

## 2012 年度学術交流支援資金研究報告（国際交流）

【課題名】 スポーツサイエンスとコグニティブエルゴノミクス

【申請者】 政策・メディア研究科准教授 仰木裕嗣

【研究助成金額】 700 千円

### 【研究テーマ】

ワイヤレスセンサを使った運動計測・解析手法に関する日豪共同研究 VII

### 【研究概要】

人間が運動時にセンサを持ち歩くようになると、その運動を計測する需要が高まると考えられることから、センサネットワークはより高速サンプリングの時代を迎えると考えられる。申請者の仰木は、加速度センサや角速度センサなどの慣性センサを用いた運動解析方法の開発を行ってきたが、これまでの一連の研究で利用してきた慣性センサデバイスは、全てデータロガー式（メモリ記録式で、事後データを取り出す）であったことから、我々のデータ取得はリアルタイム性に乏しかった。これに対してオーストラリア・グリフィス大学工学部の Center for Wireless Monitoring and Application (CWMA) では、Bluetooth や他の無線を運動計測に活用する研究が進められており、同研究所の研究代表者でもある Dr. Daniel James 氏は歩行やスポーツ運動の解析において無線活用の提案を早くから行ってきた。

2006 年度の学術交流支援資金によってグリフィス大学との交流事業は双方の大学院生・研究者間の交流として結実し、2007 年度はお互いの大学間でもちあう技術をさらに融合し、国際会議において慣性センサを用いたヒトの運動計測についてのワークショップを開催し、世界各国から参加した学会参加者に対して慣性センサの使用法、時系列データの分析法などを教えた。2008 年度、および 2009 年度は、無線計測をヒトの運動計測に活用するため、さらに研究を推進するべく本研究助成に応募した。2008 年度は、我々研究グループの活動が評価され、豪日交流基金 (Australia Japan Foundation) によって研究交流事業に対する助成をうけることができたため、学術交流支援資金ならびに豪日交流基金の両方の支援をうけて研究交流を推進した。2009 年度に引き続き、小型軽量、省電力と進化するマイクロプロセッサをスポーツに活用するために、

技術交流を計画した。またグリフィス大学から派生し、オーストラリアにおいて、サンシャインコースト大学、サザンクロス大学といった他の大学研究者との交流が行われるようになり、テーマも取り組み方法も幅広い新たなメンバーが参画してきた。2010年度には、iPhoneをプラットフォームにしてスポーツ計測アプリケーションを開発する、グリフィス大学講師 Dr. Roland 氏による講演会を SFC で開催した。2011年度には、国内およびオーストラリアにおいて、研究成果発表および研究ミーティングを行い、グリフィス大学が特に集中して研究を進めている水泳研究において様々な討論を行った。また学振特別研究員として当研究室に所属する研究員がサンシャインコースト大学に1年間（2011年6月から2012年5月）にわたって滞在し、当研究室で進めている水中歩数計／エネルギー消費量計の発展的研究実験に従事した。

#### 【研究目的】

本研究は、スポーツ運動をはじめとする人間の運動解析において、無線計測技術の応用事例と具体的データ解析手法の提案を日豪の共同研究によって進めることを目的とする。2012年度は、慶應義塾大学、グリフィス大学、サンシャインコースト大学の研究者および学生間の交流によって無線慣性センサの応用研究を進める。

#### 【研究成果】

##### (1) 招聘外国人による研究活動

##### (ア) JSPS の海外特別研究員 Dr. James Lee 氏招聘

Dr. James Lee 氏は、JSPS の海外特別研究員（ポスドク）として、2011年11月29日に再来日し、2012年11月28日までの1年間、仰木研究室において研究活動を行った。氏の専門分野はスポーツバイオメカニクスであるが、グリフィス大学無線工学応用研究所のメンバーの一員として、無線慣性センサを用いた歩行解析を博士論文テーマとし学位を取得し、その専門性を活かし、本研究プロジェクトのなかで、義足装用者のランニングおよび歩行についての運動解析を担当した。また、氏の研究経歴では、水泳における慣性センサの応用も豊富に持っていることから、現在仰木研究室で進めている水泳研究にも参加した。

(イ) グリフィス大学工学部大学院生、Mr. Mitchell McCarthy (ミッチェル・マッカーシー) 君招聘

グリフィス大学工学部の大学院修士課程 2 年に在籍する学生、Mr. Mitchell McCarthy を、義足歩行研究、および競走馬における歩容研究の協力者として招聘し、研究実験に参画させた。Mr. Mitchell McCarthy 君は、慣性センサと無線技術を利用してテニスなどのスポーツ運動を計測し、クラウドコンピューティングにおける遠隔データベースにデータを蓄積する、といった研究に従事してきており、特に彼がテニススイングに関する研究において用いた光学式モーションキャプチャー装置とその応用についてのエキスパートであった。また得られた時系列データの蓄積・可視化について彼のもつクラウドコンピューティングへの応用について滞在中にディスカッションを行った。

(ウ) MPI Informatik 博士課程大学院生、Mr. Thomas Helten 君との研究交流活動

本研究助成金による招聘事業ではなかったが、日本学術振興会サマープログラムの助成によって、ドイツから Mr. Thomas Helten 君が 3 ヶ月の短期間来日し、我々の研究プロジェクトに参加した。Mr. Thomas Helten 君は、マックスプランク研究所において情報科学を専攻し、特に画像処理・機械学習に関する基礎的アルゴリズム開発を研究テーマとしており、本プロジェクト内では水中歩数計開発のプロジェクトにおける実験データ解析に従事した。この研究テーマにおいては、様々な水中歩行形態によって異なる加速度波形が得られているが、時系列波形からの歩容の判別についてアルゴリズム開発を学振特別研究員の金田晃一博士とともに担当した。

## (2) 研究具体事案

### (ア) 義足歩行における運動解析

SFC における義足歩行研究では、これまでスポーツ義足について慣性センサを用いた運動解析を中心として研究を行ってきたが、本研究助成金のなかでは健常者、義足装用者、また下肢手術後のリハビリテーション過程の患者における歩行計測実験を行った。スポーツ用義足に関する実験では屋外のトラックにおいて走る義足ランナーの運動を捉えるために慣性センサを用いてきたが、直射日

光による影響が大きいいため、正確な位置座標の計測を光学式モーションキャプチャーによって実現することが困難であった。そこで、研究対象を歩行に絞り込み、義足歩行の下肢に作用する運動力学量の同定を行うため、体育館内に敷設した歩行路を歩く被験者の歩容を光学式モーションキャプチャーによって計測した。

両下肢はそれぞれ 3 リンクのリンクセグメントモデルによってモデル化し、運動方程式をニュートン・オイラー法によって解くことで運動学量、運動力学量を求めた。計測装置によって得られた関節標識点のマーカース座標から関節間力、関節トルク、関節パワー等の力学量を算出し、遊脚期における下肢の長軸周りに生じる回旋運動について考察を行っている。遊脚期には前方へと振り戻される下腿が、ときとして素早い内外旋をみせる。この内外旋運動はそもそも自発的に生じるものであるのか、あるいは回転によって生じる効果、すなわちコリオリ力によるものであるのか、これに言及した研究論文は少ない。そこで本研究では、運動方程式上に記述されている、内外旋トルクによる効果とコリオリ力による効果を比較し検討している。大腿義足では、膝下部分の運動は膝関節に筋トルクが発生しないために、遊脚期における屈曲／伸展、内旋／外旋、内転／外転は、膝関節における慣性力が要因であると考えられるが、近位の大腿部の運動が原因となっている内外旋であるのか、あるいは遊脚スイング中に生じる内外転運動が要因となっている内外旋であるのか、すなわちジャイロ効果による運動であるのか、これを今後は光学式モーションキャプチャーではなく、無線慣性センサによって推定することが研究の次の段階である。

研究成果は、今夏台湾において行われる国際スポーツバイオメカニクス学会において発表する予定である。



図 1：義足被験者の歩行実験の様子

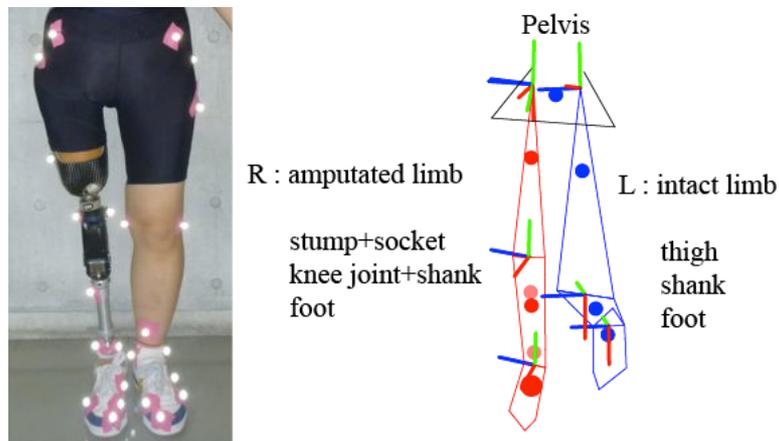


図 2：大腿義足被験者の下肢モデル

#### (イ) 競走馬の歩容における運動解析

下肢に作用する力、流れるエネルギーに関する研究は、ヒト以外の動物の歩容においても注目を集めている。本研究では、競走馬の歩容に関して義足研究において取り組んだ手法を適用した。研究には、日本中央競馬会競走馬総合研究所の協力を得て、同研究所のある栃木県宇都宮市において実施した。

同研究所内にある、ウマ用トレッドミル上で走行速度を、三段階に変化させ、ウォーク、トロット、キャンターの 3 つの歩容でウマを歩行・走行させ、これを光学式モーションキャプチャーシステムによって観察した。馬体には解剖学的標識点に反射マーカを貼付けその位置座標を計測した。ウマの下肢構造のモデル化にあたっては、前肢・後肢それぞれを 4 リンクとみなした。ヒトの解析同様にニュートン・オイラー法によって運動方程式を解き、関節間力、関節トルク、関節パワーを求めた。

研究結果から、ウマの歩行・走行の遊脚期においては、下肢関節を曲げることで慣性モーメントを小さくし、また関節をロックして自由度を減らした状態、すなわちリンク数があたかも減ったようにしてスイングが行われていることが、関節パワーの流れと関節角速度を比較することで示唆された。

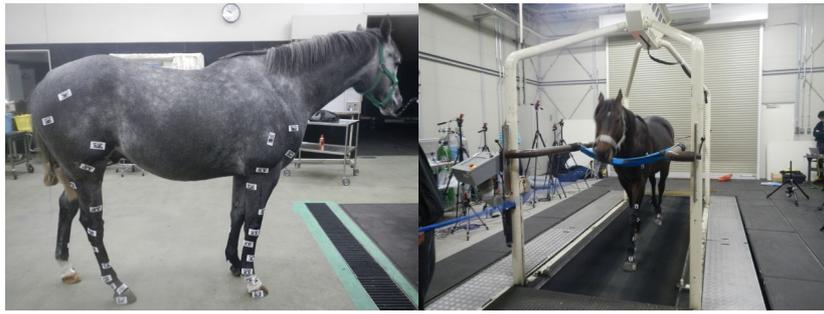


図 3 : 競走馬総合研究所におけるウマの歩容計測実験

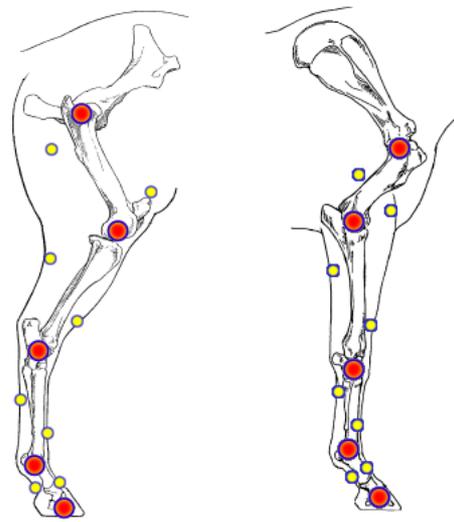


図 4 : ウマの下肢リンクを規定する解剖学的標識点