

2010 年度 SFC 研究所プロジェクト補助研究報告書

【研究テーマ】

運動形態判別機能を備えたアクアエクササイズ活動量計の開発

【助成研究費】

350 千円

【申請者】

大学院政策・メディア研究科兼環境情報学部 准教授 仰木裕嗣

【研究協力者】

日本学術振興会特別研究員，SFC 研究所訪問研究員（上席所員） 金田晃一

【研究概要】

仰木研究室では RSSI による無線位置検出技術を応用し、屋内プールでの水中歩行時における消費エネルギー推定・装置を開発した（特許出願 2009-098373）。本研究では、この水中運動のエネルギー消費量推定装置を後ろ歩行や横歩行など、様々な運動形態に拡張することを目的とする。

【研究背景】

申請者の仰木は、これまで加速度センサ・ジャイロセンサなどの慣性センサを応用したセンサデバイスの開発を進めてきた。特にスポーツ運動計測のなかでも水泳やスキージャンプなどカメラでは捉えることが難しい環境下において、カメラを用いることなくヒトの運動を観察するためのデバイスづくりを一貫して進めてきた。そのなかで位置計測については遅れをとっていたが、2007 年秋に米国テキサスインスツルメンツ社より Location Engine という新しい技術が発表され、これを実装した Z i g b e e チップ（無線には IEEE802.15.4, 2.4GHz 帯を使用）が市場に出回り始め、この技術を用いることで位置同定精度が 64m 四方空間において 25cm 程度に高まったことを知った。そこで、この Location Engine を用いて水中歩数計の開発を行った（2008 年 SFC 研究所プロジェクト補助による）。得られる位置情報の微分演算によって移動速度を求め、これから酸素消費量、すなわち消費エネルギーの推測装置を考案した（特許出願 2009-098373）。本装置は水中歩行を行う被験者の後頭部に加速度センサおよび位置計測センサを搭載し（図 1）、プール周辺に 7 つのリファレンスノード（図 2）を配置することで、コース内を往復する被験者の位置変化を計測することができるものである。これによって得られた加速度センサおよび位置計測センサのデータは 1 秒毎にサーバへと送られデータが蓄積され、ここで消費エネルギーを計算する仕組みになっている（図 3、図 4）。



図 1. 加速度センサと位置計測センサを内蔵したゴーグル



図 2. プールサイドに設置したリファレンスノード



図 3. 消費エネルギー計算用 PC

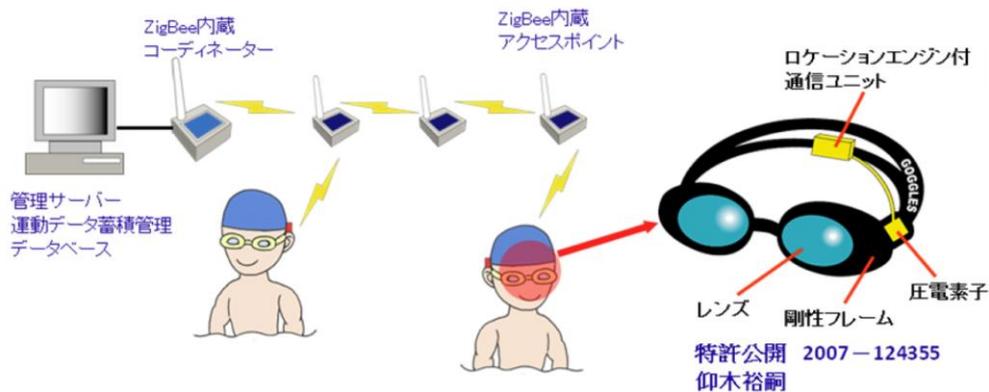


図 4 消費エネルギーモニタリング装置の全体

本システムを開発するにあたり、27歳から75歳までの成人男女を対象に水中歩行時の消費エネルギー、加速度、位置変化測定実験を行い（図5）、得られた実験データから本システムに内蔵する消費エネルギー計算アルゴリズムを作成し、高い消費エネルギーの推定係数を得ることに成功した（図6）。このアルゴリズムについては国内外の学会にて発表を行ってきた（Ohgi et al., ACSMS, 2009; 金田, 仰木ら, 日本体力医学会, 2009; Kaneda, Ohgi et al., BMS, 2010; Ohgi et al., BMS, 2010）。



図 5. 消費エネルギー計算アルゴリズム作成のための基礎実験の風景

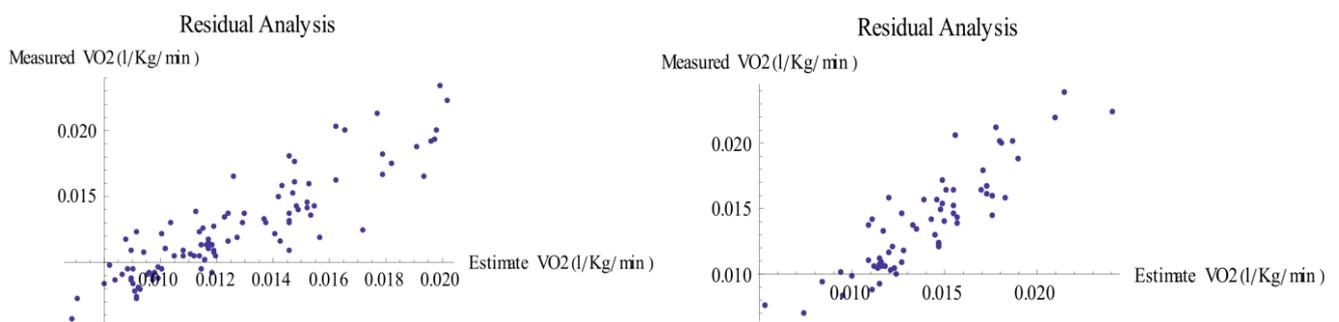


図 6. 実測と推定の消費エネルギーの比較（左-男性 $[r^2=0.74]$, 右-女性 $[r^2=0.73]$ ）

しかし、これまで開発を行ってきたシステムでは、ヒトの水中における前進歩行（ふつうに前に歩くことをさす）に伴う消費エネルギーを算出するにとどまっておらず、後ろ歩きや横歩きをはじめ、実際には多くの運動形態が健康増進運動としての水中運動では実施されている。このことから、本システムで対応した前進歩行のみでは実際にプールにて実用していくには不十分であると考え、今回、これをさらに運動種目を判別し、運動内容を捉えることのできる装置へと拡張する

ことが本申請で実施する研究目的である。また今回の申請では立位の状態で実施する水中運動だけでなく、水平姿勢で実施するクロール、背泳ぎ、平泳ぎ、バタフライといった水泳種目における運動形態も測定し、これらの運動判別も可能な装置へと拡張することも目指し、広くアクアエクササイズ全般を網羅するシステムの開発を目指す。

水中での前進歩行にとどまらず、あらゆる運動形態への適応を可能とする装置を開発することで、実際にプールでの運動指導や個人の健康増進運動としての水中運動の場面に対して消費エネルギーの把握はもちろんのこと、運動内容を管理することによる個人にあった適切な運動プログラムの作成と処方へと役立てることが可能となる。

【研究目的】

本申請では、実施している運動内容を加速度センサによるデータから捉えた情報を持って判別するアルゴリズムを開発する。そのために実際に様々な水中運動を被験者に実施させ、3軸の加速度データを得る。加速度センサによるデータを用いた運動判別は申請者の仰木がこれまでも数多く研究を行ってきたテーマであり、今回はそれを水泳・水中運動の場面に応用していく。

【研究方法】

成人男性 15 名 (28.1 ± 6.5 歳) を対象とした。

対象者は、水中での前進歩行 (遅め, 普通, 速め), 後進歩行 (遅め, 普通, 速め), 横歩行 (遅め - 1 名のみ, 普通, 速め - 1 名のみ), 大股歩行 (普通), 前蹴り歩行 (普通), 体幹捻り歩行 (普通), 膝挙げ歩行 (普通), 膝と肘付け歩行 (普通), 脚横回し前進歩行 (普通), 脚横回し後進歩行 (普通), ジョギング (普通), Deep-Water Running (遅め, 普通, 速め) といった種目を行った。

全ての種目は、水中運動を専門とする健康運動指導士による専門的示唆のもとで代表的なものを選別した。また、実際の実験時にも健康運動指導士の立ち会いのもと、各試技前には正しい動作の指導を行い、各試技の実施時には正しい動作ができていないか否かの判別を行った。

全ての対象者は各試技を 30sec 程度行い、正しい動作にて実施した 2 回を実験データとして採用した。また、その際の身体加速度を計測した。

身体加速度の計測には 3 軸の加速度センサを頭部 (図 1) および胸部 (図 2) に取り付け、サンプリング周波数 100Hz にて収録した。収録したデータは PC に取り込み、各 30sec 間の水中運動の種目のデータからそれぞれ 20sec を切り出し、分析の対象とした。



図 7. 頭部に取り付けた加速度センサ



図 8. 胸部に取り付けた加速度センサ

運動の判別にはニューラルネットワークを用いた。切り出した各 20sec 間のデータからそれぞれ X 軸 (身体鉛直方向), Y 軸 (身体左右方向), Z 軸 (身体前後方向) における平均値, 分

散, 歪度を算出し, 合計 9 変数をニューラルネットワークモデルへの入力変数とした. 出力変数は各試技であることから, 本研究では教師あり学習をニューラルネットワークのモデルとした.



図 9 実験風景

【研究成果】

(1) 実験データ

図 9 には, 被験者が水中歩行を低速度において行った際に, 頭部に装着した加速度センサから, 得られたデータを示している. 時間軸は 20 秒間である.

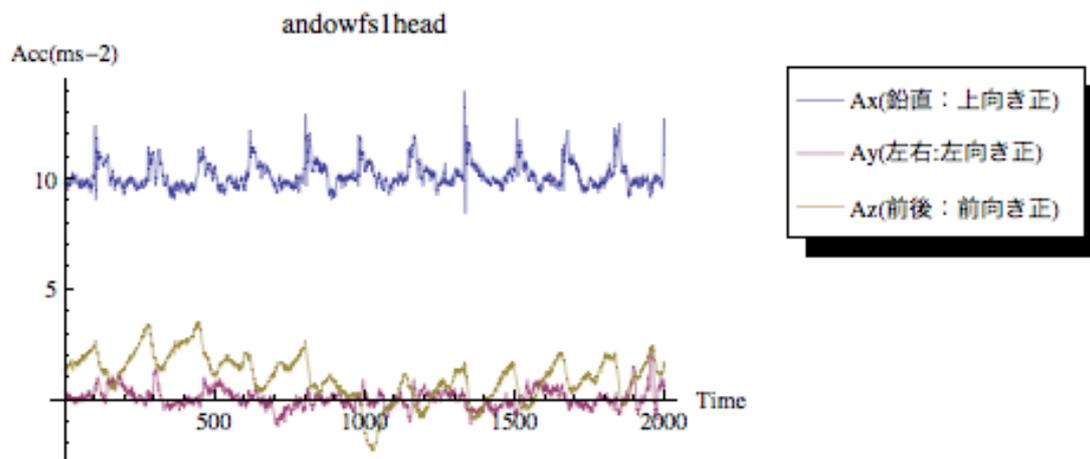


図 10 前進歩行(低速度)における被験者データの一部(20 秒間)

鉛直軸に相当する, 加速度センサ出力の A_x は, 重力加速度の影響によって約 10m/s^2 の近辺を増減している. 左右, 前後の加速度については, $0G$ の付近を増減していることがわかる. それぞれの波形の特徴をつかみ, これを動きの判別に用いることをここでは考える.

(2) 動きの判別

特徴量の抽出にはいくつかの方法が存在するが, ここでは単純な記述統計量によって時系列波形の特徴を表すことにした.

水中歩行中であることを確認した局面 20 秒間の加速度を抽出し、各軸加速度の時系列データについて、(1) 平均値、(2) 分散、(3) 歪度を求めた。3 軸成分であるので、合計 9 つの記述統計量として各被験者の加速度時系列にたいして情報の圧縮を行った。

9 つの入力変数に対して、判別すべき運動状態を、(1) 前進歩行 (遅め、普通、速め)、(2) ジョギング、(3) 後進歩行、(4) 横歩行、の 4 つとした。被験者の試技のなかで、これらのカテゴリに該当すると考えられる試技、前進歩行 (遅め、普通、速め)、後進歩行 (遅め、普通、速め)、横歩行 (遅め - 1 名のみ、普通、速め - 1 名のみ)、ジョギング (普通) における時系列データを全員について抽出した。

得られた 9 つの統計量から 4 つの状態を推定するには、フィードフォワード型のニューラルネットワークを用いた。入力層 9、隠れ層 13、出力層 4 の素子をここでは用いた。ニューラルネットワークには、機械学習アプリケーションの WEKA ver3-6-4 を用いた。

ニューラルネットワークによる判別では、頭部三軸加速度を学習用と検証用に分けて与え、検証用のデータの判別の成否を判定した。正答率は 73%、誤答率は 26% であり、それほど精度の高い判別とは言えない事が明らかになった。勿論、ニューラルネットワークの性質上、隠れ層の数、初期値の設定などでこの判別精度は若干変化することは否めないが、いまだ、高精度の判別ができていないという状況にはない。

(3) 誤判別の検証

誤判別をした検証用データについて、個別の試技を確認したところ、時系列データ自体が同じカテゴリに属する試技とは大きく異なることが判明した。具体的には、長周期で加速度が揺らぐ場合など、その平均値が大きく集団の他のデータと異なってくる。これは体動よりも、むしろ首から上の動きによって引き起こされている可能性が示唆された。また首を上下、左右に振ってうなづいたりする動きも動揺に強く影響を及ぼすと考えられた。

これをさらに検証するために、同条件の同じ時刻における胸に装着した方の加速度センサのデータ解析を目下進めているところである。

【現状課題の解決方法】

現在、胸装着加速度センサによって記録された加速度データをもとに、同様のニューラルネットワークによる判別分析を進めている最中である。

頭部の動揺に比べると比較的、歩行中は安定している胴体部の動きを反映すると思われる胸加速度の解析結果を期待している。

またニューラルネットワークに依存しない、別のアルゴリズムについても検証してみる予定である。

【今後の展開】

水中運動は水の浮力や抵抗の影響により、重力方向のストレスが軽減され、下肢や腰部にかかる負担が少なく、且つ下肢筋群への大きな負荷や高い消費エネルギーを獲得することが可能である。この理由によって、腰痛者、肥満者をはじめ、下肢障害者や心疾患をはじめとする生活習慣病患者まで幅広い対象に適応可能である。

これにくわえて、安全にかつ、水の特性を生かした場合には下肢に対するリハビリテーション、陸上ではトレーニングが困難な筋群への適切な刺激を与えることができ、高い消費エネルギーに加え、様々な効果を持つことも利点として挙げられる。

これまで開発を進めてきた装置では消費エネルギーを推定するのみにとどまっておき、運動判定機能を持ち合わせていない。そこで、実際に水中運動の実施者がプールの中で、どのような運動をどの程度の回数または時間実施したかを把握することが可能となれば、運動内容をもとにスイミングプールのインストラクターや健康運動指導士、または応用健康科学を専門にする研究者などが個人個人の身体の状況に応じた適切な運動プログラムを処方することが可能となる。これまで

画一的に運動プログラムが作成され、処方が行われてきた水中運動において、運動を個人で行うことを可能にし、さらにはむしろその方が個人にとっては有効な運動となりうることを示唆している。特に団体での運動活動に参加することを躊躇する個人に対しても有効な運動処方を手がけることができるため、これまで以上に幅広い対象により効果のある運動プログラムを提供する手段となることが期待できる。

また、近年では特定検診やメタボリックシンドロームに代表されるように、個人だけでなく企業体においてもヒトの健康問題は真剣に取り組んでいかななくてはならない課題である。これまで敬遠されがちであった健康増進運動への取り組みに対してより積極的に関わるための一手段としても、本申請で目標とする研究内容は一端を担うと考えている。

この他にも、本申請において実施する水泳運動時の運動種目を判別する機能を兼ね備えることで、上記に述べた健康増進運動としての水泳・水中運動だけでなく、水泳技術の向上を目的としたマスターズスイミングをはじめとする水泳運動の場面においても本申請で行う実験・アルゴリズムは効力を発揮する。特に泳種目に加え、泳距離や泳タイムなどをも算出可能となれば、これまで手間を要した泳距離および泳タイムの記録はもとより、データとしての蓄積も簡便化され、さらに泳技能の科学的指導までが可能となるであろう。これは将来的には健康増進運動やマスターズのような生涯スポーツとしての水泳だけでなく、オリンピックを目指す水泳選手らに対して応用していくことができる可能性を秘めており、将来性が明るい分野であると考えている。

本研究が目指す装置、すなわち慣性センサによる運動種目判別とエネルギー消費量推定装置、を開発することで、単に個別指導がリアルタイムでできるだけでなく、蓄積するデータによって運動者を指導する医師・保健師・健康運動指導士といった特定健診での事業者に対して、個人の運動履歴をつぶさに観察できる、という恩恵をもたらす。運動したかどうかの問診だけでなく実際にどの程度の強度でどの程度の距離を毎日運動したのかを観察した上で個別の指導ができるという、さらに大きな長所を有している。さらに、これまで開発してきた位置情報の検出機能は、特に高齢者の場合に起こりうるプール内での事故、たとえば心不全や転倒といったことでの溺死などを防ぐことも可能であることから、電波不達の状態で文字どおりの死活監視を可能としている。したがって、この装置をさらに応用化して幅広く適応していくことは、運動者本人、運動指導者、そしてプール事業者にとっての安全性を高める器具としても有用である。

【外部資金獲得結果】

(1) 2011年度 : カシオ科学財団 研究助成
申請したが、不採択