

人狼知能大会におけるエージェントの行動分析

鳥海 不二夫^{1,a)} 篠田 孝祐² 稲葉 通将³ 大澤 博隆⁴ 片上 大輔⁵

概要: 人工知能を用いたゲームをプレイするエージェントは数多く開発されているが、現在までに、人工知能が人間に勝利しているテーブルゲームの多くは全ての情報が公開されている完全情報ゲームである。それに対して、ゲームの中には情報が完全には公開されておらず、情報の被均一性がゲーム性を演出する不完全情報ゲームや、ゲームの本質がプレイヤー同士の自由対話や交渉によって実現されるコミュニケーションゲームがある。我々は、不完全情報コミュニケーションゲームである人狼ゲームの人工知能 (人狼知能) による大会を行った。本稿では、その大会のログを分析することで、人狼知能の現状を確認するとともに、どのようなエージェントが強かったのかを明らかにする。

Analysis of Agent Behaviors in First AI Wolf Contest

TORIUMI FUJIO^{1,a)} SHINODA KOSUKE² INABA MICHIMASA³ OSAWA HIROTAKA⁴ KATAGAMI DAISUKE⁵

Abstract: The communication game “Are you a Werewolf?” can be next-generation standard problem for artificial intelligence which comes after Chess, Go or Shogi and so on. Our goal is to find “How can people enjoy playing the games with AI”. For the purpose, we employ the collective intelligence method to develop AI which can play Werewolf. In this paper, we analyzed the agent behaviors of First AIWolf contest. From the analysis, we found that finalists show more human-like play in AI Wolf games. Also, we found that the winner agent has significantly higher skill to find enemies.

1. はじめに

ゲームプレイング AI の研究は長く行われてきている。チェスに始まり、将棋、囲碁など完全情報ゲームにおいては、AI が人間のトッププロに打ち勝つレベルに達している。一方で、不完全情報ゲームにおいては、ポーカーにおいて AI がゲームを完全に解いたという報告 [1] があるが、多くのゲームにおいてコンピュータによる挑戦は行われていない。

我々は、不完全情報ゲームの一つである人狼ゲームに注目し、人間と自然にプレイが人狼ゲームが可能なエージェント、人狼知能の構築を目指した人狼知能プロジェクトを展開している。このようなゲーム AI 開発の手法の筆頭に、

多くの開発者による集合知を利用した開発がある。コンピュータ将棋などもコンピュータ将棋コンテストなどを開催することによって、その能力を向上させてきた経緯がある。人狼知能プロジェクトでも同様の手段を考え、人狼知能大会を行った。

人狼ゲームはコミュニケーションのみにより勝敗が決定する、人間の持つ極めて高度な認知能力を駆使して行う不完全情報型のコミュニケーションゲームである。将棋や囲碁といった完全情報ゲームとは異なり多くの情報がプレイヤーによって隠蔽される。各プレイヤーは会話と行動から隠された情報を推測しつつ、自らの秘密は隠蔽したままチームの勝利に向けて発言、行動していく。人狼ゲームには、プレイヤーが持つ情報の非対称性、信頼を得る説得・協調行動、嘘を見抜く推論など従来の人工知能分野では扱っていなかった多数の解決すべき問題が存在する。

人狼に関する研究としては、人狼ゲームの数学的考察 [3], [4] やプレイログのデータ分析 [2], [5], [6] は存在する

¹ 東京大学 The University of Tokyo

² 電子通信大学 The University of Electro-Communications

³ 広島市立大学 Hiroshima City University

⁴ 筑波大学 University of Tsukuba

⁵ 東京工芸大学 Tokyo Polytechnic University

a) tori@sys.t.u-tokyo.ac.jp

が、人狼ゲームを人工知能にプレイさせ、どのようなゲームが展開されたかを明らかにした研究は存在しない。

本研究では、人狼知能大会においてどのようなゲームが存在したかを分析し、人狼知能による人狼のプレイがどのようなものだったかを明らかにする。また、各エージェントがどのようなプレイを行ったかを評価する事で、各エージェントの強さを評価し、今後のエージェント開発のヒントを探る。

2. 人狼ゲームの概要

2.1 人狼の概要

人狼ゲームは、アメリカのゲームメーカー Loony Labs. が 2001 年に発売されたパーティーゲーム「汝は人狼なりや」及びその派生ゲームの総称である。多数の類似ゲームが世界中で市販され、世界中でプレイされている。日本においてもタブラの狼やうそつき人狼など多数のゲームが販売されている。人狼をプレイする方法としては、前述したような市販のカードなどを使って行う対面型と、WEB 上のアプリケーションを使って行う BBS タイプが存在する。本論文で扱う人狼知能大会では、BBS タイプの人狼を対象として人工知能の作成を行っている。

2.2 ゲームの流れ

プレイヤーにはまずランダムに「役職」が割り当てられる。プレイヤーは役職によって、人間または人狼陣営にそれぞれ振り分けられ、各プレイヤーはチームの勝利を目指す。人間陣営の目標は人狼の全滅に、人狼陣営の目標は人間の人数を人狼の人数と同数以下にすることにあり、目標を達成した陣営の勝利となる。各自の役職は本人以外には非公開であるため、自分以外の誰がどの役職か分からない。特に、人間側は誰が人狼か分からないため、会話の中から人狼を探し出すことが基本的な行動指針となる。一方、人狼陣営のプレイヤーは同じ人狼陣営のプレイヤーをゲーム開始時に知らされる。そのため、人狼陣営に所属するプレイヤーは互いに協力しながら、人間陣営に正体がばれないように行動することが基本的な行動指針となる。

ゲームは昼と夜の 2 つのフェーズからなる。昼のフェーズでは全てのプレイヤーによって、誰が人狼かを探し出すための議論が行われる。このとき、後述する各種能力を持った役職についているプレイヤーは当該能力によって知り得た情報を用いて、自分たちの陣営が有利になるように議論を導くことになる。一定期間の議論の後、プレイヤー全員の投票によって、人狼と考えられる人物を処刑する。処刑されたプレイヤーはゲームから除外され、ゲーム終了まで参加することが出来ない。

夜のフェーズでは、人狼陣営に所属するプレイヤーが人間陣営のプレイヤーを一人選び、襲撃する。襲撃されたプレイヤーは死亡者として扱われ、処刑されたプレイヤーと

同様にゲームから除外される。また、各種能力を持った役職には、夜のフェーズに能力に応じた情報を与えられる。昼のフェーズと夜のフェーズを繰り返す、勝利陣営を決定する。

議論において、人間陣営に所属するプレイヤーは人狼の嘘を見破るかが最大のポイントとなる。また、能力を持つ役職に就いたプレイヤーは能力によって知り得た情報を使って他のプレイヤーを説得することがポイントとなる。一方、人狼陣営のプレイヤーは自分たちが不利にならないように議論を誘導し、時には能力を持った役職であると偽り、議論を間違った方向へ誘導することなどが基本プレイとなる。

2.3 人狼ゲームにおける主な役職

人狼には様々なバージョンが存在し、役職もバージョンによって異なるが、人狼 BBS に準拠する本プロジェクトでは以下の役職を採用している。

(1) 村人

人間陣営に所属する。特に何の能力も持たない。

(2) 占い師 (予言者)

人間陣営に所属する。夜のフェーズで占い結果として指定した一人が「人狼であるか否か」を知ることが出来る。人間陣営においては最も重要な役職である。

(3) 霊媒師

人間陣営に所属する。前日に追放した人物が人狼かどうかを知ることが出来る。

(4) 狩人 (ボディーガード)

人間陣営に所属する。夜のフェーズでプレイヤー 1 人を指定して、人狼の襲撃から守ることが出来る。狩人が守ろうとしたプレイヤーを人狼が襲撃した場合、その日は誰も死なないことになる。

(5) 人狼

人狼陣営に所属する。複数人狼がいる場合は、互いにコミュニケーションを取ることが可能である (対面の人狼の場合、夜のフェーズで目配せによるコミュニケーションを取る)。夜のフェーズで任意の村人を襲撃することが可能。

(6) 裏切り者

人狼陣営に所属する。ただし、人狼からは誰が裏切り者であるかは把握されず、能力も無い。村人と同様であるが、人狼陣営が勝利したときに勝利となるため、ひそかに人狼に協力をする。勝利人数のカウント時には人間陣営として数えるため、裏切り者が自ら処刑される事によって勝利することも可能である。

3. 第一回人狼知能大会

第一回人狼知能大会は、2015 年 8 月 27 日にゲーム技術のカンファレンスである CEDEC2015 内で行われた。本

表 1 役職とエージェント数

役職	人数	チーム
村人 (VILLAGER)	8	村人
占い師 (SEER)	1	村人
霊媒師 (MEDIUM)	1	村人
狩人 (BODYGUARD)	1	村人
人狼 (WEREWOLF)	3	人狼
裏切り者 (POSSESSED)	1	人狼

表 2 参加チーム

	チーム数	学生チーム	学生チーム率
登録	78	42	0.53
予選	38	24	0.63
決勝	15	7	0.47

章では、本人狼知能大会について述べる。

3.1 大会ルール

大会は予選と決勝に分けて行われた。大会のルールは、予選決勝ともに BBS 人狼に準拠したものを利用した。一回のゲームには 15 体のエージェントが参加し、表 1 の通りに役職をランダムに振り分けゲームを行った。エージェントは同じ構成で役職のみを変更しながら 100 回ゲームを行い、それを 1 セットとした。予選ではランダムに選ばれた 15 体のエージェントが人狼をプレイし、勝ったチームに所属するエージェントに 1 ポイントが与えられた。なお、動作の途中で例外処理を起こしたエージェントはその時点で失格とした。決勝では、15 エージェントがランダムに役職を割り振られゲームを行った。

3.2 大会参加者概要

大会には 78 チームがエントリーし、そのうち 45 チームが実際にプログラムの登録を行った。予選を行った結果、例外処理を起こさずに実行されたエージェントはそのうち 38 チームであった。参加チームの内学生チームの内訳は表 2 の通りである。全体の半数近くが学生によるチームがしめたことから、単にプログラミングコンテストとしてだけではなく、研究目的として参加したチームもあったと考えられる。なお、登録チームと比べ実際に予選に参加したチームの方は学生率が高いこと、そして決勝進出チームは学生率が低くなっていることを考えると、参加意欲そのものは学生チームの方が高かったものの、実力的には社会人の方が高かったと推測される。図 1 に CEDEC2015 における人狼知能大会決勝の様子を示す。

4. ゲームの分析

人狼知能大会における人狼ゲームがどのような性質を持っていたのかを分析する。これによって、人工知能による人狼ゲームのプレイが人間のプレイと類似した物かどうかを考察する。



図 1 第一回人狼知能大会の様子

表 3 分析データ

	Qualifier	Final
Teams	43	15
Games	327,041	233,765
Villager Win	197,341	127,113
Werewolf Win	129,700	106,652

4.1 分析対象

本論文で用いたデータは、予選、決勝に参加したエージェントを用いて大会と同じルールで改めてゲームを行い、そのログデータを分析した。

データの詳細を表 3 に示す。

4.2 役職別生存率

人狼ゲームはプレイヤーをゲームから排除していくゲームである。そこで、どのような役職がどのタイミングでゲームから排除されていくかを分析した。その結果を予選、決勝に分けて図 2, 3 に示す。

これより、予選決勝ともに生存率が高いのは人狼及び村人、狩人である。これは、占い師、霊媒師は後述するカミングアウトを行うため、追放や襲撃の対象となりやすく生存率が低くなる為であると考えられる。

予選と決勝について比較すると、予選と比較して決勝では霊媒師の生存率が低くなっている。占い師と霊媒師とでは、占い師の方が重要度が高いことが分かっており [6]、決勝ではその知見が活かされ霊媒師が占い師よりも先に追放されることが多いためであろうと推測される。

4.3 カミングアウト状況

人狼ゲームにおいて重要な役職に、占い師と霊媒師がある。この二つの役職を活用することが村人陣営の勝利には欠かせない。これらの役職は自分だけが知った情報を他のプレイヤーに教える必要があるため、役職の報告、すなわちカミングアウト (CO) を行うことが多い。一方で、この

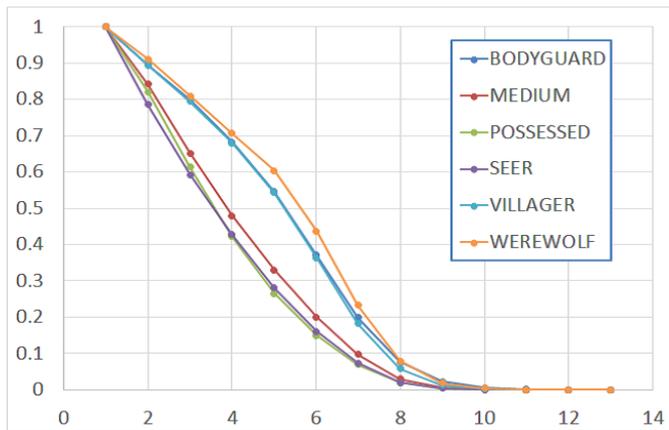


図 2 役職別生存率 (予選)

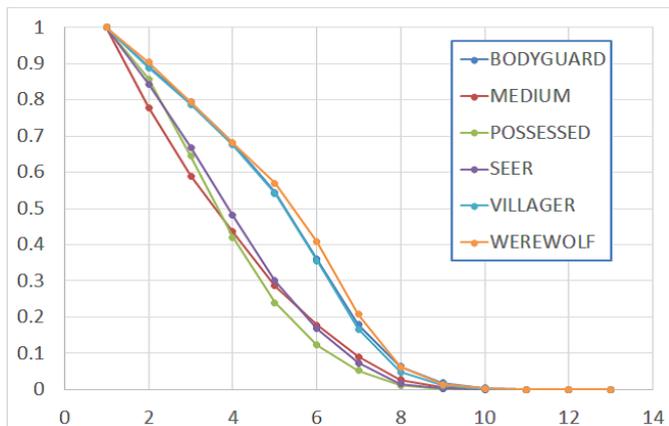


図 3 役職別生存率 (決勝)

二つの役職に活躍されると勝利が危うくなる人狼や裏切り者が役職を騙る、すなわち偽カミングアウト (FCO) する事も多い。その結果として、複数人の占い師と霊媒師が名乗り出ることが一般的である。占い師と霊媒師の CO 数を陣形と呼び、どのような陣形がどちらの陣営にとって有利なのかは人狼ファンの間でよく考察される。

そこで、そのような陣形の出現率について分析を行った。予選、決勝でそれぞれ占い師霊媒師が何人カミングアウトしたゲームが全体に占める割合を表 4, 5 に示す。

これより、通常は生じない状況である CO 数が 6 人以上の場合が予選には存在することが分かった。一般に、本物の能力者 2 名と人狼陣営 4 名が CO する可能性があるが、人狼陣営が全員 CO してしまふと、能力者共々 6 人全員を追放することで村側の勝利が確定するため、6 人が CO することはない。そのため、そのような状況が発生すると言うことは、人狼陣営のミスである可能性が高い。予選においてはそのような状況が発生していたが、決勝では発生していないことから、そのような基本的なミスを犯すエージェントは予選で敗退していたことが分かる。

次に、陣形による勝率の違いを見る。決勝における各陣形とその際の人狼陣営の勝率を図 4 に示す。ただし、決勝において全試合の 1% 以上出現した陣営にのみを示して

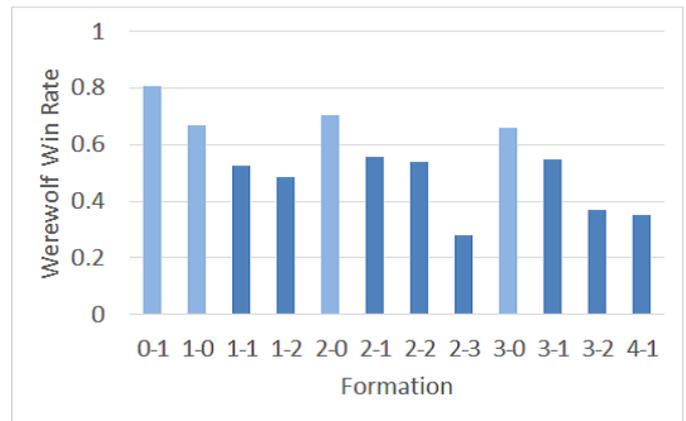


図 4 陣営ごとによる人狼陣営の勝率の変化

いる。

陣営の決定権は基本的に人狼側に存在する。そのため、人狼がどのような陣営を目指すかここから分かる。真の役職者が CO しなかった 0-1, 1-0, 2-0, 3-0 を除く *1 と、もっとも勝率が高いものは 2-1、すなわち占い師が 2 人霊媒師が 1 人 CO した場合である。そのほか、人狼陣営が CO していないであろう 1-1、人狼陣営が 2 人 FCO している 2-2, 3-1 などの勝率が高いことが分かる。一方で、多くの人狼が FCO する 2-3, 3-2, 4-1 と云った陣営では人狼の勝率は低い。従って、人狼陣営は FCO をあまりしないほうが勝率が高いことが分かった。

これは、現在の人狼知能の多くで、CO 以外の情報から人狼を探し出す能力が低いため、CO 情報がない場合にランダムに追放が行われてしまうためではないかと推測される。

4.4 役職ローラー

人狼ゲームにおける基本的な戦略に「役職ローラー」というものがある。これは、同じ役職を CO したプレイヤーが複数いた場合、その中には必ず人狼陣営のプレイヤーがいるため、本物の役職を追放することを覚悟の上で、CO したすべてのプレイヤーを追放するという戦略である。このような戦略が人狼知能大会でどの程度発生したのかを分析した。

ここでは、同一役職を CO したエージェントが連続してすべて追放された場合、ローラーが行われたと判断した。

表 6 に役職と CO 人数ごとのローラー実行率を示す。これより、霊媒師が 2~3 人出てきたとき、決勝戦では両霊媒師が追放されることが多いことが分かった。同様の結果は予選では表れておらず、この戦略を採用したエージェントが決勝に残れる可能性が高かったことを示唆している。

事実、霊媒師はそれほど村の勝利に寄与しないことが分かっており [6]、人狼と両方を追放できるのであれば、村人にとっては勝率を上げる結果になる。そのため、このよう

*1 当然これらの場合は人狼陣営の勝率が高い

表 4 占い・霊能カミングアウト率 (予選)

霊 \ 占	0	1	2	3	4	5	6
0	0.00320	0.01802	0.07118	0.05650	0.01084	0.00073	0.00001
1	0.00792	0.06536	0.24973	0.21289	0.04192	0.00283	0.00005
2	0.00674	0.04101	0.11472	0.06310	0.00784	0.00024	0.00000
3	0.00138	0.00628	0.01193	0.00400	0.00027	0.00000	0.00000
4	0.00013	0.00041	0.00065	0.00008	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.00001	0.00001	0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

表 5 占い・霊能カミングアウト率 (決勝)

霊 \ 占	0	1	2	3	4	5	6
0	0.00028	0.00626	0.04836	0.04345	0.00461	0.00012	0.00000
1	0.00244	0.04457	0.32545	0.33246	0.04181	0.00065	0.00000
2	0.00225	0.03181	0.07410	0.03309	0.00195	0.00000	0.00000
3	0.00000	0.00024	0.00516	0.00085	0.00000	0.00000	0.00000
4	0.00000	0.00000	0.00009	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

表 6 ローラー実行率

Role x CO	Qualifer	Final
SEER x 5	0.018	-
MEDIUM x 4	0.063	-
MEDIUM x 3	0.155	0.417
SEER x 4	0.072	0.147
MEDIUM x 2	0.138	0.370
SEER x 3	0.112	0.181
SEER x 2	0.115	0.085

表 7 パワープレイの発生と勝利陣営

	Qualifier	Final
PP 可能状態	12,162	18,506
PP 発生率	0.223	0.084
PP 発生時人狼勝率	0.890	0.851

な戦略は正しいと言える。

一方で、占い師が複数出たときはあまり積極的にその全てを追放しようとはしていないようである。この点からも人狼知能開発者も霊媒師よりも占い師を重視している様子が見て取れる。

4.5 パワープレイ

人狼ゲームにおいて、人狼陣営の勝利条件は人狼の数とそれ以外の数が同じになることであるが、このとき裏切り者は人狼とは数えられない。そのため終盤になると人狼と裏切り者の数を足すとそれ以外の数よりは多いが、勝利条件を満たしていない場合が発生する。たとえば、人狼が2人、裏切り者が1人、村人が2人の場合、人狼と人狼以外の人数は2対3である。しかし、裏切り者が人狼と協力して村人を追放すれば人狼陣営の勝利となる。このような場合に限り、人狼が自分が人狼であることをCOする場合がある。それによって、裏切り者と協力して村人に追放投票を行うことをパワープレイ (PP) と呼ぶ。

将棋で言えば入玉のような特殊な状況であるため、第一回大会であった今回どの程度のエージェントがこのプレイに対応していたかが不明である。そこで、予選と決勝でどの程度PPが発生したのかを分析した。ここでは、「裏切

りが生きており、人狼陣営の方が村人陣営よりも人数が多かった状態」をパワープレイ可能な状態と定義し、そのなかで「人狼がCOをした」状態と定義した。

パワープレイ可能状態及び、パワープレイの出現確率、パワープレイの成功率を表7に示す。これより、パワープレイ可能な状態は全体の5%ほどのゲームで発生するが、その状態で人狼がカミングアウトする割合は、予選で8.4%、決勝では22.3%であった。したがって、パワープレイに対応したエージェントの割合は、決勝進出エージェントに多かった事が分かる。

一方、パワープレイが発生した場合の人狼陣営の勝率は予選、決勝ともに85%以上と、パワープレイが起きれば人狼陣営はほぼ勝利できるということになる。したがって、人狼知能を作成する上でパワープレイの状態にあるかを判定し、人狼としてCOすることは有効な戦略であると言える。

5. エージェントの行動分析

本章では、個々のエージェントがどのような行動をとっていたのかを分析する。これによって、各エージェントがどの程度のプレイスキルを持っていたのかを分析する。なお、ここでは、決勝に進出したエージェントを対象に分析を行う。

5.1 投票行動

まず、各エージェントが投票時にどの程度人狼に投票を

表 8 人狼への投票率

Agent	V-SIDE	VIL	SEER	POS	WOLF
饅頭	0.405	0.401	0.474	0.238	0.201
働きの悪い村	0.411	0.402	0.507	0.327	0.000
Satsuki	0.354	0.344	0.488	0.353	0.210
wasabi	0.368	0.360	0.464	0.287	0.176
GofukuLab	0.326	0.321	0.365	0.227	0.026
IPA	0.345	0.335	0.453	0.350	0.115
iace10442	0.334	0.324	0.431	0.312	0.011
平兀	0.332	0.330	0.365	0.234	0.077
Y・Y	0.306	0.305	0.326	0.303	0.001
swingby	0.272	0.258	0.378	0.302	0.023
itolab	0.298	0.288	0.520	0.211	0.000
Team Fenrir	0.214	0.199	0.260	0.258	0.000
中村人	0.283	0.281	0.288	0.194	0.055
CanvasSoft	0.353	0.344	0.491	0.370	0.166
昼休み	0.263	0.248	0.470	0.213	0.026

表 9 占い対象

Agent	V-SIDE	WOLF
饅頭	0.706	0.294
働きの悪い村	0.718	0.282
Satsuki	0.755	0.245
wasabi	0.787	0.213
GofukuLab	0.754	0.246
IPA	0.759	0.241
iace10442	0.759	0.241
平兀	0.755	0.245
Y・Y	0.762	0.238
swingby	0.758	0.242
itolab	0.714	0.286
Team Fenrir	0.779	0.221
中村人	0.760	0.240
CanvasSoft	0.589	0.411
昼休み	0.758	0.242

行っていたかを分析する。村人陣営にとっては人狼を追放することが唯一の勝利への道であるため、人狼を探し当てて投票することは重要である。一方、人狼陣営である裏切り者にとっては味方である人狼に投票しないように気をつけなければならない。また、人狼にとっては味方が追放されることは避けたいため、できるだけ人狼には投票しないようにしたい。

以上を踏まえた上で、各エージェントが、

- 村人陣営の時
- 村人の時
- 占い師の時
- 裏切り者の時
- 人狼の時

それぞれで人狼への投票率がどの程度なのかを求めた。その結果を表 8 に示す。

なお、エージェントは大会の順位順にソートされており、V-SIDE は村人陣営を、VIL, SEER, POS, WOLF はそれぞれ、村人占い師、裏切り者、人狼の時を示している。

これより、上位エージェントは人狼への投票率が極めて高いことが分かった。特に上位 2 チームは村人陣営の際に 40% 以上の確率で人狼に投票を行っている。人狼の存在率はおよそ 20%^{*2} 程度であるため、ランダムに選んだ場合の 2 倍程度の確率で人狼に投票していることが分かる。占い師であるときは、真実を知っているため人狼に投票しやすいのは当然であるが、何の役職もない村人の際も 40% 以上の確率で人狼を発見していることは驚異的である。もっとも、ほとんどのエージェントが 20% 以上の投票率であることから、ある程度人狼を見つける能力はいずれのエージェントも持っていると考えられる。

なお、裏切り者であるときは、1, 2, 4, 5 位のエージェントが人狼への投票率が村人の時よりも下がっていること

*2 正確には 21.3%

から、仲間である人狼への投票を避ける行動を取っている様子が見て取れる。

一方、人狼の時の行動を見るとエージェントによって投票行動が大きく異なることが分かる。1, 3 位のエージェントはランダムと同程度に仲間の人狼に投票を行っている。一方で、そのほかの多くのエージェントは仲間への投票は行わないようにしている。基本的に人狼ゲームにおいて人狼を見つけるためには、占い師の力に頼らなければならないが、多くの人狼が「仲間への投票を避ける」と言う行動を取っているのであれば、そこから人狼がどこにいるのかを見つける事できる可能性がある。事実、1 位のエージェント開発者は、他のエージェントの投票行動を元に人狼を探し出しているという^{*3}。

以上より、投票行動から上位エージェントは人狼発見率が高いことが明らかとなった。また、上位エージェントの一部は人狼同士投票行動を取ることで、人狼であることを見抜かれないう行動していることが分かった。

5.2 占い行動

占い行動で人狼を当てることは村人陣営にとって勝利に直結する重要な行動である。そこで、各エージェントが選択した占い対象がどの程度の割合で人狼であるかを分析した。その結果を表 9 に示す。

これより、人狼への占い率にそれほど大きな違いはない。ただし、14 位のチームだけ驚異的な人狼的中率を誇っている。実際、8 から 14 位のチームは占い師の際には人狼への投票率が高いことが分かっており、人狼を見つける能力に長けていたことが明らかとなった。

*3 https://twitter.com/inani_waon/status/636897875402690560

表 10 護衛先の役職

Agent	SEER	MED	VIL	POS	WOLF
饅頭	0.292	0.283	0.185	0.146	0.094
働きの悪い村	0.426	0.029	0.151	0.307	0.087
Satsuki	0.240	0.015	0.253	0.250	0.242
wasabi	0.369	0.066	0.239	0.173	0.154
GofukuLab	0.419	0.007	0.126	0.259	0.188
IPA	0.412	0.108	0.070	0.244	0.166
iace10442	0.314	0.226	0.090	0.211	0.159
平兀	0.263	0.290	0.177	0.158	0.111
Y・Y	0.229	0.287	0.194	0.154	0.136
swingby	0.004	0.009	0.833	0.007	0.147
itolab	0.383	0.005	0.097	0.274	0.240
Team Fenrir	0.269	0.231	0.090	0.224	0.187
中村人	0.390	0.007	0.161	0.241	0.201
CanvasSoft	0.154	0.578	0.054	0.127	0.086
昼休み	0.442	0.000	0.000	0.329	0.229

表 11 勝率との相関

	Correlation
Vote	0.735
Divine	0.061
Guard	0.601

分かる。

これより、高い勝率を目指すには占い師よりも、狩人や一般の村人を作り込む方が効果的であることが示唆された。

6. 結論

本研究では、第一回人狼知能大会における人狼知能エージェントの行動ログを分析し、人狼知能の現状を明らかにした。

まず、予選と決勝に進出したエージェントとでの性能の差を確認した。その結果、決勝では一般によく用いられる戦略(ローラーやパワープレイ)がゲーム中に確認され、人間に近いゲームプレイが行われていることが明らかとなった。

また、個々のエージェントの行動について分析した結果、上位エージェントは人狼を見つけ出し、人狼に投票している確率が高いことが分かった。また、村人陣営に勝利をもたらしやすいと考えられている、占いと護衛の行動については、必ずしもそれらの能力が高いエージェントほど勝率が高いわけではないことが明らかとなった。特に、特定のエージェントについては個々の能力は極めて高かったにもかかわらず順位は低いところにあったため、今回分析した以外の原因で勝率が決定されていることが示唆された。

さらに、一部のエージェントは極めて優れた能力を持っていることがあり、これらのエージェントのソースコードを確認することで、より強い人狼知能エージェントを実現できると期待される。

人狼知能プロジェクトでは、2016年8月に第二回人狼知能大会を行う予定となっている。また、今後も引き続き人狼知能大会を継続していく予定であるため、本稿を読んで興味を持った方は是非WEBページにアクセス^{*4}し、大会にご参加いただきたい。本稿で分析した人狼知能のソースコードもWEBページ^{*5}からダウンロードすることが可能である。

謝辞 本研究の一部は、科学技術融合振興財団助成、実践AIチャレンジ研究助成、中山隼雄科学技術文化財団助成研究費、科学研究費補助金挑戦的萌芽研究15K12180、人工知能学会30周年記念事業実行委員会の支援を受けて行われた。

*4 <http://aiwolf.org>

*5 <http://aiwolf.org/2016/02/29/cedec2015source/>

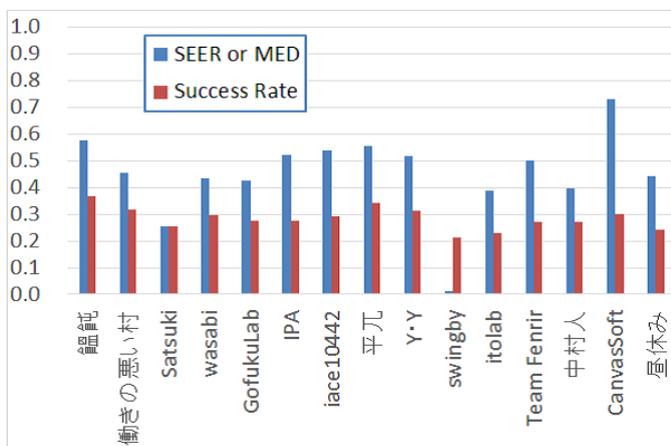


図 5 護衛先の人間役職率と護衛成功率

5.3 護衛行動

次に、どのエージェントがどのような役職に対して護衛行動を行ったかを分析した。各エージェントの護衛先役職の割合を表10に示す。

これより、1位のチームは占い+霊媒を護衛する確率が、裏切り者+人狼を護衛する確率を大幅に上回っていることが分かる。また、10位のチームはほとんどの場合で役職を守っておらず、14位のチームは霊媒師を守る確率が極めて高かったことが分かる。

次に、護衛先の人間役職率と、護衛成功率について図5に示す。これより、必ずしも上位のエージェントが高い役職護衛率や護衛成功率を持つわけではないことが分かる。

5.4 各行動と順位の間

最後に、各行動の成功率と勝率との間の相関を確認する。表11に示す。

これより、投票率と護衛成功率は勝利に貢献しているようだが、占い成功率は勝利率とはあまり相関はないことが

参考文献

- [1] Michael Bowling, Neil Burch, Michael Johanson, and Oskari Tammelin. Heads-up limit hold' em poker is solved. *Science*, Vol. 347, No. 6218, pp. 145–149, 2015.
- [2] Codruta Girlea, Roxana Girju, and Eyal Amir. Psycholinguistic features for deceptive role detection in werewolf. In *Proceedings of NAACL-HLT*, pp. 417–422, 2016.
- [3] Piotr Migdal. A mathematical model of the mafia game. *arXiv preprint arXiv:1009.1031*, 2010.
- [4] Erlin Yao. A theoretical study of mafia games. *arXiv preprint arXiv:0804.0071*, 2008.
- [5] 稲葉通将, 大島菜央実, 鳥海不二夫, 高橋健一. 雑談ばかりしてると殺される-人狼 bbs におけるプレイヤーの発言傾向と意思決定・勝敗の分析-. *JAWS 2013*, 2013.
- [6] 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, 2012.