

令和元年6月27日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01041

研究課題名(和文) 3次元運動解析システム作成と物理実験および身体運動理解への応用法の研究

研究課題名(英文) Development of a 3-dimensional motion analytic system for physics experiments and analysis of a body as an educational material

研究代表者

藤井 研一 (Fujii, Ken-ichi)

大阪工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：10189988

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：画像処理技術を用いて動画撮影した映像の中の運動物体を抽出し、その位置データ解析より、速度、加速度を求め、その場で物体に作用する力をベクトルとしてディスプレイ上に表示する教育システムを開発することができた。初学者がこのシステムを用いて、自らの手で行なった物体の運動実験の最中にディスプレイ上に表示された運動物体の軌跡とそれに付加された力の表示を通して、運動と力の関係を直接目にすることで理解できるようになった。さらにレーザー距離計により得た奥行き情報を加えることで、3次元運動の理解も容易になった。これにより、初学者には困難であった科学知としての力の概念理解も容易に達成することができるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「運動と力の関係」に関する科学知理解は、専門科目への導入として重要な基礎となる。しかしながら、日常の経験から身に着ける経験知としての「運動と力の関係」が科学知理解を妨げている。「力」が不可視であることで、一層経験的な力の経験に依存するからである。本研究では実験の映像化にその場で力を表示することで、複数の物体の運動と力の関係を理解できるようにした。本システムの使用が、力の作用、重力と人の力、内力と外力の違いを直感的に理解できるようにした。また運動の記述の数学的基礎を支援する教材も開発し、力と運動の関係学習における困難を軽減し、科学知習得を容易にすることで、理科教育に大きな貢献をしたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We developed an educational system for understanding the relation between a motion and force acting on the moving objects by beginners of physics at junior high schools. The computer vision technique makes the realtime display of the force acting on the moving objects with the trajectories of the objects on a screen of PCs. The direct observation of the force gives an intuitive understanding of the relation between the force and the motion of the objects by the beginners. For 3-dimensional motion of objects, the force can also be displayed by the system and laser distance meter. We also developed an educational material for the mathematics based on the understanding of the motion of objects under gravity.

研究分野：物理学

キーワード：運動と力 力の可視化 実験 力学 数学

## 1. 研究開始当初の背景

日本の小、中学生の学力は高く、2015年の国際数学・理科教育動向調査（TIMSS）では中学校理科で参加39カ国中第2位と高いものであった。しかしながら、同時に実施されたアンケートの「理科は得意か」という項目では45%と低い回答で、小学生への同じ質問での「得意」との回答の84%と比べると大幅な低下が見て取れる。中学生の理理解への自信の喪失が起きていることになる。この「理科離れ」と見なせる傾向は、「理科を楽しみ」との質問でも、「将来理科は役に立つ」でも同様の傾向が示されており、深刻な事態と考えられる。

このように、中学校以降、理科離れが進むことは、中学校理科の内容が小学校に比べ抽象的になることが原因と考えられる。

特に、物理の基礎である「力と物体の運動の関係」は中学生理科より本格的に学ぶことになり、初学者にとって学ぶことは容易ではない。この理由の一つは「力」が不可視であることと経験から学ぶ「力と運動の関係」が科学的知としてのそれが異なっていることにある。物理が理工学の基礎であり、現代社会が工学技術に大きく依存することを考えるとき、どのような分野に進むにしても物理的な思考を身につけておくことは非常に重要と思われる。このための効果的な教育手段の確立は急務と思われる。

## 2. 研究の目的

体系化された理科を本格的に学び始める中学校において、いかに科学的な知としての「力」の概念が経験的な「力」と異なっているかを理解させなければならない。しかし、上にも述べたように「力」自体は不可視のものであり、「力と運動の関係」における中心となる重力の作用を明確に理解できない学習者が存在する。また、自らの体験から得た経験的な「力」に関する知識が、科学的知としての「力」理解を妨げている。学校において、力と運動の関係に関する体系化された知識を理解するためにも、もう一度自らの手による実験（経験）を通して科学的知の言う「力」を具体的なものとして把握させることが必要と考えられる。

近年、情報科学分野における画像処理技術は飛躍的に進歩し、技術自体が広く普及するようになった。画像処理ライブラリであるOpenCVは手軽に利用可能なものであり、任意の物体に関する情報を動画から抽出することを可能にしてくれる。開発したソフトウェアでは、この画像技術を用いることで、運動物体の動画撮影時に、その場で物体の位置変化解析を行い、物体にはたらく力をベクトルとして精度良く求めることを目指した。このソフトウェアを用いて求めた「力」は物体に付加して動画上に表示できるようにした。この力の可視化により、学習者は物体に作用する「力」が経験によるものと異なっていることを直接確認できる。これを用いた効果的な「力と運動の関係」教育プログラム作成を目指した。

## 3. 研究の方法

これまで画像処理ライブラリOpenCVを用いた物体の運動と力の関係理解を支援するソフトウェアを中心とする教育システムを作成して、教育用途で誰もが利用可能とし、学習者の「力と運動の関係」理解の支援を行うことを目的としている。

本システムを用いることで画像上の物体の位置変化の解析を行い、速度、加速度を算出し、物体にはたらく力をベクトルとして高精度に得ることができた。得られた力を、動画撮影しながら、リアルタイムに画面上の物体にベクトルとして付随して表示することを可能とした。このソフトウェアと実験指導のテキストを用いて、初学者が実験をしているその場で、どのような運動時にどのような力がはたらくかを視覚的に理解することができるようにした。等速運動や等速回転運動、そして重力の作用で加速する運動物体に「力」ベクトルを表示して科学的知における力の役割を直感的に把握することができる。本来不可視の力を理解するために可視化は有効であり、初学者の「力」の概念理解を支援する教育システムとして本システムは有効であることが確認できた。

本研究ではさらに画像処理技術を改善し、複数の運動物体についても、これまで同様に作用する力をその場で表示可能とすることを可能とした。これにより、複数の運動物体間の力のやりとりの理解を支援することができるようになった。同時に、「力と運動の関係」を学ぶ上で、明確に示されない「人が物体に加える力」や「物体が床や壁と衝突する際に受ける力」も表示可能とすることができた。これにより、学習者は「力」という語が示す対象（人の加えた力か重力か）を広く一般に捉えることも可能となり、物理における「力」と「初期条件」との違いを理解する一助にもなることとなる。適切なプログラムを用いて本ソフトウェアを含む教育システムを設計することにより、学習者のより深い「力と運動の関係」理解にもつながることとなる。したがって、本システムの改善より、一層効果的な教育方法の具体的な開発につながるものとなる。

また、単一のカメラでは不可能な3次元運動解析方法についても、教育現場で容易に利用可能なシステム開発を目指した。この実現のために行くつかのデバイスを用いて様々な方法を試みた。これまで容易に入手できた深度センサーデバイスの製造中止をうけ、開発方針が大きく変化した。制約付きとはいえ、3次元運動解析可能なシステムを実現することが出来た。

このシステムを用いた教育プログラムをより効果的なものとするためのテキストや実験装置を定め、効果的な学習が可能となる教材をシステムとして開発した。教育効果に関しては、実際

に中学校の学生にも使用してもらい感想を聞くという形で効果を定性的には調べてきた。

#### 4. 研究成果

物理学の初学者を対象とした力と運動の関係理解のための映像教育システムを開発した。このシステムを用いると、PCに付属のカメラで物体を撮影するだけで、運動物体を形によらず検出し、その場で物体の運動を追跡し、その軌跡に力を付加して表示することを可能となる。描画する力は運動を解析し得ている。重力に関しては $\pm 8\%$ 程度の精度を有している。画像処理技術を改善することで、2つ以上の物体に対しても力の表示を可能とし、これにより人が運動物体に与える力や床や壁との衝突時に物体が受ける力も視覚的に表示可能とした。運動と力との関係を学ぶ上で、「力」は何（地球、人、壁など）が与えるのかが不明瞭な学習者が多く、人が与える力と重力、また床や壁からの力をどのように扱うのかが学習できない初学者が多数いる。

物体に働く力が運動の段階で異なっていることも、この教育システムから容易に理解できるようになったため、初学者にとって「力」の概念理解が容易になっている。学習者は、教室で一方的に力と運動の関係を学ぶのではなく、自らの手によって物体（この場合、ボール等）に様々な運動をさせながら、表示した力を確認できる。初学者が身体を用いた実験で物体にはたらく力をその場で確認できるため、より正しく科学知における「力」の概念を学ぶことも可能となり、経験知としての知識として身につけることが可能となった。

カメラには奥行き情報がないことから、対象とする運動はカメラに対し2次元の運動だけであった。3次元運動も解析可能とすべく、いくつかの方法を試みた。とくに当初使用を想定していたMicrosoft社のkinectに関して、本システムから利用可能とすることができた。しかし、2つの問題点があったため使用を断念した。1つは奥行き情報も含めて1秒間に30フレームの撮影が可能であったが、実際に使用してみるとフレーム間の時間にばらつきがあり、精度良く力の測定が困難という点である。2つ目はこの製品の販売中止の決定である。本システムの使用は中学校および高等学校を想定している。使用するためには容易に入手可能な製品であることが条件となる。現在も同一の機能を有する製品はあるが、価格も含めた入手容易性の問題で結局この製品の使用を諦めた。代替案として、レーザー距離センサーを用いて奥行き情報を得るという手段を取ることにした。この手段では奥行き情報取得に制限がつくが、初学者の運動理解のための教育用システムとしては十分な機能を有するものと考えられる。

また、「力と運動の関係」理解のためには数学的な知識も必要となる。特に2次関数の知識があることが望ましい。しかしながら、中学校数学において初めて2次関数を学ぶため理科における運動との関係まで学ぶことは難しい。また3次元と2次元の関係の理解も直接学ぶ機会が少なく、十分な理解が得られていないことも認識した。これらを考慮し、視覚的に理解可能な中学生用の2次関数教材と平面から立体図形を作成する数学教材を作成し、運動理解につなげる試みも行った。

本システムは中学校および大学で試用を行なっている。利用した学生の理解の系統立てた調査は実施は行っていないが、使用した中学生および大学生の感想という形での評価は得ている。おしなべて良い評価ではあったが科学知としての「力と運動の関係」が学習者に定着しているかの調査は今後も継続して実施することを考えている。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 2件）

1. A learning material for physics experiment with high-accuracy using computer vision technique, G. Nakagawa and K. Fujii, Proceedings of ACIT 2017 査読無 ss03 (2018) 071-074.
2. Development of “concrete” educational materials for mathematics on tablet PCs, K. Fujii, K. Hayashida, N. Yamazaki, A. Koga, and M. Miyamoto, Proceedings of ACIT 2017 査読無 ss03 (2018) 061-064.

〔学会発表〕（計 4件）

1. 初等教育における国語のアクティブラーニング用教材開発、藤井研一 他、電子情報通信学会 2018年総合大会、D-15-14 (2018)
2. 初等数学教育のための直感的インターフェースの開発、藤井研一 他、情報処理学会 第79回全国大会、6E-02 (2017).
3. 中学校での幾何学学習を支援する教材開発、情報処理学会 第全国大会、藤井研一、山崎伸久、第42回教育システム情報学会、全国大会 G5-4 (2017)
4. 幾何学の理解を支援するタブレット教材開発、藤井研一 他、情報処理学会 第138回CE研究発表会、14 (2017).

〔図書〕（計 0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

○取得状況（計 0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。