情報処理学会論文誌 Vol.57 No.11 2403–2413 (Nov. 2016)

# コンピュータ大貧民における ヒューリスティック戦略の実装と効果

田頭 幸三[1] 但馬 康宏[2,a)]

受付日 2016年2月19日, 採録日 2016年9月6日

**概要**：多人数不完全情報ゲームには，多くのトランプゲームがこの分類に含まれなじみ深い分類にもかかわらず，コンピュータにプレイさせる際の効果的な実装手法が知られていない．本研究ではコンピュータ大貧民を題材にヒューリスティックによる着手選択手法を考案し，その効果を実験的に検証した．考案したヒューリスティック戦略は，現在主流のモンテカルロ探索を用いた2010年のUECコンピュータ大貧民大会優勝プログラムに近い強さであり，2014年および2015年の同大会ライト級優勝の戦略である．評価実験の結果，場を流す見極めが重要であることが分かった．さらに，リード時には手札のタイプの多様さを保存することも重要であることが明らかとなった．また，大貧民は地方ごとに特殊なルールが多く存在するが，UECコンピュータ大貧民大会で用いられている「しばり」に関する戦略の良し悪しも強さに大きな影響を与えることが分かった．

**キーワード**：不完全情報ゲーム，コンピュータ大貧民，ヒューリスティック戦略

# Heuristics Implementation and Evaluations for Computer Daihinmin

Kozou Tagashira[1] Yasuhiro Tajima[2,a)]

Received: February 19, 2016, Accepted: September 6, 2016

***Abstract:*** There is no effective implementation method for playing imperfect information games, while many card games are included in this category. In this paper, we investigate heuristics for the card game named “Daihinmin” which is a famous multi-player imperfect information game in Japan. Evaluations for the heuristics are done by matching other programs and modified programs whose heuristics are different from our original implementation. Our suggested heuristics are as strong as “snowl” whose strategy is Monte-Carlo simulation and which is the champion program at UECda-2010. In addition, our program has won UECda-2014 and 2015 at light class. From the evaluation experiment, the heuristic for finding the probability to take the trick is important. It is also important that balancing the hands at the start of the trick.

***Keywords:*** imperfect information games, computer Daihinmin, heuristics

## 1. はじめに

コンピュータによるゲームの思考アルゴリズムの研究は囲碁，将棋などのボードゲームに限らず，トランプゲームに対しても行われている．将棋や囲碁などの二人完全情報ゲームに関しては，ゲーム木探索による着手決定が一般的である．それに対して多人数不完全情報ゲームでは，ゲーム木を構築すると各局面における分岐数が膨大になり効率良く探索ができない．一方，評価関数の作成が難しい二人完全情報ゲームにおいて，モンテカルロ法による着手決定が有効であることが示されている [1]．多人数不完全情報ゲームである大貧民においても木探索ではないがモンテカルロ法が有効であることが示されている [2]．ここで，モンテカルロ法においてもヒューリスティックを考案し，ラン

1 岡山県立大学大学院
Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Okayama Prefectural University, Soja, Okayama 719–1197, Japan
2 岡山県立大学
Okayama Prefectural University, Soja, Okayama 719–1197, Japan
a) tajima@cse.oka-pu.ac.jp

© 2016 Information Processing Society of Japan

ダムシミュレーションの効率化を行うことは有効な手法であると思われる．

大貧民におけるモンテカルロ法については，相手の情報およびプレイスタイルを利用する手法が先行研究としてなされている．

相手の情報については相手の手札の推定が強さに影響するとされており，モンテカルロ法プログラムの対戦において勝率を上げることができると示されている [3], [4].

プレイスタイルについてはモンテカルロ法プログラムの提出手を分析し，特徴的な傾向があると推測されており，要所を明らかにすることで効率良い探索ができるのではないかとされている [5]．また，相手に異なる強さのプレイヤが存在する場合に得点差に影響があることが示されている [6].

また，モンテカルロ法そのものについては，シミュレーション・バランシングを用いた手法 [7]，大貧民への適用ではないが，適応的モンテカルロ木探索を用いた手法 [8] についての研究がなされている．

大貧民のヒューリスティック戦略については階段生成およびしばりについて考慮することで有効に働くことが明かされている [9] があまり多くの結果は示されていない．

本研究では，コンピュータ大貧民におけるヒューリスティック戦略について，複数の戦略を考案し，その有効性の実験的検証を行った．考案した戦略は kou および kou2 として実装し，UEC コンピュータ大貧民大会（UECda）[10] における 2014 年と 2015 年のライト級優勝プログラムとなった．文献 [11] では 2014 年版のプログラムについて述べたが，本論文では 2015 年版の改良を含め，アルゴリズムの厳密な記述と評価を行った．評価実験においては，ヒューリスティック戦略を用いたプログラムとモンテカルロ法を用いたプログラムの双方に対する対戦を行い，対戦相手の違いによりヒューリスティック戦略の有効性にどのような差が生じるかについても分析を行った．

その結果，場を流せそうな組の判断，しばりに関する戦略，自分が親のときの着手選択の 3 つの戦略に有効性があると判断できた．また，場を流せそうな組の判断についてはヒューリスティック戦略との対戦において強さに影響することが判明した．

## 2. UEC コンピュータ大貧民大会について

UEC コンピュータ大貧民大会では，カードの配布から試合進行を自動で行う対戦サーバに，参加者が製作したクライアントプログラムが通信し，対戦を行う．

以下に，UEC コンピュータ大貧民大会での大貧民のルールを示す．

**(1) ゲームの基礎**

ゲームは 5 人で行われ，ジョーカー 1 枚を含む 53 枚のカードを使用する．カードのランクは弱いものから順に 3, 4，5，6，7，8，9，0，J，Q，K，A，2 であり（革命時は逆順)，スート S，H，D，C に順序は定められていない．1 枚のカードをランクとスートの組合せで示し，スペードの 3 は “3S” と表記される．

ゲーム開始時にカードが配布され，配られたカードを早く出し終えることを競う．

1 試合終了時に，カードをすべて出し終えた順に 5，4，3，2，1 点が与えられ，一定数の試合で得た得点の合計が一番高いプレイヤが勝者となる．

**(2) ゲームの流れ**

ゲームはダイヤの 3 を持つプレイヤが最初の親となり，親が最初にカードを提出するプレイヤとなる．

自分の順番が回ってきたとき，場にカードがないとき，つまり自分が親のとき（リード）は，どのランクのカードでも出せる．場にカードがあるとき（フォロー）は，場のカードと同じ形式かつ同じ枚数で，場のどのカードよりもランクが強いカードのみ出せる．

カードを提出する形式には，以下の 3 つがある．

- 1 枚のみで提出する（単体）
- 同じランクのカード 2 枚以上を提出する（ペア）
- 同じスートで強さが順番に並んでいる 3 枚以上のカードを提出する（階段）

このように，プレイヤが 1 度に提出できるカードを，以降本研究では組と呼ぶ．場のカードが 5S であるのに対して 7C を提出することは単体 1 組の提出であり，6H, 6D のペアに対して 8S，8C を提出することはペア 1 組の提出である．

提出する組がない場合や強い組を温存したい場合などはパスをすることができる．パスをした場合，場が流れるまで場に組を提出することができなくなる．

すべてのプレイヤがパスをすると場が流れ，場に組が何もない状態となり，最後に組を提出したプレイヤが親となる．このとき，親となったプレイヤがカードを出し終えている場合，次の席のプレイヤが親となり，新たに組を出せる．

1 試合ごとに，カードをすべて出し，あがった順番によって大富豪，富豪，平民，貧民といった階級が与えられ，最後まで手札が残ったプレイヤは大貧民となる．この階級によって，次回のゲームのカード配布後，大貧民は大富豪に 2 枚，貧民は富豪に 1 枚強いカードを渡し，大富豪，富豪は大貧民，貧民から受け取った枚数と同じ数だけカードを選択して返す．

**(3) その他のルール**

しばり：同じスートの組が続いて場に出たときは「しばり」の状態となり，場が流れるまで場と同じスートの組しか提出できなくなる．

革命：4 枚以上のペアまたは 5 枚以上の階段が場に出た場合，そのゲームの間「革命」の状態となる．革命の状態のときはカードのランクが反転し，2 が一番弱く，3 が一番強くなる．革命の状態で再び革命を発生させた場合，ランクは元に戻る．

© 2016 Information Processing Society of Japan

8 切り：8 のカードを含む組を提出するとその時点で場が流れる．

ジョーカー：ジョーカーは単体として使う場合，どのカードよりも強い単体として使うことができる．他のカードと組み合わせて使う場合，どんなカードとしても使うことができ，この場合ジョーカーのランクは代わりとしたカードのランクとなる．

スペードの 3：場にジョーカーが単体として出ている場合，ジョーカーよりも強いカードとしてスペードの 3 を場に提出し，場を流すことができる．

## 3. 評価値に基づくヒューリスティック戦略

### 3.1 製作したプログラムの概要

製作したプログラムの概要を示す．

まず，配られた手札に対し，手札の組の数が少なくなるようにペア・階段を作り，組を生成する．

組の提出は，階段・ペア生成を行った後の手札の組の数が少なくなり，自分が次の番で出せる組が多くなる組，または提出することで場を流せる可能性が高い組を提出する．

そのために，本研究では手札の着手方法について，評価値を用いることによる評価と着手を行った．評価値は生成した組の強さによる強さ評価値，場に組がない場合の着手の基準となる優先評価値，手札全体の強さによる手札評価値の 3 つを設定した．

また，以降に示す評価値の定数は実験的に調整し，決定した値である．さらに，評価式における乗算や加算などの形も経験と実験をもとに決定したものであり，最適化問題の適用などにより改良の可能性は残されている．

### 3.2 組の生成

ペア・階段の生成は以下の順番で行う．

1. ジョーカーと一番強いランクのカードを含めない階段を探し，階段が見つかった場合，階段に使用しているカードのうち，ペアの構成要素でないカードが 1 枚でもあれば，階段を生成する．
   たとえば手札が 5S，10C，JC，JH，QC，QH，KH であった場合，階段 10C，JC，QC および JH，QH，KH はそれぞれ階段であり，10C および KH はいかなるペアの構成要素でもない．したがって階段 10C，JC，QC と JH，QH，KH は以後この組で固定する．
2. 次に，残ったカードで一番強いランクのカードを含めず，ジョーカーを含めた階段を探す．階段が見つかった場合，ジョーカー以外で階段に使用しているカードがすべて，いかなるペアの構成要素でもなければ，階段を生成する．ただし，8 のカードのみペアとなる場合は階段を生成する．
   探索はスペード，ハート，ダイヤ，クラブの順に行い，ランクは一番弱いランクから行う．階段が生成された場合は以降の探索は行わない．
   たとえば手札が 6C，8C，8S，JS，QD，Joker である場合，階段 6C，Joker，8C はこの組で固定され，残りの手札は 8S，JS，QD となる．
3. 前ステップまでで階段を生成しなかったカードのうち，同じランクのカードが 2 枚以上あれば，そのランクの最大枚数のペアを生成する．ジョーカーはペアに含めない．
4. ここまでの操作で階段でもペアでもなく残ったカードは単体となる．

### 3.3 強さ評価値の設定

生成した組それぞれに強さ評価値 $E$ を決定し，この評価値の値が大きければ場を流せそうな組と判断する．関連研究 [12], [13] によると，相手手札推定が強さにとって決定的な意味を持っているわけではないとされているため，自分の手札と場に出ていないカードから強さ評価値を決定する．

強さ評価値は初期値を 100 とし，以下のように組のタイプにより値を決定する．

1. 単体の場合，その組よりも強く，相手が手札に保持しているランクの種類を $n$ 種類とする．このとき，強さ評価値を
   $$E = 100 - n \times 30 - C$$
   とする．ここで，$C$ はジョーカーがまだ場に出ていない場合かつ自分がジョーカーを持っていない場合は 1，そうでない場合は 0 となる．
   たとえば，自分の保持するキングについて，すべての相手の手札を合わせた中に A と 2 がそれぞれ 1 枚以上あり，ジョーカーが場に出ていない場合，強さ評価値は $100 - 2 \times 30 - 1 = 39$ となる．
2. ペアの場合，その組と同じ枚数のペアで，相手が保持している可能性があるものの集合を T とする．T の中のランクの種類の集合を $R = \{r_1, r_2, \cdots, r_k\}$ とする．各 $r_i$ ごとに以下の $n_i$ を算出する．
   $$\begin{aligned} n_i = (&\text{場に出ていないランク } r_i \text{ のカードの総数} \\ &- \text{計算対象のペアの枚数} \\ &- \text{あがっていないプレイヤ数} + 5) \end{aligned}$$
   さらに $n_i$ それぞれについて，以下の $f(n_i)$ を決定する．
   $$f(n_i) = \begin{cases} 4 & (n_i = 0) \\ 9 & (n_i = 1) \\ 15 & (n_i = 2) \\ 24 & (n_i \geq 3) \end{cases}$$
   $f(n_i)$ により，強さ評価値を以下の式で算出する．
   $$E = 100 - \sum_{i=1}^{k} f(n_i)$$

3. 階段の場合，その階段より強く，場に出ていない組の数を $m$ とする．このとき，$m$ とあがっていないプレイヤ数により，強さ評価値を

$$E = 100 - m \times (6 - \text{あがっていないプレイヤ数})$$

とする．
たとえば，手札に 3S，4S，5S の階段があり，6D，7D，8D，9D，10D のカードが提出されていない場合，6D，7D, 8D と 7D, 8D, 9D と 8D, 9D, 10D の 3 つの組の可能性があるため $n$ は 3 となり，あがっていないプレイヤ数が 5 である場合，強さ評価値は $100-3\times(6-5)=97$ となる．
4. ジョーカー 1 枚の組の場合，スペードの 3 がすでに場に出た場合は 100，出ていない場合は 1 とする．

以上の操作で得られた $E$ に対して，以下の変更を行う．
- 算出した結果，$E \leq 0$ となった場合は $E = 1$ とする．
- 計算対象の組が 8 を含む場合，$E = E + 100$ とする．

8 やジョーカーを含まず，確実に場を流せる組の場合，上記の加減算が行われないため，強さ評価値は 100 のままとなる．算出した結果，$E \geq 86$ となる組を場を流せそうな組と判断する．

### 3.4 あがれそうな手札の判断

手札の組に対して，場を流せそうな組とそうでない組に分け，手札の組の数 – 場を流せそうな組の数が小さければ，良い手札組であると考えられており，手札の組の数 – 場を流せる組の数が 1 になれば，読み切りが可能となる [14]．

つまり，手札の組のうち，場を流せない組が 1 組以下で，他の組が確実に場を流せる場合，強い組から提出し，他のプレイヤに提出を許さずあがることが可能である．このような場面をあがり手札と呼ぶ．たとえば，ジョーカーがすでに使われており，手札が 9S，2H，2C の場合，確実に場を流せる 2H，2C のペアを提出した後に 9S を提出すればあがりとなる．

さらに本論文では，手札の組すべての強さ評価値を計算した結果，強さ評価値の 2 番目に小さい値が 86 以上の場合，あがれそうな手札と判断する．

### 3.5 手札評価値と優先評価値の設定

強さ評価値の値をもとに，優先評価値と手札評価値を決定する．

手札評価値は，手札全体に対して付ける評価値である．手札に 3 枚以下のカードで構成される組が $k$ 個ありそれぞれの強さ評価値を $e_1, e_2, \ldots, e_k$ とする．このとき，

$$\text{手札評価値} = \sum_{i=1}^{k} g(e_i)$$

と定義する．ここで，$g(e_i)$ は以下のように算出する．

$$g(e_i) = \begin{cases} 2 & (1 \leq e_i \leq 30) \\ 1 & (31 \leq e_i \leq 60) \\ 0 & (61 \leq e_i \leq 90) \\ -1 & (e_i \geq 91 \text{ かつ } n > 0) \\ -a & (e_i \geq 91 \text{ かつ } n = 0) \\ -2 & (\text{ジョーカー 1 枚の組}) \end{cases}$$

ここで，$n$ は $e_i$ の計算もととなった組より強く，相手が手札に保持しているランクの種類の異なり数であり，$a$ は計算対象の組の構成枚数である．つまり，強い組が多ければ手札評価値が小さくなる．

次に，優先評価値は，自分の手札中の各組に対して付ける評価値であり，自分が親のときに提出する組を決定する際に利用され，以下のように決定する．
- ジョーカー 1 枚の組は 3 とする．
- 場を流せそうな組であり，8 を含まない場合，(110 − 強さ評価値) とする．
- 8 を含む階段の場合は 9 とする．
- 上記以外の場合は，以下のように決定する．
  まず，強さの値とは，その組のカードの中で最も高いランクである．たとえば，3S，4S，5S の階段ならば強さの値は 3 であり，7S，7H，7C の 3 枚ペアならば強さの値は 5 である．この値を用いて，
  $$\text{優先評価値} = \{40 + (14 - \text{強さの値}) \times 2 + \text{手札における同じ枚数の組の数} \times 4\}$$
  とする．
- 例外として，あがれそうな手札と判断している場合，手札の中の場を流せそうな組でない組の優先評価値を 2 とする．これにより，次節以降で述べるアルゴリズムにおいて，手札の中の場を流せそうな組から提出できるようにした．

優先評価値のねらいは，あがれそうな手札と判断している場合は場を流せそうな組の優先評価値が高くなり，そうでない場合はランクが弱く，同じ枚数の組の数が多く手札にあるほど値が高くなることである．

たとえば手札が 6S，6D，7S，KH，2S であり，ジョーカーが場に出ていない場合は，以下のように計算する．
- 6S，6D のペア：$\{40 + (14 - 4) \times 2 + 1 \times 4\} = 64$
- 7S の単体：$\{40 + (14 - 5) \times 2 + 3 \times 4\} = 70$
- KH の単体：$\{40 + (14 - 11) \times 2 + 3 \times 4\} = 58$
- 2S の単体：$110 - 99 = 11$

以上のようになり，この場合 7S を提出する．

また，手札が 6C，7C，8C，9S，2S，2H である場合，あがれそうな手札と判断しているため，以下のように計算する．
- 6C，7C，8C の階段：8 を含む階段のため 9
- 9S の単体：場を流せそうな組でないため 2
- 2S，2H のペア：$110 - 100 = 10$

以上のようになり，この場合 2S，2C の優先評価値が最も高くなる．

### 3.6 ルールによる変化

前節で決定した評価値は，革命を発生できる組が手札にある場合もしくはしばりを発生できる組がある場合に，以下のように変更が加えられる．

- **革命を発生できる組が手札にある場合**

自分が親のときに提出する組を選ぶときに，革命が発生できる組がある場合，自分の手札中の 2 枚以下の組の中で強さ評価値の最大値が 90 以下であり，革命後の手札評価値が革命前のそれより小さい場合，革命の組の優先評価値を 90，階段以外で場を流せそうな組の優先評価値を 91 とする．

- **しばりを発生できる組を提出する場合**

場に単体またはペアの組が出ているとき，しばりを発生できる組がある場合，以下の手順でしばりを発生できる組の強さ評価値を変更する．

- 場が 2 枚以上のペアかつ相手が 2 人以上であれば，しばりを発生できる組の強さ評価値を 86 とする．
- 場が単体もしくは相手が 1 人である場合，提出されていないカードの集合（すなわち，全プレイヤの手札の集合）から，しばりが発生した場合に最も強くなる組を見つける．このとき，ジョーカーは考慮しない．自分がその最も強い組を持っているとき，手札の中のしばりを発生できるすべての組の強さ評価値を 86 とする．

つまり，しばりを発生させた場合に一番強い組を自分が所持している場合は優先してしばりを発生する．

### 3.7 提出する組の選択方法

- **自分が親のときの提出する組の選択**

自分が親のときの提出のアルゴリズムを図 **1** に示す．

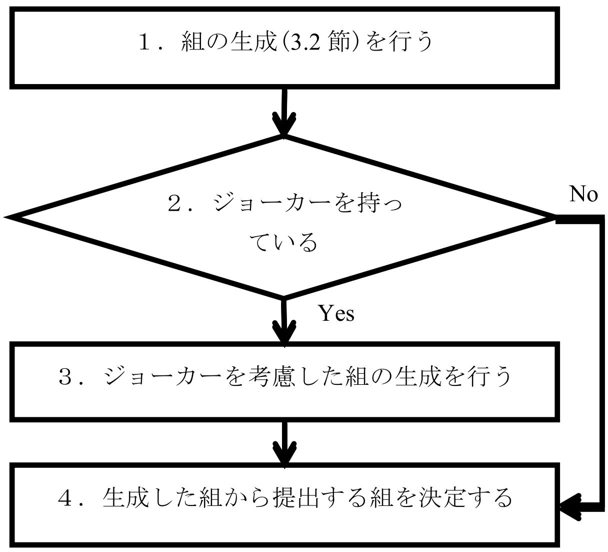


**図 1**　自分が親のときの提出アルゴリズム
**Fig. 1**　Submission algorithm when starting the trick.

ステップ 1 では 3.2 節で示した組の生成を行う．生成した組の集合を $M$ とする．

ステップ 2 ではジョーカーを持っているかを調べ，持っている場合はステップ 3 を行う．

ステップ 3 ではジョーカーを考慮した手札の組の集合を以下のように生成する．

1. ジョーカーを，手札にないランク，スートとして扱うことにより成立するペアのうち，各ランクごとに最もカードの多い組の集合を $N$ とする．すなわち $N$ にはジョーカーを利用したペアの組がたかだか 13 組含まれる．
2. ジョーカーを，手札にないランク，スートとして扱うことにより成立するジョーカーを含んだ階段すべての集合を $K$ とする．$K$ の中で他の組の一部分となっている組をすべて削除する．すなわち，$K$ にはジョーカーを利用してできる階段のうち可能な限り長い組が集められる．
3. $L := K \cup N$ とする．
4. すべての $m \in L$ について，以下の操作を行い手札評価値 $B_m$ を求める．
   (ア) 手札から $m$ を除外したものに対して 3.2 節による組の生成を行い，得られた組の集合を $M_m$ とする．
   (イ) $M_m := M_m \cup m$ とし，その手札評価値を $B_m$ とする．
5. ステップ 1 で求めた $M$ の手札評価値を $B$ とする．$B$ と $B_m$ $(m \in L)$ のうち最小のものを $B'$ とし，$B'$ に対応する手札の組の集合を改めて $M$ とする．

つまり，ジョーカーを使うペアまたは階段を考慮し，最も手札評価値が小さくなる組の生成に $M$ を置き換える．

ステップ 4 では，$M$ の中で優先評価値が最も高い組を提出する．同じ優先評価値の組がある場合，ランクが弱い組から提出する．

- **場にカードがある場合の提出する組の選択**

場にカードがある場合の提出のアルゴリズムを図 **2** に示す．

場にカードがある場合は，3.2 節で生成した組ではなく，手札から提出できるすべての組について数え上げ，それぞれの強さ評価値とその組の提出後の手札評価値を計算する．ただし，ジョーカー 1 枚の組に対する処理は別に記述する．

数え上げたそれぞれの組に注目し，以下の手続きで「提出すべき」マークを付与していく．

まず，場のカードが階段である場合，以下のどちらか，あるいは両方が満たされる場合は「提出すべき」マークを注目している組に付与する．

- 注目している組の提出後の手札があがれそうな手札である場合
- 注目している組の提出前の手札評価値が (提出後の手

© 2016 Information Processing Society of Japan

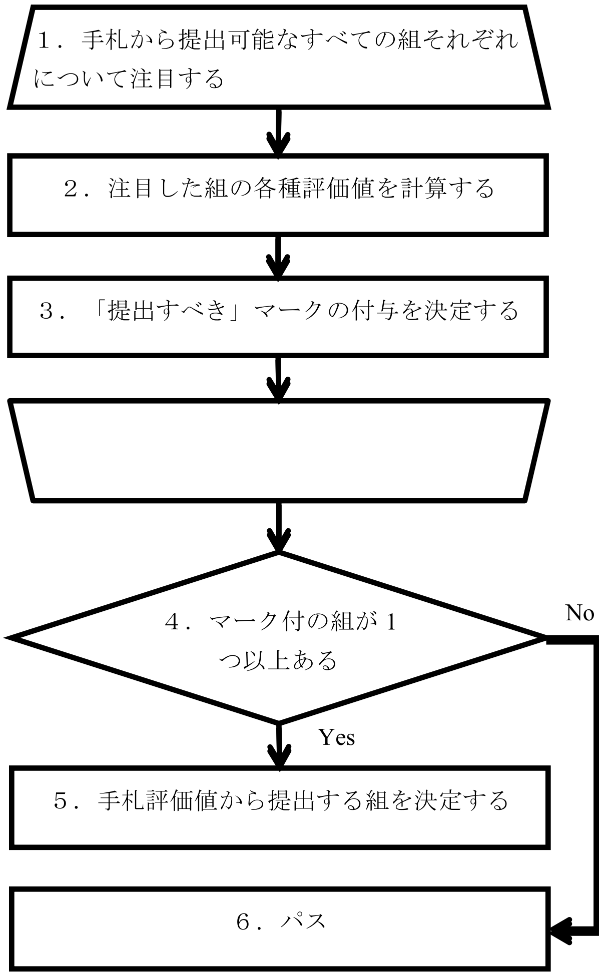


**図 2**　場にカードがある場合の提出アルゴリズム
**Fig. 2**　Submission algorithm when following.

札評価値 + 1) 以下である場合

場の組が階段でない場合，以下の順にチェックを行い，「提出すべき」マークの付与を決定する．ここで，各チェックにおいて1度付与する，しないの決定がなされたら，以降のチェックは行わない．

1. 注目している組が場を流せそうな組であり，あがれそうな手札である場合はマークを付与する．
2. 注目している組が8を含む組であり，提出後の手札の組の数が増えない場合はマークを付与する．
3. 注目している組が場を流せそうな組である場合，手札中の組の数が4以上であり，提出後残る組に場を流せそうな組がない場合は付与せず，そうでない場合は付与する．
4. 注目している組の提出後の組の数が1組であり，残る組の強さ評価値が50以下の場合は付与しない．
5. 注目している組の提出後の手札があがれそうな手札である場合は付与する．
6. 注目している組がKまたはAの単体であり，提出後の手札の組の数が4以上の場合は付与しない．
7. 注目している組の提出後の手札評価値が提出前の手札評価値以下である場合は付与し，そうでない場合は付与しない．

以上の操作の後，「提出すべき」マークが付与された組が複数ある場合は，その組の提出後の手札評価値が最も小さくなる組を提出候補とする．同じ値の組がある場合，ランクが弱い組を提出候補とする．提出候補がすべての相手の手札の中での最強ランクを含み，かつ相手のプレイヤが全員パスしている場合は，パスをする．そうでない場合は，提出候補を提出する．

「提出すべき」マークが付与された組がない場合は，場が単体でなければパスをする．ジョーカーが手札にあり場が単体の場合は，スペードの3が自分の手札にあるかすでに場に出されている場合，以下のいずれかが満たされる場合はジョーカー1枚を単体として提出し，そうでなければパスをする．

- ジョーカーを提出した後あがれそうな手札となる場合
- 場の単体のランクが，すべての相手の手札の中での最強ランクと同ランクでありかつ，ジョーカー提出後の自分の手札の3.2節による組の数が現在の手札に対する3.2節による組の数と比べて減らない場合

### 3.8　カード交換

大富豪または富豪のときのカード交換では，カードを交換した場合の手札評価値の変化と交換するカードのランクを見て，手札評価値が最も小さくなるカードの中でランクが弱いカードを交換する．

## 4.　評価実験に用いるプレイヤ

本研究では，ヒューリスティック戦略の有効性を，調査する戦略の部分を変更または削除したときの強さの変化で判断する．

調査するヒューリスティック戦略と，基準のプログラムであるkou2から変更を加えたプログラムを以下に示す．

- **場を流せそうな組の判断**

選択した組が場を流せそうかどうかについて，強さ評価値が86以上の値となる組を場を流せそうな組と判断する．つまり，相手がより強い組を持っている可能性が低ければ場を流せそうな組と判断し，この判断によりあがれそうな手札であるかどうか判断する．

調査するプログラムでは，場を流せそうな組と判断する値を以下のように変更した．

- w75，w95
  判断する値を86から75または95に変更し，場を流せそうな組と判断する範囲を変更した．
- w100
  確実に場を流せる場合のみ場を流せそうな組と判断する．

- **自分が親のときの着手選択**

あがれそうな手札と判断していない場合，自分が親のと

きに提出する組は，ランクが低い組および同じ枚数の組が多い組を優先する．この戦略は，次の自分の番のときに提出できる組を多くし，パスをする回数をなるべく減らすためである．

調査するプログラムでは，以下の変更を行った．

- weak
  自分が親のとき，同じ組の数にかかわらず，弱い組を優先して提出する．
- single
  自分が親のとき，ランクの差が 5 つ以下であればペアよりも単体を優先する．たとえば 5S，5H のペアと 10S の単体であれば 10S を提出する．

- 革命に関する戦略

革命を発生できる場合，手札全体の強さと，革命前の一番強い組の強さで提出する組を判断する．

革命時の手札が革命前よりも強い場合，場を流せそうな組がない場合は革命を発生させ，場を流せそうな組がある場合は革命を発生させず，中間の強さの組を提出する．

調査するプログラムでは，以下の変更を行った．

- rev−
  革命が発生する組は，手札の組の数が 3 組以上の場合は提出しない．
- rev+
  革命が発生する組は，場を流せそうな組を提出した後にすぐに提出する．

- しばりに関する戦略

単体でしばりを発生させる場合，しばりを発生させるスートで自分が一番強いランクのカードを持っている場合は優先して提出する戦略とした．この戦略は，しばりを発生させる場合は自分が次の番に親をとれるようにし，カードの消費をしやすくするためである．

調査するプログラムでは，以下の変更を行った．

- lock−
  しばりのルールによる優先の変化を行わない．
- lock+
  しばりを発生できる場合，一番強いランクのカードを持っているかいないかにかかわらず，どの場合でも優先して提出する．

- 強い組の温存

通常の提出手選択では，手札が良くなると判断した場合は提出，悪くなると判断した場合はパスとしている．ただし，選択した組が場を流せそうな組または，K や A などの強いランクを含む組だった場合，提出後の手札に弱い組が多い場合，手札の変化にかかわらず強い組を温存し，先に弱い組を提出する戦略とした．

調査するプログラムでは，以下の変更を行った．

- use_2
  2 のカードを含む組など，場を流せそうな組を選択した場合，手札評価値が大きい場合でも温存せずに提出する．
- use_A
  2 番目または 3 番目に強いランクの単体を選択した場合，手札が弱い場合であっても，手札評価値が大きくならない場合は温存せず提出する．
- use_A+2
  use_A と use_2 の両方を行う．

強さの比較は，UEC コンピュータ大貧民大会のサイトで配布されている default プログラム，UEC コンピュータ大貧民大会の第 5 回優勝プログラムである snowl，第 8 回の優勝者が製作した beersong，chibiHana と対戦した場合のスコアを比較する．

以下に，default プログラムとヒューリスティック戦略の chibiHana プログラムについて記述する．

- **default**

default プログラムは UEC コンピュータ大貧民大会のサイトで配布されているプログラムである．以下にプログラムの特徴を示す．

- 階段組は作れる場合は必ず作る．
- 組を提出する場合，生成したペア・階段の組は崩さない．
- 場に組があるとき，生成した組から出せる組の中で一番弱い組を提出する．
- 場に組がない場合，階段組があれば枚数の多い階段組を提出する．階段組がなければ，一番枚数の多い組の中で弱い組を提出する．
- カード交換では，一番弱いカードを提出する．複数枚ある場合はスペード > ハート > ダイヤ > クラブのスートの順に提出する．

- **chibiHana**

chibiHana プログラムは 2013 年の UEC コンピュータ大貧民大会のライト級部門の優勝者が当時の優勝プログラムである Kishimen_2013 を C 言語に移植したプログラムである．以下にプログラムの特徴を示す．

- 組の数が最小となるようにペア・階段を作る
- 弱い組を優先して提出する．ただし，ランクの強さが近ければ，枚数の少ない組を優先している．
- 確実に勝てる場合のみ，あがり手札と判断している．
- 中間の強さの組でしばりを発生させる場合，同じスートの A または 2 を含む組，もしくは提出する組よりもランクが 5 つ以上離れている組があれば優先する．
- 相手が 1 人となった場合，残った組から勝てるかどうか探索している．

## 5. 評価実験

### 5.1 実験方法

調査するプログラム 1 つと，モンテカルロ法を用いた

© 2016 Information Processing Society of Japan

beersong，snowl とヒューリスティック戦略の chibiHana，無戦略のサンプルプログラムである default との対戦を行ったときのスコアによって戦略の有効性を評価した．

また，相手によってどのような傾向があるかを見るため，相手を 1 種類のプログラムのみにした場合で，それぞれ beersong，snowl，chibiHana と対戦を行う．また，対戦数は 2,000 試合 × 3 セットとした．これは UECda における無差別級の決勝戦では，おおよそ 2,000 試合以下で順位を決定していることから，評価に妥当性があると判断した．

### 5.2　実験結果

評価プログラム 1 つと beersong，snowl，chibiHana，default の計 5 つで 2,000 試合の対戦を 3 セット行ったときの評価プログラムのスコアを**表 1**，グラフを**図 3** に示す．

表 1 を見ると，場を流せそうな組の判断の w100，しばりに関する戦略の lock+，自分が親のときの着手選択の single の 3 つで他の変更要素と比較して大きな点差が見られた．このことから，この 3 つの戦略に有効性があると考えられる．

次に，相手を 1 種類のプログラムのみにした場合のスコアを示す．**表 2** および**図 4** は chibiHana との対戦結果であり，**表 3** および**図 5** は snowl との対戦結果，**表 4** および**図 6** は beersong との対戦結果である．

自分が親のときの着手選択では，単体の組から提出する戦略のスコアがいずれも kou2 より 3%以上低下しており，弱い組から提出する戦略のスコアも kou2 より低い，もしくは同程度の結果となった．

このことから，親のときの着手選択の戦略は対戦相手によらず，本研究で実装した戦略が有効ではないかといえる．

革命に関する戦略では，表 2 における rev+ を見ると，スコアが 3%以上低下しているが，表 3，表 4 を見るとスコアが増加している．これは，相手に対して rev+ が強い場合，強いカードが rev+ に集まりやすく革命することで

**表 1**　4 種類のプログラムとの 2,000 試合 3 セット対戦のスコア
**Table 1**　Scores against 4 types of programs in 3 set of 2,000 games.

| | 平均 | 1 セット | 2 セット | 3 セット |
|---|---|---|---|---|
| kou2 | 6359.3 | 6342 | 6416 | 6320 |
| w75 | 6341.0 | 6216 | 6309 | 6498 |
| w95 | 6293.3 | 6357 | 5995 | 6528 |
| w100 | 6134.7 | 6051 | 6200 | 6153 |
| single | 5998.7 | 6016 | 6182 | 5798 |
| weak | 6222.0 | 6218 | 6240 | 6208 |
| rev− | 6324.7 | 6258 | 6364 | 6352 |
| rev+ | 6262.7 | 6401 | 6172 | 6215 |
| lock− | 6266.0 | 6472 | 6162 | 6164 |
| lock+ | 6118.3 | 6150 | 6107 | 6098 |
| use2 | 6207.0 | 6259 | 6178 | 6184 |
| useA | 6461.3 | 6452 | 6396 | 6536 |
| useA+2 | 6417.3 | 6476 | 6546 | 6230 |

**表 2**　chibiHana との 2,000 試合 3 セット対戦のスコア
**Table 2**　Scores versus chibiHana program in 3 set of 2,000 games.

| | 平均 | 1 セット | 2 セット | 3 セット |
|---|---|---|---|---|
| kou2 | 6562.7 | 6529 | 6694 | 6465 |
| w75 | 6528.3 | 6465 | 6554 | 6566 |
| w95 | 6424.0 | 6469 | 6512 | 6291 |
| w100 | 6018.0 | 5914 | 6063 | 6077 |
| single | 6338.0 | 6309 | 6266 | 6439 |
| weak | 6465.0 | 6399 | 6545 | 6451 |
| rev− | 6599.0 | 6711 | 6479 | 6607 |
| rev+ | 6362.0 | 6581 | 6272 | 6233 |
| lock− | 6441.7 | 6322 | 6397 | 6606 |
| lock+ | 6257.3 | 6165 | 6394 | 6213 |
| use2 | 6549.3 | 6600 | 6601 | 6447 |
| useA | 6485.7 | 6383 | 6579 | 6495 |
| useA+2 | 6378.0 | 6339 | 6521 | 6274 |

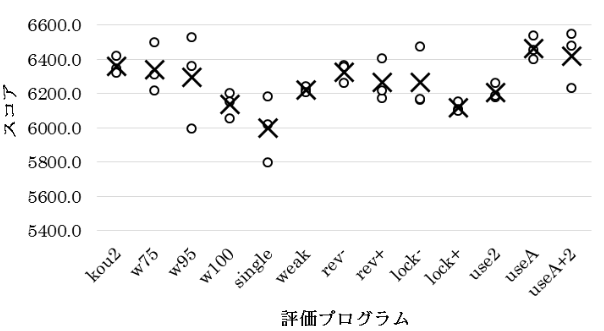


**図 3**　4 種類のプログラムとの 2,000 試合 3 セット対戦のグラフ（×印：平均値，白丸：測定値）
**Fig. 3**　The graph of the Table 1 (×: average, ○: measured).

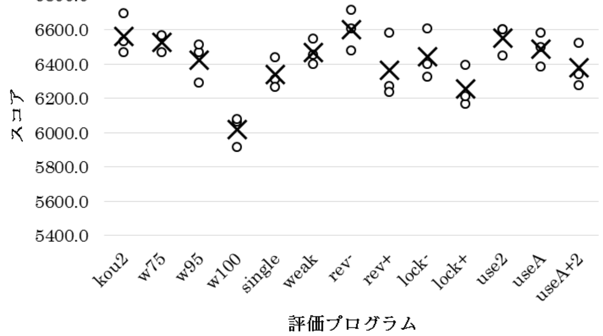


**図 4**　chibiHana との 2,000 試合 3 セット対戦のグラフ（×印：平均値，白丸：測定値）
**Fig. 4**　The graph of the Table 2 (×: average, ○: measured).

© 2016 Information Processing Society of Japan

表 3　snowl との 2,000 試合 3 セット対戦のスコア
**Table 3**　Scores versus snowl program in 3 set of 2, 000 games.

| | 平均 | 1 セット | 2 セット | 3 セット |
|---|---|---|---|---|
| kou2 | 5833.0 | 5799 | 6012 | 5688 |
| w75 | 5856.7 | 5867 | 5780 | 5923 |
| w95 | 5839.7 | 5818 | 5824 | 5877 |
| w100 | 5657.0 | 5869 | 5452 | 5650 |
| single | 5484.3 | 5522 | 5339 | 5592 |
| weak | 5805.0 | 5962 | 5804 | 5649 |
| rev− | 5713.0 | 5784 | 5517 | 5838 |
| rev+ | 5912.0 | 6017 | 5955 | 5764 |
| lock− | 5666.7 | 5708 | 5620 | 5672 |
| lock+ | 5306.3 | 5368 | 5332 | 5219 |
| use2 | 5659.3 | 5607 | 5638 | 5733 |
| useA | 5791.0 | 5775 | 5795 | 5803 |
| useA+2 | 5694.7 | 5684 | 5860 | 5540 |

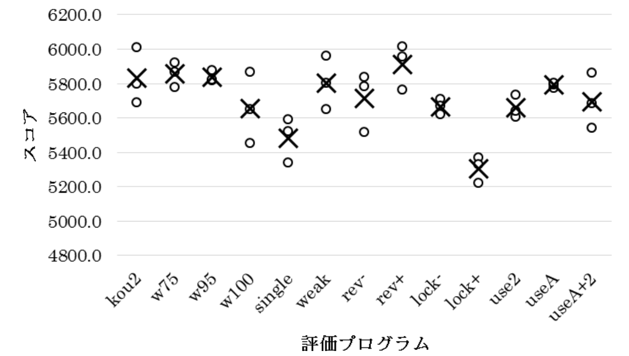


図 5　snowl との 2,000 試合 3 セット対戦のグラフ（×印：平均値，白丸：測定値）
**Fig. 5**　The graph of the Table 3 (×: average, ○: measured).

不利になる．したがって，このような結果となると考えられる．また，他の対戦ではスコアの差が小さいため，革命に関する戦略の有効性はそれほど高くないのではないかといえる．

しばりに関する戦略では，どの場合でもしばりを考慮しない場合にスコアが低く，しばりを優先した場合はさらに低いスコアとなった．

このことから，しばりに関する戦略は対戦相手によらず有効ではあるが，しばりを発生させる場合について考慮する必要があると考えられる．特に，スートで一番強いランクを持っているときにしばりを行う戦略が有効であるといえる．

強い組の温存では，他の戦略と比較すると kou2 との差が小さい結果が多く見られた．このことから，強い組の温存は他の戦略より有効性が低いのではないかといえる．

### 5.3　あがれそうな場面での場を流せる判断について

あがれそうな手札では，場を流せそうと判断した組の提

表 4　beersong との 2,000 試合 3 セット対戦のスコア
**Table 4**　Scores versus beersong program in 3 set of 2,000 games.

| | 平均 | 1 セット | 2 セット | 3 セット |
|---|---|---|---|---|
| kou2 | 5238.0 | 5140 | 5214 | 5360 |
| w75 | 5193.7 | 5249 | 5291 | 5041 |
| w95 | 5228.3 | 5111 | 5221 | 5353 |
| w100 | 5066.3 | 5049 | 5079 | 5071 |
| single | 5041.3 | 5006 | 5066 | 5052 |
| weak | 5136.3 | 5242 | 5041 | 5126 |
| rev− | 5130.7 | 5122 | 5165 | 5105 |
| rev+ | 5237.3 | 5237 | 5444 | 5031 |
| lock− | 5075.0 | 5155 | 5025 | 5045 |
| lock+ | 4926.3 | 4944 | 4934 | 4901 |
| use2 | 5307.7 | 5329 | 5269 | 5325 |
| useA | 5197.3 | 5103 | 5358 | 5131 |
| useA+2 | 5162.7 | 5415 | 5021 | 5052 |

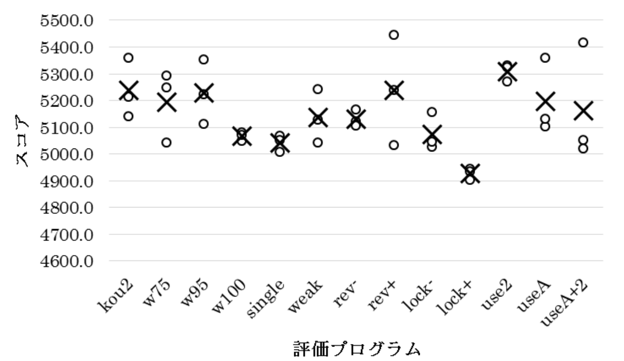


図 6　beersong との 2,000 試合 3 セット対戦のグラフ（×印：平均値，白丸：測定値）
**Fig. 6**　The graph of the Table 4 (×: average, ○: measured).

出により確実に場を流せたかどうかが勝敗に影響を与える．これは，場を流せそうと判断したにもかかわらず，提出を続けることができない場合，弱い手札を残すことになり，順位が大きく落ちる可能性が高いからである．

ここで，場を流せそうな組の判断について，chibiHana との対戦である表 2 を見ると，kou2 と w100 では平均スコアが 500 程度落ちているのに対して，モンテカルロ法との対戦である表 3，表 4 を見ると kou2 と w100 の差は 200 程度である．そこで本節では，あがれそうと判断した場合に「場を流せそう」という判断がどれほど正確であるかを示す．

検証方法は，w75 プログラムで対戦を行い，あがれそうな手札と判断した後に強さ評価値が 75 以上 99 以下の組を提出したとき，その組で場を流せたかどうかを比較した．

対戦相手は，beersong，snowl，chibiHana，default が 1 つずつの場合，chibiHana が 4 つの場合，beersong が 4 つの場合の 3 種類で行い，対戦数は 10,000 試合とした．

© 2016 Information Processing Society of Japan

表 5 4 種類のプログラムと対戦を行った場合の場を流せた数と割合
**Table 5** The number and percentage of take the trick when facing 4 types of programs.

| 評価値 | 提出した数 | 場を流せた数 | 割合 |
|---|---|---|---|
| 75〜79 | 370 | 163 | 44.1% |
| 80〜84 | 358 | 187 | 52.2% |
| 85〜89 | 487 | 263 | 54.0% |
| 90〜94 | 360 | 279 | 77.5% |
| 95〜99 | 510 | 437 | 85.7% |
| 計 | 2085 | 1329 | 63.7% |
| 85〜99 | 1357 | 979 | 72.1% |

表 6 chibiHana と対戦を行った場合の場を流せた数と割合
**Table 6** The number and percentage of take the trick when facing chibiHana.

| 評価値 | 提出した数 | 場を流せた数 | 割合 |
|---|---|---|---|
| 75〜79 | 450 | 196 | 43.6% |
| 80〜84 | 413 | 237 | 57.4% |
| 85〜89 | 513 | 288 | 56.1% |
| 90〜94 | 476 | 352 | 73.9% |
| 95〜99 | 867 | 788 | 90.9% |
| 計 | 2719 | 1861 | 68.4% |
| 85〜99 | 1856 | 1428 | 76.9% |

それぞれの対戦で場を流せた回数と確率を**表 5**，**表 6**，**表 7** および**図 7** に示す．

図 7 を見ると，4 種類の相手の場合，chibiHana の場合，beersong の場合，いずれの場合においても場を流せた割合に大きな差はないといえる．しかし，強さ評価値が 90 以上の場合はそれ以下の場合と比べ，場を流せた割合が増加していることが分かる．したがって kou2 における場を流せそうと判断する強さ評価値の値 86 はある程度妥当性があるといえる．

表 5，表 6，表 7 を見ると，評価値のクラスすべての合計における場を流せた割合は，chibiHana との対戦での割合が beersong との対戦での割合を上回っている．さらに，評価値 85 から 99 の和においても，chibiHana での割合が beersong での割合を上回っている．このことから，ヒューリスティック戦略の相手に対しては，場を流せそうな判断はモンテカルロ法の相手に対する判断よりも，効果がある可能性がある．

## 6. おわりに

本研究では，コンピュータ大貧民に対する 3 種類の評価値を用いたヒューリスティック戦略を提案した．さらに提案した戦略の中で 4 つのヒューリスティックについて，その効果を実験的に調べた．その結果，場を流せそうな組の判断，しばりに関する戦略，自分が親のときの着手選択の 3 つの戦略に有効性があると判断できた．

表 7 beersong と対戦を行った場合の場を流せた数と割合
**Table 7** The number and percentage of take the trick when facing beersong.

| 評価値 | 提出した数 | 場を流せた数 | 割合 |
|---|---|---|---|
| 75〜79 | 306 | 130 | 42.5% |
| 80〜84 | 255 | 136 | 53.3% |
| 85〜89 | 432 | 247 | 57.2% |
| 90〜94 | 307 | 222 | 72.3% |
| 95〜99 | 394 | 340 | 86.3% |
| 計 | 1694 | 1075 | 63.5% |
| 85〜99 | 1133 | 809 | 71.4% |

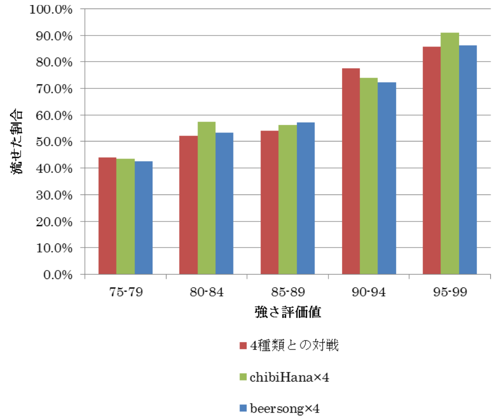


図 7 対戦の組合せごとの場を流せた割合
**Fig. 7** The percentage of take the trick.

また，あがれそうな場面での場を流せる提出が妨害される割合を調べ，相手がヒューリスティック戦略を用いている場合には，本論文で提案した手法がモンテカルロ法の相手よりも効果的である可能性を示した．

今後の課題は，評価基準を適切に設定することでプログラムの強さが向上することが考えられるため，評価精度の向上が考えられる．

**謝辞** 大貧民プログラム chibiHana を提供してくださった東京大学大学院総合文化研究科田中研究室の大渡勝己様に心より感謝いたします．

## 参考文献

[1] 美添一樹：モンテカルロ木探索—コンピュータ囲碁に革命を起こした新手法，情報処理，Vol.49, No.6, pp.686–693 (2008).
[2] 小沼 啓，西野哲朗：コンピュータ大貧民に対するモンテカルロ法の適用，情報処理学会研究報告ゲーム情報学（GI），Vol.GI-025, No.3, pp.1–4 (2011).
[3] 吉原大夢，大久保誠也：コンピュータ大貧民における手札推定の有効性について，情報処理学会研究報告ゲーム情報学（GI），Vol.GI-030, No.4, pp.1–6 (2013).
[4] 平嶋遼馬，鈴木徹也：コンピュータ大貧民でのモンテカルロ法における相手手札推定率と勝率との関係，第 76 回全国大会講演論文集，人工知能と認知科学，pp.607–608 (2014).
[5] 吉原大夢，阿部野なつみ，渡邉佑介，大久保誠也：提出

© 2016 Information Processing Society of Japan

手比較による大貧民プレイスタイル解析，情報処理学会研究報告ゲーム情報学（GI），Vol.GI-028, No.7, pp.1–6 (2012).

[6] 森田茂彦，松崎公紀：大貧民において他プレイヤのプレイアルゴリズムより受けるプレイヤの強さへの影響，情報処理学会研究報告ゲーム情報学（GI），Vol.GI-029, No.4, pp.1–6 (2013).

[7] 飯田伸也，藤田　悟：大貧民におけるシミュレーション・バランシングを用いた方策学習，第77回全国大会講演論文集，人工知能と認知科学，pp.93–95 (2015).

[8] 大佐賀猛，野中秀俊，吉川　毅，杉本雅則：不完全情報ゲームにおける適応的モンテカルロ木探索手法の提案，情報処理学会論文誌数理モデル化と応用（TOM），Vol.8, No.1, pp.38–44 (2015).

[9] 佐藤裕紀，伊藤毅志：大貧民におけるプレースタイルの相性に関する研究，情報処理学会研究報告ゲーム情報学（GI），Vol.GI-020, pp.37–43 (2008).

[10] UECda 運営委員会：UEC コンピュータ大貧民大会，入手先 ⟨http://uecda.nishino-lab.jp/⟩（参照 2016-06-03）.

[11] Tajima, Y. and Tagashira, K.: Heuristics for Daihinmin and their effectiveness, *Applied Computing and Information Technology*, *Studies in Computational Intelligence*, Vol.619, pp.59–69 (2015).

[12] 西野順二，西野哲朗：大貧民における相手手札推定，情報処理学会研究報告数理モデル化と問題解決（MPS），Vol.MPS-85, No.9, pp.1–6 (2011).

[13] 西野順二，西野哲朗：コンピュータ大貧民における最良手の推定について，情報処理学会研究報告数理モデル化と問題解決（MPS），Vol.MPS-90, No.4, pp.1–6 (2012).

[14] 漆畑雅士：多人数不完全情報ゲームに対する局面評価値を用いたモンテカルロ法，数理解析研究所講究録，Vol.1894, pp.84–88 (2014).

**田頭 幸三**　（学生会員）

2015 年岡山県立大学情報工学部情報システム工学科卒業．岡山県立大学大学院情報系工学研究科システム工学専攻博士前期課程在学中．

**但馬 康宏**　（正会員）

1996 年電気通信大学大学院電気通信学研究科博士前期課程修了．同年（株）IHI 入社．2001 年電気通信大学大学院電気通信学研究科博士後期課程修了．博士（工学）．同年東京農工大学助教．2009 年岡山県立大学准教授，現在に至る．文法推論，機械学習，自然言語処理の研究に従事．電子情報通信学会，人工知能学会各会員．

© 2016 Information Processing Society of Japan