

カードゲーム Hanabi における意図の解釈過程

Interpretive process of intention in the Card Game *Hanabi*

服部 陸離¹ 伊藤 毅志¹

Rikuri Hattori¹, Takeshi Ito¹

¹電気通信大学

¹The University of Electro-Communications

Abstract: 本研究では、カードゲーム「Hanabi」を用いて、AIの行動が人間に意図として解釈される過程を分析することを目的とする。実験では、ランダムな思考時間を持つAIとプレイさせ、思考時間に意図があると人間が誤解する現象を確認し、その解釈過程を発話プロトコル分析で明らかにした。その結果、AIに対しても人間に対するように思考時間に関する仮説を立て、それを支持する事象が生じるとその仮説を強化する過程が観察された。

1. はじめに

人間は他者の行動を観察し、その意図を推測・解釈する能力を持つ。しかし、この解釈が実際の意図と常に一致するとは限らず、しばしば誤解が生じる。この現象は、AIやロボットなどの人工物に対しても同様に発生し得る。意図の解釈およびその齟齬のメカニズムには未解明な点が多く、特に人間とAIが協力する状況においては、円滑なコミュニケーションを実現する上で重要な課題となる。

カードゲーム「Hanabi」は、このテーマを研究するための有用な協調課題である。本ゲームでは、自分の手札が見えないという特殊な制約のもと、プレイヤー同士が行動や限られた情報交換を通じて協力し、ゲームを進めていく。プレイヤーは他者の意図を推測しながら行動するが、その解釈にはしばしば差異が生じる。さらに、偶然の一致による成功が発生することで、意図を正確に解釈したと誤認する場合もある。これらの特徴は、人間がAIの意図をどのように解釈し、また誤解するのかを研究する上で、興味深い要素を提供する。また、Hanabiは他の協調課題と比較して、複数のゲームを通じて長期的に相手の戦略を推測することが求められるため、意図の解釈過程を観察しやすい点も特筆に値する。

本研究では、AIの意図を「行動における目的およびその達成のための戦略」と定義し、Hanabiを題材として、人間とランダムな思考時間を持つAIの協調課題を通じて、AIの意図がどのように解釈され、また時に誤解されるのかを明らかにする。本研究の成

果は、人間とAIの円滑な協力を実現するための基礎的知見を提供することを目的とする。

2 関連研究

2.1 HAI分野における協調課題の研究

HAI分野では、人間と人工知能(AI)との協調関係や意図解釈のメカニズムに関する研究が進められている。後藤ら [1] は、公共財ゲームを用いた実験を通じて、AIが協力的な行動を取るよう設計されると、人間の評価や協力意欲が向上することを示した。また、AIとの共同作業を行うことで、AIへの共感性が低い人でもその程度が改善する可能性が示唆された。一方、この研究では、AIの行動に対して人間が意図を見出していたかが明確ではなく、本研究ではその過程をより詳細に明らかにする。

2.2 協調課題におけるプレイヤーの意図解釈の研究

横山 [2] は、人間が協調課題において他者の意図を推定し、受動的または能動的に行動を決定する過程を計算モデル化した。このモデルを用いて、エージェント同士およびエージェント対人間のハンタータスク課題を比較した結果、受動的モデルの妥当性や、能動的モデルにおけるメタ戦略の必要性が示された。受動的戦略では、相手の行動と「相手の意図・行動予測モデル」とを照合することで意図を推定し、

*1 連絡先: 電気通信大学情報理工学研究所 〒182-8585 調布市調布ヶ丘1-5-1
E-mail: ito@cs.uec.ac.jp

それに基づいて行動を決定する(図 1, [2]より引用)。

本研究では、プレイヤーがランダムな思考時間を持つ AI を相手にした場合でも、この受動的戦略のモデルに沿って行動するという仮説を検証する。

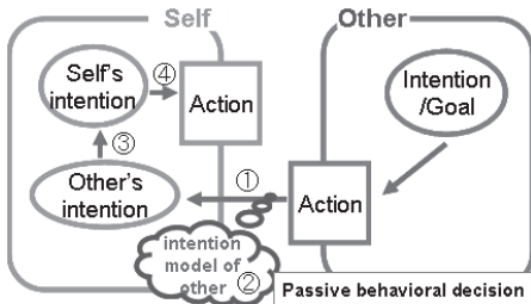


図 1 受動的戦略のモデル

2.3 Hanabi における AI の意図に関する研究

Hanabi における AI の意図に関する研究として、Eger ら [3] は、AI がヒントを提示する際に意図的な目標を設定し、その目標に基づいて相手の行動を予測し、最適なヒントを選択するアルゴリズムを提案した。その結果、AI の行動が「意図的」と評価されるほど、プレイヤーは AI のスキルを高く評価することが示された。一方、Osawa ら [4] は、Hanabi において行動の優先度に応じて思考時間を変化させる AI、ランダムな思考時間を持つ AI、一定の思考時間を持つ AI の 3 種類を人間と試合させ、それぞれの評価を比較した。その結果、思考時間に変化を持つ AI は、人間に意図を感じさせ、親しみやすく思わせる効果があることが示された。

これらの研究から、人間は AI に意図を感じると、その AI の親しみやすさや知的能力を高く評価することが推測される。本研究では、この推測を基に Osawa らの実験環境を再現し、ランダムな思考時間を持つ AI についても、人間がその意図をどのように解釈し、それが最終的に印象の変化につながるのかを検証する。

3 実験

3.1 本実験の目的

本実験は、先行研究を踏まえ、以下の 3 つの仮説を検証することを目的とする。

- ① 人間は AI のランダムな思考時間についてもその思考時間に意図を解釈することがある
- ② AI の思考時間の意図がわかると答えたプレイヤーは、AI の賢さと親しみやすさを高く評価する

- ③ プレイヤーはランダムな思考時間の AI の意図を解釈する際には『相手の意図・行動予測モデル』を用い、相手の行動・状態を観察してこれを更新していく

さらに、追加の目的として、ランダムな思考時間に意図を解釈する場合、その要因を発話内容から明らかにすることを目指した。

3.2 予備実験

本実験に先立ち、設定した実験環境下でプレイヤーが意図解釈を行う可能性を検証するため、本研究の協力者 3 名を対象に、実験用 AI との試合を行う予備実験を実施した。被験者の試合中の発話内容および試合後のインタビューの分析の結果、意図の解釈が行われる傾向が確認された。これにより、使用プラットフォームに問題がないことを確認し、本実験での試合回数 (2 回) および使用する AI (以下で説明) を決定した。

3.2.1 実験 AI

本実験では、Osawa らの先行研究で用いられたランダム思考時間 AI を、本実験のプラットフォームに適応させたものを使用した。この AI は、先行研究と同様に、Hanabi 研究で広く用いられる [5] Osawa が提案した決定論的戦略アルゴリズム [6] に基づいて行動し、思考時間を人間のプレイデータから算出した平均思考時間を基準としてランダムかつ一様に変化させる。

3.3 本実験の方法

本実験は、電気通信大学の男子学生 7 名 (A~G) を対象に実施した。実験では、AI との試合中に思考発話法を用いるよう指示した上で、「AI が独自のアルゴリズムに基づいて思考時間を変化させている」という誘導的説明を行い、試合中の発話内容を収集した。試合は全 2 試合とし、各試合終了後に、Osawa らの研究と同様の方法で AI の印象 (賢さ、親しみやすさ、行動の意図の理解度) を 7 段階のリッカート尺度で評価するアンケートを実施した。また、思考時間の意図解釈に関する質問をインタビュー形式で行った。

さらに、AI の思考時間に対して特に多くの発言を行った被験者 F および G を対象に追加実験を行い、計 5 試合分のデータを追加収集し、意図解釈の詳細な過程を観察した。

3.4 実験結果・分析

3.4.1 仮説①の検証

インタビュー結果によると、被験者 7 名のうち 5 名が実験 AI に対し「相手の思考時間の使い方の意図

が理解できる」と回答し、実際に思考時間の使い方に関する予測を立てていたことが確認された。また、AIの思考時間について「悩んでいる」「迷っている」など、擬人化した表現で言及する発話がプレイ中に頻繁に観察された。

これらの結果から、人間はAIのランダムな思考時間に対しても、何らかの意図を持つものとして認識する傾向があると考えられる。このことから、仮説①「人間はAIのランダムな思考時間に対しても、その思考時間に意図を解釈することがある」は支持されると結論付けられる。

3.4.2 仮説②の検証

被験者を「思考時間の意図が分かる」と回答した群 (n=7) と「分からない」と回答した群 (n=7) に分け、AIの「賢さ」「親しみやすさ」「行動の意図の理解度」に関する評価アンケートの結果を比較した(表1, 図2)。

マン=ホイットニーのU検定の結果、統計的有意差 ($p < 0.05$) は確認されなかったが、「親しみやすさ」「行動の意図の理解度」の項目において Cliff's Delta の効果量が中程度以上 ($\delta = 0.510, 0.347$) と示された。特に「親しみやすさ」に関しては、サンプルサイズを増やすことで統計的有意差が認められる可能性が示唆される。

以上の結果から、仮説②「AIの思考時間の意図が分かると回答したプレイヤーは、AIの賢さおよび親しみやすさを高く評価する」は、「親しみやすさ」においてその傾向が見られたものの、有意差が確認されなかったため、さらなる検証が必要である。

表1 思考時間の意図がわかるかによる評価項目の比較

質問項目	思考時間の意図がわかる群の平均	思考時間の意図がわからない群の平均	p値	Cliff's Delta δ
賢いか	3.29 (SEM 0.581)	2.71 (SEM 0.483)	0.504	0.224
親しみやすいか	3.43 (SEM 0.489)	2.29 (SEM 0.333)	0.107	0.510
行動の意図がわかるか	4.00 (SEM 0.571)	3.14 (SEM 0.652)	0.296	0.347

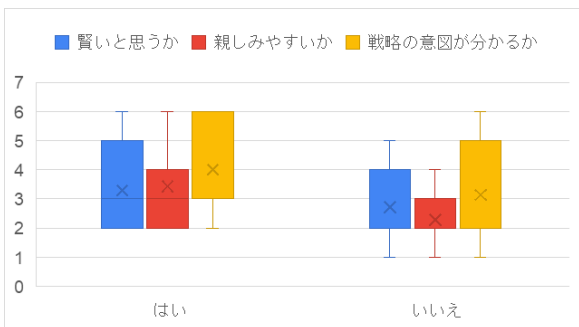


図2 各評価項目の比較(箱ひげ図)

3.4.3 仮説③の検証

実験結果の分析に基づき、被験者FおよびGの発話内容を分類し、思考時間の解釈過程を可視化した。具体的には、解釈のプロセスを「仮説立て」「仮説検証」「仮説を裏付ける事実」「反例の確認」の4つのカテゴリーに分け、各発話内容を分類した。ここでいう「仮説」とは、その時点でプレイヤーが立てた「相手の意図・行動予測モデル」を指す。

さらに、各発話について解釈の内容(緑)、相手の行動予想(黄)、相手の行動結果の確認(赤)として色分けを行った。その結果、表2に示すように、プレイヤーは「相手の意図・行動予測モデル」を仮説として立て、その検証を繰り返す「仮説立て」「仮説検証」「仮説を裏付ける事実」「反例の確認」のプロセスを通じて仮説を更新し、AIの行動を理解しようとする傾向が確認された。

表2 思考時間の意図の解釈過程例

状態	発話内容	状況説明
仮説立て	それで赤のヒントかな。 多分。 こいつが赤だったら赤のヒント出して来るはず。 長時間か。ヒント考えてるな。 ヒントを長時間考えてるから。 俺今出せるカード無いのか? あ、出した。なんだなんだ。 当てはまるのが多い時にヒント時の時間長いのかな? そうだったら、別にヒントの時間を考慮する必要ないもんな。 レッドはっかだ。今俺。	AI側から赤のヒント。3枚に当てはまった。
仮説検証	結構考えてるな。結構考えるときは当てはまるやつが多い時。 あ、三つあてはまっている。 若干正しいっぽいなあ。	AI側から黄のヒント。3枚に当てはまった。
仮説を裏付ける事実	考えるなあ。 やっぱりそうだったんだ。(4枚にヒントが当てはまったのを受けて)	AI側からの1のヒント。4枚に当てはまった。

■ 解釈の内容
■ 相手の行動予想
■ 相手の行動結果

以上より、仮説③「プレイヤーはランダムな思考時間のAIの意図を解釈する際には『相手の意図・行動予測モデル』を用い、相手の行動・状態を観察してこれを更新していく」は支持されたと考える。

3.4.4 誤解が起こる要因

被験者において、意図の解釈が途中で否定されたケースと、「正しい」と誤解されたケースを比較し、誤解の要因を分析した。途中で否定された解釈では、仮説が反例の確認によって早期に反証され、破棄されるプロセスが確認された。一方、誤解が生じたケースでは、反例が確認されることがあったにもかかわらず、仮説を裏付ける事実が繰り返し確認された後に反例が発見されたため、プレイヤーはこれらの反例を無視または軽視する傾向が見られた。

誤解の具体例として、被験者Fが「当てはまるカードが多いヒントを出す際に思考時間が長くなる」

と解釈したケースを挙げる。プレイヤーの発話中に AI の思考時間について言及された 3 つの事例では、ヒントに当てはまるカードが 3 枚以上の場合、思考時間はそれぞれ 22.35 秒、19.30 秒、14.75 秒となり、いずれも AI の基準値である 12.42 秒を上回っていた。このため、プレイヤーの仮説は支持されるように思われた。しかし、仮説を確信した後、同じ条件下で明らかに短い思考時間が観察されるケースがあったにもかかわらず、プレイヤーはこれに言及しなかった (表 3)。

表 3 仮説立て後の当てはまるカードが多いヒントが出た場合の AI の思考時間

試合	ターン	当てはまったカード枚数	思考時間(s)
5	17	3	22.35
	27	3	19.30
	33	3	18.12
	37	3	12.30
	39	4	14.75
6	55	3	8.15
	5	3	8.73
	19	3	7.40
7	55	3	13.59
	4	3	17.38
	61	3	15.09

言及された箇所
反例になる箇所

この比較から、人間は仮説を裏付ける事実が重なると、その仮説を強く信じる傾向があり、後から発見された反例を十分に考慮しないことが示唆される。この「成功事例による仮説の強化と、それに伴う誤った確信」こそが、ランダムな思考時間に対してもプレイヤーが意図を解釈してしまう要因であると考えられる。

3.4.5 誤解の発生を説明する意図解釈モデル

これまでの考察を踏まえ、相手の行動から意図を推定するプロセスを「受動的戦略モデル」に基づいて詳細化し、新たに図 3 のモデルを提案する。本モデルの中核となる概念は「仮説強度」であり、これはプレイヤーが現在の仮説をどの程度信じているかを定量的に示す指標である。

本モデルでは、プレイヤーは過去の経験やゲームの定石をもとに「相手の行動予測モデル」を仮説として構築し、それに基づいて相手の行動を予測する。プレイヤーは実際の相手の行動と照合し、仮説の妥当性を評価するが、予測が一致した場合、仮説強度が増し、仮説がより強固になる。一方で、予測と異なる行動が観察された場合、仮説強度が一定以上であれば仮説は維持され、それを下回る場合に限り修正

または破棄される。仮説強度は検証の成功や時間経過とともに増加するため、誤った仮説が維持されやすくなり、結果として意図の誤解が生じる可能性が高まる。

本モデルは、人間が自身の仮説を強く信じ込み、誤解を生じさせる過程を説明する試みである。ただし、本モデルの妥当性については現時点で実証されておらず、さらなる実験的検証が必要である。

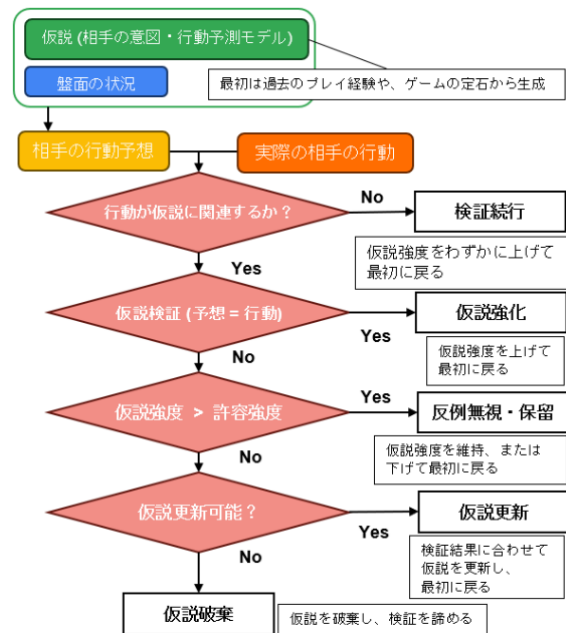


図 3 誤解の発生を説明する意図解釈モデル

4 おわりに

本研究は、人間が、AI のランダムな思考時間にどのように意図を見出し、それが評価や誤解につながるかを解明した。結果として、多くのプレイヤーがランダムな思考時間に意図を解釈し、AI を「親しみやすい」と評価する傾向が確認されたが、評価に関する統計的な有意差は不十分であり、サンプルの拡大が必要である。また、意図解釈のプロセスでは、仮説が固定化され誤解につながる可能性が示された。

今後の課題としては、十分なサンプル数を集めた上での誤解がもたらす影響の再検証、思考時間だけでなく、ランダムな行動全般への意図解釈を包括的に検証すること、提案したモデルの妥当性の検証等が求められる。

参考文献

[1] 後藤 晶: “人間は『人工知能』と『協力』できるか: クラウドソーシングを用いた仮想的 AI エージェント実験による検討,” 社会情報学 第 12 巻 1 号, 2023.

[2] 絢. 横山, 隆. 大森: “協調課題における意図推定に基づく行動決定過程のモデル的解析,” 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J92-A No. 11, pp. 734-742, 2009.

[3] M. Eger, C. Martens, M. A. Córdoba: “An Intentional AI for Hanabi,” IEEE Conference on Computational Intelligence and Games 2017, pp. 68–75, 2017.

[4] O. Hirotaka, K. Atushi, S. Eisuke, K. Takuya: “Emergence of Cooperative Impression with Self Estimation, Thinking Time, and Concordance of Risk Sensitivity in Playing Hanabi,” Frontiers in Robotics and AI, Vol.8, Article 658348, pp.1-19, 2021.

[5] R. Canaan, H. Shen, R. Torrado, J. Togelius, A. Nealen, S. Menzel: “Evolving Agents for the Hanabi 2018 CIG Competition,” 2018 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG), pp. 1-8, 2018.

[6] O. Hirotaka: “Solving Hanabi: Estimating Hands by Opponent's Actions,” Computer Poker and Imperfect Information: Papers from the 2015 AAAI Workshop, pp.37-43, 2015.