

人狼ゲーム理解のための熟達・非熟達者プレイヤーの生体信号分析

御手洗 彰^{1,a)} 棟方 渚^{2,b)}

概要: 本論文では、不完全情報ゲームである人狼ゲームにおいて、熟達者と非熟達者の皮膚電気活動を分析し、その差異を調査することで人狼ゲームの理解を試みた。人狼ゲームは自然言語によるコミュニケーションゲームであり、村人/人狼陣営の2つのチームに分けられ、定められた時間の中で行われた話し合いから、プレイヤーの中にいる人狼を見つけ出すゲームである。ゲームの特性上、“だまし”、“嘘を見破る”、“協力”、“説得”など複雑なコミュニケーションを要し、その戦略は多岐にわたる。これまでのゲーム研究では、ゲーム理解の一手法として、プレイヤーに着目し、熟達者と非熟達者の差異の調査が行われてきた。一方で、人狼ゲームでは陣営としての勝敗となるため、勝率などで一概に強さを定義することができず、プロプレイヤーも存在しないため、熟達者を対象とした分析が行われてこなかった。そこで、本研究では熟達者として The Live Playing Theater に所属する役者に着目し、非熟達者との差異を調査した。実験では、心理的な負荷や疑い、緊張、闘争や逃走による興奮反応など、外界に表出されない情報を客観的に計測できる皮膚電気活動を用い、熟達者と非熟達者間の差異を分析した。結果として、熟達者と非熟達者間で共通して、話し合い序盤と投票フェーズにおいて高い興奮が生じたことがわかった。また、話し合い中において熟達者の方が思考の移り変わりが少なく、注意集中状態を維持できていたことがわかった。

1. はじめに

近年、人工知能 [4] や認知科学 [5]、エンタテインメント [11], [23] など多岐に渡る学術分野でゲームの研究が行われてきた。このようにゲームは結果 (勝敗 など) が明確であり、ルールベースで記述可能でログの記録が容易であるため、エージェントの開発やプレイヤーの熟達、認知・思考過程の分析など、様々な研究課題を有する。チェスや囲碁、将棋などの完全情報ゲームでは、ゲームをプレイするエージェントが人間のプロプレイヤーに勝利するほど研究が進んでいる。一方で、人狼ゲームなどの不完全情報ゲームについては未開の部分が多い現状がある。人狼ゲームとは複数人で話し合いながら行う自然言語ベースのパーティゲームである。正式なゲーム名は「汝は人狼なりや?」であるが、本稿では人狼ゲームと記す。簡単なルールを説明すると、ゲーム開始時にプレイヤーにはそれぞれ役職が与えられる。例として村人、人狼、占い師などがあり、他プレイヤーの役職を知ることができない。役職に応じて村人陣営 (村人、占い師) と人狼陣営 (人狼) に分かれそれぞれが勝利

を目指すゲームである。ゲームの勝利条件は陣営によって異なり、村人陣営は誰が人狼役であるかを当てること、人狼陣営はゲーム終了まで人狼を当てられないことである。人狼陣営は村人のふりをしながら最後まで正体を見破られないようにふるまい、ゲーム中の会話をヒントに村人陣営は誰が嘘をついているかを探し、というゲームである。以上から、人狼ゲームは“だまし”、“嘘を見破る”、“協力”、“説得”など複雑なコミュニケーションを要し、その戦略は多岐にわたるゲーム性となる。このように、人狼ゲームは不完全情報ゲームであり、自然言語で会話が行われるため、ゲームのログなどの記録や分析が難しい課題となる。また、嘘をついて相手を騙したり、状況に応じて説得方法を変えろといった人狼ゲームの特性上、ゲーム中のプレイヤーの振る舞い (発話内容、表情、リアクションなど) には必ずしも真実が含まれないこともそのゲームの理解を難しくしている。

これまでのゲーム研究では、ゲーム理解の一手法として、プレイヤーに着目し、熟達者と非熟達者の差異を調査する手法が行われてきた。伊藤らは囲碁の次の一手問題においてプロ棋士とアマチュア棋士の思考過程の違いを調査した [3]。他にも将棋における次の一手問題について発話と視線情報からプロとアマチュアの違いが調査されている [5]。このように、熟達者プレイヤーの思考や振る舞いを分析する

¹ 京都大学

² 京都産業大学

a) shomitarai@kuhp.kyoto-u.ac.jp

b) munekata@cc.kyoto-su.ac.jp

ことは、ゲーム理解のための重要な手がかりとなる。一方で、人狼ゲームは陣営としての勝敗となるため、一概には勝率=強さと定義することができず、プロプレイヤーも存在しないため、熟達者を対象とした分析が行われてこなかった。そこで、本研究では人狼ゲーム理解のために熟達者と非熟達者の差異の理解を目的とした。我々は人狼ゲームにおける熟達者として「人狼 The Live Playing Theater*1」(以後、TLPT とする)に着目した。TLPT では、劇中で役者が自身に与えられたキャラクターを演じながら人狼ゲームをプレイする舞台を開催している。この劇には台本が存在せず、演者はキャラクターを演じながら全てアドリブで人狼ゲームをプレイする。演者は劇の稽古として、役割に応じた振る舞いなどのアドリブの練習に加えて、人狼ゲームの練習も行う。そのため、劇としてのエンタテインメント性はもちろんのこと、劇中の人狼ゲームのプレイヤーとしてのレベルの高さが人気の舞台となっている。TLPT の劇において出演回数の多い演者は人狼ゲームに対する経験及び高いスキルを持っており、熟達者として定義できると考えられる。

そこで本研究では、TLPT の役者を熟達者として非熟達者との差異を生体信号を用いて調査する。様々な関連研究において、ゲームにおけるプレイヤーの意思決定と生体信号との関連が研究されてきた。本研究ではゲーム中のプレイヤーの内部状態を理解するために、その評価指標として嘘偽りのない無意識的な身体反応を捉えた皮膚電気活動を採用した。皮膚電気活動は精神性発汗による皮膚抵抗値の変化を指標として測定できる。人間の情動を定量的に計測可能であり、心理的な負荷や疑い、緊張、闘争や逃走による興奮反応など、外界に表出されない情報を客観的に計測できる。皮膚電気活動の分析はゲーム研究でも用いられており、FPS ゲームの難易度の高さと、プレイヤーの皮膚電気活動の値の上昇や頻度の増加に関連があることが示されている [1]。本研究の実験では皮膚電気活動を SCL (Skin Conductance Level) 成分と SCR (Skin Conductance Response) 成分に分け、2つの観点から人狼ゲームプレイヤーの情動状態を分析した。SCL は一過性の正負の興奮 (arousal) に緩徐な反応を示す生体信号であり、人狼ゲーム全体の覚醒度の遷移を明らかにできる。SCR は興奮に対して機敏な反応を示す生体信号であり、精神的ストレスや感情の指標として医学や心理学などで注目されている [12]。SCL 値の増加や減少は、それぞれ興奮状態や集中状態を示すことが生理心理学より知られており、ゲーム全体の傾向としてどのような局面がプレイヤーの覚醒度を高めるのか、どのような局面で集中しているのかなどが理解できる。SCR の頻度を分析することで、SCR 発生のトリガとなる刺激を特定することで、どのような情報に対し鋭敏な反応がみられるのか

がわかる。そこで本研究では、プレイヤーの体験を礎とした人狼ゲーム理解を目的として、外界に表出されるプレイヤーの振る舞いや、外観に表出されないプレイヤーの情動 (皮膚電気活動) を調査することとした。

2. 関連研究

人狼ゲームに関する多くの研究が人狼知能プロジェクトによって行われている [22]。人狼知能プロジェクトとは、不完全情報コミュニケーションゲームである人狼ゲームにおいて「人間と自然なコミュニケーションを取りながら人狼をプレイできるエージェントの構築」を目指しているプロジェクトである。このような目標の実現のためには、エージェント設計や人工知能設計、認知心理学、自然言語処理、ヒューマン・エージェントインタラクション (以降、HAI) などといった複合領域の研究及び技術を要する。本章では、これまで人狼ゲーム研究でどのような試みがなされてきたかを紹介し、人狼ゲーム研究における本研究の位置づけを明らかにする。

2.1 人狼ゲームをプレイするエージェント

人狼ゲームをプレイする様々なエージェントが提案されている。人狼ゲームは、他プレイヤーの役職がわからない状態で村人陣営は人狼を処刑する必要があり、人狼陣営は処刑を回避するため、役職の推定が重要となる。そのため、プレイヤーの役職を推定する研究が様々なアプローチで行われてきた。推定のパラメータとして人狼ゲーム中の発話情報 [10], [15], [21] や身振り [14] などの身体的な情報や、占い結果などのゲーム中に得られる定量的な情報 [10] を用い、サポートベクターマシン [10] や強化学習 [9]、深層学習 [8], [18] を適用したエージェントが開発されてきた。

人狼知能プロジェクトの目標は人間らしい自然なプレイを行うエージェントの開発である。そのため、論理的・確率的な判断だけでなく、人間らしい判断も必要とされている。Nakamura ら [2] は、人狼をプレイするエージェントとして、心理学的モデルを加えたエージェントを開発した。彼らのアプローチでは、人間らしい振る舞いを実現するために、ゲーム中の特定の状況における他プレイヤーの役職推定のアンケートを取り、それを推論のパラメータとして用いることを試みた。しかし、彼らは自然なコミュニケーションを取るエージェントの実現にはさらなる人間性の追求を要すると述べており、人間の思考過程分析の必要性を示唆している。つまり、人とプレイするエージェントを考えた時、人がゲームを楽しめることも重要な要素となるため、エージェントが下す判断に人間目線の妥当性や論理性が求められる。

*1 <https://oracleknights.co.jp/jinrou-tlpt/>

2.2 人狼ゲームプレイヤーの思考過程分析

人狼ゲームは情報が不完全な状態（自身の役職以外は不明の状態）で人狼を探す必要があるため、複雑な思考を要する。そのような思考をエージェント化するために、人狼プレイヤーの思考を分析する試みが行われている。稲葉ら [7] は、プレイヤー同士の議論中における同調と反駁に着目して分析を行い、人狼役職のプレイヤーは「人狼を対象とする意見」に対して自然に反駁できるが、自然に同調することは難しいことを示した。丹野ら [19] は、人狼ゲーム中にプレイヤーが嘘をどのように見抜くかを調査した。人狼ゲーム未経験者と経験者を対象として、嘘の手がかり信念にどのような差が見られるか調査した。その結果、人狼ゲーム未経験者は嘘の手がかり信念として体の動きや視線などの身体的特徴を重視する傾向があり、経験者は、発言量や発言内容を重視する傾向があることがわかった。伊藤ら [6] は発話プロトコル分析によって人狼ゲームにおけるプレイヤーの意思決定過程をモデル化した。彼らは人狼ゲームにおいて、始めから得ている情報が少ない「村人」と「狂人」役職のプレイヤーに着目して分析し、意思決定モデルを提案した。このモデルの特徴的な点は論理的合理性や経済的合理性によって決められない場合に、他プレイヤーに対する共感・信頼という非論理的な意思決定によって判断する点である。

これまでの研究では、人間の発話情報を中心に人狼ゲーム中における人間の意思決定過程を分析することで人狼プレイヤーの傾向・特徴や意思決定モデルを示してきた。一方で、人狼ゲームの特性上、プレイヤーは、他プレイヤーに余計な情報を与えないように発話内容に自身の思考を入れないようにしたり、時には嘘をついたりする。そのため、発話情報のみでプレイヤーの言動の意図を理解することは難しい。

2.3 人狼ゲームにおける皮膚電気活動の分析

人狼ゲームプレイヤーの内的状態を明らかにするために皮膚電気活動を用いた様々な試みが行われている。皮膚電気活動は人間の集中状態や思考の移り変わりを表す一つの指標である。人狼ゲームのような、騙し合いが必要なゲームでは、他プレイヤーに思考を読まれないよう表情を作ってしまう傾向があるため、外界に表出する情報から思考を読み取ることが困難である。皮膚電気活動は、不随意の測定系のため偽ることができず、客観的なデータを測定することができるため、嘘偽りのないプレイヤーの反応を得ることができる。これまでの研究では、人狼ゲームをプレイ中の皮膚電気活動 (SCL) を解析することによって所属する陣営によってプレイヤーの SCL が有意に異なる（人狼陣営が村人陣営よりも心的な負荷が高く、SCL が高い）ことやプレイヤー同士が話し合いをする場面において、人狼陣営が勝利を確信している場合には、SCL が低くなること（定常状態により近づく、心的負荷が低い）など、ゲーム全体の情勢（どちらの陣営が有利か）における SCL の傾向が確認され

ている [13]。また、風間ら [20] は、皮膚電気活動 (SCR) からプレイヤーの意思決定過程を調査した。その結果、疑いが強まる程、SCR の反応が検出されることがわかった。

先行研究では人狼ゲームプレイヤーの皮膚電気活動を分析することでプレイヤーの反応を調査しているが、熟達者のプレイヤーについては調査されてこなかった。発話分析などは熟達者のプレイ動画などから分析可能であるが、皮膚電気活動のような生体計測はできない。本研究では、人狼ゲームにおける熟達者の皮膚電気活動を分析することで非熟達者にはどのような差異がみられるかを調査する。

3. 実験

人狼ゲーム中におけるプレイヤーに対して、皮膚電気活動を測定する実験を実施した。実験では、5人のプレイヤーで行う人狼ゲーム（以降より、5人狼）を行い、映像・音声・皮膚電気活動を記録した。なお、本実験は非熟達者と熟達者で異なる時期、場所で実施された。両実験参加者の実験条件で異なる点については適宜分けて記す。

3.1 実験参加者

3.1.1 非熟達者

実験参加者は6人であり、全員が情報系の学科に所属する大学生もしくは大学院生である。6人がそれぞれ最低10回はゲームに参加するように調整し、交代しながらゲームを行なった。参加者は日常的に5人狼をプレイしており、ルールの理解不足や経験の差、不慣れによる参加者の心理的な影響はなかったと考えられる。なお、本実験は筑波大学の「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認を得て実施された。

3.1.2 熟達者

TLPT に所属する役者7名（男性5名、女性2名）が参加した。参加者らは職業として人狼をプレイしながら演じる劇を開催しており、約150~400回の出演回数がある。また、演劇の稽古として日常的に人狼ゲームをプレイしており、参加者らの自己申告によれば、1000試行以上のゲーム経験がある。以上より、参加者らは人狼ゲームにおける高いスキルを有するプレイヤーであると考えられ、本研究では彼らを熟達者とした。なお、TLPT では13人狼を行っており、本実験で試行させる5人狼ゲームとは、役職の種類、ゲーム展開、セオリーなどが異なる。そのため、参加者には事前に30回ほど5人狼を試行させており、ゲーム展開、セオリーについて十分に理解させた上で実験を実施した。なお、本実験は京都産業大学の「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を得て実施された。

3.2 実験手順

図1（非熟達者）、図2（熟達者）のように半円状に座っ



図 1 実験環境（非熟達者）



図 2 実験環境（熟達者）

た状態で人狼ゲームを試行した。実験では、映像・音声・SCL を記録した。本実験で実施した人狼ゲームの進行手順と各手順の所用時間を以下に示す。

- (1) GM（ゲームマスター）がプレイヤに役職カードを配る（1分）
- (2) 夜フェーズ（1分）
- (3) 会議フェーズ（非熟達者：4分，熟達者：5分）
- (4) 投票フェーズ（1分）
- (5) ゲームの勝敗が決まるまで，2～4を繰り返す

簡単なゲームの流れを説明すると，GMがプレイヤに役職カードを配り，プレイヤ全員が自分の役職を確認する。この時，役職は実験を通して偏りがでないように選定した。夜フェーズでは，人狼による他プレイヤの殺害と占い師による他プレイヤの（人狼か否かの）役職確認が行われる。会議フェーズでは，プレイヤ全員が話し合い，投票フェーズで誰を処刑するか決める。投票フェーズでは，人狼と思しきプレイヤに投票し，投票数が一番多いプレイヤが処刑される。同票で最多票となった場合は，決選投票により決める。決選投票では，投票の対象となるプレイヤは順に1分間の弁明を行い，他プレイヤはそれを聴聞し対象のプレイヤに投票を行う。処刑されたプレイヤが人狼であった場合は村人陣営の勝利，人狼でなかった場合は手順2（夜フェーズ）へと戻る。5人狼では，2回の投票フェーズを経て人狼が生き残っていた場合，人狼陣営の勝利となる。どちらかの勝敗が決まるまでの手順を1試行として計15試行（非熟達者），計16試行（熟達者）した。SCLの計測

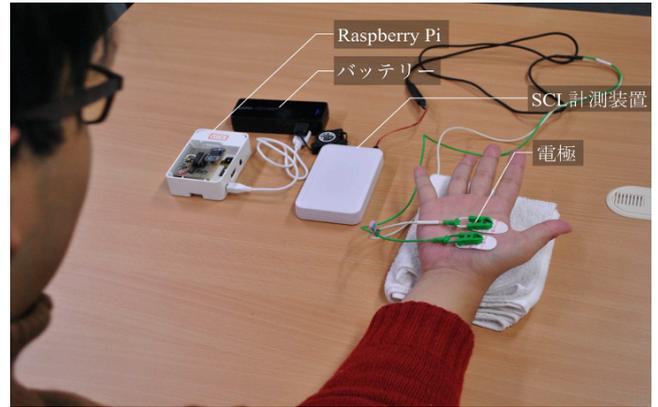


図 3 計測システムと電極装着位置（非熟達者）

時間は GM がプレイヤにカードを配った時点を計測開始とし，GM の勝敗宣言を計測終了とした。本実験における役職と割り当てられる人数は以下とした。

- 人狼（1人）：夜フェーズに他プレイヤを殺害する
- 狂人（1人）：村人として数えられ，人狼に加担する村人
- 占い師（1人）：夜フェーズに他プレイヤが人狼であるか否かを知ることができる
- 村人（2人）：特殊な能力はもたない

3.3 SCL 計測

3.3.1 非熟達者

参加者の手掌に一对の電極を装着することで，SCL の計測を行なった。SCL の計測装置は Affectiva 社の Q Sensor を参考に実装したものを使用した。SCL センサは，電極から微弱な電流を流すことで，手掌のコンダクタンスの変化をセンサ値として出力する。電極の装着位置について，参加者の利き手とは逆の手掌部（全員左手）に装着した。電極や計測装置は参加者のジェスチャなどの振る舞いを妨げることのないように図3のように装着・配置した。

3.3.2 熟達者

計測装置は Biopac Systems 社の BN-PPGED を使用した。一对の電極を参加者の手掌に装着し計測した。電極の装着位置は，実験参加者の利き手とは逆の手掌部（全員左手）に装着した。計測装置は電極と無線で接続されるため，実験参加者のジェスチャなどの振る舞いを妨げることはなかった。電極は図4のように装着した。

3.4 分析方法

皮膚電気活動の分析にあたり，人体の特性上，皮膚のコンダクタンスの変化には個人差があり，実験参加者ごとの個体間変動を分析する必要がある。また，本実験では非熟達者と熟達者で異なる装置を使用して計測している。これらのことから，個人差や装置間の差を解消するために，実験中に得られたセンサ値を 0.0～1.0 の範囲で正規化した。

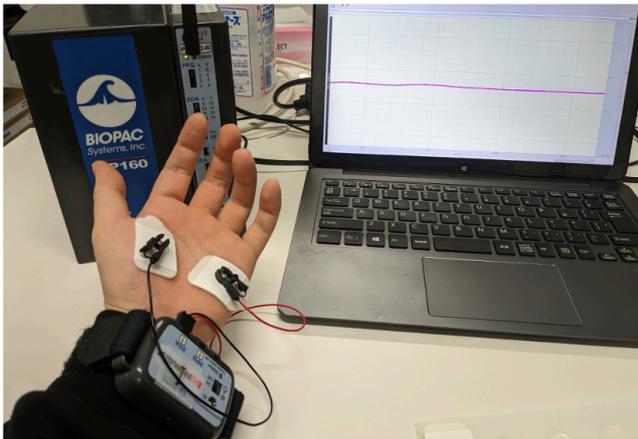


図 4 計測システムと電極の装着位置 (熟達者)

装置間の性能差による皮膚電気活動の違いは考えられるが、両装置はどちらも手掌に装着された2つの電極にわずかな電流を流すことで見かけ上の抵抗値を計測する通電法により皮膚電気活動を測定しているため正規化によってその差は十分に解消できると考えられる。正規化は各試行ごとに行い、正規化 SCL 値の 0.0 はその試行の最低値、1.0 は最高値を表す。

分析では初日の会議フェーズと投票フェーズに着目する。その理由としては、初日の会議フェーズと投票フェーズは必ず行われるため(初日で勝敗が決した場合二日目の会議、投票は行われず)、より多くの試行を分析できるためである。本実験における会議フェーズでは、実験を通して議論の内容に傾向がみられたため、会議フェーズ中のイベントとして4つに分割した。それぞれの概要を表1に示す。

得られた皮膚電気活動から2つの観点で分析する。1つ目は SCL の全体的な傾向である。実験で得られた SCL の大小を分析することで、全体的な情動の傾向を得ることができる。2つ目は SCR 成分の頻度である。得られた SCL からピーク値を算出することによってどの程度の頻度で興奮反応がみられたかを得ることができ、局所的な興奮の情報を得ることができる。例としてある30秒間の場面の皮膚電気活動と SCR 成分のグラフを図5に示す。図中の赤点を SCR 成分として数える。比較のため、場面ごとの時間で頻度を除算して1秒間あたりの頻度数とした(図5の例では $\frac{6}{30} = 0.2$ となる)。

3.5 結果

本実験では、プレイヤーに自然な姿勢でゲームをプレイしてもらうため、行動に制限を設けるなど厳密な実験統制を行わなかった。そのため、実験参加者は自由に手や腕を動かせる状態であり、電極部分を強く押ししたりするなどして、5試行(非熟達者)、2試行(熟達者)の測定データに欠損が生じた。また、熟達者においては皮膚電気活動の測定を

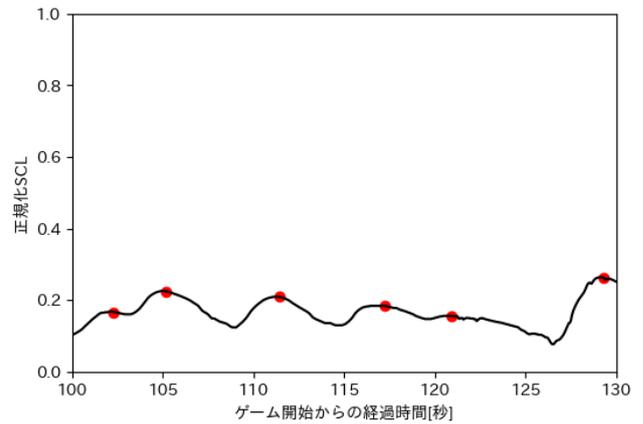


図 5 実験中に得られた SCR 成分の例

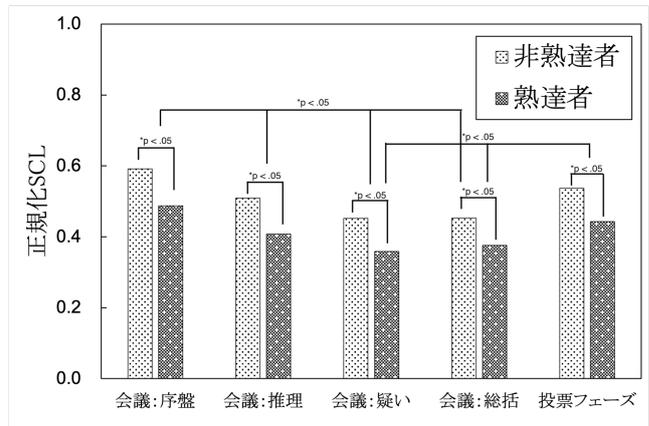


図 6 各場面における正規化 SCL の比較

行わないゲームが3試行存在した。そのため、本研究では非熟達者において15ゲーム中10ゲームを分析対象とし、熟達者において16ゲーム中11ゲームを分析対象とする。

本実験で得られた正規化 SCL の全体的な傾向を図6に示す。2要因混合分散分析(要因1:熟達者/非熟達者(参加者間), 要因2:場面(参加者内))によって群間の関係を明らかにしたところ、要因1, 2において主効果が示された(要因1: $[F(1,11)=6.50, *p < 0.05]$, 要因2: $[F(4, 11) = 11.09, **p < 0.01]$)。要因2について事後分析として Holm 法による多重比較を行ったところ、会議:序盤の正規化 SCL が、投票フェーズ以外の場面より有意に高いことが示された($*p < 0.05$)。また、投票フェーズの正規化 SCL が、会議:疑い、会議:統括の場面より有意に高いことが示された($*p < 0.05$)。以上より、非熟達者の方が会議フェーズにおいて全体的に高い SCL であったことが示された。また、場面ごとに SCL は異なり、会議序盤と投票フェーズにおいて SCL が高くなることが示された。

次に SCR 成分の頻度を図7に示す。2要因混合分散分析(要因1:熟達者/非熟達者(参加者間), 要因2:場面(参加者内))によって群間の関係を明らかにしたところ、要因1において主効果が示された $[F(1,11)=4.99, *p < 0.05]$ 。以上の結果より、SCR 頻度においても非熟達者の方が熟達

表 1 会議フェーズ中の議論内容

Table 1 Discussions During the Meeting Phase

概要	所要時間
序盤 お互いに探りをいれる時間。古い師が名乗り出て古い結果を伝える役職カミングアウトが多くみられる。	14 秒～17 秒
推理 古い結果から、誰がどの役職かを仮定・推理する。この際、新たな古い師が CO する場合もあった。	1 分 34 秒～1 分 57 秒
疑い 誰が人狼陣営かを疑う。疑う理由や疑われたプレイヤーの弁明が議論の主旨となる。	1 分 36 秒～2 分
総括 今まで議論した情報を整理して、誰に投票するかを議論する。	36 秒～45 秒

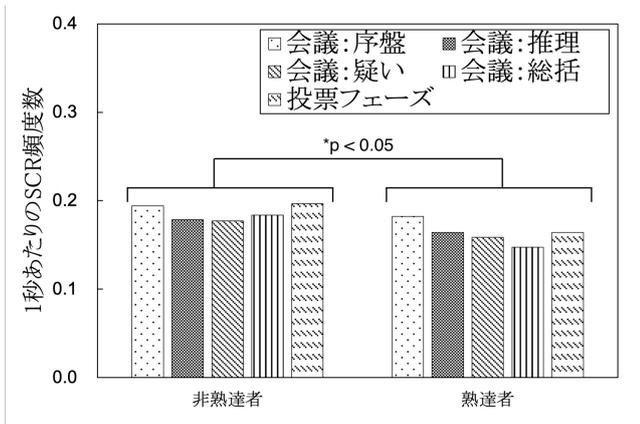


図 7 各場面における SCR 頻度の比較

者より高くなることがわかった。場面における SCR 頻度の差は認められなかった。

4. 考察

結果から明らかとなったことは、序盤と終盤（投票フェーズ）の正規化 SCL 値が有意に高いことである。これは熟達者と非熟達者の両群で確認され、プレイヤーの熟達度合いとは独立した傾向であることが理解できる。非熟達者のゲーム展開は、序盤で古い師を自称する役職カミングアウト（以後、CO とする）が全試行でみられた。真の古い師だけでなく、人狼や狂人、村人も役職 CO を行っており、全員が役職 CO を行うゲームも存在した。一方、熟達者のゲームでは、役職 CO するものだけでなく、「＜実験参加者名＞が怪しい」といったかまをかけるのみの展開も確認された。いずれの場合も、序盤に強い興奮が生じる理由はその重要性にあると考えられる。前述の通り、序盤の行動次第（非熟達者：何人役職 CO するか、熟達者：どのような発言をどのタイミングでするか）でゲーム展開が変わるため、そこに人狼ゲームの面白さがあり興奮が生じると考えられる。

熟達者と非熟達者間には正規化 SCL 値と SCR 頻度において有意な差があり、いずれも非熟達者の値が高かった。SCL の結果から、熟達者は非熟達者より興奮反応が生じていない状態を維持していたと考えられる。SCL が低値を維持することは、興奮反応が生じていない状態であり、リラックス状態や注意集中状態が継続していることを表す [16], [17]。人狼ゲームでは活発な議論が行われており、

リラックス状態であるとは考え難い。従って、本実験では熟達者はより注意集中状態を維持していたと解釈できる。SCR 頻度は思考の移り変わりの指標として用いられており [12]、熟達者と比較して非熟達者の思考の移り変わりの頻度が高いと解釈できる。

以上をまとめると、人狼ゲームの熟達度合いに関わらず、共通のプレイ体験としてゲーム序盤と終盤の投票フェーズに興奮が生じることがわかった。もちろん全ての人狼ゲームにおいて同様の体験になるわけではなく、会議の中盤・終盤に盛り上がりがある（強い興奮が生じる）ゲームもあった。本研究で得られた結果としては、人狼ゲームにおける典型的なプレイ体験を得たといえる。また、熟達者と非熟達者の間では、注意集中状態の維持や思考の移り変わりに差異があることがわかった。

一方で、本研究によって得られた結果が人狼ゲームの行動にどのような影響をもたらすかはわかっていない。例えば、思考の移り変わりが少ない熟達者はどのような思考過程を経て投票先を決定しているのか、その差異がプレイヤーの行動にどのように影響するのかがわかれば熟達者と非熟達者の差異がより具体的に理解できる。

5. おわりに

本研究では人狼ゲームの理解のため熟達者と非熟達者の差異を調査した。具体的には情動状態、認知活動、情報処理過程など外界に表出しない情報を評価する皮膚電気活動を用いて、人狼ゲームプレイヤーの思考の移り変わり、注意集中状態の差異を調査した。実験の結果、熟達者と非熟達者の共通する部分としてゲーム展開に応じた興奮の高まり、異なる部分として思考の移り変わりや注意集中状態の維持が得られた。したがって、本研究の成果はこれまで調査されてこなかった人狼ゲームにおける熟達者に着目し、皮膚電気活動の反応において非熟達者との差異を明らかにしたことである。一方で、本研究の結果は皮膚電気活動から得られた反応の解釈に留まっており、人狼ゲームプレイヤーの振る舞いにどのような影響をもたらすかについてはまだわかっていない。今後は皮膚電気活動とゲーム中の発言やジェスチャーの関係性について調査し、熟達者と非熟達者の人狼ゲームにおける言動の差異を明らかにする。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 19H04232 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Aggag, A. and Revett, K.: Affective Gaming: A GSR Based Approach, *Proceedings of the 15th WSEAS International Conference on Computers*, Stevens Point, Wisconsin, USA, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), p. 262–266 (2011).
- [2] Nakamura, N., Inaba, M., Takahashi, K., Toriumi, F., Osawa, H., Katagami, D. and Shinoda, K.: Constructing a Human-like agent for the Werewolf Game using a psychological model based multiple perspectives, *2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, pp. 1–8 (2016).
- [3] 伊藤毅志, 高橋克吉, 猪爪歩, 加藤英樹, 村松正和, 松原仁ほか: 人間とコンピュータの思考の違い~ 囲碁の次の一手問題による考察~, *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, pp. 9–16 (2012).
- [4] 伊藤毅志, 松原仁: 将棋熟達者の発話にみる思考と認知, *技術報告 64(2004-GI-012)*, 電気通信大学情報工学科, はこだて未来大学システム情報科学部 (2004).
- [5] 伊藤毅志, 松原仁, ライエルグリンベルゲン: 将棋の認知科学的研究 (2) - 次の一手実験からの考察, *情報処理学会論文誌*, Vol. 45, No. 5, pp. 1481–1492 (2004).
- [6] 伊藤毅志, 杉本磨美: (OS 招待講演) 人狼プレイヤーの意思決定過程, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. 2020, pp. 2F4OS20a01–2F4OS20a01 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/130007856875/>) (2020).
- [7] 稲葉通将, 鳥海不二夫, 大澤博隆, 片上大輔, 篠田孝祐, 西野順二: 同調と反駁に着目した人狼ゲームの分析, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. 2014, pp. 1E4OS23a1–1E4OS23a1 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/130007425659/>) (2014).
- [8] 王天鶴, 金子知適: 人狼エージェントにおける深層Q ネットワークの応用, *ゲームプログラミングワークショップ 2018 論文集*, No. 2018, pp. 16–22 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/170000178462/>) (2018).
- [9] 梶原健吾, 鳥海不二夫, 稲葉通将: 人狼における強化学習を用いたエージェントの設計, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. 2015, pp. 1F22–1F22 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/130007424522/>) (2015).
- [10] 梶原健吾, 鳥海不二夫, 稲葉通将, 大澤博隆, 片上大輔, 篠田孝祐, 松原仁, 狩野芳伸: 人狼知能大会における統計分析と SVM を用いた人狼推定を行うエージェントの設計, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. 2016, pp. 2F41–2F41 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/130007425874/>) (2016).
- [11] 梶浦久江, 中山伸一: ブロック崩しゲームにおけるプレイヤーとゲームを見る人のフロー体験に与える音楽の影響, *デジタルゲーム学研究*, Vol. 4, No. 2, pp. 13–22 (2010).
- [12] 洋 宮田: *新生理心理学 3 巻*, 北大路書房 (1998).
- [13] 御手洗彰, 水丸和樹, 本田健吾, 棟方渚, 坂本大介, 小野哲雄: 人狼プレイヤーの皮膚電気活動の解析: 情動変化を利用したソシオメータの実現へ向けて, *インタラクシオン 2018*, pp. 885–888 (2018).
- [14] 高山周太郎, 大澤博隆: 実世界人狼ゲームのジェスチャーの分析, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. 2019, pp. 3F3OS14a01–3F3OS14a01 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/130007658599/>) (2019).
- [15] 清水大輔, 長谷部浩二: プレイヤーの発言内容に関するルールに基づいた人狼ゲームの役割推定, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. 2020, pp. 2F5OS20b05–2F5OS20b05 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/130007856825/>) (2020).
- [16] 村井護晏: 皮膚電気活動からみた理科授業分析: VTR 視聴による注意の集中現象について, *日本教科教育学会誌*, Vol. 13, No. 3-4, pp. 93–99 (1989).
- [17] 村井護晏: 皮膚抵抗反応による授業評価の可能性について, *日本教科教育学会誌*, Vol. 14, No. 3, pp. 145–151 (1990).
- [18] 大川貴聖, 吉仲亮, 篠原歩: 深層学習を用いて役割推定を行う人狼知能エージェントの開発, *ゲームプログラミングワークショップ 2017 論文集*, No. 2017, pp. 50–55 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/170000176048/>) (2017).
- [19] 丹野宏昭, 児玉健: 人狼ゲーム経験による嘘の手がかり信念の差異: 大学生, 人狼ゲーム愛好者, 人狼ゲーム舞台役者の比較, *パーソナリティ研究*, Vol. 24, No. 1, pp. 88–90 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/130005093251/>) (2015).
- [20] 風間祥光, 畑雅之, 松原仁: 人狼ゲーム内の議論での行動がプレイヤーに与える影響, *技術報告 16*, 公立はこだて未来大学, 株式会社 HiSC, 公立はこだて未来大学 (2018).
- [21] 福田宗理, 穴田一: 15 人狼ゲームにおける会話情報による役割推定, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. 2020, pp. 2F5OS20b01–2F5OS20b01 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/130007856830/>) (2020).
- [22] 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 (特集エンターテイメントにおける AI), *人工知能 = journal of the Japanese Society for Artificial Intelligence*, Vol. 30, No. 1, pp. 65–73 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/110009884678/>) (2015).
- [23] 三宅陽一郎: デジタルゲームにおける可視化技術, *可視化情報学会誌*, Vol. 38, No. 151, pp. 28–33 (2018).