

2019 年度修士論文
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

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 生活情報通信科学コース 2 回生
新出研究室 18720048 玉井日菜子

令和 2 年 2 月 14 日

概要

本研究では、先行研究における3人狼における発言のモデルを元にし、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、他者の投票行動を予想しない上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。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ることが分かった。

目次

1	はじめに	2
1.1	研究背景	2
1.2	一般的な人狼ゲームのルール	2
1.3	関連研究	3
1.4	人狼とコンピュータ	3
2	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	7
2.1	制限を設けた人狼の戦略分析の研究	7
2.2	3者間人狼の定義	8
2.2.1	3者間人狼の扱う範囲	8
2.2.2	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)	8
2.2.3	発話について	9
2.2.4	投票について	9
2.2.5	勝敗について	9
2.3	他プレイヤーの戦略を推測した上での戦略の検討	10
2.3.1	一人称視点での発話の分類	11
2.3.2	戦略の決定	13
2.3.3	結果と考察	13
3	まとめ	16

1 はじめに

1.1 研究背景

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 [1]。人狼ゲームをプレイするエージェントには人工知能の観点から多岐に渡った技術が必要であるため、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できるものと考えられる。

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 [2] 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。論理による人狼エージェントが十分な強さで実現すれば、その思考や行為決定の過程を後で出力することで、ゲーム後のエピソードを楽しむことができるという利点が得られることも期待できる [3]。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、[4] が挙げられ、人狼ゲームの最小系である 3 人人狼において、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、本論文では、[4] で使用された 3 人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。

1.2 一般的な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。役職についての詳細は [表 1] に示す。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。

		役職	能力
村人陣営	人間	村人	なし
		占い師	1 日の終わりに 1 人のプレイヤーを指定して、そのプレイヤーが人間かどうか知ることが出来る
		霊媒師	プレイヤーが追放された場合にそのプレイヤーが人間かどうか知ることが出来る
		狩人	1 日の終わりに 1 人のプレイヤーを指定して人狼の襲撃から守ることが出来る
人狼陣営	狂人	なし	人狼陣営だが占い結果は人間
	人狼	人狼	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出来る

表 1 与えられる役職

1.3 関連研究

1.4 人狼とコンピュータ

・LSTM を用いた人狼予測と人狼ゲーム分析 [8] 戦略の観点で強い人狼エージェントの構築を目指し、ゲームを有利に進める方法の一つとして未知情報の獲得に着目している。人狼ゲームにおける不確定情報の一つである「役職」を知るとゲームを有利にすすめられうる。人狼の推定に焦点を当て、既知情報のみからなる未知情報である人狼の予測を試みている。人狼ゲームにおいて既知情報から人狼予測につながる特徴を抽出するために、深層学習の一種である LSTM を用いている。また、学習の結果得られた人狼予測モデルを用いて、人狼予測における有用な情報や重要なフェーズについて分析している。複数エージェントが混在したゲーム環境で LSTM を用いて未知情報の予測を試みている。その結果、未知情報の一種である人狼の予測が可能であることを示されている。分析においては、ゲーム内で重要とされる情報を示した。予測モデルの利用は、ゲームに有用な情報を得るためのみではなく、ゲーム解析の一助となる可能性があることが分かっている。

・人狼知能におけるトピック n-gram モデルの評価 [9] 人狼知能大会では、人間プレイヤーの戦術をそのまま実装したルールベースのエージェントが主流であったが、回を重ねるに従い、徐々に学習機能の実装が浸透し、直近の大会では単純ベイズモデルではあるが、事前に学習した確率モデルを用いて役職の推定を行うエージェントが優勝している。今後は、より精密な対戦相手モデルの構築が不可欠となることが予想される。そのため、人狼知能エージェントの発言生成モデルとしてトピックの n-gram モデルを使用することを検討している。各役職について 1-gram から 4-gram までのモデルを学習し、それらを perplexity で評価して考察している。結果最短でも 2-gram モデルを利用すべきであるという結論を得ている。

・単語埋め込み技術を用いた人狼 BBS における役職推定 [10] 役職推定に関してはこれまでもいくつかの方向から研究が行われているが、着目している。本論文では役職推定のさらなる精度向上を目的とし、複数のベクトル表現と多様な集計方法を用いて各プレイヤーの発言をベクトル化する方法を提案している。また、人狼 BBS のログデータを対象に、種々の分類モデルを用いて提案手法を評価している。既存研究と比較し必ずしも高い精度は得られなかったが、TF-IDF による重みを考慮した集約手法や、最大値を利用した日単位発言ベクトルへの集約、LDA と word2vec の併用が有効であることを確認している。

・Differentiable Neural Computer を用いた人狼知能の開発 [11] 完全学習型（行動の選択や発言内容までエージェントの行動選択をすべて学習して選択するもの）のエージェントの開発を目指している。その第一段階として現存する強いエージェントの行動を学習のみで予測できることを示している。DNC を用いた学習によって発言にかかわる行動を学習できることを示している。

・ニューラルネットワークを用いた人狼推定における投票先情報の有効性評価 [12] 強い人狼知能を目指すうえで機械学習技術を適応している。教師あり学習であるニューラルネットワークを人狼知能に適用し、関連研究で用いられていた入力情報に新たなものを加えて、より高い人狼推定率が得られるかを検証している。新たに追加する入力情報として「各プレイヤーへの投票先」を加えることを提案している。結果、投票先情報はゲーム終盤で人狼への投票率が高いことが分かっている。また、ニューラルネットワークを用いた人狼知能における性能評価 [13] で、ランダムで投票するエージェントと比較しどれだけニューラルネットワークを用いることで人狼投票率が高くなるかを確かめている。結果ニューラルネットワークを用いることで、ランダムで投票するものより高い人狼投票率を得られることが示されている。しかし、ゲーム終盤においては人狼をうまく分類できていないことが判明している。その原因として、強い人狼が生き残った場合、あまり人狼らしい特徴をもたないためうまく分類が出来なかったと考えられている。さらに、人狼知能大会の上位エージェントには、人狼投票率が高いプレイヤーを襲撃するという特徴を持つものが確認できている。このことから、人狼を推定できていないプレイヤーばかりがゲーム終盤で生き残っており、そうしたプレイヤーの間違った情報が多くなることによって分類がうまくいかないようになったと考えられている。

・進化シミュレーションを用いたエージェントにおける情報共有の分析 [14] 言語から裏の意味を創り出し、あるグループの中で友人とのサブグループに情報を共有する手段が、エージェント同士のコミュニケーションにおいて発生すると考えられている。本研究は進化シミュレーションを用いてエージェントにおける情報を共有する手法を調べている。3 人人狼のゲームモデル化を行った後、エージェントにける協力者同士に言語の裏の意味を創り出す情報共有の手法が出現するかについて進化シミュレーションの手法を用いて戦略を分類し、分析を行っている。分析結果より、村人陣営のみ進化する場合に、占い師は常に固定な言葉に裏の意味を創り出し、村人とのサブグループのみに情報を共有している。全エージェントが進化する場合に占い師は一時的に村人のみと情報を共有している。占い師は狼に情報を共有しないように新たな言葉を創り出し、エージェントのコミュニケーションにおいて人間と同じく言語の意味が進化している。

・人狼 BBS に対する役職表明・能力行使報告情報のアノテーション [15] エージェント構築を目

指した研究は人狼知能プロトコルと呼ばれるコマンドにより会話を行うものがほとんどであり、自然言語を用いたエージェントの研究も行われているものの、その数は非常に少ない。その原因として、自然言語により対戦可能なエージェントの実現には、発話意味理解、発話生成など多くの課題が存在するが、その学習のためのコーパスなどは整備されておらず、統計的な手法を適用することは困難であることが挙げられる。そこで本研究では、人間同士による人狼ゲームのログに対しアノテーションを行い、コーパスの構築を行っている本コーパスは人狼 BBS で行われたゲーム中におけるプレイヤーの発話のうち、ゲームの戦略上特に重要である「自分の役職の表明」、および「特殊能力を行使した結果の報告」に関する発話に対してアノテーションを行ったものである。本コーパスは、先に述べた人狼ゲームにおける発話意味理解、発話生成のための学習データとすることができるほか、人間のプレイヤーの戦略分析などへの応用が考えられている。

・人狼 AI における機械学習を用いた役職推定の改良 [16] 本研究では既存エージェントの人狼推定部分に機械学習を適用させその有効性を検討している。人狼エージェントに対して SVR を導入している。推定率が高い手法を組み合わせることでエージェントの勝率が上がる結果を確認している。このことから中盤以降における既存手法の有効性が示唆されている。この結果に基づき、日付で手法を変えるエージェントを作成することで、既存エージェントよりも高い勝率を出すことを可能としている。以上のことより中盤以降は SVR を人狼スコア算出に適用する手法の有効性が示唆されている。

・選択的不感化ニューラルネットを用いた人狼ゲームにおける役職推定 [17] 役職推定に着目している。人狼知能大会プロトコル部門では 15 人で行うゲームもあり、人数や役職が増加した場合にも対応できる必要がある。さらに、学習に膨大なデータや時間を必要とする方法ではプレイヤーの構成や戦略が変化した場合に対応が難しく、ゲーム毎あるいはゲーム中に学習できるような手軽な学習方法が求められる。そのため、これらの要求を満たすような約束推定を実現するべく、強力な類推納涼をもつ選択的不感化ニューラルネット (SDNN) を用いて他プレイヤーの役職を推定する方法について検討している。なお本研究では 15 人。また、ゲーム終了後に他のプレイヤーの役職が判明するとしてすべての情報を得ている神のような視点ではなくプレイヤーの視点で役職推定を行っている。SDNN を用いて役職推定を行う方法を提案し、ゲームデータを使って性能を検証している。その結果、SVM に比べて SDNN の推定制度が高いことを示している。また、パラメータ探索などをふくめた学習時間についても SDNN は効率的であり、少ない訓練データでも高い精度を示している。この結果から、SDNN を用いて使い勝手のいい役職推定器を構築できると考えられている。

・人狼ゲームにおける会話情報による役職推定 [18] 先行研究では 5 人人狼で勝つために各プレイヤーの役職を推定するニューラルネットワークを構築しているが、そのモデルには人狼の推定制度を向上できる余地があると考えられる。なぜなら NN に入力する特徴として、どのプレイヤーを対象にして発言したかは用いているが、発言の対象となるプレイヤーの推定が困難になっていると考えられるためである。そこで本研究では経過日数と追放投票で各プレイヤーが投票した対象、CO した役職とその時の経過日数とターン数すべての会話情報を考慮し役職推定を行っている。

・5 人人狼における戦略進化のシミュレーション [19] 5 人人狼を対象としたシミュレーション手法を提案し、人狼知能でナッシュとなるような戦略が発見されるか調査している。過去の人狼知

能大会 2017/2018 大会においてどのような戦略が各陣営の勝利に貢献しているか分析している。回帰分析により 2018 年エージェントは 2017 年エージェントに対して勝率が高くなるような戦略をとる傾向にあることを回帰分析により確認している。また、5 人狼のゲームを現実的な時間で網羅的決定論的シミュレーションが行えるようにモデル化している。実際にシミュレーションを行うことで遷移を繰り返していても特定の状態に収束せず周期的に変化し続けるようになるという結果を得ている。このことから、今後の人狼大会においてナッシュ均衡解にはたどり着かない可能性があることが明らかになっている。

・実世界人狼ゲームのジェスチャーの分析 [20] コミュニケーションにおける非言語情報の重要性は多くの研究で指摘されており、実世界での人狼ゲームでも人間同士の非言語コミュニケーションがゲームの進行にかかわっていると考えられる。人狼ゲーム中の非言語コミュニケーションがプレイヤーいどの程度影響を与えるのか、定量的に分析する必要があると考えられている。そこで、本研究では先行研究の実世界人狼ゲームの非言語情報解析システムにより習得した市政情報を分析し、役職や個人によって特徴的にみられる動作についていくつかの指標を用いて、ゲーム結果との関係性を調査している。本研究で提案した指標で 1 ターン目の有利な議論の導き方や、占い師の議論への参加の積極性を評価できることが分かっている。

・人狼ゲームにおける明示的役職・陣営推定理由の抽出 [21] 近年の深層学習強化学習の発展にも関係し、役職推定に関する既存研究の多くは、推定制度の向上を主たる目的としている。しかし、より高度で戦略的に行動するエージェントを実現するためには、役職推定モデルを一つのモジュールとしてエージェント中に組み込み、その他の機能と強調動作させることが不可欠となる。このためには、高い推定制度はもちろんのこと、推定の根拠や基準を明示化し、エージェントの構築に対して直接的にフィードバックを行えることが望ましいと考えられる。これらのことを背景に、本論文では、役職・陣営推定モデルの解釈を目的とした明示的推定理由の抽出を行っている。具体的には、第四回人狼知能大会決勝戦のログデータを対象とし、決定木およびランダムフォレストによる推定モデルの構築と in Trees による解釈可能モデルの抽出を行い、これらの結果を比較、考察している。その結果、予測精度は必ずしも十分ではなかったが、決定木を用いた直接的なモデルとの比較を通じ in Trees を用いることで、より複雑ではあるが豊富な情報を持つ解釈可能なルールの抽出が行えることを確認している。

・人狼ゲームにおける他プレイヤーの理解度に応じた騙り戦術の有効性評価 [22] AI 同士の人狼ゲームにおいて人間同士の人狼ゲームで用いられる戦術を考慮した研究はあまり行われていない。本研究では、より人間のようなプレイを目指して、人間同士の人狼ゲームで用いられる占い師の“結果騙り”を実装し、他プレイヤーの戦術理解度に応じた有効性を分析している。基本的には戦術に理解のあるプレイヤーが増えるほど勝率が上昇している。このことから戦術を理解しているプレイヤーが味方に多ければ多いほど戦術は有効であると考えられている。戦術を、占い結果が市民の場合と人狼の場合の二種類にわけ、実験を行っている。その結果、全員戦術に理解のある場合を除いて半分以上、戦術に理解のあるプレイヤーがいる場合には有効性にあまり違いはないと考えられている。

・Long Short Term Memory による複数人の人狼推定 [23] 本研究では、意味的な同一性や対称性を考慮した LSTM による 5 人狼での人狼推定と 15 人狼での複数の人狼を推定している。

実験の結果、人狼推定率で関連研究よりも推定率が高く、複数の人狼を仮定した戦略が作成可能になったと考えられている。

2 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

2.1 制限を設けた人狼の戦略分析の研究

・ワンナイト人狼における投票行動の分析 [5] 人狼に関する研究の中でもワンナイト人狼は先行研究が少ない。人狼ワンナイト人狼は1ゲームあたり10分程度で終わる簡略化された人狼ゲーム例えば、役職を割り当てられた能力者は特殊能力を行使する、各能力者が情報を得た状態で話し合いを行い、処刑投票により処刑者が決定した時点で決着が付く（処刑されたプレイヤーの陣営が敗北する）など、一般的な人狼ゲームとはルールが多少異なる。このように1度しかない処刑で勝敗が決定するため、人間陣営は正確に人狼へ投票することが求められる。また、ワンナイト人狼は短時間で勝負が決まるため、一般的な人狼ゲームに比べてより単純な戦略的特徴が発見できると期待されている。10名の被験者によるワンナイト人狼100ゲームを対象に、CO順による勝率、投票先の傾向や特徴を分析している。その結果、CO順は勝率と関係があり、勝利しやすいCO順序が判明している。また、人狼の投票先が村人に集まることや能力者への投票率が低く、占い師の有無が勝利に影響を及ぼしている。COについては、人間陣営では1番目に怪盗、2番目に占い師COすると勝率が高くなっている。人狼陣営は怪盗、占い師のCOに割り込んでCOすることにより、勝利を目指すのがよいとわかっている。人間陣営の勝利のために村人は後半にCOするのが良いと分かっている。投票先については、4つの状況に応じたデータセットで比較を行っている。占い師がいなく人狼陣営の勝率が上がり、村人が人狼へ投票する割合が減っている。そのため、占い師は勝敗を左右する重要な存在であると考えられている。人狼陣営の勝率が高いデータセットでは、全体的に投票先が村人へ集まり、人間陣営の投票先が人狼である割合は、ランダムで人狼に投票した確率より高くなっている。能力を持たない村人が人狼へ投票する割合は、能力者から情報を得ることで正確さが向上している。

・5人人狼における村人の意思決定過程の研究 [6] 人狼ではプレイヤーごとに情報量の差があり、情報を持つプレイヤーによる他プレイヤーの説得やウソの情報を用いた騙りによる誘導などが行われる。確定した情報を持たないプレイヤーは勝率や論理性などを考慮し、他者の発言の論理的な矛盾などを参考に意思決定を行うが、熟達したプレイヤー同士のプレイでは論理的矛盾が生じず、それ以外の何らかの情報を用いて意思決定を行っていると思われる。このような状況において、実際の人間プレイヤーがどのように考えて、意思決定を行っているのかを認知科学的手法で調べる研究はまだ殆ど行われていないため、役職による情報を持たない「村人」に焦点を当て、村人がどのように考えて投票の意思決定を行っているのかについて調べている。その結果村人は他プレイヤーの発言の「論理的合理性」と「経済的合理性」を考慮して意思決定を行っている様子が見られている。しかし、これらの観点で同等の状況で選択をする場合には、「共感」するプレイヤーの発言に影響を受けることが観察されている。特にプレイヤーの処刑先や自分視点の状況についての発言数が信用に影響

響を与える可能性があることも示唆されている。情報の乏しい村人プレイヤーは他者の発言から、論理的合理性、経済的合理性を考慮して発言を比較し、他者に対する共感度に応じた発言の影響を受けて意思を決定するという意思決定の思考モデルが仮説として得られている。

・進化シミュレーションを用いた3人狼の分析 [7] 人狼ゲームの最小系である3人狼を考え、どのような戦略がありうるか検討している。以前の研究成果である3人狼における発話のモデルを元に、進化シミュレーションの手法を使用している。どのように3人狼の系が発展しうるか検討している。その結果、当初予想していたのと異なる結果がもたらされている。占い師が嘘をつくようになった理由として、占い師であることの宣言で村人にとっては情報が十分に伝わり、占い結果を述べることで、狼側からかえって正体がわかりやすくなってしまい、という圧力が合ったことが考えられている。本来は占い師が正直に結果を述べるのが合理的であると判断し、シミュレーションを開始しているが、どのシミュレーション条件であっても、占い師の結果はおよそ半数以上が嘘を含む形に進化している。また、引き分けの条件があまり存在せず、村人陣営と人間陣営が半数ずつ勝つ場合と、村人陣営が大きく勝つ場合に二分されることがわかっている。会話のない条件と異なり、進化的な条件下では、村人が半数勝ち、1/4で人狼が勝ち、1/4で引き分ける、という条件が安定解でない可能性が考えられている。つまり、人狼ゲームにおいてプレイヤーが嘘をつく状況が一時支配的になるものの、安定解が存在しないことが分かっている。

2.2 3者間人狼の定義

当研究では、[4]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。

2.2.1 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。

2.2.2 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)

[4]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。

2.2.3 発話について

発話の種類は以下の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、 P_v 、 P_w 、 P_s と表記する。

- T_o : 「自身が占い師ではない」
- T_v : 「自身が占い師であり、狼は P_v (村人) である」
- T_w : 「自身が占い師であり、狼は P_w (人狼) である」
- T_s : 「自身が占い師であり、狼は P_s (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 T_v 、人狼は T_w 、占い師は T_s を除く)の発話がありえる。従って、発話の可能性は計27通りある。

2.2.4 投票について

占い師は、誰が人狼であるか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通りの発話それぞれの場合における投票行動を [表4]([4]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。 P_v 、 P_w 、 P_s は村人・人狼・占い師の発話、 V_v 、 V_w 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プレイヤーのいずれへの投票も含んだ)状況を表す。

2.2.5 勝敗について

[表4]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2]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3]。この状況を [4] 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 2 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 3 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 4 一回同時発言の場合の結果の分類 ($V_s=W$)

2.3 他プレイヤーの戦略を推測した上での戦略の検討

[?] では、相手の投票行動が 2.2.2 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かが考察し、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な狼の戦略を 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、2.2.2 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。

2.3.1 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 5][表 6]。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。

Pv	Pw	Ps
To	To	To
To	To	Tv
To	Tv	To
To	To	Tw
To	Ts	To
To	Tv	Tv
To	Ts	Tw
To	Tv	Tw
To	Ts	Tv
Tw	To	To
Ts	To	To
Tw	To	Tv
Ts	Tv	To
Tw	To	Tw
Ts	Ts	To
Tw	Tv	To
Ts	To	Tv
Tw	Tv	Tv
Ts	Tv	Tv
Tw	Tv	Tw
Ts	Ts	Tv
Tw	Ts	To
Ts	To	Tw
Tw	Ts	Tv
Ts	Tv	Tw
Tw	Ts	Tw
Ts	Ts	Tw

表 5 村人視点のグループ化

Pv	Pw	Ps
To	To	To
To	To	Tv
To	Tv	To
To	To	Tw
To	Ts	To
To	Tv	Tv
To	Ts	Tw
To	Tv	Tw
To	Ts	Tv
Tw	To	To
Ts	To	To
Tw	To	Tv
Ts	Tv	To
Tw	To	Tw
Ts	Ts	To
Tw	Tv	To
Ts	To	Tv
Tw	Tv	Tv
Ts	Tv	Tv
Tw	Tv	Tw
Ts	Ts	Tv
Tw	Ts	To
Ts	To	Tw
Tw	Ts	Tv
Ts	Tv	Tw
Tw	Ts	Tw
Ts	Ts	Tw

表 6 狼視点のグループ化

2.3.2 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 WS、人狼の場合 VS 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。

2.3.3 結果と考察

V0 を起点とした場合、V6 以降 V2~W5 をループし、W0 を起点とした場合、W6 以降 W2~V5 をループすることが判明した [表 7][表 8]。また、それぞれの戦略における、各勝敗の合計と、勝率を [表 9] 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。VW0 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 4] に記された勝敗の合計である。[表 9] 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。W1 では例えば $P_v=To$, $P_w=To$, $P_s=Tw$ の場合に投票行動が V となるなど、2.2.2 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 W4、村人は V4、V6 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 V0、村人は W0、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。

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	SV	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7 V0を起点とした場合の戦略の変化

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	SV	U	VS	U	SV
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 8 W0 を起点とした場合の戦略の変化

	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 9 戦略ごとの各プレイヤーの勝率

3 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。よって、今後は、投票行動を推定可能にするため、人数や発話内容を増やす等のモデルの変更を行い、同様の研究を行う予定である。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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. The 30th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2016.
- [4] 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.
- [5] 西崎他, ワンナイト人狼に置ける投票行動の分析, 第 31 回人工知能学会大会論文集, 2017.
- [6] 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.

- [7] 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.
- [8] 近藤まなみ, 長谷川拓, 森直樹, 松本啓之亮, LSTM を用いた人狼予測と人狼ゲーム分析, The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2018.
- [9] 大槻恭士, 人狼知能におけるトピック n-gram モデルの評価, The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2018.
- [10] 木村優里絵, 尾崎知伸, 単語埋め込み技術を用いた人狼 BBS における役職推定, The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2018.
- [11] 家原瞭, 廣田敦士, 田中一晶, 荒木雅弘, 岡夏樹, Differentiable Neural Computer を用いた人狼知能の開発, The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2018.
- [12] 堂黒浩明, 松原仁, ニューラルネットワークを用いた人狼推定における投票先情報の有効性評価, GAT2018.
- [13] 堂黒浩明, 松原仁, ニューラルネットワークを用いた人狼知能における性能評価, The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2018.
- [14] 汪博豪, 大澤博隆, 佐藤健, 進化シミュレーションを用いたエージェントにおける情報共有の分析, The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2018.
- [15] 稲葉通将, 狩野芳伸, 大澤博隆, 大槻恭士, 片上大輔, 鳥海不二夫, 人狼 BBS に対する役職表明・能力行使報告情報のアノテーション, The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2018.
- [16] 木村勇太, 伊藤毅志, 人狼 AI における機械学習を用いた役職推定の改良, The 32nd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2018.
- [17] 齋藤正宏, 三品晟瑠, 山根健, 選択的不感化ニューラルネットを用いた人狼ゲームにおける役職推定, The 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2019.
- [18] 福田宗理, 穴田一, 人狼ゲームにおける会話情報による役職推定, The 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2019
- [19] 武田惇史, 鳥海不二夫, 5 人狼における戦略進化のシミュレーション, The 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2019
- [20] 高山周太郎, 大槻博隆, 実世界人狼ゲームのジェスチャーの分析, The 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2019
- [21] 小村友希, 坂本航, 尾崎知伸, 人狼ゲームにおける明示的役職・陣営推定理由の抽出, The 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2019
- [22] 大塚翔太, 中村貞吾, 永井秀利, 人狼ゲームにおける他プレイヤーの理解度に応じた騙り戦術の有効性評価, 2019 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会, 2019.
- [23] 源智也, 松原仁, Long Short Term Memory による複数人の人狼推定, The 24th Game Programming Workshop, 2019.