

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350287

研究課題名(和文) 問題解決を基本原理に遡って振り返る学習支援に関する研究

研究課題名(英文) Study on learning support to think back to fundamental principles of problem solving

研究代表者

竹内 章 (TAKEUCHI, Akira)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：00117152

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：問題の本質を分析的に理解しようとする態度を身につけることができるよう、学習者が基本概念や物理法則を用いて力学系を物理的に解釈しモデル化することを支援するための学習支援システムを提案した。まず、力学知識を用いて力学系を解釈し理解する過程をモデル化し、表現する方法を提案した。次に、物理則に則って論理的に思考することを促すために、通常、頭の中で行われる内的活動を外在化する学習支援システムを考案し、実現した。また、作成した学習支援システムの有効性を確認するためにグループ学習の形式で評価実験を行い、学習支援システムの操作記録とグループ内での話し合いの音声进行分析した。

研究成果の概要(英文)：We proposed a learning environment to support learners to interpret and model kinematic systems using basic concepts and physical laws so that students can acquire an attitude to understand the essence of the problem analytically. First, we proposed a method of modeling and expressing the process of interpreting and understanding kinematic systems using physics knowledge. Next, in order to encourage thinking logically in accordance with the physical law, we devised and realized a learning environment that externalizes the internal activity normally done in the head. In order to verify the effectiveness of the learning environment we created, we conducted an evaluation experiment in the form of group learning and analyzed the operation record of the learning environment and the speech of the discussion within the group.

研究分野：学習支援システム

キーワード：学習支援システム 力学学習支援 物理学習支援

1. 研究開始当初の背景

学習支援システムに対象領域の知識表現を持たせることで、支援の対象とするべき知識を推定し、学習支援の精度を高める研究が知的CAIの分野では盛んに行われている。問題の定式化ができた後の解の導出は、基本的には記号操作でできる場合が多く、コンピュータで取り扱うことも比較的容易なため、多くの学習支援システムが開発されている。こうした学習支援システムでは、誤りを検出して修正を促すことはできても、学習対象領域の基本的な性質や原理に立ち返って考えるように促す支援までは実現できない。

対象の基本的な性質を扱うことについては、対象の振る舞いを因果的に説明することのできる定性推論の研究が行われている。定性推論はモデル形成プロセスを定式化していることから、このプロセスを利用してモデルの説明をすることが可能となる。しかし、定性推論の教育応用分野では、現象の因果関係をよりよく学ばせるための工夫や、問題解決の予備段階として利用する研究は行われているが[1]、対象のモデル化に関する学習支援を行う研究は見られない。

我々は定性推論を応用した知的CAIシステムについて研究を行ってきた[2,3]。これらの研究を発展させることで、対象に基本的な法則を適用して分析的に理解する態度を身につけさせるための学習支援システムを実現できるとの着想にいたった。

2. 研究の目的

最近、公式を当てはめて問題を解くことはできるが、問題で扱われている対象を支配している基本的な法則との関係を考えられない学生が増えている。たとえば、簡単な物理の問題で、物理系に存在する物理量間に成り立つ基本的な法則を使って定性的に考えれば頭の中で簡単に答えが求められるような質問に対しても、公式を当てはめ式変形で解を求めようとする学生が多い。また、問題が明文化されていれば解けても、条件を自分で考えなければならぬ問題になると、考慮すべき要素に気づかなかつたり、まったく手が出せなかつたりする場合も多い。

この原因として、明文化された問題が与えられた状況下での、記号操作による解法の習熟に偏った学習を行い、対象の基本的な性質を考えようとする態度、あるいは対象自体に関心を持って何が起きているかを基本的な法則を適用して理解しようとする態度が養われていないことが考えられる。こうした態度は、対象を科学的あるいは工学的に理解するうえで非常に重要であり、自らが問題を発見したり、解決方法を工夫したりする上での基本となるものである。本研究は、こうした能

力の開発を促進する学習支援システムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 学習支援対象

本研究では学習対象として、学習者が与えられた部品と計測装置を利用して、力学実験を自分で計画し実施する課題を取り扱う。学習者は与えられた制約の範囲内で、実験目的、実験対象とする力学系、測定する物理量、測定方法、解析方法を自分で設定する。そして実験を行い、実験により得られた値と理論値を比較するなどを行い、考察を加える。解析や考察を行うためには、実験対象の力学現象を適切に把握することが必要である。本研究の学習支援システムは、部品を組み立てて力学系を構成した後、物理法則を適用してその系で起こっている力学現象を把握し、運動方程式を立てるのに必要な情報を認識するまでの過程を扱う。

今回実験に用いる部品としては、斜面、ボール、ブロックを複数個用意した。これらの部品を用いることで、重力加速度を求める、動摩擦係数を求める、力学的エネルギー保存則が成立するかを確認する、運動量保存則が成立するかを確認するなどの実験が行える。

(2) 学習支援方法

力学現象を把握するには、力学知識を用いて現象を定性的に解釈し、分析的に理解していくことが必要である。この過程では、物体に働く力、力の作用元となる物体、力の作用先となる物体、物体と力の間で成立する物理法則、力と力の間で成立する物理法則を認識し、これらを因果的に関係付けて、系全体の力学的構造を理解していくことになる。

このとき、学習者が力学知識を持っていても力学的に系を分析できない原因には次のようなことが考えられる。

- ① 現実に存在する眼前の力学系と自分が持っている力学知識との関連付けができず、現象に関係する力学要素を想起できない。
- ② 力学系で発生する現象や関係する力間の関係を定性的に捉え、因果関係を考えることができない。

こうした学習者に対して学習支援システムを用いて、次のように支援する。

- ① 対象の力学系に関係する可能性のある力や物理法則を列挙し、系の力学的構造を理解するための要素として与え、想起を援助する。
- ② 因果関係を構成するときに、熟達者であれば頭の中だけで考えられることを、初学者は考えることができない。そこで、系の力学的構造を理解するときに考えるべき因果関係を余さず表現する手段を学習者に与え、外在化することで意識させる。

①で与えた要素の中から関係する要素を選択し、②で与えた手段によって要素を因果的に関係付けることが、系の力学的構造を分析していくことになる。すなわち、この2つの手段によって学習者を力学的思考へと誘導する。こうした支援を行うことによって、力学的に系を分析するときには、何をどのように考えるべきかを学習者が習得すると期待する。

(3) 有効性の評価実験

実現した学習支援システムの有効性を確認するために、評価実験を行った。実験は大学1年生2ないし4名で1グループを構成し、実験に用いる力学系と実験目的を決めた後、力学系を分析する段階で学習支援システムを利用してもらうことで実施した。学習者の行動とその意図を収集するために、学習支援システムの操作履歴とグループ内での会話を記録した。

4. 研究成果

(1) 力学系の理解モデルの提案

系の力学的構造を表現したモデルとして、力と物体をノードとしそれらの間の関係を有向リンクでつないだ因果関係ネットワークと呼ぶ構造がある[4]。これは、力学知識を有する人が力学系を理解する過程をモデル化した仕組みを用いて、物理法則を適用しながら定性微分方程式を導く過程で発生する力を求めた結果を表現したものである。本研究では、因果関係ネットワークに力を求める際に適用した物理法則を新たにノードとして追加し、力学系を理解するために必要なすべての要素を含んだ因果関係ネットワークを提案した。因果関係ネットワークの例を図1に示す。

因果関係ネットワークを学習支援システムに与えておくことによって、学習者の力学系に対する理解を診断したり、助言を与えたりすることが可能になる。

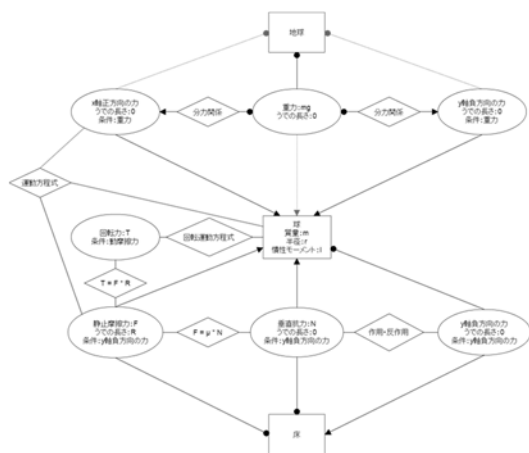


図1 因果関係ネットワークの例

(2) 学習支援システムの実現

次の機能を持った学習支援システムを実現した。

① 運動の予測機能

適切に力学的分析をできない学習者は、直感的に物体の振舞いを予想はしても、振舞いの予想があいまいであったり、振る舞いが発生する原因を考えたりしていない場合が多い。そこで、まず物体の力学現象を動作(滑る、転がる等)、運動(等加速度運動、等速運動等)の観点から、具体的に予想させる機能を用意した。このユーザーインタフェース例を図2に示す。

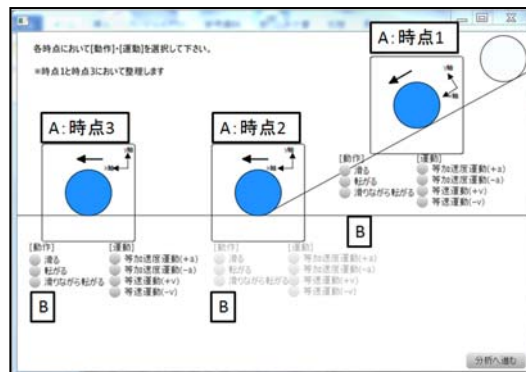


図2 運動予測機能の画面例

② 力の因果関係整理機能

現象を支配する運動方程式が異なる時点ごとに、現象を成り立たせる力学的理由を、因果関係をたどりながら分析させるために、考えるためのきっかけとして、関係する可能性のある力や物理法則の一覧を与え、それらを接続することで因果関係を表現することができるツールを実現した。初期状態の画面例を図3に示す。上部に振舞いの状態と、力と物理法則の一覧、下部に系を構成する物体の接続関係を示している。学習者が力や物理法則を選択するとそれが下部にノードとして提示されるので、それらをリンク付けして因果関係を表現する。すべてを表現し終わった後の画面例を図4に示す。学習者は、物体に働く力をすべて整理し終われば、物体に働く力と初めに予想した振舞いとが矛盾しないかを確認する。

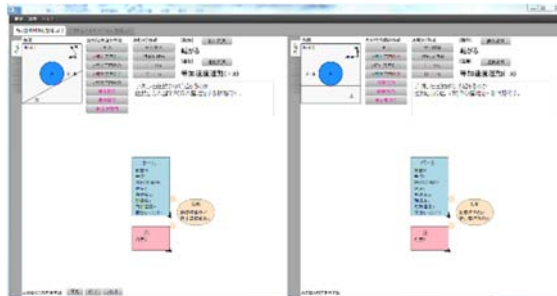


図3 因果関係整理の初期画面例

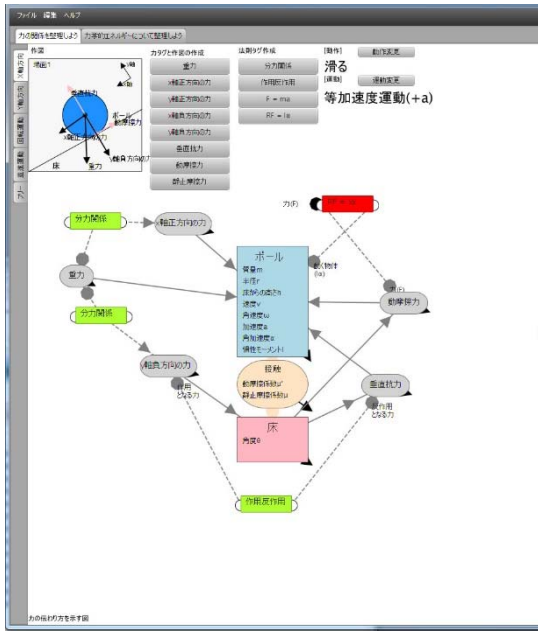


図4 因果関係整理終了時の画面例

③ 診断機能

学習者が考えた因果関係と事前に用意した因果関係ネットワークを照合し、学習者の因果関係を診断する。診断は、力と物理法則を表現するノードの過不足と、リンクの正しさについて行う。正しくない部分がある場合には、力の発生原因となるところから順にたどりながら、修正のきっかけとなるようアドバイスを与える。アドバイスの例を図4に示す。

見直しの項目	タグ名	アドバイス
1	力	力が働く先の物体について整理が不足しています。
2	作用方向の力	力が働く元の物体について整理が不足しています。
5	摩擦係数	動作/運動との関係をもう一度見直してください。
3	$F = ma$	左リンクについて不適切なものが整理されています。
4	$F = ma$	左リンクについて不適切なものが整理されています。

図5 アドバイスの例

(3) 学習支援システムの有効性評価

学習支援システムの分析促進効果を調査するために、6グループのシステム操作履歴と話し合い音声データを用いて学習者の分析過程をまとめた。表1に操作内容と実行回数を示す。これからノードの作成だけでなく削除も行い、またリンクの修正も行っていることから、因果関係をたどる分析において試行錯誤していることがわかる。

次に表1に示された各操作がどのような意

図のもと実行されたのか確認するために、音声データから話し合いの要点を取り出し、その時の各操作の実行回数をまとめた。紙面の関係で第1班の結果を表2に示す。なお、表2中の因果要素①から⑤は次のとおりである。

- ① 物体に働く力
- ② 力の作用元となる物体
- ③ 力の作用先となる物体
- ④ 力と力の間に成り立つ物理法則
- ⑤ 物体と力の間に成り立つ物理法則

1班の分析経過によると、まず要素①～④に関して整理をしており、因果関係を示すリンクを用いた整理を進める過程で、力と現象の関係について着目した見直しが始まった。この見直しにより因果に関わる力の修正が必要であると判断し、力ノード作成/削除、リンク接続/修正が適宜行われていることがわかった。最後に因果要素⑤の整理へと進み、力と現象の関係について確認を行い、分析を終了していた。いずれの班においても同様の傾向が見受けられた。

表1 学習支援システムの操作内容

操作	1班	2班	3班	4班	5班	6班
運動変更	0	3	0	0	1	1
動作変更	0	0	0	0	1	0
ノード作成	20	23	23	21	18	25
ノード削除	3	6	8	5	2	22
リンク接続	39	47	38	29	28	41
リンク修正	11	12	10	1	1	12

表2 会話内容と操作内容の関係

時間(m:s)	話し合いの要点
00:00～	因果要素①③④
04:57～	因果要素②
06:12～	因果要素①④
07:22～	因果要素⑤
09:21～	因果要素④⑤
09:51～17:30	部品と因果要素④、因果要素⑤

表2 (続き)

運動変更	動作変更	ノード作成		ノード削除		リンク接続		リンク修正	
		力	法則	力	法則	力	法則	力	法則
0	0	7	3	2	0	7	9	3	2
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	4	0	1	0	4	2	1	1
0	0	0	3	0	0	2	4	0	1
0	0	0	1	0	0	0	4	0	1
0	0	0	2	0	0	0	5	0	0

全てのグループにおいて因果の分析をするにあたりノードの作成だけではなく、ノード削除も適宜行っていたことから、一覧として与えた力と物理法則のリストが、因果要素に着目することや因果関係の見直しの際の知識として活用されていたことがわかった。また分析の見直しを行っている際に、ノードの削除やリンクの修正が行われている場面も確認することができたことから、ノードとリンクによる表現手段が、力の因果関係に着目させ因果関係を考えるために活用されていたことがわかった。

<引用文献>

- ① Bert Bredeweg, Ken Forbus, Qualitative modeling in education, AI Magazine, Vol. 24, No.4, 2004, 35-46
- ② 竹内 章：物理学学習支援における Thinking Tool としての e-Learning、応用物理教育、Vol. 29, No. 1, 2005, 29-34
- ③ 竹内 章、吉田 裕之、藤田 智之、石橋和子：知識の適用能力獲得のための知的学習環境の構成とばね学習への応用、電子情報通信学会論文誌、Vol. J83-D-I, No. 6, 2000, 523-530
- ④ Akira Takeuchi, Setsuko Otsuki, An intelligent Tutor for Kinetic System Modeling, Proc. of AIED97, 1997, 340-346

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計2件)

- ① 金子 真子、梅津 孝信、竹内 章、力学的分析へと誘導する運動と力の関係整理ツールの評価、第40回教育システム情報学会全国大会、2015年9月1日、徳島大学(徳島県徳島市)
- ② 金子 真子、梅津 孝信、竹内 章、力学的分析へと誘導する運動と力の関係整理ツールの構築、2014年度教育システム情報学会学生研究発表会、2015年2月27日、宮崎

市民プラザ (宮崎県宮崎市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹内 章 (TAKEUCHI, Akira)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：00117152

(2) 研究協力者

金子 真子 (KANEKO, Manami)