

令和元年6月20日現在

機関番号：16301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K12388

研究課題名(和文)力学概念調査法の開発を目指す授業時間外学習指導法の研究

研究課題名(英文) The study of teaching method in free time of university students in order to develop the research method of their mechanics conceptions

研究代表者

細田 宏樹 (HOSODA, Hiroki)

愛媛大学・教育学部・准教授

研究者番号：90229196

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：力学計算問題の立式過程において教育系および理工系の大学生がつまづく原因となる誤概念について、考查問題を扱う個別学習やグループ学習の指導を通して調査された。大学生は特に「重さ」に関する問題に対して弱点があり、その弱点を克服するために別解を利用する方法、力を文で表現する方法、力を総当り表で表す方法が開発され、その方法の教育効果が実践により確認された。そして、「重さ」に関する誤概念が助長される原因が、学校教育で用いる手ごたえなどの体感や因果関係の説明にあることを、総当り表を用いた教育実践により明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的意義は、運動方程式の立式過程という物理学の基本的学習での教育的問題点を研究対象とし、個別学習やグループ学習の指導を通して教育系大学生の育成を行うことによって、計算問題を用いて誤概念を調査する方法を開発したことにある。その教育と研究を融合させる手法によって、力を総当り表で表す方法など新しい物理教育の方法が開発され、その方法の有効性が検証された。

本研究成果の社会的意義は、教育系大学生のもつ「重さ」に関する誤概念が助長されてきた原因が、小学校算数・理科や中学校理科での学習過程において体感や因果関係を用いた説明にあることを、概念調査と総当り表により明らかにしたことである。

研究成果の概要(英文)：Some of university students who major in education, science and technology are difficult in the equation making in calculation problem about mechanics by their misconceptions.

The misconceptions have been researched through the teaching of individual and group learning in order to solve the problems of examination. The student has a weak point in the calculation problem about "weight", especially. In order to overcome this weak point, such methods as another way getting the correct answer, the sentence and the round-robin table about force have been developed and used in the learning. Though the practice of the learning, it was confirmed that these methods are very useful and effective in learning mechanics conception. It was appeared that such misconception as "weight" is cursed by the explanation with the feeling in hand and the causal relationship in the school education, though the research of mechanics conception and the educational practice utilizing the round-robin table.

研究分野：物理教育

キーワード：物理教育 学習指導 概念調査 考查問題 答案分析 四則計算 立式過程 総当り表

1. 研究開始当初の背景

(1) 概念調査法には、概念地図法、イメージマップ法、描画法などある。特に、物理学の力学分野では、米国の FMCE や PCI といわれる誤概念に関する調査法があり、近年、東京学芸大学、京都教育大学、香川大学など、多くの教育研究機関で研究がなされ、日本物理教育学会（2010年8月、関西大学）などの物理学関連学会で年間10数件の研究報告がなされている。

(2) FMCE や PCI には、根本的な弱点がある。主な弱点は、問題や正解が非公開であり万人の役に立たないこと、被験者が授業などで事前テストと事後テストの間で正解を知ったら不正確な調査になること、すなわち被験者の教育には直接つながらないこと、日本人に対して問題の選択肢や評価基準に例外があることである。

(3) 私は、日本物理教育学会（2010年及び2011年）の原著講演で、力学講義の考査の答案において、状況図、グラフ、説明が誤答であっても、同様の内容を計算問題として問うと、正答になる学生が多くいることを発表した。このことは、FD活動の一環である伝統的な授業研究という方向からの研究手法で、FMCE や PCI の研究発表者と同一の結論を導くものであった。

(4) そこで、私は、本研究を授業研究の一環として位置づけ、力学の勉強をしている学生と共に、彼ら/彼女らの考査やレポートの答案と一緒に分析し、正答例もしっかり伝え、学生の育成と、万人の役に立つ概念調査法の開発との両立を目指す教育研究を行いたいと考え、研究に着手した。

2. 研究の目的

(1) 大学の力学講義の考査やレポートにおける状況図、グラフ、説明に関する問題の答案を、大学教育の授業時間外学習指導、すなわち大学生の自主的・主体的学習として、教員が学生と共に分析し、学生間の討論や実験を通して、学生のもつ誤概念を正していく。

(2) 学生のもつ概念的な思考や学生間の討論の過程を分析し、米国の FMCE や PCI とは全く方法の異なる日本版の計算問題の思考過程の誤答パターンに着目した新しい概念調査法のマニュアル（問題作成方法、誤答分析方法、例題・分析例）を試作する。さらに、その経験を、概念獲得を目指す新しい授業方法の開発につなげていく。

3. 研究の方法

(1) 過去の力学考査問題の答案分析を行い、誤答の特徴を分析した。その中で見られた誤答パターンを調べ、その結果の知見を用いて、力学を扱う授業の改善とその教育効果の検証、並びに概念調査問題の作成を行った。

(2) 「重さ」と「仕事」に関する概念調査問題を作成し、共通教育および教育学部の授業において聴取した。その結果を分析し、その誤概念の状況と原因の究明、さらにその誤概念を克服するための授業方法の考案を行った。

(3) 共通教育の主題探究型科目において「科学クイズを作成する」授業を行い、素朴概念や誤概念を主題として扱う授業への興味・関心や学習意欲に関するアンケートを聴取し、素朴概念や誤概念を扱う授業を行う際の留意点、並びに大学生の学習意欲を向上させる要因について調べた。

(4) 答案分析の結果の知見を生かし、教育学部の主に力学を扱う授業において、学問的に正しい物理概念を中心に解説を行い、大学生のもつ素朴概念や誤概念を払拭させることを試みた。その教育実践の失敗について教育評価を行い、誤概念を正す授業の難しさなど問題点を調べた。

(5) 大学生のもつ素朴概念や誤概念を払拭させる授業で失敗した経験を踏まえ、卒業研究生の協力を得て個別学習指導を行った。その際に様々な工夫、例えば考査問題の別解、国語的方法、総当り表などを用いて、運動方程式の立式指導を行うとともに、受講生の学力向上・意欲向上を図りながら、大学生のもつ素朴概念や誤概念に関する状況を把握し、概念調査問題を作成した。その概念調査問題を他者に対して試し、その結果をまとめた。

(6) 個別学習指導の過程で、国語的方法を併用した総当り表に数値を入れる方法を考案した。その方法について教育実践を行い、有効性を確認した。

(7) 総当り表に数値を入れる方法を用いることで明らかになってきた教育的課題について考察した。学校教育課程における「重さ」に関する学習内容の問題点、因果関係を用いた説明で助長される素朴概念や誤概念の問題点などについて検討した。そして、大学生が運動方程式の立式過程でつまづく社会的・教育的要因について考えた。

4. 研究成果

(1)力学考查問題の答案分析

現在の大学生における概念理解の状況を過去の大学生の状況と比較するために、約20年前の大学生の答案を分析した。その結果、正答率60%を超える答案では実験室系で運動方程式を立てて解く方法で等加速度運動の公式を導き出して計算している。一方、正答率が中程度の答案では高校物理履修者や未修者を問わず暗記した公式や条件の適用が主であり論理的思考が見られない。そして典型的な誤答パターンを見ると、動摩擦力の向きなど不注意によると思われる誤答もあるが、素朴概念や誤概念に関する思考法として「上の物体(猫)に働く重力が下の物体(筏)に働く」という重力と垂直抗力を混同している誤解や「速度や運動量を力として運動方程式に書く」という物体に働く力と物体の運動状態を表す物理量の区別ができていないという誤解などあることが分かった。

(2)「重さ」に関する理工系大学生の思考の調査

運動方程式を立てる際に、鉛直方向の「重さ」に関する誤解があることが、答案分析から分かってきた。そこで、台はかりの上に、下から400g、200g、100gの箱を積み重ねた状況で、400gの箱に働く重力の大きさ、および200gの箱が台はかりを押す力の大きさを問うた。数年前の共通教育の授業「自然の法則」で受講者53人に対して調査した。その際、受講者の90%が高校や大学で物理を学んでいた。400gの箱に働く重力の大きさは4Nであるが、「3N」と答えた人が8人、「7N」と答えた人が4人いた。一方、200gの箱が台はかりを押す力の大きさは0Nあるいは「なし」であるが、「2N」が26人、「3N」が15人という結果が得られた。これらのことから、たとえ理工系大学生であっても、「重さ」に関する思考において問題点があることが分かった。

(3)科学クイズを作成する授業から得られた知見

共通教育の主題探究型科目において、「科学クイズを作成する」授業を10数年間行ってきた。その作問方法の一つとして、大学生のもつ素朴概念や誤概念を利用して誤答選択肢に導くというところを行い、その選択肢が「なぜ誤答であるか？」ということを議論することで、素朴概念や誤概念を払拭しようと考えた。その授業実践は、大学生の自主的な学ぶ意欲を強め、問題解決能力を育成し、教育成果を上げてきた。そして近年、文科系志向の大学生のみが受講者となる機会があり、過去に作成された素朴概念や誤概念に関するクイズを試してみた。その結果、大多数の学生が「嫌だと感じる」と答えた。ここに、素朴概念や誤概念を払拭する授業や研究の難しさがあることが分かった。

(4)「重さ」と「仕事」に関する教育系大学生の思考の調査

教育学部の初年次生に対して前学期初回時の授業において、台はかりの上に、下から400g、200g、100gの箱を積み重ねた状況で、400gの箱に働く重力の大きさ、および200gの箱が台はかりを押す力の大きさを問うた。受講者15人のうち、400gの箱に働く重力の大きさは4Nであるが、「3N」と答えた人が3人、「7N」と答えた人が2人いた。一方、200gの箱が台はかりを押す力の大きさは0Nあるいは「なし」であるが、「2N」が8人、「3N」が4人という結果が得られた。物理未習者が多い教育系大学生に対する誤答の割合について、理工系大学生から得られた結果と同様の傾向があることから、小・中学校の学習において物体の「重さ」に関する素朴概念や誤概念が払拭されずに残っている可能性があることが分かった。

一方、仕事の概念についても、力の大きさと移動距離の積である知識と、力の向きと移動方向が逆の場合は負の仕事になる知識で正答できる問いであるが、14人中5人が正答であった。特に「何の移動距離をとるか？」などの判断で混乱していることが分かった。

(5)卒業研究生の協力を得て行った個別学習指導から得られた知見

教育学部の主に力学を扱う授業において、たとえ小・中学校で扱うような初歩的内容であっても、学問的に正しい物理概念を中心に解説を行い、大学生のもつ素朴概念や誤概念を払拭させることを試みた。しかし、大学生にとっては既得知識や思考法の否定につながることで、大学生の反発を生じさせ、大学生の概念理解は進まなかった。

そこで、卒業研究生の協力を得て、週4コマ×15週の個別学習指導を行った。個別学習指導であれば、素朴概念や誤概念に踏み込んで、丁寧かつ適切に対処することができ、別解、国語的方法、総当り表などの様々な方法を試すことができ、受講生の意欲と理解は向上した。

この個別指導での対話を通して、概念調査アンケートを作成し、主に4年次生に対して、卒業研究生が1人1人聞き取りをしながら聴取した。

机の上に、下から200gと100gの箱を積み重ねた状況で、200gの箱に働く重力の大きさ、および200gの箱が机を押す力の大きさを問うた。回答者25人のうち、200gの箱に働く重力の大きさは2Nであるが、「1N」と答えた人が4人、「3N」と答えた人が3人いた。一方、200gの箱が机を押す力の大きさは3Nであるが、「2N」が12人という結果が得られた。これらの結果から、大学4年次生には物理未修者も含まれるが、物体に働く重力や垂直抗力について、素朴概念や誤概念をもっていることが分かった。

(6)国語的方法を併用した総当り表

国語的方法を併用した総当り表は、個別学習指導において、理解の進まない大学生に対して最後の“切り札”として用いてきた指導方法である。この総当り表を用いると、運動方程式の立式が簡単にできるものである。この総当り表に、数値を入れる工夫を行い、大学生に対して試してみた。

机の上に、下から 200 g と 100 g の箱を積み重ねた状況の問いについて、下向きに正をとり、単位「N」で表すと、次の表 1 が完成する。

表 1 数値を入れた総当り表

		力を及ぼす物体 (力の作用源)【主語】				総和
		箱 A (100 g)	箱 B (200 g)	机	地球	
力を受ける物体 【目的語】	箱 A (100 g)		-1	0	1	0
	箱 B (200 g)	1		-3	2	0
	机	0	3			0
	地球	-1	-2			

この表を用いることで、箱 B に働く重力が 2 N であること、箱 B が机を押す力が 3 N であることなど、力のつり合い条件、作用・反作用の法則などの学習内容と対比させながら、既得知識や自己のもつ力の概念を顧みることができる。このことから、素朴概念や誤概念を自力で払拭できる可能性のある教育方法であることが分かった。

(7)現行の小・中学校での学習内容の問題点

「重さ」は、小学校算数・理科では「体感」や「手ごたえ」を通して学んでいく。そして、中学校理科では「物体に働く重力の大きさ」、「ばねばかりで測定することができる量」と教えられている。そのため、科学概念の育っていない大学生は、重力を「人が体感できる重さ」と誤解し、箱 B が机を押す力を 2 N と誤答したり、箱 B に働く重力を 1 N や 3 N と誤答したりするのではないかと考えられる。

また、数値を入れた総当り表を用いると、手ごたえやばねばかりで測れる「重さ」が、「重力の大きさ」ではなく、「手」や「はかり」に働く鉛直下向きの垂直抗力であることが明確にでき、運動方程式の立式のために障害となっている素朴概念や誤概念による考え方を払拭することができる。

(8)素朴概念・誤概念の本質について

数値を入れた総当り表は運動方程式や力のつり合いの式をたてるために必要な考え方に基づき作成された表である。この表を完成できなければ、物体に働く抗力や重力、力のつり合い条件、作用・反作用の法則などを誤解している可能性がある。

そして、総当り表を用いて考えていく過程では、自己の思い込みや勘違いに気づき、考え方を修正し、矛盾が無いか確認しながら進めていく。その際には定量的な思考法を用いるが、表の枠に入れる数値が単純であるため、複雑な計算なしに自己の考え方を客観的に評価することができる。

ところで、小・中学校理科の授業の中には、公式や数式を使わない定性的な説明が存在し、その中では因果関係を使った説明が行われる。その因果関係を用いた説明では、子どもたちのもつ素朴概念を肯定しながら説明していくことが可能である。そして、子どもたちに「分かった」という達成感を与え易いため、「そのような説明でよいのではないか」という評価も、教育界や一般市民の中にあるのではないかとと思われる。

しかし、因果関係を用いて説明すると、本研究の「重さ」に関する概念調査問題において誤答と判断したのも、正答であるかのような印象を与えることが可能である。そのような説明が素朴概念や誤概念を助長することに気づかず、物理学の法則や数式による定量的な考え方による教育内容の検証が行われないうまま、因果関係を用いた定性的な説明を常に正しいと信じて、小・中学校での理科教育が行われてきたことが、素朴概念や誤概念に関する教育的問題の抜本的な解決につながらなかった要因ではないかと思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

細田 宏樹:「科学する心の芽を育てるための物理教育実践の流儀」, 物理教育 64 巻 2 号, pp.134-137, 2016 年. 査読無 (閲読有).
https://doi.org/10.20653/pesj.64.2_134

〔学会発表〕(計 8 件)

細田 宏樹:「15pK103-7 総当り表を活用した力学教育の実践」, 日本物理学会 第 74 回年次大会(2019 年) 講演概要集, p.3230, 2019 年 3 月.

細田 宏樹:「8-2 力学計算問題演習の個別学習指導における総当り表の活用」2018年度 日本物理教育学会年会/第35回 物理教育研究大会 発表予稿集, pp.104-105, 2018年8月.
細田 宏樹,牛島 美月:「22aK510-10 物理計算の個別学習に見られる大学生の概念的思考」, 日本物理学会 第73回年次大会(2018年) 講演概要集, p.3166, 2018年3月.
細田 宏樹:「14aKB-12 力学の単純な問題の解答に見られる大学生の思考」, 日本物理学会 2016年秋季大会(2016年)講演概要集, p.3173, 2016年9月.
細田 宏樹:「1-a2 主題探究型科目における科学クイズの活用とクォーター制への対応の試み」, 2016年度 日本物理教育学会年会/第33回 物理教育研究大会 発表予稿集 (2016), pp.15-16, 2016年8月.
細田 宏樹:「19aBB-10 科学クイズを活用した物理教養教育VI」, 日本物理学会 第71回年次大会(2016年) 講演概要集, p.3230, 2016年3月.
細田 宏樹:「19aAL-4 「重さ」に関する計算過程に見られる大学生の非力学的思考」, 日本物理学会 2015年秋季大会(2015年)講演概要集, p.3083, 2015年9月.
細田 宏樹:「A9a-4 力学考查問題の別解を利用した個別学習指導」, 2015年度 日本物理教育学会年会/第32回 物理教育研究大会 発表予稿集 (2015), pp.63-64, 2015年8月.

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。