

氏名	小谷 征輝
学位の種類	博士 (スポーツ科学)
学位報告番号	甲 第2号
学位授与年月日	令和6年3月15日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	跳躍高に基づいたモーグルスキー競技エア・テイクオフの動作分析: 主成分分析を用いた時系列データの分析
審査委員	主査 北翔大学 教授 山本 敬三 副査 北翔大学 教授 竹田 唯史 副査 北翔大学 講師 高田 真吾

<論文内容の要旨>

モーグルの起源は、1960年代のアメリカで、コブだらけの斜面を誰が一番早く滑り降りることができるか競争しようという遊びから始まったといわれている。オリンピック種目としては1988年カルガリーオリンピックで公開種目、1992年のアルベールビルオリンピックで正式種目となった。近年、モーグルスキー競技は、ターン技術向上による高速化およびエアの難易度が向上している。エアは、2003年よりルールの変更により三次元での回転が可能となり、実施される回転技は大きく3つの系統に分類される。身体の長軸まわりに回転を行う水平回転、身体の左右軸まわりに回転を行う宙返り。そして、それら2軸を合成した斜め軸まわりに回転を行う軸ずれ回転である。国際スキー・スノーボード連盟 (FIS) はエアの種類を、1. フリップ (横軸回転) 2. ループ 3. ストレートローテーション (縦軸回転) 4. オフアクシス (斜め軸回転) 5. アップライト (回転なし) の5つに分類している。近年男女問わず回転数は増加し、グラブと呼ばれるスキーを手で掴むといった技も取り入れられるようになった。そのため、全体として難度点を上げる取り組みが行われている。エアに関する先行研究は世界的にも極めて少なく、中里 (2016) および三浦 (2017) によって、質量中心 (以下、COM) 位置とエアの高さや距離に関する報告があり、「踏切速度が速いと跳躍高が高い」ことや「フォーム点に高さの影響がある」ことが示されている。これらから高く跳躍することで高得点を獲得でき、より高い難度の技を実施できることが示唆されるが、エアのテイクオフ動作の運動学的特徴は明らかになっていない。エアの指導は、国内におけるモーグルスキーの競技教程が2000年以降更新されておらず、エアの指導は経験則に依存し、科学的根拠に基づく指導方法の体系化がなされていない。本研究の目的は、モーグルスキー競技のエアのテイクオフ動作の運動学的特徴を明らかにすることとした。

雪上における動作計測に先立ち、本研究で使用する Theia3D マーカレスモーションキャプチャの計測精度と妥当性の検証を行った。サイドボックスジャンプ動作を対象に、マーカレスとマーカベースの計測装置で動作計測した。下肢関節 (股・膝および足関節) 角度を比較した。2つの測定方法の一致性の評価に用いられる Bland-Altman 分析の結果、相対的信頼性は $r=0.59-0.99$ と相関を認め、絶対的信頼性は 3.2° 以下であった。COM 位置の相対的信頼性は $r=0.97-0.99$ の強い相関を認め、絶対的信頼性は平均 1.1cm 以下であった。2つの

システムで非常に類似した計測結果が得られ、Theia3Dの使用は、大きな関節運動を伴うスポーツ動作の計測が可能であることが示された。

次に、雪上における動作計測では、FISポイントを有する国内外の競技会に参加するモーグルスキー選手8名に、エアの基本となるストレートジャンプ、左右対称に後方に一回転するバックフリップ、身体の上軸を後方および側方に傾けた状態で横回転を2回行うコークスクリュー720を各5本課した。跳躍高をもとに全試技をHigh群(平均+標準偏差以上)、Middle群(平均±標準偏差以内)およびLow群(平均-標準偏差未満)に3群に分類し比較した。ストレートジャンプでは、High群は、最下点で股関節、膝関節の屈曲および足関節の背屈によりしゃがみ込み動作を行っていた。また、離地に向けた身体の伸展運動による踏切動作および肩関節屈曲による上肢の振りという運動学的特徴が示された。

バックフリップでは、High群は、ストレートジャンプ同様、下肢の屈曲位からの伸展による踏切動作が示された。また、回転に必要な角運動量は、体幹伸展角度が小さいことから、股関節、膝関節の伸展位より獲得していることが示された。

コークスクリュー720では、High群は、ストレートジャンプ、バックフリップ同様、テイクオフ局面における踏切動作を行うことで跳躍していることが示された。また、回転に必要な角運動量は、回転側の股関節、膝関節屈曲による身体の側方への傾きを作り、テイクオフ局面から回転方向への体幹の回旋によるContact twistにより獲得していることが示された。

跳躍高の高いエアは、エア台最下点でのしゃがみ込み動作から身体の伸展運動による踏切動作を行う必要があり、踏切動作において、膝の伸展運動に加え、テイクオフ局面における股関節屈曲位からの伸展運動および足関節の背屈位からの底屈運動が重要である。また、回転に必要な角運動量は、スキーが接地しているテイクオフ局面で獲得する重要性が示された。

本研究の結果から、ストレートジャンプでは、踏切動作の獲得。バックフリップでは、踏切動作に加え、両下肢での床反力を使用した回転に必要な角運動量の獲得。そして、コークスクリュー720では、Contact twistにより回転に必要な角運動量の獲得が重要であることが示された。また、指導現場において、テイクオフ局面での体幹、肩関節、股関節、膝関節、足関節による踏切動作を評価・指導することで跳躍高の高いエアが獲得できる可能性がある。

<論文審査結果の要旨>

本研究の目的は、モーグルスキー競技のエアのテイクオフ動作の運動学的特徴を明らかにすることとした。国際大会で活躍する選手を対象とするなど、今後のモーグルスキー競技の指導現場においても極めて有益な動作データと知見を得ることができた。本研究は、スポーツ科学分野における画期的な研究といえる。

研究1では、Theia3Dというマーカレスモーションキャプチャシステムの妥当性検証に関する研究を取り扱っている。三次元動作分析は、整形外科、スポーツ、生体力学の分野で広く利用されているが、従来のマーカベース手法は検者の技術やマーカの配置に依存し、誤差が生じやすい問題がある。これに対し、Theia3Dは機械学習を用いたビデオカメラ映像から

三次元モデルを生成するシステムであり、マーカの貼付位置や検者の触診技術に依存せず高い信頼性が期待できる。本研究の目的は、モーグルスキー競技のトレーニングに用いられるサイドボックスジャンプ動作における Theia3D の計測値を従来のマーカベースモーションキャプチャと比較し、その妥当性を検証することである。対象は健常男性9名であり、各被験者にサイドボックスジャンプを行わせ、10台のビデオカメラを用いた Theia3D システムと、12台の赤外線カメラを用いた従来のマーカベースシステムで計測を行った。結果として、Theia3D とマーカベースシステムの計測値には強い相関が認められ、誤差も小さいことが示された。これにより、Theia3D はジャンプや着地といったスポーツ動作の計測においても、従来の方法に匹敵する信頼性を持つことが示唆された。

研究2では、モーグルスキー競技の3種類のエア動作（技）について運動学的分析を行った。それぞれの動作の分析結果については、下記の通りである。

①ストレートジャンプにおける解析：本研究では、モーグルスキーのエア技術の基本であるストレートジャンプの運動学的特徴を分析することを目的とした。7名のモーグルスキー選手を対象に、エア台でのテイクオフ動作をビデオカメラ10台を用いて同期撮影し、Theia3D を使用して三次元動作解析を行った。主成分分析（PCA）を用いて、身体重心速度、肩関節屈曲角度、体幹伸展角度、股関節屈曲角度、膝関節屈曲角度、足関節背屈角度の波形データを比較した。その結果、高く跳躍するためには、テイクオフ局面での体幹伸展、股関節および膝関節の屈曲、足関節の背屈が重要であることが示唆された。また、High 群ではしゃがみ込み動作が大きく、離地に向けて体幹や下肢の関節が伸展する特徴が見られた。

②バックフリップにおける解析：バックフリップでは、6名のモーグルスキー選手を対象に、テイクオフ局面での身体重心速度、角運動量、慣性モーメント、関節角度を分析した。PCA の結果、高さに影響を与える身体重心速度の鉛直成分が High 群と Middle 群で有意に高く、回転に影響を与える角運動量も同様に大きいことが明らかになった。また、体幹伸展角度、股関節および膝関節屈曲角度の変化が回転動作に大きな影響を与えていることが示唆された。特に、High 群では跳躍高を高めるために下肢の踏切動作と体幹の伸展が重要であることが示された。

③コーク 720 における解析：コーク 720 では、7名のモーグルスキー選手を対象に、身体重心速度、角運動量、慣性モーメント、関節角度を分析した。PCA の結果、High 群と Middle 群は Low 群と比較して有意に高い身体重心速度を示した。角運動量の分析では、High 群が他の群と比較して有意に高い値を示し、回転動作の効率が高いことが明らかになった。特に、身体の慣性モーメントが回転のしにくさを表し、High 群では大きく、Low 群では小さいことが示された。これにより、効率的な回転動作を行うためには、適切な身体の姿勢制御と関節の動きが重要であることが示唆された。

これらの研究は、モーグルスキー選手の技術向上と指導方法の改善に寄与するものであり、各技における運動学的特徴を明確にすることに成功した。

研究全体を通して先行研究のレビュー、モーグルスキー競技現場での動作測定、データ分析、研究論文作成、そして国内外での複数回の研究発表などを総合的に見て博士の学位に値する研究として評価できる。