

# 人狼 AI における機械学習を用いた役職推定の改良

## Improvement of Role Estimation using Machine Learning in werewolf AI

木村 勇太<sup>\*1</sup>  
Yuta Kimura

伊藤 毅志<sup>\*1</sup>  
Takeshi Ito

<sup>\*1</sup> 電気通信大学  
University of Electric Communication

. Role estimation by existing werewolf AI agents had been heuristically decided by the developer. In this research, we introduced an agent using SVR (Support Vector Regression), which is one of machine learning, to the estimated part of the existing agent and verified its effectiveness. As the result, it was possible to realize estimation rates exceeding the existing method after the middle game. Also, we developed a combined agent that used the existing method in the opening game and the proposed method in the middle game and later. The combined agent gave a significantly higher win rate than the existing agent.

### 1. はじめに

「汝は人狼なりや？」(以下、人狼と呼ぶ)というゲームは、プレイヤー同士のコミュニケーションが中心となる多人数不完全情報ゲームである。人狼で勝つためには嘘をつく能力や、情報の真偽を見極める推理をする論理的思考能力が要求される。人狼をプレイするエージェントを開発するためにはこれらの能力を解析、実装する必要がある。人工知能における様々な重要な要素を含んでいる。人狼を知的にプレイする AI の開発を目的として、2015 年に「人狼知能プロジェクト」が発足した[1]。

プロジェクトは人狼を行うエージェントの対戦環境として人狼知能プラットフォームを提供しており、これを用いた大会も開催されている。大会の決勝へ出場したエージェントは人狼知能プロジェクトのサイトで公開されており、既存エージェントを改良する研究や作成したエージェントを大会と同じ環境で対戦実験を行うことが可能である[2]。

人狼では対戦相手の中から人狼を推定する能力が勝つために重要になっている。本研究では既存エージェントの人狼推定部分に機械学習を適用させ、その有効性を検証することを目的とする。

### 2. 人狼

#### 2.1 人狼ゲームのルール

人狼とは、参加者にランダムに割り振られた人狼陣営と村人陣営の役職をプレイヤー相互が知りえない状況からゲームが開始される。その後役職によって知り得た情報を参考にしながら、コミュニケーションを通じて情報を共有して、それぞれの陣営の勝利を目指すゲームである。プレイヤーの中に潜んでいる人狼を全員排除すれば村人陣営の勝利、人狼の数が生存している村人の数と同じになれば人狼陣営の勝利となる。

プレイヤーは生存プレイヤー全員の投票によって「追放」されるか、人狼に「襲撃」されるかのどちらかの方法でゲームから除外される。

ゲームの進行は、議論により追放者を多数決で決める昼フェーズと、人狼が襲撃先を決めたり特殊能力を持ったプレイヤーが能力を使用したりすることのできる夜フェーズがある。これをどちらかの陣営が勝利条件を満たすまで繰り返す。

人狼には特殊能力を持った役職がある。夜フェーズに一人だけ自分以外のプレイヤーが人狼か否かを知ることができる「占い

師」、追放されたプレイヤーが人狼か否かを知ることができる「霊媒師」、一日に一回指定したプレイヤーを人狼の襲撃から守る「狩人」である。また、人狼陣営には人狼に加えて、ゲームの進行中は村人として扱われるが人狼陣営が勝利したときに勝利になる「裏切り者(狂人)」という役職がある。それ以外のプレイヤーは、特殊能力を持たない「村人」である。

#### 2.2 AI 人狼のルール

人狼では会話が重要な要素を担う。AI が人狼をプレイするための環境として、人狼知能プロジェクトでは AI 同士の人狼を実現する「人狼知能プラットフォーム」というものが提供されている。

人狼の中で現れる発言には、「私は占い師です」といったカミングアウト発言、「私は〇〇に投票します」といった投票宣言などの人狼ゲーム特有の発言がある。人狼知能プラットフォーム上ではこれらの発言を「人狼知能プロトコル」という形で定義しており、AI 間でやりとりが可能になるように簡素化した形で表現している。

人狼知能プロジェクトではこのプロトコルを用いた大会を開催しており、本研究ではその大会における標準ルールに則った人狼 AI について議論する。この標準ルールは 15 人でプレイする 15 人狼となっており、参加者の役職は「村人 8・狩人 1・占い師 1・霊媒師 1・狂人 1・人狼 3」という構成となっている。

### 3. 先行研究

#### 3.1 人狼エージェント「Udon」

過去 2 回の人狼知能大会を連覇している有力な人狼エージェントの 1 つとしてチーム鯉鮎が開発したエージェント「Udon」がある[3]。「Udon」が持つ大きな特徴は、「内訳」という概念を用いて人狼と狂人を推定しているところにある。

「内訳」とは人狼陣営の役職の組み合わせのことである。人狼 3 人と狂人 1 人の組み合わせを{人狼、人狼、人狼、狂人}というエージェント番号のリストで表現する。「Udon」は最初に全パターンの内訳のリストを作成する。人狼知能大会の標準ルールにおいては、参加エージェント 15 人中 3 人の人狼と 1 人の狂人を選び出す組み合わせになるので、5460(=15C3×12)通りの内訳リストを保持することになる。しかし、ゲーム中に新しい情報を得ることで、論理的にありえない内訳は排除されていく。その後、次の手順で内訳のスコアを求め、これを基にエージェントの行動を決定する。

1. 全てのエージェントに対して、それぞれの人狼/狂人スコアを求める。
2. 内訳に含まれるエージェントの人狼/狂人スコアを乗算する。
3. エージェント間でのやり取り(例:投票行動)から補正する。  
1で求める人狼/狂人スコアは以下の式で算出される。

$$\text{人狼スコア} = 1.00 \times x(A) \times x(B) \times \dots \times x(Z) \quad (1)$$

$x(A)$ とはエージェントが行動 A を行った際の、A の人狼らしさを表す値である。しかし、「Udon」では、この値は開発者によってヒューリスティックに決められているため、この部分に機械学習を導入することで、より良い推定が可能になるかも知れない。

### 3.2 人狼エージェントに機械学習を導入した研究

ルールベースに設計された人狼推定を機械学習に変更することで人狼推定精度を研究したものとして梶原らの研究がある[4]。

この研究では人狼知能大会の対戦ログデータを SVM で学習させ人間か人狼かを判別する SVM 判定器を作成した。判定器作成後、以下の 3 つのエージェントを作成し、それぞれ 16 年大会の上位 14 エージェントと 10000 回対戦実験を行い、人狼への投票率と勝率を比較した。

1. 自分に人狼判定を出した占い師 CO 者がいた場合、そのエージェントに投票を行う(ルールベース AI)
2. 判定器が人狼と判断したエージェントに投票を行うエージェント(SVM 推定 AI)
3. 2 に加えて、人狼と判断した相手への投票宣言を行うエージェント(SVM 推定&発話 AI)

対戦実験の結果、人狼への投票率、推定率ともに 2, 3 のエージェントの方が高くなることが確認された。この研究により、投票行動への SVM の導入の有効性が示された。しかし、比較対象となったルールベース AI の実力は低く、「Udon」のようにルールベースに設計されていても強力なエージェントに対しての有効性は示されていない。加えて、有効性が示されたのは投票行動という 1 部分のみである。「人狼ゲーム」には投票行動以外にも占い、護衛、襲撃といった行動が存在する。したがって、SVM を用いた人狼推定がこれらの行動においても有効であるか検証する必要があると考えられる。

### 4. SVR

SVR(Support Vector Regression) は SVM(Support Vector Machine)を回帰問題に適用させた手法である。SVR ではソフトマージンによって小さな誤差を無いものとして扱うため、回帰関数への影響が小さい。

人狼ゲームにおいて、人狼が村人を騙っているような状況では、人狼と村人の特徴の差は微々たるものになる。そのため小さな誤差が生まれやすい。人狼ゲームのデータを学習させるには小さな誤差が回帰関数へ与える影響の少ない手法を用いる必要がある。したがって、SVR は人狼ゲームのデータの学習に適していると考えられる。

本研究では、既存の有力な人狼エージェントである「Udon」の人狼スコア算出部分に機械学習の一つである SVR を導入する。「Udon」では人狼スコアが変わると内訳のスコアも変更されるため、「Udon」が取る行動に変化が生まれる。「Udon」と SVR を導入したエージェントの推定率と勝率を比較し、その有効性を検証する。

## 5. 提案手法

### 5.1 学習方法

SVR で学習を行うために人狼スコアを以下のように定義した。

$$\text{人狼スコア} = w_A x_A + w_B x_B + \dots + w_Z x_Z \quad (2)$$

$x_A$ とは A が行動 A を行った時に 1, 行わなかった場合 0 となる。ただし日付やカミングアウト数といった情報を用いる際は連続値となる。SVR では重み  $w$  を学習データから決定する。

学習させた特徴は「Udon」の人狼スコア決定アルゴリズムと先行研究[4]を参考にして、表 1 のように列挙した。

表 1 学習した特徴

特徴量	入力
日付(4 日目以降)	スコア算出時の日付
生死	生存なら 0, 死亡なら 1
死因	追放なら 1, 襲撃なら -1
襲撃されたものによる投票を受けている	Yes なら 1, no なら 0
無効なカミングアウト	Yes なら 1, no なら 0
配役にない役を CO	Yes なら 1, no なら 0
人狼と判定されてから占い師 CO	Yes なら 1, no なら 0
人狼と判定されてから霊媒師 CO	Yes なら 1, no なら 0
CO したタイミング	CO したときの日付
前日までに CO された役職を CO	Yes なら 1, no なら 0
襲撃された占い師から人間判定	Yes なら 1, no なら 0
襲撃された占い師から人狼判定	Yes なら 1, no なら 0
村人を CO	Yes なら 1, no なら 0
狩人を CO	Yes なら 1, no なら 0
霊媒師を CO	Yes なら 1, no なら 0
占い師を CO	Yes なら 1, no なら 0
狂人を CO	Yes なら 1, no なら 0
人狼を CO	Yes なら 1, no なら 0
占い師 CO 数	Yes なら 1, no なら 0
霊媒師 CO 数	Yes なら 1, no なら 0
人間判定を出した数	連続値
人狼判定を出した数	連続値
受けた人間判定数	連続値
受けた人狼判定数	連続値
投票宣言から実際の投票先の変更	連続値

### 5.2 教師データと実装

「Udon」を含む過去の大会に出場した 8 つのエージェントと参考文献[3]に実装手法が載っているサンプルエージェント 7 つ用意した。これらのエージェントを 10,000 回対戦させ、対戦ログデータを作成した。対戦ログデータを直接学習させることはできないため、対戦ログデータから特徴を抽出し学習データを作成するためのプログラムを作り、学習データを作成した。人狼はゲームが進むにつれて明らかにされる情報が増えて行くゲームである。そのため、日によって特徴量として使われる情報の量が違い、入力に差が生まれる。この状態ですべてをひとまとめに学習させてしまうと回帰関数がうまく作れない可能性がある。加えて、学習にかかる時間も大幅に増えることになる。したがって本

研究では学習データをそれぞれ 1 日目, 2 日目, 3 日目, 4 日目以降の 4 種類に分割し個別に学習を行った。

学習時点で用いた人狼プラットフォームはバージョン 4.9 である。学習にはオープンソースライブラリ libsvm ver3.22 を使用した。

学習後に出力されるモデルファイル読み込み, ゲーム中から得た特徴とモデルファイルを用いて人狼スコアを算出するよう「Udon」のプログラムを書き換え, これを提案エージェントとした。

## 6. 評価実験 1: 人狼スコアの推定率の比較

### 6.1 目的

提案手法, 「Udon」それぞれのエージェントが求める人狼スコアの推定率を比較する。

### 6.2 実験方法

学習データ作成の時と同じ 14 エージェントを用いた 15 人村環境で, 「Udon」, 提案手法それぞれで 1,000 回ずつ対戦を行い, 推定率を求めた。

### 6.3 結果

日ごとの推定率を図 1 に示す。実験の結果, 「Udon」はどの日付でも 3 割程度の推定率を維持し続けており, 1 日目から 3 日目においては提案手法より推定率は高いことがわかった。対して, 提案手法の推定率は初日から 9 日目まで上昇し続け, 4 日目から「Udon」を上回ることがわかった。しかし, 10 日目では大幅に推定率が下がり, 「Udon」よりも低くなった。

$\chi^2$  検定の結果, 1, 2 日目において「Udon」の方が有意に推定率が高くなったのに対して, 5, 6, 7, 8 日目においては提案手法の方が有意に推定率が高くなった。

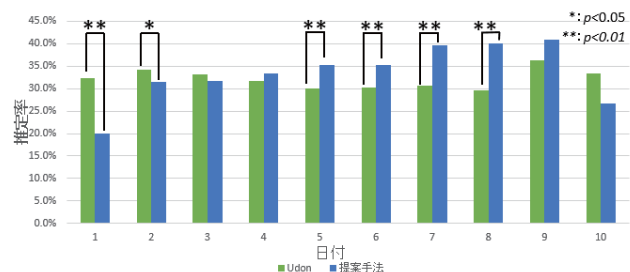


図 1 日ごとの推定率

### 6.4 考察

人狼の性質上, 日ごとに得られる情報は序盤に少なくゲームが進むにつれ増えてくる。序盤では「Udon」の推定率が高いことから, 「Udon」の人狼スコア算出モデル式(1)の方が序盤の少ない情報に適していると考えられる。対して, 5 日目から 8 日目は提案手法の推定率が高いことから, 提案手法の SVR を用いた算出モデル式(2)の方がある程度情報の出揃っている中盤以降に適していることが示唆される。

## 7. 評価実験 2: 勝率の比較

### 7.1 目的

評価実験1の結果より, 既存手法の推定率が高い序盤は既存手法を用い, 提案手法の推定率が高くなる中盤以降は提案手法を用いる組み合わせエージェントを構築すれば, 既存のエージェントよりも強くなるのではないかと考える。そこで, スコア算出に 3 日目までは既存手法, 4 日目以降は提案手法を用いる

組み合わせエージェントを作成し, このエージェントと「Udon」の勝率を比較する。

### 7.2 実験方法

学習データ作成の時と同じ 14 エージェントを用いた 15 人村環境で, 「Udon」と組み合わせエージェント, それぞれで 10,000 回ずつ対戦を行い, それぞれの勝率を求めた。

### 7.3 結果

対戦実験の結果を表 2 に示す。 $\chi^2$  乗検定の結果, 組み合わせエージェントの方が「Udon」より1%の有意水準で勝率が高いことが示された。

表 2 各エージェントの勝率

エージェント	勝率
既存手法	53.2%
組み合わせエージェント	55.2%

### 7.4 考察

推定率が高い手法を組み合わせることで, エージェントの勝率が上がる結果が確認できた。このことから, 中盤以降における既存手法の有効性が示唆された。

## 8. おわりに

本研究では不完全情報ゲームの1つである人狼を行うエージェントに対して SVR を導入することで, 人狼に対する推定率を上げる手法を提案した。提案手法を 2015 年, 2016 年人狼知能大会優勝エージェントである「Udon」に組み込み, 対戦実験を行った。その結果, ゲーム中の 4 日目以降では推定率が上がることが確認できた。この結果にもとづき, 日付で手法を変えるエージェントを作成することで, 「Udon」よりも高い勝率を出すことができた。

以上のことより, 中盤以降は, SVR を「Udon」の人狼スコア算出に適用する手法の有効性が示唆された。

しかし, 今回の実験で対戦を行ったエージェントは, 学習データに含まれるエージェントと同じであった。実際に 2018 の 3 月に行われた人狼知能大会@GAT2018 では 18 エージェント中 13 位と良い成績を残すことができなかった。この結果から提案手法エージェントには汎用性に問題があることが考えられる。このことを確認するために, 今後は未学習のエージェントとの対戦実験を行い, 本研究と同様に推定率と勝率を求め, 汎用性について検証する予定である。

未学習エージェントとの対戦実験の結果によっては汎用性の低さを改善していく必要が生まれる。改善策の 1 つとしては本研究で学習していないエージェントも学習データに加えるという方法が考えられる。しかし, この方法だけでは対応できるエージェントが増えるだけで, 未学習のエージェントが多いような状況では, 今回参加した大会と同じような結果になってしまう可能性がある。よって学習データの幅を増やすだけでなく, 未学習エージェントにも対応できるように対戦中に学習を行い, ゲームが終わるごとに新しく得た情報を用いて学習結果を更新していくという手法も検討している。

## 参考文献

- [1] 人狼知能プロジェクト. Artificial Intelligence based Werewolf(オンライン), 入手先 (<http://aiwolf.org/>),( 参照 : 2018-1-29).
- [2] 島海不二夫, 稲葉通将, 大澤博隆, 片上大輔, 篠田孝祐: ゲームプログラミング大会を用いた集合知的ゲーム AI 開発手法, デジタルゲーム学研究, Vol.9, No 1, pp.1-11 (2016).
- [3] 狩野芳信, 大槻恭二, 園田亜斗夢, 中田洋平, 箕輪峻, 島海不二夫. 人狼知能で学ぶ AI プログラミング, 株式会社マイナビ出版(2017).
- [4] 梶原健吾, 島海不二夫, 稲葉通将, 大澤博隆, 片上大輔, 篠田孝祐, 松原仁, 狩野芳信. 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, 人工知能学会全国大会論文集, vol.30(2016).