単貧民における多人数完全情報展開型ゲームの考察

西野順二

電気通信大学 システム工学科

日本固有のカードゲーム大貧民の探索的な解法のため、完全情報ゲーム化した単貧民を定義し、１枚プレイに限定して多人数ゲーム木の探索を行った。多人数ゲーム木では Max^n により均衡解の一つを見つけることができるが、ベクトルの非順序性による非決定な節点の存在が解戦略に不安定さを与える。１０枚を配った様々な初期手配から始めてそれぞれの探索結果の安定さを判別した。３人では３８％、４人では２５％で安定に探索でき必勝であることを明らかにした。人数が増えるほど安定な解が減り探索的手法が有効でない可能性が高いことを示した。

An analysis on TANHINMIN game

Junji NISHINO

Dept. of Systems engineering
The University of Electro-Communications

Tanhinmin is a simplified game of the DAI-HIN-MIN that is Japanese folk card trick taking n-player game. In this paper, we show the solid searching result on 10 cards for 3 person and 10 for 4 pesron games. There are 38% solid solution in 3 person games, 25% in 4 person games. As much persons, the solid solutions are decreased.

1　はじめに

チェスや囲碁、将棋など、二人ゼロ和有限確定完全情報の展開形ゲームについては、探索問題の対象として様々に研究されており、多くの知見が得られている。とくに Min-Max 法により必勝／必敗／引分けが確定するという特徴がある。いっぽうトランプ (カードゲーム) は、手近な有限不完全情報不確定ゲームとして日本でも身近な対象である。しかし、その不完全情報性や多人数ゲームであること、などからプレイアルゴリズムに関する研究はほとんどなされておらず、ゲームプログラムの多くはヒューリスティックな規則にもとづいて作られている。

本論文では、日本国内で有名なカードゲームの大貧民を完全情報多人数ゲーム化した単貧民を対象に、そのゲームの構造と最適着手について検討することを目的とする。とくに探索中に評価値のタイブレークが必要となる状況とその解消について考察する。

多人数ゲーム木での着手決定には、Max-Min アルゴリズムの自然な拡張である Max^n アルゴリズム [1] があり、その解は均衡解の１つとなることが知られている。これは、線形順序を仮定しないベクトル評価値の比較に基づいており、比較不能のタイブレークを行う節点が存在する。タイブレークの選び方によって容易に、他の均衡解へ大きく移動してしまうという解の不安定さを本質的に持っている。最悪値のリスクを軽減するよりロバストな Soft-Max^n[2] も提案されている。しかし、この方法もタイブレークによる木の不安定さそのものには変化が無い。

結局のところ、各ゲームごとの探索の不安定さはゲーム木の構造と評価値の分布に強く依存し、各ゲームごとにその特性を調べる必要が本質的にある。本論文ではコンピュータ大貧民プログラムの強化にあたり、終盤データベース

や局面の静的評価関数構築を目指した、単貧民についての探索木の不安定さを考察する。とくに、タイブレークの処理を必要としない安定に読み切れる解について着目し、以下では全体の状態に対する安定的な解が導出可能な状態の出現割合を検討する。

2 関連研究

大貧民は日本固有のトランプカードゲームである。５２枚を3-5人に配布する組合せは大きく、コンピュータプレイヤを構築するのは容易ではない。また多人数ゲームの特性上プレイヤ同士の一対比較はできず、単体としてのプレイヤプログラムの強さを評価することも難しい。２００６年に電気通信大学でコンピュータプレイヤ相互の競技会 [3, 4] が開催され、プログラムの強さを評価する枠組として有効であった。

現状のプレイヤプログラムの多くはヒューリスティックにもとづいたルールベースによる着手戦略が用いられている。対象とする単貧民は、すべてのプレイヤの手が互いに明らかであり１枚だけのプレイに制限した完全情報化した大貧民ゲームである。日本で身近なカードゲームである大貧民のプレイヤプログラムの終盤での読みきりデータベースに寄与することを目指し、その分析を行ってきた [5]。

カードゲームとしての大貧民としては、古くは１９８０年代に有澤らが特殊な５５枚の組み合わせによる５人自動プレイの実験的分析について調べている [6]。コンピュータプレイヤをいくつかの戦略の組み合わせでアドホックに構成し、順位の変遷について実験対戦の結果にもとづいて分析した結果、同じ戦略の有効性が順位によって変わることを示した。手持ちの札の状態により戦略をメタに切替える必要性を示している。

多人数ゲームとしての大貧民について、完全情報としても探索結果は不確定となる。後藤らは多人数ゲームにおける葉ノードでの評価を順位とし、不確定部分を列挙したノード値を用いる探索を提案している [7]。この中では、２人から６人まで全員に５枚までの同じカード組み合わせを配り、いくつかの枝刈り法を比較している。比較して本研究は、実際に配られる可能性のある組合せのバリエーションから、終盤データベースを作ることを目指して完全探索し、その状態自体各々の性質を調べることを目的とする点が異なっている。

多人数ゲームの探索法として１９８６年に Luckhardt らが提案した Min-Max 法の自然な拡張である、Max^n 探索 [1] がある。四人将棋プログラムの実装のために選択的 M^3 サーチ [8] が提案されており、基本構造は Max^n 探索と同様であるが、ヒューリスティックにもとづく選択的探索を行って効率化をはかっている。大川らの四人将棋でのアルゴリズム [9] もベクトル値によるカット配列法を提案し探索に枝刈りを導入している。

探索の効率化の観点からは、ダイアモンドゲームを対象とした３人ゲームの探索でその順位を評価値とした「早い者勝ちゲーム」としての分析 [10] や、同じくダイアモンドゲームを対象に、最良優先探索の提案 [11] がある。これらは、探索の効率化に主眼がおかれ、同一の初期状態からのみ実験が行われている。しかし、そもそも問題が可解な状態であるかという判断が、多人数ゲームでは必要である。不安定な木を枝刈りして探索しても、そこで得られた戦略が有効であるとはいいがたい。

3 多人数展開型ゲームの解とその性質

多人数展開型ゲーム木も戦略と利得がすべて与えられれば、均衡解を持ち、Max^n アルゴリズムにより求めることができる。各葉節点での利得は、プレイヤそれぞれの利得の組としてベクトル $v = (v_1, \cdots v_i \cdots v_n)$ で与えられる。アルゴリズムの目的はすべてのプレイヤが利己的かつ合理的に戦略決定したときの戦略の組 $\vec{s} = (s_1, \cdots s_i \cdots s_n)$ を求めることである。Max^n で得られた戦略は均衡解となることが保証され、どのような戦略 $\vec{s}' = (s_1, \cdots s_i' \cdots s_n)$ を取っても、$v \leq v'$ が成り立つ。

Max^n アルゴリズムは以下のとおりである。プレイヤｉの手番節点では、v_i を最大化する手

s を選ぶ。ただし最大値を取る v_i が複数ある場合には任意の一つを選んでかまわないものとする。手 s によって導かれる子節点の評価値をこの手番節点の評価値として採用する。これを葉から順に行い根まで行うことで Max^n アルゴリズムが完成する。ここで得られた手の組 $\vec{s_i}$ がプレイヤ i の戦略である。

均衡解が得られる証明が参考文献 [1] にあるが直観的には以下のように説明できる。アルゴリズムの定義から、根の評価値を与える探索の主経路で考えるとどのプレイヤの節点での手すなわち戦略を変更しても評価値 v は増加しないことが保証されており、均衡解の定義を満たすことが明らかである。

3.1 Max^n 探索の不安定性

Max^n 探索で均衡解が求まるが、必ずしもパレート最適であるとは限らず、最良の手が他にも存在する可能性がありその発見は一般に困難である。とくに自己の評価値が同じ複数の手の選択肢があるとき、タイブレークのしかたによって相異なる複数の解戦略が自然に得られ、評価値も全体戦略も大きく変化することがある。たとえばプレイヤ２のある節点で選択可能な２つの手 A、B それぞれに対して $(0, 1, 2)$ と $(2, 1, 0)$ という評価ベクトルが与えられているとする。このとき手 A と手 B は、プレイヤ２にとってどちらも評価点１が与えられて無差別であり決定不能なタイ節点となっている。仮に、A を選んだとして親節点プレイヤ１の手番に評価値 $(0, 1, 2)$ を戻すと、プレイヤ１の値は０で、A は悲観的な節点となり他の節点との関係の中で選ばれない可能性が高い。一方同じ節点でプレイヤ２が B をタイブレークとして選んだとすると、親節点でのプレイヤ１の評価値は２となり逆に選ばれる可能性が高くなる。

いっぽう、プレイヤ２のある節点で選択可能な２つの手 A、B の評価ベクトルが $(0, 1, 2)$ と $(0, 1, 1)$ であったとする。すると、どちらの手を選んでも、親節点でのプレイヤ１の評価は０となって変わらず、また選ばれる可能性が低い。このように評価に影響が少なく探索が不安定とならず全体として同じ結果に収束するものも多い。選択肢の各評価ベクトルがすべて同一であったり、優越するものが一種類であることもあり、この場合も安定である。

また、必ず Max^n でタイブレークが必要無く安定に解が求まるクラスがある。すなわち、j 番節点の評価ベクトルを v^j とし、そこでのプレイヤ i の評価値を v_i^j としたとき、プレイヤ i のすべての評価値が互いに相異なり線形順序を与えられるとき、すべての節点でタイブレークが必要無く、安定に Max^n を適用することができる。

3.2 Soft-Max^n

多人数ゲームの探索では、本質的に非決定なタイブレーク節点があり、他プレイヤの非論理的な選好に依存するため必勝手順を与えられない。

そこで、タイブレーク探索で親ノードに返す値を、複数のベクトル値の集合とする、Soft-Max^n[2] が提案されている。すべての可能性を伝播することで、探索のロバストネスを上げリスクを減らしている。しかし、Soft-Max^n は、従来の手法に比べよりロバストな解を与えているが、依然として自身の最終利得は他者の合理的判断基準の存在しない「きまぐれ」に依存している。

一方で前述のとおりゲーム木の特性として、解が一意に決定できるものがある。一意に決まるかどうかは結局のところ各ゲームの特徴としての、それぞれの木の構造と利得の配置に依存する。このため、どの多人数ゲームであってもその議論やアルゴリズムが、他のゲームに一般に有用であるとは限らず、むしろ各ゲームそれぞれのもつ特徴こそが重要と考えられる。

以下では大貧民のための分析用ゲームとして単貧民を検討する。

4 単貧民

単貧民は、現代日本で有名なカードゲーム大貧民のルールをベースに、手札を公開して１枚プレイのみで行うゲームである。完全情報多人数ゲームとなり、ある種の詰め大貧民ととらえ

ることもできる。

大貧民の基本ルールは、各プレイヤが順に手札を出してゆき、最初に手札を出し切ったプレイヤが勝利し、以下、手札の無くなった順に順位を付けるというものである。ただし出せる手札は場札より強いカードに限られ、出せない場合にはパスとなる。一人を除いて他の全員がパスしたとき、場が流れて最後のプレイヤが次のリードを自由に出すことができる。通常は３が最も弱く数字の大きさに比例して強く１３に相当するＫの上として、Ａがあり、さらに２が最も強いとすること多い。本論文中ではこれらの強弱の順に番号を振り直し、１が最弱で１３が最強であるとする。

詰め大貧民では、あたえられた配布状態から、最も良い手を考えることを目的とする。たとえば初期条件として１から１０のカード１０枚が４人に配られている次の状況を考える。

$[[1, 3, 10], [2], [4, 6, 8], [5, 7, 9]]$

プレイヤ１は、１、３、１０の三枚のカードを持っている。どのカードからプレイすれば良いかを求める。ここでは３からプレイするのが正解で、すると２番はパス、３番４番がそれぞれ１枚ずつ出したところで１０を出して場を流し、最後に１を出して上がることができる。

いっぽう、最初に１を出してしまうと２番のプレイヤが上がってしまうし、最初に１０を出すと全員パスののち、１を出せば２番プレイヤが勝利、３を出せばその後３番と４番プレイヤどちらかが勝利するまで二人だけの出し合う試合となってしまう。

4.1 単貧民の多人数ゲームとしての基礎的性質

大貧民では上がった順位によって次回ゲームのカード配布で優越される決まりがある。このため、順位がそのまま利得となると考えるのが自然である。すると３人プレイヤでは $(0, 1, 2)$, $(0, 2, 1)$, $(1, 0, 2)$, $(1, 2, 0)$, $(2, 0, 1)$, $(2, 1, 0)$ と、６種類の可能性がある。一般にＮ人ではＮの階乗だけの利得パターンの可能性がある。

また探索木の葉節点はこれよりも多くなる。たとえば１０枚を３人に約３枚ずつ配ったとすると、初手はパスを含め４通りの一つであり、全体としてはおおむね $4^3 \times 3^3 \times 2^3 = 331776$ 通りで３０万を超える葉節点がある。しかし各葉に割り当てられる利得ベクトルは６種類しかないため、各所で同じ値が最使用されて、タイブレークが発生しやすいと言える。

4.2 残 10 枚の組み合わせ

たとえば、５人でのゲーム終盤に二人が残ったとすると、二人合わせて最大で２２枚である。実際にはここまでにそれぞれ何枚かは減らしている可能性が高いので、本論文では合計１０枚以下の完全探索を行うことにし、３人、４人でも合計で１０枚を分けあって持っている状況下での全探索を行った。

4.3 手の同値構造

大貧民のルールのもとで１枚のみのゲーム単貧民を行う場合には、異なる配布組み合わせどうしであっても状態として等価性を考えることができる。

以下の三種類の変換により探索すべきパターン全体を縮約できる [5]。

1. 全体のシフト
2. 連続する自手の同値化
3. 強さの差の整理

これらにより等価なパターンを削減し計算量を減らすことができた。

5 ３人および４人１０枚のゲーム木探索

文献では、Ｎ人ゲームの葉ノードでの評価値をベクトルとすることで、maxmin 探索を行う例をあげ、さらに $\alpha\beta$ 探索を行うときの問題点について考察している。しかしながら、プレイヤが３人以上でのばあい、$\alpha\beta$ 探索でなく、完全な探索でも評価値は一般に決定できない。

３人ゲームのとき、葉ノードでの評価は各プレイヤの順位を基準にして、プレイヤの利得2,1,0点が割り当てられるとする。各葉ノードでの各プレイヤの利得の合計は一定である。葉ノードでのプレイヤA,B,Cの利得をそれぞれa,b,cとすると、この利得をベクトルで(a, b, c)のように表せる。

利得および評価値がベクトルで表されるとしても、決定ができないことは、簡単な例で示すことができる。プレイヤAの局面で選択肢がp,qの二つありそれぞれの利得ベクトルが$g(p) = (0, 1, 2), g(q) = (0, 2, 1)$とする。このとき、どちらもAの利得は0であるから、プレイヤAはp,qの選択肢についてはまったく無差別であり、合理的にどちらかを選ぶ決定はできない。しかしなおプレイヤB,Cの利得はプレイヤAの選択にかかっている。ここでこのAの手番のノードの評価値を、仮に$g(A) =< (0, 1, 2), (0, 2, 1) >$という２項組であらわしておく。

探索木の一つ上のノード、プレイヤCの局面の選択肢r,sがあり、それぞれの選択の後、Aの局面になるとする。rを選んだときのA_rの局面の評価値が、$g(A_r) =< (0, 1, 2), (0, 2, 1) >$であるとする。このとき、sを選んだときのAノード$A_s$の評価値が、$g(A_s^1) = (0, 1, 2)$または$(1, 0, 2)$ならば、Cは選択肢sを選べば確実に利得2となる。結局Cノードの評価値は$g(C) = g(A_s^1)$を採用し、$(0, 1, 2)$または$(1, 0, 2)$のいづれかに確定する。

選択肢sを選んだときのAノードの評価値が、$g(A_s^2) = (2, 1, 0)$または$(1, 2, 0)$ならば、Cの得る利得は選択肢rを選んだときの利得2もしくは1よりも確実に低くなるので、Cは選択肢rを選ぶことになる。選択肢rを選ぶとすれば、このCノードの評価値も不確定な値$g(C) = g(A_r) < (0, 1, 2), (0, 2, 1) >$となる。

5.1 探索アルゴリズム

前節で見たように３人以上のゲームでは、利得と各ノードでの評価値をベクトルとしても、あるノードの戦略を選択するプレイヤにとっては戦略の合理的な決定ができない場面が発生する。また、あるパタンにおける必勝手順を探索する上で、自身の必勝手が無いノードにおける他のプレイヤの評価値は重要とは言えない。

そこで、葉ノードでのベクトル値利得をより簡略化し、１位以外をゼロとして$\{(1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1)\}$の３種類としたシングルトン評価方式を考える。この３種類の利得はすなわち、その葉ノードでプレイヤA,B,Cが勝利することと対応している。よってさらに簡略化して単に$\{a, b, c\}$と書くこととする。

このとき探索木の各ノードの評価値は、３種類の葉ノードの値$\{a, b, c\}$のべき集合すなわち$\{a, b, c, ab, bc, ca, abc\}$のいづれかとなる。ここで$ab, bc, ca, abc$はそれぞれに含まれる文字のどちらかが勝利するが、その勝敗の決定は他者に無差別にゆだねられていることを意味している。abならば、Cの手番で無差別にa, bのどちらかが選ばれる。

このことは、探索木を順にたどることで自明である。あるAの手番ノードで取れる戦略$p, q, r, \cdots$が複数あり、それらの結果はそれぞれa, b, cのいづれかとする。Aは自身にとってもっとも有利な手を選ぶと仮定すると、選択肢全体の総合評価はa, b, c, bcのいづれかになる。

表 1: プレイヤC節点での手と総合評価の例

子節点の評価の組み合わせ		総合評価
a	→	a
b	→	b
c	→	c
bc	→	bc
a,b	→	ab
a,c	→	c
a,bc	→	bc
b,c	→	c
b,bc	→	bc
c,bc	→	c
a,b,c	→	c
a,b,bc	→	bc
a,c,bc	→	c
b,c,bc	→	c
a,b,c,bc	→	c

一つ上のCの手番のノードでは、選択肢それぞれの評価は先のAのノードの評価値であり、a, b, c, bcのいづれかの組み合わせとなる。たとえば戦略p,qを選択したときのノードの値が、$g(p) = a, g(q) = bc$であるとすると、Cは自身が勝つ可能性のあるbcの値を持つ戦略qを採択するのが合理的である。選択肢の値のありうる組み合わせについて考えると、表1に示した経過を経て結局a, b, c, ab, bcの5種類となる。

さらに一つ上に遡ったBの手番では、a, b, c, ab, bcの組み合わせ評価をBの利益について行い、結局a, b, c, ab, bc, ca, abc 7通りとなる。評価abcとは、Bの手番で選べる戦略がbc, abの二つとなったときの総合評価である。この二つはBにとっては無差別であるためどちらとも決定できない。そこで、このときのBの手番のノード値はabcとせざるおえない。

以上の選択アルゴリズムはSoft-Max^nとほぼ同じである。

5.2　３人１０枚の探索

以上の準備のもと、３人に１０枚を配布した結果について探索を行う。

３人に１０枚を配布する組み合わせは、$2^9 * 3^{10} = 30,233,088$通りである。これに対して、２人１０枚のときと同様に手の構造に基づいて縮約を行うと、$1,428,867$通りに縮約することができた。

探索の結果、先手必勝621,368通り、先手勝不確定807,499通りであった。先手の勝ちが不確定なものは必敗と不確定の両方を含んでいる。完全情報を仮定すると、３人であっても約４３％のパタンで先手が勝つことが分かった。

これらの中には、自手にカードが１枚しかなく、戦略が自明なものが含んでいる。自手にカードが２枚以上あり戦略が自明ではない組合せでは、全体で1,252,189通り、そのうち先手必勝が探索できたパターンが、486,790通りで、全体の３８％が解けることが分かった。

先手の手による勝ちパタン数を表2に示す。

２人１０枚の場合には、自己の手の下から３番目以上を出す必要があるパタンは無かったが、３人では$([1, 3, 5, 5, 5], [2, 4], [2, 2, 6])$先手5、のように、下二つの1,3をおいて先に5から出さなければならないパタンも多数発生した。

手	:	パタン数
先手 1	:	116856
先手 2	:	137173
先手 3	:	116956
先手 4	:	73429
先手 5	:	33244
先手 6	:	8085
先手 7	:	979
先手 8	:	66
先手 9	:	2
先手小計	:	486790
合計	:	1252189

表 2: ３人１０枚の探索結果

先手２の場合には、２の下に１がある場合が4159パタン、残り157,352パタンは２が手中の最弱カードである。３以上の先手の場合には、最弱でない場合が比較的多く含まれるようになることが分かった。

３人の場合、実際のゲームは完全情報ではなく、１０枚全体の種類は捨て札の追跡により判明するが、相手二人にどのように分かれているかは不明である。

また、相手二人がそれぞれ何枚ずつ持っているかは与えられるので、相手の正確な手が分からなくても、$([1, 2, 4, 6, 7], [3, 5, 5], [2, 6])$先手２勝 $([1, 2, 4, 6, 7], [3, 5, 6], [2, 5])$先手２勝 のように、自分の手と相手の枚数から必然的に最強手が判明する期待を持っていたが、ほとんどの場合では成り立たないことが明らかとなった。

しかしながら、これらのデータをデータベースとしてオンラインで利用することで、不完全とはいえ、より有効な着手を選択する手がかりとなる。

5.3　４人１０枚の探索

プレイヤ数４人に対して１０枚を配布した組み合わせすべてについても勝敗探索を行った。４人に配布することで、同じ強さとしてまと

手	:	パタン数
先手 1	:	11040
先手 2	:	13116
先手 3	:	15274
先手 4	:	17572
先手 5	:	20068
先手 6	:	21551
先手 7	:	21536
先手 8	:	18092
先手 9	:	11280
先手 10	:	13104
先手勝小計	:	162633
全自２枚上	:	637020
先手勝合計	:	344133
全合計	:	818520

表 3: ４人１０枚の探索結果

められるひと続きのカードが手にある可能性が少なくなり、組み合わせの縮約の効果が薄くなる。このため、あらためて縮約しても組合せを減らすことはせず、全体を対象として探索を行った。各初手ごとに分けた結果を表3に示す。

１０枚を４人の手に１枚以上配布する組み合わせは818,520通りであり、解が求まるものは344,133通り(42%)であった。ただしこのうちには自手にカードが１枚しかなく戦略が自明なものを含んでいる。自手が２枚以上あり戦略が自明ではない組み合わせは全体で637,020通りあり、先手必勝手順が探索できたパターンは162,633通り(25%)であった。

5.4 単貧民の性質

探索の結果、多人数ゲームが不安定で戦略が一つに定まらないものと、手が収束して、解を得ることができるものに分けることができた。

自明でない解を得ることができる状態は、自明でない状態全体のうち、３人１０枚配布では３８％、４人では２５％となった。

３人と４人でどちらも１０枚であり、平均的な最長探索深さもおよそ１０程度である。平均分岐数は一人あたり手札の少ない4人の方が少ないので探索木の葉の数は３人の方が多くなっている。一方で、葉に割り当てられる評価値は、シングルトンを使っているため３人では３種、４人では４種となり、葉の数と関連付けると、一定数の葉に対する割り当て評価値のバリエーションは３人の方が少ないことになる。これは節点の子に現れる評価値が単一のものになる可能性が高いことを示していると考えると、探索結果が収束して単一の安定した解を得る割合が高かったことと一致する。

ゲームに参加する人数が増えるにしたがって、葉に割り当てられる評価値の種類の割合が増えていき、このため人数が増えるほど安定した解を得られない可能性が上がると予想される。

6 まとめ

本論文は、日本固有のカードゲームである大貧民のコンピュータプレイヤを作る上で有効な終盤データベースの構築に向け、完全情報多人数ゲームとしての単貧民のゲーム木を探索しその特徴を検討した。３人と４人に対して合わせて１０枚が配られる状況において、１枚のみの試合が行われると仮定し、完全情報として全探索し勝敗と必勝手を明らかにした。探索に際して、大貧民のルールに即した手の構造にもとづいて等価な手を定義し、パタンの縮約を行い、３人については1,428,867通りに減らすことができた。４人に対しては組合せ数が818,520通りと３人に比べて少なく、手の散布が多様でパターンの縮約の余地も少ないため、そのまま全体の組合せに対して探索を行った。３人４人それぞれ、３８％、２５％の初期手配について、同値による非決定な節点を含まない単一の確定的な解を求めることができた。この実験結果は、ゲームに参加する人数が増えるにしたがって、葉に割り当てられる評価値の種類の割合が増えていき、このため人数が増えるほど安定した解を得られない可能性が上がることを示唆している。

従来の研究では枝刈りに関するものが多数であったが、多人数としながら３人のダイヤモンドゲームや、３人SPADES、４人将棋程度までが多くの対象であった。今回の結果にてらせ

ば、これらは比較的解きやすい良い問題であったと言えよう。その上での枝刈りの効果であることに留意が必要である。５人やそれ以上の多人数ゲームでのゲーム木の様相について、さらに検討が必要である。

大貧民に対しては本結果が示した解の決定性の面から考えると、３人以下での終盤においての探索的な手法は有効であろうと考えられる。しかし、人数が増えた５人や４人の、すなわち序盤での探索的な方法の適用は、その有効性にやや疑問があると言える。

参考文献

[1] C. A. Luckhardt and K. B. Irani. An algorithmic solution of n-person games. In *AAAI-86*, pp. 158–162, 1986.

[2] N. Sturtevant and M. Bowling. Robust game play against unknown opponents. In *AAMAS'06*, pp. 713–719. ACM, 2006.

[3] 大久保, 小林, 本多, 眞鍋, 青木, 柿下, 小松原, 西野. 第１回コンピュータ大貧民大会 (uecda-2006) の報告. 情報処理学会ゲーム情報学研究報告, Vol. GI-17, pp. pp. 25–32, 2007.

[4] 西野哲朗. 第１回 uec コンピュータ大貧民大会 (uecda-2006) の実施報告. 情報処理学会誌, Vol. 48, No. 8, pp. 884–888, 8 2007.

[5] 西野順二. 大貧民における手の構造. 情報処理学会ゲーム情報学研究報告, Vol. GI-17, pp. pp. 33–39, 2007.

[6] 有澤誠. プログラミングレクリエーション (2). 近代科学社, 1982. 3.3 パズルとゲーム, 55 枚大貧民の実験的分析.

[7] 後藤, 乾, 小谷. 多人数ゲームの順位を決定するゲーム木探索. 第７回ゲームプログラミングワークショップ, pp. pp. 109–115, 2002.

[8] 橋本, 平沢, 梶原, 佐々木, 飯田. 四人将棋プログラムの基本的アルゴリズム. 情報処理学会ゲーム情報学研究報告, Vol. GI-1, pp. pp. 99–106, 1999.

[9] 大川, 桜井, 小谷, 辻. 多人数ゲームにおける枝刈りと四人将棋への応用. 情報処理学会ゲーム情報学研究報告, Vol. GI-7, pp. pp. 73–80, 2002.

[10] 梶浦正浩, 安西祐一郎. 早い者勝ち n 人ゲームの木探索. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J77-D-I, No. 3, pp. 253–260, 1994.

[11] 篠原拓嗣, 石田亨. N 人ゲームにおける最良優先探索. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 10, pp. 2981–2989, 2002.