

デジタルカーリング AI における戦略書に基づく序盤定石の構築

森健太郎^{†1} 伊藤毅志^{†2}

概要: デジタルカーリング AI では探索の手法が用いられているが、序盤に精度よく探索を行うことが難しい。そこで本研究では、戦略書に基づきデジタルカーリング AI における序盤定石の構築を行う。序盤定石を既存 AI に導入し、対戦によって有効性を検討する。

Construction of Opening Book in Digital Curling AI from a Book of Strategy

KENTARO MORI^{†1} TAKESHI ITO^{†2}

Abstract: Competitive Digital Curling AIs use search-based algorithms. However, search-based algorithms are inaccurate in the opening of a game. We construct an opening book in Digital Curling AI based on a book of curling strategy. We introduced opening book into AI based on Monte-Carlo Tree Search and evaluated by competition.

1. はじめに

「デジタルカーリング」は、カーリングにおける戦略のみを議論するための場を提供するシステムである[1][2]。デジタルカーリングによる AI 同士の大会も開かれており、その有効性が示されている[3]。

大会上位プログラムは、モンテカルロ機探索などの探索的手法を用いていることが多い。これらのプログラムは中終盤においては有効なショットを選択できるが、序盤のショット選択に難がある場合がしばしばみられる。その原因として、序盤はプレイアウトに必要な手数が多いために、シミュレーションの精度が低くなる点や、「フリーガードゾーンルール」と呼ばれる、4 投目までに適用される特殊なルールが中盤以降の戦略に大きな影響を与えることを考慮していない点が挙げられる。

将棋のような手順の長いゲームにおいては、このような序盤の特殊性に対して、定跡のような序盤データベースの導入が行われており、その利点として「探索によって得ることが難しい良い手を選択できること」「制限時間のある対局において思考時間を節約できること」が挙げられる[4]。本研究では、フリーガードゾーンルールが適用される 4 投目までを序盤と定義し、経験的な知識をもとに序盤データベース（以下、序盤定石）を構築し、その有効性を検証する。

2. カーリング

本章では、カーリングのルールと基本的な戦略の考え方について述べる。

2.1 ルール

2.1.1 基本ルール

カーリングは、氷上の約 40 メートル先の「ハウス」と呼ばれる円をめぐって、2 つのチームが交互にストーンを滑らせるスポーツである。各チーム 8 投ずつ、合計 16 投を 1 エンドとし、通常 10 エンドの合計得点を競う。

カーリングの得点計算は、各エンドで両チームが 8 投ずつを投げ終わった時点で行われる。ハウス内にあり、ハウスの中心にもっとも近いストーンを持つチームが、相手ストーンより内側にあるストーンの数を得点として獲得する。

1 エンド目の先手後手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したチームが先攻となる。どちらのチームも得点しなかった場合を「ブランクエンド」と呼び、先手後手を入れ替えずに次のエンドを行う。



図 1 カーリングのシート

2.1.2 フリーガードゾーンルール

序盤における特殊なルールとして、フリーガードゾーンルール（以下、FGZ ルール）と呼ばれるものがある。各チーム 2 投ずつ、合計 4 投が投げ終わるまで、フリーガードゾーン（図 1 の緑に塗りつぶされたエリア）にある相手のストーンをプレイエリアからはじき出すことはできない。

相手のストーンを弾きだしてしまった場合、投げたスト

^{†1}^{†2} 電気通信大学
The University of Electro-Communications

ーンはゲームから取り除かれ、弾きだされたストーンはもとの位置に戻される。

2.2 カーリングの戦略

カーリングの戦略書である「Introduction to Curling Strategy」[5]（以下、戦略書）では、カーリングにおいて重要な戦略について紹介している。戦略書では、氷のコンディションの変化やプレイヤーのスキルなどを考慮した戦略についても述べられているが、これらの要素はデジタルカーリングには存在しない。

本節では、戦略書の記載のあるものの中から、デジタルカーリングにおいても適用可能な、点差や先手後手・ストーンの配置のみを考慮した戦略について述べる。

2.2.1 エンドプラン

カーリングでは 10 エンドの合計得点を競うため、各エンドの目標点数は点差やエンド数によって異なる。目標点数と積極性（どの程度リスクを冒して目標点数を取りに行くか）を考慮した各エンドの戦略を「エンドプラン」と呼び、これがゲームを組み立てる上で重要な考え方となる。

戦略書では、エンド数と得点差、先手か後手かによって、あらかじめ用意した「プレイブック」と呼ばれるテーブルに従ってエンドプランを選択する手法を紹介している。

2.2.2 ショット選択

FGZ ルールの存在により序盤のショット選択が、エンドプランを達成できるかどうか大きく影響する。戦略書では序盤のショット選択において考慮すべき要素として、以下の 3 つを挙げている。

- **FGZ ルールを利用するかどうか**

FGZ ルールを利用してハウスの手前にストーンを配置することで、後半にハウス内のストーンを守るためのストーンとして利用することができる。このようにして得点圏のストーンを守ることで複数を狙うことが可能となるが、同時に自分のガードストーンを相手に利用されるリスクも高まる。

そのため、リードしている場合など、積極的に高得点を狙いに行く必要がない局面では、FGZ ルールを利用せずに相手のテイクアウトショット（相手のストーンをはじき出すようなショット）を誘うことで、局面をシンプルにし失点のリスクを抑えることができる。

- **サイドでプレイするか、センターでプレイするか**

カーリングではエンドの最後の 1 投をハウスの中央へ投げることで、後手は最低でも 1 点は得点することができる。そのため、後手はセンターライン付近にあるストーンを排除し、サイドにストーンを配置することが有効である。一方で先手は後手に得点させないために、センターライン付近にストーンを配置するようにプレイすることが有効となる。

- **ティーラインでプレイするか**

ハウスの奥へストーンを配置すると、相手にフリー

ズショット（相手のストーンに接触した状態で停止するようなショット）を投げられ、またハウスの手前に配置すると相手にカムアラウンドショット（相手のストーン回り込むようなショット）を投げられてしまう。このように、いずれも相手に自分のストーンを利用されてしまうため、ストーンをハウス内へ配置する場合は、ティーライン上へストーンを配置することが有効とされる。

3. 先行研究

本章では、デジタルカーリング AI の強化を目的とした関連研究について述べる。

3.1 戦略の不確実性を考慮したカーリング AI

カーリングでは将棋や囲碁と同様に、先読みを行ってショットを選択する必要があることから、これらのゲーム AI で用いられている探索手法をデジタルカーリング AI に導入する試みが行われている。加藤らは、評価関数を用いたゲーム木探索をデジタルカーリング AI に導入した[6]。

デジタルカーリングではショットの初速ベクトルに乱数が加わって、実際のショットが生成される。そのため、ある地点を目標としてストーンを投げた場合の評価値を求めるためには、乱数ありのシミュレーションを膨大な回数行う必要がある。そこで加藤らの研究では、評価値の近似を行うことを目的として、局面をグリッド状に分割した点への乱数なしのシミュレーションによって求めた評価値を、事前に求めたショットの停止位置に関する確率分布で重みづけして和を取る手法を提案した。ただし、実際には局面すべてを細かくグリッド状に分割すると膨大な回数のシミュレーションを行う必要があることから、衝突が起きない領域についてはグリッドを荒くすることで、大幅なシミュレーション回数の削減を実現している。この手法を導入したデジタルカーリング AI である「じりつくん」は IEEE-CIG 2015 デジタルカーリングミニ大会において優勝を収めた。

この手法の問題点として、シミュレーション回数は局面の複雑度（ストーンの数）に依存することや、単純な曲面であっても一定回数のシミュレーションが必要であることから、持ち時間に応じて 1 回のショット選択にかかる時間を制御することが難しいという点が挙げられる。

3.2 モンテカルロ木探索のカーリング AI への導入

囲碁において結果を残している探索の手法として、モンテカルロ木探索が挙げられる。この手法を導入したデジタルカーリング AI として、第 1 回 UEC 杯デジタルカーリング大会の優勝プログラムの「歩」があり、そのソースコードが公開されている[7]。

このプログラムではランダムシミュレーション中においてある程度ストーンの配置が近い局面を同一局面とみなし、シミュレーション回数が増加に伴い局面認識の精度を

上げる手法を用いることで、デジタルカーリングにおける局面の連続性に対応している。モンテカルロ木探索の問題点として、1 プレイアウト当たりのシミュレーション回数が多い序盤では、十分なプレイアウト回数が稼げない点が挙げられる。そのため、「歩」では作者のヒューリスティックによる候補手の絞り込みや1 投目での決め打ちなどを行っているが、リードしていない状況で1 投目にスルーショットを生成するなどその妥当性には疑問の余地がある。本研究では、戦略書に基づく序盤定石を導入することで、持ち時間の節約による中盤以降のモンテカルロ木探索の精度向上を試みるとともに、序盤では探索によって得られるショットより良いショットを選択することで、AI の強化を図る。

4. 提案手法

本章では、提案手法の構成と、導入した戦略の知識について述べる。

4.1 概要

戦略書に基づく序盤定石を導入することで、「序盤の思考時間の節約による中盤以降の探索にかけられる時間の増加」と「探索では得ることが難しい良いショット選択の実現による AI の強さ向上」を目指した。

図 2 に提案手法によるショット選択 手順をフローチャートで示す。1 投目に点差やエンド数をもとに事前に用意されたエンドプランが選択される。そして、事前に想定される局面配置を用意しておき、実際の局面と合致する局面であれば定石 DB からそれに対応するショットを生成する。合致する局面が存在しない場合はショットベクトルに NULL が代入されるため、実際の対戦プログラムでは既存の探索手法などによりショットを生成する必要がある。

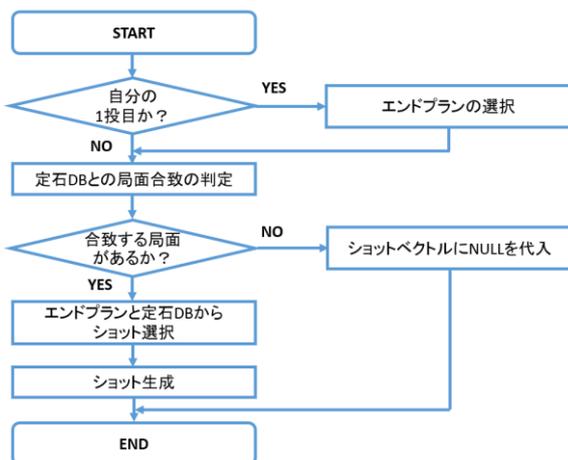


図 2 提案手法のショット選択手順

4.2 エンドプランの選択

エンド数や投数に応じたショット選択を実現するために、本手法では 2.2 節で述べたエンドプランの概念を導入した。デジタルカーリングでは、氷のコンディションやプレイヤーのスキル（ショットのブレ）は一定であるため、エンドプ

ランを決定する際に考慮すべき要素は現在のエンド数・得点差・先手後手の3点と考えることができる。そこで 2.2.1 節で紹介した「プレイブック」のように、テーブル形式でエンドプランの実装を行った。

自分の1 投目では、ショット選択の前に現在のエンド数と得点差、先手後手から、テーブルを用いてエンドプランを選択する。

戦略書より、エンドプランにおける目標得点は以下に示す7種類とした。

- SCORE_2 (2点取る)
- BLANK_OR_2 (ブランクエンドにする。可能であれば、2点を取る)
- AVOID_STEAL (先手に得点させない)
- STEAL_1 (先手で1点得点する)
- STEAL_2 (先手で2点得点する)
- FORCE_1 (後手に一点取らせる)
- AVOID_1 (後手に点を取らせない)

また、積極性は0,1,2,3の4段階(大きいほど積極性が高い)とした。積極性を4段階に設定したのは、戦略書に記述されている、積極性に応じたショットの種類が最大で4つであるためである。

実際のテーブルは戦略書の実例をもとに、表1のように設定を行った。カーリングは通常10 エンドで競われるため、デジタルカーリングの内部値に合わせてエンド数を0~9の値で表現している。また、テーブルに記載されたものより大きな点差が付いている場合は、その点差にもっとも近い点差のエンドプランを採用する。

例えば10 エンド目、得点は自分が10点、相手が11点で後手の場合、エンド数9・得点差-1の項目から目標点数が SCORE_2、積極性は3設定される。また、8 エンド目、得点差が-3で先手の場合、得点差が-3の項目は存在しないため、エンド数7・得点差-2の項目から目標点数は STEAL_1、積極性は4と設定される。

本論文では以降、エンドプランを(目標点数, 積極性)のように表現する。

表 1 エンドプランテーブル

エンド	点数差	後攻	先攻
0 - 2	-2	SCORE_2	STEAL_1
		1	1
	-1	BLANK_OR_2	STEAL_1
		2	1
	0	BLANK_OR_2	FORCE_1
		2	1
1	SCORE_2	FORCE_1	
	2	1	
2	SCORE_2	FORCE_1	
	2	1	
3 - 6	-3	SCORE_2	STEAL_1
		3	2
	-2	SCORE_2	FORCE_1
		2	1
	-1	SCORE_2	FORCE_1
		2	1
	0	SCORE_2	FORCE_1
		1	1
1	SCORE_2	FORCE_1	
	1	1	
2	SCORE_2	FORCE_1	
	1	1	
3	BLANK_OR_2	AVOID_1	
	1	1	
7	-3	SCORE_2	STEAL_1
		3	4
	-2	SCORE_2	STEAL_1
		2	4
	-1	BLANK_OR_2	STEAL_1
		2	2
	0	BLANK_OR_2	FORCE_1
		2	2
1	SCORE_2	FORCE_1	
	1	2	
2	AVOID_STEAL	FORCE_1	
	1	1	
8	-3	SCORE_2	STEAL_1
		4	4
	-2	SCORE_2	STEAL_1
		3	3
	-1	BLANK_OR_2	STEAL_1
		2	2
0	BLANK_OR_2	STEAL_1	
	1	2	
1	AVOID_STEAL	FORCE_1	
	1	1	
2	AVOID_STEAL	FORCE_1	
	1	1	
9	-2	SCORE_2	STEAL_2
		4	4
	-1	SCORE_2	STEAL_2
		3	3
	0	AVOID_STEAL	STEAL_1
		1	4
1	AVOID_STEAL	AVOID_1	
	1	1	
2	AVOID_STEAL	AVOID_1	
	1	1	

4.3 局面の合致判定

カーリングにおける局面の数は無限である。そのため、現在局面と定石 DB に登録された局面との合致を判定するために、石の位置を離散化する必要がある。

そこで提案手法では、シートを図 3 に示すように (12 のエリア+エリア外) の合計 13 のエリアに分割し、どのエリアにいくつストーンが存在するかによって局面の合致を判定する。

具体的には、ハウス内を $3 \times 3 = 9$ (図 3 の 0~8 の領域) 分割、フリーガードゾーンをハウスの手前のエリア (図 3 における 9, 10, 11 の領域) で 3 分割し、残りプレイエリアとプレイエリア外を図 3 における 12 の領域とした。

リンクをこのように分割したのは、2.2.2 節で述べたように、特に序盤においては「ストーンがリンクのセンターとサイドどちらにあるか」「ハウス内のティーライン付近にあるか、あるいは手前や奥にあるか」「フリーガードゾーンを利用するか (相手が利用しているか)」がショット選択に大きく影響するためである。

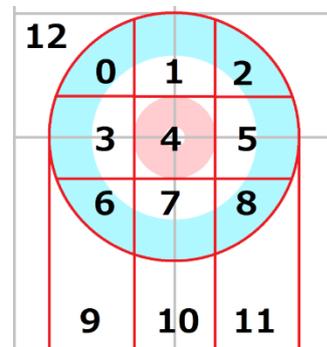


図 3 局面の分割

4.4 定石 DB の実装

戦略書では「目標点数が 2 点、先手が 1 投目をセンターガード (ハウスの中央手前) にストーンを配置してきた場合、積極的なプレイではサイドガード (ハウスのサイド手前) を投げる」というように、具体的な局面に対してどのようなショットを投げるべきかが記述がされている。これを「後手の 1 投目でエンドプランが (SCORE_2, 3) または (SCORE_2, 4) の場合、かつ図 3 のエリア 4 に相手ストーンが存在する場合、サイドガードを投げる」という if-then ルールとして記述した。

このようなルールを戦略書に記述のあるものすべてについて記述したものを、定石 DB として実装した。ただし、「複数のストーンにガードされたあるストーンを弾きだせるかどうか」など、判定に物理シミュレーションを要する局面は除外し、石の単純な位置関係のみで判定可能な局面のみを選択した。

4.5 定石 DB に基づくショット選択

カーリングでは、同一の盤面であっても、エンドプランによって選択する局面は異なる。そこで提案手法では、ある局面に対しエンドプランに応じたショットの選択肢を記述し、実際のエンドプランに対応するショットを選択するようにした。

図 4 に先手がセンターガードショットを投げた場合の、後手の 2 投目のショット選択例を示す。後手のエンドプラン

ンは (SCORE_2, 3) であるとする。目標点数が 2 の場合のショットの選択肢は「相手のガードストーンへのティックショット (下段左)」「ハウスの中央へカムアラウンド (下段中央)」「サイドへのガードショット (下段右)」の 3 つである。図 4-3 の例では積極性は 3 であるため、「サイドへのガードショット」が選択される。

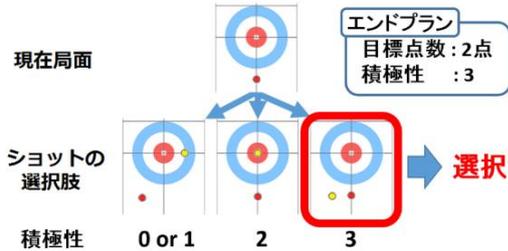


図 4 定石 DB に基づくショット選択の例

4.6 ショットの生成

選択した局面に対するショットは「局面上のある座標で停止するショット」と「ある単一のストーンを弾き出すようなショット」の 2 種類であるため、これらのショットを公式サイトで配布されているシミュレータに含まれるショット生成関数 (目標座標で停止するショット生成を生成する CreateShot 関数, および目標座標を通るある強さのショットを生成する CreateHitShot 関数) を用いてショットの生成を行うようにした。

局面上のある座標で停止するショットは、図 3 右方向を x 軸, 下方向を y 軸として、次のように実装した。

- センターガード
ハウスの中心を (x,y) として, $(x,y + (\text{ハウスの半径} * 2.5))$ を目標座標として, CreateShot 関数でショットを生成。
- サイドガード
ハウスの中心 (x,y) として, $(x - (8 \text{ フィート円} * \text{半径}), y + (\text{ハウスの半径} * 2.5))$ を目標座標として, CreateShot 関数でショットを生成。
- センターへのドローショット (ハウス内で停止するショット)
ハウスの中心 (x,y) を目標座標として, CreateShot 関数でショットを生成。
- サイドへのドローショット
ハウスの中心を (x,y) として, $(x + 8 \text{ フィート円の半径}, y)$ を目標座標として, CreateShot 関数でショットを生成。
- フリーズショット
目標のストーンの座標を (x,y) として, $(x,y + (\text{ストーン} * \text{半径} * 2))$ を目標座標として CreateShot 関数でショットを生成。
- カムアラウンド (目標ストーンに回り込むようなシ

* 8 フィート円 : 図 3 におけるハウスの青色の領域と白色の領域の境界をなす円のこと

ョット)

目標のストーンの x 座標を x_{stone} , ハウスの中心の y 座標を y_{house} として, (x_{stone}, y_{house}) を目標座標として CreateShot 関数でショットを生成

- スプリットショット (ふたつのストーンが間隔を空けて横に並ぶようなショット)

目標のストーンの座標を (x,y) として, ストーンがハウスの左側に存在した場合は $(x + (\text{ストーン} * \text{半径} * 6), y)$, ストーンがハウスの左側に存在した場合は $(x - (\text{ストーン} * \text{半径} * 6), y)$ を目標座標として CreateShot 関数でショットを生成。

また, ある単一のストーンを弾き出すようなショットは次のように実装した。

- 目標ストーンへの強いヒットショット
目標のストーンの座標を通り, 強さが最大値 16 のショットを CreateHitShot 関数により生成。
- ヒットアンドロール (目標のストーンを弾きだし, 投げたストーンは目標の横にずれてハウス内にとどまるようなショット)
目標のストーンの座標を (x,y) として, 右にストーンをずらしたい場合は $(x - (\text{ストーン} * \text{半径} / 2), y)$, 左にストーンをずらしたい場合は $(x + (\text{ストーン} * \text{半径} / 2), y)$ を通る, 強さが最大値 16 のショットを CreateHitShot 関数により生成。

5. 評価実験

本章では, 提案手法の有効性を検証するために行った実験について述べる。

5.1 実験の概要

提案手法を従来手法と比較するために, 第 1 回 UEC 杯 デジタルカーリング大会の優勝プログラムである「歩」に提案手法を組み込んだプログラムを用意した。提案手法を「歩」に組み込んだプログラムは図 5 に示す手順でショットの選択を行う。

対戦実験では, 引き分けを除いた勝ち数と負け数を用いて, 有意水準 5% の片側二項検定を行った。

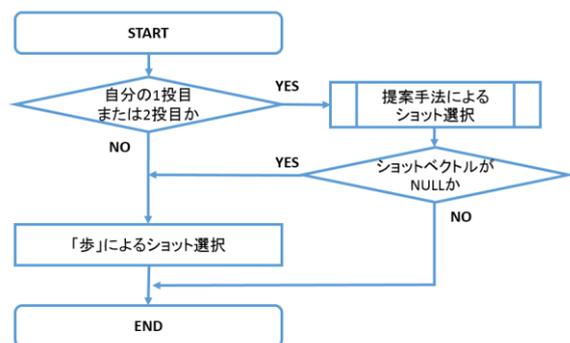


図 5 提案手法を組み込んだ「歩」のショット選択手順

5.2 UEC 杯レギュレーションでの対戦実験

5.2.1 目的

本実験では、モンテカルロ木探索によってショットの選択を行う従来手法のプレイヤーに、提案手法を加えたプレイヤー（以下、提案システム）が、従来手法のプレイヤー（以下、従来システム）よりも強くなったかどうかを確認するために、第 1 回 UEC 杯デジタルカーリング大会と同一の環境での対戦を行った。

5.2.2 方法

提案システムと従来システムの対戦を、第 1 回 UEC 杯デジタルカーリング大会と同一環境[8]にて、先手後手を入れ替えて 250 試合ずつ、合計 500 試合の対戦を行った。

◆ 試合設定

- エンド数：10 エンド
- 持ち時間：438 [秒]
- 乱数の大きさ：0.145

◆ 実行環境

- OS：Microsoft(R) Windows(R) 7 Professional 64bit
- CPU：Intel(R) Xeon(R) X5472 3.00GHz (4 コア × 2CPU)
- RAM：8GB

5.2.3 結果

表 1 に、UEC 杯レギュレーションにおける提案システムの、既存システムに対する勝敗数を示す。

表 2 UEC 杯条件における提案システムの対戦結果

勝利	敗北	引き分け	P
227	186	87	0.025

5.2.4 考察

表 1 より提案手法を加えたプレイヤーは、従来手法の「歩」と比べ有意に勝ち越している。このことから、提案手法を導入することによって、探索のみによってショット選択を行うプレイヤーを強化することができたといえる。

勝ち越した原因として、「序盤の思考時間の節約による中盤以降の探索にかけられる時間の増加」と「探索では得ることが難しい良いショット選択の実現」の 2 点が考えられる。

この 2 点について 5.3 節および 5.4 節にて検討を行なう。

5.3 プレイアウト数の比較実験

5.3.1 目的

定石によるショット選択は持ち時間に対して十分に短い時間で行えるため、持ち時間を各手番に自由に割り振れるデジタルカーリングでは、定石により持ち時間の節約が可能となる。

本実験では、定石によるショット選択によって節約した持ち時間により、中盤以降の探索時間が増加していることを確認するために、思考時間とプレイアウト数の比較を行った。

5.3.2 方法

5.2 節の実験と同様の条件にて、提案システムと既存システムそれぞれの、モンテカルロ木探索を行った手番における思考時間とプレイアウトを記録した。

5.3.3 結果

各手番での提案システムと既存システムそれぞれの平均思考時間と平均プレイアウト数を示す。

表 3 平均思考時間と平均プレイアウト数

	提案システム	既存システム
思考時間 [ms]	6451.9	5816.3
プレイアウト数 [回]	1.90×10^6	1.66×10^6

5.3.4 考察

表 2 より、探索時の平均思考時間で約 11%、平均プレイアウト数では約 15%の向上がみられた。このことから、定石によって節約した持ち時間を盤中以降の探索に回せることが数値的に確認できた。

5.4 探索時間を固定した場合の対戦実験

5.4.1 目的

本実験では提案手法によって期待される効果である「探索では得ることが難しい良いショット選択の実現」が 5.1 節の実験結果にどの程度寄与しているかの検証を行うことを目的として、モンテカルロ木探索による探索部分の思考時間を固定した場合の対戦実験を行った。

5.4.2 方法

探索時間の違いによる影響を排除するために、モンテカルロ木探索を行う際の探索時間を持ち時間によらず 5 秒に固定する変更を、提案システムと従来システムそれぞれに対して行った。

変更を行ったプログラムを用いて、以下に示す条件において、先手後手を入れ替えて 250 試合ずつ、合計 500 試合の対戦を行った。

◆ 試合設定

- エンド数：10 エンド
- 持ち時間：1 手 5 秒
- 乱数の大きさ：0.145

◆ 実行環境

- OS：Microsoft(R) Windows(R) 7 Professional 64bit
- CPU：Intel(R) Core i7-6700K (R) 4.00GHz (4 コア 8 スレッド)
- RAM：16GB

5.4.3 結果

表 3 に、探索時間を固定した条件における、対戦結果を示す。

表 4 探索時間を固定した場合の対戦結果

勝利	敗北	引き分け	p
204	192	105	0.307

5.4.4 考察

思考時間を固定した場合、提案手法を組み込んだ「歩」と従来手法の「歩」に差はみられなかった。よって、「探索では得ることが難しい良いショット選択の実現」という効果があるとはいえない。原因として、序盤定石で意図していたショット選択と中盤以降の「歩」の探索によるショット選択に齟齬があったことが考えられる。

実際のプレイログを調べたところ、図 6, 7 に示したように得点でリードしている局面において、序盤定石が局面をシンプルにする（盤上のストーンの数減らして、失点のリスクを抑える）ようなショットを生成したにもかかわらず、中盤以降で局面を複雑にする（得点するために失点のリスクを冒して盤上にストーンを多く配置する）ようなショットを生成してしまい、相手に得点を許してしまうような試合が多々みられた。実際の局面例を図 6, 7 に示す。このエンドでは提案システムが先手であり、1 点勝ち越している状況である。図 6 のように、先手の既存システムが自分のストーンを残すために、先手のストーンへのフリーズショットを選択している。これに対して、提案システムは盤上のストーンの数減らすために、相手ストーンを強く弾きだすようなショットを選択し、局面をシンプルにすることに成功している。一方で図 7 のように、既存システムは 9 投目に、探索によって自分のストーンを盤上に残すために、後手のストーンへのフリーズショット試みているが、乱数によりストーンがやや手前に配置されてしまう。これを後手に弾きだされることで後手のストーンが 2 つハウス内に残ってしまい、局面が複雑になってしまう。このエンドは後手の提案システムが 2 点を獲得し、エンドブランチの **FORCE_1** (後手に 1 点だけ取らせる) は達成できなかった。

このように、序盤定石によって生成されたショットを中盤以降で生かしていないことにより、「探索では得ることが難しい良いショット選択の実現」の効果が減少しているものと思われる。

しかしながら、提案システムは既存システムに対して勝ち越していることから、少なくとも定石によって探索と同等のショット選択が得られていることが確認できた。

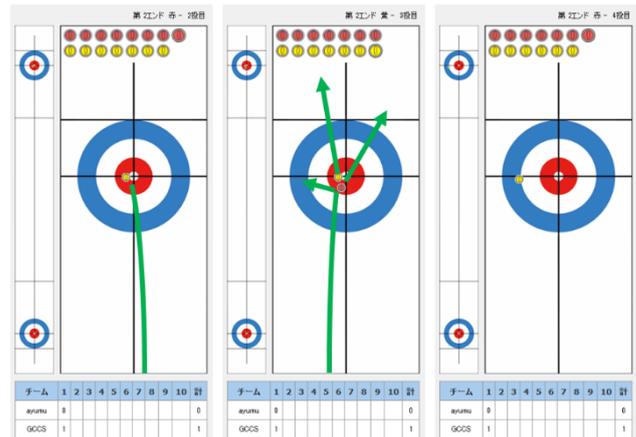


図 6 序盤定石によるショット選択

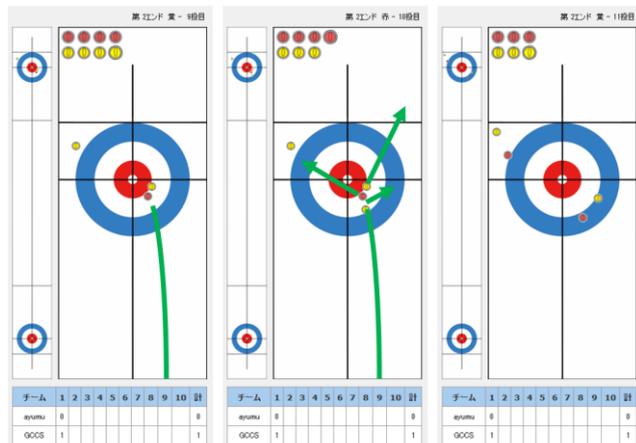


図 7 探索によるショット選択

6. おわりに

提案手法を導入することで、UEC 杯の条件下においては AI の強さが向上していることが確認できた。プレイアウト数の比較実験の結果から、定石による持ち時間の節約の効果が確認できた。

一方で、思考時間を固定した場合の対戦結果から、定石によって従来の探索によるショットよりも良いショット選択が行えているとはいえなかったものの、探索によるショット選択と同等程度のショット選択はできていることも確認された。

提案手法を導入したプログラムである「GCCS」は第 2 回 UEC 杯デジタルカーリング大会において優勝した[8]。

今後は序盤定石において、エンドブランチによって導かれるパラメータを機械学習により調整し、エンド全体を通して一貫性のあるエンドブランチを持つ定石 DB の構築を行う手法について検討していきたい。

参考文献

- [1] 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).
- [2] 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).
- [3] 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 (2), pp.1-5 (2015).
- [4] 増子直樹, 田中哲郎, 定跡データベースの評価法の提案, 情報処理学会ゲーム情報学研究会報告, 2013-GI-30(3), pp.1-8 (2013).
- [5] Gabrielle Coleman, Introduction to Curling Strategy, ISBN 9781941164020 (2015)
- [6] 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).
- [7] 第1回 UEC 杯デジタルカーリング大会, デジタルカーリング, 入手先
(<http://minerva.cs.uec.ac.jp/curling/wiki.cgi>)(参照 2016-09-26)
- [8] 第2回 UEC 杯デジタルカーリング大会, デジタルカーリング, 入手先
(<http://minerva.cs.uec.ac.jp/curling/wiki.cgi>)(参照 2016-09-26)