

2020 年度 修士論文

スキー滑走時の筋活動、足圧の
計測システムの開発とその有用性の検討

Development of the system for measuring muscle activity and foot pressure
during skiing, and testing of its applicability

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 身体運動科学研究領域

5019A009-4

大橋 拓未

研究指導教員 : 彼末一之 教授

目次

第1章	緒言	1
第2章	実験1 雪上における足圧と筋活動の計測.....	6
2.1	目的.....	6
2.2	方法.....	6
2.2.1	被験者	6
2.2.2	計測機器・貼付位置.....	6
2.2.3	滑走場所・実験日	9
2.2.4	実験プロトコル.....	9
2.2.5	解析.....	10
2.3	結果.....	13
2.4	考察.....	23
2.4.1	小回り動作における各パラメータの周期性についての考察.....	23
2.4.2	実験1における限界.....	24
第3章	実験2 サマーゲレンデにおける	25
	足圧と筋活動の計測.....	25
3.1	目的.....	25
3.2	方法.....	25
3.2.1	被験者	25
3.2.2	計測機器・貼付位置.....	25
3.2.3	滑走場所・実験日	28
3.2.4	実験プロトコル.....	29
3.2.5	解析.....	29
3.3	結果.....	32
3.3.1	筋活動と足圧の計測.....	32

3.3.2	動作解析	38
3.4	考察.....	39
3.4.1	計測結果の概説.....	39
3.4.2	筋活動における特徴.....	39
3.4.3	足圧における特徴.....	40
3.4.4	実験2における限界.....	41
第4章	実験3 サマーゲレンデにおける筋活動、足圧.....	43
	及び指導評価の比較検討	43
4.1	目的.....	43
4.2	方法.....	43
4.2.1	被験者.....	43
4.2.2	計測機器・貼付位置.....	43
4.2.3	計測場所・計測区間.....	45
4.2.4	試技・プロトコル.....	45
4.2.5	滑走評価.....	46
4.2.6	解析.....	47
4.3	結果.....	49
4.3.1	筋活動と足圧	49
4.3.2	指導者の評価 及び 被験者の自己評価	53
4.3.3	指導者の評価と計測データの比較.....	54
4.4	考察.....	57
4.4.1	筋活動、足圧の加算平均	57
4.4.2	指導者の評価と、筋活動および足圧データの比較検討	58
4.4.3	指導者と被験者の評価の乖離.....	59
4.4.4	客観的指標としての筋活動と足圧.....	59
第5章	統括論議	61

5.1	本研究における目的と、各実験の総括	61
5.2	前脛骨筋の活動と踵への加圧の関係性	62
5.3	滑走技術の多様性と競技特性.....	63
5.4	試技の統制方法について	63
5.5	計測システムの有用性	64
第6章	結論.....	66
第7章	参考文献.....	67
付録	：小回り動作の分解写真.....	69
第8章	謝辞.....	71

第1章 緒言

ウィンタースポーツにおいて、スキーは代表的なもののひとつである。一般的にスキーはレジャースポーツとしての側面が大きいが、競技スポーツとしてスキーに取り組むスキーヤーも多い。競技スポーツとしてのスキーは大きく二種類に分けられ、滑りの美しさや技術を点数で競う基礎スキーと、コース上に設置された旗門を通過しながらタイムを競う競技スキーの2種類に大別される。日本における、基礎スキーヤーや競技スキーヤーが所属する団体の代表的なものに、日本スキー連盟（SAJ）と、日本プロスキー教師協会（SIA）がある。SAJの発行する「日本スキー教程」によると、SAJは「国民スキーヤーに広く、健全で楽しいスノースポーツを普及し指導する」義務を担っている。多くの基礎スキーヤーは、前述の2つの協会の認定するスクールで講習を受けたり、バッジテストと呼ばれる検定（SAJ主催）を受験したりすることによって技術の向上に取り組んでいる。国内では、スキーの滑走技術を競う全国規模の大会である全日本スキー技術選手権大会が行われ、海外では、国際スキー連盟（FIS）の主催するワールドカップなども開催されており、基礎スキーと競技スキーはともに大規模な大会を行える程の競技人口を持っている。

基礎スキーと競技スキーでは、滑走における目的が異なっている。競技スキーでは、滑走速度が重要で、減速要素を作らずに旗門を通過していくことが求められる。一方で、基礎スキーでは、旗門によるコースの設定がないため、同じ斜面で異なる滑走方法が必要となり、コース内の起伏や雪質の変化など、様々な状況に対応することが求められる。しかし、2つの形式において使用する器具は同一であり、基本的な操作方法に相違点はない。

これら2つの形式のスキーの指導現場において、大きな障壁となるのは、滑走を観察して判断する指導者の評価と、スキーヤーが滑走中に実際に感じている現象が必ず一致しているとは限らないことである。通常、動作に関するフィードバックは即時的に行われることが多い。例えば、人のリーチング動作において、自らの手を観察し、正しい距離に到達させることは容易である。ところが、スキーでは指導者はグレンデの下にいてスキーヤー

を観察していることが多く、またスキーヤーは自身の動きを見ながら滑走することが出来ないで、即時的なフィードバックは期待できない。

どのスポーツでもフォームに関する指導を行う状況は頻繁にあるが、とくにスキーにおいては、その外見の観察から、得られる情報と望ましい力学的な現象の乖離がおこる要素をはらんでいる。その1つがスキーヤーの履くスキーブーツである。足部は、スキー板に最も近い体の部位であり、スキーを操作するうえで重要な役割を持つとされるが、スキーヤーが装着するスキーブーツは、樹脂製のシェルで、足部と脛の部分覆っているため、指導者は直接的には足部の動作を観察することはできない。例えば、スキーの指導現場では、上半身をスキーに対して相対的に前後に移動させたり、脛部をスキーブーツの前ベロ（タング）の部分に押し当てたり離したりすることが教示されるが、その結果としてブーツ内の足圧中心が望んだ方向に移動出来ているか否かは不明である。

また、高速度な滑走環境も問題の要因の一つとして考えられる。指導者は、移動し続けるスキーヤーを観察して評価を下す状況にあるため、複数回繰り返されるターンにおける、ある一部のターンについて指導することは困難である。また、スキーヤーによって身体的な特性や、動作的な特徴が異なるため、スキーにおける問題点を改善するための手法もスキーヤーごとにそれぞれ異なる。

このような要因から、スキーの指導者がスキーヤーにフィードバックを行う際、指導の内容が抽象的なものとなる傾向にあり、スキーにおける客観的かつ適切な指導を行うことを困難にしている。以上の理由から、スキーの指導現場では、指導者の意図と、スキーヤーの受け取り方に大きな差が発生し、結果的にスキーヤー自身の意識と、実際のパフォーマンスの間にも乖離が発生している。

指導の現場において、スキーの指導者がスキーヤーに伝えるものは、総称して「技術（滑走技術）」とすることが一般的である。滑走技術とは、スキー場を安全に滑走する方法（例として、スキー板を八の字型に開いて滑走するプルークボーゲンなどが挙げられる）から、斜面における起伏や雪上の変化に応じてスキー板に対する働きかけ方を変化させる方法ま

で、それが指し示す概念が非常に多岐にわたるものである。このように抽象的で、直接観察することが困難なスキーの滑走技術を習得した、競技スキーのアスリートやスキー学校の教師などを被験者として、様々な指標を用いて計測を行う研究はいくつか存在している。スキーヤーの足部の動きを計測する指標として、足圧の分布を取り扱った Lafontaine et al.(1998)の研究では、スキーのインストラクターの資格を持つ上級者に、感圧式のインソールを履いた状態で様々な大きさのターン弧で滑走してもらい、その際の圧力の大きさと分布を計測した結果、ターン中最も強い圧力が加わったのは第一中足骨の遠位端直下であり、ターン中に圧力の分布は、足部の前部内側から後部内側へと移動していたことが明らかになった。

また、スキーのターン動作を解析する研究において、筋活動は代表的な指標のひとつである。Kroll et al. (2006)は、レクリエーションとしてスキーを行う女性7名の大腿直筋と外側広筋の筋活動と膝関節角度を計測し、斜度に応じて筋活動が高まることや、ターン中の内側の脚の膝関節伸展、及び股関節屈曲のための大腿直筋の活動が重要であることを示した。また、Robert et al.(1995)は、7人の競技スキーヤーの右脚12筋について、1ターン内での筋活動を計測し、試技の違い（旗門と旗門の間隔の違いや、必要とされるターン弧の大きさの違い）や、局面での違いについて比較検討を行った。Berg et al. (1995)は、競技スキーヤーの、旗門と旗門の前後の間隔が10m以上あり、大きなターン弧が求められるジャイアントスラローム競技中における膝/股関節の関節角度、及び大腿直筋、外側広筋、内側広筋の伸張性/短縮性収縮についての計測を行った。その結果、ターン中の外側脚の大腿四頭筋は、伸張性収縮を行っている区間の活動が、短縮性収縮を行う区間の活動を上回ることが明らかになっている。

吉田ら（2016）は、技術選手権大会に出場経験のある選手のキネマティクスデータを収集し、選手のパフォーマンス（得点）との相関関係について考察を行い、全日本スキー技術選手権大会において高い得点を打ち出す選手は、ターン中の回転弧が小さく、ターンの前半部分と呼ばれる、スキー板のエッジが切り替わってから、スキー板が下を向くまでの局面において、身体の大きな内傾動作を行い、その直前の切り替え時には重心を素早く谷

側へ移動させている傾向にあると結論付けている。その他にも、Losier et al.(2014)の総説では、競技スキーヤーのパフォーマンスを研究対象とするバイオメカニクス的研究として空気抵抗、地面反力、回転半径、重心移動の軌跡などを計測する研究例が報告されている。

現在までに行われてきた先行研究では、ターン弧の大きい1回のターンに対するデータを取り扱う事例が多い。旗門を早く滑走したり、設定された斜面を正確に滑走したりする、スキーの滑走技術に対してスキーヤーが抱える問題においては、設定された斜面を滑走する際の、複数のターンに対してデータの計測や解析が必要である。なぜならば、滑走技術を要するスキー場の斜面では1回のターンではなく、複数のターンを組み合わせで斜面を滑走する必要があるからである。

SAJの発行する日本スキー教程においても、基礎パラレルターンから次の段階へと指導を展開する際には、「いかなる状況でも対応できるパラレルターンへと学習者を導く」ことが必要であるとされている（公益財団法人全日本スキー連盟, 2014）。SAJのバッジテストにおいて、1級を所持、もしくはそれと同等の滑走技術を持つスキー中級者が、急斜面や複雑な起伏のある斜面などで、状況変化に対応しながらターンする滑走技術として代表的なものが、「パラレルターン小回り（小回り動作）」である。

小回り動作は、回転半径の小さいターンを連続して繰り返すことによって、滑走スピードやターンのリズムをコントロールできることが特徴である。また、この滑走技術は一度の滑走で10回以上のターンを繰り返すことが一般的である。従って、1つのターンを抽出して解析するだけでは滑走技術全体の把握は困難である。しかし、複数のターンを取り扱い、スキー滑走動作全体を総合的に計測している研究は前例にない。また、スキーにおける、指導者から滑走者に対するフィードバックと、計測機器によるデータから解析される指標との関係を解析した研究も前例がない。もしスキー中級者にとって必須の滑走技術である小回りを、これまでとは異なる指標によって計測・解析することができれば、これまで抽象的であった中級者や、更に熟練した技術を持ち、全国大会などにも出場するスキー上級者の滑走技術評価を、データによって客観的にすることができるようになり、現在の

スキーの評価や指導体系に新しい視点を取り入れるきっかけの一つになると期待される。

そこで、本研究の目的は、スキーの滑走技術を、下肢筋活動と足圧から計測するシステムを開発することである。加えて、そのシステムを用いてスキー中級者、及びスキー上級者の小回り動作を計測し、システムの有用性を検討することである。

本研究では、3つの実験を通して先の目的を明らかにしていく

実験 1： 冬季のスキー場で、スキー中級者の小回り動作について、足圧と筋活動を組み合わせた計測のためのシステムのテストを行う。

実験 2： サマーゲレンデでのスキー上級者の小回り動作において、足圧と下肢の複数の筋の活動を組み合わせた計測を行う。

実験 3： サマーゲレンデ上で被験者間の滑走の条件や教示を統制した状態でのスキー小回り動作において、スキー指導者の滑走評価と、下肢の筋活動と足圧の計測データを比較し、本研究における計測システムの有用性を検討する。

第2章 実験 1 雪上における足圧と筋活動の計測

2.1 目的

実験 1 の目的は、スキー中級者の小回り動作中の足圧の変化と筋活動を同時に計測し、本研究における計測システムを試用し、実際に計測が可能であるか否かを検討することである。

2.2 方法

2.2.1 被験者

本研究の被験者は、SAJ の定めるスキー技術検定におけるバッジテスト 1 級の取得者 4 人を対象とした (表 1)。スキー技術検定 1 級は一般的に中級者と呼ばれる技術レベルのスキーヤーである。加えて、被験者の条件として平均斜度 20°以上の上級者コース、及び斜面の起伏が激しい不整地斜面を走破できることとした。

表 1. 被験者情報(属性)

被験者	年齢	性別	スキー経験
1	66	M	SAJ バッジテスト 1 級
2	22	M	SAJ バッジテスト 1 級 田代スキースクール勤務
3	21	M	SAJ バッジ 1 級所持 学生岩岳大会 74 位
4	33	M	SAJ バッジ 1 級所持

2.2.2 計測機器・貼付位置

① 筋活動の計測

筋活動の計測は Trigno™ Wireless System (DELSYS 社、アメリカ)を使用して行った。さらに、滑走中の筋活動を記録するためにモバイル記録端末(Trigno™ Personal Monitor, DELSYS 社、アメリカ)を使用した。対象筋は左右前脛骨筋(TA)および左右大腿直筋(RF)とした。前脛骨筋のセンサー貼付の際、スキーブーツのタング部分にセンサーが接触しないように注意して行った。また、Trigno™センサーの仕様により、20~450Hz のバンドパスフィルターが適用された状態で計測を行った。また、Trigno™センサーには併せて加速度を計測する機能が備わっているため、ビデオと筋活動等のデータの同期のために Trigno™センサーの加速度データを使用した。

② 足圧の計測

Trigno™センサーと電極シートをケーブル接続することで足裏の4点（母指球直下、小指球直下、踵部外側及び内側）の足圧を計測した。センサーから足圧センサーまではケーブルによる配線が必要であるが、被験者がブーツを履いた際に踝、土踏まずの感覚や筋収縮に影響が出ることを防ぐため、配線を仮止めし、靴下を履いた段階で被験者に足部の感触を確かめ、もし圧迫感などを訴えた場合は貼付位置や配線の修正を行った（図2）。

上記3項目を計測する各センサーは、図1のようにセンサーの上にキネシオテープ、サージカルテープおよびアンダーラップを巻いて固定した。

以上の3つの計測項目の計測のために使用した Trigno™センサーの合計は8個である。それぞれの貼付位置と計測項目を以下の表2にまとめた。



図1. センサーの貼付とテープによる固定

表 2. 各センサーの計測部位および計測項目

センサー	計測部位（貼付部位）	主な計測項目
1	右前脛骨筋 筋腹直上	筋活動
2	左前脛骨筋 筋腹直上	
3	右大腿直筋 筋腹直上	
4	左大腿直筋 筋腹直上	
5	右足 母指球直下、小指球直下、踵外側および踵内側	足圧
6	左足 母指球直下、小指球直下、踵外側及び踵内側	

③ 動画データ

SONY 製のビデオカメラ（HDR-CX630V）2 台、パナソニックのビデオカメラ（DMC-FZ300）1 台を使用した。それぞれのカメラは異なる方向から 60Hz のフレームレートで滑走者を撮影した。そのうちの 1 台は撮影者が立ち止まり、手で固定した状態でカメラの望遠機能を用いて撮影を行った（図 2.ビデオ 1）。その他の 2 台は、1 台が滑走者の後方（図 2.ビデオ 3）、もう 1 台が左右いずれかの側方に位置し（図 2.ビデオ 2）、被験者とともに滑走しながら撮影を行った。



図 2. 動画データの撮影風景

2.2.3 滑走場所・実験日

実験場所は、新潟県湯沢町の田代スキー場第一ゲレンデで行った。全長は 350m、最大斜度は 28 度であり上級者コースに分類されている。田代スキースクールの協力のもと、コース内での計測、撮影を行ったが、営業上の理由からコースは閉鎖せず、一般スキーヤーもコースに進入できる状態で実験を行った。実験日は 2018 年 3 月 14 日から 3 月 15 日までの 2 日間で行った。実験当日の気象条件は、14 日は天候が晴れ、12 時時点で気温が 13.6℃、風速が 2.9m、15 日は天候が晴れ、12 時時点で気温が 16.2℃、風速が 2.7m であった。

2.2.4 実験プロトコル

計測装置の取り付けや動作確認などは、予め室内で完了させた。被験者が、実験斜面の上部スタート位置に到着後、ビデオカメラの録画を開始し、モバイル記録端末によって Trigno™ センサーの計測を開始した。

動画データと他の計測データを同期するために大腿部が水平になる程度の大きな足踏み動作を左右 2 回ずつ行った後、被験者に斜面を滑走するよう教示した。被験者にはプラスチック製の短いポールとポールの間を、小回り動作を用いて滑るよう指示した（図 3）。滑走終了後、被験者が完全に停止した状態になってからデータの同期のために再び大きな足踏み動作を行うよう指示した。ここまでの計測を 1 試技として最大 4 回繰り返した。

試技とする滑走種目は、ショートポールによる規制付きの小回り動作であった。これは、短いポールの間を通過することで、ターンの数を多く計測することができ、かつターンの孤の大きさが小さく統一される試技であるため、被験者間の滑走環境を統制する事が可能である。すべての被験者は、ショートポールによって区切られた区間を左右合わせて 24 ターン小回り動作を行った。



図 3. ショートポール試技

2.2.5 解析

収集したデータの同期するため、撮影したビデオカメラの映像における足踏み動作の接地の瞬間（スキー板が、雪面に接触する瞬間）と、Trigno™センサーの加速度センサーにおける、鉛直方向の加速度の波形の大きな変化（図 4 参照）の瞬間を同期した。

次に、小回り動作中に連続するターンを分割するために、切り替え局面を定義した。切り替えについて、全日本スキー連盟は「ターン弧を左右に切り替えるためにスキーと身体 の位置を左右に置きかえ、スキーの角づけ（スキーを傾けて雪面にエッジを立てること）を反対側に切り替えること」としている。そこで、本実験では動画データを基に、左右のスキー板が雪面と平行になっていることと、スキー板のトップ（先頭部分）およびテール（後尾部分）が、スキー板の進行方向に対して左右どちらにも動いていないことの 2 点を満たす動画内でのコマを切り替え局面として定義した。（図 5 参照）各ターンの間に存在する切り替え局面の秒数を算出し、その情報を基に切り分けたデータを 1 つのターンとした。

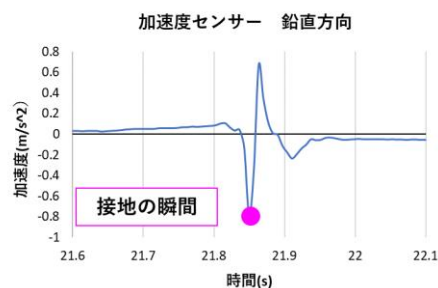


図 4. 加速度データ波形と接地の定義

図 5 切り替え局面の条件を満たすコマ

データ処理は MATLAB (R2017a) で行った。計測されたデータは整流化を行いフィルター処理として、整流化した筋活動データに 4 次のバターワースフィルターで 20Hz のローパスフィルターを行った。次に、切り替え局面の時間データを基にフィルター処理後の

筋活動および足圧データをターン毎に分割した。分割後、ターンの回転方向によって全ターンを左右に分類し、これを左ターン(滑走者から見て左方向に進むターン)と右ターン(同右方向)とした。試技開始時の滑走方向が被験者によって異なるため、同種類の試技内ではターン方向を統一した。分類後の各ターンはターン時間がすべて異なるため、切り替え局面の瞬間から次の切り替え局面の瞬間までを 100%としたターン区間で規格化した。時間情報を規格化した筋活動、足圧データを左右 12 ターンずつ加算平均し、平均値と標準偏差をグラフにプロットした。(図 6 参照)。

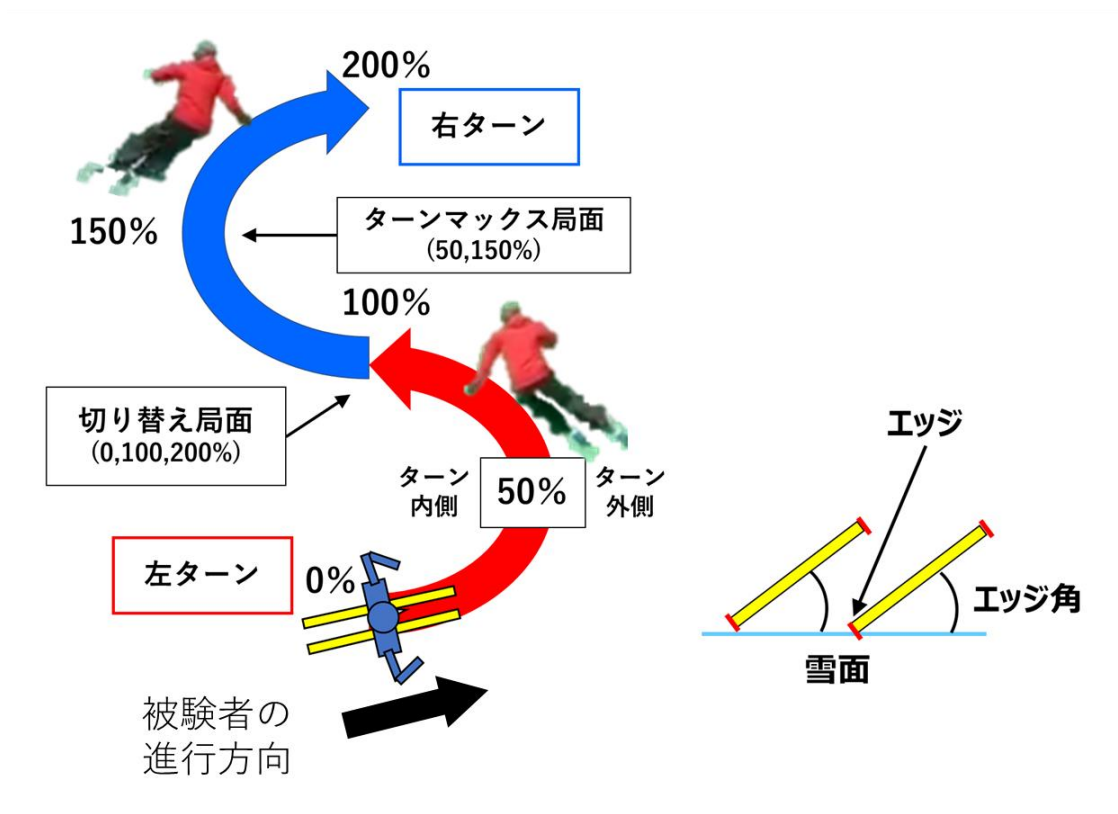


図 6. 論文中の用語の説明



図 7. ターンマックス局面

図 7 は、ターンマックス局面のコマを切り取ったものである。

ターンマックス局面は、エッジ角（雪面とスキー板のなす角度）が 1 つのターン中に最も大きく、スキーヤーに対する遠心力が 1 つのターン中に最も強まる局面である。切り替え局面は、スキーの角付けを反対側に切り替えている瞬間であるので、どちらのエッジも雪面に噛んでいない状態となる。

2.3 結果

以下の図 8～11 は、解析に基づき、左右 12 ターンずつの筋活動、足圧の処理後の波形を加算平均し、その平均値と標準偏差をプロットしたものである。

グラフの横軸を、ひとつのターンを 100%に規格化したターン区間、縦軸を筋活動及び足圧(V)とした。図 6 に示したとおり、滑走者の右脚がターン外側にあるもの（左ターン）を赤色、左脚がターン外側にあるもの（右ターン）を青色でプロットした。左ターンから右ターン、及び右ターンから左ターンへの切り替え局面をグラフ上に視覚的に表すため、左右のターンを 2 回分（計 4 ターン分）プロットした。200%～400%は、0%～200%と同一のデータを繰り返しプロットした。

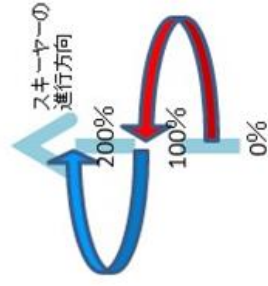
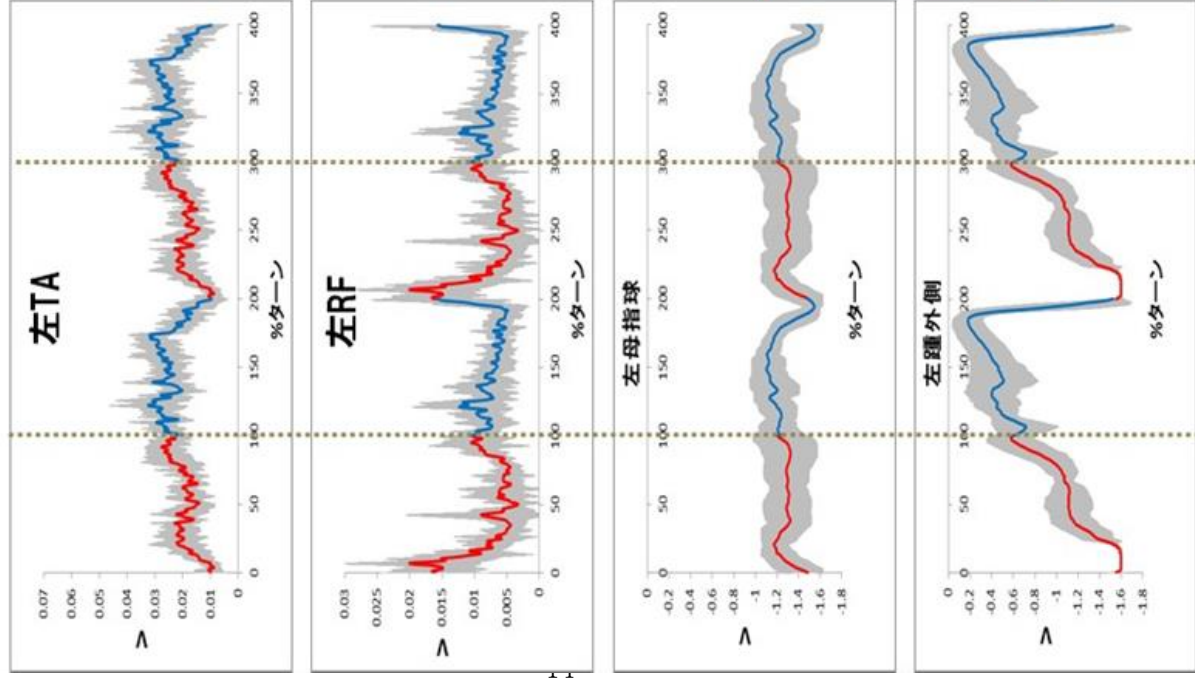
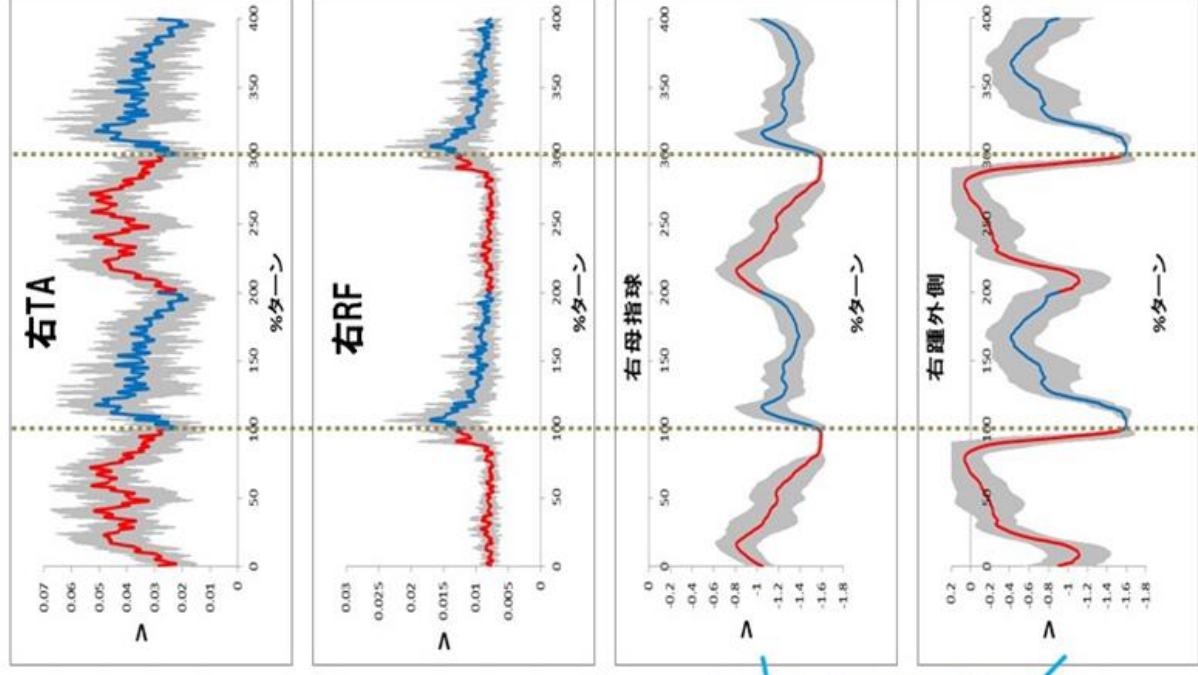


図8: 被験者01



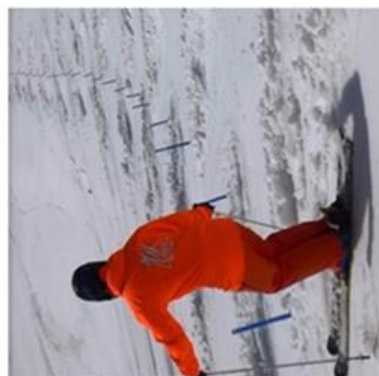
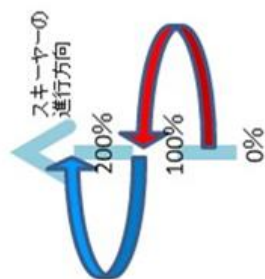
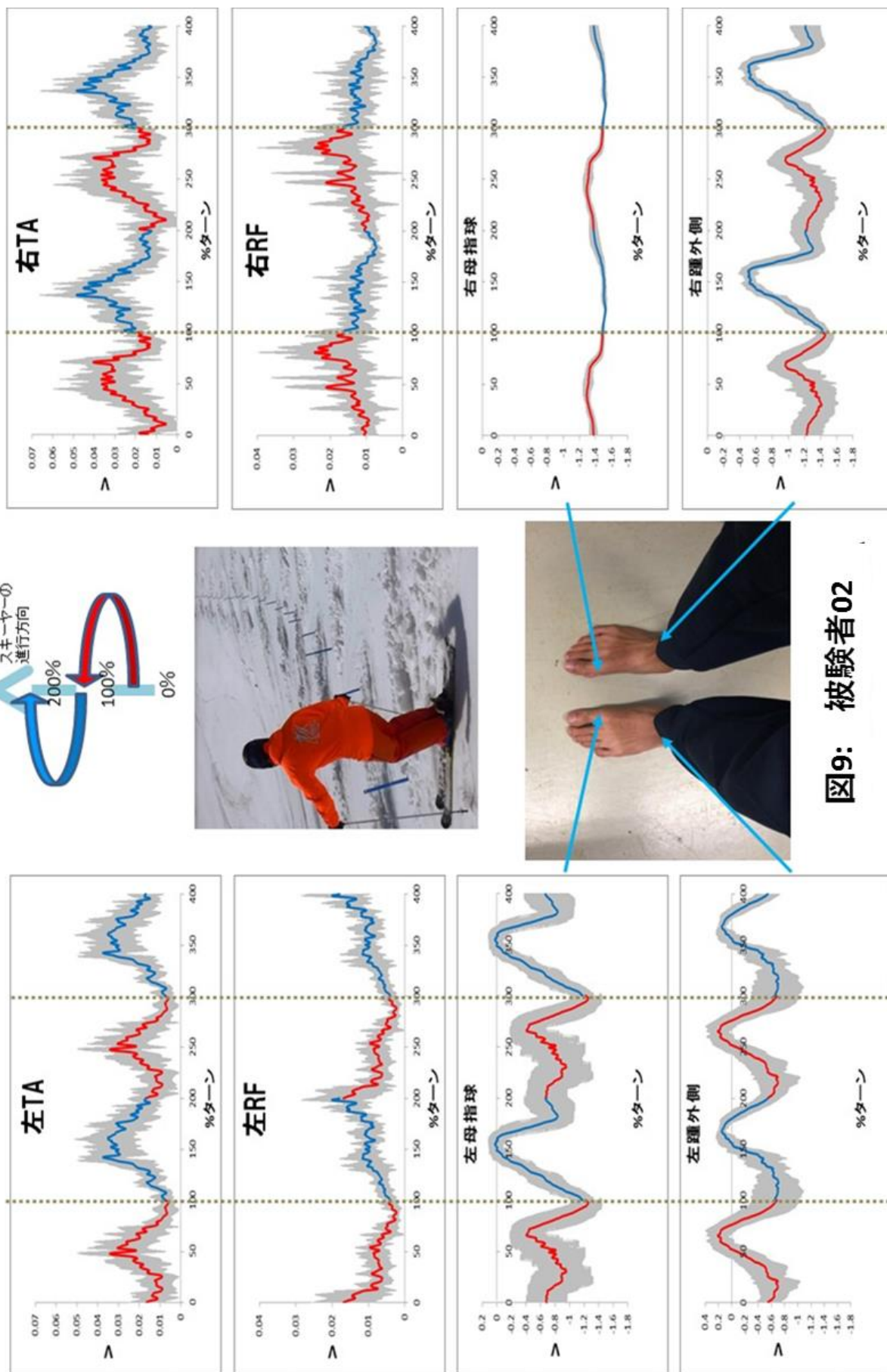


図9: 被験者02



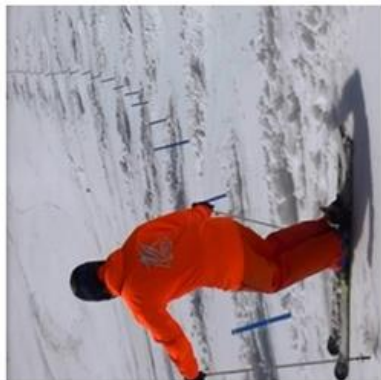
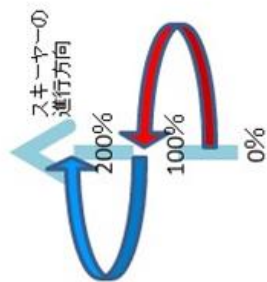
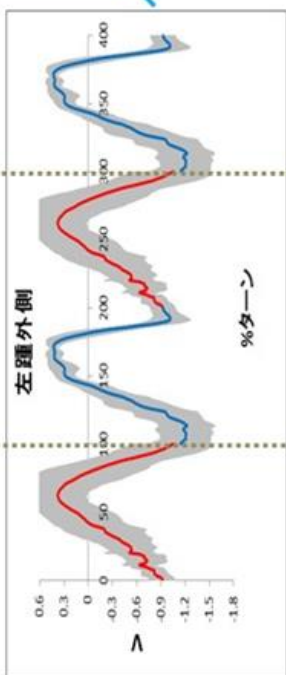
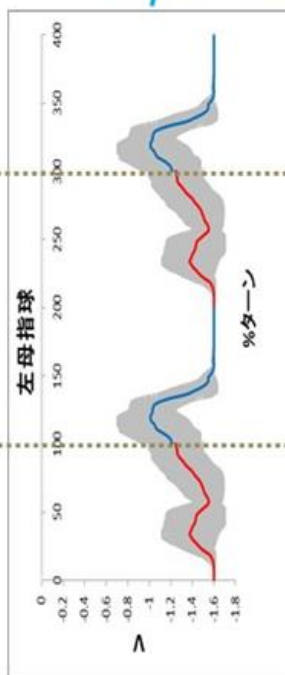
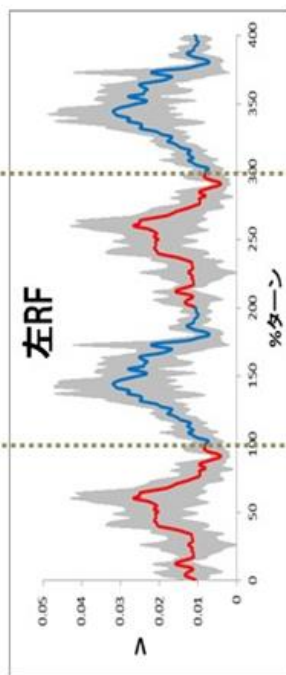
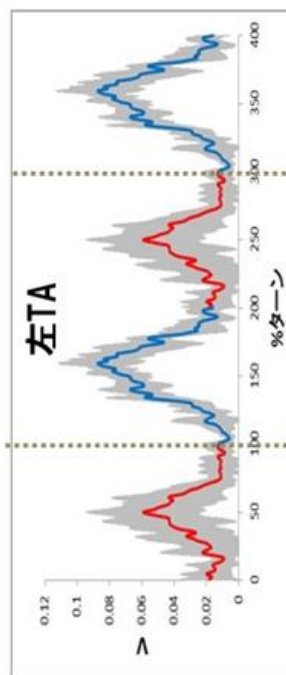
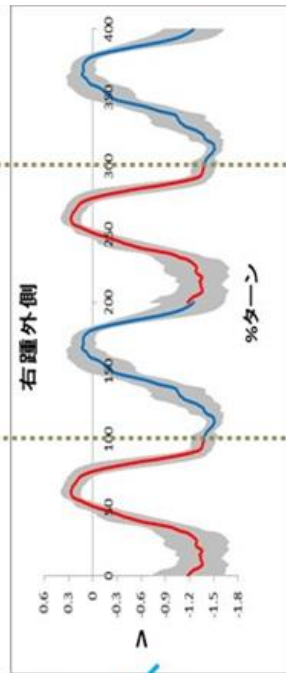
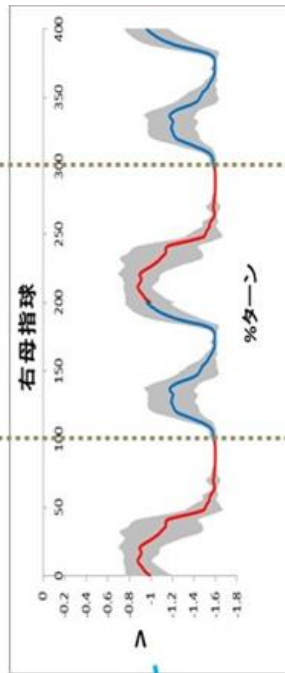
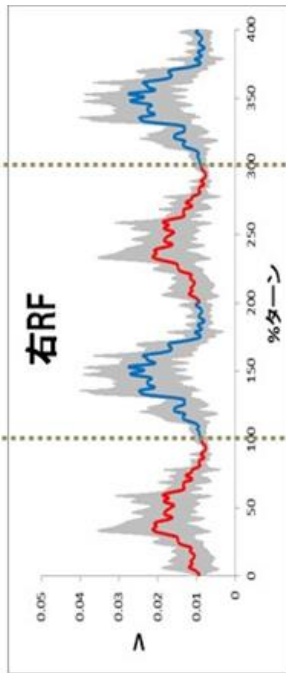
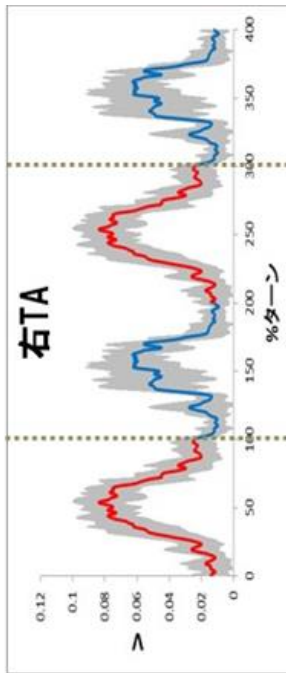


図10: 被験者03



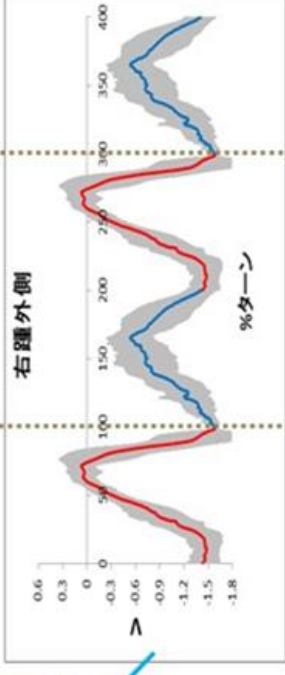
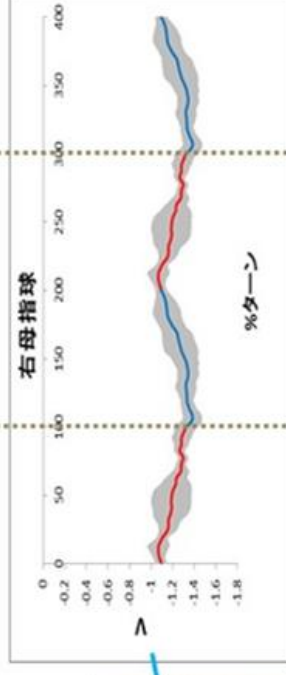
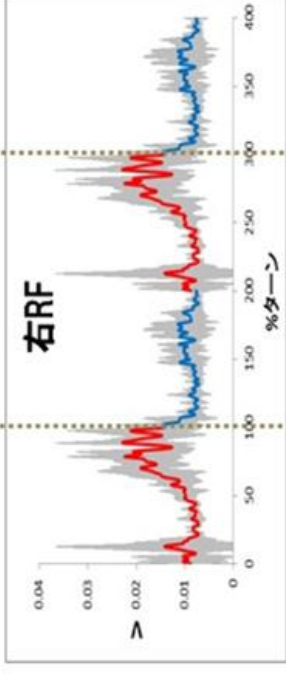
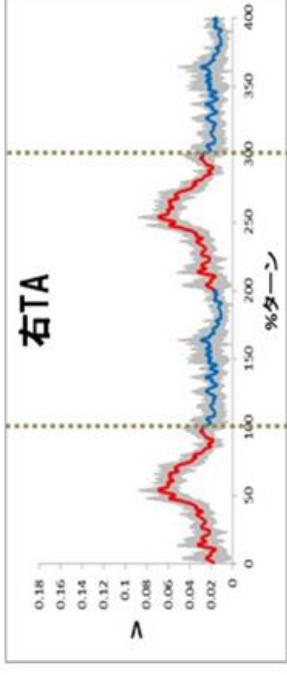
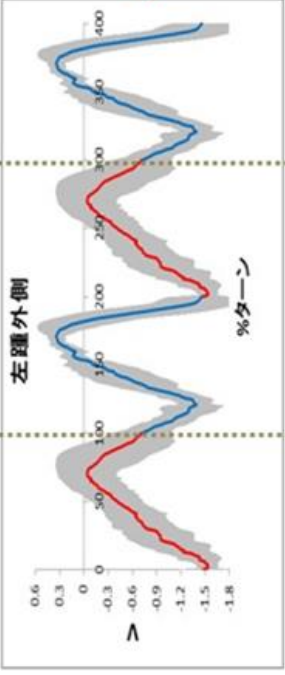
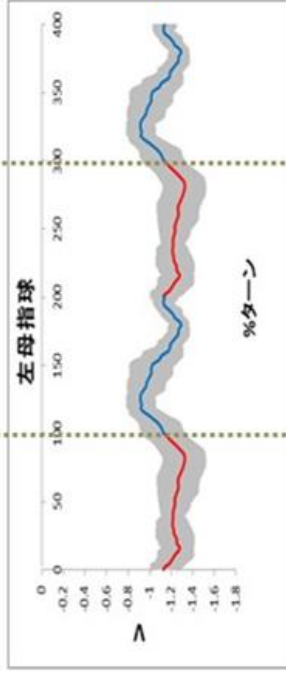
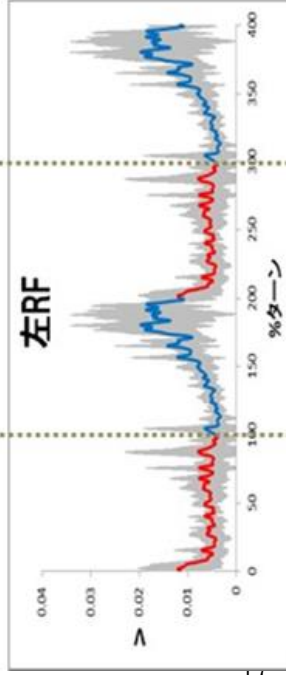
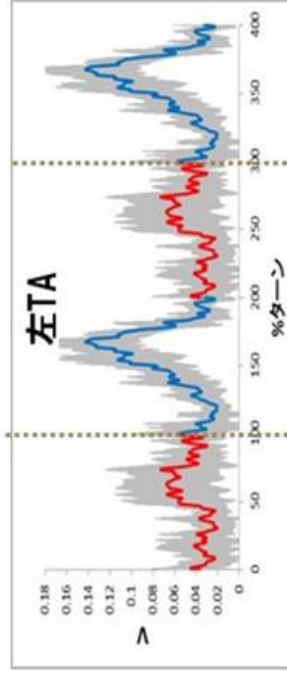
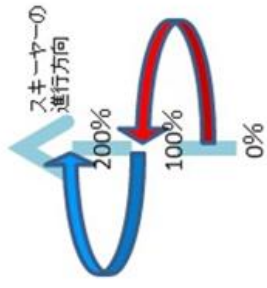


図11: 被験者04

図 8 は、被験者 01 のショートポール規制小回り動作（小回り動作）における、左右の前脛骨筋（TA）と大腿直筋（RF）の筋活動、および母指球と踵部の足圧の変化をグラフに表したものである。被験者 01 の小回り動作では、左母指球の足圧の変化が小さく、反対に左右踵外側の変化（圧力の減少）が大きく見られた。また、切り替え局面周辺で左右 RF の活動が強く見られた。

図 9 は、被験者 02 の小回り動作における、左右の TA と RF の筋活動、および母指球と踵部の足圧の変化をグラフに表したものである。被験者 02 の小回り動作は、左踵外側の変化が左右共に周期的なのに対して、右踵外側では、右ターンと左ターンで足圧の変化が異なる傾向を示した。右踵外側の足圧のうち、右ターンは 50% 区間付近を頂点とした圧力の変化率が一定な変化が見られた。前脛骨筋の活動は、筋活動の最大値が左右で同程度に表れ、筋活動の変化率も類似していた。左母指球では規則的な変化が見られたが、反対側の右母指球では変化がほぼなかった。

図 10 は、被験者 03 の小回り動作中動作の各パラメータをグラフにまとめたものである。被験者 03 では、前脛骨筋の筋活動にも周期性が見られ、各ターンにおいて被験者から見て外側の脚の前脛骨筋に強い筋活動が見られた。内側の脚でも前脛骨筋は活動するが、活動量は小さく、各ターンでもばらつきが多いことが分かった。踵部の圧力変化にも同様の周期性が見られるが、母指球には同じような規則は見られず、母指球と踵部では最大値を示すターン区間が異なっていた。

図 11 は、被験者 04 の各パラメータをまとめたものである。被験者 04 では、右ターン（左足が外側）時の左 TA に強い筋活動が見られた。右足踵部の足圧にはターン方向ごとの圧力の大きさに違いが見られた。右踵の圧力は左ターンから右ターンへの切り替え局面（点線部分）に最も小さくなっていたが、左踵外側が最小値を示すタイミングはそれよりも遅れ

る傾向にあった。切り替え局面の母指球の圧力に大きな変化は見られないが、緩やかな増減を繰り返していた。左右 RF は、それぞれがターンの内側に位置しているときよりも、ターンの外側に位置しているときの方が強い活動を示した。RF の筋活動が増大し始める時期は TA のそれよりもターンの後半にみられた。

続いて、被験者ごとの筋活動、および足圧の変化を比較検討するため、被験者 4 名分の左右の前脛骨筋の活動と、左右の踵外側部の足圧の変化を、それぞれ以下の図 12 および図 13 にまとめた。縦軸の値はそれぞれ筋活動量、足圧（v）、横軸は規格化したターン時間とした。図 12 によると、被験者 02, 03, 04 においては、ターン中に前脛骨筋が活動し、切り替えの局面でその活動が弱まるという周期性のある活動が見られるが、被験者 03, 04 では、ターンの方向ごとに活動量が異なった。被験者 01 に関しては、切り替えの局面では活動が弱まるものの、単峰性の増減は見られなかった。

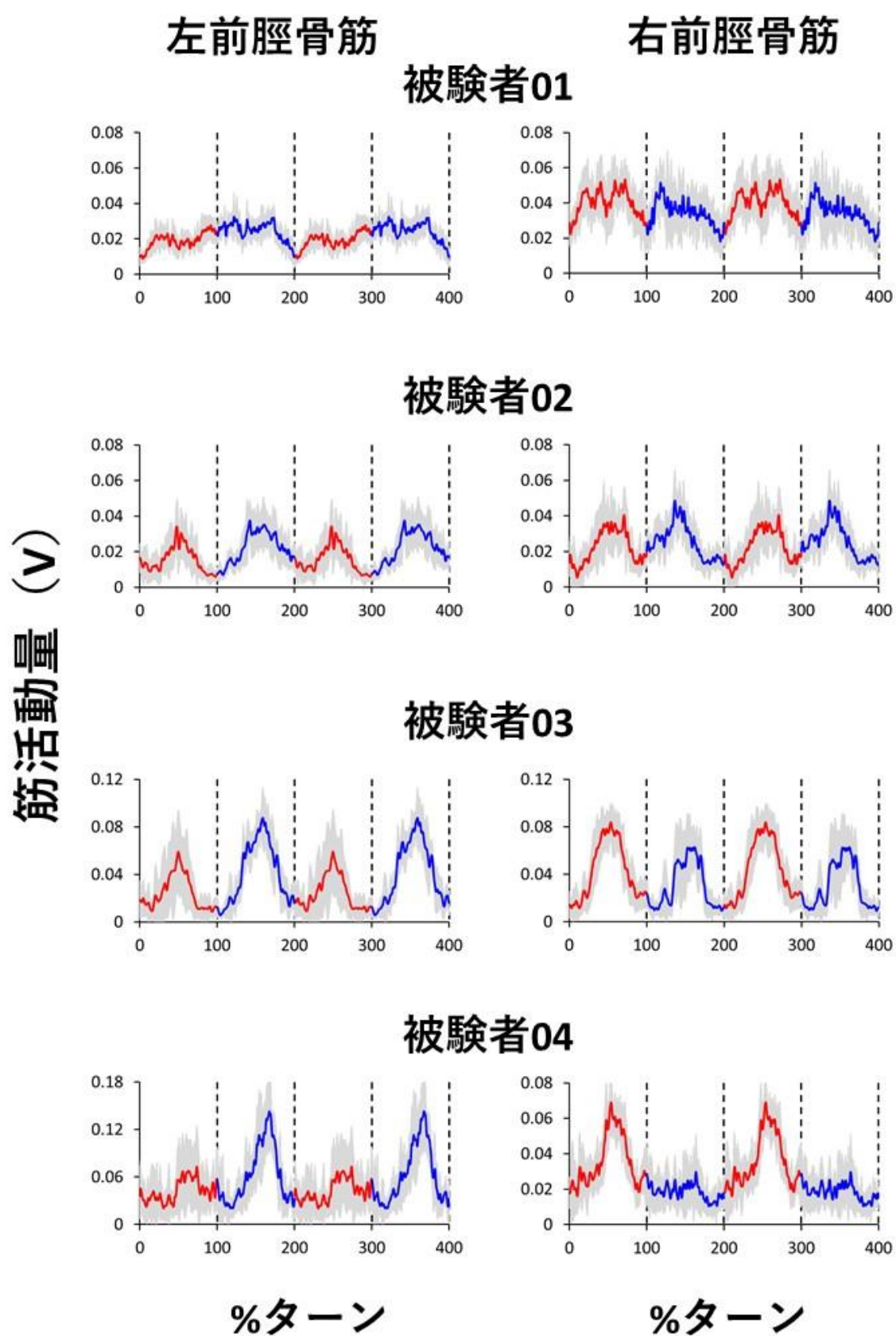


図 12 被験者 4 名分の左右前脛骨筋の活動の比較

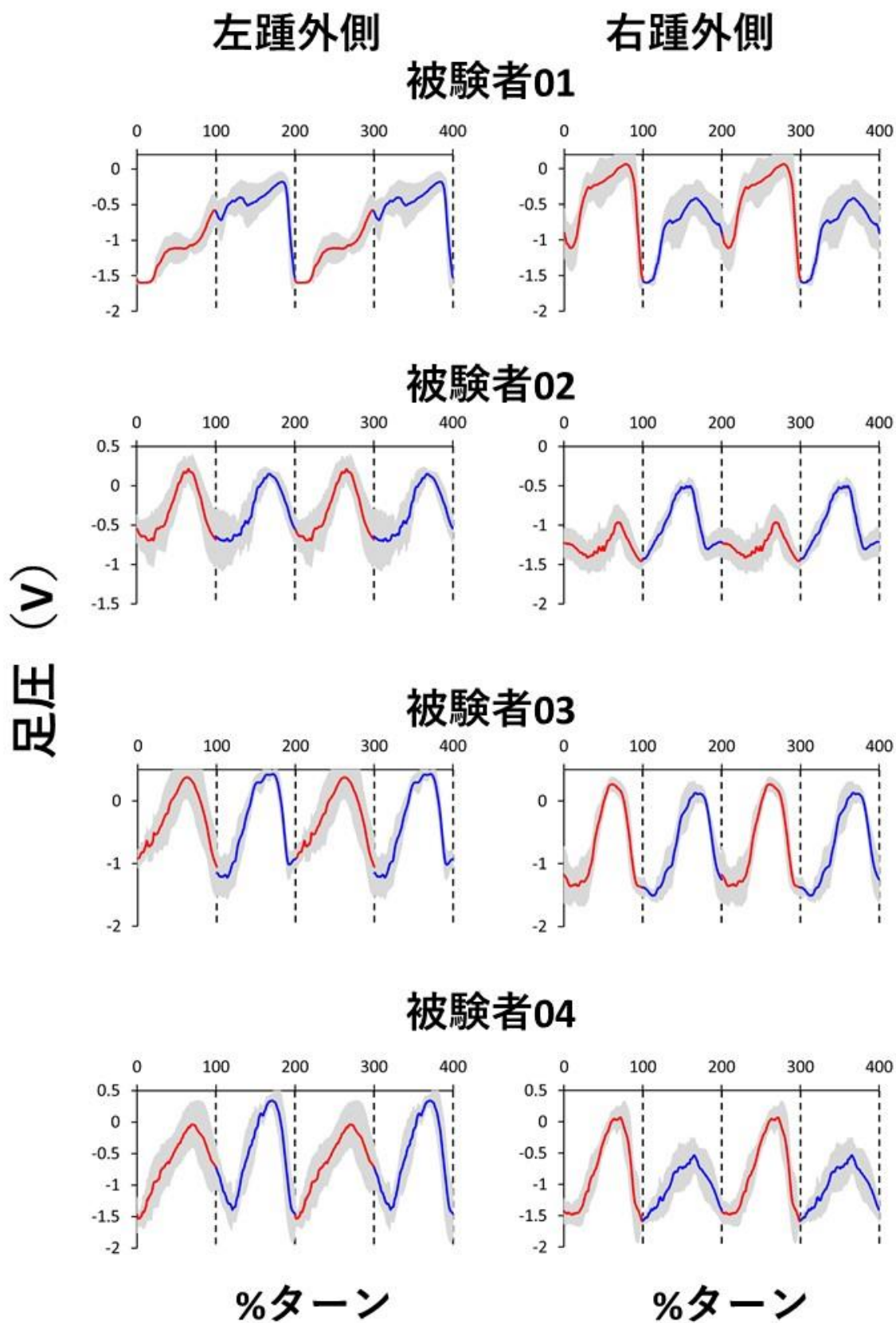


図 13 被験者 4 名分の左右踵外側の足圧の変化の比較

図 13 において、被験者 01 の右踵外側と、その他被験者のすべての踵外側部において、加圧がターン中に強まり、その加圧が切り替え局面にかけて急激に減少する様子が観察された。被験者 01 の踵外側の加圧について着目すると、各足が外側にある局面（右足の左ターン、及び左足の右ターン）において、各ターンの後半の 70%~80%にかけて、大きな圧力が加わり、その圧力が切り替え局面にかけて急激に減少していた。

2.4 考察

実験 1 の目的は、雪上における、中上級スキーヤーの小回り動作中の足圧と筋活動を計測し、本研究における計測システムのテストを行うことであった。図 8 から 11 より、スキー滑走中の足圧と筋活動の計測は可能であり、特に、前脛骨筋の活動と踵に加わる圧力の 2 点は、全ての被験者で計測が可能であった。

本実験で取り扱ったショートポール規制付きの小回り動作における滑走技術の特徴について考察し、その上で本実験における限界と更なる計測方法を検討する。

2.4.1 小回り動作における各パラメータの周期性についての考察

実験 1 で実施したショートポール規制付きの小回り動作において、前脛骨筋は強い活動を示し、その活動には周期性が見られた。図 12 より、周期性に違いがあるものの、4 名の被験者全員で前脛骨筋の活動は観察された。よって、前脛骨筋はスキーの小回り動作を実行する上で必要となる筋のひとつであると推定することができる。

前脛骨筋の活動と連動して強い反応を示したのは、踵部の足圧である。すべての被験者が前足部(母指球、小指球)よりも踵部に大きな数値を示している傾向にある。これは、ショートポールにおける小回り動作中に、スキーヤーは前脛骨筋による足関節背屈を行い、踵を中心とした脚部の内旋、外旋運動を行っていることが原因のひとつであると考えられる。また、踵への圧力の上昇と、前脛骨筋の活動について、スキーブーツの特性も関連していることが考えられる。スキーブーツは一般的な靴よりも硬質で、脛の部分まで覆うため、踵への圧力を高めたうえで滑走中の姿勢を保つために、足関節による背屈が必要となることが考えられる。しかしながら、踵への加圧がグラフ上で確認されたにもかかわらず、前脛骨筋の活動に単峰性の増減が見られなかった被験者（被験者 01）や、ターンの方向ごとに比較した際、各足が外側にある局面でのみ前脛骨筋が強く活動した被験者（被験者 04）などもいたことから、前脛骨筋の活動は小回り動作にとって必須の条件ではないが、中級者の一部において観察される特徴の一つとして挙げることができる。

前脛骨筋の活動が小回り動作とどのような関係性があるのかを検討するために、中級者よりも熟練度の高いスキーヤーに対して計測を行う必要性がある事を実験 1 の結果は示

唆している。以上のように、前脛骨筋の活動や、踵の足圧の周期性を計測することが可能であることが明らかになった本研究の計測システムは、スキーマーの小回り動作の特徴を抽出することが出来ることが明らかとなった。

2.4.2 実験 1 における限界

実験 1 における 4 人のいずれの被験者について、筋活動や足圧の計測データを分析すると、被験者ごとに小回り動作の特徴を示唆することは出来たが、すべての被験者に共通する技術的特徴は、結果からでは考察することが困難である。

本実験において、被験者間で共通の技術的特徴を示唆することが困難であった理由のひとつに、スキー場内における気温及び雪温の変化が挙げられる。被験者ごとに、計測を行った日・時刻が異なるため、被験者間でのデータの相違が滑走技術の差によるものか、あるいは環境の変化を表しているのかを、本実験でのデータのみでは判別することが出来ない。また、本研究で得られた踵部の圧力の変化を生み出す要因を明らかにするために、足関節の底屈に作用する腓腹筋についても計測を行う必要があることが明らかになった。さらに、環境による要因を極力排除する方法として、特殊なマットの敷かれたサマーゲレンデでの計測を行うことで、小回り動作の特徴をより明確にすることが期待できる。また、腓腹筋、大腿二頭筋など、下肢後面の筋の活動も計測することで、足圧や他の筋との関係性も明らかにできることが期待される。

第3章 実験2 サマーゲレンデにおける 足圧と筋活動の計測

3.1 目的

この実験における目的は、特殊な材質のマットの敷かれたサマーゲレンデにおいて、足圧と下肢の複数の筋の活動を組み合わせた計測を行うことである。実験1における限界を解消するため、安定した実験環境で計測する。また、熟練度の高い上級スキーヤーの小回り動作を計測し、その特徴について検討する。

3.2 方法

3.2.1 被験者

実験2の被験者は、成人男性4名であった。各被験者は国内の基礎スキー、競技スキーの大会に出場経験のある男性であった。各被験者の特性と競技経験を以下の表3に示す。これらの全国大会は限られた選手のみが出場することが出来る競技会であるため、実験2の被験者は実験1で計測を行った中上級者よりも高い滑走技術を持つスキー上級者である。

表3: 被験者情報（属性）

被験者	年齢（歳）	性別	競技会における成績
1	40	M	全日本技術選主権大会(2013年) 4位
2	36	M	全日本技術選手権大会（2019年）11位
3	38	M	全日本技術選手権大会 18位
4	43	M	全日本学生スキー選手権大会 出場

3.2.2 計測機器・貼付位置

①筋活動の計測

実験1で用いた Trigno™ Wireless System とモバイル記録端末（Trigno™ Personal Monitor, DELSYS 社 アメリカ）を使用した。

計測の対象となる筋は、左右の前脛骨筋、腓腹筋内側頭、大腿直筋、大腿二頭筋、長内転筋であった。前脛骨筋のセンサー貼付の際、スキーブーツのタング部分にセンサーが接触しないように留意した。

②足圧の計測

Trigno™センサーと電極シートをケーブル接続することで足裏の 3 点（母指球直下、小指球直下、踵部直下）の足圧を計測した。Trigno™センサーから足圧センサーまではケーブルによる配線が必要であるが、被験者がブーツを履いた際にケーブルが当たり、踝や土踏まずの感覚野筋活動などに影響が出ることを防ぐため、配線を仮止めし、靴下を履いた段階で被験者に足部の感触を確かめ、もし圧迫感などを訴えた場合は貼付位置や配線の修正を行った

上記 2 項目を計測する各センサーを貼付するため、センサーの上にキネシオテープ、サージカルテープおよびアンダーラップを巻くことによって固定した。

以上の 2 つの計測項目の計測のために使用した Trigno™センサーは 12 個であった。それぞれの貼付位置と、計測項目については、以下の表 4 にまとめた。

表 4 各センサーの計測部位および計測項目

センサー	計測部位（貼付部位）	主な計測項目
1	右前脛骨筋 筋腹直上	筋活動
2	左前脛骨筋 筋腹直上	
3	右腓腹筋 筋腹直上	
4	左腓腹筋 筋腹直上	
5	右大腿直筋 筋腹直上	
6	左大腿直筋 筋腹直上	
7	右 大腿二頭筋 筋腹直上	
8	左 大腿二頭筋 筋腹直上	
9	右 長内転筋 筋腹直上	
10	左 長内転筋 筋腹直上	
11	右足 母指球直下、小指球直下、及び踵直下	足圧
12	左足 母指球直下、小指球直下、及び踵直下	

③動画データ

SONY 製のビデオカメラ (HDR-CX630V) 1 台 (A)、パナソニック製のカメラ (DMC-FZ300) (B~D) 3 台を使用した。カメラ A は斜面下部から滑走者の正面を撮影し、3 次元の動作解析を行うためにカメラ B~D に関しては異なる方向から滑走者を撮影した。カメラ A は 60fps のフレームレートで撮影し、3 次元動作解析用のカメラ B~D は 240fps のフレームレートで撮影を行った。各カメラの配置と撮影の方向は、以下の図 14 の通りであった。

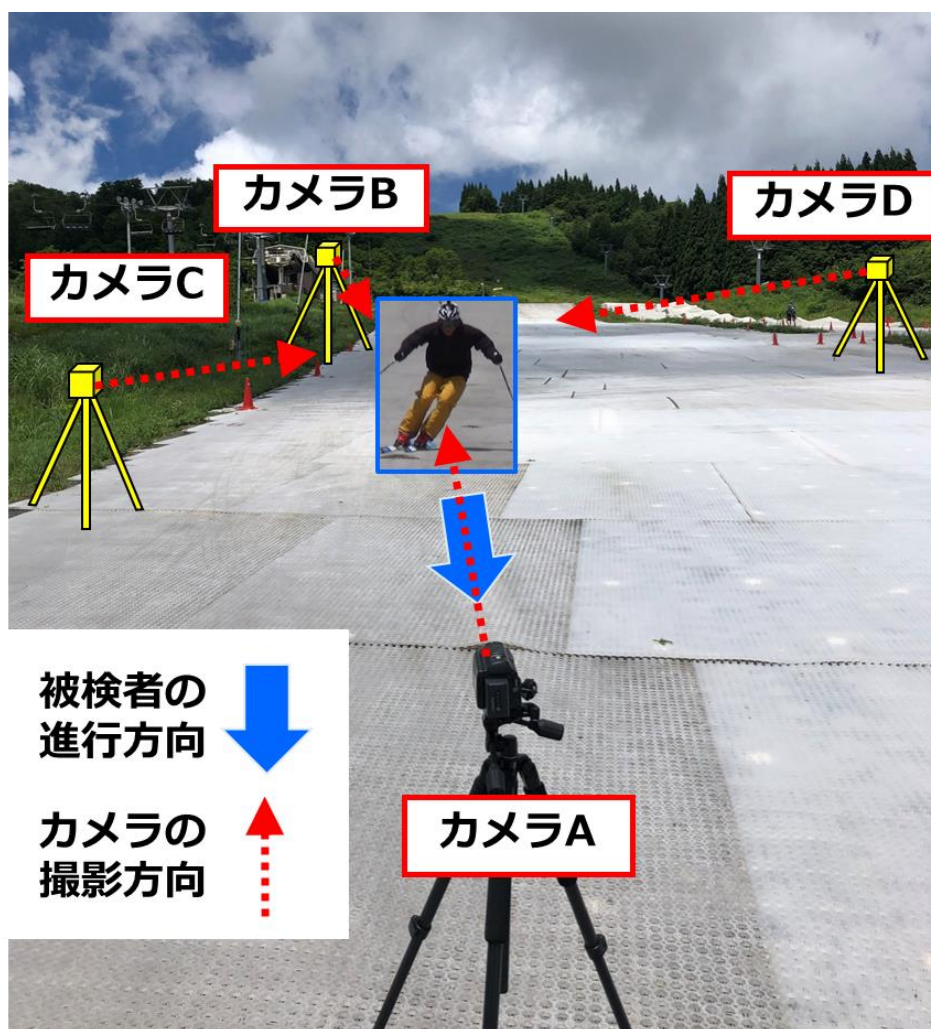


図 14. 各カメラの配置と撮影方向

また、カメラ B~D について、動作解析のキャリブレーションを行うため、縦、横 1.5m、長さ 3m のキャリブレーションゲージを作成し、それを移動させながら動画撮影を行った。解析の際、座標を定義するための軸の情報と、キャリブレーションゲージの形状を図 15 に示した。

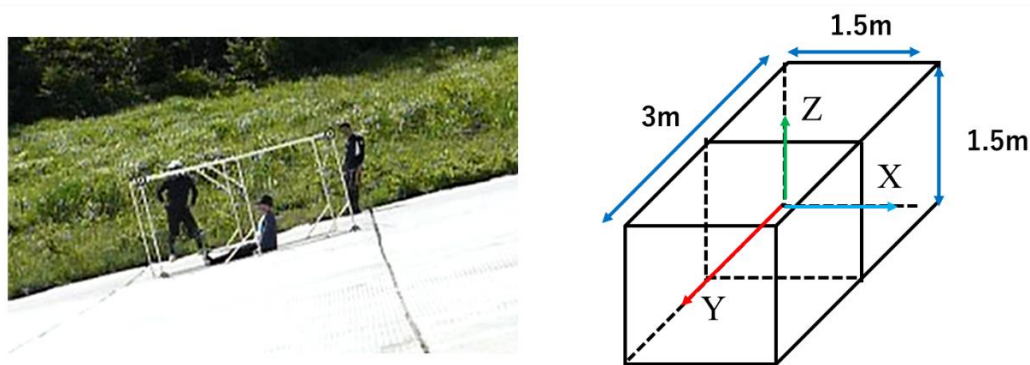


図 15. キャリブレーションゲージとその大きさ

3.2.3 滑走場所・実験日

実験場所は、岐阜県郡上市白鳥町のウイングヒルズ白鳥リゾート サマーゲレンデ（アトリウムゲレンデ）で行った。ウイングヒルズ白鳥リゾートには、PISLAB（株式会社アルペン，日本）と呼ばれる、樹脂製の突起が多数取り付けられていることでスキー板での滑走が可能となっているマットが敷き詰められているので、夏季のスキー滑走が可能となっているスキー場である。全長は 1000m、最大斜度は 15°、平均斜度は 12°で、初級コースに分類されるコースであった。スキー場の協力の下、コース上部の下から向かって左側を使用した。貸し切りの状態ではないため、一般スキーヤーに留意しながら計測を行った。実験日は 2019 年 8 月 6 日から 8 日の 3 日間であった。実験当日の気象条件は、3 日間を通して晴れであり、3 日間の最高気温は 34.4℃であった。

3.2.4 実験プロトコル

計測機器の貼付や動作の確認は、ゲレンデ下部に設置したテント内であらかじめ完了させた。高温のため、汗をかいていた被験者に関しては、検者の用意した車の中で十分に汗を乾かし各種貼付を行った。貼付が完了し、センサーのテストも終えた後に、最大随意収縮（MVC）計測を行った。被験者が随意的に発揮できる最大の筋活動を、それぞれの計測筋に対応する関節に対する等尺性収縮を行ってもらうことによって計測した。計測の準備が完了し、被験者がゲレンデ上部に到着したところで、各カメラの準備を確認し、録画を開始した。その後、モバイル記録端末によって 12 個の Trigno™センサーの計測を開始した。

計測機器のデータ計測の開始が確認できたところで、筋活動、足圧、動画データの同期のため、同期装置を点灯させた。以上のすべての動作を斜面上部の検者に指示により完了させたうえで、被験者の滑走の開始を指示した。被験者は事前に教示した試技内容の通りに滑走動作を行い、正面カメラ(カメラ A)の前で完全停止した。停止後、全ての計測機器を一時停止した。カメラ A を操作する検者が次の試技の確認を行い、被験者はリフトを用いて斜面上部に再び移動した。以上が計測の 1 サイクルであり、このサイクルを試技の回数分を行った。

本実験ではスキップディングを含む小回り動作を試技として取り扱った。全日本スキー連盟(2014)は、スキップディングを「スキーの横ずれを伴うかじ取りのこと」(p.210)としている。スキップディングを含む小回り動作は、スキー板の滑走速度をコントロールしながら滑走することを可能にする滑走技術である。被験者には「ずらしを伴った小回りをしてください」と教示し、2 回試技を行った。

全ての試技が終了した後、足圧のキャリブレーションを目的として、被験者を屋外の水平な地面に立たせ、10 秒間その状態のままで静止させ、試技中と同様の方法で足圧の計測を行った。

3.2.5 解析

① 筋活動と足圧の解析

解析の対象は、スキップディングを含む小回り動作 1 試技分、左右合わせて 8~12 ターン

分であった。ターン数の合計は被験者ごとに異なった。得られた筋活動データは整流化処理を施した。整流化した筋活動データと足圧データに対して、4 次のバターワースフィルターで 20Hz のローパスフィルター処理を行った。次に、動画データにおける切り替え局面の瞬間の時間データを基に、フィルター処理後の筋活動と足圧データを、切り替え局面を境界として分割した。分割後、ターンの回転方向によってデータを左右に分割し、左ターン(被験者の右脚が外側のターン)と右ターン(同左脚が外側のターン)とした。

試技開始時のターンの方向が被験者によって異なるため、同種類の試技内ではターンの方向を統一した。ターン時間は、切り替え局面から次の切り替え局面までを 100%としたターン区間で規格化した。規格化したデータは、被験者が試技中に行ったターンの合計に応じて、左右それぞれ 4 ターン～6 ターンずつ加算平均をした。加算平均後のデータについて、筋活動データは各筋の MVC 時の筋活動で正規化した。同様に足圧は、立位時の足圧データで正規化を行った。正規化後の平均値と標準偏差を左ターンと右ターンで交互につなぎ合わせ、同一のグラフに表した。実験 1 と同様、左右ターンの切り替え局面を図示するため、0~200%区間のグラフと同じものを、200%~400%の区間に繰り返しプロットした。

②動作解析

3 台の高速度カメラの情報を基に、Frame-DIAS V (株式会社 Q's fix, 日本) を用いて動作解析を行った。図 13 のキャリブレーションゲージを用いて定義した解析区間は、進行方向に対して、高さが 1.5m、横幅が 3m、奥行きが 18m であった。座標を定義する軸の情報も図 15 に合わせて記載した。4 名の被験者は、左右合計で 3 ターンもしくは 4 ターンで解析区間を滑走した。3 次元 DLT 法を用いて、右脚の腰部、膝、踝の 3 点をプロットし、xy 平面と脛のセグメント(踝から膝を結んだ線分)との合成角度を算出した。図 16 は、被験者 1 名分の脛の角度の変位をグラフにしたものである。縦軸が脛の角度(°)、横軸が同期

装置の点灯後から経過した時間 (s) である。各ターンにおける、角度が最も大きくなった局面を Stand 角、反対に各ターン中で最も小さくなったものを Lean 角とし、それぞれ抽出できた値の平均値と標準偏差を求めた。

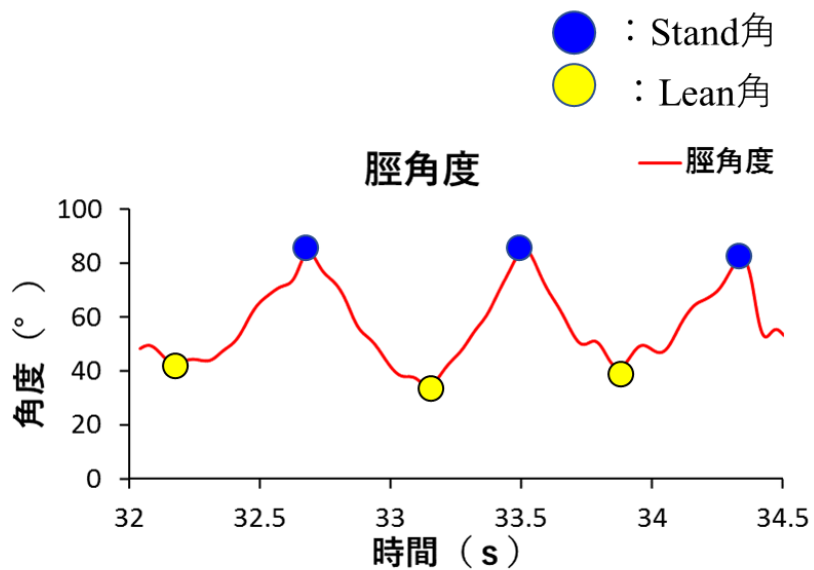


図 16. Stand 角と Lean 角の定義

3.3 結果

3.3.1 筋活動と足圧の計測

被験者 4 名分の各筋活動と足圧データを以下の図 17 から 20 に示した。筋活動のグラフにおいて、縦軸は MVC（最大随意収縮）時の筋活動に対するパーセンテージ、横軸は規格化したターン時間である。足圧のグラフにおいて、縦軸は滑走計測後の静止立位時の足圧に対するパーセンテージ、横軸は規格化したターン時間である。

筋活動の変化に関して、その活動量や周期性は被験者ごとに大きく異なる結果となったが、前脛骨筋に関してはすべての被験者で共通して周期性のある活動が見られた。前脛骨筋に見られた周期性とは、ターンの切り替え局面で活動が弱まり、それ以外のターン中では活動が強く表れる、というものであった。足圧について、全ての被験者で、母指球と踵には 100%立位以上の強い圧力が加わる局面が見られた。その圧力の増加のタイミングについて着目すると、踵部の足圧は 4 人の被験者全てにおいてターンマックス局面にかけて増加し、次の切り替え局面にかけて減少するという周期的増減を示した。加算平均後の踵の足圧の変化の標準偏差は、他の部位の足圧の標準偏差と比較して小さかった。一方、母指球の圧力は強くなる局面がすべての被験者で見受けられたものの、それが現れる局面は被験者ごとに異なっていた。

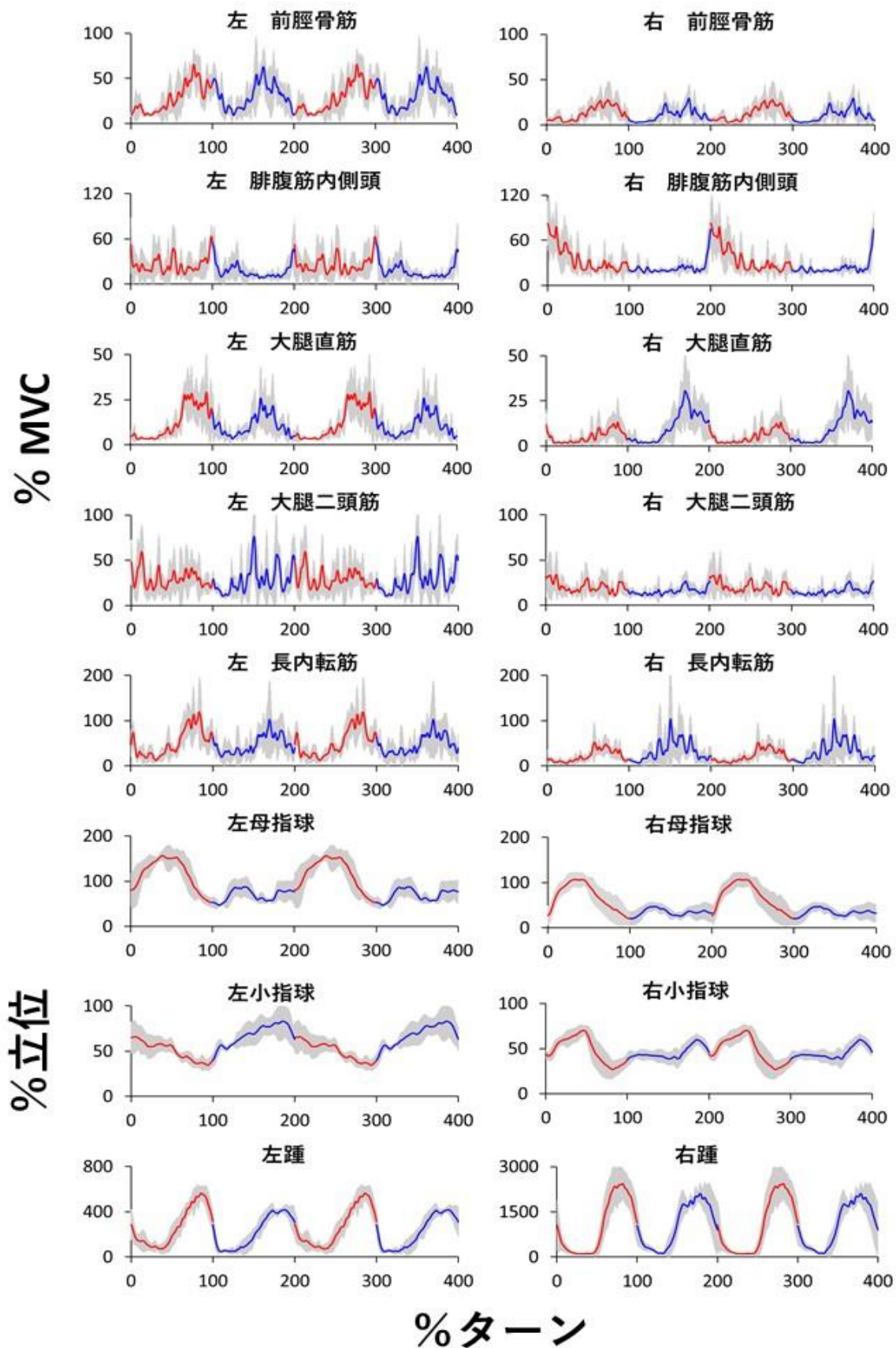


図 17. 被験者 01 の筋活動と足圧の平均値と標準偏差

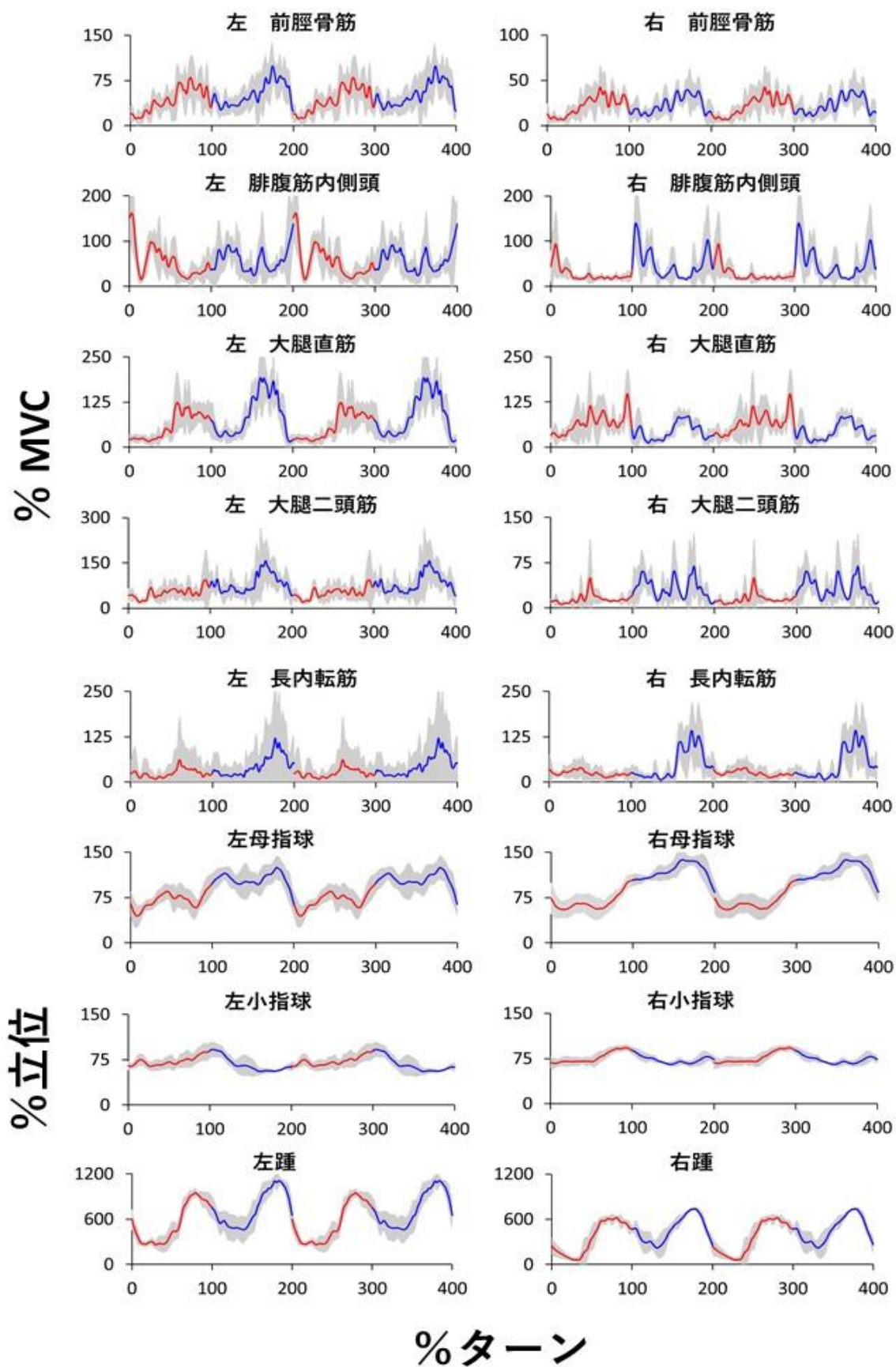


図 18. 被験者 02 の筋活動と足圧の平均値と標準偏差

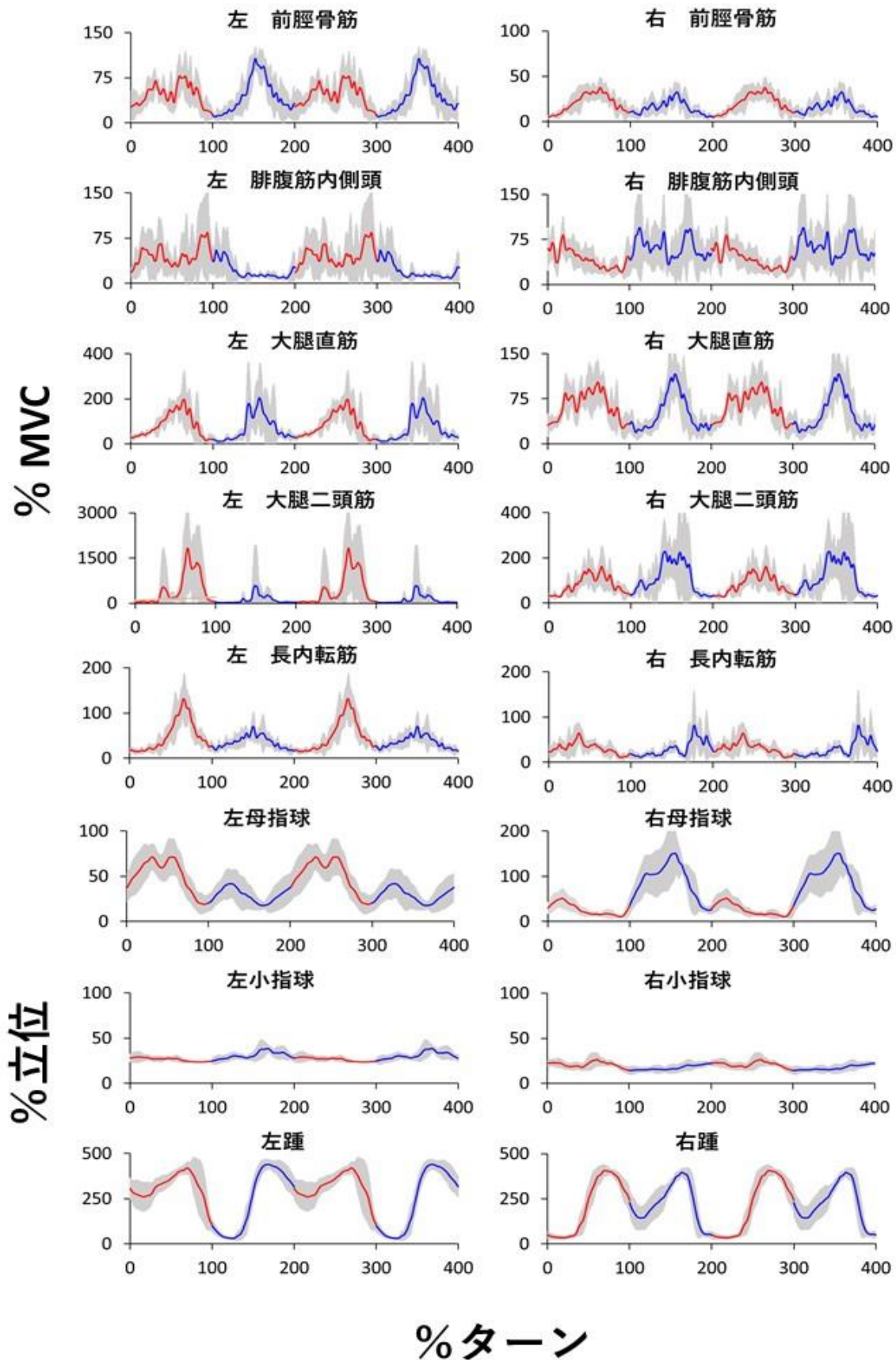


図 19. 被験者 03 の筋活動と足圧の平均値と標準偏差

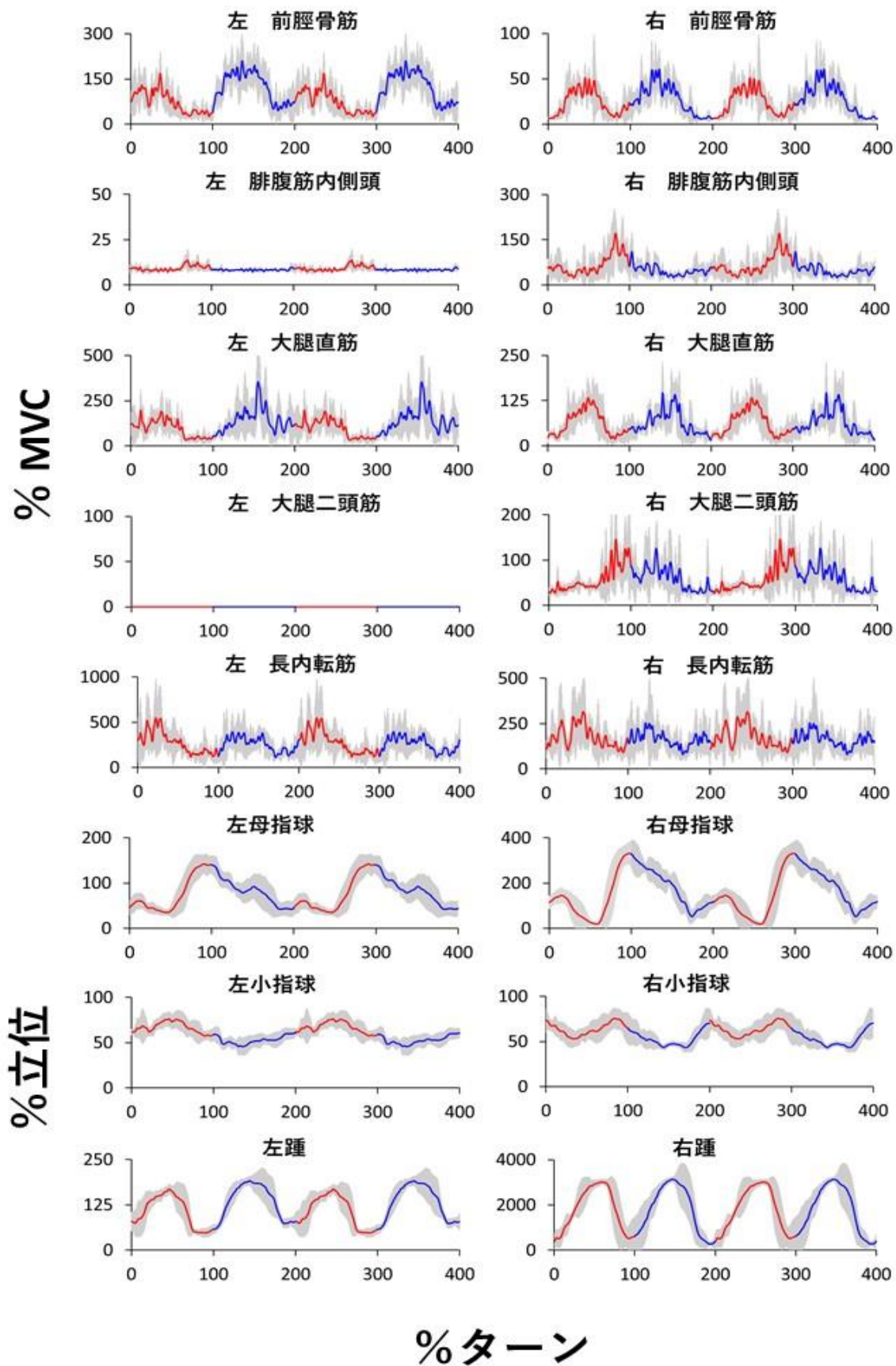


図 20. 被験者 04 の筋活動と足圧の平均値と標準偏差

図 17 は、被験者 01 の、小回り動作中の筋活動、及び足圧の変化をグラフにまとめたものである。被験者 01 の小回り動作において、腓腹筋内側頭はターンのニュートラル区間前後で強い活動を示した。また、大腿部の筋群（大腿直筋及び大腿二頭筋）も強い活動を示したが、2 つの筋に共通した周期性は見受けられなかった。足圧に関して、踵に加わる圧力は周期性をもって変化し、母指球の圧力も同様にターンの後半（各ターンの 50%~100% 区間）において強い活動を示した。

図 18 は、被験者 02 の筋活動と足圧の変化をまとめたものである。左右の前脛骨筋の活動は、ターンの方向に関わらずに、ニュートラル区間で活動が比較的小さく、ターンマックス区間（各ターンの 50%区間）の前後で筋活動が大きくなるという周期的な変化を示した。左右の腓腹筋は、ニュートラル区間の前後で強い筋活動を示した。

母指球の足圧は、左右どちらも左ターンで高い圧力を示した。また、母指球への圧力が高くなるのはターンマックス区間よりも前であり、各ターンにおけるターンマックス区間よりも後ろでは、踵への圧力が増加した。

図 19 は、被験者 03 の筋活動と足圧の変化をまとめたものである。被験者 03 の小回り動作では、大腿直筋及び大腿二頭筋の筋活動の MVC 計測時の筋活動に対する比率（%）で非常に強い活動を示した。上記の 2 つの筋について、切り替え局面とそれ以外の局面で比較した場合、切り替え局面では筋活動が強まり、それ以外の局面では強く活動している点が共通していた。また、図 16 において、右母指球は、右足が外側となるターンである左ターンのターンマックス局面前後である、140~160%（340~360%）の区間で高い圧力を示した。左右の踵について、切り替え局面に着目すると、左踵における右ターンから左ターンへの切り替え区間、及び右踵における左ターンから右ターンへの切り替え区間においては、圧力が 0%立位付近まで減少しきらずに次のターン方向へと切り替わっていた。

図 20 は、被験者 04 の筋活動及び足圧の変化をまとめたものである。左右の前脛骨筋の活動は、標準偏差は大きいがターンマックス区間にかけて強い活動を示し、ニュートラル区間にかけては活動が弱まった。右の腓腹筋では、左ターンの 80%から 90%区間付近で強い活動を示した。

踵の足圧は、他の被験者と同様に周期性をもって変化した。左右の母指球への圧力は、左ターンから右ターンへの切り替え区間でのみ高い圧力を示した。

3.3.2 動作解析

動作解析に基づく、脛の角度を表 5 に示した。

表 5. 各被験者の小回り動作中の Stand 角と Lean 角

被験者	Stand (°)	Lean (°)
01	83.27(±2.13)	47.39(±11.83)
02	83.53(±1.80)	39.48(±4.41)
03	80.65(±3.65)	44.61(±3.26)
04	79.08(±0.87)	45.10(±5.19)

各ターンにおける切り替え局面は、動作解析における Stand 角の値を示した局面とほぼ一致していた。脛角度の最大値は、全ての被験者でおよそ 80°前後を示した。一方で、最小値については被験者間でばらつきがあり、被験者 01 ではターンごとの標準偏差が約 12 度であった。

3.4 考察

実験 2 の目的は、サマーゲレンデでの小回り動作において、足圧と下肢の複数の筋の活動を組み合わせた計測を行うことである。図 17 から図 20 より、前脛骨筋、踵の圧力に関して、切り替え局面では減少、低下しその他のターン中では増加、上昇するという点においては実験 1 の雪上と同様の結果を得ることが出来た。

収集したデータについて、計測項目ごとに考察を進めていく。

3.4.1 計測結果の概説

結果を踏まえて、測定した各筋についての傾向をまとめる。前脛骨筋、大腿直筋といった脚部前部の筋活動については、4 名の被験者で、左右のターンのどちらでも計測が可能であった。特に、前脛骨筋については特徴が似通っており、これについては後述する。一方、腓腹筋内側頭、大腿二頭筋などの脚部後部の筋肉は、被験者ごとに異なる特徴を示した。長内転筋についても、ターン方向によって活動の強さが異なる被験者が見受けられた。

足圧についても同様にまとめる。踵の足圧の変化は実験 1 と同様に単峰性の増減を伴った大きな足圧の変化を示した。母指球の足圧の変化は、被験者ごとに特徴が分かれる結果を示した。小指球の足圧の変化は、被験者ごとに立位比での圧力の大きさが異なるものの、足圧における他の指標と比較した場合、どの被験者も変化量が小さく大きな増減を示す被験者は 1 名（被験者 01）のみであった。

3.4.2 筋活動における特徴

4 名の被験者全員が前脛骨筋の周期的な活動を示し、これは実験 1 と同様の結果であった。被験者 01 と 02 に対して見られた、腓腹筋内側頭のニュートラル区間前後における瞬間的な強い活動に関しては、スキー板のエッジの切り替え時にブーツ内での足圧の分布を後ろから前へと動かす動作との関連性が示唆される。このような前後の動きは、ターンの中で刻々と移動し続けるスキー板に対して直上から体重をかけるためには必要な動作である。さらに、被験者 01 及び 02 の足圧から推察される、ブーツ内で、踵への圧力が強い状態から母指球への圧力が強い状態に移動する現象は、スキーヤーの重心の圧力中心が移動している事と関連していることが考えられ、これは基礎スキーの経験者（被験者 01 及び

02) にみられる共通点である事が考えられる。基礎スキーの大会などにおいて、スキー板が動いて見える動作というのは加点の要素につながることが多い。岡田ら（2014）の討論では、基礎スキーは「上手に見える」ことが基礎スキーの競技会で点数を取るために必要なことであるとしている。ここでいう足部の加圧点の前後動も、小回り動作を正しく実行するうえでは、過度な動きであったとしても、高い滑走技術としての評価を得る可能性がある。このように、スキー上級者の滑走技術の中には、それよりも熟練度の劣るスキー中級者の上達にとっては必ずしも必要ではない滑走技術を用いている可能性がある。

3.4.3 足圧における特徴

一部の被験者で、立位の状態に対するパーセンテージが 1000%を超えたが、これは立位時計測時のデータが極端に低かったことが原因として考えられる。4名の被験者において、踵の足圧の変化は比較的同じような結果を示したが、一方で母指球や小指球の足圧の変化は、被験者ごとに特徴が大きく異なっている。具体的には、踵と母指球の足圧が、ターン中の同じ局面において上昇する被験者の群（被験者 01, 03）と、踵と母指球の足圧が、ターン中の異なる局面で上昇し、母指球に加圧した後、その圧力が減少すると同時に踵への足圧が上昇していく被験者の群（被験者 02,04）の2種類に大別することができる。このように分けられる要因の一つとして、被験者の競技経験が影響している可能性が示唆される。

主に競技スキーの経験が長いスキー上級者（被験者 01, 被験者 03）は、踵と母指球にかかる圧力が同調する傾向にあった。第1章で述べたように、競技スキーでは滑走速度が競技会において最も大きな要素となる。従って、競技スキーヤーは競技会で、スキー板に対して垂直方向から足裏全体に体重をかけることで高い滑走速度を伴ったカービングターンを行っていることが推察される。カービングターンについて、全日本スキー連盟（2014）は、「スキーのサイドカーブとエッジング（エッジを雪面に押し付けること）によるたわみの相乗効果で、スキーの前半部がターン内側に向く作用を利用しターンすること」（p.152）としている。サマーゲレンデにおける小回り動作でも同じようなスキー板の操作を行ったため、踵と母指球の圧力が同じ局面で増加した可能性がある」と推察される。

一方で、主に基礎スキーの経験歴が長いスキー上級者（被験者 02）は、母指球と踵は異なる局面で圧力が増加し、踵に強い圧力が加わった局面では母指球への圧力は減少していた。これは、前節の筋活動に関する考察でも述べた「スキーブーツ内の足圧分布の前後移動」が関連しているのではないかと推測される。しかし、競技スキーの選手経験のある被験者 04 の足圧について、母指球と踵の足圧は異なる局面で増減したため、ここで述べた特徴が競技特性によるものであるか、スキーヤーの個人差によるものであるかは断定することはできない。

本実験において、母指球と踵への圧力は、ブーツ内での圧力中心の移動、すなわちブーツ内での足底部の動きと関連付けて考察しているが、それらに加えられる新しい指標として、スキーヤーの頸部が、スキーブーツ内のベロ部（タング）と当たる際に生じる圧力が考えられえる。その理由として、スキーの指導現場においても足部前部に圧力中心を移す際に脛をタングに当て、指導者によっては強く押すこと（足関節を背屈すること）を指示することが挙げられる。従って、これまでに計測してきた足圧に加えて、脛部の圧力も計測することが必要であることが実験 2 から明らかとなった。

3.4.4 実験 2 における限界

実験 2 において、計測したデータの解析結果は、小回り動作の滑走技術として提示できる可能性のあるもの（小回り技術）と、上級者特有の技術、及びスキーヤーの個人的特性を反映した技術（上級技術）であると考えられるものもあり、一般化が困難であるものを示していることが推測される。小回り技術と上級技術については、以下のように分類できると考えられる。

表 6. 小回り動作において予想される滑走技術

滑走技術	
小回り基礎技術	前脛骨筋の周期性を伴う活動 ターン中の踵部への加圧
上級技術	腓腹筋の即時的な活動 母指球から踵への、加圧点の移動 母指球と踵に対する同時期の加圧

第1章で示したように、基礎パラレルターンを習得したスキーヤーに対して、その全体に共通する技術的特徴としては、足圧に関する考察で述べた踵への加圧が挙げることができる。被験者ごとに傾向が異なる技術的特徴については、高い滑走技術に伴う技術の分化の可能性が考えられる。本実験における結果が示しているように、足圧と筋活動、及びキネマティクスデータについて、どの指標を用いれば小回り動作を客観的に計測できるかは不明ではあるが、本実験の示すデータはその指標を明らかにする過程において重要な結果を示したと考える。

本研究の目的に即し、計測システムの有用性を検討するための判断の基準として、指導者が被験者を観察し、指導者自らの評価基準を基に採点する点数による評価をデータとして収集することが必要である。本研究で用いる計測データと、指導者の評価という2つの性質の異なる指標を比較し、本研究における計測システムのデータから、スキーの滑走技術を評価する上で有用性のある指標を検討していくことが必要である。

第4章 実験3 サマーゲレンデにおける筋活動、足圧 及び指導評価の比較検討

4.1 目的

本実験における目的は、サマーゲレンデ上で被験者間の滑走の条件や教示を統制した状態でのスキー小回り動作において、スキーの指導者の主観的な評価データと、下肢の筋活動と足圧の計測データを比較し、本研究における計測システムの有用性を検討することである。指導者の評価の優劣を決定する因子を、計測で得られる複数の指標を統合することで検討する。

4.2 方法

4.2.1 被験者

実験3の被験者は成人男性2名であった。実験2と同様、基礎、競技共に全国大会に出場経験のあるスキー上級者を被験者とした。被験者の特性を表7に示した。

表7: 被験者情報（属性）

被験者	年齢	性別	スキー経験
01	23	M	全日本学生スキー大会 回転 17 位
02	26	M	全日本技術選（2019 年）出場

4.2.2 計測機器・貼付位置

実験1、2と同様の装置を使用した。

①筋活動の計測

Trigno™ Wireless system 及び Trigno™ Personal Monitor(DELSYS 社 アメリカ)を使用して計測を行った。計測した筋は、左右の前脛骨筋 (TA)、腓腹筋外側頭 (LG) 及び腓腹筋内側頭 (MG) であった。前脛骨筋のセンサー貼付の際、スキーブーツのタング部分にセンサーが接触しないように留意した。

②足圧の計測

Trigno™ センサーと電極シートをケーブル接続し、足圧の計測を行った。電極シートの

貼付位置は、母指球、小指球、及び踵の其々の直下とした。電極シートと Trigno センサーを接続する際のケーブルの配線は、被験者に不快感を与えないように留意した。

③脛部にかかる圧力の計測

4cm 四方の正方形の電極シートを、被験者の脛に貼付した。貼付位置は、被験者に、事前にスキーブーツを履いた際に脛骨が当たる部分を確認したうえで決定した。

足圧の電極シートと同様に、Trigno™ センサーにケーブル接続し、配線もブーツのタング部に当たってしまわないように留意した。

④動画データ

SONY 製のカメラ (HDR-CX630V) を 2 台 (A,B)、パナソニック製のカメラ (DMC-FZ300) を 1 台 (C) 用いて、滑走の様子を動画データとして収集した。カメラのフレームレートはそれぞれ 60fps (カメラ A,B)、240fps (カメラ C) であった。カメラ A は計測区間の開始位置からフォールラインに向かって検者が手持ちで撮影し、カメラ B,C に関しては、フォールラインの最下部 (図 21 参照) から開始位置方向に向かって撮影した。カメラ B,C に関しては三脚で固定し、カメラの画角が動かないようにした。

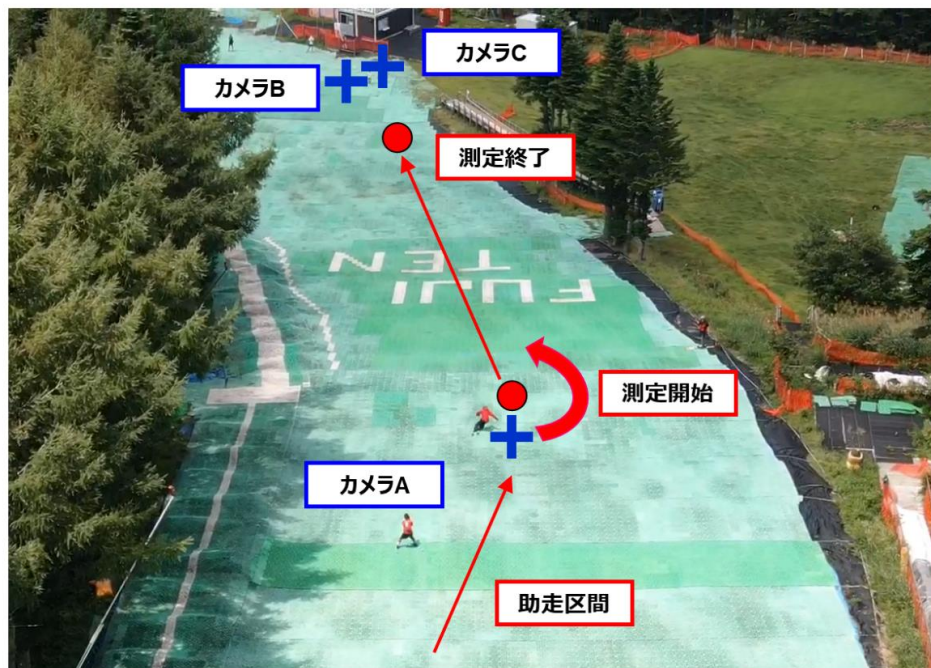


図 21. 測定区間とカメラの配置

4.2.3 計測場所・計測区間

実験 3 は、山梨県南都留郡鳴沢村にある「ふじてんスノーリゾート」にある、サマーゲレンデ（全長 300m）で計測を行った。実際に計測を行った区間は、サマーゲレンデの下部 100m の直線区間であった。実験の条件を統制することを目的として、SAJ 公認 A 級検定員の資格を持つスキー指導員の立会いの下、被験者が滑走する方向（フォールライン）を決定した。フォールラインとは「斜面の真下方向へ伸ばす仮想のライン」（全日本スキー連盟, 2014）である。



図 22. フォールラインの設定

4.2.4 試技・プロトコル

本実験では被験者に要求する試技を、小回り動作とした。但し、条件の統制のため、指導者の主観的な判断の下、それぞれの被験者が同じターン幅、同じリズムで小回り動作を行うことを被験者に指示した。計測に入る前に、この条件統制を行う試技を各被験者 3 回ずつ行った。本計測では、上述の条件を被験者に伝えたうえで、「同じターン幅とリズムで

小回り動作を 4 ターン以上行うこと」を 1 試技とし、これを 4 試技行った。

各試技において、計測を開始する前に全ての動画撮影機器が録画を開始したことを確認し、Trigno™システムの計測を開始した。被験者は助走区間を一定の速度で通過し、予め定めた計測開始区間を通過するとともに小回り動作を開始した。被験者は計測区間で 4 ターン回転した上で、サマーゲレンデ下部で停止した。被験者と指導者は一定の距離を保った状態で、それぞれの主観的評価を口頭で述べ、その様子を検者がビデオカメラで記録した。録画の開始から評価コメントの終了までが 1 つのサイクルであり、これを試走 3 回、計測 4 回の合計 7 回行った。

4.2.5 滑走評価

① 指導者の評価

被験者による滑走動作をスキー指導者の観点から主観的に評価するため、SAJ 公認 A 級コーチの資格を持つスキー指導員に滑走の評価を実験の現地で行った。指導者に対しては、被験者の滑走を評価する際の着眼点について、事前に記述を依頼した。実際の計測の際は、記述した着眼点に沿って指導者が主観的に評価を行い、100 点を満点した点数評価によって評価した。この方式は、現在の基礎スキーにおける検定や技術選手権と同じ方式であった。また、複数の指導者の評価を収集するため、計測を行った後日、別の指導者 3 名に、被験者の滑走試技の動画データを見せた。計測現場で評価した方法と同様に採点基準を設定し、100 点満点で採点をおこなわせた。

評価を行った指導者の特性を表 8 に示した

表 8：指導者の情報（属性）

指導者	指導者資格
01	SAJ A 級コーチ
02	SIA ステージIV
03	SIA ステージIV
04	SAJ 指導員

指導者 01 が、計測現場で評価を行った指導員であった。

② 被験者による自己評価

指導者による評価との関連性を検証するため、被験者自身にも滑走試技後に自身の滑りを評価することを依頼した。評価の基準は「スピード」「ターン」「出来栄え」とし、被験者はそれぞれに関して 10 点満点で自己評価を行った。

それぞれの項目に関する具体的な説明を以下の表 9 に示した。

表 9 自己評価における採点項目と基準

評価項目	各項目における「1 点」	各項目における「10 点」
スピード	自分の実現できる 最も遅いスピード	自分の実現できる 最も速いスピード
ターン	全てのターンで失敗した	失敗がなかった
出来栄え	全体の完成度が低い	全体の完成度が高い

4.2.6 解析

実験 1, 2 と同様、データ処理は MATLAB (R2017a) で行った。

(1) 被験者ごとの筋活動、足圧についての解析

筋活動と足圧の解析の対象は、小回り動作 3 試技分、左右合計 12 ターンであった。抽出の方法については後述する。

①筋活動

筋活動に対しては、整流化の処理を施したうえで、ターンごとに筋活動データを分割した。この分割を行う際の基準として、ターンの切り替え局面を定義した。切り替え局面の時間情報を基にターンを分割し、それをターンする方向によって左右に分類した。筋活動については波形の揺れが激しかったため、解析ソフトによるフィルター処理は行わず、前後 10 コマ分の移動平均を算出した。それぞれの方向ごとに分割した筋活動データを加算平均し、その平均値と標準偏差を求め、グラフにプロットした。本実験では 1 試技当たりのターン数が不十分であったため、計測を行った 4 試技のうち、指導者の評価が高い 3 つの

試技を同一のものとして扱い、

1 試技当たり 4 ターンのデータを 3 試技分、合計 12 ターン（左右 6 ターンずつ）を解析の対象とした。

① 足圧

収集した足圧の生波形から、ノイズを除去することを目的として 10Hz のローパスフィルター処理を施した。切り替え局面の情報をもとにターンの分割、方向ごとの分類を行った。筋活動と同様の手法で加算平均し、平均値と標準偏差をグラフにプロットした。解析の対象となるターンについても筋活動と同様の手法を取った。

（2）指導者の評価と計測データの比較検討

収集した 4 名分の指導者の評価点数を試技ごとに平均し、最も平均点の高いものを高評価試技、最も点の低いものを低評価試技とした。それぞれ対応する試技の前脛骨筋、腓腹筋内側頭の活動を移動平均したものをプロットした。足圧についても、フィルター処理を施したうえでプロットした。

4.3 結果

4.3.1 筋活動と足圧

被験者 2 名の、滑走試技 3 本分の筋活動の平均値と標準偏差、及び足圧の平均値と標準偏差を、以下の図 23 及び図 24 に示した。筋活動の縦軸は MVC に対するパーセンテージ、横軸は規格時間におけるターンに対するパーセンテージとした。また、足圧はキャリブレーションを行わなかったため、縦軸は %FS とした。これは、足圧センサーが用いる圧力感知抵抗 (FSR) の最大抵抗を 100%としたときの百分率となる。

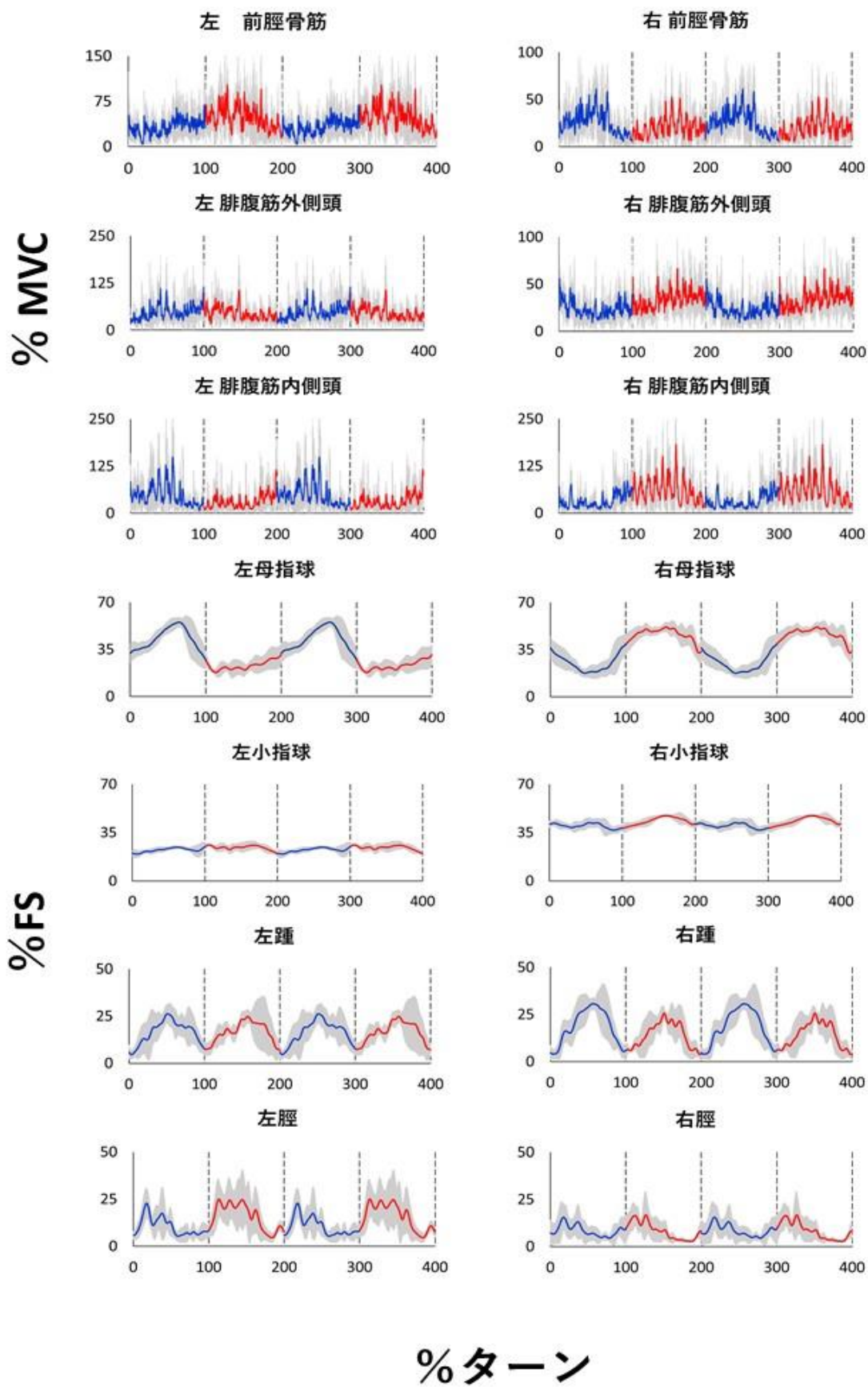


図 23. 被験者 01 筋活動と足圧の平均値と標準偏差

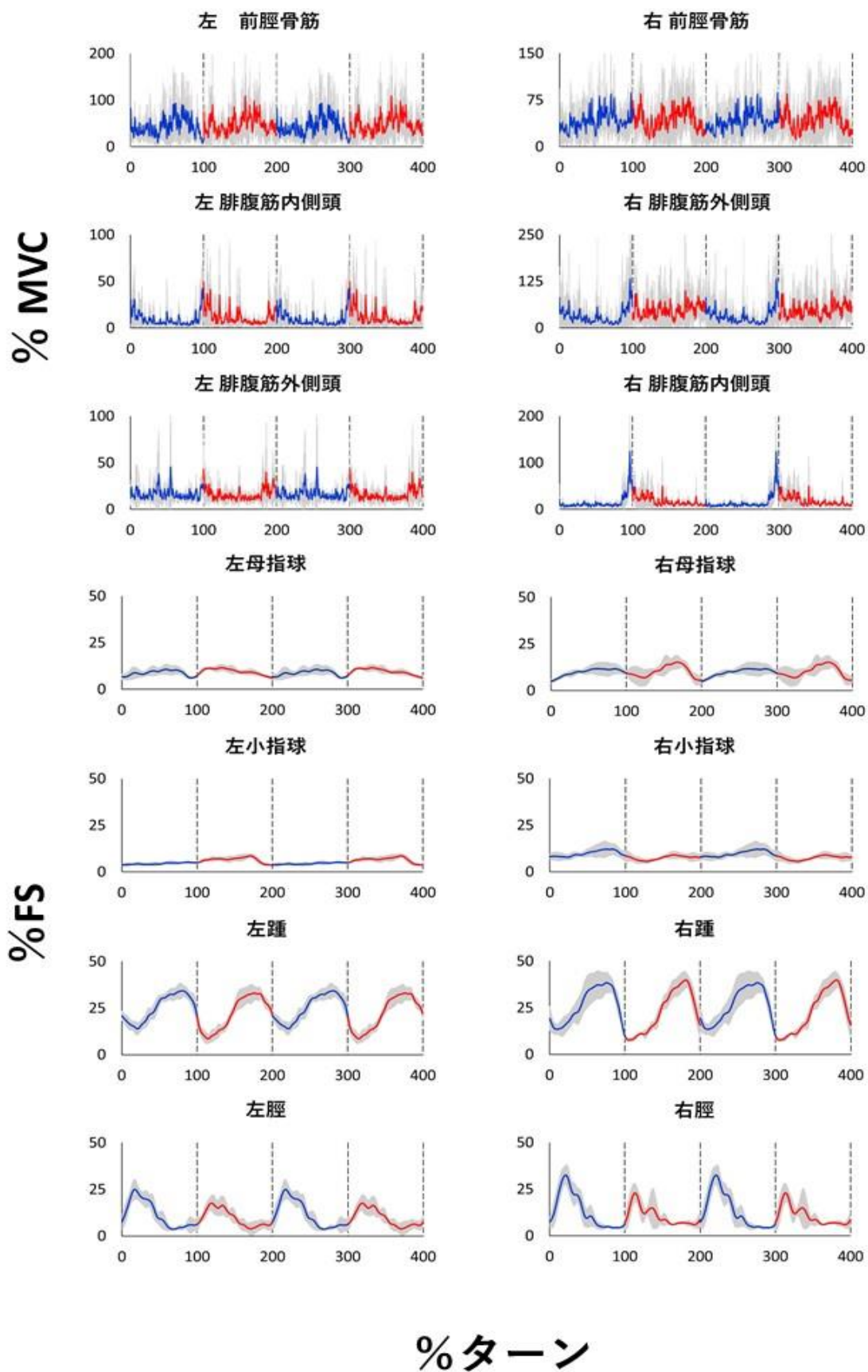


図 24. 被験者 02 筋活動と足圧の平均値と標準偏差

図 23 は、被験者 01 の各計測部位の筋活動と足圧の平均値と標準偏差を示したものである。前脛骨筋と腓腹筋外側頭に関しては、滑走試技中に筋活動が 0%MVC 近くまで減衰することはない、ターン中に常に活動していた。また、腓腹筋外側頭の筋活動は、足がターン中に外側にある場合と、ターン内側にある場合とで、波形に違いが見られた。右の腓腹筋内側頭は、左ターン（右足が外側）の時に、細かな周期で活動を行い、反対方向へのターンの際は活動が弱まった。左の腓腹筋内側頭でも同様の変化が見られた。踵の足圧は、各ターン区間の 50%前後にあるターンマックス局面（図 6 参照）付近で最も高い値を示し、標準偏差は小さかった。一方、ターンマックス区間の前後の足圧が増加、減少する区間では標準偏差が大きく、ターンごとのばらつきが見られた。また、左右の母指球の足圧は、それぞれの足が、ターン中に外側にある状況、すなわち右母指球の左ターン中と左母指球の右ターン中に強い圧力がかかり、反対方向に向かうターンでは 20%FSR 前後の弱い活動を示した。

図 24 は、被験者 02 の滑走試技中の筋活動と足圧の変化の平均値と標準偏差を示したものである。前脛骨筋は、全ての区間で持続的に活動していた。腓腹筋外側頭及び内側頭は、切り替え区間（各ターンにおける 0%と 100%、及びその前後の区間）に瞬間的に強い活動を見せ、特に右の腓腹筋内側頭ではその活動が 100%MVC に近い程度に大きな値を示した。踵の圧力は周期性をもって変化し、各ターン区間における 50%区間（ターンマックス区間）よりも後の区間で強い圧力が加わった。踵の圧力が強まっている区間では脛への圧力は 5%FSR 前後まで減少し、反対に脛への圧力が強まる区間では踵の圧力は減少した。母指球への圧力は、ターン中に大きく変化することはない、ターン方向による、圧力変化の大きな違いも見られなかった。

4.3.2 指導者の評価 及び 被験者の自己評価

4名の指導者による、滑走試技に対する評価を、表10にまとめた。

表10：被験者01の滑走試技に対する各指導者の評価

被験者 01	指導者 A	指導者 B	指導者 C	指導者 D	平均点
試技 01	90	72	73	95	82.5
試技 02	92	72	73	90	81.8
試技 03	80	70	72	75	74.3
試技 04	85	70	72	80	76.8

被験者01の滑走試技に対しては、細かな点数の誤差はあるものの、点数の高い試技（試技01,02）と、点数の低い試技（試技03,04）の2種類に大別される結果となった。

表11：被験者02の滑走試技に対する各指導者の評価

被験者 02	指導者 A	指導者 B	指導者 C	指導者 D	平均点
試技 01	89	68	68	90	78.8
試技 02	78	69	70	85	75.5
試技 03	83	69	68	80	75
試技 04	90	69	70	95	81

被験者の滑走試技に対して、試技03については指導者によって評価が分かれたが、試技04に対してはすべての指導者が高い評価をした。

各被験者の、試技ごとの自己評価を、以下の表12、表13にまとめた。

表12：被験者01の滑走試技の自己評価

被験者 01	スピード	ターン	出来栄え	平均点
試技 01	7	9	9	8.3
試技 02	7	8	7	7.3
試技 03	6	7	7	6.7
試技 04	7	8	8	7.7

被験者01自己評価が最も高いのは試技01だが、指導者とは合致しなかった。

表13：被験者02の滑走試技の自己評価

被験者 02	スピード	ターン	出来栄え	平均点
試技 01	8	8	8	8.7
試技 02	8	8	7	7.7
試技 03	9	8	8	7.7
試技 04	9	9	9	8.3

スピード、ターン、出来栄えがともに高得点である試技04は、ターンごとの評価の平

均点も高得点となった。試技 02 に関しては、滑走直後に質問した出来栄は 4 試技の中では点数が低かったが、ターンごとの評価では上から 2 番目の評価となった。

4.3.3 指導者の評価と計測データの比較

以下の図 25 及び図 26 は、指導者の評価を基に、前脛骨筋、腓腹筋内側頭、母指球の足圧、踵の足圧について、評価の高いものと評価の低いものをそれぞれプロットしたものである。図の縦軸、横軸は図 23 及び図 24 と同一であるが、以下のグラフは加算平均を行ったものではなく、試技ごとの波形を 4 ターン分繋げたものである。

図 25 によると、被験者 01 の下腿の筋活動には区間ごとの特徴が見受けられないため、評価ごとの違いがグラフからは見られない。一方、足圧のデータに着目すると、母指球、踵ともに、高い評価の試技の、ターン中の母指球および踵の足圧の上昇するタイミングは、低い評価のそれよりも前の局面であった。

図 26 に着目すると、腓腹筋内側頭の筋活動が即時的に強まる局面において、低い評価の試技の方が早い局面で腓腹筋内側頭を活動させており、評価の高い試技では切り替え局面の後も腓腹筋内側頭が活動している、という違いが見受けられた。母指球と踵の足圧に着目すると、踵の圧力が上昇、下降する局面のずれは小さく、波形の類似点が多く見られた。

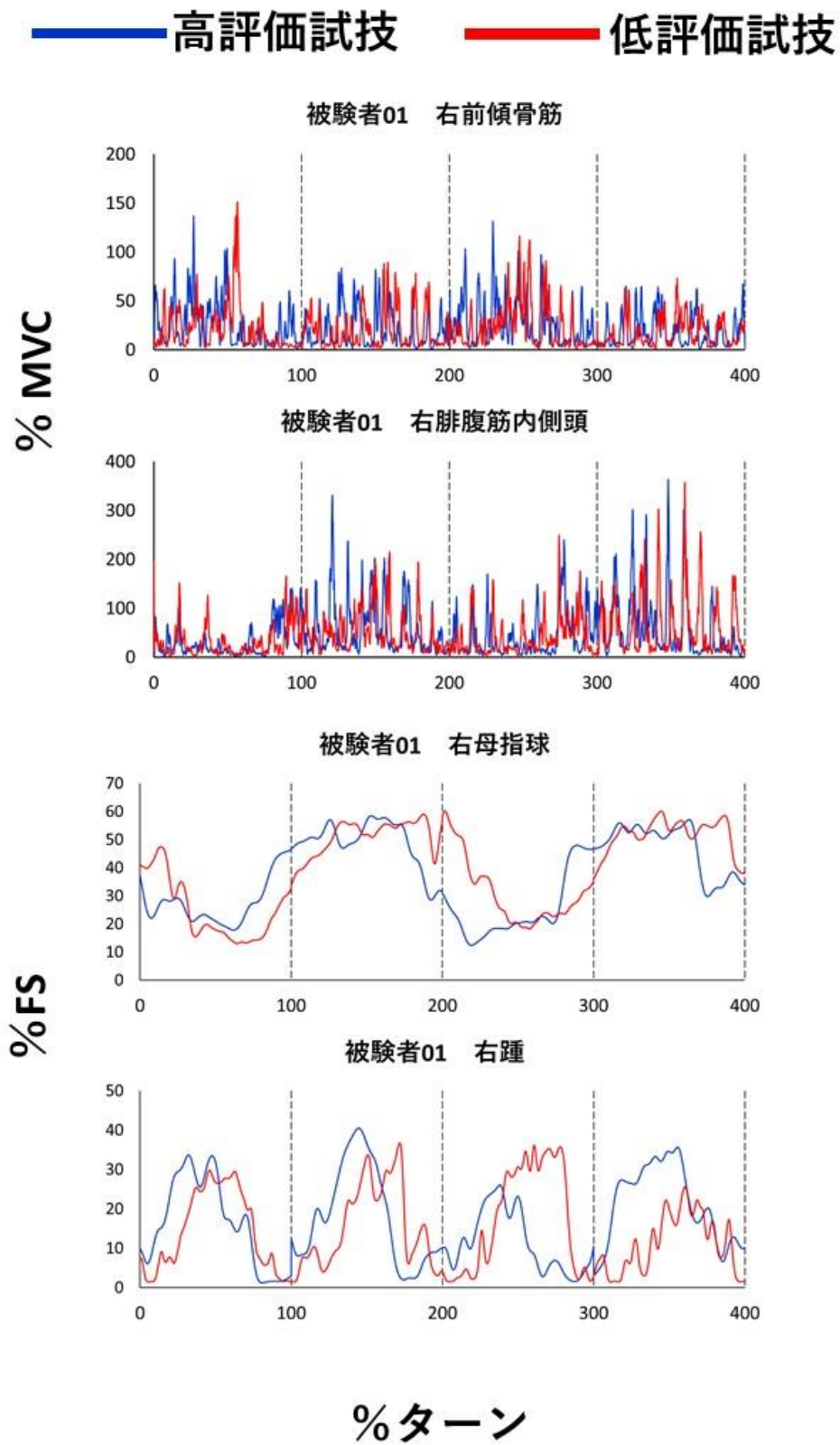


図 25 被験者 01 高評価試技と低評価試技の比較

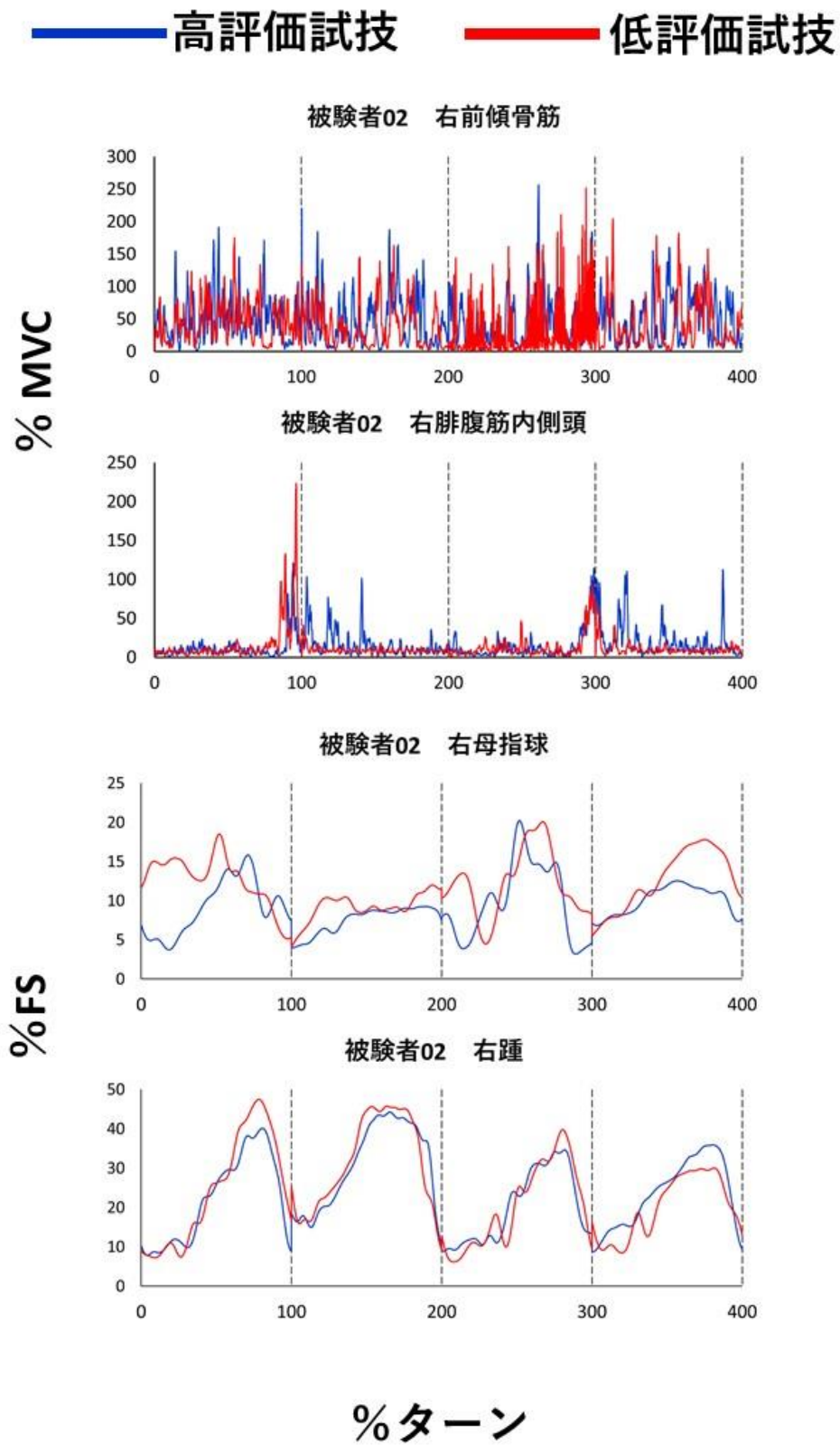


図 26 被験者 02 高評価試技と低評価試技の比較

4.4 考察

実験 4 の目的は、サマーゲレンデ上で被験者間の滑走の条件や教示を統制した状態でスキー小回り動作において、下肢の筋活動と足圧の計測データ、及び指導者による主観的な評価データを比較し、本研究における計測システムの有用性を検討することであった。結果をもとに、本実験の計測データの特徴と、指導者の評価と比較した際に現れた差異の原因について考察していく。

4.4.1 筋活動、足圧の加算平均

図 23 および図 24 について、それぞれの被験者の前脛骨筋の活動について着目すると、被験者 01、02 で共に前脛骨筋の活動が見られるものの、実験 01 や 02 で見られた周期性に関して、特に切り替え局面前後の筋活動の減少については本実験においては見られなかった。また、腓腹筋について着目すると、被験者 01 の腓腹筋内側頭において、右脚が外側である左ターン（赤色）では右の腓腹筋内側頭が増減を繰り返しながら活動し、左脚が外側である右ターン（青色）では左の腓腹筋内側頭で同様の活動が見られた。また、被験者 02 に着目すると、右ターンから左ターンへの切り替え局面の際に、右腓腹筋の内側頭が即時的に強く活動している。しかし、実験 2 と同様に、腓腹筋内側頭の活動に共通の特徴を見出すことは困難であった。腓腹筋内側頭は、股関節が内旋位にある時に外側頭よりも強く活動するため、切り替え局面での回線動作と関係がある事が考えられる。

また、足圧について着目すると、踵の足圧変化はこれまでの実験と同様の結果を示した。一方、母指球に関しては 2 名の被験者で結果が大きく異なった。ターン中に外側に位置している側の母指球の圧力が強く現れた被験者 01 に対して、被験者 02 の母指球には強い圧力の上昇や、周期性の変化などは見られなかった。このような同じ部位に対する結果の違いの原因として、競技特性が反映されている可能性が考えられるが、原因の特定までは本実験の結果では不明瞭である。また、本実験にて新たに取り入れた脛の圧

力について、母指球の特徴が強く現れなかった被験者 02 の脛の圧力が、同被験者の踵の圧力が上昇するよりも前の局面で強い圧力を示していたため、脛に加わる圧力が、母指球への足圧と対応している可能性も考えられる。スキーヤー自身の滑走技術の種類や、ブーツ内における足部とインソールの位置関係などに応じて、ブーツ内での前後動が、母指球、もしくは脛に加わる圧力として現れる可能性がある。

4.4.2 指導者の評価と、筋活動および足圧データの比較検討

図 25、図 26 に示したように、指導者の評価の高いものと低いものを計測指標ごとにプロットしたところ、被験者 01 では足圧の圧力上昇の位相のずれに評価の優劣が現れる可能性を示唆することができた。このような違いが現れた原因として考えられるのは、足底に圧力をかけ、その後に加えていた圧力を減少させる、という動作のタイミングが的確でないと、指導者の高い評価は得られない可能性がある、ということである。ここでの適切なタイミングとして考えられるのは、ターンマックス局面（第 2 章 図 7）である。高評価の試技に着目すると、各ターンの 50% 付近のターンマックス局面に近い局面で加圧が行われているターンが多く見られた。これより、指導者の評価の高い試技は、ターンマックス局面において踵に対して加圧が行っていることが推測される。

被験者 02 の比較データ（図 26）について着目したところ、母指球の圧力の変化は、4 回のターン全体で共通する波形の変化が見られず、一方で被験者 2 の踵の足圧の変化において、圧力の上昇する局面、及び減少する局面の位相のずれは小さかった。以上のことから、被験者 02 の被験者 01 と同様の着眼点では、指導者の評価の違いを検討する事が困難であることが明らかになった。一方、被験者 02 の腓腹筋内側頭の評価ごとで違いが現れた。これにはブーツ内での姿勢制御に関する腓腹筋の活動が関係したことが理由の一つとして考えられる。小回り動作中のスキーヤーは常時移動を続け、スキー板との相対的位置関係もターンとともに変化している。そのため、細かな姿勢制御として腓腹筋が活動していた可能性が考えられるため、本実験の結果のみでは腓腹筋内側頭の

活動が直接的に指導の優劣と関係していたかについて言及することは困難である。

4.4.3 指導者と被験者の評価の乖離

表 10 から表 13 について、基に指導者と滑走者の評価を試技ごとで順位づけると、いくつかの試技で評価の食い違いが発生した。表 9 における被験者 01 の試技番号 02 と試技番号 04 について、4 名の指導者全員が試技番号 02 の点数を試技番号 04 よりも高い点数にしたのに対し、被験者自身の、該当の 2 つの試技における自己評価の各項目の合計点は同点となった。

また、4 名中 2 名の指導者が 4 つの試技の中で最も低い点数を付けた被験者 02 の試技番号 03 に対して、被験者 02 自身は 4 試技中 2 番目に高い評価をつけた。第 1 章で示したように、指導者とスキーヤー（被験者）の間に評価の乖離が発生したことを示す事例となった。このような乖離が発生した原因として、被験者が試技を実行中に並行して内省を行うことは困難であることが考えられる。一度に 10 回以上のターンを繰り返す小回り動作において、スキーヤーは 1 ターン単位で動作の正確性を意識することは困難で、あくまで複数のターンに対して包括的に滑走イメージを持ちながら小回り動作を行っていることが考えられる。

4.4.4 客観的指標としての筋活動と足圧

指導者の評価と、計測データを比較した考察に基づくと、スキー上級者はそれぞれの特性に応じて異なった指標に特徴が現れる可能性が高い。そのため、筋活動と足圧を複合的に計測することは、様々な系統のスキーヤーの計測に対応する手法としては有用であると考えられる。しかし、これらが客観的指標として指導の現場で応用されていくためには、さらに多くの被験者を計測し、スキーヤーの系統を網羅的に明らかにしたうえで、それぞ

れの系統に合わせた的確な指標を用いて計測、評価を行っていく必要があると考える。その上で、実験 3 の被験者 01 に着目すると、踵の加圧のタイミングが評価の優劣と関連している可能性があったことから、踵や母指球などの足圧の位相に着目することが、評価の指標として有用である可能性が、実験 3 の結果及び考察から提言できる。

第5章 統括論議

5.1 本研究における目的と、各実験の総括

本研究の目的は、中上級者の小回り動作における技術的特性を、筋活動や足圧など、複数の指標を用いて明らかにすることである。そこで3つの実験を行い、以下のような結果が得られた。

① 実験1

雪上におけるスキー中級者の小回り動作において、筋電図と足圧をビデオ映像と同期して記録することに成功した。すべての被験者で左右踵外側に加わる圧力は周期性を持って変化することが観察された。本実験では下肢前部の筋活動しか計測を行わなかったため、下肢の複数の筋活動について計測を行う必要性が示唆された。また、冬のグレンデでは気象条件の変化が激しく、被験者毎に同じ条件でデータを採取することは困難である。前脛骨筋の活動については周期性が観測される被験者と、そうでない被験者に分かれたため、小回り動作に必須の特徴とは断定できない。そのため、より熟練度の高い被験者で同様の実験を行うことの必要性を示唆した。

② 実験2

サマーグレンデにて筋活動と足圧を組み合わせた計測を行った。前脛骨筋の活動や踵の足圧について、雪上と同様の結果を得ることができた。つまり、スキーの滑走技術が向上すると筋活動や足圧の変化はスキーヤーごとに多様化していく可能性がある。特に、母指球への加圧の方法に違いが多く見受けられた。小回り動作に対する被験者への教示が不十分であったため、試技内での自由度が大きい結果、上級者のスキーヤーは多種多様な滑走を行い、それが筋活動や足圧の変化に現れた可能性がある。本研究の目的に則し、被験者間で試技の統制をさらに行う必要性があることが示唆された。

③ 実験3

サマーグレンデでの小回り動作において、試技の統制を行った結果、筋活動は持続的に活動し、母指球の足圧変化のパターンには違いが現れた。指導者が高く評価する滑走

動作に共通する特性は断定することが出来なかったが、それぞれの被験者の特徴的な計測データに着目すると、評価の高い試技と評価の低い試技との違いを客観的に評価できる可能性がある。更に有用性の高い客観的指標を明示するために、試技の統制を行い、スキーヤーの系統に応じた計測データの指標を用いる必要性が示唆された。

5.2 前脛骨筋の活動と踵への加圧の関係性

3つの実験の、一部を除いた被験者において、全体で共通して計測することができた指標として、前脛骨筋の活動と踵部への加圧が挙げられる。この章では、前脛骨筋と踵の足圧変化を組み合わせた考察を行う。実験1の考察でも示したように、スキーの小回り動作では、ターンの後半部分にかけて踵部を中心として加圧を行い、その圧力がスキー板まで伝わることでスキー板の回転に関連していることが考えられる。しかし、踵へ加圧を行うだけでは、スキーヤーの身体重心が後傾過多になる可能性がある。そこで、一部のスキー中級者と全てのスキー上級者は、前脛骨筋を活動させることで足関節の底屈動作を行い、ブーツ内での足関節角度を維持することによって、適切な身体位置でスキー板に対して加圧を行っていることが考えられる。仮に、滑走中の踵への加圧時に足関節の背屈が維持できない場合、スキーヤーの下腿後部がブーツに押し付けられることで、スキーの直上から加圧することが困難になり、操作ができなくなることが考えられる。実験1では、一部の被験者で踵外側部の加圧に対応する前脛骨筋の活動は見られなかったが、実験2では4名の被験者全員で前脛骨筋の周期性を伴った活動が見られた。

このような結果から、小回り中の前脛骨筋の活動は、小回り動作において必須となる特徴ではないが、熟練度の高いスキーヤーでは共通して見られる特徴のひとつであることが考えられる。スキー中級者は前脛骨筋の活動を周期的に行うことが出来ないため、ターン中の身体位置が不安定になり、スキー板が不用意に加速してしまったり、ターン動作を失敗したりしてしまう可能性が、実験1及び実験2の結果から推測することが出

来る。

以上のように、本研究における実験の結果を統合すると、スキー板へ加圧を行う際の中心は踵付近となり、その際、スキー上級者は前脛骨筋の活動も並行して行うことでスキー板の上でバランスを維持しながら小回り動作を可能にしている事が考えられる。

5.3 滑走技術の多様性と競技特性

第3章の考察で示したように、技術レベルの高いスキーヤーは、それぞれ固有の技術的特性を有している可能性がある。それはスキーヤー自身の取り組む競技特性や、スキーヤー個人ごとの身体的特性などに由来している可能性がある。本研究で取り扱った被験者について着目すると、実験1ではバッジテスト1級を基準とする中上級者、実験2と3ではそれよりも熟練度の高い上級者を対象として実験を行った。SAJの定めるバッジテスト1級程度までは、滑りの手本とすべき「型」に近いものが存在しているが、それ以上の技術を持ち、国内の競技スキーの大会や全日本スキー技術選手権に出場するような滑走技術の高い選手は、自らの身体特性や、与えられた条件に応じて滑走技術を自らに即したものと適応させていることが考えられる。例えば、スキー中上級者の基準となる、SAJのバッジテスト1級では、整地された、20～25°程度の斜面で試験を行うことが多いが、それ以上の技術を持つスキーヤーであると、整地はされておらず、小回りのターン弧に合わせて斜面に凹凸が出来た斜面や、30°以上の急斜面などで競技を行うことが多くなる。そういった状況では滑走スピードも上昇し、スキーヤー自身が最大限のパフォーマンスを発揮できる形態に滑走技術が変化していく可能性も考えられる。このように、個人差の生まれやすい群（上級者）の計測を行うことは、レベルの高い滑走技術を検討するうえでは必要な要素ではあるが、その要素は必ずしもすべてのスキーヤーに当てはまらないと考えられる。

5.4 試技の統制方法について

本研究で行った3つの実験では、試技の統制方法が異なっていた。実験1ではショー

トポールという短い旗門で被験者の滑走ラインを規定した。実験 2 では小回り動作の横幅のみを規定し、ターン孤の大きさやターンのリズムなどについては規定を行わなかった。実験 3 ではより厳密に統制を行い、2 名の被験者が同じフォールライン、同じターン孤、同じターンのリズムで滑走することを教示した。これらを踏まえたうえで各実験の結果の、足圧に着目すると、実験 1（図 8～11）では複数の被験者に共通した特徴が複数見られたが、実験 2 では多様性に富む結果となり、実験 3 では 2 名の被験者の競技的な特徴が強く現れる結果となった。今後も検討を重ねる必要はあるが、実験において統制を行い、被験者のスキーヤーが極力同じ状況で小回り動作を行うことを教示する事は最低限必要なことであると考えられる。

試技において統制を行った実験 1 と実験 3 では、どちらも小回り動作のフォールラインを規定する、という観点では同じ条件と捉えることができるが、ショートポールでの規制は規制の無い小回り動作よりもターンのリズムが細くなること、またショートポールで規制を行うと全ての被験者が同じラインを通り、雪面が試技を重ねるごとに深く掘れていくことが被験者間での統制を乱す要因となりうる。

つまり、実験 3 のように試技の統制を行い、その上で気候的变化の少ない雪上、もしくはサマーゲレンデでの計測がスキーの小回り動作の計測には好ましいことが考えられる。

5.5 計測システムの有用性

本研究の 3 つの実験を踏まえ、筋活動と足圧を組み合わせた計測システムの有用性について検討する。緒言で述べたように、本研究の背景として、スキーの中級者、及び上級者の小回り動作を客観的に評価するための指標の必要性を提示した。そのような指標は、中級者、上級者等の熟練度や、競技経験は問わずに、小回り動作を実行できるスキーヤーであれば必ず共通するものであろうと仮定していた。

しかし、実験 2 の結果において、腓腹筋内側頭や、大腿直筋の活動パターンが被験者

ごとに異なっていたことから言えるように、スキー中・上級者、特に全国大会レベルのスキー上級者において、滑走技術はスキーヤーごとに、多岐にわたって分化し、個人に適応したものへと変化していくことが推測される。そのような多様性のある小回り動作の滑走技術を、指導者が評価する場合、指導者ごとに観点も異なるため、評価が分かれることも本研究の実験 3 では確認された。さらに、指導者の評価と計測データに関連性が期待できる箇所は、被験者ごとに異なっていた。しかし、熟練度、競技特性、試技特性を統一し、そのうえで筋活動と足圧の計測システムを活用することで、スキーヤーに応じた指標の下に、定量的な比較も実現可能である。

一方、本研究での 3 つの実験を踏まえ、スキーヤーの滑走評価において有用性が高いと考えられるのは、前脛骨筋の活動パターンと、踵および母指球の足圧変化である。実験 2 の結果から得られたように、前脛骨筋は、上級スキーヤーに共通して得られた指標であるため、今後さらに検討していく事で滑走技術の評価に繋がることが期待できる。また、足圧については特に、実験 3 で被験者 1 名において足圧の加圧のタイミングと、指導者の主観的な評価に関連性が示唆されたことから、滑走技術を客観的に評価する指標として有用であることが考えられる。

様々な条件が要因として影響するスキー滑走中の計測において、本研究では、足圧と筋活動の計測を組み合わせたシステムを確立し、更に測定における試技や滑走環境の統制を行うことによって、スキー上級者の小回り動作の計測や指導者の評価との比較を可能にした。本研究を足掛かりとし、更に多くのスキーヤーを計測することによって、足圧と筋活動を組み合わせた計測システムはスキーヤーを客観的、かつ即時的に評価することのできるシステムへと発展していくことが期待される。

第6章 結論

本研究における、足圧と筋活動を組み合わせた計測システムは、スキー中級者、及び上級者の小回りにおける動作的特徴を抽出することができる。そのうち、特に足底に対する加圧のタイミングの変化に着目することが、スキーヤーの滑走技術を客観的に評価するにあたって有用であることが考えられる。

第7章 参考文献

1 . ROBERT A. I-INTERMEISTER, DENNIS D. O'CONNOR, CHARLES J. DILLMAN, CINDY L. SUPLIZIO, GREG W. LANGE, and J. RICHARD STEADMAN ,(1995) “Muscle activity in slalom and giant slalom skiing” MEDICINE AND SCIENCE IN SPOR'IS AND EX'ERCISE, p315

2 . OSEF KRO“ LL, JAMES M. WAKELING, JOHN G. SEIFERT, and ERICH MU“ LLER (2010) ,”Quadriceps Muscle Function during Recreational Alpine Skiing” MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE Copyright 2010 by the American College of Sports Medicine, p1545

3 . 公益財団法人全日本スキー連盟 (2014), 日本スキー教程,
山と溪谷社,

4. HANS BERG;OLA EIKEN;PER TESCH;(1995) Involvement of eccentric muscle actions in giant slalom racing Medicine & Science in Sports & Exercise. 27(12):1666–1670, DECEMBER 1995

5 . 吉田陽平,結城 匡啓(2016), 技術選スキー選手の大回り滑走動作に対する主観的評価と 3 次元解析による滑走動作パラメータとの関連性
スキー研究、2016 年 13 巻 1 号 p. 1-12

6 Dany Lafontaine, Mario Lamontagne, Daniel Dupuis, Binta Diallo,
(1998) ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF PRESSURE UNDER THE
FEET OF ELITE ALPINE SKI INSTRUCTORS, 16 International
symposium on Biomechanics in sports.

7 Kim Hebert-Losier, Matej Supej, & Hans-Christer Holmberg,(2014)
Biomechanical Factors Influencing the Performance of Elite Alpine Ski
Racers, Sports Medicine, 44, 519-533(2014)

8 岡田利修、西村斉、樋口貴俊、中川剣人、加藤孝基、内田雄介、依
田珠江、彼末一之（2014） 座談会：スキーの指導について、スポー
ツ科学研究（11）131-145 早稲田大学スポーツ科学学術院

付録：小回り動作の分解写真



実験 2 被験者 02 小回り動作



実験 3 被験者 01 小回り

第8章 謝辞

まず初めに、学部生の時代から長らく私の研究の指導をしていただきました彼末一之 教授には最大限の感謝をお伝えしたい気持ちでいっぱいです。彼末先生は、若かりし頃のスキーの経験があまり多くはないのにも関わらず、最近ではスキーに没頭され、スキーの技術に対しても強い関心を抱かれていました。そのような彼末先生のいらっしゃる研究室に所属させて頂けたことは私の学生生活で最も幸運なことであり、また、修士課程へと進むことを決意した最大の理由でもありました。実験の準備や、研究の進捗などで至らない点は多々ありましたが、ご指導、ご鞭撻を頂きました先生には本当に感謝の気持ちでいっぱいです。彼末先生のスキーに対するご関心から始まったこの研究も、皆様の多くのご協力があって何とかこのような形として修士論文となりました。それに至ったのも、今まで彼末先生が多くの学生に研究についての指導やノウハウを伝達されてきた結果であると思います。このような素晴らしい研究室の長でいらっしゃる彼末先生には、感謝の思いがつきません。このような至らない学生を研究室に入れていただき、また、スキーの研究を行うことを許していただき、ありがとうございました。

併せて、お忙しい中副査を務めて下さる矢内利政 教授、そして藤田 善也 准教授にも厚く御礼を申し上げます。

スポーツ科学学術院講師の中川剣人先生にも多大なる感謝の意をお伝えしたいと思います。中川先生は論文執筆や発表など、多くの経験をお持ちですので、それに基づく的確な指摘とアドバイスをいただきました。本当にありがとうございました。

そして、彼末研究室の博士課程の皆様には、言葉では表しきれないほどの御恩といえる、多くのご指導ご鞭撻を頂きました。

とはいえ言葉にしないわけにはいきませんので、順に感謝に気持ちを記していこうと思います。まず始めに、博士課程の後藤 悠太さん。卒論の頃には私のコーチもして頂き、論文の執筆方法の基礎を叩き込んでいただきました。また、私のスキーの実験にはすべてご同行頂き、実験器具類のセッティングや、実験の進行等をご担当していただきました。また、解析の面でも、**Matlab** でのプログラミングコードのベースをご提供いただきました。論文を構成していく上でのディスカッションなども、ご多忙の中行わせていただきました。このように記していく中でも、後藤さん無しでは私の研究が成立しなかったであろうことをひしひしと感じております。動きの悪い後輩でしたが、見捨てずにご指導いただき本当にありがとうございます。スキーに対しても非常に精力的で、スキーの計測のたびに技術を向上させていく後藤さんに対しても尊敬の念を抱いております。本当にお世話になりました。ありがとうございます。

続いて、小澤さん。小澤さんはバイオメカニクス分野に長けていらっしゃるだったので、特に動作解析の部分で大変お世話になりました。本研究では強く触れることができませんでしたが、動作を計測することの重要性を教えて頂きました。また、発表資料における分かりやすさ、論理性の面などもご指摘いただきました。本当にありがとうございます。

続いて、欠畑 岳さん。岳さんには精神的な面で特にサポートを頂きました。特に、論文提出の直前や、審査会に向けた準備の際などに叱咤激励を頂いたことを本当に感謝しております。

あと、古屋さん。古屋さんには特に何もありませんが、本当に本当にお世話になりました。というのは冗談で、古屋さんにも本当にお世話になりました。論文の執筆の終盤で、古屋さんはたくさんのサポートをしてくださり、資料に対するサジェスションも本当にたくさんしていただきました。私が皆さんから多くのご指摘を頂きすぎて精神的に少し参ってしまっていた時にも、古屋さんは優しい声をかけていただき、それ勇気づけられました。本当にありがとうございました。その他大勢の彼末研究室の歴代のメンバーの皆様、特に奈良女子大学の中田大貴先生、そして立命館大学の水口暢章先生には本当にお世話になりました。その他のスキー研究に関わる先生方にも、感謝の気持ちをお伝えしたいです。

更に、実験に被験者としてご参加いただいた多くの皆様にも感謝の気持ちでいっぱいです。お忙しい中、自分の実験に複数日にまたがってご協力を頂き、遠方からお越しいただいたような方もいらっしゃいました。何をすることもよく分からない一学生の自分の実験に献身的にご協力いただいた御恩は忘れません。ありがとうございました。スキーというのは本当に素晴らしいスポーツであり、人と人とをつなげる力のあるスポーツであると考えています。どのような志であつたとしても、「スキーを上手になりたい」という思いは一緒のはずです。これまでにお会いした全てのスキーヤーに感謝します。スキーは最高です。

最後に、このような不真面目な私を大学院まで通わせてくれ、様々な支援もしてくれた両親、及び祖父母に感謝をし、最後の最後に、苦しい執筆の中で安らぎをくれたタバコ数箱と、レッドブル及びモンスター数缶に感謝の気持ちを伝え、この文章の結びとします。ありがとうございました。