

進化シミュレーションを用いた 3 人人狼の分析

大澤 博隆 汪 博豪 佐藤 健

本研究では、不完全情報ゲームであり、正体隠匿型ゲームに分類されるコミュニケーションゲーム人狼を用い、人狼ゲームの最小系である 3 人人狼を考え、どのような戦略がありうるかを検討した。検討のため、ゲームのモデル化を行った後、このゲームの発展について、進化シミュレーションの手法を用いて検討した。シミュレーション結果より、人狼ゲームにおいてプレイヤーが嘘をつく状況が一時的に支配的になるものの、安定解が存在しないことを確かめた

1 はじめに

様々なゲーム課題がプログラムによって解かれつつあり、人間より強いプログラムが登場しつつある。完全情報ゲームの中で最も難しい課題と言われていた囲碁に関しても、実質的に人間より強いプログラムができてきた [3]。また、不完全情報ゲームの中でメジャーな問題であるポーカーについても、投資に制限のある条件では理論解が導き出されている [2]。

こうした動きの中、次に解くべき課題として注目されているのが、不完全情報ゲームであり、かつ相手の利得条件が隠されている中で最適手を探る人狼ゲームである [8]。人狼ゲームは、プレイヤー同士の情報が隠されている不完全情報ゲームであり、その中でも相手が協調するプレイヤーか、敵対するプレイヤーかがわからない、という正体隠匿系のゲームに属している。また、コミュニケーションが全て自然言語で行われており、正体や戦略を含めた多彩なやりとりがプレイヤー間で行われるのが特徴である。人狼ゲームの理論的分析 [1] [5] [7] や、オンライン人狼ゲームの勝敗データを元にした統計的分析 [4] が行われている。人狼ゲーム

は多人数ゲームだが、前項の条件から、2 人ではゲームが成立しないため、最少人数は 3 人となる。

本研究では人狼ゲームの最小系である 3 人人狼を考え、どのような戦略がありうるかを検討する。本研究では、以前の研究成果である 3 人人狼における発話のモデル [6] を元にして、進化シミュレーションの手法を使い、どのように 3 人人狼の系が発展しうるかを検討した。

2 3 人人狼の定義

2.1 人狼ゲームとは何か

人狼ゲームはスパイ発見ゲームの一種である。各プレイヤーは村人陣営と人狼陣営に分かれてプレイを行う。村人陣営はすべての人狼を追放することを目指し、人狼陣営は村人陣営のプレイヤーを襲撃することで数を減らしていく。最終的に以下の勝利条件を満たした陣営が勝利となる。人狼ゲームにおける村人陣営、人狼陣営にはいくつかの特殊能力をもつ役職が存在する。この中で、最も基本となる役職は、夜のフェーズに誰が人狼であるかを見分ける占い師である。

人狼ゲームは昼と夜のフェーズが交互に進むゲームである。昼のフェーズでは対話と追放対象の多数決投票による決定、夜のフェーズでは狼の襲撃先の決定や、占い師の占い先の決定が行われる。人狼が居なくなった場合に村人陣営が勝利となり、人狼の数が人間

Analysis of Three Player's Werewolf Game with Evolutionary Computation

Hiroataka Osawa, Bohao Wang, 筑波大学, University of Tsukuba.

Ken Satoh, 国立情報学研究所, National Institute of Informatics.

と同数以上になった場合に、人狼陣営が勝利する。

2.2 3 人狼ゲーム

上記人狼ゲームを最も単純化したルールが、3 人狼ゲームである。人狼ゲームはその性質上、2 人では遊べない。人狼ゲームにおけるプレイヤー中かならず 1 人は人狼であるため、2 人で始めた場合、どちらにとっても人狼の位置が自明となる。かつ、人狼が過半数を占めた時点で人狼陣営勝利となるため、ゲームが開始しない。よって、もっとも少人数のゲームは 3 人で行われることになる。

3 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、上記で説明した夜のフェーズが存在しない。投票が同数になった場合、人狼ゲームは再投票やランダム投票などの仕組みを用いて投票先を決定し、村人陣営か人狼陣営の勝利を決定する。しかしながら、本研究では簡易化のため、全員が同数投票（3 人狼では各自 1 票ずつ投票）された場合、引き分けとして扱う。

3 人狼で最もシンプルな形式は、村人 2 人と人狼 1 人による組み合わせである。ただしこの場合、事前に情報が手に入らないため、村人側が会話によって人狼の場所の情報を得ることができず、そのことが全員に共有されている。よって、情報交換や、その情報交換をかき乱すような偽装の利点がなく、本研究で扱いたいような知的課題として適さない。

そのため本研究では、村人の一人を占い師とし、占い師に事前にどちらが狼であるかの情報を与えてゲームを開始するゲームを 3 人狼と定義する。本研究で仮定する 3 人狼ゲームでは、村人および占い師が村人陣営となり、人狼が人狼陣営となる。占い師は村人陣営であり、かつ、誰が人狼であるかをゲーム開始前に知っている。そのため、いかなる状況であっても、占い師の追放先は人狼であることが最勝手となる。従って、本研究で問題となるのは村人、人狼の投票先であり、それがどのように変化するかである。村人側は人狼に投票を 2 票集めればよいため、村人の選択が人狼投票になる場合に村人側はかならず勝利する。人狼側は自分以外の誰かに 2 票集めれば勝利する。自分自身に投票できる人間はいないため、人狼の

投票先が占い師で、かつ村人の投票が占い師とならない限り、人狼勝利とはならない。これ以外の場合、投票結果は引き分けとなる。

3 3 人狼の定式化

3.1 ゲーム状態の定義

プレイヤーが 3 人いたとき、3 人狼における役職の組み合わせは 6 通り存在する。しかしながら、ある村側陣営から見た時の役職の可能性は、右手に狼がいるか、左手に狼がいるかの 2 通りであり、これは人狼陣営から見ても一緒である。つまり、どのプレイヤーも自分の役職は決定しているため、各プレイヤーの信念中に存在する役職の可能世界は、2 通りということになる。本研究では、村人側から数えて時計回りに村人、占い師、人狼となる場合を D0、村人、人狼、占い師となる場合を D1 と呼ぶ。

なお、占い師はゲーム開始前に、自分の村が D0 もしくは D1 のどちらのセットで開始されているかを伝えられる。したがって、占い師の可能世界は 1 通りしかない

3.2 会話のない状況の定義

会話のある状況を前提とする前に、会話のない状況を考える。会話のない状況での人狼ゲームでは、村人はどちらが狼であるか、という情報を持たない。従って、村人はどちらも選択することができ、追放先は占い師もしくは狼側となる。また、人狼は情報を得ることができないため、占い師と村人の判定ができない。従って、こちらも選択肢は削減できず、両方に投票する場合があります。以上より、状態の場合分けの結果は表 1 のとおりとなる。

表 1 会話のない状況の分類

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

3.3 会話のある状況の定義

人狼ゲームにおける最も難しい要素が、会話の定義である。人狼ゲームではプレイヤーの現在の状態だけでなく、未来や過去の進行についても記述が可能である。したがって例えば、「これ以降2人のプレイヤーが”今日の晩飯は牛丼である”といった場合に私は左側のプレイヤーに投票する」といった、今後の行動を含めた記述が可能である。原理的には、自然言語で可能な表現は全て可能であり、自由度を制約して考えるのは難しい。

しかしながら、会話をいくつかの種類に分類することは可能である。本研究では、会話を以下の種類に分類した

1. ゲームに関係のない発話
「今夜の晩飯は牛丼である」
2. ゲームに関係があるが、ルールに沿わない会話
「この村に人狼はいない」
3. 現状の記述
「私は占い師であり、プレイヤー X を占った結果、人狼であった」
4. 進行の記述
「私はプレイヤー X に投票する」
5. 過去の自分の状態に関する記述
「私はプレイヤー X に投票した」

本研究では、上記のうち3の記述のみを扱う。本研究で扱う会話形式は、以下の3通りである。

1. 「私は村人である」
2. 「私は占い師であり、左のプレイヤーが人狼であった」
3. 「私は占い師であり、右のプレイヤーが人狼であった」

発言2は状態がD0に属することを示しており、発言3は状態がD1に属することを示している。

3.4 各プレイヤーの投票先

各プレイヤーは自身の持つ可能世界に従って投票行動を行う。占い師は事実を知っているため、投票行動・投票先は常に人狼とするのが最も最適な手となる。また、村側陣営である村人の投票も、自分の信念の中で人狼であるプレイヤーに投票し、追放すること

を目指すのが最善手となる。人狼プレイヤーに関しては、村側陣営を追放するのが最善手となる。この場合、村人、占い師の両方に投票する手段がありえるが、占い師が必ず人狼に投票する条件である場合、人狼が村人に投票した時点で、村人の投票先が人狼であれば人狼の負け、村人の投票先が占い師であれば引き分けとなり、勝利する可能性がなくなる。したがって、勝利を目指す人狼の最善手は、自分の信念の中で占い師と目される人物へ投票し、村人と投票を合わせ、追放を狙うことである。

3.5 初期プレイヤーの手順

占い師にとって、他のプレイヤーの会話から新しく得られる情報はない。一方で、村人、人狼プレイヤーにとって、他のプレイヤーの会話から、ある程度合理的な手が導き出せる。我々は以前の研究より、全てのプレイヤーが引き分けではなく勝利を目指す場合に、合理的な手があることを求めている[6]。これより、村人、人狼の双方が会話を受けた時の手を表2、表3に示す。

表2 村人の初期手

P1's talk			P2's talk			P0's next			
P1	P2	P0	P2	P0	P1	D	P0	P1	P2
V			V			-			
S	V	W	V			1	V	W	S
S	W	V	V			0	V	S	W
V			S	V	W	1	V	W	S
S	V	W	S	V	W	1	V	W	S
S	W	V	S	V	W	-			
V			S	W	V	0	V	S	W
S	V	W	S	W	V	-			
S	W	V	S	W	V	0	V	S	W

表3 狼の初期手

P1's talk			P2's talk			P0's next			
P1	P2	P0	P2	P0	P1	D	P0	P1	P2
V			V			-			
S	V	W	V	S	W	1	W	S	V
S	W	V	V			-			
V			S	V	W	1	W	S	V
S	V	W	S	V	W	1	W	S	V
S	W	V	S	V	W	-			
V			S	W	V	0	W	V	S
S	V	W	S	W	V	-			
S	W	V	S	W	V	0	W	V	S

4 シミュレーションの手続き

各プレイヤーが合理的な手から出発し、どのように発展するかを、進化シミュレーションを用いて求めた。

手続きを図 1 に示す。各プレイヤーはまず、自身の内部状態からはツン現内容を決定する (genecode1)。入力となる内部状態は 2 種類であり、発言は 4 種類である。次に、各プレイヤーは他のプレイヤーの 2 つの発言から、自身の内部状態を更新する (genecode2)。他プレイヤーの各発言は 4 通りであるため、genecode2 の入力は 16 種類、更新する内部状態は 2 種類となる。

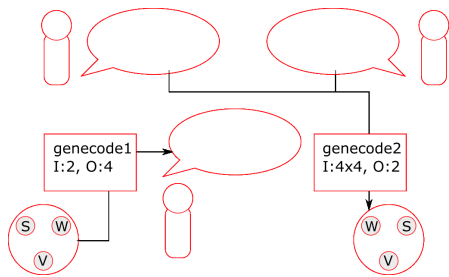


図 1 進化シミュレーションのプロセス

村人、占い師、人狼の各エージェントを 10 体用意し、これを 1500 世代に渡って進化させた。各世代において、エージェントはランダムで 1000 試合を行う。試合後、勝敗の数、嘘をついた数、占い師として CO した数の集計を行う。村人プレイヤーは、村人でないと宣言した時に嘘をついたと判断し、占い師プレイヤーは村人として宣言した時および偽の占い結果を述べた時に嘘と判断する。発言の制約上、人狼プレイヤーは常に嘘をつくしかできないため、人狼プレイヤーの場合には占い師として発言した数を集計した。

各役について勝率を求め、最も勝率が低いエージェントを消去し、次に、最も成績が高いエージェントと、2 番めに成績が高いエージェント同士をかけ合わせ、新しいエージェントを作る交叉を行う。最後に、10%の確率で、各コードの状態を変化させる突然変異を行う。本シミュレーションを 100 回行った。

5 シミュレーション結果

シミュレーションの実行結果のうち 1 つを図 2 に示す。各プレイヤーの状態が収束せず、定常状態とそうでない状態を繰り返していることがわかる。

初期状態においては、会話のない人狼ゲームと同じ

割合で展開するものの、占い師が徐々に嘘をつくようになる。それに伴い村人側の勝率が上がるが、ある点から勝率が減少し、50%へ近づいていく。100 サンプルのどの条件でも、100 世代までの序盤に同じような推移を行うことを確認した。

5.1 考察

結果より、当初予想していたのと異なる結果がもたらされた。以下にその要件を述べる。

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、という圧力が会ったことが考えられる。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た。しかし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た。

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た。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る。

6 結論

本研究では 3 人狼ゲームのモデル化を行った後、このゲームの発展について、進化シミュレーションの手法を用いて検討した。検討結果より、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を確かめた。

今後は、会話が繰り返される状況、再帰的に相手の状態を持つ状況を進化的シミュレーションにより検討し、再帰的な推論がどのようにゲームに貢献しているか、検討する予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 26118006 および人工知能財団の助成を受けたものです。

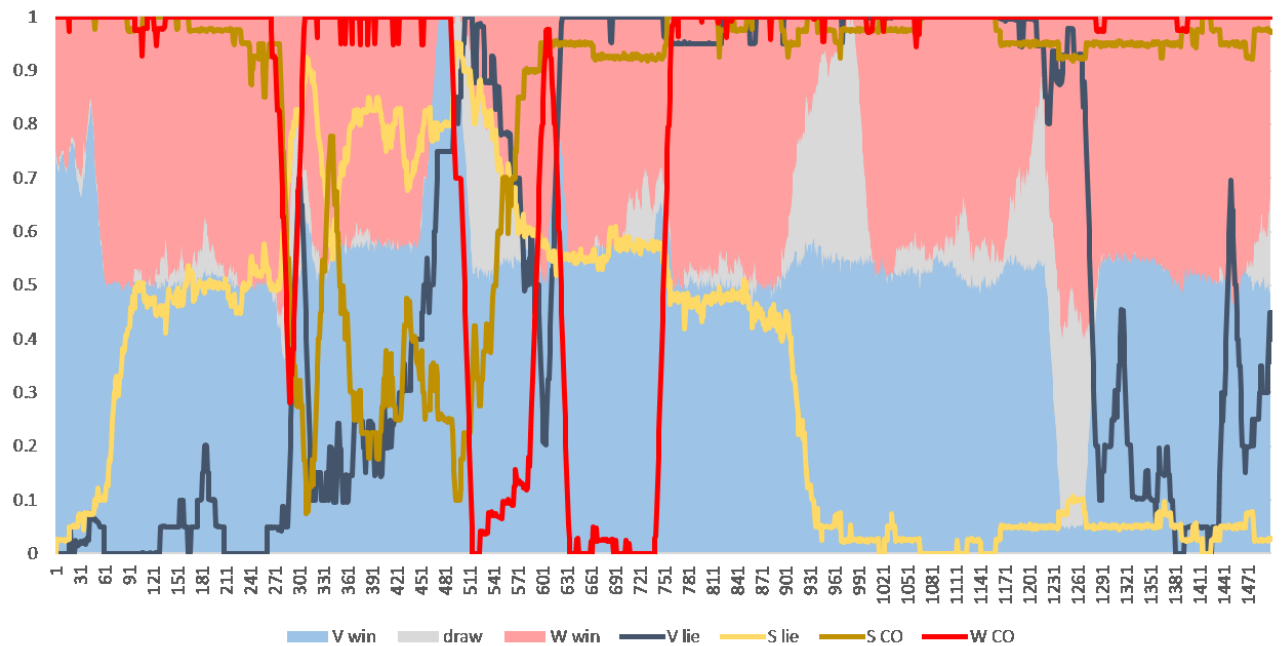


図2 1500 世代における村、占、狼エージェントの勝率と嘘、CO の割合（背景の下部が村側の勝率、上部が狼側の勝率、間の区域が引き分けの率となる）

参考文献

- [1] Braverman, M., Etesami, O., and Mossel, E.: Mafia: A theoretical study of players and coalitions in a partial information environment, *The Annals of Applied Probability*, Vol. 18, No. 3(2008), pp. 825–846.
- [2] Michael Bowling, Neil Burch, Michael Johanson, and Oskari Tammelin: Heads-up limit hold ’em poker is solved, *Science*, Vol. 347, No. 6218(2015), pp. 145–149.
- [3] Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., van den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T., and Hassabis, D.: Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search, *Nature*, Vol. 529, No. 7587(2016), pp. 484–489.
- [4] 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(2012), pp. 144–147.
- [5] 西野順二: 自然な人狼の勝率, *研究報告ゲーム情報学 (GI)*, Vol. 2015, No. 18(2015), pp. 1–5.
- [6] 大澤博隆, 佐藤健: 3 者間人狼における戦略の検討, *人工知能学会全国大会*, 2016, pp. 2F4–3.
- [7] 畢曉恒, 田中哲朗: 対話のない人狼ゲームの戦略, *ゲームプログラミングワークショップ 2015 論文集*, Vol. 2015(2015), pp. 25–30.
- [8] 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(2015), pp. 65–73.