

3者間人狼における他者の投票行動を考慮した戦略の検討

Analysis of Strategies in Werewolf Game by 3 Players Considering Voting Behaviour of Other Players

玉井 日菜子

Hinako Tamai

奈良女子大学大学院 人間文化研究科 博士前期課程 情報衣環境学専攻

Department of Computer Science and Clothing Environment,
Graduate School of Humanities and Sciences, Nara Women's University

In this research, based on the Utterance model in Werewolf Game by 3 Players of the previous research, we examined the strategy of reasonable voting behavior when anticipating the voting behavior of others. As a result, we found that a strategy which is quite different from the voting behavior which is considered reasonable when not considering the voting behavior of others is obtained. In addition, we found that the same strategy appears at regular intervals when the estimation of the voting behavior of others is repeated.

1. はじめに

近年、人狼ゲームに関する研究は盛んに行われている。人狼ゲームとは、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ある。その特徴から、人工知能のための標準問題としての可能性が検討されている [篠田 14]。従来研究では、人狼ゲームをプレイする人工知能が挙げられ、強い人狼エージェントも現れている。既存の人狼エージェントでは強化学習を使用したものが多いが、論理的思考に着目したものは少ない。一方で [大澤 14] において、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 モデルの利点が指摘されており、また、BDI 論理を用い、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。そこで、我々は BDI 論理に基づいた論理的思考を戦略決定に用いる人狼エージェントの実現を目指している。しかし、実際の人狼ゲームでの推論は多彩かつ複雑であるため、エージェントに組み込める形にするには人狼ゲームの論理的分析が必要となる。

論理的分析を行っている例として、[大澤 16] が挙げられ、人狼ゲームの最小系である 3 人狼において、各プレイヤーの発言の選択肢を削減できるか検討されている。そこで、本研究では、[大澤 16] で使用された 3 人狼における発話のモデルを元にし、他者の投票行動を予想した上での合理的な投票行動の戦略について検討した。その結果、互いに他者の行動を予想しあうと安定した戦略に収束しないこと、また、[大澤 16] の分析で合理的とされる投票行動とはかなり異なる戦略が得られることが分かった。

2. 制限を設けた人狼の戦略分析の研究

[西崎 17] では、ワンナイトではあるが 3 者間ではない人狼の発話や投票に関する戦略分析が行われている。こちらは実際のゲーム (100 ゲーム) の分析である。[杉本 17] では、5 人狼で村人に着目して投票行動の決定過程の分析が行われている。これも実際に行ったゲームの過程を分析している。これらに対し、我々は 3 者間で全ての可能性の分析を行っている点が異なる。[汪 17] では、3 人狼で、進化シミュレーションの手

法を用いて、人狼プレイヤーがどのように戦略を変化させていくかの分析が行われている。プレイヤーが他プレイヤーの行動を考慮した戦略決定を行っている点は本研究と同様と考えられるが、シミュレーションによって変化の過程を調べている点がいずれと異なる。

3. 一般的人狼ゲームのルール

ゲーム開始時に各プレイヤーに役職が割り当てられ、役職に従い村人陣営と人狼陣営に分かれてプレイを行う。また、役職に応じて特殊能力が与えられる。役職には例えば、特定のプレイヤーが人狼であるかどうか知ることが出来る占い師などがある。村人陣営の勝利条件は人狼をすべて追放することであり、人狼陣営の勝利条件は村人の数を人狼の数以下にすることである。ゲームは昼と夜の 2 つのフェーズで進行する。昼のフェーズでは各プレイヤーが自由に対話を行い、得られた情報を元に、投票によって誰をゲームから追放するかを決定する。夜のフェーズでは、それぞれの役職に応じた能力を行使する。人狼は 1 人のプレイヤーを指定し襲撃することができる。対話において、村人陣営側は人狼陣営の嘘を見破ることが重要となる。一方人狼陣営側は役職を偽るなどの嘘をつき、議論を混乱させ自分たちが不利にならないように誘導することが重要となる。ゲームが進むにつれ、各プレイヤーは投票で追放されるか、人狼に襲撃されることでゲームから除外される。そうして勝利条件のどちらかが達成されたとき、ゲームは終了する。

4. 3 者間人狼の定義

当研究では、[大澤 16] の 3 人狼における発話のモデルを使用し、また、相手の投票行動を想定しない場合の合理的な行動の分析を出発点としてを使用する。以下に概略を述べる。

4.1 3 者間人狼の扱う範囲

3 者間人狼の場合、処刑が一回行われるとゲームが終了するため、夜のフェーズは存在しない。同時発話 1 回のもと、投票を行う。全員が同数投票 (3 者間人狼では各自 1 票ずつ投票) された場合引き分けとする。役職は、村人陣営である村人、占い師、人狼陣営である人狼で構成され、各役職につき、プレイヤーは 1 人である。占い師にはゲーム開始前にどちらが狼であるかの情報を与える。

連絡先: 玉井 日菜子, 奈良女子大学情報衣環境学専攻生活情報
通信科学コース, sah.tamai@cc.nara-wu.ac.jp

4.2 プレイヤーの合理的な行動 (相手の投票行動を想定しない場合)

[大澤 16] では、以下の投票行動を合理的であるとして採用している。

- 村人の戦略: 自身が狼と一人だけから告げられたとき、そのプレイヤーへ投票する。また、村人プレイヤーにとって自分以外を狼と指すプレイヤーが 1 人だけいるとき、狼と指されたプレイヤーに投票する。
- 人狼の戦略: 自身が狼と一人だけから告げられた時、そのプレイヤーへの投票する。

上記以外の場合は、投票先を決定することはできない。

4.3 発言について

発言の種類は以下の 4 通りである。簡易化のため、以降村人、人狼、占い師のプレイヤーをそれぞれ、Pv、Pw、Ps と表記する。

- To: 「自身が占い師ではない」
- Tv: 「自身が占い師であり、狼は Pv (村人) である」
- Tw: 「自身が占い師であり、狼は Pw (人狼) である」
- Ts: 「自身が占い師であり、狼は Ps (占い師) である」

ただし、自身が占い師でありながら狼は自身であると発言することは矛盾するため、各プレイヤー 3 通り (村人は Tv、人狼は Tw、占い師は Ts を除く) の発言がありえる。従って、発言の可能性は計 27 通りある。

4.4 投票について

占い師は、誰が人狼であることを知ることができるため、常に人狼に投票することが有利であるが、村人、人狼それぞれのプレイヤーには 2 通り (村人は占い師または人狼に投票、人狼は村人もしくは占い師に投票) の行動が存在する。27 通りの発言それぞれの場合における投票行動を [表 3] ([大澤 16] による) に示す。このうち、先述の合理的な行動によって行動が決まる場合は、その行動をとるものとする。Pv、Pw、Ps は村人・人狼・占い師の発言、Vv、Vw は村人・人狼の投票先を表し、V、W、S は村人・人狼・占い師への投票を表す。U は投票行動を決定できない (他の 2 プレーヤーのいずれへの投票も含んだ) 状況を表す。

4.5 勝敗について

[表 3] にはそれぞれの場合の勝敗も示されている。勝敗については、簡略化のため [表 1] のように記述する。村人と人狼の投票先がどちらも U の場合、どちらとも判別がつかず、村側勝利、狼側勝利、引き分けのいずれをも含んだ状況となる [表 2]。この状況を [大澤 16] では case 3.1 と表しているため、便宜上同様の表現を使用する。

村側勝利	V_win
狼側勝利	W_win
引き分け	draw
表 2	case 3.1

表 1: 勝敗についての表記

村人投票先	人狼投票先	結果
人狼	占い師	村側勝利
人狼	村人	村側勝利
占い師	占い師	狼側勝利
占い師	村人	引き分け

表 2: どの結果も含む状況

Pv	Pw	Ps	Vv	Vw	result
To	To	To	U	U	case 3.1
To	To	Tv	S	U	draw or W_win
To	To	Tw	W	S	V_win
To	Tv	To	W	U	V_win
To	Tv	Tv	U	U	case 3.1
To	Tv	Tw	W	S	V_win
To	Ts	To	S	U	draw or W_win
To	Ts	Tv	S	U	draw or W_win
To	Ts	Tw	U	S	V_win or W_win
Tw	To	To	U	V	V_win or draw
Tw	To	Tv	S	V	draw
Tw	To	Tw	W	U	V_win
Tw	Tv	To	W	V	V_win
Tw	Tv	Tv	U	V	V_win or draw
Tw	Tv	Tw	W	U	V_win
Tw	Ts	To	S	V	draw
Tw	Ts	Tv	S	V	draw
Tw	Ts	Tw	U	U	case 3.1
Ts	To	To	U	U	case 3.1
Ts	To	Tv	S	U	draw or W_win
Ts	To	Tw	W	S	V_win
Ts	Tv	To	W	U	V_win
Ts	Tv	Tv	U	U	case 3.1
Ts	Tv	Tw	W	S	V_win
Ts	Ts	To	S	U	draw or W_win
Ts	Ts	Tv	S	U	draw or W_win
Ts	Ts	Tw	U	S	V_win or W_win

表 3: 一回同時発言の場合の結果の分類 (Vs=W)

5. 他プレイヤーの戦略を推測した上での戦略の検討

[大澤 16] では、相手の投票行動が 4.2 に述べたように仮定され、全プレイヤーに共有された場合の、プレイヤーの合理的な発言行動について考察されている。具体的には、各プレイヤーの発言の選択肢が削減できるかどうかを考えており、特定の発言を行った場合、全ての状態において他の発言よりも自身の勝利の可能性が増えるならば、その戦略はより強い戦略といえ、選択肢を削減できる。

本研究では、発言の削減については考慮せず、全ての発言は等しく選択されると仮定し、その結果、どのように投票行動が変化しうるのかについて考察する。具体的には、相手の投票行動を仮定した上でどのプレイヤーに投票するのがより強いのか考察し、戦略を決定する。さらに決定された戦略を踏まえ、こちらがその戦略をとると予想した相手プレイヤーが新たに戦略を決定する操作を繰り返すことにより、どのような結果が得られる

か検討する。表記を簡易化するため、村人が V_n の戦略を選択すると仮定した場合の最適狼の戦略を W_{n+1} 、狼が W_n の戦略を選択すると仮定した場合の村人の戦略を V_{n+1} と表す (n は 0 以上の整数)。また、 V_0 、 W_0 は、4.2 で述べた、相手の投票行動を想定しない場合の戦略を指す。

5.1 一人称視点での発話の分類

一人称視点での発話パターンの分類ごとの戦略を検討する。自分視点で区別がつけられない発話パターンを 1 つのグループとする。村人、人狼、いずれの場合も 15 グループに分類できる [表 4][表 5]。例として村人視点で、二つの発話パターン $P_v = T_o$, $P_w = T_o$, $P_s = T_v$ と、 $P_v = T_o$, $P_w = T_v$, $P_s = T_o$ について述べる。この二つの発話の違いは、占い師が自身を狼と指したか、人狼が自身を狼と指したかである。しかし、村人視点では、どちらの発話パターンでも片方のプレイヤーが自分を狼と指したことしか分からない。よって、この 2 つの発話パターンは同グループに分類される。しかし、村人以外のプレイヤーの発話が上記と同じ場合でも、村人が占い師宣言した場合、区別が可能な場合が存在する。その例として、 $P_v = T_s$, $P_w = T_o$, $P_s = T_v$ と、 $P_v = T_s$, $P_w = T_v$, $P_s = T_o$ が挙げられる。これらは、自身を狼と指したプレイヤーを狼と指した場合と、自身を狼と指していないプレイヤーを狼と指したという点で区別可能である。

P_v	P_w	P_s
T_o	T_o	T_o
T_o	T_o	T_v
T_o	T_v	T_o
T_o	T_o	T_w
T_o	T_s	T_o
T_o	T_v	T_v
T_o	T_s	T_w
T_o	T_v	T_w
T_o	T_s	T_v
T_w	T_o	T_o
T_s	T_o	T_o
T_w	T_o	T_v
T_s	T_v	T_o
T_w	T_o	T_w
T_s	T_s	T_o
T_w	T_v	T_o
T_s	T_o	T_v
T_w	T_v	T_v
T_s	T_v	T_v
T_w	T_v	T_w
T_s	T_s	T_v
T_w	T_s	T_o
T_s	T_o	T_w
T_w	T_s	T_v
T_s	T_v	T_w
T_w	T_s	T_w
T_s	T_s	T_w

P_v	P_w	P_s
T_o	T_o	T_o
T_o	T_o	T_v
T_o	T_v	T_o
T_o	T_o	T_w
T_o	T_s	T_o
T_o	T_v	T_v
T_o	T_s	T_w
T_o	T_v	T_w
T_o	T_s	T_v
T_w	T_o	T_o
T_s	T_o	T_o
T_w	T_o	T_v
T_s	T_v	T_o
T_w	T_o	T_w
T_s	T_s	T_o
T_w	T_v	T_o
T_s	T_o	T_v
T_w	T_v	T_v
T_s	T_v	T_v
T_w	T_v	T_w
T_s	T_s	T_v
T_w	T_s	T_o
T_s	T_o	T_w
T_w	T_s	T_v
T_s	T_v	T_w
T_w	T_s	T_w
T_s	T_s	T_w

表 4: 村人視点のグループ化 表 5: 狼視点のグループ化

5.2 戦略の決定

最も有利となる投票先を、以下の条件のもとで決定する。

- 一番勝つ可能性が高い投票を行う。
- 勝つ可能性が同じの場合、引き分けになる確率が高い投票先を選ぶ
- 上記の操作を行い 1 つに決定出来ない場合、どちらに投票してもよいとする。

プレイヤーの区別がつき、かつ、どちらに投票しても有利度が変わらない場合、村人の場合 W_s 、人狼の場合 V_s と表記する。プレイヤーの区別がつかない場合、投票先を決定できないため、 U と表記する。

5.3 結果と考察

V_0 を起点とした場合、 V_6 以降 $V_2 \sim W_5$ をループし、 W_0 を起点とした場合、 W_6 以降 $W_2 \sim V_5$ をループすることが判明した [表 6][表 7]。また、それぞれの戦略における、各勝敗の合計と、勝率を [表 8] に記載し、それぞれの戦略と発話パターンにおける勝敗の詳細については、<http://blackknight.ics.nara-wu.ac.jp/~u1448029/winloss.pdf> に記載する。 VW_0 は、相手の投票行動を想定しない場合の戦略を両プレイヤーが取った場合、つまり、[表 3] に記された勝敗の合計である。[表 8] 中の W_n は、村人が V_{n-1} の戦略、人狼が W_n の戦略を選択した場合の勝敗のことを指す (n は 1 以上の整数)。 V_n についても同様である。 W_1 では例えば $P_v = T_o$, $P_w = T_o$, $P_s = T_w$ の場合に投票行動が V となるなど、4.2 で述べた戦略とは異なるものが得られることも分かった。また、村人の場合、引き分けと負けの比率は変動するが、どの戦略を選択しても勝つ確率は変わらないことが分かった。さらに、相手プレイヤーの投票行動が推定通りの場合、人狼は W_4 、村人は V_4 、 V_6 の戦略を取ると最も有利になり、相手プレイヤーが自分の投票行動を推測した上で投票したと仮定すると、人狼は V_0 、村人は W_0 、つまり相手の投票行動を想定しない場合の合理的な戦略を取ると最も有利であることが分かった。

6. まとめ

本研究では、先行研究における 3 人狼における発話のモデルを元にし、他者の投票行動を予想した上での合理的な投票行動の戦略について検討した。その結果、他者の投票行動を考慮しない場合の戦略とは、かなり異なる戦略が得られた。また、他者の投票行動の推定を繰り返すと、一定間隔で同じ戦略が現れ、安定した戦略に収束しないことが分かった。今後は、人数や発話内容を増やす等のモデルの複雑化を行い、同様の研究を行う予定である。

参考文献

- [篠田 14] 篠田孝祐, 鳥海不二夫, 稲葉通将, 大澤博隆, 片山大輔, 人工知能標準問題としての人狼ゲームの提案, 第 24 回インテリジェント・システム・シンポジウム, pp.74-77, 2014.
- [大澤 14] 大澤博隆, 鳥海不二夫, 稲葉通将, 片山大輔, 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, 第 19 回 ゲームプログラミングワークショップ 2014, pp.157-161, 2014.
- [大澤 16] 大澤博隆, 佐藤健, 3 者間人狼における戦略の検討, 2016 年度人工知能学会全国大会, 2F4-3, 2016.

	VW0	W1	V2	W3	V4	W5	V6	V1	W2	V3	W4	V5	W6
V_win	9	9	12	12	12	12	12	9	9	11	11	10	10
V_win or draw	2	3	1	1	1	1	1	0	3	1	0	1	2
case 3.1	5	3	1	1	1	1	1	8	4	4	4	4	4
V_win or W_win	2	3	1	1	1	1	1	1	2	0	1	2	1
draw	3	0	10	0	11	0	11	6	0	10	0	10	0
draw or W_win	6	1	2	1	1	1	1	3	0	1	1	0	0
W_win	0	8	0	11	0	11	0	0	9	0	10	0	10
村側勝率	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
狼側勝率	0.19	0.40	0.06	0.45	0.05	0.45	0.05	0.15	0.41	0.06	0.44	0.07	0.43

表 8: 戦略ごとの各プレイヤーの勝率

Pv	Pw	Ps	V0	W1	V2	W3	V4	W5	V6
To	To	To	U	U	U	U	U	U	U
To	To	Tv	S	S	W	V	S	S	W
To	To	Tw	W	V	S	S	W	V	S
To	Tv	To	W	V	S	S	W	V	S
To	Tv	Tv	U	V	U	S	U	V	U
To	Tv	Tw	W	V	S	S	W	V	S
To	Ts	To	S	S	W	V	S	S	W
To	Ts	Tw	U	S	U	V	U	S	U
To	Ts	Tv	S	S	W	V	S	S	W
Tw	To	To	U	S	W	V	S	S	W
Tw	To	Tw	W	U	S	U	W	U	S
Tw	To	Tv	S	S	W	V	S	S	W
Tw	Tv	To	W	V	S	S	W	V	S
Tw	Tv	Tv	U	VS	W	V	S	S	W
Tw	Tv	Tw	W	V	S	S	W	V	S
Tw	Ts	To	S	S	W	V	S	S	W
Tw	Ts	Tv	S	S	W	V	S	S	W
Tw	Ts	Tw	U	S	W	V	S	S	W
Ts	To	To	U	V	S	S	W	V	S
Ts	To	Tv	S	U	W	U	S	U	W
Ts	To	Tw	W	V	S	S	W	V	S
Ts	Tv	To	W	V	S	S	W	V	S
Ts	Tv	Tv	U	V	S	S	W	V	S
Ts	Tv	Tw	W	V	S	S	W	V	S
Ts	Ts	To	S	S	W	V	S	S	W
Ts	Ts	Tv	S	S	W	V	S	S	W
Ts	Ts	Tw	U	VS	S	S	W	V	S

表 6: V0 を起点とした場合の戦略の変化

[西崎 17] 西崎絵麻, 坂口早紀, 尾崎知伸, ワンナイト人狼における投票行動の分析, 第 31 回人工知能学会大会論文集, 2017.

[杉本 17] 杉本磨美, 伊藤毅志, 5 人狼における村人の意思決定過程の研究, 日本認知科学会第 34 回大会論文集, pp.826-832, 2017.

[汪 17] 汪博豪, 大澤博隆, 佐藤健, 進化シミュレーションを用いた 3 人狼の戦略分析, HAI シンポジウム 2017 論文集, 2017.

Pv	Pw	Ps	W0	V1	W2	V3	W4	V5	W6
To	To	To	U	U	U	U	U	U	U
To	To	Tv	U	WS	S	W	V	S	S
To	To	Tw	S	W	V	S	S	W	V
To	Tv	To	U	WS	V	S	S	W	V
To	Tv	Tv	U	U	VS	U	VS	U	VS
To	Tv	Tw	S	W	V	S	S	W	V
To	Ts	To	U	S	S	W	V	S	S
To	Ts	Tv	U	S	S	W	V	S	S
To	Ts	Tw	S	U	V	U	S	U	V
Tw	To	To	V	S	S	W	V	S	S
Tw	To	Tv	V	S	S	W	V	S	S
Tw	To	Tw	U	WS	U	WS	U	WS	U
Tw	Tv	To	V	S	S	W	V	S	S
Tw	Tv	Tv	V	S	S	W	V	S	S
Tw	Tv	Tw	U	WS	V	S	S	W	V
Tw	Ts	To	V	S	S	W	V	S	S
Tw	Ts	Tv	V	S	S	W	V	S	S
Tw	Ts	Tw	U	S	S	W	V	WS	S
Ts	To	To	U	W	V	S	S	W	V
Ts	To	Tv	U	W	U	S	U	W	U
Ts	To	Tw	S	W	V	S	S	W	V
Ts	Tv	To	U	W	V	S	S	W	V
Ts	Tv	Tv	U	W	V	S	S	W	V
Ts	Tv	Tw	S	W	V	S	S	W	V
Ts	Ts	To	U	WS	VS	WS	VS	WS	VS
Ts	Ts	Tv	U	WS	S	W	V	S	S
Ts	Ts	Tw	S	W	V	S	S	WS	V

表 7: W0 を起点とした場合の戦略の変化