

# 生徒の解答から物理的概念理解を推定・可視化する 個別最適な学び支援ツールの開発

松田竜弥<sup>1</sup> 加藤直樹<sup>2</sup>

東京学芸大学<sup>†</sup> 東京学芸大学<sup>†</sup>

## 1. 序論

### 1.1 物理教育の現状と課題

物理教育においては、生徒が持つ経験則に基づく素朴な概念と物理法則との間に不一致がしばしば見られる。この不一致を解消しない限り、力学の理解は難しいとされている。本研究では、これらの「概念」、すなわち共通する性質を抽出し普遍化した知識としての一般的な概念を重視する。特に、物理法則と整合しない素朴概念は「誤概念」と呼ばれる。

誤概念の分析には、FCI (Force Concept Inventory) が用いられる。これは、多肢選択問題を通じて生徒の誤概念を明らかにし、教育効果を定量的に評価するツールである。また、PI (ピアインストラクション) のようなアクティブラーニングを採用した授業手法は、物理概念の獲得に効果的だ。この手法では、生徒がまず個別に概念理解を問う選択式問題を考え、その後グループ内で議論し、最終的にクラス全体で回答の変化を観察する。

しかし、このアプローチでは、選択式のため、概念に対する深い理解が測れないことや、個々の生徒の概念理解状況を教師が把握しきれないという課題がある。

### 1.2 研究の目的

本研究では、先述の課題を解決するため、生徒の回答(記述)から物理的理解を推定・可視化し、教師が適切な支援を行うことができる、個別最適な学び支援ツールの開発を目的とする。

## 2. 先行研究

### 物理教育における個別最適な学びの必要性

西村の研究によると、形成的評価を頻繁に使用する生徒群は FCI や小テストでの概念理解が向上する傾向がある。しかし、教師の負担が大きいため、物理的概念理解状況のリアルタイムで自動化、可視化することにより、形成的評価を容易にすることが重要だと考える。関連性を強調する。

## 3. 研究方法

### 3.1 ツールの設計と開発プロセス

本ツールの主な目的は、物理のコンセプトテストにおける生徒の文章記述回答から、その物理的概念の正誤を判断し、誤概念を特定することである。これにより、生徒の理解度をより深く洞察する。また可視化することで教師の教育的介入を行うための基盤を提供する。

### 3.2 生徒の回答分類アルゴリズム

#### 3.2.1 基本原理とアプローチ

分類には、ChatGPT-4 を使用する。大規模なデータセットで訓練された自然言語処理モデルであり、文脈を理解し、複雑な言語的問題に対応する能力を有している。このアルゴリズムは、問題文に基づいて事前に作成した回答選択肢を使用し、生徒の記述した回答を最も適切な選択肢に分類することで、物理的概念理解を可視化することを目指す。

#### 3.2.2 分類プロセス

分類は以下の手順で行われる。

##### ①テキストのエンベッディング

生徒の回答は、まずモデルによってエンベッディング(数値的なベクトル表現)に変換される。このプロセスにより、回答の意味内容がモデルによって処理可能な形式に変換される。

##### ②意味の類似性の評価

回答のエンベッディングは、事前に定義された概念的な回答選択肢のエンベッディングと比較される。この比較により、生徒の回答がどの概念に最も近いかが判定される。

##### ③パターンマッチング

モデルは、特定のキーワードやフレーズ、文脈的な手がかりを用いて、生徒の回答に含まれる特定の概念や誤概念のパターンを識別する。これにより、より精度の高い分類が可能になる。

このアプローチにより、生徒の回答から物理的概念の理解度を推定し、誤概念を特定することが可能になる。ただし、このアルゴリズムの適用には限界があり、すべての回答を完璧に分類することは不可能だ。特に、非常に独特な回答や曖昧な表現を含む回答は、分類が難しい場合がある。

### 3.3 形成的評価と可視化技術

#### 3.3.1 形成的評価

本ツールでは、分類結果を基に、生徒が抱える誤概念を特定し、自動で適切なフィードバックを提供することで、形成的評価を実施する。

#### 3.3.2 可視化技術の概要

本ツールの可視化技術は、生徒の回答とそれに基づく分類結果、次の学習への提案などを視覚的に表現する。可視化されたデータは、座席表に紐づけて表示され、座席は分類結果ごとに色分けされるため、教師は授業中に授業中、容易にこれらの情報を活用できる。これにより、生徒同士の議論の傾向を把握し、特定のグループに集中的な援助を提供するなど、教育的な意思決定を効果的に行うことができる。

#### 3.4 生徒の記述支援機能

分類アルゴリズムの精度には限界がある。このため、生徒の記述を向上させる機能を導入した。選択肢式テストと違い、記述式では思考の手がかりが少ない。この問題を解決するため、チャット形式で生徒が回答を作成できる機能を開発した。これにより、理由不足、論理矛盾、不明瞭な表現を指摘し、生徒がよりクリアな回答を作成できるようになる。この機能は生徒の思考を促進し、深い理解を支援する。

## 4. ツールの試作と実装

実装言語はバックエンドでは Python を使用し、ChatGPT-4 の API と組み合わせている。Web アプリケーション全体は Flask フレームワークで構築されている。フロントエンドの動的な座席表では JavaScript を使用した。

## 5. 評価と結果

### 5.1 分類アルゴリズムの評価方法

アルゴリズムの精度は、FCI に基づいた選択肢式テストとの比較により評価される。具体的には、記述解答後に選択肢を与え、生徒がどの選択肢を選ぶかを尋ね、その回答とアルゴリズムによる分類結果の一致率をもとに精度を測定する。東京都高等学校(5 クラス、166 名)で収集されている。また、今回は、3.4 の生徒の記述支援機能は実装していない段階での調査だ。

以下の FCI の一問目を評価問題として使用した。

“”同じ大きさの 2 つの金属球がある。一方の重さは他方の 2 倍である。2 階の窓から、2 つの金属球を、同時に落とすとき、地面に着くまでの時間はどうか?””

(記述回答後に選ばせる選択肢)

- 1) 重い方が、軽い方の半分くらいの時間で着く。
- 2) 軽い方が、重い方の半分くらいの時間で着く。
- 3) ほぼ同時。
- 4) 重い方が先に着くが、軽い方の半分の時間とは限らない。
- 5) 軽い方が先に着くが、重い方の半分の時間とは限らない。

### 5.2 結果

分類結果の正解率は約 84.24% となった。また、加重平均を用いたその他の評価指標は、適合率: 82.16%, 再現率: 84.24%, F1 スコア: 82.96% となった。

## 6. 考察と結論

この研究は、生徒の物理概念理解を推定・可視化するツールを開発し、教育の質を向上させる新たな方法を提供する。生徒の記述回答から概念理解を把握し、形成的評価を支援することで、教師が個々の生徒に合わせた指導を行うことが可能になる。また、記述支援機能により生徒の文章が整えば分類制度は向上するだろう。

本ツールの最大の利点は、記述式回答に基づく概念理解の評価と可視化能力にある。しかし、精度には限界があり、特に独特な回答や曖昧な表現の分類が難しい。また、現段階では記述支援機能は未評価であり、その効果は今後の研究で検証する必要がある。

## 参考文献

- [1] 物理教育 第 60 巻 第 1 号 2021 新田英雄 素朴概念の分類
- [2] 物理教育 第 67 巻 第 4 号 (2019) ピア・インストラクションにおける生徒間相互作用の分析 後藤敬祐
- [3] ピア・インストラクションにおける生徒間相互作用の分析 後藤 敬祐, 新田 英雄
- [4] 物理教育 第 66 巻 第 4 号(2018) 西村 聖太 形成的評価の活用は概念理解と学習姿勢を向上させるか