

片脚ジャンプ動作遂行時の不可測な外乱に対する姿勢制御方略
－柔道選手の軸足と作用足の非対称性に関する研究報告－

Postural Control during Single-leg Hop with Unpredictable Perturbation
Study of Asymmetrical Relation between *Jiku-ashi* and *Sayo-ashi* in Judo Athletes

岡井 理香¹ 出口 達也¹

Rika Okai¹ Tatusya Deguchi¹

¹広島大学

¹Hiroshima University

Abstract

This study aims to demonstrate the asymmetrical relation between *jiku-ashi* and *sayo-ashi* by examining postural control on consecutive single-leg hopping in Judo athletes. Seven subjects with at least ten-year-experience in Judo participated in this experiment. In the experiment, the subjects made five hops at 60-centimeter-interval at 140 bpm and landed on the target, which the subjects were directed to land on either right or left at their fourth hop. Maximum load at vertical and anterior force were investigated based on the data obtained in the force plate measuring the third hop till the last landing respectively. The contact time and hop time were also calculated. The results imply two significant considerations. Firstly, compared to landing on *sayo-ashi*, when landing on *jiku-ashi*, the contact time was short. Secondly, the vertical force at the fifth hop, immediately after the subjects were given landing direction, was high. These indicate that Judo athletes could possibly take different postural control in a different leg, depending on whether *jiku-ashi* or *sayo-ashi* is used.

Key words : Judo athlete, postural control, asymmetry, single-leg hop, prediction

キーワード : 柔道選手, 姿勢制御, 非対称性, 片脚ジャンプ, 予測

¹広島大学大学院教育研究科健康スポーツ科学講座

〒739-8524 東広島市鏡山 1-1-1

連絡先 : 岡井理香 (rokai@hiroshima-u.ac.jp)

¹Graduate School of Education

School of Education

1-1-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima City, Hiroshima, 739-8524 JAPAN

Corresponding author : Rika Okai (rokai@hiroshima-u.ac.jp)

1. 緒言

本研究は身体の安定性が勝敗に直結する柔道競技において、姿勢制御の観点からハイパフォーマンスの実現と下肢のスポーツ外傷予防に関する知見を得ることを目標とするものである。本報告書ではミズノ財団法人スポーツ学等研究助成により、上記の第1歩として実施した軸足と作用足の非対称性に関する研究結果を報告する。

スポーツ選手の身体機能については、心肺機能や筋力、柔軟性などの生理学的指標を中心に様々な項目の測定評価が行われているが、“動的なバランス能力”に対する定量的な評価方法は少なく、姿勢制御に関する研究領域では“捉えどころのないもの”として長年常に議論的とされてきた。そんな中、近年では20-30cmの台からのdrop jumpやvertical jump、single leg hopを用い、着地時の床反力データから動的バランス評価指標が検討され、全身的な動的姿勢制御に関する定量的な評価の開発が行われている。これらの指標は、重篤なスポーツ外傷である膝前十字靭帯（ACL）損傷における術後の機能回復¹⁾や、損傷のリスクを潜在的に有するアスリートをスクリーニングするための評価として検証²⁾³⁾されている。

上記に関する先行研究ではジャンプ後に両脚、もしくは片脚での立位姿勢を静止的に保持させるものであり、着地後に立位を保つことができなかった試行や、着地後に足をずらすことにより支持底面が移動した試行は一般的にデータから取り除かれて分析されている。しかしながら、スポーツ競技場面においては刻一刻と変化する環境の下、非予測的かつ連続的な外乱の中で随意運動を遂行する必要がある。そのため、ACL損傷が生じるとされる着地時40ms以内の時間帯⁴⁾は身体を安定させると同時に次の運動を遂行するための運動制御が必要となる。また、柔道競技においては技をかける際に1本脚で身体を支える軸足と技を掛ける作用足の役割は全く異なり、左右脚がどちらの役割を担うかは利き足に因らず、その選手が右組みか左組みかによって決定する。そのため、柔道選手を対象とする場合には、左右や健患側の比較だけではなく、左右で明確に異なる柔道競技特有の脚の使い方を考慮した上で姿勢制御に関する機能を検討する必要がある。

そこで本研究では、前方方向への連続的なジャンプ課題に不可測な外乱を負荷することで、スポーツ競技場面により近い状況を設定し、当該の環境下における姿勢制御方略を明らかにすることを目標とした。また、片脚ジャンプを用いて柔道選手の軸足と作用足の非対称性を検討することで、冒頭の研究目標を達成するための知見を得ることを目指した。

2. 研究方法

全国大会出場もしくは全国上位レベルの柔道競技選手7名（年齢:19.6±1.9歳、体重:75.1±20.8kg、身長:160.7±8.9cm、柔道歴:12.9±2.5年）を対象とし、すべての被験者は柔道競技において支障のあるスポーツ外傷を現在身体に抱えていない者とした。被験者の組みについては3名が右組み、4名が左組みであり、利き足は7名とも右脚であった。実験に先立ち、被験者には実験計画書を用いて口頭で研究の目的および実験内容を説明し、すべての被験者より書面にて同意を得た。

被験者は運動着を着用し、裸足でFig.1に示す実験課題を行った。動作課題は前方方向への計

6歩の片脚ジャンプにおける選択反応課題とし、5歩の直線ジャンプ後に左右いずれかのターゲットへ着地した。着地ターゲットの方向の指示は、ジャンプ4歩目の着地時に視覚刺激にて呈示した。視覚刺激は、被験者の前方約3mに50cm×50cmのLED呈示版（フォーアシスト社製 FMT-TC03J, ϕ 10mm）を設置し、右方向への着地指示は右方向のLEDを点灯、左方向への着地は左方向のLEDを点灯した。また、片脚ジャンプについて、被験者は両腕を腋窩に挟み、視線は呈示版に固定することを指示した。すべての各片脚ジャンプの間隔はすべて60cmとし、着地点には長さ3cmのテープで×印を示した。これらの課題について、被験者はメロノームで提示される140bpmのテンポに合わせて片脚ジャンプを行った。実験条件については、軸足での片脚ジャンプを行う軸足条件と作用足で行う作用足条件とした。また、ジャンプする脚と反応方向との整合性について、ジャンプ脚とターゲットが同方向の場合を straight task、逆方向の場合を cross task とし、左右それぞれの脚において各課題3試行をランダムに配列した計12試行を行った。被験者は実験の内容を十分理解した上で実験開始前に練習を行い、試行間には適宜休憩を挟んだ。

上記の実験内容について、片脚ジャンプの3歩目からターゲットへの着地までの4歩のジャンプ（Fig.1に示すFP①、②、③およびTarget）における床反力データを8基の床反力計（AMTI社製フォースプレートシステムBP400/600 HF2000; Boston, America）により、サンプリング周波数1000Hzで計測した。測定したデータはソフトウェアNexus1.8.5によりコンピューターに取り込み、データの解析にはToMoCo-TM（東総システム社製波形統合プログラムVer10.10）を使用した。各被験者の床反力は体重で補正し、鉛直方向への力を基に接地時間（contact time）と滞空時間（hop time）を求めた。統計処理については、IBM SPSS statistics ver.25を使用し、条件（軸足、作用足）と課題（straight, cross）を要因とする二元配置分散分析を用いて差の検定を行った。なお、すべての検定における有意水準は5%未満とした。

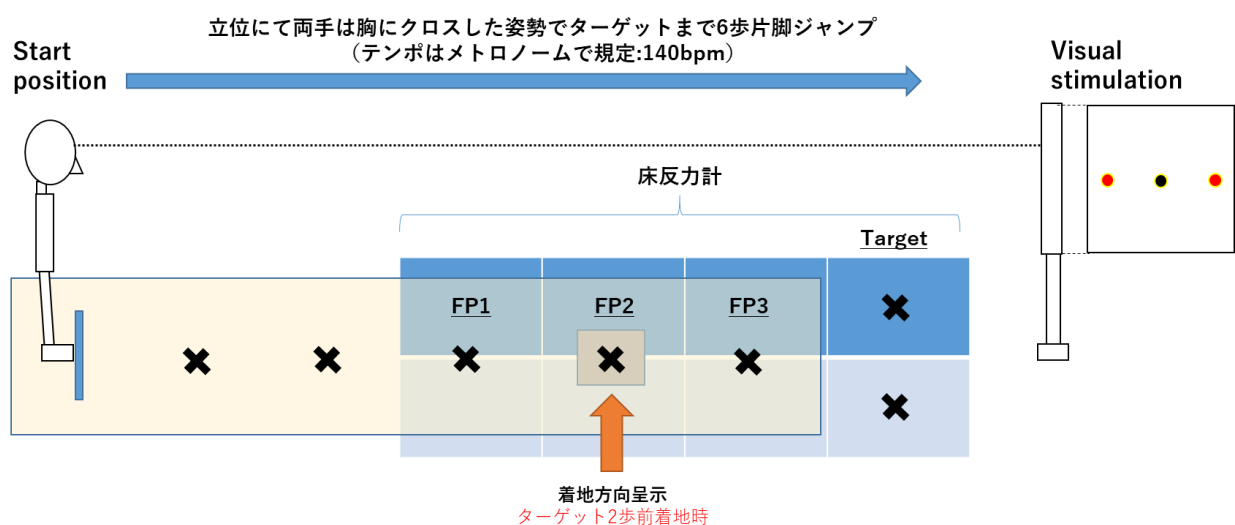


Fig. 1 実験の概要図

3. 結果

本研究の被験者7名について、3名は右組み（左脚が軸足、右脚が作用足）、4名は左組み（右脚が軸足、左脚が作用足）であった。また、被験者は全員が柔道歴10年以上の現役の柔道競技選手であり、実験時に行った質問紙調査では7名すべての被験者が右脚を利き足と回答した。

Figure.2は軸足・作用足の各条件、およびstraight・crossの各課題におけるFP①からターゲットへの着地までのcontact timeとhop timeの平均値と標準偏差を示した図である（Contact timeおよびhop timeの各時間区分についてはFig.5上図を参照）。接地時間を示すContact timeについては、FP①（ $F_{(3,24)}=11.427, p<0.01$ ）、FP②（ $F_{(3,24)}=7.465, p<0.05$ ）、FP③（ $F_{(3,24)}=9.325, p<0.01$ ）のすべての片脚ジャンプにおいて条件のみの主効果が認められ、軸足と比較して作用足で大きな値が示された。一方、滞空時間を示すhop timeにおいてはいずれの局面においても条件および課題の主効果は認められなかった。また、鉛直方向（Fig.3）、および前方方向（Fig.4）への最大加重については、FP③における鉛直方向のみ条件の主効果（ $F_{(3,24)}=4.529, p<0.05$ ）が認められ、作用足と比較して軸足で大きな値が示された。Contact time、hop time、床反力のいずれの項目においても課題の主効果および、条件と課題の交互作用は認められなかった。

ジャンプ課題における着地や走行における方向転換時の姿勢制御方略に関する先行研究においては、性別やスポーツ競技歴、スポーツ外傷歴がkinematics、およびkinetics双方のデータに影響を及ぼし、個人差が大きいことが報告されている。本研究における動作課題においても、得られた床反力のパターンについては前後、左右、および垂直成分のダイナミクスに顕著な個人差がみられた。Fig.5およびFig.6はその例として2名の選手のstraight taskにおける1試行の床反力データをそれぞれ示したものである。2名の被験者はいずれも左組みであり、右脚が軸足、左脚が作用足であった。被験者Aの片脚ジャンプ（Fig.5）の特徴としては、左右方向成分において、着地後約20msの時間帯に右脚では左方向、左脚では右方向への明確な加重がみられた。また、鉛直方向について、着地から最大値までの時間よりも、最大値から離地までの時間における力の変化が緩やかであった。また、着地時のブレーキ成分と次のジャンプのための跳躍力を得るための2峰性の加重パターンが多くみられ、前者の値が他の被験者と比較して大きかった。一方、被験者B（Fig.6）は、被験者Aにみられたような着地時の左右方向成分はみられず、ターゲットへの着地をコントロールする3歩目以外の左右方向における力の変化は小さかった。また、鉛直方向への力は最大値を頂点とする左右対称形で1峰性に近い加重パターンが多くみられ、着地後のブレーキ成分は小さかった。その他、FP①、FP②、FP③、およびターゲットへの着地の各局面で床反力パターンが異なる選手や、軸足と作用足で異なるパターンがみられる選手も存在した。

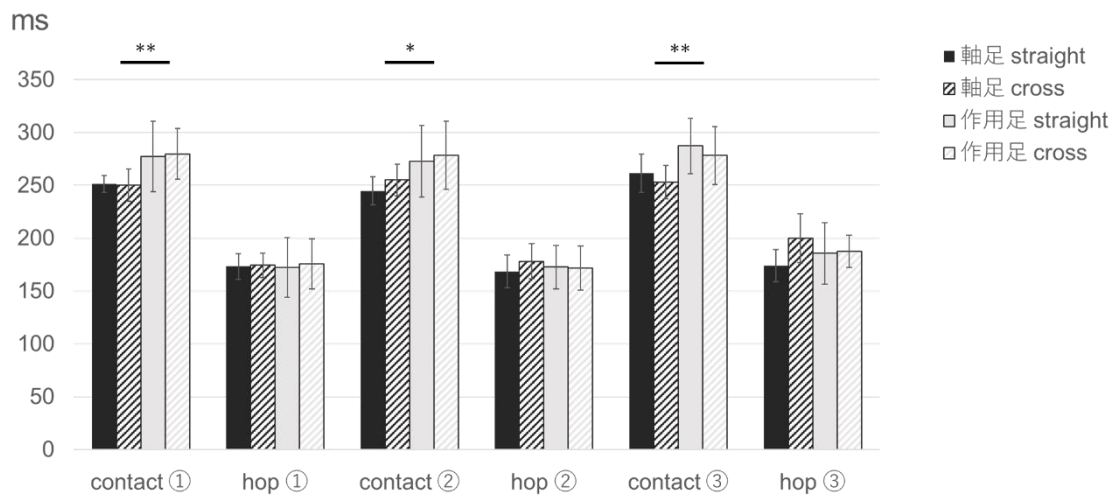


Fig. 2 FP①からターゲット着地までのcontact timeとhop time

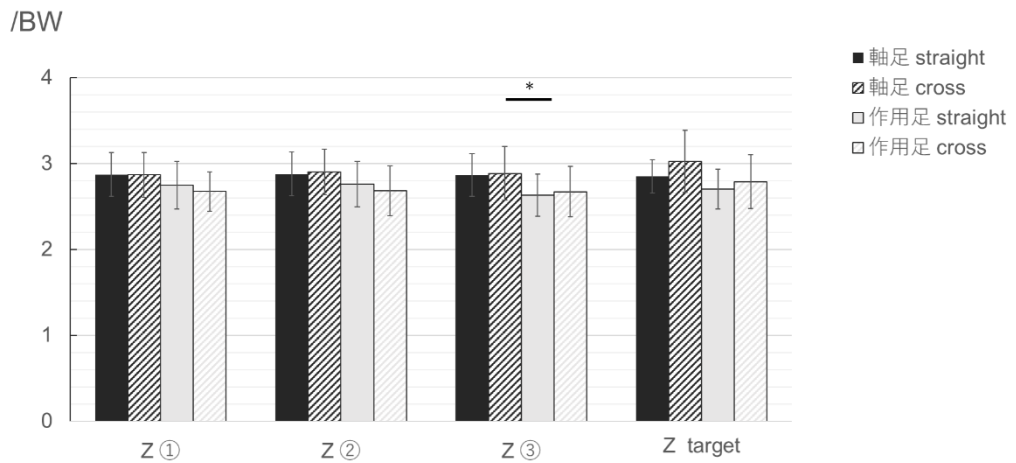


Fig. 3 FP①からターゲット着地までのmaximal vertical force

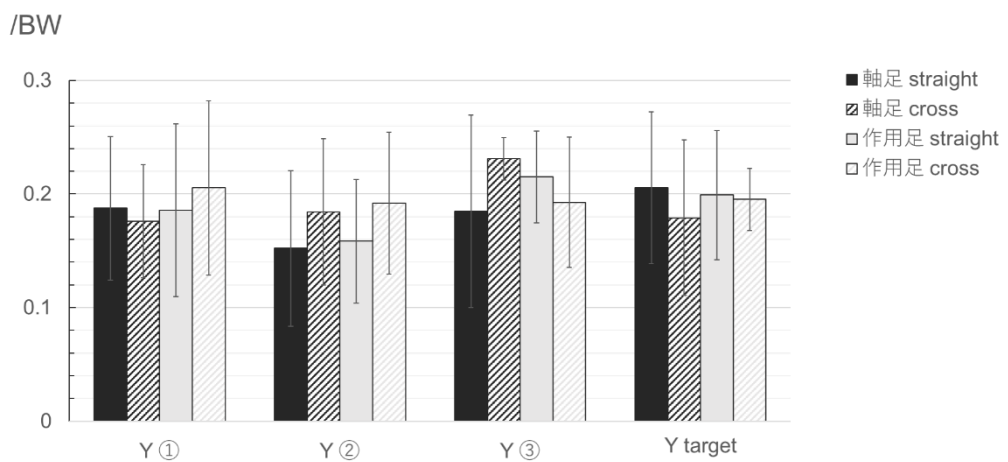


Fig. 4 FP①からターゲット着地までのmaximal anterior force

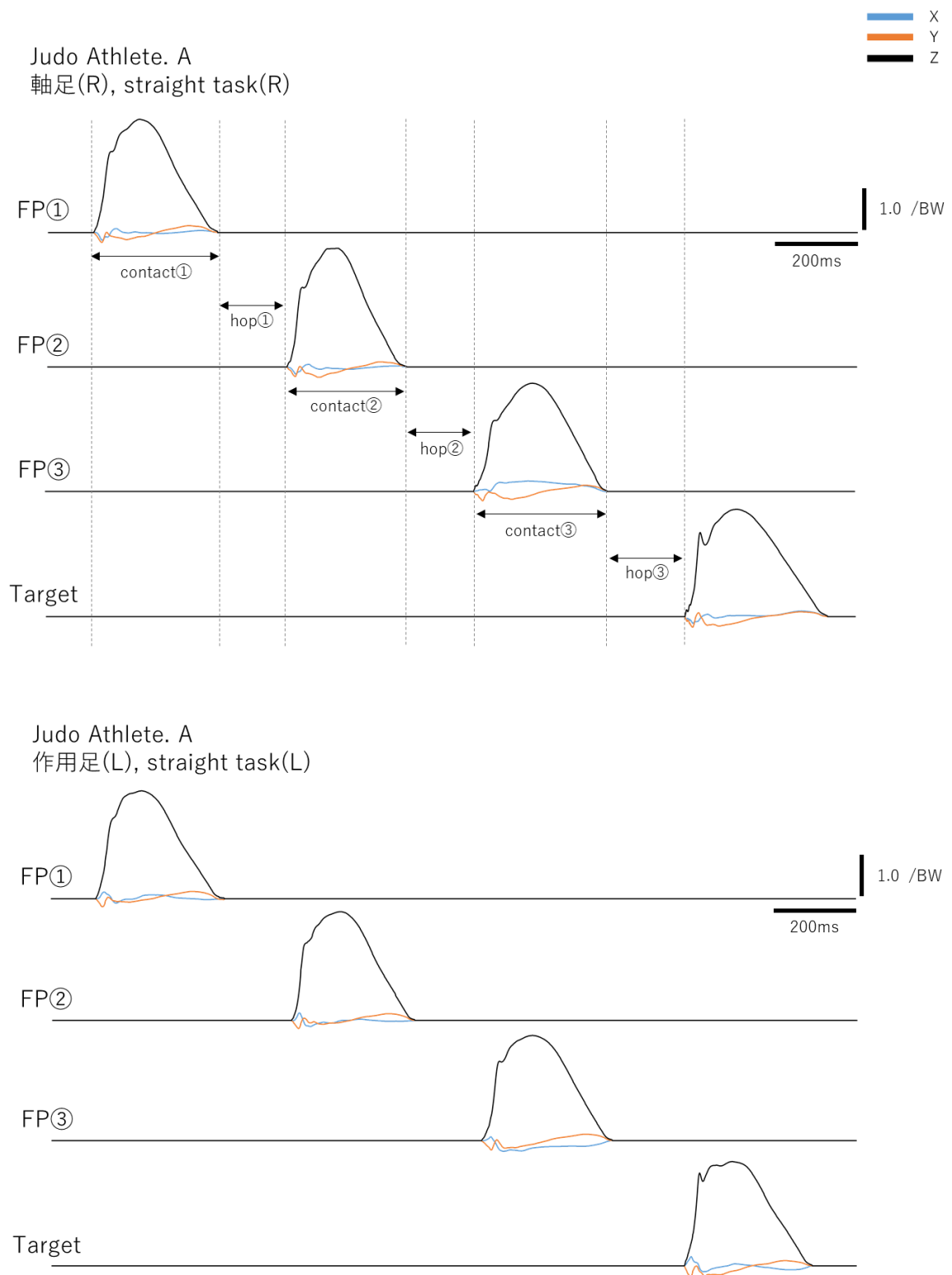


Fig. 5 straight taskにおける柔道選手Aの床反力パターン例

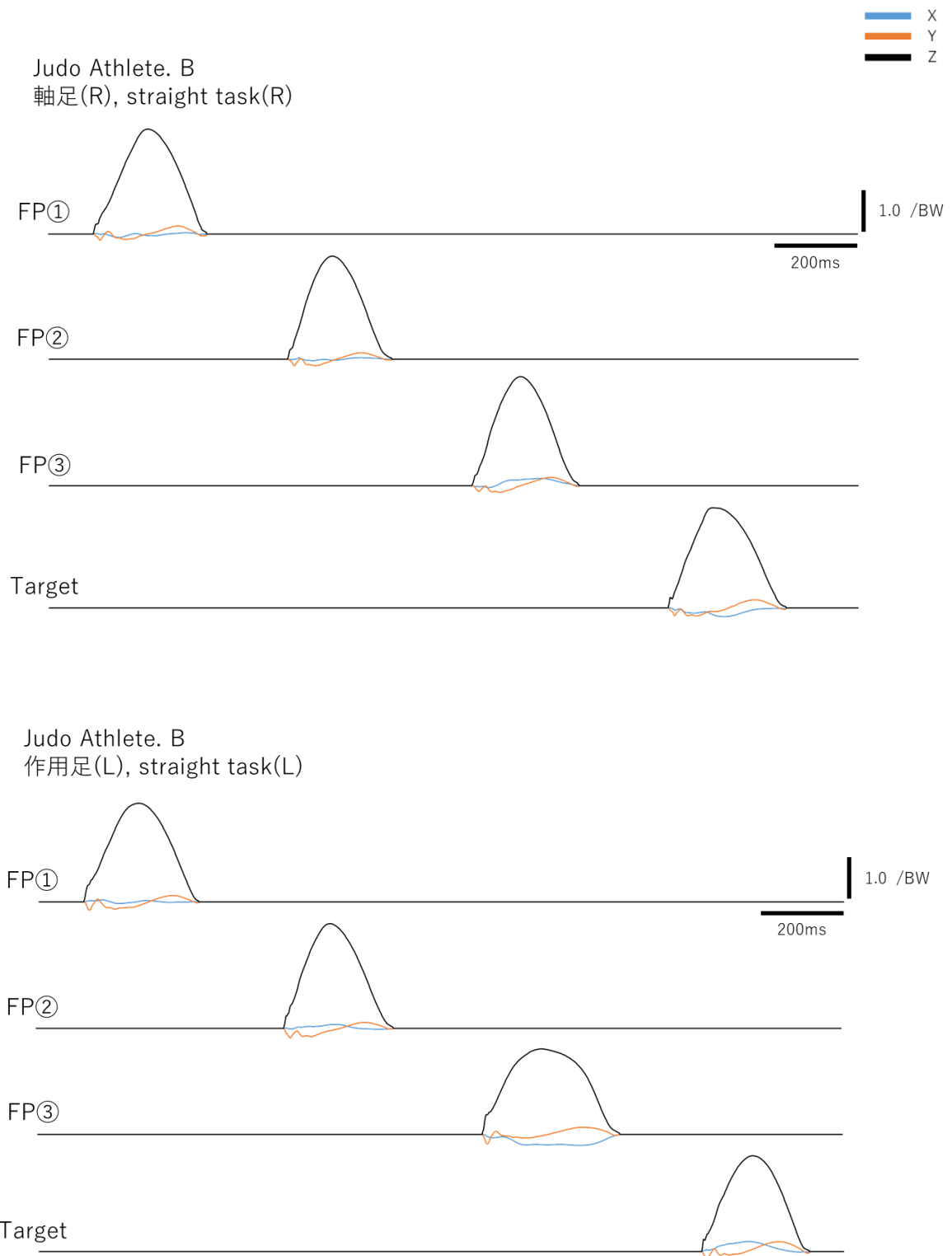


Fig. 6 straight taskにおける柔道選手Bの床反力パターン例

4. 考察

本研究では、柔道選手における片脚ジャンプについて、ターゲットまでの4歩における接地時間は作用足と比較して軸足で有意に短かく、鉛直方向への加重が大きかった。本研究で測定したFP①からターゲット着地までの各ジャンプにおいては、着地方向の指示がされていないFP①、着地方向の指示が出されるFP②、ターゲットへの着地に向けた離地となるFP③、そしてターゲットへの着地、とそれぞれ異なる状況下での着地および離地となる。本研究では、そのすべてのジャンプの接地時間に差異が認められた。このことから、被験者は主観的に同じテンポで動作を遂行しているつもりでも、作用足は軸足と比較して着地してから離地するまでの制御過程により多くの時間を要する可能性が示唆される。その要因としては、緒言にも記したように、軸足は組んでから技を仕掛ける一連の流れの中で、常に身体の軸としてバランスを保つとともに、技に入った後は、自分自身と相手の身体の双方の総和を1本脚でコントロールし続ける役割を担う。一方、作用足は技をかける際には滞空にて相手の脚を刈る、もしくは払う役割を担っており、接地してバランスを保持する局面は軸足と極めて比較して少ないことが挙げられる。本研究の結果は、柔道選手の姿勢制御や下肢の外傷からの競技復帰における機能回復を評価するためには、競技特性である軸足と作用足の観点を含んでいく必要性を示していると考えられる。

アスリートの左右差に関する研究は陸上競技やサッカー、ハンドボール選手を対象に行われており、競技特性に基づく左右脚の差異に関する知見が報告されている。しかしながら、柔道選手に関する先行研究は少なく、競技歴や競技レベルとの関連性やスポーツ外傷による影響などは明らかにされていない。また、スポーツ医科学に関わる研究領域においては健側と患側での比較が一般的であり、柔道競技における軸足と作用足のように、競技中の左右脚の役割から左右差を検討した研究は少ない。柔道選手にとって特に重篤なスポーツ外傷であるACL損傷に関する先行研究においても、柔道競技における軸足と作用足についての比較検討は管見の限り行われていない。そのため、筆者の競技現場での経験と競技関係者からのヒアリングに基づく仮説の段階ではあるが、本研究によって示唆されたような軸足と作用足の姿勢制御に関する差異が下肢の外傷と関係している可能性も在り得る。これらの点について、本研究では片脚ジャンプ時にみられた時間的、力学的な左右差および個人差と柔道における競技力や外傷歴との関連を検討するまでは至らなかった。

以上のことから、今後は本研究の結果を基に柔道選手の姿勢制御方略に関する基礎的なデータを収集するとともに、柔道競技特有の動的バランス能力について引き続き検討していきたい。また、例えばある一定の時間内における前後および左右方向への片脚連続ジャンプを用いた素早さと正確性の評価等、下肢の左右差を検証する指標の開発につなげていきたい。

5. 結語

本研究では柔道選手の姿勢制御方略を検討するために、計6歩の片脚ジャンプを用いた選択反応課題を実施し、軸足と作用足の観点から左右脚の比較を行った。その結果、軸足は作用足と比較して接地時間が長く、指示されたターゲット方向へのジャンプを遂行するための離着時

における鉛直方向の加重が大きかった。これらの結果から、柔道選手においては競技特性に起因する左右差が生じている可能性が示された。このことから、柔道選手のバランス能力や機能評価における左右差に言及するためには、柔道競技における左右の脚の役割を考慮した上で検討していくことの必要性が示唆された。

参考文献

- 1) Joaquin MA, Javier V, Francisco F (2017) Evaluation of lower limb kinetics during gait, sprint and hop tests before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Traumatol* 18:177-184.
- 2) 小笠原一生, 小柳好生ら(2016)片脚着地時の姿勢戦略に基づく非接触型前十字靭帯損傷の潜在的リスク同定. *日本臨床スポーツ医学会誌*. 25:346-353.
- 3) Krosshaug T, Steffen K et al. (2016) The Vertical Drop Jump Is a Poor Screening Test for ACL Injuries in Female Elite Soccer and Handball Players: A Prospective Cohort Study of 710 Athletes. *Am J Sports Med*. 44:874-83.
- 4) Koga H, Nakamae A et al. (2010) Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med*. 38:2218-25.