

# 第5回冬季スポーツ科学シンポジウム

日時：2024年11月1日（金）～11月3日（日）

場所：北見工業大学（北見市）

主催：

北見工業大学・冬季スポーツ科学研究推進センター  
電気通信大学・エンターテインメントと認知科学研究ステーション

併催：

情報処理学会・スポーツ情報学研究会  
映像情報メディア学会・スポーツ情報処理研究会

協力：

北見アスリートステイズ



第5回となる冬季スポーツ科学シンポジウム、無事開催させて頂けることに感謝申し上げます。

今回は、情報処理の観点からスポーツを研究対象とする「情報処理学会・スポーツ情報学研究会」「映像情報メディア学会・スポーツ情報処理研究会」、「電気通信大学・エンターテインメントと認知科学ステーション」と連携することになりアカデミック色も強化されました。また、特別セッションでは、オリンピック・パラリンピックのメダリストをお招きしています。

急速に注目されつつある、データサイエンスやメディア情報処理、人工知能などの最先端技術とスポーツとの接点からスポーツを通した社会貢献まで、幅広く議論ができることを期待しています。

第5回冬季スポーツ科学シンポジウム 実行委員会

2024年11月1日(金) 口頭発表セッション			
時間	セッション	内容	会場
8:30			開場
9:00-10:20	セッション1	研究発表1	多目的講義室
		休憩	
10:40-12:00	セッション2	研究発表2	多目的講義室
		昼休憩	
13:00-14:20	セッション3	研究発表3	多目的講義室
		休憩	
14:40-16:00	セッション4	研究発表4	多目的講義室
16:00-16:15	クロージング	表彰式	多目的講義室

2024年11月1日(金) 併設イベント(関係者のみ)		
時間	内容	会場
17:00-22:00	関係者会議・計測1	アルゴグラフィックス 大塚カーリングホール

2024年11月2日(土) 口頭発表セッション			
時間	セッション	内容	会場
8:30			開場
9:00-10:20	セッション6	研究発表5	多目的講義室

2024年11月2日(土) 公開セッション			
時間	セッション	内容	会場
10:30			開場
10:40-12:00	セッション1	パネル討論	多目的講義室
		休憩	
13:00-14:30	セッション2	特別講演	多目的講義室
		昼休憩	
15:00-16:30	セッション3	パネル討論	多目的講義室
16:30-18:00	セッション4	ポスター発表	アトリウム

2024年11月2日(土) 併設イベント		
時間	内容	会場
11:00-12:00	デジタルカーリング大会	A106教室
17:00-17:30	カーリングホールモニター	アルゴグラフィックス 大塚カーリングホール
18:30-20:30	懇親会	アスリートステイズ
	デジタルカーリング大会結果報告	

2024年11月3日(日) ポスターセッション			
時間	セッション	内容	会場
8:30			開場
9:00-10:30	セッション5	ポスター発表	アトリウム

2024年11月3日(日) 併設イベント		
時間	内容	会場
11:00-12:00	カーリング体験会	アルゴグラフィックス 大塚カーリングホール

2024年11月3日(日) 併設イベント(関係者のみ)		
時間	内容	会場
13:00-18:00	関係者会議・計測2	アルゴグラフィックス

- 口頭発表セッションの聴講には、「研究会」への参加申し込みが必要です。口頭発表セッションは、情報処理学会 スポーツ情報学研究会、映像情報メディア学会 スポーツ情報処理研究会により開催されます。詳細については、各研究会ホームページをご参照下さい。
- 公開セッションおよびポスターセッションの聴講には、「冬季スポーツ科学シンポジウム」への参加申し込みが必要です。公開セッションへの参加は無料です。
- 併設イベントへの参加には、事前参加申し込みが必要です。

## 特別セッション

### セッション1（パネル討論）

- テーマ：アルペンスキー研究の現状 — 医学・工学・科学 —
- 登壇者：寒川美奈（北海道大学 大学院保健科学研究員）  
佐藤満弘（北見工業大学 工学部機械電気系）  
中里浩介（北見工業大学 基礎教育系）
- 日時：2024年11月2日（土） 10:40～12:00

### セッション2（特別講演1）

- 講演タイトル：パラリンピアンとして生き 今思うこと
- 講師：狩野亮氏（株式会社マルハン）  
2010年バンクーバーパラリンピック 男子スーパー大回転 金メダリスト、  
2014年ソチパラリンピック アルペンスキー男子滑降・男子スーパー大回  
転 金メダリスト
- 日時：2024年11月2日（土） 13:00～14:30
- 司会：中里浩介（北見工業大学）



### セッション3（特別講演2：パネル討論形式）

- 講演タイトル：みんなで考えよう、部活動の地域移行。- 若年層のためのスポーツ環境整備-
- 講師：
  - 本橋麻里氏（一般社団法人ココ・ソラーレ, 合同会社MIO TEMPO）  
2018年平昌オリンピック銅メダリスト
  - 細川敏明氏（北見市教育委員会）
- 日時：2024年11月2日（土） 15:00～16:30
- 司会：榎井文人（北見工業大学）



## ポスターセッション

No. 11月2日(土) 16:30-18:00 座長:

- P101 汗中の乳酸に応答して図柄が変化するスポーツウェアの開発—“装着感ゼロ”の究極のウェアラブルセンサーを目指して—  
兼清泰正, 堺絵美 (北見工大)
- P102 デジタルカーリングの今後の構想  
片桐諒祐, 曽根忠瑛 (信州大), 相原伸平 (JISS), 河村隆 (信州大)
- P103 カーリングブラシパッドの動摩擦係数計測を目的とした試験機の開発  
曽根忠瑛, 古川萌乃 (信州大), 相原伸平 (JISS), 榎井文人 (北見工大), 河村隆 (信州大)
- P104 スキーブーツとブーツ装着時の膝蓋骨位置の相関性に関する研究—スキーブーツの調整と膝蓋骨の関係について—  
木下遼一郎, 佐藤満弘, 中里浩介 (北見工大)
- P105 地理空間的解析に基づく北海道の各スノーリゾートのスキー検定合格率の差異  
大友翔一 (静岡大/GEOJACKASS)
- P106 異なる滑走速度でターンした際のターン動作の定量的評価  
高橋翔, 勝正雄大, 佐藤満弘, 中里浩介 (北見工大)
- P107 アルペンスキーにおけるターン動作の定量評価  
加藤佳歩, 原山海, 佐藤満弘, 中里浩介 (北見工大)

No. 11月3日(日) 9:00-10:30 座長:

- P201 インタラクティブなストーン挙動提示システム「タブレットストーン」の評価に向けて  
山本梨央, 森遙菜, 陳冠宇 (はこだて未来大), 相原伸平 (JISS), 榎井文人 (北見工大), 竹川佳成 (はこだて未来大)
- P202 カーリングにおけるスウィープ効果の定量的分析の試み  
榎井文人 (北見工大/JISS), 大内遥斗, 吉田翔稀, 柳等 (北見工大), 相原伸平 (JISS)
- P203 カーリングにおける局面重要度可視化のためのLeverage Indexの導入  
今野雄太, 野口渉, 田村康将, 山本雅人 (北海道大)
- P204 新戦術発見のための強化学習によるカーリング戦術AIの開発  
千葉麟太郎, 野口渉, 田村康将 (北海道大), 相原伸平 (JISS), 山本雅人 (北海道大)
- P205 カーリングAIの局面評価関数におけるTransformerの活用  
岩崎智也, 野口渉, 田村康将 (北海道大), 相原伸平 (JISS), 山本雅人 (北海道大)
- P206 ストーントラッキングシステムの支援環境の整備と応用可能性に関する考察  
吉田翔稀 (北見工大), 榎井文人 (北見工大/JISS), 相原伸平 (JISS), 柳等, プタシンスキ・ミハウ (北見工大)
- P207 足圧分布に基づくカーリング・デリバリー動作の競技レベルの特徴について  
瀬川都和 (北見工大), 榎井文人 (北見工大/JISS), 生田泰志 (大阪教育大)

- ポスター発表P206の抄録について、著者より重要な訂正依頼があったため、抄録集（p.39-42）を差し替えました（2024年11月5日）。

### 第5回冬季スポーツ科学シンポジウム 実行委員会

#### 大会実行委員会

- 委員長
  - 中里 浩介（北見工業大学）
- 委員
  - 伊藤 毅志（電気通信大学）
  - 河村 隆（信州大学）
  - 佐藤 満弘（北見工業大学）
  - 竹川 佳成（公立ほこだて未来大学）
  - 山本 雅人（北海道大学）

#### プログラム委員会

- 委員長
  - 榊井 文人（北見工業大学）
- 委員
  - 相原 伸平（国立スポーツ科学センター）
  - 北原 格（筑波大学）
  - 木村 聡貴（NTTコミュニケーション科学基礎研究所）
  - 松原 仁（京都橘大学）
  - 柳 等（北見工業大学）

# 汗中の乳酸に応答して図柄が変化するスポーツウェアの開発

— “装着感ゼロ” の究極のウェアラブルセンサーを目指して—

○兼清泰正、堺絵実

北見工業大学 冬季スポーツ科学研究推進センター

## 1. 背景と目的

乳酸は、肉体疲労度や運動強度の指標となる物質であるため、手軽に体液中の乳酸濃度を測定できれば、専門競技者や一般市民にとって、競技力の向上や健康増進のために大いに役立つ。従来の乳酸測定法は血液採取を伴うため、被験者やスタッフなど関係者の負担が大きく、連続的な測定も困難であることから、新たな測定法の開発が期待されている。最近、汗中の乳酸をウェアラブルセンサーにより測定する手法が検討されているが、動作の妨げとなる大掛かりな測定・通信装置が必要であったり、高コストかつ不安定であったりするなど、依然として克服すべき課題は多い。発表者の研究グループは、ボロン酸を乳酸に対する分子認識素子として用いた従来とは全く異なるアプローチにより、乳酸に応答して図柄が変化するスポーツウェアの開発を進めている (Fig.1)。このウェアは、測定に関わる装置類は一切付属しておらず、着用するだけで汗中の乳酸濃度に応じて図柄が変化していく。このような“装着感ゼロ”のウェアラブルセンサーが実用化されれば、誰もが手軽に疲労度を知ることができるようになり、アスリートの競技力向上や市民の健康増進など、社会福祉の向上を通じた平和な社会の実現に貢献できると期待される。本研究では、最近新たに考案した方法論に基づいて、これまでよりも簡便化したプロセスを用い、より高精度のサンプル作製を検討した。その結果、乳酸に応答した多彩な図柄の変化を実現できた。



Fig.1 乳酸に応答して図柄が変化するシャツ

## 2. 方法

### 2-1. 単純図形サンプル

ボロン酸モノマー、カチオンモノマー、架橋剤、および重合開始剤を含むモノマー溶液を木綿布に滴下し、円形の光透過部を有するフォトマスクを介して紫外線を照射し、繊維表面にポリマー薄膜を形成させた。この木綿布をアニオン色素水溶液に浸漬して着色し、水により洗浄した後、乾燥させた。得られたサンプルを乳酸水溶液に一定時間浸漬し、取り出したサンプルの写真撮影と可視吸収スペクトルの測定を行い、乳酸に対する応答特性を評価した。

### 2-2. 図形変化サンプル

本サンプルの作製スキームを Fig.2 に示す。モノマー溶液を木綿布に滴下し、所定の形状の光透過部を有するフォトマスクを介して紫外線を照射し、アニオン色素水溶液に浸漬して着色した後、水で洗浄して乾燥させた。次に、着色部位の一部が露出する形状の孔版を用意し、これを介して過酸化水素水を噴霧して、特定の領域のみ過酸化水素に曝露した。その後、水により洗浄し、乾燥させた。サンプルの応答評価法は、前述と同様である。

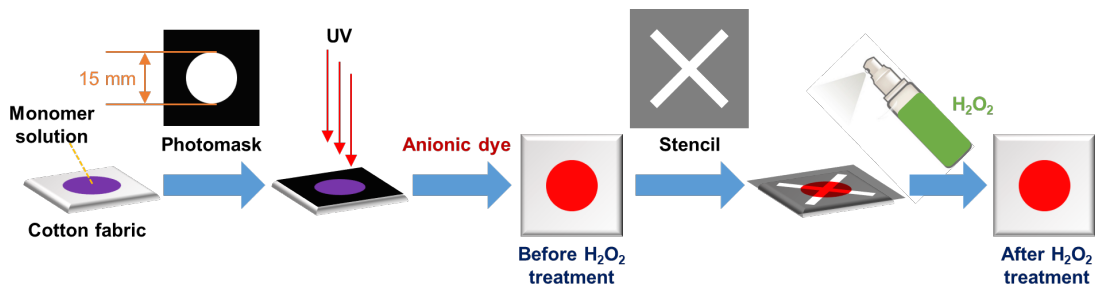


Fig.2 図形変化サンプルの作製スキーム

### 3. 結果・考察

#### 3-1. 単純図形サンプル

本サンプルの応答挙動を Fig.3 に示す。ボロン酸基を含むサンプル (Before H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) は、乳酸水溶液に浸漬すると、徐々に色素が脱離して無色へと変化していった。このサンプルを過酸化水素水へ浸漬後、乳酸応答させた場合、色素の脱離は大幅に抑制された (After H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)。以上の結果から、ボロン酸含有サンプルを過酸化水素処理することによって、その乳酸応答特性を制御可能であることが明らかになった。

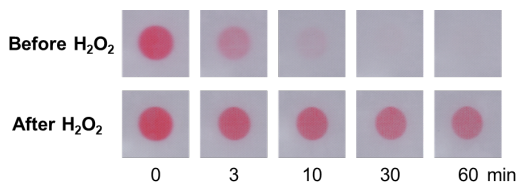


Fig.3 単純図形サンプルの乳酸応答 (乳酸濃度 100 mM)

#### 3-2. 図形変化サンプル

円形の着色部位の一部に、×形状の孔版を用いて過酸化水素水を噴霧した (Fig.2 参照)。このサンプルを乳酸水溶液に浸漬すると、応答時間や乳酸濃度が增大すると共に、図形が○から×へと変化していった (Fig.4)。過酸化水素に曝露されなかった領域は、乳酸に反応して色素を脱離し、無色へ変化する。一方、過酸化水素への曝露

領域では、ボロン酸基が過酸化水素と化学反応を起こしてフェノール基へ変化し、乳酸応答性を失うため、変色が生じない。このようなメカニズムにより、乳酸に反応した図柄の変化が実現したと考えられる。

さらに、より複雑な形状の孔版を用いることにより、笑顔から泣顔へ表情が変化するサンプルを作製することに成功した (Fig. 5)。

以上の結果から、本法は、高精度のサンプルを高生産性かつ低コストで作製できる実用的手法として有望と考えられる。

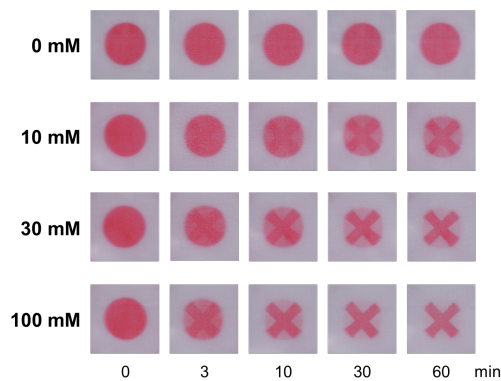


Fig.4 図形変化サンプルの乳酸応答

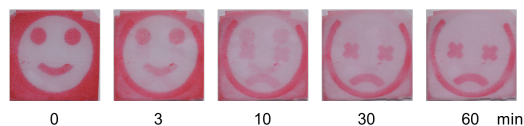


Fig.5 顔模様サンプルの乳酸応答 (乳酸濃度 100 mM)

# デジタルカーリングの今後の構想

○片桐諒祐<sup>1</sup>, 曾根忠瑛<sup>1</sup>, 相原伸平<sup>2</sup>, 河村隆<sup>3</sup>

1) 信州大学大学院

2) 国立スポーツ科学センター

3) 信州大学

## 1. 緒言

従来のカーリングの戦略は、選手たちの経験に基づいて判断されており、科学的根拠が少ない。この課題に対し、近年ではデジタルカーリング(1)などのシミュレータプログラムや、それを利用した戦略立案に関する研究が進んでいる(2)(3)(4)。

デジタルカーリングは電気通信大学伊藤毅志研究室で開発されたカーリングシミュレータである。このシステムにはサーバ・クライアント形式が採用されており、TCP/IP 通信によって対戦を実現している。ユーザはひとつのサーバとふたつのクライアントを用意して、対戦することができる。しかし、現行システムには以下の課題がある。

- 通信が切断されると試合を再開できない
- 特定の盤面で複数の手を試すシミュレーションができない
- 試合データを研究者間で共有するしくみがない

これらの課題を解決するために、本研究ではREST API と PostgreSQL を組み合わせ、デジタルカーリングを拡張した新しいシステムを提案する。これにより、サーバを集約し、全試合情報をデータベースに保存することで、通信切断時でも試合を再開可能とする。また、任意の盤面を再現し、複数の戦略を試すことができる機能を導入することができる。そして試合データの自動保存・共有を通じてデータ管理の効率化

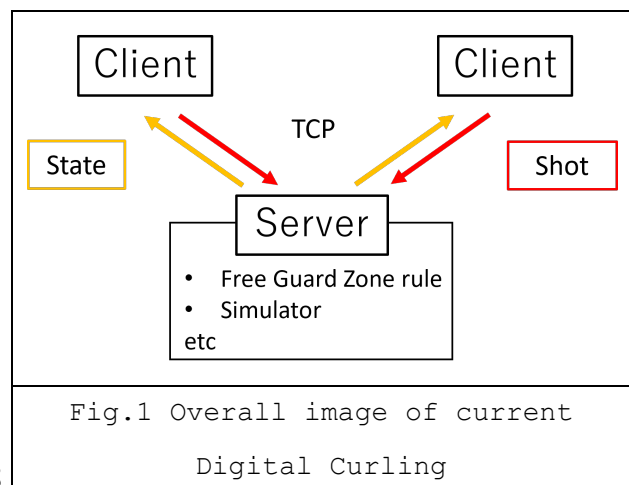
が図れるため、より大規模なデータ分析や機械学習が容易となり、カーリング戦略の研究がより発展することが期待される。

## 2. 現行システムの概要

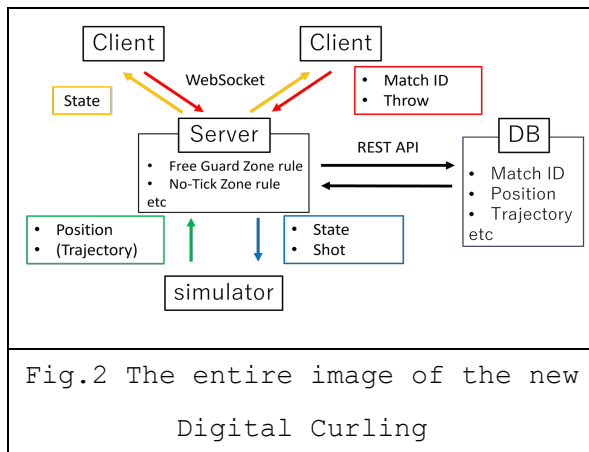
今現在のデジタルカーリングの全体像を Fig.1 に示す。現行のシステムでは、サーバ・クライアント間の通信には TCP/IP が使用されている。サーバには試合のルールやシミュレータが実装されている。クライアントは、投球時の初速度や回転方向といった情報をサーバへ送信する。サーバは受け取った投球情報をもとにシミュレーションを行い、カーリングストーン的位置や両チームのスコアなどの試合データをクライアントへ送信する。

## 3. 提案システムの概要

それに対して、本研究で提案する新しいデジタルカーリングの全体像を Fig.2 に示す。現行のシステムで使用している TCP 通信より通信効率を向上させることができるため、サーバ・クライアント間の通信には







WebSocketを採用した。サーバ・クライアント間の通信以外にはREST APIを採用することにより、独立した通信が可能となるため、複数のクライアントが接続する場合にも安定した動作が可能となる。データベースは、他と比較して以下の点で優れていた PostgreSQLを採用した。

- ACID 特性に準拠したトランザクション制御
  - 多くのデータ型のサポート
  - 大規模データベースでの効率的な動作
- データ構造としては、RDBである

PostgreSQL の特徴を活かし、各試合、盤面データ等に ID を付与して、それぞれテーブルを分けて管理する。これにより、通信が切断された場合や特定の盤面で複数の手を試したい場合、ID を用いてデータベースから試合情報を抽出し盤面を再現することで、上記で挙げた問題点を解決することができる。また、シミュレータをサーバから独立させることで、シミュレータの更新が容易となり、柔軟な運用が可能となる。

#### 4. 現在の進捗状況

進捗として、現行のシミュレータ部分を改善し、シミュレーション速度を向上した

ものを用意し、サーバとの切り分けを行った。また、対戦や任意の盤面の再現などの状況を考慮し、必要なデータを整理した上で、データベースの構造をまとめた。さらに、データベースとサーバ、サーバとクライアントの通信が可能となった。

#### 5. 結言

本研究では、REST API と PostgreSQL によるデータベースを組み合わせた、新たなデジタルカーリングのシステムを検討した。これにより、現行のシステムの課題点を解決できると考える。

今後は、まずは特定の盤面をデータベースに追加し、その盤面をクライアント側で再現できるようにする。再現したデータをもとに複数回のシミュレーションを行い、決定した投球情報をサーバに送信し、データベースに格納できるよう開発を行う。

#### 参考文献

- 1) 上原嘉織 (2022) 拡張性を考慮した第 3 世代デジタルカーリングの提案と構築
- 2) 加藤修、飯塚博幸、山本雅人(2015) 戦略の不確実性を考慮したカーリング ai の開発、人工知能学会研究会資料 知データベースシステム研究会 104 回(2015/3)、page02、一般社団法人 人工知能学会
- 3) 大渡勝巳、田中哲郎、et al(2016) カーリング ai に対するモンテカルロ木探索の適用、ゲームプログラミングワークショップ 2016 論文集、2016:180-187

# カーリングブラシパッドの動摩擦係数計測を目的とした試験機の開発

○曾根忠瑛<sup>1</sup>、古川萌乃<sup>1</sup>、相原伸平<sup>2</sup>、榊井文人<sup>2</sup>、河村隆<sup>1</sup>

1) 信州大学大学院

2) 国立スポーツ科学センター

## 1. 背景と目的

カーリング競技におけるスイープは、ストーンの挙動を制御するために行われている。このスイープという動作は、ナイロン製のカーリングブラシパッド（以下、パッド）を氷面にこすりつけることで行う動作である。スイープ中にかかる荷重やモーメントを測定(1)やスイープによる効果の検証(2)が行われているが、その物理的詳細は未解明である。また、パッドは氷面との接触により徐々に摩耗し、その効果が変わっていると考えられているが、その変化について詳細な調査が行われておらず、競技者は経験的にその交換タイミングなどを判断している。

スイープの効果は、パッドの摩擦係数の影響を受けると考えられるため、本研究では様々な条件のパッドについて、摩擦係数を測定し、その特性について報告する。また、実際のスイープを機械的に再現し、様々な条件でスイープを行うスイープ摩擦試験機についても報告する。

## 2. 摩耗したパッドの摩擦試験

本研究では、3条件のパッドをサンプルとして提供して頂いた。それぞれ、未使用のもの、10~15投使用したもの、長期間使用したものである。

使用した摩擦試験機はカトーテック社製 NT-01 であり、この試験機は試験片に様々な荷重を与えながら金属製の試験子を滑らせ、その時に生じる力から動摩擦係数を測定する。

今回は試験片にパッドを使用し、さら

に、実際の使用条件を再現するため試験片に一定の張力を加えながら測定を行った。試験の模式図を図1に示す。

また、パッドに方向ごとに動摩擦係数が異なることが想定されたため、パッドの複数方向についての試験も行った。測定の向きについては図2に示す。

試験条件は垂直荷重が 0.26N、0.51N、0.96N であり、張力は 0N、2N、3N である。全体的な傾向として、使用期間の長さや動摩擦係数が比例関係にあることが多く、また、張力が 2N のときが最も動摩擦係数が高い。しかしながら、これらの結果はデータ数が多くなく、統計的な検証が行われていないことへの注意が必要である。

また、実際のスイープでの荷重を、今回の実験条件に一致させる場合、必要な荷重は 5.09N であるが、今回の条件は試験装置の上限である 0.96N までしか行っていない。よって、より現実的な条

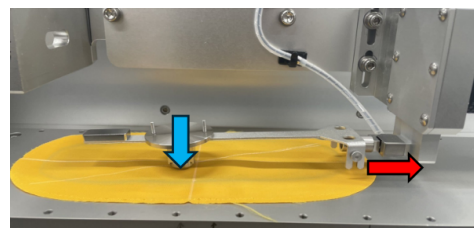


Fig. 1 荷重と張力方向

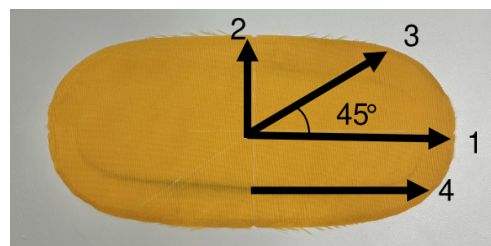


Fig. 2 摩擦試験の試験方向

件に沿った検証を行う必要がある。このため、現在実際の使用条件において様々なデータを取得できる試験機の開発を行っている。

### 3. スイープ摩擦試験機

実際のスイープの摩擦状態を実験室で再現することは困難である。このため、試験装置には、カーリングシート上で、パッドを使用した摩擦試験を行う事ができ、荷重や摩擦速度を変更しながら様々なデータを取得できることが求められる。検討中のスイープ試験機の3Dモデルを図3に示す。この試験機は、センサとしてレプトリノ社製6軸力覚センサとパッドの位置を観測する測距センサが搭載されており、また、モータによりスイープ動作を機械的に再現することが可能である。荷重は機構上部におもりを設置することで再現する。パッドに一定の荷重を与えスイープ動作を機械的に行うことで、スイープ回数と動摩擦係数の変化、パッドの摩耗についてのデータを得ることができる。

また、この試験機は人間のスイープを同条件で測定することも可能であるた

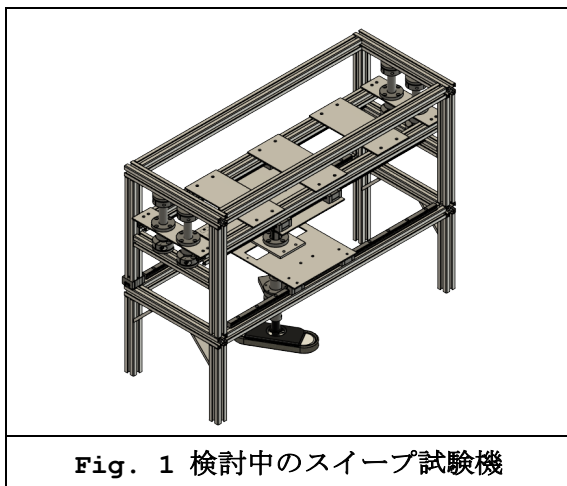


Fig. 1 検討中のスイープ試験機

め、人間のスイープと機械によるスイープの比較を行うことも可能である。

### 4. まとめと今後の展望

本研究では、いくつかの条件で使用されたパッドについて、測定方向や荷重、張力を変更しながら動摩擦係数を測定した。試験条件の範囲内において動摩擦係数は使用回数によって増加すること、パッドの張力が動摩擦係数に影響を与えることが確認された。

今後は、検討しているスイープ摩擦試験機を制作し、実際に近い環境での動摩擦係数の測定や、パッドの摩耗の様子についての検証を行う予定である。

### 謝辞

本研究のアイデアと研究試料を提供していただいたフォルティウスの皆様に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) ファム デウック ズン, 河村 隆, 中崎 滉平(2017) カーリング競技におけるスイープ動作の計測, シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集
- 2) Sonobe, H., Aoki, Y., Miya, O. et al. (2024) Sweeping effects on curling and friction estimation. Sports Eng 27, 31

# スキーブーツとブーツ装着時の膝蓋骨位置の相関性に関する研究

## —スキーブーツの調整と膝蓋骨の関係について—

○木下 遼一郎<sup>1</sup>, 佐藤 満弘<sup>1</sup>, 中里 浩介<sup>1</sup>

1) 北見工業大学 Kitami Institute of Technology

### 1. 緒言

北見工業大学冬季スポーツ科学研究推進センター<sup>(1)</sup>では、冬季スポーツの発展や冬季スポーツアスリートの競技力向上・国際的活躍を目指している。当研究室では、アルペンスキーに関する研究を行っており、図1の「SkyTech<sup>(2)</sup>」を用いた実験・計測により、スキーブーツの調整や技術的アドバイスを行っている。図2中の角度 $\theta$ はターンした際の下肢の鉛直方向からの角度を示しており、内傾角度と呼ぶ。図3にスキーブーツの構成部品を示している。スキーブーツ内の底にフットベッドがありフットベッドの上にインナーブーツが構成されている。図4はスキーブーツ装着時のブーツ内を示す。フットベッドの上面が成す角度 $\alpha$ を俯角と呼ぶ。これまでの研究により、アルペンスキーにおいて滑降タイムの向上にはより大きな内傾角度が必要であり<sup>(3)</sup>、内傾角度は俯角に大きく影響されることが分かっている<sup>(4)</sup>。また、最適に調整されたスキーブーツと膝を前方に曲げたときの膝蓋骨の位置には一定の範囲内で収まることが示された<sup>(5)</sup>。しかし、測定装置の精度よりデータの信憑性について問題点があった。本研究では、測定装置の改良や測定条件の追加を行い、多くの被験者より最適なスキーブーツの膝蓋骨位置について調査を行い、スキーシミュレーターによる実験を行わなくてもスキーブーツの最適調整ができる指標を得ることを目的としている。



図1. スキーシミュレーター「SkyTech<sup>(2)</sup>」



図2. 内傾角度

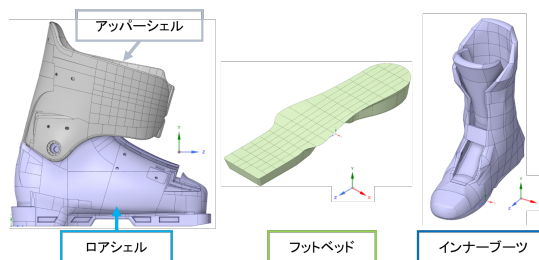


図3. スキーブーツの構成部品



図4. 俯角

## 2. 方法

調査方法は、競技スキー経験者 13 名を被験者として測定を行った。俯角調整として、図 5 のようにフットベッドのつま先側の先端より 10mm の場所に様々な厚さのパーツを取り付け、膝蓋骨位置の測定を行う。測定装置と測定状態を図 6 に示す。パーツをつけるごとに 4 回の測定を行い、複数日実験を行った。測定項目は、図 7 のスキーブーツ先端から膝蓋骨最前部までの地面水平方向距離（以下、水平方向距離と表記）、図 8 のスキーブーツ中心部の斜面との垂直線から膝蓋骨最前部までのなす角度  $\beta$ （以下、膝の角度と表記）の 2 項目である。



図 5. パーツの取付位置



図 6. 測定装置と測定状態



図 7. 水平方向距離

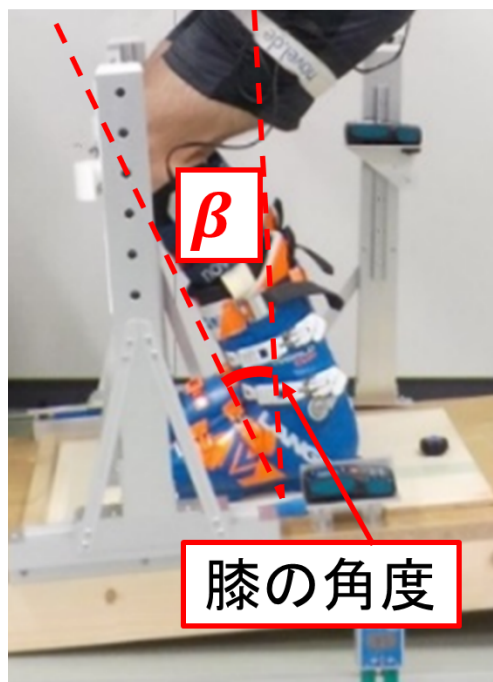


図 8. 膝の角度

## 3. 結果

図 9, 10 は実験を行った 13 名の測定結果をまとめた図で、本研究にて得られた最適なブーツ調整となる膝蓋骨位置の適正值を示す。横軸は膝下の長さ、縦軸は図 9 が水平方向距離、図 10 は膝の角度を示している。

プロットされている全ての点は4回の測定  
の平均値を示している。青い点が実験日ごとの  
一番良く調整されたブーツを装着した時のデ  
ータである。赤い点(図9, 図10中の青枠で  
囲まれた赤い点)は被験者ごとに最適調整さ  
れたブーツを装着した時のデータを示してい  
る。緑の点は、最適調整以外のブーツ装着時  
のデータである。黒い直線は、青い点と赤い  
点の近似直線を示している。黒い点線は、適  
正範囲を示しており、図9は近似直線±10mm  
の範囲、図10は近似直線±1degの範囲を示  
している。適正範囲には、青い点と赤い点の  
全データの約75~90%存在していた。

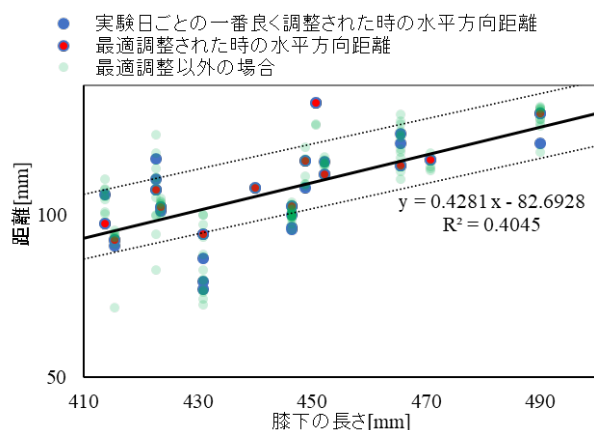


図9. 水平方向距離と膝下の長さの関係

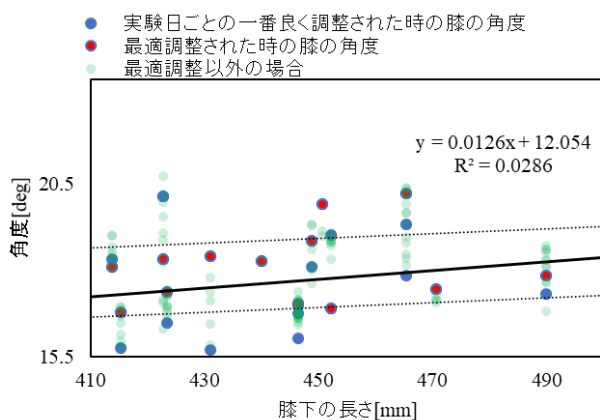


図10. 膝の角度と膝下の長さの関係

#### 4. 結言

本研究より水平方向距離は膝下の長さとの比例関係、膝の角度は膝下の長さに影響しづらいパラメーターであることがわかった。今後はさらなる測定精度の向上や測定効率が高くなるような測定装置の作成を行い、より詳細な最適な俯角と膝蓋骨位置の相関性について追及していく。

#### 参考文献

- (1) 北見工業大学冬季スポーツ科学研究推進センター：  
[https://www.kitami-it.ac.jp/center-info/winter\\_sports/](https://www.kitami-it.ac.jp/center-info/winter_sports/)
- (2) SkyTech:  
<https://config.skytechsport.com/>
- (3) 鈴木聡一郎, 林末義, 柴又勇, “日本人アルペンスキー選手に適した下肢骨格に基づくスキーブーツ設計”, 2010, スポーツ産業学研究
- (4) 鈴木智貴, 鈴木聡一郎, 星野洋平, “ターン中の荷重移動を適正化するスキーブーツのフットベッド設計”, 2016, 日本機械学会北海道学生会 2016年講演論文集
- (5) 佐藤明論: “スキーブーツならびにフットベッド設定最適化の簡素化手法の研究”, 2019年, 北見工業大学博士前期課程学位論文

大友翔一<sup>1</sup>

1) 静岡大学, 株式会社 GEOJACKASS

## 1. 背景と目的

スキー・スノーボードの検定やプライズテストの合否に関しては一定の基準のもとに公認検定員が合否の判断を行って行っている。しかし一方で、検定員の主観に大きく影響を受ける部分があり、合否の審査基準がどこのスノーリゾートにおいても一定であるとは言い難い。

また、検定やプライズテストの難易度に関しては、どこのスノーリゾートにおいて合格しやすいのかなどはスキーヤー・スノーボーダーの一種の暗黙知として認識されており、例えば Yahoo 質問箱や教えて Goo といったインターネット上の質問サイトなどにも投稿が散見されている。一般には都市部に近いところは比較的合格が容易であると言われている。

そこで、本研究ではスキーヤー・スノーボーダーの一種の暗黙知として認識されているグレンデによる合格率の差がどの程度あるのか、また合格率にどの程度の差が出るのかを検証することを目的とした。

ArcGIS という GIS ツールを用いて北海道内のスノーリゾートで開催されるスキー検定のテクニカルプライズの合格率と、北海道内の各検定会場のスノーリゾートの地理空間的な立地特性の関連に関して調査、解析を行った。

結果、北海道内においては、札幌・旭川・函館の 3 都市から比較的アクセスの容易なスノーリゾートにおけるテクニカルプライズの合格率が高いことが明らかになった。

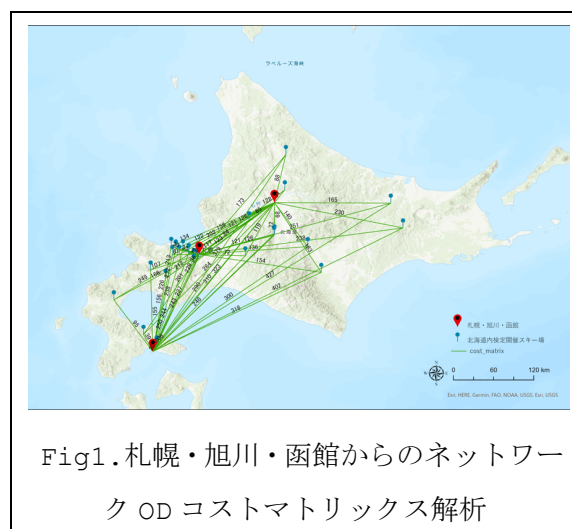
## 2. 方法

解析対象のデータは、2016 年から 2019 年までの公益社団法人北海道スキー連盟の公開する事業報告及び収支決算から検定スキー場、受験者数、合格者数のデータを抽出して行った。

また、札幌、旭川及び函館といった北海道内の人口が多い市区町村である 3 都市から、OD コストマトリックスを算出し移動時間の算出を行った。

そして、図 1 に示す北海道内の SAJ テクニカルプライズ検定を行っている各スノーリゾートに対して移動時間を用いて分類を行い、検定合格率と併せて移動時間を考慮した解析を行った。

結果、都市部に近いところは比較的合格が容易であるということを、データに基づいて明らかにした。



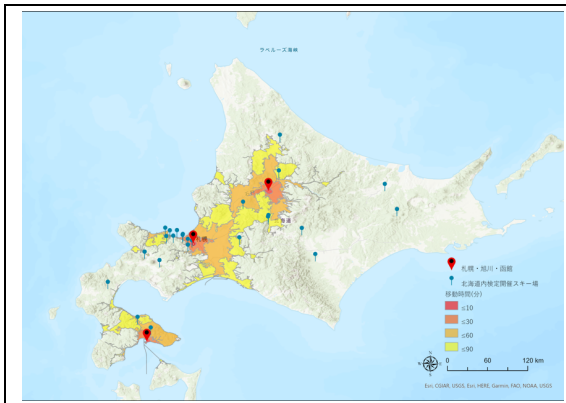


Fig2. 札幌・旭川・函館からの移動時間解析

### 3. 結果

結果は下の図3及び図4の通りとなった。

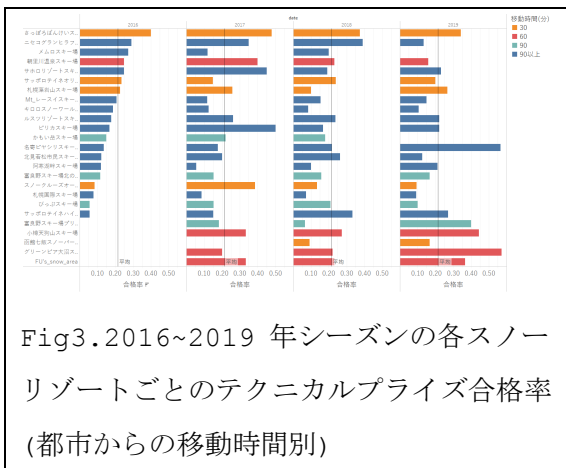


Fig3. 2016~2019年シーズンの各スキーリゾートごとのテクニカルプライズ合格率 (都市からの移動時間別)

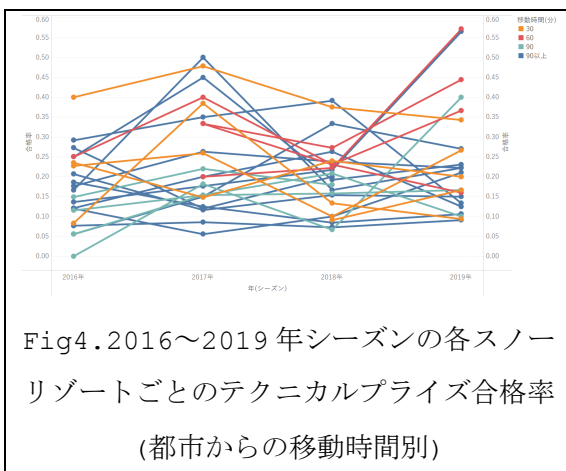


Fig4. 2016~2019年シーズンの各スキーリゾートごとのテクニカルプライズ合格率 (都市からの移動時間別)

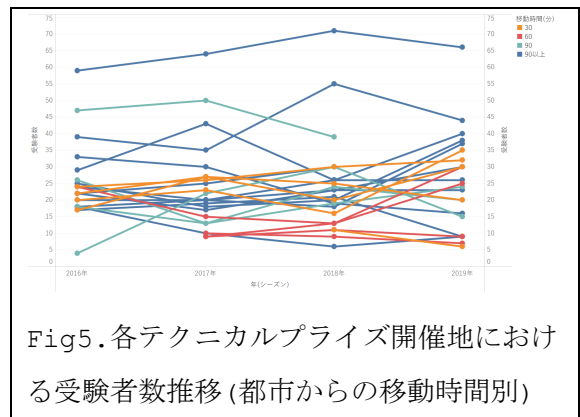


Fig5. 各テクニカルプライズ開催地における受験者数推移 (都市からの移動時間別)

2016年シーズンから2019年シーズンまでの北海道内の各スキーリゾートの、合格率に関して確認すると、受験者数は3都市から遠方のスキーリゾートの方が多いことが分かる。一方で平均合格率以上の合格率であるスキーリゾートの半数以上が都市から60分以内に立地していることが分かる。

### 4. 考察

スキーヤー・スノーボーダーの暗黙的に語られる、都市近郊のゲレンデほど合格率が高いということは概ね正しいと言えるであろう。

これは、距離に大きく影響を受けることからスキーやスノーボードをレジャーとして認識するのか、あるいはスキーを日常生活の一部として認識するのかということに影響されるためと思われる。

### 参考文献

公益財団法人北海道スキー連盟: SAJ HOKKAIDO, SAJHOKKAIDO (online), available from(<https://www.ski-hokkaido.jp/general/>) (accessed 2022-03-19).



# 異なる滑走速度でターンした際の ターン動作の定量的評価

-内傾角度と足底圧力の関係について-

○高橋翔<sup>1</sup>, 勝正雄大<sup>2</sup>, 佐藤満弘<sup>2</sup>, 中里浩介<sup>2</sup>

1) 北見工業大学大学院 2) 北見工業大学

## 1. 背景と目的

北見工業大学の冬季スポーツ科学研究推進センター<sup>(1)</sup>では、アルペンスキーやカーリングに関する研究が行われている。特にアルペンスキーの研究では図1に示すスキーシミュレータ SkyTech と図2に示す Pedar と呼ばれる圧力センサを使用して実験が行われ、アスリートのスキーブーツの調整や技術向上に向けたアドバイスが提供されている。SkyTech を用いることで室内でスキーのターン動作をシミュレートでき、足底圧力、荷重中心の移動、内傾角度、ターンの周期などのデータを計測することが可能である<sup>(2)</sup>。先行研究ではこれらのデータを元に滑降時の内傾角度や足底圧力に関する評価パラメータを算出する計測システムが構築されている<sup>(3)</sup>。本研究では、SkyTech による室内実験から得られたデータを用いて、ターン時における足底圧力を定量的に示す評価パラメータを算出し、滑走速度の上昇時における踏み込み圧力と内傾角度の関連性を検討する。

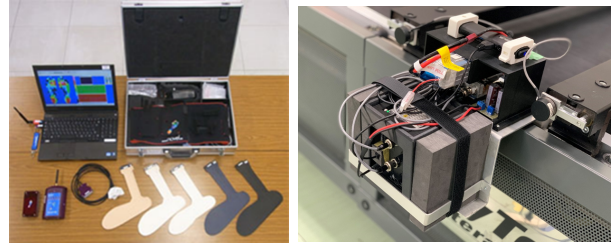


図2. 足底圧力センサ Pedar と内傾角度装置

## 2. 実験方法

本研究では、スキー競技経験者 8 名を対象に実験を行った。被験者のスキーブーツ内に Pedar を挿入し、SkyTech を使用して制限滑走を行った。Skytech は縦幅 9m、横幅 5m の旗門設定で速度を 40km/h から 60km/h まで増加させて滑走を行った (図3)。

その後、得られたデータからターン時の外足の内傾角度と踏み込み圧力を計測をした。左右 10 ターンの外足にかかる最大圧力総和のうち、最大値と最小値を除いた 8 ターンの平均値を算出した。



図1. スキーシミュレータ SkyTech

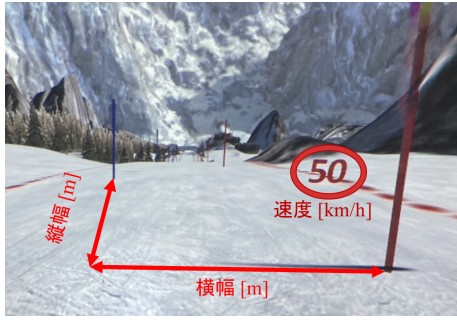


図 3. 制限滑走実験時の SkyTech 画面

### 3. 実験結果と考察

内傾角度:

図 4 は滑降速度と平均内傾角度の関係を示した図であり、縦軸は滑降速度、横軸は外足の最大内傾角度を示している。また、オレンジの点は右ターン、青い点は左ターンを示している。滑降速度の上昇に伴い、内傾角度が増加する傾向が確認され、相関係数は 0.95 と強い相関がみられた。

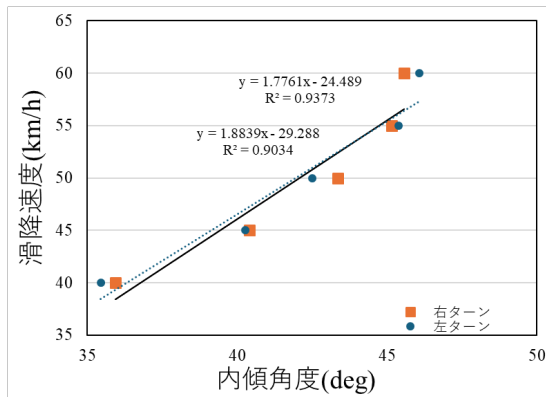


図 4. 滑降速度と平均内傾角度の関係

外足の圧力総和:

図 5 は滑降速度と圧力総和の関係を示した図であり、縦軸は滑降速度、横軸は踏み込み圧力で、オレンジの点は右ターン、青い点は左ターンを示している。滑降速度が増加に伴い、外足にかかる圧力の総和が上昇する傾向が確認された。また、圧力総和と

滑降速度の相関係数は 0.97 と非常に強い正の相関がみられた。

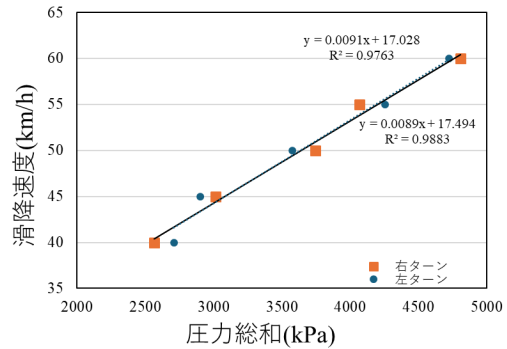


図 5. 滑降速度と平均圧力総和の関係

### 4. 結言

本研究の結果から、滑走速度が増加するにつれて足裏にかかる圧力が線形的に増加することが確認された。また、圧力の増加に伴って内傾角度も増加し、高速滑走時に適切な内傾角度の維持がエッジングの精度に大きく影響することが示された。これにより、ターン速度の増加に伴い、より大きな内傾角度が必要となり、結果としてスキー板をたわませることで外足への荷重が増加することが推察される。高速滑走時において、内傾角度と足底圧力はパフォーマンス向上に寄与する重要な要素であると言える。

### 参考文献

- (1) 北見工業大学冬季スポーツ科学研究センター ([http://www.kitami-it.ac.jp/about/winter\\_sports](http://www.kitami-it.ac.jp/about/winter_sports))
- (2) 「SkyTechSport」 (<https://www.skytechsport.com>)
- (3) 尾崎有咲, “アルペンスキー滑降時における内傾角度とターン速度に関する研究” 日本機械学会北海道支部第 60 回講演会

# アルペンスキーにおけるターン動作の定量評価

—荷重中心移動における評価—

○加藤佳歩<sup>1</sup>, 原山海<sup>2</sup>, 佐藤満弘<sup>2</sup>, 中里浩介<sup>2</sup>

1) 北見工業大学大学院

2) 北見工業大学

## 1. 緒言

北見工業大学の冬季スポーツ科学研究推進センターではカーリングやアルペンスキーに関する研究が行われている<sup>(1)</sup>。特にアルペンスキーでは、スキーシミュレータ「SkyTech」を用いた計測で得られたデータをもとにスキーブーツの調整や、技術的なアドバイスをを行っている<sup>(2)</sup>。また、足底圧力計測装置「Pedar」を使用したターン時の荷重中心移動と滑降タイムの関係性について検討している。アルペンスキー滑降時において荷重中心の移動は、スキー技術向上を評価するのに重要なパラメータの1つである<sup>(3)</sup>。本研究は「SkyTech」を用いた室内実験で得られる荷重中心位置データより、荷重中心移動を内足と外足に分け、移動時の圧力とその軌跡を表示するシステムからアルペンスキー競技者のターン動作を定量的に評価した。



図1 スキーシミュレータ「Skytech」

## 2. Skytech での実験

図2にアルペンスキー競技におけるターン動作を示す。ターンはまず基準のニュートラルポジション (NP) からターンが開始する。内傾動作が最大となるターンマキマム (TM) を経て、ターンが終了し、NPに戻る。このときターンの始まりから TM までをターン前半、TM からターンの終わりまでをターン後半とする。赤色で示しているように旗門を通過する際に外側になる足が外足、逆足が内足である。

本実験では、「Pedar」を装着し、「SkyTech」を用い実験を行った。被験者に左右同じターンをしてもらうように指示し、ターン動作が安定してから左右各10ターン計測した。

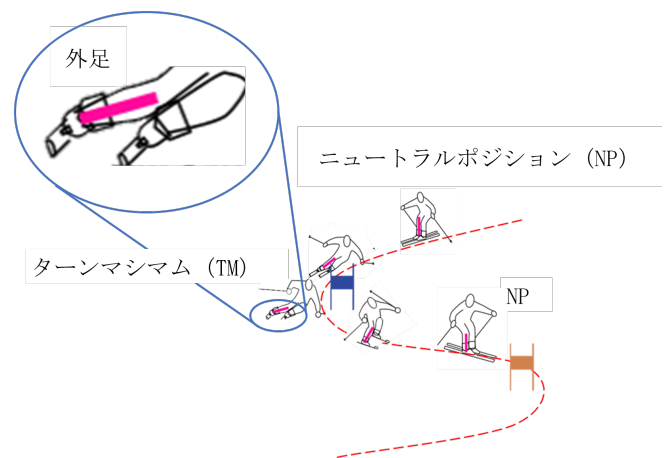


図2. アルペンスキーのターン構造

### 3. 結果

図3から図6は荷重中心移動のシステムを使用しターン時の2名の被験者の荷重中心移動をプロットした結果である。図3と図4は被験者Aの結果を示し、図5と図6は被験者Bの結果を示している。図3は実験で計測した全ターンの荷重中心移動をプロットした図である。縦軸は荷重中心位置のy座標、横軸は荷重中心位置のx座標である。コンターバーは、足底に作用する荷重の最大値を1として正規化して表示した荷重である。プロット図は正規化した荷重値0.1以上の荷重中心移動をプロットしている。図3より被験者Aの外足は左右ともにくるぶしの下から母指球まで荷重中心の点が広がっていることが分かる。また、外足に大きな力を加えターンしている。

一方内足は、青色の点が多くターン時に小さな力がかかっていること分かる。このことから被験者Aは、外足荷重であると考えられる。図4は正規化した荷重値0.1以上の外足時における2ターン分の荷重中心移動の軌跡を示している。縦軸は荷重中心位置のy座標、横軸はx座標である。水色からピンク色のグラデーションで色分けされており、水色がターン前半、ピンク色がターン後半である。また、黄色の星はTM時における荷重中心位置を示している。図4から、ターン前半では両足ともにくるぶし付近でほとんど点が移動していないことが分かる。ターン後半では、つま先方向に移動していることが分かる。

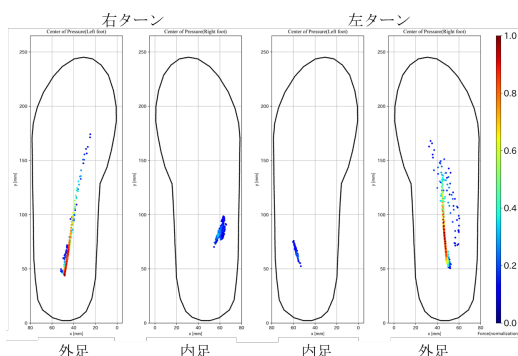


図3. 荷重中心のプロット図 (被験者A)

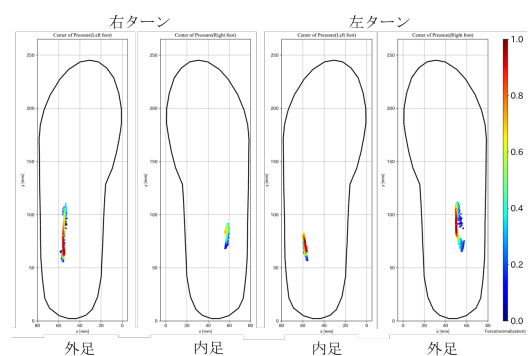


図5. 荷重中心のプロット図 (被験者B)

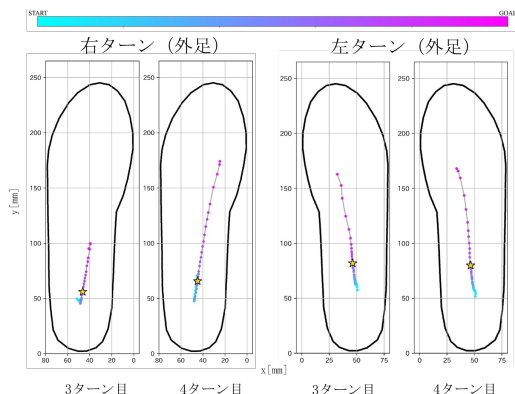


図4. 荷重中心の軌跡 (被験者A)

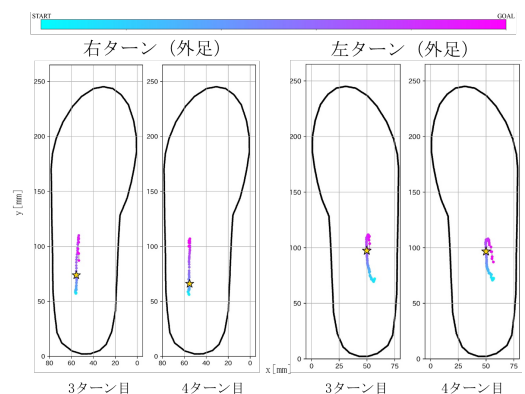


図6. 荷重中心の軌跡 (被験者B)

次に被験者 B の結果を示す。図 5 は図 3 と同様で、両足の全ターンの荷重中心をプロットした図である。この図から、くるぶしの下に点が集中し、また Y 方向への大きな移動がないことが分かる。さらに、両足とも内足に大きな力が加えられていることが分かる。ここから被験者 B は、ターン時に内足にも大きな力を加えてターンをしていると考えられる。図 6 は、図 4 と同様に左右の外足の 2 ターン分の荷重中心移動の軌跡を示した図である。この図から、ターン前半は両足ともにかかと方向からつま先方向へ移動していることが分かる。一方ターン後半は、両足ともにターンの終わりでかかと方向に移動していることが分かる。これらのことから被験者 B は、外足の左右差がなく左右ターンで同様の滑りであると考えられる。

この 2 人と選手の滑りの共通点は、ターン前半と TM 付近で荷重中心の移動量が少なく、移動しないでターン動作を行っていること、くるぶし付近でターンを行っていることである。異なる部分は、荷重のかけ方である。被験者 A は外足荷重で内足にほとんど力を加えずにターンしているが、被験者 B は内足にも外足と同様の力を加えてターンしている。

#### 4. 結言

本研究では、「SkyTech」を用いた室内実験で得られる荷重中心位置データより、荷重中心移動を内足と外足に分け、移動時の圧力とその軌跡を表示するシステムから定量的に選手のターン時の特徴を評価するこ

とができた。

#### 参考文献

- 1) 北見工業大学冬季スポーツ科学研究センター ([http://www.kitami-it.ac.jp/about/winter\\_sports](http://www.kitami-it.ac.jp/about/winter_sports))
- 2) 「SkyTechSport」 (<https://www.skytechsport.com>)
- 3) 沼辺龍太, アルペンスキー滑降時におけるターン時の荷重重心に関する研究, 令和 4 年, 日本機械学会北海道学生会第 52 回学生員卒業研究発表会

# インタラクティブなストーン挙動提示システム

## 「タブレットストーン」の評価に向けて

○山本莉央<sup>1</sup>, 森 遥菜<sup>1</sup>, 陳 冠宇<sup>1</sup>, 相原伸平<sup>2</sup>, 榎井文人<sup>3</sup>, 竹川佳成<sup>1</sup>

1) 公立はこだて未来大学

2) 国立スポーツ科学センター

2) 北見工業大学

### 1. 背景と目的

筆者らの研究グループは、カーリングにおける石の挙動を視覚的にフィードバックする新たな手法として、ディスプレイを搭載したストーン「タブレットストーン」を提案してきた。提案するタブレットストーンは石のハンドルの上にディスプレイを搭載し、石の移動速度、回転速度、回転数などをリアルタイムに表示する。また、石が回転するとディスプレイ上に表示されている情報が見づらくなってしまう。このために、回転方向に応じて提示情報を動的に回転させる回転方向固定機能、回転方向に加えて提示情報の位置も固定する絶対位置固定機能を提案してきた。しかし、これらの機能の有用性に関する評価実験に関しては十分に実施されていなかった。

そこで、本研究では、タブレットストーンの評価実験の実験方法について議論する。また、当日のポスター発表では、現在、分析中の実験結果とその考察について議論する。

### 2. 評価実験

タブレットストーンの2種類の提示手法（回転方向固定機能および絶対位置固定機能）の有用性を検証するための実験を実施した。提案手法は、絶対位置固定手法、回転方向固定手法であり、比較手法として、メータを回転させない無回転手法とした。

実験参加者は、北見工業大学カーリング部の3名である。

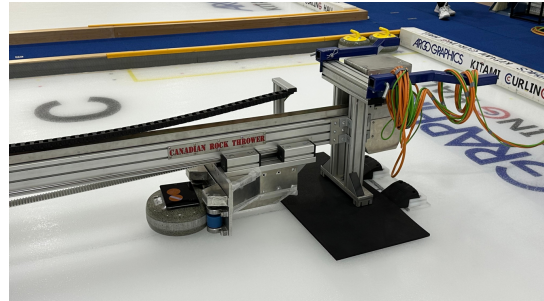


図1 ロックスロアーによる石の投擲



図2 表示コンテンツの例

投擲される石の速度や回転数を統制するために、図1に示すロックスロアーを使用した。また、石のハンドルの上にタブレットを設置した場合、投擲時にロックスロアーの金具と衝突する可能性があったため、図2に示すように、石のハンドルを外した状態で、石とタブレット端末を両面テープで貼り付けた。タブレットストーンは図3に示すようにハンドルの上にタブレットを取り付けることを想定しており、リンクを基準にしたタブ

レットの高さが本来の想定と異なるが、読み取りやすさを検証する上では問題ないと考えている。

ストーン上に投擲されたストーンがホグラインを超えたら、スウィーピングしながら、ストーンが停止するまでディスプレイに表示される数値を読み上げてもらうというタスクを実験参加者に取り組んでもらった。正しく読み上げているかどうかを確認するために、実験補助者1名にストーンと一緒に並走してもらいビデオを録画した。

このタスクを、各手法で5回ずつ実施した。また、実験参加者は少なかったため、1人の実験参加者が3手法すべてを体験する参加者内計画実験を実施した。このとき、実験参加者に3手法を適用する順番はランダムにした。

実験後に、実験参加者に各手法における数値の読み上げやすさについて5段階のリッカート尺度（1:読み取りやすい～5:読み取りづらい）で回答してもらった。また、その理由について記述してもらった。

実験中に表示されるコンテンツの例を図2に示す。図2中の赤枠線内に、ランダムな2桁の数値を表示した。この数値は1秒ごとに変化する。フォントはSwiftUIのSF Proを使用し、フォントサイズは48とした。使用したiPadは、7.9インチのiPad mini（第5世代）である。

評価指標は、ストーンがホグラインから停止するまでの間に表示された数値を正しく読み上げられた回数とその正答率である。また、アンケート結果にもとづく主観的な読みやすさである。



図3 ストーン上に搭載されたタブレット

前者の結果に関しては現在分析中である。後者の結果に関しては、比較手法、絶対位置固定手法、回転方向固定手法それぞれの平均読み取りやすさは、1.7、4.3、3.0であった。主観的な読み取りやすさは絶対位置固定手法が最もスコアが高い結果となった。1名の実験参加者は、比較手法や回転方向手法を利用して読み上げた場合、「目が回りそうになる」とコメントしていた。一方、絶対位置固定手法に関しては「目が回らない」とコメントしており、期待した結果が得られた。

#### 謝辞

本研究はスポーツ庁委託事業「先端技術を活用したHPSC基盤強化事業」の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- 1) 森 遥菜，陳 冠宇，相原 伸平，榎井 文人，竹川 佳成 (2024) タブレットストーン:ストーンの状態にもとづくインタラクティブなストーン挙動提示シ

システムの提案, 情報処理学会研究報告ス  
ポーツ情報学, 2024-SI-1(19),1-2



# カーリングにおけるスウィープ効果の定量的分析の試み

○梶井文人<sup>1,2</sup>、大内遥斗<sup>1</sup>、吉田翔稀<sup>1</sup>、柳等<sup>1</sup>、相原伸平<sup>2</sup>

1) 北見工業大学

2) 国立スポーツ科学センター

## 1 はじめに

カーリングにおける高度な戦術的駆け引きを遂行するための手段のひとつとして「スウィーピング」がある。スウィーピングテクニックは近年多様化する傾向にあり、スウィーピングがストーン挙動に与える影響を客観的に把握することは、競技者にとっても有益である。

しかしながら、ストーン挙動は様々な外的要因の影響を受けるため、スウィーピングの影響を正確に把握するためには他の要因の影響を取り除かなければならない。

関連研究として Sonobe らの研究<sup>1)</sup>があるが、我々は、ストーン挙動に影響を与える外的要因を検討し、実験環境と実験手順を工夫することでこれらの要因を排除することを考える。本稿では、その考え方と小規模な実験結果について報告する。

## 2 ストーン挙動に影響を与える外的要因

スウィーピングには「通常」のスウィーピング、「曲げ」スウィーピング、「リーン」などがあり、ストーンの挙動や停止位置を制御するために使い分けられる。

しかし、ストーンの挙動は複数の外的要因による影響を受けるため、それらの要因を取り除かなければスウィーピング効果は正確に把握できない。

以下、それらの外的要因について述べる。

### 2.1 デリバリーの誤差

デリバリー動作によってショットが始まるが、人間が行う以上、身体バランスや速度、滑走方向に誤差が生じるため、全く同じシ

ョットを繰り返すことは難しい。特に、競技中に発生する微妙な違いが、ストーンの挙動に影響を与える。

### 2.2 ストーンの個体差

競技で使用するストーンには個体差があり、同じスウィーピングを行っても、ストーンごとのクセが挙動や停止位置に影響を与える。このため、全く同じ条件でプレーすることは困難である。

### 2.3 アイスコンディション

ストーンの挙動は、氷面（ペブル）との相互作用で決まる。アイスコンディションは自然現象によって変化し、室温や湿度、外気の影響、アイスメイカーの技術によってもペブルのばらつきや大きさが異なるため、予測や制御が難しい要因である。

### 2.4 スウィーピング動作の誤差

スウィーピング動作には多くのバリエーションが存在し、スライダーやグリッパーなどシューズの状態による違い、ストーンの側面から行うか後方から覆いかぶさるかなど、様々な違いが生じる。これらの要因により、同じスウィーピングでも動作の誤差が発生する。

## 3 実験環境と手順

上述した外的要因が発生する原因を取り除くことによって、できるだけ正確にスウィーピングの影響を測定できる実験方法を提案する。

### 3.1 実験環境

実験は、アルゴグラフィックス北見カーリングホールで行う。本施設には、10種類

の測定分析設備が常設されており、このうちストーントラッキングシステムを用いる。

ストーントラッキングシステム<sup>2)</sup>は、図2のようにシート真上の天井に直列配置された12台のカメラと位置検出用プログラムを搭載した解析用PC同システムは、ストーンハンドルに装着する赤外線LEDで構成される。天井カメラで撮影されたストーンハンドルのLED画像は解析用PCに送信され、一検出用プログラムによって、ストーン中心位置が割り出され、2次元座標としてデータベース保存される。このデータは、専用インタフェース上でショット軌跡として可視化できる。

本システムの測定誤差は、吉田ら[4]によって30mm以下(MAEではX軸方向0.98cm, Y軸方向2.00cm)であることを検証している。

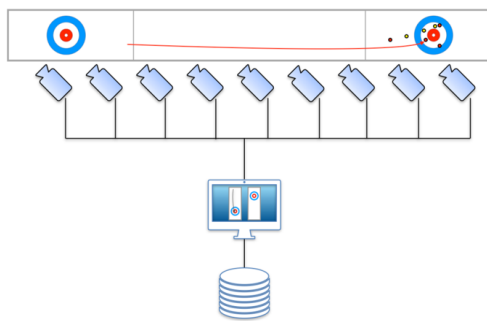


Figure 1 ストーントラッキングシステムの構成



Figure 2 赤外線LEDを装着したストーン



Figure 3 Canadian Rock Thrower (CRT)

デリバリーは、ストーンデリバリー専用設計されたロボットCanadian Rock Thrower (CRT)を用いる。CRTは、並進速度を1mm/s毎、回転速度を1deg/s毎で精密に調整でき、予備実験によりNear Hog(ホッグライン通過時)スピード誤差1cm/s以下、Hog to Hog(ホッグライン間)ラップタイム誤差0.026秒でデリバリーを行うことができることがわかっている。

CRTを用いることにより、デリバリーの誤差がストーン挙動に与える影響を極小化できる。(このロボットは、現在、カナダ・マニトバ州と北見にのみ設置されている。)

実験では、1個のストーンのみを繰り返し用いる。同一ストーンを用いることにより、**ストーンの個体差の影響**を回避できる。

### 3.2 実験手順

我々は、上で述べた実験環境において、スウィーピング効果を分析するための測定実験を実施した。実験の基本手順は、まず、スウィープなしで試行を行、ストーン停止位置を測定する。次に、スウィープありで試行を行、ストーン停止位置を測定する

上のように、「スウィープなし」と「スウィープあり」のショットを交互に実施し、

実験終了後、連続する2つの測定データ対からストーン停止位置の差を求める。これにより、アイスコンディションがストーン挙動に与える影響を極力低減できる。

ストーン速度は、Rock Hawk（専用レーザ計測器）で計測し、Near-HogスピードとHog to Hog（ホッグライン間）ラップタイムを記録した。さらに、回転数、停止位置番号を目視で計測し、実験の模様をビデオカメラで録画した。

#### 4 実験結果

本実験では、スウィーピングを男子エキスパートチーム（チームA）の競技者3名、女子エキスパートチーム（チームB）の競技者5名に実施してもらった。

Table1に測定実験における基本項目を示す。デリバリーについては、回転速度どおしホッグラインから停止までの回転数が3.5~4回転となるように設定し、射出速度をストーン停止位置がホッグラインを超えハウス前方の範囲となるよう調整した。

Table 1 測定実験における基本項目

項目	チームA	チームB
回転速度	90 rad/s	90 rad/s
射出速度 (並進速度)	1,950 mm/s	1,900 mm/s
	1,850 mm/s	1,850 mm/s
		1,800 mm/s
CW (インターン)	8 (8)	17 (15)
CCW (アウトターン)	17 (12)	21 (20)
スウィーピングなし	15 (10)	20 (17)
スウィーピングあり	10 (10)	18 (17)
スウィーピング区間	Hog-Hog	Hog-停止まで

デリバリーの試行回数は63投（チームA

25投、チームB 38投）であった。表の括弧内は分析対象としたデータ数である。

ここで、測定されたn投目（スウィーピングなし）の停止位置座標とn+1投目（スウィーピングあり）の停止位置座標の差をスウィーピングの影響による差と考える。よって、x軸方向の差は「カール幅」を、y軸方向の差は「ノビ」を意味する。

まず、通常スウィープの結果についての述べる。x軸方向については、チームAでは、カール幅の絶対値平均は、アウトターン（8投）が0.12m、インターン（2投）が0.07mであった。チームBでは、アウトターンが0.23m、インターンが0.22mであった。

y軸方向については、チームAでは、ノビの絶対値平均はアウトターンが0.99m、インターンが1.79mであった。チームBには、アウトターンが2.35m、インターンが1.52mであった。

次に、リーンの結果について述べる。x軸方向については、チームAでは、カール幅絶対値は1回目が0.16m、2回目が0.01m、絶対値平均は0.08mであった。チームBでは、カール幅絶対値は1回目が0.24m、2回目が0.25m、3回目が0.08m、絶対値平均は0.19mであった。

y軸方向については、チームAでは、ノビ絶対値は1回目が2.03m、2回目が0.27m、絶対値平均は1.15mであった。チームBでは、ノビ絶対値は1回目が3.44m、2回目が0.80m、3回目が0.60m、絶対値平均は1.61mであった。

## 5 考察

今回は試行回数が少ないため、統計的に厳密な判断はできないが、ある程度定量的な傾向が見られた。

まず、通常スイープについては、従来から認識されている通り、ノビへの影響が大きいことが分かった。しかし、アウトターンの結果は、男子よりも女子の方がノビの影響が1.46m大きく、「身長や体重の大きければスウィーピング力も大きくなる」という従来の経験則と一致しない。

我々は、この原因がスウィーピング区間の違いによるのではないかと考え、チームAにチームBと同じ条件（ホッグラインから停止位置までの区間）でスウィーピングしてもらって試行を行なった。

その結果、Y軸方向絶対値は2.88mが計測され、Hog-Hog区間のスウィーピングの2.9倍のノビが確認できた。今回は、追加した試行が1回のみであるため断定はできないが、ストーン停止までの後半区間のスウィーピングが非常に強い影響があることが示唆された。

リーンについては、カール幅に対する影響は通常スイープよりも小さかったが、ノビへの影響では1回目に大きな影響があるが、2回目以降では影響が極端に小さくなる特徴が見られた。これは、リーンが常にパッド面を氷面に押し付けるテクニックであるため、1回のスウィーピングで他のスウィーピングよりも遥かにペブルを摩耗させ、結果として2回目以降では効果が得難くなったためと考えている。

## 6 おわりに

本稿では、ストーンの挙動に影響を与える外的要因を検討し、アルゴグラフィックス北見カーリングホールの測定設備を活用することでそれらの影響を回避する実験プロトコルを考えた。そして、実際に小規模な実験を実施して結果を考察した。

今後は、実験を繰り返して測定データを拡充し、より詳細な分析を進めていく。

**謝辞** 実験実施にあたり、協力頂いたエキスパート2チームの皆様、実験プロトコル立案に先立ち貴重な助言を下された Cargill Curling Training Centre の Lorne Hamblin 氏と Chris Hamblin 氏に、謹んで感謝の意を表す。また、本研究の一部は、スポーツ庁委託事業「先端技術を活用した HPSC 基盤強化事業」の助成を受けて実施した。

### 参考文献

- 1) H. Sonobe, Y. Aoki, O. Miya, K. Murata, E. Ogihara, Y. Okawara, S. Ozaki, N. Tomizawa, J. Murata: Sweeping effects on curling and friction estimation, *Sports Engineering* 27, 31 (2024).
- 2) Y. Takegawa, N. Sasaki, S. Aihara, F. Masui: Development of a Curling Stone Tracking System Using Infrared LEDs, and an Accompanying Application. *icSPORTS2023*: 136-143 (2023).
- 3) 吉田, 榊井, 相原, 柳, プタシンスキ: ストーントラッキングシステムの有効性向上のためのデータ分析に関する研究, *スポーツ情報学シンポジウム, 情報研報 (SI)*, 2024-SI-1(15), 1-2(2024).

# カーリングにおける局面重要度可視化のための Leverage Index の導入

○今野雄太<sup>1</sup> 野口渉<sup>2</sup> 田村康将<sup>3</sup> 相原伸平<sup>4</sup> 山本雅人<sup>3</sup>

- 1) 北海道大学 工学部
- 2) 北海道大学 数理・データサイエンス教育研究センター
- 3) 北海道大学 大学院情報科学研究院
- 4) 国立スポーツ科学センター

## 1 背景と目的

Leverage Index (以下, LI) とは, 野球において特定の試合状況が試合結果に与える影響を定量化するために使用されている指標であり, 試合の緊張感や戦略的重要性を示す役割を果たしている. LI は, 統計的指標であり, 任意の試合状況の平均的勝率変化に対するその試合状況の平均勝率変化の比として定義される. 1 が平均的な局面であり, 値が 2 であれば, その局面での結果が勝率に与える影響が平均的な局面に比べ 2 倍大きいことを表す.

本研究の目的は, LI の概念をカーリングに適用し, 各ショットやエンドにおける局面の重要度を可視化することである. これにより, 観戦者の試合理解を深めるとともに, 観戦体験の向上を図ることが期待できる.

## 2 提案手法

本研究では, 野球における LI の算出方法 [1] をもとに, カーリングへ適用する方法について論じる. LI は試合状況に応じた勝率 (Win Probability, WP) [2] の変化をもとに算出され, 局面が試合結果に与える影響を定量化する指標である. カーリングでも同様に, 各エンド終了時の得点分布にもとづいて LI を計算する方法を提案する.

### 2.1 野球における LI

野球において, ある局面の LI を算出するには, まずその局面での平均勝率変化を算

出する. 求める LI の局面を  $x_i$ , その直後の局面を  $x_{i+1}$  とし,

$WP(x_i)$ : 局面  $x_i$  における勝率

$WP(x_{i+1})$ : 局面  $x_{i+1}$  における勝率

$P_{i,i+1}$ : 局面  $x_i$  から局面  $x_{i+1}$  への遷移確率

を定義する.

局面  $x_i$  の前後での勝率変化の平均を  $\Delta WP_{x_i}$  とすると, これは

$$\Delta WP_{x_i} = \sum_{x_{i+1}} |WP(x_{i+1}) - WP(x_i)| \times P_{i,i+1}$$

となる. また, ある局面を  $x_k$ , その局面の発生割合を  $P(x_k)$  とすると, 任意の局面での平均勝率変化の加重平均  $\Delta WP_{avg}$  は,

$$\Delta WP_{avg} = \sum_{x_k} \Delta WP_{x_k} \times P(x_k)$$

と定義され, 過去の膨大な試合データを用いて計算される.

以上の結果を用いて, 野球における局面  $x_i$  での Leverage Index  $LI_{x_i}$  は

$$LI_{x_i} = \frac{\Delta WP_{x_i}}{\Delta WP_{avg}}$$

と計算できる.

### 2.2 カーリングにおける LI

野球では局面  $x_i$  の LI を求めるためには,

- (1) 局面  $x_i$  における勝率
- (2) 局面  $x_{i+1}$  における勝率
- (3) 局面  $x_i$  から局面  $x_{i+1}$  への遷移確率が

必要であった. しかし, カーリングではショット前の局面  $s_i$  の時点でショット後の局面  $s_{i+1}$  における勝率を求めることが困難

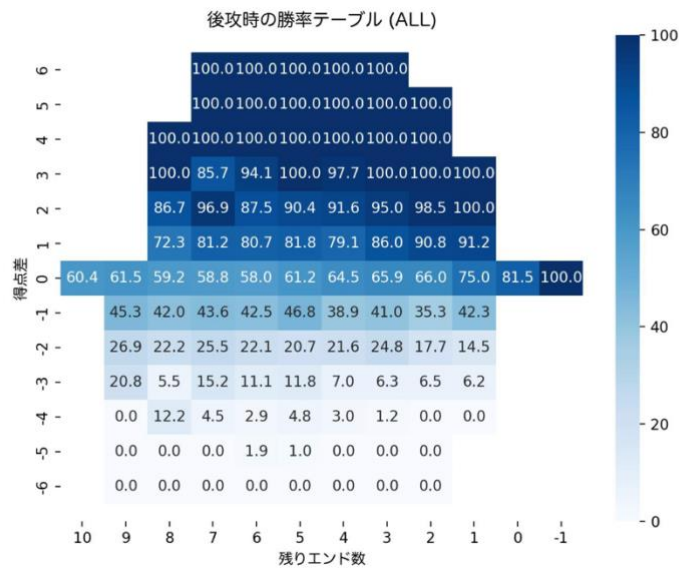


Fig. 1 Sorce: Yamamoto, et al. "Data analysis based on win probability table in curling" (2023) [3]

であるため、LI を直接的に定義できない。一方で、カーリングではエンド終了時の期待勝率[3]が計算できるため、期待得点分布[4, 5]および勝率テーブル[3]を用いることで、エンド終了時の勝率からLIを求める方法を考える。

期待得点分布とは、任意の局面情報から予測される、エンド終了時に得られる得点の確率分布である。得点は、-8点から+8点までであるため、これら17通りの確率分布である。また、勝率テーブルとは、得点差と残りエンド数、次のエンドが後攻か先攻か、の状況によって、あるチームの期待勝率を統計的に算出したものである。勝率テーブルの例として、カーリング女子トップチームの過去2000試合以上の試合経過から算出されたものを図1に示す。

局面から期待得点分布が得られるため、各得点が得られる確率がわかる。その得点

が得られたときのエンド終了時の得点差、残りエンド数、次のエンドが先攻か後攻かの情報から勝率テーブルを参照することで、各得点が得られたときの勝率がわかる。これら、各得点が得られる確率と各得点が得られた時の勝率を掛けて足し合わせたものが、局面の勝率となる。

一方で、ショット前の局面の勝率は求められるが、ショット後のストーンの位置が無数に考えられるため、ショット後の局面の勝率を求めるのは困難である。そこで、ショット後ではなく、エンド終了時の勝率を求め、ショット前の勝率との勝率変化を考える。

期待得点分布と勝率テーブルを用いて、カーリングにおける局面 $s_i$ のLIを

- (1) 局面  $s_i$  の勝率  $WP(s_i)$
- (2) 局面  $s_i$  のエンド終了時に得点  $k$  が得られた場合の勝率  $WP_{end}(s_i, k)$

(3) 局面  $s_i$  においてエンド終了時に得点  $k$  となる確率  $P_{s_i,k}$

から求める。

局面  $s_i$  における勝率  $WP(s_i)$  は、各得点を得られた場合の勝率と局面  $s_i$  のエンド終了時に各得点となる確率を掛けて足し合わせて

$$WP(s_i) = \sum_{k=-8}^8 WP_{end}(s_i, k) \times P_{s_i,k}$$

となる。局面  $s_i$  のエンド終了時に得点  $k$  が得られた場合の勝率  $WP_{end}(s_i, k)$  は、図 1 のような勝率テーブルから求められる。

局面  $s_i$  からエンド終了時までの勝率変化の平均を  $\Delta WP_{s_i}$  とすると、これは

$$\Delta WP_{s_i} = \sum_{k=-8}^8 |WP_{end}(s_i, k) - WP(s_i)| \times P_{s_i,k}$$

となる。また、ある局面を  $s_k$ 、その局面の発生割合を  $P(s_k)$  とすると、任意の局面での平均勝率変化の加重平均  $\Delta WP_{avg}$  は、

$$\Delta WP_{avg} = \sum_{s_k} \Delta WP_{s_k} \times P(s_k)$$

と定義される。任意の局面を考えるため、デジタルカーリング[6]の試合シミュレーションを繰り返して蓄積した数値を用いて計算する。

この際、試合シミュレーションで生じたすべての局面が異なるものとして扱い、 $P(s_k)$  は等確率であると仮定する。したがって、試合シミュレーションで生じた局面回数が  $N$  回のとき、 $\Delta WP_{avg}$  は

$$\Delta WP_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \Delta WP_{s_k}$$

となる。

以上の結果を用いて、カーリングにおけ

る局面  $s_i$  での Leverage Index  $LI_{s_i}$  は

$$LI_{s_i} = \frac{\Delta WP_{s_i}}{\Delta WP_{avg}}$$

と計算できる。

LI を求める際、野球では、局面  $x_i$  とその直後の局面  $x_{i+1}$  の平均勝率変化を測ったのに対し、カーリングでは、局面  $s_i$  とそのエンド終了時の平均勝率変化を測っている点異なる。

### 3 今後の展望

本研究は現在提案の段階にあり、現在はカーリングにおける LI の計算方法について理論的検討を進めている。次の段階としては、必要なデータの収集や LI 計算モデルの実装を計画している。さらに次の段階としては、実際の試合データをもとに計算モデルの妥当性を検証し、試合における LI の有用性を確認することを計画している。

この LI の導入により、カーリングの試合において重要な局面を明確にし、特にカーリングに不慣れな観戦者に対して試合状況の理解を促進することが期待される。また、これにより、観戦者の興味を高め、競技への関心や観戦体験を向上させることができると考えている。

### 謝辞

本研究はスポーツ庁委託事業「先端技術を活用した HPSC 基盤強化事業」の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] Fangraphs, Crucial situations,  
<https://tht.fangraphs.com/crucial-situations/> (2024.10.22 閲覧)
- [2] 鳥越 規央, Win Probability Added in Sabermetrics, 数理解析研究所講究録 第1703巻 (2010)
- [3] 山本 雅人, 野口 渉, 相原 伸平, カーリングにおける勝率テーブルを用いたデータ分析, 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 2023 講演論文集 (2023)
- [4] 山本 雅人, 伊藤毅志, 榎井文人, 松原 仁, カーリングとAI, 会誌「情報処理」 vol. 59 No. 6 (2018)
- [5] 安宅耕太郎, 飯塚博幸, 山本雅人, デジタルカーリングにおける局面に対する期待得点分布の学習, 情報処理学会第42回ゲーム情報学研究会, Vol. 2019-GI-42, No. 6, pp. 1-5 (2019)
- [6] 電気通信大学情報理工学研究科伊藤毅志研究室, デジタルカーリング,  
<http://minerva.cs.uec.ac.jp/cgi-bin/curling/wiki.cgi>, (2024.10.22 閲覧)



# 新戦術発見のための強化学習によるカーリング戦術 AI の開発

○千葉麟太郎<sup>1</sup>, 野口渉<sup>1</sup>, 田村康将<sup>1</sup>, 相原伸平<sup>2</sup>, 山本雅人<sup>1</sup>

1) 北海道大学

2) 国立スポーツ科学センター

## 1. 背景と目的

カーリングは、それぞれ 4 人で構成された 2 つのチームが交互にストーン(石)を氷上に滑らせるショットという行動をし、ハウスと呼ばれる円状領域の中心に最も近い場所を確保し合うことで得点を競うウィンタースポーツである。ベーシックなルールでは、エンドという両チーム 8 投ずつの区切りを 8 回 (または 10 回) 繰り返すことで 1 試合が構成される。また、目標とする得点を目指す上で、相手チームの思考も考慮して、各エンド計 8 投のショットを組み立てる必要があるという戦略性の高さから、カーリングは“氷上のチェス”と称されることもある。チェスや将棋のようなゲームに定石が存在するのと同様に、カーリングにおいても定石に相当するような戦術が複数存在している。

そこで本研究では、現行の戦術に匹敵する新たな戦術の発見を目的とした AI 開発を行う。ここで、教師データに現実の試合記録等を用いる場合、AI が生成する戦術は現行の戦術に近いものになるという仮定のもと、ゼロベースから教師データなしの自己対戦によって強化学習を進める戦術 AI の作成を試みる。同様の手法で大きな成果を上げた例に DeepMind 社開発の AlphaZero が挙げられるが、当該 AI はゼロベースから現行の戦術の発見に至っただけでなく、それらとは異なる新たな戦術を発見したとの報

告もされている [1]。したがって、教師データを用いない強化学習というアプローチには、新戦術発見の可能性が存在していると考えられる。

## 2. 方法

AI の開発は、電気通信大学の伊藤毅志研究室を中心に開発が進められているデジタルカーリング [2] というプラットフォームを利用する。これは、カーリングをコンピュータ上に再現し、カーリング AI の開発や対戦を行うために提供されているものである。本研究ではその最新バージョンである DigitalCurling3 に沿うことにする。



Fig 1. DigitalCurling3 の GUI [2]

開発する AI は、前述の AlphaZero を参考にした教師なし自己対戦深層強化学習をベースとする。ただし、AlphaZero が対象とするゲームとカーリングには異なる点が特に 2 つ存在しているため、それらへの対応が必要となる。

1 つ目は、不確定性が存在する点である。カーリングは、氷やストーンのコンディションによってショットの結果が変化するため、行動の結果にランダム性を含む不確定ゲームに分類される。不確定性への対応として、先行研究を参考に、(a)カーネル回帰を組み込んだモンテカルロ木探索[3]、及び(b)Expectiminimax 法による探索[4]の2つの手法をそれぞれ取り入れた異なるモデルを作成する予定である。各手法の概略を以下に記述する。手法(a)は、従来のモンテカルロ木探索でのUCT (Upper Confidence Tree)アルゴリズムにカーネル回帰の考えを取り入れたもので、確率的に近いと判断された方策同士の間隔を考慮することが可能になる。一方手法(b)は、従来のMinimax法にチャンスノードと呼ばれるノードを追加した探索手法である。チャンスノードの重みは、以降の子ノードの評価値とその生起確率から算出される評価値の期待値であり、このノードによって探索を期待値が最大になる方向に進めることが可能になる。

2 つ目は複数のエンドの繰り返しで1試合が構成されている点である。各エンドの終了時には得点が計算され、局面をリセットした上で次のエンドに移行する。したがって、深層学習部分で算出する局面の評価値は、試合の期待勝率ではなくエンドの期待得点分布とする手法等によって対応する。さらに、各エンドは独立したものではなく、それ以前のエンドの結果に基づき、目標とする得点変動する。これに対しては、過去のエンド情報を深層学習の特徴量として入力するか、残りエンド数と得点差の各組み合わせに応じた勝率テーブルを探索する際に利用する手法等によって対応する。

最後に、AI の構築および学習が完了したのちに、AI の獲得した戦術の分析を行う。ま

ず、どのような新戦術が生み出されたのかという点は、従来の戦術が多用される局面を複数用意し、その局面に対してのショットを繰り返し確認することで分析する。ここで、現行の戦術以外の特定ショットが多用されている場合は、そのショットを新たな戦術と解釈する。以上の分析を終えたのちに、実際の試合データで学習した同構造のAI もしくは、現行戦術を使用するヒューリスティック AI と対戦させ、新戦術と現行戦術を比較して評価する。

### 3. 研究の進行状況

本稿執筆時点では目的とするAI は完成に至っていないため、この項ではAI の設計とその実装状況を記述する。

本研究のAI の要素を役割ごとに分解すると以下ようになる。

- (1) シミュレーター部
- (2) 深層学習部
- (3) 探索部
- (4) 自己対戦部
- (5) 学習サイクル管理部

現段階では(1)～(3)がほぼ完成と呼べる状態にあり、(4)と(5)については制作途中である。

### 4. 今後の展望

本稿執筆時点では結果が得られていないため、この項では本研究の展望を記述する。本研究ではAlphaZeroを参考にAI の深層学習部分をResNet[5]ベースのものにする予定であるが、今後この部分をTransformer[6]に置き換えたモデルの作成も試みる。Transformerは自然言語処理で威力を発揮しているように、入力データ全体の文脈や部分部分の関連性を捉えることを得意とする。したがって、各ショットが最終

的な得点にどのような影響を与えるのかを考慮し, エンド全体の流れを汲んだ学習を高い水準で行える可能性がある. これは, より効果的な新戦術を見出せる可能性を示唆しており, カーリングの戦術 AI においても大きな活躍が期待できると考えている.

#### 謝辞

本研究はスポーツ庁委託事業「先端技術を活用したHPSC 基盤強化事業」の助成を受けたものです.

#### 参考文献

- [1] David Silver, et al.: Mastering the Game of Go without Human Knowledge, Nature Vol. 550 (2017).
- [2] 電気通信大学情報理工学研究科伊藤毅志研究室: デジタルカーリング, (<http://minerva.cs.uec.ac.jp/cgi-bin/curling/wiki.cgi>) (参照 2024-10-14).
- [3] Kywoon Lee, Sol-A Kim, Jaesik Choi, Seong-Whan Lee: Deep Reinforcement Learning in Continuous Action Spaces: a Case Study in the Game of Simulated Curling, Proceedings of Machine Learning Research Vol. 80 (2018).
- [4] 加藤修, 飯塚博幸, 山本雅人: 不確定性を含むデジタルカーリングにおけるゲーム木探索, 情報処理学会論文誌 Vol. 57 (2016).
- [5] Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun: Deep Residual Learning for Image Recognition, 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2015).
- [6] Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Lukasz Kaiser, Illia Polosukhin: Attention Is All You Need, Advances in Neural Information Processing Systems 2017 (2017).

# カーリング AI の局面評価関数における Transformer の活用

○岩崎智也<sup>1</sup>, 野口渉<sup>1</sup>, 田村康将<sup>1</sup>, 相原伸平<sup>2</sup>, 山本雅人<sup>1</sup>

1) 北海道大学

2) 国立スポーツ科学センター

## 1. 背景と目的

カーリングは氷上のチェスとも呼ばれるほど戦略性の高いスポーツである。この戦略の評価を行うために、コンピュータ上でカーリングをシミュレートするデジタルカーリングというプラットフォームが存在する[1]。シミュレータで検証した戦術を現実のカーリングに適用することが期待されており、カーリング AI の研究が盛んにおこなわれている。

カーリング AI の 1 つに、エンド終了時の各得点が得られる確率である期待得点分布によって、候補手の探索を行うものがある。従来のモデルでは期待得点分布を単純な全結合層のみをもつニューラルネットワークによって予測していた[2]。しかし、そのモデルではハウス上の盤面の複雑さによって予測精度が大きく下がってしまう問題点が存在した。そこで、本研究では期待得点分布の予測に言語処理[3]、画像分類[4]など近年様々な分野で活用されている Transformer を用いる。

## 2. 方法

局面評価関数は入力として、シート上の 15 個のストーン配置と得点差や残りエンド数が与えられる(表 1)。出力は -5 点以下, -4 点, -3 点, ..., 0 点, ..., 4 点, 5 点以上の 11 次元の期待得点分布である。今回作成したモデルの概要を図 1 に示す。モデルでは Transformer のエンコーダのみを用いる。15 個のストーンと試合状況はそれぞれ 1 つのトークンとなる。つまり、エンコーダには毎回 16 トークンが入力されることとなる。これらのトークンは全結合層で次元数をそろえた後、Encoder に入力される。Encoder の出力は全結合層に入力され、出力は softmax 関数によって 11 次元の期待得点分布となる。比較のため用いる従来のモデルの概要も図 2 に

示す。従来のモデルはストーン配置と試合状況をまとめて全結合層に入力する。

学習に用いる期待得点分布はデジタルカーリング上のシミュレートによって作成する。ストーン配置毎にすべての候補手のシミュレーションを行い、得点差と残りエンド数から最も勝率の高くなるショットを複数回シミュレートし、期待得点分布を得る。今回は学習データとしてアルゴリズムによって生成されたストーン配置と現実の試合データから取得したストーン配置を学習データに用いる。データ数は生成されたデータが 15000 で取得したデータが 4650 である。ここで、ストーン配置はセンターラインに線対称であるため、今回は x 座標のみを反転させたデータも作成した。ストーン配置 1 パターンにつき、得点差が -2 以下から 2 以上までの 5 通り、残りエンド数が 3 以上から 0 までの 4 通りの計 20 通りの期待得点分布を作成した。

学習は 2 段階で行う。1 段階目は生成されたストーン配置から作成されたデータにより学習を行う。2 段階目は現実のストーン配置から作成されたデータにより、1 段階目で学習したモデルのファインチューニングを行う。現実のストーン配置は Curlit 社によって提供されている Results Book から取得した[5]。それぞれの学習パラメータを表 2 に示す。なお、2 段階目の学習回数は Transformer で 20 回、従来のモデルで 200 回である。検証データは 100 パターンのストーン配置から作成した 4000 のデータであり、Transformer と従来のモデルで同じものを用いる。

Table1. 入力データ

データ	内容
ストーン	X 座標 Y 座標
	ハウスからの距離 色
試合状況	得点差 残りエンド数

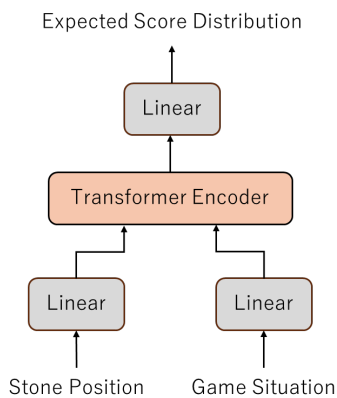


Fig.1 Transformer を用いたモデル

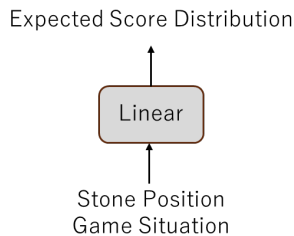


Fig.2 従来のモデル

Table2. 学習時のパラメータ

パラメータ	1 段階目	2 段階目
学習率	1e-5	1e-5
エポック数	100	-
バッチサイズ	1024	1024
損失関数	MSE	MSE
最適化関数	Adam	Adam
データ数	582000	182000
検証データ数	4000	4000

### 3. 結果

まず、それぞれの2段階目の学習の loss の推移図3に示す。図3の左が従来のモデル、右がTransformerである。2つを比較するとTransformerは0.02以下、従来のモデルは0.025と明確にTransformerモデルのlossが低くなっている。

次に、検証データで2つのモデルの比較を行う。

図5は左から入力されるストーン配置、正しい期待得点分布、従来のモデルの予測した期待得点分布、Transformerの予測した期待得点分布である。図5のストーン配置では自チームのストーンを赤、相手チームのストーンを黄色で示している。また、試合状況は残りエンド数が1で得点差が0である。この状況での最善手は黄色のNo.1ストーンをテイクアウトしつつ、ショットストーンをNo.3までのストーンに残すことである。最善手をショットした場合は最も左の期待得点分布となる。つまり、このショットによって容易に3点を獲得することができる。

図5の従来のモデルの予測した期待得点分布では正しい期待得点分布と比較して全く異なる分布となっている。このように、従来のモデルはストーン配置が複雑であると、実際の状況の複雑さにかかわらず正確な予測ができなくなってしまう。一方、Transformerの予測した期待得点分布では多少の差異はあるものの正しい期待得点分布と同じ傾向を予測できている。つまり、Transformerは従来のモデルでは対応できなかった複雑なストーン配置をもつ局面に対応可能である。

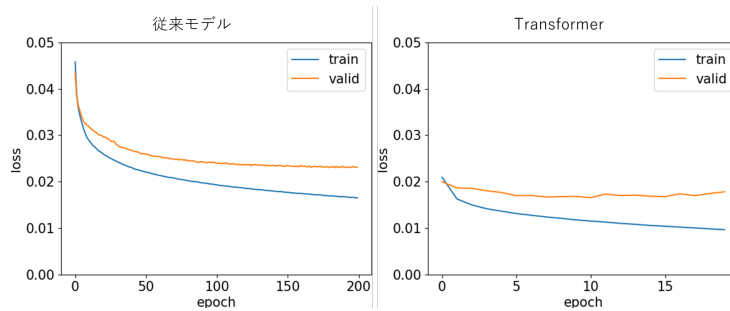


Fig.3 Transformer の loss の推移

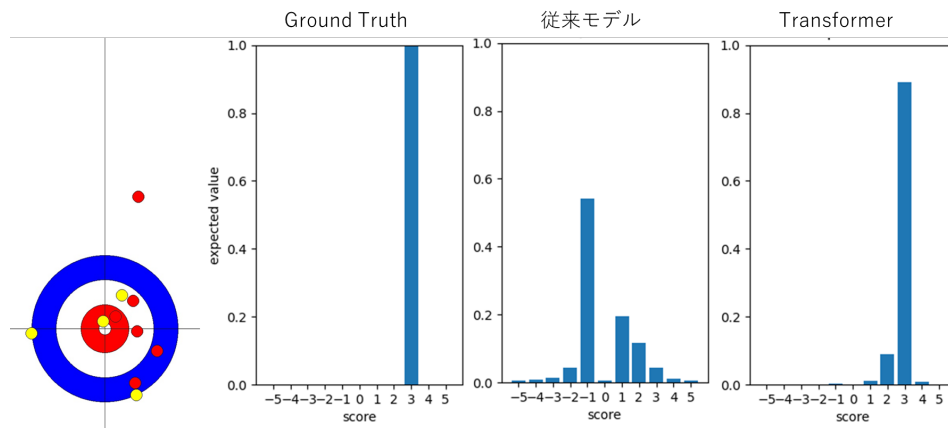


Fig.4 ストーン配置と期待得点分布

#### 4. 考察

#### 参考文献

今回はカーリング AI の局面評価関数のモデルに単純なニューラルネットワークに代わり Transformer を用いた。結果、従来のモデルを上回る予測精度を得ることができた。これは、トークン間の関係性を捉える Transformer の性質が、ストーン間の相互の位置関係の把握が重要なカーリングの予測タスクに適合したためであると考えられる。今回は 1 例のみの検証であったため、今後、さらなる検証を行っていききたい。最終的には、このモデルを用いてカーリング AI の作成を進めていきたい。

#### 謝辞

本研究はスポーツ庁委託事業「先端技術を活用した H P S C 基盤強化事業」の助成を受けたものです

- [1] 上原嘉織 伊藤毅志 (2021) 実環境データに近づくデジタルカーリングのシミュレータの改良, 研究報告ゲーム情報学 Vol.46,No.18,pp.1 8
- [2] 岩崎ほか (2023) 得点差と残りエンド数を考慮したカーリングの局面評価関数の学習と勝率予測, スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集 Vol.2023,pp.A-1-3
- [3] Vaswani, A et al. (2017) Attention Is All You Need, Advances in Neural Information Processing Systems
- [4] Dosovitskiy, Alexey et al. (2021) An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale, arXiv preprint arXiv:2010.11929
- [5] CURLIT (2024) Curling Results, <https://curlit.com/results>

# ストーントラッキングシステムの支援環境の整備と 応用可能性に関する考察

○吉田翔稀<sup>1</sup>, 梶井文人<sup>1,2</sup>, 相原伸平<sup>2</sup>, 柳等<sup>1</sup>, プタシンスキ ミハウ<sup>1</sup>

1) 北見工業大学

2) 国立スポーツ科学センター

## 1. はじめに

カーリングは戦略性の高いスポーツといわれるが、戦術のみならず、選手には高い技術も求められる。しかしながら、その技術は選手個々の感覚や経験に依る側面も強い。そのため、技術面に関する要素を客観化して分析する技術は有益である。

その一つに、カーリング石の軌道をリアルタイムで計測してデータ化し、PC画面上に軌跡として可視化する技術がある[1]。アルゴグラフィックス北見カーリングホールで運用されている「ストーントラッキングシステム」はその実用事例であり、競技者の技術支援やカーリング支援研究の実験計測に活用されている。

これまでに、本システムの検証を行い、補正によって測定誤差はMAEで1cm以下に抑制できることを確認している[2]。

しかしながら、システムには課題が存在する。競技者やコーチは、工学やデータサイエンスに関する高度な知識を習得していない場合が多いため、測定結果を直感的に把握できる可視化出力が必要である。そのためこれまで、pythonによって測定データを変換し、それをExcelファイルのアイスイメージ上に出力してきたが、複数の軌跡を並べて比較できても、軌跡の重ね合わせには手作業が必要な点や、比較対象を変更するには再度ファイルを生成しなければいけないため、ユーザーが柔軟に対象を選択し比較を行えないという課題がある。

本報告では、上記課題を解決するため、JavaScriptによって複数の軌跡をブラウザベースで比較できる手法を確立した。

そして、可視化手法を含めた本システムを、使用目的が異なる簡易トラッキングシステムと比較することで、本システムを用いた競技支援の可能性を検討する。

## 2. ストーントラッキングシステム

ストーントラッキングシステム(STS)は、アルゴグラフィックス北見カーリングホールに設置されており、シートと呼ばれる氷で作られた競技エリア直上の天井に、縦方向に一行に間隔に真下に向くように設置された12台の赤外線カメラと、石のハンドルに固定できる赤外線LEDモジュール、赤外線カメラで撮影したLEDモジュールの光点を検出して位置情報を割り出して記録する解析用PCで構成されている。

本システムは、シート面に格子状の2次元座標をマッピングし、最も近い格子点に基づいて石の位置を2次元座標で認識する。さらに、2つの光点を測定してその中点を算出し、石の位置座標として記録する。赤外線LEDモジュールは石の直径の両端に1個ずつ設置し、石の移動に応じて赤外線カメラを切り替えることで石の位置座標を連続的に測定する。その結果、測定時間毎の2次元座標リストとして出力され、利用者がショット情報を把握し易くするために、測定結果は軌跡として再現、可視化される。(Fig.

1).

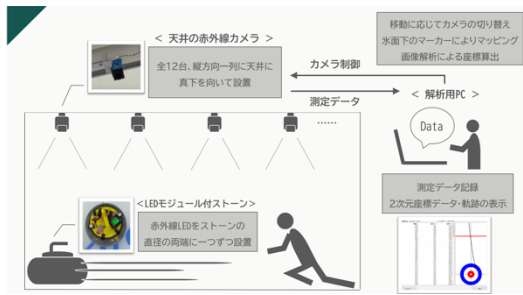


Fig.1 ストーントラッキングシステムの構成

### 3. 複数軌跡データの可視化・分析手法

システムのユーザビリティ向上のため、自動的に複数軌跡データの可視化・分析できる手法を提案する。

基本的なアイデアとして、Fig.2 に手法の処理の流れを示す。

本手法は、(1) ファイル入力、(2) データ抽出・算出、(3) データの表示、の3ステップから構成される。

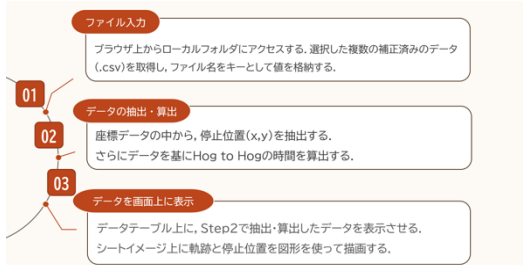


Fig.2 可視化手法のフロー

ユーザーはまず、比較を行いたい補正済みショットデータファイル(.csv)の選択をブラウザ上で行う。ファイルが選択されると、画面上のテーブルに、そのファイル名と停止位置のx及びy座標、Fig.3に示すホッグライン間(HtoH)の時間データに加え、軌跡の表示・非表示を選択するチェックボックスや軌跡の色選択を行うUIが追加される。

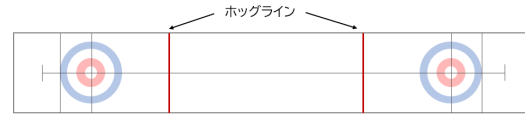


Fig.3 シートイメージ

また画面上には、STSが設置されているアルゴグラフィックス北見カーリングホールのシートサイズを縮小したイメージが表示されており、ここでショット軌跡の確認を行う。この範囲をスクロールすることによって軌跡の全体を把握することができる。

これにより、計測したショットの各要素に対して視覚的、定量的な分析を柔軟に行える。実装前後のUI比較をFig.3,4に示す。

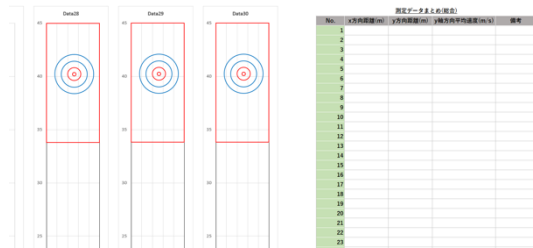


Fig.3 実装前：出力用テンプレート (.xlsx)



Fig.4 実装後：ブラウザによる可視化手法のUI

### 4. 実用場面の検討

STSの実用性を検討するために、ポータビリティを重視した簡易トラッキングシステム(簡易S)を試作して対照実験を実施した。

簡易Sは、ポータビリティを重視し、Yolo[3]をベースにした、カメラ1台のみで撮影したストーン画像を処理してストー



ンの位置情報を推定するシステムである。

これらのシステムについて測定性能を比較することで、STS の実用面における有効性が明らかになると考えられる。

#### 4.1. 比較データの取得

実験では、ストーンのデリバリーロボットである Canadian Rock Thrower によって投げられた計 41 投のショットに対し、STS と簡易トラッキングシステムの技術を試験的に応用した手法、人手によるレーザー測定によって 3 種類の位置情報を三日間にわたって取得した。その後、レーザー測定を実座標とし、各システムの測定情報を比較した。なお、比較の際にはどちらのシステムも実座標と比較できるように座標系を変換した。

さらに Rock Hawk と呼ばれる、ストーン速度計測器によって、その内 15 投のホッグライン間 (HtoH) の通過時間を計測し、同様に各システムの測定結果と比較した。

#### 4.2. 比較の結果

Table1 に、比較の結果を示す。

Table 1 ストーントラッキングシステムの性能

項目	STS	簡易 S
x 座標 MAE (m)	0.006	0.014
x-誤差 Max (m)	0.021	0.050
y 座標 MAE (m)	0.015	0.104
y-誤差 Max (m)	0.038	0.248
HtoH MAE (s)	0.158	0.625
HtoH Max (s)	0.269	0.700

x 座標誤差に着目すると、STS が平均 6mm, 最大値 2cm で、簡易 S は平均 1.4cm, 最大 5cm で、STS のほうが良い精度であるものの大きな差はない。一方で、y 座標の

誤差においては STS が平均約 1.5cm に対し、簡易 S は約 10cm, 最大値をみると、STS が約 4cm で、簡易 S は約 25cm だった。ストーンの直径が約 30cm と考えると、非常に大きい誤差である。

また、HtoH の経過時間に関しても、STS のほうが精度はよく、誤差は簡易 S に比べ 1/4 程であった。

Fig.5 にハウス中心を基準とした 17 個の簡易トラッキングシステムのデータ (同日計測) を示す。

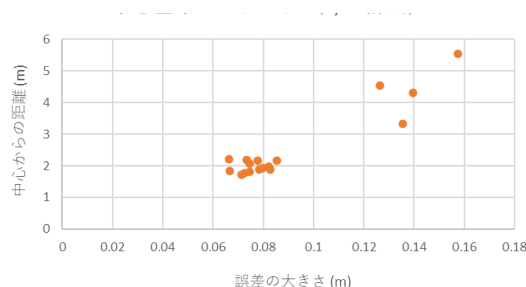


Fig.5 中心基準の簡易 S データ

これを見ると、キャリブレーションポイントであるハウス周辺の精度は良いものの、そこから距離が離れるほど誤差は大きくなるため、投げ始めの座標信頼度は低いことが推察できる。

#### 5. 考察

実装した複数軌跡データの可視化手法によって、重ね合わせによる複数ショット軌跡の比較が容易となった。さらに、データ選択も容易となったことから、応答性・視認性共に従来手法より向上した。

さらに、ブラウザベースのインターフェースを実装したことで、データベースを活用して遠隔地からのデータ参照が可能になるほか、選手毎あるいはチーム毎のデータ管理やデータの関連付けが可能となる。

Table 2 STS と簡易 S の比較

項目	STS	簡易 S
ポータビリティ	-	◎
精度	○	△
応答性	△	△
キャリブレーション の安定性	◎	△

Table2 に STS と簡易 S の比較を示す。Table2 は、STS を簡易 S と比較し、その優位性を比較したものである。

まず、ポータビリティについては、両者の目的が異なるため、簡易 S が優れているが、精度は STS の方がより高い。

応答性では、測定データの軌道分析を行う場合は、両システムともに可視化ツールを使用する必要があるため、リアルタイムのフィードバックに対し、課題がある。

3 日間のデータ計測の中で、簡易 S の精度が日によって異なる状況が確認できた。

この原因として、簡易 S はカメラ設置時に、その都度視野角のキャリブレーションが必要であり、その際に生じるカメラ画角や設置位置、角度等、微妙な設置誤差の影響を受けてしまうことが考えられる。これに対し、STS はカメラが天井に固定されているため、この種の影響は回避できる。

以上の結果から、STS は、全体の測定精度、投げ始めからの単位時間毎の座標位置の信頼性において精緻であり、スウィーピングやデリバリーといった競技動作の精密な測定や比較、研究活動におけるストーンの軌道分析やストーン固有の特性などの分析に貢献できると考えられる。

## 6. おわりに

本報告では、ストーントラッキングシステムのユーザビリティ向上のための複数軌跡データの可視化・分析手法を提案し、仕様目的の異なる簡易トラッキングシステムと比較することで、STS を用いた競技支援の可能性について検討した。

今後は、可視化手法については利便性を重視して細かな機能修正と、選手や指導者からのフィードバックに基づいてユーザビリティを向上させる機能拡張を進めていく。さらに、より高度な画像解析手法の適用により、複数ストーンの同時認識や他の測定システム<sup>1</sup>との連携を目指す。

**謝辞** 本研究はスポーツ庁委託事業「先端技術を活用したHP S C基盤強化事業」の助成を受けたものです。

### 参考文献

- 1) Y. Takegawa, N. Sasaki, S. Aihara, F. Masui: Development of a Curling Stone Tracking System Using Infrared LEDs, and an Accompanying Application. icSPORTS2023: 136-143 (2023).
- 2) 吉田, 榊井, 相原, 柳, プタシンスキ:ストーントラッキングシステムの有効性向上のためのデータ分析に関する研究, スポーツ情報学シンポジウム, 情処研報 (SI), 2024-SI-1(15), 1-2(2024)
- 3) J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi: You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, Proc. of CVPR2016 (2016).  
<http://pjreddie.com/yolo/>

<sup>1</sup><https://www.kitami-curlinghall.info/system/>

# 足圧分布に基づく カーリング・デリバリー動作の競技レベルの特徴について

○瀬川 都和<sup>1</sup>，榊井 文人<sup>1</sup>，生田 泰志<sup>2</sup>

1) 北見工業大学 2) 大阪教育大学

## 1 はじめに

カーリングにおける「デリバリー動作」は、氷上でストーンを投げる基本動作であり、その再現性と安定性はショットの正確性に大きく影響し、競技力に直結する。

選手には、個々の体格や筋力、関節の可動域などに個人差があるため、フォームには個々の特徴や癖が現れやすく、改善点も競技者毎に異なることが多い。そのため、選手は、トレーニングを繰り返して経験知や感覚知を蓄積してスキル向上に取り組んでいる。特に、初級者は競技動作そのものをイメージできない場合が多いため、試行錯誤を繰り返すことも多い。

一方、近年では、スポーツ競技に対する様々な支援技術が導入されつつあり、選手の動作、作戦などを観測して客観的なデータとして蓄積・分析することが可能となっている。これにより、経験則や感覚知に基づく部分を客観化、あるいは視覚化できる可能性が高まった。

我々は、カーリングの「デリバリー動作」を足裏足圧という点から分析することを試みる。特に、初心者と上級者のデリバリー動作中に見られる「グラつき」に注目し、両者の圧力データを比較分析することで、共通点や特徴を検討する。

デリバリーにおいて、我々は、「上級者は体全体のバランスをスライディングフット(SF)のみで支えるため、足裏圧力がSFに集中する」と考え、「初心者はSFだけではバランスが取れないため、足裏圧力はSF以外の

身体部位に分散し、動作中にグラつきが生じる」という仮説を立て、仮説検証プロセスを経ることで分析を進める。

## 2 実験方法

上述した分析を行うために、我々は、一連の実験を計画した。

具体的には、まず、市販されている足圧測定器具 Pedar-x<sup>1</sup>を用いて被験者のデリバリー動作の足圧分布データを測定する。Pedar-x は、独novel社が開発した足圧分布測定システムであり、足と靴の間の局所負荷を監視・測定することができる。測定データは、ロガーと無線通信を行う解析用PCに転送され、専用アプリケーションによって解析・可視化される。アプリケーションは、2D、3D、および isobar ビューの圧力画像や数値表示、撮影機能や足の接触フェーズ、ASCII 出力などが可能である。

実験では、測定データを後述する局面に分割するために、測定と同時にデリバリー動作の映像も記録しておく。



Figure1: 足圧測定器具 Pedar-x

<sup>1</sup><https://www.novelusa.com/pedar>

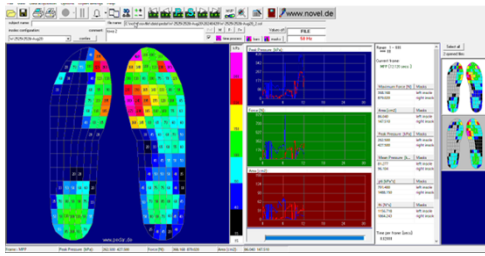


Figure2: 足底圧力の可視化・定量化の電子カルテ

次に、測定データと映像を確認しながら、デリバリー動作を「動作前 (Set up)」、「Forward Press」、「Slide」、「Release」を参考に、「動作前」、「蹴り出し」、「リリース前」、「リリース後」の4つの局面に分割した。分割の基準は、Curl Tech[1]の説明を参考にした。

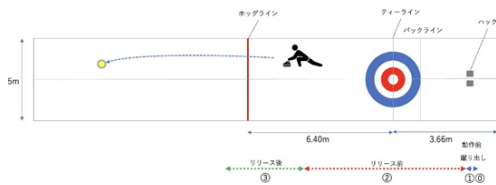


Figure3: デリバリー動作を4段階に局面分けしたイメージ図

さらに、分割した各段階における足底圧力の平均値を計算する。実験は、アルゴグラフィックス北見カーリングホールで実施した。

被験者として、上級者1名、初心者2名、計3名に協力してもらった。被験者は、運動経験の有無にかかわらずカーリング未経験者を初心者とし、現在トップチームでプレーしている選手を上級者とした。

準備として、被験者の両足にPedar-xのインソールを装着し、インソールと有線で接続されたロガーを腰に装着した。その後、被験者にデリバリー動作を実施させ、動作中の足圧分布データを計測した。

### 3 実験結果と考察

実験では、各被験者に10投ずつデリバリーを実施してもらった。

以下、実験によって得た測定データの分析結果について述べる。

#### 3.1 上級者と初心者のデリバリー動作中の足底圧力変化 1

Figure4～6は、上級者と初心者のデリバリー動作における左右の足底圧力とその合計を、4つの各局面別に示した棒グラフである。

「動作前」において、上級者は、左右の圧力がほぼ同等であった。初心者1は、左右の圧力がほぼ同じで、初心者2は蹴り足 (KF) の圧力が大きくなっていた。

「蹴り出し」においては、上級者はKFの圧力が大きくなった。しかし、初心者1は、SFの圧力がわずかに大きくなった。初心者2は、KFの圧力が優勢であった。

「リリース前」と「リリース後」において、上級者はSFの圧力が極端に大きくなる傾向が見られ、リリース前後で変化はあまり見られなかった。初心者1は、リリースの前とリリース後ともにSFの圧力が極端に大きくなった。リリース前後ではKFの圧力はほとんど変化せず、SFの圧力のみが大きく変化しており、リリースの前後で足底圧力の合計値が増加していた。また、初心者2は、リリース前とリリース後ともにSFの圧力がKFよりも大きくなった。リリース前後においてもKFの圧力に変化は見られなかったが、SFの圧力は減少しており、リリース前後で足底圧力の合計値が減少していた。

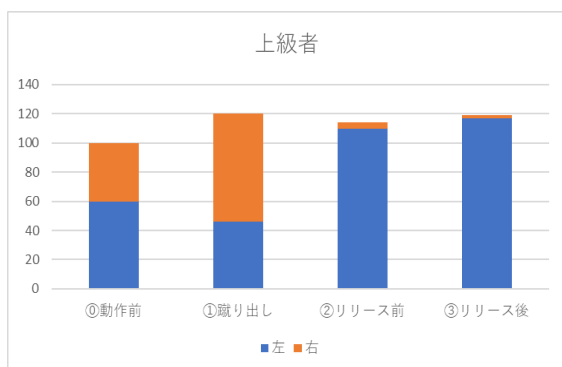


Figure4:上級者のデリバリー動作における足底圧力の変化

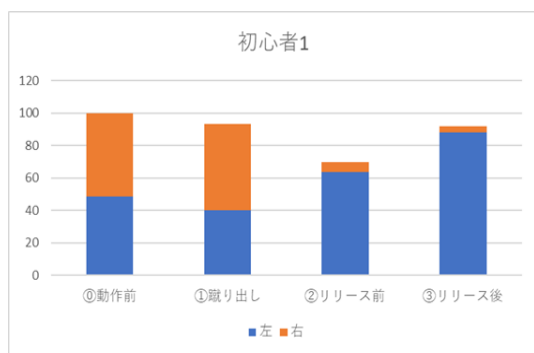


Figure5: 初心者1のデリバリー動作における足底圧力の変化

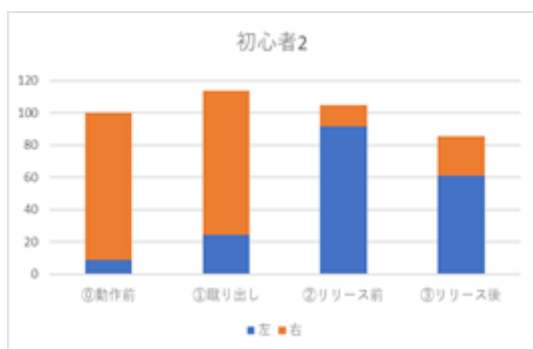


Figure6: 初心者2のデリバリー動作における足底圧力の変化

### 3.2 上級者と初心者のデリバリー動作中の足底圧力の変化2

Table1, 2, 3 は, 上級者と初心者のデ

リバリー動作における左右の足底圧力とその合計を, 4つの局面毎に示している.

上級者の特徴としては, 「蹴り出し」の圧力合計が2917.96と最も大きく, その後のリリース前後における圧力合計には大きな変化が見られない点が挙げられる. つまり, 「リリース前」と「リリース後」の圧力合計は2773.33, 2893.21と大きな変化はない.

また, 「リリース前」と「リリース後」のSFの圧力が2672.06, 2837.96と「動作前」の合計値2432.82よりも大きい.

このことから, 上級者は「蹴り出し」からストーンの「リリース後」までほとんどSFのみで体全体のバランスを取っている.

一方, 初心者1も「蹴り出し」では圧力の合計が2084.02と最大となっているが, 「リリース前」, 「リリース後」で圧力合計が1557.12から2018.69へと461.57の増加が見られた.

初心者2は「蹴り出し」では圧力の合計が1691.79と最大となっており, 「リリース前」, 「リリース後」で圧力合計が1561.73から1269.82へと291.91の減少が見られた.

また, 両者ともに「リリース前」と「リリース後」のSF圧力が「動作前」の合計値より減少している. これは, 上級者と違って「蹴り出し」から「リリース前」, 「リリース後」の局面において, SFだけでなくKFやブラシ, ストーンへも加重し, バランスを取っているためと考えられる.

さらに, 両者ともに「リリース前」と「リリース後」で圧力値が変化あり, ストーンの「リリース後」にストーンへの加重を失い, バランスを崩していると考えられる.

Table1:上級者のデリバリー動作における足底圧力の変化

上級者	左	右	合計
0.動作前	1448.95(59.56)	983.86(40.44)	2432.82
1.蹴り出し	1123.44(38.50)	1794.53(61.50)	2917.96
2.リリース前	2672.06(96.35)	101.27(3.65)	2773.33
3.リリース後	2837.96(98.10)	55.25(1.90)	2893.21

Table2:初心者1のデリバリー動作における足底圧力の変化

初心者1	左	右	合計
0.動作前	1080.84(48.42)	1151.02(51.57)	2231.86
1.蹴り出し	894.56(42.92)	1189.47(57.08)	2084.02
2.リリース前	1421.84(91.31)	135.28(8.69)	1557.12
3.リリース後	1937.07(95.96)	81.63(4.04)	2018.69

Table3:初心者2のデリバリー動作における足底圧力の変化

初心者2	左	右	合計
0.動作前	128.79(8.66)	1358.35(91.34)	1487.15
1.蹴り出し	359.7(21.26)	1332.08(78.74)	1691.79
2.リリース前	1366.39(87.49)	195.33(12.51)	1561.73
3.リリース後	906.51(71.39)	363.31(28.61)	1269.82

#### 4 考察

一連の実験の結果、「リリース前」と「リリース後」での足底圧力の変化に顕著な違いが見られた。上級者は、デリバリー動作における全ての局面で足底圧力が安定しており、ほとんど変化しなかった。

一方、初心者はデリバリー動作における「リリース前」と「リリース後」の局面で大きな足底圧力の変化が見られた。このことは、初心者は、SFだけでなくKFやブラシ、ストーンへも加重分散していると考えられる。これに対し、上級者は、デリバリー動作中の加重がSFに集中し、加重分散が少ないと考えられる。

このような違いから、初心者と上級者において、デリバリー時の「グラつき」に差が生じていると考えられる。

上記のことを確認するためには、モーションキャプチャリングを併用し、デリバリー時の姿勢や身体動作の比較を行い、足底圧力との関係を分析する必要がある。

#### 5 おわりに

本稿では、カーリングのデリバリー動作における上級者と初心者の違いについて、デリバリー動作を4つの局面に分割して足裏圧力を測定し、測定データを比較分析した。その結果、両者には、グラつきに関連すると思われる荷重バランスの違いが確認できた。今後は、より詳細な足裏圧力分布データを用いて、精緻な比較を行うとともに、モーションキャプチャリングを併用した身体の動きや姿勢との関連性の分析を進める。

また、分析から得られた知見を、競技動作直前の短時間の身体動作が競技動作に影響を与える即時効果[2]に応用し、デリバリー動作の効率的な矯正トレーニングにつなげていくことも考えたい。

**謝辞** 本研究の一部は、スポーツ庁委託事業「先端技術を活用したHPSC 基盤強化事業」の助成を受けて実施した。

#### 参考文献

- 1) CurlTech. curlingschool, 2022.
- 2) 生田泰志. 平泳ぎの新しい指導法「平キック体操」の紹介-第2報-. 学校水泳研究会, 2023.