

ゲーム研究の新展開と認知科学（2）

Novel Development and Cognitive Science on Game Research (2)

伊藤毅志¹, 梶井文人², 松原仁³, 山本雅人⁴, 河村隆⁵, 竹川佳成⁶

Takeshi Ito, Fumito Masui, Hitoshi Matsubara, Masahito Yamamoto, Takashi Kawamura,
Yoshinari Takegawa

¹電気通信大学, ²北見工業大学, ³東京大学, ⁴北海道大学, ⁵信州大学, ⁶はこだて未来大学
The University of Electro-Communications, Kitami Institute of Technology, Tokyo University, Hokkaido University,
Shinshu University, Future University Hakodate
¹ito@cs.uec.ac.jp, ²f-masui@mail.kitami-it.ac.jp, ³matsubar@fun.ac.jp, ⁴masahito@complex.ist.hokudai.ac.jp,
⁵kawamura@shinshu-u.ac.jp, ⁶yoshi@fun.ac.jp

概要

ゲームが認知科学の主要なテーマであり続けていること、近年ゲームAIの研究が大きな価値観の転換を与えていることについては、昨年のOSで説明してきた。

今年のオーガナイズドセッションでは、本セッションに応募された3件の一般発表に加え、実環境の影響を強く受けるゲームであるカーリングを題材としたパネル討論を通して、不確定性を含むゲームの科学研究の実例を紹介し、認知科学研究との接点について考察していく。

キーワード：ゲームAI, 人と機械のコミュニケーション, 不確定ゲーム, 不完全情報ゲーム

1. 趣旨

ゲームの研究が、認知科学研究の一つの大きなテーマとして機能してきたことは、昨年のOSにおいてもすでに述べた通りである[1]。さらに、ゲームAIの分野では、深層学習を用いた機械学習の手法の登場により、AlphaGoに代表されるように人間の知を超える能力を示すプログラムが現れ始めている[2][3]。この現象は、ゲームAIの分野にとどまらず、我々の日常生活にも多くの知的エージェントが登場しつつある[4][5]。今まで困難であった知的作業を代行したり、支援したりするようになって来るだろう。このような状況において、知的ゲームAIと人間の関係は、認知科学の新しいベンチマークとしてクローズアップされてくることが予想される。

そこで、本年のOSでは、実環境とのインタラクションを必要とする「カーリング」を題材にしたパネル討論を企画した。多くのスポーツゲームは外乱の影響を受ける。例えば、ゴルフや野球は風や天候などの影響を受け、サッカーやラグビーなどはピッチコンディションなどの影響を受ける。これら外乱は、スポーツゲームに不確定性を与え、場合によっては劇的なドラマを生む。選手はこれらの外乱を想定した上で、最善のプレ

イを模索する。

不確定ゲームの人工知能研究としては、サイコロを用いたバックギャモンなどの研究が挙げられる。TD-Gammonと呼ばれるプログラムは、TD強化学習アルゴリズムに基づいて自己対戦による結果から学習する手法が用いられ、人間のトップレベルと同等のプログラムを実現した[6]。その後も研究が続けられ、現在では人間を凌駕するレベルに至っている。しかし、スポーツゲームにおいては、実環境下による不確定要素をどのように見積もるのかを実時間で計算する必要があり、そのプレイを科学的に再現することは難しい。

本OSのパネル討論で扱われる「カーリング」は、氷上のチェスと呼ばれるように高度な戦略を必要とするゲームであるが、氷の状態（アイスコンディション）やプレイヤーのスキルによる不確定性が非常に大きいという特徴を持つ。また、近年になるまで対戦の記録も公式にはあまり残されておらず、科学的な研究が遅れていた。ここでは、カーリングを科学的に研究する試みについて、北見工大の梶井氏を中心とした研究グループの研究事例をもとに[7]、認知科学研究へのヒントを考えていきたい。

2. 構成と概要

当日は、以下のような構成で進行する予定である。

1. 企画概要説明（10分） 伊藤毅志
2. OS内関連一般発表3件（15分×3件）
3. パネル討論（65分）

「不確定ゲーム：カーリングの実例と展望」

司会：伊藤毅志

○話題提供（10分×5名）

梶井文人, 松原仁, 山本雅人, 河村隆, 竹川佳成

○全体討論（15分）

2.1. 企画概要説明

まず、本企画責任者である伊藤毅志から、今回特にクローズアップする不確定ゲーム研究の位置づけと実環境下でのゲームプレイの課題について概説し、本 OS の流れを紹介する。

2.2. 公募発表 3 件

本 OS に応募された以下の 3 件の口頭発表を行う。

- 1) Theory of Cooperation: Exploring Human and Machine Capabilities : Naoto Iwahashi (Okayama Prefectural Univ.), Hiroyuki Okada (Tamagawa Univ.), Kotaro Funakoshi (Tokyo Tech)
- 2) ビデオ人狼に見られる非言語情報の調査：高山周太郎（筑波大学）、大澤博隆（筑波大学）
- 3) 非言語的コミュニケーションゲーム「DREAMS」を用いた相互理解に関する研究：浅野旬吾（電気通信大学）、伊藤毅志（電気通信大学）

2.3. パネル討論

続いて、「カーリング」を対象としたパネル討論を行う。それぞれ、以下のような話題提供を行う予定である。不確定ゲームであるカーリングに対する IT 技術、ゲーム情報学、人工知能、ロボティクス、計測技術に関する様々な立場からの研究事例を紹介し、カーリングプレイヤーの技術向上につながる科学研究について討論を行っていききたい。

2.3.1. 話題提供 1 : iCE の試みと成果（榎井文人）

カーリングは戦術性が高く、競技情報の収集と分析は重要である。我々は、この部分を自動化することを目的とし、戦術要素を電子的に収集記録する手段として「デジタルコアブック iCE」を開発した[1]。

iCE は、タブレット端末で稼働するアプリケーションで、選手やチーム情報、大会や試合の情報、試合における一投毎のショットや局面の情報を逐次記録して DB 化できる。また、記録した情報を解析し、一投毎の局面一覧を表示する機能や、解析結果をグラフやテーブルとして可視化する機能、任意の局面と類似した局面を DB から検索してショット別の勝率とともに表示する機能、端末に保存した DB をクラウド上に保存する機能を備えている。

iCE は、実際のチームに使用してもらいながら、フィードバックを受けて評価改良し、実用性が確保できたと考えている。現在までに延べ 18 チームに対して無償で配布している。

iCE を活用した取り組みとして、試合情報の DB 化と試合情報の分析も進めている。前者では、現在までに世界選手権や日本選手権などのトップレベルの試合情報を中心に 992 試合（約 2 万ショット）のデータベース化が完了している。後者では、ショットの精度と得点力の関係がレベル別に異なることを明らかにするなどの競技レベルによる特徴検証と、従来経験的にのみ知られていた勝負の綾に関する知見検証を進めている。試合分析に関する技術やノウハウはテレビ放送での試合実況でも有効視され、選手やチームのショット成功率の実況データ提供に応用されている。

今後は、人間の操作部分を減らして自動化を一層進めるとともに、蓄積した試合データベースをデジタルカーリングやストーン位置実時間計測システムと共有する環境を構築し、総合的な競技支援を目指したい。AI の研究が 1950 年後に始まって以来チェスを中心としたゲームはずっと AI の研究の中心的な題材であった。1997 年にチェスでコンピュータが世界チャンピオンに勝ち 2010 年代に相次いで将棋と囲碁で同じことが起きた[3]。思考ゲームのほぼすべてでコンピュータが人間を超えた今ゲーム AI はどのような状況なのかを述べる。

2.3.2. 話題提供 2 : ゲーム情報学から見たカーリング（松原仁）

カーリングは AI から見ると、新しい研究対象のゲームの 1 つである。従来の AI が対象としてきたチェス、将棋、囲碁というゲームは 2 人、有限、零和、完全情報、確定という性質を有している。カーリングの 2 人、有限、零和、完全情報という性質はチェスなどと同じ（カーリングは 4 人ずつ合計 8 人でプレイするが 4 人で 1 チームという意味で、2 人ゲームに分類である）であるが、不確定という特徴を有している。ゲームで不確定というと一般にはサイコロを振ることになる（たとえばバックギャモンがそうである）が、カーリングにおける不確定性はそれよりもはるかに複雑である。スポーツなのでボードゲームと違って思ったところにストーンを必ず

しも持っていくことができない。戦術としてここにストーンを置きたいと思っても置ける保証はない（ゲームとしては指したい手が必ずしも指せないことに相当する）。その理由としては選手の技術（ショットおよびスweeping）、選手の体力、アイスコンディションなどが複雑に絡み合っている。このような複雑な不確定性を有するゲームとしてカーリングは AI の研究対象として価値が高い。他の性質は同じなので不確定性の扱いに焦点を当てられることは重要である。

2人、有限、零和、完全情報、確定という性質はもっとも単純なものである。そのため AI の初期の研究対象としては適していたと言える。将棋や囲碁はプログラム同士をたくさん対戦させて強化学習によって強くするというアプローチがうまくいってプログラムを人間より強くすることができた。それもこれらのゲームが（もちろん人間にとっては十分に複雑ではあるものの）比較的単純だったためである。世の中の実問題はそれほど単純ではない。これからの AI はもっと複雑な対象を扱う必要がある。一気に複雑性を増すと対応がむずかしいので、多くの条件は同じにして一部の条件だけを変えるのが望ましい。その点でカーリングは不確定性の性質だけを複雑にしているので、その意味で適切な研究対象と言える。

2.3.3. 話題提供 3：カーリング AI の技術と応用（山本雅人）

カーリングは氷上のチェスと言われるように、戦術性の高いスポーツである。しかし、チームを一つのプレイヤーとみなすと将棋や囲碁、チェスと同じような利害が反するターン型のゲームとみなすこともできる。ある局面が、どちらのチームにとってどれほど有利であるかを局面評価関数によって表現できれば、ゲーム木探索を用いた最善のプレイの探索も可能となる[8]。

我々は、カーリングにおける局面評価関数をエンド終了時の期待得点分布で表現することとし、その局面評価関数をデジタルカーリングによるシミュレーション結果をもとに、深層ニューラルネットワークを用いた深層学習によって獲得した。その際、技術的なプレイのばらつきや氷の状態の不安定性を考慮したシミュレーションによるプレイの不確実性を

含んでいる。

獲得された局面評価関数によって、現在の局面の良し悪しを予測できるため、すでに将棋などに应用されている観戦支援に役立つことは容易に想像がつく。また、残りエンド数と得点差に応じた勝率を示す勝率テーブルと組み合わせることで、ある局面における最善（勝率を最も高める）プレイを提示可能とし、他のプレイとの期待得点分布を比較することでチームの戦術支援につながると考えている。カーリングにおける深層学習の概要と応用について発表する予定である。

2.3.4. 話題提供 4：カーリングロボットの現状と未来（河村隆）

AI の技術とデジタルカーリングなどの戦術のみを切り出した議論ができるプラットフォームの整備により強いカーリング AI が現れるようになってきた。カーリングロボットによって実践で人間との対戦に応用したいという希望が現実のものとなりつつある。これまでに河村らによってカーリングデリバリロボットが発表され [9]、正確なストーンコントロールで再現性のあるデリバリを行うことが可能になっている。このロボットによって人間との対戦も実施されたが、高度な AI の成果の応用はまだ行われていない。また、人間と同じルールを適用してのカーリングロボットの対戦は実現されていない。

S.W. LEE らは、平昌冬季オリンピックを機に AI を搭載した車輪移動型のカーリングロボットシステムを開発している[10]。デリバリを行うロボットとスキップを担当するロボットの 2 台と AI を担うにサーバにより構成されている。また、ロボットではないが、カナダの BalancePlus 社では複数のストーンを同時にデリバリすることのできるマシンにより、ストーンを比較するサービスを行っている[11]。

カーリングロボットシステムが実現されると、対戦のみならず、ストーンの評価、シートおよびアイスメーカーの評価、スweepのトレーニング、実空間での戦略研究などの応用が期待される。さらに人間を相手にして人間のルールで対戦し勝利することがシステムの一つの目標となるが、ストーンの静的計測、戦術 AI、デリバリだけでなく、スweepのロボット化、ストーンの動的計測、シートのリアルタイム評価など課題も多い。

2.3.5. 話題提供 5: 実測データの取得と課題 (竹川佳成)

カーリングリンク (長さ約 40m, 幅約 5m) は広大である。高い戦略性が求められるカーリングにおいて、リンク上でストーンがどのように移動するかは重要なデータといえる。我々は、競技を妨げることなくストーンの位置をリアルタイムに計測するシステムを構築した。提案システムは、リンク上およびストーン上に設置した赤外線 LED の光を、赤外線カメラによる画像処理により、ストーンの位置を推定する。ストーン上に設置する赤外線 LED の制御モジュールは、小型でストーンそのものの挙動を妨げない。さらに、アプリケーションおよび競技者のスキルにより、求められるストーンの位置計測精度は異なる。赤外線カメラを増やすことでストーンの位置計測精度を柔軟に制御できる。

河西建設カーリングホール (北海道北見市) にて提案システムを用いた位置計測精度の評価実験を実施した。紙面の都合上、結果だけを示すが、18 m²のエリアに対して、1 台の赤外線カメラを使って計測したときの平均位置推定誤差は 0.10m, 標準偏差 0.04m であった。これはストーンの大きさ (0.30m) 以下の精度で、0.15m 以内というショットの良し悪しを判断する 1 つの基準を満たしている。また、氷内に埋め込んだ赤外線 LED の制御基盤は 3 か月にわたり動作した[12]。

今後の課題としては、提案システムを活用したアプリケーションの開発である。ゲーム時の戦略支援・教授支援・学習支援などさまざまな展開が考えられる。また、複数カメラによる連携や、慣性センサの導入による位置計測精度の向上がある。さらに、ストーンの回転の計測や、ペブル (氷上の粒) の状態の認識など、その他の実測データの計測に取り組んでいきたい。

3. 認知科学的研究への展望

平昌オリンピックにおいて女子カーリングチームのロコソラーレが活躍したことは流行語にもなるほどの社会現象を引き起こした。TV に映る“もぐもぐタイム”や彼女たちのほのぼのとした会話などの映像から、ゆったりしたスポーツに感じられるかも知れない。しかし、実際はかなり精神的にも肉体的にもハードなスポーツである。

体験したことがある人なら誰でも気づくことであるが、まず氷の上で滑るシューズを履いて立っているだけでも大変であることに驚くだろう。プレイヤーは全長 40m 以上もあるカーリングシートの上を滑りながら移動してスweep (氷をブラシで掃く作業) し、必要であれば、ストーンの詳細な位置関係を確認するために何度もシートを往復する。さらに、ショットを放つ際には、細心の注意を払いウェイト (強さ) や角度を決めて、正しいフォームで投げる必要がある。そして、40m も先のストーンの軌跡を考慮して、数センチの隙間をはいくぐり、ミリ単位の正確なショットを放つ。ショットの正確性を高めるために、スキップと呼ばれる司令塔がスweep (氷を掃く行為) のタイミングを大きな声で指示を出し、それに応じて適切な強さで移動するストーンに先回りして全体重をかけてスweepをする。

その上、氷上のストーンの挙動は非常にデリケートで、一投ごとに氷の状態は変化して、それがストーンの滑り方や曲がり方に大きな影響を与える。氷上のストーンの正確な物理原理も未解明で、ストーンが何故曲がるのかさえ諸説あり、ストーンの詳しい挙動も近年になってようやく解明が始められたばかりである[13]。

このような不確実性の中で、プレイヤーがどのように意思決定を行い、正しく身体を使って正確なショットを放つのだろうか。4 名のチームプレイヤーはどのように情報交換を行って戦略を組み立てていくのだろうか。これだけでも、問題解決、意思決定、知覚、身体知、熟達化、協調問題解決、コミュニケーションなど認知科学の諸問題を多く含んだテーマであることが理解されるだろう。

認知科学的研究も少しずつ行われ始めているが[14]、このような実環境を対象とした研究は、まだ手つかずの分野も多い。ゲームはルールによる勝敗がわかりやすい分野であるため、問題解決や熟達化の研究の成果を測りやすいという利点がある。ゲームを題材として実環境を扱う認知研究を行うことは、実環境の諸問題を考える上で有効であると考えられる。IT 分析、計測、AI による支援、ロボットなどの研究は、人間のモデルを考える上で貴重なデータを与えてくれるに違いない。

文献

- [1] 伊藤毅志、松原仁、山本雅人、狩野芳伸、大澤博隆, (2019) “ゲーム研究の新展開と認知科学”、認知科学会第 36 回大会, OS09-5, pp.975-977

- [2] David Silver, Julian Schrittwieser, et al. (2017) “Mastering the game of Go without human knowledge”, Nature 550, pp.354-359
- [3] Oriol Vinyals, Igor Babuschkin, et al. (2019) “Grandmaster level in StarCraft II using multi-agent reinforcement learning”, Nature 575, pp.350-354
- [4] 岸川大航, 荒井幸代, (2019) “深層逆強化学習による自動運転の安心走行実現”, 第 33 回人工知能学会全国大会, 3K4-J-2-04, pp.1-4
- [5] 柴田智広, (2016) “介護サービスとロボット技術—研究開発および社会実装の現状と展望” 情報管理, vol.59, no.9, pp.607-615
- [6] Gerald Tesauro, (1993), “TD-Gammon, A Self-Teaching Backgammon program, Achieves Master-Level Play”, AAAI Technical Report FS-93-02, pp.19-23
- [7] 伊藤毅志, 榊井文人, 宮越勝美, 河村隆, 山本雅人, 竹川佳成, 柳等, 松原仁, (2015), “カーリングを科学するプロジェクト”, 信学技法, vol.115, no.118, CNR2015-2, pp.5-10,
- [8] 山本雅人, 伊藤毅志, 榊井文人, 松原仁, (2018) “カーリングと AI”, 情報処理学会誌「情報処理」, 第 59 巻, 第 6 号, pp. 500-504
- [9] T. Kawamura, R. Kamimura, S. Suzuki, K. Iizuka, (2015) “A Study on the curling robot will match with human -Result of one end game with one human-“, Proceedings of IEEE-CIG2015
- [10] DO Won, BD Kim, HJ Kim, TS Eom, KR Müller, SW Lee ; Curly, (2018) “An AI-based Curling Robot Successfully Competing in the Olympic Discipline of Curling”, Proceedings of the Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-18), pp.5883-5885
- [11] <https://balanceplus.com/rock-matching/> 閲覧確認 2020 年 7 月 27 日
- [12] Takegawa, Y.,(2018), “Proposal of a Real-time Position Measurement System for Curling Stones”, Proceedings of Workshop on Curling Informatics, pp. 10—11
- [13] 服部一裕, 栗山寛子, 山上龍一, 前野紀一, (2018) “運動解析によるカーリング・ストーンの摩擦係数の精密測定”
- [14] Takeshi Ito, Kengo Wakabayashi, Hitoshi Matsubara, (2018) “Thinking Process in Game of Curling”, Workshop on Curling Informatics 2018, pp. 16-20