

仮想教室における生徒エージェントの反応伝播モデルの提案

A Reaction Propagation Model of Student Agents in a Virtual Classroom

小笹 彩音¹ 黄 宏軒^{1*}
Ayane Ozasa¹ Hung-Hsuan Huang¹

¹ 福知山公立大学情報学部

¹ Faculty of Informatics, University of Fukuchiyama

Abstract: 新人教師は、実際の教室で十分な実務経験を積む機会が限られたまま、授業や担任業務を担当する場合がある。その結果、教室内で同時に生じる複数の出来事に適切に対応できず、教室全体の状況把握が困難となることがある。このような課題に対し、安全に授業状況を体験できる仮想教室環境は、教師訓練の手段として有効であると考えられる。一方で、既存の仮想教室研究では、生徒の行動や反応を個別に扱うものが多く、注意が生徒間で連鎖的に広がる過程は十分に表現されていない。そこで、本稿では、刺激に対する生徒の注意反応を起点とし、その反応が周囲の生徒へと伝播するモデルを提案し、仮想教室 VR 環境上でその動きを再現する。

1 はじめに

教育現場において、新人教師は十分な実務経験を積む機会が限られたまま、授業や担任業務を担当する場合がある。そのような状況では、教室内で同時に生じる複数の出来事に対応することが難しく、教室全体の状況を把握しながら適切な指導を行うことが困難となる。実際の教室環境において長期間の研修や試行錯誤を行うことは、授業進行への影響や倫理的配慮の観点から容易ではない。このような課題を背景として、現実に近い教室状況を再現しつつ、安全に観察や検討を行うことが可能な仮想教室環境は、教師教育を支援する手段として有効であると考えられる。

教室では、ある生徒の行動や外的な刺激をきっかけとして、周囲の生徒の視線や姿勢が変化し、注意が集団内で連鎖的に広がる様子が日常的に観察される。例えば、教室内で物音が生じた場合、その周囲の生徒が反応し、教室全体の注意状態が短時間で変動することがある。また、教師が問題行動を示した生徒に近づいて指導を行う場面においても、その対応の様子や身体動作に対して他の生徒が視線を向けるなど、教室全体の注意配置が変化する。このような注意の変化や広がりは一時的であり、個々の生徒の行動のみを扱うだけでは、教室全体の雰囲気や状況を十分に再現することは難しい。これまでにも教育分野における VR 活用や、教室環境を対象とした行動分析に関する研究は報告されて

いるが、教室内における注意の広がりを、生徒同士の相互作用によって生じる集団的な現象として捉え、その動態を体験的に理解できる手法は十分に検討されていない。

本研究は、現実の教室で起こりうる状況を想定した仮想教室環境を構築し、教師の行動や外的刺激に対する生徒エージェントの注意反応と、その反応が教室内へと伝播する過程をモデル化する。さらに、VR デモを通じて、注意反応の広がりが人間にとって自然に感じられるかを体験的に観察できるデモを構築することを目的とする。

2 関連研究

福田ら [1] は、仮想教室における指導訓練支援を目的として、学級全体の雰囲気や生成する数理モデルを提案している。この研究では、教員経験者へのヒアリングおよび実験結果に基づき、「基本感情」や「座席位置」などのパラメータを用いて、学級全体の状態を統計的に再現するモデルを構築している。提案モデルは、教室内の雰囲気を一括的に生成し、教師訓練における状況再現を支援することを目的としている。同研究は学級全体の状態をマクロに生成する枠組みであり、個々の生徒エージェントが刺激に反応し、その反応が他の生徒へと時間的に波及していく過程を動的にモデル化するものではない。すなわち、エージェント間の相互作用による注意や行動の連鎖的な伝播については対象としていない。

*連絡先： 〒 620-0886 京都府福知山市字堀 3370
福知山公立大学 情報学部
E-mail: hhhuang@acm.org

Hwang ら [2] は、仮想エージェントが周囲の環境や文脈に応じて注視対象を決定するための、記号的認知推論に基づく視線制御モデルを提案している。このモデルでは、環境内のオブジェクトや他者の存在を推論ルールに組み込むことで、状況に適応した自然な視線および頭部回転行動を実現している。この推論プロセスは各エージェント内部で完結しており、複数のエージェント間で注意が相互に影響し合い、空間的・時間的に集団全体へ波及していくプロセスについては考慮されていない。

Barrett ら [3] は、教員養成における AI 学習エージェントとの対話場면을対象に、発話の連鎖パターンを分析し、集団的な学習対話における相互作用の特徴を明らかにしている。この研究では、発話の遷移を統計的に解析することで、効果的な指導対話の構造を提示している。その焦点は談話の質的なパターンの把握にあり、視線や姿勢といった非言語的行動を起点として、注意や行動が教室空間内で連鎖・波及していく過程を計算モデルとして表現することは目的としていない。

Melgare ら [4] は、動的環境においてエージェントがどの方向へ進むべきかを決定するための視覚注意モデルを提案している。この研究では、目標物検出とオプティカルフローによる運動情報を統合し、Drift Diffusion Model に基づいて行動選択を行うことで、環境に適応した自然な移動行動を実現している。同研究の主眼は単一エージェントの行動決定にあり、複数エージェント間で注意や行動が相互に影響し合い、集団全体へと波及していく動的プロセスは対象としていない。また、教師訓練を目的とした VR ベースの教育支援システムに関する研究も報告されている。

King ら [5] は、教師と仮想生徒との相互作用を自動生成する VR 訓練システムを開発し、ランダム化比較試験によってその教育効果を検証している。同研究は、実際の教室に近い状況を安全かつ反復可能な形で再現できる点に VR の利点を見出し、教師の指導スキル向上に有効であることを示している。このシステムにおける仮想生徒の反応は、あらかじめ設計されたシナリオやルールに基づく個別的な応答として実装されており、生徒同士の非言語的行動が相互に影響し合い、注意や行動が空間内で連鎖的に拡散していく現象を動的に再現することは目的としていない。

Stavroulia ら [6] は、VR 教師訓練環境の設計要件を体系的に整理し、仮想教室の外観設計や没入感が学習効果に与える影響について検討している。これは訓練環境としての VR の構成要素を明確化する点で重要であるが、教室内で発生した視線や姿勢変化といった非言語的反応が、他の生徒にとって新たな刺激となり、時間的・空間的に伝播する過程を計算モデルとして扱うものではない。

以上のように、VR を用いた教師訓練環境の有効性

は示されつつあるものの、教室内で生じる注意や行動の連鎖的伝播を、個々のエージェントの反応から集団全体の動態へと統一的に記述する枠組みは十分に確立されていない。

3 提案手法

本章では、仮想教室環境上において、教室内で生じる注意の広がりを再現するためのモデル設計について述べる。本研究の目的は、授業中に発生する局所的なインタラクションが教室全体の注意状態にどのように影響するかを体験的に理解できる仮想教室環境を構築することである。具体的には、授業中に落ち着きのない生徒が発生した場合、教師がその生徒の近くに移動して対応を行う状況を想定する。このとき、対象生徒だけでなく、教師の接近や対象生徒の動作に対して周囲の生徒がどのように注意を向けるかが教室運営に大きな影響を与える。本研究では、教師と特定生徒との近距離インタラクションが他の生徒へと波及する過程を再現することを目指す。

そのため、本モデルは個々の生徒の行動を独立に表現するのではなく、注意反応が他の生徒へと連鎖的に影響を及ぼす構造を持つ必要がある。本研究において目指す仮想教室は、教室内で発生した刺激に対して生徒が個別に反応し、その反応が周囲の生徒へと影響を及ぼしながら、教室全体の注意状態が時間的・空間的に変化する様子を再現できる環境である。

3.1 仮想教室環境

本研究では、教師訓練を目的とした仮想教室環境を構築する。仮想空間内には複数の生徒エージェントが存在し、各生徒は一定の内部状態を持ちながら自律的に行動する。利用者は教師の視点として教室を自由に移動でき、実際の授業を想定した指導練習を行うことが可能である。本環境において実現を目指すのは、教師と特定の生徒との局所的なインタラクションが、教室全体へどのように波及するかを体験できる状況である。

例えば、授業中に落ち着きのない生徒がいた場合、教師は教壇から離れてその生徒の近くに移動し、個別に注意や声かけを行う。このとき、対応を受けている生徒の身体動作や、教師の接近行動そのものが、周囲の生徒の注意を引き起こす可能性がある。実際の教室では、教師と一部の生徒とのやり取りが、他の生徒の集中状態に影響を与える場面が存在する。本研究では、このような局所的な対応が教室全体へ与える影響を動的に再現することを目的とする。そのため、本環境では以下のインタラクションを実現する必要がある。

1. 教師が教壇に留まらず、生徒の間を移動できること
2. 特定の生徒と近距離でのインタラクションが可能であること
3. その局所的なやり取りに対して、他の生徒が反応すること

これらのインタラクションを実現するためには、生徒エージェントが刺激に対して一律に反応するのではなく、個体差を伴う確率的な反応を示す必要がある。また、教師と特定生徒との局所的なやり取りが教室全体へ波及する構造を再現するためには、反応が新たな刺激として他生徒へ伝播する仕組みが求められる。さらに、注意の変化は突然全体に広がるのではなく、視線変化から身体動作へと段階的に進行する必要がある。以上のようなインタラクションを実現するためには、これらの性質を満たすモデル設計が必要となる。

3.2 注意反応・伝播モデルの設計指針

上記の仮想教室像を実現するため、本モデルは以下の要件を満たす必要がある。

1. 教室内で生じる刺激に対して、各生徒が異なる確率で反応すること
2. 生徒の反応が周囲の生徒に影響を与えること
3. 注意の変化が段階的かつ連続的に表現されること

また、本モデルはVR空間上でリアルタイムに動作可能である必要がある。これらを満たすため、本研究では刺激に対する注意反応と、その反応が新たな刺激として再入力される伝播構造を統一的にモデル化する。

生徒エージェントの注意反応および反応伝播の処理構造を図1に示す。本モデルは、刺激の受信、注意反応の判定、反応の実行、および反応の伝播から構成される。教室内で発生した刺激は生徒エージェントによって受信され、視界判定および反応確率の算出が行われる。反応が発生した場合、その身体動作は新たな刺激として周囲の生徒へ入力される。この循環処理を繰り返すことで、「刺激 → 注意反応 → 伝播 → 新たな刺激」というループ構造が形成され、注意が教室全体へ段階的に広がる様子を再現する。

3.3 刺激の定義

上記の要件を実現するため、本モデルでは教室内で生徒の注意に影響を与える要因を刺激 (Stimulus) として定義する。刺激は空間的位置を持ち、視覚的占有

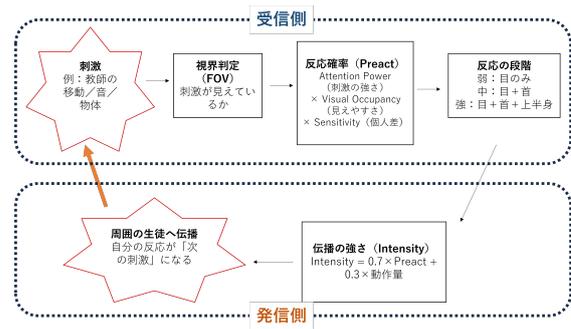


図 1: 注意反応・伝播モデルの関係

率、音量、および注目度（強度）といった属性によって特徴づけられる。

教室内の注意は距離に依存して減衰する特性を持つため、本研究では刺激の影響を距離に対する指数関数的減衰により表現した。これにより、刺激源から離れるほど注意発生確率が滑らかに低下し、空間的な広がりを持続的に扱うことが可能となる。

3.4 生徒エージェントの注意反応

前節で定義した刺激に対して、生徒エージェントは確率的に注意反応を示す。教室内の注意は決定論的ではなく確率的に発生する。同じ刺激が提示された場合でも、全ての生徒が必ず反応するわけではない。この現象を再現するため、本研究では注意反応を確率モデルとして定義した。

各生徒エージェントは、刺激が自身の視界内に存在する場合は注意反応を示す。刺激が視界内に存在するかどうかは、生徒エージェントの正面方向ベクトルと、刺激方向ベクトルとのなす角度に基づいて判定する。視界判定は、生徒エージェントの正面方向ベクトルを A 、生徒エージェントから刺激への方向ベクトルを B としたとき、両ベクトルのなす角度 θ を式 (1) により算出する。

$$\theta = \arccos \frac{(A \cdot B)}{|A||B|} \quad (1)$$

算出された角度 θ が、あらかじめ設定された視野角 FOV の半分より大きい場合、刺激は視界外にあるものとみなし、当該刺激に対する反応確率は 0 とする。

刺激が視界内に存在する場合、生徒エージェントは刺激に対する注意反応の発生確率 $Preact$ を算出する。 $Preact$ は、刺激の注目度、刺激の見えやすさ、生徒エージェントごとの注意感度を組み合わせて、式 (2) により定義する。

$$Preact = AttentionPower \cdot VisualOccupancy \cdot Sensitivity \quad (2)$$

AttentionPower は刺激そのものが持つ注目度を表し、刺激の種類や性質に応じて設定されるパラメータである。*VisualOccupancy* は刺激の視覚的占有率を表し、刺激の大きさと生徒エージェントとの距離に基づいて算出される。また、距離が離れるほど刺激の影響が減衰するよう、距離に対する指数関数的な減衰を用いる。*Sensitivity* は生徒エージェントごとの注意感度を0~1で表し、個人差を表現するためのパラメータである。算出された *Preact* に基づき、注意反応が発生するかどうかを確率的に判定する。注意反応が発生した場合、生徒エージェントは反応確率の大きさに応じて、段階的な身体反応を示す。

また、注意反応を以下の三段階に分類する。反応確率が低い場合には視線のみの変化を示し、反応確率が中程度の場合には視線および首の回転を伴う反応を示す。さらに、反応確率が高い場合には、視線および首の回転に加えて上半身の回転を伴う反応を示す。このように、注意反応を段階的に設計することで、刺激への気づきから身体的な反応へと至る過程を連続的に表現する。

3.5 反応の伝播

教室内の動態を再現するためには、反応が次の刺激として機能する必要がある。生徒の身体動作は視覚的刺激となり、他の生徒の注意発生確率に影響する。そこで本研究では、反応の強さに応じて次の刺激の影響度が変化するように、反応伝播の強度を数値的に定義する。反応伝播の強度 *Intensity* は、刺激に対する反応確率と、反応時の身体動作の大きさを組み合わせて算出する。式 (3) により伝播強度を計算する。

$$Intensity = 0.7 \cdot Preact + 0.3 \cdot M \quad (3)$$

ここで、*Preact* は刺激に対する注意反応の発生確率を表す。*M* は反応時の動作量を表し、生徒エージェントが刺激に対してどの程度身体を動かしたかを示す指標である。視線のみの変化よりも、首や上半身を伴う反応の方が周囲に与える影響が大きいと仮定し、動作量が伝播強度に影響するように設計した。算出された伝播強度に基づき、反応を示した生徒エージェントの位置を起点として、周囲の生徒エージェントへ新たな刺激が生成される。この刺激は、次の生徒エージェントに対して再び視界判定および反応確率の算出処理にされる。図2は、反応強度に応じて影響範囲が拡大し、時間経過とともに周囲へ伝播する様子を模式的に示したものである。反応強度が高いほど、影響範囲は広く設定される。

このように、「刺激→注意反応→新たな刺激」という循環構造を形成することで、注意反応が教室全体へと

連鎖的に広がる過程を表現する。

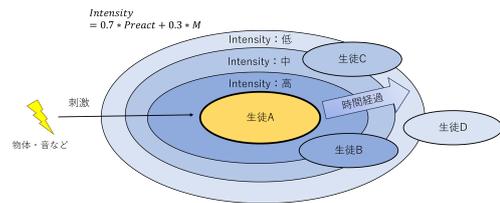


図 2: 反応伝播モデルの概念図

4 モデルの動作例

本章では、第3章で定義した注意反応・伝播モデルが、教室内で発生する出来事に対してどのように機能するかを示す。

第1章で述べたように教室では局所的な出来事が教室全体の注意状態に影響を与えることがある。本研究では、そのような状況変化を体験的に理解できる環境の構築を目指している。本章では、刺激の性質の違いによって注意の広がり方がどのように変化するかを示す。

4.1 軽微な出来事に対する反応例

教室内で比較的小規模な出来事が発生した場合の挙動を図3に示す。本実験では、軽微な出来事の例として教室内に落下する水滴を用いた。この刺激は *AttentionPower* を低く設定しているため、式 (2) により算出される反応確率 *Preact* は小さい値をとる。刺激近傍に位置する一部の生徒エージェントにおいて注意反応が発生するが、反応は主に視線変化にとどまる。周囲の生徒に身体反応はほとんど生じておらず、注意の広がり方は局所的である。

中央付近の生徒が視線のみを変化させている様子が確認できる。これは、刺激強度が低い場合、教室全体の注意状態が大きく変化しない状況を再現している。この結果は、日常的な小規模の出来事が発生した際、注意の変化が限定的にとどまる現象を表している。



図 3: 軽微な出来事の発生時における注意伝播の状態

4.2 顕著な出来事に対する反応例

次に、教室内で顕著な出来事が発生した場合の挙動を図4に示す。本実験では、突発的で注意を引きやすい出来事の例として、教室内に蜂が侵入した状況を想定した。この刺激では *AttentionPower* を高く設定しており、式(2)により算出される *Preact* は高い値となる。刺激近傍の生徒は視線変化に加えて首や上半身を伴う反応を示す。身体動作を伴う反応が発生すると、その反応は周囲の生徒に対して新たな刺激として入力される。

中心生徒が首を回転させて反応している様子が確認できる。その周囲では視線変化のみを示す生徒が見られ、反応が減衰しながら空間的に広がっていることが分かる。軽微な出来事の場合と比較すると、注意の広がりが空間的に拡大している。これは、突発的で顕著な出来事が発生した際に、教室全体の注意状態が急激に変化する現象を再現している。



図 4: 強い出来事の発生後の反応伝播例

4.3 注意伝播の時間変化

刺激発生から時間経過に伴う注意伝播の過程を図5に示す。刺激発生直後では、刺激近傍の生徒のみが反応を示す。時間経過に伴い、反応を示した生徒の身体動作が新たな刺激となり、周囲へ段階的に注意が広がる。

初期反応から周囲への段階的伝播へと移行する様子が確認できる。これは、第3章で定義した反応確率および伝播強度に基づく循環構造が、時間発展として機能していることを示している。

この結果は、教室内で発生した出来事が生徒間の相互作用を通じて教室全体の注意状態へ波及する過程を再現している。

5 おわりに

本研究では、仮想教室環境において、生徒エージェントの注意反応およびその伝播を表現する反応伝播モデルを提案した。



図 5: 強い出来事の発生時における周囲伝播例

本モデルでは、刺激に対する個々の生徒の注意反応を起点とし、その反応が周囲の生徒にとって新たな刺激として作用することで、注意反応が連鎖的に広がる構造を定義した。また、注意反応は確率的に発生し、刺激の性質に応じて注目行動および回避行動が選択される。提案モデルを仮想教室環境に実装し、利用者が教師の視点で教室内を移動するVRデモシステムを構築した。これにより、「刺激→注意反応→新たな刺激」という連鎖的な注意拡散過程を表現可能とした。

今後の課題として、注意反応および回避移動の発生条件や伝播パラメータ設定の妥当性について、定量的な評価を行う必要がある。また、刺激の種類や強度を拡張した場合に、注意反応および移動行動の伝播がどのように変化するかを分析することも重要である。さらに、本研究では回避行動として短距離の移動を実装しているが、今後は教室内の座席配置や他の生徒との位置関係を考慮した移動制御を導入することで、より多様な行動表現が可能になると考えられる。

参考文献

- [1] 福田 匡人, 黄 宏軒, 桑原 和宏, 西田 豊明: 仮想学級における雰囲気のパラメータ化生成モデルの構築手法の提案, *電子情報通信学会論文誌 D*, Vol. J103-D, No. 3, pp. 120-130 (2020)
- [2] Hwang, J., Hong, S. E., Seon, J., Kang, H. Y.: How Does a Virtual Agent Decide Where to Look? Symbolic Cognitive Reasoning for Embodied Head Rotation, *Proceedings of the SIGGRAPH Asia 2025 Conference Papers*, Article No. 115, pp. 1-12 (2025)
- [3] Barrett, A., Ke, F., Zhang, N., Dai, C., Bhowmik, S., Yuan, X.: Pattern analysis of ambitious science talk between preservice teachers and AI-powered student agents, *Proceedings of the 15th International Conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK '25)*, pp. 761-770 (2025)
- [4] Melgaré, J. K., Montanha, R. H., Musse, S. R.: Which way do I go?: Synthetic Visual Attention Guiding Agents Through Dynamic Environments, *Proceedings of the ACM Intelligent Virtual Agents Conference (IVA 2025)*, Article No. 10, pp. 1-9 (2025)

- [5] King, S., Boyer, J., Bell, T., Estapa, A.: An Automated Virtual Reality Training System for Teacher-Student Interaction: A Randomized Controlled Trial, *JMIR Serious Games*, Vol. 10, No. 4, e41097 (2022)
- [6] Stavroulia, K. E., Baka, E., Lanitis, A.: VR-Based Teacher Training Environments: A Systematic Approach for Defining the Optimum Appearance of Virtual Classroom Environments, *Virtual Worlds*, Vol. 4, No. 1, Article 6 (2025)