

カードゲームにおいて模倣するエージェントへの心的状態の帰属

Attribution of Mental States to Imitating Agents in a Card Game

細川敦司¹ 森田純哉¹
Atsushi Hosokawa¹ Junya Morita¹

¹ 静岡大学

¹ Shizuoka University

Abstract: 人間は他者の行動を理解し予測するために、2つの異なる認知戦略を使い分ける。ひとつは刺激と反応を対応づけることで他者の行動をモデル化する behavior-reading であり、他方は他者の内部状態を想定する mind-reading である。このうちの後者の認知戦略が可能になる条件は十分に明らかになっていない。本研究では、対戦相手の行動を予測する処理に焦点を当てた単純なカードゲームにおいて、相手の行動を模倣する認知モデルと参加者を対戦させる実験を行った。それにより、模倣を行う認知モデルに対して参加者が心的状態を帰属するかどうかを検証した。

1 はじめに

日常において、他者の行動を探り合う状況は頻繁に発生する。交差点での他者との一瞬のすれ違い、対面での会話や議論、メールや SNS (Social Networking Service) による非同期でのメッセージの送受信、評価者に向けたレポートや申請書の執筆など、おおよそ全ての社会的場面で、人は他者の行動を予測、あるいは推測する。その過程を通して、人々は他者と協力するにせよ対立するにせよ、自己の利益を最大化することを目指す。ときとして相手の行動を読みつつ、相手を出し抜くことも行われる。

他者の行動予測については、これまでにインタラクションに関連する認知科学の研究分野において、様々な理論が提唱されてきた [1, 2, 3]。植田 [3] は主体の内部に他者についての心的表象である「他者モデル」を構築することが、持続的なインタラクションに必要なであると指摘した。また、認知機能の進化を検討する比較認知科学では、再帰的に他者の心的状態を推論することが人間の高度な知能を導いたという仮説も提起されている [2]。

Whiten [4] や寺田 [5] によると、人間は他者の行動を理解して予測するために二つの認知戦略を使用する。それが Behavior-reading と Mind-reading である。Behavior-reading とは、状態と行動、つまり刺激と反応を直接関連付けて他者の行動を理解・予測することを意味する。一方 Mind-reading では、刺激と反応を媒介する状況に共通の原因を想定する。この内部状態が心に相当すると考えられる。研究者らは、多様な行動が心を帰属される原因になる可能性を主張している [6, 7, 8, 9]。しかし、人間が対象に心的状態を帰属し

て Mind-reading を行う条件は十分に明らかになっていない。

行動予測において心の帰属が起こることを述べた研究は他にもある。Dennett [10] は、対象の振る舞いを予測する戦略の一つとして意図スタンスを提唱した。これは、心的状態、つまり意図などを対象に帰属する戦略である。意図スタンスが用いられているときは Mind-reading が行われていると考えられる。Human-Agent Interaction の研究分野では、エージェントとはそれが意図をもって行動できるかのように人々が相互作用する対象だと紹介されている [11]。これは Dennett の意図スタンスに沿った定義である。

自己または他者に心的状態を帰属する能力は心の理論 [12] と呼ばれる。つまり、ある状況に置かれた自己または他者の行動を見て、心の状態、目的、意図などを推測し解釈できるという心の働きをさす。心の理論は認知能力の発達を通じて獲得される。前述の Mind-reading は、他者の意図の推論を伴うので心の理論を必要とする。Meltzoff [13] は、心の理論が発達過程における模倣の産物だということを示唆した。さらに、子どもは動きをコピーするだけでなく抽象的なルールや戦略をも模倣するということが発見された [14]。Williamson らはこれを抽象的な模倣 [15] と呼んでいる。抽象的な模倣が Mind-reading に役立つ可能性がある。これらのことから、著者らは Mind-reading と模倣の関係に着目した。

本研究の目的は、模倣が心的状態の帰属に関係するかを検討することである。つまり、模倣を行う対象に対して、前述のように心を帰属する Mind-reading が使われるかを検討する。本研究では、行動を読み合う認知プロセスを組み入れたエージェント（認知モデル）と

実験参加者がインタラクションする実験を実施することで模倣と心的状態の帰属に関する仮説を検証する。

2 カードゲームにおける模倣するエージェント

本研究は、認知モデルと実験参加者がインタラクションする実験を実施するにあたって、著者らの先行研究 [16, 17] で用いられた課題とモデルを利用する。以下、先行研究を引用しつつ、課題とモデルの説明を記載する。

2.1 カードゲーム

先行研究で用いられた課題は、各プレイヤーの戦略に関係しない初期条件から確率的要素を排除したカードゲーム [16] である。これは二人で行うゲームである。また、ブロックという単位で進行する。以下、ブロックの進め方について説明する。

ブロックを始めるにはまず、1, 2, 3, 4, 5 が一つずつ書かれた 5 枚のカードをそれぞれ二人に配る。

- 各プレイヤーは自分の手札から 1 枚を選び、数字を隠して場に出す。
- その結果、より大きな数が書かれたカードを出したプレイヤーに 1 ポイントが加算される。カードに書かれた数が等しい場合はどちらにもポイントは与えられない。
- 場に出したカードは手札からなくなる。

お互いの手札がなくなるまで (5 回)、1~3 を繰り返し、より多くのポイントを得たプレイヤーがこのブロックの勝者となる。両者のポイント数が等しい場合は引き分けとなる。

ブロックの進行の具体例を表 1 に示す。表 1 では 1 巡目にプレイヤー A が 5、プレイヤー B が 3 のカードを出している。この場合、プレイヤー A に 1 ポイントが加算される。場に出したカードは手札からなくなるので、2 巡目以降 A は 5、B は 3 のカードを出すことができない。さらに表 1 の 2 巡目において、プレイヤー A と B はともに 2 のカードを出している。この場合は、どちらにもポイントは与えられない。場に出したカードは手札からなくなるので、3 巡目以降 A と B はともに 2 のカードを出すことができない。これを繰り返し、お互いの手札がなくなるまで (5 巡目まで) 行う。表 1 においては、A が 1 巡目、B が 3 と 5 巡目でそれぞれ 1 ポイントずつ獲得したため、B がこのブロックの勝者となる。

表 1: ブロック結果の例

	I	II	III	IV	V	計	
A	5	2	3	1	4	1	負
B	3	2	4	1	5	2	勝

本ゲームにおいて各プレイヤーに配布されるカードは常に同一のものである。そのため、ポーカーやブラックジャックのように配布される手札による有利不利の要素が存在せず、純粋に他者の行動を読むことにより勝敗が決定することになる。

2.2 モデル

模倣が心的状態の帰属に関係するかを検討するため、前節に示したカードゲームを遂行する認知モデルを認知アーキテクチャである Adaptive Control of Thought-Rational (ACT-R) [18] を用いて構築した。ACT-R を利用することの利点は、このアーキテクチャに備わるパラメータにより、複数の認知的戦略のモデルを容易に構築できることである。特に今回の研究では、モデルにおける 3 つの要因を操作した。以下、各要因の概略を示す (詳細は [17])。

- 思い出した事例の使い方: モデルは過去の対戦の経験を蓄積することで現在のブロックにおける行動を定める。事例の使い方として、現在のブロックにおける自己と事例の中の相手を対応付ける模倣を行うか否かを変数として含めた。この要因におけるモデルのパリエーションは、「模倣あり」と「模倣なし」である。
- 記憶する事例の内容: モデルが保持する事例の形式として、抽象度の異なる複数の形を想定できる。ひとつの形式は、表 1 のようにブロックの結果をそのまま蓄える「そのまま」である。別の形式は、各巡目までに出されたカードの累積値を蓄える「累積」である。累積値を蓄えることで、自分と相手に残った手札が現在の状況と同じならば途中経過が異なっても思い出せるようになり、より柔軟な事例の利用が実現される。
- 事例の検索方式: 類似度設定により重み付けされた曖昧な記憶の検索を可能にするか否かを変数とする。類似した事例の検索を行わず、現在のブロックと完全に同一の事例のみを用いる「完全一致」、事例の検索において勝敗の類似に重みを置いた「勝敗重み大」、事例の手札の類似に重みを置いた「勝敗重み小」を用意した。

上記3つの要因のうち、本研究で特に注目するのは「思い出した事例の使い方」である。この変数における模倣ありと心的状態の帰属との関係を検討する。他の水準は、模倣を行うモデルの中にもバリエーションを持たせることを意図して設定した。なお、上記の要因の組み合わせによる12のモデルに加え、完全にランダムに手札を選択するランダムモデルを用意した。

先行研究 [17] では、これらの要因の操作によってモデルの振る舞いがどのように変化するか調べるために、構築したモデルを用いてシミュレーションを行った。その結果、模倣を行うモデルは、模倣を行わずに過去の事例を利用するモデルに対し、より多様な行動を生成し、より高い対戦成績を示した。また、ランダムモデルについても模倣を行うモデルと同様、多様な行動を生成したものの、他のモデルとの対戦成績がチャンスレベルを上回ることはなかった。

3 実験

先行研究の知見は、模倣を行うモデルが、対戦相手の行動を予測し、多様な行動を生成することを示す。この知見は、[5]において述べられた Mind-reading の条件と合致し、模倣による心的状態の帰属の生起を示唆する。これを引き継ぎ、本研究では、ACT-R モデルと実験参加者、または参加者どうしがコンピュータを介して対戦する実験を行い、以下の仮説が成り立ちうるかを検討した。

1. 人間は他者の行動を模倣する対象に Mind-reading を行い、心的状態を帰属する
2. 人間は常にランダムに行動する対象には Behavior-reading を行い、心的状態を帰属しない

3.1 方法

3.1.1 実験参加者

クラウドソーシングサービスのランサーズで実験参加者を募集した。実験は3回に分けて行い、1回目に50名、2回目に100名、3回目に150名を募集した。参加者は、実験協力の謝金として500円を得た。

3.1.2 機材

実験には、第3節に示したモデルと実験参加者、または参加者どうしが対戦できるゲームシステムを用いた。このシステムは ACT-R 7.x¹において採用された



図 1: ゲーム画面の例

表 2: 手巡別の最短時間と s 値

手巡	I	II	III	IV	V
最短 [秒]	5.4695	5.7610	5.6429	5.9004	2.2242
s 値 [秒]	5.4394	5.5228	5.5341	5.3204	2.6998

Remote Procedure Call (RPC) サーバを利用することで、ユーザインタフェースとモデルのリアルタイムでの通信を実現している。ユーザインタフェースの作成には、スタンドアロン版 ACT-R 7.x に含まれる Web インタフェース (Node.js にて実装) を用いた。ゲームシステムのインタフェースを図 1 に示す。参加者は画面中のオレンジ色のカードをクリックした後に黄色の確定ボタンを押すことで場に出すことができた。

ACT-R モデルとユーザの対戦を実現するにあたり、カードの提出タイミングを決定する機構を実装した。ACT-R は手続き的知識や宣言的知識の実行に要する時間を見積もる機構を保持する。しかし、ACT-R による反応時間のシミュレーションは、数秒単位で完結する単純な認知プロセスを対象としたものである。本研究が扱うような他者の行動を予測する活動において ACT-R による反応時間のシミュレーションを行うことは容易ではない。そこで、本研究におけるゲームシステムにおいては ACT-R による反応時間の見積もりを用いず、より簡便な方法でカード提出タイミングを決定した。

カード提出タイミングの計算には、本ゲームシステムを用いた予備実験 ($n = 4$) のデータを利用した。予備実験では、参加者がカードを出すまでの時間を手巡別に集計した。その平均と不偏標準偏差を表 2 に示す。表の値を最短の待ち時間とし、平均を 0、該当する s とするロジスティック分布から生成された値を加算することで、モデルがカードを出すまでの時間を求めた。

3.1.3 実験デザイン

各参加者に対して、先行研究 [17] において開発された 13 種類のモデルと他の参加者のうち、いずれかをゲームにおける対戦相手として割り当てた。その際、ランダムモデルと対戦する参加者と他の参加者と対戦する

¹<http://act-r.psy.cmu.edu/software/>

参加者は、ランダムモデルを除く 12 種類のモデルそれぞれと対戦する参加者の 2 倍になるように、実験システムにアクセスした順番に参加者を配置した。

3.1.4 実験手続き

クラウドソーシングサービス（ランサーズ）で依頼を受けた参加者は依頼画面において、実験手順についての教示に目を通した。その後、画面の URL から、サーバで公開している実験システムへと遷移した。

実験システムでは始めに実験の教示画面が表示された。教示画面においてゲームのルールとシステムの操作方法、実験での課題が参加者に提示された。課題では、ブロックをできるだけたくさん繰り返すことを教示した。ただし、急ぐ必要はなく、参加者自身が快適にプレイできる速さで行うように教示した。なお、対戦相手は人またはコンピュータのどちらかになり、相手より多くのブロックで勝つことを目指すように教示した。対戦開始から 30 分が経過してブロックの対戦が終わり、「アンケート」ボタンが表示されるまでプレイするよう教示した。

次に遷移した画面において、参加者はゲームのルールに関するクイズに答えた。それらに全問正解した後、課題となるゲームをプレイした。

ゲームプレイ終了後は、ゲーム画面内に表示された「アンケート」ボタンのクリックにより、アンケート画面へ遷移した。アンケートには Google の Web アンケートフォーム作成サービスの GoogleForms を使用した。アンケートでは以下の項目で対戦相手の印象を 7 段階リッカート尺度によって評価した（1: 全く当てはまらない — 7: 非常に当てはまる）。

1. 行動が複雑である
2. 行動が規則的である
3. 行動が予測できる
4. 行動が意図的である
5. 知的である
6. 心がある

これらの印象評価は、ゲームプレイにおいて参加者が対戦相手に心的状態を帰属したかどうかを調べるために設けられた。印象評価項目は、対象への心の帰属を扱った先行研究で行われた実験から引用された [5, 19, 20]。

3.1.5 分析

分析には、ゲーム中にトラブルが発生せずに 30 分間のデータを欠損なく取得できた参加者（表 3）のデータを用いた。表において、他の参加者とプレイした条件の人数が少なくなっており、この条件におけるデータの欠損が多かったことが示される。この条件は、サーバと参加者 2 名の通信が発生し、より実験環境の不具合が生じやすかった。

分析対象とした指標は、印象評価のほかに、各モデルとのゲームプレイ中の参加者の行動およびモデルの振る舞いに関するものを含んだ。具体的には、遂行したブロック数と、勝ったブロック数の割合（勝率）、引き分けたブロック数の割合（引き分け率）、記憶した事例の種類数の遂行ブロック数に対する比率を集計した。

これらの指標の分析においては、まず、本研究のモデルで操作した 3 つの要因の効果を検討するために、ランダムモデルを除く 12 種類のモデルを対象に、3 元配置分散分析 [思い出した事例の使い方 × 記憶する事例の内容 × 事例の検索方式] を行った。次に、模倣を行うモデルとランダムモデル、人間の違いを分析するために、上記の分析で交互作用が認められなかった従属変数については、思い出した事例の使い方以外の要因を統合し、模倣なし、模倣あり、ランダムモデル、人間（他の参加者と対戦した参加者）の 4 水準を比較する 1 元配置分散分析を行った。記憶した事例の種類数の遂行ブロック数に対する比率を除き、交互作用が認められた従属変数については、ランダムモデルを含む 13 種類のモデルと人間を合わせた全 14 水準を比較する分散分析を行った。さらに、人間と各モデルの印象評価を比較するために、6 つの印象評価項目における、人間（他の参加者と対戦した参加者）の平均評定値と各モデルの平均評定値の Root Mean Squared Error (RMSE) と相関係数 ($n = 6$) を算出した。

3.2 結果

各モデルの遂行ブロック数を図 2 に、対戦成績を図 3 に、記憶した事例の種類数の遂行ブロック数に対する比率を図 4 に、印象評定値を図 5 に示す。エラーバーは標準誤差を表す。また、緑色の実線と点線はそれぞれランダムモデルの平均値と標準誤差を表す。黒色の実線と点線はそれぞれ他の参加者と対戦した参加者の平均値と標準誤差を表す。

3.2.1 ACT-R モデルのバリエーションの比較

3 元配置分散分析の結果を表 4 に示す。各指標に対する分散分析によって得られた主効果と交互作用の F 統計量が示されている。

表 3: 実験の条件

	そのまま			累積		
	完全一致	勝敗重み大	勝敗重み小	完全一致	勝敗重み大	勝敗重み小
模倣なし	17	18	12	13	15	13
模倣あり	15	18	15	15	19	16
ランダム	30					
他の参加者	13					

注) セル内はゲーム中にトラブルが発生しなかった参加者数

表 4: 3 元配置分散分析の結果

	ブロック数	勝率	引き分け率	事例/ブロック	複雑	規則的	予測可能	意図的	知的	心
使い方	0.47	138.24 ***	44.67 ***	175.28 ***	67.72 ***	73.64 ***	99.81 ***	1.71	49.90 ***	23.86 ***
内容	0.00	0.95	0.24	0.13	0.00	0.07	0.01	0.89	0.46	0.15
検索方式	0.04	6.39 **	0.91	11.63 ***	1.20	2.91 +	1.15	0.03	0.53	1.08
使い方*内容	0.40	0.16	0.24	0.01	0.13	1.29	3.14 +	0.94	0.36	0.70
使い方*検索方式	0.79	0.18	4.33 *	17.52 ***	2.83 +	1.25	2.51 +	4.10 *	1.19	0.08
内容*検索方式	2.47 +	0.73	0.16	1.50	0.30	0.20	0.12	1.94	3.68 *	0.86
使い方*内容*検索方式	0.22	0.47	0.40	1.56	0.33	1.31	1.64	0.27	1.17	0.64

注) 数値は F 値. +: $p < .10$, *: $p < .05$, **: $p < .01$, ***: $p < .001$

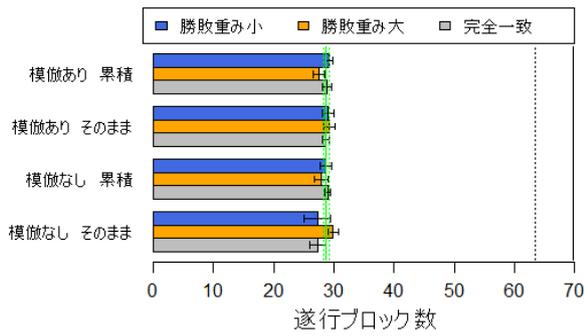
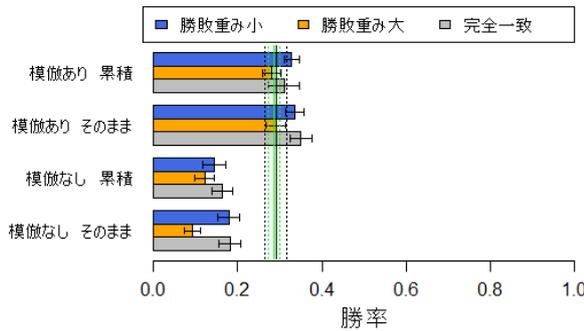
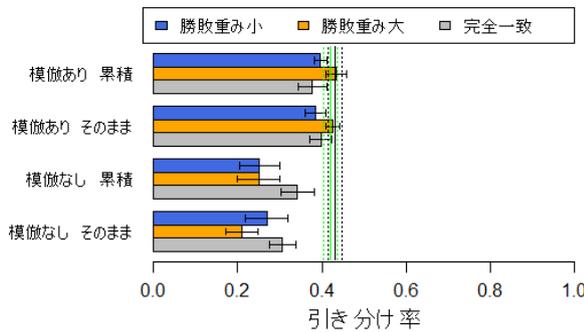


図 2: 各モデルの遂行ブロック数



(a) 勝率



(b) 引き分け率

図 3: 各モデルの対戦成績

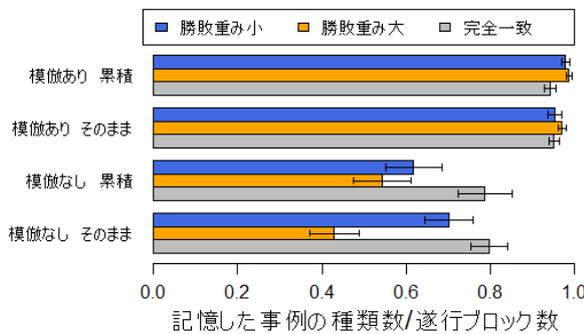


図 4: 各モデルが記憶した事例の種類数の遂行ブロック数に対する比率

まず、図 2 の遂行ブロック数では条件間での有意な効果は認められなかった。

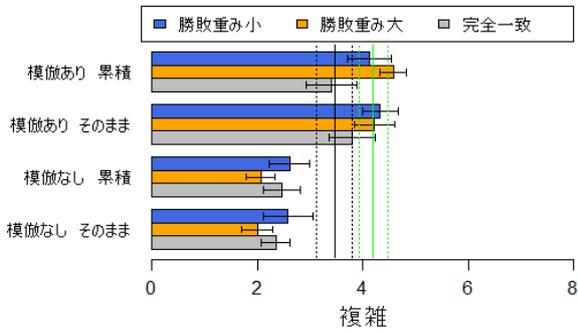
勝率では、思い出した事例の使い方と事例の検索方式にそれぞれ有意な主効果が認められた。模倣ありが模倣なしを上回り、勝敗重み大が完全一致と勝敗重み小を下回った (Holm 法による多重比較: $p < 0.01$)。引き分け率では有意な交互作用が認められ、勝敗重み大と勝敗重み小条件においては模倣ありが模倣なしを上回り (勝敗重み大における思い出した事例使い方の単純主効果: $F(1, 174) = 39.74, p < 0.001$, 勝敗重み小における思い出した事例使い方の単純主効果: $F(1, 174) = 13.29, p < 0.001$)、模倣なし条件においては完全一致が勝敗重み大を上回った (模倣なし条件における事例の検索方式の単純主効果: $F(2, 174) = 4.06, p = 0.019$; Holm 法による多重比較: $p < 0.05$)。

記憶した事例の種類数の遂行ブロック数に対する比率では有意な交互作用が認められ、事例の検索方式の全水準において模倣ありが模倣なしを上回り (完全一致: $F(1, 174) = 13.55, p < 0.001$, 勝敗重み大: $F(1, 174) = 160.04, p < 0.001$, 勝敗重み小: $F(1, 174) = 49.30, p < 0.001$)、模倣なし条件においては完全一致が勝敗重み大と勝敗重み小を上回り、勝敗重み小が勝敗重み大を上回った ($F(2, 174) = 27.81, p < 0.001$; Holm 法による多重比較: $p < 0.05$)。

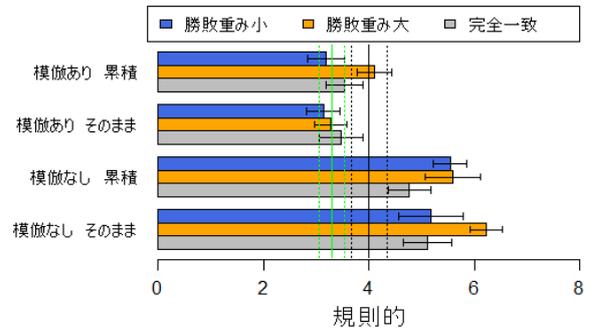
「行動が複雑である」、「行動が規則的である」、「行動が予測できる」、「心がある」では、思い出した事例の使い方のみで有意な主効果が認められた。「行動が複雑である」と「心がある」では模倣ありが模倣なしを上回り、「行動が規則的である」と「行動が予測できる」では模倣ありが模倣なしを下回った。「行動が意図的である」では有意な交互作用が認められ、勝敗重み小条件において模倣なしが模倣ありを上回った ($F(1, 174) = 7.42, p = 0.007$)。「知的である」では、思い出した事例の使い方と事例の検索方式に有意な交互作用が認められた。模倣ありが模倣なしを上回り、勝敗重み小条件においてそのままと累積を上回った ($F(1, 174) = 4.90, p = 0.028$)。

3.2.2 模倣の有無を統合した比較

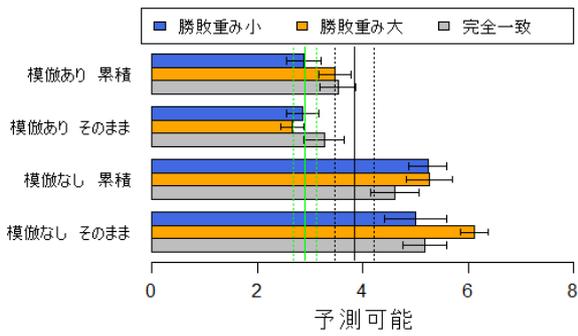
模倣なし、模倣あり、ランダムモデル、人間 (他の参加者と対戦した参加者) の 4 水準を比較する 1 元配置分散分析の結果、全て従属変数では有意な主効果が認められた (遂行ブロック数: $F(3, 225) = 170.09, p < 0.001$, 勝率: $F(3, 225) = 51.89, p < 0.001$, 複雑: $F(3, 225) = 28.16, p < 0.001$, 規則的: $F(3, 225) = 31.15, p < 0.001$, 予測可能: $F(3, 225) = 43.09, p < 0.001$, 心: $F(3, 225) = 10.22, p < 0.001$)。遂行ブロック数では、人間が他の 3 水準 (模倣なし、模倣あり、ランダムモデル) を上回った (Holm 法による多重比較: $p < 0.001$)。



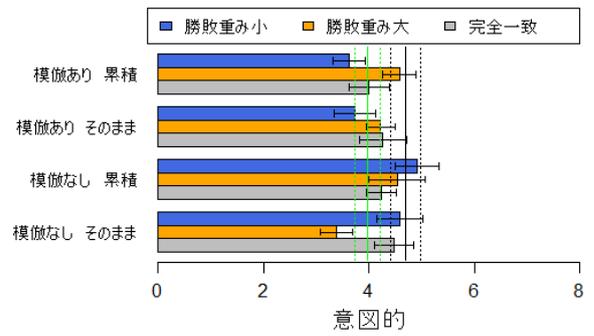
(a) 行動が複雑である



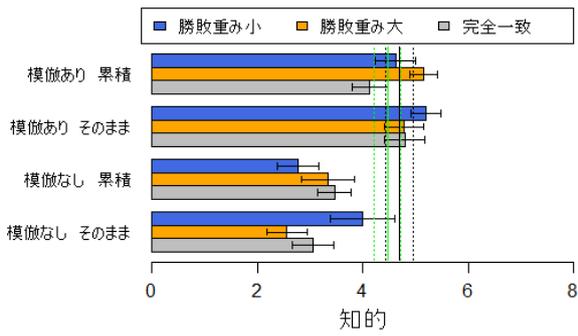
(b) 行動が規則的である



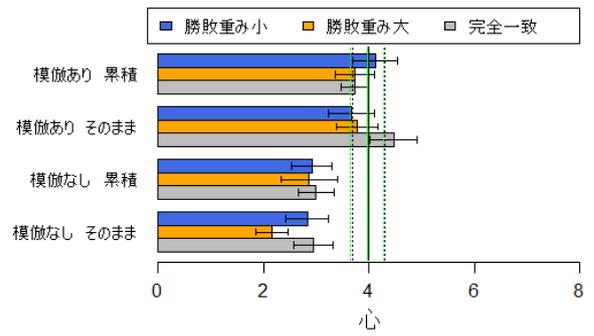
(c) 行動が予測できる



(d) 行動が意図的である



(e) 知的である



(f) 心がある

図 5: 各モデルの印象評価

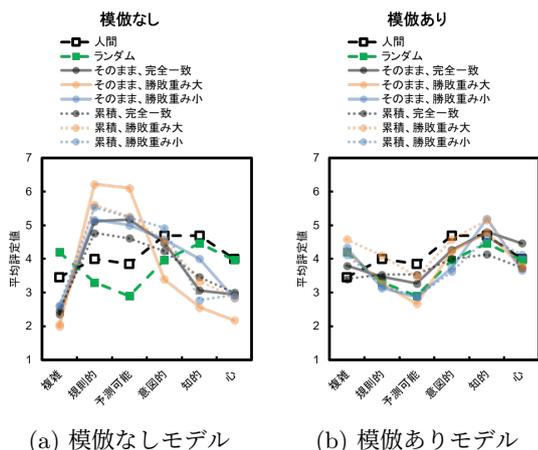


図 6: 平均印象評定値

勝率, 「行動が複雑である」, 「心がある」では, 模倣なしが他の3水準(模倣あり, ランダムモデル, 人間)を下回った(Holm法による多重比較: $p < 0.05$). 「行動が規則的である」と「行動が予測できる」では, 模倣なしが他の3水準を上回った(Holm法による多重比較: $p < 0.05$).

ランダムモデルを含む13種類のモデルと人間(他の参加者と対戦した参加者)を合わせた全14水準を比較する1元配置分散分析の結果, 「行動が意図的である」では有意な効果は認められず($F(13, 215) = 1.51, p = 0.114$), これを除く従属変数では有意な主効果が認められた(引き分け率: $F(13, 215) = 6.47, p < 0.001$, 知的: $F(13, 215) = 5.93, p < 0.001$). 多重比較によりランダムモデルまたは人間との有意差が認められた水準を示す. 引き分け率でランダムモデルを下回った水準は, 「模倣なし, そのまま, 勝敗重み大」, 「模倣なし, そのまま, 勝敗重み小」, 「模倣なし, 累積, 勝敗重み大」, 「模倣なし, 累積, 勝敗重み小」であり, 人間を下回った水準は, 「模倣なし, そのまま, 勝敗重み大」, 「模倣なし, 累積, 勝敗重み大」, 「模倣なし, 累積, 勝敗重み小」であった(Holm法による多重比較: $p < 0.05$). 「知的である」でランダムモデルを下回った水準は, 「模倣なし, そのまま, 勝敗重み大」, 「模倣なし, 累積, 勝敗重み小」であり, 人間を下回った水準は, 「模倣なし, そのまま, 勝敗重み大」であった(Holm法による多重比較: $p < 0.05$). いずれもランダムモデルと人間の間には有意差は認められなかった.

3.2.3 印象評価における人間とモデルの類似

印象評価のパターンにおける人間とモデルを比較するために, 6つの印象評価項目における, 人間(他の参加者と対戦した参加者)と各モデルの平均評定値を図6に示す. また, 人間との印象評価のRMSEと相関係数を

を表5に示す. ランダムモデルの値を下回ったRMSEと上回った相関係数は太字として示している. 表より, 模倣ありにおいて, ランダムモデルよりも人間に近い印象評価のモデルが複数観察されることが確認できる.

3.3 考察

各モデルの印象評価の分析から, 模倣なしのモデルに対して模倣を加えたモデルは, より人間に近い結果を示したことがわかる. これは, 人間は他者の行動を模倣する対象に心的状態を帰属するという仮説1と整合する. 一方, 1元配置分散分析において, ランダムモデルと模倣を行うモデルの間では心的帰属に差がみられなかった. この点は, 人間が常にランダムに行動する対象には心的状態を帰属しないという仮説2に反する.

分散分析では仮説2と反する結果となったものの, 表5に示した人間と各モデルの印象評価の比較から, 行動予測を必要とする課題において, 一部の模倣を行うモデルは, ランダムな行動よりも, 人間に近い心的状態の帰属を導いたといえる. 特に注目すべき点は, 模倣を行うモデルのなかでも部分一致メカニズムを使わない完全一致モデルがより人間らしい振る舞いを生み出したことである. 2.2節に示したように部分一致メカニズムは, 検索要求に完全に合致しない類似した事例の検索を可能にする. このようなメカニズムは限定された事例のみを利用可能な状況では多様な振る舞いを生成する有効な手段となると考えられる. しかし, 蓄積される事例が増えることで, 部分一致メカニズムに頼らずに, 文脈に即した多様な振る舞いを生み出せる. 図4に示すように, 今回の実験において, 模倣モデルは, 全てのブロックで異なる事例を蓄えていた. そのため部分一致メカニズムの利点が得られず, かえって生成されたパターンの認識が困難, つまりランダムに近い振る舞いになった可能性がある.

また, 完全一致モデルの利点については, 人間がランダムに行動することが苦手であること[21, 22]からも説明できる. つまり, 人間の行動はランダムなプログラムほど複雑ではないし, 予測不可能でもない. 図5aと5cから, 本研究における模倣ありかつ完全一致のモデルも, ランダムモデルほど複雑さが大きくなく予測可能性が小さくない. したがって, 本研究では模倣ありかつ完全一致のモデルが最も人間らしいと評価された可能性を考慮することができる. 模倣を行いかつ部分一致メカニズムを使うモデルは, 行動があまりにも複雑化し予測できなくなってしまうので, かえって人間らしくないと評価されたと考えられる.

表 5: 人間との印象評価の RMSE と相関係数

思い出した事例の使い方	記憶する事例の内容	事例の検索方式	RMSE	相関係数
模倣なし	そのまま	完全一致	1.161	0.162
		勝敗重み大	1.907	-0.104
		勝敗重み小	0.941	0.369
	累積	完全一致	0.905	0.304
		勝敗重み大	1.270	0.231
		勝敗重み小	1.285	0.103
模倣あり	そのまま	完全一致	0.437	0.651
		勝敗重み大	0.679	0.487
		勝敗重み小	0.792	0.370
	累積	完全一致	0.444	0.959
		勝敗重み大	0.532	0.517
		勝敗重み小	0.731	0.278
ランダム			0.647	0.349

4 まとめ

本研究は、模倣が心的状態の帰属に関係するかを検討することを目的とし、人間と認知モデルから構成されるエージェントを対戦させる行動実験を実施した。課題として、行動の読み合いが発生する単純なカードゲームを設定し、認知アーキテクチャ ACT-R を用いて複数の模倣のバリエーションを含むモデルを構築した。そして、模倣を行うモデルを、単純に事例を利用するモデル、ランダムに行動するモデルと対比させた。実験の結果、模倣を行うモデルは単純に事例を利用するモデルに対して、より人間と近い印象を与えることが確かめられた。しかし、模倣を行うモデルとランダムに振る舞うモデルとの印象の差は微細なものとなり、各指標の平均値における差は認められなかった。印象評価のパターンからは、特定の種類の模倣は人間らしい振る舞いを生み出すことが示唆された。これは、人間の行動はランダムなプログラムほど複雑ではなく予測不可能でもないの、模倣によって人間らしい振る舞いを再現できたからだと考えられる。この結果より、本研究は、限定的ではあるものの、模倣と心的状態の帰属との関係を示唆する結果を得たと考える。

ただし、今後の検討において、模倣とランダムモデルの差異についてはさらなる検討が必要である。本研究において、模倣とランダムな振る舞いの差が限定的であった一つの理由は、本研究で用いた課題が、行動を読み合う認知プロセスをモデル化するために、単純化されたカードゲームを課題として設定したこと由来する。人間はランダムな行動に意図を見出す傾向があることが指摘されており [23]、今回の単純な課題において、そのような意図の推測が誘発された可能性がある。今後、心的状態の帰属に関する模倣の頑健な効果

を得るためには、行動の読み合いが発生する他の様々な課題を設定してモデルを構築することが有効であると考えられる。

また、別の理由として人間の有する心の理論に限界を考えることができる。構築したモデルを用いたシミュレーション [17] では、模倣を行うモデルはモデル同士の対戦において、他のモデルを上回る成績を示した。このことは、模倣を行うことが、結果的に相手の行動の裏をとることにつながったことを示している。このような行動の予測は、2 次心の理論と呼ばれることがある。そして、そのような模倣モデルに対して、人間は対戦成績が拮抗し、決して模倣モデルを上回るものにはならなかった (図 3)。人間がより高次の心の理論を持つとすれば、模倣されていることを見破り、模倣モデルの裏をかく戦略を行うことも可能であったと考える。そのような結果とならず、ランダムな振る舞いと模倣の区別が微細であったことは、人間による心の理論の限界を示唆し、同時に模倣が人間にとって予測の困難な振る舞いを規則に即して生成するメカニズムとなっていることを示唆する。今後、このような考えを検討するために、対戦中の人間の思考過程に関するより詳細なデータを取得し、分析を進めていく必要がある。

参考文献

- [1] 安西祐一郎. 情報共有によるインタラクションの理論. 認知科学, Vol. 24, No. 2, pp. 234–260, 2017.
- [2] Richard Byrne and Richard W Byrne. *The thinking ape: Evolutionary origins of intelligence*. Oxford University Press on Demand, 1995.

- [3] 植田一博. 『認知的インタラクシオンデザイン学』の展望: 時間的な要素を組み込んだインタラクシオン・モデルの構築を目指して. *認知科学*, Vol. 24, No. 2, pp. 220–233, 2016.
- [4] Andrew Whiten. When does smart behaviour-reading become mind-reading. *Theories of theories of mind*, pp. 277–292, 1996.
- [5] Kazunori Terada and Seiji Yamada. Mind-reading and behavior-reading against agents with and without anthropomorphic features in a competitive situation. *Frontiers in Psychology*, Vol. 8, p. 1071, 2017.
- [6] Y Alpha Shimizu and Susan C Johnson. Infants’ attribution of a goal to a morphologically unfamiliar agent. *Developmental science*, Vol. 7, No. 4, pp. 425–430, 2004.
- [7] Yuyan Luo and Renée Baillargeon. Can a self-propelled box have a goal? psychological reasoning in 5-month-old infants. *Psychological Science*, Vol. 16, No. 8, pp. 601–608, 2005.
- [8] Szilvia Biro and Alan M Leslie. Infants’ perception of goal-directed actions: development through cue-based bootstrapping. *Developmental science*, Vol. 10, No. 3, pp. 379–398, 2007.
- [9] Gergely Csibra and György Gergely. ‘obsessed with goals’: Functions and mechanisms of teleological interpretation of actions in humans. *Acta psychologica*, Vol. 124, No. 1, pp. 60–78, 2007.
- [10] Daniel Clement Dennett. *The intentional stance*. MIT press, 1989.
- [11] Human-Agent Interaction. What is HAI?, 2021.
- [12] David Premack and Guy Woodruff. Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and brain sciences*, Vol. 1, No. 4, pp. 515–526, 1978.
- [13] Andrew N Meltzoff and Jean Decety. What imitation tells us about social cognition: a rapprochement between developmental psychology and cognitive neuroscience. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, Vol. 358, No. 1431, pp. 491–500, 2003.
- [14] Zhidan Wang, Rebecca A Williamson, and Andrew N Meltzoff. Imitation as a mechanism in cognitive development: A cross-cultural investigation of 4-year-old children’s rule learning. *Frontiers in Psychology*, Vol. 6, p. 562, 2015.
- [15] Rebecca A Williamson, Vikram K Jaswal, and Andrew N Meltzoff. Learning the rules: observation and imitation of a sorting strategy by 36-month-old children. *Developmental psychology*, Vol. 46, No. 1, p. 57, 2010.
- [16] 細川敦司, 森田純哉. 行動の読み合いをモデル化するためのカードゲームの開発. HAI シンポジウム 2020, 2020.
- [17] 細川敦司, 森田純哉. カードゲームにおける行動の読み合いに必要な条件の検討—ACT-R の部分一致メカニズムに関して—. 日本認知科学会第 38 回大会発表論文集, pp. 162–167, 2021.
- [18] J. R. Anderson. *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe*. Oxford Press, 2007.
- [19] 子安増生, 龍輪飛鳥. 運動図形に対する心的状態の付与に及ぼす図形の種類と運動パターンの効果. 京都大学大学院教育学研究科紀要, Vol. 50, pp. 1–21, 2004.
- [20] Carey K Morewedge, Jesse Preston, and Daniel M Wegner. Timescale bias in the attribution of mind. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 93, No. 1, p. 1, 2007.
- [21] Amnon Rapoport and David V Budescu. Randomization in individual choice behavior. *Psychological Review*, Vol. 104, No. 3, p. 603, 1997.
- [22] Willem A Wagenaar. Generation of random sequences by human subjects: A critical survey of literature. *Psychological Bulletin*, Vol. 77, No. 1, p. 65, 1972.
- [23] Sophie Fyfe, Claire Williams, Oliver J Mason, and Graham J Pickup. Apophenia, theory of mind and schizotypy: perceiving meaning and intentionality in randomness. *Cortex*, Vol. 44, No. 10, pp. 1316–1325, 2008.