

空手で力学 —誘導発見型ワークショップ物理の導入—

藤田あき美

信州大学工学部



1. はじめに

素手で空手板を割れるかどうか？と言われれば、怖いけれども痛くないなら試してみたい、と思うであろう。運動量保存の法則、力積の原理、エネルギー保存の法則そして仕事の原理を応用し、手を痛めることなく空手板を割れる、と定量的に納得した上で、チャレンジするかどうかは個々の自由。これらの力学概念を関連付け、手足を使って自ら解決することのできる現実問題を物理授業に導入することによって、学生の概念的理解を促すと共に、物理公式と現実世界の幅を縮めることを目的とするのが、この「空手で力学」のアクティビティである。これはディッキンソン大学の Priscilla W. Laws によるワークショップ物理アクティビティガイド¹⁾の中にあるものだ。

2. 授業形態：ワークショップ物理とは？

多くの大学の物理授業は、教員の話聞くだけ、教科書を読むだけの「伝統的講義」で行われているが、この手法では「物理を概念的に理解できない」ことが明らかにされている²⁾。具体的には、テストの数式問題は解けても、実際の物理現象を描写させた時に(例えば位置と速度やエネルギーと運動量の違いなど)、正しい表現ができないなどである。

このような物理学教育の現状を改善するため、日本でも、米国で先行的に行われているピア・インストラクションやチュートリアルなどを大学の授業に取り入れる試みがなされているが³⁾、チュートリアルによる教育手法をさらに発展させたのが「ワークショップ方式」である。学生は少人数のグループでアクティビティガイドをもとに探究

する。教員からの講義はない。測定機器を用いて物理現象を実時間で計測し、さまざまな数値をグラフ化し、学生自らが数学的モデルの構築することによって、物理現象の法則性を「発見」するのである。

メリーランド大学の物理教育研究グループによる、力学概念理解度調査 (FCI: Force Concept Inventory) を用いた各教育手法の比較によると (図 1)、ワークショップ方式による学生の概念理解度の上昇率 (gain) は、伝統的講義による学生の gain のおよそ 2-3 倍以上であるという結果が出ている⁵⁾。このことは、学生間そして学生—教員間の相互作用的な要素を取り入れた授業の有効性を示す。

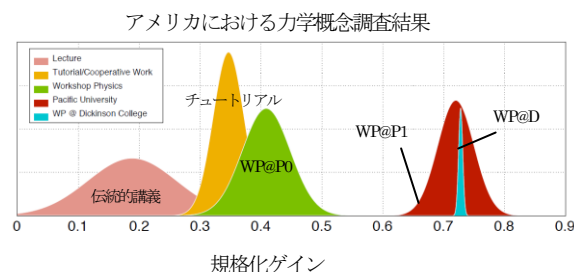


図 1. 力学概念理解度調査 (FCI) による各教育手法の力学概念理解度の上昇率 (gain) の分布 (y 軸は授業実施数で、グラフはヒストグラムを正規分布にフィットしたもの)。WP=ワークショップ物理
 WP@D : ディッキンソン大学 平均 gain=0.74
 WP@P0 : パシフィック大学の WP 導入初期
 WP@P1 : パシフィック大学の WP 経験蓄積後のデータ
 ※出展 : Saul and Redish 1997⁵⁾ に WP@P1 を追記

3. 信州大学におけるワークショップ物理

信州大学においては、平成 26 年度と 27 年度の後期に、共通教養科目「Activity-Based Physics-アクティブラーニング探求力学」としてこのワークショップ物理を実施した。ワークショップ物理

アクティビティガイドのワークシート Unit 5, 6, 8, 10 を、著者が出版社の許可を得て翻訳したものを使用した。中でも最も人気の高い「空手で力学」のアクティビティ (90分) を紹介する。前週に仕事量と運動エネルギー変化の関係 ($W^{net} = \Delta[1/2 mv^2]$) を、低摩擦台車、運動センサー、力センサーを使って実験により証明している故、90分で可能なアクティビティである (ディッキンソン大学では2時間かける)。この授業では上限20人の学生を4つのグループに分け (理想は1グループ3-4人であるが)、それぞれのグループはワークシートに誘導され、与えられた器具や道具を使い物理法則を「発見」していく。

「空手で力学」アクティビティで掲げられる問題は「素手で空手板が割れるか？」である。空手板の試し割はハマーストライクパンチ (鉄槌打ち) で行うが、試し割をする前に、2つの問題を解決する必要がある：1) 板が割れるか？2) 骨が折れるか？つまり、手を痛めることなく板が割れると確信しなければ試し割はできない。そのために行う2つの主な実験は、板を割るのに必要な仕事量を測定することと、ハマーストライクパンチする自分の手が持つ運動エネルギーを測定することである。パンチの運動エネルギーが全て板に移るわけではない。リーズナブルな仮説を立て、目の前の問題を簡略化して考え解決する必要がある。また、試し割の際に手に加わる力も、割れた時、割れるはずだがビビって割れなかった時、それぞれの状況において考え、負傷する確率を考察せねばならない。

4. 板が割れるか？

A) 空手ボードテスターを使い仕事量を測る

空手ボードテスターは、空手板を曲げ、割るのに必要な仕事量を計算する装置である (図2&3)。Hans Pfister (ディッキンソン大学)⁶⁾のデザインに基づき、信州大学工学部加工技術センターの峰村勇、原宏、傳田幸廣、石田恭正との協力により制作したものをを使用した。制作費はおよそ7500円である。

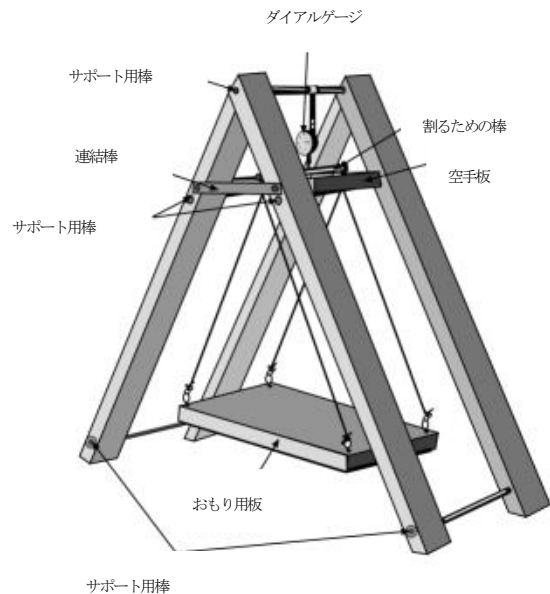


図 2.⁶⁾ Hans Pfister の設計図



図 3. 図2の設計図をもとに、我々が制作した空手ボードテスター。板の重心に置かれた割るための棒にダイアルゲージの先が接し、おもり用板がつるされる。力がかかり、板がしなるようすがわかる。

板を割るのに必要な仕事量を測定そして計算する方法は、ワークシートに誘導されながら学生自らが考える。教員またはTAはファシリテーターとして、正しい方向に進んでいることを確認しながら助言を与える。以下に実験結果の例を示す。この実験に使用した初心者用空手板 (21.5cm × 30. × 1cm, $m = 0.38\text{kg}$) を割るのに要する仕事

量は $W = \int \mathbf{F}(\mathbf{s}) \cdot d\mathbf{s} = 1.5J$ である。松または杉の板でなるべく節目のないものを使用した。

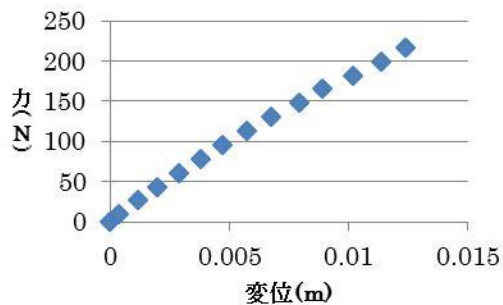


図 4. 板の重心に加わる力 $\mathbf{F}(\mathbf{s})$ と板の重心の変位 $\Delta\mathbf{s}$ (学生実験の結果例). おもりを 1 つずつ載せるごとに $\mathbf{F}(\mathbf{s})$, 板のしなり $\Delta\mathbf{s}$ をゲージから読み取り, 変位 $\Delta\mathbf{s}$ と力 $\mathbf{F}(\mathbf{s})$ を記録した結果をグラフ化したものである。

B) 運動センサーを使いパンチの運動エネルギーを測る

板を叩く直前の手の運動エネルギー量を測定する方法をグループで話し合う。信州大学では物体の時間ごとの位置を測定する, Pasco 社製超音波運動センサーを用意した。このセンサーを同じく Pasco 社製センサー用インターフェイス (XplorerGLX) を使いコンピューターにつなげると, Data Studio というソフトウェアを使い, 取得したデータを分析できる。また, 手の重さは電子ばかりで測るが, 手だけを正確に測るためには腕をリラックスすることが大切である。目安として体重の 0.61% (男)、0.56% (女) が手の重さである⁷⁾。

手と板は非弾性衝突すると仮定し, さらに板を支える空手ボードテスター等にあなたのパンチの運動量は全く移らなかったと仮定した上で, 運動量保存の法則を使い, 板が割れた後共に運動する手と板の破片の速度を求める。さらにエネルギー保存の法則よりどれだけの運動エネルギー $1/2 m_i v_i^2$ があれば板が割れるかを計算できる。

この実験の結果によると, 体重 50kg の女子は $v_i > 4.3m/s$ の速さでハマーストライクパンチができれば, この初心者用空手板を割ることがで

きるとわかる。

5. 骨が折れるか?

負傷の可能性を考えなければならない。そのために, 力積の原理 $\int \mathbf{F} \cdot dt = \Delta m \mathbf{v}$ を使い, 板をパンチしたときに手にかかる力を計算する。900N の力が 0.006 秒はたらくと人間の頬骨は折れると言われるが, これを基準として考察を促す。ある学生 (mkg) のパンチ速度が, 空手板 (Mkg) を割れる最低速度を少し下回ったと仮定すると, この学生の手に加わる力は, 板がちょうど割れる速度で割った時に比べて $[m/M + 1]$ 倍になる。

6. フィナーレ: 試し割

ワークシートに誘導され探求していくと, 板は割れる! しかし, 割ると決めたら思いっきり割れ! さもなくば痛いぞ... という結果がでるはずだ。最後は試し割で終わるのでとても盛り上がるアクティビティだ。試し割の際学生に注意することは, 1) 板の ~5cm 程下を狙って, 思いっきり打つ。2) 親指は外に出して固い拳をつくり, 小指の下と手首の間の筋肉を使って打つ。3) 軍手をはめること。

7. おわりに (考察)

受講した学生たちは, 実際に授業中に学ぶことができる喜んでいて, つまり, 伝統的講義中は寝ているか聞いているふりをしているかのどちらかで, ほとんど何も学んでいないらしい。家に帰って演習問題に取り組むことで初めて学び始めるのが現状だと言う。では我々は何のために一方的な講義 (=情報伝達) をしているのだろうか? また, ワークショップ方式物理授業は, 学生の物理概念理解度を著しく向上させることが期待されるのみならず, 科学の本質及び科学を学ぶことに対する認知的期待感も向上させるとの研究結果^{3),5)}もある。

アメリカ及びヨーロッパ諸国で導入が進められているワークショップ方式だが, 日本では, 著

者の知る限り, 本研究が初めての試みとなる。しかし, アメリカでは, 力学や電磁気学のような1連の物理授業に週5~6時間×15週の75~90時間が設けられるが, 日本の場合には週90分×15週の22.5時間しか授業時間として利用することができない故, アメリカのワークショップ方式をそのまま必修科目に導入することはできない。実際, 信州大学で実施した教養科目では, 力学用ワークショップ物理アクティビティガイド中3分の1以下のアクティビティしか扱うことができなかった。このため, 数十年の物理教育研究の成果であるワークショップ方式を日本の大学に導入するには, 日本の授業形態に合わせた新しいカリキュラムの構築が必要である。しかし, ワークショップ物理を実施することで, ワークショップ方式が, 伝統的講義に飽き, 何のために何を学んでいるのか不満を持っている学生で溢れる日本の高等教育機関に大きな影響を与えるものであると確信を深めた。また, 大学の初年次教育で, 学生自らが考え, 積極的に課題解決を図る自主性を身につけることは, 学生が専門教育に入った際にも役に立つと考える。今後の課題として, FCI もしくは研究ベースの何らかの調査を用い, 日本の授業形態内におけるワークショップ物理方式の教育効果を定量的に測定することが挙げられる。

今回は信州大学共通教養科目として実施したワークショップ物理の中から, 高校で物理を履修している理系学生ならば知っている力学概念を総括して取り組む「空手で力学」を紹介した。従来の力学授業中の1週だけでも, 講義を一切省き, この「空手で力学」を実施してみることをお勧めする。

本研究に関して有益な話し合いをさせていただいた, 三浦裕一准教授をはじめ物理講義実験研究

会の皆様に感謝する。また, 運動センサー等を使わせていただいた名古屋大学教養教育院物理実験室にも感謝する。本研究は, 科学研究費補助金「基盤研究C」(課題番号26350191)の助成を受けて行った。

参考文献

- 1) P. W. Laws, *Workshop Physics Activity Guide Core Volume with Module 1&2* John Wiley & Sons (2004). The activities for “Karate and Physics” in Unit 10 are available at http://physics.dickinson.edu/~wp_web/wp_activities.html
 - 2) L.C. McDermott, “Oersted Medal Lecture 2001: Physics Education Research—The Key to Student Learning,” *Am. J. Phys.* 69(11), 1127 (1998)
 - 3) E. Redish, *Teaching Physics with the Physics Suite* Wiley (2003)
 - 4) 植松晴子 大学の物理教育 17 (2011) 129.
 - 5) J.M. Saul & E.F. Redish, “Final Evaluation Report for FIPSE Grant #P116P50026: Evaluation of the Workshop Physics Dissemination Project,” University of Maryland (1997)
 - 6) H. Pfsiter, *Karate Board Tester Instruction Manual and Experiment Guide for the Model SE-8948* Pasco (1996) available to Pasco Website
 - 7) P. DeLeva, “Adjustments to Zatsiorsky Seluyanov’s segment inertia parameters,” *Journal of Biomechanics*, 1996 v.29 (9), pp. 1223-1230
 - 8) M.S. Feld, R.E. McNair, & S.R. Wilk, “The Physics of Karate,” *Scientific American*, April 1979, pp. 150-158
- 連絡先 E-mail : fujitaa@shinshu-u.ac.jp

<著者連絡先情報>

※次の各項目にご記入ください。

■住所：

〒380-8533

信州大学工学部

長野県長野市若里4-17-1

■氏名：藤田あき美

■ふりがな：

ふじたあきみ

■電話番号：

026-269-5016

■Fax 番号：

■Email アドレス：fujitaa@shinshu-u.ac.jp

■論文題名の英文：Learning Mechanics with Karate: Introducing Workshop Physics to
Shinshu University

■英語氏名：Akimi Fujita