

2023 年度 修士論文
論理的思考に基づく
人狼プレイヤーエージェントの現状と改善

奈良女子大学大学院 人間文化総合科学研究科
情報衣環境学専攻 博士前期課程 2 回生
新出研究室 22720053 杉山華那依

2024 年 1 月

概要

人工知能の研究として、人狼ゲームをプレイする人工知能、通称「人狼知能」が注目を集めている。先行研究では、強化学習を用いたものが多く存在するが、論理的思考に着目したものはあまり見受けられない。我々は、BDI モデルを用いて、論理的かつ人間らしい行動をとる人狼プレイヤーエージェントの実現を目指している。本論文では、現行の BDI 人狼プレイヤーエージェントの問題点を挙げ、改善のための提案をする。さらに、より本質的に論理的な行動選択ができる人狼プレイヤーエージェントの実現のため、将来的に必要な改善について議論を行う。

目次

1	はじめに	6
1.1	研究背景	6
1.2	人狼ゲームのルール	6
2	人狼知能プラットフォーム	8
2.1	人狼知能サーバ	8
2.2	人狼知能プロトコル	8
3	Jason エージェントの現状	9
3.1	先行研究	9
4	現行の Jason エージェントの問題点	10
4.1	実験	10
4.2	狩人による不適切な護衛対象の選択	11
4.3	プレイヤーとして矛盾した発話	13
4.4	ゲーム後半で論理的な発話が減る現象	15
4.5	実験効率向上のための改善	16
5	論理的な人狼プレイヤーエージェント実現に向けての課題	18
5.1	行動選択の根拠と論理性	18
5.2	コードの保守性	19
6	論理的な人狼プレイヤーエージェントの実現に向けての構想	21
6.1	エージェント	21
6.2	対話と推論	21
6.3	信念	21
6.4	具体例	23
7	まとめ	24

図目次

1	村人 (Villager) を護衛対象に選択している様子	11
2	JasonBodyguard_yaku.asl	12
3	エージェント 6 が自己投票している様子	13
4	Because 文の発話	15
5	サンプル 15 体	15
6	サンプル 11 体&Jason4 体	15
7	サンプル 11 体&Basket4 体	15
8	変換前 (ログ原文)	16
9	変換後 (日本語化したログ)	16

表目次

1	各役職の能力と人数 (15 人でプレイする場合の標準)	7
2	各エージェントの狩人が護衛対象に選択したエージェントの CO 役職	12
3	REQUEST ANY 文発話回数と其中での自己投票の割合	13
4	村人・狩人の役職推定 [19]	19
5	エージェントが持つべき信念	22

1 はじめに

1.1 研究背景

近年，人工知能の研究として，人狼ゲームをプレイする人工知能，通称「人狼知能」が注目を集めている．人狼ゲームは，対話型のコミュニケーションによって進行する不完全情報ゲームで，将棋やチェスなどの完全情報ゲームに代わって人工知能の標準問題としての可能性が検討されている [4]．人狼ゲームは，主に村人・人狼陣営に分かれて行うチーム戦であるため，複数エージェント同士の協力が求められる．また，ゲーム進行のための対話においては，相手が人狼かどうかを見抜いたり，仲間と協力することが必要となる．したがって，人狼プレイヤーエージェントには，推論やコミュニケーションなど様々な技術が必要である．これらのことから，人狼知能の研究が進められることは，人工知能の技術の発展にも貢献することが期待できる．

先行研究では，強化学習を用いたものが多く存在するが，論理的思考に着目したものはあまり見受けられない．その中で，大澤ら [13] は，人狼におけるエージェントの推論モデルとして，各エージェントの信念や意図などを明示的に表現できる BDI モデルを提案している．BDI モデルは，人間の心的状態を信念，願望，意図を用いて表すことができるため，それぞれのプレイヤーが自分の信念と願望を持ち，それに基づいた戦略を意図とし，他者の心的状態の推測なども行いながらプレイする人狼ゲームは，BDI モデルとの親和性が高いと考えられる．実際に，BDI モデルを用い，実際の人狼ゲームで行われている複雑な推論を記述する例が示されている [7]．さらに，論理的思考ができる人狼プレイヤーエージェントの実現は，プレイヤーとしての強さだけでなく，ゲームの面白さに大きく貢献すると考えられる．具体的には，エージェントが論理的思考をもとに行動を決定することで，ゲーム後のエピソードや物語が生まれることが期待される．エージェントの思考過程や行動決定の過程を出力することで，プレイヤーはゲームの結果だけでなく，他のプレイヤーを説得したり騙したりする，物語としての人狼ゲームのエピソードを楽しむことができるという利点が見られることが期待できる．類似した趣旨で，AI による人狼ゲームで物語を生み出す研究 [18] があるが，AI によって生成されたゲームの中には論理的矛盾が見られるものもあると報告されている．また，観客が理解できるゲーム展開であることが人狼ゲームにおける面白さの前提であると考えている研究もある [5]．

本研究は，BDI モデルを用いた論理的思考が可能で，より人間らしい行動選択をする人狼プレイヤーエージェントの実現を目指している．そのため，エージェントの思考部分の実装に BDI エージェントの実装プラットフォームである Jason [2] を使用し，現在までに村人陣営の実装を進めている．以下，Jason を用いて実装した人狼プレイヤーエージェントのことを，Jason エージェントと呼ぶ．しかし，現在までに構築された Jason エージェントは，上述の期待をもたらすような意味での論理性を十分に備えているとは言えない．

今後の進展のために，未実装である人狼陣営の実装を進めるだけでなく，これまでに構築された Jason エージェントに関しても再検討が必要だと考えた．そこで，本研究ではいくつかの条件の下で現行の Jason エージェントを用いてゲームを行った際に確認された不十分な実装や不合理な動作について調査し，改善に向けての提案を行う．また，本来求めていた論理的思考に基づいた Jason エージェント構築のため，実現可能性のある構想を述べる．

1.2 人狼ゲームのルール

人狼ゲームのルールは，いくつかの種類がある．本研究では，人狼知能プラットフォームで規定されている 15 人狼のルールについて説明する [6]．

プレイヤーは村人陣営と人狼陣営に分かれ、勝敗を競う。人狼陣営は正体を隠して村人陣営になりすまし、村人陣営は誰が人狼陣営かを探し当てる。村人陣営の勝利条件は、全ての人狼を追放することである。人狼陣営の勝利条件は、人間の数を人狼の数以下にすることである。各プレイヤーは、陣営(村人、人狼)、種族(人間、人狼)、役職(村人、占い師、霊媒師、狩人、人狼、狂人)という3つの属性を持つ。人狼同士を除いて、プレイヤーの陣営・種族・役職は他のプレイヤーには非公開である。村人陣営の役職は、村人、占い師、霊媒師、狩人である。人狼陣営の役職は、人狼、狂人である。狂人は、種族は人間だが人狼陣営に属し、人狼陣営の勝利を目指す。

村人は能力を持たない。占い師は、1日に1人のプレイヤーの種族を判定することができる。霊媒師は、1日に1人の追放されたプレイヤーの種族を判定することができる。狩人は、1日に1人のプレイヤーを人狼の襲撃から守ることができる。人狼は、人狼全員で1日に1人のプレイヤーを襲撃することができる。狂人は能力を持たない。

ゲームは、昼と夜の2つのフェーズを繰り返すことで進行していく。昼のフェーズは、生存プレイヤー同士で対話を行い、投票によって決められた1人が追放される。夜のフェーズは、占い師や霊媒師、狩人が各役職に与えられた能力を行使する。人狼同士の対話によって決められた1人が襲撃される。護衛されていなかった場合は、死亡する。

村人陣営のプレイヤーは、村人陣営になりすました人狼を対話等を通して推測し、追放する。占い結果や霊媒結果などの情報や他のプレイヤーの発話から、誰が人狼かを特定することが重要である。一方人狼陣営のプレイヤーは村人陣営になりすまし、時折占い師や霊媒師を騙るなどの嘘の発話をして、信用を得て人狼陣営に有利な展開に持ち込むことが重要である。ゲームが進行するにつれ、各プレイヤーは投票により追放されるか人狼に襲撃されることでゲームから除外されていく。いずれかの陣営が勝利条件を達成したとき、ゲームは終了する。

表 1: 各役職の能力と人数 (15人でプレイする場合の標準)

	役職	人数	種族	能力
村人陣営	村人	8人	人間	なし
	占い師	1人		1日の終わりに、生存プレイヤーから1人を選んで、そのプレイヤーが人狼かどうかを判定できる。
	霊媒師	1人		1日の終わりに、直前に追放されたプレイヤーが人狼であったかどうかを判定できる。
	狩人	1人		1日の終わりに、生存プレイヤーから1人選んで人狼の襲撃から守ることができる。
人狼陣営	狂人	1人	人狼	なし 人狼陣営だけが判定結果は人間
	人狼	3人		1日の終わりに1人のプレイヤーを指定して襲撃することができる。

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、人狼知能エージェントの開発環境を整えるためのサーバやプロトコルである。人狼知能プロジェクト [17] によって公開されており、人狼知能プロジェクトのホームページで jar ファイルが配布されているほか、GitHub でソースコードも公開されている。また、人狼知能の実装サンプルとして、サンプルエージェントも配布されている。以下、サンプルエージェントとはこのエージェントを指す。

本研究では、人狼知能プラットフォーム ver.0.5.6[16] をベースとして用いた。人狼知能プラットフォームで利用できるプログラミング言語には Java, Python, C#があるが、本研究では Java を用い、Jason によるエージェントと通信する形で実装を行っている。

2.1 人狼知能サーバ

人狼知能プラットフォームでは、1つのサーバに複数のクライアント（プレイヤー）を TCP/IP 通信で接続することによって、ゲームを実行する。サーバはクライアントに Request を通知し、その際必要に応じてゲーム状態、対話内容などの情報を提供する。クライアントはサーバから Request と情報を受け取り、必要に応じてサーバに返信する。人狼知能プラットフォームでのゲームは、この繰り返りで進行する [8]。

2.2 人狼知能プロトコル

人狼知能において、自然言語を用いたゲーム進行は困難である。そのため、人狼知能プラットフォームでは人狼ゲームにおける対話に必要なプロトコルがあらかじめ用意されている。これを人狼知能プロトコルと呼び、1つの文章は役職、動詞、エージェント名の組み合わせで構成されている。本研究では、人狼知能プロトコル ver.3.6[9] を用いた。

3 Jason エージェントの現状

3.1 先行研究

当研究室の先行研究 [3] では、エージェント本体部分の実装に人狼知能プロジェクトによって公開されている人狼知能プラットフォームのサンプルプログラムを用い、思考部分には 1 節に述べた Jason[2] を用いている。これにより、論理的思考に基づいた行動を可能とするための基盤としている。

今回調査の対象とした当研究室の先行研究 [14] では、複数エージェントによる協力プレイを実現可能とするために、村人陣営の 4 つの役職 (村人, 占い師, 霊媒師, 狩人) の Jason エージェントを対象として人狼知能プロトコルで規定されている Because 文を実装した。自分の信念をもとに、他者の行動を変える意図を持って Because 文を発したり、他のエージェントの Because 文を用いた発話を受けて信念を変更し、それによる行動選択を変えることで、エージェント同士の協力プレイを可能にすることを目指した。各 Jason エージェントは、下記の場合に Because 文を用いて推測発話や投票要請を行う。

- 占い師, 霊媒師
 1. あるエージェントの占い結果が人狼であった
 2. 自分の霊媒結果と異なる発話をした偽占い師がいた
 3. 対抗 CO(自分の他に占い師または霊媒師だと名乗る人) が現れた
- 村人, 狩人
 1. 占い師と名乗るエージェントから、人狼だと占われた

また、他のエージェントが Because 文を用いて発話を行った場合、発話者と発話の対象者の怪しさの度合いによって行動を変化させた。先行研究 [19] で用いられた「投票度」をもとに、怪しさの度合いを測る。投票度は、役職推定をもとにした投票先を決定する値である。投票度が高いほど、そのエージェントを人狼として怪しんでいることを表す。本研究では、各エージェントの発話内に現れた投票先によって、発話者の投票度を変化させる仕組みを実装した。発話者の投票先が自分と同じ場合、そのエージェントの投票度を減少させる。投票先が自分だった場合、そのエージェントの投票度を増加させるようにした。その上で、発話者の投票度が発話の対象者の投票度より小さい (発話者より対象者のほうが怪しい) 場合、自身の投票先を対象者に変更するようにした。このように、怪しさの度合い (投票度) によって、Jason エージェントの行動を変化させた。複数のエージェントが Because 文を発話した場合、最も投票度の低いエージェントの要請に従う。

3.1.1 実験と結果

Because 文を導入した Jason エージェントを 4 体使用した場合と、導入していない Jason エージェントを 4 体使用した場合で勝率を比較した。Jason エージェント 4 体と Because 文を発話できるサンプルエージェント 11 体で、15 人での人狼ゲームを各条件で 300 回ずつ行った。その結果、Because 文を導入した Jason エージェントを使用した場合は、未導入の Jason エージェントを使用した場合に比べて勝率が下がった。原因としては、エージェントの発話の投票度をそのエージェントの怪しさの度合いのみで決定したことが考えられる。現状、発話者およびその発話の対象者の怪しさの度合いをもとに行動選択を行っているため、役職推定の値が動かない場合に正しく投票度を測ることができなかったと考えられる。また、投票度の変更を行う際のルールの制定が不十分であることも原因として考えられる。

4 現行の Jason エージェントの問題点

本節では、現行の Jason エージェントの不合理な動作や、論理性を持つための実装が十分でない点について述べる。Because 文が実装された Jason エージェント [14] が現行の Jason エージェントである (以下、現行エージェント)。これは既存の Jason エージェント [19](以下、既存エージェント) に Because 文を追加したのみで、既存エージェントのそれ以外の問題点については改善は行われていない。また、既存エージェントはサンプルプログラムをもとに実装されたもので、サンプルでもバグらしき動作をしているものが現行エージェントまでそのまま受け継がれている様子が見られた。問題点の中でも特徴的だったものについて、以下に述べる。

4.1 実験

以下の 3 つの条件で 100 回ずつゲームを行い、結果を比較した。いずれも 15 人狼で、10 ゲームを 10 セット行った。

- サンプルエージェント 15 体
- サンプルエージェント 11 体と Jason エージェント 4 体
- サンプルエージェント 11 体と Basket エージェント 4 体

Basket は、第 4 回人狼知能国際大会の優勝エージェントである [1]。Jason エージェントは、Because 文が実装されている現行エージェントである。Jason エージェントと Basket エージェントの役職はいずれも固定で、占い師 1 人、霊媒師 1 人、狩人 1 人、村人 1 人にした。それ以外の役職は、サンプルエージェントからランダムに決定した。その結果、以下の 3 つの問題点が見つかった。

狩人による不適切な護衛対象の選択 Jason エージェントの狩人が、不適切と思われる対象を護衛している現象が頻繁に見られた。

プレイヤーとして矛盾した発話 人狼と予想したエージェントを宣言して他者にもその対象への投票を促す発話 (REQUEST ANY 文) をする部分がある。この発話において、自分自身への投票を促す、プレイヤーとして矛盾した発話をした形跡が見られた。

ゲーム後半で論理的な発話が減少する ゲーム序盤では比較的論理的な発話をしているように見えるが、後半になると投票の意思を示す発話がほとんどになり、論理的な発話が減少している様子が見られた。

これらについて次節以降で詳しく述べる。

```
3, execute, 12, PUSSESSE  
3, guard, 1, 8, VILLAGER  
? attack ? true
```

図 1: 村人 (Villager) を護衛対象に選択している様子

4.2 狩人による不適切な護衛対象の選択

Jason エージェントの狩人が、適切でない護衛対象を選ぶ現象が見られた。特に、占い・霊媒 CO がいるにも関わらず、役職 CO をしていないただの村人を護衛対象に選ぶ展開も見られた。図 1 にその例を示す。

より良く物語性のある人狼ゲームを行うため、狩人の護衛対象選択方法を見直す必要がある。狩人による護衛成功率は、村人陣営の勝率とも相関がある [15]。そのため、狩人の護衛対象選択を適切に行うことは、エージェントの精度を向上させるのに役立つと考えられる。

4.2.1 護衛対象を占い・霊媒 CO から優先して選ぶべき理由

どのような状況においても占い・霊媒 CO を護衛するのが最適解というわけではないが、ゲーム展開を考慮すると、なるべく占い・霊媒 CO を護衛するのが望ましい。

人狼陣営は夜にプレイヤーを 1 人選び、襲撃する。襲撃されたプレイヤーは死亡判定となり、その後のゲームに参加できなくなる。狩人はプレイヤーを 1 人選んで護衛することで、人狼の襲撃から対象を守ることができる。そのため、護衛対象には村人陣営の勝利のために生存させておきたいプレイヤーを選ぶことが推奨される。特に、占い師・霊媒師は他プレイヤーの種族判定能力を持つので、ゲームの進行に大きく関わる。特に、人狼陣営の騙りではない占い師・霊媒師 (以下、真占い師・真霊媒師) は村人陣営にとって重要なので、村人陣営からすればできるだけ生存させておくことが望ましい。人狼陣営のプレイヤーは、場を混乱させたり自陣営に有利な展開にするために、占い師・霊媒師を騙ることがある (以下、偽占い師・偽霊媒師)。真占い師・真霊媒師だけでなく、偽占い師・偽霊媒師も CO すると、対抗 CO となる。占い・霊媒 CO を護衛して結果人狼を護衛していたということも考えられるが、真占い師・霊媒師を守るためにもそのリスクを負ってでも占い・霊媒 CO を護衛すべきと考えられる [11]。また、人狼 BBS のログを分析した研究 [11] によると、生存が村人陣営の勝利に大きく影響する役職は占い師と狩人であり、霊媒師はさほど勝敗に影響を与えないという結果が出ている。さらに、占い師は霊媒師よりも重要度が高い [15] ため、護衛対象候補の中に占い CO がいる場合、狩人は優先的に占い CO を護衛することが望ましい。

4.2.2 結果

4.1 に示したそれぞれの条件について、護衛された日付以前に護衛対象のエージェントが CO をしていた場合の CO 役職についてまとめたものを、表 2 に示す。縦に条件 (狩人エージェントのエージェント種)、横に CO 役職を示す。数値は全て小数点第三位以下切り捨てである。

サンプル 15 体の結果 100 回のゲームにおいて、護衛が発生したのは合計 474 回だった。占い CO を護衛対象としたのは 287 回で、全体の約 60.54% を占める。霊媒 CO を護衛対象としたのは 146 回で、全体の約

表 2: 各エージェントの狩人が護衛対象に選択したエージェントの CO 役職

	占い CO	霊媒 CO	CO なし
サンプル	60.54%	30.80%	8.64%
Jason	5.72%	18.65%	75.62%
Basket	57.64%	2.14%	40.21%

```
//護衛先の選択
+!action(guard)
: info(Ag, Al, Co, Wdl, Bdl, Wil, Bil, Va, Ka, Bl, Agl, Dl, Me, bodyguard)
<- ?co(Seer, seer);
?co(Med, medium);
Al=[A|B];
.shuffle(Al, Candidate1);
!villager_vote(Al);
.print(["Candidate1", Candidate1]);
?sort_doubtful_bodyguard(Candidate1, Out);
.print(["Out", Out]);
Out = [Target]_;
!send(Target).
```

図 2: JasonBodyguard_yaku.asl

30.80% を占める。CO なしを護衛対象としたのは 41 回で、全体の約 8.64% を占める。

サンプル 11 体&Jason4 体の結果 100 回のゲームにおいて、護衛が発生したのは合計 402 回だった。占い CO を護衛対象としたのは 23 回で、全体の約 5.72% を占める。霊媒 CO を護衛対象としたのは 75 回で、全体の約 18.65% を占める。CO なしを護衛対象としたのは 304 回で、全体の約 75.62% を占める。

サンプル 11 体&Basket4 体の結果 100 回のゲームにおいて、護衛が発生したのは合計 373 回だった。占い CO を護衛対象としたのは 215 回で、全体の約 57.64% を占める。霊媒 CO を護衛対象としたのは 8 回で、全体の約 2.14% を占める。CO なしを護衛対象としたのは 150 回で、全体の約 40.21% を占める。

4.2.3 考察

実験の結果、狩人のエージェントの種類によって選択する護衛対象には差が出る事が明らかとなった。

特に、Jason エージェントの狩人は CO なしを護衛対象に選択した場合が約 75.62% と多く、最も優先すべき占い CO については、わずか約 5.72% という結果となった。原因としては、護衛対象の選択に関わる部分で投票度を採用していることが考えられる。Jason エージェントの思考部分の狩人の護衛対象選択部を、図 2 に示す。なんらかの影響によって占い・霊媒 CO の投票度が上がって疑われた結果、護衛対象としての優先順位が下がったと推測する。投票度の算出法の問題は現状解決されていないため [19]、適切に修正を図る必要がある。

今回は護衛対象とその CO について着目したが、護衛当時ほかの占い CO、霊媒 CO が何人生存しているかも考慮するとその護衛対象選択の妥当性が測れると考える。また、護衛だけではなく、襲撃のデータとも比較することで、適切かつ合理的な護衛対象選択に役立つと考える。

```

1, talk, 55, 3, 4, AND (VOTE Agent [14]) (REQUEST ANY (VOTE Agent [14]))
1, talk, 57, 3, 6, AND (VOTE Agent [06]) (REQUEST ANY (VOTE Agent [06]))
1, talk, 58, 3, 7, RECALISE (DAY 1 (OBTAINED Agent [03] WEREWOLF)) (RECALISE

```

図 3: エージェント 6 が自己投票している様子

4.3 プレイヤーとして矛盾した発話

人狼知能プロトコルに含まれる REQUEST ANY 文に着目して調査を行った。

REQUEST ANY 文は、あるエージェントへの投票意思を示し、他者にもその対象への投票を促す形で用いられる。

REQUEST ANY 文の発話において、自分自身に投票するように促す発話 (以下、自己投票) が見られた。図 3 に、REQUEST ANY 文による自己投票の例を示す。このように、エージェント 6 自身が「自分は 6 番に投票するので、みんなも 6 番に投票してください。」と発話するようなことが起こる。実際に追放に使われる投票先が自分になるわけではないが、プレイヤーとして矛盾した発話となるため、これは不適切であり合理的とは言えない。

4.3.1 結果

それぞれの条件について、条件となったエージェントの REQUEST ANY 文の発話回数、自己投票回数、自己投票率をまとめたものを、表 3 に示す。縦に対象のエージェント種、横に回数及び割合を示す。数値は全て小数点第三位以下切り捨てである。

表 3: REQUEST ANY 文発話回数と其中での自己投票の割合

条件	REQUEST ANY 文発話	自己投票回数	自己投票率
サンプル 15 体	39425 回	2752 回	6.98%
Jason4 体	28431 回	4 回	0.05%
Basket4 体	0 回	0 回	-

サンプル 15 体の結果 100 回のゲームにおいて、サンプルエージェント 15 体による REQUEST ANY 文の発話は合計 39425 回だった。うち 2742 回が自己投票で、自己投票率は約 6.98% である。

サンプル 11 体&Jason4 体の結果 100 回のゲームにおいて、Jason エージェント 4 体による REQUEST ANY 文の発話は合計 28431 回だった。うち 4 回が自己投票で、自己投票率は約 0.05% である。

サンプル 11 体&Basket4 体の結果 100 回のゲームにおいて、Basket エージェント 4 体による REQUEST ANY 文の発話は見られなかった。

4.3.2 考察

実験の結果，Jason エージェントの方がサンプルエージェントよりも自己投票の割合が大幅に低いことが明らかとなった．

Basket エージェントは，今回調査対象とした投票意思を示すと同時に REQUEST ANY 文を用いて他者に投票要請をする形式の発話をしないと思われる．この結果より，サンプルエージェントと比較して，Jason エージェントの発話精度が高いと言えるだろう．しかし，本来であればすべきでない発話であるため，今後こういった矛盾した発話の原因を究明して完全になくせるよう，改善に取り組む．

```

1: talk.35.2.15.AND (VOTE Agent[01]) (BECAUSE) AND (VOTE Agent[01])
1: talk.34.2.2.BECAUSE (AND (COMINGOUT Agent[02] MEDIAN) (Agent[13] COMINGOUT Agent[13] MEDIAN)) (OR (ESTIMATE Agent[18] WEREWOLF) (ESTIMATE Agent[13] POSSESSED))
1: talk.36.2.11.AND (VOTE Agent[04]) (REQUEST AND (VOTE Agent[04]))

```

図 4: Because 文の発話

4.4 ゲーム後半で論理的な発話が減る現象

人狼ゲームを進めていくと、ゲーム序盤では相手の役職や CO 結果など、理由に基づく発話が確認されたが、後半になると投票要請のための発話が多くを占め、理由に基づく発話が見られなくなる。ここでの理由に基づく発話とは、「Because 文を用いて理由を述べている発話」のことを指す。

図 4 に、Because 文を用いた発話の例を示す。これはエージェント 2 の発話で、「エージェント 2 は霊媒師と CO し、かつエージェント 13 も霊媒師と CO した。そのため、エージェント 13 は人狼または狂人である。」という内容である。霊媒師 CO が対抗 CO を疑う旨を示している。

4.4.1 結果

それぞれの条件について、全エージェントの Because 文の発話回数をゲーム内日付ごとにまとめたものを図 5,6,7 に示す。縦に Because 文の発話回数、横に日付を示す。図中にはエージェントの種類別の記載はない。

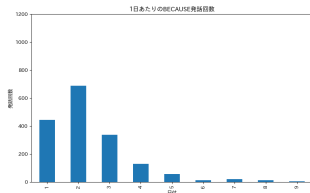


図 5: サンプル 15 体

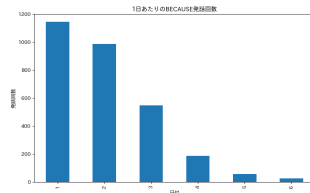


図 6: サンプル 11 体&Jason4 体

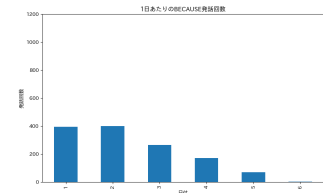


図 7: サンプル 11 体&Basket4 体

3 つの条件のいずれでも、日が進むにつれ、論理的な発話が減少していることが確認された。

サンプル 15 体の結果 サンプル 15 体の結果を図 5 に示す。100 回のゲームにおいて、Because 文が発話されたのは合計 1711 回だった。

サンプル 11 体&Jason4 体の結果 サンプル 11 体&Jason4 体の結果を図 6 に示す。100 回のゲームにおいて、Because 文が発話されたのは合計 2952 回だった。そのうち Jason エージェントによるものは 1668 回で、約 56.50% を占める。

サンプル 11 体&Basket4 体の結果 サンプル 11 体&Basket4 体の結果を図 7 に示す。100 回のゲームにおいて、Because 文が発話されたのは合計 1308 回だった。しかし、Basket エージェントによる Because 文の発話は 1 回も見られず、全てサンプルエージェントによるものだった。

4.4.2 考察

実験の結果,ゲーム展開が進むにつれて減少した理由としては,現行エージェントに実装されている Because 文の発話条件が,役職 CO や占い・霊媒結果に基づくものが多い [19] ということが挙げられる.ほとんどの人狼ゲームにおいて,役職 CO や占い・霊媒結果が多く発話されるのはゲームの序盤である.そのため,ゲーム後半ではそのような発話は減少し,それに伴って Because 文も減少していると考えられる.

Because 文を用いていたとしても実際のゲームの流れを踏まえると論理性に欠ける場合がある.現状,対話の流れを踏まえた上で発話の論理性を確かめるシステムを自動化することは困難であるため,論理的な人狼知能エージェントの発展と共に,論理性のチェックが可能なシステムの構築も期待される.

4.5 実験効率向上のための改善

ここでは,本節での調査を効率化するために行った,実行環境の改善について述べる.

4.5.1 実験ログの可読性向上

```
0, status, 1, BODYGUARD, ALIVE, Jason005
0, status, 2, MEDIUM, ALIVE, Jason004
0, status, 3, WEREWOLF, ALIVE, Sample09
0, status, 4, VILLAGER, ALIVE, Jason002
0, status, 5, VILLAGER, ALIVE, Sample08
0, status, 6, SEER, ALIVE, Jason001
0, status, 7, VILLAGER, ALIVE, Sample07
0, status, 8, VILLAGER, ALIVE, Sample06
0, status, 9, WEREWOLF, ALIVE, Sample12
0, status, 10, VILLAGER, ALIVE, Sample11
0, status, 11, VILLAGER, ALIVE, Sample10
0, status, 12, VILLAGER, ALIVE, Sample06
0, status, 13, WEREWOLF, ALIVE, Sample15
0, status, 14, VILLAGER, ALIVE, Sample14
0, status, 16, POSSESSED, ALIVE, Sample13
0, whisper, 0, 0, 9, COMINGOUT Agent[09] MEDIUM
0, whisper, 1, 0, 3, COMINGOUT Agent[03] SEER
0, whisper, 2, 0, 13, COMINGOUT Agent[13] SEER
0, whisper, 3, 1, 13, COMINGOUT Agent[13] MEDIUM
0, whisper, 4, 1, 9, Skip
0, whisper, 5, 1, 3, COMINGOUT Agent[03] VILLAGER
0, whisper, 6, 2, 3, Skip
0, whisper, 7, 2, 9, COMINGOUT Agent[09] SEER
0, whisper, 8, 2, 13, COMINGOUT Agent[13] SEER
0, whisper, 9, 3, 9, Skip
0, whisper, 10, 3, 13, Skip
0, whisper, 11, 3, 3, Skip
0, whisper, 12, 4, 9, COMINGOUT Agent[09] MEDIUM
0, whisper, 13, 4, 3, Over
0, whisper, 14, 4, 13, Skip
0, whisper, 15, 5, 3, Skip
0, whisper, 16, 5, 3, Over
0, whisper, 17, 5, 13, Over
0, whisper, 18, 6, 9, Skip
0, whisper, 19, 6, 3, Over
0, whisper, 20, 6, 13, Over
0, whisper, 21, 7, 9, Over
0, whisper, 22, 7, 13, Over
0, whisper, 23, 7, 3, Over
0, divine, 6, 4, HUMAN
1, status, 1, BODYGUARD, ALIVE, Jason005
1, status, 2, MEDIUM, ALIVE, Jason004
1, status, 3, WEREWOLF, ALIVE, Sample09
1, status, 4, VILLAGER, ALIVE, Jason002
1, status, 5, VILLAGER, ALIVE, Sample08
1, status, 6, SEER, ALIVE, Jason001
----- 2023/07/31 13:04:29, log Top L46 (Fundar)
```

図 8: 変換前 (ログ原文)

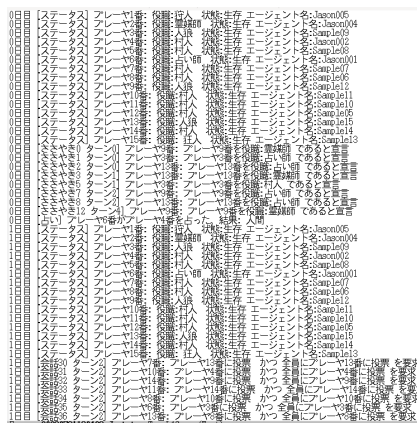


図 9: 変換後 (日本語化したログ)

人狼知能プラットフォームの仕様上,ゲームのログは全て英文ベースのアルファベットと記号のみで出力される.日本語話者が目視でログを確認する際の可読性向上のため,Python の構文解析ツール PLY を用いて構文解析プログラムを作成し,ログを日本語化した.変換の際に,エージェントが「もう発話しない」という意思表示に用いる Skip, Over を含む行は,可読性を損なうと判断したため削除した.変換前のログ原文が図 8, 変換後が図 9 である.このように日本語化することで,直感的に理解しやすいログになり可読性が向上した.目視でログを読み,気になった点についてさらに詳しくデータをとって分析をすることで,効率的に問題

点を調査することができるようになった。

4.5.2 問題点調査のための実験 UI の改善

上述の現象を確実に発現させるには、ゲームを繰り返し実行する必要があった。しかし、プラットフォームの仕様上、今まではゲームの実行にあたっては、エージェント本体 (Java) の立ち上げ、思考部分 (Jason) の立ち上げ、Jason の実行、の 3 つの手順を手動で行う必要があり、ゲーム回数を増やすことが難しかった。そこで、ゲーム回数を増やして実験を行う場合の利便性を考慮し、実験 UI の改善を行った。Jason の自動起動と実行を可能にしたことに加え、エージェント立ち上げシェルスクリプトも改良した。その結果、一回の動作で複数回複数セットのゲームの実行が可能となり、実験の利便性が大幅に向上した。

5 論理的な人狼プレイヤーエージェント実現に向けての課題

ここまでは、現行エージェントの人狼プレイヤーとしての不合理と考えられる動作について述べた。1節で述べた期待に答えるような論理性を持たせるには、それ以外にも改善すべき点がある。それについて本節で述べ、次節でその実現に必要なことについて考察する。

当研究室では、2017年頃より論理的な人狼プレイヤーエージェントの研究が行われている [3][12][19][14]。そもそも人狼プレイヤーエージェントを論理的にしようとした目的は、論理的にエージェントの行動理由を説明することが可能になれば、エージェント同士のプレイログを見て、そのシナリオを物語として人間が楽しむことができると思ったからである。しかし、現行エージェントの「論理的である」ための行為としては、不十分な推論や理由を発話するのみに留まる。不十分な根拠で理由だけ述べたとしても、それは筋の通った説明にはならず、人間が楽しむこともできない。それでは本来目的としていた、人間が物語を楽しむことができるような論理的な人狼プレイヤーエージェントとは言えない。

人狼ゲームという観点からの BDI モデルの利点は、エージェントの信念や願望などの心的状態を明示的に用いた推論を行える点である。しかし、現状ではその利点を十分に活用できていないため、Jason エージェントの思考部分の構成を再検討し、より論理的で実現可能な実装について提案する。

5.1 行動選択の根拠と論理性

現行エージェントで行っていることは、以下の2つである。

- ルールを用いて他者の役職を推定
- ルールの適応度の学習による獲得

現行エージェントの役職推定および適応度学習において、いくつかのルールをあらかじめ設定し、それにマッチした状況になったらパラメータを変化させるという手法を取っている。それをもとに投票度や適応度を調整し、行動選択をしている。表4に、役職推定に用いるルールを示す。

これは確からしさを用いた推測を部分的に行っているとは言えるものの、パターンマッチと簡易的なパラメータを用いた学習にすぎず、1節で述べたような期待をもたらすという意味での論理性を備えているとはいえない。また、現行のパラメータ変動の条件及びパラメータで変動する数値は、人狼 BBS での推定を参考に、目視によって確認されたものを人為的に設定している [19]。これらの設定は明確な根拠に乏しく、その妥当性には疑問がある。

表 4: 村人・狩人の役職推定 [19]

	人狼	狂人	占い師	霊媒師
自分を人狼と判定した CO 占い師	0.3	0.7	0.0	0.0
襲撃されたプレイヤーを人狼と判定していた CO 占い師	0.2	0.8	0.0	0.0
真占い師と思われる CO 占い師	0.05	0.05	0.9	0.0
真霊媒師と思われる CO 霊媒師	0.05	0.05	0.0	0.9
真霊媒師の霊能結果と矛盾した判定をした CO 占い師	0.25	0.7	0.05	0.0
真占い師の占い結果と矛盾した判定をした CO 霊媒師	0.25	0.7	0.0	0.05
真占い師から人狼と判定されたプレイヤー	0.05	0.05	0.9	0.0
真霊媒師を人狼と判定した CO 占い師	0.05	0.05	0.9	0.0
真占い師を人狼と判定した CO 霊媒師	0.05	0.05	0.9	0.0
CO 占い師の 2 人以上から人狼と判定されたプレイヤー	0.05	0.05	0.9	0.0
CO 占い師が 2 人で、対抗 CO が襲撃された CO 占い師	0.05	0.05	0.9	0.0
CO 霊媒師が 2 人で、対抗 CO が襲撃された CO 霊媒師	0.05	0.05	0.9	0.0
CO 占い師が 2 人で、対抗 CO が偽の CO 占い師	0.05	0.05	0.9	0.0
CO 占い師が 2 人で、真霊媒師に対抗 CO 占い師が人狼と判定された CO 占い師	0.05	0.05	0.9	0.0
最後に CO した CO 占い師	0.05	0.05	0.9	0.0
CO 占い師のうち、対抗 CO 者が 2 人いて真霊媒師がいるとき、次に追放された CO 占い師が人間と判定された時に残っている CO 占い師	0.05	0.05	0.9	0.0

5.2 コードの保守性

今後の改善に向けてもう 1 つ問題となるのは、現行エージェントのコードの保守性の悪さである。

研究成果を引き継ぐにあたって引き継ぎ資料が作成されているが、その内容が不十分かつ整理されておらず、変更点や各部分の意味が不明瞭で読解が困難である。現行エージェントの思考部分の設計は複雑かつ冗長で、規則性がなく意味が読み取りにくい命名や、一意に取れないコメントがついていることにより、一層煩雑になっている。

- 各プログラムの役割や関係性をドキュメントに明記する。
- ファイルの冒頭には、編集日と編集者の名前を記載する。
- コメントは正確で一貫した表現にする。
- イレギュラーな記述は、その意図や理由をドキュメントに記載する。
- 変数や関数は、規則性に基づいて明確に命名する。
- 共通の動作はまとめて記述し、不要な重複を避ける。

このような工夫をして、可読性の高いコードにすることが求められる。

本研究で使用している人狼知能プラットフォームは、ver.0.5.6 である。しかし、最新の人狼知能プラット

フォームは ver.0.6.4 であり，今後もアップデートされていくことが予想される．現行エージェントの構成では，人狼知能プラットフォームのアップデートに際して移植が容易ではないと考えられる．そのため，より明確で保守性の高い構造にする必要がある．

引き続き，当研究室では人狼プレイヤーエージェントをテーマとする研究がなされることが想定できる．後から追記・変更・読解がしやすいような設計にしていくべきと考える．今後の研究の進展のためにも，保守性・可読性の高いコーディングや，充実したドキュメントの作成が求められる．

6 論理的な人狼プレイヤーエージェントの実現に向けての構想

本節では、5 節で述べたような要件を満たす人狼プレイヤーエージェントの実現のために必要なことについて述べる。

6.1 エージェント

エージェントやゲームの基本的な条件について述べる。

まず、プレイヤーの中に推論機構を持つエージェントが複数いることが必要である。そのようなエージェントが複数いることで、推論の根拠を交換して相手を納得させることができれば、エージェント同士の協力が可能になると考える。それぞれのエージェントは信念を持っており、その信念をもとに推論をする。過去の信念を保持しておく機構を持たせることで、自分や他者の発言、ゲームの状況など、プレイ中に得た情報を信念として保持し、それをを用いた推論を行うことで、その後の意図の選択を論理的な一貫性を持って行えると期待される。

6.2 対話と推論

エージェント同士の対話と推論について述べる。

人狼ゲームにおいて、プレイヤー同士の協力には対話の内容が重要になる。対話においては、それぞれが自分の持つ信念に応じて推論をする。推論の結果導かれたストーリーを、他のエージェントに向けて伝える際に、使用した信念も共に提示することを提案する。相手から提示された信念と自分が持つ信念を比較し、自分の信念によって、相手から提示された推論をトレースする。それに自分が納得するかによって、その相手を信じるかを定める。ここでの納得とは、自分が持つ信念をもとに推論 相手の推論と信念の提示を受け取る 自分の信念に基づいて相手の推論を確認 相手の推論が矛盾なく導けたら、それを受け入れ、自分の考えを変更する、という過程を踏むものとする。また、6.1 で述べた過去の信念の保持により、他のプレイヤーからの信念提示と納得の過程も、過去の信念まで用いて行うことができれば、現状で行われている REQUEST 文によるものより、論理的な説得力が上がることも期待される。こうして他のエージェントの推論をさらなる推論に繋げていく。その結果、対話と推論の相互に影響し合う発展が期待される。

また、対話の内容はその発言者となる相手の役職を推定した上で、それを踏まえて自分の信念として用いる方が効果的と考えられる。

6.3 信念

今までに述べた内容を踏まえて、持つべき信念を提案する。

人狼ゲームにおいて、各プレイヤーは視点整理を行い、誰が何を知っているのかを把握することが重要となる。人狼ゲームにおいての信念は、それ単体で見るだけでなくそれらの関係性、例えば他者の信念や発言との整合や矛盾などを意識することで推論に繋がると考える。信念をもとに推論し、推論結果を信念として持つことができる。また、人狼ゲームは不完全情報ゲームであるため、どの情報が誰にどこまで公開されていて、誰が何を知っているかを明確に意識しておく必要があると考える。その情報を知っている人と、その人が知っている情報の関係を結びつけることによって、適切な推論・発言が可能になると考える。自分の中では確実な信

表 5: エージェントが持つべき信念

信念	例	入手	範囲	自分	他者から
ルール	人数, 役職内訳, 可能な行動, 勝利条件など	事前	全員	確実	確実
常識 [20]	「占い・霊媒は CO する」など	事前	全員	確実	確実
GM 結果	投票先, 追放・襲撃	適宜	全員	確実	確実
ステ (自分)	自分の役職, 得られる情報 (占い・霊媒: 判定結果, 人狼: 仲間など)	適宜	自分のみ	基本確実	不確実
推論 (自分)	他者の役職	推定時	自分のみ	不確実	不確実
発話 (他者)	他者の推論を含まない発話 (CO, 判定など)	発話時	全員	不確実	不確実
発話 (他者)	他者の推論を含む発話 (怪しいプレイヤー&理由, 真 CO 者&理由など)	発話時	全員	不確実	不確実

念であっても、他者に伝えて説得する際には相手も同じ信念を持っているとは限らないので、ただそれだけを根拠とするだけでは弱いと考える。相手に自分の推論を信じるに値すると思わせるためには、相手を知ることができ、なおかつ相手がそれを信じていることが分かっている信念をもとにした推論過程を示することで、共感を呼ぶ推論が可能となるかもしれない。共感の結果、相手の説得が可能となれば、協力行動の促進や、あるいは相手を騙すなども可能になると考える。

また、人狼と村人では持っている信念が異なる。人狼は人狼にしか持ちえない信念、特に人狼仲間が誰であるかを知っている。これをもとに推論をすることができたとしても、それは他のプレイヤーには提示しないということが必要になる。村人は人狼の考えを、人狼は村人の考えを、それぞれの立場になって想像することが求められる。どの立場からなにが見えるか、どこまで使い、開示するかは慎重に検討する必要がある。BDI モデルでは (よって Jason でも) エージェントごとの信念を明示的に保持できるため、Jason での記述が可能と思われる。

厳密に推論を行うエージェントは思考時間が必要となるため、現実的なプレイヤーとして適さない場合も考慮すると、効果的に推論を進めることができる信念を持つておくことは重要だと考えられる。確定した事実とは別に「常識」という枠組みを設けることによって、過度の推論を行うことなく役職推定を行う研究 [20] では、「決して覆ることはなく、各プレイヤーが確実にそれに従ってゲームを進行する規則」をゲームのルール、「あらかじめ明示的に規定されているわけではないが、一般的には、各プレイヤーにとって周知の知識」であるものをゲームの常識として設定し、それに基づいて役職推定を行っている。このゲームの常識という概念の拡張として「あらかじめ明示的に規定されているわけではないが、一般的なプレイヤーの動きとして常識的に想定できること」を採用し、信念として与えることで、推論の効率を上げられると期待する。

6.4 具体例

例えば, [7] に述べられている, 人狼ゲームの特定の状況において, 追放対象がほぼプレイヤー 2 と 4 のいずれかに絞られる中, 実際は村人であるプレイヤー 4 が追放される例は, 以下のような推論が行えれば Jason で実現可能である. まず, 特定のプレイヤーに関する矛盾した発話があり, そのプレイヤーと矛盾した発話の一方の発話者が生存している場合, いずれかが人狼であるという信念を持たせておく. これにより, 当該例ではプレイヤー 2 と 4 のいずれかが人狼という信念を持つ. 次に, 「人狼が吊られそうに (追放されそうに) なっていたら, 狂人はサポートしようとする」という信念を, 例えば前節に述べたゲームの常識の拡張として持つ. これにより, プレイヤー 2 への狂人からのサポートらしき発話がないという信念があれば, プレイヤー 2 は人狼ではないという信念を持ち, プレイヤー 4 が人狼という信念を持つ. また, 実際は人狼であるプレイヤー 6 が, 他プレイヤーに以上の情報を伝えることで, 他プレイヤーがそれを自分の信念と矛盾がないことにより納得すれば, プレイヤー 4 が追放されることに繋がる.

これを実際に Jason でどのように実現できるかについては今後の検討が必要だが, このようなことができることが面白いゲームの実現に繋がるだろう.

7 まとめ

本研究の目的は、BDI モデルを用いた論理的思考が可能で、より人間らしい行動選択をする人狼プレイヤーエージェントを実装することである。さらに、人間がプレイログを読んで物語の面白さを感じることができるような論理性を持ったエージェントにすることを旨とする。本論文では、現在までに構築された Jason エージェントを調査し、一部の条件についてはサンプルエージェントの性能を上回っていることが明らかとなった。しかし、上述の期待をもたらすような意味での論理性を十分に備えているとは言えなかった。そこで、本来求めていた論理的思考に基づいた Jason エージェントを実装するべく、実現可能性のある構想を述べた。対話や推論で必要となる信念について整理し、今後の Jason エージェントの開発のための提案をした。

現時点では実装に至っていないが、今後の実装に向けた検討課題として、推論や信念をより戦略的なものにする事が挙げられる。最低限の機能だけでなく、それぞれの役職に合った効果的な戦略を実装することによって、さらなる面白さが期待できる。そのためには、人狼における戦略の定式化が求められる [10]。人間同士の議論のプロセスを分析し、戦略に用いるルールの抽出を機械的に行う技術の確立も望まれる。それをただ確率的に実装するに留まらず、どのような場合にどんな戦略を使うのが効果的か検討した上で、ゲームの展開に沿って意味のある適用をすることでさらに洗練された推論が含まれる面白い人狼ゲームができるエージェントの達成に繋がると考えられる。文章やログの論理的整合性や本質的な意味を正確に読み取って、それが正しいものであるかを判別できる高度な処理ができる技術も確立すれば、人狼知能だけでなくあらゆる分野の発展に寄与することが期待できる。

また、実際に人狼をプレイするときは、対話だけでなくそれぞれの役職に基づいた視点で得られる情報も推論に活用できる。それを全て発話に含めると、ある役職しか知りえない情報を知っているといういわゆる「視点漏れ」が起こることがある。しかし、将来的に複数視点を考慮して推論が行えるエージェントが実装できた際には、それを見抜く機構も追加することでより面白いゲーム展開が起きることも期待される。

謝辞

本論文の執筆にあたり、丁寧かつ熱心な指導をしてくださった新出尚之准教授に心より感謝申し上げます。
ありがとうございました。

参考文献

- [1] Basket. Agent documentation of basket. <http://aiwolf.org/control-panel/wp-content/uploads/2022/10/Basket.pdf>.
- [2] Rafael H. Bordini, Michael Wooldridge, and Jomi Fred Hübner. *Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason*. John Willy&Sons, 2007.
- [3] 池内加奈. 人狼ゲームをプレイするエージェントの実装. 2016 年度卒業論文, 奈良女子大学理学部情報科学科, 2017.
- [4] 篠田孝祐, 鳥海不二夫, 稲葉通将, 大澤博隆, 片上大輔. FAN-14-016 人工知能標準問題としての人狼ゲームの提案 (OS:人狼知能研究). *インテリジェントシステム・シンポジウム講演論文集*, Vol. 2014, No. 24, pp. 74–77, 09 2014.
- [5] 月田詩悠, 篠田孝祐. 人狼ゲームにおける面白いゲーム展開の分析と判別手法の提案. Technical Report 2, 電気通信大学, 電気通信大学, jul 2017.
- [6] 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. *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. JSAI2020, pp. 2F5OS20b01–2F5OS20b01, 2020.
- [7] 新出尚之, 高田司郎. 不確実な信念を持つエージェントの確率的戦略と BDI モデル. *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. JSAI2016, No. 0, pp. 3I35–3I35, 2016.
- [8] 人狼知能プロジェクト. 人狼サーバクライアントプロトコル説明 ver0.3.1. http://www.aiwolf.org/aiwp/wp-content/uploads/2014/03/サーバクライアントプロトコル_ver0.3.1.pdf.
- [9] 人狼知能プロジェクト. 人狼知能プロトコルの仕様 (ver3.6, 2019 年度版). http://aiwolf.org/control-panel/wp-content/uploads/2019/02/protocol_2019_3_6m.pdf.
- [10] 稲葉通将, 大畠菜央実, 高橋健一, 鳥海不二夫. 雑談ばかりしていると殺される? 人狼ゲームにおける発言行為タグセットの提案とプレイヤーの行動・勝敗の分析. *情報処理学会論文誌*, Vol. 57, No. 11, pp. 2392–2402, nov 2016.
- [11] 稲葉通将, 鳥海不二夫, 高橋健一. 人狼ゲームデータの統計的分析. *ゲームプログラミングワークショップ 2012 論文集*, Vol. 2012, No. 6, pp. 144–147, 11 2012.
- [12] 玉井日菜子. 物語を生む人狼プレイヤーエージェントの構築. 2017 年度卒業論文, 奈良女子大学生生活環境学部情報衣環境学科生活情報通信科学コース, 2018.
- [13] 大澤博隆, 鳥海不二夫, 稲葉通将, 片上大輔, 梶原健吾, 篠田孝祐. 人狼知能達成におけるエージェントの推論モデル. *ゲームプログラミングワークショップ 2014 論文集*, Vol. 2014, pp. 157–161, 10 2014.
- [14] 中谷美友. 理由に基づく協調要請を行える人狼エージェント. 2022 年度卒業論文, 奈良女子大学生生活環境学部情報衣環境学科生活情報通信科学コース, 2023.
- [15] 鳥海不二夫, 篠田孝祐, 稲葉通将, 大澤博隆, 片上大輔. 人狼知能大会におけるエージェントの行動分析. Technical Report 3, 東京大学, 電子通信大学, 広島市立大学, 筑波大学, 東京工芸大学, jul 2016.
- [16] 鳥海不二夫, 稲葉通将, 大澤博隆, 片上大輔, 松原仁, 狩野芳伸, 大槻恭士, Claus Aranha, 伊藤毅志. 人狼知能プラットフォーム | artificial intelligence based werewolf. <https://aiwolf.org/server>. Server 人狼知能プラットフォーム (2024 年 1 月 11 日閲覧).
- [17] 鳥海不二夫, 稲葉通将, 大澤博隆, 片上大輔, 松原仁, 狩野芳伸, 大槻恭士, Claus Aranha, 伊藤毅志. 人狼知能プロジェクト. <http://aiwolf.org>. (2024 年 1 月 11 日閲覧).

- [18] 鳥海不二夫, 大澤博隆. AI 達は物語を生み出すか. 人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI2016, pp. 2F45–2F45, 2016.
- [19] 田中里穂. 論理的思考が行える人狼プレイヤーエージェントの構築. 2019 年度卒業論文, 奈良女子大学生活環境学部情報衣環境学科生活情報通信科学コース, 2020.
- [20] 林友超, 馬場瑞穂, 宇津呂武仁. 各プレイヤー視点での役職推定情報に基づく人狼ログ・ダイジェストの作成. 言語処理学会年次大会発表論文集 (Web), Vol. 22, pp. 3–7, 2016.

研究業績

国内学会 (口頭・査読無)

1. 杉山 華那依, 中谷 美友: BDI モデルによる人狼プレイヤーエージェントの実現の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.123, No.190, AI2023-21, pp.117-120, (2023-09-05)