

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

Tool to Arrange the Force and Movement to induce into Physical Analysis

金子 真子^{*1}, 梅津 孝信^{*1}, 竹内 章^{*1}
 Manami KANEKO^{*1}, Takanobu UMETSU^{*1}, Akira TAKEUCHI^{*1}

^{*1}九州工業大学

^{*1}Kyushu Institute of Technology

あらまし：力学現象を理解するためには、事実に基づく科学的概念のもと分析を行う必要がある。本報告では、現象を運動と力の因果関係に焦点をあてた分析を行うことができるように誘導するツールの構築、および予備実験の実施によりわかったツールの有効性について報告する。

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

初等力学の学習では、ある力学系がどのようにふるまうか現象の要因を考える、科学的な思考力⁽¹⁾が重要である。しかし力学現象を正確に把握するまでに至らず、誤った運動方程式をたてる学生が少なくない。原因として、力学現象を把握するための、科学的概念を用いた分析(力学的分析と呼ぶ)を行っていないことが考えられる。本研究の目標は、学習者が力学的分析を行うように誘導する方法の考案、および支援システムの開発である。本報告では、運動と力の関係に焦点をあてた力学的分析を、現象に対して行うよう誘導するツールの開発、および有効性について述べる。

2. 力学的分析力の育成

力学的分析力の育成するためには、力学系の事象を、構成している諸要素に力学的視点から分解し、現象との因果関係を整理する力をつけることが重要である。その諸要素のひとつに力の因果関係がある。力の因果関係とは、物体間にはたらく力や、力と力の間・物体と力の間になり立つ物理法則のことを指す。力の因果関係について分析を行い、運動と力の因果について整理することは、運動を認識するための重要な作業のひとつである。この作業を自発的に行うことができない学習者には、分析へと誘導する支援が必要となる。

3. 支援方針

運動と力の因果関係の分析へ誘導する方法として、学習者に力の因果関係を図で表現をさせる環境を提供する方法をとる。学習者へ分析に必要な要素を提示し、要素と自分の知識を使って因果を考えないといけない状況をつくることで分析へと誘導し、力学的分析力が育成されることを期待する。

学習者は力を図示することで「どの物体からどの物体へはたらく力である」という力の因果や力と力間、力と物体間になり立つ物理法則の因果を暗黙的に整理し、方程式をたてることが多い。因果関係を論理的に分析するためには、暗黙的に整理してあった部分を意識し、分析することが必要である。そこで力の図示とは別に因果関係を表現させる方法を考

案した。方法の詳細は4章で説明する。この方法をもちいて、運動と物体にはたらく力、運動と物理法則の因果関係を表現した図(因果分析図と呼ぶ)を学習者に作成させることが、力学的分析を行うことに繋がり、分析力の育成にもつながることを期待する。

4. ツール概要

ツールをもちいて、学習者はまず物体がどのような運動をするのか考える。次に一般的な力の図示(図2.A)と因果分析図(図2.C)の作成を行うことで、考えている運動をおこす要因となる力の因果関係を分析する作業を、次のように進めていく。

(1)力学系の考えられる動作と運動の選択：直感的に捉えている運動を学習者に確認させるためのものである。動作とは、物体の動き方を表しており、滑る、転がるなどの選択肢がある。運動は移動の仕方の規則性を解いており、等速運動、等加速度運動などの選択肢がある。図1に例を示す。これはボールと斜面の構成で、斜面からボールを転がす力学系である。

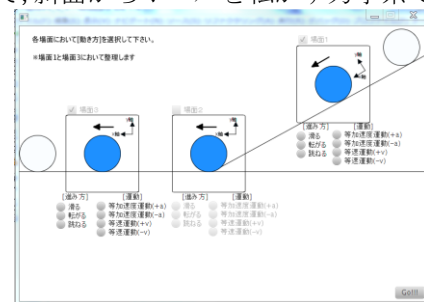


図1：動作・運動選択画面

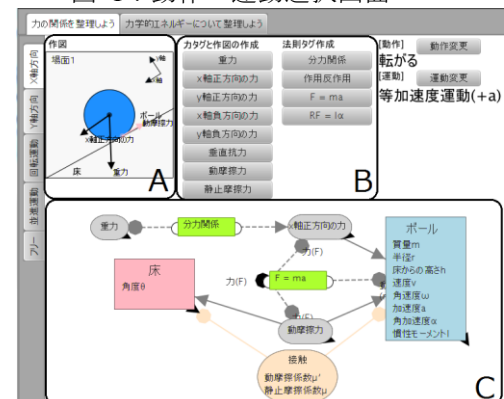


図2：ある時点の因果分析図作成画面

(2) 各時点における力の選択：物体間にはたらく力について考えさせるためのものである。物体の状態に変化がある場面(時点)をシステムから提示し、学習者は各時点における物体間にはたらく力を図 2.B において選択する。選択すると図 2.C に力を表すノード(カタグ)が表示され、図 2.A 部分に選択された力が一般的な方法で図示される。

(3) 力の「発生する物体」と「影響を与える物体」の選択：選択した力の因果関係を考えさせるためのものである。学習者は「発生する物体」からカタグに対して矢印をひき、カタグから「影響を与える物体」に対して矢印をひくことで、力の図示だけでは暗黙的になっていた力の因果関係の表現を行う。

(4) 力間・力と物体間に成り立つ物理法則の選択：物理法則について考えさせるためのものである。例えば、力1はと力2分力であるといった力の関係、力1と力2は作用反作用関係であるといった力間の関係、運動している物体の運動方程式は力1と力2が関係しているなどがある。システムから提示された物理法則を図 2.B において選択する。図 2.C に表示された物理法則を表したノード(物理法則タグ)を用いて、物理法則タグに関係する力や物体へ線をつなげることで、運動と物理法則の関係性を表現する。

(2)~(4)の作業は学習者が暗黙的に整理していた物体にはたらく力や物理法則についての情報を表現させるものとなっている。(2)~(4)の作業を相互に行い因果分析図の作成を進めることで、(1)で考えた運動と力の因果関係の整理を進め、力学現象の理解を深めるものとなっている。

5. 実験

5.1 実験概要

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予備実験を行った。我々の大学では学部1年生を対象に、力学現象の測定を行う実験を、学習者が自由に設計して実験を行う演習がある。計画した実験の理論構成や考察をする際に、力学現象を把握するための作業として力学的分析を行う必要がある。そこでこの実験演習を受講している学部1年生を対象に、図1の実験系を計画し実験設計を進める予定の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い、力学的分析へと誘導するツールとして有効的であるか調査を行った。力学的分析へと誘導しているか確認するために、ツール使用時に班で話し合う内容を音声データで取得し分析した。また力学的分析を行うことで、力学現象をどのように把握したのか確認するために、作成した因果分析図を解析し分析した。

5.2 実験結果

4つの班のうちある1つの班における音声データより抽出した班内で話し合った内容の要点を以下に示す。

- ・慣性モーメントとは何か

- ・重力がどの物体に加えるのか
- ・回転運動方程式がわからないが、x軸正方向の力に関係するのではないか
- ・転がっている時は摩擦を受けている
- ・摩擦がどの物体からどの物体にどのように力が加わるのか

これより、ツールの使用を進めるにつれ話し合いが展開されており、斜面上から転がり始める物体の各時点に、どのような力がはたらいているのか、転がる現象の要因となる事象はなんであるか、要素をひとつひとつ吟味して分析している様子が見受けられた。ツールをきっかけに力学的分析を行っていることから、ツールの機能が有効であることがわかった。

次に学習者たちが正しい科学的概念のもと分析を進めているか確認するためにある班において作成された因果分析図を解析した。学習者の理解状態を抽出した結果を以下に示す。下線部は誤っている箇所、後部()には正解内容を載せている。

- ・ボールに対して動摩擦力が働いていると表現している。(静止摩擦力)
- ・動摩擦力がボールと床に対して働いている(静止摩擦力が床からボール)
- ・回転運動の方程式($RF=I\alpha$)について関係する力が表現されていない(床からボールへはたらく静止摩擦力)
- ・y軸負方向の力がボールと床に加わる力と表現している(ボールから床に対して加わる力)
- ・垂直抗力がどの物体から発生しているものか表現されていない(床からボールへ)

因果分析図の導入より、一般的な力の図示だけではわからなかった学習者の誤った認識部分を取得することができ、指導するべき要点を把握することができた。

6. まとめと今後の展望

力学的分析へと誘導する手段として運動と力の因果関係に焦点をあてた整理ツールの構築と、有効性を測る予備実験の調査結果について報告した。現時点では、力学的分析への誘導するツールとして有効であることがわかり、学習者に対して誤った分析の修正支援の必要であることもわかった。

因果分析図は力学的分析において学習者が目をつけるポイントや、学習者の理解状態の把握に利用できる。これらの情報をもちいて機械的に診断を行うことで、学習者個人の理解状態に合わせた力学的分析へと誘導するシステムの開発を計画している。

参考文献

- (1) 羽村昭彦他：“高等学校理科における科学的な思考力を育成するための教材に関する研究—観察、実験などを探究的に行う教材の開発—”，『研究紀要 第33号』広島県立教育センター p.44(2006)