

# カーリングの戦略を支援するシステムの提案と構築

北清勇磨<sup>†1</sup> 伊藤毅志<sup>†1</sup>

本研究では、カーリングを不確定ゲームとして捉え、モンテカルロ法を用いてカーリングの戦略を支援するためのシステムを作成する。このシステムを通して、不確定ゲームにおけるモンテカルロ法の有効性を検証するとともに、カーリングの競技レベルの向上に貢献するための戦略支援について考察する。

## Proposal and construction of a strategy system supporting Curling

YUMA KITASEI<sup>†1</sup> TAKESHI ITO<sup>†1</sup>

In this study we took curling as an unsure game, then used the Monte-Carlo method and constructed a system supporting tactics for curling. By using this system, we are studying the effects of the Monte-Carlo method against a unsure game and thinking of a strategy to lift curling into a competition level game.

### 1. はじめに

近年、様々なスポーツで IT 技術を用いた戦術支援が行われている。例えば、ロンドンオリンピックの日本女子バレーチームでは、過去の試合データを基にした戦略構築を行い銅メダル獲得に大きく貢献した。他にも野球やビリヤードでも IT 技術による戦略支援が行われており成果を挙げている。

一方カーリングは、「氷上のチェス」と呼ばれるほど高度な戦略が必要とされるにも関わらず、実用化に至るほどの戦術支援システムの開発は行われていない。そこで本研究では、完全情報確定ゲームに有効性が確認されているモンテカルロ法を用いてカーリングの戦略を支援するためのシステムを作成し、完全情報不確定ゲームにおけるモンテカルロ法の有効性を検証するとともに、カーリングの競技レベルの向上に貢献することを目的とする。

### 2. カーリングとは

#### 2.1 カーリングのルール

カーリングは氷上で行われるウィンタースポーツである。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を目標として各チームが交互に8回ずつストーンを氷上に滑らせる。すべてのストーンを投げ終わると、得点をカウントして終了する。ストーンをティーと呼ばれる円の中心により近づけたチームが得点を得る。この一区切りをエンドと呼び、試合では10エンドを行い総得点で勝敗を競う。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、前エンドで得点したチームが

先攻となる。どちらも得点しなかった場合には先攻後攻を入れ替えずに次のエンドを行う。

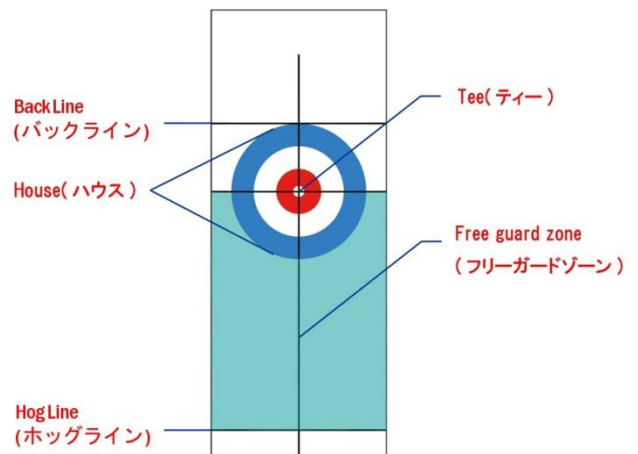


図1 カーリングのリンク

投げたストーンは、ホッグラインを越えないとアウトになり、バックラインを越えてもアウトになる。アウトになったストーンはプレーから外される。また、アウトにならないホッグラインからバックラインの間をプレーエリアと呼ぶ。

#### 2.2 得点の計算

カーリングでは、両チームがすべてのストーン（1チーム8個、計16個）を投げ終わった時点で、ハウスの中心に1番近いチームだけが得点できる。つまり負けたチームは必ず0点となる。

また、このとき得られる得点は相手チームのストーンより中心に近いストーンすべてが得点になる。ただし、ハウ

<sup>†1</sup> 電気通信大学  
University of Electro-Communications.

スの外にあるストーンは得点にはならない。

### 2.3 カーリングのゲームの特徴と基本戦略

先攻と後攻ではどちらが有利だろうか。先攻は、後攻の最後の一投でハウスの中央へショットを決めるコースを完全に塞ぐことは難しい。一般に、ラストショットで後攻はハウスの中央を狙うショットを投げる事ができるので、一般に後攻が圧倒的に有利なゲームである。そのため、勝つためにはハウスの中心にストーンを置きに行くだけではなく、相手を邪魔するような位置にストーンを置く戦略が必要となってくる。また、先攻のセオリーとして、無理をせず「後攻チームに1点を取らせる」というものがある。カーリングでは、得点をあげると次のエンドで有利な後攻が回ってくるので、最少失点の1点を相手に取らせる代わりに次のエンドで後攻を取るという10エンドを通した戦略の先読みも必要となる。

このようにカーリングは一投ごとに深い戦略が必要とされるゲームのため、「氷上のチェス」と呼ばれている。

## 3. 先行研究

カーリングの戦略支援システムの先行研究として、浦らの「ゲーム木に基づくカーリングの戦略解析」という研究がある[1]。この研究では、不確定なゲームとしてカーリングを取り上げ、経験者の協力のもとショットの難しさを数値で表し、最善な戦略をゲーム木探索により計算している。しかしながら、この研究ではショットが失敗した場合のリスクについては考慮していない。

そこで本研究では、モンテカルロ法を用いることによってこの問題を改善し、より実用的な戦略支援システムを構築する。

## 4. 作成した戦略支援システム

### 4.1 提案手法

先行研究で考慮されていなかったショットが失敗した場合のリスクを考慮した上で最善手を求める。シミュレーションに乱数を加えることによりショットの失敗を表現し、モンテカルロ法を用いて統計的に期待値が高い手を求める。

### 4.2 システムの概要

カーリングというゲームは、必ず決まった手数で終わりが来るゲームである。そういった性質から戦略支援システムを作る上でモンテカルロ法を用いるのが有効ではないかと考え、本システムではもっとも単純な原始モンテカルロ法を用いて実装した。

本システムでは、ゲーム全体の10エンド終了時までの戦略支援を行うのではなく、エンドごとの終盤からの戦略支援を想定している。

### 4.3 局面の表現

ストーンの位置情報を座標  $(x, y)$  で表し、ストーン的位置情報と現在何投目かを表す情報を組み合わせ局面の情報

とした。

### 4.4 ショットの表現

ストーンを投げることをショットと呼ぶ。ショットは初速度ベクトル  $v$  と回転角速度  $\omega$  の2つのパラメータ  $(v, \omega)$  で表す。初速度ベクトルは、ハックからのベクトルである[a]。

回転角速度  $\omega$  の大きさは一定とした。カーリングでは、まっすぐなショットというものは基本的には存在せず、必ず左右どちらかにカーブするものである。そしてそのカーブの軌道は回転角速度によらないとされているため、回転角速度  $\omega$  の大きさを一定とし、正の値だと右カーブ、負の値だと左カーブとした。

### 4.5 候補ショットの生成

ある局面が与えられたときに考えられるショットを候補ショットと呼ぶ。

候補ショットを生成するためには  $v$  と  $\omega$  の値を求めればよいのだが、 $v$  と  $\omega$  の値を直接サンプリングするのではなく、意味的に分けて考え候補ショットを生成した。本システムでは、既にあるショットの分け方を参考にヒットショット・カムアラウンド・ガードストーンを置きに行くショット・ティーを狙いに行くショットの4に分けて生成した[b][c][d]。

また、残り投数が1投の場合にはなるべく形勢が逆転しないようなショットのみを候補ショットとして生成するよう生成条件を変えている。

### 4.6 シミュレータ

局面を表す構造体とショットを表す2つのパラメータ  $(v, \omega)$  を与えると次の局面を生成するシミュレータを作成した。シミュレータには Box2D という物理エンジンをを用いており、物理演算によって次の局面を生成する[e]。本システムでは厳密な物理シミュレーションは行わずに、戦略解析のための必要最低限の範囲で演算を行っている。

そのため、氷の状態はリンク内において全て一定とした。実際のカーリングの試合では、ショットを投げるたびにリンクの氷の状態は変化していく。そのため試合の前半と後半ではリンクの摩擦などの状態は大きく変わってくる。しかし、シミュレーションを単純化するためにこのシステムでは氷の摩擦力を一定として扱った。

また、スウィーピングについても考慮していない[f]。スウィーピングは、投げたストーンを狙った位置に誘導するものなので、ショットの不確実性に吸収できるため扱って

a) ハックとは、ストーンを投げる時に使うけり台のこと。

b) ヒットショットとは、プレーエリア内にあるストーンにぶつけるショット。

c) カムアラウンドショットとは、ガードストーンの後ろへ回り込んで止めるショット。

d) ガードショットとは、味方のストーンを守るためにフリーガードゾーンにストーンを置くショット。

e) Box2D : <http://box2d.org/>

f) 投げられたストーンの進路前をブラシで掃く行為。

いない。

不確実性については、受け取ったショットのパラメータ ( $v, \omega$ ) に乱数を加えシミュレーションを行っている。これはスウィーピングによる影響やショットミスなどを考慮したものである。

#### 4.7 戦略支援システムの動作

ある局面に対し考えられる候補ショットを全て挙げる。その候補ショットに誤差を加えてシミュレーションを行う。それによって得られた新しい局面に対しても同様に候補ショットを挙げる。その中からランダムに1つを選びシミュレーションを行う。これを繰り返しエンド終了時まで行う。

この一連のシミュレーションを何度も行うことにより、それぞれの候補ショットを選んだ場合に目標得点を越える確率を計算する。その中で確率が一番高かったものを最善ショットとして出力する。

### 5. 解析例と評価

システムを評価するために解析例題 A~D を用意した。

#### 5.1 解析例題 A

第 10 エンド - 15 投目  
先手：赤 7 点，後手：黄 6 点



図 2 解析例題 A

例題 A の局面は、15 投目であり次のショットを行うのは先手の赤ストーンของทีมである。その為に赤チームの次の最善手を求める。

##### 5.1.1 システムによる評価

###### (1) 目標得点を 0 点以上とした場合

目標得点を 0 点以上とし本システムで最善手を求めた。すると候補ショットが 98 種類挙がり、その中から最善手として最も目標達成率の高いショットを出力した。

最善手として表示されたショットは、自分が No.1 ストーンになると同時に、c のストーンにくっつけることによりラストショットではじき出されにくい状況を作り出している [g]。その為にこのショットが最善手として出力されたのだと考えられる。

説明に用いている画像の矢印はストーン軌道を示すものであり、×印はショットの停止地点を示している。

g) No.1 ストーンとは、ティーが一番近いストーンのこと。

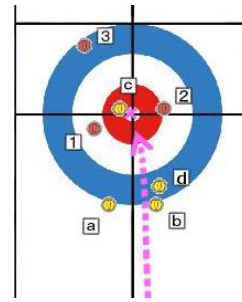


図 3 解析例題 A に対してシステムが出力したショット (目標得点を 0 点以上とした場合)

###### (2) 目標得点を -1 点以上とした場合

赤チームは現在 1 点差で勝っている。そのためこの最終エンドで黄色チームに 2 点以上取られることが無ければ負けることはない。そのため、目標得点を -1 点以上とし、本システムで最善手を求めた。

最善手として挙がったショットは、ティーへと向かう道を閉ざすガードショットであった。そのためにラストショットで直接ティーを狙うことができず、1 点の失点で抑えられる確率が高くなっている。そのためにこのショットが最善手として出力されたのだと考えられる。

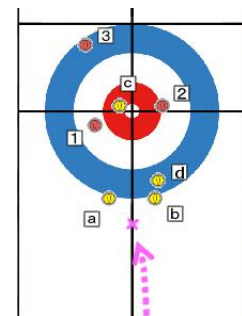


図 4 解析例題 A に対してシステムが出力したショット (目標得点を -1 点以上とした場合)

##### 5.1.2 経験者による評価

例題に対し考えられるショットを経験者の方に挙げてもらったところ、経験者の方からは以下の 3 つのショットが挙がった。

経験者の方に挙げてもらったショットは全て 1 点を取りに行くショットであるが、1 番目と 3 番目のショットは相手に 1 点を取らせてもよいという考えのショットであった。また 2 番目のショットは、危険性は高いが他のショットに比べ点数を取れる可能性の高いと考えられるショットであった。

目標点数を 0 点以上としたときにシステムが出力した最善手は、経験者が最も点数を取れる可能性が高いと答えた 2 番目のショットと類似したショットであった。

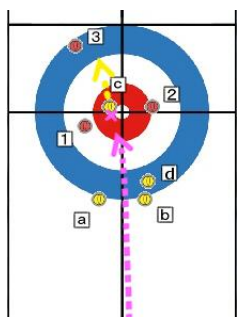


図 4 解析例題 A に対して経験者が挙げたショット 1

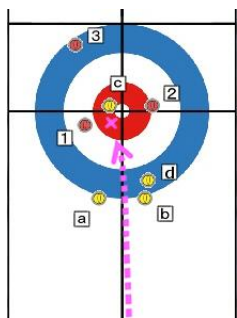


図 5 解析例題 A に対して経験者が挙げたショット 2

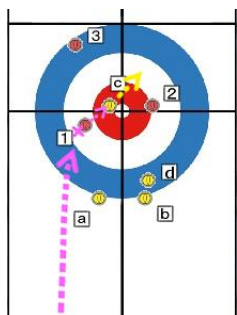


図 6 解析例題 A に対して経験者が挙げたショット 3

## 5.2 解析例題 B

第 10 エンド - 13 投目  
 先手：黄 3 点，後手：赤 4 点

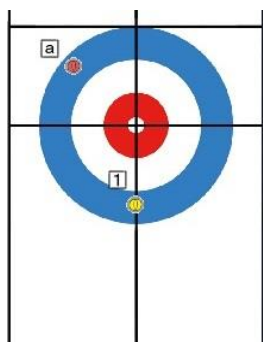


図 7 解析例題 B

例題 B の局面は，13 投目なので次のショットを行うのは先手の黄石のチームである．その為黄チームの次の最善手を求める．

## 5.3 システムによる評価

### (3) 目標得点を 2 点以上とした場合

黄色チームは現在 1 点差で負けている．そのため黄色チームが勝つためにはこの最終エンドで 2 点以上取らなくてはならない．

そのことから目標得点を 2 点以上とし，本システムで最善手を求めた．

#### 5.3.1 システムによる評価

##### (1) 目標得点を 2 点以上とした場合

黄色チームは現在 1 点差で負けている．そのため黄色チームが勝つためにはこの最終エンドで 2 点以上取らなくてはならない．

そのことから目標得点を 2 点以上とし，本システムで最善手を求めた．

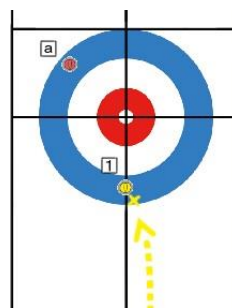


図 8 解析例題 B に対してシステムが出力したショット (目標得点を 2 点以上とした場合)

2 点以上得点するためには，なるべく多くの自分のチームのストーンを残す必要がある．そのために 1 番のストーンにくっつけるようなこのショットが出力されたのだと考えられる．

##### (2) 目標得点を 1 点以上とした場合

黄色チームは現在 1 点差で負けている．そのため黄色チームがこのエンドで 1 点を取ることができれば延長戦となり，このエンドで負けることはなくなる．

そのことから目標得点を 1 点以上とし，本システムで最善手を求めた．

最善手として出力されたショットは，自分の 1 番のストーンの右側にくっつけるようなショットであり，目標点数を 2 点以上とした図 8 のショットと同じショットであった．

#### 5.3.2 経験者による評価

例題に対し考えられるショットを経験者の方に挙げてもらったところ，経験者の方からは以下の 2 つのショットが挙げられた．

解析例題 B では，システムと経験者では全く異なるショットを挙げた．経験者が挙げたようなショットをシステムが挙げなかった理由として，ショットミスや精度が関係していると考えられる．経験者の挙げたショットは味方のガードストーンに隠れることに意味がある．システムのシミ

ュレーションではガードストーンに隠れないパターンが頻出し、目標達成率が下がり最善手として出力されなかったのだと考えられる。

また2つめのショットに関しては、本システムのシミュレーションでは1番のストーンに対してカムアラウンドを行いティーへとストーンを運ぶことは不可能となっている。カーブがそこまで曲がらないためである。実際にシステムでこのショットを狙ってみるとどうしても1番のストーンにぶつかってしまう。その為に2つめのショットも最善手として出力されなかったのだと考えられる。

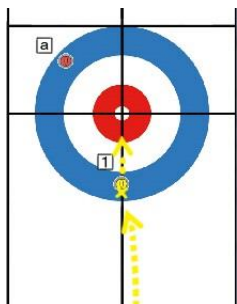


図 9 解析例題 B に対して経験者が挙げたショット 1

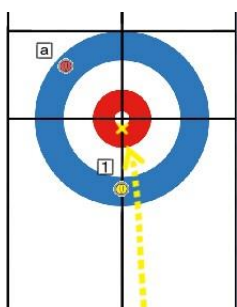


図 10 解析例題 B に対して経験者が挙げたショット 2

#### 5.4 解析例題 C

第9エンド - 13 投目  
先手：赤 6 点，後手：黄 6 点

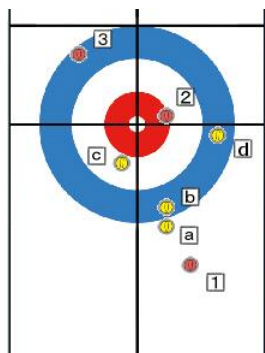


図 11 解析例題 C

例題 C の局面は、13 投目なので次のショットを行うのは先手の赤ストーンのチームである。その為に赤チームの次

の最善手を求める。

#### (3) 目標得点を 2 点以上とした場合

赤チームは現在同点で第 9 エンドを迎えている。そのためこのエンドで 1 点を取り、1 点差で不利な先手で最終エンドを迎えたくはない。

そのため目標得点を 2 点以上とし、本システムで最善手を求めた。

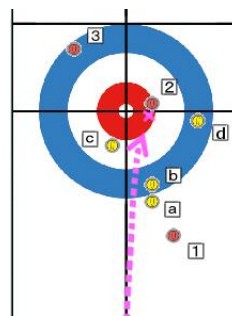


図 12 解析例題 C に対してシステムが出力したショット (目標得点を 2 点以上とした場合)

最善手として出力されたショットは、カムアラウンドと呼ばれるショットで、ガードストーンの後ろに回り込んではじき出されにくい位置へストーンを置くショットである。さらにそのショットで No.1 と No.2 を取れるので、この 2 つのストーンを守ることで 2 点以上獲得に繋がる。その為にこのショットが最善手として出力されたのだと考えられる。

#### (4) 目標得点を -1 点以上とした場合

例題 C は次のようにも考えることができる。

赤チームは現在同点で第 9 エンドを迎えている。そのためこのエンドで 1 点失点しても、1 点差で最終エンドに有利な後攻が回ってくる。その有利な最終エンドで 2 点取ればよいので、このエンドでは 1 点までなら取られても構わない。

そのため目標得点を -1 点以上とし、本システムで最善手を求めた。

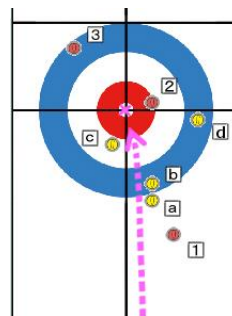


図 13 解析例題 C に対してシステムが出力したショット (目標得点を -1 点以上とした場合)

最善手として出力されたショットは、左カーブでティー



を狙うショットであった。ティーに赤のストーンが置かれるとNo.1ストーンとNo.2ストーンが赤のストーンになる。そのままエンドを終えると赤チームが2点得点してしまうため、黄色チームはNo.1もしくはNo.2あるいはその両方をはじき出さなくてはならなくなる。その場合、2番のストーンはガードストーンの下に隠れているため、ティーに置いたNo.1ストーンをはじき出し、黄色が1点取得となるパターンが多くなる。その為このショットが最善手として出力されたのだと考えられる。

### 5.4.1 経験者による評価

例題に対し考えられるショットを経験者の方に挙げてもらったところ、経験者の方からは以下の4つのショットが挙げられた。

1つ目と2つ目のショットは、最悪でも失点を1点に抑えるという考えのショットであり、3つ目と4つ目のショットは1点を取りに行くショットである。

目標得点を2点以上とした場合にシステムが出力した最善手のショットと、経験者の方が挙げた1点を取りに行くという3つ目のショットが一致した。

しかし、経験者の方が挙げた1つ目のヒットアンドロールショットは、候補ショットとして挙げられていなかった[h]。

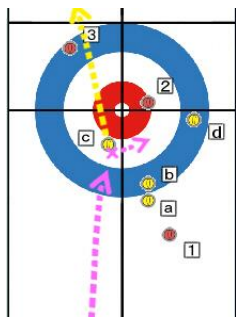


図 14 解析例題 C に対して経験者が挙げたショット 1

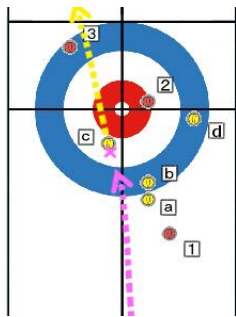


図 15 解析例題 C に対して経験者が挙げたショット 2

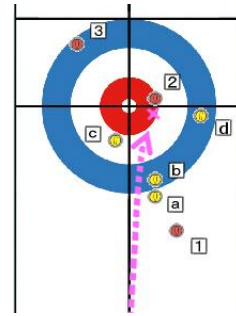


図 16 解析例題 C に対して経験者が挙げたショット 3

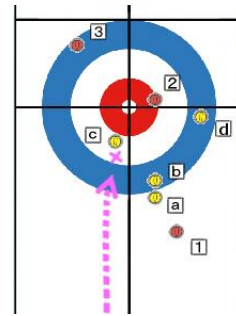


図 17 解析例題 C に対して経験者が挙げたショット 4

### 5.5 解析例題 D

第 10 エンド - 15 投目

先手：黄 7 点，後手：赤 6 点

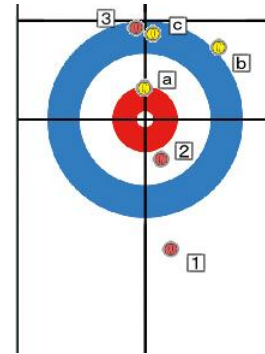


図 18 解析例題 D

例題 D の局面は、15 投目なので次のショットを行うのは先手の黄ストーンチームである。その為黄チームの次の最善手を求める。

#### (5) 目標得点を 0 点以上とした場合

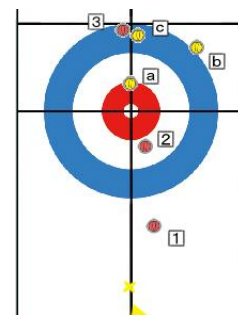


図 19 解析例題 D に対してシステムが出力したショット

h ヒットアンドロールショットとは、ストーンに当てて、投げたストーンも動かして目的の場所に止めるショット。

(目標得点を0点以上とした場合)

最善手として出力されたショットはセンターライン上にガードストーンを置くショットであった。これは No.1 ストーンである a のストーンを守るショットであり、a のストーンを守るにより 1 点を取得することができる。そのためにこのショットが最善手として出力されたのだと考えられる。

(6) 目標得点を-1点以上とした場合

最善手として出力されたショットは、目標得点を0点以上と設定した場合に出力された最善手と同じショットであった[図 19].

5.5.1 経験者による評価

例題に対し考えられるショットを経験者の方に挙げてもらったところ、経験者の方からは以下の4つのショットが挙げた。

1~3のショットは、1点を取りに行く、1点を取らせるにしても相手にプレッシャーを与えるという考えのショットである。これらのショットは a のストーンを守るようなショットで、相手のドロースhotにプレッシャーを与える狙いがある[i].

4つ目のショットは、相手に1点を取らせることが目的のショットである。

目標得点を0点以上とした場合、-1点以上とした場合で同じショットが最善手として出力された。そしてそのショットは経験者が挙げた1つ目のショットと意味的に似たショットであった。

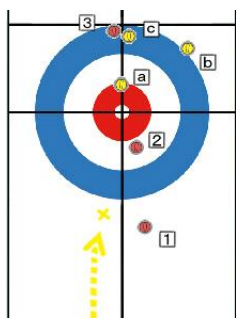
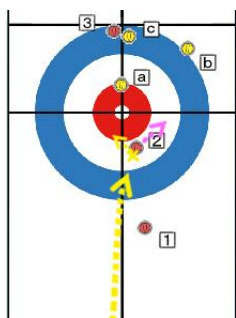


図 20 解析例題 D に対して経験者が挙げたショット 1



i) ドロースhotとは、ハウス内の狙った位置にストーンを止めるショット。

図 21 解析例題 D に対して経験者が挙げたショット 2

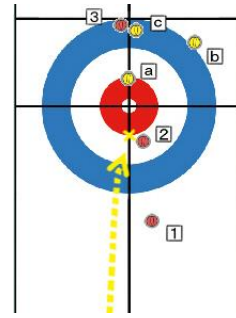


図 22 解析例題 D に対して経験者が挙げたショット 3

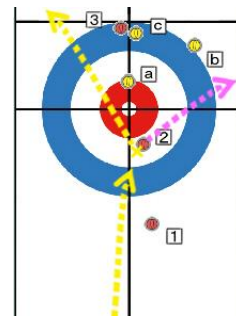


図 23 解析例題 D に対して経験者が挙げたショット 4

5.6 考察

解析例題 A~D の 4 間に対し、システムで最善手を求めてみた結果、解析例題 A・C・D の 3 間において経験者の方に挙げて貰ったショットと似たショットが出力された。原始モンテカルロという単純にランダムに手を選ぶだけのアルゴリズムでもこのような結果になったのは、ラスト 1 投での候補ショットの挙げ方に条件を加えたのが効いていると考えられる。

本論文の目的は、完全情報確定ゲームで有効性が確認されているモンテカルロ法が完全情報不確定ゲームにおいても有効であるかを検証することであった。4 間の解析例題に対し、3 間で経験者の方に挙げてもらったショットと類似したショットが出力されたが、これらのショットが妥当なものであるかどうかはより深く考察していく必要がある。

6. おわりに

今後の課題として、今回候補ショットとして挙げていなかったより複雑なショットも挙げられるようにする必要がある。候補ショット数が増えると計算時間が長くなることが予想されるので、考える必要のないショットをカットするなど、効率よく計算する手法を考察していく必要もある。さらに、評価アルゴリズムを原始モンテカルロからモンテカルロ木探索を用いることで、システム全体としての精度を上げたい。

その上でいままで定石とされてきた考え方やセオリーが本当に正しいのかを調べたり、システムを用いて戦術の学

習支援に用いたりすることで、カーリングの競技レベルの向上につながるような研究に繋げていきたい。

**謝辞** 本研究を進めるにあたり、カーリングに関する様々なご助言をいただいた株式会社絆の片山宗臣様、石山達彦様に御礼申し上げます。

また、カーリングの取材にご協力くださった北見工業大学の柳等先生、榊井文人先生、カーリングの経験者としてアンケートにご協力して頂いた北見工業大学のカーリング部の皆様方にも御礼申し上げます。

ご協力ありがとうございました。

### **参考文献**

[1] 浦正広, 山田雅之, 遠藤守, 宮崎慎也, 安田孝美, 横井茂樹: ゲーム木に基づくカーリングの戦略解析, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.107, no.130, MVE2007-28, pp.31-36 (2007.07.02), 電子情報通信学会技術研究報告, vol.107, no.129, IE2007-25, pp.31-36 (2007.07.02)