

作用・反作用の因果的理解のための 演習支援システムの設計・開発と実験的評価

Design, Development and Experimental Assessment about Exercises Support System for Causal Understanding of Action and Reaction

高野 はいね^{*1}, 山田 敦士^{*2}, 篠原 智哉^{*2}, 林 雄介^{*2}, 平嶋 宗^{*2}, 堀口 知也^{*3}, 溝口 理一郎^{*4}
Haïne TAKANO^{*1}, Atsushi YAMADA^{*2}, Tomoya SHINOHARA^{*2}, Yusuke HAYASHI^{*2}, Tsukasa HIRASHIMA^{*2}
Tomoya HORIGUCHI^{*3}, Riichiro MIZOGUCHI^{*4}

^{*1} 広島大学工学部

^{*1} Faculty of Engineering, Hiroshima University

^{*2} 広島大学大学院工学研究科

^{*2} Graduate School of Engineering, Hiroshima University

^{*3} 神戸大学海事科学部

^{*3} Faculty of Maritime Sciences, Kobe University

^{*4} 北陸先端科学技術大学院大学

^{*4} Japan Advanced Institute of Science and Technology

Email: takano@lel.hiroshima-y.ac.jp

あらまし：物理学は方程式によって現象の説明が行われるが、方程式ではその現象の因果が消えており、因果の理解は人間の解釈によって補わなければならない。例えば「作用・反作用の法則」では「作用に対して常に反作用が発生する」ことの説明はなされるが、「作用に対してどのようにして反作用が発生したのか」については一切の説明がなされていない。本発表では上述の「作用・反作用の法則」に焦点を絞り、その因果的理解のための演習支援システムを設計・開発し、実験を行ったので報告する。

キーワード：作用・反作用の法則，因果推論理論，因果的理解，演習支援システム

1. はじめに

物理学は方程式により現象の説明が行われるが、方程式では因果が消えており、因果の理解は人間の解釈によって補う必要がある。現在の物理教育は方程式的理解に傾注しており、因果的理解の教育が不十分といえる。因果的理解は方程式を立てる上で不可欠であり、また、正しい因果的理解が欠如していると、複雑な現象を十分に説明するモデルを得ることは出来ない。本研究では、力学における力間の関係を因果的に説明する枠組みである「因果推論理論」に基づいて、力の因果的理解の修得を目指す演習支援システムの開発を行い、実験的利用を行ったので報告する。

2. 作用・反作用の因果的理解の手順

2.1 因果的理解とは

ある原因に対して何らかの結果が存在することは自明であるが、原因から直ちに結果を導き出すことは出来ない。原因から結果を導き出すには原因から発生した様々な事象を観察し、それらを基に結果を推論する必要がある。この解釈の仕方が因果的理解であり、作用・反作用に適用すると「作用から反作用を導き出すには作用から発生した様々な事象を観察し、それらを基に反作用を推論する必要がある」となる。本章ではこの具体的手順を述べる。

2.2 因果的理解の具体的手順

作用から反作用を推論する手順は以下のようになる。(1)作用を与える。(2)事象が発生する。(3)事象に対応した力が発生する。(4)反作用が返ってくる。例えば、(1)物体に指で力を与える。(2)物体に加速度が発生する。(3)加速度に対応した慣性力が発生する。(4)慣性力が指に返ってくる。この内(2)とそれに対応する(3)は複数並行して発生し、(4)は一つの原因によって発生した複数の事象が最終的に集結した結果として(3)を足し合わせたものとなる。

2.3 事象とそれに対応する力

初等物理学において物体に作用を与えて発生する事象は以下の手順で分類できる。(i)「対象物体そのものに発生する事象」と「対象物体の境界で発生する事象」に分類。具体的には物体に発生する加速は前者に分類し、摩擦や空気抵抗は後者に分類する。(ii)「対象物体の境界で発生する事象」を更に「境界で大きさが確定する事象」と「境界で大きさが確定しない事象」に分類する。例えば摩擦や空気抵抗は境界における摩擦係数や空気抵抗係数により事象の大きさを判別し得るが、他物体と衝突して作用を与える場合、その大きさは境界では判別し得ない。この大きさを判別するには他物体へ与えられた作用により発生する反作用を同様の手順で再帰的に調べる必要がある。これらの分類により具体的に(a)加速、

(b)空気抵抗, (c)摩擦, (d)外力が働く, (e)他物体への作用の 5 種類の事象が発生し得ると分かり, それぞれに対応して(a)慣性力, (b)空気抵抗力, (c)摩擦力, (d)外力, (e)他物体からの反作用力が発生する。

2.4 因果の表現

2.2節の(1)から(4)の手順を図1のように表現する。一つの作用が複数並行した事象へと分岐し, それぞれに対応する力が収束して一つの反作用になる様子を示している。因果の理解を図で表現することによって, 反作用となる力がどのような大きさであるのかを一目で判別出来るようになるだけでなく, 元の作用となる力と他物体へ加わった作用となる力との差異も一目で判別出来るようになり, 貫く力などの力に関する誤概念の解消効果も期待できる。図1は二つの並んだ物体の一方から力を加え, 二つの物体はそれぞれ加速し, 空気抵抗が働き, 摩擦が働き, 外力が働く例を示している。

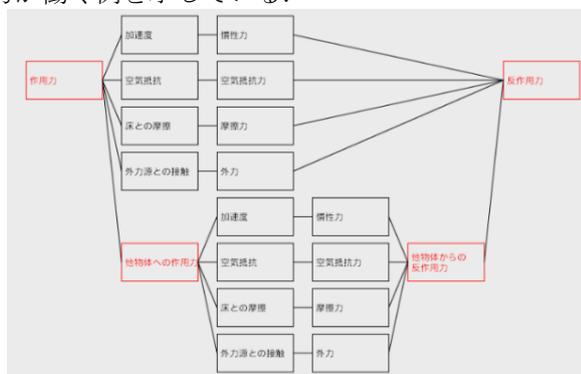


図1 因果の表現

3. 演習支援システム

3.1 支援システムの目的

前章で述べた因果的理解の具体的手順と因果の表現は連動しており, 操作に対して表現の応答があるとより理解し易いが, 口頭や紙面上の演習でこれを実現することは難しい。本研究の支援システムは因果的理解の具体的手順を再説明させることに加え, 操作に対して逐一表現のフィードバックを返しながら本理論の修得を目指すものとなっている。

3.2 支援システムの演習手順

支援システムでは2.2節の(1)から(4)の手順を再説明させ, 操作に対して逐一表現のフィードバックを返している。支援システムの演習画面を図2に示す。図2は手順(2)の演習画面である。画面上部で学習者に問題文と図で物理状況を与え, この状況で手順(1)を経てどのような事象が発生するのかを画面中央のトグルボタンで選択させている。トグルボタンで事象を選択する度に画面下部の因果の表現が更新されていき, 学習者自身の選択がどのような表現になるかを逐一確認できる。正しい組み合わせのトグルボタンを ON にした状態で画面右下のボタンを押すことで正誤を診断し, 正しい場合は次の手順へ進み, 誤りの場合は誤りの理由を返す。同様の手順を(4)ま

で経て最終的に学習者は因果の表現を完成させ演習が完了する。

3.3 支援システムの実験的利用

本理論の修得が作用・反作用の理解の促進に有効であるかどうかを調べるため物理教育を受けた経験のある工学系大学生7名を対象に以下の実験を行った。(1)事前テスト, (2)因果的理解についての説明, (3)演習支援システムの利用, (4)事後テスト, (5)アンケート。(1)と(4)のテストには力と運動についての概念調査 FCI より作用・反作用に関する項目を抜粋した4問が含まれているが, テスト間に(2)及び(3)を行った結果, 平均点が2.4から3.9(MAX=4)にまで上昇し, 作用・反作用の理解が促進されたことが確認された。また, (4)には因果的理解の具体的手順と反作用となる力がどのような大きさの力であるかを記述させる問題が含まれていたが, 前者について90%を超える正答率が得られ, 後者についても被験者毎の回答が見られたが, 内6名が正しい記述であった。これらのことから因果的理解を獲得出来たことを確認出来た。(5)のアンケートでは本理論の納得度を調べたが, 大変肯定的な意見が見られ, 従来の手法と違う本理論を抵抗無く受け入れられる可能性を示している。



図2 支援システムの演習画面

4. おわりに

本稿では, 作用・反作用の因果的理解の手順を設計し, その修得を目指す演習システムについて述べた。今後は因果推論理論のより広範な活用及び因果的理解の意義を実証してゆくことが課題である。

参考文献

- (1) 堀口知也, 平嶋宗, 溝口理一郎: “人間の素朴な因果理解に準拠した汎用運動シミュレータ”, The 29th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence (2015)
- (2) David Hestenes, Malcolm Wells, and Greg Swackhamer: “Force Concept Inventory”, The physics Teacher, (1992)
- (3) 新田 英雄: “素朴概念の分類”, 物理教育, 第 60 卷, 第 1 号 (2012)