

人狼知能におけるエージェント発話や 役職割当に着目した戦術分析

Tactical analysis focusing on agent utterances and role assignments in AIWolf

丸山 洸太^{1*} 大和 淳司¹
Kota Maruyama¹ Junji Yamato¹

¹ 工学院大学大学院工学研究科情報学専攻

¹ Dept. of Informatics, GraduateSchool of Engineering, Kogakuin University

Abstract: The Werewolf game is an imperfect information game and a communication game. Therefore, the game contains information that is not disclosed or cannot be quantified. This information makes it difficult to evaluate the agent. In this paper, we analyze the tactics that affect the winning rate by using many agents.

1 はじめに

現在 AI に関する研究は盛んに行われており、様々な分野での応用が期待されている。その進歩はめざましく、ゲーム AI に関しても例外ではない。

ゲームには勝敗が存在し、複雑なルールや人間との対戦も可能であることから、AI の性能を測る指標として用いられてきた。チェスでは 1997 年に IBM のディープブルーがチェスチャンピオンに勝利を収めた [4]。将棋では 2010 年にあから 2010 が女王王将に勝利を収め、2015 年には情報処理学会のコンピュータ将棋プロジェクトがプロジェクトの役割を果たしたことで終了宣言を行った [5]。囲碁では 2016 年に Google の AlphaGo が囲碁チャンピオンに勝利した [6]。これらのゲームは完全情報ゲームと呼ばれ、ゲーム内における全ての情報がお互いのプレイヤーに公開される。

一方、ゲーム内の情報が全て公開されないゲームを不完全情報ゲームと呼び、人狼ゲームなどがこの分野に属する。このような不完全情報ゲームは、そのゲーム特性から解析が困難な面もあり、研究開発が十分に行われていない。しかし、完全情報ゲームに属するゲームで人間が AI に勝利することは困難になり、研究対象は不完全情報ゲームに移行している。

その一端として人狼知能プロジェクト [1] があげられる。人と AI が人狼ゲームをプレイすることを目標に人狼知能プロジェクトが発足しており、2021 年には ANAC2020^{*1}において 2 回目となる国際大会が催され

た。人狼ゲームはプレイヤーの発言を通して盤面を理解していくため、複数のプレイヤーとコミュニケーションを取る必要がある。また、相手を説得して信頼を得ることでゲームを有利に進められるだけでなく、各プレイヤーが持つ情報の非対称性から、嘘をつく・相手の嘘を見抜く必要もある。これらの能力は、従来の AI 研究ではあまり扱われていなかった分野であるため、人狼ゲームをプレイするためには多くの複雑な課題を解決する必要がある。

人と対戦させるためには、自然言語を用いてより自然な対話を行わなければならないが、同時に戦術面についても考慮しなければならない。特に強いエージェントを作成するためには、どのようなエージェントに対しても高い勝率を維持する必要がある。そこで必要になるのはエージェントの数であり、様々な戦術を取るエージェントを作成する必要がある。従来であれば、エージェントの作成にはプログラミングしなければならないというハードルの高さがあるため、多くのエージェントを作成することが困難であった。しかし武田ら [2] が人狼知能エージェントを容易に生成することのできるシステムを開発したため、容易に複数のエージェントを生成することが可能となった。そのため様々な戦術を持ったエージェントとの対戦も容易となり、エージェントの強さや戦術の有効性についても評価しやすくなったと言える。

そこで本研究では、どのようなエージェントと対戦しても高い勝率を出すエージェントを作成することを目標に、簡易生成ジェネレータや過去のコンテストで用いられたエージェントを活用することで、どのような戦術が勝率に影響を及ぼすか分析を行う。

*連絡先：工学院大学大学院工学研究科情報学専攻
〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2
E-mail: em19021@ns.kogakuin.ac.jp

^{*1}<https://web.tuat.ac.jp/katfuj/ANAC2020/>

2 人狼ゲーム

人狼ゲームは各プレイヤーがコミュニケーションを取ることによってゲームが進行する。3人以上のプレイヤーが村人陣営か人狼陣営に分かれ、各陣営の勝利を目指して対戦を行う。以下は人狼知能プロジェクトで採用されている5人村のレギュレーション (ver.1.2.0) [3] に基づいて説明を行う。各プレイヤーにはゲーム開始時に役職 (村人・占い師・人狼・裏切り者) がランダムで割り当てられ、自分の陣営は役職によって決められる。村人陣営であれば全ての人狼を処刑 (ゲームから排除) すると勝利となる。一方、人狼陣営は生存している人狼数が、人間の数と同等か上回れば勝利となる。ゲームはターン制で、1ターンを1日と表現する。1日は情報開示→占い→議論→投票 (処刑) →襲撃という5つのフェーズに分けられる。各陣営の勝利条件を満たすまで1日の各フェーズを繰り返し行う。以下に各フェーズについての説明を行う。

情報開示 ゲームサーバーから生存しているエージェントや自身の役職といった情報が与えられる

占い 占い師は任意のエージェントを選択することで、そのエージェントの役職を知ることができる

議論 各エージェントは自由に発言することができ、誰が人狼であるかを議論する

投票 (処刑) 各エージェントは処刑するエージェントを1体決めて投票を行う。最も得票数の多かったエージェントは処刑され、ゲームから排除される

襲撃 人狼は任意のエージェントを1体選択することで、そのエージェントを襲撃しゲームから排除することができる

3 実験

3.1 実験1

3.1.1 実験目的

コミュニケーションゲームである人狼ゲームにおいて、エージェント自身の役職を公表する CO (Coming Out) を行うことはゲーム展開を有利に進めるための重要な戦術であると考えられる。しかし発言内容によっては味方エージェントを欺くことになり、敗北に繋がる可能性もある。そこで本実験では、実際に人狼ゲームを行うことで、どのような CO 発言が勝率に影響を及ぼすか分析する。

3.1.2 実験手法

対戦するエージェントは、2nd International Aiwolf Contest のファイナリストに選ばれたエージェントの中から無作為に選択した4体 (Tomato, fanfan, hello_wolf, takeda) と、簡易生成ジェネレータを用いて生成した5体の簡易生成エージェント、自作エージェント (maru) の合計10体を使用した。ここで、エージェント maru を含め、昨年度大会ファイナリストのコードは CO 発言することを確認したため、簡易生成エージェントは CO 発言を行わないよう設定した。対戦ルールは人狼知能プロジェクトプロトコル部門の5人村ルールに準拠した。役職は村人 x2, 人狼 x1, 占い師 x1, 裏切り者 x1 で対戦を行なった。複数回対戦を行い、その対戦ログから CO 発言を行なった試合を抜き出すことで、発言した役職と実際の役職ごとの勝率を算出した。

3.1.3 実験手順

試合数は合計で 90,000 試合行なった。100 試合ごとに対戦環境を変化させ、より多くのエージェントと様々な環境で対戦を行なった。

1. 100 試合を1セットとし、これまでの学習をリセットするために1セット終わるごとにゲームサーバーを立て直した。この時、対戦相手やエージェントに割り振られる id は変更しない。
2. 3セットを1オーダーとし、1オーダー終わるごとにエージェントに割り振られる id を入れ替える。
3. 60 オーダーを1グループとし、1グループ終わるごとに対戦エージェントの組み合わせを無作為に変更する。
4. 合計5グループ分のゲームを行う。
5. 全てのゲームが終了したら、ログから CO 発言ごとの勝率を算出する。

3.1.4 結果

実験1の結果を図1に示す。自動生成エージェントは CO 発言を行わなかったため、図1には表示されていない。赤枠内は同一エージェントの発言であることを表している。また、横軸は発言の種類を表し、"[発話者の陣営]->[発話した役職]([実際の役職])_[CO した日付]"で表記した。

図1より、占い師が占い師 CO した試合では勝率が高いことが分かる。また、人狼陣営が2日目の人狼陣営の役職を CO した試合も勝率が高いことが分かる。



図 1: 各エージェントごとの CO 発言と勝率の関係

3.1.5 考察

人狼陣営が 2 日目に人狼陣営の役職を CO した試合で勝率が高くなっているのは、パワープレイ (PP) という戦術を行なったためだと考えられる。PP とは人狼ゲームにおける有名な戦術の一つである。生き残っているプレイヤーの内訳が、人狼陣営のプレイヤー数 \geq 村人陣営のプレイヤー数となる場合に行える戦術である。上記の条件を満たした場合、人狼陣営が自分自身の役職を正直に CO することで、お互いが結託して村人陣営のプレイヤーを処刑していく戦術である。5 人村の場合、2 日目に生き残るプレイヤー数は 3 体である。そのため、3 体のうち 2 体が村人陣営で PP を行ってしまうと、人狼陣営は不利な状況に追い込まれる。また、2 体の人狼陣営のプレイヤーであったとしても、村人陣営が人狼陣営だと嘘の CO をすることで、人狼陣営を攪乱することができる。しかし本実験の結果から、人狼陣営の場合ほどのエージェントでも役職 CO する試合では勝率が高いことがわかる。

ここで、2 つの疑問が生じる。

- 人狼陣営が 2 日目に役職 CO することは勝率にどれほど影響を及ぼすのか
- 村人陣営の PP 対抗策は有効であると言えるのか

これらの疑問を解決するため、次の実験 2 を行なった。

3.2 実験 2

3.2.1 実験目的

人狼陣営の 2 日目 CO が勝率にどれほど影響を及ぼすか分析するとともに、村人の対抗 CO が有効であるか分析する。

3.2.2 実験手法

実験 1 で用いた 10 体のエージェントに、簡易生成ジェネレータを用いて生成したエージェント 5 体を加えた計 15 体を使用した。ここで、実験 1 で生成したエージェントは CO を行わないエージェントであったため、本実験では各 5 体のエージェントの対となる CO 発言を行うエージェントを生成した。

対戦ルールは実験 1 同様、人狼知能プロジェクトプロトコル部門の 5 人村ルールに準拠する。役職は村人 x2, 人狼 x1, 占い師 x1, 裏切り者 x1 とする。複数回対戦を行い、その対戦ログから PP が可能な状態 (2 日目に人狼と裏切り者が生き残っている状態) を含むゲームと、PP を実際に行なった (人狼と裏切り者が人狼陣営の役職を CO した) ゲームを取り出す。取り出したゲームから、各エージェントの CO 発言ごとに勝率を算出し、人狼陣営の PP の有効性と村人陣営の PP 対抗策の有効性について分析を行う。

3.2.3 実験手順

試合数は合計で 120,000 試合行なった。120,000 試合の内訳を以下に示す。

1. 100 試合を 1 セットとし、これまでの学習をリセットするために 1 セット終わるごとに人狼知能サーバを立て直す。この時、対戦相手やエージェントに割り振られる id は変更しない。
2. 3 セットを 1 オーダーとし、1 オーダー終わるごとにエージェントに割り振られる id を入れ替える。
3. 4 オーダーを 1 グループとし、1 グループ終わるごとに対戦エージェントの組み合わせを無作為に変更する。
4. 合計 100 グループ分のゲームを行う。
5. 全てのゲームが終了したら、ログから CO 発言ごとの勝率を算出する。

3.2.4 仮説

仮説 1 人狼陣営は 2 日目に PP (自身の役職を CO) する方が、しない場合よりも勝率が高くなる

仮説 2 村人陣営は 2 日目に PP 対抗 (人狼陣営の役職を CO) する方が、しない場合よりも勝率が高くなる

3.2.5 結果

実験2の結果を図2～図3に示す。各図はエージェントの勝率をCO発言ごとにまとめたものである。図2はA06というエージェントの勝率をまとめており、図3はA08というエージェントの勝率をまとめたものである。横軸は発言の種類とPPが可能な状態か、あるいはPPを行なったかを表す。PP可能な状態は、2日目に人狼と裏切り者が生存していたことを意味している。一方PP不可能な状態は、2日目に裏切り者が生存していないことを意味している。また、PP実行状態とは、人狼と裏切り者が2日目に人狼陣営の役職をCOした状態をさす。PP不実行状態とは、人狼あるいは裏切り者のどちらかが2日目に自身の役職をCOしなかった状態をさす。

図2の一番左にある"A06(人狼陣営) COなし (PP可能)"は、「人狼陣営の役職であるエージェント名A06が、PP可能な状態でCOを行わなかったときの勝率」を表す。また、図3の左から2番目にある"A08(村人) COなし (PP実行)"は、「役職が村人であるエージェント名A08が、PPされた状態で人狼陣営の役職をCOしたときの勝率」を表す。

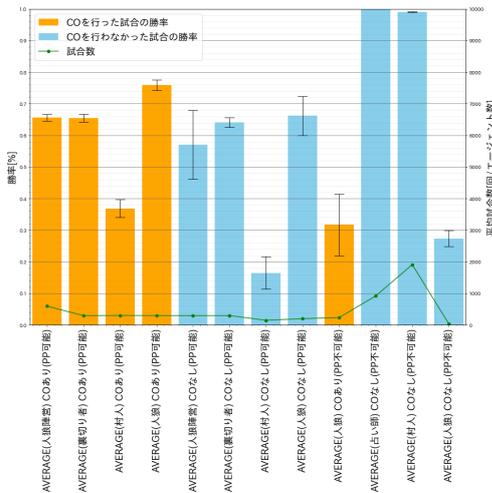


図2: PP可能状態における各役職ごとのCO発言と勝率の関係

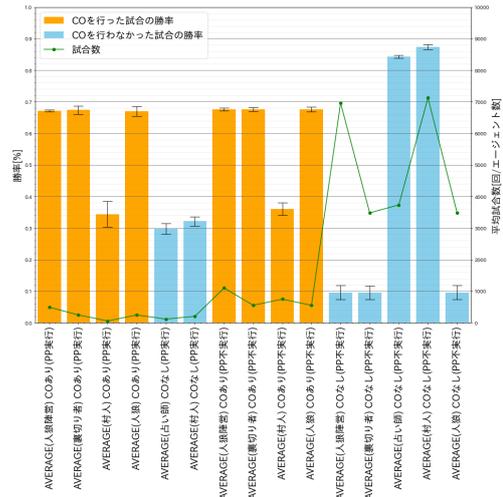


図3: PP実行状態における各役職ごとのCO発言と勝率の関係

3.2.6 考察

図2から、PPが可能か不可能かという状況に分けてPPの有効性について考察する。2日目がPP可能な状態であり、人狼陣営でCOを行なった試合と行わなかった試合を比較すると、表1のようになった。また、2日目がPP不可能な状態であり、人狼でCOを行なった試合と行わなかった試合を比較すると、表2のようになった。裏切り者であれば、PPが可能・不可能に関わらず勝率に大きな違いは見られなかった。しかし人狼の場合、PP可能な状態においてはCOを行なった方が行わない試合よりも勝率が高くなることがわかった。一方PP不可能な状態においてはCOで勝率に大きな差は見られなかった。そのため、人狼は積極的にCOを行うべきであると言える。

PP可能な状態で人狼がPPすると、裏切り者もPPに加担する可能性がある。しかし裏切り者が加担しなければPPにはならない。この状況でも人狼の勝率が高くなったのは、裏切り者が投票先に人狼を選択しなかったためであると考えられる。裏切り者は人狼COを行なっていないエージェントへ投票し、人狼は市民あるいは裏切り者へ投票を行う。この状況で人狼が処刑されるためには、市民が人狼へ投票し、人狼が裏切り者へ投票する場合である。この段階で市民の選択肢が2通り、人狼の選択肢が2通りの計4通り。さらに、この状況になれば処刑されるエージェントはランダムに決められる。ここで人狼が選ばれる可能性は1/3である。つまり人狼がCOを行うことで裏切り者の投票先を自分以外のエージェントに向ける効果が期待できる。人狼と村人陣営のエージェントが取れる選択肢4通りのうち、人狼陣営の敗北に繋がる選択肢は1通りしかなく、さらにそこから1/3の確率を引かないと村

人陣営の勝利に繋がらないことから、人狼の勝率が高くなったと考えられる。

一方の裏切り者は、2日目にCOを行ない、人狼が裏切り者以外のエージェントに投票したとしても、裏切り者自身が人狼へ投票してしまう可能性がある。そこに村人陣営のエージェントが人狼へ投票すると、人狼が処刑されてしまい、村人陣営の勝利となる。また、仮に村人陣営のエージェントが裏切り者へ投票したとしても、投票数が三つ巴となり1/3の確率で人狼陣営の敗北が決まる。

各エージェントの投票先を決める確率が一樣であると仮定すると、人狼がCOし、裏切り者の投票先を人狼以外へ誘導できた場合に人狼陣営が敗北する可能性は、 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{12}$ となる。表1から人狼の勝率が $1 - \frac{1}{12}$ となっていないのは、人狼がCOしたことで村人陣営のエージェントが人狼へ投票している可能性が高いためであると考えられる。一方、裏切り者がCOし人狼の投票先を裏切り者以外へ誘導できた場合に人狼陣営が敗北する可能性は、 $\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{3}$ となる。

以上のことから、人狼であれば2日目に裏切り者が生存しているかいないかに関わらず、役職をCOするべきであることが示唆された。

次に、図3から、PPが行われたか行われていないかという状況に分けて村人陣営のPP対抗COの有効性について考察する。PPが行われたときに、村人が対抗して人狼陣営の役職COを行なった場合と行わなかった場合で勝率に大きな差は見られなかった。PPが行われなかった場合では、村人が人狼陣営の役職COを行わない方が高い勝率となった。このことから、PPが行われた場合、村人は対抗COを行なっても勝率に変化がないことが示唆された。つまり、村人のPP対抗COは勝率に寄与しないと考えられる。

表 1: 役職が人狼陣営のとき、PP 可能状態での CO 発言と勝率の関係

発言	勝率 (%)
AVERAGE(裏切り者) CO あり (PP 可能)	65.5
AVERAGE(裏切り者) CO なし (PP 可能)	64.1
AVERAGE(人狼) CO あり (PP 可能)	75.8
AVERAGE(人狼) CO なし (PP 可能)	66.2

表 2: 役職が人狼のとき、PP 不可能状態での CO 発言と勝率の関係

発言	勝率 (%)
AVERAGE(人狼) CO あり (PP 不可能)	31.7
AVERAGE(人狼) CO なし (PP 不可能)	27.4

表 3: 役職が村人のとき、PP 実行状態での PP 対抗 CO 発言と勝率の関係

発言	勝率 (%)
AVERAGE(村人) CO あり (PP 実行)	34.4
AVERAGE(村人) CO なし (PP 実行)	32.1
AVERAGE(村人) CO あり (PP 不実行)	36.0
AVERAGE(村人) CO なし (PP 不実行)	87.4

4 まとめ

本実験を通して、CO 発言と勝率の関係について分析した。実験の結果、役職が人狼の場合は2日目に役職COすることが有効であった。その一方で、村人の場合は、PPに対抗して人狼陣営の役職をCOする戦術が勝率に影響しない可能性が示唆された。

参考文献

- [1] 片上大輔, 鳥海不二夫, 大澤博隆, 稲葉通将, 篠田孝祐, 松原仁, "人狼知能プロジェクト," 人工知能学会誌, vol.30, no.1, pp.65-73, 2015.
- [2] 武田惇史, 鳥海不二夫, "人狼知能エージェントの簡易生成システムの開発," 第34回人工知能学会全国大会, 2F5-OS-20b-02, 2020.
- [3] 2nd International AIWolf Competition Regulation, 人狼知能プロジェクト, http://aiwolf.org/control-panel/wp-content/uploads/2020/01/Regulation2020_1.2.0.pdf, (参照 2021/1/31)
- [4] Murray Campbell, A. Joseph Hoane Jr., Feng-hsiung Hsu, "Deep Blue," Artificial Intelligence, pp.57-83, 2002.
- [5] 松原仁, "あから 2010 勝利への道特集," 情報処理, Vol.52, No.2, p.152-190, 2011.
- [6] David Silver, Aja Huang, Chris J. Maddison, Arthur Guez, et al, "Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search," Nature 529, pp.484-489, 2016.