニングによる正しい所作のデータが分布していた。ここで、カップの取手を指でつまむフォームは本来は不安定なものであり、これらの運動パラメータの改善が「正しい」所作の習得につながることを期待される。

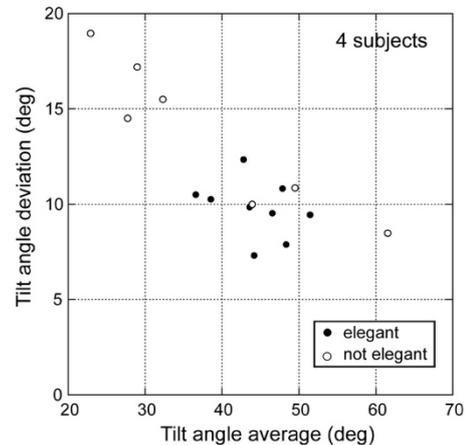


図3 手首の傾斜角と変動幅の分布

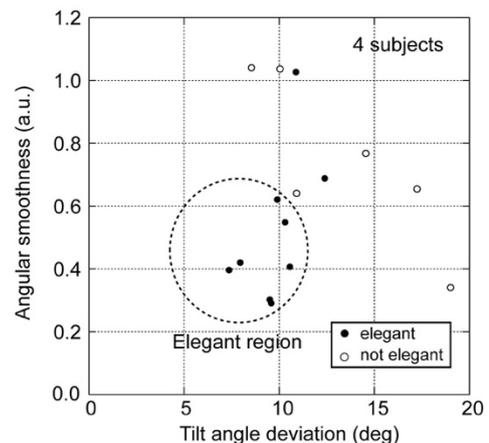


図4 所作の美しさの特徴づける数値領域

5. まとめと今後の展望

利用者の手首に装着する腕時計型運動センサデバイスにより、ティーカップにて飲料を飲む所作の正しさ(美しさ)を数値評価できる可能性が見出された。そこで、所作の状況に関する情報を利用者にフィードバックすることにより、いつでもどこでも手軽に「正しい所作」や作法のトレーニングが行えるシステムの実現を目指していきたい。

参考文献

- [1] <https://www.designlearn.co.jp/tea>. “知らない恥をかくかも！紅茶を飲む時の正しいマナー | 紅茶資格取得検定講座”
- [2] Hogan N, Sternad D.. Sensitivity of Smoothness Measures to Movement Duration, Amplitude, and Arrests. *Journal of Motor Behavior*. 41:6:529-534. 2009.