

## Learning-by-Teaching における学習者の学習態度と被教示エージェント数の違いが心理状態と学習に及ぼす影響の検証

### Examining the Effects of Learners' Attitudes and the Number of Teachable Agents on Psychological States and Learning Outcomes in Learning-by-Teaching

市川和磨<sup>1</sup> 大澤博隆<sup>2</sup>

Kazuma Ichikawa<sup>1</sup> and Hirotaka Osawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 慶應義塾大学大学院 理工学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, Keio University

<sup>2</sup> 慶應義塾大学 理工学部

<sup>2</sup> Faculty of Science and Technology, Keio University

**Abstract:** 学習への欲求を高める学習方法の一つとして、学習者が第三者に教えることで知識の定着を促す Learning-by-Teaching が知られている。本研究では、被教示エージェントとの Learning-by-Teaching において、被教示エージェントの人数の違いおよび学習者の学習態度が、心理状態および学習成果にどのような影響を及ぼすのかを検証した。被教示エージェントの人数を 1 人、5 人、20 人とした条件で実験を行った結果、条件間において学習および心理状態に関する指標に有意な差は認められなかった。一方で、被教示エージェントが 5 人の条件においてのみ、学習態度と心理状態との間に有意な相関が認められ、学習者の学習態度が心理状態の変化に関係している可能性が示唆された。

## 1 はじめに

学習者の動機付けを高める学習法の一つとして、Learning-by-Teaching が挙げられる。この学習法は学習者が第三者に教えることで、学習者の知識定着を図る学習法であり、教える責任感から学習への欲求を向上させることや[1][2]、欲求の向上から学習成果や、学習意欲を向上させる[3][4]ことが明らかになっている。

Learning-by-Teaching は人同士の学習に限らず、エージェントとの学習環境でも注目されている。

Learning-by-Teaching の文脈では、学習者から教示を受けるため、初学者として振る舞うエージェントを被教示エージェントと呼ぶ。被教示エージェントを始めとした教育エージェントを用いた先行研究では、エージェントの外見や振る舞い、楽しさ、興味、エージェントとの会話量などを変化させることで、学習者の動機づけや学習意欲の向上を図る研究が多く報告されている[5][6][7][8]。しかし、学習者は目標や課題、気分状態、および習慣的行動において多様であり、学習への欲求の向上には個人差が生じることが報告されている[9]。その結果、学習への欲求に影響を与える要因は学習者ごとに異なることが示されている[9]。また、個人の動機は時間的・状況的要因

や、学習環境における対人関係にも影響を受け変化することが指摘されており[9]、既存のアプローチのみでは、多様な学習者の欲求に柔軟に対応し、学習効果を十分に向上させることは難しい。

上記の課題点に着目し、本研究では被教示エージェントの人数の違いが学習者に与える心理的影響、ならびにそれに伴う学習成果の変化を検証することを目的とした。さらに、学習態度に関するアンケート結果と心理指標との相関を分析することで、学習態度と動機づけに関連する感情との関係について検討した。

## 2 仮想教室空間の実装

本研究では目的に基づき 1 人、5 人、20 人の被教示エージェントが学習者の授業を聞く仮想の教室空間を実装した。

被教示エージェントは、ウィザード・オブ・オズ (WoZ) 法と自動制御を組み合わせた手法により制御されている。授業の開始時、終了時、および質問時には、実験者が対応するボタンを押すことで、エージェントが特定の質問およびモーションを実行するように設計されている。なお、質問を行うエージェントは毎回異なる個体となるよう実装した。質問内容が実

験結果に影響を与えないよう、LLM によるリアルタイムな質問生成は用いず、テストには出題されない内容の質問をあらかじめ実装した。



図 1：20 人の被教示エージェントのいる  
仮想教室空間

また、授業開始後 20 体の被教示エージェントは、各々6~9 秒のランダムな間隔で、「頷く」「手を組んで頷く」「ノートに書く A」「ノートに書く B」の 4 種類のモーションのいずれかを自動的に実行するよう設定した。これらの挙動は WoZ 法による操作ではなく、システムによって自動制御されている。エージェントの挙動をランダムに制御することで、実験参加者が多数のエージェントの存在を知覚しやすくなるよう設計した。

エージェントの態度に関しては、プレゼンテーション練習を対象としたエージェントの活用に関する先行研究[10]を参考にして実装を行った。本研究で参照した論文では、エージェントが発表者のプレゼンを真剣に聞く態度を取ることでプレゼンテーション練習者の自己効力感が向上することが示されている。これを踏まえ、本システムでは学習者が授業を行う際に、全エージェントが良好な授業態度を維持するよう設計し、授業態度が心理状態に与える影響を小さくした。また、被教示エージェントに表情、瞬き、口の動きを付与し、学習者が授業を行う際に違和感を抱かないよう配慮した。

前述の 20 人条件の仮想教室空間と同様に、教室内に被教示エージェントが 1 人、5 人存在するシステムを実装した。

### 3 実験の目的

本実験の目的は、1 対 1 形式、1 対 5 形式、1 対 20 形式の Learning-by-Teaching を行うことで、被教示エージェントの人数の違いが学習成果および学習者の心理的状态に与える影響を検討することである。

さらに、参加者の学習態度と心理指標との相関を分析することで、学習態度と心理状態の関係につい

ても検討した。

本実験では、心理状態の変化が学習成果に反映されているかを検証するため、学習内容の保持を指標として実験翌日に遅延テストを実施し、その結果を比較した。

### 4 実験方法

本実験では、被教示エージェントの人数ごとに条件設定を行った。single 条件、semi-group 条件、group 条件の 3 条件を設定し、各条件における授業時の被教示エージェントの人数は、single 条件では 1 人、semi-group 条件では 5 人、group 条件では 20 人とした。条件間では、学習者が授業を行う際に提示される被教示エージェントの人数のみが異なる。

実験開始前に、参加者は事前アンケートに回答した。その後、実験開始前に実験者は参加者に対して実験の手順を説明した。あわせて、使用時間には 15 分間の制限が設けられていること、授業終了後および実験実施日の翌日にテストを実施すること、授業中はテキストの参照を許可する一方でテスト実施時にはテキストを回収すること、および授業時には黒板を自由に使用できることを説明した。その後、実験者が用意したテキストを用いた事前学習を 3 分間行った。事前学習終了後、授業やテキストの内容に関する最終確認を行った後に、テキストに関する授業を参加者の前に映し出された被教示エージェントに対して実施させた。授業時の様子を図 2 に示す。



図 2：授業時の様子

授業中は質問の内容が説明されたタイミングで被教示エージェントが質問するよう実験者が参加者に見えない場所で操作を行った。

各授業終了後、参加者は事前学習内容に関するテストおよび実験アンケートに回答した。その後、同一の手順に従って残りの条件を実施し、当日の実験を終了した。その後、実験実施日の翌日にテキスト内容に関する遅延テストを実施し、当該日に回答を

求めた。

実験は高校の教室で行われた。教室は仕切りによって区切られており、一方の空間は実験者が被教示エージェントの発話を操作するためのスペースとし、もう一方は参加者が実験を実施するスペースとした。教室には机、椅子、黒板、ディスプレイが設置されており、第3章で実装した仮想教室空間の映像はディスプレイに表示した。

実験は参加者内実験として行われた。条件、テキストの順序によって順序効果が出ないように、順序が均等になるように実施した。

テストは、各条件の実験終了直後に実施する確認テストと、実験日の翌日に実施する遅延テストの2種類を作成した。確認テストは、参加者が実験を集中して取り組んでいるかを確認する目的で作成した簡単な選択式テストであり、本研究における評価指標としては用いなかった。遅延テストは、テキスト内容に関する記憶再生を評価するための記述式テストであり、各テキストにつき5問ずつ作成した。

本実験では事前アンケート、実験アンケート、遅延テストを評価指標として設定した。事前アンケート指標には授業や課題に対する態度を感情的態度、行動的態度、認知的態度の3項目で評価する指標として、Attitudes Toward Mathematics Inventory (ATMI) をもとに開発された短縮版を使用した[11]。実験アンケートには Positive and Negative Affect Schedule (PANAS) [12]を使用した。PANAS は、活動中におけるポジティブ感情およびネガティブ感情を測定するためのアンケート指標である。特に、活動性や意欲といった、学習への関与や動機づけと関連する感情状態を評価することができる。また、Learning-by-Teaching 時に感じる緊張感を評価する目的で、Visual Analogue Scale (VAS) [13]を併用した。

また、参加者の事前特性と学習成果および心理的状态との関係を検討するため、ATMIの結果と、遅延テストの正答数、PANAS, VASの結果との間で、Spearman の順位相関係数を用いた相関分析を行った。

## 5 結果

Wilcoxon の順位和検定を用いて分析を行った結果、遅延テストの正答数に関して条件間に有意な差は認められなかった(図3参照)。また、PANASにより測定したネガティブ感情、活動性、意欲、およびVASにより測定した主観的緊張感のいずれの指標においても、条件間で有意差は認められなかった(図4、図5、図6、図7参照)。

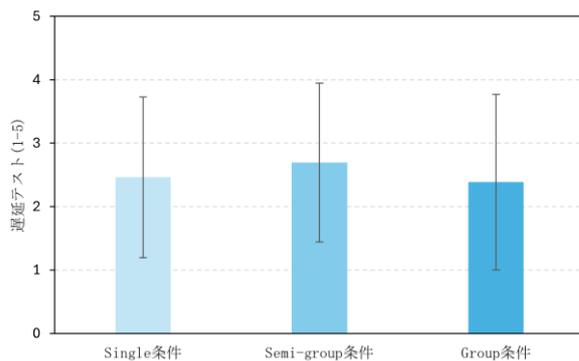


図3：各条件間での遅延テストの正答数比較

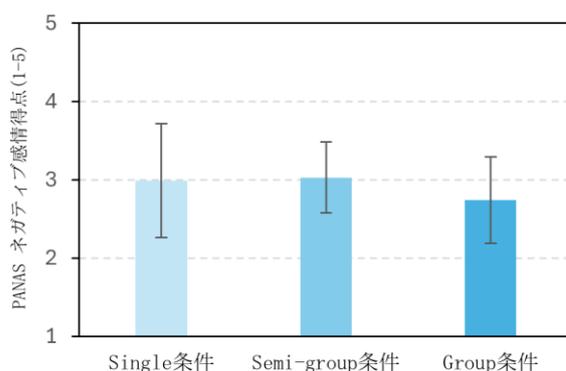


図4：各条件間でのネガティブ感情得点比較

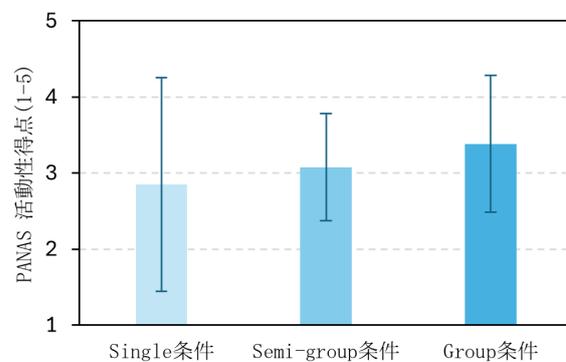


図5：各条件間での活動性得点比較

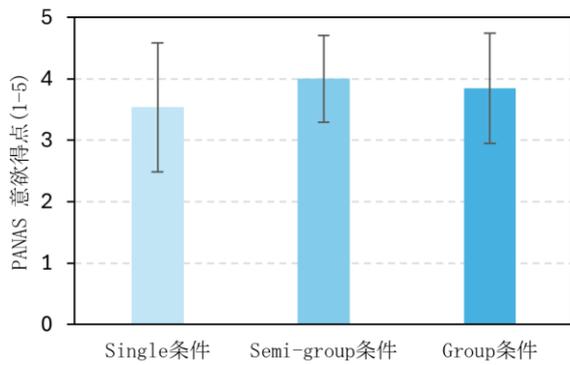


図 6 : 各条件間の意欲得点比較

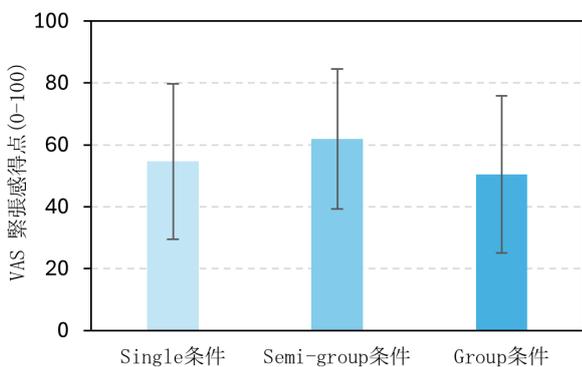


図 7 : 主観的緊張感の条件間比較

順位相関分析の結果、各条件における遅延テストの正答数と ATMI の得点との間には有意な相関は認められなかった。一方、ATMI の得点と PANAS および VAS の得点の間には、semi-group 条件における感情的態度と意欲 (Spearman's  $\rho = 0.82, p < 0.05$  : 図 8 参照)、認知的態度と緊張感 (Spearman's  $\rho = -0.73, p < 0.05$  : 図 9 参照)、および感情的態度とネガティブ感情 (Spearman's  $\rho = -0.58, p < 0.05$  : 図 10 参照) において有意な相関が確認された。

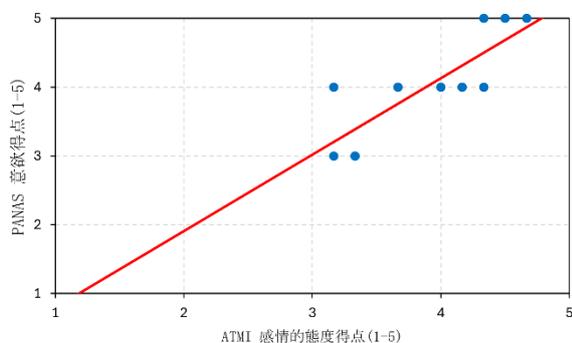


図 8 : semi-group 条件における感情的態度と意欲の相関

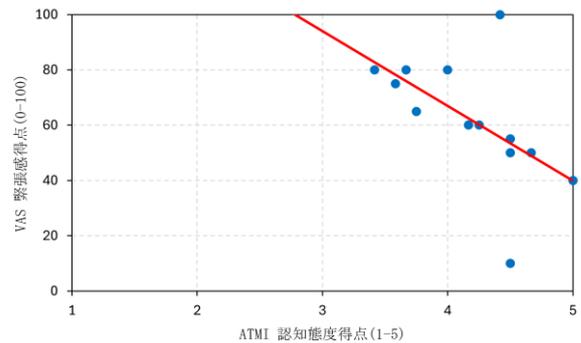


図 9 : semi-group 条件における認知的態度と緊張感の相関

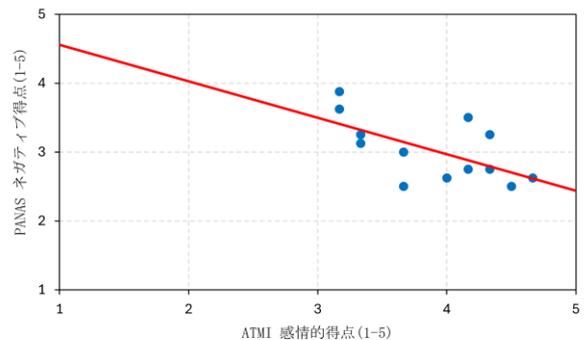


図 10 : semi-group 条件における感情的態度とネガティブ感情の相関

## 6 考察と結論

本実験の結果、被教示エージェントの人数が遅延テスト結果に有意な影響を与えることは認められなかった。また、3 条件間において、感情得点のいずれにも有意差は確認されなかった。これらの結果から、本実験条件下では、被教示エージェントの人数の違いが参加者に与える影響は限定的である可能性が示唆された。

条件間の感情得点ならびに遅延テストに有意差が出なかった一因として、Learning-by-Teaching の実施時間を 15 分以内に制限した点が考えられる。今後は、より長時間の使用条件において検討を行い、学習者の動機づけに関わる感情ならびに学習効果について分析を進める必要がある。

学習態度と感情得点の相関分析を行った結果、semi-group 条件においてのみ、感情的態度が高い参加者ほど意欲が高く、ネガティブ感情が低い傾向が確認された。また、同条件では、認知的態度が高い参加者ほど緊張感が低い傾向も認められた。一方で、

これらと同様の傾向は、single 条件および group 条件では確認されなかった。

この結果の要因として、semi-group 条件における被教示エージェントの人数が中間的な規模であり、参加者間で評価が分かれやすい人数条件であった可能性が考えられる。被教示エージェントが 1 人または 20 人の場合、それぞれ一般的、あるいは比較的稀な教示状況であるため、参加者の学習態度による影響を受けにくく、参加者間で比較的一様な心理的反応が生じやすかった可能性がある。一方で、semi-group 条件では被教示エージェントの人数が 5 人であったため、参加者の学習態度に応じた多様な受け取り方が生じ、その結果として相関が顕在化した可能性がある。これらの結果から、本実験における 5 人という人数設定は、参加者が状況に対して行う評価と自身が有する能力とが拮抗する水準を形成していた可能性がある。

本研究では、被教示エージェントの人数が学習者に与える影響について、仮想教室空間を構築し検証した。その結果、被教示エージェントの人数そのものは学習成果に有意な影響を与えなかったものの、学習者の学習態度に応じて人数を調整することで、学習者の動機づけに変化が生じる可能性が示唆された。

## 謝辞

本研究は JST ムーンショット型研究開発事業「身体的共創を生み出すサイバネティック・アバター技術と社会基盤の開発」(Grant number JPMJMS2013) および公益財団法人トヨタ財団「人工知能と虚構の科学—AI による未来社会の想像力拡張」(D22-ST-0030) の一環として実施されました。

## 参考文献

- [ 1 ] Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A., Scassellati, B., & Tanaka, F. (2018). Social robots for education: A review. *Science robotics*, 3(21), eaat5954.
- [ 2 ] Siegle, R. F., Schroeder, N. L., Lane, H. C., & Craig, S. D. (2023). Twenty-five years of learning with pedagogical agents: History, barriers, and opportunities. *TechTrends*, 67(5), 851-864.
- [ 3 ] Biswas, G., Leelawong, K., Schwartz, D., Vye, N., & The Teachable Agents Group at Vanderbilt. (2005). Learning by teaching: A new agent paradigm for educational software. *Applied Artificial Intelligence*, 19(3-4), 363-392.
- [ 4 ] Jacq, A., Lemaignan, S., Garcia, F., Dillenbourg, P., & Paiva, A. (2016, March). Building successful long child-robot interactions in a learning context. In *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)* (pp. 239-246). IEEE.
- [ 5 ] Baylor, A. L., & Kim, Y. (2004, August). Pedagogical agent design: The impact of agent realism, gender, ethnicity, and instructional role. In *International conference on intelligent tutoring systems* (pp. 592-603). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [ 6 ] Matsuda, N. (2022). Teachable agent as an interactive tool for cognitive task analysis: A case study for authoring an expert model. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(1), 48-75.
- [ 7 ] Pareto, L., Arvemo, T., Dahl, Y., Haake, M., & Gulz, A. (2011, June). A teachable-agent arithmetic game's effects on mathematics understanding, attitude and self-efficacy. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 247-255). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [ 8 ] Love, R., Law, E., Cohen, P. R., & Kulić, D. (2023, August). Adapting a teachable robot's dialog responses using reinforcement learning in teaching conversation. In *2023 32nd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)* (pp. 2541-2548). IEEE.
- [ 9 ] Dörnyei, Z. (2000). Motivation in action: Towards a process-oriented conceptualisation of student motivation. *British journal of educational psychology*, 70(4), 519-538.
- [ 1 0 ] Kroczeck, L. O., & Mühlberger, A. (2023). Public speaking training in front of a supportive audience in Virtual Reality improves performance in real-life. *Scientific Reports*, 13(1), 13968.
- [ 1 1 ] Tapia, M., & Marsh, G. E., II. (2004). An instrument to measure mathematics attitudes. *Academic Exchange Quarterly*, 8(2), 16-21.
- [ 1 2 ] Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. *Journal of personality and social psychology*, 54(6), 1063.
- [ 1 3 ] Hayes, M. H. S., & Patterson, D. G. (1921). Experimental development of the graphic rating method. *Psychological Bulletin*, 18, 98-99.