

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

Evaluation of a Tool to induce into Physical Analysis

金子 真子, 梅津 孝信, 竹内 章

Manami KANEKO, Takanobu UMETSU, Akira TAKEUCHI

九州工業大学大学院 情報工学府

Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Kyusyu Institute of Technology

あらまし：力学の学習において、現象に対し科学的概念を用いた分析（力学的分析）を意識しておらず、現象を正しく認識していない学習者が少なくない。分析する重要な要素として「力の因果関係」があり、学習者はこの要素の整理を適切にしていないことが原因の一つとして考えられる。本研究は、力学的分析力の育成を目標とし、現象を力の因果関係に焦点をあて整理を行わせるツールを開発した。そのツールの概要と、評価実験の結果を報告する。

キーワード：力学学習支援、力学的分析、力の因果関係

1. はじめに

我々の大学では学部1年生を対象に、力学現象の測定を目的とする実験を自由に設計させ、実施させる演習がある。適切に理論立てて考察するには、科学的概念を用いて分析する作業（力学的分析）を行い、現象のふるまいの原因結果を把握することが必要となる。しかし提出されたレポートには、科学的な根拠のもと説明がなされていない内容が多く、力学的分析が適切に行われていないことが考えられる。そこで我々は、学習者の力学的分析力を育成支援するシステムの考案を目指し、運動と力の関係に焦点をあてて現象を分析させるツールを開発した。本報告ではこのツールの概要および評価について述べる。

2. 力学的分析力の育成

科学的な分析とは、現象を構成している要因を科学的な視点から分析し、現象の成り立ちを整理することである。この科学的な分析を力学の分野で適用すると、現象の要因となる【力の因果関係】の整理が重要となる。力の因果関係とは、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(要素①～⑤と表す)の要素により成り立つ因果関係のことを指す。現象を引き起こす要因の根本となる力の因果関係を整理することは、現象を把握するために必要である。これより学習者に力の因果関係を意識させた分析へと誘導することで、力学的分析力の育成につながると考える。

3. 支援方針

力の因果関係に焦点をあてた分析をするように誘発する環境を提供し、学習者自身がどのような考えで分析を進めているのか可視化するツールを構築した⁽¹⁾。学習者へ力の因果関係を整理するためのポイントやヒントを提示することで、自身の知識を使い現象について考えさせ、学習者の分析力が向上することを期待する。さらに分析内容の可視化により、分析過程を具体的に見直させることで、分析の抜けや矛盾点に気づかせるきっかけとなり、力学的分析を適切に行うことを期待する。

4. ツールの概要

ツールは次の2つのStepから構成される。

Step.1:分析対象となる現象のふるまいを意識させるために、図1のような環境を用意した。現象を分析するポイントを押さえるために、運動が不連続変化する時点ごとに区切った物体位置を示し(図1.A)、各時区間における現象のふるまいの選択肢を提示している(図1.B)。ふるまいを予測させることで、分析対象を意識させる。

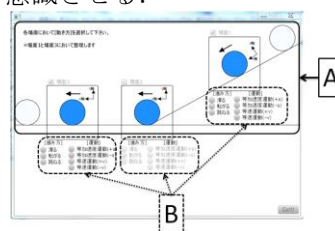


図1 現象のふるまいを予測する環境

Step.2:次に各時区間における力の因果関係に焦点をあてた分析をさせるために、図2のような環境を用意した。力の因果関係の整理に必要な要素や、整理する考え方を学習者自身の力で引き出すことが困難であるため、システムから整理に関わる可能性がある力や物理法則の一覧をヒントとして与えた(図2.B)。まず学習者は要素の一覧から力を選択し、力の図示(図2.A)をすることで、要素①に関する整理を進める。さらに、明確に意識しないことも多い要素②と③について考えさせるために、働く力を表すノード(力タグ)と物体を表すノード(物体タグ)を矢印や線(リンク)でつなげ関係性を表現させる可視化ツール(図2.C)を用意した。また要素④と⑤について考えさせるために、物理法則を表すノード(物理法則タグ)を用意し、物理法則に関係する力や物体をリンクでつなげ表現し整理させる。

このようにStep.2では、要素①～④の整理で力と力間の関係を整理し、要素⑤の整理で運動方程式をたてる際に関係する力をリンクでつなげて物体と力間の関係を整理する。これらの作業はStep.1で予測した現象を発生させる力について分析する大切な作業となる。図2.Cの分析内容を表現した図(因果分析

図と呼ぶ)を参考に、分析の抜けや矛盾点を気づかせ、現象をより深く分析させるツールとなっている。

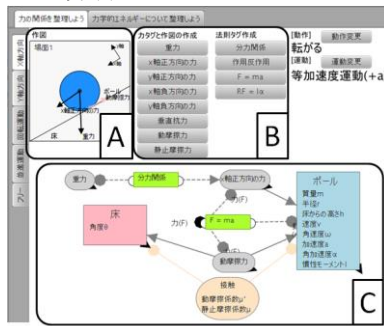


図 2 一つの時区間を分析する環境

5. 実験

5.1 実験の概要

力学現象について力学的分析へと誘導するツールとなりえるか確認するために評価実験を行った。1 章で紹介した自由実験演習を受講している学部 1 年生を対象に、図 1 の実験系を計画していた 2, 3 人で構成される実験班 4 つ、計 11 人の学習者にツールを使用してもらった。力学的分析へ誘導できているか確認するために、ツール利用時のログと班内で話し合う会話を録音した音声データを取得し解析した。また学習者が作成した因果分析図から、現象をどのように把握したのか確認を行った。

5.2 実験結果

ログデータより、ツール利用時の状況を調査した。分析に必要な要素を選択する操作や、話し合いの結果のもとタグを削除する操作、タグ間の関係を整理するリンクの操作の回数を表 1 に示す。

表 1 学習者の操作内容

番号	操作内容	1 班	2 班	3 班	4 班
(1)	力タグ作成	13	22	12	16
(2)	力タグ削除	4	9	2	6
(3)	力間物理法則タグ作成	4	9	5	3
(4)	力間物理法則タグ削除	0	5	0	2
(5)	運動方程式法則タグ作成	5	6	4	6
(6)	運動方程式法則タグ削除	0	2	1	1
(7)	リンク接続	40	52	53	44
(8)	リンク修正	14	30	18	28

1 班の音声データより、分析内容を調査した。力の因果関係について整理をする過程で行われた話し合いの要点とその時に行ったツールの操作を表 2 に示す。表 2 の操作番号は表 1 の番号を参照している。

表 2 話し合いの要点

時間経過 [分:秒]	話し合いの内容の要点	操作 番号
0:00~	現象のふるまいを予測する	
1:30~	因果①③④の観点から整理を進める	1,2,3,7 8
4:30~	因果②の観点から整理を進める	1,2,7,8

8:00~	【現象と力の関係】という観点のもと思考をめぐらす	1
9:00~	【現象と力の関係】に矛盾点があることに気付く	1,7,8
10:00~	因果②の観点から整理を見直し、修正する	3,7,8
13:00~	【現象と力の関係】の整理を見直し、修正する	2
17:00~	因果⑤の観点から整理を進める	5,7,8
~20:00	分析を終了する	

5.3 考察

ツールの手がかりを用いて分析を進めているか、表 2 の実験結果より考察する。最初に要素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、現象と力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関係の矛盾点に気づき、力タグの削除やリンクの修正が行われた。後に要素⑤の整理へと進み、最初に予測した現象のふるまいと力の関係について確認を行い、分析を終了していた。この実験結果から、ツールが与える整理の手がかりを利用して、各時区間の力の因果関係をひとつひとつ吟味して分析していたことがわかった。意識しないことが多い要素②と③に関する整理においてリンクを修正していた様子が見受けられたことから、整理に必要な要素を提示することやタグ・リンク類を用いた力の因果関係を可視化させる作業には、今まで意識していなかった現象の要因を詳細に分析させ、分析の抜けや矛盾点を気づかせる効果があるとわかった。

次に作成された因果分析図の検証を行った。現象を引き起こす要因をすべて記述した因果分析図を正解として採点したところ、すべての班において正しい分析内容で終わっていないことがわかった。原因として、学習者が分析の抜けや因果分析図中の矛盾点に気付かなかったことが考えられる。リンクによって整理された因果関係の分析内容を、様々な視点から見直しを行い一部の矛盾点には気付いたが、全ての矛盾点に気付くことができず、適切な分析までに至らなかった。

6. まとめと今後の課題

力学的分析へ誘導する手段として運動と力の因果関係に焦点をあてて支援する整理ツールの概要と、その評価について報告した。現時点では、力学的分析へと誘導するツールとして効果があることがわかり、学習者に対して誤った分析の修正を促す支援の必要性もわかった。今後、学習者が作成した因果分析図を診断し、学習者の理解状態に合わせて助言する機能を実現する予定である。

参考文献

- (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構築”, 2014 年度 JSiSE 学生研究発表 (2014)