

# 事例に基づく意図推定に感情が及ぼす影響のシミュレーション

## Simulation of the effect of emotions on instance-based intent estimation

河路墨生<sup>1</sup> 森田純哉<sup>1</sup> 大澤博隆<sup>2</sup>  
Ruiki Kawaji<sup>1</sup> Junya Morita<sup>1</sup> Hirotaka Osawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学 <sup>2</sup> 慶應大学  
<sup>1</sup> Shizuoka University <sup>2</sup> Keio University

**Abstract:** エージェントの意図推定はHAIの中心的な研究トピックである。しかし、それを正確にする要因は未だ明らかではない。本研究ではその要因として感情に注目し、協力ゲーム「Hanabi」を用いたシミュレーションを行った。本研究のモデルは、過去の協調の事例を想起することで意図推定を行う。協調や事例想起の成否によって感情が変動するモデルを構築したところ、このモデルが不利に働く状況があることが確かめられた。またゲームの初心者に対応するモデルにおいては感情が有用であるが、熟達者に対応するモデルにおいては有用でない結果が示された。

### 1 はじめに

人間の社会行動は、感情によって大きく影響を受ける。感情は人間同士の協力や社会化を促すように進化によって獲得され、人類の生存に寄与してきた[1]。また、人間の社会行動は、他者の行動から意図を推定するプロセスによって支えられている。意図推定には他者の意図をモデル化する能力が必要であるとされ、認知科学分野ではその能力を「心の理論」[2]という言葉で表現する。感情と意図推定はどちらも社会行動に関連した人間の能力であり、感情の存在が社会化につながるのであれば、社会行動に必要な能力である意図推定をサポートしていることがその意義であると考えられる。

意図推定を行う際には過去の経験が重要であるとされ[3]、過去の経験の想起は感情によって影響を受けることが知られている[4]。このように経験を利用した意図推定をするために感情が行動に影響すると考えられているが、感情が行動に及ぼす効果は、状況によって異なると考えられる。古くから最適覚醒水準理論[5]など、課題の難易度と感情の効果に関する理論が提案されている。また、感情の影響は、熟達化によっても変化する。近年の認知モデルの研究において、経験に埋め込まれた感情の影響が手続きとして畳み込まれ、感情による認知課題への影響が低減する理論が提案されている[6]。

本研究では上記のような状況による意図推定に及ぼす感情の影響を観察するために、認知モデルを用いた協力ゲームのシミュレーションを実施する。シミュレーションは感情に基づいて経験を想起し意図推定を行う

ことが協調行動の成功につながるという仮説に基づいて行われた。また意図推定に利用される経験を多く積んだ熟達者と経験の少ない初心者とでは差が見られると考えられる。経験を知識として獲得したモデルとそうでないモデルの振る舞いの違いから、社会行動を円滑に遂行するための能力としての感情の役割を検討する。

### 2 シミュレーション課題

本研究ではプレイヤー間の意図推定を通じた協力が必要なゲーム、Hanabiを課題とする。過去、このゲームにおける協調や意図推定に関する研究が行われ[7, 8]、その計算機モデル[9, 10]が構築されている。

Hanabiは2人から5人用のゲームであるが、本研究においては簡略化のために2人でのプレイのみを扱う。ゲームには5色(白・赤・青・黄・緑)50枚のカード(各色ごと1のカードが3枚、2から4のカードが2枚、5のカードが1枚)と赤と青の2種類のトークンが含まれている。ゲームの目標は、協力して同じ色のカードを数字の昇順に重ねていき、より多くのカードを場に出すことである。

ゲーム開始時、カードをシャッフルしそれぞれのプレイヤーに5枚ずつ配り、そのプレイヤーの手札とする。この手札の内容を、所持しているプレイヤーは確認できない。他のプレイヤーのみがその内容を確認できる。手札とならなかったカードは山札とする。全プレイヤーで共有のものとして青トークンを8枚、赤トークンを0枚所持した状態で最初のプレイヤーの手番が開始される。

プレイヤーには順番に自分の手番が与えられ、以下の三つの行動のいずれかを行い次のプレイヤーの手番に移る。

- ヒント：他プレイヤー一人に対し、そのプレイヤーの所持しているカードが持つ色一つ、または数字一つを選択し、選択した色もしくは数字を持つカード全てを教える。ヒントが行われると青トークン1枚が消費される。青トークンが0枚でコストが支払えない場合、この行動は実行できない。
- 破棄：自分の手札のカード1枚を破棄し、山札から1枚新しいカードを手札に加える。破棄されたカードは自分も含め全員が確認することができ、ゲーム中は使用できなくなる。カードの破棄を実行した場合、青トークンが1枚回復する。これにより青トークンが初期値を超えることはない。
- プレイ：プレイしたカードは公開され、プレイが成功か失敗か判定される。プレイしたカードの数値が、現在の場に存在するプレイしたカードと同色のカードの最も大きい数値よりも丁度1だけ大きいならば成功と判定され、同色のカードの上に重ねて置かれる。該当の色が一枚も配置されていない場合は0として扱い、1を置くことができる。それ以外の場合は失敗と判定され、プレイしたカードは使用できなくなる。失敗した場合には青トークンの回復は起きず、さらに赤トークン一つを獲得する。その後、成功した場合でも失敗した場合でも山札から1枚手札に加える。

ゲームの終了条件は三つ存在する。一つ目は赤トークンを3枚獲得すること。二つ目は山札が0枚になったのちに全てのプレイヤーが1度ずつ行動すること。三つ目は5色の花火全てが5枚重ねられ完成することである。終了条件を満たしたならば得点を計算する。得点は場に重ねられたカードの枚数の合計となり、最大値は5色×5枚の25点である。

### 3 モデル

先行研究 [10] を基に本研究のモデルを開発した。このモデルは、認知アーキテクチャACT-R[11]を使用し、事例の利用に基づく意図推定を、感情に該当するパラメータを介して実行する。さらに協調の熟達を表現するために、ヒューリスティクスに基づく行動決定のルールを実装した。図1はモデルのターンが開始されてから終了するまでの行動を表したフローチャートである。

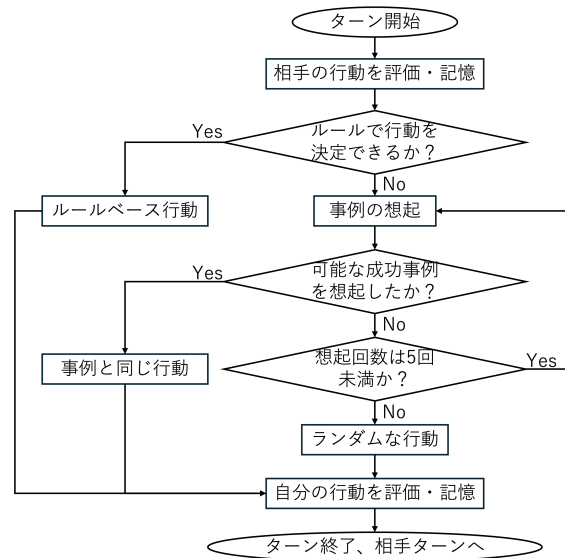


図 1: モデルの行動決定フローチャート

#### 3.1 行動決定のヒューリスティクス

行動の決定に際し、モデルは手続的知識として獲得されたルール [8] に優先的に従う。6つのルールを有し、それぞれのルールは以下の優先順位を持つ。

1. 確定カードのプレイ：色と数字の両方が判明している自分の手札のカードでプレイして成功するものがあればそれをプレイする。
2. プレイ可能カードへの確定化ヒント：ヒントが出せる状況で、色と数字の片方のみが判明している相手の手札のカードにプレイして成功するものがあれば、そのカードのまだ判明していない情報のヒントを出す。
3. 単独カードへのヒント：ヒントが出せる状況で、相手の手札のカードにプレイして成功するものがあり、相手の手札に同じ色または数字のカードが存在しない場合、その単独のカードの情報のヒントを出す。
4. 確定カードの破棄：色と数字の両方が判明している自分の手札のカードで既に同じ色・同じ数字のカードがプレイ成功しているものがあればそのカードを破棄する。または両方が判明している同じ色・同じ数字のカードを2枚以上持っている場合そのカードを破棄する。
5. プレイ可能カードへのヒント：ヒントが出せる状況で、相手の手札のカードにプレイして成功するものがあれば、そのカードのまだ判明していない情報のヒントを出す。
6. 破棄可能カードへのヒント：ヒントが出せる状況で、相手の手札に既に同じ色・同じ数字のカードがプレイ成功しているものがあれば、そのカードのまだ判明していない情報のヒントを出す。

W	R	B	Y	G
1	0	2	1	3

図 2: 場の情報の例

W		Y		
	1	2	2	

図 3: 自分の手札の例

### 3.2 事例に基づく行動決定

上記の手続き化されたヒューリスティクスのいずれも適用できない場合、記憶された事例に基づいた行動の決定を試みる。記憶検索に使用される事例は、自分もしくは相手が行動を実行し、その結果の成否が判明した時に記憶される。事例に含まれる情報は以下から構成される。これらの例を、図 2、図 3、図 4、図 5 に示す。

- 行動の種類別：ヒント、破棄、プレイのいずれか。
- 行動の成否：その行動が成功したか否か。プレイの場合は得点の加算、ヒントの場合は直後に相手が得点、破棄の場合は捨てたカードが既に場に出て成功したカードと同じ色・同じ数字であれば成功と判定。
- 行動の対象となったカードの情報：行動の種類がプレイもしくは破棄であった場合はそのカードの色と数、行動の種類がヒントの場合は指定された色または数。色や数が未判明のまま行動した場合には、未判明として記憶。
- 場に出ているカード：5色のそれぞれについて、どの数字までが場に出されているかを示す。
- 自分の確認できる手札：ヒントによって判明している自分の手札の情報。
- 相手の相手自身から確認できる手札：自分が相手に与えたヒントの情報。
- 相手の他者から見た完全な手札：相手から確認できないものも含めた相手の手札の完全な情報。
- 残りのカード：hanabiの全てのカードの種類ごとの枚数から確認したカードを引いたもの。確認したカードは場に出されたもの、捨てられたもの、相手の手札にあるもの、そして自分の手札にあり色・数ともに判明しているもの。
- 直前の行動：相手が直前に行った行動、行動の種類とその対象の情報が含まれる。

記憶された事例は、図 1 に示す手続きで利用される。初めに現在の状況を基に過去の事例の検索を行う。この際、ACT-Rの部分一致機能を用いることで、完全に同一でなくとも最も類似したものが想起される。事例の検索が為され、成功した事例であった場合はその事

W	W			G
	1		1	
W	W	R	B	G
3	1	2	1	4

図 4: 相手の手札の例

例通りに行動を行おうとする。想起された事例が失敗のものであった場合や、何も想起できなかった場合、もしくは想起したが事例通りの行動ができない場合には、既にこの行動決定で想起した事例以外から再度想起を行う。想起の繰り返しは最大 5 回まで行われる。繰り返しの度に、部分一致のペナルティを半減させ、ランダム性を高める。5 回の繰り返しを行ったのちにも事例が検索されなかった場合は完全にランダムに行動を決定する。

想起の部分一致メカニズムでは、以下の式 1 により、記憶  $i$  の活性値  $A_i$  を求める。

$$A_i = B_i + \sum_l PM_{li} + \varepsilon \quad (1)$$

$B_i$  は記憶の利用頻度や利用されてからの時間経過によって計算されるベースレベル、 $\varepsilon$  はノイズであり、 $P$  は部分一致の不一致ペナルティ係数 (mp) である。 $M_{li}$  は事例  $i$  に含まれるそれぞれの要素  $l$  の現在の状況と

	W	R	B	Y	G
1	0	3	1	2	2
2	2	1	1	1	1
3	1	2	2	2	1
4	2	2	2	2	1
5	1	0	1	1	1

図 5: 残りのカードの例

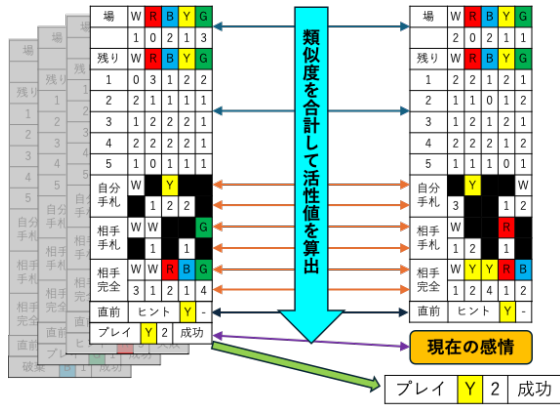


図 6: 想起の例

の一致度である。

類似度である  $M_{li}$  は、完全一致を 0, 完全不一致を -1 とし、事例に含まれる各情報ごとに計算される。場に出ているカード及び残りのカードについては、(一致した要素の数/要素数)-1 と計算される。要素数は場のカードであるならば色の数である 5, 残りのカードの情報であるならば 5 色 × 5 数字の 25 である。手札の情報の場合は、色・数それぞれの頻度を要素とするベクトルのコサイン類似度 -1 が用いられる。直前の行動の種別、及び対象の情報は類似を持たず、一致していなければ完全不一致とした。行動の成否に関しては、次節に示される感情の影響に従った類似度が計算される。

これらの類似度を合計し、最も類似している事例が想起される。想起の例を図 6 に示す。事例が想起され、その行動が成功していた場合は事例と同じ行動を行う。

### 3.3 感情の影響

モデルの感情は最小 -1, 最大 1 である二つのパラメータ, Valence(感情価) と Arousal(覚醒度) として表され、その値により事例の想起が変化する。感情価については、類似度の計算として事例の想起に影響する。現在の感情価 (Valence) を  $V$ , 対象の事例の成否を  $V_i$  としてその差を式 2 で計算する。

$$M_{li} = -|V - V_i|/2 \quad (2)$$

この時  $V_i$  は成功事例であれば完全にポジティブであるとして 1, 失敗事例であれば完全にネガティブであるとして -1 となる。これは感情価の想起への影響として気分一致効果 [4] を認知モデル的に表現したものである。記憶した事例が成功したものであればポジティブ, 失敗であればネガティブであるとラベルづけをすることにより現在の感情価との距離を測り、近いものが想起されやすくなる。

表 1: 行動と感情の変化

成功評価	事例利用	感情価	覚醒度
成功	有り	増加 大	増加 大
成功	無し	増加 小	減少 小
失敗	有り	減少 大	増加 大
失敗	無し	減少 小	減少 小

覚醒度は、式 1 における  $B_i$  に影響する。このパラメータのオフセット値を 0.5 倍から 1.5 倍に変動させる。これにより覚醒度が高い場合には想起が成功しやすく、低い場合には失敗しやすくなる。

感情の更新には予測誤差の考えを基とし、予測誤差が解決に向かうことが快、離れることが不快とする Joffily によるモデルを参考とした [12]。これを計算機モデルに実装するためにルールベース行動、事例利用行動、ランダム行動のいずれを基に行動を行ったかによって変動の仕方に違いを持たせた。ルールベース行動の場合は、ほぼ必ず成功し予測と結果との差異が小さいため感情は大きく変動しない。ランダム行動では、不確定なままに行動しているために予測・経験の精度が共に低いため大きく変動しない。事例利用行動では予測を行い、成功を期待しているために成功すれば予測誤差の解決に向かうため大きく快に変動、失敗すれば解決から遠ざかるために大きく不快に変動する。また覚醒度に関しても大きな変動が起きる事例利用行動を行った場合に増加、大きな変動が起きないその他の場合には時間経過による微量の減少を適用した。表 1 に感情パラメータの増減をまとめた。

感情の更新には以下の式 3 を用いた。

$$V_{t+1} = V_t + \alpha(r - V_t) \quad (3)$$

感情価の変動の場合  $r$  は成功時は 1, 失敗時は -1 であり、事例利用時は  $\alpha = 0.2$ , 非利用時は  $\alpha = 0.02$  とした。覚醒度の変動の場合は事例利用時は  $r = 1$ ,  $\alpha = 0.2$ , 非利用時は  $r = -1$ ,  $\alpha = 0.01$  とした。

## 4 シミュレーション

### 4.1 狙いと設定

事例に基づく意図推定の過程に、前節で示した感情がどのような影響を及ぼすのかを観察するため、モデル 2 体が参加するシミュレーションを実施する。状況に応じた感情の影響を検討するために、3.1 におけるヒューリスティクスの獲得状況および課題の難易度を以下のように操作する。

- 難易度: 感情の影響を排除したモデル同士による事前シミュレーションにより、開始時のデッキ配

列によってゲームのスコア平均が大きく変化することが確認されている。無作為に作成された10種類の初期配列を用いてそれぞれ100事例シミュレーションしたところ、平均スコアが最も高くなったデッキでは16.0点、最も低くなったデッキでは11.3点というスコアが得られた。この最も平均スコアが高くなったデッキ配列を「低難易度条件」、最もスコアが低くなったデッキ配列を「高難易度条件」とし、難易度ごとに各試行で同一の初期配列を用いた。

- 熟達度：3.1に示した行動決定のヒューリスティクスは、人間にとって所与のものではなく、事例に基づく行動決定の繰り返しにより獲得されたと考える。この考えに基づき、3.1のヒューリスティクスを操作することで、初心者条件と熟達者条件を設定した。初心者条件は、相手の意図を用いた行動を行わず、ゲームのルールから導かれるヒューリスティクスのみを用いる。具体的には、「1. 確定カードのプレイ」、「2. プレイ可能カードへの確定化ヒント」、「4. 確定カードの破棄」のみを利用する。それに対して熟達者条件では、1から6の全てのヒューリスティクスを利用した行動決定を行う。

## 4.2 シミュレーション1: 固定感情

本研究の焦点である感情についての段階的な検討を行うため、感情パラメータを固定したシミュレーションを行った。前節に示した式3を含まないモデルは、初期に設定した値に固定された感情パラメータに従った事例の想起を行う。

### 4.2.1 シミュレーション1 手続き

一回の実行において、モデルは、ゲーム開始から終了までを1試行とする連続した2試行を実施する。連続した試行の間で、モデルは事例の記憶と利用を行う。「ネガティブ条件(覚醒度0,感情価-1)」、「ニュートラル条件(覚醒度0,感情価0)」、「ポジティブ条件(覚醒度0,感情価1)」を設定し、それぞれにおいて難易度と熟達度の各条件ごとに100実行ずつ繰り返す。

感情条件が異なることにより、意図推定に用いられる経験の想起が変化する。ネガティブ条件の場合、失敗事例との類似度が高いため失敗事例が想起されやすくなり、経験を用いた行動決定はされづらい。ポジティブ条件の場合、成功事例との類似度が高く想起されやすいため、経験を用いた行動決定を多く行う。ニュートラル条件では失敗事例と成功事例との間で同じ類似度を持つため、経験の利用頻度は中間になる。感情条

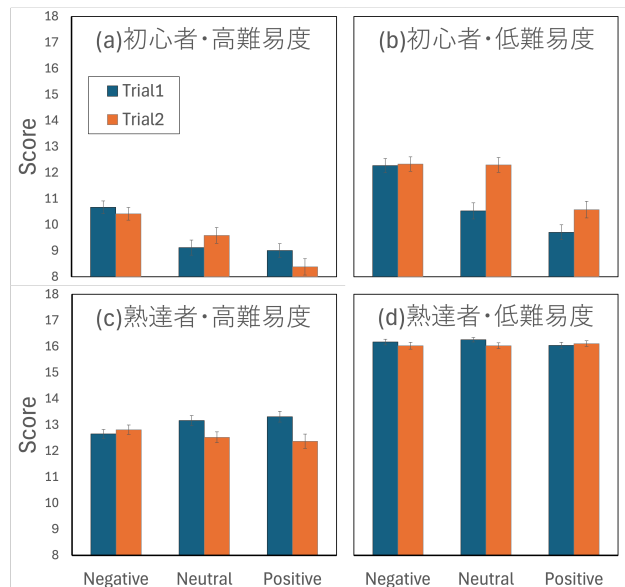


図7: シミュレーション1: 固定感情のスコア

件によって事例に基づく行動決定の頻度に変化し、協調に適した感情パラメータの確認を行う。

### 4.2.2 シミュレーション1 結果

結果を図7に示す。それぞれのグラフの縦軸は100実行のスコア平均値とその標準誤差である。初心者条件と熟達者条件で、スコアに及ぼす感情の影響が大きく異なった。初心者条件は、ネガティブ条件で最もスコアが高く、ポジティブ条件で最もスコアが低い結果となった。また、試行間でのスコアの変動はネガティブ条件では認められず、ニュートラル及びポジティブ条件において認められた。初心者・高難易度におけるポジティブ条件では学習(事例の蓄積)によりスコアが低下し、初心者・高難易度のニュートラル条件、初心者・低難易度のニュートラル及びポジティブ条件においてはスコアが上昇した。一方、熟達者条件では、試行間の差異や感情による影響がほとんど認められなかった。その中で、熟達者・高難易度条件におけるポジティブ条件とニュートラル条件は、初心者・高難易度・ポジティブ条件と同様、学習によるスコアの低下を示した。

上記の結果のうち、熟達者条件において学習効果が観察されなかった理由は、熟達者の行動がヒューリスティクスによって大きく固定されているためと考えられる。熟達者の行動決定は、協力が成功するように最適化されており、経験の利用により、協力が向上する余地は残されていないと考えられる。そのため、ヒューリスティクスの適用が困難であり、かつ事例に基づく行動決定の機会が増加する高難易度条件では、成功事例の活性値を下げるネガティブ条件以外で、学習に

よるスコアの低下が示されたと考えられる。

上記の熟達者・高難易度条件に示される成績の低下は、初心者・高難易度・ポジティブ条件においても観察される。高難易度条件において、事例利用が負の効果を示すことは、リスク容認的な行動の観点から説明できる。ポジティブ条件は、成功事例の想起における部分一致のペナルティを小さくし、記憶事例と多少の差があった場合でも事例に基づく行動を行う。そもそも行動の成功率の小さい高難易度条件において、リスク容認的な振る舞いは、点数の低下を導くと考えられる。その一方、低難易度条件においては、高難易度条件と比べてリスク容認的な行動が成功しやすい環境であったと考えられる。

### 4.3 シミュレーション 2: 変動感情

シミュレーション 1 で観察された感情の負の効果が、感情変動の仕組みを取り入れることで調整されるのかを検討した。式 3 をモデルに含むことにより、行動の成否に応じた感情パラメータの変動が発生する。変動した感情を用いた想起により状況に適応した想起を行うかを確認する。

#### 4.3.1 シミュレーション 2 手続き

シミュレーション 1 と同様に、一回の実行において、モデルはゲーム開始から終了までを 1 試行とする連続した 2 試行を実施する。連続した試行の間で、モデルは事例の記憶と利用を行う。覚醒度 0、感情価 0 を初期値として、式 3 に従い感情パラメータが変動する「感情変動条件」を設定し、難易度と熟達度の各条件ごとに 100 実行ずつ繰り返す。

感情が変動することにより、意図推定に用いられる経験の想起が変化する。感情価の変化により事例の成否との類似度が変化するため、感情価の低下により経験を利用した行動は少なくなり、感情価が上昇すると多くなる。覚醒度の変化は成否に関わらず全ての事例の想起されやすさにつながり、覚醒度が低い場合は事例が想起されない可能性がある。そのため覚醒度の低下は経験利用行動の減少に、覚醒度の上昇は増加につながる。シミュレーション 1 において観察された、リスクの観点によって環境に応じた適切な感情価が存在することから、感情価が調整されることによりスコアは上昇すると考えられる。

#### 4.3.2 シミュレーション 2 結果

感情変動条件とニュートラル条件の結果を比較した。図 8 に条件別のスコアの変化を示す。

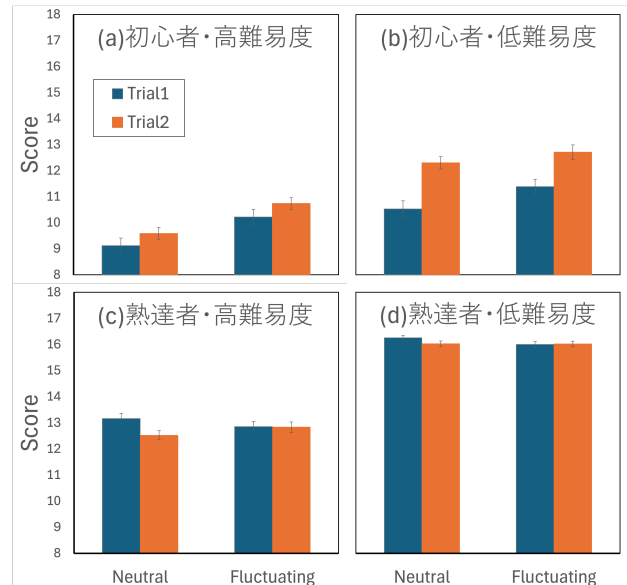


図 8: シミュレーション 2: 変動感情のスコア

初心者条件では、高難易度、低難易度ともに感情変動条件がニュートラル条件のスコアを上回った。学習の効果は、ニュートラル条件と同様、スコアの上昇として観察された。一方、熟達者モデルでは 2 条件でのスコアの顕著な差は見られなかった。特筆すべき点として、熟達者・高難易度条件において認められたニュートラル条件におけるスコアの低下が抑制された。

初心者モデルにおいて感情変動条件のスコアがニュートラル条件を上回ったことは、状況に応じた感情パラメータの調節が有効に機能したことを示している。このような感情調整の効果は、熟達者条件においても、経験の利用による負の影響の抑制という形で観察された。

## 5 考察

本研究では、感情が意図推定に影響を及ぼすことにより、協調行動の成否が変化すると想定し、感情を用いて想起を行う Hanabi エージェントのモデルを構築した。利用可能なヒューリスティクスの少ない初心者に対応するモデルは、想起に感情を利用することにより意図推定が変化し、環境に合わせた感情状態では協調の成功に、環境に適していない感情状態では協調の失敗に繋がった。一方知識を多く持つ熟達者に対応したモデルは、想起があまり発生しないことから感情による影響は相対的に小さくなり、感情の影響は有用なものではなくなった。また、感情の変動をモデルに取り入れることによって適切な感情状態に調節されることが観察された。変動する感情を持つ初心者モデルは、適切な感情となることによって協調が成功しやすくなった。

た。一方熟達者モデルが変動する感情を持ったとしても、成功の増加には繋がらなかった。

上記の結果は、行動決定における感情の機能が、課題の難易度や熟達度などの状況に応じて変化することを示している。このような課題の難易度に応じた感情状態の調整は、古くから最適覚醒水準理論などの観点から検討されている。本研究においては覚醒度ではなく感情価に焦点を当て、課題難易度に応じた最適な感情価が存在することが示唆された。また、課題の熟達による感情の影響の変化は、近年の認知モデルの分野における感情の研究と整合する。Conway-Smith[6]は、類似した経験が繰り返されることで、経験に付随する感情が手続き記憶に畳み込まれ、認知的課題に及ぼす感情の影響が減少するモデルを提唱している。

本研究のモデルによって感情による協調行動への影響は確認できたが、意図推定への直接の影響は確認できなかった。環境に応じた感情の調整によって、リスク判断が行われたが、社会化が行われたことによるものは不明であった。感情による社会化の例として、共通の感情状態により空気感が醸成される、といったものが考えられる。本研究のシミュレーションにおいては2体のモデルが同じ感情パラメータ、及び同じ変動の構造を持ったものであった。社会化や意図推定に及ぼす共通の感情状態の効果を検討するためには、異なった感情である場合に協調行動が成功するかをシミュレーションによって検討する必要がある。

さらに、将来的には本研究で得られた成果を発展させ、感情と意図推定の成功に関するより完全なモデルを検討していく必要がある。そのためには、モデル間の条件のみならず、本研究のモデルには含まれなかったヒューリスティクスの獲得に至る学習プロセスの検討が必要である。また、そのような意図推定の成功に有効なルールを経験からの学習によって獲得するためには、失敗事例からの学習などを盛り込む必要があるだろう。

## 参考文献

- [1] Leda Cosmides and John Tooby. *Evolutionary psychology: A primer*, Vol. 13. Citeseer, 1997.
- [2] 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.
- [3] 森田純哉, 金野武司, 奥田次郎, 鮫島和行, 李冠宏, 藤原正幸, 橋本敬. 協調的コミュニケーションを成立させる認知的要因-認知アーキテクチャによるシミュレーション. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 20, No. 4, pp. 435–446, 2018.
- [4] Gordon H Bower. Mood and memory. *American Psychologist*, Vol. 36, No. 2, p. 129, 1981.
- [5] Robert Mearns Yerkes, John D Dodson, et al. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. 1908.
- [6] Brendan Conway-Smith and Robert L West. The computational mechanisms of detached mindfulness. *ArXiv Preprint ArXiv:2409.15289*, 2024.
- [7] 大澤博隆. 協力ゲーム 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 第 29 回 (2015), pp. 1F23–1F23, 2015.
- [8] Kansei Miyata and Hirotaka Osawa. Enhancing cooperative behavior through subtle communication cues: The impact of hint order and hesitation in hanabi. In *Proceedings of the 12th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 444–446, 2024.
- [9] 桑原涼香, 長島一真, 森田純哉, 宮田貫誠, 川越敦, 大澤博隆. 協力ゲーム hanabi を用いた察するコミュニケーションのモデル構築. may 2023.
- [10] 河路墨生, 森田純哉, 大澤博隆. 協力型ゲームのシミュレーションを通じた情動とその伝染による協調行動への影響の理解. 第 2024-ICS-214 巻, pp. 1–8, 2024.
- [11] J. R. Anderson. *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?* Oxford University Press, 2007.
- [12] Mateus Joffily and Giorgio Coricelli. Emotional valence and the free-energy principle. *PLoS Computational Biology*, Vol. 9, No. 6, p. e1003094, 2013.