

Problem-Based Learning を核とした

高校物理における生徒の主体的学習法の開発



実施担当者 京都明德高等学校
教諭 田上 智之

1 はじめに 一問題意識一

物理概念の正しい理解を妨げる誤概念を修正する授業に関する研究は、米国において Physics Education Research (物理教育研究：以下、PER) として 1980 年代後半より本格化している。日本でも 2006 年の国際会議を機に PER の教材群を用いた実践研究が大学生を対象に進み、高い学習効果が報告されている [1]。担当者は前年度の本助成研究 [2] において、Interactive Lecture Demonstrations (相互作用型演示実験授業：以下、ILDs) に学年を超えた班編制を導入し、高校生への誤概念改善アプローチを検討した。短期的には高い授業効果が確認されたが、その継続的な定着には、生徒の動機づけを持続させることが課題として残った。

動機づけの低さは日本の高校物理教育が長年抱える問題であり [3]、TIMSS2019 においても日本の生徒の理科学習への動機づけの低さが改めて示されている [4]。担当者が本校生徒に対して Colorado Learning Attitudes about Science Survey (以下、CLASS) [5] を実施しヒアリングを行ったところ、動機づけ低下の一因として「原理や公式をどのように用いればよいか分からない」という声が繰り返し聞かれた。知識は得ても、それをどう使うかがわからないまま終わるという構造的な課題が、AL 型授業の効果を妨げる要因のひとつもなっている [3]。

この課題に対し、本研究では Problem-Based Learning (課題解決型学習：以下、PBL) を高校物理に導入する。PBL は医学教育において臨床場面とのギャップを埋めることを目的として確立された手法であり [6]、「まず問題に出会い、その解決のために知識を学び、活用する」というプロセスを通じて、知識の使い方を体感しながら習得する。大学物理での PBL 実践 [7] はいくつか報告されているが、高等学校の物理教育に導入した事例は担当者が調べた限り存在しない。本研究は、ILDs で蓄積した誤概念研究の知見と PBL を組み合わせることで、動機づけの向上と概念理解の定着という二つの目標を同時に達成しうる授業モデルの構築を目指すものである。

2 先行研究について

2-1 誤概念とは

誤概念とは「科学的に正しいとされる概念に反する考え方」であり、学習以前に日常経験から形成される素朴概念も含まれる。力学分野では、“Motion Implies a Force (運動は力と同じ意味を持つ：以下、MIF 誤概念)” と考える生徒がいることが 1982 年に Clement によって報告されている。こうした誤概念は授業を受けただけでは改善されない場合が多く、米国トップレベルの理工系大学

の物理専攻生でさえ同様の誤概念を保持しているという事実がその根深さを示している[8]。誤概念の改善には、学習者自身はその誤りに「気づき」、認知的葛藤を経て概念を再構築する過程が不可欠であり、それを意図的に設計した授業介入が求められる。

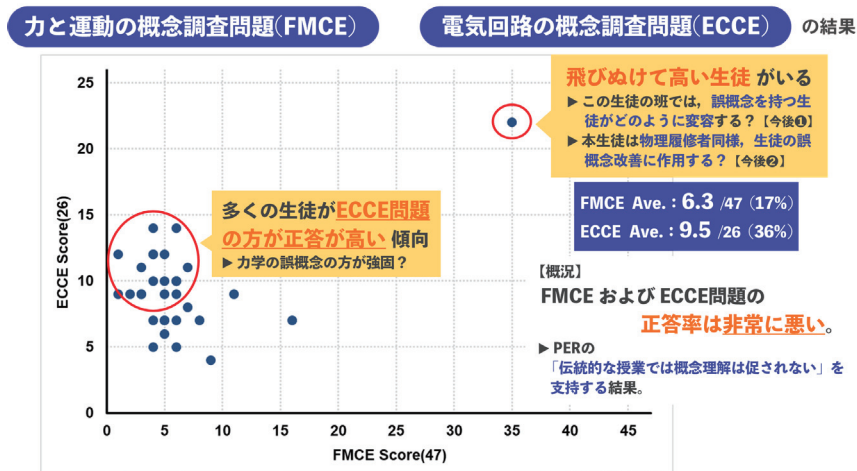
2-2 ILDs と PBL を組み合わせる理由

ILDs は「予想→実験・観察→グループ討論→振り返り」のサイクルにより、生徒が誤概念に自ら気づき正しい概念へと再構築する過程を支援する授業法である[1][9]。しかし高校生の文脈では、「なぜその知識が必要なのか」という動機づけの問題が ILDs の効果を制約していた。PBL はこの点を補完し得る。「実際の問題に先に出会う」という構造は、知識を使う必然性を生み出す。さらに PBL 課題として ILDs が扱う誤概念場面を設定することで、生徒は課題解決の過程で自らの誤概念に能動的に直面することになる。また、本研究の PBL 課題は PER の概念調査問題群をベースとするため、実験器具や時間の制約がある学校でも紙面・デジタルベースで展開可能な汎用性を備えている。

3 授業実践について ～物理基礎：力学（人の運動）～

〈授業前の概念調査〉

本実践に先立ち、対象生徒に対して FMCE・ECCE・CLASS の 3 種類を実施した。FMCE は 1 次元の運動における力・速度・加速度の関係を問う 47 問、ECCE は直流回路の概念に関する 26 問、CLASS は物理学学習への態度を 42 問で評価する調査紙である。事前調査の結果、FMCE 平均得点は 6.3 点/47 点（正答率 17%）、ECCE 平均得点は 9.5 点/26 点（正答率 36%）であった（図 1）。FMCE の低さは「伝統的な授業のみでは力学概念の理解は促せない」という PER の知見[8]と一致する。また散布図上で FMCE・ECCE とともに高得点を示す生徒が数名確認され、班内ファシリテーター候補として位置づけた。



〈着目した誤概念〉

本実践では FMCE 事前調査の正答率が特に低かった問題群と対応する 3 種類の誤概念に着目した。

① 速度と加速度の分離（速度がある ≠ 加速度がある）

速度（今の速さ）とその時間変化率である加速度は独立した物理量であるにもかかわらず両者を混同する誤概念である。「速度がゼロなら加速度もゼロ」と考える生徒が多く、 $x-t$ ・ $v-t$ グラフの読解誤りとも密接に関連している。

② MIF 誤概念（Motion Implies a Force）

物体が運動している限りその方向に力がはたらいているとする誤解であり、PER で最も広く報告されてきた誤概念のひとつである[8]。①の混同とも深く絡み合っており、両者は一体的に扱う必要がある。

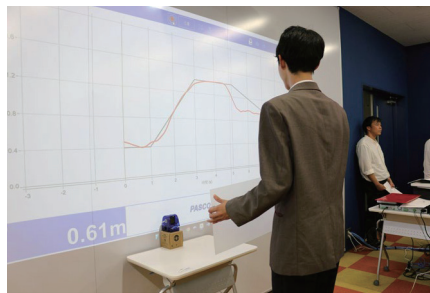
③ 鉛直方向の加速度（重力加速度）に関する誤概念

鉛直投射の最高点で「速度がゼロ＝加速度もゼロ（力がない）」と考える誤概念である。①②と結びついて生じやすく、モーションセンサーによるリアルタイム計測が直接的な働きかけとして有効と考えた。

〈授業プランと PBL サイクルの設計〉

本実践のねらいを「位置・速度・時間の 3 要素の関係をグラフで表現でき、理論から現象が予測できるようになること」とした。授業は「課題提示→個人予想→グループ討論→実験・観察→全体共有→振り返り」の PBL サイクルを軸とし、以下の 3 つの実験課題を中心に展開した。なお前年度同様、既習の 2 年生を 1 年生のファシリテーターとして配置する学年横断型の班編制を採用した。

実験	課題の概要	働きかける誤概念	PBL サイクルの工夫
A	$x-t$ ・ $v-t$ グラフをもとにその運動を身体で表現する	①速度・加速度の分離	グラフの抽象性を身体感覚と対応させ、誤読パターンを班内で顕在化させる
B	物体の運動を観察し、対応するグラフを予想・記述する	①速度・加速度の分離 ②MIF 誤概念	班内の予想の不一致を討論の起点し、正しい理解と MIF 誤概念の衝突を設計する
C	人の運動をモーションセンサーでリアルタイム計測し、予想と照合する	②MIF 誤概念 ③鉛直方向の加速度	最高点付近の加速度をグラフで即時可視化し、「止まっていたら力もない」という直感との葛藤を生成する



4 現在までの研究結果

〈量的分析〉

正答率の分布を見ると、多くの問いで事後の正答率が事前を上回っており、前年度の電気回路実践[2]と同様の傾向が得られた。規格化ゲイン (Hake's gain) [11]を用いて分析すると米国同様の結果が得られている。ただしこれは実践直後の事後調査に基づくものであり、概念変化の定着については継続的な調査が必要である。問い別では、等速運動・等加速度運動およびグラフ対応に関する問いで改善幅が大きく、実験 A および B が①の概念理解に一定の効果をもたらした可能性が示唆される。一方、②MIF 誤概念および③鉛直方向の加速度に関する問いでは事後においても誤答率が相対的に高く、先行研究[8][10]が示す誤概念の強固さが本実践においても確認された。

〈質的分析〉

授業中の発話プロトコルを分析したところ、実験 B の段階で生徒間に意見の相違が生じる場面が複数確認された。「等速なんだから合力はゼロ」「でも動いてるんだから力がある」という発言のやり取りは、正しい理解と MIF 誤概念が班内



で直接衝突する典型的な場面であった。実験 C では鉛直投射の最高点においても加速度の値が一定のままであることがグラフ上に示され、振り返りシートに「止まった瞬間も重力は消えないとわかった」「ずっと間違えていたとわかった」といった記述が複数確認された。一方、討論が収束しないグループや上級生が答えを（意図せず）直接与えてしまうケースも観察され、班活動の手引き整備が次年度への課題として残った。



5 まとめと今後の展望

本研究は次の2点を目標に1年間取り組んだ。

- ① 日本の高校生が力学・電磁気分野に対して持つ誤概念を、世界標準の概念調査を用いて調査し、明らかにする。
- ② ①で明らかとなった誤概念に対して、PBLとILDsを組み合わせた授業を開発・実践し、生徒が自ら誤りに気づき修正できることを目指す。

①については、FMCE 平均正答率 17%・ECCE 平均正答率 36%という結果から、本校生徒が両分野で多くの誤概念を保持していることが確認された。②については、速度・加速度の分離、MIF 誤概念、鉛直方向の加速度という3種類の誤概念に段階的に働きかける実験課題と、学年横断型の班編制を組み合わせた授業を実施した。短期的には正答率の改善が見られたが、誤概念の改善は一朝一夕ではなく、継続的な観察が必要である。今後の課題は第一に、FMCE・CLASSの事後データの詳細な分析による概念変化と動機づけ変容の統合的評価が求められる。第二に、電磁気学（オームの法則・キルヒホッフの法則）および波動（気柱の共鳴）の各単元へのPBL×ILDs授業の展開が課題として存在する。次年度以降、これらの単元でも授業を開発・実践し、単元横断的な授業モデルとして体系化することを目指す。

謝辞

本研究は、公益財団法人中谷財団の助成により実施することができました。感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 谷口 和成：相互作用型演示実験講義（ILDs）の展開と課題，物理教育，2017，65-3，170-175.
- [2] 田上 智之：相互作用型演示実験授業での学年を超えた班編制による学習効果の検証，2024，貴財団 科学教育振興【個別】助成.
- [3] 山崎敏昭他：物理教育 61-1(2013) pp.12-17.
- [4] 国立教育政策研究所：「国際数学・理科動向調査(TIMSS2019)のポイント」(2019) p.5.
- [5] W. Adams et al., Phys. Rev. ST Phys. Edu. Res. 2, 010101 (2006).
- [6] L. トープ, S. セージ著 伊藤通子ら訳：PBL 学びの可能性をひらく授業づくり，北大路書房（2017）.
- [7] 中野 善明：PBL 型物理学演習の試み，第 24 回物理教育研究大会紀要（2007）.
- [8] E. F. Redish：Teaching Physics with the Physics Suite, Wiley（2003）.
- [9] D. Sokoloff, R. Thornton：Interactive Lecture Demonstrations, Wiley（2004）.
- [10] 梅田 貴士：「橋渡し」を取り入れたILDsの有効性，物理教育，2021，69-3，129-136.
- [11] Hake, R. R., Am. J. Phys. 66 (1998) 64.