

人狼ゲームデータの統計的分析

稲葉 通将[†] 鳥海 不二夫^{††} 高橋 健一[†]

本研究では、自然言語によるコミュニケーションによってゲームを進行する対話型ゲーム「人狼」を研究対象とする。人狼は世界各地で行われている人気のパーティゲームであるにもかかわらず、ゲームの基本的性質はほとんど明らかになっていない。そこで、本論文ではオンラインネットゲームとして提供されている「人狼 BBS」で行われたゲームデータを用いて統計的分析を行い、人狼側と人間側が勝敗において平等にするための条件を明らかにする。また、人狼 BBS の現行ルールが各陣営において、勝敗において平等でない場合があることを明らかにし、それを是正するための新たなルールの提案を行う。

The Statistical Analysis of Werewolf Game Data

MICHIMASA INABA,[†] FUJIO TORIUMI^{††} and KENICHI TAKAHASHI[†]

We focus on a communication game "Werewolf". Although werewolf is a popular party game played all over the world, the basic property of the game have yet to be revealed. In this paper we declare conditions which equalize winning rate for each group by using werewolf game data played on "Werewolf BBS" which is published on the Internet. Additionally, we indicate cases which is not fair for winning for each group in existing rule of Werewolf BBS and propose a new rule to redress this situation.

1. はじめに

本研究では、自然言語によるコミュニケーションによってゲームを進行する対話型ゲーム「人狼」を研究対象とする。人狼は特に海外で人気のあるパーティゲームである。プレイヤーはゲーム開始時に人狼側か人間側かに振り分けられ、人狼側は人間側の人数を人狼側以下にした時、人間側は人狼側を全滅させた時それぞれ勝利となる。人間側に振り分けられたプレイヤーは、自分以外のプレイヤーがどちらの陣営に属するか知ることができないが、人狼側のプレイヤーはどのプレイヤーがどの陣営に属するかをゲーム開始時に知ることができる。ゲームは昼と夜の2つのフェーズからなり、昼フェーズでは全てのプレイヤーが議論し、誰を人狼と疑い、処刑するかを投票によって決定する。夜フェーズには、人狼側が人間側のプレイヤーから1人を選び、襲撃する。

ゲームには多くのバリエーションがあり、人間側の

プレイヤーには、何の能力も持たない「村人」以外に、「占い師」や「狩人」などの、特殊な能力を持つ役職をゲームに含めることも一般的によく行われている。なお、人狼側であっても、どのプレイヤーがどの役職かまでは知ることはできない。

人狼は世界各地で行われている人気のゲームであるにもかかわらず、ゲームの基本的性質はほとんど明らかになっていない。例えば、人狼側と人間側が勝敗において平等であるかどうかさえ後述する特定の場を除き、明らかではない。そこで、本論文では人狼 BBS¹⁾のゲームデータを用いた統計的分析を行い、人狼側と人間側が勝敗において平等になるような条件を明らかにすることを目的とする。人狼 BBS は、BBS 形式のネットゲームとして提供されており、これまでに2000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統計的な分析を行う。

2. 関連研究

人狼に関する研究は少数であるが存在する。Brave-man らによる研究²⁾と Yao による研究³⁾では、ゲーム開始時のプレイヤーの数を 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 m/\sqrt{n} に比例することを明らかにした。その後、Migdal の研

[†] 広島市立大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University
{inaba,takahasi}@hiroshima-cu.ac.jp

^{††} 東京大学大学院工学系研究科
School of Engineering, University of Tokyo
tori@sys.t.u-tokyo.ac.jp

究⁴⁾により、人狼側が勝利する確率 $w(n, m)$ は次式で求められることが示された。

$$w(n, m) \approx \left(\frac{\pi}{2}\right)^{(n \bmod 2) - 1/2} \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

この式からわかるように、Migdal はゲーム開始時のプレイヤー数 n が偶数か奇数かによって、勝率が増減することも明らかにした。

以上で述べた研究では、数理モデル化の際、単純化のため「占い師」など特殊能力を持つ役職は存在せず、村人と人狼のみでゲームが行われることを前提としている。しかし、実際には人狼と村人だけでなく、他の役職を含めてゲームが行われることは非常に多い。その場合の分析はこれまでに行われておらず、また、人狼と村人だけのゲームとは違った性質を示す。例えば、人狼 BBS における各陣営の人数（「村人」以外に 5 種類の役職が存在）を式（1）に当てはめた場合（特殊な能力を持つ役職は「村人」として計算、 $n=15$, $m=3$ ）、人狼側の勝率は 97.1% と計算されるが、実際には 38.2% であり、大きく乖離している。

その他、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。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⁵⁾や、手や頭の動きを用いた研究⁶⁾、ゲーム内で使用された単語を用いた研究⁷⁾などがある。

3. 人狼 BBS の統計的分析

3.1 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（図 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 における役職は表 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決定されている。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えて発言できない



図 1 人狼 BBS
Fig. 1 Werewolf BBS

表 1 人狼 BBS における役職
Table 1 Roles in Werewolf BBS

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	他の共有者が誰であるかを知ることができる

表 2 分析に使用したゲームデータ
Table 2 Game data on an analysis

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%

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表 2 に示す。

表 3 ロジスティック回帰分析結果

Table 3 Results of logistic regression analysis

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

3.2 ロジスティック回帰分析

人狼側と人間側が勝敗において平等にするための条件を明らかにするため、人狼 BBS のデータを用いてロジスティック回帰分析を行った。人狼 BBS における各ゲームの 1 日ごとにプレイヤーの各役職の生存人数を説明変数、そのゲームの最終的な勝敗を目的変数とした。目的変数は「0:人間側の勝利, 1:人狼側の勝利」とした。

結果をに表 3 に示す。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。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。

3.3 分析結果の妥当性検証

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、式 (1) との比較を行った。式 (1) は前述したように、特殊な能力を持つ役職は考慮されておらず、人狼と村人だけのゲームを扱うことができる。そこで、表 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。

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

結果を図 2 に示す。図中のロジスティック回帰は人狼の人数を 1 人とし、プレイヤーの人数を変化させた場合に回帰式から得られた予測値である。また、図には式 (1) による人狼側が勝利する確率をプロットした (人狼 BBS では最大および最頻プレイヤー数が 15 人のため n =奇数の場合の値をプロットした。プレイ

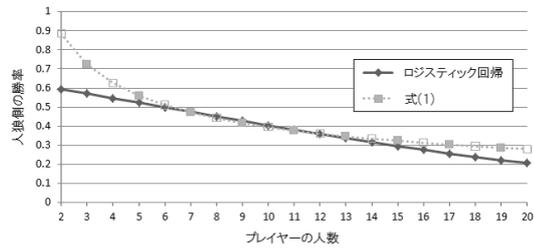


図 2 ロジスティック回帰分析の結果と式 (1) の比較

Fig.2 Comparison of results of logistic regression analysis with formula (1)

ヤー数が偶数の際の値は白枠で表示)。図より、ロジスティック回帰分析により得られた値は式 (1) と非常に近い値を示していることがわかる。特にプレイヤーの人数が 5~15 人程度の場合に良い一致を示した。これは、ロジスティック回帰分析に用いたプレイヤーの人数が 15 人以下であることから、妥当な結果であるといえる。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。

3.4 現行人狼 BBS の役職構成の妥当性評価

本研究で使用した人狼 BBS データの役職構成は、2012 年 9 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が、このルール改定により、人狼側と人間側の勝率がほぼ 50% になったと報告されている⁸⁾(本研究で用いたデータのルールでは人狼側の勝率は 38.2%)。

そこで、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表 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、前述した勝率の報告⁸⁾とも一致している。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

表 4 現行ルールのプレイヤー人数ごとの役職構成と予測勝率
Table 4 Roles in existing rule and predictive winning percentages

人数	村	狼	占	狩	霊	狂	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%

表 5 提案する役職構成と予測勝率
Table 5 Proposed number of roles and predictive winning percentages

人数	村	狼	占	狩	霊	狂	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%

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表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。ここで、プレイヤー数が偶数か奇数かで勝率が変動するという人狼ゲームの性質(式(1)より)を考慮すると、プレイヤー数が偶数の場合にこれらの値が本当に適切であるかどうかは疑問が残る。そこで、プレイヤー数が15人で開始し、ゲーム中に突然死で村人1人が死亡した790ゲーム(14人で開始した場合と実質的に同等の条件)の実データを調査したところ、その場合の人狼側の勝率は39.5%であり、プレイヤー数15人で開始し、突然死0人の場合(表2)と勝率は同程度であった。このような結果となったのは、狩人の特殊能力の影響が大きいと思われる。通常の場合、処刑による死亡と人狼の襲撃による死亡によって1日に2名ずつが死亡するため、プレイヤー数の偶数・奇数は固定である。ただし、狩人が人狼の襲撃からの防御に成功した際には、偶数・奇数がゲーム中に入れ替わるため、プレイヤー数の偶数・奇数による勝率の差が表れなくなっていると考えられる。

以上より、表5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. まとめ

パーティゲーム人狼を研究対象とし、人狼BBSのデータを用いて統計的分析を行った。分析の結果、人狼における各役職の存在が各陣営の勝敗にどの程度影響を与えるかを明らかにした。また、人狼BBSの現行ルールが各陣営において、勝敗に関して平等でない場合があることを明らかにし、それを是正するための役職構成の提案を行った。

本論文では、人狼の基本的性質を明らかにすることを目指し分析を行ったが、本研究の最終的な目的の一つに、人間の代理として人狼を行うエージェントの設計がある。そのための今後の課題として、人狼における戦略の定式化があげられる。人狼はコミュニケーションゲームであるが、人間側、人狼側それぞれに一定の戦略が存在している。このような戦略がゲームの勝敗にどのような影響を与えているのかを明らかにし、ユーザ間の会話から戦略を抽出する技術を確認することがエージェント設計のための大きな課題である。さらに、各ユーザの戦略内での役割をゲームごとに分析していくことにより、ユーザ自体の成長と戦略がどのように高度化していくかを明らかにすることも課題の一つである。これによって、コミュニケーションによる集団的知性の進化の過程を明らかにできるのではないかと期待される。

参考文献

- 1) 人狼BBS <http://ninjinix.x0.com/wolf0/>.
- 2) 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.
- 3) E.Yao. A theoretical study of mafia games. *Arxiv preprint arXiv:0804.0071*, 2008.
- 4) P.Migdal. A mathematical model of the mafia game. *Arxiv preprint arXiv:1009.1031*, 2010.
- 5) 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.
- 6) F.Xia, H.Wang, and J.Huang. Deception detection via blob motion pattern analysis. *Affective Computing and Intelligent Interaction*, pp. 727–728, 2007.
- 7) L.Zhou and Y.Sung. Cues to deception in on-line chinese groups. In *Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 146–146. IEEE, 2008.
- 8) 人狼BBS まとめサイト <http://wolfbbs.jp/>.