Vol.2009-MPS-75 No.4
2009/9/10

終盤データベースを用いた多人数不完全情報ゲームプレイヤモデル

西 野 順 二[†1] 西 野 哲 朗[†1]

終盤データベースを用いて多人数不完全情報ゲームの意思決定を行うプレイヤモデルを提案し、コンピュータ大貧民大会サーバを用いた実験により効果を示した。多人数ゲームには自己の判断によって利得を制御できず、第三者の合理的でない判断によって左右される不決定という状態をもち探索になじまない。これに対して大貧民のサブセットである単貧民化を行って手の縮約を施して局面を限ったうえで、シングルトンによる単純化した利得評価を用いることで最終 10 枚の終盤データベースの構築を行った。パフォーマンスの向上がみられ有効なモデルであることを示した。

A n-person imperfect information games player model using endgame database

Junji Nishino[†1] and Tetsuro Nishino[†1]

In this paper, we introduce a new player model for n-person imperfect information games using endgame database which was pre-made by brute force searching. Multi player games have tie-breaking nodes in which the winner can not be determin by hisown decision, thus searching was not good tool to approach these games. Tanhinmin a small sized Daihinmin games is introduced to search the endgames, which use a singleton value model and shrinking method for game situations. Result of experiments using Daihinmin game tournament server system show good performance of the model.

†1 電気通信大学
University of Electro Communications

1. はじめに

本論文では、3 人以上の多人数ゲームに焦点をあて、最適行動を目指した自動プレイヤを構築するためのプレイヤモデルとして、終盤局面の事前探索によるデータベース化した知識の利用を提案する。とくにトランプゲームに代表される不完全情報多人数ゲームへの応用を試みる。

ゲーム情報学や人工知能分野において、二人で同一の資源を取り合うような問題、いわゆる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、チェスや将棋、囲碁などを例題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。とくに完全情報である場合は Min-Max 法により、ゲーム木探索で必勝・必敗、ゲームによっては引き分けが、原理的に初手から確定するという特徴がある。

いっぽう多くの社会活動は 3 者以上が関わる多人数ゲームであるが、2 人ゲームに比べてモデル化や分析・研究が進んでいない。多人数ゲームでは 2 人ゼロ和に相当するプレイヤの利得が定和であっても、自己の判断が自己の利得には無関係であり、他者の利得にのみ影響する不決定状態が起る。このため、完全情報であっても従来の意味でのゲーム木探索を一意に行うことができず、計算量に関わらず、最適着手を決められない場合が発生する。このためコンピュータプレイヤのモデルとして、一手の評価値をもとにしたルールベース型が用いられ、探索を利用したものは少ない。

以下では、多人数ゲームの探索アルゴリズムを検討し、国内で代表的なトランプゲームである大貧民のコンピュータプレイヤの構築を例として、多人数不完全情報ゲームに探索による終盤データベースを利用するモデルを提案する。

2. 多人数不完全情報ゲームの探索

2.1 多人数展開型ゲームと均衡解

多人数展開型ゲームは戦略と利得がすべて与えられたならば、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[1)]。ゲームの均衡解とは、直近で損をしない戦略の組みであり、どのプイレヤが如何に手を変えてもそれ以上の利得が得られない状態である。展開型においても各節点での選択が戦略であり、どの節点においても手を変えるかぎり利得が下がる状態が均衡解である。形式的に表現すれば、各葉節点での利得をプレイヤそれぞれの利得の組としてベクトル $v = (v_1, \cdots v_i \cdots v_n)$ で与えると、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

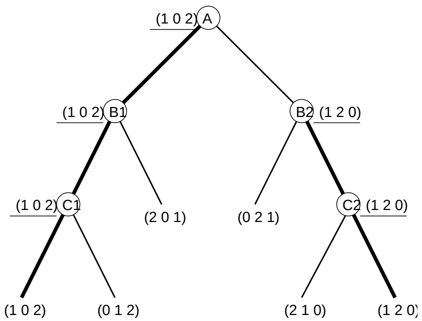


図 1 Max^n 法にもとづく不安定なゲーム木。全てのノードで不決定 (tie break) となり他の手を選んでもノードプレイヤの利得は下がらず局所的に均衡解であるが、Max^n 木を作り直すと全体に影響が及ぶ。

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 アルゴリズムの概略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。

2.2 多人数ゲーム木探索の不決定性と不安定性

2 人ゲームにおいて利得のゼロ和あるいは定和が仮定できることの意義は、各節点での評価値が一つの変数で表現できることにある。このため線形順序によってゲーム木全域が比較可能となり、ひいては $\alpha\beta$ 法による探索枝刈りの可能性にも通ずる。

3 人以上の多人数ゲームにおいては、たとえ利得の総和が一定であったとしても、すくなくとも自由度が 2 次元以上となり、利得はベクトルとなるため線形な比較は不可能となる。このため、max-min のように全域に渡る比較によって木全体の解を決定することができない。ゲーム木の解が求まらない性質、すなわち不決定性は本質的に多人数ゲームにおける最適行動の決定の難しさを引き起こしている。非決定によるタイブレークに依存し不安定な多人数ゲーム木の例を図 1 に示す。

2.3 シングルトン評価による探索アルゴリズム

前節までで見たように 3 人以上のゲームでは、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不決定の場面が発生する。タイブレークにおいては、伝播してきたベクトル値利得の集合を再び伝播する Soft-Max^n 法が提案されているが、比較的少人数のゲームであってもその組み合せの増大をまねく。

そこで本論文では、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導入する。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。よってさらに簡略記号化して単に $\{a,b,c\}$ と書くこととする。

この利得表現は二位以下は無視することになるが、たとえば 5 人ゲームで先に 2 人がアガリとなった残りの 3 人の中であれば、ここで一位になることは全体としては 3 位を目指すことでもありサブグループ内で一位を目指す事はゲームとしては有効な目標である。

探索木の各ノードの評価値を伝搬することで、統合された節点の利得は、3 種類の葉ノードの値 $\{a,b,c\}$ のべき集合の要素すなわち、$\{a,b,c,ab,bc,ca,abc\}$ 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。例えば 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。一般則として、

$$c > ca, bc > abc > a, b, ab \tag{1}$$

の線形な順序に則るものとすれば、max-min と同じく各節点の利得を一意に定めることができるようになる。

$Soft - Mac^n$ 法も同様に可能性のある手の評価を組み合わせて伝播する点で同様である。しかしながら、ここで提案するシングルトン評価の利点は組み合せが 3 人ゲームで 7 種類、4 人ゲームで 15 種類のみに限定されることである。たとえば ab, bc からなる B プレイヤ節点での評価を統合した abc に置き換えず、そのまま $\{ab, bc\}$ として組みとして持つ方法も考えられるが、この場合 $\{a,b,c\}$ のベキ集合のベキ集合となり、3 人ゲームであっても評価値の組み合せは 255 種類に増大してしまう。こうした増大を起こさないことはゲーム木として探索するうえで重要である。

3. 終盤データベースを用いた大貧民プレイヤモデル

本論文で提案するモデルは、多人数ゲームの多くに適用可能であるが、ここではトランプゲーム大貧民を対象例として、終盤データベースを用いたプレイヤモデルの構築を説明する。

大貧民もしくは大富豪は日本固有のトランプゲームで、多くのローカルルールがあるものの基本形はもっとも良く知られたゲームの一つである。トランプを切って配ることにより、

対戦相手の状態を完全には知る事ができず、多人数不完全情報ゲームに分類される。

従来からコンピュータプレイヤが作られているが、多人数不完全情報ゲームであるという性質から、深い探索型のプレイヤは少なく、多くは状況判断から一手の着手を決めるものが主流である。

以降では、とくに電気通信大学で開催されているコンピュータ大貧民大会のルールを規定として、プレイヤの構築を行う。

3.1 多人数ゲームとしての大貧民関連研究

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は難しい課題である。これに対し、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[2),3)] 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。対象とする大貧民の終盤データベース探索は、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と近似できる。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、その分析が行われている[4),5)]。

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[6)]。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。これと比して本研究は、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することを目的とする点が異なっている。

一般的な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[7)] 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[8)] 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。

3.2 大貧民のルールと状態

電気通信大学の大貧民大会公式ルールでは、5人のプレイヤでゲームを行う。使用カードはジョーカーを含む53枚で、席順により10,10,11,11,11の不均等に分配される。直前の試合順位におうじてカード交換を行う。カード交換は5位、4位のプレイヤはそれぞれ前回1位と2位のプレイヤに手札の強いものから2枚、ないし1枚を渡し、受け取った1位と2位のプレイヤは手を見たうえで戦略的に不要なカード2枚ないし1枚を渡す事で実施する。カードの強さは、3,4···12,13,A, の順で2が最強、3が最弱である。ジョーカーは2より強いカードとして使用でき、スペードの3はジョーカーにだけ強いカードとして使用する事ができる。

自分の手番では場のカードより強いカードを出す事ができ、また出すカードが無い場合および戦略的に任意にパスをすることができる。ただし一度パスをしたらそのターンが終了して場がクリアされるまでは、カードを出す事はできずパスするのみとなる。

出し方は、一枚、同ランク二枚組み、三枚組み、四枚組み、同スートの階段三枚以上ができる。このときジョーカーはワイルドカードとして希望のカードに変えて使用することができる。8切りあり、アガリ札の制約なし、同じスートが続いて出るとシバリとなりターン終了までそのスートしか出せない。四枚組もしくは五枚以上の階段によって革命となり、それ以降1ゲーム終了までカード強さが逆転する。

手札をより早く出し切ったものからアガリとなり、早い順に5位までの順位が決定する。

大貧民のゲーム木の節点では、以下の変数の組みによって状態表現できる。

$(h_1, ..h_n, i, P, T)$

ここで、h_n はプレーヤ n の所持するカード、i は現在の手番プレーヤ、P はパスベクトル $(x_1, ..x_n)|x_n \in \{0, 1\}$ で、そのターンにすでにパスしたプレイヤ n を $X_n = 1$ で示す。T はテーブルに出ている場のカード/組み。

ここでプレーヤ i は自己の手 h_i 以外の $h_1..h_n$ の内容を知ることができない。この意味で不完全情報ゲームである。ただし $|h_j|$ すなわち各プレイヤの持つ手 h_j の枚数は知る事ができる。

3.3 着手決定アルゴリズム

プレイヤモデルの主体となる着手決定アルゴリズムを以下に示す。

ベースとなるオリジナルプレイヤ O をもとに、本着手決定アルゴリズムを加えたプレイヤモデルを構築した。オリジナルプレイヤは、現況を判別する規則から着手を決定するルールベース型プレイヤで、2007年度コンピュータ大貧民大会に出場している。

(1) カード全体の残枚数 N および人数 M が終盤データベースの形式にマッチするまでは、O プレイヤの非探索による着手を行う。

(2) (N,M) が条件に適合し、終盤データベースと符合する場合以下の手順にしたがう。

（a） 自手以外のカード $h_2, ..h_5$ の配布パタン P_i をひとつ作成する。
（b） 配布パタンをデータベース型 Q_i に縮約変形する。
（c） 同型を終盤データベースから検索する。
（d） 必勝最適手 x_i を抽出し、その件数 W_i を集計する。
（e） 複数の配布パタン $P_1, ..P_n$ について集計値 W_k が最多となった手 x_k を着手とする。

終盤データベースはパタンの縮約を用いて、以下に示すように数百万程度の比較的少数になっている。いっぽう自手以外のカードの分布は不完全情報のため不明であり、その組み合せは自分をのぞく 3 人に 8 枚が行き渡っているとして、すくなくとも $53!/(53-8)!/2!/3!/3! = 496,340,717,600$ 通りとなる。すべてを実時間で生成、検査することはほぼ不可能であるため、適合するパタンをランダムに L 個生成しそれらでの集計を行うことで着手を決定するものとする。

3.4 終盤データベースの構築：残 10 枚の組み合わせ

終盤データベースは、ゲーム後半で局面が十分狭まり、完全探索が可能な状態の解をあらかじめ求めておくものである。

多人数不完全情報ゲームである大貧民では、前述の通り全探索は一般にできない。しかしながら、後半局面ではそれぞれのプレイヤの手札がある程度推論できるなど、完全情報に近い状態となる。たとえば、二人だけが残った状況では、それまでの出現カードを記憶しておくことで、相手の持ち札を知る事ができ、完全情報ゲームとなる。

本論文で提案するプレイヤのために、以下の仮定をおいて終盤データベースを構築する。ゲームは完全情報でかつ一枚出しのみしか行わないものとし、8 はすでに無いものとする。このような一枚出し限定の完全情報多人数ゲーム化した大貧民を単貧民と呼び、終盤の探索ではこの仮定をおく事を単貧民化と呼ぶ。

枚数については、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ため、本論文では合計１０枚以下の完全探索を行って利用することにした。３人、４人で合計で１０枚を分けあって持っている状況下で、以下に述べる単貧民化をしたうえで全探索を行った。

3.5 手の同値構造にもとづくパタン数縮約

単貧民は着手を一枚出しのみに制限した大貧民であり、異なる配布組み合わせどうしであってもカードの強弱の相対関係とゲームの進展から等価性を考えることができる。終盤データベースを構築するにあたり、手パターン数の縮約が可能となる単貧民状態を仮定した。

パターン数の縮約手続きは、カード配布全体の集合 P から、縮約空間 S への写像 g() として定義される。カード x,y の強弱関係を与える関数を f(x,y) とすれば、$f(x,y) = f(g(x), g(y))$ を保存する写像を選ぶことができる。ここではすでに提案されている以下の三種類の変換[4) により探索すべきパターン全体を縮約する。

（1） 全体のシフト
$(c_1, ..c_n) \rightarrow (c_1 - S, .., c_n - S)$
すべてのカードの強さに対して、同数 S だけ増減してもゲームは変わらない。

（2） 強さの差の整理
例 $(1,3,4,7) \rightarrow (1,2,3,4)$
連続するカードの強さの差が 1 となるよう規格化できる。

（3） 連続する自手の同値化
例 $((1,4)vs(2,3) \rightarrow ((1,4)vs(2,2))$
上記の整理を行ったのち自己でのみ連続するカードは同じ強さとしてまとめられる。(これはペア出しを許さないため。)

これらにより等価なパターンを削減し計算量を削減した。

3.6 終盤探索結果

以上の準備のもと、3 人および 4 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、スートを考慮しない場合、$2^9 * 3^{10} = 30,233,088$ 通りである。これに対して前述の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。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 %が解け必勝であった。先手の手による勝ちパタン数を表 1 に示す。

先手着手に 7 から 9 などの強いカード使いが少ないのは、事前のパターン縮約規則 2 および規則 3 によってカード分布が圧縮され、そもそも強いカードを本質的に含むパターン自体が少ないためである。

同様に、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

表 1　3 人 1 0 枚の探索結果 (左)
表 2　4 人 1 0 枚の探索結果 (右)

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

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

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 2 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。

4. コンピュータ大貧民プレイヤのパフォーマンス測定

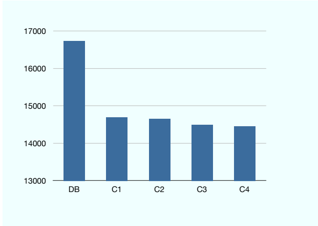
本論文で提案するクライアントモデルの有効性を検証するため、大貧民大会サーバ 2008 年度版を用い、複数のクライアントのパフォーマンス比較実験を行った。

ゲームのルールは使用した大貧民サーバ (tndhm 2008 年版) のとおりである。

4.1 実験の環境と設定

実験に使用したのは、終盤データベース使用型 (Client DB)、のほか、コンピュータ大貧民サーバに付属するデフォルトクライアント (Client Cn)、2007 年出場に用いたルールベース型ベースオリジナルプログラム (Client On)、の三種類である。

カードを出す順番のもととなる席順は、ゲーム順位とは無関係に一定間隔ごとにシャッフルされる。一般には強いプレイヤーの直後の席は有利で、直前の席は不利とされているが、席順のシャッフルによりこの影響はほとんどないものとみなす事ができる。各回とも、ゲーム順位とは無関係にダイヤの 3 を持つプレーヤからスタートする。前回試合の順位により次回の当初にカード交換が行われ、1 位と 5 位で 2 枚ずつ、2 位と 3 位で 1 枚ずつ、低位の側は強い順に渡し、高位の client は、全体のバランスと戦略から選んで返す。



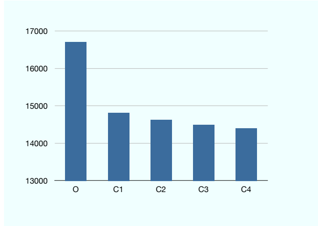
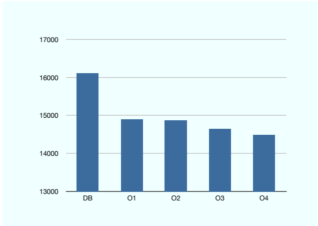


図 2　5000 試合, DB vs C x 4 提案モデル対ベースプレイヤ (左)
図 3　5000 試合, O vs C x 4 ベースプレイヤの性能 (右)



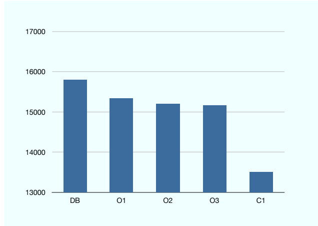


図 4　5000 試合, DB vs O x 4 ベースプレイヤに対する提案モデルの性能 (左)
図 5　5000 試合, DB vs O x 3 vs C 触媒効果 (右)

試合数は 5000 回とした。試合ごと一位から順に 5,4,3,2,1 点を与え、5000 試合後の得点を評価するため最高は 25000 点、最低 5000 点、平均 15000 点である。

5. 終盤データベースを用いるモデルの特性

終盤データベースをもちいた提案モデル DB が高得点を上げ、順位 1 位となっていることがわかる。図 2 では標準クライアントに大きな差をつけており、ベースプログラム O と標準クライアントとの試合結果図 3 と比較しても、勝率の向上がみられる。また、図 4 に示すように、ベースプログラム O との 4 対 1 の直接対戦を行った結果、提案モデル DB が優勢である。以上の結果から、本論文で提案する、終盤データベースを用いたプレイヤモデルが有効であると言える。

いっぽうで、図 4 に示すように、ベースプログラムとの 4 対 1 の直接対戦では優位であるにもかかわらず、図 5 を見るとデフォルトクライアントが加わった場合にはその順位が低

くなる傾向がみられる。

デフォルトクライアントとの4対1直接対戦で提案モデルの優位となっていることから、1対1の相性に原因があるのではなく、三つどもえになったときの二者の関係に第三者の存在が影響するものと考えられる。第三者であるデフォルトクライアント自体は、提案プログラムDBにもベースプログラムOにも勝てないものの、提案方式対ベース方式において、ベース方式を優位に持ち上げる触媒として働いていると言える。

6. まとめ

本論文は、終盤データベースを用いた多人数不完全情報ゲームのプレイヤモデルを提案し、大貧民プレイヤに適用した実験によりその有効性を示した。終盤データベースをもちいたプレイヤモデルは、用いないルールベース型のベースプレイヤより、標準クライアントとの対戦においても直接対戦においても強くなった。

最終10枚を仮定し単純化した終盤モデルとして完全情報多人数ゲーム単貧民を導入したうえで、データベースを構築した。これによりゲーム状態の縮約、シングルトン評価値による探索を可能とし、3人および4人に10枚が配られた状況について終盤データベースが構築できた。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。

単貧民型の終盤データベースを用いることで、ベースプレイヤに対するパフォーマンスが向上したが、第三者としてデフォルトクライアントを加えるとその優位性が減少することを見いだした。多人数ゲームの本質として、自己の利得を合理的に予測できない不決定局面がある。試合参加するプレイヤの組み合せによって、この不決定性に似た触媒的な働きがあることが分かった。同時に試合を行うプレイヤの組み合せの選び方自体、いわゆる面子の揃え方も重要であることが分かった。

今回作成した終盤データベースは、完全情報の単貧民を仮定し、かつ、シングルトン評価による探索の簡略化を行ったものである。その組合わせから確率的に選ぶことで、不完全情報ゲーム性への対応も行った。これらの工夫は計算量を少なくして全探索する効果は高かったが、実際のゲームでは終盤になってもペアや８切りが行われることもありうる。今後はペアなども利用する終盤データベースを利用した場合との比較や、不完全情報への異なるアプローチを検討する必要がある。本手法で提案したモデルとアルゴリズムは、大貧民に限らず終盤データベースを構成できる多人数ゲームに適用可能である。他のゲーム類や、展開型多人数ゲームとして定式化された各種の問題への適用可能性も期待される。

参考文献

1) Luckhardt, C.A. and Irani, K.B.: An algorithmic solution of N-person games, *AAAI-86*, pp.158–162 (1986).
2) 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).
3) 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 (2007).
4) 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).
5) 西野順二：単貧民における多人数完全情報展開型ゲームの考察，第１２回ゲームプログラミングワークショップ，pp.pp. 66–73 (2007).
6) 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).
7) 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).
8) 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).