

協力ゲーム hanabi における学習と飽きに影響する内発的動機づけの行動分析

Behavior Analysis Revealing Intrinsic Motivation Affecting Learning and Satiation in Cooperative Card Game Hanabi

板倉 菜々香[†], 森田 純哉[†], 大本 義正[†]

Nanaka Itakura, Yoshimasa Ohmoto, Junya Morita

[†] 静岡大学情報学部

Shizuoka University

itakura.nanaka.17@shizuoka.ac.jp, j-morita@inf.shizuoka.ac.jp, ohmoto-y@inf.shizuoka.ac.jp

概要

本研究では、協力ゲーム hanabi を題材として、飽きと学習の関係性を身体動作や内発的動機の観点から探る。加えて、ゲームスコアやゲーム時間などの時系列データも扱う。それらの分析過程において、身体動作から動きの周期性を抽出し、それを新たな指標として提案する。この指標を用いて、動機づけがうまくいく集団とは動作間隔の周期性が類似している集団であると結論付けた。

キーワード：協力ゲーム, 内発的動機づけ, 飽き

1. はじめに

1.1 背景

人間は実世界の多くの場面で他者と協力して共通の課題を遂行する。人間は他者との協力なしに生活することはできないと言っても過言ではない。また近年の教育現場では他者との協調を通して成長を促すアクティブラーニングが盛んである。認知科学の分野においても協調場面や学習に関する研究は盛んである。しかし、学習が進むことで学習課題に慣れていき結果として飽きが生じ、学習意欲が持続しないという問題がある。このような問題を解決するには、飽きを生じさせない持続可能なプロセスを抽出する必要がある。

筆者らはこれまでの研究において、協力ゲーム hanabi を用いてゲームにおける発話、時間経過、アンケートを通じて、多角的な視点から飽きと学習の関係性について議論してきた。協力ゲーム hanabi は、多くの実験参加者にとってなじみのないゲームであり、ゲームの戦略やルールを学習する過程を観察しやすく、協調関係における学習の検討に適した課題である。しかし、これまでの hanabi ゲームを通じた検討には、カードゲームに必要な身体動作や、ゲーム自体への動機づ

けが含められていなかった [1]。そこで本実験では、アンケートを通して、ゲームに対する動機づけを測定することに加え、身体動作や時系列データの分析を通して飽きとの関係性を分析していく。

1.2 目的

本研究におけるリサーチクエストンは、協力ゲームにおいて、身体動作と飽き、学習の関係性を探ることである。その過程で、学習効果の得られるプロセスを抽出すること、学習と飽きを反映した行動に関する研究を行う際の指標を提案することを目指す。

2. 関連研究

人間の行動を実験的に検討する際に、複雑な日常をそのまま対象とするのではなく、ルールや取りうる行動が限定された場を設定することは有効である。インタラクションにかかわる研究においては、複数名が参加するゲームを用いた研究が古くから行われてきた。協調的なエージェントとのインタラクションに関しては、hanabi ゲームを用いた研究などが存在する [2]。

人間同士の協調的なインタラクションの形成（学習）に関しては、小嶋らの実験記号論に基づく研究が参考になる [3]。ここで実験記号論とは言語などの通常のコミュニケーション手段が制限された状況において、協調を成立させる新たな記号システムを形成させる実験パラダイムである。小嶋らの研究においては、当初コミュニケーションが困難であった参加者が、協調ゲームを繰り返すことによって、飛躍的にゲーム成績を向上させたことが示される。そのなかでも後半のゲームの成績を特に伸ばしたのは、反復を好むパーソナリティ（自閉症的な傾向）を有する個人であった。

この知見は逆説的に、人間同士の協調における飽きの生起を示唆する。

パーソナリティとインタラクションの継続に関しては、岡らがより直接的な知見を示している [4]。岡らの研究において、実験参加者はペアになり、迷路内での鬼ごっこを繰り返した。実験中、実験参加者はゲームに飽きた段階で、いつでも課題をやめることができた。課題をやめるまでに行われたゲーム数と実験参加者のパーソナリティの関係を検討した。パーソナリティに関わる複数の指標を検討した結果、ゲームの継続と有意に相関したのは、ペア内での自閉症傾向の得点差であった。

岡らの研究の重要な点は、単にペア内での自閉傾向の高さがインタラクションを継続させたのではなく、個人特性の差異がインタラクション継続に影響したことである。この結果の一つの解釈として、他者の振る舞いの予測可能性を考えることができる。通常、人間は自分と類似する他者の振る舞いを容易に予測し、自分と異なる他者の振る舞いを予測することは困難である。よって、自分とは異なる他者を行うゲームにおいて、人間は他者から予期せぬ反応を受け取り、飽きの抑制につながったのかもしれない。

上記のような解釈は近年研究が盛んな内発的動機づけを有するエージェントの研究とも整合的である。近年の深層強化学習に関わる研究では、新奇な刺激の発見に付随する報酬が、エージェントによるゲームの継続を支え、パフォーマンスを向上させることを示している [5]。この知見に基づき、長島は、学習に伴う予測可能性の向上による飽きに関する認知モデルを構築し、岡らの課題を対象としたインタラクションの継続を議論した [6]。上記のように、協調の進展に伴う飽きを抑制する要因、あるいは協調の進展にともなうインタラクションの変化に関する研究は行われている。しかし、過去の研究において扱われるインタラクションのモダリティは限定的であり、統合的なデータからの検討はなされていない。本実験では、行動分析や時間経過、参加者の動機づけを通して、より多角的な視点から、飽きと学習の関係を検討する。

3. 実験方法

3.1 参加者

実験参加者は、男性 2 人、女性 4 人の合計 6 人であった。6 人の参加者は、3 人ずつのグループに分けられた。なお、グループ内の参加者 3 人はそれぞれ面識がなく、実験日当日に初めて顔を合わせた。

3.2 材料

3.2.1 機材

実験の様子を図 1 に示す。実験における参加者の身体動作を記録するために 360 度カメラ (RICOH Theta S) を用いた。実験中に参加者は中央にカメラが配置された円卓を囲むように座った。図 2 に示しているように、円卓上は、カードの置き場所が分かるよう、各色のカードを置くゾーンや山札を置くゾーンなどの配置場所が設定されていた。



図 1 実験風景



図 2 円卓上

3.2.2 課題

実験には、協力ゲーム hanabi を用いた。hanabi ゲームは、5 色のカードに対して、1 から 5 の数字が印刷された合計 50 枚のカードを利用したゲームである。このカードを 3 名で構成される参加者に、5 枚ずつ配布する。参加者は、配布されたカードを小さい番号から順番に場に出していく。最終的に場に 1 から 5 の各色カードを揃えることが目的である。ルール上、各参加者は自分が有するカードを自身で見ることができず、表面を他のプレイヤーに向けて持つ。参加者は自分の順番になったら、カードを捨てる、他者に

カードの情報を教える、自分の手札を場に出す、のどれかを選ぶ。他者へカードの情報を伝達する際は、色、もしくは数字のどちらかを伝えることしかできない。よって、ゲームを効率的に遂行するためには情報伝達の方法を定めるなどして、参加者間で適切な協調関係を築いていく必要がある。

3.2.3 アンケート項目

参加者の性格や飽きに関する情報を得るためのアンケートを用意した。性格に関するアンケートは、5因子性格検査短縮版を用いた [7]。また、動機づけの測定には、ARCS モデルを用いた [8]。ARCS モデルは、学習意欲を測るためのモデルであり、注意 (Attention)、関連性 (Relevance)、自信 (Confidence)、満足感 (Satisfaction) の4つの項目から構成される。本実験では、このモデルをゲームを対象とした質問となるように修正を行い、実験の前後でアンケートを実施することで動機づけの変化を測った。

3.3 手続き

hanabi に関する著者らのこれまでの実験 [1] では参加者の発話内容に、ゲームに関係のない会話が多く含まれており、ゲームの展開以外の要因が学習と飽きのプロセスに影響していた。今回の実験では発話によるコミュニケーションを統制し、身体動作のみでの最小限の意思疎通を行う設定とした。手続きは、以下の事前手続きと、当日の手続きから構成された。

1. 事前手続き

実験参加者には、事前に hanabi のルールが記載されたルールブックを pdf 形式で配布した。実験当日までにルールを把握することを求めた。また、hanabi ルールブックを配布する際に、同時に5因子性格検査短縮版を Google フォームの URL を伝え、回答することを求めた。

2. 当日の手続き

参加者はまず実験の流れに関する教示を受けた。その後、ARCS モデルに基づくゲームの動機づけの事前アンケートに回答したのちに、以下の (a) と (b) の手続きを繰り返した。

(a) hanabi ゲームの遂行

実験者から合図をされたのちに参加者はゲームを開始した。実験中、実験者は参加者がゲームを行っているスペースから退出し

た。ゲームが終了したのち、参加者は被験者に終了を知らせた。

(b) 飽きに関するアンケート

各ゲームが終わったのちに、紙面で飽きに関するアンケートが配布され、回答した。本アンケートの回答は個別に行われ、回答の内容が他の参加者にみられることはなかった。

上記の手続きから3時間が経過したのちに、実験者から実験の終了が告げられた。その後、参加者は ARCS モデルに基づくゲームの動機づけの事後アンケートに答えた。

4. 分析

実験中に録画したデータ¹をもとに、ゲームごとのスコアや時間の変化を時系列データとして分析した。飽きの発生やゲームにおける動機づけの促進は時間を経ることで発生する。従って、時系列データと飽きや学習との関連性を見出すことは有効的な手段であると考えられる。

また、今回の分析においては、各参加者のゲーム中の動作を OpenPose を用いて解析した。具体的には、実験の様子を録画した動画データを1秒あたり30枚の静止画像データとし、各画像フレームごとに骨格検出を行った。図3が骨格検出の様子である。ゲーム中の各参加者のゲーム中の動きは、カードを出す、捨てる、他の参加者にカード教える、他のプレイヤーが出したカードを自分の近くの場札ゾーンに置くという動きが主である。参加者全員が右利きであり、これらの動作を行う際には右手を使うことが確認されたことから、右手の動作量のピークを検出することで、ゲームの進行を大まかにとらえることができると考えた²。つまり、右手の動作量のピーク間隔は、各参加者のターン間隔（その参加者がプレイしてから、再びプレイするまでの時間）を表す（図4の青線部）。ターン間隔が一定であれば、順調にゲームが進行していると推測され、ターン間隔が不揃いのときはゲームの順調な進行を阻害する要因が生起したと考えられる。これらの仮定から、動作量のピーク間隔の分散 (SDITI: SD of Inter-Turn-Interval) を計算した。具体的な手順を以下に示す。

1. OpenPose によって出力された JSON データ (30fps) を R 言語に読み込む。

¹グループ1は、全6試合行ったが、機材トラブルにより4試合のみ録画された。

²ピーク部分においては、カードを場に出したり、他のプレイヤーにカードの場所を示す動作が行われていたことが実験において記録された動画から確認された。

- 各フレームの右手の座標位置を取り出し、フレーム間でのユークリッド距離を測ることで右手の動作量を求める。
- 図4に示される、ユークリッド距離の中で突出した値を出している部分に注目し、オレンジの点線の上部に示される、値が200以上の部分をピーク部分として抽出する。
- 図4の青線部分に示されるピーク間隔についてフレーム枚数を配列に格納する³。
- 4で求めた配列から、各ゲームのSDITIを求める。

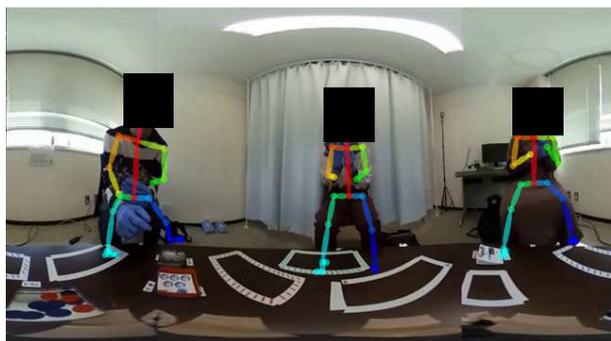


図3 骨格検出の様子

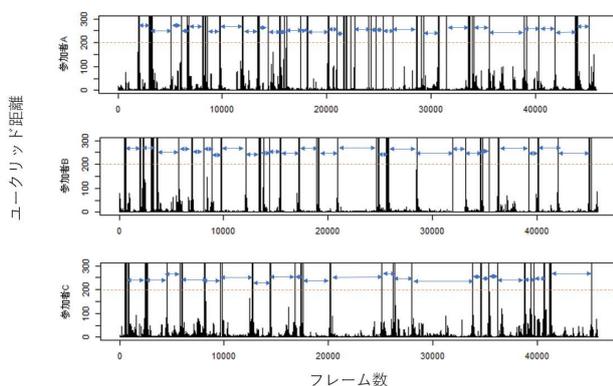


図4 右手の動作量（フレーム間ユークリッド距離）の例

5. 結果

以下では、(1) 各ゲームにおいて獲得されたスコアと時間の変化、(2) アンケートの結果、(3) 各ゲームにおける参加者の動作（SDITI）の分析結果を示す。

³ピーク間隔の閾値を100枚とし、隣接するフレームがピークになることを避けた。

5.1 ゲーム時間とスコアの変化

各グループにおけるゲームの所要時間とスコアの変化を図5と図6に示す。ゲーム数の経過に伴い、ゲーム時間が単調に減少するのではなく、増減している様子が見られる。実際、ゲーム数とゲーム時間の相関は両方のグループにおいて有意とはならない（グループ1: $r = -0.374, n.s.$, グループ2: $r = -0.517, n.s.$ ）。ゲームスコアも同様にゲーム数との相関は有意ではなく、課題の進行に伴う一貫した変化は認められなかった（グループ1: $r = -0.102, n.s.$, グループ2: $r = .604, n.s.$ ）。これらの結果から、今回対象となったグループにおいては、ゲーム数を重ねることによる学習（効率的なスコアの獲得）は生じなかったことが示唆される。

一方で、ゲーム時間とスコアの相関に関しては、グループ1において有意な負の相関が得られた（グループ1: $r = -0.879, p < .05$, グループ2: $r = -0.157, n.s.$ ）。この結果から、一つのゲームに費やすプレイ時間は、そのゲームのスコアに正の影響を及ぼさないことがわかった。むしろ、グループ1では、うまくいかなかったゲームほど一つのゲームのプレイ時間が増大する傾向にあった。

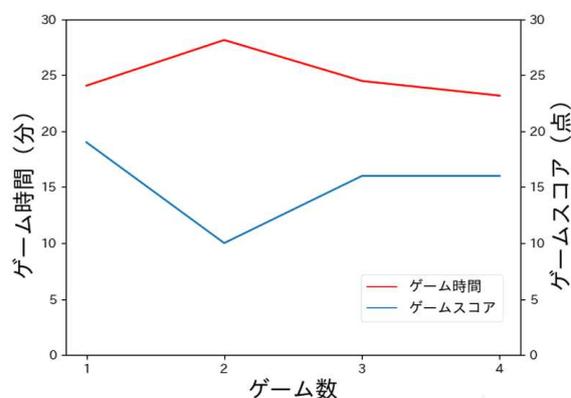


図5 グループ1の1ゲーム当たりの所要時間とスコアの変化

5.2 アンケート集計

ゲームとゲームの間に行われた、飽きに関するアンケートにおいて、グループ1では2ゲーム目と6ゲーム目で1人ずつ飽きが生じたプレイヤーがおり、グループ2では5ゲーム目で飽きが生じたプレイヤーがいた。以下、グループ1で2ゲーム目で飽きが生じた

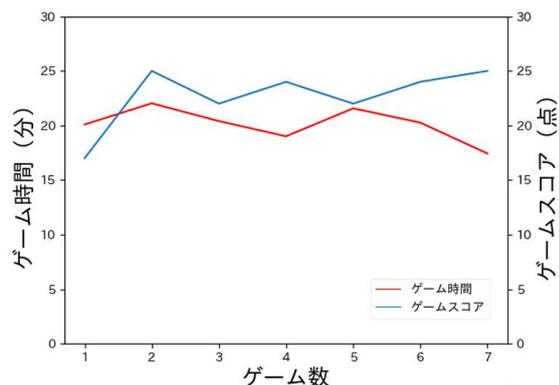


図6 グループ2の1ゲーム当たりの所要時間とスコアの変化

参加者をA, 6ゲーム目で飽きが生じた参加者をBとし, グループ2で5ゲーム目で飽きが生じた参加者をDとする.

さらに, ゲームを繰り返しプレイした経験が, どの程度参加者の動機づけに影響したのかを, ARCSモデルを用いたアンケートをもとに検討した. 表1はグループ1, 表2はグループ2のA, R, C, Sそれぞれの項目の変化を表している. どちらのグループでも, 実験の前後で点数が上がっており, 動機づけが進んだことを表している. 中でもグループ2は参加者全員がゲーム前後で点数が下がった項目が見られず, グループ1と比較すると, より動機づけがされていることが分かる.

表1 グループ1の学習意欲の変化

	A	R	C	S	合計
参加者A	+4	+3	+2	+1	+10
参加者B	-1	+2	-3	-2	+2
参加者C	+8	+5	-3	+3	+13

表2 グループ2の学習意欲の変化

	A	R	C	S	合計
参加者D	+4	+1	+1	+6	+12
参加者E	0	+2	+6	+5	+13
参加者F	+6	+4	0	+6	+16

5.3 ターン間隔の分散

図7と8に各グループにおけるSDITIの変化を示す. グループ1では各参加者間でSDITIの変化のパ

ターンが異なる一方で, グループ2ではどのプレイヤーも似通った変化を示していることが分かる.

そこで, グループ内の参加者同士でのSDITIの相関を調べた. それぞれの結果を表3と表4にまとめる. グループ1では, 2ゲーム目で飽きが生じた参加者であるAと他の参加者の相関が低い. 対してグループ2では, 表4に示す通りグループ1に比べると参加者間の相関が高いことが分かる.

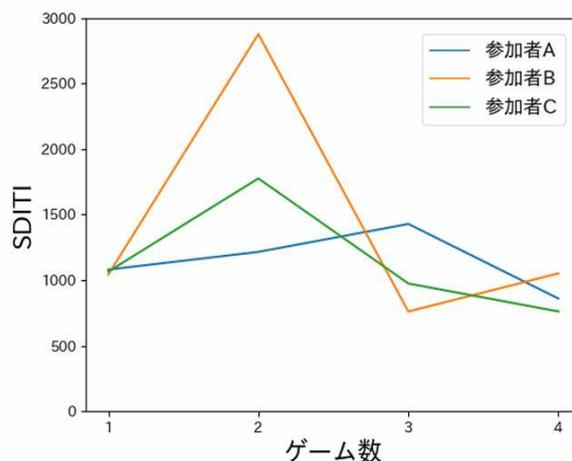


図7 グループ1のSDITI

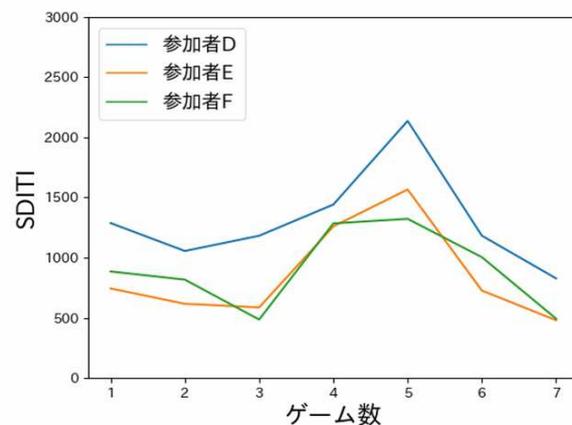


図8 グループ2のSDITI

表3 グループ1の各参加者のSDITIの相関

	参加者A	参加者B	参加者C
参加者A	1.000	0.065	0.351
参加者B		1.000	0.938**
参加者C			1.000

**p<.01

表4 グループ2の各参加者のSDITIの相関

	参加者 D	参加者 E	参加者 F
参加者 D	1.000	0.937**	0.784*
参加者 E		1.000	0.896**
参加者 F			1.000

**p<.01 ,*p<.05

6. 考察

以上のように本研究では、ゲームの進行にともなうプレイの効率性に関する指標（1ゲームあたりのプレイ時間、スコア）、アンケートにより測定された飽きと動機づけの変化、動作の時間的な周期性の変化を検討した。はじめの分析からは、長いプレイ時間が高いスコアと結びつかないことが示された。この結果をポジティブなものとして捉えるのであれば、ゲームの進展に伴う学習が生起すると同時に、内発的動機づけに駆動された新たな問題空間の探索がなされたと考えることができる。しかし、ARCSモデルを用いたアンケートの点数に注目すると、1ゲームあたりのプレイ時間とスコアに負の相関があったグループ1は、グループ2に比べ、今回のゲームにおいて動機づけが低かった。さらに、グループ2においてはグループ内のSDITIの相関が強いものに対して、グループ1において早期に飽きの生じた参加者Aは他の参加者とは動作の周期性において異なるパターンを示した。これらのことから、SDITIの相関は、グループ内の動機づけと関連することが示される。この結果を踏まえて、本研究において提案したSDITIはゲーム実験において、ゲームの周期性、参加者の行動、ゲームへのエンゲージメントを示す方法として有効的な指標であることが考えられる。

7. 今後

今回の実験の参加者は、2グループ、合計6人だったので、参加者の人数を増やし、今回指標として示した分散の妥当性を確かめる必要がある。また、今回のhanabi実験では、1グループ約20分、長いゲームだと40分近くかかっていた。1ゲームあたりの時間が長かったため飽きが生じていたり、飽きの要因の中に、疲れがあるなどのことが考えられる。今後は、ゲームルールの改変やゲーム時間に制約を設けるなどの改良が必要である。

文献

- [1] 板倉菜々香, 米田凌, 與野木龍, 大本義正, 森田純哉, (2020) “対人インタラクションでの飽きと学習の関係—協力ゲーム花火を題材とした行動分析” HAI シンポジウム 2020
- [2] 大澤博隆, (2015) “協調ゲーム Hanabi におけるエージェント間の協調行動の分析” 人工知能学会全国大会論文集, JSAI2015,1F23-1F23.
- [3] 小嶋暁, 紅林優友, 森田純也, (2018) “コミュニケーション成立における自閉症スペクトラム傾向の影響—パターン化による記号形成のメカニズム—”, 日本認知科学会第35回大会発表論文集, pp. 174-183.
- [4] 岡真奈美, 森田純哉, 大本義正, (2018) “インタラクションを持続させる個人特性-システム化と共感に注目した検討—” HAI シンポジウム 2018
- [5] Yuri Burda, Harri Edwards, Deepak Pathak, Amos Storkey., Trevor Darrell., and Alexei A.Efros., (2018) “Large-Scale Study of Curiosity-Driven Learning”, ArXiv.
- [6] Kazuma Nagashima, Junya Morita, Yugo Takeuchi, Yoshimasa Ohmoto, (2019) “Cognitive Modeling of Intrinsic Motivation for Long-Term Interaction”, Proceedings of the 7th International Congerence on Human-Agent Interaction, pp. 316-318.
- [7] 藤島寛, 山田尚子, 辻平治郎, (2005) “5因子性格検査短縮版 (FFPQ-50) の作成” パーソナリティ研究, Vol. 13, No. 2, pp. 231-241.
- [8] 川上祐子, 向後千春, (2013) “ARCSモデルに基づく Course Interest Survey 日本語版尺度の検討”, 日本教育工学会研究報告書 JSET13-1, pp. 289-294.