

人狼ゲームにおける役職の強さの定量化

Quantification of the Influence of Roles in Werewolf Game

○ 稲葉 通将 (広島市立大学) 鳥海 不二夫 (東京大学)
 大澤 博隆 (筑波大学) 片上 大輔 (東京工芸大学)
 篠田 孝祐 (電気通信大学)

Michimasa INABA, Hiroshima City University, inaba@hiroshima-cu.ac.jp
 Fujio TORIUMI, University of Tokyo
 Hirotaka OSAWA, University of Tsukuba
 Daisuke KATAGAMI, Tokyo Polytechnic University
 Kousuke SHINODA University of Electro Communications

We specifically examine a communication game: “Werewolf”, also known as “Mafia”. This paper presents statistically analyses of the game using log data. We emphasized an analysis of the game roles. We quantify the degree of importance of each role and clarify the winning rates of both teams, the werewolf side and the human side, in the given arbitrary role structure using logistic regression analysis. To validate the regression results, we compare results reported from previous works and propose a fair role structure for each player.

Key Words: Game Informatics, Werewolf, Data Mining

1 はじめに

人狼ゲームは話し合い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ゲームである。本研究の最終目的は、人間に変わって人狼ゲームをプレイする人狼ゲームエージェントの実現である。そこで我々はエージェント同士がコミュニケーションを行うためのプロトコルの規定 [1] や、ゲームログの分析による人狼エージェントの戦略獲得 [2] などを行ってきた。

本論文ではその一環として、人狼 BBS[3] のゲームデータを用いた統計的分析を行う。人狼 BBS は、オンラインゲームとして Web 上で提供されており、これまでに 5000 以上のゲームが行われてきた。人狼 BBS では、過去のログが全て公開されており、本研究ではこれを用いた分析を行う。

人狼ゲームでは様々な役職が存在し、ゲームの勝敗に大きく影響する特殊能力を持つものもある。本論文では特に、ゲーム内に登場する役職に着目する。具体的には、人狼ゲーム内の各役職の強さ、すなわち勝敗への影響度の定量化と、ゲームを公平にするための役職構成について分析する。どの役職がどの程度勝利に貢献するかという役職の重要度は、どのプレイヤーを生存させるべきかという指針になるため、人狼ゲームエージェントの作成のために非常に有用な情報である。また、人狼ゲームはどのような役職構成でゲームを開始するとき、どちらがどの程度有利かということは明らかになっていない。これはエージェントの効率的な学習のために有用な情報である。例えば、強化学習を用いたエージェントは困難な条件で開始したゲームに勝利した場合と、楽な条件勝利した場合では受け取る報酬に差を設けることで効率的な学習が可能となる。つまり、ある役職構成で行われたゲームで勝利した時、その重要性が判断できないため、強化学習を用いたエージェントは適切な報酬が設定できないといったことが起こりうるためである。

人狼に関する研究としては、人狼ゲームの数学的考察 [4, 5, 6] や、人狼をプレイする人間の行動や心理的な側面に焦点を当て、様々な特徴を用いて人狼か否かの判定を行った研究がいくつか報告されている。例えば、プレイヤーそれぞれの話の長さや回数、話を遮った回数などを特徴として用いた研究 [7] や、手や頭の動きを用いた研究 [8]、ゲーム内で使用された単語を用いた研究 [9] などがある。



Fig.1 人狼 BBS

2 分析対象データ

2.1 人狼 BBS

人狼 BBS は Web 上で誰もが参加可能な Web ゲームとして公開されている (Fig.1). 1 回のゲームは 9 名~15 名で行われ、ゲーム内の 1 日はリアルタイムの 1 日と同じ時間で進行する。人狼 BBS における役職は Table 1 に挙げる 7 種類であり、役割ごとの構成人数はゲーム開始時のプレイヤー数によってあらかじめ規定されている。人狼 BBS では、何度かルールや役職ごとの構成人数の変更が行われており、本研究では同一のルール・役職構成で行われたゲームデータを分析対象とする。なお、プレイヤー数 15 名 (最大) の場合の役職構成は村人 6 名、人狼 3 名、占い師 1 名、狩人 1 名、霊媒師 1 名、狂人 1 名、共有者 2 名である。人狼のルールはゲームに含める役職の違いなどの様々なバリエーションがある。

Table 1 人狼 BBS における役職

役職	特殊能力
村人	なし
人狼	夜フェーズに人間側のプレイヤー 1 人を指名し、そのプレイヤーを襲撃できる (人狼全体で 1 人襲撃) 人狼同士でしか聞こえない会話ができる
占い師	夜フェーズにプレイヤー 1 人を指名し、そのプレイヤーが人狼か否かを知ることができる
狩人	夜フェーズにプレイヤー 1 人を指名し、そのプレイヤーを人狼の襲撃から守ることができる
霊媒師	プレイヤーが死亡した際、そのプレイヤーが人狼か否かを知ることができる
狂人	人間であるが人狼側に属し、人狼側の勝利が狂人の勝利となる
共有者	他の共有者が誰かを知ることができる

Table 2 分析に使用したゲームデータ

総ゲーム数	1571 回
平均ゲーム終了日数	9.0 日
平均参加プレイヤー数	14.6 人
人狼側の勝率	38.2%

エーションが存在するが、人狼 BBS には他の人狼ではほとんど採用されていない特殊なルールとして、発言回数制限と突然死がある。発言回数制限は、1 日に発言できる限度回数を超過して発言できないというルールである。突然死は、1 日に一度も発言しなかったプレイヤーは強制的に死亡するというルールである。突然死が発生した場合、ゲームバランスが大きく崩れる場合があるため (特に人狼が突然死した場合)、本研究では収集した人狼 BBS のデータのうち、突然死が発生したゲームを除く 1571 ゲームについて分析を行う。分析に使用したデータの概要を Table 2 に示す。

3 役職の強さの分析

各役職の勝敗への影響度は、ゲームのある時点の役職構成と、そのゲームの結果の関係を分析することで求めることができる。すべてのゲームは決められた役職構成で開始されるが、ゲームが進行していくにつれてプレイヤーは死亡していくため、役職構成が次々と変わっていく。しかし、その構成パターンはそれほど多くないため、同一の役職構成が幾度も出現する。本研究ではこれを利用する。例えば、「人狼が 1 人、村人が 3 人」という状況となるゲームはデータ中に複数存在する。同じく、村人 1 名が占い師に変わった「人狼が 1 人、村人が 2 人、占い師が 1 人」という状況も複数存在する。そこで、そのような状況が生じたゲームの最終結果を集計し、比較することで、この場合では村人と占い師の勝敗への影響度が分析できる。これは、それぞれの構成でゲームが開始したとみなし、その勝率を比較することに相当する。仮に、後者のほうが人間側の勝率が高い場合、村人よりも占い師のほうが人間側勝利への重要度が高いということになる。また、占い師ではなく霊能者の場合や狩人の場合とも比較することで、その重要度の大小関係も求めることができる。

本研究では、そのような役職の重要度の計算のためにロジスティック回帰分析を用いる。人狼 BBS における各時点の役職構成を説明変数、そのゲームの最終的な勝敗を目的変数とすること

Table 3 回帰分析結果

役職	回帰係数	標準誤差	P 値
(切片)	-0.509	0.055	0.001 以下
村人	-0.096	0.014	0.001 以下
人狼	1.087	0.030	0.001 以下
占い師	-1.219	0.040	0.001 以下
狩人	-0.743	0.041	0.001 以下
霊媒師	-0.423	0.041	0.001 以下
狂人	0.435	0.039	0.001 以下
共有者	-0.472	0.030	0.001 以下

で、役職の重要度、および役職構成から勝率を求めることが可能となる。

3.1 分析結果

結果を Table 3 に示す。表の回帰係数が各役職のゲームの勝敗への影響度とみなすことができる。その値が大きければ大きいほど人狼側の勝利への影響度が大きく、小さければ小さいほど人間側の勝利への影響度が大きいことを意味する。表の P 値より、全ての回帰係数は有意水準 1% で有意であった。回帰係数を見ると、強力な特殊能力を持つ「占い師」と「狩人」が特に小さな値となっており、人間側の勝利に大きく貢献していることがわかる。人狼の正体がわかる占い師と、人狼の襲撃からプレイヤーを守ることができる狩人は人間側の勝利に大きく影響していると考えられ、この結果は妥当な結果であるといえる。共有者と霊能者が占い師・狩人よりも影響が小さい役職であるということは経験的にも明らかである。一方、夜フェーズで行使できる能力を持たない共有者が霊能者よりも小さな値になっていることは少し意外な結果である。また、狂人は人狼側の勝利に貢献していることを示す正の値となっていることも確認できる。

3.2 考察

ロジスティック回帰分析の結果の有効性を確認するため、Migdal による式 [6] との比較を行う。Migdal は、ゲーム開始時のプレイヤー数を n 、そのうちの人狼の数を m としたとき、人狼側が勝利する確率 $w(n, m)$ は次式で求められることを示した。

$$w(n, m) = 1 - \sum_{i=0}^m \binom{m}{i} (-1)^i \frac{(n-i)!!}{n!!(n \bmod 2 - i)!!} \tag{1}$$

ただし、この式には以下の前提をおいている。

- 役職は村人と人狼のみ
- 処刑対象、襲撃対象は完全にランダムで決定される
- 勝利条件はどちらかを全滅させた時とする

そこで、Table 3 に示したロジスティック回帰分析の結果のうち、村人と人狼の値のみを用いて人狼側の勝率を計算し、比較を行った。人狼側の予測勝率 p は α を切片、 $\beta_1 \sim \beta_k$ を各回帰係数、 $x_1 \sim x_k$ をそれぞれの役職ごとの人数とした時、次式から求めることができる。

$$p = \frac{1}{1 + \exp^{-(\alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k)}} \tag{2}$$

ここで問題となるのは前提の 3 点目である。人狼 BBS では、人狼側と人間側の人数が同数になった場合人狼側の勝利というルールでゲームを行っており、そのデータを用いて分析を行ったことから勝率に差異が生じる。例えば、人狼 BBS のルールでは、処刑対象プレイヤーがランダムで決定する場合、昼フェーズで村人が 3 人、人狼が 1 人の時の人狼の勝率は 3/4 である。なぜな

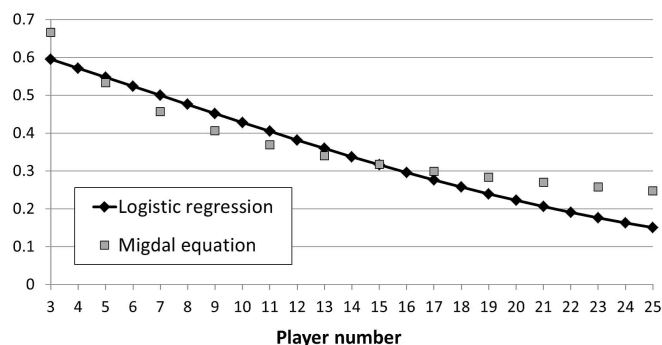


Fig.2 人狼が1名の場合の人狼の勝率

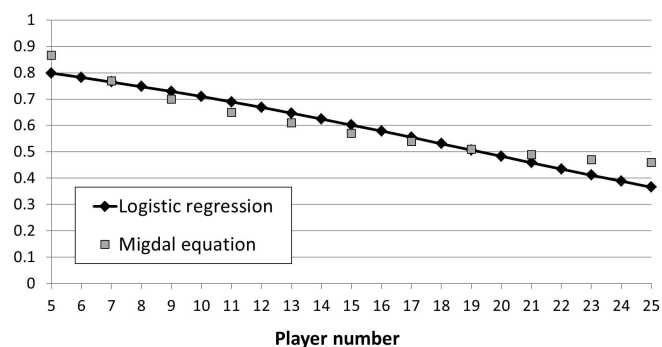


Fig.3 人狼が2名の場合の人狼の勝率

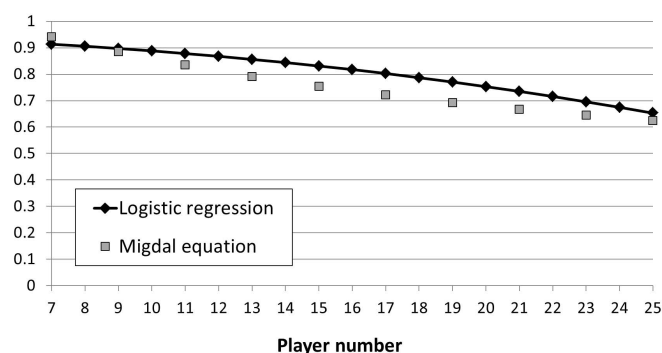


Fig.4 人狼が3名の場合の人狼の勝率

ら、人狼が処刑されなければ、その夜の襲撃で村人が一人死亡するため、村人と人狼が1人ずつ残る。よって人狼側勝利となるためである。ただし、勝利条件はどちらかを全滅させた時とする場合は、さらに1/2の確率で人狼が処刑されてしまうので、人狼側の勝率は3/8となる。ただし、プレイヤー数 n が奇数の場合にはこのような問題は発生しない。そこで、本論文では n が奇数の場合と比較を行う。

結果をTable 2～4に示す。Table 2は人狼が1人、Table 3は人狼が2人、Table 4は人狼が3人の場合で、それぞれ全体のプレイヤー数を変化させた時の予測勝率を示したものである。図より、人狼が1人の時はプレイヤー数が23人を越えたあたりから、人狼が3人の時はプレイヤー数が17人程度の場合に比較差が大きくなったものの、人数が少ない場合はMigdalの式との誤差は小さく抑えられた。これは、使用したデータにおける最大プレイヤー人数は15人であり、それよりも少ない人数のデータしか使用していないことが原因であると考えられる。ただし、人数が少ない場合には、ロジスティック回帰によるものとMigdalの式

の勝率はかなり近い値になっていることから、ロジスティック回帰分析により得られた回帰式は人狼側の勝率を計算可能であることが確認できた。

ロジスティック回帰分析により得られた値はMigdalの式と非常に近い値を示していることがわかる。以上より、ロジスティック回帰分析により得られた回帰式は人狼側の勝率を計算可能であることが確認できた。

3.3 妥当な役職構成の提案

本研究で使用した人狼BBSデータの役職構成は、2014年7月現在の人狼BBSのものとは異なっている。本研究ではルール改定後に行われたゲームデータ数が十分ではないこと、およびルールがそれまでと同一ではないことを考慮し、それ以前のデータのみを使用している。改定後に行われたゲームのうち、プレイヤー数15名で突然死が発生していないゲームは我々が調査した時点では人狼の勝率は49.4%であった。(なお、分析に使用したデータ(ルール改定前)のうち、プレイヤー数15名で突然死が発生していないゲームは1373ゲームあり、人狼の勝率は38.2%であった)このことから、プレイヤー数が15名の場合には、勝率が公平になるようなルールに改定されたと考えられる。

ただし、プレイヤー数が15名未満の場合はデータが少なく検証が難しいため、現行ルールの役割構成が適切であるかどうかを、ロジスティック回帰分析の結果を用いて考察を行った。現行ルールの役割構成とロジスティック回帰分析結果を用いた人狼側の予測勝率をTable 4に示す。なお、現行ルールでは共有者は存在しない。

表より、プレイヤー数が14と15人の場合はほぼ勝率が50%に近い値となっており、人数が多い場合においては適切なルールに改定されたことがわかる。また、15人の場合の予測勝率は実データともほぼ一致していることから、求めた回帰式が妥当であることがここからも確認できた。一方で、プレイヤー数が少ない場合、特に11人の際には人狼側の勝率は31.7%と人狼側にとって極めて不利な設定となっていることがわかる。

そこで、プレイヤー数が9人～13人の場合で、人狼側の勝率が $50.0 \pm 5.0\%$ になるような役職構成をロジスティック回帰分析結果から求めた。なお、他の人狼バリエーションにおいても、共有者のような2人ペアで特殊能力を発揮する役職を除き、ゲームに加える村人・人狼以外の役職はそれぞれ1人ずつであることがほとんどであることから、村人・人狼以外の各役職の最大人数は1人とした。

提案する役職構成と人狼側の予測勝率をTable 5に示す。表に示したように、プレイヤー数が9人～13人のすべての場合において、人狼側の勝率が $50.0 \pm 5.0\%$ になるような役職構成が求められた。よって、表に示した役職構成を採用することにより、人狼側と人間側が対等の条件でゲームを行うことができると考えられる。

4 おわりに

本研究では、人狼BBSのログを用いて人狼ゲームの統計的な分析を行った。ゲーム内に登場する役職に着目し、データをロジスティック回帰により分析することで、人狼ゲーム内の各役職の勝敗への影響度の定量化と、ゲームを公平にするための役職構成について分析した。回帰分析の結果をMigdalの式と比較することで妥当性を確認するとともに、人狼BBSにおける妥当な役職構成の提案を行った。

本研究では、ゲームを通した役職の重要度を定量化したが、実際はゲームの展開により重要度は上下すると考えられる。例えば、人狼が残り1名の場合、次に処刑されたプレイヤーが人狼であればゲームが終了するため、霊能者の能力には価値がない。一方、残り人数が少ない場合に狩人が生存していることは、残り人数が多い場合よりも防衛確率が高いため、狩人の重要度は大きくなると考えられる。よって、状況の変化をとらえた分析が今後の課題である。このような分析を行うためには、様々な条件でデータを分類し、それぞれを分析する必要がある。

Table 4 現行ルール of 役職構成と予測勝率

人数	村人	人狼	占い師	狩人	霊能者	狂人	人狼側の予測勝率
9	5	2	1	0	1	0	38.8%
10	4	2	1	1	1	1	33.9%
11	5	2	1	1	1	1	31.7%
12	5	3	1	1	1	1	58.0%
13	6	3	1	1	1	1	55.6%
14	7	3	1	1	1	1	53.2%
15	8	3	1	1	1	1	50.8%

Table 5 提案する役職構成と予測勝率

人数	村人	人狼	占い師	狩人	霊能者	狂人	人狼側の予測勝率
9	3	3	1	1	1	0	52.0%
10	4	3	1	1	1	0	49.6%
11	5	3	1	1	1	0	47.2%
12	7	3	1	1	0	0	52.9%
13	8	3	1	1	0	0	50.5%

その他の課題としては、提案手法を用いた人狼エージェントの構築があげられる。提案手法により、自陣営の形勢に応じた適切な行動が可能になると思われる。現在、人狼専用のプロトコルによるエージェントの作成を進めており、これに組み込んでいく予定である。

References

- [1] H. Osawa. Communication protocol for the werewolf game. *Human-Agent Interaction Symposium*, pp. 122–130, 2013.
- [2] M. Inaba, N. Ohata, F. Toriumi, and K. Takahashi. You will be executed if you keep chatting : The analysis of werewolf bbs based on relationships between players' utterances and decision-making and victory. *Joint Agent Workshops and Symposium*, 2013.
- [3] WerewolfBBS <http://ninjinix.x0.com/wolf0/>.
- [4] M. Braverman, O. Etesami, and E. Mossel. Mafia: A theoretical study of players and coalitions in a partial information environment. *The Annals of Applied Probability*, pp. 825–846, 2008.
- [5] E. Yao. A theoretical study of mafia games. *Arxiv preprint arXiv:0804.0071*, 2008.
- [6] P. Migdal. A mathematical model of the mafia game. *Arxiv preprint arXiv:1009.1031*, 2010.
- [7] G. Chittaranjan and H. Hung. Are you awerewolf? detecting deceptive roles and outcomes in a conversational role-playing game. In *IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 5334–5337. IEEE, 2010.
- [8] F. Xia, H. Wang, and J. Huang. Deception detection via blob motion pattern analysis. *Affective Computing and Intelligent Interaction*, pp. 727–728, 2007.
- [9] L. Zhou and Y. Sung. Cues to deception in online chinese groups. In *Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 146–146. IEEE, 2008.