

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 4月 1日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21650226

研究課題名（和文） 基本原理に立ち返った現象の理解能力獲得を支援する方法に関する研究

研究課題名（英文） A method to assist acquiring ability to understand physical phenomena based on basic principles

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

研究成果の概要（和文）：学習者の課題探求能力や問題解決能力を養うことを指向して、物理現象をモデル化する能力、現象の性質を考える能力の獲得を支援する学習支援システムの実現方法について研究を行った。学習者に物理実験を設計する課題を与え、学習者が設定した実験の目的と結果の分析方法を診断することで問題点を抽出し、見落としや不適切な部分について再考させる方法を示した。また、理解を促すための説明を、系に働く力の因果関係に基づいて生成する方法を示した。

研究成果の概要（英文）：The aim of the research is to develop a method to realize computer systems that support learners to acquire ability of analytical thinking about phenomena in physics and modeling them. Learners are given a problem to design physics experiments where they are required to decide the purpose of the experiment and procedures of data analysis. We developed a method to guide learners to rethink experiments by pointing out issues in their designs. We also developed a method to generate explanations about dynamic systems from causal relations between forces and objects in the physics systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	0	1,000,000
2010年度	1,000,000	0	1,000,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,000,000	300,000	3,300,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：学習支援システム、物理学習、物理実験設計、誤り診断、説明生成

1. 研究開始当初の背景

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現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。この原因として、記号操作による解法の習熟に偏った学習を行い、現象の基本的な性質を考えようとする態度、あるいは現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。

2. 研究の目的

基本的な法則を適用して現象を理解しようとする態度は、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、こうした能力の獲得支援を可能にする学習機会の提供方法と、支援方法を明らかにすることを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、物理実験を設計する作業を通して、現象について法則に基づき分析的に考えさせる。しかし、課題を与えるだけでは何をすべきかが分からず、行き詰る場合もあるので、実験を計画する際に必要な情報を整理し、記録するための作業環境をコンピュータ上に実現し、思考を誘導する方法を明らかにする。

(2) 作業環境の記録から学習者が計画した実験内容と分析方法の適切性を診断し、誤りの原因や見落としを同定して、再考を促す方法を明らかにする。

(3) 自力で正しい理解にたどり着かない場合に、学習者が構成した力学系について支援システムが説明を生成できるようにするために、力の因果関係をモデル化する方法を確立する。さらに、これに基づいて力が発生する原因や現象について説明する方法を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 設計した力学実験の整理

学習者が自分の設計した実験内容を確認し、設計ミスがないかを振り返ることができるようにするために、実験情報の整理を行える環境の開発を行った。本研究で対象とした実験では、スロープや球などの実験器具と、物差しや高速度カメラなどの測定装置を与えて、学習者に自由に実験を設計させた。過去に実施した実験レポートから学習者が考案した実験内容を調査したところ、実験対象である力学系の振る舞い、実験の目的、測定量、実験の分析に用いる式について情報整理を行う必要があることが分かった。学習者がこれらの実験情報を入力でき、しかも支援システムが学習者の設計した実験情報を把握することができるようにするために、これらの項目それぞれについて学習者の設定する可能性のある情報を、次のようにシステム内に用意した。

① 力学系の振る舞い

過去の実験レポートより、実験器具の種類が固定されている場合、学習者が考えつく振る舞いの初期状態や状態遷移が限られていた。このため、力学系の振る舞いは図1のような力学系の状態遷移グラフを用いて表現することができた。

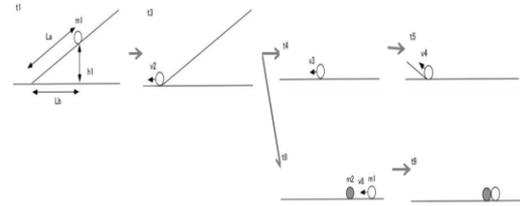


図1 状態遷移グラフの1部

状態遷移グラフの各ノードは一つの定性的に同一の状態に対応しており、状態間の時間的推移関係を表したのが状態遷移グラフである。状態の遷移は、系にある物理量の値が定性的に変化した場合と、系に不連続変化が起こった場合に発生する。本研究では11種類の状態を用意することで、スロープと球を用いた実験の状態遷移を表現することができた。

② 目的、測定量、実験の分析に用いる式

実験の目的、測定する物理量については、与える実験器具や測定装置で学習者が設定する可能性のある項目をすべてシステムに用意した。また実験の分析に用いる式にあらわれる可能性のある物理量についても同様に用意した。分析に用いる式については、物理量間の依存関係を学習者に意識させることが重要であると考えたため、システムに用意されている物理量を用いて「何を求めるために何が必要であるか」の関係として表現させることにした。

システムに用意されている①、②の情報を用いて、学習者が自分の設計した実験に従って情報を選択していくことにより、上に述べた実験情報の整理を行う必要のある項目を確認できる環境を実現した。

(2) 力学実験の再検討項目指摘

学習者が物理現象を適切に認識していない場合や、分析方法が不適切な場合には、設計した実験内容に不備が生じる。このような場合には、不足している測定量や分析に用いている式の誤りを検出して、再検討すべき項目を学習者に提示する必要がある。そのために、学習者が入力した分析方法で実験の目的として設定された物理量を求めることができるか、法則を確認することができるか、入力された1つ1つの式の依存関係に誤りが

ないかの2点についての診断機能の開発を行った。前者は測定する物理量と実験の目的とする物理量、法則が学習者の入力した依存関係で連結するかどうかで判定を行う。後者は学習者が入力した物理量の依存関係とシステムに用意している正しい公式・法則とを比較することで誤りを発見する。

これらの診断機能を用いることで、学習者が設計した実験を正確に診断できるか、そして学習者が提示された再検討項目だけで実験の見直しを行えるかの2点について評価を行った。評価のために学部1年生の基礎実験科目履修者と大学院生の設計した実験の診断を行った。学部1年の実験は前半グループと後半グループの2回に分けて評価実験を実施している。

正確に診断を行えたかどうかの診断結果を表1に示す。表1の中で正確な診断を行えなかった3件の実験のうち2件は診断プログラムの不具合、診断に用いる公式の情報不足が原因であった。残りの1件の実験は複数式を1つの式として学習者が入力していたため、途中式の解釈に曖昧性が出てしまい、見直すべき点であるかの判断ができなかった。

表1 診断機能の評価結果

	診断できた	診断できなかった	診断した実験数
学部1年前半	4	2	6
学部1年後半	2	0	2
大学院生	2	1	3
合計	8	3	11

次に診断結果から実験の見直しが行えるかどうかの評価を、学部1年生を対象に行った。学部1年生の実験の中で正確に診断が行えた6件の実験のうち見直し点を指摘した実験は4件(前半:2件, 後半:2件)であった。前半2件の実験では診断結果を見ても学習者は実験の見直しや修正をすることが出来なかった。前半の実験では、学習者になるべく多くのことを自分で考えさせることを意図して、診断システムが同定した不適切な部分について抽象度の高いメッセージを出力していた。その結果、何をすべきかの判断がつかなかったものと思われる。そこで診断により得られた見直すべき点に関係する物理量について具体的に言及し、再考すべき部分を明示したメッセージに変更した。診断結果の提示内容変更後の後半の実験では、学習者は診断結果を見て、不明な知識は自分で調べ、指摘された部分について検討を行っていた。この結果より発見された不適切な部分を学習者に伝えれば、学習者が見直しを行えることがわかった。

(3) 力学情報のシステム上での表現

力学系の情報には、その系を構成する部品の情報、部品の接触や接続など部品間の関係、系に働く力の情報、作用反作用など力間の関係がある。力学学習の支援を実現するためには、これらの情報をシステムに保持しておく必要がある。そこで力学情報を因果関係ネットワークと呼ぶ図2に示すようなネットワーク構造で表現した。

因果関係ネットワークを利用することで、上にあげた情報だけでなく、リンクをたどることで力が発生する原因やどの部品からの部品へ力が及んでいるかという情報が得られるようになった。

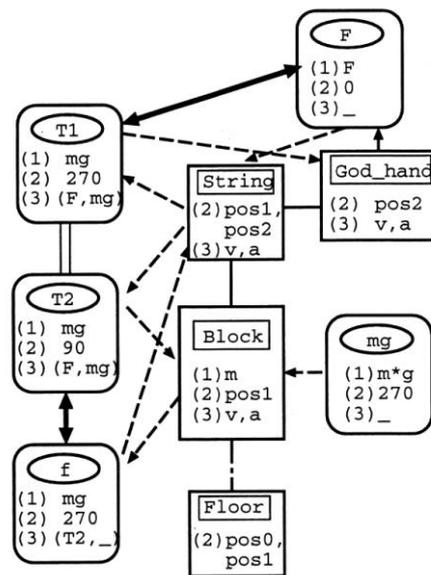


図2 因果関係ネットワークの例

(4) 力学系理解のための系の説明

学習者が力学現象を学習しなおす際に手助けとなるよう、因果関係ネットワークから力学系を構成している部品の構造や力を学習者に説明する手法の考案を行った。説明生成ではネットワークで表現されている情報を一次元に並べることになるため、ネットワークをたどる順番により説明の分かりやすさが変化すると考えられる。そこで、次に示す2種類の順序で説明を生成する機能を実装した。

① 力学系を構成している部品ごとに働く力をまとめる説明順序

系に働いている力を、力を受ける部品ごとにまとめて説明する方法である。物体の運動を考える場合には、物体ごとに働く力を考えることを考慮した説明方法である。

この説明では、系に存在するある部品が受けるすべて力それぞれについて説明した後、それらの力のつり合いを求めて、その結果を説明する。

② 力の因果関係を重視した説明順序

力の発生にかかわる因果関係を意識した説明方法である。系に働く力の中でほかの力が原因ではない力、たとえば地球から受ける引力や外力から説明を開始して、原因となる力からその結果の力へと、力が伝播する因果のリンクが終端に達するまで順に説明する。

説明方法の①と②のそれぞれを用いて力学系を説明し、説明の違いによって理解度に差が出るかを調査した。力の因果関係や現象をよく確認しないと解けない力学問題を用意し、その問題が解けなかった大学生 10 人を被験者とした。①を用いた説明と②を用いた説明をそれぞれ 5 人ずつに読んでもらい、その後で問題を解いてもらった。各被験者の得点を表 2 と表 3 に示す。

表 2 ①を用いて作成した説明を読んだ被験者の得点

	問 1	問 2	問 3	合計
1	20	20	20	60
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	20	0	20
5	20	20	20	60
平均	8	12	8	28

表 3 ②を用いて作成した説明を読んだ被験者の得点

	問 1	問 2	問 3	合計
1	0	20	0	20
2	0	40	0	40
3	20	60	20	100
4	20	60	20	100
5	0	40	0	40
平均	8	44	8	60

実験の結果、説明の順序の違いで得点に大きな差が見られた。部品ごとに働く力をまとめる説明を読んだ被験者は、最終的にどうなるかは分かっても、なぜそうなったかの理由が答えられない場合が多いのに対し、力の因果関係を重視した説明を読んだ被験者は結論までたどり着かない場合であっても、考え方の流れは途中までは正しい回答が多いといった違いがあった。以上のように、両者の

傾向には大きな違いがみられた。この結果より部品ごとに働く力をまとめる説明よりも、力の因果関係を重視した説明を行ったほうが学習者に有意な情報が与えられることが分かった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

- ① 福田かなゑ, 竹内章, 「自由設計の物理実験において考慮不足点を指摘する学習支援システム」, JSiSE 学生研究発表会, 2011. 3. 14, 福岡工業大学

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

福田 かなゑ (FUKUDA KANAE)

九州工業大学・大学院情報工学府・大学院生

高尾 五朗 (TAKAO GORO)

九州工業大学・大学院情報工学府・大学院生