

5 人人狼における熟達化に伴う思考過程の変化

Changes in Thinking Processes Associated with Proficiency in 5-Person Werewolf Games

小祝 亮樹¹ 伊藤 毅志¹

Ryoki Koiwai¹, Takeshi Ito¹

¹ 電気通信大学

¹ The University of Electro-Communications

Abstract: 本研究は、不完全情報コミュニケーションゲームである 5 人人狼ゲームを題材に、熟達化に伴うプレイヤーの発話内容や思考過程の変化を分析することで、熟達化のメカニズムを明らかにすることを目的としている。実験 1 では熟達者と初級者の発話データを比較した所、熟達者は「複数の仮説を同時に生成する」発話や「過程を飛ばした推論」を行うという特徴を持つことを確認した。実験 2 では、初級者を対象に熟達化のプロセスを検証した。プレイ経験の増加にともなって「仮説の複数生成」の発話が有意に増加することが確認されたが、「過程を飛ばした推論」の獲得にはより長期の経験が必要である可能性が示唆された。また、学習コミュニティの影響により、戦略の進化に差異が生じることも確認された。本研究では、不完全情報ゲームにおける熟達化の段階的な特性を明らかにし、AI エージェントの設計に必要な知見を提供する。特に、仮説を生成能力の獲得が熟達の初期段階で重要であり、推論の効率化にはさらなる経験が必要であることを示したことは、注目すべき点である。

1 はじめに

近年、AI 技術の進歩により、将棋や囲碁などの完全情報ゲームにおける AI エージェントは人間を凌駕するレベルに達している。その結果、AI の研究はより複雑な不完全情報ゲームへと焦点を移しつつある。特に、人狼ゲームは正体隠匿型のゲームであり、高度なコミュニケーションと駆け引きを必要とするため、AI エージェントの開発が困難とされている。

本研究では、人狼ゲームを題材とし、熟達化に伴うプレイヤーの発話内容や思考過程の変化を分析し、そのメカニズムを明らかにすることを目的としている。具体的には、熟達者と初級者の発話の変容を調べ、熟達に伴う認知的な変容を明らかにする。

熟達化の過程において、プレイヤーの発話や推論能力がどのように変化するかは未だ十分に解明されていない。本研究では、人狼ゲームの試合を多く経験すれば熟達するだろうと仮定の下、人狼ゲームのプレイ経験が増加するにつれて発話内容がどのように変容するかを分析する。特に、熟達者がプレイ初期には見られなかった発話をどのように獲得し、それがどのような過程を経て定着するのかを明確にすることを目指す。

2 5 人人狼

2.1 特徴

人狼ゲームは一般に 9 人以上の多人数で行われる事が多い。しかし、多人数人狼ゲームでは、村人のような役職を持たないプレイヤーが多いために、序盤の情報が少なく、ゲームの進行が間延びする傾向がある。さらに、役職が多様すぎるため、研究対象として戦略の解析が難しいという課題がある。一方、5 人人狼は村人 2 名、占い師 1 名、人狼 1 名、狂人 1 名の最小単位で設計されており、役職の種類も限定しつつ、戦略性を維持することで熟達促進を可能にする。本研究では、短期間で多くの試合を行い、熟達化の過程を分析する必要があるため、5 人人狼を対象とする。

2.2 ゲームの進行と勝敗

ゲームは 1 日目始まる前に占い師が 1 名を占った状態から開始して、1 日目昼に議論の後、1 名が処刑され、1 日目夜に人狼が 1 名を襲撃、2 日目昼に残った 3 名で最終議論を行い、1 名が処刑される。

2 日目までに人狼を処刑すれば村人陣営の勝利となり、逆に 2 日目まで人狼が生き残れば人狼陣営の勝利となる。

*1 連絡先：電気通信大学情報理工学研究所 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

E-mail: ryokikoiwai19991019@gmail.com, ito@cs.uec.ac.jp

2.3 研究上の利点

5 人狼には、幾つかの研究上の利点がある。まず、1 試合のプレイ時間が短いため、繰り返し試合をこなすことが可能で、熟達化が比較的早く進む傾向がある。役職ごとに明確な戦略設計が必要であり、村人でさえ騙りを行う戦略が成立する。また、多人数人狼と異なり、少数のプレイヤー間での情報交換が重要になり、発話内容の変化を分析しやすい。本研究ではこれらの利点を活かして、5 人狼における熟達化のメカニズムを分析する。

3 関連研究

3.1 5 人狼における意思決定モデル

伊藤らは、図 1 に示したような 5 人狼におけるプレイヤーの意思決定モデルを構築し[1]、熟達者は局面を迅速に理解し、高度な仮説を即座に生成できる可能性を示した。しかし、このモデルでは、熟達度の違いが考慮されておらず、熟達化に伴う変化を十分に説明できていない。本研究では、熟達者特有の発話（仮説の生成や推論の過程）を分析し、意思決定モデルを拡張する。

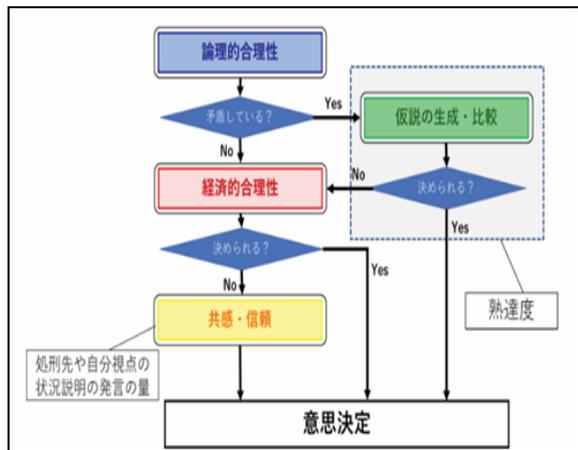


図 1：伊藤らの提案した意思決定モデル

3.2 熟達化における知識の変化

熟達者は、経験を通じて宣言的知識（言語化可能な知識）を手続き化し、直観的なスキルへと変換することが知られている。チェスや将棋の研究では、熟達者は状況を瞬時に認識し、判断スピードが向上すると報告されている[2][3]。人狼ゲームにおいても、熟達者は発話のスピードや仮説生成の複雑性が向上し、推論の省略が増加する可能性がある。本研究では、熟達化が発話に与える影響を実証的に検証する。

4 実験 1：熟達者を対象とした実験

4.1 実験の目的

人狼の熟達者を対象に、熟達者特有の発話を分析し、その特徴を明らかにする。

4.2 実験の被験者

人狼の熟達したプレイヤーとして人狼 TLPT (The Live Playing Theater) [4]と呼ばれる人狼の舞台劇を演じている熟練俳優 7 名を対象とした。彼らは、即興劇として人狼ゲームをプレイし続けるエキスパート集団であり、発話の分析に適している。

4.3 実験の手順

5 人狼を 16 試合プレイさせ、プレイ中の発話を録音・分析した。

4.4 実験の結果

分析の結果、以下の特徴的な発話を確認された。

1. 仮説の複数生成：

「A が処刑されるなら…」 「B が襲撃された場合…」 のように複数の可能性を同時に考慮する発話が見られた。このように仮説を複数生成する発話は、1 試合平均で 1.25 回見られた。

2. 過程を飛ばした推論：

「発話や投票から E が人狼だとわかる」 など、論理の一部を省略した推論が見られた。過程を飛ばした推論とは、①→②→③というような段階を踏む推論を、いきなり①→③のように、②の過程を飛ばして進めるような推論のことである。このような発話も、1 試合平均で 1.25 回見られた。

また、熟達者特有の戦術として、占い師が議論の初期段階で占い結果を騙る戦術が 2 試合、村人が占い師であると宣言して撤回する戦術が 7 試合見られた。なお、これらの発話は、初級者の試合ではほとんど見られないものである。

4.5 実験 1 の考察

実験 1 の結果をもとに、熟達者の特徴として以下 2 点の発話が挙げられる。

1. 仮説生成の熟達化：

熟達者は局面の理解が迅速で、複数の仮説を同時に生成する傾向があることが観察され、初級者は試合経験を積むことで、このような能力を徐々に獲得していくのではないかと推察される。

2. 過程を飛ばした推論：

熟達者は、宣言的知識の手続き化を通して、過程を省略して効率良い推論を行う様子が観察され、初級

者は試合経験を積むことで、このような能力を徐々に獲得していくのではない。

4.6 実験1の限界と次のステップ

本実験では、対象が人狼 TLPT に限定されており、結果の一般化という点では慎重な検討が必要であると考えられる。演出やメタ情報の影響を完全に排除することは難しい。一方で、同じプレイヤー同士でプレイを続けられれば、そのプレイヤーの人となりや学習過程が想定され、メタ情報も獲得される可能性がある。実験2では、初級者を対象とした実験を通して、熟達化の過程をさらに詳細に検証していく。また、4.5章に示した熟達者の2つの特徴を、初級者がこれらの熟達者特有の思考内容を獲得していく過程を明らかにしたい。

5. 実験2: 初級者の熟達化実験

5.1 実験の目的

本実験の目的は、初級者が5人狼ゲームのプレイを通じてどのように熟達化し、発話や思考過程が変化するかを明らかにすることである。特に実験1の結果から、熟達者の特徴である「仮説の複数生成」と「過程を飛ばした推論」に関する発話の獲得過程に注目する。また、グループを2つに分けて、グループの学習過程を比較することで、コミュニティによる学習過程に変化が生じるかを確認する。

5.2 実験の方法

実験の流れを以下に示す。

1. 学習ターム1: 5人狼(1人あたり5試合)
2. テストターム1: 紙芝居形式の問題6問
3. 学習ターム2: 5人狼(1人あたり15試合)
4. テストターム2: 紙芝居形式の問題6問
5. 学習ターム3: 5人狼(1人あたり15試合)
6. テストターム3: 紙芝居形式の問題6問

5人狼のプレイ経験が20試合未満の初級者12名を対象とし、ランダムに6人ずつ2グループに分けた。グループ間の差異を抑制するために、プレイヤーの経験(過去のゲーム歴など)を考慮した。そして、それぞれのグループを3日間かけて一人あたり5人狼を35試合プレイさせた。5試合経過した初級段階と35試合終了した熟達過程の段階で、同一の局面の対象とする問題とそれに比べると比較的易しいダミー問題を創作し、紙芝居形式で提示した。図2のようなスライドを各プレイヤーの発話を紙芝居形式で提示し、図3のように自分だったら何を考えてどのようにプレイをするのかを全て発話させながらプレイさせ、その発話内容を発話プロトコル分析の手法

を用いて分析した。クイズタームで用いた問題は、分析対象とする4つの問題は、ターム1~3で毎回使用し、それ以外の2問は、ダミー問題である。分析対象とする問題は、TLPTの実験で行われた試合を参考に、仮説の複数生成や過程を飛ばした推論に関する発話といった要素を含む問題を4問使用した。ダミー問題は、それよりは比較的理解しやすい問題を実験者が6問用意し、各タームで2問ずつ使用した。創作したダミーの問題を用意することや、ターム1とターム3で出題した同じ問題の順序を入れ替えることで、分析対象である4問をクイズターム3までになるべく記憶させないという効果を期待した。

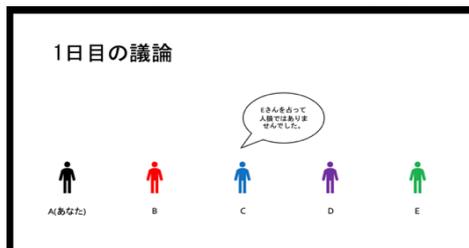


図2: テストタームで用いたスライドの例

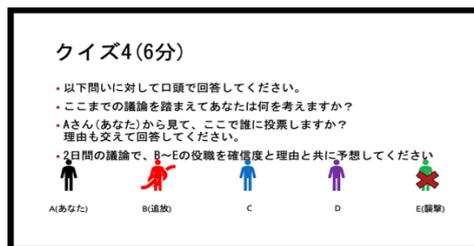


図3: テストタームで用いた問題の例

5.3 実験の結果

辞退したプレイヤー1名を除いた11名を対象に分析を行った。図4に「仮説の複数生成」の発話回数を示す。棒グラフ上の青色が初級段階のターム1の対象の発話数で、橙色が熟達段階のターム3の対象の発話数である。有意水準5%で符号検定を実施した結果、 $p=0.03$ となり、有意に増加した。この結果より、ターム1からターム3にかけて、「仮説を複数生成する」発話が増加したと明らかになった。

同様に、「過程を飛ばした推論」が含まれる発話数に関する符号検定を実施した。図5に「過程と飛ばした推論」の発話回数を示す。有意水準5%で符号検定を実施した結果、 $p=0.25$ となり、帰無仮説は棄却されず、有意な差は確認されなかった。

また、AグループとBグループの5人狼をプレイしている際の戦術の使用回数に関して郡間で差の傾向が見られた。村人が占い師であると宣言して撤回する戦術の回数を図6に示す。青がAグループで、橙色がBグループである。学習ターム2でAグループが1試合、Bグループが10試合で対象戦術の使用

が確認された。このような熟達者特有の戦術を A グループと比較して多く使用していることから、B グループの方が A グループよりも熟達スピードが速いことが示唆された。

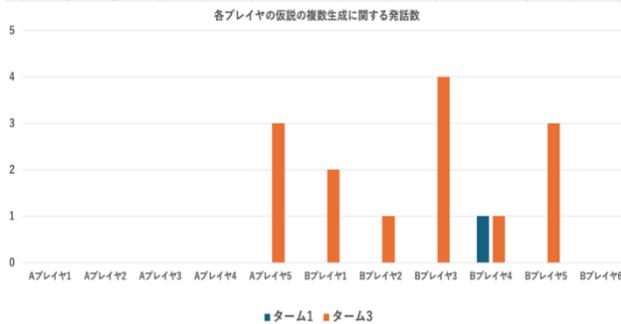


図 4：仮説の複数生成に関する発話数

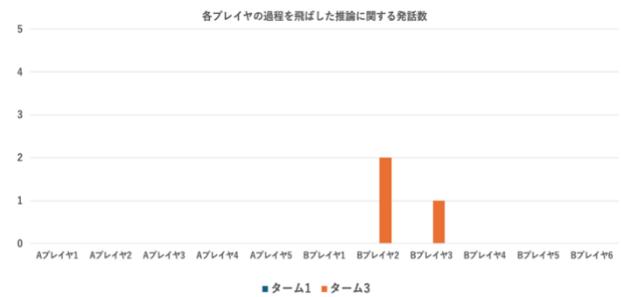


図 5：過程を飛ばした推論に関する発話数

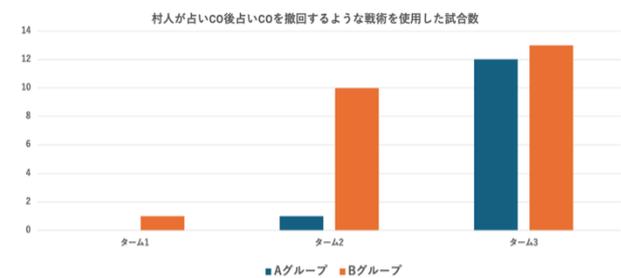


図 6：各群の村人占い CO 後撤回する戦術使用回数

5.4 実験の考察

「仮説の複数生成」は、経験を積むことで徐々に獲得されるスキルである可能性が示唆された。一方、「過程を飛ばした推論」の増加が有意でなかった要因として、試行回数の不足や、個人差による認知的要因が影響している可能性がある。今後の研究では、より長期の観察と、プレイヤーごとの思考過程の違いを詳細に分析する必要がある。

また、A グループと B グループの群間で一部の戦術の回数に差の傾向が見られた。この原因を明らかにするために、休憩時間中に 5 人狼に関する会話をしていた時間を計測したところ、A グループは 1 分 46 秒、B グループは 10 分 41 秒であった。この結

果から、試合外での情報共有が学習プロセスに影響を与える可能性が示唆された。今後の研究では、議論の質と内容が学習にどのような影響を与えるのかを詳細に調べる必要がある。

6. 終わりに

本研究では、5 人狼を題材に、熟達化の過程を分析し、発話の変容を通じて思考プロセスの進化を明らかにすることを目的とした。その結果、以下の知見が得られた。

1. 熟達者は複数の仮説を同時に生成し、推論の省略を行う傾向がある。
2. 初級者は、一定のプレイ経験を経ることで仮説の複数生成を取得するが、過程を飛ばした推論は長期の経験を要する可能性が示唆された。
3. 発話の変容には、知識の手続き化が関与している可能性が高い。
4. グループ間で熟達化に違いが見られ、プレイヤーは参加コミュニティの影響を受けやすく、試合以外での積極的な議論が熟達化に大きな影響を与える可能性も示唆された。これらの結果から、熟達化は段階的に進行することが確認された。

今後の課題としては、「仮説の複数生成」に関しては有意に増加したが、「過程を飛ばした推論」に関しては有意に増加したとは確認されなかったことから、より長期的な学習プロセスにおいて、熟達化がさらに進むのかを検証したい。

参考文献

- [1]伊藤毅志、杉本磨美、人狼プレイヤーの意思決定過程、第 34 回人工知能学会全国大会、2F4-0S-20a-01, pp. 1-4 (2020).
- [2]Herbert A Simon and William G Chase、Skill in Chess、American Scientist、Vol.61、pp394-403(1973).
- [3]伊藤毅志、松原仁、ライエル・グリーンベルゲン、将棋の認知科学研究(1)記憶実験からの考察、情報処理学会論文誌 Vol143、No. 10、pp2998-3012(2002).
- [4]人狼ザ・ライブプレイングシアター
[https://oracleknights.co.jp/jinrou-tlpt/\(2025/01/28\)](https://oracleknights.co.jp/jinrou-tlpt/(2025/01/28))