

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：10104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350770

研究課題名(和文) カービングスキーの科学と指導 -ターンにおける足圧荷重と荷重イメージの検討-

研究課題名(英文) Image and insole pressures during curving ski turn

研究代表者

中川 喜直 (Nakagawa, Yoshinao)

小樽商科大学・商学部・教授

研究者番号：80201664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：足圧荷重と足圧中心点についてのイメージと実測を検討したところ、オリンピックに出場したアルペン選手ではスキーターン中に強い外脚荷重のイメージを持っていた。回転競技における最大荷重がかかる局面において、実測値は外脚荷重が75～70%で内脚が25%～30%に配分していた。足圧中心点はターン局面の切換期に前方向への移動がみられイメージと実測は類似する傾向が見られたが、一致しない点もある。回転競技では素早い動作が要求されるため、身体はイメージよりも早く動くこともある。雪質やスピードに応じて選手は意識・無意識の中でこれら知覚した足圧情報をもとに安定した姿勢を維持しようとしているのだろう。

研究成果の概要(英文)：We examined the image and measurement of insole pressure load and the center of pressure (COP) at the open gate of the slalom event. We had an image of a strong external leg load in the maximum load phase of the ski turn in the Alpine Olympic athletes. The external leg load (insole pressure) was 75 to 70% and the inner leg was distributed to 25% to 30%. The COP was seen to move forward in the switching period of the turn phase, and the image and the measurement were similar, but there was a point which did not agree. The body seems to move faster than the image because a fast operation is demanded in the slalom competition. Depending on the snow condition and speed, the athlete might be trying to maintain a stable posture based on these perceived foot pressure information in consciousness and unconsciousness.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：insole pressure image ski alpine COP ground reaction force racing olympic

1. 研究開始当初の背景

アルペンスキー競技では、変化するバーン状況下でより速く滑走するために、エリート選手はブレない姿勢で安定した重心を保持しコースを滑る。足裏感覚としては、センターへの荷重を意識して滑走する選手が多いようである。ターン中、内脚と外脚への荷重については、外スキーへの荷重移動が起り、荷重配分(外：内)を意識して滑走することもある。イメージを改善し技術を研鑽することは技術の向上にとって重要なことであるが、先行研究において、イメージと実測について検討した報告は見当たらない。

2. 研究の目的

本研究では、技術戦略の一つとして足裏感覚を検討するためにアルペン・デモ日本トップ選手を対象に足裏感覚(荷重イメージ)と圧力インソールを使用して荷重配分比(外：内)及び足圧中心点(COP)について調査した。

3. 研究の方法

(1) SL オープンゲートのケース；被験者：調査対象は2014年ソチ冬季五輪代表アルペンスキー選手1名(AL)と、同年全日本スキー技術選手権大会に優勝し、ワールドカップに出場経験があるナショナルデモ選手1名(DM)を調査対象にした(表1)。

調査場所は、テイネススキー場 FIS 公認コース(下部斜度：12~18度)において、ショートポールを使用してスラローム(SL)ゲート(旗門)を一定のリズムと雪質になるように旗門間をセットし、硫酸(硫酸アンモニウム)を散布しコースを固めて調査を実施した(図1)。滑走中のVTRは正面と側面より撮影した。

表1 被験者の身体特性

	年齢(yr)	身長(cm)	体重(kg)
AL	33	182	86
DM	35	168	70

(2) GS オープンゲートのケース；被験者：調査対象は全日本ナショナルチームに所属し、このシーズンにワールドカップに出場した選手1名を調査対象にした(年齢:26才,身長:173cm, 体重:80 kg)。調査場所は、キロロススキー場コース(斜度：10~18度)において、大回転(GS)のゲートについて15旗門を25~28m間(FIS規則)にセットし(図1)、硫酸(硫酸アンモニウム)を散布しコー

スを固めて調査を実施した(図1)。滑走中のVTRは正面と後方より撮影した。

(3) SL オープンゲートのケース：足圧荷重とCOPの計測と解析：ゴールハウス内にて各被験者のスキー靴インナーブーツ足底に2.2mmの圧力インソール(Pedar-x system, novel社,ドイツ)を敷き、被験者の腰部にデータロガーを装着した後(総重量；0.95kg)、サンプリングレートを100Hzに設定しキャリブレーションを行った。

圧力インソールのサイズはALが270mm、DMは255mmを使用し、スキーはALがサロモン社製(R=15.1,170cm)で、DMはノルディカ社製(R=12.5,165cm)の2013-14モデルのスキーを使用した。

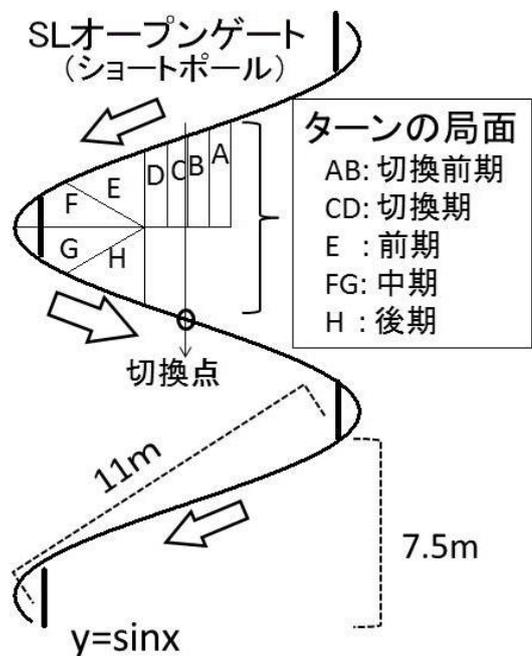


図1. SL オープンゲートの設置

足圧荷重とCOPの解析は、Pedar-xソフトにより出力されたrawデータを平滑化(low pass filter,cutoff;18Hz)し、足圧荷重については力積を求めてデータは荷重配分比(%)で示した。COPのx軸データについては、イメージを前後方向のみでみているために結果から割愛した。

(4) GS オープンゲートのケース；足圧荷重とCOPの計測と解析：足圧荷重とCOPの解析は、Pedar-xソフトにより出力されたrawデータを平滑化(low pass filter,cutoff;18Hz)し、COPは足裏の踵からの距離(mm)について前後方向で示した。尚、COPについては両足

の平均値を示した。

足圧荷重についてはガウス関数を用いてピークフィッティング法(Gaussian)により波形処理を施し(図2、図3)、力積を求めてデータは荷重配分比(%)で示した。

(5)本研究では連続するワンターンの足圧荷重と COP を計測した(図1、図1.1)。ワンターンの分析は、切換期に認められる両足荷重の総計が最も低い値を示す点(切換点)を始点と終点にワンターンとして定められるが、本研究では、ターンの流れの中で切換前期は次のターンへ続く重要な移行部分として想定できるため分析に含めた。加えて、切換期(A~D)の分析時間をターン前・中・後期の二分之一に設定した。

GSゲート

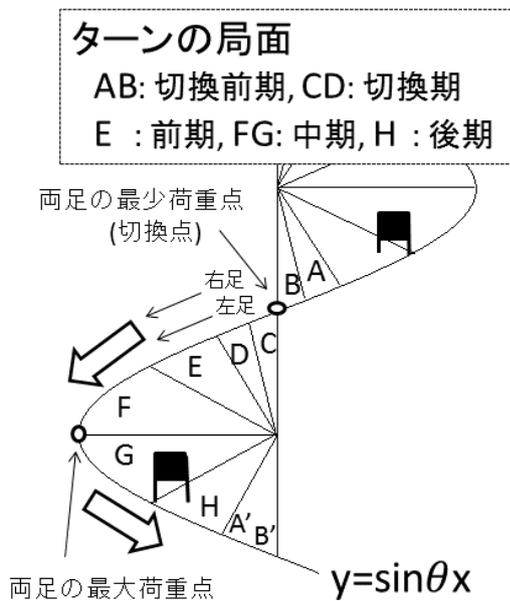


図 1.1.GS オープンゲートの設置

(6) 荷重イメージの調査: 同日、図1及び図1.1に示されているターンの局面を8分割し(A~H)、それぞれの局面においてアンケート調査を実施し回答を得た。足圧中心点のイメージは、踵から指先までの足裏を前部(前)・センター部(中)・踵部(後)に三分割し、このうち一つを選択した。また、横方向への荷重配分は、両スキーへの荷重配分比(外:内)の合計を10として調査した。尚、切換期(A~D)は、ターン前・中・後期の二分之一の時間に設定した。

4.研究の成果

(1) SL オープンゲートのケース; アルペン(AL): 表2に荷重配分比のイメージと実測を示した。ALのイメージは切換期において両スキーに乗り、次第に外脚スキーへと荷重が移動する。そしてGにおいては完全に外足に乗るイメージであった。

実測比については、切換前期に次ぎのターンへの外脚に大きな荷重が認められ、その外脚荷重はターン中期(G)まで続く。イメージと同様にGの外脚荷重はそれぞれターン局面の中で最も高い比率を示している。そして早くもターン後期(H)において、次のターンへの外脚への荷重が認められており、イメージと比較して相違が認められる。特にポールを通過するGでは、実測比において外脚優位を示したが、その差は僅かである。

表 2.AL の SL ターンイメージと実測との比較

ターンの局面	足圧荷重配分イメージ比	足圧荷重配分実測比 (%)		COPイメージ
	外(左):内(右)	外(左)	内(右)	
A	4:6	69	31	前
B	4:6	58	42	中
C	4:6	58	42	中
D	5:5	60	40	中
E	7:3	70	30	前
F	8:2	72	28	前
G	10:0	53	47	前
H	7:3	29	71	後

COP; (足圧中心点)、荷重配分比; ターンを下から見て、「外」は左脚、「内」は右脚を示す

表2に踵からの長さを示す足圧中心点(COP)イメージを示した。ALは切換期に比較的センター部に乗るイメージを持ち、ターン前期からは前部に、ターン後期は踵に乗るイメージである。全体的にみるとセンター部から前部の位置のイメージが多い。

実測のCOPにおいては、y軸75~85mm程度までが踵部の範囲を示す。左COPの切換期に足裏前部へ移動が生じピークが認められた。その後、ターン局面でのCOPは下降傾向が観察された(図2)。右COPについては移動が少ない。ターン後期において左右COPは踵部に認められた。

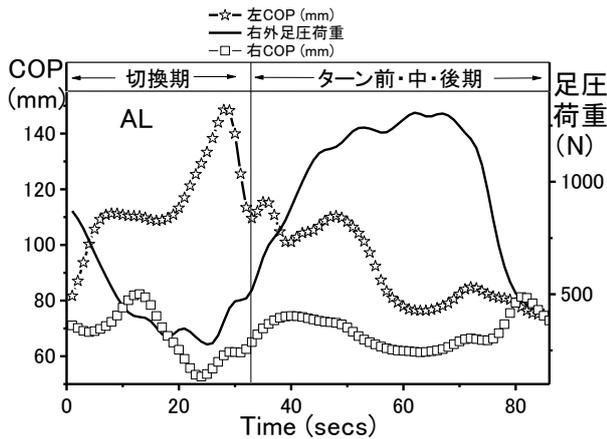


図2 ターン中におけるALの足圧中心点COPの変位

近年カービングスキーの進歩によりアルペン・スラローム競技では高速化が進み、高いバランス能力が要求されるようになった。本研究では姿勢の保持に関連する足裏感覚について、足圧荷重イメージと実測および足圧中心点イメージと実測の観点からこれらを検討した。ALの荷重配分イメージはターン前・中・後期では外脚に荷重配分が高く、中期の最大値は10:0(外:内)を示したが、実測比では外脚の最大荷重比は72%であった。ドイツナショナルスキーチームを被験者にしたSpitzenpfeilらの報告をもとに著者らが力積を比で表すと、外脚荷重が内脚に比較して最大約9割が外脚荷重だった。ヨーロッパ氷河との雪質条件や斜度がことなることから単純には比較できないが、世界で戦ってきたALのイメージはそれに近い。また、今回の測定斜面が中・緩斜面であり、両脚への荷重を多く必要としないコース状況にあったことも、実測比が7割程度に収まる要因になるのかもしれない。インタビューでは、ポールを通過する際に内脚を使う感覚はなく、外脚荷重へ依存するイメージが強い。ポール通過後、Hの局面では次のターン外脚への荷重移動がみられ、素早い動きをとっている。

COPイメージはセンター部から前部にみられたが、内脚COPの実測では切換期に著しい上昇がみられたものの、外脚COPに大きな移動がみられなかった。フィンランドナショナルチームを被験者にしたKeränenらの報告では、COPの移動の範囲がセンター上部から前部の範囲に集中している。ALのイメージはそれに近いが、実測の外脚COPにおいては前部への移動は分析に用いたターンでは確認されなかった。SL競技において、選手はより直線的なラインで短いエッジングによってスキーをコントロールする。競技中には咄嗟の対応として内脚スキーへ依存する可能性はある。

(2) SL オープンゲートのケース；ナショナルデモ(DM):表3にDMの荷重配分比のイメージと実測を示した。荷重配分比のイメージはプレターンである切換前期では高い比率で外脚に荷重が認められる。荷重配分比のイメージは切換期において、比較的長く外脚スキーに乗るイメージを持ち、Dにおいて内脚から外脚スキーへ入れ替わる。その荷重比は9:1を示し、続くEも同様のイメージ比であった。

表3.DMのSL小回りターンイメージと実測との比較

ターンの局面	足圧荷重配分イメージ比	足圧荷重配分実測比 (%)		COPイメージ
	外(左):内(右)	外(左)	内(右)	
A	1:9	61	39	中
B	3:7	59	41	後
C	4:6	64	36	後
D	9:1	73	27	前
E	9:1	75	25	中
F	8:2	63	37	中
G	7:3	49	51	中
H	6:4	32	68	後

COP；(足圧中心点)、荷重配分比；ターンを下から見て、「外」は左脚、「内」は右脚を示す

実測比については、切換前期に次のターンへの外脚に荷重が認められ、その外脚荷重はターン中期(F)まで続く。DMのA~FはALと同じような傾向が認められた。実測比はイメージと異なり、Gの外脚荷重比は7:3であるが、実測比は均等に近い。ターン後期(H)では、次のターンへの外脚への荷重が認められ、ALと同様にイメージとの相違が認められる。

DMのCOPイメージは全体的にみるとセンター部から踵部に乗るイメージが強い。切換期にはCOPが踵から前部へ移動するイメージを持ち、ターン前期からはセンター部へ移動し、ターン後期には踵部へ乗るイメージであった。実測のCOPについては、左右COPともに切換期に足裏前部への移動が生じ、ターン局面前期までその傾向が続く。その後、COPは下降傾向が観察され、ターン後期にはセンター部に移動した。

スキー技術選手権大会の小回り種目において、より速く半円に近似するターン弧をリズムカルに刻む滑りが求められている。SL競技のターン技術に類似すると考えられるが、より長いターンに乗ることが求められ

るために SL 競技とはやや異なる。

DM は切換期に外脚への荷重比が大きいイメージを持ち、ターン前・中・後期は次第に外脚への圧を緩めるイメージかもしれない。外バランスをとる練習を強化し、ターン局面では 5 : 5 のフラット感覚が少ない。

COP イメージはセンター部から踵部におかれていたが、実測では概ねセンター付近に COP が位置していた。切換期には、外・内脚の COP に著しい上昇がみられ、これは姿勢の前傾に由来すると想定される。ターン中期には足裏センター部から踵方向へ乗るためのイメージと実測は一致している。外脚 COP の上昇はターン前期まで続きその後下降し、再び上昇している。一方、内脚 COP はターン後期まで一定の下降を示している。これにより、センター部から踵方向へのイメージを保ち滑走しているようである。

(3) SL オープンゲートにおいて足圧荷重比と足圧中心点についてのイメージと実測を検討したところ、AL と DM はターンの局面の外脚最大値で内脚荷重が 25% ~ 30% 程度依存しており、外脚依存の強いイメージとは異なっていた。COP はターン局面の切換期に前方向への移動がみられるが、その変動範囲が狭い場合もある。荷重配分比と COP のイメージと実測は、類似する点が多々見られたが、一致しない点もある。SL では素早い動作が要求されるため、身体はイメージよりも早く動く。選手は意識・無意識の中でこれら知覚した足圧情報をもとに安定した姿勢を維持しようとしている。

(4) GS オープンゲートのケース：表 1.1 に荷重配分比のイメージと実測値を示した。被験者のイメージは、すべてのターン局面において両スキー均等に乗るイメージを心がけており、荷重配分比は常に 5 対 5 であった。実測比（表 1.1）についてみると、切換前期(AB)において右脚にやや高い荷重配分が認められ、切換期(C)には外脚への 50% を超える荷重配分の移動が認められる。外脚への荷重配分はターン前期(E)には 68% に達し、ターン中期(F)まで外脚荷重比の 68% が維持されている。最大荷重のピーク時は、内脚の荷重配分比が 32% であった。引き続き、ゲート通過後には内脚への荷重配分比の増加 (36~43%) が認められ、内脚荷重の依存が高まる。

図 2.1 に連続 4 ターン中の荷重移動を示した。外脚と内脚のピークフォースはほぼ同時にみられるが、やや内脚のピークの出現が遅れている。また、内脚荷重

のピークが認められることから、荷重依存は外脚に比べて低い。このように、足圧荷重において実測値とイメージは相違する結果が認められる。

表 1.1 に足圧中心点(COP)イメージを示した。切換期に足裏前部に乗るイメージを持ち、ターン前期からはセンター部に、ターン後期は踵に乗るイメージである。

表 1.1 GS ゲート滑走における実測比イメージの比較

ターンの局面	足圧荷重配分イメージ比	足圧荷重配分実測比 (%)		COP イメージ
	外(右) : 内(左)	外(右)	内(左)	
A	5 : 5	43	57	後
B	5 : 5	46	54	中
C	5 : 5	52	48	前
D	5 : 5	59	41	前
E	5 : 5	68	32	中
F	5 : 5	68	32	中
G	5 : 5	64	36	中
H	5 : 5	57	43	後

荷重配分比 ; 「外」は右脚、「内」は左脚を示す。

図 2.1 に GS ゲートターン中の実測の COP を示している。4 ターン中の COP の移動は、踵から 110mm ~ 155mm の範囲に概ね移動し、規則性があまり認められない。踵から 85mm 程度までが踵部の範囲を示し、COP の移動範囲はセンター部から足裏前部に認められた。COP の実測とイメージは相違していた。

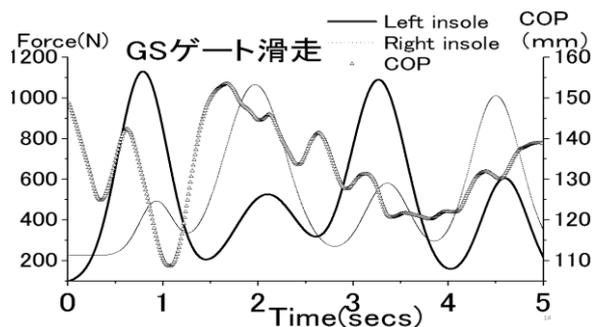


図 2.1 GS ゲート滑走の 4 ターン中における足圧荷重と足圧中心点 COP の変位

アルペン競技ではカービングスキーの進歩による高速化が進展し、少しでも速く滑走するために、より直線的なラインで短いエッジングで滑走する。

GS ゲート滑走の荷重配分イメージは、常に両脚均等荷重であった。選手へのインタビューにおいて体感する感覚としては外脚への荷重が大きいだろうと述べ

ているものの、滑走中のイメージは常に両スキーともに均等である。実測値の連続ターンの荷重配分比において、外脚と内脚荷重に規則的な最大荷重のピークが認められた。最大荷重時において、内脚が外脚より依存度が低いものの、実測がイメージに近づいているように推察される。

GS 競技において、トップ選手はより直線的なラインで短いエッジングによってスキーをコントロールする。ブレない姿勢で安定した重心を保持しコースを滑るためには、外脚と内脚スキーへバランス良く荷重し、足裏の位置情報を正確に伝える高いバランス感覚が必要となるだろう。本研究では実測値とイメージの知見を得て、技術論を構築する切り口となる基礎資料を得ることができた。

(5)GS ゲート滑走において足圧荷重比と足圧中心点(COP)についてのイメージと実測を検討した。

足圧荷重比における実測値とイメージは相違する結果が認められた。しかしながら、GS ゲートの実測値では内脚のピーク値が同定でき、内脚スキーの貢献が認められる。COP における実測値とイメージは相違する結果が認められた。その移動範囲は、足裏センター部から前部であった。GS ゲート滑走の COP の移動には素早い動作が要求されるため規則性が認められなかった。選手は意識・無意識の中でこれら知覚した足圧情報をもとに安定した姿勢を維持しようとしているのだろう。イメージと実測情報はスキー技術の構築・改善にとって重要な情報になると推察された。

〈引用文献〉

- 1) Keränen, T., Valleala, R. and Lindén P. Ground reaction force and centre of pressure in alpine skiing carved turn., 4th International Congress on Science and Skiing, St. Christoph an Arlberg. Itävalta. (2007)14.-20.12.
- 2) Spitzenpfeil, P., Huber, A. and Waibel, K. Mechanical load and muscular expenditure in alpine ski racing and implications for safety and material considerations., In: *Science and Skiing IV*. Maidenhead : Meyer&Meyer Sport (UK) Ltd. (2009) 479-486.

6. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 中川喜直 他、スキーターン中の荷重イメージと足圧荷重 - SL オープンゲートのケース - 日本スキー学会 2014 年度研究会講演論文集 14-17,

2014.

- ② 中川喜直 他、スキーターン中の荷重イメージと足圧荷重 - GS ゲートとフリー滑走のケース - 日本スキー学会 2015 年度研究会 講演論文集 46-49, 2015.

〔学会発表〕(計6件)

- ① 中川喜直 他、アルペン・デモトップ選手におけるスキーターン中の足裏感覚の検討 - 足圧中心点と内・外スキーへの荷重配分 - 冬季スポーツ科学研究会 2014
- ② 山本敬三 他、アルペンスキー滑走中における足圧分布計測:パイロットスタディ 日本バイオメカニクス学会 2014
- ③ 中川喜直 他、スキーターン中の荷重イメージと足圧荷重 - SL オープンゲートのケース - 日本スキー学会 2014 年度研究会 2014
- ④ 中川喜直 他、スキーターン中のイメージと COP 及び足圧荷重の解析-小回りフリーのケース- 北海道体育学会 2014
- ⑤ 中川喜直 他、スキーターン中の荷重イメージと足圧荷重 - GS ゲートとフリー滑走のケース - 日本スキー学会 2015

〔その他〕

- ① 中川喜直 他、月刊スキーグラフィック, 98-101 2015

研究組織

(1) 研究代表者

中川 喜直 (NAKAGAWA, Yoshinao)
小樽商科大学・商学部・教授
研究者番号: 80201664

(2) 研究分担者

相原 博之 (AIHARA, Hiroyuki)
東海大学・国際文化学部・教授
研究者番号: 80192839

(3) 研究分担者

山本 敬三 (Yamamoto Kizo)
北翔大学・生涯スポーツ学部・教授
研究者番号: 00405698

(4) 研究分担者

竹田 唯史 (Takeda Tadashi)
北翔大学・生涯スポーツ学部・教授
研究者番号: 10320574