

カーリングを科学する A Scientific Research on Curling

伊藤 毅志¹ Takeshi Ito¹ 榊井 文人² Fumito Masui² 河村 隆³ Takashi Kawamura³ 山本 雅人⁴ Masahito Yamamoto⁴
宮越 勝美² Katsumi Miyakoshi² 竹川 佳成⁵ Yoshinari Takegawa⁵ 柳 等² Hitoshi Yanagi² 松原 仁⁵ Hitoshi Matsubara⁵

1. はじめに

カーリングは、ハウスと呼ばれる的をめがけて氷上でストーンを滑らせ、得点を競うウィンタースポーツである[1]。氷上は“ペブル”と呼ばれる凹凸を取って作るように整備され、ストーンの滑りやすさと曲がりやすさを演出している。

カーリングは、その戦略性の高さから「氷上のチェス」などと呼ばれているが、スポーツとしてのカーリングの現場を見るとプレイヤーは経験的な方法でトレーニングされ、戦略に関してもコーチの口伝で伝承されることが多く、科学的な手法の導入が遅れているというのが実情である。

カーリングでは、ストーンを滑らせる（リリースする）ときに右か左に回転を与えることで、その軌跡も右か左にカーブ（カール）することが知られている。しかし、氷上の摩擦の原理については不明な点が多く、なぜストーンが曲がるのかという物理的なメカニズムについてさえ、諸説があり、まだ明らかにされていない[2]。また、カーブの大きさやストーンの滑りやすさは、氷の温度や状態の変化に伴って刻々と変化していき、それを「読む」こともゲームとしての醍醐味とされている。これらのことが科学的な研究がこのゲームに入り込むことを拒んできた。

我々研究グループでは、それぞれの専門分野である「データ分析技術」「ゲーム情報学」「人工知能技術」「認知科学」「知能機械技術」「画像解析技術」などの知見を集結することで、「カーリングの戦略」を科学に昇華させることを目指している。

2. ゲーム情報学から見たカーリング

2.1 カーリングのルール

カーリングは4人ずつ2チームで行われ、約40メートル先に描かれたハウスと呼ばれる円の内側をめがけて、各チームが交互に1人2投ずつ1チーム8投ずつストーンを氷上に滑らせる[3]。すべてのストーンが投げ終わると、得点がカウントされ終了する。この一区切りをエンドと呼び、試合では一般に10エンド（8エンドの場合もある）を行い総得点で勝敗を競う。

氷上で図1のようなラインが引かれたカーリング場はシート（またはリンク）と呼ばれる。シート上でホッグラインを完全に超えないストーン及び、バックラインを完全に超えたストーンはアウトとなり、プレイから除外される。また、サイドラインに少しでも触れたストーンもアウトとなり、これらも除外される。

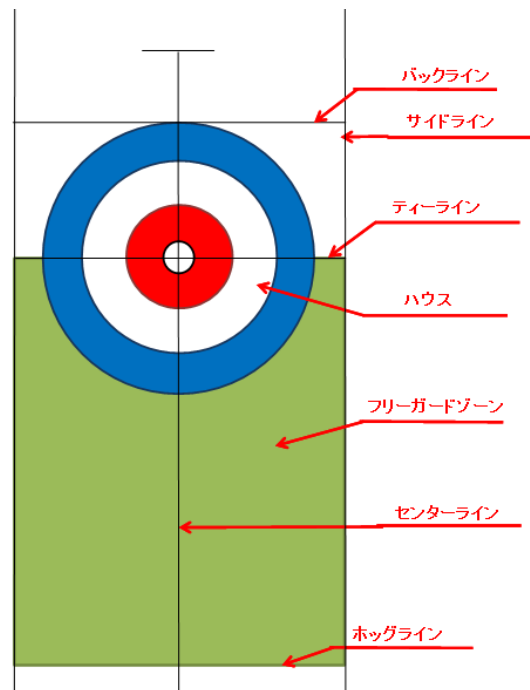


図1 カーリングのシート

先攻後攻は1エンド目ではコイントスなどで決め、2エンド目以降は、前のエンドで得点をした方が先攻となる。前エンドでどちらも得点しなかった場合は、先攻後攻は入れ替えずに次のエンドをプレイする。

2.2 カーリングのゲーム情報学的な特徴

ゲーム情報学的に分類するとカーリングは、二人完全情報不確定ゼロ和ゲームと分類される。「二人」とは2チームで対戦することを意味し、「完全情報」とは双方の合法手（やっつて良い手）がお互いにすべて明らかになっていることを意味し、「不確定」とはプレイヤーが選んだ手に不確定な要素が含まれることを意味する。「ゼロ和」とは、先

1 電気通信大学 The University of Electro-Communications

2 北見工業大学 Kitami Institute of Technology

3 信州大学 Shinshu University

4 北海道大学 Hokkaido University

5 公立はこだて未来大学 Future University Hakodate

手後手どちらかが勝つと相手側が負けることが決まるゲームであることを意味している。ゲームとしては、一手ごとに手番が変わるターン制ゲームであり、合法手は事実上無限に存在するという特徴を有する。

ゲーム情報学の分野で多く研究されてきたチェスや将棋、囲碁などのゲームは二人完全情報確定ゼロ和ゲームと分類されるが、これらのゲームと比較すると、以下のような3つの特徴にまとめられる。

1) ターン制ゲームである。

→従来のチェスライクゲームなどと同じように、一手ごとの状態遷移としてゲームの空間を表現できる。

2) 合法手が無限に存在する。

→ルール上やって良い手はショットのベクトルとウェイトはアナログ的に無限に存在するばかりか、スweepまで考慮すれば、より複雑なショットの軌跡も想定される。

3) 不確実性がある。

→スポーツゲーム特有であるが、プレイには一定の不確実性が伴う。カーリングで言えば、どんなに正確なショットを投げようとしても、技量や氷の状態によってズレが生じる。

3. カーリングの科学的アプローチ

我々は、カーリングを科学的に扱うために、以下のような科学的な研究の試みを始めている。

3.1 DB を用いた戦略支援

ICT を用いてスポーツの戦略を支援するという研究は、近年注目を集めている[4][5]。梶井らは、ポータブル戦略支援 DB システム iCE を開発し、カーリング競技のデジタルデータとしての記録と可視化を目指した[6][7]。この研究では、カーリング競技における国内トップチームの戦略面支援と、プレイヤーの戦略スキルの底上げを目的とした「カーリングインフォマティクス」という新たな分野を構想している。具体的には、以下のような技術や環境の整備を目指している。

1. 情報の記録：従来のスコアシートを用いた記録を電子的に代行できる記録・計測環境の構築。
2. 情報の解析：記録した情報を解析する技術の確立。
3. 情報の可視化：分析結果を可視化する機構の確立。
4. 情報の共有：ユーザ間での情報共有環境の構築。

この研究では、タブレットの携帯端末でカーリングの試合を記録するシステムを構築し、試合結果の分析を直観的に理解しやすい形式で可視化する技術を実現している。

3.2 デジタルカーリングの提案

カーリングにおける不確実性・不確実性がカーリングの戦略の議論を難しくしてきたことについては、既に述べたとおりである。それでは、この不確実性をコントロール出来る環境で、戦略のみを議論することは出来ないだろうか。

伊藤らは、カーリングの不確実性を一定のものと仮定したカーリングシートをコンピュータ上でシミュレートし、戦略のみを議論する場を提供することを目指している[8][9]。このシステムを「デジタルカーリング」と名付け、

以下のような基本要素を備えたコンピュータ上でカーリングの対戦が可能なシミュレータを提案し公開している。

- 1) Box2D という 2 次元の物理シミュレータを利用して、カーリングのストーンの動作（特にカール）を模倣した。
- 2) ストーンの軌跡には一定の正規乱数を加え、不確実性を表現した。
- 3) サーバー・クライアントシステムとし、人間プレイヤーでも AI プレイヤでもどちらでもプレイできる環境を整えた。
- 4) AI 開発のショット生成に必要な最小限の関数を用意した。

伊藤らは、このデジタルカーリングシステムを利用して、第 1 回デジタルカーリング大会を開催し、コンピュータ 6 チーム、人間 4 チームの合計 10 チームが参加する大会を実施した[10]。このシステムが提案する環境下では、実際にアルゴリズムの優劣を表現しうる能力を有していることを確認した。

このデジタルカーリングは現時点では、スウィーピングや氷の状態の変化などは扱っていないが、このプラットフォームをもとに、カールの大きさや乱数の大きさなどは容易に変更が可能であり、将来はスウィーピングや氷の状態の変化を表現することも可能ではないかと考えている。

本システムによって、戦略のみを AI で戦わせ議論する場を提供することが可能となり、カーリングに AI の技術を導入する場が得られた。

3.3 カーリング AI の研究

上述のデジタルカーリングを戦略研究の場として、早速戦略を競う AI に関する研究も始まっている。

山本らは、ゲーム木探索の概念をカーリングの世界に応用した AI を提案した[11]。一般にチェスライクゲームでは、数手先の局面をゲーム木により展開し、ミニマックス探索やアルファベータ法などを用いて探索の効率化を行うが、カーリングでは、1 手ごとに乱数という不確実性が付与されるので、深い先読みは困難である。ここでは、有望な候補手を評価する手法を提案し、カーリング AI の開発を行った。無限にある候補手の中から、探索の削減方法の提案と、戦略の不確実性を評価するための確率分布と乱数を使用しないシミュレーションを用いて評価する手法の提案が行われた。

3.4 カーリングロボットの研究

伊藤らは、カーリングのシート整備を支援するために、ストーンを投げるロボットを開発した[12]。また、このロボットは実環境下での戦略シミュレータの開発も目的としている。

図 2 は、この研究で設計した投球ロボット本体の 3D - CAD 画像である。構成部品は、フレーム・投球板・モータ部・本体固定部である。動力モータに取り付けたピニオンギアの回転運動を、投球板に固定したラックギアで直進運動に変換してストーンを押し出す。

カーリングのストーンを一定の速度で正確にデリバリーすることが出来るロボットは、実環境におけるカーリングの物理現象を説明する上で重要な意味を持つ。

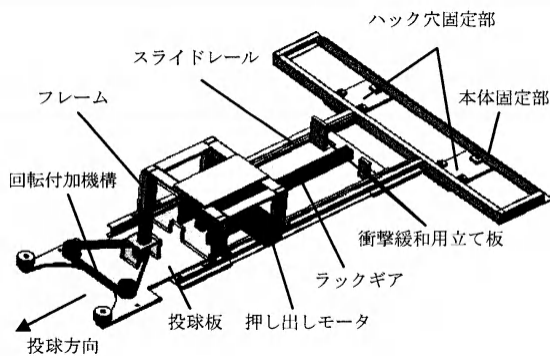


図2 ストーン投球ロボットの3D-CAD 画像

4. 今後の展開

我々研究グループは、上述のような研究基盤をもとに、以下のような研究を行っていく予定である。

(1) カーリング競技データの収集

試合データについては、榎井らが開発したポータブルカーリング戦略支援 DB システム iCE を用いて、個々のショットの情報、ショットの得点、ストーンの配置などのデータを収集する。

プレイヤーの戦略の思考過程の分析に関しては、プレイヤーの協力を得て、プレイヤーに視線計測装置を付けたり、ワイヤレスマイクを付けるなどして、リアルタイムの思考過程の収集を行う。また、試合後のインタビューや特定の問題集を題材にして思考過程について調べる認知科学的実験を伊藤らが中心になって行っていく。

プレイヤーの動作や状態について、対象シートの就位にモーションセンサーデバイスを設置し、全方位からシート内の選手の動作や状態の映像を記録する。さらに、宮越らが開発したスウィーピング力測定装置を用いてスウィーピング中のブラシの動作データとストーンに小型6軸センサーを設置してショットごとのストーンの挙動データを収集する。

デジタルカーリングの基礎データとなるストーンの軌跡を計測するために、河村らが開発したカーリングロボットを応用し、竹川らが持つ画像処理技術を用いて、正確なストーンの軌跡のデータを収集する。

(2) カーリング戦略要素の調査・分析

試合データについては、榎井、柳らが中心になり、ショット率やショット種別に基づく試合運びを統計的に分析し、チームごとの特徴を抽出する。さらに、抽出した特徴をショットごとのストーン配置との相関を調査する。また、プレイヤーごとの特徴を分析し、戦略要素としての個人スキルのモデル家に取り組む。

プレイヤーの戦略の思考データについては、伊藤、松原らが中心となり、プレイ中の発話プロトコル分析を行い、視線データと関連付けて、プレイヤーの思考過程を明らかにしていく。

プレイヤー動作の映像データから、竹川らが中心となって、競技進行に応じて重要な動作ポイントやスキルによって出やすくなる差異を調べていく。

河村、竹川らがカーリングロボットと画像処理技術を用いて獲得した正確なストーンの挙動を、伊藤らが出来る限り忠実にデジタルカーリング上に適用することで、仮想空間上で戦略を議論できる場を提供していく。

(3) 人工知能を用いた戦略研究の展開

デジタルカーリングを、より現実のストーンの挙動に近い形で模倣し、ゲーム情報学的観点から戦略の研究を展開していく。伊藤、山本、松原らは、思考ゲームで培ってきた人工知能の技術をカーリングに応用することで、不確定ゲームにおける人工知能研究を進展させていく。

5. おわりに

我々研究グループは、それぞれの専門分野からカーリングというスポーツゲームを多角的に分析し、不確実性を含むスポーツの科学的な研究への発展させていく予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15H02797 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 日本カーリング協会オフィシャルブック, “みんなのカーリング”, 小川豊和監修, 学習研究社, 2006.
- [2] 前野紀一, “カーリング・ストーンがカールするメカニズム: 蒸発摩擦モデル”, 氷雪研究大会講演要旨集 2009(0), pp.221-221, 2009.
- [3] 小川豊和監修, 日本カーリング協会オフィシャルブック, “みんなのカーリング”, 学習研究社, 2006.
- [4] 高村秀史, 山田雅之, “日本福祉大学における ICT を活用した学習支援の実践”, 日本福祉大学全額教育センター紀要(3), pp.57-66, 2015.
- [5] 賀川昌明, “大学体育実技授業における Web ページを利用したマルチメディア情報提示の効果”, 日本教育工学会論文集 29, pp.37-40, 2006.
- [6] 榎井文人, 上野裕暉, 柳等, “カーリングインフォマティクスに向けて-タブレット端末を利用した戦略支援システムの開発と運用-”, 情報処理北海道シンポジウム 2013 講演論文集, D-07, pp.109-116, 2013.
- [7] 上野裕暉, 榎井文人, 柳等, 平田洗介, “カーリングインフォマティクスにおける試合情報解析のために-ポータブル戦略支援 DB システムの改良-”, 第 76 回全国大会講演論文集 2014(1), pp.627-629, 2014.
- [8] 北清勇磨, 伊藤毅志, “カーリングの戦略を支援するシステムの提案と構築”, ゲームプログラミングワークショップ 2013 論文集, pp.154-161, 2013.
- [9] 北清勇磨, 岡田雷太, 伊藤毅志, “デジタルカーリングサーバの提案と紹介”, 情報処理学会ゲーム情報学研究会報告, 2014-GI-31(2), pp.1-5, 2014.
- [10] 伊藤毅志, 森健太郎, 北清勇磨, “第 1 回 UEC 杯デジタルカーリング大会報告”, 情報処理学会ゲーム情報学研究会報告, 2015-GI-34, (発表予定), 2015.
- [11] 加藤 修, 飯塚 博幸, 山本 雅人, “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-知識ベースシステム研究会 (第 104 回), pp.7-12, 2015.
- [12] 松本啓佑, 玉置康人, 田中翔太, 河村隆, “カーリングロボットに関する研究; カーリング投球マシンによる氷面の評価”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2010, 2A1-D27, pp.1-4, 2010.