

# Lattice of Emotions Simulator (LoES) : 複数の感情変化の連続性を表すマルチエージェントシミュレータの初期的検討

玉本 孝哉<sup>1\*</sup> 柳 朋輝<sup>1</sup> 米澤 朋子<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 関西大学

<sup>1</sup> Kansai University

**Abstract:** 本研究では, Russell の感情円環モデルの二次元空間上にノードを均等配置し, その間を複数の粒子エージェントが遷移する感情表現モデルを提案する. 本モデルは, 感情状態を粒子分布として表現することで, 従来手法では扱いづらい感情ブレンドや遷移遅延を状態の重なりや分散として時間的かつ連続的に表現できる. 本研究は, 密な心理モデル化を目的とせず, エージェントやロボットへの応用を想定した感情内部表現のための探索的ツールとして位置づける.

## 1 はじめに

近年, 大規模言語モデル (LLM) の発展に伴い, 自然言語理解・生成能力を有する仮想エージェントが多様な領域で活用されつつある. 具体的な例として, LLM を組み込んだマルチエージェントシステムがシミュレーション内で自律的な意思決定や協調動作を実現するといった研究が報告されている [1]. また, LLM を用いた対話エージェントの設計 [2] やモバイルアプリ操作の自動化を実現する仮想アシスタントの実装例 [3] も示されている. このように, LLM を中核とする仮想エージェントは単なるチャットボットにとどまらず, 応用範囲の広い AI システムとして研究・実用化が進んでいる. このような仮想エージェントにおいて, 感情や共感の表現に注目が集まっている. 例えば, 音声アシスタントにおいて, Ma らや Mari らはユーザに対するポジティブな共感表現がユーザの利用意欲を高めることを報告している [4][5]. 一方で, これらの感情・共感表現を支える内部モデルとしての感情遷移は, 状態遷移規則 [6] や確率的な枠組みに基づく手法 [7], あるいはファジィ推論 [8][9] に基づいて設計されることが多かった. これらの手法は感情状態の切り替えを明示的に制御できる一方で, 感情状態を離散的に扱う傾向があり, 複数の感情が同時に生起する状態や遷移過程の連続性を十分に表現することは難しい. そこで本研究では, Russell の感情円環モデル [10][11][12] に基づく二次元感情空間上にノードを均等配置し, その間を複数の粒子エージェント (以降, 感情子) が遷移する感情表現モデルを提案する. 本モデルは, 感情状態を連続的に扱い, 感情子の分布や遷移過程を通じて, 感情ブレンド [13], 困惑, 遷

移の遅延といった現象を表現可能な枠組みとして構成されている. また, 本研究では本モデルの挙動を簡素に再現・観察可能なシミュレータ Lattice of Emotions Simulator (以降, LoES) を実装し, 感情遷移の振る舞いを定性的に検討する. なお, 本研究は心理学的理論の厳密な検証を目的とするものではなく, 仮想エージェントにおける感情遷移の設計や理解を支援する表現的枠組みの提示を主眼とする.

本研究の主な貢献は以下の 3 点である.

1. 感情子分布のダイナミクスとして感情遷移を表現する新たな枠組みの提案
2. 感情ブレンドや遷移遅延を統一的に扱える表現モデルの構築
3. 感情遷移の挙動を定性的に観察可能なシミュレータ LoES の実装

## 2 関連研究

### 2.1 感情モデル

感情状態を記述するモデルは, 心理学や認知科学の分野において, これまでに多様な枠組みが提案されてきた. 代表的なものとして, 感情を有限個のカテゴリとして扱う離散的なモデルと, 連続的な空間上の状態として扱うモデルが挙げられる.

離散的な感情モデルの例として, Ekman による基本六感情 [14] や, Plutchik による感情の輪 [15] が知られている. これらのモデルは, 感情を明確なカテゴリとして整理できる利点があり, 感情認識や表情分析などの応用において広く知られている. 一方で, 感情状態

\*連絡先: 関西大学総合情報学研究科知識情報学専攻  
〒 569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1  
E-mail: yone@kansai-u.ac.jp

の連続的な変化や、複数の感情が同時に生起する状態を表現することは難しい。

これに対し、連続的な感情モデルとしては、Russellによる感情円環モデル [10][11][12] や、Valence・Arousal・Dominance の三軸で感情を表現する PAD モデル [16] などが提案されている。これらのモデルは、感情を低次元の連続空間上の状態として表現できるため、感情の強度や中間状態を自然に扱うことが可能である。

本研究では、感情遷移を連続的なダイナミクスとして扱うこと、および後述する格子構造への実装の容易性を考慮し、Russell の感情円環モデルに基づく二次元感情空間を採用する。

## 2.2 従来の感情遷移モデル

感情状態の時間的な変化を扱う感情遷移モデルについても、これまでに様々な手法が提案されてきた。代表的なアプローチとして、ファジィ推論に基づくモデル [8][9] や、確率的遷移モデル [7] が挙げられる。これらの手法では、現在の感情状態と外部刺激に基づいて、次の感情状態を規則的または確率的に決定する。

これらの従来手法は、実装が比較的容易であることや、感情状態の切り替えを明示的に制御できる点に利点がある。そのため、対話エージェントやソーシャルロボットにおける感情表現の内部モデルとして広く用いられてきた。

一方で、多くの従来モデルでは、感情状態や遷移過程が離散的に扱われる傾向が強く、複数の感情が同時に生起する状態や、感情が徐々に変化する過程を連続的に表現することは難しい。また、感情遷移の速度や遅延といった時間的特性を柔軟に制御することも課題として残されている。

## 2.3 感情ブレンド

感情は単一の状態としてのみ生起するのではなく、複数の感情が同時に生起する状態が存在することが心理学的に報告されている。このような状態は、一般的に複感情 (mixed emotions) として議論されており、特にポジティブ感情とネガティブ感情が同時に生起する事例が多く検討されてきた。

Larsen らは、複感情に関する先行研究を整理し、複感情を「正の感情価と負の感情価をもつ感情が同時に生起する状態」と位置づけている [17]。また、映画鑑賞 [18] や音楽聴取 [19][20]、意味的な終わりを伴う出来事 [21] などの文脈において、幸福と悲しみが同時に経験され得ることが複数の研究で報告されている。

一方で、感情の同時生起は、必ずしも相反する感情価の組み合わせに限られるものではない。Scherer は、複数

の感情が同時に生起する状態を感情ブレンド (emotion blends) として整理し、同符号感情と異符号感情の双方を含む、より広い概念として位置づけている [13]。この観点では、複感情は感情ブレンドの一部分集合として捉えられる。

### 2.3.1 感情ブレンドを扱うエージェント研究

感情ブレンドの概念を明示的または暗黙的に扱うエージェント研究もいくつか報告されている。

例えば、黒須らは、コミュニケーションエージェントにおいて、Ekman の基本六感情をファジィ認知マップにより相互接続し、「幸福だが悲しい」「悲しくて恐ろしい」といった複数の感情が同時に励起する状態を表現可能な感情モデルを提案している [9]。この研究では、時間遅れや重みの動的変化を導入することで、情動と気分の差異や周期的な感情変動を表現している。一方で、感情は離散的なカテゴリとして扱われており、感情空間上の連続的な遷移としては定式化されていない。

また、近年では LLM を用いたエージェントにおいて、複数の感情状態を同時に保持・更新する研究も報告されている。[22] これらの研究では、状況に応じて異なる感情が重ね合わさる振る舞いが観察されるものの、感情ブレンド自体を理論的に定義した上で連続的な感情遷移としてモデル化する枠組みは必ずしも明確とは言えない場合が多い。

## 3 提案システム (Lattice of Emotions Simulator)

本章では、本研究で提案する感情遷移モデル、およびそのシミュレータである LoES の構造と動作原理について述べる。本モデルの特徴は、感情ブレンドや遷移遅延といった現象を個別に定義・実装するのではなく、感情子分布のダイナミクスとして統一的に扱う点にある。また、本モデルでは、心理学的妥当性の厳密な検証を主目的とはせず、感情遷移表現としての表現力・設計可能性・拡張性を評価軸とする。

### 3.1 モデルの基本構造

LoES では、感情状態を二次元の感情空間上で表現する。この空間は Russell の感情円環モデルに基づき構成され、感情空間を離散的に扱うためのノードが均等に配置されている。LoES における各ノードは特定の感情語に対応づけられるものではなく、感情空間上の位置情報としてのみ扱われる。これらのノードは格子状にエッジで結合され、そのエッジに沿って複数の感情

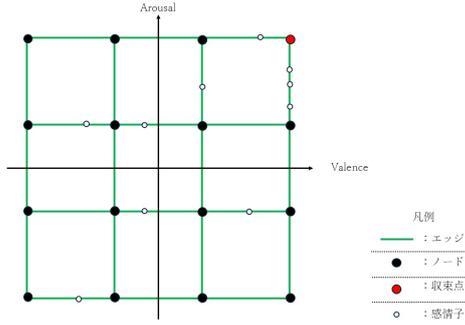


図 1: LoES における基本構造の概念図

子が後述の規則に従って運動する。原則として、LoES では感情子の密度が高い箇所をモデル内で生起している感情状態として扱い、個々の感情子自体に心理学的意味を付与するものではない。また、LoES では格子内のノードのうち、1つが収束点として設定される。収束点は、感情子の遷移傾向に影響を与える特別なノードであり、各収束点には後述する収束点係数が設けられている。LoES の基本構造のイメージを図 1 に示す。なお、図 1 では  $4 \times 4$  の格子を例示しているが、格子の分解能やサイズは任意に設定可能である。

### 3.2 感情子の運動規則

本節では、LoES における感情子の運動規則について説明する。本モデルでは、感情遷移の不確実性や揺らぎを表現するため、遷移規則を確率的に定義している。

感情子は後述するエッジ抵抗、ノード入力抵抗、ノード出力抵抗、収束点係数に基づいて、確率的に運動方向を決定する。運動方向は、感情子が収束点を除くいずれかのノードに到達した際に更新され、ノード間の移動中には変化しないものとする。

#### 3.2.1 エッジ抵抗

エッジ抵抗は隣接ノード間の遷移のしやすさを制御するために各エッジに設けられたパラメータであり、感情子が通過しやすい経路と通過しにくい経路を表現するために用いられる。エッジ抵抗のみを考慮した場合、感情子はエッジ抵抗の小さい経路を優先的に選択しながら、確率的に格子内を移動する。

各遷移方向の選択確率は、エッジ抵抗に比例したコストに基づく softmax 関数により定義される。そのため、エッジ抵抗の差が大きい場合には、低抵抗のエッジが選択される確率が高くなり、抵抗差が小さい場合には遷移はよりランダムになる。

エッジ抵抗の具体例として、 $3 \times 3$  の格子を図 2 に示し、各ノードをノード  $N_1 \sim N_9$  として区別する。感情

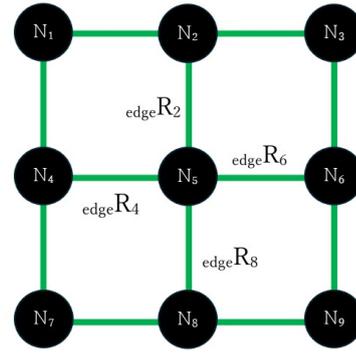


図 2: エッジ抵抗の説明例

子がノード  $N_5$  に到達した場合、次に感情子が向かうノードの候補はノード  $N_2, N_4, N_6, N_8$  である。ノード  $N_5$  と遷移候補ノード  $N_2, N_4, N_6, N_8$  との間のエッジ抵抗値を  $edgeR_2, edgeR_4, edgeR_6, edgeR_8$  と定義した場合、ノード  $N_5$  からノード  $N_i (i \in \{2, 4, 6, 8\})$  に遷移する確率は式 1 に従う。

なお、格子の端や角に位置するノードにおいて、遷移候補ノードの数が 4 未満となる場合にも、遷移確率は利用可能な遷移候補に対して同様に定義される。

$$P(N_5 \rightarrow N_i) = \frac{\exp(-edgeR_i)}{\sum_{j \in \{2, 4, 6, 8\}} \exp(-edgeR_j)} \quad (1)$$

#### 3.2.2 ノード入出力抵抗

ノード入力抵抗およびノード出力抵抗（以降、これらを総称する場合はノード入出力抵抗と呼ぶ）は、遷移傾向に指向性を持たせるためにノードごとに設けられたパラメータである。これらは、「ノード A からノード B には遷移しやすいが、ノード B からノード A には遷移しづらい」といった非対称な遷移環境を表現するために用いられる。

ノード入出力抵抗の具体例として、前小節と同様に  $3 \times 3$  の格子を図 3 に示し、各ノードをノード  $N_1 \sim N_9$ 、ノード入力抵抗を  $inR_1 \sim inR_9$ 、ノード出力抵抗を  $outR_1 \sim outR_9$  として区別する。感情子がノード  $N_5$  に到達した場合、次に向かう候補ノードは  $N_2, N_4, N_6, N_8$  である。このとき、ノード  $N_5$  からノード  $N_i (i \in \{2, 4, 6, 8\})$  への遷移に対応するコストは、ノード出力抵抗  $outR_5$  と遷移先ノードの入力抵抗  $inR_i$  の和として定義される。そのため、ノード入出力抵抗のみを考慮した場合、ノード  $N_5$  からノード  $N_i$  への遷移確率は式 2 に従う。

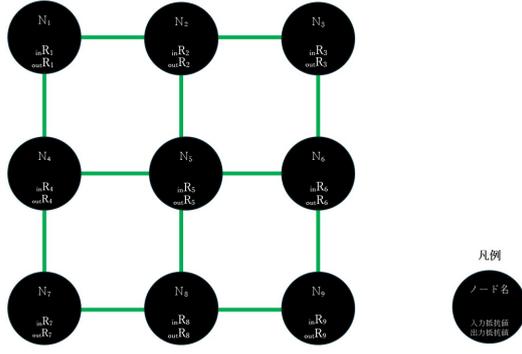


図 3: ノード入出力抵抗の説明例

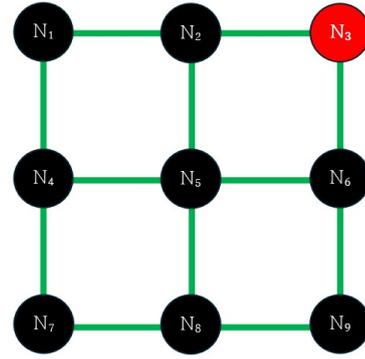


図 4: 収束点係数の説明例

$$P(N_5 \rightarrow N_i) = \frac{\exp(-(outR_5 + inR_i))}{\sum_{j \in \{2, 4, 6, 8\}} \exp(-(outR_5 + inR_j))} \quad (2)$$

### 3.2.3 収束点係数

収束点係数は、格子に設定された収束点へ向かって感情子が集中的に遷移する傾向を与えるために導入されたパラメータである。本モデルでは、感情の分散や遅延を表現可能とすることを基本的な性質としているが、従来の感情遷移モデルに見られるような即時的な感情遷移が表現として妥当な場面も存在する。例えば、闘争逃走反応のように、エージェントの生存に関わる状況では、急速に感情が遷移することが求められる。そのような表現上の要請に対応するため、本モデルでは収束点係数を導入している。

収束点係数の具体例として、前小節と同様に  $3 \times 3$  の格子を図 4 に示し、各ノードをノード  $N_1 \sim N_9$  として区別する。ここでは、ノード  $N_3$  を収束点とし、収束点係数を  $\beta$  と定義する。隣接ノード間の距離を 1 とし、ノード  $N_1$  の座標を原点とすると、各ノードの座標は格子構造に従って定まる。このとき、遷移候補ノード  $N_i$  と収束点  $N_3$  とのマンハッタン距離  $d_i$  は、両者の座標差に基づいて定義される。例えば、感情子がノード  $N_5$  に到達した場合、遷移候補ノード  $N_2, N_4, N_6, N_8$  と収束点のマンハッタン距離は、それぞれ 1, 3, 1, 3 である。収束点係数のみを考慮する場合、遷移コストは遷移候補ノードと収束点との距離として定義される。そのため、ノード  $N_5$  から遷移候補ノード  $N_i (i \in \{2, 4, 6, 8\})$  への遷移確率は、数式 3 に従う。

$$P(N_5 \rightarrow N_i) = \frac{\exp(-\beta d_i)}{\sum_{j \in \{2, 4, 6, 8\}} \exp(-\beta d_j)} \quad (3)$$

### 3.2.4 統合モデル

本小節では、エッジ抵抗、ノード入出力抵抗、および収束点係数を統合した場合の運動規則について説明する。統合後の本モデル（統合モデル）においても、各要素を単独で考慮した場合と同様に、遷移コストに対して softmax 関数を適用することで遷移確率を定める。統合モデルの具体例として、前小節までに示した各要素を含む  $3 \times 3$  の格子を用いる。感情子がノード  $N_5$  に到達した場合、遷移コストと遷移確率は数式 4, 5 で与えられる。ここで、 $edge\alpha$ ,  $in\alpha$ ,  $out\alpha$ , および  $\beta$  (収束点係数) は、各要素の寄与を調整するための重み係数である。

$$\begin{aligned} cost(N_5 \rightarrow N_i) = & edge\alpha \times edgeR_5 \\ & + out\alpha \times outR_5 \\ & + in\alpha \times inR_i \\ & + \beta \times d_i \end{aligned} \quad (4)$$

$$P(N_5 \rightarrow N_i) = \frac{\exp(-cost(N_5 \rightarrow N_i))}{\sum_{j \in \{2, 4, 6, 8\}} \exp(-cost(N_5 \rightarrow N_j))} \quad (5)$$

## 3.3 感情遷移のダイナミクス

本節では、前節で定義した感情子の運動規則を時間的に繰り返し適応した際に生じる感情遷移のダイナミクスについて説明する。LoES では、複数の感情子が同時に格子内を移動し、その分布の時間変化によってモデル内の感情状態を表現する。

### 3.3.1 感情ブレンド

本小節では、LoES における感情ブレンドの表現について説明する。感情ブレンドとは、複数の感情が同時

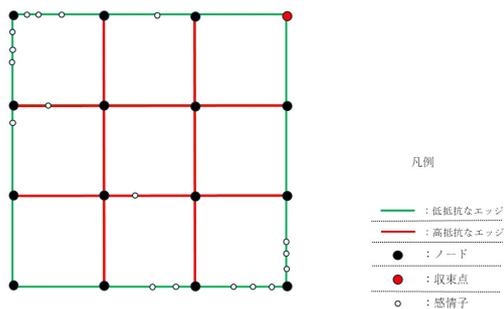


図 5: 感情ブレンドの説明例

に生起している状態を指す。3.1 節で述べた通り、本モデルでは感情子の密度が高い領域を生起感情として扱う。そのため、感情子の密度が高い領域が複数存在する場合、感情ブレンドが生じている状態と解釈される。

例として、図 5 を示す。図 5 に示す格子では、外周を構成するエッジのみエッジ抵抗が低く設定されており、それ以外のエッジはエッジ抵抗が高く設定されている。なお、本例ではエッジ抵抗および収束点係数のみを考慮する。感情子が最左下のノードに密集した状態から、最右上のノードを収束点として運動した場合、最左上付近および最右下付近の両方に感情子が密集する状態が生じる。この状態は、感情円環モデル上で対照的な位置にある低 Valence・高 Arousal の感情と高 Valence・低 Arousal の感情が同時に生起している状態として解釈できる。

なお、格子上の感情子のうち、どの程度の割合が集積した場合に感情クラスタとして扱うか、またその検出に適したクラスタリング手法については、本研究では固定せず、今後の検討課題とする。

### 3.3.2 困惑・遷移遅延

本小節では、LoES における困惑および感情遷移遅延の表現について述べる。本モデルでは、感情遷移を感情子分布の時間変化として捉えているため、困惑と遷移の遅延を厳密に切り分けて定義することは容易ではない。また、実際の人間の感情遷移を鑑みると、外部刺激への認知のしやすさや受容性に依りて困惑や遷移遅延が生じており、両者の区別は当事者の主観に委ねられているとも考えられる。両者はいずれも、感情子が収束点に到達するまでに一定の時間を要する状態として共通の振る舞いを示す。

一方で、本研究では、収束点までの遷移経路における抵抗の大きさと、その結果として生じる時間的特性の違いに着目し、概念的な区別を行う。すなわち、収束点までのエッジ抵抗やノード抵抗が高い場合、あるいは収束点係数が低い場合には、感情子が長時間にわ

たって格子内を移動し続け、明確な収束が生じづらい状態が生じる。本研究では、このような状態を「困惑」と捉える。この状態では、感情子の分布が広く分散し、感情状態が定まりづらい振る舞いが観察される。

これに対し、収束点までの抵抗が比較的 low、最終的には収束が生じるものの、一定の時間的遅れを伴って感情遷移が起こる状態を「遷移の遅延」と捉える。このような遅延は、外部刺激に対する即時的な反応ではなく、妥当な処理時間や逡巡を伴う感情遷移を表現することを目的としている。

このように LoES では、困惑と遷移の遅延を厳密に分類するのではなく、収束点への到達性と時間的スケールの違いとして連続的に扱うことで、感情遷移の多様な時間特性を同一の枠組みで表現可能としている。

### 3.3.3 性格特性の表現可能性

本小節では、LoES における性格特性の表現可能性について述べる。本モデルは感情遷移のダイナミクスを抵抗構造および収束点係数によって制御する枠組みであるため、これらのパラメータを適切に調整することで、エージェント固有の感情遷移傾向、すなわち性格特性に相当する振る舞いを表現できる可能性がある。

例えば、ノード入出力抵抗により、感情空間上で低 Valence 方向へ遷移しやすい勾配を与えた場合、収束点が感情円環モデル上の中立的な位置に設定されていても、感情子は低 Valence 方向へ遷移する。このような設定は、ネガティブな感情状態へ遷移しやすい傾向を持つ性格特性として解釈でき、Big Five 性格特性理論 [23] における神経症傾向の高さに対応する振る舞いを示す可能性がある。

また、収束点が感情空間上の極端な位置に設定されず、かつ収束点係数が小さい場合には、感情子の分布は特定の感情状態に集中しづらくなる。このような挙動は、外部刺激に対して感情的になりづらい、または感情変化が穏やかな性格特性として解釈することが可能である。

なお、本研究では、Big Five 性格特性理論などの既存の性格分類と LoES のパラメータ設定とを一对一に対応づける手法までは検討していない。性格特性の定量的表現や、既存の心理学的分類との対応付けについては、今後の課題とする。

## 3.4 シミュレータとしての実装

本節では、LoES に基づく感情遷移のシミュレーション手法、およびその実装について述べる。前節までに定義した感情遷移モデルを、計算機上で再現可能なシ

ミュレータとして構築することで、感情遷移のダイナミクスを可視化・検証することを可能とした。

LoES は Python を用いて実装した。実験条件やパラメータ設定の柔軟性を高めるため、Flask を用いた Web アプリケーションとして構成し、外部からの操作や制御を可能としている。格子の大きさ、エッジ抵抗、ノード入出力抵抗、収束点係数などの各種パラメータの設定には HTTP リクエストを用い、感情子の位置情報は UDP 通信によりリアルタイムに送信される構成とした。この構成により、シミュレーション条件の変更と状態の取得を疎結合に行うことが可能となっている。

感情子の運動は、離散的な時間ステップに基づいて更新される。ステップの粒度や感情子の移動速度は、シミュレーション設定として変更可能である。各感情子は、任意のノードに到達した際に、3.2 節で定義した運動規則に従い、遷移候補ノードへの遷移確率を計算し、その確率分布に基づいて次に移動するノードを決定する。

複数の感情子は同一の運動規則に基づき、同時刻に独立して更新される。このとき、個々の感情子間に直接的な相互作用は設けておらず、感情遷移は感情子の分布状態として間接的に表現される。初期状態としての感情子の配置などは、利用目的に応じて設定可能である。

### 3.4.1 クラスタリング機能

本小節では、LoES における感情子分布の解釈を支援するために実装したクラスタリング機能について説明する。本機能は、3.3.1 小節で述べた感情ブレンドが起きている状態を視覚的かつ定性的に把握しやすくすることを目的としており、LoES の感情遷移モデルそのものに基づくものではない。

感情子の分布に対して、k-means 法を用いたクラスタリングを行い、感情子が高密度に分布している領域をクラスタとして抽出する。クラスタ数は事前に固定せず、Calinski-Harabasz 指数を用いて自動的に決定する。

なお、本クラスタリング機能は、感情ブレンド状態の存在を補助的に可視化し、感情子分布の概形を把握することを主な目的としている。そのため、感情状態の定量的評価や心理学的分類を直接行うものではない。本研究では、分布形状の解釈容易性と手法依存性の低さを重視し、単純で解釈しやすい k-means 法を採用した。

## 4 今後の展望

本研究では、格子構造に基づく感情遷移モデル、およびそのミュレータである Lattice of Emotions Simulator (LoES) を提案した。LoES では、Russell の感

情円環モデルに基づく二次元空間上の感情子分布を感情状態として表現し、その遷移ダイナミクスを通じて、感情ブレンド、困惑、感情遷移の遅延といった状態を連続的に扱える可能性を示した。また、パラメータ設定により、エージェントの感情特性や性格特性に相当する振る舞いを表現できる可能性についても議論した。

本研究にはいくつかの制約が存在する。まず、心理学的妥当性の検証やユーザの主観評価などを対象とした評価実験は行っていない。また、各種パラメータの設計は経験的に行っており、最適性や一意性を保証するものではない。さらに、感情空間上の位置と具体的な感情語との対応付けは固定していない。加えて、本研究における LoES の挙動評価は、主として定性的な考察に基づいている。これらの制約は、本モデルが探索的枠組みであることに起因するものであり、今後の拡張や評価設計の余地を示すものでもある。

今後の展望として、感情遷移パラメータの学習や外部刺激に応じた適応機構の導入が挙げられる。また、対話エージェントやロボットへの実装を通じた実環境での検証も重要な課題である。さらに、本研究では Russell の感情円環モデルを用いたが、PAD モデルなど他の感情空間モデルへの拡張や、感情子分布の解析・可視化手法の高度化についても検討していきたい。

## 謝辞

本研究は、一部科研費 JSPS 22K19792, 24K02977, 23K11278, 23K11202 の助成を受け実施した。

## 参考文献

- [1] Hongxin Zhang, Weihua Du, Jiaming Shan, Qin-hong Zhou, Yilun Du, Joshua B. Tenenbaum, Tianmin Shu, and Chuang Gan. Building cooperative embodied agents modularly with large language models, 2024.
- [2] Na Liu, Liangyu Chen, Xiaoyu Tian, Wei Zou, Kaijiang Chen, and Ming Cui. From llm to conversational agent: A memory enhanced architecture with fine-tuning of large language models, 2024.
- [3] Yanchu Guan, Dong Wang, Zhixuan Chu, Shiyu Wang, Feiyue Ni, Ruihua Song, Longfei Li, Jinjie Gu, and Chenyi Zhuang. Intelligent virtual assistants with llm-based process automation, 2023.

- [4] Yong Ma, Yuchong Zhang, Miroslav Bachinski, and Morten Fjeld. Emotion-aware voice assistants: Design, implementation, and preliminary insights. In *Proceedings of the Eleventh International Symposium of Chinese CHI*, pp. 527–532, 2023.
- [5] Alex Mari, Andreina Mandelli, and René Algesheimer. Empathic voice assistants: Enhancing consumer responses in voice commerce. *Journal of Business Research*, Vol. 175, p. 114566, 2024.
- [6] 目良和也, 市村匠, 黒澤義明, 竹澤寿幸. 情緒計算手法と心的状態遷移ネットワークを用いた音声対話エージェントの気分変化手法. *知能と情報*, Vol. 22, No. 1, pp. 10–24, 2010.
- [7] Sajal Chandra Banik, Keigo Watanabe, and Kiyotaka Izumi. A computational model of emotion through the perspective of benevolent agents for a cooperative task. *Artificial Life and Robotics*, Vol. 13, No. 1, pp. 162–166, 2008.
- [8] 加藤奈津子, 萩原将文. ファジィ推論を用いた感情遷移モデル. *日本知能情報ファジィ学会 ファジィシステム シンポジウム 講演論文集*, Vol. 31, pp. 642–647, 2015.
- [9] 黒須亮成, 清水博貴, 橋本智己. コミュニケーションエージェントにおける感情モデルの提案. *知能と情報*, Vol. 29, No. 1, pp. 501–506, 2017.
- [10] James A. Russell. A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 39, No. 6, pp. 1161–1178, 1980.
- [11] James A. Russell and Lisa F. Barrett. Core affect, prototypical emotional episodes, and other things called emotion: Dissecting the elephant. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 76, No. 5, pp. 805–819, 1999.
- [12] Michael B. Gurtman and Aaron L. Pincus. The circumplex model: Methods and research applications. In John A. Schinka and Wayne F. Velicer, editors, *Handbook of Psychology: Research Methods in Psychology*, Vol. 2, pp. 407–428. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2003.
- [13] Klaus R. Scherer. Analyzing emotion blends. In Paul Ekman and Richard J. Davidson, editors, *The Nature of Emotion: Fundamental Questions*, pp. 315–318. Oxford University Press, New York, 1998.
- [14] Paul Ekman. An argument for basic emotions. *Cognition and Emotion*, Vol. 6, No. 3-4, pp. 169–200, 1992.
- [15] Robert Plutchik. A general psychoevolutionary theory of emotion. In Robert Plutchik and Henry Kellerman, editors, *Emotion: Theory, Research, and Experience*, Vol. 1. Theories of Emotion, pp. 3–33. Academic Press, New York, NY, USA, 1980.
- [16] Albert Mehrabian and James A. Russell. *An Approach to Environmental Psychology*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1974.
- [17] Jeff T Larsen and A Peter McGraw. The case for mixed emotions. *Social and Personality Psychology Compass*, Vol. 8, No. 6, pp. 263–274, 2014.
- [18] Jeff T. Larsen and A. Peter McGraw. Further evidence for mixed emotions. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 100, No. 6, pp. 1095–1110, 2011.
- [19] Patrick G. Hunter, E. Glenn Schellenberg, and Ulrich Schimmack. Mixed affective responses to music with conflicting cues. *Cognition and Emotion*, Vol. 22, No. 2, pp. 327–352, 2008.
- [20] Jonna K. Vuoskoski, William F. Thompson, and David McIlwain. Who enjoys listening to sad music and why? *Music Perception*, Vol. 29, No. 3, pp. 311–317, 2012.
- [21] Jeff T. Larsen, A. Peter McGraw, and John T. Cacioppo. Can people feel happy and sad at the same time? *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 81, No. 4, pp. 684–696, 2001.
- [22] Chenwei Wan, Matthieu Labeau, and Chloé Clavel. Emodynamix: Emotional support dialogue strategy prediction by modelling mixed emotions and discourse dynamics. In *Proceedings of the 2025 Conference of the Nations of the Americas Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (Volume 1: Long Papers)*, p. 1678–1695. Association for Computational Linguistics, 2025.

- [23] Lewis R. Goldberg. An alternative description of personality: The big-five factor structure. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 59, No. 6, pp. 1216–1229, 1990.