

# Learning by Teaching の模擬的教育環境における

## 傍参与型エージェントの導入と評価

### Introduction and Evaluation of a Side-Participant Agent in a Simulated Learning by Teaching Environment

富谷勇仁<sup>1</sup> 原野響<sup>2</sup> 大澤博隆<sup>1</sup>

Yuto Tomiya<sup>1</sup>, Hibiki Harano<sup>2</sup>, and Hirotaka Osawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 慶應義塾大学 理工学部

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

<sup>2</sup> 慶應義塾大学大学院 理工学研究科

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

**Abstract:** 学習者が他者に教えるプロセスを通じて自身の理解を深化させる学習形態は「Learning by Teaching (LBT)」と呼ばれ、その高い教育効果が知られている。対話エージェントを用いた LBT において、学習者が説明を簡略化してしまう課題に対し、本研究では知識を持たない「傍参与者」エージェントを導入した三者間 LBT システムを提案する。本手法は、学習者に過度な評価懸念を与えずに、聞き手への配慮に基づく説明の精緻化を促すことを目的とする。大学生を対象とした比較実験の結果、傍参与者の存在は授業時間の有意な増加と配慮行動を誘発した一方、学習効果には有意差が認められず、分かりやすさを優先する「言語化」と自身の理解を深める「概念化」の間にトレードオフが存在することが示唆された。

## 1 イントロダクション

学習者が教える立場に立つことで自身の理解を深化させる「Learning by Teaching (LBT)」は、知識の定着やメタ認知の向上に寄与する有効な学習手法である[1-3]。対人相互作用における LBT の効果に関しては、ピア・チュータリングや相互教授の研究において多数の知見が蓄積されている[4]。これらの研究によれば、教えるという行為は、学習者に対し自身の知識の欠落への気づきを促すとともに、既存の知識を外部化し再構成する生成的な処理を強いるため、単に講義を受けるよりも深い学習効果をもたらすことが実証されている[5, 6]。しかし、実環境での LBT は、適切な知識レベルを持つパートナーの確保が困難であることや、心理的な負担等の課題も指摘されている[7, 8]。そこで近年では、コンピュータ上の仮想エージェントを「生徒役」に見立てて教える「Teachable Agent (TA)」をはじめ、教育システムによる LBT 支援の研究が精力的に行われており、対人教授と同様、あるいはそれ以上の学習効果が得られることが報告されている。既存の LBT システムの多くは、学習者と生徒役エージェントが対面で対話を行う形式が一般的であり、その有効性が報告されている[9, 10]。

しかし、従来の一対一環境における LBT システムには、学習効果を最大化する上で解決すべき課題が残されており、学習者による説明の簡略化が挙げられる[11]。Roscoe と Chi は、教授活動において、学習者が既存の知識を単に述べるだけの「知識の伝達」に留まる場合、

自身の知識を再構成する「知識の構築」が生じず、十分な学習効果が得られないことを指摘している[12]。Clark らの最小努力の原理によれば、人間はコミュニケーションにおいて、相手に通じる最低限の情報量で済ませ、多弁を避ける傾向がある[13]。一対一の対話、特に相手が定型的な反応しか返さないエージェントである場合、学習者は説明を省略・簡略化してしまうリスクが高い。その結果、LBT の学習効果の源泉である知識の再構成を促すための説明の精緻化が十分に生じず、深い学習に至らないという問題がある。

この課題を解決するために、これまでの LBT 研究では、エージェントからの質問を投げかけるなどの足場かけ機能の実装に加え、聞き手となるエージェントの数を操作するアプローチが検討されてきた[14]。聴衆が増えることで、見られているという意識が高まれば、学習者はより丁寧に説明しようとする社会的促進が働くと期待されるからである[15]。しかし、先行研究によれば、単なる数の増加は必ずしも学習効果の向上には繋がらないことが示唆されている[16]。Latané の社会的インパクト理論によれば、観衆の数が増加するほど、対象者が受ける社会的圧力は増大する[17]。教育場面において、この圧力は「評価懸念」、すなわち他者から評価されることへの過度な不安や緊張として作用する場合がある。

したがって、学習者の説明行動を適切に引き出すためには、単に聞き手の数を操作するのではなく、過度な評価懸念を与えずに説明の精緻化を促すような、聞き手との関係性に着目した設計デザインにこそ、LBT の新たな可能性が開けるのではないかと考えられる。そこ

で本研究では、LBT 環境に「傍参与者」を導入する手法を提案する。傍参与者とは、Goffman の参与枠組みにおいて、「対話への参加権を持つ正当な参加者ではあるが、現在は直接言葉を向けられていない者」と定義される役割である[18]。これは、直接の指導対象である生徒役エージェントに加え、知識を持たない第三者を同席させることで、学習者に対し「聞き手デザイン」を誘発し、過度なプレッシャーを与えずに説明の精緻化を促すことを目的としたものである。

この提案手法の理論的基盤となるのが、Schober と Clark による聞き手デザインの理論である[19]。彼らによれば、話し手は直接の対話相手だけでなく、その場にいる傍参与者を含む全ての「正規の参加者」が理解できるように、発話の内容や形式を調整する傾向がある。LBT 環境に傍参与者を導入することは、単に TA を増やすよりも、直接の回答や評価を求められないため、学習者に過度なプレッシャーを与えずに、説明の精緻化を促すことが期待される。特に、参加者間に知識レベルの差がある場合、話し手は最も知識の乏しい参加者に合わせて説明を調整する傾向があることが知られている。

本研究の目的は、対人実験を通じ、傍参与者を導入した三者間 LBT システムの効果を明らかにすることである。具体的には、従来の一対一の二者間環境をベースラインとし、提案する三者間環境を用いることで、1) 学習者の説明行動が変容するか、2) その結果として学習成果が向上するか、3) 学習者の主観的な心理状態(緊張感や動機づけ)にどのような影響を与えるか、について検証を行う。

## 2 実験

### 2.1 実験仮説

本実験では、傍参与者の導入が学習者の説明行動および心理状態に与える影響を検証するため、以下の2つの仮説を設定した。

・**仮説1: 傍参与者の存在は、学習者の聞き手デザインを誘発し、授業時間を増加させる。**

Schober と Clark の理論に基づき、初学者である傍参与者が存在する場合、学習者はその知識レベルに合わせて説明の精緻化を行おうとする。そのため、傍参与者が存在する条件は、存在しない条件と比較して、授業時間が有意に長くなると仮定する。

・**仮説2: 説明の精緻化は、学習者のテスト結果を向上させる。**

Roscoe と Chi が指摘するように、精緻化プロセスはより強固な記憶の定着と深い理解を促すため、傍参与者が存在する条件は、存在しない条件と比較して、学習後のテスト成績が有意に高くなると仮定する。

### 2.2 実験デザイン

提案システムは、ゲームエンジンである Unity (2022.3.42f1) を用いて開発を行った。

システムは主に、学習者用のインターフェースと、実験者によるバックエンドでのエージェント制御機構から成る。なお、エージェントの対話制御には、Wizard of Oz (WOZ) 法を採用した。これは、システムの知能面を人間が代行する手法であり、現状の AI では困難な文脈に応じた柔軟な質問生成を実現するために用いた。実験者は学習者の表情や手元を直接視認せず、学習者の発話音声のみを手がかりとして、授業の進行状況を判断し、エージェントの対話制御を行った。

本システムには、教わり手となる「受け手エージェント」と、観察者である「傍参与者エージェント」の2種類のエージェントが実装されている。

受け手エージェントの外見には、一般的な女子学生を模した 3D モデルを採用した。本エージェントの知識レベルは、「生物学に関する一般的な知識は有しているが、今回の授業テーマについては未学習である」と設定した。これにより、学習者は「ある程度の前提知識は通じる」という想定で授業を行うことが可能となる。傍参与者エージェントの外見には、スーツを着用した 50 代男性の 3D モデルを採用した。本エージェントの最も重要な仕様は、その知識レベルにある。本エージェントは「生物学に関する知識を全く持たない完全な初学者」として設定されている。この設定により、Schober と Clark の理論に基づき、学習者が専門用語を噛み砕き、基礎から説明を行う、聞き手デザインの誘発を狙う。

### 2.3 実験条件

本実験では、傍参与者エージェントの有無が学習者の行動および心理に与える影響を検証するため、以下の2つの実験条件を設定した。

・**二者間条件:** 図 1 に示すように、教室内に「受け手エージェント」のみが存在する条件である。受けては受け手エージェントとの一対一の状況で授業を行う。これは Biswas らをはじめとする一般的な TA システムの学習環境を再現したものである。

・**三者間条件:** 図 2 に示すように、教室内に「受け手エージェント」に加え、後方に「傍参与者エージェント」が存在する条件である。なお、第 3 章で述べた通り、この傍参与者は「完全な初学者」としての知識レベルと、「評価的な振る舞いおよび社会的報酬」の機能を保持している。

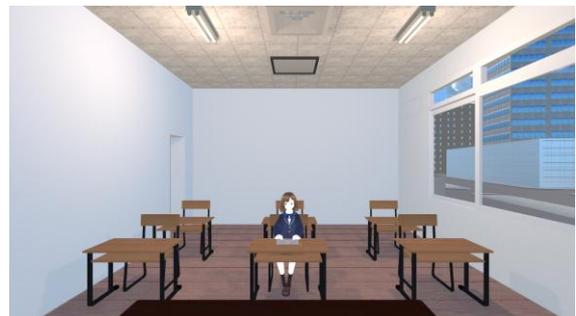


図 1 二者間条件時の教室環境



図2 三者間条件時の教室環境

## 2.4 実験参加者

実験参加者は、次の条件に基づいて募集した。1) 日本語をネイティブレベルで理解できること、2) 身体・精神が共に健常であること、3) Google Forms への回答が可能であることである。

本実験には大学生計 17 名が参加した。実験終了後に実施した半構造化インタビューの結果、参加者のうち 1 名について、使用した教材の内容に関する専門的な予備知識を有していたことが確認された。本実験は「新しい知識の教授」を通じた「知識の再構成」を測定することを目的としているため、学習内容に関する予備知識を有していることは実験結果に対する交絡因子となる。したがって、当該参加者のデータを除外し、残る 16 名(男性 7 名、女性 9 名、平均年齢 21.88 歳、標準偏差 0.78)を有効データとして解析対象とした。

## 2.5 実験環境

実験は、外部からの干渉を防ぐため、実験者と参加者のみが入室した小教室において実施された。室内にはスクリーンが設置され、ここに仮想教室が投影された。参加者は、このスクリーンに正対する位置に設置された椅子に着席し、手元に配布された教材を用いて授業を行った。(図 3)



図3 実験環境

## 2.6 実験手順

実験は、参加者 1 名ごとに個別に実施された。実験室に入室した参加者は、一連の実験手続きの説明を受けた。この際、エージェントの反応が実験者の操作によるものであることは伏せられ、「システムは AI によって自律的に参加者の声を認識し、反応している」というカバーストーリーが伝えられた。その後、カウンターバランスに基づき割り当てられた第 1 セッションを開始した。各セッションは「準備フェーズ」「教授フェーズ」「評価フェーズ」の 3 段階で構成され、以下の手順で進化した。

準備フェーズでは、参加者に実験条件に応じた紙媒体の教材が配布された。また、この際、対話相手となるエージェントの知識レベルに関する教示が行われた。具体的には、直接の指導相手となる受け手エージェントについては「生物学の基礎知識はある程度有しているが、今回の学習トピックに関しては未学習の者」、三者間条件における傍参与者エージェントについては「生物学に関する一般的な知識を持たない完全な初学者」であると伝えられた。その後、教材の学習時間は 5 分間に設定され、参加者は手元の教材を黙読し、授業の構成を検討するなどして教授活動への準備を行った。

教授フェーズでは、学習時間の終了後、教材を回収することなく直ちに移行した。参加者はスクリーン上の仮想教室に着席しているエージェントに向かって、学習した内容の口頭説明を行った。本実験では、参加者がより自然かつ自身のやりやすいスタイルで教授活動を行えるよう、授業中の姿勢(立位・着座)は参加者の自由とした。また、実験スペースにはホワイトボード及びマーカーが設置されており、図解や板書が必要な場合はこれらを自由に使用してよい旨が伝えられた。なお、このフェーズにおいて、エージェントの振る舞いは実験者によって制御された。

評価フェーズでは、教授活動終了後に Google フォームを用いたテストを実施した。学習者は Google フォームにアクセスし、まず教材内容に関する理解度テストに回答した。第 1 セッションの終了後、参加者の疲労や前に条件の心理的影響を軽減するため、3 分間の休憩時間が設けられた。休憩後、条件および使用教材を入れ替え、第 2 セッションを実施した。第 2 セッションにおいても、準備フェーズから評価フェーズに至るまでの一連の手順は第 1 セッションと同様に行われた。

2 つのセッションがすべて終了した後、実験者による半構造化インタビューを実施した。インタビューではシステムを使用した感想、エージェントの振る舞いに対する印象、および授業中の心理変化などについて聴取を行った。

## 2.7 評価方法

参加者の行動変容および学習成果を定量的に評価するため、以下の 2 つの指標を用いた。

1. **授業時間**: 説明行動の量的な変化を測る指標として計測した。計測範囲は、学習者が授業開始の挨拶を

行ってから、すべての説明を終えて終了の挨拶を行うまでの時間とした。仮説 1 に基づき、傍参与者が存在する三者間条件では聞き手デザインが誘発され、説明が精緻化されることで授業時間が増加すると予測される。

**2. 理解度テスト:** 知識の定着度を測るため、各セッションの直後に Google フォームを用いたテストを実施した。テストは以下の 2 種類の設問形式で実施した。

・**暗記問題:** 教材に記載された用語や定義、数値などの事実関係を正確に記憶しているかを問う問題。

・**転移問題:** 教材で得た知識を用いて、異なる事例や新しい状況における事象を説明できるかを問う問題。

### 3 結果

授業時間、暗記テスト結果、転移テスト結果に対して、検定を行った。項目ごとに二者間条件と三者間条件の 2 群間の差分を算出し、Wilcoxon の符号付き順位検定を行った。各指標を正規化して平均値を算出したものを以下の図 4 に表す。図 4 において、エラーバーは標準誤差を表しており、検定の結果から、\* $p < .05$  を表している。検定を行った結果、授業時間の項目において、5% 水準で有意差が確認された ( $p = .015 < .05$ )。これは、三者間条件において授業時間が有意に長かったことを示している。

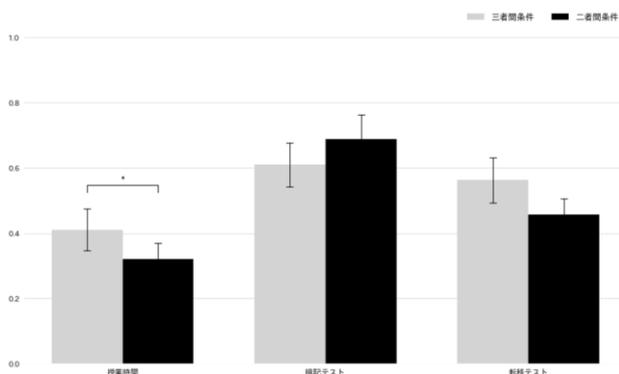


図 4 評価結果(正規化した値)

## 4 考察

### 4.1 仮説 1 に対する考察

仮説 1「傍参与者の存在は、学習者の聞き手デザインを誘発し、授業時間を増加させる」の検証結果とその要因について考察する。第 3 章の分析結果において、傍参与者が存在する三者間条件の授業時間は、二者間条件と比較して有意に長いことが示された。これは、学習者が傍参与者の存在を考慮し、より多くの時間をかけて説明を行ったことを客観的に裏付けている。したがっ

て、仮説 1 は支持されたと結論づけられる。この行動変容が生じた主たる要因は、学習者が傍参与者の知識レベルに合わせて説明を調整する聞き手デザインが機能したためであると考えられる。第 1 章で述べた通り、Schober と Clark は、知識レベルの異なる複数の聞き手が存在する場合、話し手はその場における最も知識を持たない参加者に合わせて説明の基準を設定すると指摘している。

本実験において、直接の指導相手である受け手エージェントは「生物学の基礎知識はある程度有しているが、今回の学習トピックに関しては未学習の者」であった。一方で、傍参与者エージェントは完全な初学者として設定されていた。二者間条件においては、学習者は受け手エージェントとの間でのみ共通理解を形成すればよいため、ある程度の前提知識を省略し、効率的に説明を進めることが可能であった。対して、三者間条件においては、初学者である傍参与者が正当な参加者としてその場に存在していた。そのため、学習者は受け手エージェントに対して説明を行いつつも、初学者である傍参与者エージェントが置き去りにならないよう、専門用語の噛み砕きや、基礎的な背景知識を補足したりする必要性に迫られたと考えられる。

この解釈は、実験終了後に実施した半構造化インタビューの結果によっても強く支持される。実際に、エージェントが初学者であることを考慮し、説明方法を意図的に調整したという報告が多数得られた。具体的には、半構造化インタビューから「画面に初学者がいるため細かく説明する必要性を感じた」「専門用語を使わないよう配慮した」「生物用語を簡単なものに置換する意識があった」との発言が得られた。また、「初学者に対し、ナラティブな文脈を持たせて説明するよう心掛けた」といった発言も確認された。これらに加え、他の参加者からも、相手の知識レベルに合わせて説明を補足し、修正するといった「説明の精緻化」を意識した旨の記述が確認された。これらの結果は、学習者が相手の立場や知識レベルに合わせて、説明方法を調整していたことを示している。

これらの主観報告と、授業時間の有意な増加という客観的データの一致は、本システムにおける「初学者としての傍参与者」を導入した本システムが、学習者からより丁寧な説明行動を引き出す環境として有効に機能したことを示している。

### 4.2 仮説 2 に対する考察

仮説 2「説明の精緻化は、学習者のテスト結果を向上させる」の検証結果とその要因について考察する。

一般に、Chi らの自己説明研究が示唆するように、説明活動に費やす時間の増加は、学習者がより多くの認知リソースを投入したことを意味し、学習成果と正の相関を示すことが期待される[20]。しかし、第 3 章の分析結果において、三者間条件では授業時間が有意に増加したものの、暗記テスト結果及び転移テスト結果においては、条件間に有意差は見られなかった。したがって、仮説 2 は支持されなかったと結論づけられる。この要因

として、精緻化の質的側面からの考察を行う。

授業時間は有意に増加したにもかかわらず、なぜそれがテスト結果の向上に結びつかなかったのか。その要因は、学習者が費やした時間の使途、すなわち認知リソースの配分先にあると考えられる。Roscoe と Chi は、説明活動を、既存の知識を単に述べる「知識の伝達」と、知識を再構成する「知識の構築」に峻別しており、深い学習効果が得られるのは後者であるとしている。本実験において、学習者は初学者である傍参与者に理解させるため、専門用語の回避や平易な表現への言い換えといった「説明の平易化」に多くの時間を割いていたことが推察される。実際、半構造化インタビュー結果においても、複数の学習者が「画面に初学者がいることで細かく説明する必要性を感じた」「専門用語を使わないように配慮した」と述べている。このことから、増加した時間の多くは、学習者が既存の知識をそのまま出力するのではなく、初学者にとって理解可能な形式へと説明を調整するプロセスのために費やされたことが裏付けられる。

しかし、この「平易化」のプロセスが、必ずしも学習者自身の深い理解に繋がるとは限らない。Levelt の発話産出モデルに基づけば、発話にはメッセージの内容を計画する「概念化」と、それを適切な語彙や文法構造に変換する「言語化」の二つの処理が必要となる[21]。本実験のタスクにおいて、学習者は聞き手デザインの実践として、相手に伝わる言葉を選び出す言語化のプロセスに、ワーキングメモリ内の限られた認知リソースを集中的に投入していた可能性が高い[22]。人間の認知要領には限界があるため、限られたリソースの中でトレードオフが生じ、学習者自身の脳内で因果関係を論理的に再構築する概念化のプロセスには、十分なリソースが配分されなかったと考えられる[23]。つまり、学習者は言語化のプロセスに注力した結果、概念化のプロセスに十分なリソースが配分されず、その結果としてテスト得点への直接的な反映が見られなかったと考えられる。

## 5 結論

本研究では、LBT において課題となる学習者の説明の簡略化を防ぎ、かつ過度な評価懸念を与えずに説明の精緻化を促すための環境デザインとして、傍参与者を導入した三者間 LBT システムを構築し、その有効性を検証した。大学生を対象とした評価実験の結果、以下の知見が得られた。

1 点目は、学習行動の変容についてである。提案手法を用いた条件では、授業時間の有意な増加が確認された。学習者は、知識を持たない傍参与者への配慮として、専門用語の回避や丁寧な言い換えといった説明の平易化を行っており、本システムが学習者の対話態度を変容させる効果を持つことが明らかになった。

2 点目は、学習成果についてである。事後テストによる知識の定着および転移のスコアにおいては、条件間に統計的な有意差は認められなかった。第 4 章で考察した通り、これは学習者の限られた認知リソースが言語化のプロセスに優先的に配分され、概念化のプロセスとの

間にトレードオフが生じたことに起因すると推察される。

総括すると、本研究で提案した初学者の傍参与者というアプローチは、直接的なテスト得点の向上には至らなかったものの、説明に対する誠実な態度や行動変容を誘発する点において、LBT 支援システムの新たな環境デザインとしての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] Logan Fiorella and Richard E. Mayer: Learning as a Generative Activity: Eight Learning Strategies that Promote Understanding (1st ed.), Cambridge University Press, (2015)
- [2] John A. Bargh and Yaacov Schul: On the cognitive benefits of teaching, J. Educ. Psychol., Vol. 72, No. 5, pp. 593–604, (1980)
- [3] Peter A. Cohen, James A. Kulik, and Chen-Lin C. Kulik: Educational Outcomes of Tutoring: A Meta-analysis of Findings, Am. Educ. Res. J., Vol. 19, No. 2, pp. 237–248, (1982)
- [4] Aannemarie Sullivan Palinscar and Ann L. Brown: Reciprocal Teaching of Comprehension-Fostering and Comprehension-Monitoring Activities, Cogn. Instr., Vol. 1, No. 2, pp. 117–175, (1984)
- [5] Ann L. Brown: Knowing when, where, and how to remember: A problem of metacognition, In Advances in instructional psychology, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 77–165, (1978)
- [6] Alison King: Guiding Knowledge Construction in the Classroom: Effects of Teaching Children How to Question and How to Explain, Am. Educ. Res. J., Vol. 31, No. 2, pp. 338–368, (1994)
- [7] Gautam Biswas, Krittaya Leelawong, Daniel Schwartz, Nancy Vye, and The Teachable Agents Group At Vande: LEARNING BY TEACHING: A NEW AGENT PARADIGM FOR EDUCATIONAL SOFTWARE, Appl. Artif. Intell., Vol. 19, No. 3–4, pp. 363–392, (2005)
- [8] Catherine C. Chase, Doris B. Chin, Marilyn A. Oppezzo, and Daniel L. Schwartz: Teachable Agents and the Protégé Effect: Increasing the Effort Towards Learning, J. Sci. Educ. Technol., Vol. 18, No. 4, pp. 334–352, (2009)

- [ 9 ] Sandra Y. Okita and Daniel L. Schwartz: Learning by Teaching Human Pupils and Teachable Agents: The Importance of Recursive Feedback, *J. Learn. Sci.*, Vol. 22, No. 3, pp. 375–412, (2013)
- [ 1 0 ] Noboru Matsuda, William W. Cohen, Jonathan Sewall, Gustav Lingenfesler, and Kenneth R. Koedinger: Predicting students' performance with SimStudent: Learning cognitive skills from observation, IOS Press, pp. 467–476, (2007)
- [ 1 1 ] Kawin Leelawong and Gautam Biswas: Designing learning by teaching systems: The Betty's Brain system, *Int. J. Artif. Intell. Educ.*, Vol. 18, No. 3, pp. 181–208, (2008)
- [ 1 2 ] Rod D. Roscoe and Michelene T. H. Chi: Understanding Tutor Learning: Knowledge-Building and Knowledge-Telling in Peer Tutors' Explanations and Questions, *Rev. Educ. Res.*, Vol. 77, No. 4, pp. 534–574, (2007)
- [ 1 3 ] Herbert H. Clark and Susan E. Brennan: Grounding in communication, In *Perspectives on socially shared cognition*, American Psychological Association, pp. 127–149, (1991)
- [ 1 4 ] Doris B. Chin, Ilsa M. Dohmen, Britte H. Cheng, Marily A. Oppezzo, Catherine C. Chase, and Daniel L. Schwartz: Preparing students for future learning with Teachable Agents, *Educ. Technol. Res. Dev.*, Vol. 58, No. 6, pp. 649–669, (2010)
- [ 1 5 ] Robert B. Zajonc: Social Facilitation: A solution is suggested for an old unresolved social psychological problem, *Science*, Vol. 149, No. 3681, pp. 269–274, (1965)
- [ 1 6 ] Kazuma Ichikawa and Hirotaka Osawa: Effect of Instructional Formats in Teaching Teachable Agents on Learners' Motivation, In *Proceedings of the 13th International Conference on Human-Agent Interaction*, ACM, pp. 341–349, (2025)
- [ 1 7 ] Bibb Latané: The psychology of social impact, *Am. Psychol.*, Vol. 36, No. 4, pp. 343–356, (1981)
- [ 1 8 ] Erving Goffman: *Forms of talk* (5. [print.] ed.), Univ. of Pennsylvania Press, (2008)
- [ 1 9 ] Michael F. Schober and Herbert H. Clark: Understanding by addressees and overhearers, *Cognit. Psychol.*, Vol. 21, No. 2, pp. 211–232, (1989)
- [ 2 0 ] Michelene T.H. Chi, Miriam Bassok, Matthew W. Lewis, Peter Reimann, and Robert Glaser: Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems, *Cogn. Sci.*, Vol. 13, No. 2, pp. 145–182, (1989)
- [ 2 1 ] Willem J. M. Levelt: *Speaking: From Intention to Articulation*, The MIT Press, (1989)
- [ 2 2 ] Ronald T. Kellogg: A model of working memory in writing, In *The science of writing: Theories, methods, individual differences, and applications*, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 57–71, (1996)
- [ 2 3 ] John Sweller: Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning, *Cogn. Sci.*, Vol. 12, No. 2, pp. 257–285, (1988)