

物理の運動を対象とした発見学習のための仮説生成支援システム

Support System for Discovering Laws of Motion in Physics

和田 拓也^{*1}, 小尻 智子^{*2}

Takuya WADA^{*1}, Tomoko KOJIRI^{*2}

^{*1} 関西大学大学院理工学研究科, ^{*2} 関西大学システム理工学部

^{*1} Graduate School of Science and Engineering Kansai University

^{*2} Faculty of Engineering Science Kansai University

Email: k257741@kansai-u.ac.jp

あらまし：発見学習とは、観察と仮説の生成・検証を通してある分野の知識を理解する学習手法である。しかし、観察するのみで仮説の生成に至らない学習者や、観察した内容と矛盾のない法則を生成することが困難な学習者が存在する。本研究では、物体の運動に関する法則を対象に、仮説の生成を支援するシステムを構築する。本システムを用いた仮説生成実験の結果、システムの利用により、矛盾のない仮説の生成が促進されることが確認できた。

キーワード：発見学習, 学習支援システム, 仮説生成支援, 運動の法則, 検証機能

1. はじめに

発見学習は、観察、仮説の設定、仮説の検証を通してある分野の基本的な知識を理解させる学習手法であり、理科などの自然科学の分野でしばしば導入されている。しかし、発見学習に取り組んだとしても仮説の生成に至らない学習者や、観察した内容と矛盾のない法則を生成することが困難な学習者が存在する。このような学習者は観察対象をどのように捉え、観察から何を発見したらいいのかわからないといった問題点がある。本研究では仮説の立て方に焦点をあて、観察結果に対して妥当な仮説の生成を支援することを目的とする。

発見学習を対象とした研究として、Yoshikawaらは化学実験を対象に、マイクロワールドと呼ばれる学習者が自由に操作可能な仮想環境実現した⁽¹⁾。しかし、これは環境を提供しているだけであり、法則を導出する過程は支援していない。本研究では、現実世界の物理現象を対象に、観察から運動の法則を導出する過程を支援するシステムを構築する。

2. アプローチ

2.1 運動の法則の表現方法

運動の法則とは、特定の運動をする物体や周囲の条件を表しており、運動の特徴と、運動している物体や周りの物体の性質を用いて表現することができる。例えば、池に風船が浮いていれば、軽い・丸いという「物体の性質」、液体という「周りの物体の性質」、浮くという「物体の運動」から、「軽くて丸いものは浮く」と表現することができる。

このとき、法則には運動に関係のない性質は含まれておらず、運動に関係のある性質は全て含まれていることが望ましい。したがって、運動に対してどの性質が関係あるのか試行錯誤し、過不足なく含めるような考え方が必要となる。

2.2 運動の法則の発見学習方法

観察から法則を発見するために必要な学習ステッ

プが以下のように提唱されている⁽²⁾。

- ステップ1. 対象の抽出
- ステップ2. 観察対象の特徴分析
- ステップ3. 仮説の設定
- ステップ4. 仮説の整合性の検証

ステップ1と2は観察に関するステップであり、運動や物体の性質がどのようなものであるか意識的に観察する。ステップ3と4は仮説の生成に関するステップである。ステップ3では、同じ運動をしている物体に共通する性質を発見し、運動に影響を与える性質を特定する。ステップ4では、生成した仮説が、これまでに観察してきた対象に対して矛盾しないかを精査する。観察内容に対して矛盾した仮説が生成された場合は、ステップ1~3のいずれかが十分でないため、いずれかのステップに戻る事となる。

発見学習では学習者が自身の観察した内容から運動の法則を発見するため、正しい運動の法則を導出するのに十分な観察が行われていない場合もある。ステップ1~4を繰り返し実施し、観察対象を増やして、それまで観察した対象全てに対して矛盾のないように仮説を修正していくことで、最終的には物理の観点から正しい運動の法則に到達することとなる。

2.3 仮説生成支援システムのアプローチ

本研究では、ステップ2と3を容易に行える環境の提供と、ステップ4を自動的に検証する機能を通して、観察した内容と矛盾しない仮説の立て方を支援する。図1に支援システムの枠組みを示す。

ステップ2に関して、ただ観察対象を眺めるだけでは、運動や性質の特徴に気づくことはできない。観察した物理現象を画像として管理する写真管理機能を提供して、観察内容の外在化を実現することで学習者の意識的な観察を促す。さらに、各画像に対して物体の運動や性質、周りの環境をタグとして付与できる環境を提供することで、様々な観点からの観察を促す。ステップ3に関しては、観察結果を用

いて仮説を設定する方法を知らなければ達成できない。仮説生成支援機能として、まず、同じ運動をする物体の共通の性質を発見するために、観察した物理現象の中から特定の運動タグが付与された物体を検索できる仕組みと、同じ運動をする物体をグループ化して性質を比較できる仕組みを用意する。そして、仮説の設定方法の理解を促すために、運動や性質の入力欄を設けた仮説の雛形を用意する。ステップ4に関しては、学習者が観察したものの中から整合性を自動で検証し、矛盾への気づきを促すフィードバックを行う機能を提供する。

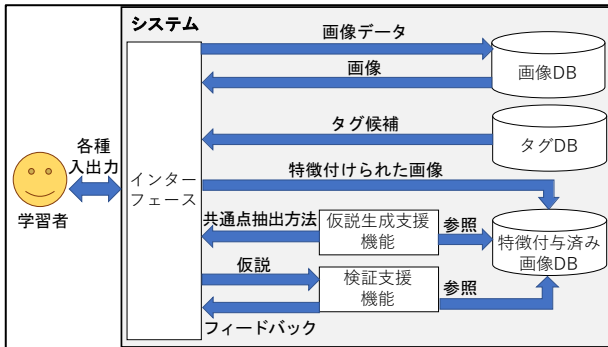


図1 システム概要図

3. 仮説生成支援システム

仮説生成支援システムは、2.2 節のステップ1~4までを順番に達成していくものである。画像登録画面では、学習者が観察対象を示す画像の入力・削除ができる。特徴分析画面では、個々の画像に対して観察した物体名や物体の運動、物体の性質、周囲の環境をタグとして付与できる。本システムでは、物体や環境を構成する運動や性質のうち、法則の導出に関連のあるものをタグ集合として提供する。

図2にステップ3に対応する仮説生成画面を示す。仮説生成画面では、運動検索ボックスで特定の運動が付与された物体の画像を検索することができ、その検索結果をもとにグループを作成できる。また、仮説の雛形として仮説生成ウィンドウを用意しており、作成したグループから雛型の入力欄である運動の特徴と、物体や周囲の性質の発見を促す。

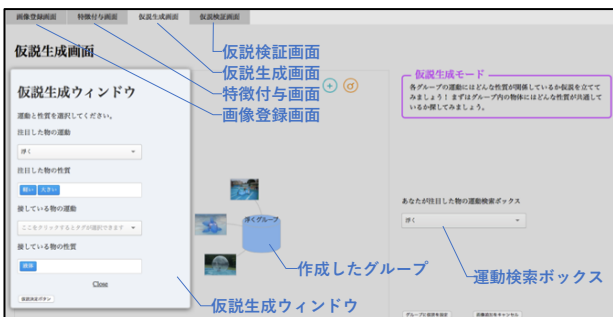


図2 仮説生成支援システム（仮説生成画面）

仮説検証画面では、入力画像とタグに基づいて、仮説の整合性を自動で検証し、矛盾に応じたフィードバックを表示する。この検証支援機能は生成した仮説から、仮説中の性質同士の矛盾、余分な性質の

存在、必要な性質の不足といった矛盾を検出する。

4. 評価実験

提案システムの仮説生成への有効性を検証するため、大学生の実験協力者8名を対象に実験を行なった。「浮く」「沈む」「滑る」「落ちる」に関する物理現象の動画を合計11本と、対応する画像を用意した。学習者には動画を閲覧してもらい、システムに登録した動画の画像に特徴を付与してもらった。その後、付与した特徴を参考に、紙上で仮説を立ててもらった。次にシステムの仮説生成画面を用いて画像のグループ分けを行い②仮説を生成してもらった。その後、仮説検証画面で仮説を検証し、フィードバックを参考に③矛盾のない仮説を生成するための試行錯誤をしてもらった。③の時間は30分設けた。

仮説生成支援機能の有効性を評価するために、①と②の仮説生成数を比較した。紙上で仮説を立てられない運動があった学習者は、システム上において仮説生成数が平均1.0増えた。両群の仮説生成数に対して片側t検定を実施した結果、有意差が見られた($t(14)=-2.3760, p<.05$)。これにより、同じ運動をする物体を視覚的に比較することは、同じ運動をする物体に共通する性質の発見を促し、仮説生成に寄与したと考えられる。また、検証支援機能の有効性を評価するために、②と③で生成された仮説のうち、矛盾のない仮説生成数を比較した。検証前に比べ、検証して試行錯誤した後の方が矛盾のない仮説数が平均0.875増えた。両群の矛盾のない仮説生成数に対して片側t検定を実施した結果、有意差が見られた($t(14)=-3.862, p<.05$)。これにより、システムのフィードバックが仮説の矛盾の解消に寄与したと考えられる。これらの結果から本システムの仮説生成への有効性が示唆された。

5. 終わりに

本研究では、発見学習において、観察結果から法則を導出するための支援システムを構築した。評価実験の結果、本システムは観察から運動の法則を導出することに有効であることが示唆された。評価実験では観察対象を学習者に与えていたが、学習者が自由に観察対象を選ぶ場合、法則導出に必要な観察対象を選別できない可能性がある。今後は、法則の導出を可能とするような観察対象の選択に着目し、その支援方法を明らかにしていきたい。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費(JP16H03089)の助成による。

参考文献

- (1) K. Yoshikawa, I. Takahashi and T. Konishi, "Generating Interactive Explanations by Using Both Images and Texts for Micro World," Proc. of ICCE 2000, pp. 643-650 (2000).
- (2) T. D. Jong and W. R. V. Joolingen: "Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains," Review of educational research, Vol. 68, No. 2, pp. 179-201 (1998).