

「お邪魔者」における通路作成ヒューリスティックの検討

大畑 佳介^{†1} 伊藤 那智^{†1} 但馬 康宏^{†1}

概要: 本研究で題材とする多人数不完全情報ゲーム「お邪魔者」は、各プレイヤーに金鉱堀またはお邪魔者の役割が割り当てられており、明かされていない他プレイヤーの役割を推測しながら協力や妨害を行うことが特徴のボードゲームである。また、金鉱堀は通路を伸ばして金塊の描かれたゴールカードに到達することを目的とし、お邪魔者は全プレイヤーの手札を使い切らせることを目的としている。本研究では、金鉱堀の通路作成に着目し、盤面の状態と配置する通路カードの種類に加えて、まだ使用されていないカードの推測を含めた評価関数を作成し、その性能を評価した。その結果、ゴールまでのx座標の距離を利用した評価、最短距離で進むために必要な通路カードの残り枚数を推測した評価が有効であると分かった。

キーワード: 不完全情報ゲーム, お邪魔者, ヒューリスティック戦略

Examination of path creation heuristics in the board game “Saboteur”

KEISUKE OHATA^{†1} NACHI ITO^{†1} YASUHIRO TAJIMA^{†1}

Abstract: In the multi-person imperfect information game “Saboteur”, each player has been assigned the role of gold-digger or saboteur. This game has the characteristics that cooperation and interference while inferring the roles of other players who are not revealed. Gold-digger aims to extend the path and reach the goal card showing the treasure, and saboteur aims to use up all players hands. In this research, focusing on the path creation of gold-digger, we have made an evaluation function which uses the condition of the board and the kind of path card to be placed. This evaluation function also includes the estimation of unused cards and its performance has been evaluated. As a result, it was found that the evaluation using the distance of the x coordinate to the goal and the evaluation that estimated the remaining number of path cards required to travel with the shortest distance were effective.

Keywords: imperfect information games, Saboteur, heuristics

1. はじめに

近年、テーブルゲーム（ボードゲームやカードゲームなど）の対戦においてコンピュータによるゲームプログラムが活躍している。囲碁[1]や将棋[2]などといった完全情報ゲームにおいては、モンテカルロ法をはじめとしたさまざまな手法で研究が進められ大きな成果を上げている。また、大貧民[3]などの不完全情報ゲームに対しても、モンテカルロ法を含めた様々なゲームプログラムが製作されており、人間がプレイするよりも強い戦略や着手を行う。更に、かつては定石だといわれていたプレイングを覆すような新たな戦略の発見においても AI が用いられたゲームプログラムが役立っている。最近では、機械学習を導入したゲームプログラムにより、囲碁や将棋など研究されつづけたゲームの強さが頭打ちになってきているため、ガイスター[4]や人狼ゲーム[5]、カタンの開拓者たち[6]などのさまざまな不完全情報ゲームの AI に関する研究もおこなわれ始めている。

本研究で題材とする「お邪魔者」は、金鉱山の採掘をモチーフとしたドイツ発祥のボードゲームであり、3~10人で試合を行う。1試合は3ラウンドで構成されており、各ラ

ウンドにおいて、プレイヤーは金鉱堀とお邪魔者の二つの役割に分かれ、それぞれの勝利条件を満たすことで報酬の金が配布される。最終的に金の獲得数が最も多いプレイヤーが勝利するゲームである。2016年より対人戦における世界大会が開かれており、日本国内でも世界大会の代表を決める日本選手権が各地で開催されるなどと人気のあるボードゲームである。

「お邪魔者」は自分以外のプレイヤーの役割や手札、盤面上のゴールカードなどの情報が不明であることから不完全情報ゲームに分類されている。更に、同じく不完全情報ゲームである人狼やカタンなどとは違い、プレイヤー間の言語によるコミュニケーションが必須ではないことが特徴として挙げられる。また、このゲームでは各プレイヤーの役割が不明であることから、役割を推測して協力や妨害を行うことが対人戦においてもプログラムの実装上においても大きな課題となっている。なお、「お邪魔者」の先行研究としては手段目標分析によるモデリング[7]が挙げられるが、プレイヤーの戦略に踏み込んだ研究はなかった。

本研究では、通路カードによる通路作成に着目した複数の評価関数を用いたプログラムを作成し、それらの勝率を比較することで戦略の評価と考察を行った。

^{†1} 岡山県立大学大学院
Okayama Prefectural University.

その結果、金鉱堀の通路作成において、配置場所からゴールまでのx座標の距離を用いた評価と最短経路を構成する通路カードの残り枚数による評価が有効であることが分かった。

2. お邪魔者

2.1 お邪魔者のルール

ここでは、お邪魔者のルールを実際の流れに沿って記述する。ゲームに参加するプレイヤーの人数と使用する役割カードの枚数を表 1、手札枚数との対応を表 2 に示す。本研究ではプレイヤー人数は 6 人で試合を行うため、役割カードは金鉱堀カードが 5 枚、お邪魔者カードが 2 枚の計 7 枚となる。また、各プレイヤーに配布される手札は 5 枚となる。

初めにゲームの準備について説明する。各ラウンドの最初にプレイヤーには金鉱堀かお邪魔者かの役割カードが 1 枚配布される。このとき各プレイヤーは他のプレイヤーの役割を知ることができない。また、余った役割カード 1 枚は今回のラウンドでは使わない。

表 1 プレイヤー人数と各役割カードの枚数

プレイヤー (人)	3	4	5	6	7	8	9	10
金鉱堀 (枚)	3	4	4	5	5	6	7	7
お邪魔者 (枚)	1	1	2	2	3	3	3	4

表 2 プレイヤー人数と手札枚数

プレイヤー (人)	3	4	5	6	7	8	9	10
手札 (枚)	6	6	6	5	5	4	4	4

続いて、梯子の描かれたスタートカードを盤面に配置する。また、金塊の描かれたゴールカード 1 枚と石ころの描かれたゴールカード 2 枚をシャッフルして、スタートカードから横に 7 枚分スペースを空けて裏向きに 1 枚を配置し、その上下に、1 枚分スペースを空けて残りの 2 枚も裏向きで配置する。

通路カード 40 枚とアクションカード 27 枚はまとめてシャッフルし、各プレイヤーに初期の手札として配布する。その際、残ったカードは裏向きに山札とする。なお、報酬となる金カード 28 枚はシャッフルして裏向きに山札として、ラウンドの終了時に使用する。

次にゲームの手順について説明する。最初のプレイヤーから時計回りに手番を行う。各プレイヤーは自分の手番には通路カードを盤面に配置する、アクションカードを使用する、カードを裏向きに捨ててパスを行うといった 3 種類の行動から選択して手番を行う。その後、山札が残っている場合は山札からカードを補充して次のプレイヤーに手番が移る。通路カード、アクションカードの使用方法については 2.2 節、2.3 節でそれぞれ説明する。

その後、全プレイヤーで順番に手番を回し、通路を伸ばし

て金塊の描かれたゴールカードに到達した場合は金鉱堀の勝利、山札と全プレイヤーの手札がすべて消費された場合はお邪魔者の勝利(ただしお邪魔者がいない場合は勝者なし)となる。ただし、石ころの描かれたゴールカードに到達した場合はゲームを続行する。各ラウンドの勝者に報酬の金カードを配布する。金カードの配布に関しては 2.4 節で説明する。

金カードの分配後は、次のラウンドを行う。役割カードは前回のラウンドでは配布されない 1 枚も含めてシャッフルを行い、各プレイヤーに配布する。通路カードとアクションカードもシャッフルして各プレイヤーに手札として決められた枚数を配布する。ゴールカードは、シャッフルした後盤面に再配置する。前回のラウンドにて配布された金カードは裏向きでプレイヤーの手元に保管する。次の手番は前回のラウンドで最後に手番を行ったプレイヤーの次のプレイヤーから開始される。

最終的に、3 ラウンドが終了した時点で各プレイヤーが持つ金カードに描かれた金塊を集計し、最も多く金塊を所持しているプレイヤーが最終的な勝者となる。

2.2 通路カードの使用

通路カードは盤面に配置することで通路を形成するカードである。表 3 に通行可能である通路カード 31 枚の内訳を示す。また、これ以外に表 3 の 7 種類にそれぞれ対応した中心が塞がれているカードに加え、左のみ、上のみ接続ができる行き止まりのカードが各 1 枚、計 9 枚存在する。

手札から通路カードを使用することで、盤面上にスタートからゴールまでの通路を作成する。このとき、通路カードは壁と通路の絵柄が合うようにカード同士の同じ辺が接するように配置する。その際、上下を 180 度回転させて配置することはできるが、90 度回転させてカードの短辺と長辺が接するように配置することはできない。更に、必ずスタートから通路がつながる状態で配置しなければならないため、通路が分断された飛び地にカードを配置することはできない。

表 3 通行可能である通路カードの内訳

便宜上の名称	左	上	右	下	枚数 (枚)
十字路	○	○	○	○	5
丁字路 (縦)	○	○		○	5
丁字路 (横)	○	○	○		5
曲がり角 (左上)	○	○			4
曲がり角 (左下)	○			○	5
直線 (横)	○		○		3
直線 (縦)		○		○	4

2.3 アクションカードの使用

アクションカードは両肩に丸いシンボルが描かれたカードであり、落石カード3枚、宝の地図カード6枚、穴掘り道具の破壊カード9枚、穴掘り道具の修理カード9枚が存在する。

- 落石カード

落石カードは、スタートカードとゴールカードを除いた、すでに盤面に配置されている通路カードに使用するカードで、任意の通路カード1枚を選択して盤面から取り除き捨て札にすることができる。落石カードが使用されて空いた場所には、通路カードが正しく接続される場合は再び通路カードを配置することができる。

このカードにより、金鉱堀では行き止まりや遠回りとなる通路を除去することができ、お邪魔者ではスタートから接続している通路を破壊して邪魔することができる。

- 宝の地図カード

宝の地図カードは、盤面上に裏向きで配置されているゴールカードに対して使用するカードで、使用したプレイヤーは任意のゴールカード1枚の中身を自分だけが確認することができる。その際、ゴールカードの真偽を含め、内容を他プレイヤーに公表することは自由である。

- 穴掘り道具の破壊カード

穴掘り道具の破壊カードは、他のプレイヤー1人に対して使用するカードで、使用されたプレイヤーは後述する対応した穴掘り道具の回復カードを使用されるまでは通路カードを盤面に配置することができなくなる。ただし、アクションカードの使用やパスの選択には影響しない。ランタン、つるはし、トロッコの3種類が各3枚存在する。

同じプレイヤーに対して複数の破壊カードを使用することができるが、同じ種類のカードを重複して使用することはできないため、プレイヤー1人に対して使用できる破壊カードは最大3枚である

- 穴掘り道具の修理カード

穴掘り道具の修理カードは、自分を含む穴掘り道具の破壊カードを使用したプレイヤー1人に対して使用する。使用されたプレイヤーは対応する破壊カードを取り除くことができる。ただし、違う種類のカードを取り除くことはできない。また、破壊カードをすべて取り除くまで通路カードを配置することはできない。使用後は破壊カード、修理カードともに捨て札となる。ランタン、つるはし、トロッコそれぞれに対応したものが各2枚存在する。また、ランタンとつるはし、ランタンとトロッコ、つるはしとトロッコの2種類が描かれた修理カードも各1枚存在し、描かれた2種類のうち片方を選んで修理することができる。ただし、2種類を同時に修理することはできない。

2.4 金カードの配布方法

誰かが通路カードを配置してスタートカードからゴールカードまで通路が接続した場合、そのゴールカードをめ

くり開示する。到達したゴールカードに金塊が描かれている場合は金鉱堀の勝利となり、このラウンドが終了する。石ころが描かれている場合は、このラウンドは続行する。また、山札と全員の手札がすべて消費された場合はお邪魔者の勝利となり、このラウンドが終了する。この際、2枚のゴールカードの間に通路が配置された場合は両方のカードをめくり開示する。また、開示されたゴールカードが既存の通路と接続しない形になる場合は例外的に一部が接続しない状態で配置される。

ラウンドが終了した場合、役割に応じて勝利したプレイヤーに金カードが配布される。配布された金カードは、ゲーム終了まで裏向きにして手元に保管する。金カードは、それぞれ金塊が1~3個描かれているカードである。内訳は金塊が3個のカードが4枚、金塊が2個のカードが8枚、金塊が1個のカードが16枚である。

以下にて勝者ごとの金カードの配布方法について説明する。

- 金鉱堀の勝利

金鉱堀が勝利した場合、金カードの山札をシャッフルし、プレイヤー人数に応じて山札から決められた枚数を裏向きで取り出し、この金カードの束を金鉱堀で勝利したプレイヤーに順番に配布する。表4にプレイヤー人数と配布する金カードの枚数を示す。

最初に、通路カードを配置して金塊の描かれたゴールカードに到達したプレイヤーが金カードの束を受け取り、それぞれの金カードを確認したうえで1枚選択して獲得し、自分の前に手番を行った金鉱堀のプレイヤーに金カードの束を渡す。これを金カードの束がなくなるまで繰り返す。このとき、金カードを2枚受け取るプレイヤーもいる。そのため、金カードを1枚受け取ったプレイヤーは金塊が1~3個、金カードを2枚受け取ったプレイヤーは金塊が2~6個と金カードの束により入手できる金塊の個数が変化する。

表4 プレイヤー人数と配布される金カードの枚数

プレイヤー (人)	3	4	5	6	7	8	9	10
金カード (枚)	3	4	5	6	7	8	9	9

- お邪魔者の勝利

お邪魔者が勝利した場合、金鉱堀と異なり、今回のラウンドでお邪魔者が何人いたかに応じて、金カードの山札から金カードを選択して獲得する。表5にお邪魔者の人数と配布される金塊の個数を示す。その時、金塊の個数が正しければ金カードの内訳は自由である。そのため、一定の個数の金塊を確実に入手できる。

表 5 お邪魔者の人数と配布される金塊の個数

お邪魔者 (人)	1	2	3	4
金塊 (個)	4	3	3	2

● 勝者なし

プレイヤー人数が 4 人以下の場合、お邪魔者が存在しないために勝者がいない場合がある。この場合は誰も金塊を獲得できない。

3. 通路作成アルゴリズムと評価関数

3.1 評価関数の設計

本項では実験に用いるクライアントの評価の流れを説明する。

以下に今回のプログラムにおける方針を示す。

1. 宝の地図カードを最優先に使用し、金塊の描かれたゴールカードの場所を絞り込む。ただし、既にゴールが一か所に絞りこめた場合は使用しない。
2. 所持している通路カードとその配置場所に対して評価を行い、最も評価値の高い通路カードと配置場所の組み合わせで使用する
3. 宝の地図カード以外のアクションカードや手札の中で提出できそうな通路カードが 1 枚もない場合はカードを 1 枚捨ててパスを行う。

3.2 通路カードの評価

通路カードの評価は以下の流れで行う。

1. 現在知っている宝の地図カードの情報から仮のゴールを設定する。
2. 配置場所の候補から仮のゴールまでのx座標の距離 d_x 、y座標の距離 d_y を計算する。
3. ゴールまでの距離による評価値 E_{dist} (最大 100 点) を以下の式で算出する。

$$E_{dist} = \frac{80}{d_x} + \frac{20}{d_y}$$

この際、 $d_x = 0$ または $d_y = 0$ となる場合はそれぞれ 1 として計算する。また、仮ゴールが 2 つのゴールカードの間に設定されており、その位置に配置する場合は評価値 E_{dist} を 125 とする。

4. 実際に通路カードを配置する場所によって評価値 E_{dist} に加点または減点することで補正する。

- ゴールに隣接している場合、ゴールに到達できるカードを配置する場合は 100 点加点する。できない場合は 50 点減点する。
- ゴールより左側にカードを配置する場合、右に進めないカードを出す場合は 50 点減点する。
- d_x が 3 以上でスタートと同じ y 座標でない場所に置く場合、50 点減点する。
- d_x が 3 以上で他に横に進めるカードが残っているときに十字路を配置しようとする場合、

50 点減点する。

5. 配置する通路カードが行き止まりのカードである場合は評価値 E_{dist} を 300 点減点する。
6. お邪魔者の場合、今までの評価値 E_{dist} を -1 倍する。
7. 配置場所の候補の中から最も良い評価値を持つ場所を提出候補とする。また、最も高い評価値が負となる場合はそのカードを破棄する。

4. 評価実験

今回の実験では、3 章で述べたプログラムをベースプログラムとし、ベースプログラムから条件を変化させて以下の 2 種類の実験を行った。

4.1 E_{dist} の評価の重みの変化による実験

通路カードの評価において距離による評価値 E_{dist} を算出する際の重みを変化させた場合の勝率の差を見るために、ベースプログラムでは 80:20 としていた比率を 50:50 から 100:0 まで変化させたプログラムを 5 種類用意し、それぞれ 30000 ラウンド (10000 試合分) 自己対戦させることで実験を行った。表 6 にベースプログラムを含めた各プログラムの全試合分の金鉱堀の勝率を示す。また、表 7 に金鉱堀が 5 人の場合の勝率を、表 8 に金鉱堀が 4 人の場合の勝率を示す。

表 6 より、比率を 100:0 にしたときに金鉱堀の勝率が 67.9% と最も高くなることが分かった。また、表 7、表 8 より、金鉱堀の人数が変動しても比率が 100:0 のときに金鉱堀の勝率が最も高くなることが分かった。したがって、x 座標を重視した評価方法が有効であることが分かった。更に、比率が 60:40 のときに限り勝率が急激に下がることが分かった。

表 6 距離の評価の変化による金鉱堀の勝率

評価の比率	金鉱堀の勝利数	金鉱堀の勝率
50:50	17771	0.592
60:40	16105	0.537
70:30	18247	0.608
80:20(Base)	18529	0.618
90:10	18729	0.624
100:0	20360	0.679

表 7 距離の評価の変化による金鉱堀の勝率 (金鉱堀 5 人)

評価の比率	ラウンド数	勝利数	勝率
50:50	8532	6630	0.777
60:40	8708	6148	0.706
70:30	8520	6666	0.782
80:20(Base)	8627	7062	0.819
90:10	8442	7032	0.833
100:0	8544	7525	0.881

表 8 距離の評価の変化による金鉱堀の勝率(金鉱堀 4 人)

評価の比率	ラウンド数	勝利数	勝率
50:50	21468	11141	0.519
60:40	21293	9957	0.468
70:30	21480	11581	0.539
80:20(Base)	21373	11467	0.537
90:10	21558	11697	0.543
100:0	21456	12835	0.598

4.2 未使用の通路カードの評価 E_{card} を加える実験

盤面に配置されたカード情報からまだ盤面に出されていない未使用の通路カードを推測することができる。また、仮ゴールの情報から最短距離で仮のゴールに向かうために必要なカードが分かる。これらの情報から未使用のカードを割り出し、ゴールに最短距離で進むために必要なカードが残っているかどうかを調べることができる。

このことから、最短経路を構成する際に必要な通路カードの残り枚数による評価値 E_{card} を以下の式で算出する。

$$E_{card} = \sum \left(\frac{c_i}{c_{i\text{all}}} \times 100 \right)$$

このとき、 c_i はある種類の通路カードの残っている枚数、 $c_{i\text{all}}$ はその通路カードの全枚数とする。また、最終的な評価値は E_{dist} と E_{card} の合計値になる。

ベースプログラムに未使用の通路カードの評価 E_{card} を加えたプログラムを 30000 ラウンド (10000 試合分) 自己対戦させることで実験を行った。表 9 にベースプログラム、 E_{card} を加えたプログラムの全試合分の金鉱堀の勝率を示す。また、表 10 に金鉱堀が 5 人の場合の勝率を、表 11 に金鉱堀が 4 人の場合の勝率を示す。

表 9 より、 E_{card} を加えたプログラムがベースプログラムに対して 66.9%と勝率が 5.1%高くなることが分かった。表 10、表 11 においても E_{card} を加えたプログラムの勝率が高い。したがって、最短経路を構成する際に必要な通路カードの残り枚数を利用した評価が有効であると分かった。

表 9 E_{card} の有無による金鉱堀の勝率

E_{card}	金鉱堀の勝利数	金鉱堀の勝率
なし	18529	0.618
あり	20064	0.669

表 10 E_{card} の有無による金鉱堀の勝率(金鉱堀 5 人)

E_{card}	ラウンド数	勝利数	勝率
なし	8627	7062	0.819
あり	8618	7298	0.847

表 11 E_{card} の有無による金鉱堀の勝率(金鉱堀 4 人)

E_{card}	ラウンド数	勝利数	勝率
なし	21373	11467	0.537
あり	21382	12766	0.597

4.3 E_{dist} , E_{card} を両方変化させた場合の実験

4.1 節、4.2 節で得られた結果から、 E_{dist} の評価の重みを 100:0 に設定し、未使用の通路カードの評価 E_{card} を加えたプログラムを 30000 ラウンド (10000 試合分) 自己対戦させることで追加実験を行った。表 12 にベースプログラム、 E_{dist} の評価の重みを 100:0 にしたプログラム、 E_{card} を加えたプログラム、 E_{dist} , E_{card} を両方変化させたプログラムの全試合分の金鉱堀の勝率を示す。また、表 13 に金鉱堀が 5 人の場合の勝率を、表 14 に金鉱堀が 4 人の場合の勝率を示す。

表 12 より E_{dist} , E_{card} を両方変化させた場合の勝率が 69.4%とベースプログラムに比べて 7.6%高くなることが分かった。また、表 13 では E_{dist} , E_{card} を両方変化させた場合の勝率が E_{card} のみ変化させた場合に比べて 0.8%低かったが、表 14 では E_{dist} , E_{card} を両方変化させた場合の勝率が最も高い結果となった。

表 12 E_{dist} , E_{card} による金鉱堀の勝率

プログラム	金鉱堀の勝利数	金鉱堀の勝率
ベース	18529	0.618
E_{dist}	20064	0.669
E_{card}	20360	0.679
$E_{dist} \cdot E_{card}$	20817	0.694

表 13 E_{dist} , E_{card} による金鉱堀の勝率(金鉱堀 5 人)

プログラム	ラウンド数	勝利数	勝率
ベース	8627	7062	0.819
E_{dist}	8618	7298	0.847
E_{card}	8544	7525	0.881
$E_{dist} \cdot E_{card}$	8470	7398	0.873

表 14 E_{dist} , E_{card} による金鉱堀の勝率(金鉱堀 4 人)

プログラム	ラウンド数	勝利数	勝率
ベース	21373	11467	0.537
E_{dist}	21382	12766	0.597
E_{card}	21456	12835	0.598
$E_{dist} \cdot E_{card}$	21530	13419	0.623

5. おわりに

本実験では、お邪魔者における金鉱堀の通路作成に対してヒューリスティック戦略を提案した。その結果、金鉱堀の通路作成において、x座標の距離を用いた評価と最短経路を構成する通路カードの残り枚数による評価が有効であると判断できた。

今後の課題としては、今回使用していない落石カードを用いた最短経路の確保、穴掘り道具の破壊カードを用いたお邪魔者の妨害などといった他のアクションカードを用いた別の戦略の考案が考えられる。

参考文献

- [1]田中一樹, 藤田玄: コンピュータ囲碁における対局の進行度判定を用いたモンテカルロ木探索, ゲームプログラミングワークショップ 2014 論文集, pp162-166, 2014
- [2]大串明, 山本一将, 森岡祐一, 五十嵐治一: コンピュータ将棋における方策勾配を用いた局面評価関数の教師付学習, ゲームプログラミングワークショップ 2015 論文集, pp84-87, 2015
- [3]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 2403-2413, 2016
- [4]川上直人, 橋本剛: 完全情報ゲームの探索を用いたガイスター AI の研究, ゲームプログラミングワークショップ 2018 論文集, pp35-42, 2018
- [5]王天鶴, 金子知適: 人狼ゲームエージェントにおける行動選択手法の比較, ゲームプログラミングワークショップ 2017 論文集, pp177-182, 2017
- [6]中澤桂介, 阿部雅樹, 渡辺大地, 三上浩司: カタンの開拓者たちにおいてウソの情報を流し状況を有利に進める敵の提案, 研究報告コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学 (CG), Vol2017-CG-168 No.13, 2017
- [7]Krisnadi. D and S. Lukas (2016) "Saboteur game modelling using means-ends analysis," International Conference on Informatics and Computing (ICIC)