

人狼ゲームの勝率を改善するプレイヤーの意思決定手法について

Player's Decision Making Method to Win of Werewolf Game

福井敬徳^{1*} 岩田員典² 伊藤暢浩¹
Takanori Fukui¹ Kazunori Iwata² Nobuhiro Ito¹

¹ 愛知工業大学

¹ Aichi Institute of Technology

² 愛知大学

² Aichi University

Abstract: Werewolf game, which is one of game with incomplete information games has gotten a lot of attention in artificial intelligence. The werewolf game is played through a lot of communications among about 10 players. Besides, some speeches of the communication include uncertainty. We propose the method to make decisions for communication (speeches) of werewolf game with Bayesian Networks. In addition, we implemented the werewolf player programs with our model and evaluate the through some games. As the result, we confirmed that our player's decision making method was effective.

1 はじめに

近年、人狼ゲームをプレイできる人工知能の研究が盛んにおこなわれている。その1つに人狼知能プロジェクトがある [1]。このプロジェクトでは人狼ゲームをプレイする人工知能を「人狼知能」と呼んでいる。また、人狼ゲームを計算機上でプレイすることができる人狼知能プラットフォームが人狼知能プロジェクトから提供されている。人狼知能プラットフォームは人狼ゲームをプレイする「人狼知能エージェント（以降、エージェント）」の開発環境も備えている。

一般的に、人狼ゲームは、複数人のプレイヤーが会話をしながらおこなうテーブルゲームとして知られている。プレイヤーは村人陣営と人狼陣営に分かれ、お互いに相手陣営のプレイヤーの排除を目指し、最終的に残った陣営が勝利する。

また、ゲームが開始される時に1人のプレイヤーに1つずつ、役職が決められる。プレイヤーは割り当てられた役職によって様々な行動・能力を行使することができる。例えば「占い師」という役職は村人陣営に属する役職である。なお、この役職は、占い先として指定したプレイヤーが、人狼であるか、人狼ではないかを知ることができる、という能力をもつ。

ゲーム上では昼のフェーズと夜のフェーズがあり、2つのフェーズを合わせて1日とする。村人側は昼のフェーズ中にプレイヤー同士で話し合い、投票という行為によ

って人狼と思われるプレイヤーをゲームから排除する。人狼側は夜のフェーズ中に襲撃という行為によって村人をゲームから排除する。翌日に移る前に、占い師などの特殊能力を持つ役職は、その能力を行使する。

人狼知能プロジェクトの目的を達成する1つの手段として、エージェント同士の強さを競う人狼知能大会が毎年開催されている。この人狼知能大会では、大会参加者がエージェントを開発し、勝率を競っている。

人狼ゲームでは様々な発言がおこなわれるため、ゲームの状態数は非常に多い。さらに、人狼ゲームでは嘘をつくことが可能であることから、ゲームの状態には確率を伴う。大会参加者は各々の戦略に基づいて、ゲームの状態を抽象化・削減し、意思決定をおこなっている。しかし、その戦略が勝率に対して有効であるかは明らかになっていない。

また、人狼ゲームを題材とした研究として、大川らのおこなった研究では、多層パーセプトロンを用いて役職の推定をおこなっている [2]。他にも、近藤らの研究ではLSTMを用いて人狼の予測をおこなっている [3]。これらの研究では、役職を推定した後の意思決定までは扱っていない。そのため、推定結果を用いて、どのように行動するかはエージェント設計者自身が決定しており、その行動が勝率にどれだけ影響を与えているのかは不明である。

そこで、本研究ではエージェントの役職推定ではなく、意思決定に着目して、人狼ゲームの勝率改善に対する有効性を検討する。そして、人狼知能大会の対戦ログから意思決定モデルを構築することで、勝率に貢

*連絡先： 愛知工業大学大学院
愛知県豊田市八草町八千草 1247
E-mail: itfukui0922@icloud.com

献するモデルの作成を提案する。意思決定モデルでは、3つの意思決定（投票先、襲撃先、占い先）を取り扱う。意思決定をするためには、不確実性を伴う発言を含むゲームの状態を用いて推論する必要がある。そこで、本研究では確率を含む推論が可能であるベイジアンネットワーク [4] を用いてゲームの状態を表現する。さらに、対象となる問題をよりわかりやすくするため、人狼知能対戦にて5人でおこなわれる人狼ゲームのみを取り扱う。

さらに、提案したモデルが勝率にどれだけ影響を与えているかを確認するため、モデルを搭載したエージェントを作成する。その後、人狼知能プラットフォームを用いて対戦をおこないモデルの評価をおこなう。

実験の結果、モデルを搭載したことで非搭載のエージェントと比べ、勝率が上がったことを確認できた。このことから、提案したモデルは勝率改善に対し有効であると考えられる。

2 人狼ゲームと人狼知能

2.1 人狼ゲーム

一般的に人狼ゲームとは、複数人のプレイヤーが対面しておこなうゲームとして知られている。プレイヤーは村人陣営と人狼陣営に分かれ、村人と人狼は互いの排除を目指す。村人陣営のプレイヤーは誰が人狼であるかを知らない。そのため会話によって正体を探る。一方、人狼役職プレイヤーは他のプレイヤーの中で誰が人狼であるかをお互いに知っている。

ゲーム上では昼のフェーズと夜のフェーズがあり、2つのフェーズを合わせて1日とする。村人陣営か人狼陣営のどちらかが勝利するまで何日間もおこなわれる(図1)。

昼のフェーズでは、会話によって人狼だと予想されるプレイヤーを投票により1名決定し、ゲームから排除する。この排除のことを追放と呼ぶ。夜のフェーズでは、人狼が村人から1名決定し、ゲームから排除する。この排除のことを襲撃と呼ぶ。また夜のフェーズでは、役職によって決められた能力を行使できる。

村人陣営の勝利条件はゲームから（つまり、村から）人狼を追放することである。反対に、人狼の数と人間の数が同数となった場合、人狼陣営の勝利となる。どちらかの陣営の勝利条件を満たすことで、ゲームは終了する。

ゲームを開始する時にひとりのプレイヤーに一つずつ、役職が決められる。以下にその役職と役職が持つ特殊な行動・能力について述べる。

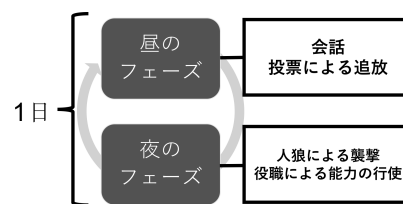


図 1: 昼のフェーズと夜のフェーズ

村人陣営

村人 : 特別な能力のない役職である。

占い師 : 1日のうちに1人だけ相手が狼であるかを知ることができる。

人狼陣営

裏切り者 : 占い師や霊能者の結果からは人間だと判定されるが、この役職は人狼側の勝利条件で自分自身も勝利する。

人狼 : 1日のうちに1人だけプレイヤーを襲撃することができる。また、人狼同士のみ会話することができる。

2.2 人狼知能プラットフォーム

人狼知能プラットフォームとは、人狼知能プロジェクトから提供されている、人狼ゲームを計算機上でプレイすることができるJavaのパッケージである。また、人狼知能プラットフォームでは人狼ゲームをプレイするエージェントの開発環境も備えている。

人狼知能プラットフォームを用いることで、エージェント同士のゲームプレイが可能になる。また、人狼知能プロジェクトが開催する人狼知能大会では、実際にエージェントの強さを競うために人狼知能プラットフォームが利用される。

ただし、人間同士がおこなう人狼ゲームにおける、プレイヤーの行動や発話のすべてを、計算機上で表現することは非常に困難である。そのため、人狼知能プラットフォームでは人狼知能プロトコルというプレイヤーの行動や発話を抽象化したプロトコルが定義されている [1]。

2.3 人狼知能大会

人狼知能プロジェクトの目的を達成する1つの手段として、エージェントの強さを競う人狼知能大会が毎年開催されている。

また、人狼知能大会では、5体のエージェントが参加するゲームと15体のエージェントが参加するゲームがある。それぞれ5人狼、15人狼と呼ぶ。

本研究では、15人狼に比べ複雑な推論を必要としない5人狼を対象とした。

2.4 人狼ゲームにおける意思決定

人狼ゲームは投票によってプレイヤーを排除していくゲームである。また、占い師は占い対象を、人狼は襲撃対象を決定する必要がある。

投票先決定は、村人は会話から人狼を見つけ投票をし、人狼は、自分が追放されないように票が集まりそうなところに投票するなど、状況を考えて必要がある。占い師の占い先決定は、自身が有利になる占い先を決定する必要がある。また人狼も自身が有利になる襲撃先を決定する必要がある。ただし、人狼の意思決定は村人と異なり、人狼のみで決定できる。

3 本研究の目的と提案手法

3.1 本研究の目的

本研究では、人狼知能の実現に向け、2.4節で示した意思決定に着目する。エージェントが勝利するためには、ゲームの状態を把握する必要がある。ゲームの状態とは自分自身の役職や、占い結果など、自分が持ちうる情報や、そのゲーム中の会話すべてを含む。エージェントの対戦ではプロトコルを用いて発言の種類を制限しているものの、会話の展開は多岐にわたる。そのため、ゲームの状態数は膨大な数となる。

そこで、本研究では会話を含めたゲームの状態をベイジアンネットワーク（以降、BN）を用いて表現することを提案し、勝率を向上させることを目標とした意思決定モデルの作成を目的とする。

3.2 提案手法

本研究で提案する意思決定モデルは、参加者エージェントのうち、どのプレイヤーに投票すべき（または、占い、襲撃）かを決定する。意思決定モデルは、エージェントが対戦中に意思決定をおこなう際、それまでの会話を含めたゲームの状態を基に意思決定をする（図2）。

意思決定モデルにはBNを用いる。BNとは、不確実性を含む事象の予測や合理的な意思決定、障害診断などに利用することのできる確率モデルの一種として知られている。BNは、確率変数をノードとし、確率変数間の確率的依存関係を有効リンクとする有向グラフで表される。そして、BNは確率モデルを学習データ

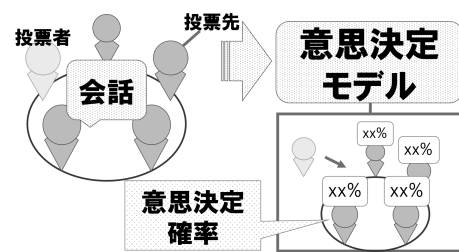


図 2: 意思決定モデル

より学習し、様々な推論をおこなうことができる。本研究では学習データを2018年8月に開催された人狼知能大会のログから勝利したログのみを用いて作成する。これは、ゲームの状況に対して勝利に繋がらない意思決定をしているデータを除くため、勝利したログのみを用いる。

4 ベイジアンネットワークのモデル構築

4.1 3者関係モデル

BNは意思決定モデル搭載エージェント（以降、意思決定者）が他のエージェント1人（以降、対象者）に対して投票先（または占い先、襲撃先）をする確率（以降、意思決定確率）を出力する。そのためには、対象者がどのようなエージェントであるかの情報が必要である。

対象者がどのようなエージェントであるかは、そのエージェントの発言と、第3者から対象者に向けた発言から知ることができると考える。ここで、第3者とは意思決定者と対象者以外のすべてのエージェントである。そのため、第3者は複数名となる場合がある。

また、意思決定者の持ちうる情報（ゲームのルールや占い結果、前日の投票先など）を用いることも必要である。例えば、ルール上で占い師は1人しかいないため、意思決定者が占い師である場合、対象者は占い師ではないことがわかる。さらに、意思決定者の発言が対象者に影響を与えている可能性も考えられる。

以上をまとめると、以下に示す4つの情報が必要となる。このモデルを3者関係モデルと定義する。（図3）

- 対象者の発言
- 第3者の発言
- 意思決定者の発言
- ゲームのルールや占い結果などの情報

以上のような3者間でのモデルを設計することで、エージェント数が増えた場合でも対応可能なモデルとなる。

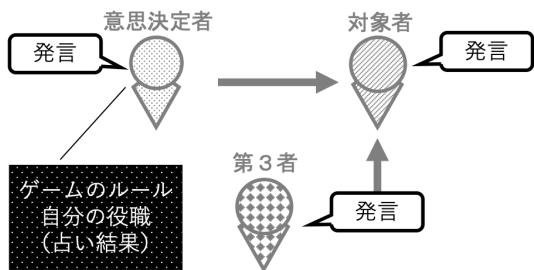


図 3: 3 者関係モデル

4.2 モデルの分割

本研究で作成する BN のモデルは日別、役職別に分けて作成する。これは、人狼ゲームが 1 日目で終了する場合と、2 日目で終了する場合があります。ゲーム終了日が確定していないためである。また、役職ごとに得られる情報の違いや、意思決定の判断基準が異なると考え、役職別に分ける。

以上の理由により、BN は 8 つ用意する。

5 学習データの用意

本研究では、BN の構造推定に用いる学習データを用意する。大会のログから 3 者関係モデルに合わせて、確率変数となる要素を抽出する。

1 つのログに対し、意思決定者と対象者を仮定してデータを抽出するため、1 日目は 20 件、2 日目は 6 件のデータが抽出される。さらに、その中で勝利したログのみを用いる。そのため学習データ件数は表 1 のようになる。

表 1: 学習データ件数

	村人	占い師	裏切り者	人狼
1 日目	122,400	61,200	24,572	24,572
2 日目	2,810	2,186	7,756	8,640

6 意思決定モデルの構築

学習データを用いて BN を構築する。BN のグラフ構造の決定は、Learning model using domain Knowledge 法 [4] (LK 法) を用いて構築する。LK 法とは、学習データからの情報量基準を使った構築法と、対象ドメインにおける因果関係に関する知識を反映してモデルを構築していく方法である。

本研究では情報量基準に AIC 値を用いる (式 1)。

$$AIC = -2 \sum_i \sum_j [CPT(i, j) \{\log CPT(i, j)\} CTT(i, j)] + 2(i-1)j \quad (1)$$

ここで $CPT(i, j)$ とは、確率変数間の依存関係を示す条件付き確率の行列の i 行 j 列の値である。また、 $CTT(i, j)$ とは、データ中における確率変数間のクロス集計表の i 行 j 列の値である。第 1 項はデータへの一致の良さを表し、第 2 項はフリーパラメータの数であり、学習データへ一致しすぎることを防ぐ役割を持つ。

また、知識としてゲームの進行を考え、確率変数間の原理的な依存関係のみを用いる。例えば、「1 日目の発言」の確率変数 X_1 と「2 日目の発言」の確率変数 X_2 の因果関係を考えるとする。このとき、ゲームの進行に沿って X_1 の後に X_2 の確率変数が観測されることになる。つまり、 X_1 が X_2 の事前確率となることはあっても X_2 が X_1 の事前確率とならないことは自明である。このように、ゲームの進行を考慮して依存関係が明らかに発生しないもののみを用いる。

学習データを用いて LK 法によってグラフ構造を構築した後、各確率変数の CPT を再び学習データより算出する。以上により構築された BN を用いて確率推論をおこない、参加プレイヤーへの意思決定確率を求める。確率推論とは、構築した BN モデルに確率変数の観測値を入力し、未知のノードの確率分布を求める推論である。この観測値を証拠と呼ぶ。

会話終了後、エージェントによる投票をおこなう直前にそれまでの会話を BN に証拠として入れる。

その後、意思決定確率を取得し、最も高い意思決定確率を得たエージェントに対して投票・占い・襲撃をおこなう。

7 評価実験と考察

7.1 評価手法及び評価対象エージェント

人狼知能大会はエージェント同士を対戦させ、勝率を競う大会である。また、大会参加者エージェントは会話から相手の役職を推定し投票先を決定している。

本研究では大会のログから意思決定モデルを構築した。そのため、ゲーム状況に基づく投票が可能である上に、ランダムに投票するエージェントに比べて勝率が上がることが期待できる。そこで、本研究で提案した意思決定モデルが勝率の上昇に貢献しているかを調べるため、意思決定モデルを組み込んだエージェントを作成する。

実験エージェントは、全部で 4 つ作成した。会話をしないエージェントとそのエージェントに意思決定モデルを組み込んだエージェントの 2 つと、サンプルエージェントとそのエージェントに意思決定モデルを組み込んだエージェント 2 つの合計 4 つである。

NonSpeak

会話をしないエージェント。投票行為はランダム

表 2: 人狼知能対戦の 5 人人狼の結果

自身の役職	NonSpeak		NonSpeak_w/BN		平均勝率の差	有意差 ^a
	勝率平均	標準偏差	勝率平均	標準偏差		
VILLAGER	0.5888	0.0203	0.8127	0.0137	0.2239	○
SEER	0.5684	0.0467	0.5773	0.0105	0.0089	△
POSSESSED	0.0362	0.0094	0.0792	0.0081	0.0430	○
WEREWOLF	0.0772	0.0135	0.144	0.0119	0.0668	○
自身の役職	Sample		Sample_w/BN		平均勝率の差	有意差 ^a
	勝率平均	標準偏差	勝率平均	標準偏差		
VILLAGER	0.5776	0.0160	0.784	0.010	0.1956	○
SEER	0.5598	0.0836	0.698	0.006	0.1391	○
POSSESSED	0.0397	0.0102	0.0957	0.009	0.0560	○
WEREWOLF	0.0926	0.0084	0.1066	0.007	0.0140	○

^a○: 有意差がある △: 有意差があるとは言えない

におこなわれる。

Sample

人狼知能プラットフォームに標準で含まれている適当な会話をするサンプルエージェント。投票行為は組み込まれたサンプルの意思決定モデルに基づき決定される。

NonSpeak_w/BN

上述の会話をしないエージェントと投票行為以外は同じである。投票行為のみ本意思決定モデルに従う。

Sample_w/BN

Sample エージェントと会話については同じである。投票行為のみ本意思決定モデルにより決定する。

人狼知能プラットフォームを利用し、CEDEC2018の大会上位4名と、作成したエージェント1名による5人を対戦させ、勝率を調べる。1セット1000回とし、10セット試合をおこなう。その後、「NonSpeak」と「NonSpeak_w/BN」のウェルチのt検定 ($\alpha=0.05$)をおこない、意思決定モデルによる有意差を確認する。同様に「Sample」と「Sample_w/BN」のt検定もおこなう。

7.2 評価結果と考察

勝率を計測した結果を表2に示す。計測した結果、すべての役職において勝率が向上し、有意差が認められた。特に、村人役職のNonSpeak_w/BNは22.3ポイントの向上が見られた。

実験結果より、NonSpeak_w/BNの占い師以外は有意差が確認できた。有意差が出なかった要因として、学習データとした大会のログ中に何も話さない占い師エージェントが存在しないため、適切な推論がおこなわれな

かったと考える。これを裏付けるように、Sample_w/BNでは、会話をおこなうため、有意差が確認され、勝率が向上した。

また、投票先の役職を調べた結果を表3に示す。さらに、占い先の役職、襲撃先の役職を調べた結果を表4と表5に示す。

村人は、表3より、高い確率で人狼推定がおこなわれたことが勝率向上の理由であると考えられる。つまり、村人は意思決定に必要な人狼推定を会話からおこない、人狼に対して投票していると考えられる。

Sample_w/BN エージェントでの占い師の場合、1日目の人狼投票確率が49%、2日目の人狼投票確率が90.1%と村人ほどではないが高い人狼推定ができていると考えられる。これによって勝率の押し上げに貢献していると考えられる。また、表4より、村人、人狼に占いを当てている確率が高い。これは、裏切り者が人狼陣営に貢献するため、嘘の占い師宣言をすることを考えると、裏切り者に占い先を当てていないことは適切な意思決定であると考えられる。

裏切り者と人狼の役職では有意差が出たものの、大きな勝率向上は見られなかった。裏切り者は表3より、1日目は人狼に誤って投票することを避けるため、占い師に投票をしていると考えられる。また、2日目には、人狼に投票する確率が低いため、勝利に貢献する投票先決定をおこなっている。それでも勝率が大きく向上しない理由として、裏切り者の場合、どれだけ勝利に貢献する行動をとったとしても、勝敗は人狼役職を割り当てられたエージェントに依存してしまい、うまく勝率を上げることができないという、役職固有の問題があるためだと考える。

人狼の場合は会話によって意思決定をするだけでなく、会話によって周りの投票を誘導する必要がある。さらに、裏切り者との協調行動が必要となる役職である。

表 3: 投票先の役職

自身の役職	日にち	投票先の役職							
		NonSpeak_w/BN				Sample_w/BN			
		VILLAGER	SEER	POSSESSED	WEREWOLF	VILLAGER	SEER	POSSESSED	WEREWOLF
VILLAGER	1 日目	0.2052	0.0000	0.0000	0.7948	0.2320	0.0000	0.0000	0.7680
	2 日目	0.0071	0.0000	0.0000	0.9929	0.0000	0.0000	0.0051	0.9949
SEER	1 日目	0.4102	0.0000	0.2862	0.3036	0.2685	0.0000	0.2407	0.4908
	2 日目	0.0092	0.0000	0.1049	0.8859	0.0000	0.0000	0.0985	0.9015
POSSESSED	1 日目	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.4907	0.3253	0.0000	0.1840
	2 日目	0.4386	0.3646	0.0000	0.1968	0.0489	0.6982	0.0000	0.2530
WEREWOLF	1 日目	0.0000	0.8446	0.1554	0.0000	0.0129	0.6415	0.3456	0.0000
	2 日目	0.9574	0.0007	0.0420	0.0000	0.4894	0.2557	0.2549	0.0000

表 4: 占い先の役職

NonSpeak_w/BN				Sample_w/BN			
VILLAGER	SEER	POSSESSED	WEREWOLF	VILLAGER	SEER	POSSESSED	WEREWOLF
0.6750	0.0000	0.2350	0.0900	0.6847	0.0000	0.1549	0.1604

このため、提案手法のみでは大きな変化が得られなかったと考えられる。

8 まとめ

本研究では、ゲームの状況から意思決定をするエージェントのための意思決定モデルを提案した。

評価結果より、提案手法は村人陣営の役職の勝率には大きく貢献しており、同時に、ゲームの状況に基づく意思決定ができていることを確認した。しかし、人狼陣営の役職に対しては、大きな勝率の変化が見られなかった。これは、村人陣営よりも、人狼陣営は更に複雑な推論を必要とするためだと考える。

本研究の今後の課題として以下の2点を挙げる。

1つ目は意思決定モデルに基づいた発言をするエージェントの作成である。Sample_w/BN エージェントは意思決定モデルに合わせた発言をしていないため、Sampleの発言によって意思決定モデルの結果が左右されてしまう可能性がある。これを解決するために、意思決定モデルに合わせた発言をするエージェントの開発が必要であると考えられる。

2つ目は5人以上の人狼ゲームへの応用である。人狼ゲームは5名以上の複数名でおこなわれる多人数ゲームであるため、人数の変化に対応することが望ましい。本研究では複雑な推論を必要としない5人狼を対象としたが、これを複数名に対応するようにモデルを変

更することで、より人数に対して柔軟な意思決定モデルが作成できると考える。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP16K00310, JP17K00317 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 鳥海不二夫, 片上大輔, 大澤博隆, 稲葉通将, 篠田孝祐, and 狩野芳伸. 人狼知能 だます・見破る・説得する人工知能. 森北出版, 2016.
- [2] 大川貴聖, 吉仲亮, and 篠原歩. 深層学習を用いて役職推定を行う人狼知能エージェントの開発. *The 22nd Game Programming Workshop 2017*, 2017.
- [3] 近藤まなみ, 長谷川拓, 森直樹, and 松本啓之亮. Lstm を用いた人狼予想と人狼ゲーム分析. *The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence 2018*, 2018.
- [4] 本村陽一 and 岩崎弘利. ベイジアンネットワーク技術-ユーザ・顧客のモデル化と不確実性推論. 電機大出版局, 2006.

表 5: 襲撃先の役職

NonSpeak_w/BN				Sample_w/BN			
VILLAGER	SEER	POSSESSED	WEREWOLF	VILLAGER	SEER	POSSESSED	WEREWOLF
1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000