

会話ゲーム「インサイダーゲーム」の 情報エントロピーを用いたエージェント思考解析

成清龍之介^{†1} 三宅陽一郎^{†1}
立教大学大学院人工知能科学研究科^{†1}

概要：不完全情報の会話ゲーム「インサイダーゲーム」は未だ研究の進められていないゲームであるが、ターゲットの推定、複数の役割を持つエージェント同士の駆け引き、会話を通じた情報量の推移的变化など、人工知能の本質的な問題を豊富に含んでいる。本研究は人工知能エージェントに本ゲームをプレイさせる。まずプレイさせるための準備として、本ゲームにおける人間の思考解析とゲーム進捗の可視化の構築を行う。情報の推移変化の可視化手段として、情報エントロピーを用い、その減少率を観測した。さらにエージェントのプレイ・スタイルの違いは、情報の推移の仕方の差異として観測することができた。

キーワード：エージェント、会話ゲーム、情報エントロピー、ゲーム分析

1. はじめに

本稿では、不完全情報ゲーム「インサイダーゲーム」を研究対象とし、人工知能にプレイさせることを目的とする。

「インサイダーゲーム」は人間が会話を通じて、隠されたお題を推測していくゲームである。本研究では、このゲームをコンピュータ上でシミュレーションしエージェントにプレイさせることを目的とする。ゲームをプレイする人工知能をエージェントと呼ぶこととする。第2~4章を通じて「インサイダーゲーム」のルール紹介と、また会話ゲームであるためプレイのポイントとなる事項について説明を行う。さらに本ゲームが内包する人工知能研究のテーマについて説明する。第5章以降で研究成果について報告を行う。

インサイダーゲームは、株式会社オインクゲームズが発行している、会話と推理を組み合わせた不完全情報ゲームであり、秘匿された情報が「お題」と「プレイヤーの役職」の2つ存在する。どちらも、プレイヤー同士でコミュニケーションを取りながら情報を得ていくが、秘匿されているお題を推理する能力と、プレイヤーの話ぶりから役職を推論する能力の2つの異なる能力が1つのゲームで求められている。コミュニケーションは、外部の情報を知覚し、内部で推論し、その推論した結果を外部に伝えることで成立する。本稿でも、エージェント自身が推論するだけでなく、外部に影響を与えることを念頭においてプログラムを作成した。

2. 「インサイダーゲーム」の人工知能研究が持つ特徴

ここで「インサイダーゲーム」の人工知能研究が持つ特徴を先に示しておく。ゲームのルールの詳細は後述するが、本ゲームでは3種類のプレイヤーの役が存在する。通常の庶民、ゲームマスター、インサイダーである。インサイダーとは、プレイヤーにはわからないように、プレイヤーを正解に

導く役割であり、他のプレイヤーにばれないようにゲームを誘導しなければならない。

このゲームでは、ゲームに貢献しすぎたプレイヤーは最終的にインサイダーと疑われてしまう性質を持っている。秘匿されたお題に辿り着きたいが庶民は、インサイダーとして疑われないよう情報を小出しで他者に与えていかなければならず、そこにジレンマが生じる。また、ゲーム中、プレイヤーが会話の中で嘘をつくメリットがほぼなく、インサイダーは自身がインサイダーである事を伏せるのみである。しかし、あえて知っている情報を開示しないという行為がもう1つのジレンマとなっており、それによって生まれるプレイヤー間の会話の不自然さが、このゲームの面白さとなっている。また、会話や推測も終始合理的に考えるわけではなく、ゲーム中盤からは見当付けを行いながら条件を絞っていく。コンピュータの計算処理能力があれば、特定の条件下では総当たりで回答を見つけることができるが、条件がなく考慮すべき点が無数にある場合、際限のない要素を内包するというフレーム問題に直面する。見当付けをすることは、エージェントが自ら条件を絞り込み局所的最適解を見つけることを可能にする。ここで言う見当付けとは、際限のない要素の中から、条件が絞り込めてないにも関わらず特定の事柄を正解と仮定し推論を行うことである。この見当付けという行為は、フレーム問題を回避する手段になると考えられる。

このように「インサイダーゲーム」は自由会話によって進行するが、方向づけられた会話が展開される。その中で、各エージェントがお題を推論し、またお互いの立場を推測する2つの課題を持っている。

3. 研究背景

ここでは人狼ゲームと本研究比較することで、本研究の

背景を述べる。

チェスや将棋といった完全情報ゲームでは、AI が人間に勝利を収めており、不完全情報ゲームにも研究開発が進んでいる。不完全情報ゲームである人狼ゲームを人工知能にプレイさせることを目的とした人狼知能プロジェクトが存在する。人狼知能プロジェクトでは、「人狼ゲームをプレイするには、隠された情報を推定しながら思考する能力と人間とコミュニケーションを行う能力の 2 つが必要」としている。[1]

人狼ゲームでは、自身の役職を時に偽りながら、他者の役職を推理する。人工知能への実装において、思考の面では「プレイヤーが持つ情報の非対称性、信頼を得る説得・強調行動、嘘を見抜く推論」といったものを解決すべき課題として挙げている。自身の役職を CO（宣言）するかどうか、また偽 CO するかどうか等考えるだけでなく、行動することで場を動かしていく。コミュニケーションの面では、言語理解、知的処理、発話生成等の他、人間との会話を想定する場合は音声認識も課題となる。

また、全国のプログラマが作成した人狼知能エージェント同士を対戦させる人狼知能大会が存在し、研究が促進されている。大会には、あらかじめ決められたプロトコルに従った発言のみが許可されたプロトコル部門と、エージェント同士が日本語の自然言語で会話する自然言語部門が存在する。また、自然言語の対戦では、勝率よりも「人間に近い対話ができるか、会話が噛み合っているか、騙したり見破ったり説得したりできるか」といった発言の内容が重要となっている。人間同士で行う人狼ゲームも、単なる勝ち負けではなく各職業を演じる要素、おもしろいかどうかといった評価軸が存在する。自然言語部門では、人間と台頭に遊べることを重要視していると感じる。

一方、インサイダーゲームは、協力パート、対決パートの 2 つに分かれている。最初に協力パートが行われ、次に対決パートが行われる。それぞれのパートで求められる能力に差異はあるが、思考する機能、コミュニケーションを行う機能が共通している。協力パートでは、ゲームマスターを除くプレイヤーは質問をするだけであり、ゲームマスターもプレイヤーに正解を出してもらって正直に回答する。対決パートにおいても、協力パートでの発言を元に推理を行うのみである為、自身がインサイダーであることを伏せることはするものの、プレイヤーが会話の中で嘘をつくメリットがほぼない。協力パートではクローズドクエスチョンを行いながら、無数に考えられるお題候補の選択肢を絞っていくこととなる。プレイヤーの取る行動は、質問をする、それに対し正直に答えるだけであるが、質問をする際にインサイダーは自身がお題を知っていることを他人に悟られないよう気をつけなければならない。従って嘘はつかないが、回りくどい質問が発生し、会話の雰囲気には違和感が生じる。正解を知っているのに敢えて知らない振りをしなければなら

ないという点にジレンマが発生している。インサイダーでない場合も、ゲームに貢献しすぎるとインサイダーと疑われてしまう為迂闊な質問ができず、ジレンマが発生する。

また、序盤は合理的に選択肢を削っていくが、人間はゲーム中盤からお題の見当をつけながら質問を行っていく。この見当をつけながら推論をする、という思考がこのゲームの面白さの 1 つである。また、この協力パートでの発言を材料とし、対決パートでは役職の推論を実施するが、1 回の結論でインサイダーを言い当てなければならず、判断は慎重を喫する。判断に数回のチャンスがある人狼ゲームとは、試行錯誤ができない点で異なっている。また人狼ゲームでは、会話に嘘が紛れ込む中で役職の内訳のみを推理するため、見当つけを行うこともあるが、総当たりで役職の組み合わせを考えることが可能である。一方でインサイダーゲームでは無数にあるお題候補から選択肢を絞っていき、その中で見当つけた内容が間違っていた場合は見当付けの前段階まで戻らなければならない。以上のことから、人狼ゲームとインサイダーゲームでは似た能力が必要であるが、全く別の領域を扱っていると言える。

インサイダーゲームで求められる見当付けを人工知能が行えるようになると、機械トラブルが起きた際のコンシェルジュとして、使用者が症状をよく理解していない場面でも活躍できる期待が持てる。また、医療現場においても、事前診断 bot の問診精度を高めると考えられる。

4. ゲームのルール

4.1 ゲームの進行について

インサイダーゲームは、4~8 人で行う。その中から、1 人のゲームマスターと、1 人のインサイダー、残りを庶民として役割を割り振る。この中で、誰がゲームマスターかは全員が把握するが、誰がインサイダーかはゲームマスターも含め誰も知らないままプレイする。このゲームは 2 つのパートで構成されており、まず協力パートでお題を推理し、その後対決パートで誰がインサイダーかを推理する。

協力パートでは、庶民とインサイダーが協力し、制限時間内でゲームマスターが設定したお題の正解を目指す。5 分の制限時間内に正解に辿り着けなかった場合、ゲームマスターを含め全員が敗北となる。その為、発言回数に制限はないが悠長にしらみ潰して選択肢を絞っていくことができず、ある程度からは見当をつけながら思い切った質問をしていく必要がある。インサイダーはお題を知っている為、質問の仕方によって庶民を正解に導くこともできるが、自身がインサイダーであると疑われる可能性も上がってしまう。また、行う質問はクローズドクエスチョンでなくてはならない。従ってゲームマスターは「はい」、「いいえ」、または「わからない（どちらとも言えない）」のいずれかで回答することになる。この時、プレイヤーが人間であれば、ゲームマス

ターの回答が「わからない（どちらとも言えない）」であった際にゲームマスターが答えられない何かがある質問に存在することが分かる。例えば、お題が「携帯電話」であった時、「子供が持っているか」という質問が来た場合、必ず持っている訳ではない為「わからない（どちらとも言えない）」と回答することになる。この時、プレイヤーはその質問を無意味だったとする訳ではなく、お題は子供で持っている人も持っていない人もあるものである、人間が持っているものであるという情報を得ることができる。エージェントにも、このような認識をさせていくことが課題となる。

対決パートでは、プレイヤーのうちインサイダーが誰であるかを、協力パートでの発言内容を元にゲームマスターも含めて全員で議論する。制限時間は、協力パートで正解に至るまでに要した時間であるため、最長5分である。プレイヤーはなるべく議論に使う時間を多く取るために協力パートで制限時間ギリギリに正解したいが、もし予想していたお題が異なっていた場合全員敗北となる為、ここでもジレンマが発生する。インサイダーと思われる人への投票方法は複数存在するが、本稿ではインサイダーと思われる人を一斉に投票し、多数決で指名する方式を採用する。指名された人がインサイダーであった場合、庶民とゲームマスターの勝利となり、違った場合はインサイダーの勝利となる。

4.2 役職について

ゲームマスターは、司会役を務める。協力パートでは、お題を設定し、他プレイヤーからのお題についての質問に対し「はい」、「いいえ」、「わからない（どちらとも言えない）」のいずれかで回答する。対決パートでは、プレイヤーの話をまとめる。協力パートで全体が見えている為、誰がどんな発言をしたか認識しやすく、発言内容を時系列順にまとめやすい。一般的に、ゲームマスターは勝敗に関与しないが、インサイダーゲームにおいてはゲームマスターも誰がインサイダーであるか議論、投票に参加することができ、勝敗の影響を受ける。

インサイダーは、ゲームマスターが設定したお題を盗み知ることができる。その為、協力パートではすぐに正解を言うこともできるが、そうすると自分がインサイダーであることがばれてしまい、対決パートで負けてしまう。したがって、他人に疑われないように、かつ制限時間内に自然と答えが導かれるように質問をしなければならない。正解を知らない体で質問をする、つまり自分を庶民と思い込んで質問をするという動きも有効ではあるが、制限時間までに正解に辿り着けず全員敗北となる危険もある。また発言回数が少ないと、疑われるのを恐れて発言しなかったと見做される為適度に発言をすることも求められる。インサイダーは、このゲームの中で唯一全員の職業を把握し、ゲームマスターが設定したお題も知ることができる。協力パートにおいてゲームマスターは受け身の立ち位置である為、お題のヒ

ントを与え、プレイヤーの進行を補助するのはインサイダーの役割となる。しかし対決パートでは一転し、自分に疑いの目が向かないようプレイヤーの推理を妨害する必要がある。

庶民は、協力パート、対決パート共に、勝利に向けゲームへの積極的な参加が求められる。但し、協力パートでは突拍子もない発言をするとインサイダーであると疑われる為、物事を大枠から捉えていき、ある程度絞り込めてから見当を付けて質問していかなければならない。例えば、図1のような概念のツリー構造において、上位概念から順に該当するか質問していき、少しずつ選択肢を狭めていく必要がある。

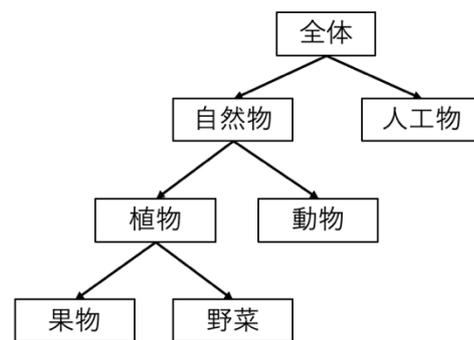


図1 ツリー構造による概念の表現例

協力パートにおいては、前述の通りゲームマスターは質問に答えるのみ、インサイダーは積極的な発言を避ける傾向にあるので、ゲームに貢献しているのは基本的に庶民と見做せる。対決パートでは主に、協力パート中にお題を知っていなければ、今までの会話の流れからは出てこないような質問をした人、急に正解に大きく近づく質問をした人など、自分がプレイ中に気をつけていた行動を取った人をインサイダーと疑いながら話し合う。

5. 研究内容

5.1 協力パートの初期モデル

「推測する」という行動は、人狼ゲームでは対象が他者の役職に限定される。一方、インサイダーゲームでは、お互いの役職が秘匿されているだけでなく、ゲームマスターが設定したお題も秘匿されている。特にお題は、製品に252種の様々なジャンルが同梱されている他、一般的に知られているものであればゲームマスターが自由に設定することもでき、ほぼ制限がない。このように無限に近い状況から推論する場合、AIは行動停止に陥ってしまうフレーム問題が存在する。人間は、自分の思考の枠の外にあることは考慮しないという手法でこのフレーム問題を疑似解決しており、インサイダーゲームにおいても自分の思考の枠の外にある事象

については考慮しない、物事の知識はあるがすぐ浮かんでこない等、常に知識、思考の全てを活用できているとは言えない。従って本稿では、エージェントが所持する知識量を一定量のみで制限することで、人間の思考の再現とフレーム問題の解決を図る。システムの構築にあたり、まずは簡単な知識と思考のモデルを作成した。

表1 知識リストの初期モデル

	食べ物	果物	野菜	赤い	固体
リンゴ	A1	B1	C0	D1	E1
バナナ	A1	B1	C0	D0	E1
トマト	A1	B0	C1	D1	E1
胡瓜	A1	B0	C1	D0	E1
車	A0	B0	C0	D0	E1

まず、表1のようにデータフレームで知識を表現した。この知識リストにおいて、行はエージェントが知っているものの名前を表現しており、「リンゴ」、「バナナ」、「トマト」、「胡瓜」、「車」の5つのみを知っていることとなる。また知識リストの列は、ものの属性を表現しており、この属性を持っているかどうかを、エージェントは聞くこととなる。そして、知識リストの行と列が交差する箇所が、質問の答えとなっている。質問の答えについては、「A0」や、「B1」というようにアルファベットと数字の組み合わせで構成しており、属性毎に異なるアルファベットを振り、質問の答えが「はい」なら「1」を、「いいえ」なら「0」を付与している。つまり、「A0」は食べ物ではないことを表しており、車の属性として適している。本稿においては、答えが「わからない（どちらとも言えない）」となる質問は考慮しないこととしている。また、ゲームマスターは、お題を常に「リンゴ」に設定することとしている。

本稿において、正解に辿り着くまでの貢献度、正解までの距離感を、情報エントロピーを用いて表現する。知識リストの中での回答の発生確率を p_i とすると、知識リストの情報エントロピー H は、

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$$

と表現される。情報エントロピー H は、高い方がより複数の情報を持っていることを表しており、本稿において丈夫エントロピーが高いことは、知識リストが複数の回答パターンを持っている、つまりより答えを絞り切れていないことを表している。

情報エントロピーは、知識リスト全体だけでなく、属性である各行ごとに算出することができる。インサイダーゲームの庶民はお題を知り得ない為、質問ごとの情報エントロピーを算出し、その中で最適なものを選ぶアルゴリズムを構築した。まず、表1の知識リストの属性ごとの情報エントロピーを表2に示す。なお、本稿において全ての情報エントロピー計算時の対数の底は2としている。

表2 庶民エージェントの属性毎の計算結果

質問	情報エントロピー
食べ物	0.722
果物	0.970
野菜	0.970
赤い	0.970
固体	0.000

表2より、計算結果は3つに分類されることが分かる。これは、5つの名前リストを「はい」、「いいえ」で分類する場合、「5:0」、「4:1」、「3:2」の3通りにしかならない為である。また、「5:0」に分類する質問は、1通りの答えしか所持し得ず、質問する必要がない為情報エントロピーは0となる。

5.2 実験1: 庶民1人, インサイダー1人, 同等の知識

まず最も簡単な場合の実験を行った。庶民1人、インサイダー1人が同等の知識リストを持つ、という条件である。

庶民は、お題がなんであるか知り得ない為、まずは全体の知識量をなるべく「1:1」に近い分割を行うような属性の質問し、徐々に情報エントロピーを減らしていこうとする。このなるべく「1:1」に分割する属性が、図1で示したツリー構造の上位概念に該当する。概念をツリー構造でエージェントに学習させる手法も有効であるが、ツリー構造では「果物であるか」と「赤いかどうか」といった、異なる概念を同時に学習させることができず、それらを序列付けることもできない。本稿のように知識リストで表現した場合、人間が概念の上位、下位を視認することはできないが、情報エントロピーの計算により序列の数値化をすることが可能となる。

表2の計算結果より、「1:1」に近い分割をする属性は、情報エントロピーが最大である「果物」、「野菜」、「赤い」の3つであることが分かる。庶民はこの質問をした時にゲームマスターが何と答えるかわからない、つまり「3:2」と「2:3」の区別がつかない為、エージェントの意思決定としては、この3つからランダムで選択し質問することとした。

一方インサイダーはお題を知っている為、情報エントロピーが最も減らない質問が何であるかを検討することがで

きる。ここでは、各属性の質問に対し、ゲームマスターの返答によってどれだけ情報エントロピーが削減されたかを計算し、削減後の情報エントロピーが最大となる質問をするアルゴリズムを構築した。表 1 の知識リストに対しての実行結果を表 3 に示す。

表 3 インサイダーの属性毎の計算結果

質問	情報エントロピー
食べ物	2.75
果物	2.25
野菜	2.69
赤い	2.50
固体	0.00

これにより庶民の計算とは全く異なる計算結果が確認できた。また、インサイダーが選択するのは、計算結果が最大となる「食べ物」属性である為、庶民とは質問内容も異なる。

2つのエージェントは共に、質問した後自身の持つ知識リストから、選択した属性の削除、ゲームマスターの返答と異なった属性を持っていた名前リストの削除を行う事とした。2つのエージェントが、それぞれ独立してゲームマスターに質問した際、正解に辿り着くまでにどのように情報エントロピーが推移していくかを観察した。その結果が図 2 である。

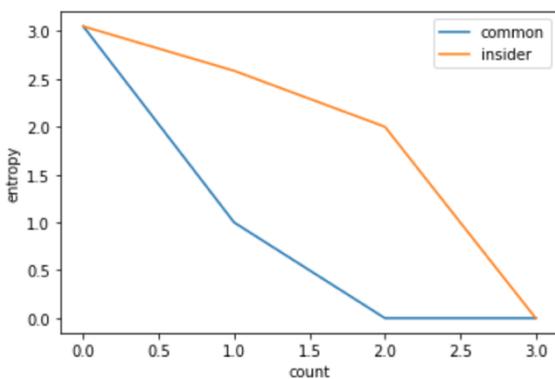


図 2 エージェント毎の情報エントロピー推移

図 2 において、庶民は「果物」、「赤い」の順で質問しており、インサイダーは「食べ物」、「赤い」、「果物」の順に質問していた。どちらも正解に辿り着けており、最終的にそれぞれが持つ知識リストの情報エントロピーは 0 となっているが、質問の順序や、情報エントロピー量の推移は異なるものであることが確認できた。特にインサイダーは 1 回の質問による情報の削減量を最小にしている為、庶民と比べ正解に辿り着くまでの質問回数も多くなっている。

5.3 実験 2: 庶民 1 人, インサイダー 1 人, 異なる知識

次に、庶民 1 人、インサイダー 1 人が異なる知識リストを持つ、という条件である。また実際の協力パートに即するよう、庶民とインサイダーに交互に質問させた。初期の知識モデルでは、情報量が少なく差がつきにくかった為、表 4、表 5 のように 2 つのアルゴリズムに異なる知識リストを与えた。ゲームマスターは、その全てを内包する表 1 の知識リストのままである。プログラムでは、1 つのエージェントが質問した時、その回答はもう一方のエージェントにも影響し、その知識リストも削減する事としている。情報エントロピーを計測するのは自身が質問した後とすることにし、プログラムの起動結果を図に示す。また、ゲームマスターも協力パート後の対決パートで参加する為、それぞれの質問に対し自身の知識リストを削減することとし、情報エントロピーの推移をゲームプレイ、シミュレーションを行った。

表 4 庶民エージェントに与えた知識リスト

	食べ物	果物	野菜	赤い	固体
リンゴ	A1	B1	C0	D1	E1
トマト	A1	B0	C1	D1	E1
胡瓜	A1	B0	C1	D0	E1
車	A0	B0	C0	D0	E1

表 5 インサイダーエージェントに与えた知識リスト

	食べ物	果物	赤い
リンゴ	A1	B1	D1
バナナ	A1	B1	D2
トマト	A1	B2	D1
胡瓜	A1	B2	D2
車	A2	B2	D2

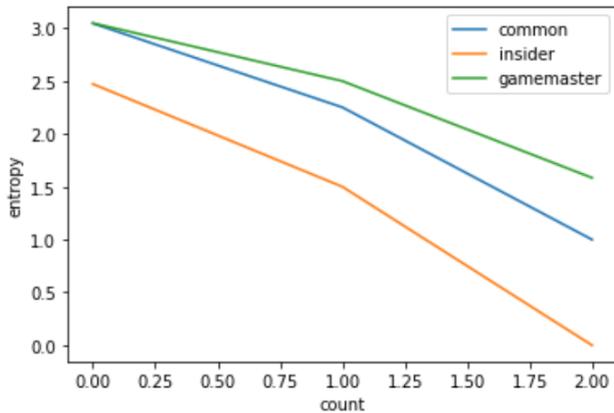


図3 庶民先行でのシミュレーション結果1

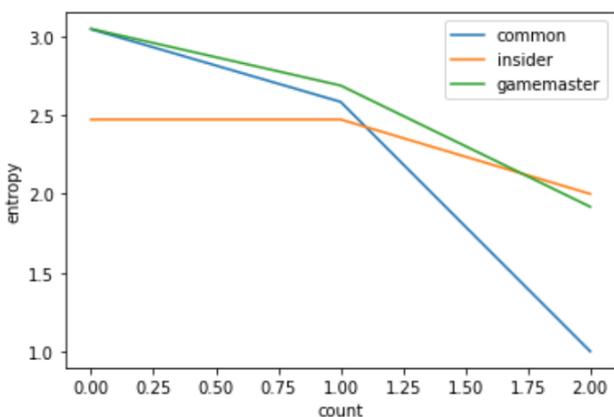


図4 庶民先行でのシミュレーション結果2

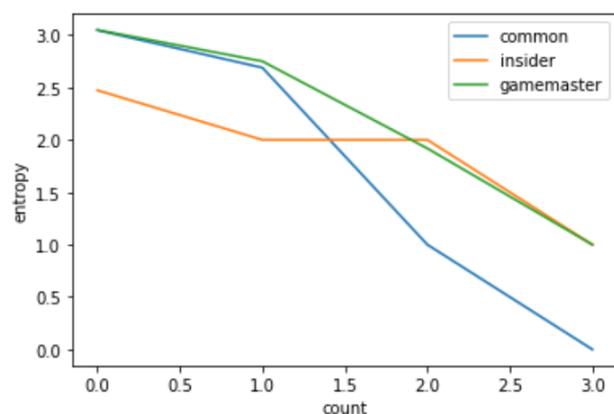


図5 インサイダー先行でのシミュレーション結果3

図3では、順当に各エージェントが情報エントロピーを減らしていったが、図4では同条件ながら、質問によって庶民エージェントとインサイダーエージェントの持つ情報エントロピーの代償関係が逆転した。これは、庶民エージェントの行った質問の属性をインサイダーエージェントが行わなかった為発生している。同様の事象は図5でも発生しており、質問を先行するエージェントが異なる場合、正解に辿

り着くまでの質問回数も異なることが分かった。

このように、各属性の情報エントロピーが同値であった場合のランダム性から、同じ条件でも異なる推移結果を得ることができた。また、2つのエージェントのうち、どちらが先行で質問するかによっても、ゲーム進行が全く異なる事が分かった。

5.4 対決パートの初期モデル

協力パートのプログラムでは、他者の質問によって自身の知識リストも削除することとした。この時の情報エントロピーの減少量を随時格納していくことで、対決パートの判断材料とした。人間がプレイする場合、インサイダーはお題を知り得ていることから不用意な質問をし、他者の知識リストを大きく削減することが起こりうる。一方で、自身がインサイダーであるとばれないように、他者の情報エントロピーをなるべく削らない、といったことも考えられ、どちらを疑うかは個人の判断になる。従って、格納された情報エントロピーから誰をインサイダーとするか、その判断基準によって同じ格納情報でも判断を変えることができ、ここでエージェントの性格設定や難易度調整を行うことができる。本稿においては、ゲームマスターは削減された情報エントロピーの総量が大きいプレイヤーをインサイダーと判断するアルゴリズムとしている。

図3のシミュレーション結果1における、各エージェントが他エージェントから減らされた情報エントロピー量を表6に示す。この時、庶民とインサイダーは共に、ゲームマスターを除くエージェントは1人である為、それをインサイダー候補に投票する。ゲームマスターは、庶民から減らされた情報エントロピー量が0.5488、インサイダーから減らされた情報エントロピー量が0.9150であるからインサイダーをインサイダー候補に投票する。結果、庶民が得票1、インサイダーが得票2となり、庶民、ゲームマスターの勝ちとなる。

表6 シミュレーション結果1におけるゲーム結果

		情報エントロピーを減らす側	
		庶民	インサイダー
減らされた情報エントロピー量	ゲームマスター	0.5488	0.9150
	庶民	-	1.2516
	インサイダー	0.9729	-

5.5 実験3:協力パートの知識リストの拡張

4.1と4.2で、簡単なモデルでのインサイダーゲームの一連の流れを示した。各思考アルゴリズムは変えず、知識リストを拡張した場合のゲームの進行状況と結果を表7、表8、表9、図6に示す。なお、ゲームマスターが設定したお題は「リンゴ」のままである。

表7 ゲームマスターに与えた拡張知識リスト

	食べ物	果物	野菜	赤い	固体	乗り物	動物	黄色	飛ぶ
リンゴ	A1	B1	C0	D1	E1	F0	G0	H0	I0
バナナ	A1	B1	C0	D0	E1	F0	G0	H1	I0
トマト	A1	B0	C1	D1	E1	F0	G0	H0	I0
胡瓜	A1	B0	C1	D0	E1	F0	G0	H0	I0
車	A0	B0	C0	D0	E1	F1	G0	H0	I0
飛行機	A0	B0	C0	D0	E1	F1	G0	H0	I1
コーラ	A0	B0	C0	D0	E0	F0	G0	H0	I0
サイ	A0	B0	C0	D0	E1	F0	G1	H0	I0
虎	A0	B0	C0	D0	E1	F0	G1	H1	I0
鷹	A0	B0	C0	D0	E1	F0	G1	H0	I1

表8 庶民に与えた拡張知識リスト

	食べ物	果物	赤い	固体	乗り物	動物	飛ぶ
リンゴ	A1	B1	D1	E1	F0	G0	I0
バナナ	A1	B1	D0	E1	F0	G0	I0
トマト	A1	B0	D1	E1	F0	G0	I0
車	A0	B0	D0	E1	F1	G0	I0
コーラ	A0	B0	D0	E0	F0	G0	I0
虎	A0	B0	D0	E1	F0	G1	I0
鷹	A0	B0	D0	E1	F0	G1	I1

表9 インサイダーに与えた拡張知識リスト

	食べ物	果物	野菜	固体	動物	黄色	飛ぶ
リンゴ	A1	B1	C0	E1	G0	H0	I0
バナナ	A1	B1	C0	E1	G0	H1	I0
胡瓜	A1	B0	C1	E1	G0	H0	I0
車	A0	B0	C0	E1	G0	H0	I0
飛行機	A0	B0	C0	E1	G0	H0	I1
サイ	A0	B0	C0	E1	G1	H0	I0
鷹	A0	B0	C0	E1	G1	H0	I1

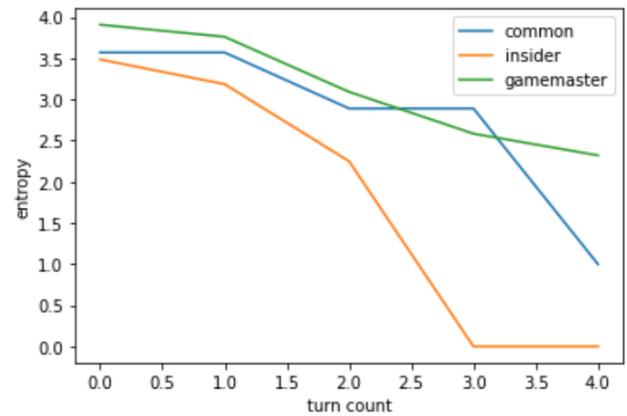


図6 庶民先行でのシミュレーション結果4

このように、知識リストを拡張することにより協力パートナーで正解に辿り着くまでに要する質問回数は増える結果を得た。しかし名前、属性をそれぞれ5つずつ増やしたのに対し、増加した質問回数は1回程度であった。これは、増やした知識リストがお題である「リンゴ」とは全く異なる内容であった為、1回の質問で、増やした内容がほとんど削除されてしまった為である。

そのため、次に表10のように名前30個、属性25個の知識リストを作成した。この知識リストでのゲームの進行状況と結果を図7、図8に示す。ここでは、知識リストがゲームをするにあたり十分拡張されたと判断し、庶民、インサイダーにはゲームマスターと同様の知識リストを与えている。結果として、実験2から増加した質問回数は5回程度であった。

表10 各エージェントに与えた知識リスト (一部抜粋)

	鳥	海にいる	人間	道具	プラスチック	金属	丸い	足がある	学校に関係ある
コーラ	JO	K0	L0	M0	N0	O0	P0	Q0	R0
サイ	JO	K0	L0	M0	N0	O0	P0	Q1	R0
虎	JO	K0	L0	M0	N0	O0	P0	Q1	R0
鷹	J1	K0	L0	M0	N0	O0	P0	Q0	R0
ハサミ	JO	K0	L0	M1	N1	O1	P0	Q0	R1
シャープペン	JO	K0	L0	M1	N1	O0	P0	Q0	R1
鉛筆	JO	K0	L0	M1	N0	O0	P0	Q0	R1
消しゴム	JO	K0	L0	M1	N1	O0	P0	Q0	R1
パソコン	JO	K0	L0	M1	N0	O1	P0	Q0	R1
本	JO	K0	L0	M0	N0	O0	P0	Q0	R1
風船	JO	K0	L0	M0	N0	O0	P0	Q0	R0
DVD	JO	K0	L0	M1	N0	O0	P1	Q0	R1
医者	JO	K0	L1	M0	N0	O0	P0	Q1	R0
教師	JO	K0	L1	M0	N0	O0	P0	Q1	R1
トランプ	JO	K0	L0	M1	N1	O0	P0	Q0	R0
警察官	JO	K0	L1	M0	N0	O0	P0	Q1	R0
ステーキ	JO	K0	L0	M0	N0	O0	P0	Q0	R0
温泉	JO	K0	L0	M0	N0	O0	P0	Q0	R0
机	JO	K0	L0	M0	N0	O1	P0	Q1	R1
寿司	JO	K0	L0	M0	N0	O0	P0	Q0	R0
イルカ	JO	K1	L0	M0	N0	O0	P0	Q0	R0
ペンギン	J1	K1	L0	M0	N0	O0	P0	Q1	R0
カメ	JO	K1	L0	M0	N0	O0	P0	Q1	R0
マグロ	JO	K1	L0	M0	N0	O0	P0	Q0	R0

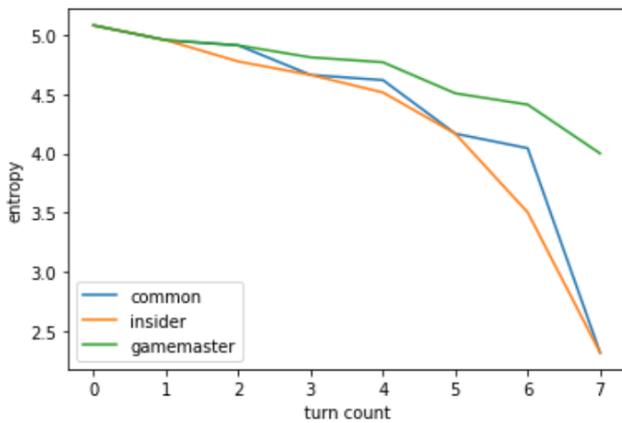


図7 庶民先行でのシミュレーション結果5

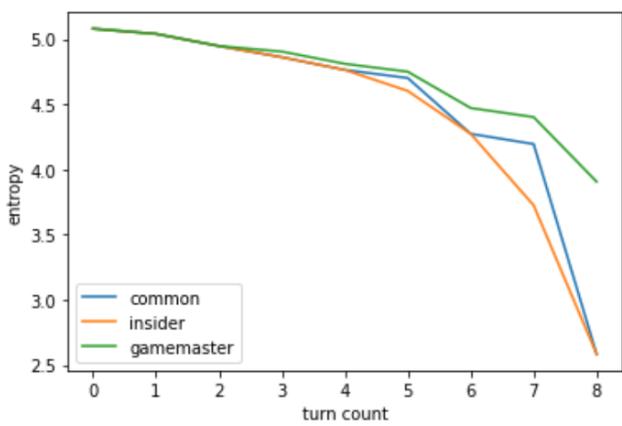


図8 インサイダー先行でのシミュレーション結果6

このように、「リンゴ」に近い内容を増やすことで、正解に辿り着くまでの質問回数を効果的に伸ばすことができた。

6. 考察

本稿では、インサイダーゲームにおける人間の思考と、その数値化を簡単なモデルを用いて表現した。情報エントロピーを用いることで、概念や質問の優先事項を数値化することができた。今回のエージェント思考アルゴリズムは、役職毎に合理的に質問するものであった。しかし実際は、特に庶民プレイヤーはある程度情報が絞れてきたら正解を見当付けて質問したり、とりあえず思いついたものを質問したりと、終始合理的に進むわけではない。今後研究を進めていく上で、知識リストを拡張するだけでなく、見当付けをする思考アルゴリズムを構築することで、より実態に即したゲーム進行を観測できる期待が持てる。

本稿での質問をするアルゴリズムは、知識リストの列方向から見た情報で判断している。一方、見当付けを行う場合は名前リストから選ぶ為、知識リストの行方向から情報で質問内容を判断することになる。従って見当付けが実装できると、ゲームの面白さをさらに表現できると考えられる。

また、見当付けを行うという行為は自ら知識量を狭める事になる為、フレーム問題を解決する時にも役立てると感じる。

今回は情報の数値化のみを行ったが、知識にベクトルを付与することにより、よりゲーム進行の流れを可視化できる。ベクトル表現が可能となれば、インサイダーによる協力パートの進行補助も容易になると考えられる。どのようにベクトルを設定するかが課題ではあるものの、ベクトル表現は今後自然言語と関連づけていく際にも有効であると考えられる。

7. これからの展望

本研究を進めることで、インサイダーゲームのAI実装だけでなく、ゲームを超えた社会貢献も可能になると思われる。例えば、庶民を生徒、インサイダーを教師と置くことで、道徳や総合的学習といった正解のない科目におけるグループ討議への活用である。知識リストを考慮すべきリスクリストとすれば、会社の会議における検討不足を解消できる可能性がある。

また、見当付けを行いながら推論するという行為は、コンシェルジュやQ&Aサービスにおいてより迅速、的確にサポートできる期待が持てる。欲しい商品の性能は知っているが、何を買えばいいかわからない状況でも活躍できると思われる。人間はジグソーパズルを組む際も、ピースとピースが合致するかどうかは見当付けをしながら組んでいる。推理小説においても、探偵によって理詰めで犯人を絞っていく人物もいれば、犯人を見当づけて探っていく人物もいる。このように見当付けをする行為は、人間は日常生活の様々な場面で行なっており、見当付けのAIを実装した場合、広く社会で活躍されるはずである。

参考文献

- [1] 狩野芳伸, 大槻恭士, 園田亜斗夢, 中田洋平, 箕輪峻, 鳥海不二夫 (著), 人狼知能プロジェクト (監修) 人狼知能で学ぶAIプログラミング 欺瞞・推理・会話で不完全情報ゲームを戦う人工知能の作り方, マイナビ (2017).
- [2] C.E.SHANNON A Mathematical Theory of Communication(1948)
- [3] 内海彰, 堀浩一, 大須賀節雄 自然言語処理のための形容詞の意味表現(1992)
- [4] 溝口理一郎 オントロジー研究の基礎と応用(1999)
- [5] 月刊総務オンライン. 「コミュニケーションの成立条件」. <https://www.g-soumu.com/dictionary/2013/02/post-15.php>, (参照 2020-12-03)
- [6] Qiita. 「Pythonで0からディビジョンツリーを作って理解する(5.情報エントロピー編)」. <https://qiita.com/toyohisa/items/eb5bfd2e08e580d99690>, (参照 2021-01-21)