

速度・加速度概念の分化を促すシミュレーションの開発と授業デザイン — 高等学校物理「単振動」において —

Simulation Development and Instructional Design to Promote Conceptual Differentiation between Velocity and Acceleration - A Classroom Practice on “Simple Harmonic Motion” in High School Physics -

棟田 陽^{*1}, 永山 忍^{*1}, 市原 英行^{*1}, 井上 智生^{*1}
Yo MUNETA^{*1}, Shinobu NAGAYAMA^{*1}, Hideyuki ICHIHARA^{*1}, Tomoo INOUE^{*1}

^{*1}広島市立大学 大学院 情報科学研究科

^{*1} Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University
Email: dh65002@e.hiroshima-cu.ac.jp

あらまし : Force Concept Inventory を用いた先行研究では, 多くの生徒が速度と加速度を区別できない誤概念をもつことが指摘されている. 本研究では, Unity を用いたストロボ写真シミュレーションによる能動的な授業を実践し, 誤概念の削減に与える影響について議論する. さらに, J. S. ブルーナーが提唱した3表象間の変換モデルを物理教育に応用し, 実践した授業の成果を分析する.

キーワード : J. S. ブルーナー, 表象, ストロボ写真シミュレーション, 速度概念, 加速度概念, 誤概念

1. はじめに

Force Concept Inventory (FCI, 力学概念指標) を用いた先行研究では, 多くの生徒が, 速度と加速度を区別できない誤概念を有していることが報告されている⁽¹⁾.

高等学校物理において, 速度と加速度の違いを理解させる指導方法としては, 記録タイマーやストロボ写真を用いた実験や観察が行われている⁽²⁾⁽³⁾. これらの方法は, 等加速度直線運動において単位時間あたりの位置変化を可視化できる点で有効であるが, 往復運動である単振動の運動では, 打点や像の重なりが生じ, 適切な方法ではない.

本研究では, Unity を用いてストロボ写真シミュレーションを開発し, 単位時間ごとの物体の位置を学習者が観察できる環境を構築する. また, このシミュレーションを用いた能動的な授業デザインを実践することで, 速度と加速度の誤概念の分化にどのように影響を及ぼすかを検討する.

2. 速度・加速度誤概念

速度は単位時間あたりの変位, 加速度は単位時間あたりの速度変化である.

FCI を用いた先行研究によると, 図1の等速直線運動する物体 A と物体 B の加速度の違いを問う問題で, 物体 B の加速度の方が大きいと回答する生徒が多く見られることが報告されている. この回答は, 加速度を速度の変化ではなく速度の大きさとして捉えていることを示しており, このように静的な図を見せるだけでは学習者は加速度の概念構築が困難であると推測される.

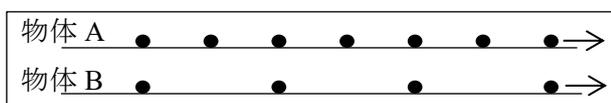


図1 加速度概念を問う問題に用いた図

3. ストロボ写真シミュレーションを用いた物理授業

3.1 ストロボ写真シミュレーション

図2に, 開発したストロボ写真シミュレーションを示す. 時間間隔 0.1s ごとの物体の位置を表示することが可能である. 物体間の変位が速度を示し, 変位の変化が加速度を示す.

3.2 能動的な授業デザイン的设计

溝上は, アクティブ・ラーニングを「学生の自らの思考を促す能動的な学習」と定義している⁽⁴⁾. 学習指導要領では, 「見通しを持った観察」を行うことが求められている⁽²⁾.

以上のことから, 開発したストロボ写真シミュレーションの観察を行い, 観察前後で図3の形成的評価を行う授業を設計し, 実践した.

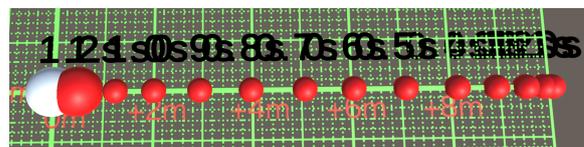
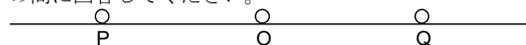


図2 ストロボ写真シミュレーション

図は, 単振動を行う物体の運動の様子を示している. 物体は点 O を中心に点 P と点 Q の間を往復運動している. 以下の間に回答してください.



- 問1 物体の速さがゼロであるのは(静止するのは)どこだと思いますか。
問2 物体の速さが最も大きいのはどこだと思いますか。
問3 物体の加速度(速度の変化)がゼロであるのはどこだと思いますか。
問4 物体の加速度(速度の変化)の大きさが最も大きいのはどこだと思いますか。

図3 形成的評価

3.3 授業実践

- (1) 日時：2025年11月7日，11月11日
- (2) 場所：中国地方H高等学校
- (3) 学年：2学年
- (4) 人数：25名
- (5) 科目・単元：物理・単振動
- (6) 回答データの収集：記述式，Google Workspace
- (7) 授業の流れ：図4のとおり

3.4 授業実践における形成的評価の分析

表1は，図4の②1回目形成的評価と④2回目形成的評価の変化の結果，表2は，②1回目形成的評価と⑦3回目形成的評価の変化の結果である。

3.5 授業実践後のインタビュー調査

授業実践1ヶ月後，3名の生徒に等加速度直線運動のストロボ写真を見せて，速度，加速度の概念についてのインタビュー調査を行った。全員，物体は速くなっていることは答えられたが，加速度とは何かの質問には答えることができなかった。

<ul style="list-style-type: none"> ・11月7日 ①単振り子の演示実験の観察 ②1回目形成的評価 ③ストロボ写真シミュレーション観察による速度，加速度の考察 ④2回目形成的評価 ⑤単振動の変位，速度，加速度についての講義受講 ・11月11日 ⑥復習 ⑦3回目形成的評価
--

図4 授業の流れ

表1 形成的評価の変化(1回目→2回目)

	問1	問2	問3	問4
正解-正解	19	19	3	1
不正解-正解 (改善)	0	0	7	7
正解-不正解 (悪化)	1	1	2	2
不正解-不正解	2	2	10	12

(McNemar検定 問3・問4 p=0.18)

表2 形成的評価の変化(1回目→3回目)

	問1	問2	問3	問4
正解-正解	14	14	3	1
不正解-正解 (改善)	0	2	10	11
正解-不正解 (悪化)	3	3	1	1
不正解-不正解	2	0	5	6

(McNemar検定 問3 p=0.01 問4 p=0.006)

3.6 授業実践の評価

授業実践の直後には，速度と加速度を同一の概念として捉える生徒の割合が減少する傾向が認められた。しかし，その後のインタビュー調査の結果，加速度の理解が十分に定着していないことが示され，授業デザインの工夫が必要であることが示唆された。

4. J.S. ブルーナーの3表象に基づく物理教育における表象変換モデル

J.S. ブルーナーは，表象を，行動的表象，映像的表象，記号的表象の三つに分類し，これらを自由に駆使することが概念形成に寄与すると述べている⁽⁵⁾。また，和田・森本は，活動的表象を「観察・実験等の実体験」，映像的表象を「シミュレーション・グラフ」等，記号的表象を「記号・数式」に対応づけ，これらの表象を繰り返し変換する学習活動を通して，化学の知識の精緻化が促されることを示した⁽⁶⁾。

これらの知見に加え，学習指導要領⁽²⁾およびRedish⁽⁷⁾を踏まえると，図5に示す物理教育における表象変換モデルが構成できる。このモデルにおいて，今回の授業実践では，映像的表象と記号的表象の変換が十分に行われなかったことが，加速度理解の不十分さにつながった可能性がある。

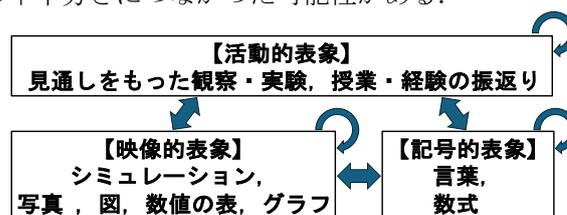


図5 物理教育における表象変換

5. まとめ

開発したストロボ写真シミュレーションによる能動的な授業実践から，学習者の速度・加速度概念の分化にあたる影響を考察した。今後は，行動的表象，映像的表象，記号的表象を相互に変換できる授業デザインを構築していきたい。

参考文献

- (1) Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G.: "Force concept inventory", The Physics Teacher, 30(3), pp.141-158. (1992)
- (2) 文部科学省: "高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 理科編 理数編" (2019)
- (3) 國友正和ほか12名: "物理", 数研出版(2011)
- (4) 溝上慎一: "アクティブ・ラーニング導入の実践的課題", 名古屋高等教育研究, 7, pp.269-287 (2007)
- (5) J. S. ブルーナー(田浦武雄, 水越敏行訳): "教授理論の建設", 黎明書房(1966)
- (6) 和田一郎, 森本信也, "子どもの科学概念構築過程における表象機能の操作因子に関する研究", 理科教育学研究, 51巻, 3号, pp. 169-179 (2010)
- (7) エドワード・F・レディッシュ著, 日本物理教育学会監訳: "科学をどう教えるか: アメリカにおける新しい物理教育の実践", 丸善出版, 東京 (2012)