

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月10日現在

機関番号：57301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500603

研究課題名（和文） ラグビーにおけるブレイクダウンの衝突力学的解析

研究課題名（英文） Collision dynamic analysis of the break down in the rugby football

研究代表者

中島 賢治（NAKASHIMA KENJI）

佐世保工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：40311112

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、ラグビー競技の中で起こる接触プレイを工学的に解析し、その衝突力学モデルを構築することである。そのため、小型慣性センサを実際の選手に装着し、実践的なスキル（タックルとサイドステップ）について、運動特性を計測した。センサから得られる電気信号を運動解析に有用なデータへ加工するため、①姿勢回転行列の適用、②電氣的ノイズ除去、③スパン誤差補正（ドリフト誤差修正）を施した。実験においては、本校のラグビー部員を対象として、計測・検証を繰り返した。科研費助成期間の研究で、ラグビー選手の実践的スキルにおける運動特性を数秒間計測することに成功した。衝撃力と運動軌跡の計測結果を実際の値（真値）と比較したところ、ほぼ5割の確率で計測が可能であった。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is analyzing a contact play of the rugby football and is the construction of the collision dynamics model. Therefore a micro inertial sensor was put on a real player, and the motion properties of practical skills (tackles and side steps) were measured. ①position angle conversion, ②electrical noise reduction and ③span error (drift error) correction were applied to sensor signal. And the measurement for the real rugby player was repeated. In this study, it succeeded to measure motion of rugby player properties in the practical skill for several seconds. A crash force and the motion trace of the measurement result were compared with the real value (truth value), and a measurement was possible with probability of the approximately 50%.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 1,900,000 | 570,000 | 2,470,000 |
| 2011年度 | 300,000 | 90,000 | 390,000 |
| 2012年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,700,000 | 810,000 | 3,510,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：ラグビー、小型慣性センサ、衝撃力、運動軌跡

1. 研究開始当初の背景

2016年五輪競技復活や2019年ワールドカップ日本開催など、国内ではラグビー競技に注目が集まりつつあり、競技関係者の中で実

践的ゲーム分析やスキル研究の重要性が増している。ラグビー科学の分野においては、ゲーム中の選手の走特性を分析するために小型GPSを利用する研究例[1]が増えている。

一方で、各種スポーツなど人体の運動計測を対象として、加速度センサや角速度センサ、地磁気センサを用いた研究が精力的に行われるようになり、スキーマの運動解析[2]や歩行困難者の治癒状態把握[3]などに応用され始めている。サッカーやラグビーを含むフットボール科学の分野では、GPS を利用し走特性の解析が行われているが、ラグビーは積極的な身体接触を含むので、選手の負荷を解析するとき、走特性とともに衝突特性を同時に考慮することが必要である。衝撃力を計測する場合、加速度を取得する必要があるが、GPS 計測値から加速度を得るには2階微分する必要があり誤差が増大する。慣性センサであれば直接加速度を取得することが可能なため、衝撃力の算出が容易であると予想される。また、ラグビー競技におけるタックルやサイドステップなどの試技計測は約 10 [m]四方以下の計測範囲である場合が多く、現在市販されている汎用の GPS の計測精度が数 [m] であることから、GPS を本研究に適用することは難しい。加えて、3 軸加速度センサによる計測であれば3次元の移動軌跡を算出することができる。以上のように、スポーツ運動解析に慣性センサを利用する利点は多いが、センサから直接得られる電気信号だけでは優位性が低く、ユーザーが理解しやすいデータに加工することが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、加速度センサと角速度センサから直接得られる信号から衝撃力と運動軌跡の計測を行うシステムの構築を目指している。運動方程式に直接かかわる加速度と角速度を計測することにより、選手にかかる衝撃力やモーメント、選手の3次元移動軌跡の計算を行なう。本研究では、加速度センサと角速度センサから得られる信号に回転行列を適用して、センサが持つ局所座標の加速度を絶対座標の加速度に姿勢変換し、積分によって絶対座標における速度と位置を算出する。衝撃力は運動方程式に基づき絶対座標の加速度より算出する。また、誤差補正として、センサによる測定値と試技終了後に実測された適正值を比較し、補正する方法を用いる。

3. 研究の方法

本研究では、9 軸ワイヤレスモーションセンサ（ロジカルプロダクト社製、以降 WMS）を使用し、WMS を計測対象者に装着し運動を解析する。表 1 は、センサの仕様である。WMS 内には、3 軸加速度センサ、3 軸ジャイロセンサ、3 軸地磁気センサが内蔵されている。本研究で使用する加速度センサと角速度センサの測定データは、専用のソフトウェアで電圧値から演算データに変換される。

表 1 センサー仕様

| センサー全体 | |
|-----------|-------------------|
| 通信距離 | 50 [m] |
| 消費電力 | 260 [mW] |
| サンプリング周波数 | 1~1000 [Hz] |
| 外形サイズ | 40×20×55 [mm] |
| 質量 | 35 [g] (含バッテリー) |
| 測定範囲 | |
| 加速度センサ | 各軸±50 [G] |
| 各速度センサ | 各軸±1500 [deg/sec] |
| 地磁気センサ | 各軸±4 [Gauss] |

本実験では、センサを装着した計測対象者（今回の実験では、本校ラグビー部員を対象）がステップ及びタックル動作をし、測定結果から計測対象者の運動軌跡及び生じた衝撃力を算出する。図 1 のように計測対象者にセンサを 2 個（体幹の下部のセンサを下部センサ、上部のセンサを上部センサとする）取り付け、進行方向が z 軸正方向、進行方向に向かって左側が y 軸正方向、鉛直下方向が x 軸正方向となるようにセンサを装着している。サンプリング周波数は 500 [Hz] に設定した。

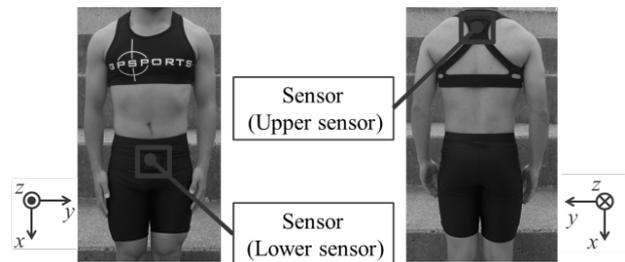


図 1 センサー装着の様子

4. 研究成果

(1) 実験方法（タックル動作）

本実験では、ボールキャリアとタックラーの計測対象者にそれぞれセンサを 2 個ずつ装着しタックル動作時の衝撃力を測定した。図 2 は、タックル動作の模式図である。ボールキャリアとタックラーが 4 [m] 離れた地点に立ち、スタートの合図と同時にタックルを行なう。タックルの様子はビデオカメラで撮影し、測定結果とビデオの映像を比較する。前章と同様の方法で速度 V_y , V_z を求め、これより運動軌跡と衝撃力 F を算出する。

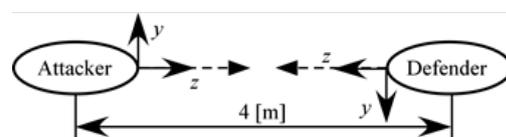


図 2 タックル動作の条件

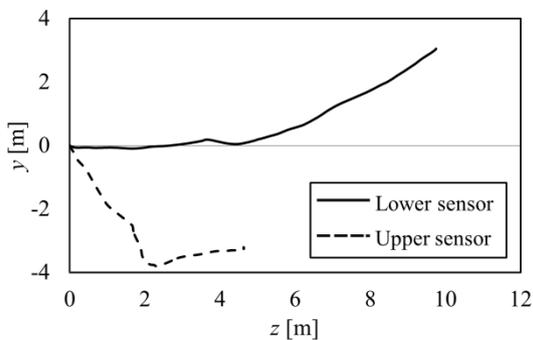
(2) 実験結果

図3は、ボールキャリアとタックラーのz-y平面運動軌跡である。点線は上部センサ、実線は下部センサを示している。

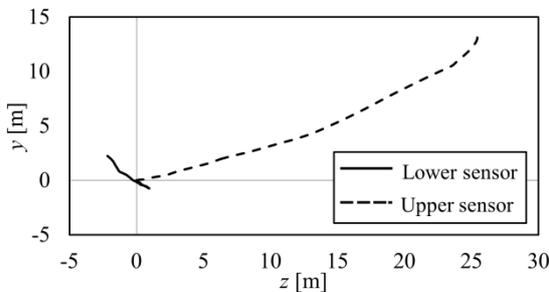
実験と同時に撮影されたビデオの映像と比較してボールキャリアの動きを確認すると、約4[m]直線運動し、そこで進行方向斜め左前に倒れている。図3(a)ボールキャリアの下部センサの測定結果をみると、約4[m]の直線運動ののち左斜め前に変位があり、実際の運動が定性的に表されている。しかし、図3(a)上部センサの測定結果は全く異なる運動軌跡である。

次に、タックラーの動きをビデオ映像で確認すると、約1[m]直線運動し、タックルを受け押し戻され、進行方向と逆向きに倒れている。図3(b)タックラーの下部センサの測定結果をみると、約1[m]の直線移動ののち逆方向へ変位が出ていることがわかり、実際の運動が定性的に表されている。図3(b)タックラーの結果でも、上部センサの結果は実際の運動と全く異なる。

図3(a)および(b)のボールキャリア及びタックラーの結果から、下部センサの方が正しく測定できていることがわかる。上部センサの誤差が大きいのは、センサ装着位置が体の重心から離れているために、ステップ実験の場合と同様に、体全体の運動と別に上半身の動きも検出しているからと考えられる。以上の結果を参考にして、衝撃力の算出は下部センサの結果を用いることにした。



(a) ボールキャリア



(b) タックラー

図3 タックル動作のz-y平面運動軌跡

図4は実際の運動に近い形で軌跡を表示したもので、ボールキャリアのスタート地点を(4, 0)、タックラーのスタート地点を(0, 0)として表示している。二点鎖線がボールキャリア、一点鎖線がタックラーを示している。図4の結果から、ビデオ映像から確認した実際の選手の動きと測定結果である運動軌跡は、定性的には一致する。しかし、移動距離について定量的にみると、実際の運動より大きく計測しているため、正確な運動軌跡を得るためには補正を用いる必要がある。本実験から、下部センサから定性的な運動軌跡が測定でき、上部センサは誤差により正しく測定できていないことがわかった。そのため、衝撃力は下部センサの測定結果より求めた速度から算出する。衝撃力 F_y , F_z は、下部センサから得られた加速度 a_y , a_z に回転行列を適用したのち、積分し求めた速度 V_y , V_z を用いて算出する。

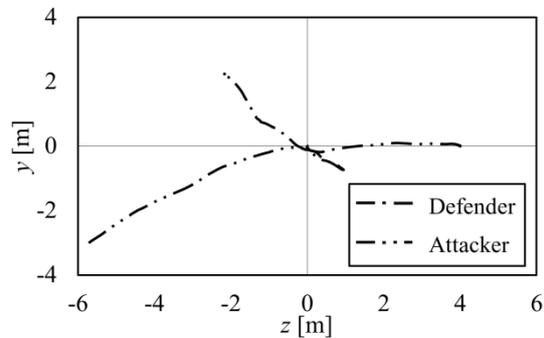


図4 タックル動作のz-y平面運動軌跡 (実際の位置)

衝撃力の計算に必要なスパン誤差補正後の速度を算出する。図5及び図6は、下部センサから得られた加速度に回転行列を適用したのち、積分し求めた速度 V_y , V_z である。図5はボールキャリア、図6はタックラーの速度を示しており、横軸は経過時間、縦軸は速度である。 V_y , V_z はスパン誤差補正後の速度であるため、運動を終了し静止している約4[s]で速度が0[m/s]になっている。図5、図6でみると、常に速度の変動があるが、特に約1.5[s]付近での速度の変動が非常に大きい。また、ビデオ映像で確認すると、約1.3[s]で衝突が起こっている。よって、ビデオ映像と測定結果から、特に速度変動が大きいAB間で衝突が起こったと考えて衝撃力を計算する。計算の際には、点Aでの速度を衝突前の速度 V_1 、点Bでの速度を衝突後の速度 V_2 、点Aでの時刻と点Bでの時刻の差を外力が加わった時間とする。表2は、速度 V_1 、速度 V_2 、 V_1 と V_2 から求めた F の結果を示している。また、結果をベクトル形式で図示すると、図7のようになる。二点鎖線がボールキャリア、一点鎖線がタックラーを示している。図7でみると、タックラーにかかる衝撃力と

ボールキャリアにかかる衝撃力が反対方向に加わっており、タックラーの衝撃力がやや大きい値になっている。

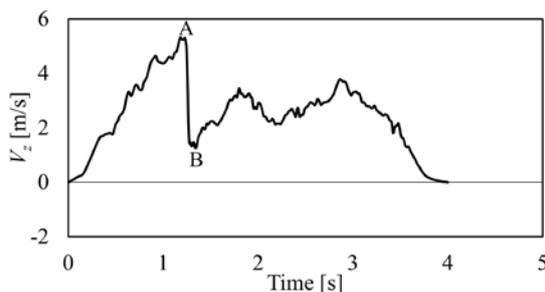


図5 ボールキャリアの速度と時間の関係
(z方向速度)

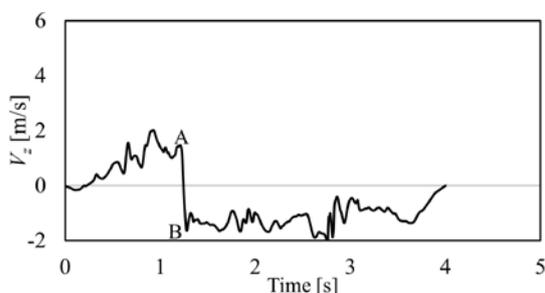


図6 タックラーの速度と時間の関係
(z方向速度)

タックル動作の実験から、ボールキャリアに加わった衝撃力は 3.45 [G]、タックラーに加わった衝撃力は 4.15 [G]と測定できた。McLellan らの GPS による衝撃力の計測では、タックルによる重度の衝撃力が約 8.1 [G]と測定されている[4]。McLellan らの計測対象者はプロのラグビー選手であるのに対し、本研究の計測対象者は 20 以下の高専ラグビー部員である。しかし、ビデオ動画等でみると、加速度変化に関してはほとんど差異がないと考えられる。本研究の結果と McLellan らとの差異の理由として、測定データとデータの処理方法の違いがある。McLellan ら[4]は GPS から得られる位置情報を微分して衝撃力を計算していると思われるが、本研究では加速度センサから得られる加速度データを積分して衝撃力を求めている。積分には平滑化の効果が期待でき、微分による計算に比べ精度は高いと考えられる。よって、本実験で測定できた結果は実際の衝撃力に近いものであると思われる。また、これまで、Timら[5]、[6]は慣性センサで計測し、3軸方向加速度の和で衝撃力を評価していたが、本実験からより力学的に正しい計算により、衝撃力の算出を行なうことが出来た。

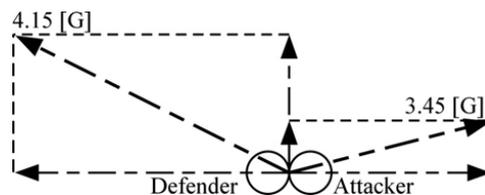


図7 衝撃力の計測結果

(3) まとめ

ステップ動作の実験から、本研究で使用しているアルゴリズムによって、ある程度の精度で運動軌跡を求められることがわかった。タックル動作の実験から、選手にかかる衝撃力の大きさと向きを算出することが出来た。しかし、測定した運動軌跡での誤差及び測定した衝撃力の誤差が定量的に分らない。また、誤差の要因なども分かっていない。そのため、どちらの実験においても理論値が正確にわかる実験を行ない、誤差の定量化と誤差の原因の抽出が必要である。実際の測定状態に近い実験で誤差の原因の抽出を行ない、誤差を補正する新たなアルゴリズムを考案する必要がある。

さらに、スポーツ科学の分野においては、選手の3次元での運動軌跡の表示や衝突の程度のカテゴリ (Mild, Moderate, Heavy) を自動化したいという要求がある。運動軌跡の自動化のためには、変位の誤差修正や補正の自動化が必要である。また、衝撃力のカテゴリのためには、グラフから衝撃力を算出するとき、どこで衝突が起こったかを自動的に判定してデータ蓄積する技術の開発が必要である。以上のことを考慮し、将来的に、本研究で得られた計測ロジックをプログラム化し、スポーツ科学に利用可能なシステムの開発を行う。

参考文献

- [1] Iwabuchi K., Iwai Y., Furukawa T., “A novel use of GPS for players’ movement analysis in Rugby sevens”, 7th World Congress on Science & Football vol. 8 Suppl. 1, pp. 24, (2011)
- [2] 廣瀬圭, 土岐仁, 小田紳介, 永作清, “スキー・ターンの運動力学解析に関する研究”, ジョイント・シンポジウム 2008 講演論文集, pp. 137-140, (2008)
- [3] 佐川貢一, 田中秀幸, 塚本利昭, 石橋恭之, “身体装着型センサによる両足爪先の 3次元軌道推定”, 日本機械学会 2011 年次大会 DVD-ROM 論文集, (2011)
- [4] Christopher P. McLellan, Dale I. Lovell, Gregory C. Gass, “Biochemical and endocrine responses to impact and collision during elite Rugby League match

play”, The Journal of Strength & Conditioning Research June 2011 Volume 25 Issue 6, pp. 1553-1562, (2011)

[5] Tim Gabbett, David Jenkins, Bruce Abernethy, “Physical collisions and injury during professional rugby league skills training”, Journal of Science and Medicine in Sport 13, pp. 578-583, (2010)

[6] Tim J. Gabbett, David G. Jenkins, Bruce Abernethy, “Physical collisions and injury in professional rugby league match-play”, Journal of Science and Medicine in Sport 14 pp. 210-215, (2011)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

① 中島賢治・城野祐生・川原貴司・堂平良一・Tim GABBETT, ”ラグビーの実践的スキルを対象とする加速度センサと角速度センサによる衝撃力の計測”, 日本機械学会 [No.12-39] シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2012, (2012. 11. 15-17), 愛知大学 (愛知県)

② 中島賢治・城野祐生・川原貴司・堂平良一, ”加速度センサと角速度センサを用いたラグビー選手の運動解析”, 日本機械学会 2012 年度年次大会, (2012. 9. 10), 金沢大学 (石川県)

③ 中島賢治・城野祐生・川原貴司・堂平良一, ”加速度センサと角速度センサを用いたラグビーにおける接触プレイの計測”, 日本機械学会 2011 年度年次大会, (2011. 9. 14), 東京工業大学 (東京都)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 賢治 (NAKASHIMA KENJI)
佐世保工業高等専門学校・機械工学科・
准教授

研究者番号：40311112

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：