

# 複数台の人狼ゲームロボットを用いた多人数会話における 視線影響の調査

汪 博豪<sup>†</sup>, 大澤 博隆<sup>†</sup>  
Bohao Wang, Hirotaka Osawa

<sup>†</sup>筑波大学  
University of Tsukuba  
hailabsec@iit.tsukuba.ac.jp

## 概要

実世界の人間は言語だけではなく視線を用いて会話を行うが、一対一だけでなく多人数で会話を行う。視線による会話の制御は多人数において効果的である。しかし一対一の会話における視線の影響と比べ、多人数会話、特に複数エージェントが存在するマルチエージェント会話における視線の影響は、自動化が難しい。本研究では、ユーザー自身の意思によって変化する発話に対応できる人狼ロボットを実装し、制限が少ない自由会話をできる多人数会話システムを構築した。本システムを用いてロボットの3種類の視線に対する印象評価を行った。その結果によって、人間プレイヤーから目を逸らす視線行動が人間プレイヤーとの友好度を下がることに至る傾向を確認できた。

キーワード：ヒューマンエージェントインタラクション

## 1. はじめに

多人数会話において、他者に向けた視線行動は相手への関心や好意を知らせるサインである。対人相互作用において、相手からの視線を受け取るとは相手に対する好意につながり、視線を向けられていないと感じた場合には自分への無関心を感じることはあるだろう。人間同士での会話における視線と印象の関連については、多くの研究がされている。例えば Kleck らの研究では、視線量が少ない場合、冷淡や友好でないといった相手に対する否定的評価につながることを示されている[1]。飯塚[2]の研究では、男女大学生が会話している様子を刺激映像とし、視線量の多い映像と少ない映像の2つの条件を参加者に見せ、印象評価の違いを検討し、相手を多く見つめる人をより誠実と感じられることがわかった。これらの先行研究では、定量分析のため、参加者に自由に会話させるのではなく、特定の映像を見せ、それぞれの視線行動による印象評価を行っている。しかし上記の手法では、多人数会話の環境を再現するため、実験参加者とのインタラクションがない会話記録映像を用意するか、限定された質問タスクを行う映像を参加者に見せている。それらの手法によって多人数会話における視線と印象の関連性を調べるこ

は可能だが、話者の発話意図が変化する自由会話に対応しづらいので、実世界の会話内容が変わる動的な会話環境における視線行動による印象変化の調査は困難だと考えられる。本研究では、話者の発話意図に制限なしの会話内容が変化する会話を自由会話だと定義する。例えば、「いま何を食べたいですか」という話題のもとに映像会話を行う際に、「ラーメンを食べたいです」と答え、すぐに「いいえ、やはりトンカツを食べたいです」と言い直すと、映像を見せる手法では発話への対応が困難だと考えられる。ただし、日常生活の会話では、話者の気分、意図などの要因による発話内容の変化が多く存在し、会話内容の変化も話者の視線変化とつながっている可能性がある。よって、会話内容が変化する多人数会話における視線と印象変化の関連性を調査する必要があると考えられる。

話者の意図による会話内容が変化する会話環境でも対応できる研究手法として、人工的なエージェントを用いた手法が提案されてきた。平野ら[3]の研究では、擬人化エージェントと会話できるシステムを開発し、日本人と欧米人の視線モデルを用いて視線行動の文化差が対話相手の印象に及ぼす影響を分析している。その結果、参加者が自分と同じ文化を持つ視線モデルを実装したエージェントからよい印象を受けることが示された。こうした人工的な擬人化ロボットやエージェントを用いて、ある程度の会話内容の変化に対応できる、会話タスクにおける視線が会話相手の印象に及ぼす影響を調べることもできた。しかしながら、擬人化ロボットを用いた先行研究で扱っている会話タスクは、会話内容を字面的な意味で解釈する、会話の流れのパターンが固定的なものである。ただし、実世界の会話内容では、気分などの表面的な要因により、食べたいものがラーメンからトンカツまでの変化だけではなく、潜在的な意図による真実から欺瞞までの変化も存在する。こうした欺瞞がある自由会話においては、視線の変化が会話相手の印象及び意図推定に及ぼす影響はまだ明らかにされていない。本研究では、騙し合いが存在する

複雑な会話ゲーム人狼を会話タスクとして提案し、話者の意図変化による変化しうる会話内容を対応できる会話システムを構築して視線変化が会話相手の印象に与える影響を調べる。

本研究では、多人数会話における視線影響を調べることを目的とし、同じアルゴリズムを実装された複数台の人狼ゲームロボットを用いた多人数会話システムを構築する手法を提案した。使用されるロボットは定量分析を行いやすい擬人化ロボットで、かつなるべくユーザーを制限しないような人狼ゲームを会話タスクとして扱う。汎用人工知能の標準問題として指摘された人狼ゲーム[12]を課題とし、多人数会話を動的に演じられるマルチエージェントシステムを構築する。構築したシステムを用いてエージェントの視線行動が多人数会話にもたらす影響を調べるのが本研究の目的である。エージェントの視線行動を数種類設計し、人と人狼ゲームを行ったうえで、エージェントに対する印象を評価し、エージェントの視線行動が多人数対話に与えた影響を検証する。

本論文では、2章で対話エージェントから人狼知能までの関連研究を紹介する。3章で人狼ゲームの概要、4章で実験システムの実装、5章で予備実験と本実験、6章で実験結果と考察、7章で結論について述べる。

## 2. 関連研究

視線情報を用いた対話エージェントに関する研究は多く存在する。また、いくつかの先行研究によって、人狼ゲームは人とエージェントとの対話システムの研究題材として成り立つことと、人狼ゲームにおける対話の話者の意思によって変化することも指摘されている。本章ではこれらの研究を説明し、人間・エージェント間の動的対話の分析において、人狼ゲームが適切な題材となることを説明する。

### 2.1 視線情報を用いた対話エージェント

平野ら是对話エージェントの視線行動を日本人モデルと欧米人モデルで実装し、エージェントへの印象評価を行った[3]。平野らは同じ会話タスクであっても、視線行動の文化差によって、見慣れない視線行動では、エージェントから感じた親近感とエージェントに対して感じた親近感が下がることを指摘した。DeVaultらの研究[16]では、話者の発話や視線といった会話行動に応じて適切な動作を返すエージェントが作成されている。

この研究では、視線についてのモデルの作成が十分ではなく、エージェントが話者から視線を動かさないの、エージェントに対しての不自然さを感じたといった報告がある。

### 2.2 人狼知能

我々は人間・ロボット間で多人数対話タスクとして人狼ゲームを用いられることを指摘し、人狼ゲームをプレイするためのエージェントに必要な会話・動作要件を検討し、そのプロトタイプを作成した[13]。

片上らは実際の人間同士の人狼ゲームプレイ動画を用いて非言語情報が対話に与える影響を分析し調査した[14]。調査結果によって、怒り顔を多く行うと処刑対象や占い対象になりやすくなってしまふことが明らかになった。しかし、エージェントに対して非言語情報が人狼ゲームの対話に与える影響はいまだに指摘されていない。

人狼ゲームを用いた対話の動的分析については、我々が最もシンプルな構成である3人狼を題材として対話をモデル化しシミュレーションを行った。シミュレーションの結果により、簡略化したプロトコル人狼ゲームにおいても、エージェントの発話意図と発話内容に対する解釈は動的に変化する[7][8][11]。これらの研究によって、人間・エージェントとの動的対話の分析には、人狼ゲームは適切な研究題材であると考えられる。

## 3. 人狼ゲーム

### 3.1 人狼ゲームとは

人狼とはゲームの進行がプレイヤー同士の情報交換のみ依存する多人数コミュニケーションゲームの一種である。ゲームスタート時に各プレイヤーは村人陣営と人狼陣営に分かれる。人狼ゲームは昼と夜のフェーズが交互に進み、以下の勝利条件を満たすことで終了する。昼フェーズでは自由議論を行い、多数決投票によってゲームから除外するプレイヤーを決定する。夜フェーズでは、生き残ったプレイヤーが特殊能力を順番に行使する。すべての人狼がゲームから除外された場合、村人陣営が勝利となり、人狼の数が村人と同数以上になった場合には、ゲームの勝者が人狼陣営である。

本研究では、人狼ゲームのシンプルな構成である5人狼を扱った。5人狼では、表1を示した役職：村人2人、占い師1人、狂人1人と人狼1人の構成とな

る。

表 1 役職と特殊能力

| 陣営   | 役職  | 特殊能力                            |
|------|-----|---------------------------------|
| 村人陣営 | 占い師 | 自分が指定したプレイヤーが人狼かどうかを知ることができる    |
|      | 村人  | 特殊能力を持たない                       |
| 人狼陣営 | 人狼  | 人狼以外のプレイヤーを1人指定してゲームから除外する(襲撃)  |
|      | 狂人  | 占い師の能力で人狼陣営のプレイヤーでありながら人間と判定される |

3.2 人狼知能プロトコル

人間同士の人狼ゲームでは自然言語による会話が行われるが、これらの自然言語をそのままエージェントが扱うのは負荷が大きい。人狼エージェントを実現できるため、大澤ら[6]は人狼ゲームにおける推理と説得について伝達できる独自のプロトコルを設計した。本研究では、表 2 のとおりに大澤らの人狼ゲームのプロトコルを用いた。

表 2 人狼知能プロトコル

| 構文                       | 意味                   |
|--------------------------|----------------------|
| VOTE Agent1              | Agent1 に投票する         |
| COMINGOUT Agent1 SEER    | Agent1 が占い師であると宣言する  |
| DIVINED Agent1 HUMAN     | Agent1 を占った結果、人間であった |
| ESTIMATE Agent1 WEREWOLF | Agent1 を人狼であると推測する   |
| Agree talk1              | 1 番目の発話に同意           |
| DISAGREE talk5           | 5 番目の発話に反対           |
| SKIP                     | いま話すことはない            |
| OVER                     | もう話すことはない            |

4. 実装

本章では本研究で扱われたマルチエージェントとの多人数対話システム[9]の実装について説明する。ハードウェアの方は電球型ロボット、コンピューターとタッチパネルの構成となる。ソフトウェアの構成はゲームの進行を制御する人狼知能プラットフォームおよびロボットの制御ソフトとなる。

4.1 人狼知能プラットフォーム

人狼知能プラットフォームとは、人狼知能プロジェクト(<http://aiwolf.org>)が開発したオープンソースプロジェクトであり、人狼知能エージェントを設計し人狼ゲームを行えるプラットフォームである。このプラットフォームは人狼知能エージェントを設計できるライブラリとエージェント同士の人狼ゲームを実行できるインターフェイスを提供している[4]。本研究では、筆者が人狼知能プラットフォームを基にして人がエージェントとの人狼ゲームをプレイできるインタフェース(図 1)を開発した。



図 1 実験用ユーザインタフェース

4.2 人狼知能アルゴリズム

2017 年第 3 回人狼知能大会[5]で優勝したチーム m\_cre のアルゴリズムを元にして、実験用の人狼知能エージェントのアルゴリズムを開発した。

4.3 電球型ロボット

本研究では、佐藤ら[10]が開発した電球型ロボットを用いてロボットの顔を再設計し人狼エージェントを作成した(図 2)。本研究で扱った電球型ロボットの顔部分は、ロボットに搭載されたプロジェクタからの出力を上部の球面ディスプレイに映し出すことによって表示する。これによって、エージェントの表情や視線を自由にデザインすることが可能である。

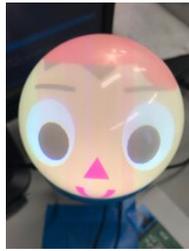


図 2 電球型ロボット

4.4 システムの仕組み

エージェントとの動的対話システムの仕組みは図 3 を示したようになる。ユーザーが図 1 で示したようなインターフェースにボタンを押すことで発話の話題、対象などの要素を選択し人狼プラットフォームに送信する。人狼プラットフォームが受信した発話要素によってユーザーの発話内容を生成する。4.2 節の人狼知能アルゴリズムによって、ユーザーの入力した発話内容に応じ、エージェントの適切な発話内容を生成する。次に、プラットフォームは生成された発話内容をユーザーインターフェースに表示しながらロボット制御ソフトへの送信を行う。プラットフォームから受信したデータは図 4 を例としたゲームログである。その後、ロボット制御ソフトが受信したログを解析し、人とエージェントの発話内容から生存するプレイヤー数までのゲーム情報を抽出する。次に、抽出したエージェントの発話内容に応じてエージェントの発話を音声で出力し、エージェントの顔をロボットに描画する。これらのプロセスによって、ユーザーがロボットとアイコンタクトをしながら人間同士のように人狼ゲームをプレイすることができる。

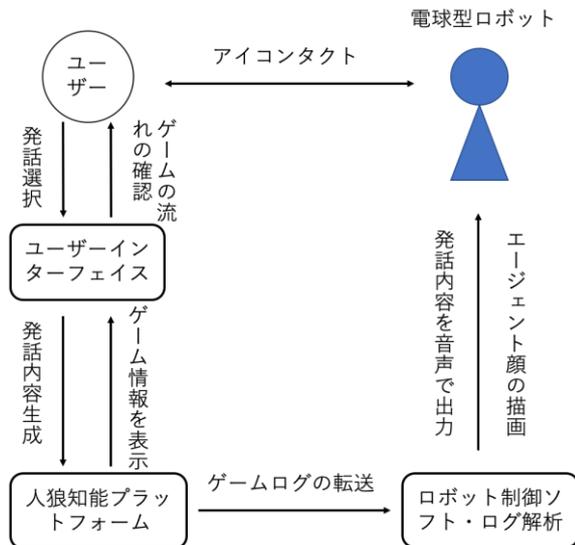


図 3 エージェントとの人狼ゲームのシステムの仕組み

```

1,status,1,POSSESSED,ALIVE,Player,1,2
1,status,2,VILLAGER,ALIVE,m_cre,1,2
1,status,3,VILLAGER,ALIVE,m_cre,1,2
1,status,4,SEER,ALIVE,m_cre,1,2
1,status,5,WEREWOLF,ALIVE,m_cre,1,2
1,talk,0,0,1,Skip
1,talk,1,0,2,VOTE Agent[03]
1,talk,2,0,3,VOTE Agent[01]
1,talk,3,0,4,COMINGOUT Agent[04]
SEER
1,talk,4,0,5,VOTE Agent[04]
1,talk,5,1,1,Skip
1,talk,6,1,2,Skip
1,talk,7,1,3,Skip
1,talk,8,1,4,DIVINED Agent[05]
WEREWOLF
1,talk,9,1,5,VOTE Agent[03]
1,talk,10,2,1,COMINGOUT Agent[01]
SEER
...
    
```

図 4 ゲームログ

5. 実験

5.1 実験環境

ロボットの配置は図 5 のようになる。ロボットの視線行動は表 4 を示した通常視線である Normal 条件 (NR 条件) を 2 台、回避的な視線である Negative 条件 (NG 条件) を 1 台と Positive 条件 (PS 条件) を 1 台それぞれに実装した。



図 5 実験環境

表 4 エージェントの視線行動

| 視線条件 | エージェントの視線行動          |
|------|----------------------|
| NR   | 発話する際に発話の聞き手を注視する    |
| NG   | 発話する際に目を逸らす          |
| PS   | 発話する際に必ず人間プレイヤーを注視する |

5.2 実験参加者

本実験の参加者は大学院生 10 名である。

5.3 実験の手続き

エージェントにそれぞれの視線行動を設置し、実験参加者にエージェントとの人狼ゲームを連続で6回プレイしてもらい、プレイした後は、実験参加者をそれぞれのエージェントに対する印象についてアンケートを回答してもらい、感想に関するインタビューを行う。

5.4 評価項目

人狼ゲームを6回行うタスク終了後にそれぞれの人狼エージェントに対する評価は、実験参加者にアンケートで行ってもらった。アンケートは単語対を用いた7段階で行い、項目は Bartneck ら[15]の The Godspeed Questionnaire Series (GQS)を参考に、エージェントの可愛さ、知性、安全性及びエージェントから感じる信頼度を測定するための項目を用意した。各項目は以下の通りである。

エージェントの印象

可愛さ

- 1. 友好的でない—友好的な
- 2. 不愉快な—愉快的な

知性

- 3. 知的でない—知的な

安全性

- 4. 動揺している—冷静な

信頼度

- 5. 信頼できない—信頼できる

5.5 仮説

アンケートの結果としては、NR 条件の結果を標準とすると、NG 条件の結果については、友好的な印象の値

が下がり、それに対し、PS 条件でのエージェントの友好的な印象の値が上がる。エージェントとのプレイが愉快であるかといった項目については、人間がずっと見られると全く目を合わせないことに対する印象が悪くなると考えられるので、PS 条件と NG 条件での値が NR 条件より低くなると想定される。知性といった項目では、言語情報の影響が高いと考えられ、各条件での値がほぼ同じになると想定される。信頼度の項目は、プレイヤーを凝視することが信頼の意図を伝達していると仮設し、NG 条件と NR 条件より、PS 条件でのエージェントに対する信頼度が高いと想定される。総合的に考えると、NR 条件と比べて、NG 条件である他者とのアイコンタクトを回避する行動が非協力的な態度を思わせ、PS 条件である人間を常時に注視する行動が協力的な態度を思わせることを仮説として考えた。

6. 結果と考察

6.1 結果

実験参加者 10 人のアンケートの各項目についての回答の平均値を図 6 に示した。各項目において NG 条件と NR 条件、PS 条件と NR 条件それぞれについて t 検定を行った結果、NG 条件と NR 条件でのエージェントの友好度において有意傾向が認められた(p<0.1)。また、エージェントに対する愉快的な印象を感じるといった項目においては、NG 条件と NR 条件、PS 条件と NR 条件両方とも有意差が認められた(p<0.05)。

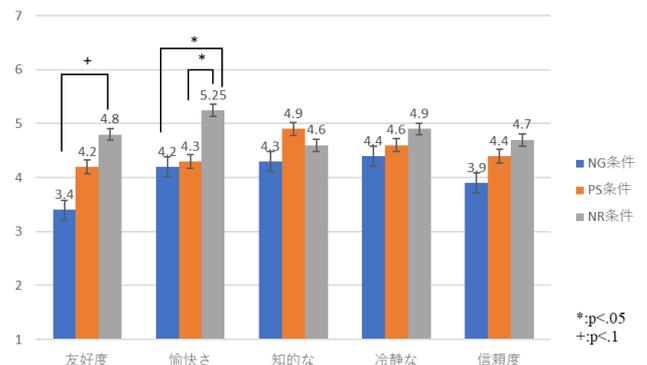


図 6 アンケート調査の結果

6.2 考察

実験終了後にエージェントの印象についてアンケート調査を行った。それぞれのエージェントに対し、可愛さ、知性、安全性、信頼度についての評価を行った結果、可愛さのみの有意結果を得られた。我々は「通常視線より、プレイヤーから目を逸らす視線行動がほかの話者

に非協力的な態度と会話への低下な参加度を思わせる」を仮説の一つとして考えた。また、それに対し、プレイヤーを凝視すると協力的な態度と高い対話参加度を見積もられることも、仮説として考えた。通常視線と比べると、回避視線を用いたエージェントが他者に友好的な態度を見せなくなる傾向があった。それによって、回避視線を用いたエージェントが他者と協力しづらくなり、非協力的な態度を見せてしまい、エージェントが会話に対する活躍度が低くなると思われている可能性がある。実験参加者のインタビューによると、“回避視線を行ったエージェントは怪しく、信頼しにくいです。”といった感想があった。もう一人は“自分を見ないエージェントの発話は説得力が低いです”と発言している。

一方、通常視線より、回避視線と凝視視線を用いたエージェントとの会話が楽しくなかったといった結果が得られたため、PS条件がより協力的な態度を見せるという仮説は成立しなかった。この結果によって、人間プレイヤーと回避視線や凝視視線を用いたエージェントとのインタラクションの積極性が下がることが考えられる。よって視線行動を用いたエージェントとの協力が行いづらくなり、エージェントの非協力的な態度が見られたと考えられる。ただ、多人数会話を参加するエージェントに対しては、話者とのインタラクションが減少するのは良いことではない。

## 7. おわりに

本研究では、簡単なタスク対話と異なる制限が少ない自由会話ができるゲーム人狼を題材として、人狼ゲームをプレイできるエージェントを開発し、そのエージェントを用いて人間との多人数対話できるシステムを構築した。筆者は4台のエージェントのうち、2台には話者を見る通常視線、1台には人間プレイヤーしか見ない凝視視線、1台には他者を見ない回避視線を実装した。多人数会話における視線の影響を調べるため、こういったエージェントを用いて実験参加者との人狼ゲームを行い、エージェントに対する印象についてアンケート調査を行った。その結果によって、人間プレイヤーから目を逸らす視線行動が人間プレイヤーとの友好度を下がることに至る傾向を確認できた。こうした視線行動は、エージェントが人間プレイヤーに敵対プレイヤーとして推測される可能性があると考えられる。

## 謝辞

本研究の一部はJSPS 科研費 JP18KT0029、中山隼雄科学技術振興財団の助成を受けたものです。

## 文献

- [1] Kleck.R.E., Nuessle W.,1968, “Congruence between the indicative and communicative functions of eye-contact in interpersonal relations”, *British Journal of Social and Clinical Psychology*, 7: 241–246.
- [2] 飯塚雄一, “視線量の多少が印象形成に及ぼす影響”, 島根県立看護短期大学紀要, 10: 69–74(2004)
- [3] 平野拓, 石王拓斗, 神田智子, “視線行動の文化差が対話相手の印象に及ぼす影響分析”, HAI シンポジウム 2016, P-34(2016)
- [4] F. Toriumi, K. Kajiwara, H. Osawa, M. Inaba, D. Katagami, K. Shinoda, “Development of ai wolf server”, in *Proceedings of the Game Programming Workshop*, pp. 127-132(2014)
- [5] 鳥海不二夫, 篠田孝祐, 大澤博隆, 三宅陽一, “人狼知能大会参加エージェントの分析—集合知の観点からの分析”, 日本デジタルゲーム学会(2017)
- [6] 大澤博隆, 鳥海不二夫, 片上大輔, 篠田孝祐, 稲葉通将, “人狼ゲームのプロトコル設計: 推理と説得のプロトコル”, FAN2014(2014)
- [7] B. Wang, H. Osawa, K. Satoh, “How implicit communication emerges during conversation game”, *AAMAS’2018*, pp.2118-2120(2018)
- [8] 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, P-48(2017)
- [9] B. Wang, H. Osawa, T. Toyono, F. Toriumi, D. Katagami, “Development of real-World agent system for werewolf game”, *AAMAS’2018*, pp.1838-1840(2018)
- [10] 佐藤拓也, 工藤祐介, 大澤博隆, “児童がデザインする図書紹介ロボットにおけるフィードバック手法の開発”, 2017年度人工知能学会全国大会, 3N2-5in1(2017)
- [11] 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”, 2018年度人工知能学会全国大会, 1H1-OS-13a-05(2018)
- [12] 篠田孝祐, 鳥海不二夫, 片上大輔, 大澤博隆, 稲葉通将, “汎用人工知能の標準問題としての人狼ゲーム”, 人工知能学会全国大会, 2C4-OS-22a-3(2014)
- [13] 大澤博隆, 栢野航, 片上大輔, 鳥海不二夫, 稲葉通将, 篠田孝祐, “コミュニケーションゲーム「人狼」を達成するロボットエージェントの設計要件”, クラウドネットワークロボット研究会(2015)
- [14] D. Katagami, S. Takaku, M. Inaba, H. Osawa, K. Shinoda, J. Nishino, F. Toriumi, “Investigation of the effects of nonverbal information on werewolf”, *Fuzzy Systems, 2014 IEEE International Conference on IEEE*, pp.982-987(2014)
- [15] C. Bartneck, E. Croft, D. Kulic, S. Zoghbi, “Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence and perceived safety of robots”, *International journal of social robotics* 1(1), pp.71-81(2009)
- [16] D. DeVault, R. Artstein, G. Benn, T. Dey, E. Fast, A. Gainer, K. Georgila, J. Gratch, A. Hartholt, M. Lhommet, G. Lucas, S. Marsella, F. Morbini, A. Nazarian, S. Scherer, G. Stratou, A. Suri, D. Traum, R. Wood, Y. Xu, A. Rizzo, L. P. Morency, “SimSensei Kiosk: A virtual human interviewer for healthcare decision support”, *AAMAS’14*, pp. 1061-1068(2014)