

正体隠匿型ゲーム「ShadowRaiders」を用いた陣営推定効果の検証

木島 花蓮¹ 横山 大作¹

概要: 本研究では、正体隠匿型ゲームにおける役職や陣営等の推定手法の研究に有用なゲーム環境を構築することを目指し、「ShadowRaiders」の有用性を検証する。現在、正体隠匿型ゲームとしては「人狼」ゲームが広く研究されているが、自然言語でゲームが進行するためプレイにおけるロジック以外の要素の影響が大きいこと、また陣営や役職の推定精度の良し悪しが勝率に直結しないことなどから、陣営推定手法の効果の評価が困難になるという課題がある。「ShadowRaiders」は、発言に依存せず、行動や選択に基づいて陣営を推定できるゲームであり、他プレイヤーの陣営の推定がゲームの勝敗に直接影響する点が特徴である。本研究では、このゲームのルールを一部改変し、ランダム性を減少させることで、より推定手法の優劣が勝敗に関係する、評価しやすい環境を構築した。さらに、推定情報を基に行動を決定するヒューリスティックプレイヤーを実装し、その性能を評価した。実験の結果、本研究で示した環境が有用であることがわかり、推定精度が0から100%まで変化するとき、勝率も25%程度変動することが確認された。これらの結果から、本ルールを用いた「ShadowRaiders」は、正体隠匿型ゲームにおける役職や陣営推定手法の研究に有用であることが示された。

Investigating the usefulness of "ShadowRaiders" in estimating teams in identity-hiding games.

1. はじめに

多人数不完全情報ゲームと呼ばれるゲームの中には、隠された役職（陣営）があり、それぞれが相手の役職を推定しながら、また場合によっては自分の正体を隠しながら進めていく、正体隠匿型と呼ばれるゲームがある。自分がゲームの全ての情報を得ることができない不完全情報ゲームは、社会全ての情報を得ることができない実社会と通じる物があると考えられ、中でも、相手が嘘をついていることや隠し事をしているという状況は実社会において実際に多く存在する。そのため、ゲーム上で行動等から隠された陣営や正体を見極めることは、ゲームのみならず、現実社会でも同様に隠された嘘や正体を見抜くことで問題の解決につながると考えられる。

正体隠匿型ゲームの中でも「人狼」ゲームは、この分野において広く研究されてきた代表的なゲームであり、発言情報や行動パターンをログから学習し、これをもとに役職の推定を行う手法が数多く提案されている。しかし、人狼

ゲームはプレイヤーの発言をもとに推定を行うゲームであり、この発言を分類してそれをもとに陣営を考える必要もあり、コンピュータプレイヤーが推定以外の複数の要素を必要とする。また推定ができたとしても、直接的に相手を攻撃することはできず、勝率に直結するとは限らない為、推定手法の評価が困難である。

そこで、本論文では、「ShadowRaiders」*¹というゲームを用いた陣営推定の研究を提案する。「ShadowRaiders」は正体隠匿型ゲームの一例であり、発言情報に依存せずにプレイヤーの行動や選択を基に陣営を推定することができる。また、プレイヤーの行動がゲームの進行に直接的な影響を与えるため、推定結果の評価が明確である。陣営推定が成功すれば、ゲームの勝敗に直結することが多く、推定手法の有効性を客観的に評価することができる。本論文では、ルールを一部改変してランダム性を減少させ、より評価しやすい環境を構築するとともに、推定情報をもとにルールベースで行動の決定を行うヒューリスティックプレイヤーの実装を行った。この改変ルールとヒューリスティックプレ

¹ 明治大学大学院

*¹ <http://www.cosaic.co.jp/games/sr.html>

イヤの性能の評価を行うとともに、この改変ルールを用いて、役職や陣営の推定精度が勝率に与える影響を検証する。本論文の貢献は以下のとおりである。

- ShadowRaiders のルールを微修正し、ゲーム性を保ったままで陣営推定手法の優劣を評価しやすいゲームを提案した。
- ヒューリスティックなプレイヤーを実装し、本ルールを用いた Shadowraiders において、推定精度が 0 から 100 % まで変化するとき、勝率に 25 % 程度影響することを確認した。

2. 関連研究

正体隠匿型ゲームにおいて役職や陣営等を推定する研究について、先行研究のほとんどが人狼についての研究である。人狼ゲームの陣営推定に関しての研究として、大川ら [2] は占いにに関してや襲撃先、生死等の一部の情報に加え、自分以外のプレイヤーに肯定的な意見や否定的な意見をした場合の情報を加えて入力とし、SVM と多層パーセプトロンを使用して陣営推定を行っている。この結果、どちらも 70 % 前後での推定精度となり、勝率は 54.1% となっている。ランダム選択のエージェントは 50.5% であることから、3.6% 高いという結果となっており、大会では 1% の差で順位が変動するため有効であるとされているが、結果の差がわずかであることから、勝率の評価は難しいものであるとわかる。人狼においての陣営推定を行う研究についての多くは、「人狼知能」という大会のルールに準拠して行われている。このルールでは発言情報は「ESTIMATE」「AGREE」等のいくつかの種類に制限されており、この発言情報や襲撃等の情報をもとに推定が行われている。塚本ら [1] は LSTM を用いてこれらの会話情報と襲撃情報から推定しており、こちらは大会によっては 2 日目には 80~90 % 程度の精度となっている。また、福田ら [3] は前述の大川らのモデルに追加で役職推定者の役職や占いの対象となっているプレイヤーとそのプレイヤーの発言など、いくつかの情報を追加して入力した役職推定モデルを提案しており、こちらは 1 日目からおおよそ 99 % を超えるほどの非常に高い正答率となっている。しかし、これらは大会のログに基づいてデータの収集およびテストを行っている。そのため、大会で使われているエージェントによってはデータに偏りがあることも考えられる。

3. ShadowRaiders のルール

3.1 ゲームの概要

ShadowRaiders は 4 人以上で行う正体隠匿型不完全情報ゲームである。各プレイヤーはゲーム開始時にそれぞれ個別の属性（シャドウ、レイダー、シチズンの 3 陣営のいずれか）と勝利条件を持つキャラクターを与えられる。このキャラクターは本人しか分からない。ゲームは移動、移動

先のエリアの指示による行動、他プレイヤーへの攻撃の 3 ステップを順番に行うことで進行する。シャドウとレイダーは敵対陣営の排除を目指し、シチズンは個別の勝利条件を達成することを目指す。

このゲームではプレイヤーの正体が隠されており、勝利するためには誰が敵で誰が味方かを探り、自分の勝利条件を満たせるように攻撃などを行う必要がある。自分の正体を隠しつつも、味方とは連携を取る必要があるため、高度な推理戦を求められる。また、各種カードを駆使して敵を出し抜き、味方と協力する戦略が求められる。そのため、プレイヤーは素早く他プレイヤーの正体を推定し、状況に応じた柔軟な戦略を立てることが重要となる。

また、推定に必要なゲームの状態空間としては、各攻撃やカードを使用した際の行動の履歴が関係する。攻撃や回復の際の対象は 4 人から選ばれ、カードを選ぶ場合はカード 3 種類のうちから選択するため、これらの状態空間は、各行動回数を n, m, p として、以下の通り表せる。

- 攻撃の際の対象: 4^n
 - カード使用時の対象: 4^n
 - ブラックミスト地区で選択されるカードの種類: 3^n
- よって、行動履歴の総状態空間は、以下の式で表される:

$$4^n \times 4^m \times 3^p$$

また、更にゲーム全体の状態空間について考えると、各プレイヤーに対して、HP の状態や、現在いるエリアの状態が加わる。

- HP の状態空間: $11^5 = 161051$
- エリアの状態空間: $6^5 = 7776$

そのため、ゲーム全体の状態空間は、上記の各部分の状態空間を掛け合わせたものとなる。具体的には、

$$11^5 \times 6^5 \times 4^n \times 4^m \times 3^p$$

となる。

3.2 改変ルール

ShadowRaiders はランダム性の高いゲームであり、例えば攻撃のダメージ量をダイスの目で決める等、推定が正しく行ってもダメージが 0 となってしまうこともある。そのため、より評価がしやすい環境になるよう、本研究ではゲームのルールを一部改変し、ランダム性を下げた状態でプレイを行う。改変したルールは以下の通りとなる。

3.2.1 プレイ人数とキャラクターの構成

- プレイ人数は 5 人（シャドウ 2 人、レイダー 2 人、シチズン 1 人）
- 全キャラクターの HP を、特殊な勝利条件を持つ「アリス」を除き 11 に統一し、アリスのみ本来の HP である 8 とする。また、キャラクターが持つ特殊能力は使用しないルールとする。

- シチズンキャラクターは「アリス」と「ダニエル」のうち1人を選択
- 勝利条件はレイダー陣営が「シャドウの全員脱落」、シャドウ陣営が「レイダーの全員脱落」、シチズン陣営は「アリス」が「脱落しない」、「ダニエル」が「最初に脱落する、またはシャドウ陣営が勝利し、かつ生き残る」

3.2.2 カードの使用

プレイ中は3種類のカードを使用する。カードには、他のプレイヤーの陣営を絞れる「推理カード」と、攻撃や回復を行うカードである「黒のカード」「白のカード」の3種類がある。推理カードは標準セットを全て山札とする。「HPが11以下」「HPが12以上」という条件のあるカードもあり、本ルールでは全てのキャラクターのHPが11以下であるため絞れないが、これについては外れカードとして山札に含めたままとする。

白、黒のカードには「使い捨てカード」と「装備カード」がある。どちらも引いたらただちにそのカードの内容を公開する。使い捨てカードを引いた場合には、そのカードの指示に従った後、そのカードは捨て札とする。装備カードを引いた場合には、そのカードを所持することとし、所持している間は常にカードの効果が発動する。”神秘のコンパス“以外のカードは必ず効果を使用しなければならない。この効果は必ず装備はいくつでも所持することができ、その効果は累積される。引ける白のカード、または黒のカードがなくなった場合、推理カードと同様に捨て札をシャッフルして新しい山札とする。

黒のカード、白のカードについては、標準セットから以下のカードは除外して使用する。

- ガトリング：「あなたの攻撃は、攻撃可能レンジにいる全てのプレイヤーに対して行われる。」
→本ルールでは攻撃はどのエリアのプレイヤーにも可能のため、全てのプレイヤーに対して攻撃を行ってしまう。そのためこのカードは除外する。
- 妖刀マサムネ：「あなたは攻撃可能なレンジに他のプレイヤーがいる限り必ず攻撃を行わなければならない。この攻撃は4面ダイスのみを使用し、その出目と同数の攻撃ダメージを与える。」
→本ルールでは全てのエリアのプレイヤーに対して攻撃可能のため、攻撃をしないという選択を取ることが基本ない。また、攻撃ダメージも1ダメージで固定している。そのためこのカードの効果がないため除外する。
- 賢者のローブ：「あなたが行った攻撃のダメージが1減少する。あなたに対して行われた攻撃のダメージが1減少する。」
→本ルールでは攻撃の際の基本ダメージを1で固定しているため、このカードを使用すると攻撃不可になってしまう。そのためこのカードは除外する。

3.2.3 ゲームの進行

プレイ順はランダムに決定する。手番プレイヤーはまずダイスを振ってその目に準じたエリアボード(表1)に移動し、エリアボードの指示に従いカードを引く、または攻撃や回復を行う。

表1 エリアボードごとの指示
 Table 1 Instructions per area board.

ダイス	名称	詳細
2,3	探偵事務所	推理カードを引く
4,5	ブラックミスト地区	推理カード、白のカード、黒のカードのいずれかを引く
6	大聖堂	白のカードを引く
7	地下通路	黒のカードを引く
8	市庁舎	プレイヤーの内1人を選択し、2ダメージ与える又は1回復する
9	オリバーの隠れ家	他プレイヤーの任意の装備カードを1枚奪う(誰も装備カードを持っていない場合何も起きない)

次に攻撃を行うが、本来のルールでは攻撃できるエリアが限られており、更に攻撃をするかどうかも選択できたが、本ルールでは全てのプレイヤーを攻撃可能とし、そのため攻撃は必ず行うようにする。また、本来ダメージ量もダイスによって決めるが、本ルールの攻撃は1ダメージとする。いずれかのプレイヤーが自身の勝利条件を満たした場合、その時点でゲームは終了とし、ゲーム終了時点で勝利条件を満たしているプレイヤーは、脱落したプレイヤーを含めて全員勝利となる。

4. ヒューリスティックプレイヤーの実装

改変ルールを用いた環境が、陣営推定の研究を行う環境として適切かの検証のため、推定精度による勝率に差や、本来のルールとの差を確かめる実験を行う。そのために、推定情報をもとに行動を決定するヒューリスティックなプレイヤーを実装する。ヒューリスティックなプレイヤーが攻撃やカードの使用先等の行動を決める際は、ルールベースで決定を行う。各行動選択方法については以下に示す。

4.1 攻撃・回復

攻撃時や、対象を1人選んで攻撃を行うカードを引いた場合、推定情報をもとに最も敵らしいプレイヤーを選ぶ。また、同様に対象を選んで回復を行うカードを引いた場合、プレイヤーは推定情報をもとに最も味方らしいプレイヤーを選ぶ。ただし、味方陣営の候補が複数いて、差がない場合は、残りHPの少ないプレイヤーを選ぶ。

4.2 移動先

移動先を決めるダイスの目が10だった場合、または装

備カード“神秘のコンパス”を所持している場合、プレイヤーは移動先を選択できる。ただし、前者の場合は手番プレイヤー自身が現在いるエリアは選択不可能であり、後者の場合は2回ダイスを振った好きな方を選べる。そのため、後者の場合は10が含まれていれば10を選ぶ。他の優先順位としては以下の通りの優先順位で移動可能なエリアに移動する。

- 他プレイヤーの陣営が全く絞れていない場合
 - (1) 「探偵事務所」 or 「ブラックミスト地区」(どちらでも行ける方)
 - (2) 「市庁舎」
 - (3) 「地下通路」「大聖堂」(レイダーは「大聖堂」、シャドウは「地下通路」優先)
 - (4) 「オリバーの隠れ家」
- 他プレイヤーの陣営が1人でも絞れている場合
 - (1) 「市庁舎」
 - (2) 「ブラックミスト地区」
 - (3) 「地下通路」「大聖堂」(レイダーは「大聖堂」、シャドウは「地下通路」優先)
 - (4) 「オリバーの隠れ家」
 - (5) 「探偵事務所」

4.3 エリアでの行動

プレイヤーに行動の選択肢があるエリアは3つ存在する。まず1つ目は「市庁舎」であり、このエリアでは、攻撃と回復のどちらを行うか、また誰に対して行うかを選択できる。手番プレイヤー自身のHPが残り半分以下となっていた場合はまず最優先で自身に対する回復を行う。そうでない場合、他プレイヤーの中で敵陣営であるプレイヤーが判明していれば、その人物に対する攻撃を行う。敵陣営のプレイヤーが判明しておらず、味方陣営のプレイヤーが判明している場合は、味方陣営プレイヤーが手番プレイヤー自身よりダメージが大きければ味方陣営のプレイヤーを、そうでなければ手番プレイヤー自身の回復を行う。どちらの陣営も不明な場合は自分以外のプレイヤーにランダムで攻撃を行う。

2つ目に、「ブラックミスト地区」という、引くカードを白のカード、黒のカード、推理カードのうちから1つ選ぶエリアがある。プレイヤー人数の半分未満(本ルールでは2人)しか陣営を絞れていない場合は推理カードを9割の確率で選ぶ。ただし、「陣営を絞れている」とは3陣営中2陣営以下まで確定している状態を指す。残りの1割はプレイヤーの陣営によって選ぶ。レイダーの場合は白のカードを、シャドウの場合は黒のカードを、市民の場合はそれぞれのカードを0.5割ずつの確率で選択する。陣営が絞れている場合、レイダーは黒のカードを7割、白のカードを3割の確率で、シャドウは黒のカードを7割、白のカードを3割の確率で、市民はそれぞれ5割ずつで選択する。

最後が「オリバーの隠れ家」であり、このエリアでは他

のプレイヤーのうち1人を選択し、任意の装備カードを奪うことができる。ここでは一番敵らしいプレイヤーを選んで奪う。もし敵陣営と推理しているプレイヤーに装備カードを持っているプレイヤーがいなかった場合、味方陣営と推理している中でも味方である確率が出来るだけ低いプレイヤーで、装備カードを持っているプレイヤーを選ぶ。奪える装備カードが複数ある場合、下記の装備カードの優先順位の高いものから奪う。これは装備カードを奪うことのできるカードでも同様である。

- (1) いにしへの聖杯
- (2) 黒の装備カード
- (3) 神秘のコンパス
- (4) 銀のロザリオ
- (5) 幸運のプローチ
- (6) エクスカリバー

4.4 特殊なカードでの行動

カードの中には、特殊な効果を持つカードが存在する。その中でもプレイヤーの意思が関係するものでの行動を以下で説明する。

- 正体公開系カード
正体(キャラクター)を公開するとHPを全回復できるカード。ダメージが残りHPが半分以下の場合は正体公開を選択する。
- 装備を渡すカード
一番味方らしいプレイヤーを選んで渡す。ただし、渡せるカードが複数ある場合、後述の装備カードの優先順位の低いものから渡す。
- ”応急手当”
任意のプレイヤーのダメージを7にするカード。手番プレイヤー自身のダメージが7より大きい場合は自身に使用する。そうでない場合、味方陣営のプレイヤーが判明していて、なおかつそのプレイヤーのダメージが7より大きければその味方に使用する。どちらでもない場合、敵陣営のプレイヤーが判明していて、そのプレイヤーのダメージが7未満の場合、その敵プレイヤーに使用する。条件に合うプレイヤーがいない場合は、自分以外のプレイヤーからランダムで選択する。
- ”エクスカリバー”
正体を公開することで攻撃のダメージを2増加させるカード。現在の手番プレイヤーの攻撃のダメージ量に2増加させたとき、攻撃対象を脱落させることができる場合のみ正体公開を選ぶ。

5. 実験

5.1 推定精度の勝率への影響

本ルールを用いることで実際にどれだけ推定精度が勝率に結びつくかを確認する。推定精度ごとの勝率を確認する

ために、推定できている人数を0から4人の4パターンで実行し、それぞれ1万回実行したときの勝率を出した。推定できている人数が0のとき推定精度0%、4人のとき100%である。ここで、推定できている1人の陣営はランダムに選出し、残りの人数の推定についてはどの陣営の確率も3割であるとした。結果以下の表2の通りとなった。また、それぞれの勝率に対して、ウィルソンの信頼区間%を計算すると、結果は1の通りとなった。

表 2 推定精度と勝率の関係

Table 2 Relationship between estimation accuracy and win rate.

推定精度 (%)	0	25	50	75	100
勝率 (%)	43.5	54.3	63.5	66.8	67.2

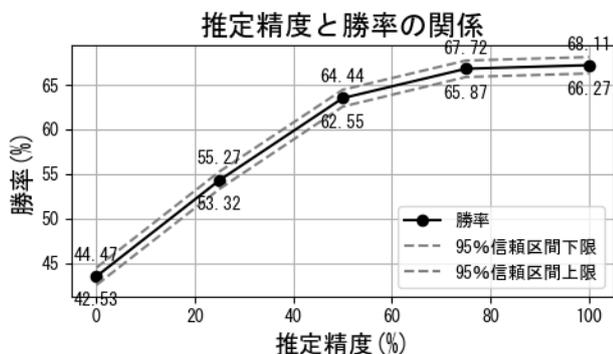


図 1 推定精度に関する勝率の信頼区間

Fig. 1 Confidence intervals for the win rate with estimation accuracy

この表から、推定精度が上がるほど勝率も上がり、推定精度をあげることで勝率に最大で20%程度の影響を与えることがわかる。また、推定精度が50%を超えている部分では、差が小さくなっていることがわかる。これについて、推定精度が75%の際は残り1人の陣営も確定していることから、この二つの差がほとんどない結果となっていると考えられる。また、50%の際も、味方陣営、市民陣営の2陣営が分かっている場合は残りのプレイヤーが敵陣営であることが確定するなど、絞られる範囲があがるため、差が出にくくなっているのではないかと考えられる。

この検証のため、2人推定確定している場合のそのプレイヤーの陣営による勝率の違いを確かめる。こちらも同様に、各パターンでのプレイを1万回行うことで確かめた。結果として以下の表3の通りとなった。また、それぞれの勝率に対して、同様にウィルソンの信頼区間%を計算すると、結果は2の通りとなった。

この表から、敵1人と市民のみしか推定できていない場合が大きく勝率が低いことが分かる。これは、推定できて

表 3 推定陣営と勝率の関係

Table 3 Relationship between estimation teams and win rate.

推定陣営 (%)	{ 敵, 市民 }	{ 味方, 敵 }	{ 敵, 敵 }	{ 味方, 市民 }
勝率 (%)	55.0	62.4	66.2	67.1

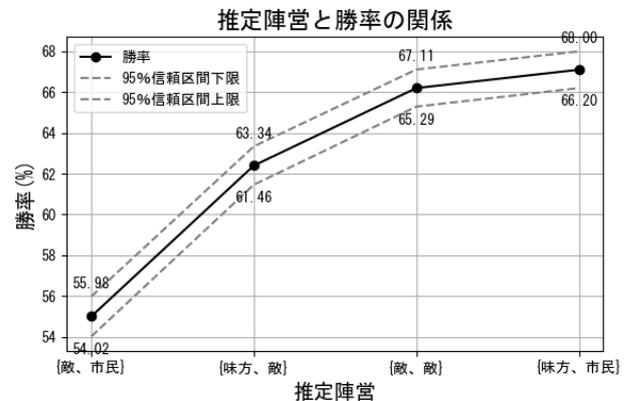


図 2 陣営に関する勝率の信頼区間

Fig. 2 Confidence intervals for the win rate with estimation teams

いない残りのプレイヤーが味方、敵のプレイヤーであることから、推定できていないプレイヤーが残った場合に回復対象も攻撃対象も全くわからない状態になってしまうことが原因と考えられる。また、最も高い勝率となっている味方、市民の組み合わせは、残りのプレイヤーが敵だけであり、完全に推定できている状態とほとんど変わらない為、勝率も推定が100%できているときと0.1%の誤差しかない。また、敵2人が推定できているときも残りが市民か味方の2択であることから、攻撃対象に困ることはなく、また市民を攻撃する可能性が低くなるために市民の単独勝利も起こりにくいため、同様に勝率が高いと考えられる。反対に、敵1人と味方が推定できている場合は、推定できていないプレイヤーに市民と敵がいるため、誤って市民を多く攻撃してしまうと、単独勝利を取られる場合があり、その分若干勝率が下がっているのではないかと考えられる。

5.2 変更ルールの有用性の検証

まず、本ルールでランダム性がどれだけ取り除けるかの実験を行う。プレイ人数やキャラクター構成は変更せず、各プレイヤーのHPを本来のものとし、攻撃できる対象は、現在いるエリアともう一つの特定のエリアにいるプレイヤーのみとする。また、攻撃のダメージも、6面ダイスと4面ダイスを振り、その差とする。つまり最大5、最小1のダメージとなる。また、除外していたカードも除外せず加える。本来のゲーム環境と、変更ルール、それぞれにおいて、推定は完璧、つまり他プレイヤーの陣営はわかっている状態で、ヒューリスティックなプレイヤーに推定を渡してプレイを行う。どちらも1万回ずつ試行した結果、以下の表4の通りとなった。

表 4 本来のルールと改変ルールの勝率

Table 4 Winning rate for original and modified rules.

	本来のルール	改変ルール
勝率 (%)	58.3	67.2

この結果からわかるように、ランダム性を下げたことにより、大きく勝率が上がることが確認できた。

6. まとめと今後の展望

本研究では、正体隠匿型ゲーム「ShadowRaiders」を対象とした陣営推定の研究において、評価しやすい環境の構築とヒューリスティックプレイヤーの実装を行い、その有用性の検証を行った。また、これを用いた環境での推定精度の勝率への影響の検証も同時に行った。その結果、本ルールを用いることでランダム性を下げたプレイが可能となり、推定精度が高まるにつれて勝率も上昇したことから、推定手法の評価を行いやすくすることが確認できた。

「ShadowRaiders」を陣営推定の研究に利用する利点は以下の通りである。まず、会話情報が存在しないため、推定部分以外の複雑な要素を必要としない。さらに、ShadowRaiders ではプレイヤーの選択肢が多く、状況に応じた戦略が必要となるため、推定アルゴリズムのテストに適している。加えて、本ルールを使用することによりランダム性を大きく下げた状態でのプレイが可能となり、推定能力が勝率に大きく影響する状態となることから、推定精度の適切な評価が可能となる。以上の理由から、ShadowRaiders は陣営推定アルゴリズムの研究において有用な題材であると考えられる。今後の展望としては、現在ヒューリスティックなプレイヤーを実装しているが、これをより高い勝率になるようなエージェントの実装を行う、具体的には DQN 等の深層強化学習を用いた実装を行うことや、適当な役職推定モデルを構築してより高い推定精度を目指すことがあげられる。

参考文献

- [1] 塚本 晴庸、大村 英史、桂田 浩一：人狼ゲームにおける発言ベクトルを用いた役職推定, 人工知能学会第 34 回全国大会, 2020
- [2] 大川喜聖、吉仲亮、篠原歩：深層学習を用いて陣営推定を行う人狼知能エージェントの開発, 第 22 回ゲームプログラミングワークショップ, pp.50-55, 2017
- [3] 福田 宗理、穴田 一：15 人狼ゲームにおける会話情報による役職推定, 情報処理学会第 82 回, 2020