

# ふみふみうどん ～足ふみの強さを評価するヘッドホン型デバイス～

迫田 翼<sup>†</sup> 赤尾知洋<sup>†</sup> 上坂竜平<sup>†</sup> 伊藤和馬<sup>†</sup>  
大塚雅志<sup>†</sup> 新井直道<sup>†</sup> 松下宗一郎<sup>†</sup>

うどん打ちにおける「足ふみ」のように、人間の運動によって生じる力の加減によって、結果の良し悪しに大きな差が出る作業がある。そこで本研究では、圧力センサや動画画像処理による方法に代えて、作業者の頭頂部にヘッドホン型の運動センサを取り付けることで、足ふみにより生じる力の変化を観察するデバイスの検討を行った。その結果、3軸加速度の合成ベクトル長の変化を参照することで足ふみの強弱を推定できる可能性を見出した。

## Fumi-Fumi-Udodon ～ A Foot Pressure Sensor Using a Head-mounted Accelerometer ~

TSUBASA SAKODA<sup>†</sup> TOMOHIRO AKAO<sup>†</sup> RYUHEI UESAKA<sup>†</sup>  
KAZUMA ITO<sup>†</sup> MASASHI OTSUKA<sup>†</sup> NAOMICHI ARAI<sup>†</sup>  
SOICHIRO MATSUSHITA<sup>†</sup>

We investigated a head-mounted motion sensor to evaluate how strong the user is stepping on the floor. An empirical parameter using the resultant vector length from the 3-dimensional acceleration signal at the top of the user's head showed a fairly strong relationship with the foot pressure under the limitation of foot-stepping motion.

### 1. はじめに

人間の運動において、力の入れ加減が結果に大きく影響する作業や行動が少なからず存在する。例えば、うどん打ちや、やすりがけといった運動では、熟練者の運動を観察しただけでは容易には分からないような違いが大きな結果の差異となって現れることがある。そのような運動の中で、人間の体重を利用し、足ふみの要領にて対象物に力を作用させる作業では、手を使う場合に比べ大きな力を得やすくなっている反面、知覚精度の問題から細かなコントロールが難しくなっていると考えられる。

床面のような水平面に力がかかる対象物を置き、これに対して足ふみを行う作業を客観的に分析する場合、一般的には作業者の足裏や、床面上に圧力を計測するセンサを設置し、作用している力を計測することが多い。しかしながら、センサの設置方法やコストといった面で、問題が生じる場合が少なくない。例えば、靴の裏面に圧力センサを取り付けた場合には、足の踏み込み角度により圧力の計測結果が大きく異なってくることが予想される。また、足裏への感触にて力の入れ具合の微妙な調整を行っているような作業では、対象物との間に計測のための機材が挟まってしまうことは好ましくない。一方、床面反力計のように、作業自体にはほとんど影響を与えることなく、足ふみの圧力を計測することができる装置が知られているものの、設置におけるコストや、対象物が食品である場合の衛生環境等

の点から気軽に使用することができるとは言い難い。そこで本研究では、利用者の身体に装着した小型の運動センサによって水平面内での体重心が移動する様子をモニタリングすることができるという研究報告[1]に着目した。すなわち、足ふみによる身体運動では、対象物に対する体重心位置の移動が起きていると考えられることから、身体の重心である腰位置と頭部の運動の間に相関が見つかる可能性があるものと思われる。そして、足ふみの強さをヘッドホン型デバイスにて推定することができれば、従来の手法に比べてより幅広い場面での応用が可能になると考えた。

### 2. 運動センサによる足ふみ計測の検討

身体に装着することのできる運動センサとしては、センサに作用する力から運動計測を行う加速度センサが、スマートフォンや腕時計型活動量計等への搭載により広く普及している。そして、小型・高性能化や低価格化が進んだことで、いつでもどこでも手軽に使うことのできる運動センサとしての地位を確立しつつある。しかしながらその一方で、瞬間的な衝撃に強く反応してしまうことや、重力に対する姿勢のわずかな変動により、計測される値が大きく変化してしまうことなどから、時間2回積分による移動距離の推定といった手法では、精密な運動計測への加速度センサの適用は困難であることが知られている。そこで本研究では、身体の運動をその場での足ふみに限定することで、身体の様々な部位において計測された加速度データから足裏に生じた圧力の計測結果との照合を試みることにした。

<sup>†</sup> 東京工科大学コンピュータサイエンス学部  
School of Computer Science, Tokyo University of Technology

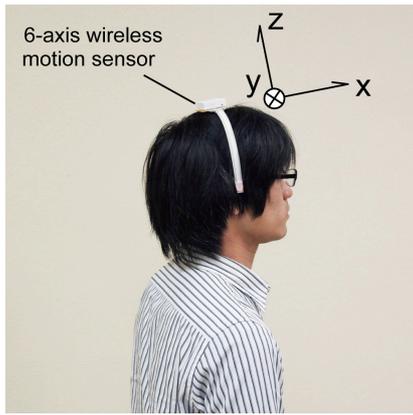


図 1 ヘッドホン型加速度センサによる足ふみ計測  
 Figure 1 Foot stepping motion evaluation  
 by using a head-mounted accelerometer

図 1 は頭頂部に小型のワイヤレス運動センサ（3 軸加速度  $\pm 8G$ ,  $1G = 9.8m/s^2$ , 3 軸角速度, 100 サンプル毎秒）を取りつけたヘッドホンを被験者が装着している様子を示したものである。ここで、被験者の姿勢やセンサの取り付け角度により、3 軸加速度センサの各軸にて計測される加速度の値が重力にて変動することから、加速度の評価パラメータとしては姿勢に対し依存性を持たない 3 次元の合成加速度ベクトル長を使用することとした。また、足裏への圧力を測定する装置としては、市販のテレビゲーム向けにて市販されている体重計型のデバイス（任天堂、バランス Wii ボード）を水平な床面に設置し、運動信号と同時に足裏圧力（荷重）の計測を行った。実験では、①両足で体重計型デバイスの上に乗る、力の入れ具合を 5 段階で段々と強めながら両足での踏み込みを行う、②片足（左足）での足ふみを同様に 5 段階の力にて行う、③右足にて②と同じ動作を行う、といった手順にて計測を行った。その結果、図 2 に示すような圧力波形（上段）及び加速度波形（下段）が得られ、両者の波形変化がほぼ相似形となっていた。これは、静止時には重力加速度=1G となっている合成加速度に対し、足ふみによって新たに加わった力に相当する部分が 1G からのずれとなったためであると考えられる。

図 3 は、実験において計測された圧力と加速度の組を散布図としてプロットしたものであり、両者の間には比例関係的な部分と、加速度が 1G 付近を中心に相関関係が崩れる部分とが存在していることが分かる。その一方で、足ふみ運動全体にわたって、加速度と圧力との間にはかなり強い相関関係 ( $R > 0.95$ ) が維持されていることが分かった。また、足ふみを行わない状態にて被験者が周囲を見回したり、発声を行ったりした場合であっても、図 3 における値ばらつきの範囲内にデータがほぼ収まっていた。この結果、頭部での加速度測定により、うどん打ちといった実際的な場面において、踏み込みによる圧力の変化分をかなり高い精度にて推定できる可能性があることが分かった。

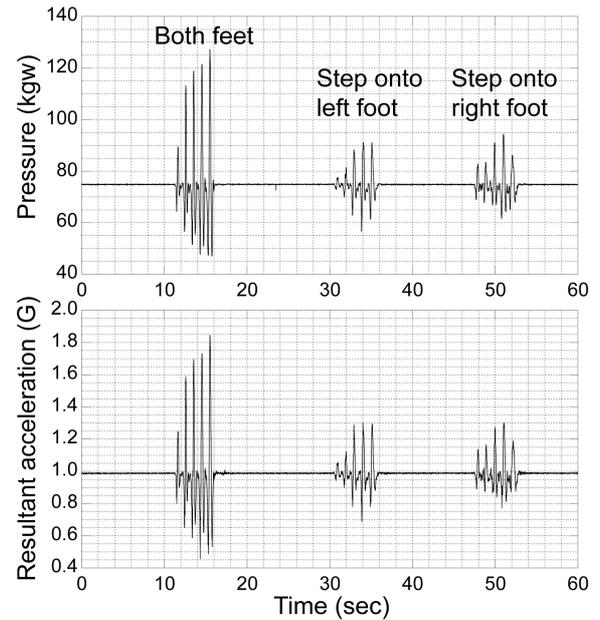


図 2 足ふみにおける圧力と頭部加速度合成値の変化  
 Figure 2 Changes in stepping force and resultant acceleration

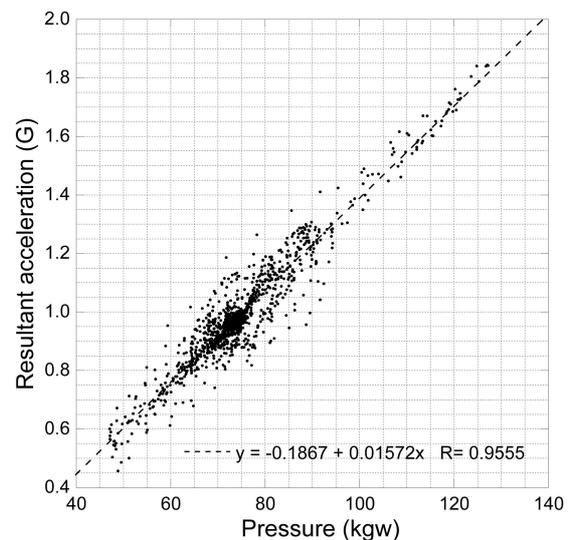


図 3 足ふみにおける圧力と頭部加速度の相関関係  
 Figure 3 Relationship between foot pressure and acceleration

### 3. まとめと今後の展望

本研究では、利用者の頭部に装着した小型の加速度センサにて計測した 3 軸加速度の合成ベクトル長の変化が、足ふみ圧力の変化と強い相関を持つことが分かった。そこで、今後は足ふみの強さをういた実用アプリケーションの検討を進め、本手法の有効性を検証していきたいと考えている。

### 参考文献

[1] L. Chiari et al., Audio-Biofeedback for Balance Improvement: An Accelerometry-Based System, IEEE Trans. Biomedical Eng., Vol. 52, No.12, pp.2108-2111 (2005).