

Title	人間相手のゲーム実験における時間と場所の制約を緩和するアプリの検討とHanabiでの試行
Author(s)	奥田, 真; 池田, 心; シュエ, ジュウシュエン
Citation	情報処理学会第54回GI研究発表会, 2025-GI-54(8): 1-8
Issue Date	2025-03-07
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/20019
Rights	社団法人 情報処理学会, 奥田 真, 池田 心, シュエ ジュウシュエン, 情報処理学会第54回GI研究発表会, 2025-3, 2025. ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	情報処理学会第54回GI研究発表会, 東京大学, 2025年3月6日-7日

人間相手のゲーム実験における時間と場所の制約を緩和する アプリの検討と Hanabi での試行

奥田 真^{1,a)} 池田 心^{1,b)} シュエ ジュウシュエン^{1,c)}

概要: ゲーム AI はプロに勝利する強さを追求してきたが、近年では人間らしさを備えたゲーム AI も研究されている。こうした研究では人間目線の評価を伴い、被験者の募集や実験準備に時間と労力がかかることが多い。本研究では、ゲーム AI と人間のゲームプレイ実験の負担を軽減し、プレイデータ収集を効率化する枠組みを提案する。研究者がゲーム AI を搭載したサーバを立ち上げ、被験者は適宜選択可能な時間帯にオンラインでモバイル web ブラウザを通じてゲームをプレイし、アンケートに回答できる。これにより、研究者と被験者の双方が時間・場所の制約を減らし実験実施できる。人間とゲーム AI の協力プレイが挑戦領域として残るゲーム「Hanabi」を題材にプロトタイプを作成した。2 種の AI の性能評価を目的に 17 人の被験者に 779 ゲームをプレイしてもらい、プレイデータを収集、分析を行った。また、事前アンケートでは対面実験には参加しないと回答した被験者が半数近くおり、そのような参加が見込めなかった層からも実験への応募があったことが示唆されるなど、実施に関する知見や今後の課題も報告する。

1. はじめに

ゲーム AI の研究はここ数十年、人間のプロプレイヤーに勝利するような強さを追い求めることが主流であったが、その一方で、人間プレイヤーのゲーム体験向上をはじめとする多様な目的で、何らかの意味で人間らしさを備えたゲーム AI（以下、人間らしいゲーム AI）の研究も進められている。単に人間に似た振る舞いをゲーム AI に行わせるだけでなく、ゲームプレイの指導 [1] や、適切な難易度のゲームコンテンツ提供 [2] に人間らしいゲーム AI を応用するなど、研究対象は多岐にわたる。

こうした人間らしいゲーム AI の研究が進められるなか、その実装や評価にはこれらの研究特有の課題が伴う。実装段階では人間のプレイデータを利用する場合、十分な量と質のデータが必要で、その収集が課題となることがある。また、評価段階では被験者が用いるインターフェースの準備や研究者・被験者双方の時間的拘束などが課題となる場合もある。上記の課題に対し、人間を相手にした効率的なプレイデータ収集方法や実験の負担軽減には一定の価値があると考えられる。

同じような課題を持つと予想されるゲームの 1 つとし

て、協力ゲーム Hanabi がある [3]。これまでの Hanabi のゲーム AI 研究では、AI*¹ 同士の協力プレイにおける成果が多く報告されている。一方、AI と人間の協力プレイに関する実験や評価報告は限定的であり、前述したような人間相手のデータ収集と実験の負担がその一因であると指摘されている [4]。

そこで本研究では、AI と人間のゲームプレイ実験の負担を軽減し、プレイデータ収集を効率化する枠組みを検討する。その題材として Hanabi を採用し、プロトタイプによる試験的な実験実施による課題と知見の整理を目的とする。プロトタイプ「Hanabi アプリ」は、研究者がサーバを立ち上げることで、被験者は AI と Hanabi をプレイし、アンケートに回答するまでをオンラインで、自身の都合のいい時間に行えることを特徴とする。

2. Hanabi について

Hanabi は Antonie Bauza 氏がデザインしたボードゲームで、2013 年にはドイツの年間ゲーム大賞を受賞した。オンラインゲームサイト [5] も含めたコミュニティも存在することから、人気のあるボードゲームといえる。

Hanabi は 2~5 人プレイのゲームで、以下では 2 人プレイの例についてルールの概要を説明する。図 1 に示すように、1 から 5 の番号付き 5 色のカードを各プレイヤ

¹ 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advance Institute of Science and Technology(JAIST),
Nomi, Ishikawa 923-1292 Japan

a) s2350002@jaist.ac.jp

b) kokolo@jaist.ac.jp

c) hsuehch@jaist.ac.jp

*1 以降 AI と表記する場合、ゲームのプレイヤとしてのゲーム AI を指す。

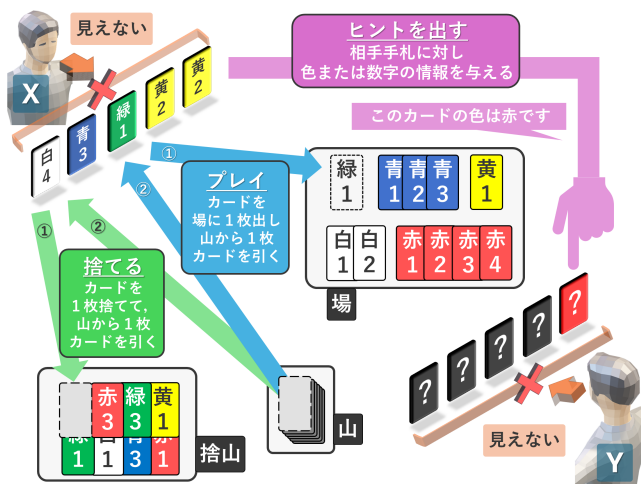


図 1: 2人プレイ Hanabi のルール概要図

手札として持ち、順番に場へ出し各色ごと1→2→3→4→5と昇順連番に並べていくのが基本的な流れである。得点は場にある5色のカードの最大値の和で決まる。1つの色につき1組まで1→2→3→4→5の組を作ることができ、5色分の組をそろえたとき得点は25点の満点となる。

各プレイヤーは図1のプレイヤーXとYのように、カードが自分からは見えず、他プレイヤーからは見えるよう手札を持つ。各プレイヤーは順番に次の3つから1つ選択し行動する。**ヒントを出す**: 他プレイヤーの手札のカードに対し色または数字の情報を与える。ただし、ヒント1回につき8個あるヒントトークンを1つ消費し、トークンがないとヒントは出せない。**プレイ**: カード(Sとする)を場に1枚出し、山札から1枚カードを引く。すでに場に出ているSと同色のカードの組に対し、Sの数字が昇順連番なら成功で、それ以外は失敗となる。3回失敗するとゲームオーバーとなる。**捨てる**: カードを1枚捨てて山札から1枚カードを引く。このとき、ヒントトークンを1つ回復する。

各プレイヤーは、お互いにヒントを出し合いプレイ可能なカードを明らかにしつつ得点を稼いでいく。ただし、ヒントトークンの数は限られているため、適宜カードを捨ててこれを回復すること、効果的にヒントを出すことが求められる。また、ヒントの受け手はそのヒントのタイミングや内容から、ヒントの出し手の意図推測を行い、限られた情報からとるべき行動を察して実行に移す場面もある。このように、Hanabiは(1)プレイヤー自身の手札を直接見ることができない独特な不完全情報性、(2)見えない手札を明らかにしていくために限られた回数だけ行えるプレイヤー間の情報伝達、(3)その限られた情報から最大限価値ある行動を行うための意図推測が特徴の協力ゲームである。

3. 関連研究

HanabiのAI研究では、研究者自作のAIと他の(人間やAI)プレイヤーで複数回ゲームプレイを行い、得られた平均得点によりその性能を評価することが多い。このとき、

2人プレイでゲームが行われる場合が多い(Hanabiは2～5人でプレイ可能)。したがってこれより述べる得点は2人プレイで、複数ゲームを行った場合の平均得点とする。2人プレイでペアとなる相手は、同じAI、異なるAI、人間プレイヤーの3つに分けられ、SiuらはこれをSelf-Play(SP)、Cross-Play(CP)、Human-Play(HP)として区別しており[4]、本論文でもこの呼称に従う。ただし、HanabiのAI研究全体で、行うゲーム数やCPで相手となるAIの種類などの実験条件は統一されておらず、得点は単純には比較できない点には注意が必要である。

最初のHanabiのAI研究は2015年の大澤によるもので[6]、他プレイヤーの行動から自分の手札を推測するアプローチでSPで15.85点を報告した。ここから研究は進んで、LererらのSPARTA[7]がSPで25点満点中24.6点と満点に近い記録を報告した。一方CPの方はHuらのOther-Play[8]が22.5点を報告している。

上記のように、SP、CPでは20点以上の得点が報告されている一方、HPは先ほど触れたOther-playが15.8点を報告している以外にはEgerらのIntentional AI[9]、LiangらのImplicature[10]が15.0点を報告しており、人間の上級者同士の得点を考えればまだ改良の可能性が残されている。しかし、SiuらはHPは多大な時間と労力がかかるため実施自体が珍しいものである、と述べており[4]、この点は著者の調査範囲でも同様の結論である。したがって、HPはAIだけで済むSP、CPと比較し時間と労力がかかり、研究が進みにくい背景があると考えられる。

4. 枠組みの検討

ゲームAI研究において人間目線の評価を行う場合、時間と労力が課題となる場合があり、これはHanabiのAI研究でも指摘されている。そこで本章では、AIと人間のゲームプレイ実験(以降、被験者実験)の負担が大きい理由や理想的な実験環境のあり方、それを実現するためのアプリケーションの機能を検討する。さらに、その機能を備えたアプリケーションの題材としてHanabiを採用、プロトタイプとして「Hanabiアプリ」を提案する。

4.1 理想的な実験環境のあり方

被験者実験には時間と労力がかかるとされるが、その原因はいくつか挙げられる。以降では原因を挙げたあと、それに対応する形で理想的には実験環境がどうあってほしいかという状態について述べる。なお、以降の記述は実験室に被験者を集め、対面で実験実施することを想定する。

(1) **被験者の確保が難しい**: ゲームAI研究に限った話ではないが、十分な被験者数の確保が難航することは珍しくない。被験者と研究者の間でスケジュール調整が必要で、被験者の都合が合わなければ実験の参加は難しくなる。また、スケジュール調整を含む手続きが面倒であること、実

験室に足を運ぶこと、人と出会うことなどが実験参加への心理的障壁となる場合もある。

(2) **現実的な時間で集められるゲーム数が少ない**：従来、よく行われてきた AI だけで完結する実験（Hanabi のゲーム AI 研究であれば、SP、CP）で 1000、10000 ゲーム実施する場合と比べると、人間相手の被験者実験は現実的な時間で集められるゲーム数が少ない。たとえば、1 回のプレイ時間が 10 分程度のゲームであれば、1 時間の実験で 6 ゲームしか得られないうえ、休憩時間や説明時間も含めると、正味の実験時間はさらに長くなる。研究者もその間実験の監督などを行う必要があり、時間的拘束が発生する。

(1)、(2) の問題の解決策の 1 つとして、プレイヤーが遊ぶだけでデータを収集できる仕組みが有効であると考えられる。例えば、チェスの Lichess や囲碁の KGS では、既存のオンライン対局サーバが稼働しており、世界中のプレイヤーがアクセスして対局を行い、そのデータが蓄積される仕組みが確立されている。このような環境を活用すれば、研究者が個別に被験者を募集する負担を軽減できる。さらに、対局サーバに研究者が自作した AI を導入できれば、人間と AI の対局データを自動的に収集することも可能となる。これにより、研究者は自らサーバを運営することなく、多様なプレイヤーとのゲームデータを集めることができる。

(3) **GUI の準備が必要**：GUI の準備も手間と時間のかかる作業である。実験をスムーズに進めるためには、直感的に操作しやすいインターフェースを設計する必要がある、もし不備などがあった場合被験者が操作に戸惑い、得られたデータに余計なノイズが混じる恐れがある。そのため、事前に十分に時間をかけて開発とテストを行うことが望ましい。しかし、ゲーム AI 研究では、研究者の関心は主に提案したアイデアやアルゴリズムを適用した AI の開発にあり、GUI の準備はできるなら避けたいステップである。

(3) についてはユーザが操作しやすいようつくられた既存の GUI を活用することが有効である。例えば、近年公開された将棋アプリ ShogiHome[11] では、AI との対局や棋譜解析を行うための GUI が提供されている。さらに、ShogiHome はオープンソースで公開されており、研究者は必要に応じて拡張機能を追加し、配布することが可能である。このように多機能な GUI を活用できれば、研究者は AI の実装に集中でき、被験者実験を円滑に進められるようになる。

4.2 そのほかの理想的な実験環境のあり方

被験者実験に時間と労力がかかることに直接関係しないが、理想的な状態に含まれるものをここに述べる。**AI の統合**：既存の有名な AI がすでにコード化され、GUI に組み込まれていることが望ましい。これにより、研究者は論文からコードを再現したり、移植したりする手間を省くことができる。**ゲーム環境の標準化**：ゲーム環境の標準化が

進めば、統一された環境で対戦が行えるため、実験結果の再現性も向上し、異なる研究間の結果の比較が容易になる。**プレイ形式の柔軟性**：ゲーム環境は、ゲームの特性や研究の目的に応じて、人同士の対戦、人と AI の対戦、複数プレイヤーでのプレイなど、さまざまなプレイ形式を選択できる状態であることが望ましい。このほかにも多くの理想的な実験環境が考えられるが、本論文では AI と人間のゲームプレイ実験の負担軽減にかかわるものに焦点を当てるものとし、検討をここまでとする。

4.3 求められる機能およびプロトタイプの提案

理想状態を実現するためにはどのような機能を持つアプリケーションがあればよいか、その機能を「実験実施に関する機能」「データ収集・解析のための機能」「AI 研究者向けの機能」「ユーザ体験向上のための機能」に分類し列挙する。

実験実施に関する機能

- 実験説明・同意取得*
実験参加にあたる注意事項などについて被験者に同意を得る機能。
- プレイ時間の記録*
- 一手の持ち時間設定機能*
- アンケート機能*
- ログイン/ログアウト機能*

データ収集・解析のための機能

- プレイログの記録*・見返し
- データベース機能*
- seed 値の固定*
再現性のある実験を行うために、同じゲームの状況を再現可能にする。
- 盤面解析・形勢グラフ
プレイヤーの行動傾向を視覚的に把握するためのツール。

AI 開発者向けの機能

- AI のアップロード・動作チェック
研究者が開発した AI をシステムに登録し、動作確認できる機能。
- 標準的な AI の入出力フォーマット対応*
既存の有名 AI の入出力フォーマットに対応し、AI を容易に統合できるようにする。
- CUI インターフェースによる AI 同士の対戦機能*
AI 同士の評価実験を行えるようにする。

ユーザ体験向上のための機能

- マルチデバイス対応・レスポンスデザイン*
- チュートリアル機能

機能についても多くの選択肢が考えられるが、本論文では被験者実験の負担軽減に必要なものに焦点を当てるもの

とし、列挙をここまでとする。

このような機能をもつアプリケーションの題材として、人間とゲーム AI の協力プレイが挑戦領域として残るゲーム「Hanabi」を採用した。また、被験者実験の負担軽減のため、研究者がサーバを立ち上げることで、被験者は自身の都合の良い時間にオンラインで AI とゲームをプレイし、アンケートに回答できることに重点を置いた。これにより、時間や場所の制約を緩和しつつプレイデータ収集を効率化することを基本的な方向性とした。そのうえで、必要最小限の機能を抽出し、時間的、技術的な制約などふまえて実現可能性を考慮^{*2}した結果、AI と人間の 2 人プレイに限定して箇条書きで「*」のつく機能に絞り込んだ。アプリケーションのプロトタイプを「Hanabi アプリ」とし、以降では Hanabi アプリの実装と、これを用いた実験実施について述べる。

5. Hanabi アプリの実装

本章ではプロトタイプとして実装した Hanabi アプリについて、動作を画面遷移と共に概要を述べ、AI について触れる。なお、詳細な実装は第一著者の修士論文に記載するものとする^{*3}。

5.1 動作と画面遷移

Hanabi アプリにおいて想定する実験では、被験者に ID とパスワードを配布し、これを用いてログイン、実験説明と事前アンケートを実施した後、最低 2 時間のゲームプレイを行い、各ゲーム終了後にアンケートに回答してもらう。本節ではこの流れのうち特に重要な部分について、Hanabi アプリでの動作を各種画面と共に説明する。

5.1.1 ホーム画面

図 2 に示すホーム画面には上から順に次の要素がある。(a) 被験者の累計ゲームプレイ時間、(b) 実験説明ボタン、(c) 事前アンケート回答ボタン、(d) ゲーム開始ボタン、(e) AI の情報、実験実施日時、謝金給付条件についての記載、(f) ログアウトボタンである。

被験者はここから各種画面に遷移して、実験への参加同意 (b) と事前アンケート回答 (c) を済ませ、ゲームをプレイする (d)。この流れを守ってもらうため、実験への参加同意と事前アンケート回答が済んでいない場合ゲーム開始ボタンは押せないようになっており、誤った実験進行をシステムの予防している。また、被験者自身の累計ゲームプレイ時間 (a) を確認できるようにしており、被験者はこ



図 2: ホーム画面

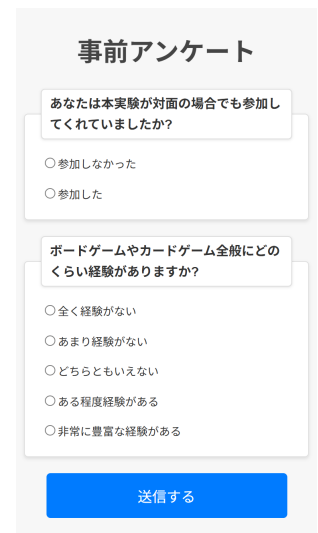


図 3: 事前アンケート画面



図 4: ゲーム画面



図 5: 自分の手札選択時

の時間を見つつ、6.2 節で述べる謝金給付条件を満たす時間 (2 時間) までゲームプレイを行う。

5.1.2 事前アンケート画面

被験者はこの画面でボードゲームの経験などを問う事前アンケートに回答する。未回答を防ぐため、全項目への回答を必須としている。追加質問が登録されていれば、特定の回答をしたときに追加質問が出現する。

5.1.3 ゲームプレイ画面

図 4, 5 に示すゲーム画面で被験者は AI と Hanabi をゲームプレイする。画面上部には相手となる AI の名前とその手札が、下部には自分の手札 (見えないので灰色) が表示される。カードはボタンになっており、ボタンを選択することでそのカードをプレイするか、捨てるか選ぶことができる。相手のカードを選択した場合は、そのカードに色のヒントを出すか、数字のヒントを出すか選ぶことができる。画面両端に出現するボタンを選択するとその手番のアクションが確定し、相手 AI の手番に移る。

^{*2} Hanabi の権利者と連絡を取り、Hanabi をサービスとしてインターネット上で無料提供するには相談が必要との回答を得たため、本研究ではそのような提供は行わず、実験用 GUI ソフトとしての機能を重視することにした。一方、研究目的での Hanabi の利用には問題がないとの返答があり、これは Hanabi の AI 研究者にとって肯定的な結果である。

^{*3} JAIST 学術研究成果リポジトリで公開予定。

5.2 AI の入出力規格と搭載した AI

Google の Bard らが提案した Hanabi の強化学習環境で、多くの強化学習手法を用いた AI が作られてきた [4], [12]. Hanabi アプリではこの環境で扱われている AI の入出力規格^{*4}に対応している.

また、デフォルトとして大澤の Internal State Strategy[6] を備えた AI とそれに改造を施した変種をベースラインとして搭載している. さらに、HP(人と AI の協力プレイ)において 15.0 点と高得点が報告されている、Eger らの Intentional AI[9] を搭載している. 本論文では便宜上 Internal State Strategy の変種を Alpha, Intentional AI を Beta とする. 予備実験では、Alpha の SP は 10.02 (標準偏差 2.09) 点, Beta の SP は 12.60 (標準偏差 2.52) 点であった. 仮に HP を行う場合も Beta の方が高い得点を得ると予想する.

6. 実験のセットアップ

本節では、実験のセットアップについて述べる. 通常、実験のセットアップは概略のみを示し、研究の再現性を確保する程度に留めることが多い. しかし本研究はオンラインで、被験者の都合のいい時間にゲームプレイを行うという比較的めずらしい試みであり、その実施過程や条件の設計には試行錯誤を伴った. これらの要素は実験の結果を左右する部分でもあり、このような詳細な情報を記録することは将来的な類似研究のための重要な知見となる. したがって本章では、実験のセットアップについて従来の Hanabi の AI 研究に比べて比較的詳細に記述する.

6.1 被験者の募集と応募条件

被験者は北陸先端科学技術大学院大学 (以降、本学) の博士前期課程、博士後期課程の学生を対象に最大 25 名をめに募集した. 詳細はこの上限は、実験従事時間と謝金の計算から総額約 10 万円の予算を基準として設定したものである. このほか「本学石川キャンパスに在籍の学生」「国籍問わず、日本語での意思疎通を行えること」など円滑な実験実施のための条件を設け、Google Form で実験参加の応募を受け付けた.

6.2 実験従事時間の計算と謝金

本実験では十分なゲーム数の実験を行うため、Hanabi アプリで記録されるゲームプレイ時間に応じて上限 5 時間まで、謝金 (時給 1000 円) が支払われる仕組みとした. 一方下限値として、ゲームプレイ時間が 2 時間以上でないと謝金は給付しない、という謝金給付条件を設け、この条件に同意できる被験者を募った. これは被験者 1 人につき、一定のゲーム数分のデータを収集するためである.

^{*4} 入力: 手札, 山札の残り枚数などその AI 視点の観測情報. 出力: プレイ, 捨てる, ヒントのアクションなど.

6.3 実験日と実施時間帯

本実験は、2024 年 12 月 18 日 (水), 19 日 (木), 20 日 (金) の平日 3 日間実施することとした. また、参加者募集のための案内は実験開始日の 1 週間前に送付した. この程度の実施期間であれば、募集開始日がそれほど前でなくても、学生は学業やその他の活動の合間に数時間程度を確保し、本実験に参加できると考えたためである. 実施時間帯は、本学規定により 18 時以降の夜間帯の実施を行わず、また休憩時間を確保するため、午前の部 (9:00~12:30) と午後の部 (13:30~17:30) に分けた. 被験者はこの中で都合の良い日程、時間帯にゲームを開始できるようにした. いずれか 1 日に集中して、もしくは複数日にわたりゲームプレイすることも可能とした.

6.4 実験の流れ

本実験は以下のような流れで実施することを想定しており、今回もこれに従った. 被験者は事前に通知された ID・パスワードを用いて Hanabi アプリにログインする. 実験参加にあたって本学倫理規定上の各種事項への同意 (以下、実験参加同意) の後、ボードゲームの経験などを問う「事前アンケート」に回答する.

その後被験者は実験の日時枠内であれば、いつでもゲーム開始できるようになる. 被験者がゲームを始めると 5.2 節で述べた AI Alpha, Beta のどちらかが割り当てられ、2 人プレイでゲームが進行する (詳細なゲームプレイに関する条件については 6.5 節で述べる).

1 ゲームを終了するごとにそのゲームの AI に対する印象などを問う「ゲームごとアンケート」に回答する. また、6 ゲーム終了後のみ 1 度だけ、Hanabi アプリの操作性などを問う項目が追加される. なお、6 ゲームとしたのは 1 ゲームは 10 分程度であるという事前情報 [5] から、およそ 1 時間程度 Hanabi アプリを利用した後に質問をしたかったためである.

6.5 ゲームプレイに関する条件

先後手の影響を緩和するため、被験者と AI が行う各ゲームにおいて、先後手はランダムに決定した.

また、被験者には事前に 2 種類の AI のいずれかが割り当てられることを伝え、さらにゲーム中には相手が Alpha か Beta のどちらであるかを開示した. 具体的に表示される名前は「Alpha」「Beta」であり、AI の特性を示唆しない. これは AI が匿名であることによるノイズを減らすためである. AI の名前が表示される場合、現在の相手が Alpha か Beta かを特定しようとする認知的負荷が発生せず、ゲームの進行や意思決定に集中できると考えたためである. 本実験はプロトタイプを用いた事前調査の位置づけであるため、より単純な条件、つまり相手となる AI の候補と、相手 AI 名を開示する設定の実験を行った.

予備実験により一手の制限時間を 50 秒とした。制限時間を迎えると Hanabi アプリ側で自動的に以下 (1), (2) の操作を行う。(1) 相手 (AI) の手札からランダムに 1 枚選んで、そのカードの色または数字のヒントを出す。(2) ヒントトークンがなければ、自分 (人間プレイヤー) の手札からカードをランダムに 1 枚選んで捨てる。操作を行わずにゲームプレイ時間を引き延ばすことを防止するため、一手の制限時間を 3 回連続して超過すると切断扱いとした。

7. 実験結果

7.1 被験者の募集と参加に関する結果

最大 25 人をめどとして募集は 2024 年 12 月に行った。縦軸を応募人数、横軸を日時とした応募者数の推移を図 6 に示す。11 日 (水) 09:09 に応募用メールの送信を行い、2 時間以内に 8 人の応募があった。また、夜間の応募は少なかった。12 日 (木) 07:00 に応募用メールの再送信を行った。12/12 19:00 時点で応募人数が 24 人に達していたため、応募の受付を終了した。24 人中 16 人が 12/11 中に、残る 8 人は 12/12 中に応募があった。

応募のあった 24 人のうち、1 人は実験 1 日目に時間の都合で参加できないと連絡があった。さらに実験終了後、4 人は一切ゲームをプレイしておらず、2 人はゲームプレイが確認できたが謝金支払い条件 (2 時間) が未達成であった。実験参加同意を得て、謝金給付条件を達成した 17 人を本実験の被験者とする。これらの被験者以外のデータ分析やプレイデータの公開は行われない。応募者 24 人からの離脱率は約 3 割で、これは対面実験より高いと推測する。対面実験では、研究者の監督や時間・場所の拘束により途中離脱が少ないと考える。オンライン参加の離脱率を減らすことを今後の課題とする。

また、一部被験者の実験参加時間帯を図 7 に示す (実験実施時間帯の詳細は 6.3 節へ)。複数日にわたってプレイした被験者や隙間時間を利用して細切れにプレイした被験者がいたことが確認でき、これは「3 日間のうち、好きな時間で参加可能」という柔軟なスケジュール設定が実際に機能したことを示唆する。

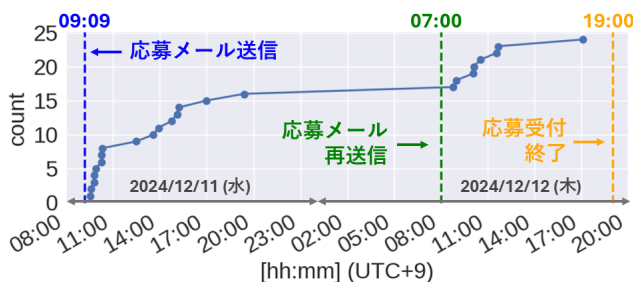


図 6: 実験への応募者数の推移

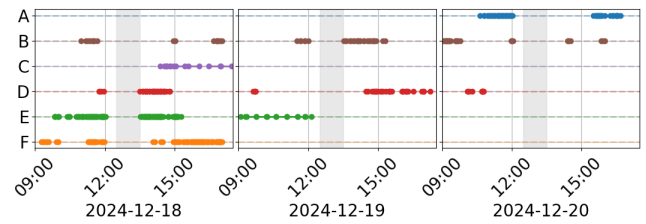


図 7: 一部被験者の実験参加時間帯 (灰色帯: 昼休憩時間)

7.2 ゲーム数とプレイ時間の結果

本実験を通して 779 ゲームが行われた。9 ゲームは 6.5 節で述べた切断扱いによって終了し、残りの 770 ゲームはゲームルールに基づく終了条件のいずれかによって終了した。以降では、この 770 ゲームを結果報告の対象とする。

770 ゲームの累計ゲームプレイ時間は 3341.27 分 (2 日 7 時間 41 分 16 秒) で、1 ゲームごとのゲームプレイ時間の平均値は 4.39 (標準偏差 3.59) 分だった。横軸を 1 ゲームごとのゲームプレイ時間、縦軸をゲーム数にとった分布を図 8 に示す。1 分台のゲームから、30 分近くのゲームまで存在し、広く分布していることが分かる。

1 手ごとにかけた時間の分布を図 9 に示す。横軸は 1 手ごとにかけた秒数を、縦軸は手数 (10 を底とする対数スケール) を示す。平均値は 8.12 (標準偏差 9.10) 秒であるが中央値は 5 秒であり、5 秒以下で決めた手が半分以上を占める。また、1 手の制限時間 (50 秒) に到達した手は 88 手で、36 秒から 49 秒にかけて増加傾向がみられた。制限時間到達前に駆け込みで手を打った可能性があると考ええる。

被験者間のゲームプレイ時間にどの程度のばらつきがあるのかについても調べた。各被験者の実験を通した総ゲームプレイ時間の平均値は 196.55 分 (標準偏差 67.85 分) だった。謝金支払い対象となるゲームプレイ時間の下限値

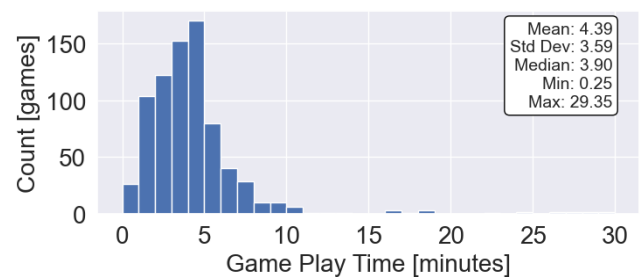


図 8: 1 ゲームごとの時間の分布

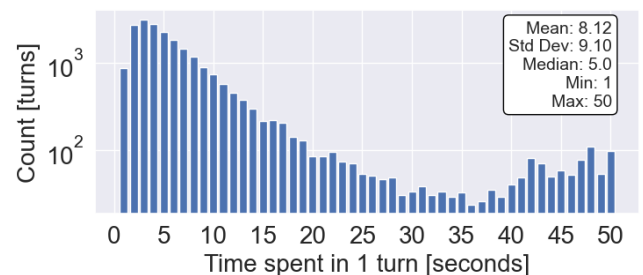


図 9: 1 手ごとの時間の分布

2 時間にほぼ近い被験者は 3 人、上限値 5 時間にほぼ近い被験者も 3 人であった。各被験者の総ゲームプレイ時間と総ゲームプレイ数^{*5}について、最小 8 ゲームを 135.98 分 (1 ゲームあたり 16.97 分) かけてプレイした被験者と、最大 92 ゲームを 301.15 分 (1 ゲームあたり 3.27 分) かけてプレイした被験者が確認された。

1 ゲームあたりの時間にこのようなばらつきがあることは、今後データ分析時のノイズとして無視できなくなるので望ましくなかった。一手の制限時間に上限値だけでなく下限値も設けたり、一手の持ち時間の設定をフィッシャー方式に変えるなどの解決案が有効であると考えられる。

7.3 ゲーム終了条件における結果

Hanabi はゲームの終了条件によってそのゲームの進行状況が異なる場合もあり、今後の Hanabi の AI 研究における分析のための背景情報として全ゲームにおける終了条件を調べた。全ゲームにおける終了条件の便宜上の表記の定義と内訳を以下に示す。**END_EXTRA_TURNS (以降, EET)**: 山札の最後の 1 枚のカードが引かれた後、この手番を除き、最後のカードを引いたプレイヤーも含めた全プレイヤーが 1 回ずつ手番を完了した場合。403 ゲーム (52.3%)。 **3OUT**: 3 回プレイ失敗した場合。367 ゲーム (47.7%)。 **PERFECT**: 5 色すべての組が完成した場合。1 ゲームもなかった。

Alpha, Beta はそのアルゴリズム上、プレイ失敗となるカードをプレイしないため、3OUT の割合は少なくなると予想していたが、実際は 3OUT と EET が半々程度になった。早期に終了した 3OUT のゲームはゲームプレイを放棄した可能性もあり、最終手数についてさらに分析を行った。ゲーム終了時の最終手数の分布を図 10 に示す。3OUT はばらつきが大きい一方、EET は平均値 72.16 (標準偏差 2.85) 手を中心分布している。3OUT の最終手数の最小値は 8 手で、これをはじめとして 3OUT の手数の平均値 41.78 (標準偏差 18.24) 手を大きく下回る形で早期に終了しているゲームがいくつか見られた。

その原因として (1) ルールの未理解や誤解によって、適切なプレイができずに早期に終了した可能性、(2) 「このゲームでは得点が伸ばせない」「状況が悪すぎる」と判断し、意図的にプレイを放棄した可能性がある。(1) の対策

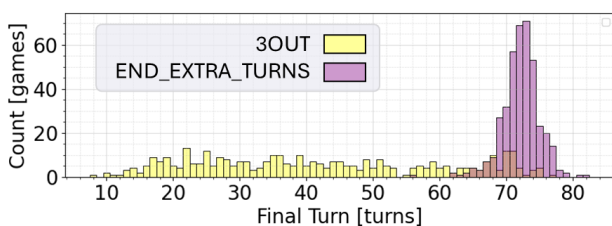


図 10: ゲーム終了時の最終手数の分布

^{*5} この 2 つの間には正の相関 (相関係数 0.856) がみられた。

として、ルール説明に動画を用いたりするなどの工夫で被験者の誤解を減らし、意図しない早期終了を防ぐことができると考える。(2) の対策については平均得点に応じたインセンティブを導入することで、途中のゲームプレイ放棄を予防することが有効であると考えられる。実際に手札の状況が悪い場合に諦める傾向があるかどうか、今後の分析課題とする。

7.4 アンケート結果

事前アンケートの結果を報告する。Hanabi アプリが事前アンケートに回答しないとゲームプレイを開始できない仕様になっているため、被験者 17 人全員の回答を得た。

本実験を対面で実施した場合を想定したときの参加意思について報告する。「あなたは本実験が対面の場合でも参加してくれていましたか?」という質問に対し、17 人中 8 人が「参加した」と回答し、9 人が「参加しなかった」と回答した。オンラインで任意の時間に参加できる形式にしたことにより、対面で実施した場合に参加が見込めなかった層からも実験参加してもらえたことが示唆される。

6 ゲーム後に 1 度だけ実施されたアンケート結果について報告する。結果を図 11 に示す。回答は 5 段階リッカート尺度で数字が大きいほど UI を使いやすいこと、集中力を維持できたことを意味する。「アプリのインターフェース (UI) の操作性はどう感じましたか?」という質問について、「1: 非常に使いにくい」という回答はなく、それ以外の回答項目でなんらかの傾向はみられなかった。また「あなたはここまでのゲーム中、集中力は維持できましたか?」という質問については、集中力をある程度以上維持できた (回答項目 4,5) と回答した人は計 13 人おり、被験者のうち 76.5%であった。

また、Hanabi アプリに改善してほしい点を自由記述で回答してもらった結果、場に出されたカードの表示、プレイログの全表示といった UI への改善要望が挙がった。UI デザインの工夫により改善可能であるため、今後の課題とする。一手の制限時間 (50 秒) への不満も挙がった。フィッシャー方式など別の方式を導入することで持ち時間が減少するプレッシャーを軽減できる可能性があるため、こちらも今後の課題とする。

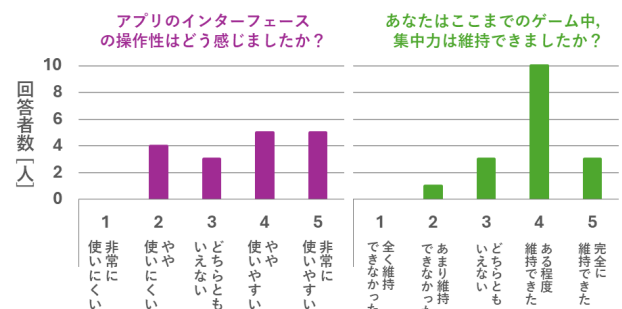


図 11: UI と集中力に関するアンケート結果

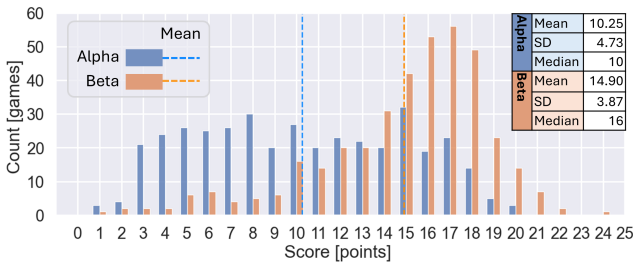


図 12: 全ゲームにおける得点分布 (AI プレイヤ別)

表 1: ゲームごとアンケートの回答結果

質問項目	Alpha	Beta
この AI と次にゲームをプレイしたとき、さらにスコアを伸ばせそうですか？	2.55 (1.09)	3.03 (1.13)
この AI の出すヒントは有益でしたか？	2.13 (1.06)	2.80 (1.18)
この AI の挙動は読めましたか？	2.46 (1.12)	3.01 (1.18)
今回のゲームは楽しかったですか？	2.53 (1.11)	3.14 (1.15)

(5 段階リッカート尺度, 括弧内は標準偏差)

7.5 2つの AI の獲得得点とアンケート結果

2 種の AI Alpha, Beta が被験者相手に獲得した得点の分布を図 12 に示す。全 770 ゲームのうち, Alpha が 387 ゲーム, Beta が 383 ゲームで, この偏りは切断扱いのゲームを報告対象のゲームから除外したためである。Beta の方が高い平均得点を記録しており (平均 14.90 点, 標準偏差 3.87 点), 5.2 節で予想した通りだった。Alpha との平均得点 (平均 10.25 点, 標準偏差 4.73 点) との差は 4.65 点であった。Beta の平均得点に関しては, 提案された論文 [9] で報告された平均得点と実験条件が多少違うものの結果的にはほぼ一致している。

ゲームごとアンケートの AI 別の回答結果を表 1 に示す。ゲーム数と同じ数の回答, すなわち全 770 件の回答が得られた。各質問項目で「覚えていない」とした回答が数件見られたが, 今回は無視可能な数であると判断した。全質問項目において Beta の方が平均値が高く, 総合的に被験者に好まれる傾向にあったことが示唆される。

8. おわりに

本研究では, 協力ゲーム Hanabi を題材に, AI と人間のゲームプレイ実験 (被験者実験) の負担を軽減し, プレイデータ収集を効率化する枠組みを提案した。機能を検討し, プロトタイプ「Hanabi アプリ」による実験を行い, 実験の実施に関する知見と今後の課題を整理した。

Hanabi アプリは, 研究者がサーバを立ち上げることで, 被験者がオンラインで AI と Hanabi をプレイし, アンケートに回答できる環境を提供する。これにより, 時間・場所の制約を緩和しつつ, 効率的なプレイデータ収集を実現す

る。また, 実験の利便性向上のため, seed 値の固定, データベース, マルチデバイス対応, 標準フォーマット対応, CUI 上での AI 同士のゲームプレイ機能などを実装した。

Hanabi アプリを使った実験では, 2 つの AI の性能を比較し, オンライン形式での実験実施に関する知見と今後の課題を整理した。この形式の利点として, 被験者が素早く集まることが確認された。一方で, 応募はあったものの参加しない人がいたり, 1 ゲームあたりのプレイ時間被験者間で平均 16.97 分～平均 3.27 分という大きな差が生じるなど課題も明らかになった。

今後の Hanabi のゲーム AI 研究のため, 本研究の被験者実験のプレイログを蓄えたデータベースを公開した*6。なお, Hanabi アプリの公開は検討中である。本研究で行った機能の検討, 得られた知見・課題は Hanabi に限らず, 他のゲーム AI 研究で似たような研究課題を取り組む際にも応用できる可能性が高い。今後, 人間を相手にしたゲーム AI の実験が盛んにおこなわれることを期待する。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 23K11381, 22K12339 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Kokolo Ikeda, Simon Viennot, and Naoyuki Sato. Detection and labeling of bad moves for coaching Go. In *IEEE CIG 2016*, 2016.
- [2] Julian Togelius, Renzo De Nardi, and Simon M Lucas. Towards automatic personalised content creation for racing games. In *IEEE CIG 2007*, 2007.
- [3] Antoine Bauza. Hanabi. <https://www.cocktailgames.com/en/game/hanabi/>. Accessed: 2024-7-14.
- [4] H Siu, Jaime D Peña, K Chang, et al. Evaluation of human-AI teams for learned and rule-based agents in Hanabi. In *NeurIPS 2021*, 2021.
- [5] Hanabi - board game arena. <https://boardgamearena.com/gamepanel?game=hanabi>. Accessed: 2024-7-9.
- [6] Hirotaka Osawa. Solving hanabi: Estimating hands by opponent's actions in cooperative game with incomplete information. In *Computer Poker and Imperfect Information - Workshop at AAAI-15*, 2015.
- [7] Adam Lerer, Hengyuan Hu, Jakob Foerster, et al. Improving policies via search in cooperative partially observable games. In *AAAI-20*, 2020.
- [8] Hengyuan Hu, Adam Lerer, Alex Peysakhovich, and Jakob Foerster. “Other-Play” for zero-shot coordination. In *ICML'20*, 2020.
- [9] Markus Eger, Chris Martens, and Marcela Alfaro Cordoba. An intentional AI for Hanabi. In *IEEE CIG 2017*, 2017.
- [10] Claire Liang, Julia Proft, Erik Andersen, and Ross A others. Implicit communication of actionable information in human-AI teams. In *CHI '19*, 2019.
- [11] ShogiHome. <https://sunfish-shogi.github.io/shogihome/>. Accessed: 2025-1-31.
- [12] Nolan Bard, Jakob N Foerster, Sarath Chandar, et al. The Hanabi challenge: A new frontier for AI research. *Artificial Intelligence*, Vol. 280, p. 103216, 2020.

*6 <https://www.jaist.ac.jp/is/labs/ikeda-lab/hanabi/>