

## 5 人狼ゲームにおける戦略の検討

汪博豪<sup>†1</sup> 豊野拓也<sup>†1</sup> 大澤博隆<sup>†1</sup>

**概要:** 人狼ゲームは、チェスや囲碁などの「完全情報ゲーム」と異なり、ゲームに関する情報が部分的に隠されている「不完全情報ゲーム」と呼ばれている。人狼ゲームは対戦相手の思考モデルによって最適な戦略が変わる。10人以上の人狼ゲームはオンラインで多数遊ばれており、有効な戦略が既に複数存在している。これに対し、5人などの少人数の人狼ゲームは戦略がより変わりやすく、有効な戦略はまだ見つからない。本論文では、パターンを抑えた5人狼ゲームにおける戦略について機械学習を用いて村人の行動を決定する手法を提案した。この手法を用いて2条件でシミュレーションを行い、結果分析を行った。分析の結果、村人の学習ありの勝率となしの勝率に有意な差は見られなかった。占い師と占い師騙りの人狼の特徴に差がないため、村人が誤った投票をするという欠点が見つかった。欠点を改善する新たな手法として、全プレイヤーの役職の推定を加えた2段階の学習手法を提案した。

## Strategy Examination of 5-player Werewolf Game

BOHAO WANG<sup>†1</sup> TAKUYA TOYONO<sup>†1</sup> HIROTAKA OSAWA<sup>†1</sup>

### 1. はじめに

近年、人と人工知能のコミュニケーションを取り扱っている人狼ゲームが人工知能の標準問題と提案されている。将棋や囲碁などのゲームと同じく、人狼ゲームも、最適な戦略も存在すると考えられる。しかし、人狼ゲームのパターンは対戦相手のモデルによって変わる。つまり、伝統的なアルゴリズムで最適な戦略の抽出は難しい。

10人以上の人狼ゲームはオンラインで多数遊ばれており、有効な戦略が既に複数知られている。これに対し、5人などの少人数の人狼ゲームは回数を重ねる毎に変化しやすく、有効な戦略はまだ見つからない。

本研究では、5人狼ゲームの戦略に着目し、機械学習によりプレイヤーの発言や投票などの行動を決めて、対戦相手の思考モデルからの戦略を抽出した。勝率の変化によって発言行動、投票行動がどのように学習するかを調べることで、有効な戦略の分析を行う。

本研究では、人狼ゲームにおける役職「村人」の発言行動と投票行動を、機械学習の一種類である SVM によって決める。村人という役職は基本の役職であり、「人狼」や「占い師」などの役職も村人の行動を含む。村人のエージェントに「占い」の戦略を加えると占い師のエージェントを作成できる。村人のエージェントに「襲撃」の戦略を加えると人狼のエージェントを作成できる。以上の理由から、本研究では最初に村人における SVM を用いた戦略を決定し分析を行う。

ゲームログから人間側の勝率の変化と村人の行動の分析を行い、本手法から有効な戦略を抽出できるか検討した。結果を元に、どのような学習手法が有効であるか提案する。

### 2. 関連研究

人狼ゲームは不完全情報ゲームの一つである。これらのゲームについては、現在の全ての情報が明らかでないため、ゲーム木による戦略の探索には、状態数が爆発的に増長するため、限られた時間の中で最適戦略を見つけることはとても難しい。一般的に用いられるゲーム木に関する手法では、限られた時間の中で答えを見つけるため、評価関数を設計し、ゲーム木の枝数を減らし(枝刈り)探索する状態数を限定する。人狼ゲームでは、各プレイヤーの発言は限定されておらず、各プレイヤーの役職も隠されているため、全ての可能性を考えることで、ゲーム木の状態数は爆発的に増加しやすい。また、敵対プレイヤーの発言が味方の発言と類似してくる点を考慮しなければならないため、ゲーム木のノードの定義や評価関数の設計が難しい。よって、人狼ゲームにおいてゲーム木による分析は適切ではない。

ゲーム木ではない新たな手法を用いた人狼ゲームの戦略についての研究はいくつか存在する。板東らはオンライン人狼ゲームのログを分析し、人狼役職の推測のセオリーのマイニングを提案している[1]。西崎らは人狼ゲームの派生ゲーム「ワンナイト人狼」において、被験者を用い、ワンナイト人狼ゲームをプレイヤーさせたログから、投票先

<sup>†1</sup> 筑波大学  
University of Tsukuba.

の推定の要素を分析している[2]。しかし、これらの研究は、ゲームが終わった後でデータの分析を行っており、リアルタイムでゲーム内から得られる情報によって戦略を作成することが出来ない。

この問題の解決のため、強化学習や機械学習などを用いた分析手法も提案されている。梶原らは強化学習を用いて、15 人狼ゲームにおける有効な戦略を抽出した[3]。SVM を用いた人狼推定を行うエージェントの設計も始まっており、学習ありの陣営の勝率が高くなることも知られている[4]。

本研究では、まだ扱っていない少人数人狼ゲームに着目し、機械学習によって村人の行動を決めることで、最適な戦略を作成できるかを探索した。

### 3. 村人の行動の推定に用いる情報の説明

#### 3.1 5 人狼ゲームの構成

人狼ゲームは、村人陣営の「村人」「占い師」「霊能者」「狩人」と人狼陣営の「人狼」「狂人」との役職が登場する多人数のコミュニケーションゲームである。人狼ゲームは半日単位で進行し、昼のフェーズでは全プレイヤーが議論し投票することによって追放者が決まり、夜のフェーズでは人狼によって村人への襲撃が行われる。全ての人狼を追放できれば村人陣営の、村人と人狼が同数になったら人狼陣営の勝利というゲームである。

5 人狼ゲームは、村人陣営が村人 2 人、占い師 1 人、人狼陣営が狂人 1 人と人狼 1 人に分けられる少人数の人狼ゲームである。本研究で扱ったエージェントは、人狼知能プロジェクトのプロトコルを用いたサンプルエージェントから作成したものである[5]。サンプルエージェントは 4 役職が実装されており、SVM を用いた村人エージェントと同時にゲームに参加する。

#### 3.2 村人の行動の選択策略

村人の行動は発話と投票の 2 種類である。5 人狼ゲームの投票における 1 票でも、ゲームに与える影響が大きいと考えられる。一方で、人狼知能プロトコルを用いた発話行動の種類は沢山ある。ここで、ほかのプレイヤーに大きく影響を与えられる「○○に投票します」と「○○は○○(役職)だと思います」の 2 つ発言行動を用いる。村人のできる行動は有限なので、追放する結果を変える投票行動に加え、ほかのプレイヤーに説得する投票宣言と疑う宣言の合計 3 つの行動に基づいて、エージェント同士でプレーしたゲームログから特徴量を抽出し、現在のゲームの状況によって最適な戦略を選択される。

## 4. SVM を用いた村人エージェントの作成

### 4.1 SVM に用いる特徴量

ここでは、ゲーム内で得られる情報に基づいて、村人陣営の勝利のために村人エージェントの行動を推定する手法を提案する。我々は、村人の行動を入力として、ゲームが勝利か敗北かのいずれかを出力する 2 クラス分類システムと考えた。ここで、現在知られている 2 クラス分類器の中でも認識性能が優れた学習モデルの一つであるサポートベクターマシン (SVM) を用いる。SVM を実行するため、今回の研究では LIBSVM を用いる。LIBSVM は、Chih-Chung Chang 氏と Chih-Jen Lin 氏によって開発された、最も有名なオープンソースの SVM ライブラリである[6]。LIBSVM は本研究のシミュレーションで用いた Java 言語を含めて、C++, C, MATLAB, R, Python など、さまざまな言語の実装がある。

我々は、村人の行動と行動対象の選択によってゲームの勝敗が変わると考えた。村人が行動対象を選択する理由(選択されたエージェントの特徴)を入力として、ゲームの勝敗を LIBSVM を用いて 2 クラスに分類する。SVM を用いた村人エージェントは分類されたデータに基づいて最適戦略を決定する。

リアルタイムで村人の行動を決定できるため、SVM の入力ベクトルとして、村人の行動の対象となるエージェントの観測可能な状態を用いる。表 1 に本手法で用いる入力ベクトルを示す。ここでは、村人の現在の行動情報に加え、対象の選択された理由と考えられる 6 つの情報を入力ベクトルの特徴に加えた。

表 1 入力ベクトルの要素として対象エージェントの状態

|                   | 状態       | 詳細   |
|-------------------|----------|--|
| 村人の行動             | 村人の行動タイプ | 村人はどの行動を行ったか。  |
|                   | 疑う対象の役職  | 村人の行動は疑う発話すると、疑う対象がどの役職と思うこと。                            |
| 村人の行動対象として選択された理由 | CO 状況    | ゲーム開始から村人が上記の行動を行うまで行動対象が CO したか。CO 役職は占い師の場合のみ考慮した      |
|                   | CO 人数    | ゲーム開始から村人が上記の行動を行うまで、CO した人数。                            |
|                   | 被推定役職    | ゲーム開始から村人が上記の行動を行うまで行動対象がどの役職と推定されたか。                    |
|                   | 被推定人数    | ゲーム開始から村人が上記の行動を行うまで行動対象が上記の役職を何人に推定されたか。                |
|                   | 被占い人数    | ゲーム開始から村人が上記の行動を行うまで行動対象が何人に占われた。占いは CO したプレイヤーの場合のみ考慮した |
|                   | 被占い陣営    | ゲーム開始から村人が上記の行動を行うまで行動対象の占われた結果                          |

## 4.2 SVM を用いた村人エージェントの設計

本節では、提案した村人エージェントの行動の推定手法を組み込んだ AI エージェントを設計する。SVM における入力ベクトルの作成のため、ゲームから得られる情報から各プレイヤーの特徴量を抽出し用意しておく。発言フェーズでほかのプレイヤーの発話情報を取り込み、CO 宣言と役職推定宣言から各プレイヤーの情報を更新する。

入力データ

| SVM を用いた村人の発言     | SVM を用いた村人が選択したプレイヤーの特徴 |                  |
|-------------------|-------------------------|------------------|
| プレイヤー 2 に投票します    | プレイヤー 2 は CO した         | プレイヤー 2 は人狼と占われた |
| プレイヤー 3 に投票します    | プレイヤー 3 は CO してなかった     | プレイヤー 3 は人間と占われた |
| ...               | ...                     | ...              |
| プレイヤー 2 は人狼と思います  | プレイヤー 2 は CO した         | プレイヤー 2 は人狼と占われた |
| プレイヤー 2 は占い師と思います | プレイヤー 2 は CO した         | プレイヤー 2 は人狼と占われた |
| プレイヤー 3 は占い師と思います | プレイヤー 3 は CO してなかった     | プレイヤー 3 は人間と占われた |
| ...               | ...                     | ...              |



| SVM を用いた村人の発言     | SVM による判別結果 |
|-------------------|-------------|
| プレイヤー 2 に投票します    | 村人陣営が勝利     |
| プレイヤー 3 に投票します    | 村人陣営が敗北     |
| ...               | ...         |
| プレイヤー 2 は人狼と思います  | 村人陣営が敗北     |
| プレイヤー 2 は占い師と思います | 村人陣営が敗北     |
| プレイヤー 3 は占い師と思います | 村人陣営が勝利     |
| ...               | ...         |



ゲームの情報

|                                    |
|------------------------------------|
| プレイヤー 4 : プレイヤー 3 に占いました。結果は人間でした。 |
| ...                                |
| プレイヤー 5 : プレイヤー 2 に占いました。結果は人狼でした。 |
| ...                                |
| SVM 用いた村人 : プレイヤー 2 に投票します         |
| ...                                |
| プレイヤー 3 : ...                      |
| SVM 用いた村人 : プレイヤー 3 は占い師と思います      |

図 1 SVM を用いた村人エージェントの発言行動

学習ありの村人エージェントの推定される行動は投票と発話である。投票行動には、生き残っているプレイヤーを 1 人ずつ選択し、今までの発話内容から入力ベクトルを

作成する。SVM によるゲームの結果が勝利になるかどうか、判別に基づいて投票先を決める。判別結果によって投票先を決められない場合に、ランダムで投票先を選択する。発言ターンが回ってくるごとに、図 1 のとおり、2 つの種類の発言と生き残っているプレイヤーの組み合わせで、入力データを抽出し、SVM によってゲームの勝敗を判別する。勝利の判別結果が出ると、判別された発言を行う。全ての組み合わせとも敗北に判別されたら、そのターンの発言をスキップする。

## 5. シミュレーションの結果と考察

### 5.1 シミュレーションの流れ

本研究では、人狼知能プロジェクト[a]が提供した人狼知能プラットフォームを用いて、ゲームの実行を行う。提案手法を用いて 10 世代でシミュレーションを行った。各世代ごとに 120 回ゲームを実行し、ゲームログを作成した。作成されたゲームログから表 1 の特徴量を抽出し、子世代用の学習データを訓練した。最初の親世代は学習なしで行った。2 世代目から、学習ありの村人エージェントを入れ替え、シミュレーションを行った。

5 人狼ゲームには、村人が 2 人含まれる。これに基づいて、シミュレーションの条件を 2 つに分ける。条件 1 には、サンプル人狼エージェント (以下「サンプル人狼」という)、サンプル狂人エージェント (以下「サンプル狂人」という)、サンプル占い師エージェント (以下「サンプル占い師」という)、サンプル村人エージェント (以下「サンプル村人」という) と SVM を用いた村人エージェント (以下「SVM 村人」という) でゲームを実行する。条件 2 にはサンプル人狼、サンプル狂人、サンプル占い師と SVM 村人 2 人でシミュレーションを行った。

シミュレーションを終了後に全てのゲームログの分析を行った。各陣営の勝率や特徴量として扱った行動の情報に対し、統計分析を行った。

### 5.2 結果の分析

SVM 村人 1 人の条件 1 と SVM 村人 2 人の条件 2 で 10 世代のシミュレーションを行った。村人陣営の勝率を表 2 に示す。

条件 1 で学習なしの 1 世代と、学習ありの 2~10 世代の勝率に関してカイ二乗検定を用いて検定した結果、有意差は認められなかった ( $p < 0.5$ )。条件 2 で学習なしの 1 世代と、学習ありの 2~10 世代の勝率に関してカイ二乗検定を用いて検定した結果、有意差も認められなかった ( $p < 0.3$ )。

a ) <http://aiwolf.org>

表 2 10 世代のシミュレーションで村人陣営の勝率

| 条件<br>世代数                       | 条件 1<br>「SVM 村人」<br>1 人 | 条件 2<br>「SVM 村人」<br>2 人 |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 (条件 1, 2 とも初世代は「SVM 村人」なしで行う) | 54.17%                  | 63.33%                  |
| 2                               | 51.67%                  | 53.33%                  |
| 3                               | 57.50%                  | 62.50%                  |
| 4                               | 55.00%                  | 55.83%                  |
| 5                               | 59.17%                  | 68.33%                  |
| 6                               | 61.67%                  | 58.33%                  |
| 7                               | 51.67%                  | 53.33%                  |
| 8                               | 57.50%                  | 46.67%                  |
| 9                               | 51.67%                  | 56.67%                  |
| 10                              | 50.00%                  | 57.5%                   |

### 5.3 考察

2 条件とも有意差を認められなかったため、ここで、第 3 章で提案した手法の欠点について分析を行う。ゲームログから見ると、占い師と占い師騙りの人狼は入力ベクトルの特徴に大きな差が見られなかった。5 人狼ゲームでは、得られる情報が少ないため、特徴の差が生まれなかったと考えられる。また、村人の行動対象の特徴量の数が少ないことも特徴の差が生まれなかった原因と考えられる。

第 3 章で提案した手法は、村人が過去に勝利したゲーム内で投票対象に選択したプレイヤーの特徴を用いた。村人はそれと近い特徴を持つプレイヤーを投票対象に選択する。しかし、占い師と占い師騙りの人狼の特徴に差がないため、プレイヤーの特徴のみから投票対象を決定するこの手法では、村人が占い師に投票してしまう場合がある。占い師が投票により吊られると、村人陣営が不利になるので、シミュレーションでは村人陣営の勝率が上がらなかった。

村人が勝ったゲームで投票対象に選択したプレイヤーの特徴だけを用いる戦略は最適とは言えない。村人が占い師へ投票しないために、他のプレイヤーが各役職である可能性を考慮するべきである。過去のゲームでの全員の特徴と役職を用いて、役職の可能状態の推定を行うことで、占い師と占い師騙りの人狼の判定が可能になる。これにより、村人陣営の勝率が改善されると考えられる。

## 6. 新たな手法の提案

### 6.1 2 段階の学習手法

本手法では、占い師と占い師騙りの人狼の特徴に差がなければ、占い師かどうかを判断できず、占い師が投票対象になる場合がある。この欠点を改良するため、相手の役職を推定する 2 段階の学習手法を提案する。

1 段階目は、ゲームログから、各プレイヤーのこれまでの発言と投票行動の特徴を入力ベクトルとして、各プレイヤーの役職を推定する。例えば、自らを占い師だと CO した人狼が、占いの結果 X 番のプレイヤーが人狼であったと宣言する。他のプレイヤーがこの情報を信じて、人狼だと宣言されたプレイヤーに投票した場合、X 番のプレイヤーは追放されてしまう。追放されたプレイヤーが人狼であれば、人狼が 1 人しか存在しない 5 人狼ゲームでは、ゲームが終了するはずである。しかし、X 番のプレイヤーは人狼ではないため、ゲームが終了しない。そのため、CO したプレイヤーは本物の占い師ではなく、人狼陣営の可能性が高い。このようにゲームの中で得られる情報から矛盾を探して、これまでのプレイヤーの発言情報と投票情報から特徴量を抽出し、各プレイヤーの役職を推定することが出来る。

2 段階目には、1 段階目から得られた役職とこれまでの発言ログを用いて村人の有効な発話行動の推定する。この段階は、3 章で提案した手法に基づいて、推定した対象の役職を加え、村人陣営を勝利へ導く行動を学習させて推定する。

### 6.2 新たな手法を用いた村人エージェントの設計

エージェント対エージェントや人間対人間、エージェント対人間のゲームログから、2 段階の訓練データを抽出する。ゲームを実行する際、常に 1 段階目のデータを用いる。各プレイヤーの行動情報の特徴を入力ベクトルとし、その役職を推定する。推定の結果から、図 2 を示した各プレイヤーの役職表を作成し、更新する。更新した役職表とゲーム内の発言情報を合わせて学習し、村人の最適な行動を決定する。

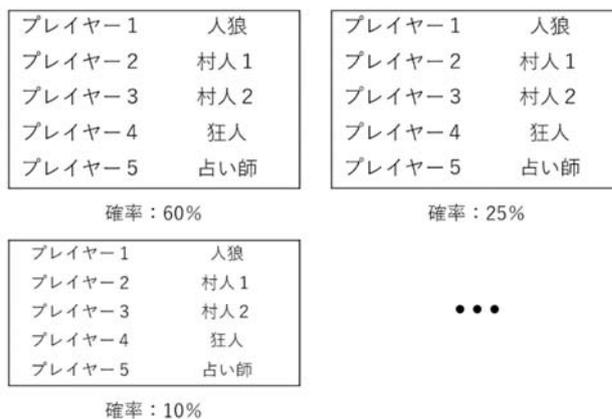


図 2 推定した各プレイヤーの役職表

## 7. 今後の展望

5 人狼ゲームにおける新たな学習方法を検証し、村人陣営の勝率の変化や村人の行動の合理性などの分析を行う。提案手法を村人から全役職に広げて実装する。「人狼側が学習のみ」、「村人側が学習のみ」、「両方とも学習する」などの学習方法を用いて本手法により最適な戦略を検討する。

本手法は対戦相手のモデルによって、戦略が変わる。最適な戦略を得られるか検証のため、多種多様なモデルが必要である。人間と戦い本手法の有効性の検証の提案も考えている。

## 8. おわりに

本研究では 5 人狼ゲームにおける SVM を用いた村人エージェントのシミュレーションを行った。結果として、村人陣営の勝率から有意差が見られなかった。用いた入力ベクトルの中で村人の行動対象の特徴量の数が不足しているため、村人は占い師と占い師騙りの人狼の判断を誤った。結果として、村人が占い師に投票したから、村人陣営の勝率が上がらなかった。この欠点を改良するため、各プレイヤーの役職を考え、2 段階の学習手法を提案した。新たな提案手法をまだ検証していないため、学習データの特徴を考慮し、新たな村人エージェントの設計とシミュレーションを行うことを今後の課題として挙げる。

## 参考文献

- [1] 板東勇樹, 呉双, 林友超, 宇津呂武仁. 人狼ゲームログからの狼役職絞り込みセオリーのマイニング. 第 31 回人工知能学会全国大会論文集, 2017.
- [2] 西崎絵麻, 坂口早紀, 尾崎知伸. ワンナイト人狼における投票行動の分析. 第 31 回人工知能学会全国大会論文集, 2017.
- [3] 梶原健吾, 鳥海不二夫, 大澤博隆, 片上大輔ほか. 強化学習を用いた人狼における最適戦略の抽出. 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集, 2014, p.597-598
- [4] 梶原健吾, 鳥海不二夫, 稲葉通将, 大澤博隆ほか. 人狼知能大会における統計分析と svm を用いた人狼推定を行うエージェントの設計. 第 30 回人工知能学会全国大会論文集, 2016.
- [5] 狩野芳伸, 大槻恭士, 園田亜斗夢, 中田洋平, 箕輪峻, 鳥海不二夫. 人狼知能デズぶ AI プログラミング. マイナビ出版, 2017, 64p
- [6] Chang, C. Lin, C. LIBSVM: A Library for Support Vector Machines. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2011, vol. 2, no. 27, p. 1-27.