

数学探究学習のプロセスを可視化する 教師向けダッシュボードの開発

東邦大学・薬学部 金子 真隆

Masataka Kaneko, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Toho University

山口大学・教育学部 北本 卓也

Takuya Kitamoto, Faculty of Education, Yamaguchi University

東邦大学・理学部 野田 健夫

Takeo Noda, Faculty of Science, Toho University

1 はじめに

LMS の機能向上により、大規模な学習データが取得できるようになってきたことを背景に、得られた情報を分析して学習支援に活用することを目指したラーニングアナリティクスが近年盛んになってきている。しかし、同時に多くの学習者に対応する必要がある場面などでは、教授者が全体および個々の学習状況をいかにして把握するかが問題となり、探究的な学びを行わせる場合はとりわけ大きな課題となる。現状では、その解決策の一つとしてブラウザベースのダッシュボードの活用が考えられている。JavaScript の急速な技術的進展で多くの情報を提示できることが期待される一方 [1], 学習者に直接提示した場合に情意的な面で問題が少なくないとの指摘があるほか [2], 教授者に提示する場合についても、内容やレイアウトが学習内容に依存する面が少なくなく、統一的な仕様を見出すのがかなり厳しいとの指摘もなされている [3]。筆者は、先行研究において、記述統計分野の中で応用範囲の広い「相関係数」の Affine 変換のもとでの不変性に関する HTML をベースとしたシミュレーション用のコンテンツについて提案し、これを用いた協調学習の状況に関するアナリティクスを行ってきた。具体的には、学習者間の対話に関する質的な分析を背景として理解の進捗を把握した上で [5], 行動の時間遷移を深度センサーから得られる体動のログ [6] や発話量のログ [4] と対照することで、理解の深化に関する客観的な把握を目指してきた。本研究ではこうした知見の蓄積に基づいて、該当の事例に関する教師向けのダッシュボードを設計することを試みる。

2 作成したコンテンツと実験授業の状況

図 1 は、シミュレーション用の動的な visualization の画面と、相関係数の定義式を中心とした数式表現の画面とを統合した HTML ベースのコンテンツのスクリーンショットであり、第 2 著者が開発を進めているシステム [7] を用いて作成されたものである。関連する Javascript のライブラリをすべてサーバー経由で取得できる仕様になっているため、このコンテンツを Moodle のファイルモジュールに実装し、iPad からアクセスした上で、学生 2 名一組で課題に取り組ませるフローを採用している。

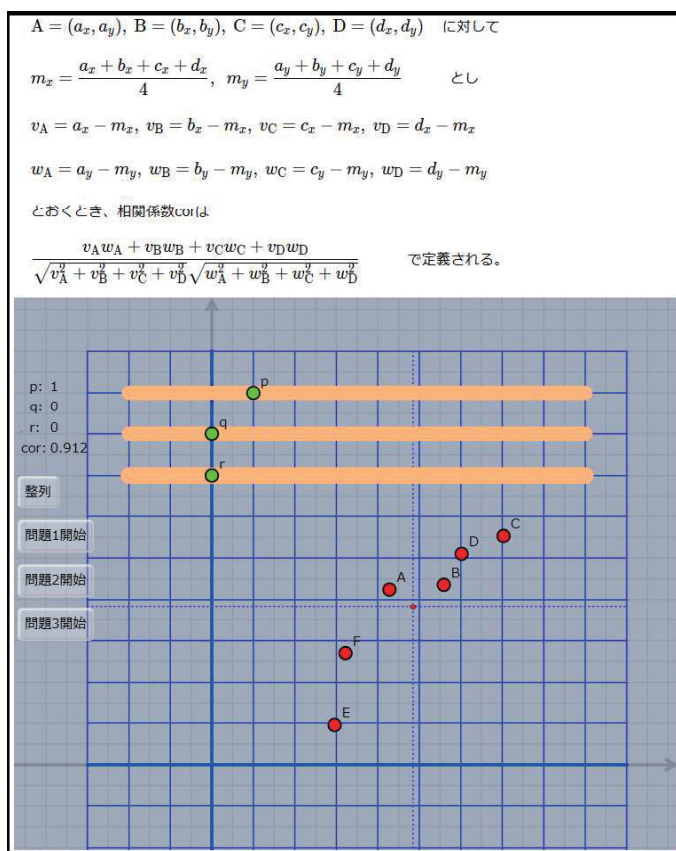


図 1: HTML ベースのインタラクティブなコンテンツ

図中で、6つのデータ点 $p_i(x_i, y_i)$ が赤色の点で、Affine 変換

$$X_i = px_i + q, \quad Y_i = py_i + r$$

の係数 p, q, r がスライダー上の黄緑色の点でそれぞれ表され、いずれも自由に動かせるようになっており、特に後者を動かすとデータ点自体も動くようになっている。左上の数値欄には、これらの係数の数値と同時に、データ点に対応する相関係数が即時に計算して表示されるようになっている。対象者には、コンテンツの操作によって相関係数が p, q, r の取り方によらず一定となることを観察した上で、その理由を説明することが期待されている。対象者はすべて、高校時代に相関係数の概念を学習済みの大学1年生であったが、事後のインタビューの中で、1名を除き、本課題について学習した経験はないことを申告している。対象となった全12グループのうち、6グループ（A群）は教員の補助なしに結論に到達することが出来たのに対し、残りの6グループ（B群）については、学習開始から20分以上を経過してもなかなか議論の進展が得られなかったため、教員がヒントを与える形で教育的介入を行った。操作プロセスのログは、タイムスタンプをつけてサーバーに送信・蓄積される仕様になっており、事後にデータ点と係数の操作時刻をタイムライン上に可視化すると同時に、グループの対話内容を録画から確認して対照することにより、学習状況を分析している。

図2は、A・Bの各群から2グループずつを取りだして、操作ログを可視化したタイムラインを表示したものである。上の2つがA群のサンプル、下の2つがB群のサンプルである。

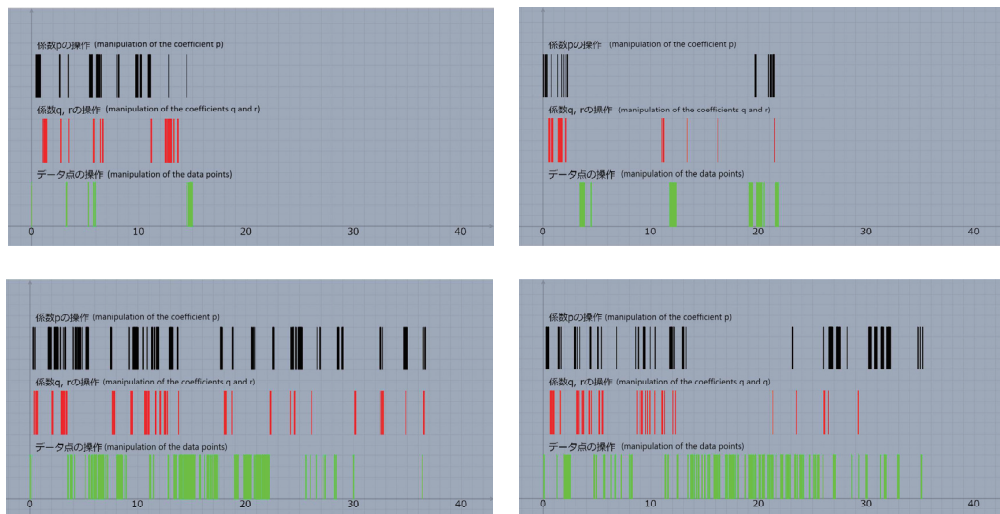


図2: 操作ログの可視化サンプル

これらを比較すると分かる通り、B群のサンプルと比べ、A群のサンプルではトータルの操作量に加え、その中でデータ点の操作が占めるシェアが小さいという特徴が見られる。対話テキストとの対照による検証をふまえると、A群では学習プロセスの早い段階で動的コンテンツの画面に表示される平均値とデータ点の座標との偏差が数式表現のそれに対応づけられ、結果的に操作が早期に完了しているのに対し、B群ではこの対応付けがなかなか行われず、あくまでデータ点の配置と相関係数との関係性の観察をベースとした対話が継続し、結果的に最終段階まで操作が継続したという背景があることが判明してきている。以上のことから、特に学習の進捗が思わしくないグループについて、その背景はともかくとして、学習が停滞しているという状況自体について、コンテンツの操作量やデータ点の操作のシェアというシグナルを活用できるのではないかという可能性が示唆される。

3 ダッシュボードの試作方針

周知のように、MoodleなどのLMS上で実施される小テスト等に関しては、学習者個々と集団との両面で、解答の内容や進捗状況を提示するダッシュボードがすでに開発されているが、動的コンテンツの操作などを伴うプロジェクト・探究ベースの学習の場合は、提示する学習プロセス情報の選定自体が容易でないこともあって、世界的にみてもほとんど手付かずの状態である。数学以外の教科でも同様の手探りが続く中、現状で最も進んでいるとみられるものの事例の一つが、オーストラリアのMonash大学の研究チームが開発する看護実習用のダッシュボードであろう[1]。図3は、ある実習グループの学習状況について、このダッシュボードを用いた提示を行った事例である。

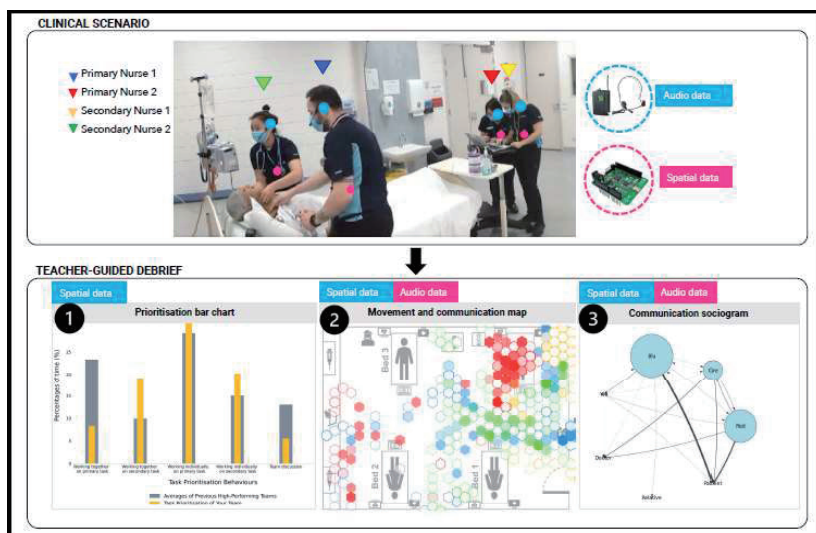


図 3: 看護実習用のダッシュボードの事例

図中の下半分が教師向けダッシュボードの画面だが、1番が分類された行動のシェアを過去のパフォーマンスが良好だったグループのそれと比較する画面、2番が実習室内における学習者の位置情報に各時点での発話量を重ねて表示した画面、3番が発話内容のネットワーク分析の結果を提示した画面である。対象教員への事後のアンケート結果からは、2番の可視化が非常にわかりやすい反面、これを1番や3番の可視化と結び付けてどのように解釈したら良いか分らないとの反応が読み取れる。当然、この可視化はグループ単位でまとまった形で行われることになるが、ここで示唆されるのは、多種の情報を一括して可視化した場合、システムを利用する教師の立場としてはかえって情報過多になり、使いにくい面が出てくる危険性があるということである。

以上のことをふまえ、本研究におけるダッシュボードの試作にあたっては、以下のような方針を採用することとした。

1. 背景はともかくとして、学習の進捗に問題を抱えていることを把握する上でわかりやすい特徴量を最初の画面に全対象者分表示する。
2. 教師が見てリスクがあると判断した対象者の情報とそうでない対象者の情報をブラウザ上で並べ替え、前者に集中することを可能にするような柔軟なインターフェースとする。
3. 特に詳細な状況確認の必要を認めたグループについて、上記の1次情報に付されたボタンを押下すると、該当のグループのより詳細なデータを提示するページに遷移する。

当面は、1番で使用するデータとして操作開始から確認時点までの全操作に対するデータ点の操作比率、3番で使用するデータとして操作経過を示すタイムラインを想定するが、開発が進んだ段階においては、ここに録音音声から書き起こされた対話テキストの

データや、進捗センサーのログから推定される手指の位置のデータなどを表示することも検討している。

4 システムの構成

本章では、システムの構成について説明する。本システムは、学生が学習に用いるインタラクティブな教材と、教員が学習データを可視化・管理するためのダッシュボードの二つのパートで構成されている。学生が用いる教材は、Cinderella([8])で作成された動的コンテンツを基盤とし、ボタン操作やPyScript([9])を通じたプログラミング要素を組み込むことで、直感的かつ効果的な学習体験を提供する。また、教材は学習データを定期的にサーバーに自動送信する機能を有しており、進捗や行動データがリアルタイムで記録される。

教員用のダッシュボードは、サーバーから受け取ったデータを可視化し、学習状況の把握を容易にするためのツールである。フリーレイアウトシステムを採用しており、教員が自身のニーズに合わせてグラフや表の配置を自由にカスタマイズできる。データの可視化には、柔軟性と視覚的な明瞭さを提供するEcharts([10])を使用している。このシステム全体の設計により、学生と教員の双方にとって効果的かつ効率的な学習支援が可能となる。

4.1 学生が用いる教材

学生が用いる教材は2層構造を特徴としており、既存のWeb教材に対して新たな機能を追加し、教育効果を高めることを目的としている。2層構造は以下のようになっている。

4.1.1 2層構造の概要

- **ボトム層（基盤層）**：ボトム層には、Cinderellaを用いて作成された既存のWeb教材が埋め込まれている。この層には、動的なコンテンツやアニメーションを含む教材が含まれる。既存の教材をほとんどそのままの形で流用することができる。
- **トップ層（拡張層）**：トップ層には、既存の教材に対して追加されるボタンや機能が配置されている。この層は、新たな機能の追加や追加した新たな機能を視覚的にわかりやすく表示する役割を果たす。具体的には、PyScriptによるプログラム実行や、学習進捗に応じたボタン操作などが可能となっており、学習体験にさらなるインタラクティブ性をもたらしている。また、ボトム層に埋め込まれた既存のWeb教材からログデータ等を受け取り、サーバーへ定期的に送信する機能を持っている。

4.1.2 2層構造がもたらす利点

このような2層構造を採用することで、本システムには次のような特徴が生まれる。

- **既存教材の再利用:** 既存の Web 教材をそのまま埋め込むことにより、新たな教材を1から構築する必要がない。この再利用可能な設計により、過去に作成された教材やリソースを有効活用し、開発時間やコストの削減を実現している。
- **機能の容易な追加:** 既存の教材にほとんど変更を加えることなく、新たな機能や操作を追加できる。これにより、教材の更新や改良を迅速に行えるだけでなく、教材自体の互換性も保たれる。たとえば、学習記録や進捗の可視化機能、特定の学習項目に対するヒントボタンなどの機能が容易に拡張でき、学生が効率的に学習できるサポート体制が実現される。
- **インタラクティブな学習体験:** トップ層のボタンや PyScript によるプログラムの導入により、教材内での操作や学習効果が向上する。これにより、学習者の主体的な学習姿勢を促し、単なる閲覧型教材に比べてインタラクティブ性が高まる。このようなシステム構造によって、教材の柔軟性、効率性、およびインタラクティブ性が確保され、教育現場での効果的な教材利用が期待できる。
- **データ送信機能の追加:** 上で述べたようにボトム層の教材のログデータをサーバーに送信する機能を持っており、ボトム層に埋め込まれた教材をほとんど変更することなく、データをサーバーへ送信できるようになっている。

4.2 教員が用いるダッシュボード

教員が用いるダッシュボードは、学習データの可視化および管理を効率的に行うためのツールであり、以下のような機能と構成を備えている。

- **データの受信と自動更新:** 本ダッシュボードでは、Jspreadsheet([11]) を利用してデータの受信および表示を行う。具体的には、Jspreadsheet の表の1行目にサーバーから受け取るデータの名称を入力することで、その名称に対応するデータがサーバーから定期的に取得され、表の2行目以降に自動的に入力・更新される仕組みである。これにより、教員は学生の学習進捗や成績等のデータをリアルタイムで把握できる。
- **グラフの自動更新機能:** Jspreadsheet の表に新しいデータが入力・更新されると、それに連動して、表のデータをもとに円グラフや棒グラフが自動的に更新される。この自動更新機能により、教員は逐次的にデータの可視化を行うことができ、グラフ上でデータの変動や傾向を直感的に把握できる。
- **フリーレイアウトシステムの活用:** 本ダッシュボードは後に述べる「フリーレイアウトシステム」を採用しており、教員が円グラフや棒グラフを自由に追加・配置できる。以下のような特徴がある。

- － **自由なグラフの追加と配置:** 教員は必要に応じて円グラフや棒グラフを追加することができ、複数のデータセットを並列的に観察可能である。
- － **グラフの位置調整:** 追加された各グラフは、ダッシュボード上で任意の位置に移動可能であり、データの相関や比較がしやすいレイアウトを教員が個別に設定できる。

これらの機能により、教員用ダッシュボードはデータの柔軟な可視化と、教員の視点に合わせたレイアウトカスタマイズを可能にしている。

4.3 フリーレイアウトシステム

フリーレイアウトシステムは、教員用ダッシュボードにおいて柔軟性と拡張性の高いユーザーインターフェースを提供するために設計されたシステムである。本システムの特徴は以下の通りである。

- **自由な配置とレイアウト構築:** 本システムでは、ボタン、テキストエリア、マークダウンエディタといった要素をメニューから選択し、画面上の任意の場所に配置することが可能である。これにより、教員は自身のニーズや目的に応じてダッシュボードのレイアウトを直感的にカスタマイズできる。たとえば、コメント入力用のテキストエリアを追加したり、重要な操作ボタンを目立つ位置に配置することで、利用効率を向上させることができる。
- **表計算機能の統合:** Js spreadsheet を組み込むことで、ダッシュボード上で表計算機能を利用可能としている。これにより、数値データの管理や計算が簡便に行えるとともに、Js spreadsheet の表自体を画面上の任意の位置に配置することができる。
- **多様なグラフ表示機能:** Echart を組み込むことで、円グラフや棒グラフをはじめとする多様なグラフを画面上に表示することが可能である。教員は、データの視覚化を通じて学習の進捗や成果を直感的に把握できるだけでなく、必要に応じて異なる種類のグラフを同時に配置し、複雑なデータ分析を行うことができる。
- **手描き機能のサポート:** 画面上には手描き入力が可能であり、教員は自由に注釈や図を追加することができる。この機能は、ダッシュボードの即時的なカスタマイズや、重要なポイントの強調に有効である。
- **総合的な柔軟性の実現:** これらの機能により、フリーレイアウトシステムは、教員が自身の目的や教育状況に応じてカスタマイズ可能な、柔軟性の高いツールとなっている。特に、複数のデータソースや可視化手法を統合する必要がある場面において、本システムは効果的に活用されることが期待される。

実際のダッシュボードの画面と時系列的な操作頻度のグラフを図4に示す(ダッシュボードの画面で "Open Link" のボタンをクリックすると別ウインドウが開き、右の時

系列的な操作頻度のグラフが表示される)。ダッシュボードの画面ではグラフ等の左上にある灰色の正方形部分をドラッグすることで、グラフ等の位置を自由に移動することができる。また本システムは手書き機能をサポートしており、図にあるように手書きでの書き込みを行うことができる。

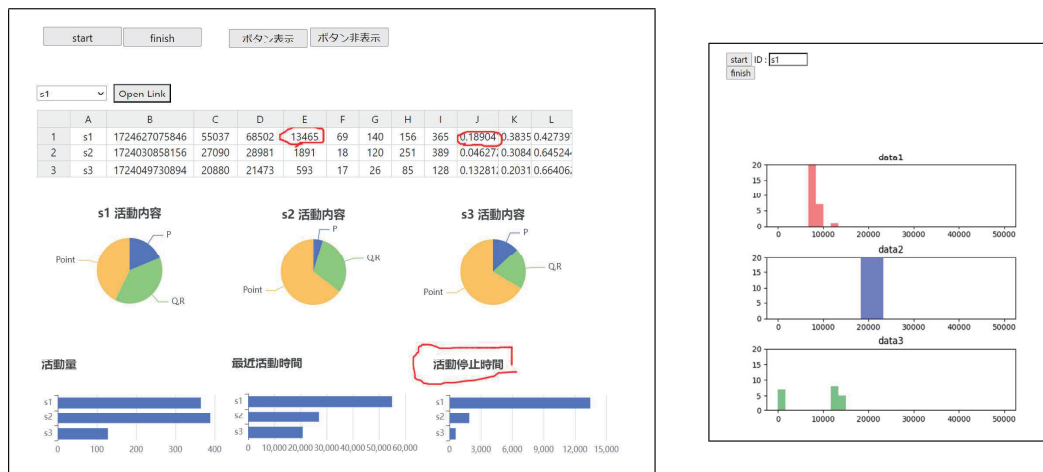


図 4: 教員のダッシュボードの画面 (左図) と時系列的な操作頻度のグラフ (右図)

4.4 PyScript の活用

PyScript は、Python をブラウザ上で直接実行可能にするフレームワークである。これにより、Web アプリケーション開発において従来の JavaScript や他のクライアントサイド言語を使用する必要がなく、Python の豊富なライブラリや直感的な構文を活用して Web 上でのプログラム実行が可能となる。

4.5 PyScript の特徴

PyScript は、Web アプリケーション開発を容易にするとともに、Python を基盤とした新たな教育支援システムやツールの可能性を広げる技術として注目されている。

- **ブラウザ上での Python 実行:** PyScript は、WebAssembly 技術を利用することで、Python コードをブラウザ上で直接実行可能にしている。これにより、特別なサーバー設定やバックエンド環境を必要とせずに、クライアントサイドで Python の処理を行うことができる。
- **Python ライブラリの利用:** NumPy や Pandas などの科学技術計算ライブラリをはじめ、Matplotlib や Plotly などの可視化ライブラリも Web アプリケーション内で活用可能である。これにより、Web アプリケーションでの高度なデータ処理や視覚化が容易になる。

- **HTML や JavaScript との統合:** PyScript は、HTML タグを用いて Python コードを埋め込む形式を採用しているため、Web アプリケーションの UI 要素とシームレスに連携できる。また、JavaScript との相互運用も可能であり、既存の Web 技術との互換性が高い。
- **教育用途での利用可能性:** PyScript の直感的な操作性と Python の教育分野での広範な利用を背景に、初心者向けの教材や教育アプリケーションでの活用が期待される。ブラウザだけで動作するため、特別な環境設定を必要とせず、学習者の負担を軽減する。

4.6 ダッシュボードにおける PyScript の活用

本システムでは、PyScript の機械学習機能をダッシュボードに活用し、学習者のログデータを解析することを検討している。PyScript の機械学習機能を用いることで、学習者の行動やパフォーマンスをリアルタイムで分析し、学習傾向やパターンを可視化することが可能となる。この機能により、学習者がどの部分でつまづいているかや、学習進捗の遅れが生じているポイントを自動的に検出し、教員に対して即時的なフィードバックを提供することが期待される。

具体的には、学習者のログデータに基づくパターン分析や、学習行動のクラスタリング、進捗予測モデルの構築を行うことで、学習の個別化支援を図る。これにより、各学習者の状況に応じた適切な指導や支援を教員が行うための有用なツールとして、ダッシュボードの機能が一層強化される。PyScript の機械学習機能の導入により、ダッシュボードは単なるデータの可視化にとどまらず、教育の質向上に寄与するインテリジェントな教育支援システムとしての役割を果たすことが期待される。

4.7 システムの課題

本研究では、教育支援システムの構築にあたり、さまざまな機能と利便性を実現したが、課題として以下の点が挙げられる。

- **ログデータからの特徴量抽出の精度向上:** 本システムでは、学生の行動ログを Python を用いて解析し、学習進捗や理解度を把握するための意味のある特徴量を抽出することを目指している。しかし、より精度の高い特徴量の抽出には、さらなるデータ解析技術や機械学習モデルの改良が必要である。特に、学習行動のパターンを自動的に識別し、学習者個々のニーズに応じたフィードバックを提供するためのアルゴリズムの開発が今後の課題である。
- **ダッシュボード機能の充実:** 教員用ダッシュボードは、データの可視化と管理を効率的に行うためのツールであるが、今後さらに機能を充実させることで、データの詳細な分析や報告機能を強化することが求められる。特に、複数のデータソースを統合し、学生ごとの学習成果やグループ単位での傾向を視覚化するためのカスタマイズ可能なレポート機能や、自動アラート機能の実装が検討されている。

- **Webセキュリティの確保:** 本システムはWeb上で稼働するため、セキュリティの確保が重要な課題となる。学生の個人情報や学習データを保護するための暗号化、ユーザー認証、データアクセス制限の強化が必要である。また、サイバー攻撃への耐性を高めるための対策を講じ、セキュアなデータ処理と通信を実現することが不可欠である。

これらの課題を解決することで、本システムの信頼性と有用性をさらに高め、教育支援システムとしての実用性を向上させることが期待される。

5 結論

本研究では、数学探究学習のプロセスを可視化し、教育現場における学習支援を強化することを目的として、教員向けダッシュボードを設計・試作した。本研究の成果として、動的コンテンツを活用したインタラクティブ教材と、それに基づく学習データの可視化および分析を可能にするシステムを開発した。

近年、LMSの進展により大規模な学習データの取得と活用が可能になったことを背景に、ラーニングアナリティクスの重要性が増している。一方で、プロジェクト型や探究型学習の場面では、学習者の進捗や理解度を把握する手法が限定的であり、特に動的コンテンツを伴う学習においては、効果的なダッシュボード設計が不足しているという課題がある。本研究はこの問題に対処するものである。

本研究で作成したHTMLベースのインタラクティブコンテンツは、数学的な概念（相関係数のAffine変換下での不変性など）を体験的に理解させる設計を採用した。設計方針としては、以下の3点を重視した。

- 学習進捗を把握するためのシンプルで直感的な可視化。
- 問題のある対象者の情報を柔軟に並べ替えるインターフェース。
- 詳細データへの迅速なアクセスを可能にする機能。

これにより、教員がリアルタイムで学習者の状況を把握し、適切な指導を行うための支援ツールとしての有効性を示した。

一方、ログデータからの特徴量抽出の精度向上や、ダッシュボード機能のさらなる拡充、セキュリティ確保などの課題も依然として存在する。特に、動的教材の操作ログや発話量といった多種のデータを統合的に解析するための技術的改善が必要である。

今後の展望として、本システムの教育現場への適用実験を進めるとともに、異なる教科や教育環境への汎用性を検討していく。この研究が、探究型学習を支援する教育システムの基盤となり、学習者の主体的な学びを促進し、教員の指導を効率化するものとなることを期待する。

謝辞

本研究はJSPS科研費21K02752, 22K02951の助成を受けている。

参考文献

- [1] V. Echeverria, S. B. Shum, D. Gašević, R. Martinez-Maldonado, et al., “Team-Slides: a Multimodal Teamwork Analytics Dashboard for Teacher-guided Reflection in a Physical Learning Space”, Proceedings of LAK 2024, pp. 112-122, 2024.
- [2] J. P. Tan, E. Koh, C. Jonathan, S. Yang : Learner Dashboards a Double-Edged Sword? Students’ Sense-Making of a Collaborative Critical Reading and Learning Analytics Environment for Fostering 21st-Century Literacies, Journal of Learning Analytics 4(1), pp.117–140, 2017.
- [3] K. Verbert, X. Ochoa, R. Croon, R. Dourado, T. Laet, “Learning Analytics Dashboards: the Past, the Present and the Future”, Proceedings of LAK 2020, pp. 35-40, 2020.
- [4] 野田健夫, 江木啓訓, 北本卓也, 金子真隆 : Commognitive perspectiveに基づく数理統計に関する協調学習における思考の進展の追跡, 日本科学教育学会第 48 回年会講演論文集, pp. 43–46, 2024.
- [5] 金子真隆, 江木啓訓, 舟橋涼, 北本卓也, 野田健夫 : 数理統計に関するタブレットを用いた協調学習のマルチモーダルな分析, 日本教育工学会 2024 年春季全国大会講演論文集, pp. 67–68, 2024.
- [6] 金子真隆, 江木啓訓, 舟橋涼, 北本卓也, 野田健夫 : 数理統計に関する PC を用いた協調学習における学習者の行動の遷移と対話バランスの連関, 日本教育工学会 2024 年秋季全国大会講演論文集, pp. 137–138, 2024.
- [7] T. Kitamoto, M. Kaneko, S. Takato : ”E-learning system with Computer Algebra based on JavaScript programming language”, Proc. of ATCM 2018, Yogyakarta, 2018, 123-133.
- [8] Cinderella Official Home Page : URL <https://www.cinderella.de/tiki-index.php> (2024 年 11 月 15 日閲覧)
- [9] PyScript Official Home Page : URL <https://pyscript.net/> (2024 年 11 月 15 日閲覧)
- [10] Apache Echarts Official Home Page:URL <https://echarts.apache.org/en/index.html> (2024 年 11 月 15 日閲覧)
- [11] Js spreadsheet Official Home Page : URL <https://jsspreadsheet.com/> (2024 年 11 月 15 日閲覧)