

# デジタルカーリング大会報告 2015 年度

伊藤 毅志† 森 健太郎†

本報告では、2015 年度に開催されたデジタルカーリング大会の様態と結果を報告する。デジタルカーリングは、カーリングの戦略のみを議論できる場として提案されたシステムである。このシステムを用いた大会によって、カーリングの戦略の研究は近年進んでいる。

## Report on Digital Curling Tournament in 2015 fiscal year

TAKESHI ITO† KENTARO MORI†

In this report, I introduce the results of the digital curling tournament held in the 2015 fiscal year. Digital curling is a virtual curling space playing on the computer by using physical simulator. It was proposed as a place which argues only about the strategy of curling. The competition by using the digital curling has progressed the research on strategy of curling.

### 1. はじめに

ウィンタースポーツの一つであるカーリングの戦略を議論する場として、北清らは「デジタルカーリング」を提案した。このシステムは、コンピュータ上に仮想的なカーリングシートを構築し、Box2D という物理シミュレーターを用いてカーリングのストーンの挙動を再現するものである [1][2]。その後、このシステムを用いたデジタルカーリング大会が開催されるなど、カーリングの戦略を議論する場としての機能を果たすようになり [3]、カーリング AI の研究も進んでいる [4]。

ここでは、2015 年度に開催された 3 つのカーリング大会（第 1 回 GPW 杯、第 2 回 UEC 杯、第 1 回 GAT）の結果と追加で各対戦カード 100 試合ずつ行った結果も紹介し、デジタルカーリング AI の現状を概観する。

### 2. 過去のデジタルカーリング大会

初のデジタルカーリング大会は、第 1 回 UEC 杯で、2015 年 3 月 19 日に電気通信大学で開催された。コンピュータ部門と人間部門が行われ、コンピュータ部門には、表 1 のようなプログラムが出場した。

表 1 第 1 回 UEC 杯コンピュータ部門  
参加プログラム一覧

プログラム名	開発者
歩	大渡 勝己
じりつくん	加藤 修
ChikinRamen	岡田 雷太
N197	北清 勇磨
KC001	城戸 皓己
TOMania	森 健太郎

人間部門にも、以下の 4 チームの参加があり、対戦結果は、表 2 の通りである。

表 2 第 1 回 UEC 杯デジタルカーリング大会結果

コンピュータ部門								
プログラム名	歩	KC001	ChickenRamen	N197	じりつくん	TOMania	勝敗	順位
歩		15(後)	12(後)	8(後)	10(後)	0(先)-バグ1	4-1	1位
KC001	10(先)		1(後)	6(後)	3(先)	11(後)	1-4	5位
ChickenRamen	11(先)	19(先)		8(先)	6(先)	9(後)	3-2	3位
N197	6(先)	13(先)	4(後)		5(先)	15(先)	2-3	4位
じりつくん	8(先)	15(後)	13(後)	12(後)		12(先)	4-1	2位
TOMania	0(後)	5(先)-時切9	2(先)-時切8	2(後)-時切9	0(後)-時切7		0-5	5位

人間部門						
チーム名	加藤	チームNSN	武藤	DCTI	勝敗	順位
加藤		9(後)	11(先)	2(先)-降8	1-2	3位
チームNSN	10(先)		11(後)	1(後)-降6	2-1	2位
武藤	5(後)	10(先)		7(後)	0-3	4位
DCTI	11(後)	9(先)	12(先)		3-0	1位

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

表3 第1回 UEC 杯コンピュータ部門出場プログラムによる各 100 試合の勝敗結果

	歩	じりつくん	N197	ChikinRamen	KC001	TOMania	順位
歩	60勝26敗14分	76勝16敗8分	98勝2敗	100勝0敗	91勝9敗	1	
じりつくん	26勝60敗14分	55勝25敗20分	95勝3敗2分	99勝0敗1分	100勝0敗	2	
N197	16勝76敗8分	25勝55敗20分	83勝13敗4分	99勝1敗	100勝0敗	3	
ChikinRamen	2勝98敗	3勝95敗2分	13勝83敗4分	100勝0敗	100勝0敗	4	
KC001	0勝100敗	0勝99敗1分	1勝99敗	0勝100敗	92勝6敗2分	5	
TOMania	9勝91敗	0勝100敗	0勝100敗	0勝100敗	6勝92敗2分	6	

表4 これまでの大会と開催形式

大会	開催日	場所	シミュレータ	持ち時間	正規乱数	大会形式	シミュレーションのマシン
第1回UEC杯	2015年3月19日	電気通信大学 西9号館AVホール	Ver.1.5	COM部門:438秒 人間部門:無制限	$\mu = 0$ $\sigma = 0.145$	10エンド制 総当り	OS: Windows 7 Professional 64 ビット プロセッサ: Intel(R) Xeon(R) CPU X5472 @ 3.00GHz (8CPUs) メモリ: 8192MB RAM
第1回GPW杯	2015年11月6-7日	軽井沢合宿研修所 GPW会場	Ver.1.5	COM人間混合 438秒/COM 無制限/人間	$\mu = 0$ $\sigma = 0.145$	10エンド制 総当り	OS: Windows 7 Professional 64 ビット プロセッサ: Intel(R) Core i5@2.40GHz (2Core, 4Thread) メモリ: 4GB RAM
第2回UEC杯	2015年11月22日	電気通信大学 西9号館3階301	Ver.1.5	COM部門:438秒 人間部門:無制限	$\mu = 0$ $\sigma = 0.145$	10エンド制 総当り	OS: Windows 7 Professional 64 ビット プロセッサ: Intel(R) Xeon(R) CPU X5472 @ 3.00GHz (8CPUs) メモリ: 8192MB RAM
第1回GAT杯	2016年3月9日	電気通信大学 東地区B棟101	Ver.2.3	COM部門のみ 219秒	$\mu = 0$ x軸 $\sigma = 0.0725$ y軸 $\sigma = 0.2900$	8エンド制 総当り	OS: Windows 7 Professional 64 ビット プロセッサ: Intel(R) Core i7-6700K@4.00GHz (8Core) メモリ: 16GB RAM (DDR4 2133MHz)

「加藤」は、コンピュータ部門でも参加した加藤修氏。「チーム NSN」と「武藤」は、電通大西野順二研究室から出場したチームで、前者は神津隆太氏を代表とする原田貴史氏、佐土瀬寛氏の3人のチーム。武藤は、武藤孝輔氏。「DCTI」は、主催者でもある伊藤毅志である。

コンピュータ部門に出場した6チームの総当り各100試合の結果が、表3である。詳細は、昨年発表したこちらの論文を参照いただきたい[3]。

### 3. 2015 年度の大会

第1回 UEC 杯を含め、2015 年度に行われたデジタルカーリングの大会を表4にまとめた。第2回 UEC 杯までは、ルール変更なく行ってきたが、第1回 GAT では、開催の時間的制約などもあり、持ち時間を減らし、エンド数を8エンドにするなどの変更を加えた。また、ショットの乱数についても変更を加えた。以前から、実際のカーリングのショットでは、横方向よりも縦方向の誤差のほうが大きいことが指摘されてきた。GAT で試験的に横方向よりも縦方向の誤差を大きくする乱数を導入して、大会に与える影響を調べてみることにした。

これは従来の  $\mu = 0$ ,  $\sigma = 0.145$  の乱数をやめるというわけではない。 $\mu = 0$ ,  $\sigma = 0.145$  の乱数は、戦略の定点観測

という意味で当面続けていき、試験的にいろいろな乱数の変更を導入して、より現実に近い乱数を見つけていく予定である。

#### 3.1 第1回 GPW 杯

第1回 GPW 杯デジタルカーリング大会は、2015 年 11 月 6-7 日に、GPW2015 の会場である軽井沢合宿研修所において、GPW のナイトセッションとして開催された。

参加チーム数が少なかったこともあり、人間が3名と AI が2プログラムの5チームでリーグ戦を行った。結果は、表5の通り、人間の大渡勝己氏が優勝した。以下、準優勝は、コンピュータの「歩」(大渡勝己氏)、3位は人間の加藤修氏、4位は人間の森健太郎(電気通信大学伊藤研)、5位はコンピュータの「じりつくん」(北大山本研究室・加藤修氏)であった。

大渡氏は人間としても AI でも上位を独占する結果となった。AI の「歩」は第1回 UEC 杯以降、安定した強さを見せてきたが、ライバル AI の「じりつくん」には直接対戦で敗れ、2位となった。大渡氏は、AI 2つを倒し全勝優勝を果たした。AI は徐々に改良され、強くなってはきているが、まだカーリングというゲームを熟知した人間プレイヤーを上回るパフォーマンスは見せていないことが示された。

表5 第1回 GPW 杯の結果

	じりつくん	歩	大渡勝己	加藤修	森健太郎	勝-敗	順位
じりつくん		6(後)	7(先)	8(先)	7(後)	1-3	5位
歩	4(先)		5(先)	7(先)	9(先)	2-2	2位
大渡勝己	8(後)	7(後)		7(先)	8(後)	4-0	1位
加藤修	10(後)	6(後)	6(後)		6(先)	2-2	3位
森健太郎	8(先)	7(後)	4(先)	5(後)		1-3	4位

赤字はAI、黒字は人間

優勝	大渡勝己
準優勝	歩
3位	加藤修

(同率のため直接対決の結果)

表6 第2回 UEC 杯コンピュータ部門の参加プログラムと本戦の結果

プログラム名	開発者	特徴
GCCS	森 健太郎	第1回UEC杯優勝プログラムの「歩」をベースとして、序盤(1-4投目)は戦術書の知識を序盤データベース化し、それを用いることで、時間を節約し、中終盤で探索時間を増やす。モンテカルロ木探索利用。プレイアウト中の着手の選択には方策勾配法で学習したパラメータを用いる。ルートノードはじりつくんに似、離散化した着手を評価して着手のずれの分布で曇み込んでいる。
歩	大渡 勝己	離散化させた盤面全体の各座標を投球目標座標の候補とし、各目標座標に対して投球後の局面評価値の期待値をもとに深さ2のゲーム木探索を行って戦略を選択するカーリングAI。モンテカルロ法を用いたプログラム。
じりつくん	加藤 修	序中盤でエンドプランに基づいた手の選択を行うことで、探索範囲を狭め、原始モンテカルロで手を生成。
Ramen	岡田 雷太	最初の2投はガードストーンになるような位置を狙い、3投目以降は相手のストーンをはじくようなプレイ。
KC002	城戸 皓己	
河村研カーリングロボ	北橋 尚浩	

	GCCS	歩	じりつくん	Ramen	KC002	河村研	勝敗	順位
GCCS		○○	○×	○○	○○	○○	9勝1敗	1
歩	××		○○	○○	○○	○○	8勝2敗	2
じりつくん	×○	××		○○	○○	○○	7勝3敗	3
Ramen	××	××	××		○○	○○	4勝6敗	4
KC002	××	××	××	××		○○	2勝8敗	5
河村研カーリングロボ	××	××	××	××	××		0勝10敗	6

表7 第2回 UEC 杯コンピュータ部門出場プログラムの100戦対戦結果

	歩	じりつくん	GCCS	Ramen	KC002	河村研	順位
歩		64 - 31	54 - 33	99 - 0	98 - 0	100 - 0	1
じりつくん	31 - 64		54 - 35	98 - 0	100 - 0	100 - 0	2
GCCS	33 - 54	35 - 54		91 - 7	97 - 1	99 - 0	3
Ramen	0 - 99	0 - 98	7 - 91		76 - 18	99 - 0	4
KC002	0 - 98	0 - 100	1 - 97	18 - 76		94 - 1	5
河村研カーリングロボ	0 - 100	0 - 100	0 - 99	0 - 99	1 - 94		6

### 3.2 第2回 UEC 杯

第2回 UEC 杯は、電気通信大学学園祭期間中の2015年11月22日に電気通信大学西9号館301で開催された。大会はコンピュータ部門と人間部門に分かれて行われた。

コンピュータ部門は6チームによる先後を入れ替えたリーグ戦、人間部門は6人によるトーナメントで優勝が争われた。

コンピュータ部門では、森健太郎が開発した序盤データベースを組み込んだ「GCCS」が9勝1敗で優勝した。森のプログラムは、第1回優勝の「歩」をベースに、序盤の手

の選択では、カーリングの戦略について書かれた本を参考に序盤のバリエーションを分類し、序盤データベースを作成して、それに則って手を決めた[5]。序盤では、探索を行わないため、時間の節約が可能で、節約した時間を終盤に回すことで、プログラムを強化していた。

準優勝は、第1回 UEC 杯優勝の大渡勝己氏の開発した「歩」、3位は、北大山本研究室の加藤修氏の開発した「じりつくん」が入った。4位は、電気通信大学伊藤研の岡田雷太氏の「Ramen」、5位は、電気通信大学伊藤研の城戸皓己氏の「KC002」、6位は、信州大学河村隆研究室がカーリングロボット用に開発した「河村研カーリングロボ」とな

った。

第2回 UEC 杯コンピュータ部門に出場したプログラムを大会終了後に、すべてのカード 100 試合ずつ（先後各々 50 試合）対戦させた結果が表 7 である。

これを見ると、GCCS が大会で運良く「歩」と「じりつくん」に勝ち越し、優勝したことが判明した。しかし、上位 3 つのプログラムは、実力が拮抗しており、一発勝負ではどれが優勝してもおかしくないレベルの対戦であったことがわかった。

人間部門は、対戦に時間がかかるため、トーナメント戦で対戦した。その結果、北大の山本雅人先生が決勝戦で大渡勝己氏に延長の末勝利を収め、初優勝を果たした。また、3 位決定戦では、北橋尚浩氏が森健太郎に勝利して、3 位となった。トーナメントの結果をまとめたものは図 1 である。

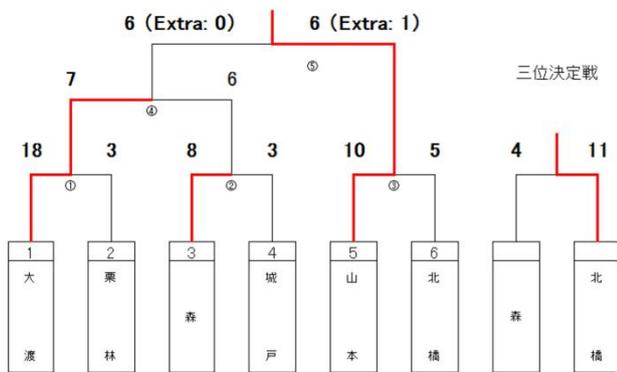


図 1 UEC 杯人間部門トーナメント表

### 3.3 第 1 回 GAT

GAT とは、Game AI Tournament の略称で、国内のゲーム AI の大会を集約したイベントで、電通大で開催された第 36 回ゲーム情報学研究会の日程に合わせて、2016 年 3 月 9 日に開催された[6]。電気通信大学では、このイベントを今後毎年、開催していく予定である。

初の大会では、デジタルカーリング大会のほか、人狼知能大会、ミニ四駆 AI 大会、ターンベース戦略ゲーム AI コンテスト、5 五将棋大会の 6 つの大会が行われた。また、大会の他に、全大会参加者によるポスター発表会、懇親会なども行われ、盛況であった。

デジタルカーリング大会としては、レギュレーションについて、試験的に 2 つの変更を加えた。一つは、大会の時間的なスケジュールが短かったこともあり、AI の持ち時間を 438 秒から 219 秒に変更し、エンド数を 10 から 8 に変更した点であり、もう一つは、ショットの乱数を縦方向に大きく、横方向に小さく変更した点である。

前者の変更の意図は、日程的なスケジュールの問題もあるが、カーリングは、先攻が若干有利であることが知られていて、エンド数が少ないほどその影響が大きいと言われていた。コンピュータでもその効果を確認したいという点があった。後者の変更の意図は、ショットの不確実性が実際のカーリングでは、横方向よりも縦方向の方がおおきいのではないかという指摘に対する変更案で、これによって、現実のカーリングに近づいているのかを確認したいという目的である。

時間的な制約からコンピュータ部門のみの開催となったが、7 チームという過去最多の出場チームを集めた。

表 8 GAT 当日の対戦結果と順位

	歩	DIS	CSACE	GCCS	じりつくん	混乱	SUC-Ks	勝敗	順位
歩	○	○	○	×	○	○	○	5-1	1
DIS	×	○	×	×	×	×	×	0-6	7
CSACE	×	○	○	○	×	○	○	4-2	3
GCCS	○	○	×	○	×	○	○	4-2	4
じりつくん	×	○	○	○	○	○	○	5-1	2
混乱	×	○	×	×	×	○	×	1-5	6
SUC-Ks	×	○	×	×	×	○	○	2-4	5

表 9 GAT 出場プログラム同士の 100 試合対戦結果

	歩	GCCS	じりつくん	CSACE	SUC-Ks	DIS	順位
歩		64	77	72	100	100	1
GCCS	25		54	57	100	100	2
じりつくん	16	32		57	100	100	3
CSACE	21	31	36		100	100	4
SUC-Ks	0	0	0	0		97	5
DIS	0	0	0	0	2		6

当日は、全チームによる各1試合のリーグ戦で優勝を競い、表8のように「歩」(大渡勝己氏)が5勝1敗で優勝した。準優勝は同じく5勝1敗で「じりつくん」(北大山本研・加藤修氏)となった。(直接対決の勝敗で、順位が決まった)3、4位も4勝2敗で「CSACE」(電通大伊藤研・城戸皓己氏)と「GCCS」(電通大伊藤研・森健太郎)が並んだが、これも直接対決の結果から、3位 CSACE、4位 GCCS となった。以下、5位は「SUC-Ks」(信州大学河村研・北橋尚浩氏)、6位、7位は初参加の「混乱」(東北大篠原・吉仲研・Sebastian Backstad氏)、「DIS」(東北大篠原・吉仲研・益子直氏)であった。

時間的に1試合では、十分に実力は測れないので、大会終了後に各カード100試合で自動対戦させてみた。その結果が、表9である。なお、「混乱」は、プログラムにバグがあり、連続対戦がうまく動作しなかったため、ここでは、結果から省いていることをご了承願いたい。

結果、もっともよい成績だったのは、「歩」で変わらないが、2位は「GCCS」、3位は「じりつくん」、4位が「CSACE」であった。1位~4位ぐらいまでは、1発勝負だと、乱数によって順位に変動が出る可能性があることが見て取れた。

また、先攻後攻による勝敗の差であるが、総対戦数1500試合について調べたところ、先攻から見た勝敗は、648勝789敗63分で、むしろ後手の方が勝ち越していた。カーリングAIでは、先攻の利をうまく活かせていないことが推察された。

カーリングを1エンドだけでなく、全エンドで捉える考え方は「エンドプラン」と呼ばれるが、そのような概念を持って対戦しているプログラムは、CSACEぐらいしかなく、人間のような長期的展望を持った戦略は立てられていない。

## 4. おわりに

2015年度には、3つの大会が開催され、デジタルカーリングシステムも安定的に動作していることが確認された。大会の運営に足るシステムであることが判明した。反面、いくつか課題も見えてきた。以下に列挙してみる。

### 1) 対戦形式について

GATやUEC杯の結果に見るように、1試合だけでは、不確実性を含むゲームの優劣を競うのには、問題があることがわかってきた。後に100試合やるにも、相応の時間を必要とする。

興行としては、その場で対戦を見て盛り上がる楽しみもあるので、現在の持ち時間の形式のものも捨てがたい。持ち時間をもっと短くして、少なくとも100試合ずつぐらい行って優劣を競う大会も併催することを検討していきたい。

### 2) レギュレーションについて

GATで乱数を少し変更したレギュレーションを導入してみたが、大会の順位にどれほど影響を与えたのかについて

の検証は、まだ行っていない。これについては、今後とも検証を行っていききたい。また、カーリングの経験者に使わせてみて、実際のカーリングの感覚への近さを評価させる実験も行ってみよう。

### 3) シミュレーターの改良について

デジタルカーリングのシミュレーターには、幾つか問題点も指摘されている。物理シミュレーターの挙動の整合性を保つために、座標系が実際のカーリング場と違っている点、Box2Dのシミュレーター上の衝突計算の問題として、複数の物体が同一タイムステップ内でコンタクトしている場合、挙動が不自然になってしまう点、などである。

これらの諸問題の解決は、適当なタイミングで行うべきであるが、これを行うとレギュレーション自体の大きな変更になるので、現在レギュレーション検討委員会を立ち上げて、修正について議論し、大会の運営への影響を最小限にするために、時期を定めて、一斉に修正する予定である。

他にも、スイープをどのように導入するか、ショットのウエートの上限値が実際のカーリングよりも小さい問題など、細かい修正点も上がっている。レギュレーションを常に見直し、より実際に近いカーリングシミュレーターに修正する努力は今後とも続けていきたい。

なお、今年度も以下の日程で大会を行う予定があるので、紹介しておく。

#### ○第2回 GPW 杯デジタルカーリング大会

日時：2016年11月4-5日

場所：箱根セミナーハウス (GPW ナイトセッション)

#### ○第3回 UEC 杯デジタルカーリング大会 in GAT

日時：2017年3月上旬 (日程確認中)

デジタルカーリング大会の最大の大会であるUEC杯は、電通大の学園期間中ではなく、3月のGAT内で行うこととした。UEC杯はGATに収斂されるので注意されたい。別途、ミニ大会を開催することも検討中であるが、あくまでUEC杯の前哨戦という位置づけにする予定である。その場合は、デジタルカーリングのHPで告知するので、参照されたい。

今後とも、デジタルカーリングの大会を通して、この分野のAI技術の進歩に寄与していきたい。

### 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] 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、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、GI-34(2)、pp.1-6 (2015).

[4] 加藤修、飯塚博幸、山本 雅人、“デジタルカーリングにおけるゲーム木枝刈りの有効性検証”、エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集、pp.412-417 (2015).

[5] Gabrielle Coleman, “Introduction to Curling Strategy”, ISBN 9781941164020 (2015).

[6] Game AI Tournament のページ :

[http://minerva.cs.uec.ac.jp/gat\\_uec/wiki.cgi?page=FrontPage](http://minerva.cs.uec.ac.jp/gat_uec/wiki.cgi?page=FrontPage)

[7] デジタルカーリング HP :

<http://minerva.cs.uec.ac.jp/curling/wiki.cgi>