

# プレイヤーの共謀によるお邪魔者の勝率変化

但馬 康宏<sup>1,a)</sup>

概要：多人数不完全情報ゲームが二人完全情報ゲームと本質的に違う点として複数のプレイヤーで協力や共謀を行うことができる点が挙げられる。「お邪魔者」は複数人で行うカードゲームであるが、プレイヤーのうち数人がお邪魔者となり、人狼のように敵役ではあってもその正体を隠しながら妨害を行うゲームである。このゲームにおいて同じ役割のプレイヤーどうしの共謀は、ゲームの結果に大きな影響をおよぼす。本研究では、有効な着手がない場合に現在の自分の状態をゲームに影響が少ない着手で他のプレイヤーに伝達する手法を提案し、あわせて実験によりその有効性を確認した。

## 1. はじめに

多人数不完全情報ゲームが二人完全情報ゲームと本質的に違う点としてプレイヤー間の連携や協調、非対称な人数での競合が挙げられる。これらはゲームにおいて勝利条件となる場合もあるが、直接的なゲームの目的でなく利用できれば効果的なだけである場合もある。

本研究では多人数不完全情報ゲームのひとつである「お邪魔者」について、プレイヤー間の通信を着手を通じて行う方法を考察する。このゲームはカードゲームであるが、人狼のように敵役プレイヤーが正体を隠しながら妨害を行うゲームである。

はじめに共謀の前提条件について考察と分類を行う。プレイヤーどうしの共謀を考える際に、ゲーム開始後に共謀相手を探すか事前に申し合わせがあるかはゲームの進行に大きな影響をおよぼす。次に「お邪魔者」における金鉱掘りのプレイヤーどうしが共謀する手法を提案する。プレイヤー間の通信手段が用意されていない場合において、着手で情報を伝達する手法である。最後に提案手法を用いてお邪魔者の勝率がどのように変化するかを実験的に求めた。その結果、金鉱掘りの勝率が上昇し共謀の効果があることが確認された。

近年、多人数不完全情報ゲームに関する研究はそのバリエーション、着目点などが多彩になり、ゲーム情報学の新たな展開を担うようになっている。二人完全情報ゲームにおいては、将棋や囲碁などの代表的なゲームにおいていずれも人間を越える強さになっており、ゲーム情報学の研究は新たな段階に入っている。多人数かつ不完全情報ゲー

ムでは、トランプゲームがその代表格であり、大貧民の研究 [2] が盛んに行われ、モンテカルロ法の有効性が示されている [1]。また、プレイヤーアルゴリズムだけでなく、不完全情報を部分的に開放した計算モデル(オラクルモデル)による研究 [3] など新しい可能性が示されている。

一方、コミュニケーションゲームとして人狼が研究対象として重要さを増している。しかし、完全な自然言語処理によるゲーム進行は困難が多く、プロトコルを設定しての研究が多く行われている [4]。

## 2. ゲームのルール

このゲームは多人数不完全情報ゲームであり、プレイヤーの人数は 3 人から 10 人である。プレイヤーは「金鉱掘」と「お邪魔者」に分かれて対戦する。ゲームで利用するのは、いくつかの種類に大別できる合計 71 枚のカードとそれらを並べる盤面(タテ 7, ヨコ 11)である。盤面の左上を (0,0) と表し、(x,y) の 1 マス右隣は (x+1,y), 1 マス下隣は (x,y+1) である。カードの種類は以下の通りである。

- 通路カード：40 枚 (16 種類)
- アクションカード：計 27 枚 内訳は以下の通り。
  - － 妨害カード：9 枚 (3 種類)
  - － 回復カード：9 枚 (6 種類)
  - － 落石カード：3 枚
  - － 地図カード：6 枚
- スタートカード：1 枚 盤上 (1,3) に置かれる。
- ゴールカード：金塊 1 枚、石 2 枚。この 3 枚を裏にしてシャッフルし、(9,1), (9,3), (9,5) に配置する。  
妨害カードには属性があり、それぞれプレイヤーの「ラントン」「つるはし」「トロッコ」の属性を妨害することが

<sup>1</sup> 岡山県立大学

<sup>a)</sup> tajima@cse.oka-pu.ac.jp

できる．どの属性を妨害されても効果は手番において通路カードが置けなくなるだけである．回復カードには複数の属性から選択して回復ができるカードもある．

プレイヤーの役割（金鉱堀、お邪魔者）はプレイヤー数に応じてランダムに決められる．全プレイヤーが 5 名ならば、金鉱堀を示すカード 4 枚とお邪魔者を示すカード 2 枚の 6 枚をシャッフルし 5 名に配ることで、それぞれのプレイヤーの役割を決定する．本研究ではプレイヤー総数を 6 名、そのうち 4 名を金鉱堀、2 名をお邪魔者に固定して評価実験を行った．この役割はゲーム中を通して秘密である．

ゲーム開始時には、通路カードおよびアクションカードの計 67 枚をシャッフルし、総プレイヤー数に応じて 4 から 6 枚を各プレイヤーに配る（手札）．総プレイヤー数 5 の場合は一人あたり 6 枚である．配り終えた残りのカードは配布の山に置かれる．ゲームは各プレイヤー順番に手札から一枚利用し、その後配布の山から一枚手札に補充する．山札が一枚もなくなった場合は手札からの利用のみとし、以後手札は減少してゆく．利用方法は以下の通りである．

- 通路カードの配置：通路カードを盤面に配置する．この際、既配置のカードと通路や岩の絵がつながるように配置しなければならない．カードの向きは上下どちらで配置することも可能である．
- 妨害カードの利用：一人のプレイヤーの前に妨害カードを配置する．妨害カードが配置されたプレイヤーは、取り除かれな限り自分の着手時に通路カードを利用することができない．
- 回復カードの利用：任意のプレイヤーに配置された妨害カードを取り除くことができる．ただし利用する回復カードと絵柄が同じ妨害カードのみ取り除くことができる．
- 落石カードの利用：このカードを使うと、盤上にプレイヤーによって配置された任意の通路カードを取り除くことができる．
- 地図カードの利用：ゴールカードのうち、未だ裏面で配置されているカードの表面を他のプレイヤーに秘密で見ることができる．見た結果を他のプレイヤーに伝えることは可能である．
- パス：手札を一枚任意に選択し、捨てることができる．このとき捨てられたカードは何であるかは他のプレイヤーには見られない．

通路カードの配置において、通路がゴールカードの位置に到達したらそのゴールカードを表にする．このとき表にしたゴールカードが金塊ならば、金鉱堀の勝利でゲームが終了する．表が石だった場合はそのままゲームを続行する．この操作を各プレイヤーが順番に行い、山札と全プレイヤーの手札がなくなったら、お邪魔者の勝利としてゲームが終了する．

すなわち、金鉱堀であるプレイヤーは通路をつなげてより早く金塊を見つけることがゲームの目的となり、お邪魔者はそれを阻止することが目的となる．プレイヤーの役割である金鉱堀とお邪魔者は各プレイヤー自身しか知らない秘密であり、さらにお邪魔者は全プレイヤー中 1 から 2 名であるため、金鉱堀にまぎれたお邪魔者を見つけ出しながらそれぞれの勝利条件を達成するゲームとなる．

### 3. 多人数不完全情報ゲームにおけるプレイヤー間の通信

#### 3.1 ゲームの記述

本研究ではゲームを以下のように扱う．

- ゲームの状態  $B$ ：盤面やゲームの状態を表す．すべてのゲームの状態の集合を  $G = \{B_0, B_1, \dots\}$  とし、開始状態はひとつであり  $S$  とする．ゲームの状態  $B$  はすべてのプレイヤーに明らかな部分  $B^{clear}$ 、全プレイヤーの部分集合  $P$  のみに明らかな部分  $B^P$  から成る．「お邪魔者」においては、すべてのカードの現在位置（場や山札、プレイヤーの手札など）でゲームの状態をひとつ定めることができる．この場合、 $B^{clear}$  は並べられた通路カードおよび利用されたアクションカードであり、あるプレイヤー  $p$  に関する  $B^{\{p\}}$  は、 $p$  以外のプレイヤーの手札および  $p$  以外のプレイヤーが捨てたカードと山札である．
- アクションとすべてのアクションの集合  $a \in A$ ：プレイヤーの取り得る行動を表す．あるゲームの状態  $B$  においてアクションをとれるプレイヤーは 1 名であり、かつ一度にひとつのアクションをとれるものとする．プレイヤー  $p$  がアクションをとれるゲームの状態  $B$  を  $p$  の手番と呼ぶ．
- 本研究では不完全情報ゲームを対象とするため、アクションの集合  $A$  はゲームの状態  $B$  における手番のプレイヤー  $p$  のみが知っており、他のプレイヤーにはわからない場合もある．「お邪魔者」においては、手札はすべて非公開なので、アクションの集合  $A$  はその手番のプレイヤー以外知りえない．
- あるゲームの状態  $B$  において手番のプレイヤー  $p$  がアクション  $a$  をとり、ゲームの状態が  $B'$  に変化することを

$$B \xrightarrow[p]{a} B'$$

と表す．プレイヤー  $p$  やアクション  $a$  が明らかな場合は省略して記述する．

- ゲームの最終局面の集合を  $F$  とし、プレイヤー  $p$  が得られた報酬や勝敗の結果を  $fin(B \in F, p)$  で表す．本研究では、「お邪魔者」における最終局面を通路が金塊に到達もしくは山札、手札がなくなった状態とする．すなわち 1 ラウンド終了時を最終局面とする．こ

のとき,  $fin(B \in F, p)$  はラウンド終了時に得られる金塊の数である.

ゲームにおいて参加プレイヤー間の自由な通信ができる場合もあるが, 一般的にルールで定められていない特定のプレイヤーと秘密の通信を行うことは難しい. したがって, 本研究においても「お邪魔者」の着手や宝の地図カード利用結果の周知以外にはプレイヤー間の個別の通信はできないものとする.

### 3.2 共謀の定義

「お邪魔者」のようなプレイヤーの役割が重要な意味を持つゲームにおいては, 役割の推定や通知がゲームに大きな影響を与える. 一般的にプレイヤーどうしは事前に同じ立場であり, 特定のプレイヤーどうしでゲーム事前に申し合わせなどは無いが, 特定のプレイヤーが結託し, そのプレイヤー集団の利益を追求する場合も考えられる.

すなわち, 以下の場合に分けられる.

- 事前の申し合わせはなく, ゲーム開始後に同じ役割のプレイヤーを探して協力しあう. ゲーム開始後にそれぞれのプレイヤーの着手によって自分の役割を通知し, 同じ役割のプレイヤーを見つけて協力する場合である. 大貧民や麻雀などではゲームにおいて役割が無い場合, プレイヤーの現在順位などで判断し, 大富豪の順位を協力して落とすなどになる. 仲間を見つけるプロトコルと見つけた後の通信プロトコルが必要となる. もしくは, 敵対する役割のプレイヤーに見破られない同報通信が必要となる.
- 特定のプレイヤー集団が事前に申し合わせ, そのプレイヤー集団の利益を追求する. この場合, 申し合わせたプレイヤー集団が敵対する役割に別れた場合, ゲーム性を破壊して協力することになる. 例えばあるプレイヤー集団の獲得利益を最大化するために, そのプレイヤー集団がお邪魔者と金鉱掘りに別れた場合は, お邪魔者が邪魔をせず金鉱掘りに協力したり, 逆に金鉱掘りが邪魔をしたりすることになる. 一方, 申し合わせたプレイヤー集団が全員金鉱掘りの場合, 集団外のプレイヤーに内容が読み取られないような通信を行えばよい. 申し合わせたプレイヤー集団が全員お邪魔者の場合も同様である.

本研究では, 事前に申し合わせたプレイヤーどうしが, ともに金鉱掘りとなった場合に互いにサポートして通路作成を行うアルゴリズムを考える. これは, 以下の2通りの場合に共通した共謀となる.

- (1) 申し合わせの無いプレイヤーどうしが, ゲーム開始後に金鉱掘りの仲間を見つけた場合
  - (2) 事前に申し合わせたプレイヤーが全員金鉱掘りとなった場合
- いずれも限定された場合であるが, 共謀可能性のひとつと

して考えられる.

### 3.3 金鉱掘り仲間への通知

本研究では金鉱掘りの通路カードについて, 通路作成方法の差異で他の仲間への通知を行う. 前提条件として以下を仮定する.

- 共通の通路評価関数  $f(B)$  を持つ. ここで  $B$  はゲームの状態.
- すべてのプレイヤーの通路カードによる着手について, その良し悪しを評価する共通の着手数え上げ方法を共有している. すなわち, ゲームの状態  $B$  において通路を作成する着手  $a$  が行われたとする.  $a$  で使われたカードを  $c$  とし, ゲームの状態  $B$  にカード  $c$  を使って着手可能なすべてのアクションを  $a_i$  ( $i \leq n$ ) とする  $n$  アクションであるとする. このとき,  $a_i$  を同じ順位で並べることができる  $rank(a_i, B)$  を共有しているとする. この  $rank()$  は, 以下の手順で実現できる.
  - ゲームの状態  $B$  にアクション  $a_i$  を行った後の状態を  $B_i$  と表す.  $a_i$  を  $f(B_i)$  が大きい順にならべ,  $f(B_i) = f(B_j)$  となる  $i, j$  に関しては,  $a_i$  と  $a_j$  のカードを置く位置の違いなどで順位付ける.

共謀をはかるプレイヤーは,  $f(B)$  が改善できるアクションを持つ場合はそのアクションを行い, そうでない場合は自身の手札の状況を  $rank(a_i, B)$  を用いて着手にエンコードする. 本研究では手札が以下の条件を満たす場合に, 他の金鉱掘りの手助けが有益であると考え, エンコード方法を決定した.

- 横につながる通路が手札にある場合は, そのままつなげるほうが良い
- 通路を延長する手札が曲がりの通路カードしかない場合は, 行き止まりのカードを影響の少ないところに置いて, 他の金鉱掘りに手助けを求める

具体的なエンコードアルゴリズムは以下のとおりである.

- (1) 手札に「行き止まり」のカードがなければエンコード失敗として共謀の処理をこの手番では行わない
- (2) 「行き止まり」の手札をひとつランダムに選び  $e$  とする
- (3) 現在局面を  $B$  とする
- (4) 手札に左から上に曲がるカードがある場合は  $rank(e, B) = 2$  となるような着手を行う. そのような着手が存在しなければエンコード失敗としてこの手番では共謀を行わない
- (5) 手札に左から下に曲がるカードがある場合は  $rank(e, B) = 3$  となるような着手を行う. そのような着手が存在しなければエンコード失敗としてこの手番では共謀を行わない

ここで共謀を行うプレイヤーは  $rank(e, B)$  を過去の着手から計算できるため上記着手を行ったプレイヤー以外で

も  $rank(e, B)$  を計算することができる．すなわち，現在の手札でゴールへの距離を縮めることができず，一度曲がれば次の可能性がある場合，自分はどちら向きに曲げられるかの通知を行っている．上記のエンコードを検知した他の共謀プレイヤーは，エンコードされた曲がりと逆方向に曲がれる場合は，そのカードを積極的に利用する．このことで，盤面の縦方向に1行ずれた通路を作成することができ，ランダムに曲がった場合よりも効率的にゴールに近づくことができる．着手の共謀を行う場合以外のアルゴリズムは，以下のとおりである．

金鉱掘は以下の手順を上から実行し，条件が成立する場合にその着手を選択する．

- (1) 自分が妨害カードを受けており，かつ手札にその妨害に対応する回復カードがある場合：その回復を行う
- (2) お邪魔者と推定されるプレイヤー  $p$  が存在し，かつ手札に妨害カードがある場合：確率  $m_a$  で  $p$  に対してその妨害カードを使う
- (3) お邪魔者と推定されないプレイヤー  $p$  が妨害カードを配置されており，かつその妨害を回復するカードを手札に持っている場合：確率  $m_s$  で  $p$  の妨害を回復する
- (4) 現在の盤面  $B$  に対する通路評価関数の値  $f(B)$  について， $f(B) > f(B')$  となる盤面  $B'$  を手札による通路カードによる1回の着手で作れる場合： $\min_{B'} f(B')$  となる着手を行う
- (5) 上記いずれの条件も満たせない場合，ランダムな手札を捨ててパスをする

ここで通路評価関数は，接続可能な通路の端点から裏であるゴールカードまでの空白マスの最短距離を返す関数とした．すなわち，現在盤面  $B$  に対して  $f(B) > f(B')$  となる盤面  $B'$  を見つけた場合は，ゴールカードにより近づく着手が見つけられたこととなる．また， $f(B)$  の値は小さいほど金鉱掘に有利であり，大きいほどお邪魔者に有利である．

お邪魔者は以下の課題に対応するアルゴリズムでなければならない．

- ゲームの序盤から明らかな妨害を行うと，金鉱掘から集中攻撃を受ける．
- しかし，妨害行為が遅すぎると金塊にたどり着かれてしまう．

したがって，以下の手順を順に評価し着手を決定する．

- (1) 自分が妨害カードを受けており，かつ手札にその妨害に対応する回復カードがある場合：その回復を行う
- (2) 現在の盤面  $B$  において，通路評価関数の値  $f(B)$  がある一定値  $t$  以上ならば，金鉱掘として振る舞う．
- (3) 現在の盤面  $B$  に対する通路評価関数の値  $f(B)$  について， $f(B) < f(B')$  となる盤面  $B'$  を手札による通路カードによる1回の着手で作れる場合：そのような着手の中で  $\max_{B'} f(B')$  となる着手を選択する．

- (4) 手札に妨害カードが含まれていれば，ランダムに選択したプレイヤーに対してその妨害カードを利用する．
- (5) 上記いずれの条件も満たせない場合，ランダムな手札を捨ててパスをする

すなわち，通路が作成されてもゴールカードまでの空きマスが  $t$  より大きい場合は金鉱掘として振る舞い，それよりも近づく攻撃を開始する．

また，通路カードによる妨害が可能な場合はそちらを優先して行う．

## 4. 勝率調査実験

以上のアルゴリズムを実装し，共謀がある場合とない場合のお邪魔者の勝率の差を求めた．

### 4.1 実験環境

役割決定およびカード配布から金塊の発見もしくは手札がなくなるまでを1ゲームとし，勝敗のみを数えて評価を行う．以下に対戦環境を示す．

- 対戦人数：6人
- お邪魔者の人数：2人
- 対戦数：共謀を行う場合と行わない場合それぞれ約500ゲーム
- 役割および席順の決定：一様ランダム

### 4.2 実験結果と考察

表1にお邪魔者勝率を示す．この結果から，共謀によっ

表1 共謀によるお邪魔者の勝率変化

|      | 勝率    | ゲーム数 |
|------|-------|------|
| 共謀あり | 0.740 | 477  |
| 共謀なし | 0.752 | 512  |

て若干の勝率低下が見られた．本研究における共謀は成立条件が厳しくエンコードされる状態は多くはないが適用された場合には逃げる通路が作成されたものと思われる．本実験ではお邪魔者の勝率が高くなりやすい人数比であったため，今後の課題としてよりお邪魔者に不利な場合の共謀の効果測定が挙げられる．

## 5. おわりに

本研究において，多人数不完全情報ゲームにおいてプレイヤー間の共謀が起こる場合の分類を行い，「お邪魔者」において通路作成の支援を求める実装とその性能評価を行った．その結果，共謀を行わない場合に比べ若干の勝率改善があることが明らかになった．

今後の課題として，お邪魔者どうしの共謀が挙げられる．本研究における通路作成と手札の情報伝達は，お邪魔者の役割ではそのままでは効果を発揮しないことが見込まれる．これは，お邪魔者の役割においては，着手の多様性が

大きいことが原因である．お邪魔者の役割では金鉱掘りを邪魔するために多様な攻撃を行うことが強さにつながる．ことが過去の研究から明らかとなっている．したがって，妨害カードの効果的な利用や通路の妨害も行き止まりと落石をうまく使い分けるなど，本研究より多くの情報量による通信が必要となる．

また，事前の申し合わせが必要でない共謀方法の考案も重要な課題である．ゲーム開始とともに自分と同じ役割のプレイヤーを探し出せれば，本研究による手法も大きな効果をあげられるが，そのために多くの手番を使ってしまっはならない．さらに共謀の分類も，本研究で挙げたもの以外の可能性を探ることも重要な課題である．

## 参考文献

- [1] 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口法の適用, 情報処理学会研究報告 (GI), vol.2011-GI-25, no.3, pp.1-4, 2011.
- [2] 田頭幸三,但馬康宏: 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, 情報処理学会論文誌, vol.57, no.11, pp.2403-2413, 2016.
- [3] 木谷裕紀,大渡勝己,小野廣隆: 不完全情報二人単貧民分析のためのオラクルモデル, ゲームプログラミングワークショップ 2019 論文集, vol.2019, pp.258-265, 2019.
- [4] 萩原誠,伊藤孝行,アーメッド ムスタファ: Q 学習と役職推定に基づく人狼知能エージェントの作成, 情報処理学会論文誌, vol.60, no.10, pp.1728-1737, 2019.