

# 一人一台学習パートナーロボット時代を見据えた 学習支援ロボット研究における学習分析の再定義

島崎俊介\*

\* 東京科学大学

## Redefining Learning Analytics in Learning Support Robot Research Toward the Era of Personal Learning Partner Robots

Toshiyuki SHIMAZAKI\*

\* Institute of Science Tokyo

\* shimazaki@citl.isct.ac.jp

概要: 本稿は、筆者の私見に基づき、一人一台の学習パートナーロボットが学習者と共創する時代を見据え、学習支援ロボット研究の立場から学習分析の再定義について論じるものである。まず、筆者が博士課程において取り組んだインタラクティブロボット講義研究を概観し、視線や姿勢といったフィジカルデータを用いた学習分析から得られた知見と、従来の学習ログ中心の学習分析の限界を整理する。その上で、学習支援ロボット研究における学習分析に対して提示する課題として、サイバー・フィジカル空間を融合した学び、マルチモーダルなデータ活用、学習者とロボットとのパートナー性を捉える縦断的な分析、ならびに継続的なデータ収集に伴う倫理的配慮について検討する。最後に、一人一台の学習パートナーロボット時代における学習分析は、単なる学習ログの分析にとどまらず、学習者とロボットの相互作用やパートナー性を考慮し、再定義されるべきであることを主張する。

Abstract: Based on the author's personal perspective, this paper examines a redefinition of learning analytics (LA) from the standpoint of learning support robot research, looking toward an era in which each learner is accompanied by a personal learning partner robot that co-creates learning experiences with the learner. First, the paper reviews the author's doctoral research on an interactive robot lecture and summarizes key insights obtained through learning analytics using physical data such as gaze and posture, together with the limitations of conventional learning analytics centered on learning logs. Building on these insights, the paper discusses key challenges that learning support robot research poses to learning analytics, including learning across integrated cyber-physical spaces, the use of multimodal data, longitudinal analysis that captures learner-robot partnerships, and ethical considerations arising from continuous data collection. Finally, the paper argues that, in the era of personal learning partner robots, learning analytics should be redefined beyond the mere analysis of learning logs to account for interactions and partnerships between learners and robots.

キーワード: 学習支援ロボット、インタラクティブロボット講義、フィジカル AI、マルチモーダル・ラーニングアナリティクス、一人一台学習パートナーロボット時代

Keywords: Learning Support Robot, Interactive Robot Lecture, Physical AI, Multimodal Learning Analytics, Era of Personal Learning Partner Robots

### 1. はじめに

学習分析(Learning Analytics: LA)は、学習支援システム、学習管理システム(LMS)、オンライン教材の普及とともに

に発展し、学習プロセスの可視化や最適化を図る手法として、学習・教育改善に大きく寄与してきた。オンライン学習環境やデジタル教材、ハイブリッドによる学習環境(島崎・柏原 2025)の普及に伴い、課題提出履歴などの学習ログ

データ(以下、学習ログ)を基盤とした学習分析が広く行われている。

一方で、学習が行われる場合は、必ずしも PC やタブレットの画面上に限定されるものではなく、特に近年は、生成 AI を用いた学び、VR 空間上の AI アバターやソーシャルロボットによるフィジカル AI を用いた、サイバー空間とフィジカル空間の融合要素を伴う学習環境が導入されつつあり、人間と学習支援ロボット(以下、ロボット)が共創しながら学ぶ時代が現実的になりつつある。

筆者はこれまで、学習支援ロボット研究の一環として、ロボットを用いたインタラクティブロボット講義研究に取り組んできた(島崎・柏原 2026, Shimazaki et al 2023)。本研究では、ロボットによるインタラクションが、学習者の講義に対する注意、理解、積極的関与(エンゲージメント)の影響を与える様子が確認された。同時に、その影響の多くが、従来の学習ログでは十分に捉えきれないものであることも明らかとなった。ロボットは、単なる「学習者の隣に存在する擬人化傾向・身体性を有する機械」ではなく、インタラクションや非言語動作を通じて学習者と相互作用を行い、学習プロセスにおいて一定の役割を担う、学習パートナーとして位置付けられる。加えて、学習者がロボットと共に学ぶ時代において学習は、学習者単独の認知面を支援するだけでなく、学習者とロボットとの相互作用を通じた情動面を支援する存在として捉えられる。特にロボットは、学習者の情動面に対する働きかけを促進する学習支援メディアとして位置付けられるため、PC、タブレットを用いた学習とは異なる学習体験を得られる(島崎・柏原 2026)。

しかしながら、従来の学習ログ中心の学習分析の枠組みでは、学習者とロボットとの相互作用を十分に記述することが困難である。例えば、学習者とのインタラクション、学びの場における注意の共有、身体的な同期や距離感といった要素は、単純な学習ログとしては捉えにくく、学習プロセスにおいて重要であるにもかかわらず、学習分析の対象から漏れがちである。このことは、学習分析における「学習ログとは何を指し、どう分析すべきか」という根本的な問いを改めて提起するものであると筆者は考える。

そこで本稿では、筆者が博士課程で取り組んだインタラクティブロボット講義研究を概観し、学習支援ロボット研究における学習分析を対象とした、新たな課題について考察する。また、一人一台の学習パートナーロボットが学習

者と共創しながら学ぶ時代を見据えたとき、学習支援ロボットにおける学習分析は何かというリサーチクエストionsを掲げ、どのように再定義されるべきかについて、筆者の私見を述べる。以下、本稿では、下記のリサーチクエストionsを掲げて、以降の章を述べる。

**リサーチクエストions:**一人一台の学習パートナーロボット時代において、学習分析はどうあるべきか。

## 2. インタラクティブロボット講義研究

### 2.1 ケーススタディの概要

筆者が博士課程において取り組んだインタラクティブロボット講義研究では、人間講師の講義を代行した、講義シナリオや非言語動作を行うロボット1台を学習者1名の前に配置し、学習者に講義を行うインタラクティブロボット講義システムを開発した(島崎・柏原 2026)。本研究の主眼は、ロボットによるインタラクションは、講義における学習者の注意維持や理解促進、講義のエンゲージメントにどのような影響を与えるかを検証することであった。

本研究で実施したインタラクティブロボット講義のケーススタディは次のとおりである。参加者は理工系大学・大学院生41名で、図1の通り、ロボットによるインタラクション有無の2条件による被験者間実験を行った。本講義は、人間講師の講義を事前に収録し、非言語動作やパラ言語を診断・再構成した上で、ロボットが講義を代行した。講義中は、学習者の視線データと姿勢データを1秒毎に取得し、学習者の受講状態を推定し、学習分析に活用した。

ケーススタディを通して確認された点として、ロボットによるインタラクションは、インタラクションをしない条件と比較し、講義が進むにつれ低下する傾向のある学習者の注意を維持すること、講義の理解が促進されることである。一方で、視線データと姿勢データだけでは、人間講師による受講状態の推定結果と、システムの推定結果が必ずしも一致しないという結果も得られた。今後は、両者の推定結



図1 ケーススタディの様子

果を用いた適合率・再現率の向上が課題として挙げられる。例えば、学習者の表情やうなずき、講義における間や学習者に問いかけを行うことで、推定結果の精度向上が期待できる。一方で、人間講師の推定結果が適切であるかどうかについても議論を行う必要があると考えている。本事例は、一つの講義環境に限定されたものであるが、以下に述べる知見は、学習支援ロボット研究全体に共通して現れる学習分析上の課題であると考えられる。

## 2.2 本研究における学習分析の知見

本研究における学習分析の知見は、大きく分けて次の三点に整理できる。学習者のフィジカルデータ活用による学習分析(2.2.1)、従来の学習分析における限界の顕在化(2.2.2)、学習支援ロボット研究における学習分析の課題(2.2.3)である。本節では、この三点の知見を整理する。

### 2.2.1 学習者のフィジカルデータ活用による学習分析

第一に、本研究では、学習者の視線の向き、身体の姿勢、ロボットに対する注意といった視線データや姿勢データといったフィジカル空間における学習者の行動データを学習分析の対象として扱った点に特徴がある。これらのフィジカルデータは、講義中の注意やエンゲージメントの度合い、理解の進行と密接に関係していると考えられる。本研究は、こうしたフィジカルデータを学習分析に取り込むことによって、ロボットによる講義における学習プロセスを可視化しようとする試みであった。

### 2.2.2 従来の学習分析における限界の顕在化

第二に、本研究は、従来の学習ログを中心とした学習分析の限界を顕在化させた点に意義がある。従来の学習分析は、LMSの操作履歴や課題提出履歴、学習支援システムの入出力といった履歴を学習ログとして扱ってきた。しかし、インタラクティブロボット講義のように、フィジカル空間で学習が展開される環境においては、学習者の明示的な行動や学習プロセスを拾うことは困難であり、従来の学習ログの枠組みでは分析対象からこぼれ落ちやすい。本研究では、学習者に依らず、同一の構成で講義を実施し、学習者の受講状態に応じた同じ手続きに基づくインタラクションを実施した。にもかかわらず、個々の学習者の受講状態やエンゲージメントの度合いには差が見られ、そ

の違いは既存の学習ログだけでは説明できないことが示唆された。

また、受講状態の推定をめぐるのは、「何をもって受講していると判断するのか」という、人間講師による評価基準そのものの問題も浮き彫りになった。人間講師は、学習者の表情、うなずき、発話の間、教室全体の雰囲気といった複数の手がかりを総合して受講状態を判断していることが多い。一方で、システムによる推定は、限定された視線・姿勢データに基づくものであり、両者の不一致は、学習状態の推定精度の問題であると同時に、受講状態の捉え方の問題でもある。この点は、2.1節でも述べた通り、学習分析において、単に取得するデータや分析手法を高度化するだけでは不十分であることを示している。本知見は、フィジカルデータが学習分析に有用な客観情報を提供する一方で、それだけで学習状態を十分に捉えることは難しいことを示している。

### 2.2.3 学習支援ロボット研究における学習分析の課題

第三に、本研究を通じて、学習支援ロボット研究における学習分析の課題が明確になった。学習者とロボットとの学習における相互作用は、講義における受講状態やインタラクションといった離散的なイベントの集合としてではなく、時間を通じて連続的に展開される学習プロセスである。学習者は、ロボットとの場の共有や、インタラクションを重ねる中で、徐々にパートナー性を形成し、それが後続の学習行動や態度に影響を及ぼす可能性がある。しかし、従来の学習分析では、セッション単位や課題単位でデータを切り分けてタイムスタンプで管理扱うことが一般的であり、このようなパートナー性の形成や変化を十分に捉えることが難しい。本研究においても、短期的な注意や理解の変化は捉えられたものの、ロボットとのパートナー性がどのように構築され、学習にどのような影響を与えていくのかについては、十分な分析が行えたとは言えない。

さらに、ロボットとの相互作用において重要と考えられるインタラクションのタイミング及び遅延、視線の同期、非言語動作といった要素は、個々の学習者に依存する、質的で文脈依存であり、評価指標として定式化することが難しい。これらの要素をどのように学習ログとして扱い、分析可能な対象とするかは、ヒューマンロボットインタラクション研究としての学習支援ロボット研究の課題である。

以上の三点から、本研究における学習分析の知見は、ロボットを用いた学びの環境において、分析対象の再定義、複数のフィジカルデータによるモダリティを統合した分析手法の必要性、そして学習を時間的に連続するプロセスとして捉える視点の重要性を示すものである。これらの課題は、本研究にとどまらず、学習支援ロボット研究全般に共通して検討されるべき論点である。

次章では、これらの知見を踏まえ、学習支援ロボット研究における学習分析を、より体系的かつ一般的な観点から整理する。

### 3. 学習支援ロボット研究における学習分析

前章では、インタラクティブロボット講義のケーススタディを通して、学習支援ロボット研究における学習分析の知見を三点に整理した。本章では、これらの知見を一事例にとどめることなく、学習支援ロボット研究全体に共通する論点として一般化し、筆者の考える学習支援ロボット研究における学習分析の再構成に向けた視座を提示する。

#### 3.1 サイバー・フィジカル空間を融合した学びと学習分析

学習支援ロボット研究が、学習分析に対して提示する最も本質的な課題は、学習がサイバー空間とフィジカル空間を横断して生起する点にある。ロボットは、デジタルな情報を提示するパートナーであると同時に、擬人性を有し、物理的な身体を持ち、学習者と同じ場の空間を共有する。そのため、学習者の学びの履歴は、クリックや入力といった操作としてではなく、視線、姿勢、距離、間といった身体的・空間的・社会的行為として現れる。

筆者は、従来の学習分析を、学習者の PC 上での学習活動や操作を認知的な学習プロセスとして捉え、学習者の行動や時間のログを学習プロセスと捉える、暗黙の前提のもとで発展してきた側面があると考え。しかし、学習支援ロボットを介した学習では、学習者がロボットをどのような存在として捉えているか、どの程度の親近感や信頼感を抱いているかといった、パートナー性の要素が、学習の態度や行動に強く影響を及ぼす。本要素は、単純な頻度や滞在時間といった指標では捉えにくい。そこが、学習支援ロボット研究における学習分析の重要な論点である。

また、ロボットとの相互作用は連続的かつ文脈依存的であり、学習の結果よりもプロセスに強く関与する。例えば、学習に対する理解が不十分な状態であっても、ロボットの存在によって発話が促進されたり、逆に質問を控えなかったりすることがある。このような質的变化をどのようにデータとして取り扱い、学習分析の対象とするのかについても、学習支援ロボット研究における重要な論点である。この点において、ロボットは、単にインタフェースを高度化した学習支援システムとは位置付けられない。ロボットは擬人的な物理的な身体を持ち、学習者と同じ空間を共有することによって、学習をサイバー空間内の操作として完結させない存在である。その意味でロボットは、学習分析の前提そのものを揺さぶる存在であり、学習を身体・空間・パートナー性に埋め込まれたプロセスとして捉え直す契機を提供している。

#### 3.2 フィジカルデータを用いたマルチモーダル・ラーニングアナリティクス

前章で示したように、学習支援ロボット研究では、視線や姿勢といったフィジカルデータが学習状態を捉える重要な手がかりとなる。一方で、これらのデータだけでは、学習者の受講状態を十分に説明できないことも明らかとなった。このことは、各々のモダリティに依拠した学習分析の限界を示している。

近年の学習分析研究では、LMS 等の学習ログに加えて、視線、表情、音声、身体動作など複数のモダリティを統合するマルチモーダル・ラーニングアナリティクス(以下、MMLA)の重要性が指摘されている(松居 2015, 田村 2020, Mu, S et al 2020)。MMLA は、異なる種類のデータを統合することによって、学習プロセスをより多面的に捉えることを目指すものであり、学習支援ロボット研究における学習分析が直面している課題と強く接続する。

その一方で、マルチモーダル化は単に、学習者を多面的に分析するためのデータ量を増やすことを意味しない。複数モダリティを統合する際には、「何を学習として捉えたのか」「学習者とのどのようなパートナー性を可視化したのか」という理論的前提が不可欠である。学習支援ロボット研究は、身体性やパートナー性を含めた学習の捉え直しを迫る点で、MMLA 研究に対して新たな問いを投げかける領域であるといえる。

特に筆者ら学習工学の研究者は、学習支援ロボット研究においても、学びの意図を明確化し、そのためのモデルをデザインし、デザインに基づき、学習を行うためのモデルベースな学習支援が重要であると考えている。またロボットの様相を考慮したインタラクションやモデルデザインこそ、学習支援ロボット研究の本質といえる。

### 3.3 学習者とロボットのパートナー性を考慮した縦断的な学習分析

学習支援ロボット研究に特有のもう一つの重要な論点として、ロボットの最大の特徴は、パートナー性を有する学習支援メディアであるということである。学習者とロボットとのパートナー性が時間を通じて形成・変化していく点にある。ロボットとの相互作用は、単発のイベントではなく、継続的なプロセスとして展開される。学習者はロボットとのやり取りを重ねる中で、パーソナリティや信頼、役割の認識を徐々に形成し、それぞれが後続の学習プロセスに影響を及ぼす可能性がある。

しかし、従来の学習分析では、セッション単位や課題単位でデータを区切って扱うことが多く、このようなパートナー性の履歴や変容プロセスを十分に捉えることが難しいと考える。ロボットが一人一台の学習パートナーとして長期的に伴走する環境を想定すると、学習分析の対象は、短期的な学習効果の測定だけでなく、学習者の成長やパートナー性の変化を捉える縦断的な学習分析へと拡張される必要がある。

### 3.4 データのセンシング・分析の倫理的配慮

ロボットが学習者のパートナーとして学ぶ存在となる場合、データのセンシングと分析に関する倫理的配慮は、本分野における中心的課題となる。視線、表情、発話、身体動作といったマルチモーダルなデータを扱う学習分析は、学習プロセスをより豊かに捉える可能性を持つ一方で、これらのデータは、学習者のプライバシーや心理的安全性と密接に関わり、既存の学習分析で扱う学習ログよりもデータのセンシングと分析が容易ではない。擬人化傾向と身体性を有する機械であるロボットが、学習者と継続的学ぶパートナーとして存在する際、「何を記録し、何を記録しないのか」という判断自体が、学習支援ロボットシステムのデザインの肝となる。したがって、学習分析は、技術

的手法としてだけでなく、ロボットを用いた学習における、説明的同意、データ最小化、透明性と説明責任といった倫理的枠組みを内包した社会的実践として再定義される必要がある。これらが学習支援ロボット研究におけるロボットの有する向社会性的な側面の評価にもつながる。

学習支援ロボット研究は、これらの側面や、倫理的側面を含めて、学習分析のあり方を総合的に問い直す領域であるといえる。従来の学習支援システムとは異なり、ロボットだからこそ開示しやすいデータの有無があり、それらを明確にしながら、学習分析を行うことが重要である。

## 4. おわりに：学習分析研究への提言

本稿では、学習支援ロボット研究の立場から、学習分析の現状と今後の展望について論じてきた。第2章では、インタラクティブロボット講義のケーススタディを通して、学習者のフィジカルデータ活用による知見、従来の学習分析の限界の顕在化、そして学習支援ロボット研究における学習分析の課題という三点を述べた。さらに第3章では、これらの知見を一般化し、学習支援ロボット研究が学習分析に対して提示する論点を、サイバー・フィジカル空間を融合した学び、フィジカルデータを用いたMMLA、学習者とロボットのパートナー性を考慮した縦断的な学習分析ならびにデータのセンシング・分析の倫理的配慮という観点から整理した。

これらの議論から明らかになったのは、ロボットが、学習者の学びの可視化をより促進する学習支援メディアであると同時に、従来の学習分析の前提そのものを問い直す存在であるという点である。ロボットと学ぶ環境において、学習は、もはやサイバー空間上の学習ログとして完結するものではなく、学習者の身体的動作、空間的配置、そして人とロボットとのパートナー性に埋め込まれたプロセスとして生起する。そのため、学習分析は、LMS等の学習支援システム上の履歴や指標のみを対象とする枠組みから、身体性やパートナー性を含めた学習プロセス全体を捉える枠組みへと拡張される必要がある。特に、一人一台の学習パートナーロボットが、学習者と長期的に共創する環境を想定した場合、学習分析の対象は、単発の授業や短期間の学習活動を超え、学習者の成長や変容のプロセス、すなわちパートナー性の履歴へと広がる。ロボットは、学習

者の学習の都度介入する存在であると同時に、学習者との相互作用を継続的に蓄積する存在であり得る。その結果、学習分析は、学習プロセスの可視化や最適化を目的とした分析から、学習者とロボットが学ぶ場やパートナー性をデザインし、支援するための縦断的な分析へと重心を移すことが求められる。

最後に、本稿で提示したリサーチクエスチョン「一人一台の学習パートナーロボット時代において、学習分析はどうか」に立ち返るならば、本稿の立場は次のようにまとめられる。すなわち、学習支援ロボット研究における学習分析とは、学習者とロボットが、どのようなパートナー性の中で、どのように学びの時間を積み重ねてきたのかという学習者とロボットのパートナー性の履歴を読む営みといえる。この再定義こそが、ロボットと共に学ぶ時代における学習分析研究の重要な課題であり、本稿は一つの再定義である。

現代の技術革新を踏まえると、数年でその時代が到来すると予測する。現在の生成AIとのチャット履歴が、ロボットとのインタラクションそのものに対応し、フィジカルAIが実現することで、本稿で述べた学習分析が具現化されと考えられる。筆者もこれらの課題を意識しつつ研究を進め、一人一台の学習パートナーロボット時代実現へ貢献したい。

## 参考文献

松居辰則(2015). 感性情報学としての学習支援システム研究—学習者の心的状態の推定手法—. 人工知能学会誌, Vol.30, No.4, pp.481-485.

Mu, S., Cui, M., & Huang, X. (2020). Multimodal data fusion in learning analytics: A systematic review. *Sensors*, 20(23), 6856.

島崎俊介, & 柏原昭博. (2026). 学習者の受講状態センシングに基づくインタラクティブロボット講義システムとその有効性評価. 教育システム情報学会誌, 43(1), 26-38. Toshiyuki.

Shimazaki, T., & Kashiara, A. (2023). An interactive robot lecture system for attention and understanding recovery. *Proc. of the 31st International Conference on Computers in Education*, Vol.2, 1084-1087.

島崎俊介, & 柏原昭博. (2025). ハイブリッド講義・実験実習のための映像・音響設備を用いたテレプレゼンス技術. 電気設備学会誌, 45(12), 771-774.

田村恭久(2020). ラーニングアナリティクスとモデリング. 人工知能学会誌, Vol.35, No.2, pp.234-240.

## 著者紹介

### 島崎 俊介

2012年 電気通信大学電気通信学部卒、2014年 東京学芸大学大学院教育学研究科修士課程修了、2021年 東京農工大学大学院工学府専門職学位課程修了、2024年 電気通信大学大学院情報理工学研究科博士後期課程単位取得退学。博士(工学)。2015年電気通信大学学術技師、2026年より東京科学大学教育革新センターマネジメント准教授・先進技術活用室長、現在に至る。学習支援ロボット研究・先進技術を活用した教育環境の研究開発に従事。教育システム情報学会、電子情報通信学会、情報処理学会、人工知能学会、日本教育工学会、各会員。