

B-8-2

スノーボードアルペンの成功ターンと失敗ターンのバイオメカニクス解析

Biomechanical differences between success or failure in turn of snow board alpine

○正 竹田 正樹^{*1}, 宮本 直人^{*2}, 清水 大智^{*3}, 中野 紘志^{*4},
梶原 和子^{*4}, 宇田 峻也^{*4}, 小野寺 恵介^{*4}, 近藤 亜希子^{*5},
廣瀬 圭^{*5}

Masaki TAKEDA, Naoto MIYAMOTO, Daichi SHIMIZU, Hiroshi NAKANO, Wako KAJIWARA,
Shunya UDA, Keisuke ONODERA, Akiko KONDO, and Kiyoshi HIROSE

^{*1}同志社大学スポーツ健康科学部 Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University

^{*2}大武ルート工業 Ohtake Root Kogyo Co. Ltd.

^{*3}同志社大学スポーツ健康科学研究科 Undergraduate student of Health and Sports Science, Doshisha University

^{*4}同志社大学スポーツ健康科学研究科 Graduate student of Health and Sports Science, Doshisha University

^{*5}久留米工業大学工学部, Kurume Institute of Technology

One of the top snowboard alpine athletes (male) in Japan skied the 8 Flag Gates course six times maximally. In all trials, the turn trajectory and speed change were measured by GNSS (100 Hz), the snowboard angle to the snow slope was measured by IMU (1,000 Hz), and the body's center of gravity during the turn was measured by an insole sensor. Of the 6 times trials, one successful and one unsuccessful turns of the same section were extracted and the above-mentioned items were compared for both successful and unsuccessful turns. As a result of the comparison of both turns, in a successful turn, the turn arc was smaller, the speed of the turn was slower, and the snowboard angle to the snow slope was greater as compared to an unsuccessful turn. In the successful turn, the body's center of gravity was closer to the forefoot during the turn initiation phase. However, in the unsuccessful turn, the body's center of gravity was closer to the heel during the turn initiation phase. As the results of this study, it was speculated that the loss of balance during the turn initiation phase may have led to the delay in turn initiation, which led to the snowboard angle to the snow slope being smaller, the turn arc bigger, and the speed of the turn faster. Maintaining the optimal body's center of gravity to control the snowboard angle to the snow slope and trajectory of the turn should be essential to keep successive turns of the snowboard alpine.

Key Words: snowboard, turn, GNSS, IMU, snowboard angle, turn arc, center of gravity

1. 緒 言

スノーボードアルペン競技は、スキーマルペン競技と同様にコースに旗門を設け、スノーボードでスピードを競い合う競技である。この競技はパラレル大回転 (PGS) と回転 (PSL) の2つの種目で構成されており、パラレル大回転は、コースに設置された旗門を通過しながら下り、速さ (タイム) を競い合うものである。予選においてはタイムトライアル形式 (左右2本のコースの合計) として上位16名が決勝ラウンドに進出できる。決

勝ラウンドにおいては左右隣り合ったコースにおいて2人ずつ競い合い、タイムの速いものが次のラウンドに進出でき、勝ち上がることで順位が決定する。いずれにしても速く滑った方が勝ちである。

速く滑るためにはどうすべきかが常に問われている。アルペンスキー同様、スノーボードアルペンにおいても何らかのターンの失敗、例えば、ライン取りの失敗やエッジングの失敗等は次の旗門へのライン取りを難しくさせる。フリースキー・スノーボード（旗門なし）と異なり、旗門が決まっていることから、どうしても決められた場所に間に合うようにターンを仕上げ、次のターンに入っていかなければならない。従って、次の旗門がすぐ近くに迫った状態ではエッジングを強くさせ、急旋回させて、次の旗門には入れる程度のラインを取り戻さなければならない。しかし、強いエッジングは大きな減速を引き起こし、減速した状態で次のターンに入っていくことから、その後の大きなタイムロスに繋がってしまう。速度の速いターンを達成できることは技術的体力的に重要ではあるが、減速をしないターンを連続させることが結果的に勝利に結びつくことが多く見受けられる。従って、失敗ターンがどのようにもたらされるのかの原因を研究することは非常に重要である。

スキーでもそうであるが、一般的には正しいポジション（身体重心）を維持することが重要と言われている。減速させないためには強いエッジングをしなくてよいように、ライン取り（適切なタイミングでのターンの始動やターン弧の調整など）、スピード、スノーボードのエッジング角度を的確にコントロールすることが大事である。スノーボードの的確なコントロールのためには適切なポジションを維持することが大切な要素の1つであると考えられる。従って、ポジションの崩れがターンの様々な要素に影響を与えている可能性がある。しかし、筆者の知る限り、スノーボードアルペンにおいてポジションとターンの特性を検討した研究は見当たらない。そこで、本研究はスノーボードアルペンのターン中のポジションを分析し、ポジションとターン特性（ターンの軌跡、スピード、雪面に対するスノーボードのエッジング角度）との関連性を検討することを目的とした。

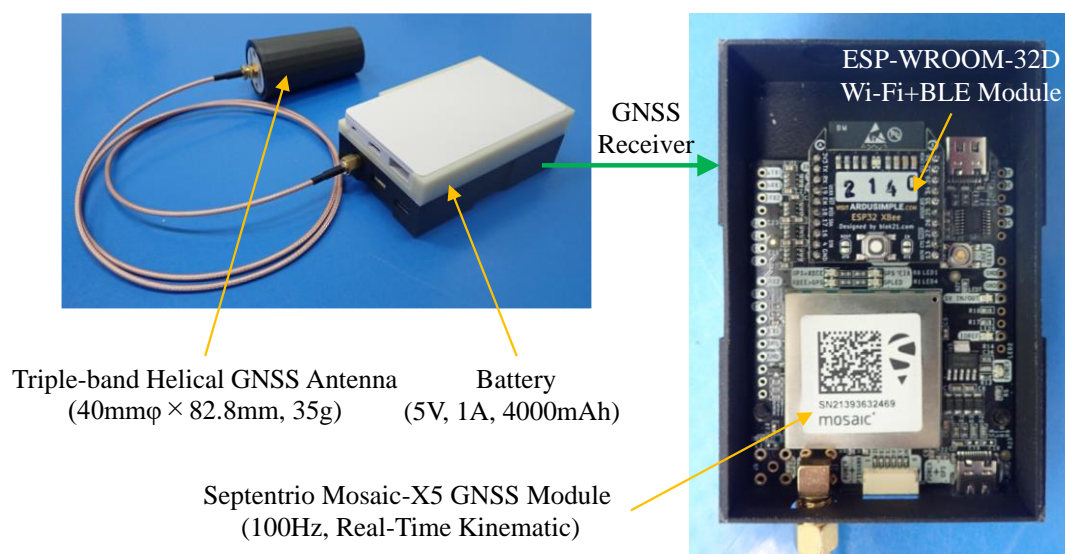


Fig. 1 Device configuration of the GNSS rover

2. 研究対象および研究方法

2.1 研究対象および実験概要

研究対象はスノーボードアルペン男子日本代表クラス1名とした。成功ターンと失敗ターンを抽出するために、意図的にターンを失敗させるのは正確な条件を作り出したとは言えない。そこで、本研究はスノーボードアルペンを想定した8つのゲートを設置し、最大パフォーマンスで6回のトライアルをさせた。その中で筆者による目視及び本人の内省をもとに明らかに失敗と考えられるターンを1つ抽出した。そのターンはターンの後半に下に落とされて次のゲートに入るために大きなブレーキングと方向転換をせざるを得ないものであった。そのゲート

と同じ場所で、同様に目視と内省による成功したと考えられる綺麗なターンを1つ抽出した。そして、両ターンについてターンについて、以下の項目を測定し、比較することで、失敗ターンの原因を探ることを試みた。

なお、すべてのトライアルを後方からビデオ撮影 (GoPro Hero 9 Black) するとともに、筆者がスキーで後方から追いかけて目視で判断した。

2.2 測定項目および方法

2.2.1 ターンの軌跡と速度変化

高精度 kinematic GNSS 計を用いた。この GNSS 計は本研究の執筆者の一人である宮本直人氏が開発したものである (86g, ケーブル 6g), サイズは $88 \times 59 \times 32 \text{mm}^3$ (167cc), サンプル周波数 100 Hz である (Fig. 1)。GNSS アンテナはヘルメット上部にテープでしっかり固定した。アンテナと GNSS 本体を繋ぐケーブルは邪魔にならないようにテープで身体各所に固定し、GNSS 本、ポケット Wi-fi (計測のためにインターネット環境に接続する必要があるため)、そして計測用アプリがインストールされた Android Tablet (Lenovo) をナイロン袋に入れて、両足の間のスノーボード上にテープで固定した。



Fig. 2 計測の様子. ヘルメット上部GNSSアンテナボードのトップ部とテール部にIMUを装着

2.2.2 スノーボードのエッジング角度

雪面に対するスノーボードの角付角を算出するために、慣性センサーシステム (IMU, IMS-SD, テック技販社) を使用した (Kondo, et al., 2012; Kondo, et al., 2013)). 本システムは、3 軸加速度センサー、3 軸ジャイロセンサー、3 軸地磁気センサーが搭載されており、計測した情報を内部の SD カードに保存することにより、最大 1000Hz でサンプリングができる。また、加速度センサーおよびジャイロセンサーは専用の装置で校正されており、地磁気センサーの校正を計測環境において実施できるシステムが計測ソフトウェアに組み込まれているため、簡易に高精度な計測が可能である。IMU 計はスノーボードの前後にテープで固定した。角付角である雪面からの角度を得るために、慣性センサーから得られる計測情報である角速度および加速度を用い、拡張カルマンフィルタを用いたセンサー・フュージョンを適用し、ロール角・ピッチ角を推定した。本研究では進行方向を X 軸、スノーボーダーの正面方向を Y 軸としており、ピッチ角はスノーボード板の傾斜角、ロール角は角付角となる。

2.2.3 身体ポジション計測 (足圧中心)

三次元的身体重心を求めることは困難であるため、本研究では足圧中心を測定した。足圧中心の計測には SOLTED 社製の Smart Insole を用いた。このインソールには片側に 4 つの圧力センサーが搭載されており、各センサーへの圧力を 30Hz で計測できる。左右 8 つのセンサーの足圧情報から足圧の中心を求めることができる。本研究では足圧中心をもって水平面の身体ポジション位置と仮定した。

3. 結 果

3.1 成功ターンと失敗ターンの特定

6本のトライアルのうち、明らかなターンの失敗がみられたのは2回目のトライアルの第6旗門目であった (Fig. 3)。失敗の定義を明確にするのは難しいが、筆者の目視により明らかな失敗ターンと言えるものであった。失敗の内容としては、6旗門目に入る際に比較的高速で入り、ターンのきっかけをつかむのが遅れ、旗門通過後にターンが下の方に落とされ、大きなターン弧になってしまっており、次の7旗門目に入るために急激な方向転換、すなわち大きなブレーキングとそれに伴う原則を強いられたものである。7旗門目は通過できたが、大幅な減速のため、その後スピードに乗れない状況が生じたものである。このような失敗はスキーアルペンにもスノーボードアルペンにも頻繁に散見される典型的な失敗事例である。

この失敗ターンと同じ箇所をスムーズに通過できた他のトライアルを確認したところ、5回目のトライアルがきれいに通過できていることをビデオで確認し、2回目の失敗トライアルと5回目の成功トライアルを、失敗ターンの6旗門目を中心に、一つ前の5旗門目とその後の7、8旗門目（ゴール）を中心に解析した。

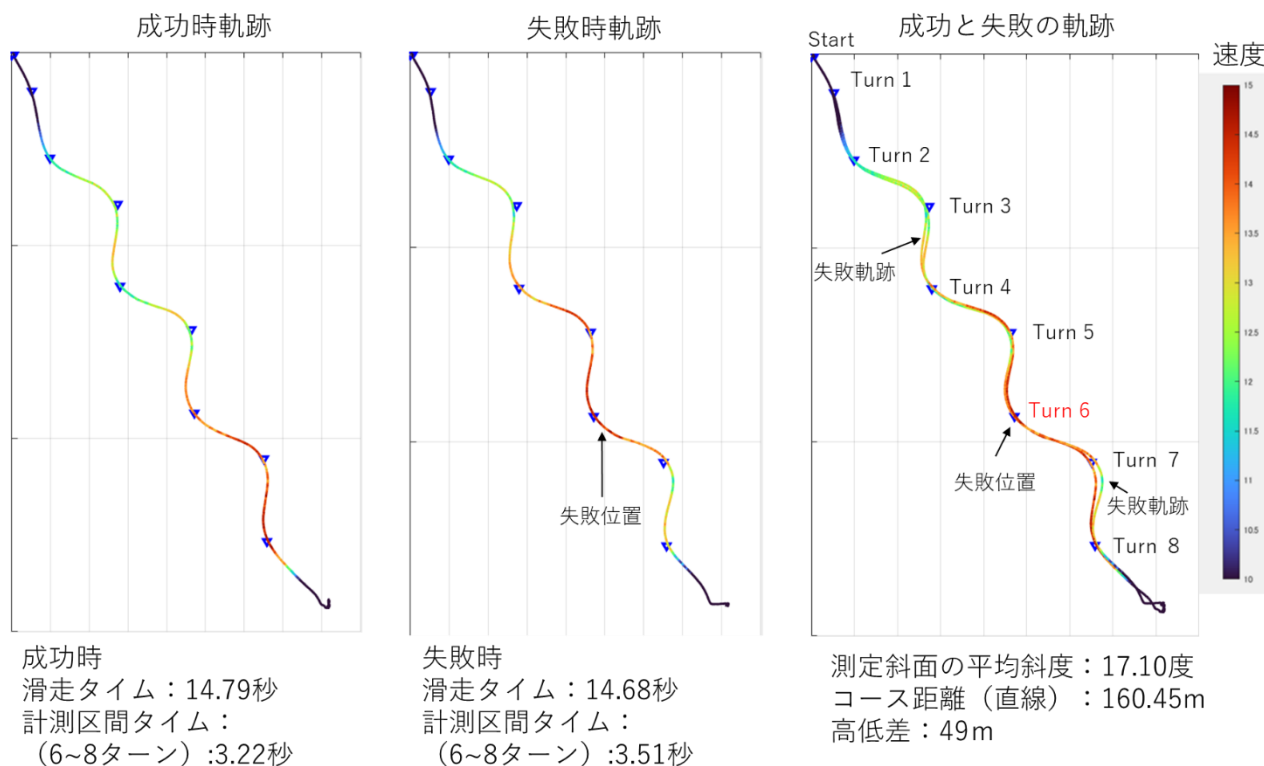


Fig. 3 GNSS計で計測した成功時と失敗時の軌跡と速度変化。コースプロファイル、滑走タイム、計測区間タイムも示した。最も右側の図は成功と失敗時の軌跡を重ねたものである。速度は色で示した。

3.2 GNSS 計による滑走軌跡と速度変化

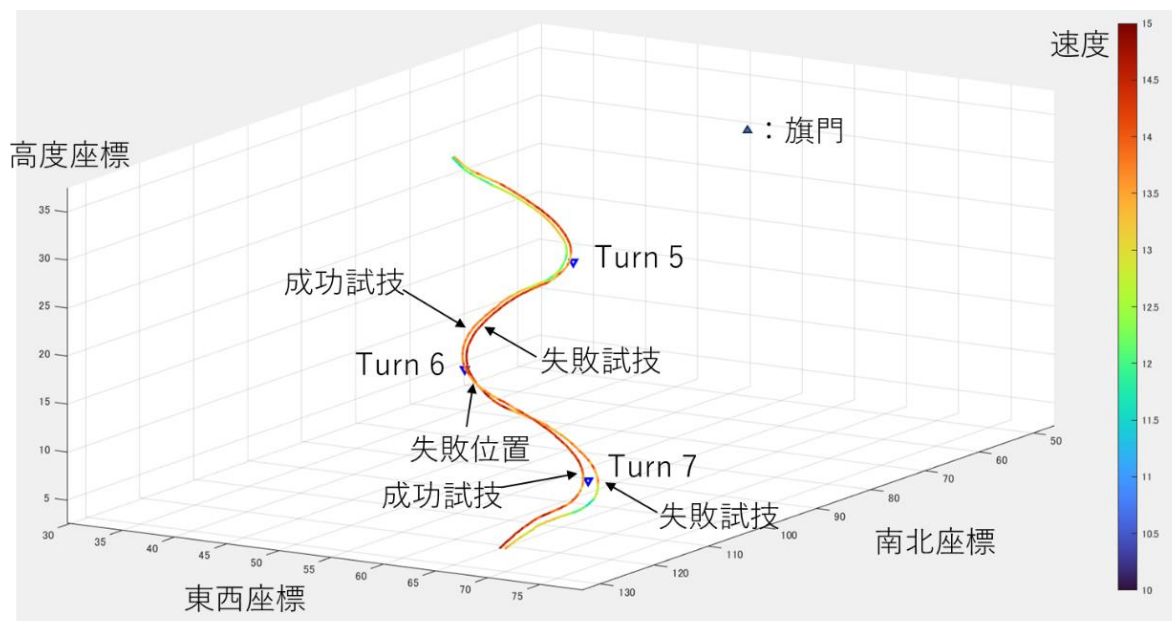


Fig. 4 計測区間5-7旗門目の成功ターンと失敗ターンの3次元的軌跡.成功ターンではTurn 5-6にかけて高いラインを通過していたが,失敗ターンでは内側にあり,Turn 7にかけて大きく外を通過する結果となった.

6本のトライアルのうち, Fig. 4は2回目(失敗)及び5回目(成功)トライアルのスタートからゴールまでの軌跡と速度変化を3次元的に示したものである. この中で6~8旗門目の滑走速度をみると,成功時は6旗門目の通過速度が49.0 km/h前後なのに対して,成功時の通過速度は47.0 km/hくらいであり,失敗時の方が速い滑走速度ができていたことがわかった. その後,それぞれのトライアルで7旗門目にかけてそれぞれの速度を維持しながらターンの中盤に入っているが,失敗ターンでは7旗門目の通過後に大きな減速が生じているのが観察された. 8旗門目通過の際には成功ターンでは明らかに滑走速度が速く,失敗ターンでは急激なブレーキングによる減速の影響を受け,その後,速度が低下した様子が明確に見て取れた.

3.3 スノーボードのエッジング角の違い

2本の対象トライアルの6~8旗門目のトライアルの6~8旗門目のエッジング角度(PitchとRoll角)を算出し,比較した(図). その際,図に示したように①ニュートラルからターン始動,②ターン前半1,③ターン前半2,④ターンピーク,⑤ターン後半1,⑥ターン後半2,⑦ターン切り替え地点の7つの局面に着目して解析した.

両ターンともにターン始動の際にエッジング角(Roll角)を大きく変化させ,フラットの状態(Roll角0度)からおよそ0.3秒程度で最大角度(-70度程度)までもっていったことが分かった. しかし,成功ターンの方がフラット(図の①部分)から最大エッジング角度(図の③部分)までスムーズに傾けている様子(図の②部分)がわかる. その後③から④にかけて,ターンmaximumの体制(図の④)を作り,ターンの中盤を迎え,図の④以降徐々にエッジングを弱め(図の⑤),ターンのほぼ終了(図の⑥)を迎えている. このターン中(③~⑥)にも,成功ターンと失敗ターンでは明確な違いがみられる. すなわち,成功ターンでは図の③から⑥にかけてエッジング角度を徐々に緩め(-70度から-50度へ),ターン弧を適切に調整している様子がわかる. そしてスムーズにニュートラル(⑦)ポジションまでもっていつている. ボードの進行方向を滑らかに調整している様子がうかがえる. しかし,失敗ターンでは④から⑥までエッジング角(-60度)はほぼ変わらず,しかも不安定になっている様子が認められた.

3.4 足圧中心の変化

IMUでのpitchの変化の①~⑦について,それぞれに対応する足圧中心位置を測定した. その結果,成功ターンでは①の切り替え地点から④のターンピークまでかけて,両足の中心でつま先側に体重を寄せ,ターン後半(⑤),

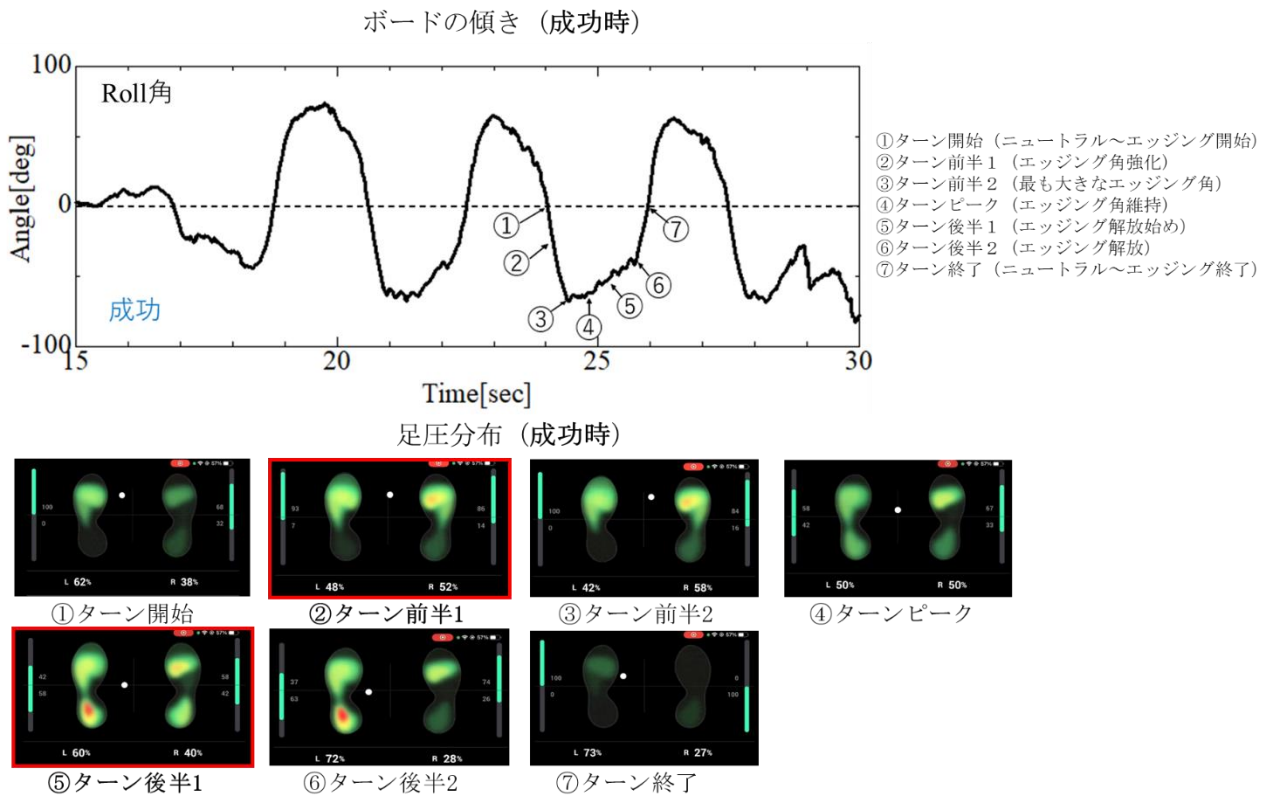


Fig. 5 成功ターン中のIMUで計測したボードのRoll角（左右方向）の変化ならびに①～⑦ポイントでの足圧分布

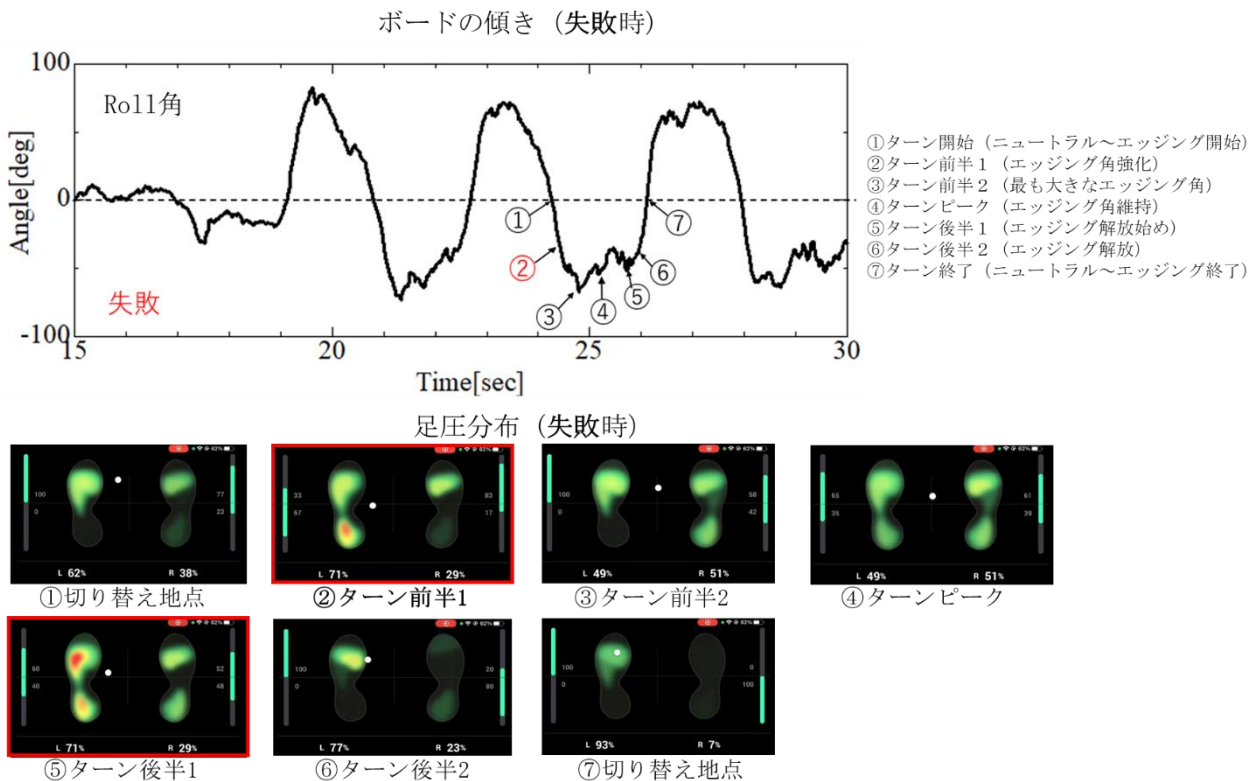


Fig. 6 失敗ターン中のIMUで計測したボードのRoll角（左右方向）の変化ならびに①～⑦ポイントでの足圧分布

⑥) でやや左の中心部に移っている様子が分かった。一方、失敗ターンではターンの前半 1 (②) で左足のかかと寄りにかかとに体重が載った瞬間がわかった。足圧センサーは 30Hz であるため、0.03 秒毎の足圧中心変化を認したところ、左足かかとに乗っていた時間は、およそ 0.15 秒程度であることがわかった。またターン後半 1 において成

功ターンでは左足かかとに重心が置かれているが（成功ターンの⑤ターン後半1）、失敗ターンでは左足つま先側に重心（失敗⑤ターン後半1）が置かれていることが分かった。

4. 考 察

4.1 成功ターンと失敗ターンの原因と結果

失敗の定義を明確にするのは難しいが、2トライアル目の第6旗門は明らかな失敗ターンと言えるものであった。失敗の内容は結果に記載した通りであるが、GNSSによる速度変化、IMUによるボードのPitch角（エッジング角）、そして足圧計による足圧中心の変化の情報から総合的に考察すると、成功ターンではボードがフラット（ニュートラル）な状態から比較的短時間で大きな角付を達成し、その結果、ターンがスムーズに始まったと予想される。ターンがスムーズに始まればボードの進行方向を早めに変えられるため、必要以上のエッジング角を保つ必要はないので、エッジングをスムーズに徐々に解放し、ターン後半の加速局面に入ることができると言える。結果的にターンをきれいに仕上げることができるため、次の旗門に入る準備を行うことができると予想される。一方、失敗ターンでは角付が遅れたことにより、ターン始動が遅れてしまった。角付が遅くなった原因はターン始動時に左足かかとに寄り体重が載ってしまったことが原因と推測される。GNSS計で測定したターン中の速度はおよそ40 km/hであり、左足かかとに乗っている時間はおよそ0.15秒であったため、その間の推進距離はおよそ1.7 mとなる。すなわち、失敗ターンでは1.7 m遅れてターンが始まったことになり、その分、最大エッジング角の-70度を長くキープしてターンを仕上げなければならない状態が生じていたと考えられる。

失敗ターンの⑤ターン後半1においては左足のつま先側に重心を置いているが、成功ターンではそれは見られない。これは失敗ターンにおけるターンの遅れを取り戻すために、ボードのトップ部分を雪面に食い込ませ、しっかり方向転換をさせようとする意図が働いていたものと推察される。しかし、急激な方向転換のために大きなエッジング角を長く維持しなければならなかったことから、その分、ボード及びエッジが雪面に食い込むことになり、ブレーキングが大きくなって減速が生じてしまった可能性がある。ターンではできるだけ少ない減速でボードの方向性を決め、板をフラット（押し込む方向に垂直）に踏みながら（Hirose, et al., 2012）、ターン弧の後半に生じる加速エネルギー（廣瀬ら, 2022）を生み出し、ターンが終了してからの加速につなげる必要がある。しかし、今回の失敗事例のように、ターン始動期にかかとに体重が載るとボードの角付が難しくなる（Lee, et al., 2014）。このことは本研究の被験者の内省報告とも一致した。かかと体重になると、ターンの前半で板のノーズ（前部分）に力をかけられず、本来エッジをかませる場所でそれができなくなる。その結果、板のノーズが雪面を噛むまで待つことになり、その間コンマ数秒板が直進してしまい、ターンの始動が遅れ、よってターンの終了も遅れ、次の旗門に対して急激な方向転換（＝大きなエッジング）を迫られることになる。そのことが減速に繋がり、それ以降の速度維持ができなくなってしまったと言える。

つまり、高いパフォーマンスにはバランスの保持力が極めて重要な要素であると言える。アルペンスキーのトレーニング研究において、初心者を対象としたものであったが、4時間/日、6日間の様々なスキートレーニングによるバランス強化トレーニングを行わせることによって静的および動的バランス能力の改善が生じたことが報告されている（Camliguney, et al., 2012）。スノーボードに乗り込む量や専門的バランストレーニングによってバランス能力（神経系および筋力）を強化することはパフォーマンスにとって非常に重要な要素と言える。

本研究結果は、スノーボードに乗っている間中のバランス保持がいかに大切であるかをよく示した事例と言える。まだ十分な事例を積み重ねてはいないが、本研究結果から言える具体的な理想的バランスは、両足のつま先間に重心を保つことであると言える。かかとに体重が載ってしまうと、ボードのノーズで雪面にエッジを噛ませることができなくなり、エッジングのコントロールを失うこととなる。下に落とされるという表現がよく用いられるが、まさにその表現通り下に落とされて、次の旗門に入るのが難しくなり、減速させてしまうことになる。

なぜ、失敗ターンのようにかかとに体重が載ってしまったのか、原因を特定することは難しい。失敗ターンでは5旗門目を成功ターンより速い速度で仕上げているが、その速度が重心コントロールを難しくしているようなオーバースピードであったのかもしれない。もしそうであったとするならば、速度や重心をコントロール可能な範囲の最高速度に止め、バランスをキープし、いつでも（適切なタイミングで）ボードのノーズを雪面に食い込ませられるように自身のコントロールの範囲内に保つことが、結果的にタイムの向上につながられるものと推察される。

5. 結 語

本研究結果から、重心コントロールの乱れがターンの失敗を招いていたと推測され、そのことはIMUによるボードのエッジング角度とターン速度に明確に表れており、本研究の評価項目はスノーボードアルペンの技術的評価に有用な情報であると言える。

文 献

- (1) 宇田 峻也, 竹田 正樹, 宮本 直人. 高精度キネマティック GNSS 計を用いたクロスカンリースキーフリー走法の走法判別. 日本機械学会 シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2022. 抄録原稿 U000093.
- (2) Takeda M, Miyamoto N, Endo T, Ohtonen O, Lindinger S, Linnamo V, and Stöggl T. Cross-Country Skiing Analysis and Ski Technique Detection by High-Precision Kinematic Global Navigation Satellite System. *Sensors* 2019, 19, 4947; doi:10.3390/s19224947
- (3) Kondo, A., Doki, H., and Hirose, K. An attempt of a new motion measurement method for alpine ski turns using inertial sensors. *Procedia Engineering*, 9th Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA).34: 421–426, 2012.
- (4) Kondo, A., Doki, H., and Hirose, K. Motion Analysis and Joint Angle Measurement of Skier Gliding on the Actual Snow Field Using Inertial Sensors. *Procedia Engineering*, 6th Asia-Pacific Conference on Sports Technology (APCST).60: 307–312, 2013.
- (5) 廣瀬圭, 近藤亜希子, 白石元, 伏見知何子. A Study on Estimation of Rotational Radius in Alpine Ski Turns Using Inertial and Magnetic Field Sensors and GPS Receiver. *スポーツ産業学研究*, Vol. 32, No. 4: 411-420, 2022.
- (6) 廣瀬圭, 近藤亜希子, 白石元, 伏見知何子, 実滑走情報を用いたアルペンスキーにおけるカービングターン・スキッピングターンの加速度成分解析に関する研究, *スキー研究*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-8. 2021.
- (7) Hirose, K., Doki, H., and Kondo, A.: Dynamic motion analysis of snowboard turns by the measurement of motion and reaction force from snow surface. *Procedia Engineering*, 9th Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA). 34: 754 – 759, 2012,
- (8) Lee, CH., Back, J., Lee, J., Panday, SB., and Lim, YT. Planter pressure distribution analysis of alpine and boardercross snowboarders' carving turns. *32 International Conference of Biomechanics in Sports*. 437-440, 2014.
- (9) Camligney, AF., Ramazanoglu, N., Atilgan, OE., Yilmaz, S., and Uzun, S.: The effects of intensive ski training on postural balance of athletes. *Int. J. Humanities and Social Science*. Vol: 2, No. 2, 2012.