

平成 26 年度 博士論文

「力と運動」領域における概念構成への生活経験の影響

東京理科大学大学院科学教育研究科

科学教育専攻

博士後期課程

C112703 加藤伸明

目 次

1章	はじめに	3
2章	研究背景	5
2.1節	構成主義学習論	5
2.1.1項	構成主義学習論の起源	5
2.1.2項	構成主義学習論台頭の背景	6
2.2節	学習者の科学概念理解	8
2.2.1項	構成主義的な理科学習の特徴	8
2.2.2項	科学的概念の再構成	9
2.3節	概念地図法	11
2.3.1項	概念理解の評価方法	11
2.3.2項	概念地図法とその利用	12
2.4節	「力と運動」領域の概念構成に関する先行研究群	13
2.4.1項	運動法則の歴史的概観	13
2.4.2項	「力と運動」領域における誤概念の研究	15
2.4.3項	「力と運動」領域における概念構成と概念変換	19
3章	予備的検討	22
3.1節	「力と運動」領域の教材開発と授業実践	22
3.2節	教材開発	23
3.3節	作製した教材を使用した授業実践	30
3.4節	授業実践の結果と考察	32
3.5節	結論	35
4章	研究目的	36
5章	研究方法	39
5.1節	「運動中の物体にはたらく力」の認識に関する実態調査	39
5.2節	「力と運動」領域における概念地図調査	41
5.3節	「力と運動」領域における授業実践と概念変容に関する調査	45
5.3.1項	「力と運動」領域の授業展開	45
5.3.2項	力の大きさを測定する実験教材	46
5.3.3項	「力と運動」に関わる調査問題と概念地図	48
6章	結果と考察	49
6.1節	「運動中の物体にはたらく力」の認識に関する実態調査	49
6.2節	「力と運動」領域における概念地図調査	53
6.2.1項	「力と運動」に関わる調査問題の回答	53

6.2.2 項 「力と運動」に関わる概念地図の回答	56
6.2.3 項 「力と運動」における概念構成とその発達	62
6.3 節 「力と運動」領域における授業実践と概念変容に関する調査	63
6.3.1 項 「力と運動」に関わる調査問題の回答	63
6.3.2 項 「力と運動」に関わる概念地図の回答	65
6.3.3 項 授業後段階で妥当な概念を獲得した被験者	69
7 章 結論	72
8 章 今後の課題	74
謝辞	76
引用文献	77
資料 1 被験者 A の授業後と 2 ヶ月後の概念地図	83
資料 2 被験者 B の授業後と 2 ヶ月後の概念地図	84
資料 3 被験者 C の授業後と 2 ヶ月後の概念地図	85
資料 4 被験者 A の第 2 回目調査段階の概念地図	86
付録 1 小学生に使用した調査問題	87
付録 2 中学生に使用した調査問題	88
付録 3 調査問題の回答についての詳細な分類	89
主論文を構成する論文と参考論文	90

1章 はじめに

「力と運動」領域における学習者の認識には、科学的には正しくないが、多くの学習者が共通して正しいと思っている考えがあることが知られている。認知心理学の分野においては、学習者が日常経験からつくりあげた素朴な信念は、素朴理論 (naive theory) という体系をなしており、物理を例にとれば、本研究の主題である「力と運動」、その他にも「電流」や「熱」などについて学習者が根強くもっている素朴理論があり、総称して素朴物理学 (naive physics) と呼ばれている (例えば、市川・伊東, 1987; 村山, 1989; 市川, 1997)。

自然現象に対する学習者の概念の世界を対象に研究をされてきたものの多くは、学習に対する構成主義の立場に立ったものが多い。理科教育における構成主義の源泉は、Osborne & Wittrock (1985)によるとギリシア時代にまで遡るといわれている。このような時代背景から、その源を明確に特定することは難しいが、堀(1992)によると、近年とりわけ理科教育に対して大きな影響を与えてきたのは、Kelly の構成主義的考え方であるとされている。Corsini によると Kelly の考え方は、「個人が身の回りの世界に関して行動の方針を立てることを可能にするような個人に固有の具体的モデルを一人ひとりが構成する」というものである(Corsini, 1987)。

構成主義の立場から、学習者の独特な考え方を明らかにした研究の中では、様々な術語が使用されている。例えば、Gauld によると基本的な用語である ideas, meanings, conceptions, structures, science と修飾語句である mis-, alternative-, personal-, children's-, pre-との組み合わせは 20 通りを越える(Gauld, 1987)。科学概念とは異なるこのような学習者の認識は、研究者の立場の違いによって、様々な名称で呼ばれているが、本研究では、小学生から大学生までと幅の広い年齢層の研究参加者を対象としていることから、広く「誤概念」と呼ぶことで、これらの多様性に対応することにする。このような学習者の誤概念は、理科学習を通して変容させることが難しく、本質的に強固なものであることが明らかになっている。

力学に関する学習者の誤概念の研究は、欧米には膨大な積み重ねがある(例えば、Redish, 2003; McDermott & Redish, 1999)。また、国内においても興味深い論文が発表されている(例えば、柏木, 1957; 川村, 2000; 中山, 1998; 中山・宮川, 1999; 鈴木, 2008; 東京都理化教育研究会, 2001; 塚本, 2004)。「力と運動」に関わる誤概念の中では、これまでよく知られているものとして、Clement (1982, 1983)による研究が挙げられる。Clement は、運動法則に関わる問題として、Pendulum Problem, Coin Problem, Rocket Problem の 3 題を力学の授業を行った事後の大学生に出題し、その典型的な誤答に一貫した誤概念傾向が確認できることから、“Motion Implies a Force” という「MIF 誤概念」を提唱した。日本においては、中山・猿田(1996)が Clement のロケット問題を用いて日本の全日制普通科の高校生に調査を行い、MIF 誤概念を構成する高校生が高い割合で出現することや教師が高校生の実態を予測できていない問題点を指摘した。また、鈴木(2008)においては、このロケット問題の誤概念を支えるのは因果スキーマが原因であることを主張し、「運動は因果関係を含む」“Motion Implies Causality” という、「MIC 誤概念」を提唱した。Clement の調査において Pendulum Problem と Coin Problem の 2 題については力を矢印で記述させることで誤概念の実態を分析しているが、Rocket Problem についてはロケットの軌道に関

する内容を中心に分析が行われており、ロケットにはたらく力についての分析は詳しく行われていない。そこで、著者らは教員養成系大学の学生にロケット問題を出題し、ロケットにどのような力がはたらくのかを矢印や文章を使って回答者に詳細に記述させ、誤概念を支えている要因について、その実態を詳しく調査した。その結果、学習者には様々な誤概念を支える要因が存在していることが明らかとなった(加藤・定本, 2012)。また、近年このような様々な誤概念を分類表としてまとめる試みもなされている(例えば, Alonzo & Steedle, 2009 ; 新田, 2012)。

Clement は、MIF 誤概念を提唱した際に、このような誤概念を支える要因について“Presumably the conception is rooted in everyday perceptual-motor experiences with pushing and pulling objects.”とし、物を押したり引いたりする日常での生活経験が、学習者の誤概念の構成に影響していることを示唆した(Clement, 1983)。また、相澤・蛭田(1987)は、教員養成系大学の学生に 7 題の物体の運動に関する調査問題を出題し、ニュートン力学の理解を困難にしている直感的信念を明らかにすることを試みた。その結果、初学者の直感的信念を支えるいくつかの頑固な考え方を明らかにし、「物理初学者がニュートンの運動法則を学習するとき、彼らの生活する現実の世界で経験的に得ている知識体系が、その正式な物理の理解を困難にしているようである」との報告をしている。

以上のような先行研究を踏まえ、本研究においては、以下の 5 点について解明することを目的とする。

- (1) 小中学生において、日常生活から得られる様々な体験等を重ねている高年齢ほど、力が速度に依存する誤概念を構成する割合が高くなるのか。
- (2) 初学者と熟達者の「力と運動」に関わる調査問題の回答と概念地図を比較した場合、どのような対応関係が確認できるのか。
- (3) 中学生の概念地図作成において、「運動の第 2 法則に関わる『力がはたらく』」と「運動の第 1 法則に関わる『力がはたらかない』」という 2 つのラベルの位置付けは、デザインされた理科学習や生活経験を通してどのように変容するのか。
- (4) 調査期間の理科学習を通して、科学的に妥当な力学概念を獲得した中学生は、どのような概念地図を作成するのか。
- (5) 中学生の誤概念の構成において、具体的にどのような生活経験が影響を及ぼしているのか。

本研究では、研究目的(1)~(5)を達成するために、長野県公立小中学校の児童生徒や教員養成系大学の学生に「力と運動」に関わる調査問題や概念地図(concept mapping)を出題し、調査問題や概念地図の回答にどのような傾向が確認できるのかを詳細に調査した。

2章 研究背景

2.1節 構成主義学習論

2.1.1項 構成主義学習論の起源

前述したように、理科教育における構成主義学習論の源泉は、Osborne & Wittrock (1985)によるとギリシア時代にまで遡るといわれている。このような時代背景から、その源を明確に特定することは難しいが、堀(1992)によると、近年の理科教育に大きな影響を与えてきたのは、Kellyの構成主義的考え方であり、個人の発達の問題に対して、科学者としての性格をもった人間(man-the-scientist)という隠喩を用いてアプローチしている点その根拠となっている。Kellyの影響のもとに書かれた論文は、例えばPope & Gilbert (1983)を挙げることができる。

CorsiniによるとKellyの考え方は、「個人が身の回りの世界に関して行動の方針を立てることを可能にするような具体的モデルを一人ひとりが構成する」というものである(Corsini, 1987)。Kellyによれば、人は絶えず先行学習に影響され、身の回りの世界について固有の解釈をしており、他人の知識を受動的に取り入れているのではないという。

堀(1992)によると、理科教育の中では、構成主義学習論とは何かについて、真正面からは議論されてきていないので、極めて頻繁に用いられている用語の1つにもかかわらず明確に定義している文献は見当たらないという。しかし、Fisher & Lipson (1986)を参考にするると次のような5つの内容を含んでいるという。

第1に、知識の獲得は構成的あるいは生成的な過程であり、子どもたちの知識は一人ひとり固有なものである。

第2に、知識表現は複合的な段階を含んだ動的かつ構成的過程である。

第3に、既存の概念や構成過程において、獲得したり、系統だてたり、蓄積したり、修正したり、考えたりする方法は多様である。

第4に、理科学習の中で明らかになってくる誤解のもとになる根拠は、第3で述べた思考の過程のどのような段階でも起こり、如何なる特定の誤解といえども、その根拠は極めて多様である。

第5に、科学的概念の理解は、その対象となるものに連続的に接近し続けることによって構成され、あらゆる理解は必ず不完全かつ不十分なものである。

以上のように理科教育における構成主義学習論は、理科教育学の教授・学習論を構成している要素を「学習者」の視点から再検討し、その要素を明確にすることで教授・学習の抱えている問題点を克服しようとしており、それに関わる研究は貴重な示唆を与えてくれる。

2.1.2 項 構成主義学習論台頭の背景

理科教育研究の分野での構成主義学習論の成立と展開に関しては、国内では、堀哲夫氏による論考(堀, 1992)が最も詳細に議論されている。したがって、ここでは、この堀(1992)を参照し、特に、構成主義学習論の台頭について、本研究の位置づけを確認するために振り返っておくことにする。

堀(1992)によれば、構成主義学習論台頭には以下のような背景があげられるという。

第1には、子どもたちの科学概念理解研究の進展である。理科カリキュラム改革の認識的基盤は、Bruner や Piaget の研究であった。Bruner や Piaget は子どもがいろいろな事象をどのように認識しているのかを広く研究し、その成果を理科カリキュラム開発者たちがカリキュラムに反映させようとしていた。しかし、Bruner や Piaget は理科で取り扱われる科学的概念を対象にして研究することはあっても、理科カリキュラム開発のためとか、科学的概念だけを事例にして子どもの認識を研究してきたわけではなかった。それに対して近年の理科カリキュラムは、理科教育学者たち自身が子どもたちの認識の実態を明らかにし、それを基盤にして理科の教授・学習のあり方を研究している。例えば、Pfundt & Duit によるとドイツ(旧西ドイツ)のIPN研究所は子どもたちの概念形成に関わる調査・研究がどの領域についてどこで発表されたのかをまとめ、著者名、論文名、発表誌名などだけからなる文献リストを発行しており、以前と比べると多くの研究者によって、おびただしい量の研究が行われるようになった(Pfundt & Duit, 1988)。

第2には、学校教育と深く関わりをもつ認知科学の研究が盛んになってきたことがあげられる。例えば、1984年に「認知と教授(Cognition and Instruction)」という教授・学習過程に関する認知科学研究の専門誌が創刊されたり、日本でも1989年に「教科理解の認知心理学」(鈴木ら, 1989)が刊行されたりしている。このように、構成主義学習論が台頭する背景として、認知科学の発展を見落とすことはできない。

第3には、科学哲学の進展との関わりである。構成主義学習論を支える科学観は、現代の科学哲学の研究成果を踏まえており、日本においてはほとんど論じられていないが、西欧では科学哲学と理科教育の関係などについて多くの論文が発表されている。岩崎らによると近年の科学哲学に大きな影響を与えているのは、いわゆる相対主義的科学論の立場に立つものであり、あらゆるものが条件的に制約されている理由で、絶対的なものをいっさい否定する立場をいう(岩崎ら, 1990)。

1960年代を中心とした理科カリキュラム改革は、現代自然科学の本質と構造をカリキュラムに反映させ、教育内容の現代化を図ろうとしていた。しかし、科学哲学の成果や、科学哲学と理科教育の関わりなどについて論じ、それをカリキュラムに反映させようとすることはほとんどなかったとされている。最近の理科における教授・学習論は、例えばNussbaum(1989)のように、かつてのカリキュラム改革とは大きく異なる。Nussbaumは、子どもの概念と概念形成上の変化の問題が、科学哲学の考え方により解明できると考えている。その中では、構成主義が哲学の潮流として一般的に承認されているという前提に立っている(Nussbaum, 1989)。Nussbaum(1989)は、図2.1のようにいろいろな哲学的見解の代表的人物をオールターナティブな哲学的枠組みとしてまとめている。ここでは、哲学的見解を、経験主義と実証主義、合理主義、構成主義の3つに大別している。経験主義と合理主義は最も根本的な前提となるわれわれの知識の根源とそれを確認する方法に関して

根強く対立している。しかし、両者の考え方ともいったん知識が獲得されると、「真実の」「証明された」「確認された」「正しい」「正確な」などの絶対的な言葉で記述されるので、図 2.1 の左上部は互いに結びつけられる。経験主義や実証主義は、20 世紀初頭まで科学者や思想家の間で指示されてきた。ところが、20 世紀初頭になると現代物理学の劇的な変化により、「絶対主義者」の主張を正当化してきた考えを科学が危うくし始めた。それは、かつての「立証すること」あるいは「確認すること」の可能性に対して、哲学的、心理学的および論理的な議論が蓄積されてきたことによる。このことは、「知識」が発見されるものではなく、それは人間の作り上げたものであるという主張に繋がっていく。このようにして、構成主義は経験主義や合理主義が伝統的に培ってきた「絶対主義」にとって代わることになった。構成主義は、個々の理論が観察に先行するものであり、その観察は個々の理論的な予想によってのみ選択され、導かれるものであることを前提条件にしている。したがって、われわれ各自が構成した理論は、われわれが如何にして自然界を理解するのかを決定することになる。

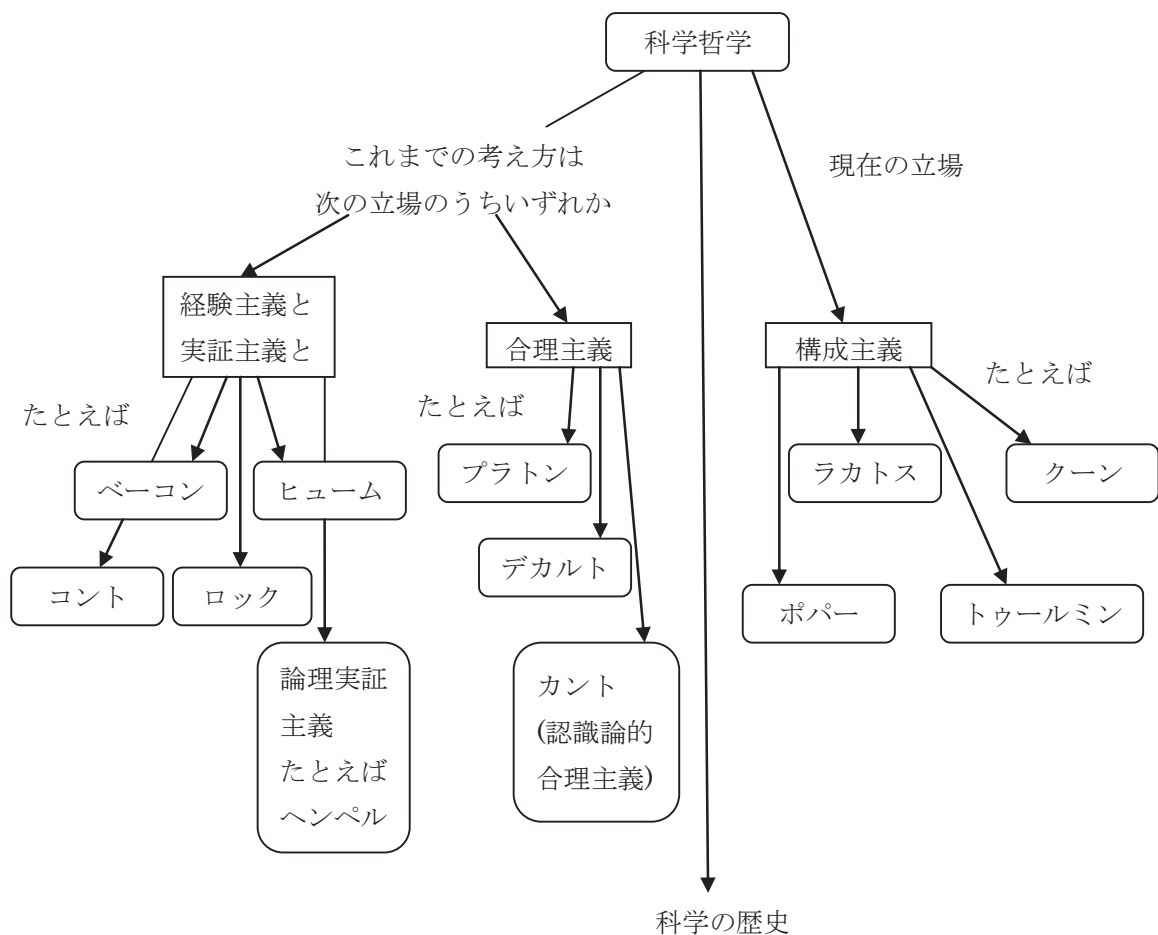


図 2.1 科学の歴史を研究するためのオールターナティブな哲学的枠組み
(堀, 1992; 原図は Nussbaum, 1989)

2.2 節 学習者の科学概念理解

2.2.1 項 構成主義的な理科学習の特徴

Driver & Bell (1986)は、構成主義的な理科学習の立場から、その特徴について次の6点を主張している。

第1に、学習の結果は学習環境によるのではなく、学習者が学習課題に対して持ち込んでいる既存の知識、学習の目的や動機に大きく左右される。つまり、既存の考え方や信念などは、教えられることに対し、学習者自身が認めている解釈が大きな影響を及ぼす。

第2に、学習の過程は学習者自身が意味を構成するという点である。学習者自身が説明したり、行動したり、経験したりすることから、一人ひとりが構成する意味は、教師が意図しているものではないかもしれない。このことは、学習者自身が固有の理解を構成していることにより、教師の理解が学習者へ直接的に伝達され得ないことを意味している。

第3に、学習における意味の構成は、自発的かつ連続的な過程を経過するという点である。つまり、学習者が既存の知識と結合させて意味を構成するということは、考え方や仮説の生成、検証や再構成を含む自発的な過程ということができる。

第4に、学習者自身が構成するということは、それを評価し、かつ必然的に容認したり、あるいは排斥したりすることを意味している。

第5に、学習者は自身の学習に関して最終的に責任をもつことになるという点である。ここでいう責任とは、学習者自身が学習課題に対してどのような注意を払うのか、またそれに対して自分なりの解釈をし、どのような意味を構成するかを決定し、意味を評価するという点である。

第6に、学習者が構成する意味の中で、意見の一致が見られることである。学習者は自然科学の世界と自然な言語の経験を通して、ある種の類型パターンを構成する。つまり、あるグループにより構成された意味は、他のグループと極めて類似した現象が数多く見られる。

このように学習に対する構成主義の考え方の核心は、一人ひとりが各自の理解をしており、それに対して如何なる学習をさせようとするのかということである。

2.2.2 項 科学的概念の再構成

構成主義学習論を主張する Posner et al. (1982)は、学習者の科学概念の再構成について、次の4点を主張している。第1は、学習者に自分たちはどのような考え方を前提にしているのかや、それが科学の理論の中ではどのような位置づけになっているのかを自覚させる必要があること。第2は、自然界の法則と学習者がもっている信念に近い考え方との間に一貫性を学習者に求めていくこと。第3は、現代科学の認識論的かつ歴史的な基盤を学習者に自覚させる必要があること。第4は、新しい概念に対する何らかの認識力を学習者に育てる必要があること。

堀(1992)によると、構成主義学習論を主張する人たちの中で、子どもたちの概念形成に関する考え方は、少なくとも次の3つに大別できるという。

第1は、概念拡張(*conceptual development*)というとらえ方である(Fensham et al., 1981)。学習者が科学的知識を理解しようと真剣に努力するならば、学習者の認知構造の中にその知識を弁別したり、統合したりすることが必要になる。こうした過程は概念拡張とよばれることがある。

第2は、概念転化(*conceptual resolution*)というとらえ方である(Osborne & Gilbert, 1980)。これは、先に述べた概念拡張のアプローチが不適合な場合に適用される。例えば、科学概念といくぶん調和しないような概念を子どもがもっている場合に、単に統合や弁別が起こることを期待できないし、それのみでは科学的概念を理解できない。この時、概念転化が必要とされるのである。しかし、概念形成のどの時期に概念転化を取り入れたらよいのかについては、まだ明らかにされていない。

第3は、概念転換(*conceptual exchange*)というとらえ方である(Pines & West, 1986)。これは、子どもが非科学的な既存の考え方を捨て、新しい科学的な考え方や枠組みを受け入れる過程をいう。例えば、子どもが物理的因果関係をアリストテレス的に考えている場合、学校で学習するニュートン的な考え方との間に対立や認知的葛藤を生じ、以前にもっていたアリストテレス的な考え方を捨て、ニュートン的な考え方を受け入れるような過程を挙げることができる。なお、ここでいうアリストテレス的とは、力と運動の関係において、物体が運動するためには力が必要であるという考えを指し、ニュートン的とは物体に力ははたらいなくても慣性で運動するという運動の第2法則を指している。堀(1992)は、いくら学習者が自ら考え方や知識を再構成させることが大事であるといっても、天才的な科学者たちにより過去400年以上にわたって作り上げられてきた自然科学の知識や概念、法則などを、一人の子どもが短時間に自ら作り上げることは、まず不可能である。そのため、適切な教育内容や教師指導などを基礎にした概念転換という考え方が重要になってくると述べている。

先行研究では、学習者がどのような状態の時に概念の拡張、転化、転換が生じると捉えているのかを、Posnerらの共同研究者であったHewson & Thorley (1989)により、それ以降深められた考え方を挙げておく。Hewsonらは、学習者が概念を変化させたり、保持したり、あるいは学習者が考えたりする場合に必要とされる条件を4つ挙げている。

第1は、学習者にとってその概念がわかりやすい(*intelligible*)かどうかである。ここでいう「わかりやすい」とは、学習者がその概念の意味を知っているか、概念のある部分が学習者に適合しているか、その概念を表現する方法を見つけ出すことができるか、その概念

に固有の可能性を探し出しはじめることができるかどうか、というものである。これは概念を変化させたり、保持したり、あるいは物事を考えたりするうえでの、第 1 のまた必須の条件であるとされている。

第 2 は、学習者にとってその概念がもっともらしい(plausible)のものであるかどうかである。これは、ある概念が学習者にとってわかりやすいものであるならば、学習者がそれを本当であると信じたり、学習者により受け入れられた他の概念と矛盾していないかを確認できたり、調和させることができたり、その新しい概念が学習者にとって有意義なものであるかどうか、というものである。

第 3 は、その概念が学習者にとって効果の多い(fruitful)のものであるかどうかである。これは、ある概念が学習者にとってわかりやすいものであったとしても、それが彼らのために何らかの価値を実現することを見いだせるかどうか、未解決の問題を別のやり方で解決するものかどうか、新しい可能性、方向性、考え方を示唆するものであるかどうか、というものである。

第 4 は、学習者にとってその概念が不満(dissatisfaction)を抱くきっかけとなるものであるかどうかである。これは、学習者の直観的な理解と対立するかどうか、納得がいかなくなるかどうか、困難を引き起こしたり、発展性を阻害したりするものになるかどうか、効果の少ないものになるかどうか、というものである。

また、堀(1992)は、先に述べた 4 つの条件をもとに主なものを以下の 2 つのように挙げている。第 1 に、もし学習者が新しい概念に対して、わかりやすい(それが意味をもつ)、もっともらしい(既存の概念と矛盾することなく調和させることができる)、たぶん効果が多い(それを学習の中に取り入れようと苦心する何らかの根拠がある)ことを見いだすことができるならば、既存の概念に組み入れることができる。第 2 に、もし新しい概念が学習者にとってわかりやすいものであっても、既存の関連した概念と矛盾するように思われるならば、それは学習者にとってもっともらしいものとはならない。このことは、相反する概念がその人にとって同時にもっともらしいものになることができないからである。新しい概念の変容は、既存の概念によって阻止される。ある人がそれを完全に受け入れるためには、新しい概念が形成される以前に概念の受け入れを阻止する要因は排除されなければならない。

ここで挙げた考え方は、学習者の既存の知識、概念、考え方を再構成するための条件とも考えることができ、構成主義学習論を理解するうえでの重要な要因であると考えられている。

2.3 節 概念地図法 (concept mapping)

2.3.1 項 概念理解の評価方法

学習者が科学概念をどのように理解しているのかに関する調査や研究は、これまでに極めて多く報告されている。例えば、Pfundt & Duitによるとドイツ(旧西ドイツ)のIPN研究所(Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften)は、学習者の概念構成に関わる調査や研究がどの領域についてどこで発表されたのかをまとめ、著者名、論文名、発表誌名などだけからなる文献リストを発行している(Pfundt & Duit, 1988)。

子どもたちの科学的概念理解の実態を明らかにしようとする場合に、従来から行われてきた概念調査の方法では、子どもの理解の深浅を必ずしも的確に把握したとはいえない。White (1988)によれば、「理解」とは、端的にいえば、事象や概念などについて知識を使って説明したり状況に対処したりする能力とされる。したがって、既存の知識の内容、本質、結合様式と大きく関係しているといえる。また、理解は精神の状態、成就感、理解するという行為の過程にも関係しているものであると考えられる。それゆえ、理解を定義することは簡単ではないと考えられている。

わが国の指導要録の評価の観点では、「知識・理解」として「知識」と「理解」の両者が一緒になっている。「理解」評価の場合には理解の程度が問題にされなければならないのであるが、従来そのことがほとんど議論されてこなかった。これまで、極めて限られた評価方法しか用いずに理解の評価が行われてきた。理解の評価は、普通、ペーパーテストで行われることが多いが、時間的、物的、人的条件が許せば、他の方法を用いることも考えられてよい。

理解の程度を把握する方法としては、Champagne et al. (1981)により開発された状況説明(Prediction-observation-explanation)法、Novak & Gowin (1984)によって確立された概念地図法、Osborne & Gilbert (1980)やNussbaum & Novak (1976)の方法で、多くの成功を収めてきた事例面接(Interview about instance or events)法、Gunstone & White (1986)の類似した概念間の包含関係についてベン図を用いて子どもに表現させるベン図(Venn diagrams)法などがあげられる。

2.3.2 項 概念地図法とその利用

概念地図法(concept mapping)は、学習者が保持している自然の事物や現象に対する理解のあり方を外的に表現させるための簡便かつ有効なツールとして、理科教育などにおいて活発に利用されている(例えば, Novak, 1998; Novak & Gowin, 1984; White & Gunstone, 1992)。このような傾向は、学習者に固有な理解のあり方を探ることを目的とした調査研究に限らず、初等・中等教育などでの授業実践的な研究においても利用されている(例えば, 福岡ら, 1998; 中山・稲垣, 1998)。概念地図法は, Novak と彼の研究グループによって, 1960年代後半から 80年代にかけて開発が進められてきた。

1984年に出版された“Learning How to Learn”には、概念地図法の開発目的や作成方法、評価論などがまとまった形で提案されている。Novak & Gowinによると、そこには知識と知識の構造的な関係づけを重視する Ausbel の学習理論に基づき、学習者の既有知識や理解の状態を明らかにすることを目的として、概念地図法の開発が行われたと述べられている(Novak & Gowin, 1984)。概念地図法では、学習者の認知構造を命題のネットワークの形で階層的に表現させることになる。ここでいう命題とは、Novak らに従えば、「単語によって結合された、2 またはそれ以上の概念ラベルであって、1つの意味論的な単位を構成するもの」と定義されている。上辻によると概念地図法の基本的な作成手順は、次の通りである(上辻, 1998, 2000)。

- (1) 授業の主題に関連した言葉(概念ラベル)を選択する。
- (2) 概念ラベルを自分の考えにしたがって配置する。
- (3) 概念ラベル同士に何らかの関係があれば、それを線や矢印(リンク)でつなぐ。
- (4) 概念ラベル同士の関係について説明するための言葉(リンキングワード)を線や矢印のところに加える。

Novak & Gowinによると概念地図に表現された知識構造は、概念ラベルの内容や個数、リンクの仕方、リンキングワードの内容、階層性、異なる系統を結ぶクロスリンクの有無などの観点から評価できるとされている(Novak & Gowin, 1984)。例えば、岸によるとすべての概念ラベルがリンクで結ばれていれば知識の全体的な体制化が十分であること、1つの概念ラベルから複数のリンクが出ていれば知識が精緻化されていること、ラベルの配置の広がりによって概念の包括性が理解されていること、などを見て取ることができる(岸, 2000)。Novak & Gowin (1984)では、こうした観点に従って概念地図を得点化する方法も検討された。

先にも述べたように 1984年に提案された概念地図法は、30年経過した現在においても注目に値すべきツールとみなせ、幅広い学年段階や内容領域で活発に利用されている。海外の現状については、Horton et al. (1993)や Ruiz-Primo & Shavelson (1996)の代表的な総説によって、1994年までの活発な利用が明らかにされている。さらに、山口ら(2002)は、Horton et al. (1993)や Ruiz-Primo & Shavelson (1996)といった代表的な総説以降、1995年から 2001年までの6年間に実施された海外の研究 35編、国内においては 1980年代後半から 2001年までに実施された研究 34編を整理している。そこから概念地図法の研究史について、各研究における問題意識や学習支援の方向性と、そこでの概念地図法の開発や利用のされ方という観点から、3つの世代に区分して検討し、概念地図法の現代的な意義を考察している。

2.4 節 「力と運動」領域の概念構成に関する先行研究群

2.4.1 項 運動法則の歴史的概観

運動法則の歴史的概観は、Dilber et al. (2009, p.205) が、わかりやすくまとめているので、それを参考に示しておくことにする。

紀元前4世紀に Aristotle は、人や牛馬が物を押したり引いたりする運動を観察し、力と運動はどのような関係があるのかについて考えた。そして、Aristotle は、物体の運動を維持するためには力が必要であると結論した。Aristotle は、運動には力が物体に内在するために自然に生じる運動（自然運動）と、他から力が加わって生じる運動（強制運動）と説明した。石が落下する代表的な自然運動については、石にとって自然な場所が地球の中心付近にあるため、その場所に帰ろうとして落下すると説明した。一方、同じ落下運動でも、投げられた石が落ちていくのは、手から石に力を加えたのだから強制運動になる。すると手から離れた石は何に押されているのかを考え、手を離れた石に接触しているものは空気しかないと結論した。Prescott によると Aristotle は、石が手から離れた瞬間、その部分に周囲の空気が流れ込んで、その空気が絶えず石を押し続けるのだと説明した(Prescott, 2004)。

6世紀には、Boyer によると Philoponus が Aristotle の運動論について批判の口火を切り、インペタス理論(impetus theory)を提唱した(Boyer,1991)。Philoponus の理論の最も重要な特徴は、物体が運動を維持するためには力を与えなければならないとし、運動を維持させる力をインペタス(impetus)と呼んだことである。この力は、物体がその方向に動くことや物体が動き始めることを可能にすると考えた。物体が投射運動されてからは、外部の力はなく、物体の内部に属するものがインペタスであると説明した。

11世紀には、Boyer によるとアラビアの哲学者であり科学者でもある Ibn-Sina は、インペタスはそれ自体で使い果たされると考えた(Boyer, 1991)。インペタスが減少したり、なくなったりしたとき、物体の自然な重さが下に向かう力として供給され、一直線に落ちていくことになると考えた。

14世紀は、ヨーロッパで大砲が盛んに使用され、その弾道理論が要求されていた時代である。このような時代に、Buridan を始めとするパリの自然学者たちが、Aristotle の学説に挑戦をした。弾丸や投げられた石のような物体は、空気に押されるのではなく、むしろ空気に抵抗されながら運動していると反論をした。弾丸や石が動き続ける理由について、力を加えた際、物体内に力が入り込み、その力が物体を推進するために運動は続くとの考えが、彼らの新しい学説であった。彼らの説明するこの「力」は、現代物理の力の概念とは異なり、エネルギーや運動量の考えに近いと言える。さらに、Buridan たちは、放物運動での説明を落体の加速の問題にまで拡張した。物体の重さが、物体自身にはたらく力となり、落下をしている間にその力が累積されてゆくため、物体内に取り込んだ力はますます増大すると考えた。Prescott によるとこのような彼らの考えは、現代物理の「慣性」という概念に一步近づいたものとして位置づけられている(Prescott, 2004)。

17世紀に入り、Kozhevnikov & Hegarty によると Galileo は当初、投げ上げるときの力は重力よりも大きくなければならず、そうでなければ物体はただちに落ちることになるとの考えを支持していた(Kozhevnikov & Hegarty, 2001)。Hawking によると Galileo の

“Dialogues Concerning Two Sciences”において、彼は Sagredo の「物体を上げたとき、力はほんの僅かに重力の抵抗を上回ったかもしれない。そして、投射した力は、重力の抵抗バランスをついに十分上回ったかもしれない。体は全く持ち上げられることはないが、ただ耐えたに過ぎない。」というような説明から、インペタスの考えを見返して分類した (Hawking, 2002)。後に Galileo は、投射物の軌道について、水平方向における速度一定の運動から成り立つ成分と重力が原因で下に加速する鉛直方向の運動から成り立つ成分の、それぞれ独自の運動を考える理論を打ち立てた。これら 2 つの運動を結合させることによって、彼は理想的な投射物の軌道が放物線を描くと推論した。そして、ついに Newton は、運動の 3 法則から成り立つ力学の普遍的な理論を考案した。McCloskey によると、ニュートン力学とインペタス理論の決定的な違いは、インペタスは運動の原因が物体の内部にあるのに対して、ニュートン力学においては、外部の力は運動を変化させるために不可欠であり、運動を維持するためには必要ないということである (McCloskey, 1983a)。

このように科学史を紐解くと、アリストテレス的な物体の運動のとらえ方から、多くの議論を重ねることで、人類社会がニュートン的な物体の運動のとらえ方へと科学革命を起こしたことがわかる。科学教育においても、科学史における科学革命的なこのような理解を個人の認知に働きかけ、構成主義的に学習することで妥当な科学概念を構成することが可能であると考えるので、以下の節では、学習者が学習の事前に構成している誤概念について明らかにすることを試みる。学習者が構成する誤概念の多くは、科学史の歴史的な変遷の中で構成されてきた科学概念と類似した誤概念であることが確認できるであろう。

2.4.2 項 「力と運動」領域における誤概念の研究

学生が物理学の最初のコースを履修する前に自身で構成する直観的な信念は、特別な位置付けがなされている。そして、研究者たちはこれに様々な異なる呼び方を使用した。Novak (1977)はそれらを *preconceptions* と呼び、Driver & Easley (1978)は *alternative conceptions* として適用した。また、Helm (1980) はそれらを *misconceptions* と呼び、Sutton (1980) は *children's scientific intuitions* という用語を提唱した。Gilbert et al. (1982) はそれらを *children's science* と呼び、Halloun & Hestenes (1985b) は *common sense concepts* と呼んだ。そして、Pines & West (1986) は *spontaneous knowledge* と呼んでいる。このような科学概念とは異なる学習者の認識は、研究者の立場の違いによって、様々な名称で呼ばれている。これらについて現在までに明確な分類が確立されているわけではないが、少なくとも系統的な学習以前、初等・中等教育、それ以降の概念構成には、一定の区別をすべきと思われる。しかし、本研究内容については、小学生から大学生までと幅の広い年齢層の研究参加者を対象としていることから、広く「誤概念」と呼ぶことで、これらの多様性に対応することにする。このような学習者の誤概念は、理科学習を通して変容させることが難しく、本質的に強固なものであることが過去の研究から明らかになっている。

Eryilmazによると学習者の誤概念は、鍵となる用語の概念として、質量、速度、加速度、力などがあり、基本的な法則としては、ニュートン法則や保存則などがある。「力学」や「力と運動」は、物理学を主題とする研究でもっとも頻繁に扱われる内容であり、もっとも広く議論されてきた話題であるとされている (Eryilmaz, 2002)。以下に、Eryilmaz (2002, pp.1001-1002)にしたがって、この分野で重要視され、議論されてきた主要な誤概念の研究を、8つほど、まとめて紹介しておくことにする。

- (1) 学習者は、速度一定の運動を保つには力が必要であるとの考えを保持している (*motion implies force misconception*)。加えて、物体の速さが変化する理由として、力が消失したり、増したりすると信じている (Champagne et al., 1980; Clement, 1982; Gunstone, 1987; Sadanand & Kess, 1990; Sequeira & Leite, 1991; Whitaker, 1983)。
- (2) 学習者は、力と速度にリニアな関係があると信じている。それゆえ、一定の力から、一定速度の運動を予測することになる (Champagne et al., 1980; Sequeira & Leite, 1991)。
- (3) 学習者は、物体の速さが減少するのは、力がはたらかないためであると考えている。摩擦力のない世界を想像することは困難である (Halloun & Hestenes, 1985b)。
- (4) 学習者は、物体の速度と位置を混同する。2つの物体が同じ位置にあるとき、学習者は同じ速度をもつと考える。また、学習者は物体の加速度と速さを混同している。2つの物体が同じ速さで運動しているとき、同じ加速度をもつと考える (Rosenquist & McDermott, 1987; Trowbridge & McDermott, 1980, 1981; Whitaker, 1983)。
- (5) インパタスは、物体を動かし続ける推進力または内在する力であると考えた。インパタスは増加したり、減少させたりすることができ、学習者が保持する様々な考え方によって再構成される。また、物体の円運動に関して、円状のインパタスをもつと考える傾向がある (Caramazza et al., 1981; Halloun & Hestenes, 1985b; McCloskey & Kohl, 1983)。
- (6) 学習者は、大きな力で持ち上げる物体は、自由落下運動をする際により大きな加速度となり、僅かな距離の違いであってもはっきりと変化する原因になると信じている。また、

重力加速度はインペタスが弱くなるまで作用することはないと信じている(Gunstone & White, 1981; Minstrell, 1982)。

(7) 学習者は、「相互作用」という用語を衝突のメタファで解釈することがある。「相互作用」を相反する力の葛藤とみているが、これは「強いほうが勝つ」というメタファから派生する。(Maloney, 1984; Minstrell, 1982; Sadanand & Kess, 1990; Sequeira & Leite, 1991)。

(8) 学習者は、遠心力が力の独特な種類であり、ニュートン力学の枠組みにおいて存続すると信じている(Gunstone, 1987)。

近年、このような様々な誤概念を分類表としてまとめ、現場教師たちの授業にいかす試みもなされており、それらを表 2.1 や表 2.2 に示す(例えば, Alonzo & Steedle, 2009, p.395; 新田, 2012, p.22)。

表 2.1 Common Student Conceptions About Force and Motion (Alonzo & Steedle, 2009, p.395)

Conception	References Documenting Conception
Forces are caused by living or active things	Halloun and Hestenes (1985b) and Minstrell (n.d.)
Forces can only be caused by something touching an object	Halloun and Hestenes (1985b) and Minstrell (n.d.)
Weight, motion, activity, and strength are important in determining an object's force	Ioannides and Vosniadou (2001)
Force is a property of a single object, rather than a feature of the interaction between two objects	Reiner, Slotta, Chi, and Resnick (2000)
A moving object has a force within it, which keeps it going	Reiner et al. (2000), Halloun and Hestenes (1985b), Ioannides and Vosniadou (2001), and McCloskey (1983b)
A moving object stops when its force is used up, which happens naturally over time	Halloun and Hestenes (1985b), McCloskey (1983b), and Trumper and Gorsky (1996)
If there is motion, there is a force acting	Clement (1982) and Ioannides and Vosniadou (2001)
If there is no motion, then there is no force acting	Halloun and Hestenes (1985b), Gilbert and Watts (1983), and Minstrell (n.d.)
A "preventer" force is required to keep an object at rest	Minstrell (n.d.)
Forces cause motion in the direction of the force	diSessa (1983)
If there is a force, then there is motion	Champagne, Klopfer, and Anderson (1980)
If there is not a force, either there is no motion or the motion is decreasing	Champagne et al. (1980)
When an object is moving, there is a (net) force in the direction of its motion	Gilbert and Watts (1983), Minstrell (n.d.), and Trumper and Gorsky (1996)
Motion is proportional to the force acting	Champagne et al. (1980)
If there is no net force, an object slows down	Halloun and Hestenes (1985b)
A constant speed results from a constant (net) force	diSessa (1983), Champagne et al. (1980), Gilbert and Watts (1983), Halloun and Hestenes (1985b), and Minstrell (n.d.)
Constant acceleration requires a constantly changing force	Champagne et al. (1980), Halloun and Hestenes (1985b), and Minstrell (n.d.)
A force cannot keep accelerating an object indefinitely	Halloun and Hestenes (1985b)

表 2.2 素朴概念の分類表(新田, 2012, p.22)

大項目	名称	内容	初学者の考え方	文献
考察の原理	経験原理	自分の経験をもとに運動を考察する	物体の運動を予測するとき、その状況に近い自分の経験を検索して参考にする。特に力の概念は五感に強く依存する	
	線形応答の原理	原因の大きさと結果の大きさはだいたい比例する	物体に加えた力と生じる速さは比例する、など。比例係数の役割は認識されている場合とそうでない場合がある	
	運動の因果性原理	すべての運動にはそうなる原因がある	運動の原因を説明して満足する	HH
	自己中心座標	自分の目で見ている立場の座標で考える	慣性力を実際の力と区別できない	
力の種類	内なる力	運動する物体は力を持っている	質量や速さが大きいほど大きい。最初の向きに特別な意味があると考えることがある	HH
	重力	物体の落下しようとする傾向	離れて働く力は理解しがたい	HH
	摩擦力	面の接触によって生じる、動きを妨げる性質	摩擦が力の一種とは思えない	HH
力の作用	動かす力	「内なる力」を与え、力の向きに運動を引き起こす	力を与えた向きと運動の向き及び速度の向きは一致する	dS
	動かし続ける力	運動を維持するために加え続けられる	外力または動力源によって力を加え続けないと動き続けることはできない	
	つりあう力	競合する 2 つの力がはたらいている物体が静止しているとき、その 2 力は等しい	止まっているときに力が働いているとは思えない	dS
	貫く力	外力は中間の物体をすり抜けて伝わる	つながった物体を分けて考えることができない	
力によらない作用	支える	落下を妨げる	机の上に置かれた本は単に支えられているのであって、力が加わっているとは思えない	dS
	妨げる	運動を妨げる作用	物体の進行方向にある障害物は単に運動を妨げるのであって、物体に力を及ぼすとは認識されない	HH
	抵抗する	加えられた力に抵抗する	壁を押したときの反作用力は力と認識されず、押されたことに抵抗しているだけ	dS
運動の規則	力の供給	運動には「内なる力」を供給するための力が必要である	等速直線運動のときの合力がゼロになるとは思えない	HH
	消えゆく	物体の「内なる力」は徐々に失われる	内なる力は自発的に失われていく場合と、まさつなどで失われる場合がある	dS
	力の優勢	重い・大きい・頑丈な物体の方が大きな力を相手に及ぼす	衝突後の相手の速さや壊れ方で大きさの優勢が決まる	HH
	遅れる	原因が結果をもたらすまで時間がかかることがある	重い物体を押すときなど、力が加わっても加速度が生じるまでに時間がかかる	dS
	ガイドされる	経路に沿って運動する	どのような力が加わっているかという考察は行われない	dS

文献欄は、主に参照した文献が diSessa (1993)の場合 dS, Hestenes et al. (1992)の場合 HH である。

2.4.3 項 「力と運動」領域における概念構成と概念変換 (conceptual change)

前述したように認知心理学の分野で、学習者が日常経験からつくりあげた素朴な信念は、素朴理論(naive theory)という体系をなしている。例えば、物理領域では、本研究の主題である「力と運動」、「電流」や「熱」などについて学習者が根強くもっている素朴理論があり、総称して素朴物理学(naive physics)と呼んでいる(例えば、市川・伊東, 1987; 村山, 1989; 市川, 1997)。また、自然現象に対する学習者の概念を対象にして研究されたものの多くは、構成主義の立場に立ったものが多い。構成主義の立場から、学習者の特徴的な考え方を明らかにした研究では、様々な術語が使用されている。例えば、Gauld によると基本的な用語である ideas, meanings, conceptions, structures, science と修飾語句である mis-, alternative-, personal-, children's-, pre-との組み合わせは 20 通りを越える(Gauld, 1987)。科学概念とは異なるこのような学習者の認識は、研究者の立場の違いによって、様々な名称で呼ばれている。

このような誤概念は自然科学の概念や法則を理解する上で重大な障害となっていることが明らかになっている。Fisher (1985)は誤概念のもつ性質として、以下のような項目を挙げている。

- (1) 誤概念はその領域における専門家のもつ概念とは異なる。
- (2) 誤概念は多くの人に共有されている。
- (3) 誤概念は容易には変化しない。少なくとも従来の理科教育によっては変え難い。
- (4) 誤概念は科学理論におけるのとは異なる信念体系(それは論理的に構成されたひとまとまりの命題からなっている)を含んでいることがある。
- (5) 誤概念は科学史に現れた旧理論と類似していることがある。
- (6) 誤概念が生じる原因として次のものが考えられる。
 - (a) 神経的ハードウェア, または遺伝的プログラム。
 - (b) 多くの人々に共通した経験。
 - (c) 学校等での教育。

村山(1989)は、Fisher のこの分類に対して「(6)にはあまりにも荒唐無稽と思われるようなものまで含まれているが、これは素朴概念の起源が未だに特定されていないという、現在の研究状況を示していると考えてよいだろう」と述べている。素朴概念が自然科学の概念とは一致していないこと、そのために自然科学の学習を阻害すること、しかも教育によってもなかなか変えることができないことといった性質が、主として教育心理学者の興味を引いており、さまざまな領域においてどのような素朴概念が存在しているかの研究が盛んに行われている。教育現場では、児童生徒たちに待ったなしで教育活動を行わざるを得ない状況を抱えている。多くの現場教員は経験的に児童生徒がもつ誤概念を知っていながら、その概念をどのように変換すればよいのかについて悩まされ続けている実態がある。

概念変換(conceptual change)に関する研究については、Dilber et al. (2009, pp.207-208)が、わかりやすく、その研究動向をまとめているので、以下においては、この文献に沿って、概要をみておくことにする。

概念変換に関する研究は、Piaget の不均衡と学習者の代替概念との関係からの構成が基盤となっているという。Thorley & Stofflettによると、これらは当時の過去 20 年の間に発達し、科学教育研究と科学教師教育の中心的な体系となった(Thorley & Stofflett, 1996)。

科学学習において、特に影響力のある 1 つの見方は、概念変換モデルで概説された内容である(Hewson & Hewson, 1983; Posner et al., 1982)。このモデルは、2 つの主要な構成要素を備えている。1 つは、概念変換のための条件設定であり、学習者からの視点で「明瞭性」「妥当性」「有効性」という 3 つの特徴を述べている。もう 1 つの第 4 の状態としては、学習者が不満になる範囲（「不均衡性」）に言及している。概念変換のアプローチは、概念的な変化が起こりそうな前に、以下のような 4 つの状況が存在しなければならないことが示唆されている。

- (1) 学習者は、彼らの既存の概念に対して不満にならないといけない。学習者は、問題を解決する経験や現在の概念の能力に対する信頼を失わせる経験をしなければならない。
- (2) 新しい概念はわかりやすくなければならぬ。学習者は、経験がどのように新しい概念によって構築されることができるかについて、十分に理解することができるにちがいない。
- (3) 新しい概念は、もっともらしく見えなければならぬ。構成された新しい概念で、以前に発生した問題を解決する能力がなければならぬ。
- (4) 新しい概念は、有益でなければならぬ。それには、新しい領域を開ける能力がなければならぬ。

概念変換は、新しい有効な概念によって、以前の古い概念解釈を不適合の状態にさせることになる。もう 1 つの不適合の概念変換に関する見方は、Chi (1992)の知識の再構成についての考え方である。Chi の概念変換に関する考え方は、ただ単にもう 1 つの代わりを見つけ、最初の仮定が追い払われるというものである。Guzzetti et al.によると、変換とは古い考えに置かれている信念のレベルであり、各個人においては、同時にいくつかの両立しない考えをもつこともあると述べられている(Guzzetti et al., 1997)。場合にもよるが、各個人は自身の概念を変えることに極度の抵抗を示すこともある。また、多くの研究では、概念変換が達成されるのは非常に難しいことを示している(Başer & Geban, 2008; Chinn & Brewer, 1993; Guzzetti et al., 1995; 加藤・定本, 2011)。学習者の精神的なイメージに深く根ざしている概念は、慎重に計画がなされ、よく練られた教育方策で実行されているという事実にもかかわらず、他のモデルと置き換わるのが非常に難しいとされている。さらに、Tsaparlis & Papaphotis によるとたとえ自身が確立した考えをはっきり理解できていたとしても、簡単に前の考えに戻ってしまうこともある。そうすることによって、学習者はより快適な状態になると指摘されている(Tsaparlis & Papaphotis, 2008)。

「力と運動」領域の研究では、Eryilmaz (2002, p.1003) が、概念構成や概念変換について広く分析され、議論された 8 つの論点を掲げている。ここでは、その中から、研究手法に関する 2 つを除いた、6 つを以下に、引用・紹介しておく。

- (1) ほとんどの学習者は、物理学に関する公の学習を受ける前に、「力と運動」についての前概念をもっている(Driver & Easley, 1978; Halloun & Hestenes, 1985b; Helm, 1980; Novak, 1977; Pines & West, 1986; Sutton, 1980; Watts & Pope, 1989)。
- (2) これらの前概念は、学習者が物理学のコースで学ぶことになっている内容から著しく異なるものである(Halloun & Hestenes, 1985b; Helm, 1980; Maloney, 1984)。
- (3) 特定の物理概念に関連した前概念は、平均的な学力の学習者や優等生や物理学教師の異なった被験者でさえ一貫性を示す(Peters, 1982)。

- (4) 物理学で学習者に影響を及ぼす最も重要な要因は、学習者の前概念、性、認知発達レベルや数学的能力である(Champagne et al., 1980; Halloun & Hestenes, 1985a)。
- (5) 従来の教育方法は、学習者に重要な影響を及ぼすが、持続的で強い抵抗を示す学習者の誤概念を変換するまでにはほど遠いものである(Brown & Clement, 1987; Clement, 1982; Halloun & Hestenes, 1985a; Viennot, 1979)。
- (6) 学習者の誤概念を改善する最も一般的な提案のいくつかは、概念的な討議方法によって物理学を教えることを含んでいる(Brouwer, 1984; Posner et al., 1982)。

物理学の中でも基本である力学現象に誤概念の多くが発生する。Reiner et al.によると、心理学が行動主義心理学から認知心理学に転換していった 1979 年以降、1987 年までの間に、2,000 近くの力学における生徒の誤概念に関する論文が書かれたという (Reiner et al., 2000)。

3 章 予備的検討

この章では、本博士研究の予備的検討として、著者が 2009 年から 2011 年の間に実施してきた研究の具体的方法や開発した実験教材、研究結果など（加藤，2011；加藤・定本，2011 等）を改めて総括し、本研究の出発点としての基盤を確認している。中学校の理科学習では「加速度」という用語を扱わないため、当該の予備的検討では、加速度センサーと発電器から算出した加速度の測定をもって「力」の測定とみなしている。

3.1 節 「力と運動」領域の教材開発と授業実践

MIF 誤概念を解消するために、いくつかの実験教材が開発され、大学や高等学校で授業実践をすることにより、その効果が試されてきた(例えば、川村, 1996; 川村・子安, 1998; 小林, 2003; 田中・定本, 2003; 徳永・島畑, 2007)。特に、川村(1996)や川村・子安(1998)では、大学進学を希望している普通科高校の生徒を対象に「慣性力実験器」という演示教材を用いた授業実践を行っている。そして、その教育効果について「慣性力実験器を用いた授業を行った方が伝統的な授業を行ったよりも学習効果が高い」と報告した(川村・子安, 1998)。さらに、課題として 2 つの観点からの研究が必要であるとして、「その 1 つは、学習者の認知過程のどの部分に変化しているのかという問題であり、もう 1 つは、実験のどの要素がそのような認知過程の変化をもたらしているのかという問題である。」と述べた(川村・子安, 1998)。

中学校を対象にしたものとしては、山崎ら(2009)により振り子つき運動教材を用いた実践が試みられている。中学校の理科学習においては、記録タイマーによるデータ処理に追われることが多く、速さに視点が置かれた授業が展開され、力のはたらきが焦点化されにくい傾向が強い。また、その力のはたらきにおいても、主にばねばかりを使用して「静止状態」の力学台車にはたらく力の大きさを測定することにどまる(例えば、三浦ら, 2006；岡村ら, 2012)。しかし、多くの生徒たちは「静止している物体には力がはたらかない。運動している物体には運動方向に力がはたらいている。」という誤概念を構成しており、「運動状態」においても力の大きさを測定できるようにすることが重要となる。さらに、著者は中学校で長年授業をしてきたが、下り斜面の正答率に比べ、水平面、上り斜面と場面が移り変わるのに合わせて正答率が低くなる傾向があることに問題を感じてきた。その一因としては、中学校における斜面と水平面の学習が、それぞれ独立した授業としての扱いにとどまることから、授業の数ヵ月後には斜面と水平面における力の関係が混乱してしまうことも推測される。そこで、上記の問題点を踏まえ、それらを克服できるように、加速度センサーと発電器を併用した実験教材を作製し、静止状態から運動状態までの一連の運動における力学台車にはたらく力の大きさと速さを測定できるようにした。その実験教材を用いることで、斜面と水平面を別々に扱う断続的な授業展開だけでなく、斜面と水平面を同時に扱い、力と運動の関係性を総合的に捉えることができる授業を公立中学校で実践した。

3.2 節 教材開発

開発した実験教材の全景を図 3.1 に示す。力学台車を運動させる斜面及び水平面として使用する材料は、ホームセンターで安価に販売されている厚さ 4 mm のポリプロピレンプレートを用いた。斜面は、ポリプロピレンプレートの下に木板（長さ 90 cm，幅 15 cm，厚さ 9 mm）を設置し、平らな面を作ると共に、木板を傾けることで角度付けをしている。水平面は、ポリプロピレンプレートの下に 3 mm 厚のアルミ板を敷き、平らな面を作っている。斜面から水平面へは、木板がない部分（長さ 10 cm）で自然に、適度な曲率で滑らかに移行する。作製した斜面や水平面の角度や長さは、摩擦力の影響を抑えるためにできるだけ短い走行距離であるということと、生徒が下り斜面、水平面、上り斜面のそれぞれの場面で、力学台車にはたらく力と運動の関係を観察できる時間を確保するという 2 つの条件を満たせるようにした。このような条件を満たすために斜面角度を 3° とし、それぞれの長さを下り斜面 (①～③) 1.0 m，水平面 (④～⑥) 2.2 m，上り斜面 (⑦～⑨) 1.0 m に設定することで、それぞれの走行時間を約 2 s とした。

図 3.1 の力学台車部分の拡大写真を図 3.2 に示し、力学台車に搭載した装置の回路図を図 3.3 に示す。ポリプロピレンプレート上では、運動する力学台車の軌道が安定しないことから、ABS 樹脂製の 2 本のレールをプレート上に両面テープで固定した。このレールには、ホームセンターで電気コードのカブセ（高さ 8 mm，幅 11 mm，厚さ 1 mm のコの字型）として販売されているものを使い、コの字型の開口部を上向きにし、2 本を平行に設置した。図 3.2 のように 2 本のレールの向かい合う内側の突起部に力学台車の車輪の溝がはまるようにし、力学台車の軌道を安定させた。力学台車には、静電型加速度センサー（秋月電子，ACB302）と発電器（ケニス，光電池専用モーター）を併用して作製した装置を搭載する。まず、「静止状態」で力学台車にはたらく重力加速度のレールに沿った成分を数値化するための加速度センサーには、006P 型の 9 V 乾電池を R_1 と R_2 の抵抗器によって分圧し、加速度センサーの電源電圧として $V_{cc} \sim 5$ V の電圧を供給する。加速度センサーの出力電圧 V_0 には、約 $V_{cc}/2$ のバイアス電圧がかかっている。よって、可変抵抗 R_2 を使って、そのバイアス電圧を取り除き、重力加速度のレールに沿った成分に比例する出力電圧 V_{out} を得るようにした。力学台車が運動を始めると、加速度センサーに慣性力がはたらき、力学台車にはたらく重力加速度のレールに沿った成分を測定することはできない。そこで、「運動状態」における力学台車の加速度を測定するために、力学台車にタイヤ付きの発電器を取り付ける。力学台車と発電器を接合する素材としては、薄くて弾力性のある塩化ビニル板（長さ 22 cm，幅 3.5 cm，厚さ 0.5 mm）を使用し、発電器に巻き付ける。その際、発電器の側面に両面テープを貼り付けて塩化ビニル板と固定し、それを力学台車に取り付けるようにする。タイヤの回転により発生する電圧は、速さに比例することになる。その電圧を微分回路に接続し、抵抗 R_3 の電圧 V_R を取り出すことで運動状態での加速度表示を可能とする。

図 3.3 のように切り替えスイッチ SW をア側に倒し、加速度センサーからの出力電圧 V_{out} と抵抗 R_3 の電圧 V_R を直列に接続することで、静止状態と運動状態の両方で力学台車にはたらく加速度を検出できる。この 2 つの出力電圧の和を V_F とする。静止状態と運動状態で加速度として出力される電圧に整合性をもたせるため、ある一定斜面角度において、静止状態の加速度センサーから得られる出力電圧 V_{out} と、その斜面を走行させたときに得られる抵抗 R_3 の電圧 V_R が、同じ値になるように可変抵抗 R_3 を調節する。微分回路の時定

数については、デジタルマルチメーターのサンプリング時間が約 0.2 s であることも考慮し、 $\tau = R_3 C = 57.8 \text{ ms}$ に設定した。

斜面に力学台車を固定し、斜面の角度を変えることにより、出力電圧 V_F と重力の斜面方向成分 F との関係を得る。その結果を図 3.4 に示す。作製した教材では、力の大きさ F の値として、 $F = 0.235 V_F + 0.03 \text{ [mV]}$ という関係式で導くことにした。また、力の大きさの単位には、N (ニュートン) を用いた。授業実践では、様々な角度の斜面上で力学台車をニュートンばかりで引っ張り、釣り合わせることにより、出力電圧 V_F とニュートンばかりの数値が比例関係にあることを生徒に確認させた。なお、力の測定に関係する部分を力センサーと呼ぶ。また、力学台車をいろいろな速さで動かしたとき、力学台車の速さ v は図 3.5 のように発電器から得られる電圧 V_v に比例しており、速さ v の値として、 $v = 1.37 V_v - 0.04 \text{ [V]}$ という関係式で導くことにした。また、速さの単位には、m/s を用いた。これらの装置をまとめて「力・速さ検出器」と呼ぶことにする。

力・速さ検出器からのリード線を長く延ばすことで、2 台のデジタルマルチメーターによって数値化された力と速さの出力電圧を目視で観察できるようにした。力と速さの方向については、進行方向をデジタルマルチメーターの+表示、逆方向を-表示として判別できるようにした。力学台車の運動中は、リード線と床との間に摩擦力が発生しないようにするため、授業者がリード線を手を持って、力学台車と同じ速さで移動する。

なお、切り替えスイッチ SW を図 3.3 のイ側に倒すことにより、水平面上でおもりと滑車やバネばかりなどを使って力学台車に水平方向の力が加えられる場合でも力と速度を検出することができる。

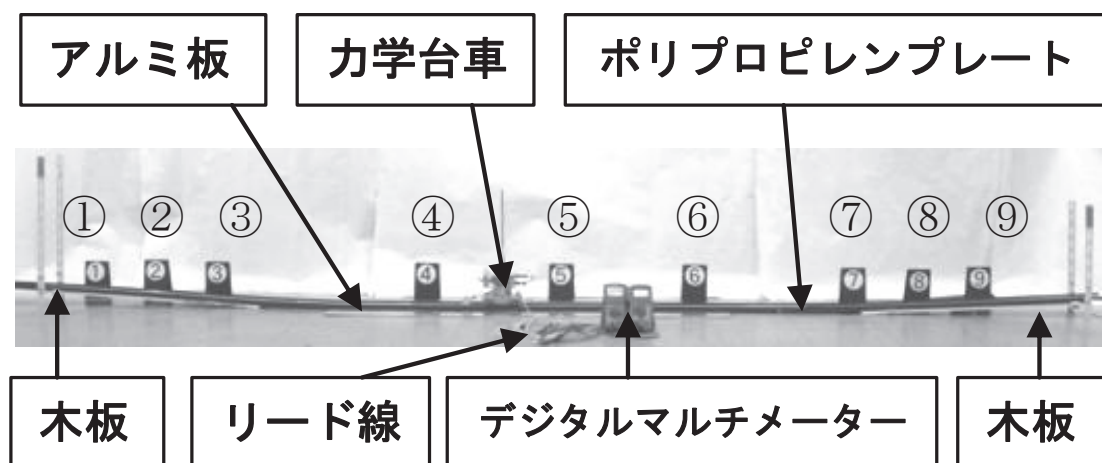


図 3.1 開発した実験教材の全景写真

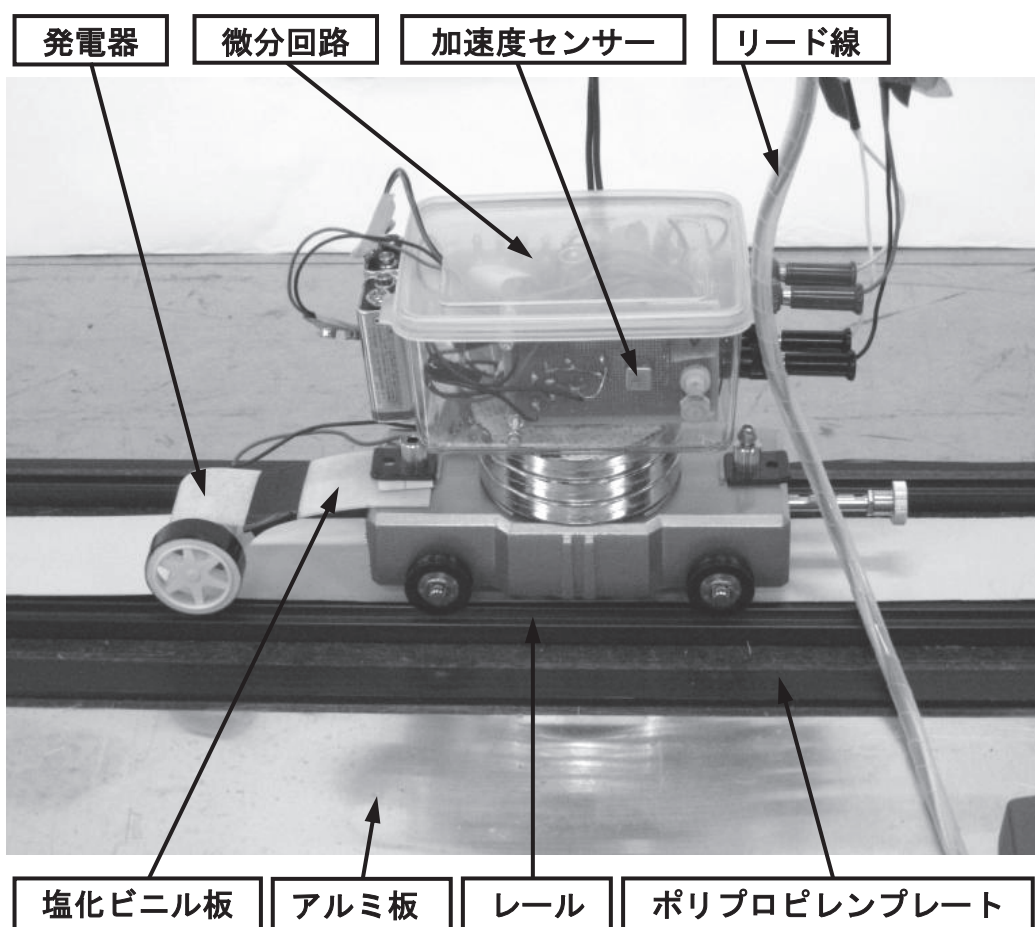


図 3.2 力学台車部分の拡大写真

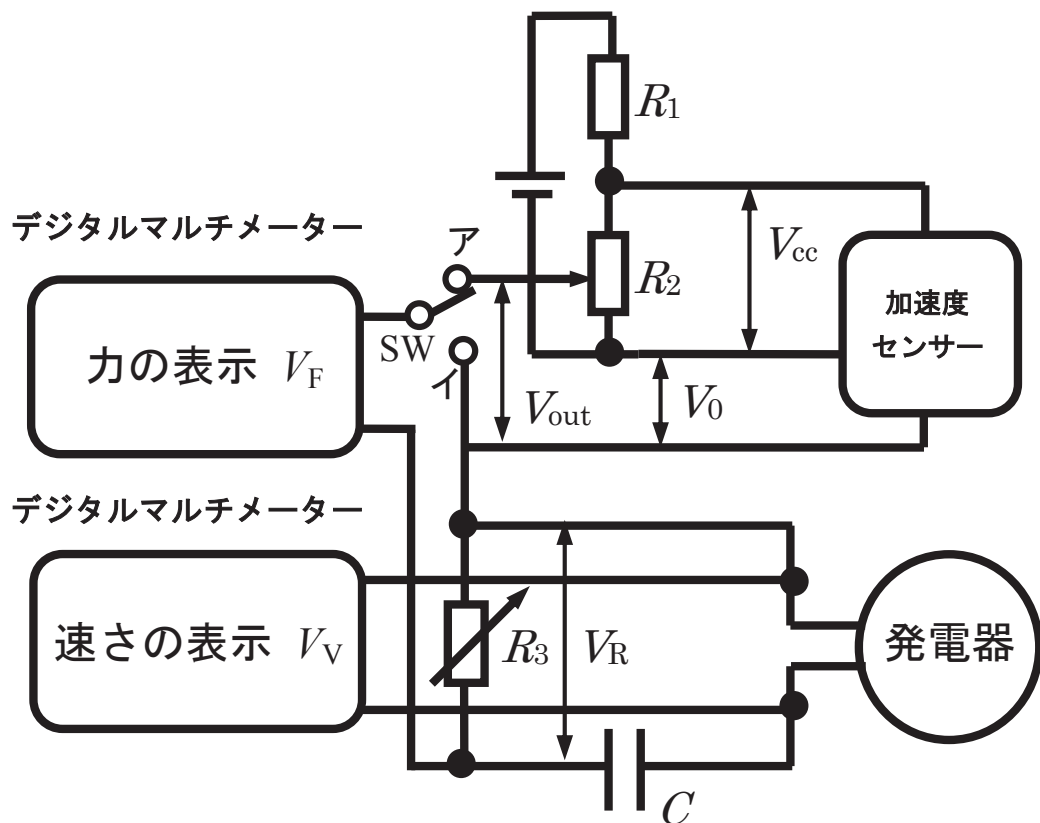


図 3.3 力・速さ検出器にデジタルマルチメーターを取り付けた装置の回路図

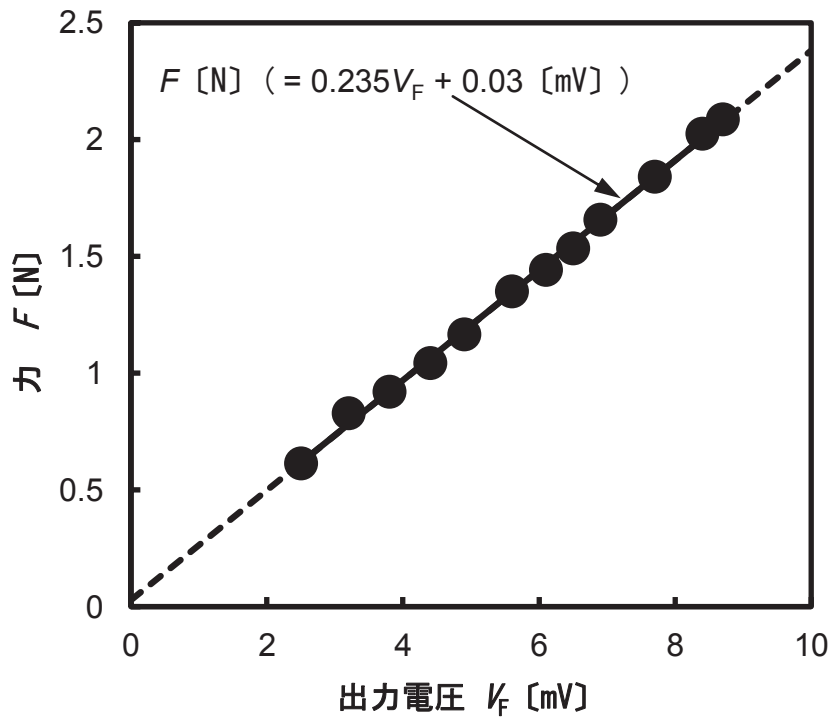


図 3.4 出力電圧 V_F と力 F の関係

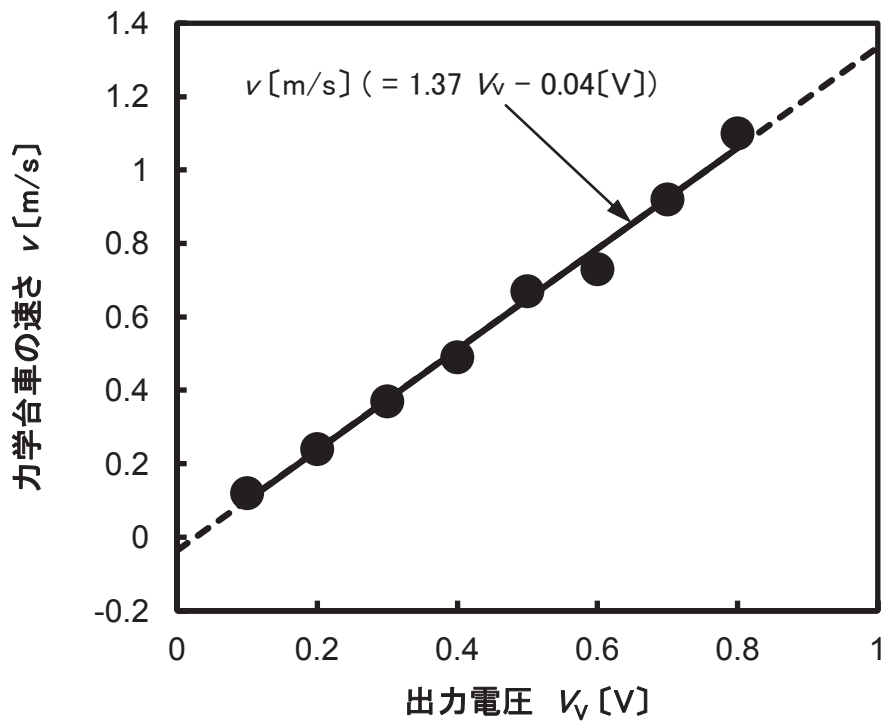


図 3.5 出力電圧 V_V と速さ v の関係

力学台車がレール上を運動したときに、力・速さ検出器から得られるデジタルマルチメーターの表示電圧 V_F と V_V を高速撮影し、映像解析をした。10 回実験した結果を図 3.6 に示す。図 3.6 の $t=0\text{ s}$ は、力学台車を押さえていた手を放し、力学台車が動き出した状態を表している。下り斜面 ($t=-1\sim 2\text{ s}$) において、静止状態と運動状態の両方で力に比例する出力電圧 $V_F\sim 5\text{ mV}$ (1.2 N の力に相当) で推移し、速さは $t=0\sim 2\text{ s}$ で時間に比例してだんだん速くなる。水平面 ($t=2\sim 4\text{ s}$) において、運動状態であっても $V_F\sim 0\text{ mV}$ で推移し、速さに比例する出力電圧 $V_V\sim 0.8\text{ V}$ (1.0 m/s の速さに相当) で等速を保つ。上り斜面 ($t=4\sim 7\text{ s}$) において、運動状態と静止状態の両方で $V_F\sim 5\text{ mV}$ で推移し、速さは $t=4\sim 6\text{ s}$ で時間に比例してだんだん遅くなる。力と速さの測定を図 3.1 に対応させるため、下り斜面の①地点は $t=-1.0\sim -0.2\text{ s}$, ②③地点は $t=0.2\sim 1.8\text{ s}$, 水平面の④⑤⑥地点は $t=2.2\sim 3.8\text{ s}$, 上り斜面の⑦⑧地点は $t=4.2\sim 5.3\text{ s}$, ⑨地点は $t=6.2\sim 7.0\text{ s}$ で読み取る。時刻 $t=0\text{ s}$ と $t=6\text{ s}$ では、力学台車を手で放したり押さえたりする動作により、力に比例する出力電圧 V_F において多少の影響を及ぼすが、この時に力と速さの測定を行わないため、授業を進める上での支障はない。このように、力・速さ検出器を使用することにより、静止状態と運動状態の力学台車にはたらく力と速さを連続的に測定することが可能である。

授業実践において、生徒には $0.5\sim 1.0\text{ s}$ の間で出力電圧を読み取ることが要求される。そのため、図 3.7 のようにタッパーを加工したケースの中にデジタルマルチメーターを入れ、力と速さに比例する出力電圧 V_F と V_V の最大桁数 1 桁だけを読むようにした。

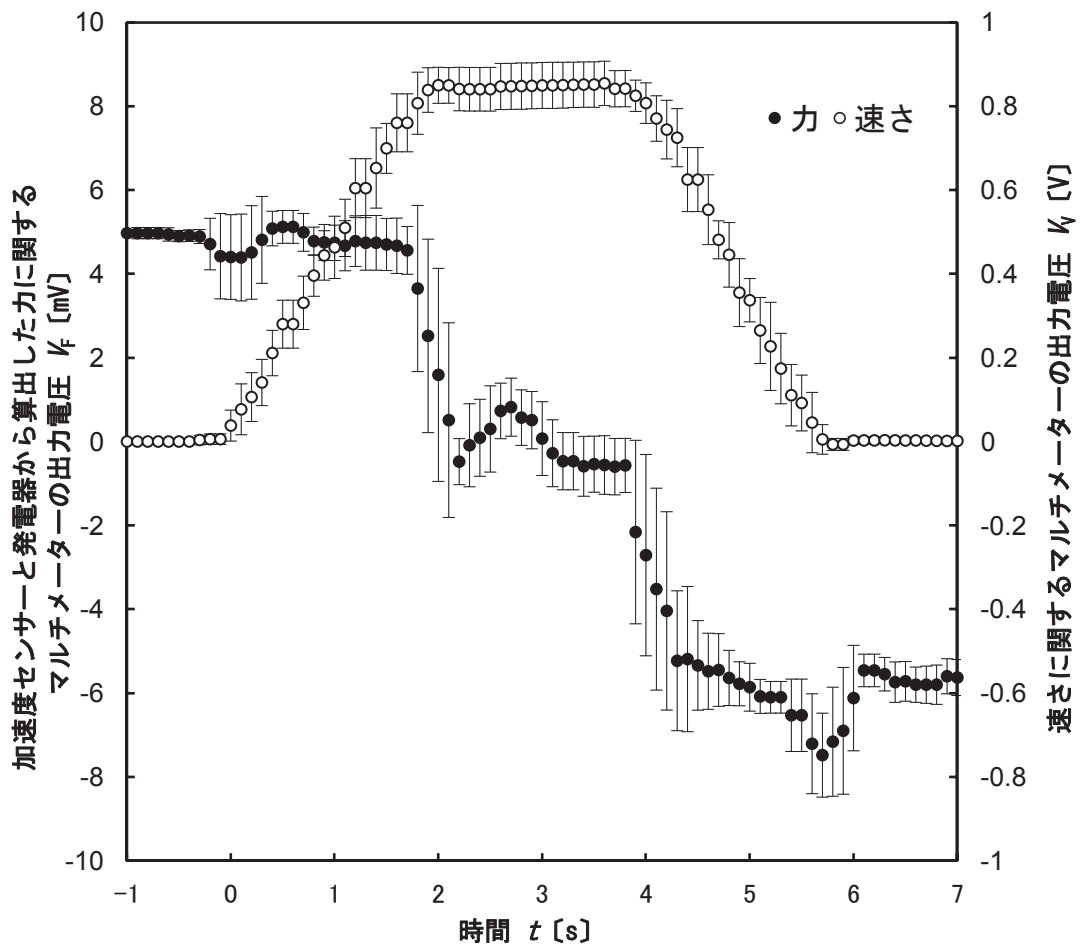


図 3.6 力・速度検出器から得られた出力電圧。誤差棒は標準偏差を表している。

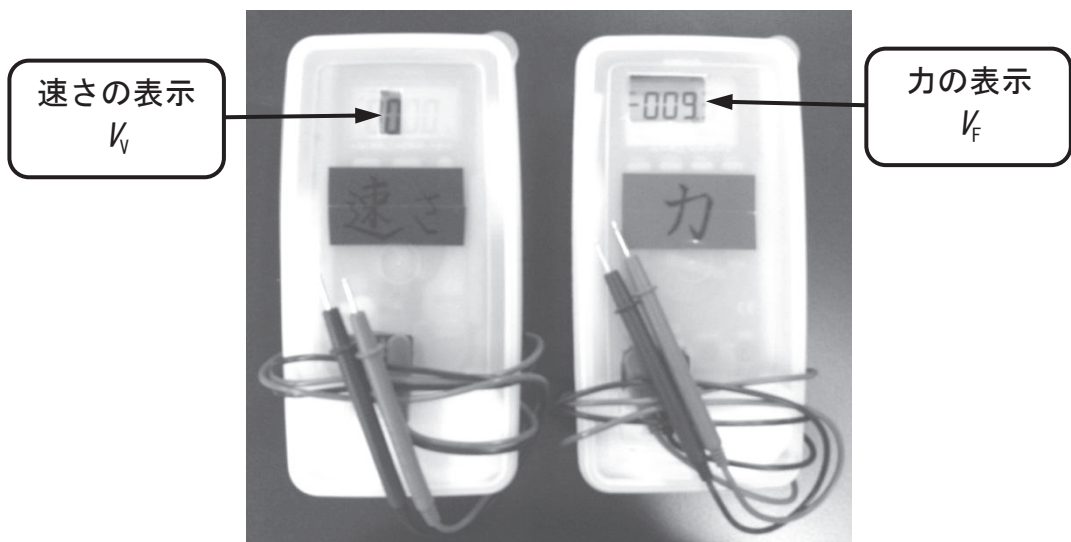


図 3.7 授業で使用したデジタルマルチメーター

3.3 節 作製した教材を使用した授業実践

授業実践は、2010年7月に長野県公立中学校3年生1組29人、2組28人の計57人に行った。対象となった生徒は、教科書に沿った単元展開による学習を1ヵ月前に終えている。生徒には、授業の直前、直後、2ヵ月後の3回にわたって図3.8のような調査問題を出題し、学習の定着度を調べた。

実際に行った50分間の授業実践は、中学校で一般的に行われている問題解決的な授業展開(表3.1)とし、以下の2点を授業実践のポイントとして位置付けた。

- (1) 開発した実験教材を用いて、下り斜面・水平面・上り斜面における力学台車の一連の運動の中で、力学台車にはたらく力と速さを測定し、力と運動の関係性を総合的にとらえる。
- (2) 授業の終末において、「速度に依存する」回答が典型的な誤答であることに触れ、正しい概念構成を促す。

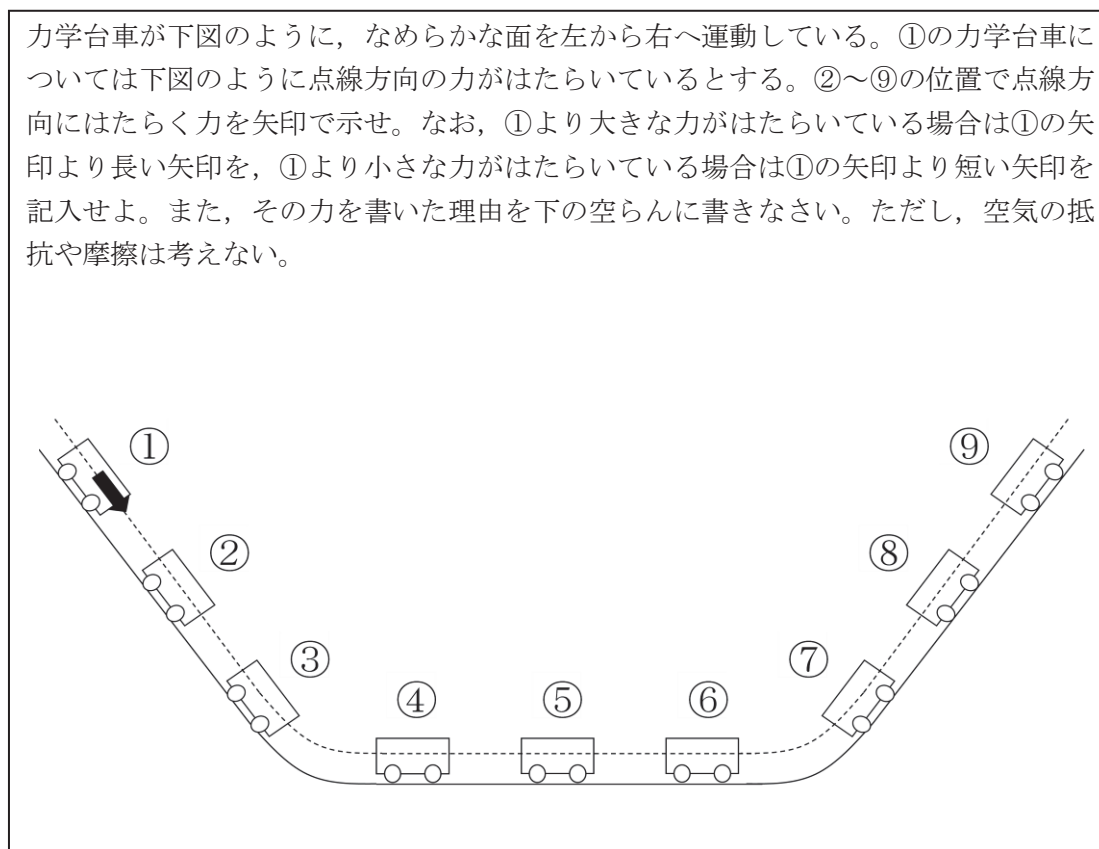


図 3.8 調査問題

表 3.1 授業展開

	・予想される生徒の反応	○支援や指導 ★評価
導 入 (10分)	調査問題による直前調査	
	学習問題： ①～⑨の位置で、力学台車にはどのような力がはたらいているのだろうか？	
展 開 (30分)	<ul style="list-style-type: none"> ①～⑨の位置で、力学台車にはどのような力がはたらいているかを考える。 他の人の意見が参考になった。正解は何だろうか？ 	<ul style="list-style-type: none"> 力学台車にはどのような力がはたらいているかを考えさせる。その後、班の中で意見交換をさせ、各自の予想を深化させる。
	<ul style="list-style-type: none"> 静止状態の力学台車には、①～⑨の位置でどのような力がはたらいているのかわかった。 デジタルマルチメーターを使用することで、力のはたらく方向が下り斜面で＋表示、上り斜面で－表示となり、反対方向に力がはたらいていることがわかった。 「力センサー」を使うと「ニュートンばかり」と同じように力を測ることができて便利だなあ。 運動状態の力学台車にはどのような力がはたらくのだろうか？ 	<ul style="list-style-type: none"> 力を測定する「力センサー」と力学台車の速さを測定する「発電器」についての説明をする。 様々な角度の斜面において、力学台車とニュートンばかりを釣り合わせることにより、デジタルマルチメーターの出力電圧 V_F とニュートンばかりの数値が比例関係にあることを演示する。 力学台車の速さが大きくなると、デジタルマルチメーターの出力電圧 V_F が大きくなることを演示する。
終 末 (10分)	学習課題： 「力センサー」と「発電器」を取り付けた力学台車を使って、①～⑨の位置で力学台車にはたらく「力」と「速さ」を測定してみよう！	
	<ul style="list-style-type: none"> 力と速さの数値を間違えないように記録しよう。 力学台車が水平面上で運動していても力の大きさは0なんだ。 力学台車は斜面上で同じ数値を示しているぞ。上り斜面では力がマイナスだ。 	<ul style="list-style-type: none"> ①～⑨の位置で、力学台車にはたらく力の数値と速さの数値を代表生徒に読み上げてもらい、他の生徒にはその数値を記録させる。 予め録画しておいた動画を使って、力学台車にはたらく力と速さの数値を最終確認する。
	<ul style="list-style-type: none"> 力学台車にはたらく力の大きさは、速さに比例すると思ったが、実験を通して間違っていることがわかった。 	<ul style="list-style-type: none"> 「速度に依存する」回答が、学習者にとって典型的な誤答であることに触れ、正しい概念構成を促す。 ★①～⑨の位置で、力学台車にはたらく力を矢印で表現することができる。
	調査問題による直後調査	

3.4 節 授業実践の結果と考察

図 3.8 の調査問題を用いて、授業実践の効果を調べた。調査問題の正答と典型的な誤答を図 3.9 に示す。調査問題の正答は、斜面では力学台車にはたらく重力の分力がどの場所においても同じ大きさではたらく、水平面では進行方向に力ははたらかない。典型的な誤答は、下り斜面でだんだん大きくなる力、水平面で③とほぼ同じ大きさの力、上り斜面でだんだん小さくなる力であり、力が速度に依存する（速度依存と表記）傾向を示したものである。

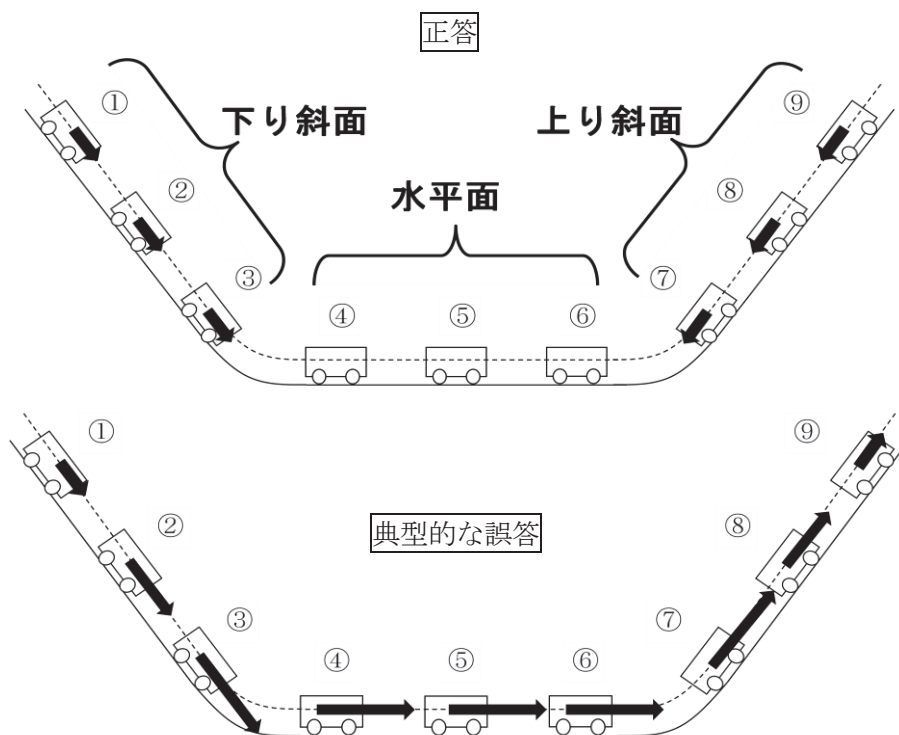


図 3.9 調査問題の正答と典型的な誤答

生徒の回答の変遷を、下り斜面、水平面、上り斜面に分類し、図 3.10 に示す。生徒の回答は、正答と典型的な誤答（速度依存）とその他（速度依存以外の誤答）に分類される。授業実践直前調査における正答者の割合は、下り斜面で 14.0%，水平面で 8.8%，上り斜面で 3.5% というように、下り斜面から水平面、上り斜面へと移動するに従って正答者の割合が低くなっていた。しかし、授業実践直後の調査では、全ての場面において、ほぼ全員の生徒を正答させることができた。また、授業実践から 2 ヶ月後の正答者の割合は、下り斜面で 42.1% と直前調査の約 3 倍に、水平面で 35.1% と直前調査の約 4 倍、特に定着の悪かった上り斜面においても 33.3% と直前調査の約 10 倍に向上させることができた。

直前調査の段階において、速度に依存する誤答は、下り斜面で 78.9%，水平面で 59.6%，上り斜面で 56.1% とそれぞれ高い割合で出現していたが、授業実践 2 ヶ月後の調査においては、下り斜面で 52.6%，水平面で 31.6%，上り斜面で 33.3% というように、その割合を減少させることができた。そして、直前調査において速度に依存する誤答をした生徒のうち、下り斜面で 35.6%，水平面で 32.4%，上り斜面で 21.9% の生徒は、2 ヶ月後の調査において正答へと転換することができた。

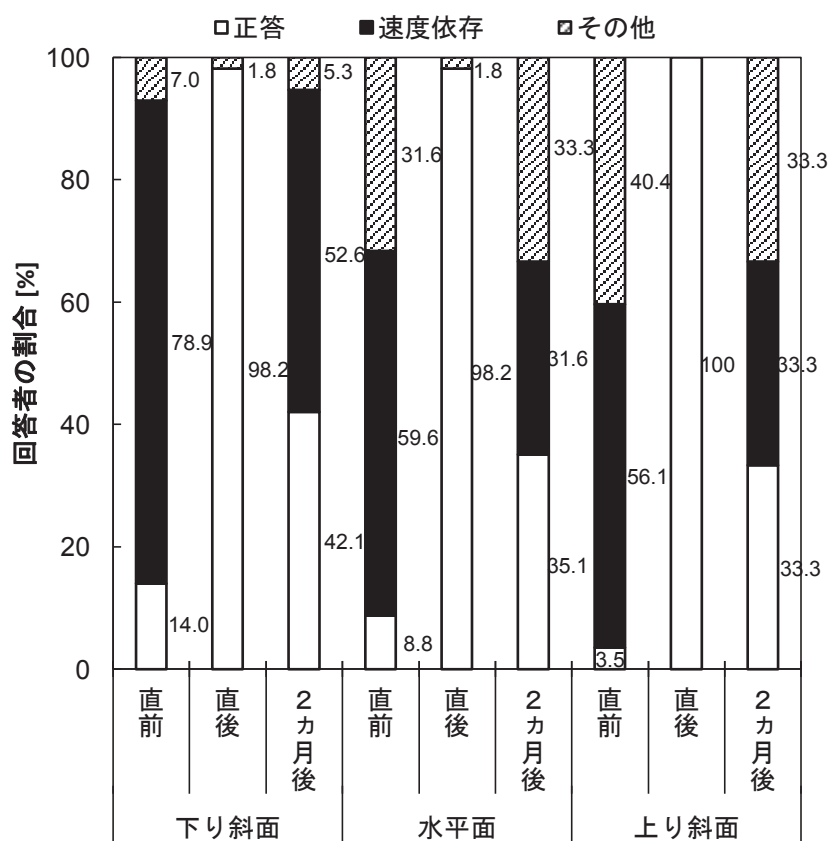


図 3.10 回答者の割合とその変遷

授業実践で使用したワークシートの最後に、授業の感想を自由記述する欄を設けて生徒に記入してもらった。その主な内容と人数の割合を表 3.2 に示す。「力＝スピードではないことがわかった。同じ力がずっとはたらいているとスピードが出るということですね。」、「力と速さを間違えて認識していたことがわかって驚いた。」という感想に見られるような、自分の予想とは異なり、間違えて認識していたことに気付いた生徒の割合が最も高く、全体の 57.9%を占めていた。次いで、「とても楽しかった。わかりやすく、最後にはなるほどとなった。」、「今日の授業を受けてとても勉強になった。そして楽しかった。」という感想に見られるような、授業を楽しみ、内容を理解することができた生徒の割合が、全体の 56.1%を占めていた。上記のような感想が、50%以上の割合で確認できたということは、授業のねらいを大方達成することができたものと考えられる。また、「今までの授業で何となくモヤモヤしている所が、今日の授業でスッキリした気がしました。口だけで言ってもわからなかったけど、実験で理解することもできました。」というように、実際に実験をしたことが効果的であったと感じた生徒の割合は、全体の 21.0%を占めていた。

表 3.2 自由記述欄の主な内容と人数の割合

記述内容	人数の割合 [%]
自分の予想とは異なり、間違えて認識していたことに気付いた。	57.9
授業を楽しみ、内容を理解することができた。	56.1
実際に実験をしたことが効果的であったと感じた。	21.0

3.5 節 結論

開発した実験教材を使用して授業実践をしたところ、斜面や水平面ではたらく力を、授業実践 2 ヶ月後の調査において、約 30～40%の生徒に定着させることができた。特に、直前調査において定着の悪かった上り斜面において、正答者の割合を約 10 倍に向上させることができたのは大きな成果であった。しかし、2 ヶ月後の調査問題の回答を分析したところ、MIF 誤概念を再構成した回答者が 30～50%の高い割合で存在していることが明らかとなり、MIF 誤概念が学習者に強固な誤概念として再構成され、保持され続けていることが明らかとなった。

4章 研究目的

学習者が日常経験からつくりあげた素朴な概念について、「力と運動」領域の中では、Clement (1982, 1983)による研究がよく知られている。Clement は、運動法則に関わる問題として、Pendulum Problem, Coin Problem, Rocket Problem の3題を力学の授業を行った事後の大学生に出題し、その典型的な誤答に一貫した誤概念傾向が確認できることから、“Motion Implies a Force” という「MIF 誤概念」を提唱した。Clement は、MIF 誤概念を提唱した際に、このような誤概念を支える要因について“Presumably the conception is rooted in everyday perceptual-motor experiences with pushing and pulling objects.”とし、物を押したり引いたりする日常での生活経験が、学習者の誤概念の構成に影響していることを示唆した(Clement, 1983)。また、相澤・蛭田(1987)は、教員養成系大学の学生に7題の物体の運動に関する調査問題を出題し、ニュートン力学の理解を困難にしている直感的信念を明らかにすることを試みた。その結果、初学者の直感的信念を支えるいくつかの頑固な考え方を明らかにし、「物理初学者がニュートンの運動法則を学習するとき、彼らの生活する現実の世界で経験的に得ている知識体系が、その正式な物理の理解を困難にしているようである」との報告をしている。

Chi et al. (1981) は、物理学の問題を初学者と熟達者に分類させたところ、初学者は滑車の問題、斜面の問題、といったように問題の表層的な構造に着目して分類するのに対し、熟達者は運動の第1法則の問題、第2法則の問題、のように問題の解決方法に直結した深層的な構造に着目して分類することを見出した。この結果から彼女らは、初学者と熟達者とは、問題をどのように表象するかが異なると考えた。また、領域固有の知識だけではなく、より一般的なヒューリスティック(heuristics)やメタ認知(metacognition)方略にも、初学者と熟達者の差が見出されている(Larkin et al., 1980 ; Schoenfeld, 1985)。著者らは、「力と運動」の学習を終えた後も強固に保持し続ける学習者の概念とはどのようなものなのかを明らかにすることを目的とし、通常授業を終えた中学校3年生がどのような概念を保持しているのかを調べるため、Novak & Gowin (1984)によって確立された概念地図法を用いてその実態を調査した。調査は、2011年11月に長野県公立中学校3年生40人を対象に行った。調査では、生徒に11語のラベル(「物体」「力」「重力」「運動」「等速直線運動」「カーリングのストーン」「速さ」「だんだんはよくなる」「だんだんおそくなる」「一定」「静止」)を提示し、「力と運動」についての自分の考えを「言葉つなぎ」で表すように指示し、概念地図を作成する方法をとった。概念地図の作成に際し、ラベル間を結んだ線の横には、2つのラベルの関係がわかるように簡単な文章か語句を書くように指示した。以降、ラベル間を結んだ線を結合線、記述した文章や語句を結合語と呼ぶ。概念地図の分析においては、沖花(2006)による分析方法にならい、「力」ラベルを中心とした結合順をまとめた。「力」ラベルを1とするため、それ以外の概念ラベルはすべて1より大きくなる。表の値が小さいほど「力」ラベルとの結合順が早いラベルであることを意味する。なお、結合線の分岐の仕方により2通り以上の結合順が存在する場合は、値の小さい方をその結合順とした。そのまとめた内容を表4.1に示す。ただし、本調査では沖花のように「力」ラベルを概念地図の中心に据えた鍵概念ラベルとしての提示はしていない。「力」ラベルを中心として10語の提示ラベルの結合順を分析した結果、特に「重力」のラベルが「力」ラベルと結合しや

すいことが明らかとなった。このような「重力」ラベルの結合順が早いことについては、沖花(2006)による調査結果と一致している。反対に 10 語の中で「静止」ラベルは、「力」ラベルとの関係において被験者の概念の中で結合が遅いラベルであることが明らかになった。

さらに、「力」と「運動」の提示ラベルの関係において、学習者がどのような概念を保持しているのかを調査するため、「力」と「運動」ラベルが直接結合している被験者 16 人を抽出し、どのような結合語によって概念を構成しているのか調査した。「力」と「運動」のラベル間をつないでいる生徒の結合語を表 4.2 に示す。16 人中 8 人は「運動には力が必要である」という内容の記述であり、運動の第 2 法則と第 1 法則（他の物体から力がはたらかない場合、または、力がつり合っている場合に、静止している物体はいつまでも静止し、運動している物体はそのままの速さで等速直線運動を続ける）を混同している誤概念を保持していた。このように、被験者のラベル間をつないでいる結合語を分析した結果、少なくともその半数は MIF 誤概念を構成していることが示唆された。

表 4.1 「力」ラベルを中心としたときの結合順

提示ラベル	結合順平均
重力	2.3
物体	2.5
運動	3.1
カーリングのストーン	3.6
等速直線運動	3.9
だんだんはよくなる	4.0
だんだんおそくなる	4.0
速さ	4.2
一定	4.3
静止	4.7

表 4.2 「力」と「運動」ラベルをつないだ結合語

分類	ラベル間をつないだ結合語
MIF 型 (8 人)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運動する物体には力がはたらく ・ 運動をすると力がはたらく ・ 力によって運動がある ・ 力が運動に変わる ・ 運動には力が必要 ・ 運動は力 ・ 力で運動 ・ 運動は力がある
その他 (4 人)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 力を加えると運動する ・ 運動をはじめるには力が必要 ・ 力がはたらくと運動する ・ 力がかかると運動
未記入 (4 人)	

以上のような先行研究を踏まえ、本研究においては、以下の 5 点について解明することを目的とする。

- (1) 小中学生において、日常生活から得られる様々な体験等を重ねている高年齢ほど、力が速度に依存する誤概念を構成する割合が高くなるのか。
- (2) 初学者と熟達者の「力と運動」に関わる調査問題の回答と概念地図を比較した場合、どのような対応関係が確認できるのか。
- (3) 中学生の概念地図作成において、「運動の第 2 法則に関わる『力がはたらく』」と「運動の第 1 法則に関わる『力がはたらかない』」という 2 つのラベルの位置付けは、デザインされた理科学習や生活経験を通してどのように変容するのか。
- (4) 調査期間の理科学習を通して、科学的に妥当な力学概念を獲得した中学生は、どのような概念地図を作成するのか。
- (5) 中学生の誤概念の構成において、具体的にどのような生活経験が影響を及ぼしているのか。

研究目的(1)を達成するために、「力と運動」に関わる調査問題を用いて長野県公立小中学校の児童生徒を対象に調査し、日常生活から得られる様々な体験等を重ねている高年齢ほど「力と運動」に関わる誤概念を構成している割合が高くなるかを明らかにする。次に、研究目的(2)を達成するために、長野県公立中学校 1～3 年生の生徒と教員養成系大学の学生に「力と運動」に関わる調査問題と概念地図(**concept mapping**)を出題し、調査問題と概念地図の回答にどのような対応関係が確認できるのかを明らかにする。そして、最後に、研究目的(3)～(5)を達成するために、長野県公立中学校 3 年生の生徒を対象にデザインした学習環境を設定し、学習者の力学概念に理科学習と生活経験がどのように影響するのかを「力と運動」に関わる調査問題と概念地図を用いて、その変容過程を明らかにする。なお、本研究の全ての調査において、被験者の塾などによる学校外での学習の影響は、特に考慮していない。

5章 研究方法

5.1節 「運動中の物体にはたらく力」の認識に関する実態調査

日常生活から得られる様々な体験等を重ねている高年齢ほど「力と運動」に関わる誤概念を構成している割合が高くなるかどうかを明らかにするために、「運動中の物体にはたらく力」の認識に関する実態調査を行った。本調査で扱う調査問題は、主に図 5.1 に示した調査問題を使用した。ただし、小学生への調査については、問題の内容が小学生にも理解できる内容となるように若干の修正を加えた。小学生と中学生の調査用紙については、付録 1 と 2 に示す。これを被験者に配布して、回答してもらい、集計・分析する。調査時期は、2011 年 2 月中旬～3 月上旬である。調査の被験者は、長野県公立小学校 3 年生（9 歳）、5 年生（11 歳）と同じく長野県公立中学校 1 年生（13 歳）、3 年生（15 歳）、合計 661 人であった。その内訳は表 5.1 の通りである。全ての調査は、通常授業の中で授業担当教員が立ち合いのもと、同じ条件での調査とするため、著者が全ての調査を実施した。調査方法は、調査用紙を被験者に配布し、調査問題を確認した。記載された問題について自分の考えを記入した後、その理由を記述してもらうようにした。

力学台車が下図のように、なめらかな面を左から右へ運動している。①の力学台車については下図のように点線方向の力がはたらいているとする。②～⑨の位置で点線方向にはたらく力を矢印で示せ。なお、①より大きな力がはたらいている場合は①の矢印より長い矢印を、①より小さな力がはたらいている場合は①の矢印より短い矢印を記入せよ。また、その力を書いた理由を下の空らんにはきなさい。ただし、空気の抵抗や摩擦は考えない。

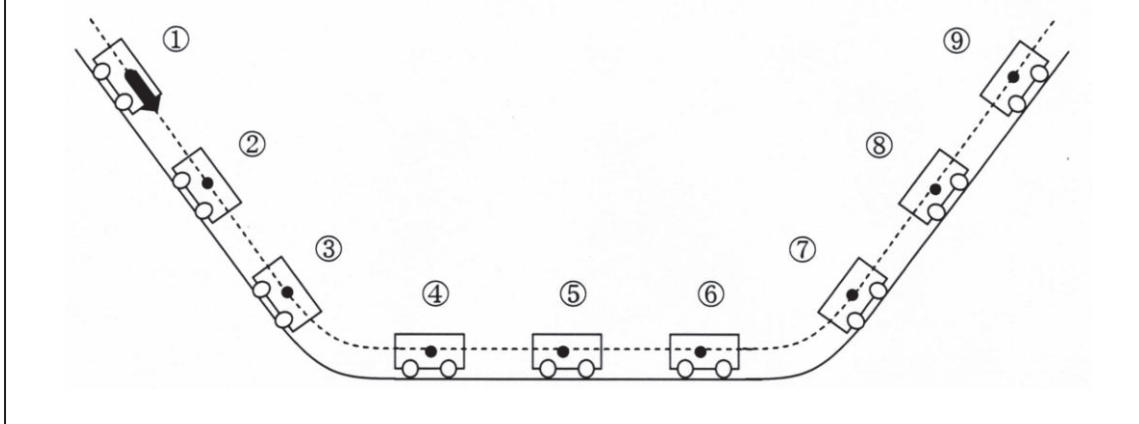


図 5.1 調査問題

表 5.1 被験者の内訳〔人〕

学校名	小 3	小 5	中 1	中 3
T 小学校	58	72		
E 小学校	100	68		
S 中学校			97	67
N 中学校			67	132
合 計	158	140	164	199

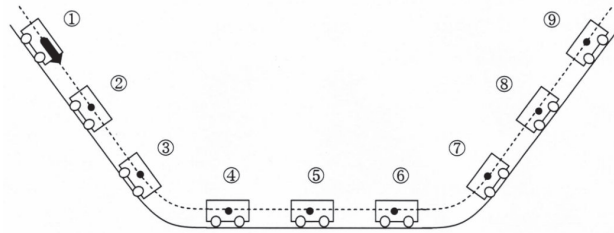
5.2 節 「力と運動」領域における概念地図調査

「力と運動」領域における概念地図調査は、長野県公立中学校 1～3 年生と教員養成系大学の学生を対象として 2012 年 7～9 月に行った。回答者は、中学生 109 人（1 年生 36 人，2 年生 37 人，3 年生 36 人）である。これらの生徒は調査問題の内容に関わる学習を入学後行っていない。ただし，2 年生と 3 年生は中学校 1 年次に「力のはたらき」についての学習は行っている。一方，教員養成系大学の学生は，所謂文系学生であり，高校で物理 I・II を履修した学生の割合は，毎年変動するが，全体の 10～20%である。これらの学生の中から 23 人を対象とした。23 人の中で，9 人は著者らが 2009 年に行った「力と運動」に関わる Clement のロケット問題や図 5.1 の調査問題に正答し，科学的に妥当な概念を保持している可能性の高い学生グループである(加藤・定本, 2012)。以降，これらのグループを「事前調査正答グループ」と呼ぶ。2009 年の調査において，ロケット問題の正答者は 267 人中 32 人（正答率 12.0%）。図 5.1 の調査問題の正答者は 267 人中 8 人（正答率 3.0%）であった。その他の 14 人は，2009 年の調査問題では不正答であったが，今回の調査に協力をしてくれた学生であり，これらのグループは「事前調査誤答グループ」と呼ぶことにする。

被験者がどのような概念を構成しているのかをより詳細に調査することを目的とし，図 5.2 に示した「力と運動」に関わる調査問題 A～C と図 5.3 のような「力と運動」を鍵概念ラベルとして中心に据えた概念地図を作成してもらうことで，被験者が構成する力学概念の実態を調査した。調査時間は 40 分間である。使用した図 5.2 の調査問題は，「力と運動」の本質的な理解を問う内容で MIF 誤概念を調査するために広く利用されているコインの投げ上げ問題(例えば，Clement, 1982)，山崎ら(2009)の調査や加藤・定本(2011)による調査で中学生の誤概念傾向がすでに明らかにされている内容の問題である。なお，2011 年 11 月に行った調査などからも，多くの学習者は MIF 誤概念を構成していることが予想された。このため，今回の調査で使用する概念地図の提示ラベルについては，「力」ラベルではなく，具体性のある「力がはたらく」と「力がはたらかない」という運動法則に関わる 2 つのラベルに変更して提示することで，被験者の誤概念の実態を詳しく調査する。また，調査対象の中学生が使用している教科書(岡村ら, 2012)の内容にあわせて，「カーリングのストーン」から「机の上をすべるドライアイス」というラベルに変更するなど，いくつかの修正を加えた。調査問題 A～C の正答と典型的な誤回答については図 5.4 に示す。調査問題 A～C の典型的な誤回答は，運動する物体の速度に依存する誤回答（速度依存と表記）である。調査問題 A と B の水平面上の運動については，空気抵抗や床との摩擦力を考慮して，少しずつ小さくなる力を記入した回答もあったが，ここでは速度依存の分類に入れることにした。

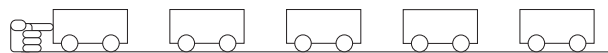
調査問題 A

力学台車が下図のように、なめらかな面を左から右へ運動している。①の力学台車については下図のように点線方向の力がはたらいているとする。②～⑨の位置で点線方向にはたらく力を矢印で示せ。なお、①より大きな力がはたらいている場合は①の矢印より長い矢印を、①より小さな力がはたらいている場合は①の矢印より短い矢印を記入せよ。また、その力を書いた理由を下の空らんには書きなさい。ただし、空気の抵抗や摩擦（まさつ）は考えない。



調査問題 B

水平な台において、力学台車を左から手で押すと右方向へ進んでいった。下図のそれぞれの位置で力学台車にはたらく力の向きを矢印で示せ。なお、力の大きさの違いを矢印の長さで表せ。またその力を書いた理由を下の空らんには書きなさい。ただし、空気の抵抗や摩擦（まさつ）は考えない。



調査問題 C

①からコインを垂直に投げ上げた。コインは黒丸で示した②，③，④と上昇し，④で最高点に達した。その後，白丸で示した⑤，⑥，⑦と降下した。②，③，④，⑤，⑥地点のコインにはたらいている力を矢印で示せ。また、その力を書いた理由を下の空らんには書きなさい。ただし、空気の抵抗や摩擦（まさつ）は考えない。

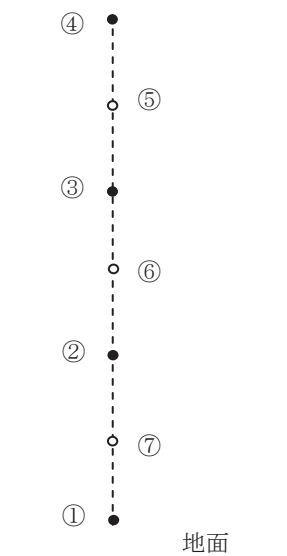


図 5.2 調査問題

- 以下に「てこ」を例にして「言葉つなぎ」の手順を説明する。
- ①下に「てこ」「支点」「力点」「作用点」「おもり」「距離」「力」「おもさ」「棒」「せんぬき」の10個の言葉が与えられている。
 - ②10個の言葉の間で、関係のあるもの同士を選ぶ。
 - ③関係のある2つの言葉を線で結ぶ。
 - ④2つの言葉を結んだ線の横に、2つの言葉の関係が分かるように、簡単な文章か語句を書く。
 - ⑤10個の言葉以外で、関連する言葉があれば、自由に追加して「言葉つなぎ」を拡張する。
 - ⑥言葉は全部使わなくてもよい。
 - ⑦同じ言葉は2つ用いてはいけない。
 - ⑧付け加えたい言葉があれば、自由に追加してよい。

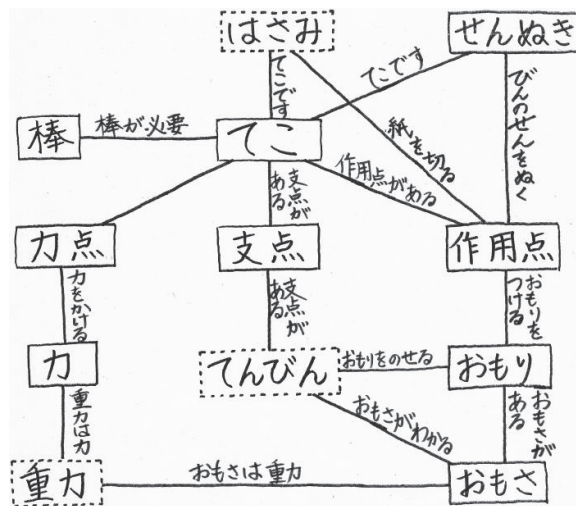
《言葉》

○言葉つなぎで使う言葉（全部使わなくてもよい。）

てこ	支点	力点	作用点	おもり
距離	力	おもさ	棒	せんぬき

○自由に追加してよい言葉（6個まで使ってもよい。）

はさみ	てんびん	重力		
-----	------	----	--	--



説明例を参考にして、「力と運動」についてのあなたの考えを、下の言葉などを用いて「言葉つなぎ」で表せ。

○言葉つなぎで使う言葉（全部使わなくてもよい。）

力と運動	力がたらく	水平面上	等速直線運動	机の上をすべるドライアイス
下り斜面	だんだん速くなる	だんだん遅くなる	静止	力がたらかない

○自由に追加してよい言葉（6個まで使ってもよい。）

--	--	--	--	--

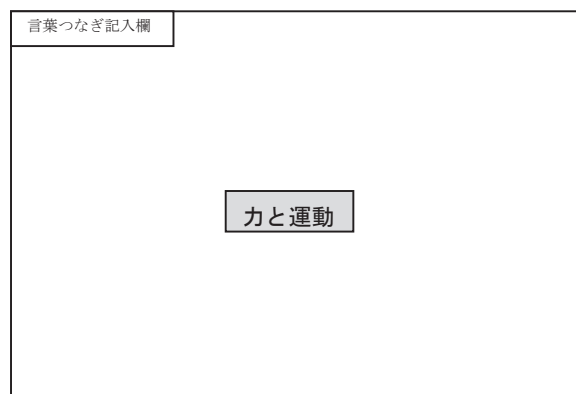
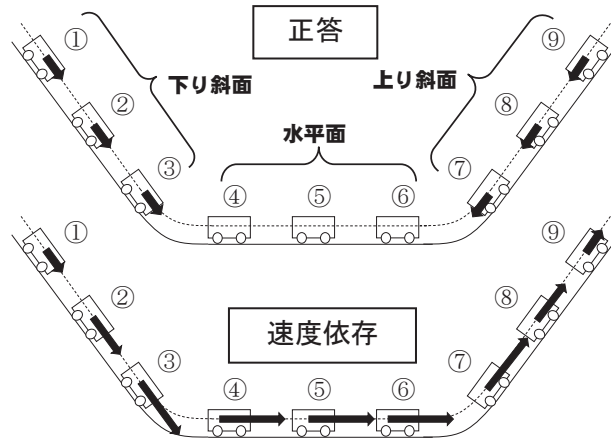
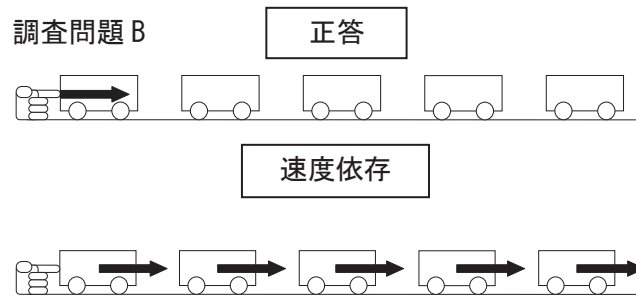


図 5.3 「力と運動」の概念地図

調査問題 A



調査問題 B



調査問題 C

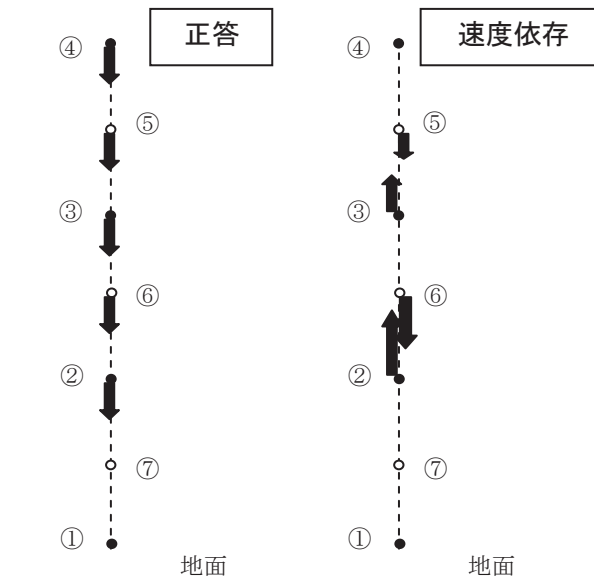


図 5.4 調査問題の正答と典型的な誤回答

5.3 節 「力と運動」領域における授業実践と概念変容に関する調査

5.3.1 項 「力と運動」領域の授業展開

「力と運動」領域に関わる表 5.2 のような授業展開を通して、被験者の力学概念に中学校の理科学習と生活経験がどのように影響するのかを詳細に調査する。調査対象は、長野県公立中学校 3 年生 33 人である。本調査は 2012 年 9 月～2013 年 1 月に行った。授業の形態は中学校で一般的に行われている問題解決的な方法でデザインし、約 1 ヶ月かけて授業展開をした。授業の学習問題とその内容は、表 5.2 に示すとおりである。

表 5.2 「力と運動」領域の授業展開

時限		授業の学習問題と内容
①		問題：身のまわりの物体はどのような運動をしているのだろうか？
②		内容：物体の運動を観察し、力がはたらくと運動の様子が変化することを学習する。
③		問題：角度の異なった斜面上（下り）を運動する物体は、どのような運動をするのだろうか？
④		内容：台車の運動について、「時間と距離」「時間と速さ」の関係をグラフ化し、台車はだんだん速くなる運動をしていることを学習する。
⑤	第 2 法則	問題：角度の異なった斜面上（下り）を運動する物体には、どのような力がはたらいているのだろうか？
⑥		内容：台車がだんだん速くなる運動をしていても一定の力がはたらいていることを学習する。
⑦		問題：角度の異なった斜面上（上り）を運動する物体は、どのような運動をするのだろうか？ 内容：台車の進行方向とは反対方向に一定の力がはたらいていることを学習する。
⑧		問題：水平面上で一定の力がはたらき続けると台車はどのような運動をするのだろうか？ 内容：台車に一定の力を加え続けるとだんだん速くなる運動をすることを学習する。
⑨	第 1 法則	問題：台車に力をはたらかせた後、力をはたらかせるのをやめるとどのような運動をするのだろうか？ 内容：台車に力がかからないとき、静止か等速直線運動することを学習する。
⑩		問題：ホバークラフトはどのような運動をするのだろうか？
⑪		内容：摩擦力がかからないと、どこまでも等速直線運動することを観察し、慣性の法則を学習する。
⑫		問題：ミニカーはどんな運動をしているのだろうか？ 内容：ミニカーにはたらくゼンマイの力と摩擦力がつり合っているときも等速直線運動することを学習する。
⑬	第 3 法則	問題：物体に力を加えたときに、自分も動き出してしまうのはどうしてだろうか？ 内容：作用があれば必ず反作用があり、作用反作用の 2 力の大きさは等しく、その力の方向は一直線上で互いに逆向きであることを学習する。

5.3.2 項 力の大きさを測定する実験教材

中学校の理科学習では、物体の運動の様子を測定する実験装置として記録タイマーを使用し、力の大きさを測定する実験器具としてばねばかりを用いている。ただし、学習者の多くは「運動している物体には力がはたらいている」という MIF 誤概念を構成しており、ばねばかりを用いて行う静止状態の力の大きさだけでなく、運動状態においても力の大きさを測定することが重要となる。そこで、本調査の「力と運動」の授業展開は、記録タイマーとばねばかりを使用する一般的な授業内容に加えて、運動状態においても力の大きさを目視で観察できる実験教材も併用し、授業展開するようにした。なお、使用した実験教材は、著者ら(加藤・定本, 2011)が開発した装置にばねばかり(ナリカ, 押し引きバネばかり)を搭載した図 5.5 のような実験教材で、力学台車にはたらく力の大きさをばねばかりの目盛りとデジタルマルチメーターの数値の両方で同時に測定できるようにした。中学生でも手軽に班ごとの実験で用いることができるようにするため、図 5.6 のような回路図の装置を作製し、力学台車に搭載している。発電器(ケニス, 光電池専用モーター)に接続したタイヤの回転により発生する電圧 V_G は、力学台車の速さに比例することになる。その電圧 V_G を微分回路に接続し、抵抗 R の電圧 V_F を取り出すことで運動状態での加速度表示を可能とする。ただし、中学校の理科学習では「加速度」という用語は扱わないため「力」として表示した。微分回路の時定数については、デジタルマルチメーターのサンプリング時間等を考慮し、 $\tau = RC = 57.8 \text{ ms}$ に設定した。この装置は「力・速さ検出器」と呼ぶ。「力・速さ検出器」を使用した授業は表 5 の⑤～⑨と⑫時限である。

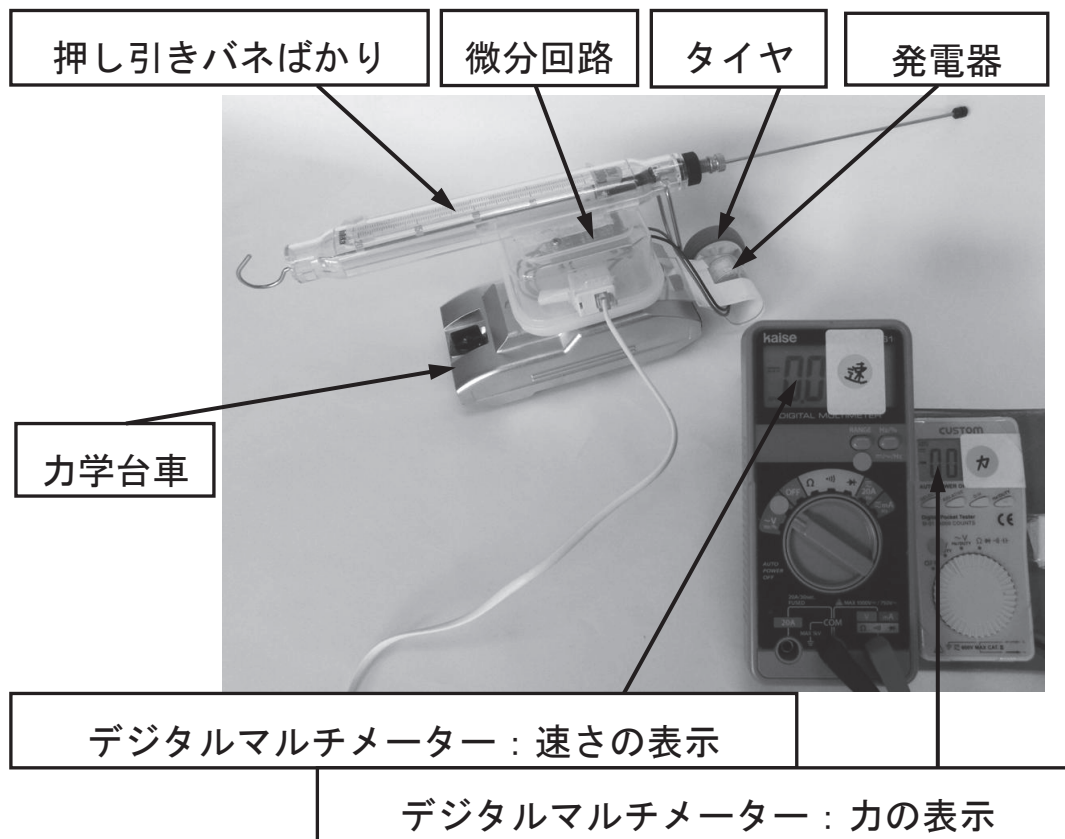


図 5.5 開発した実験教材の全景写真

デジタルマルチメーター

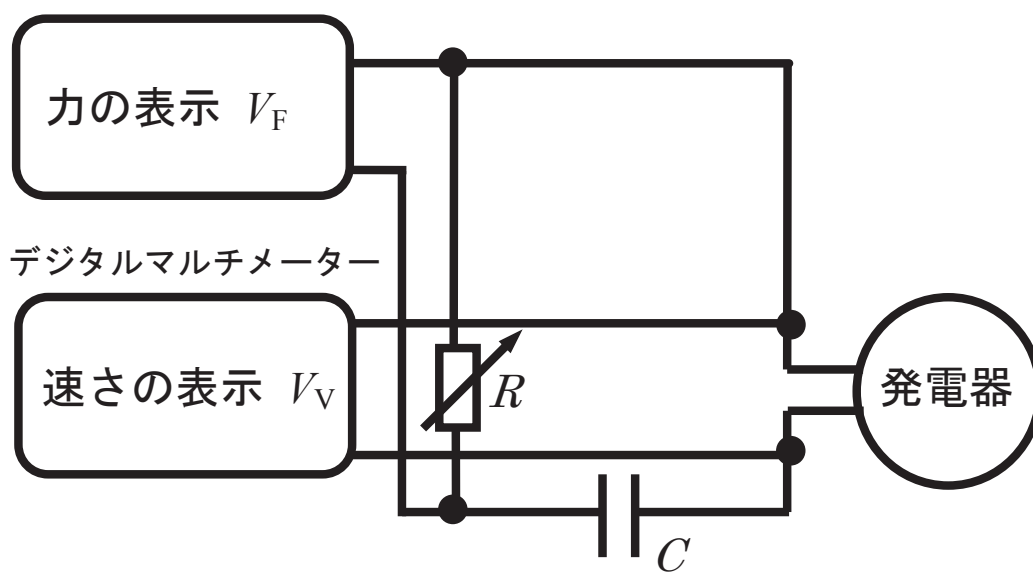


図 5.6 力・速さ検出器にデジタルマルチメーターを取り付けた装置の回路図

5.3.3 項 「力と運動」に関わる調査問題と概念地図

被験者の力学概念が、「力と運動」に関わる理科学習を通してどのように変容するのかを先に示した図 5.2 のような「力と運動」に関わる調査問題 A~C と図 5.3 のような概念地図を用いて調査した。「力と運動」に関わる調査問題と概念地図の調査は、「力と運動」の授業を行う前(第 1 回目: 授業前と表記)と運動の第 2 法則に関わる授業を終えた⑧時限目の後(第 2 回目: 第 2 法則後と表記), 運動の第 1 法則と第 3 法則に関わる授業も終えた授業終了後(第 3 回目: 授業後と表記), 授業終了 2 ヶ月後(第 4 回目: 2 ヶ月後と表記)の合計 4 回である。1 回の調査時間は 40 分間である。なお, 「力と運動」に関わる調査問題 A~C の正答は, 授業を展開する中で被験者に明示しない。また, 被験者が行う図 5.3 の概念地図作成においては図 5.7 に示すような A4 版ホワイトボードにマグネット式のラベルを使用し, ラベルを自由に移動しやすくすることで被験者の概念構成を促した。

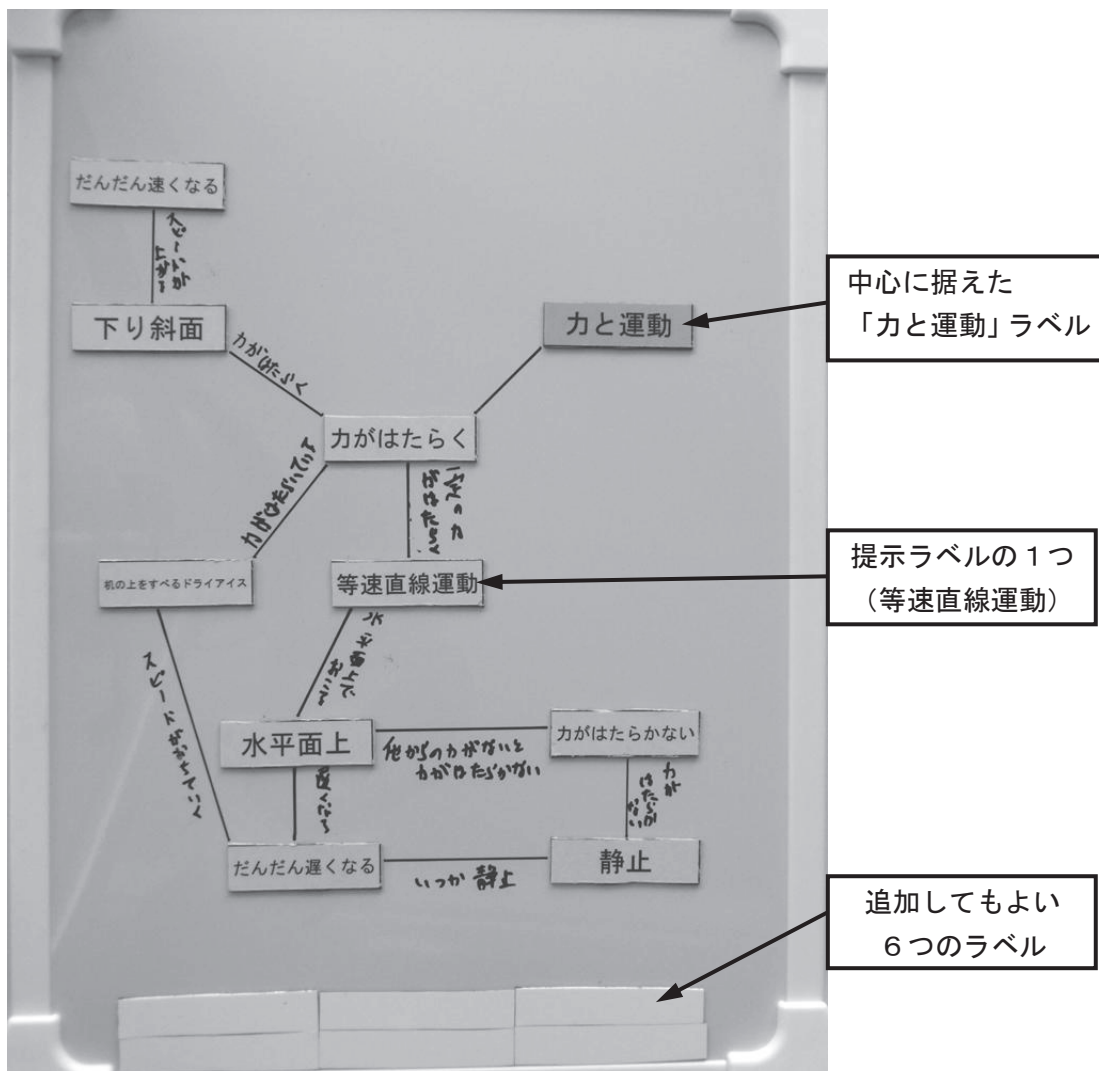


図 5.7 概念地図作成に使用したホワイトボード

6章 結果と考察

6.1節 「運動中の物体にはたらく力」の認識に関する実態調査

2011年2月中旬から3月上旬に行った「運動中の物体にはたらく力」の認識に関する実態調査の被験者は、長野県公立小学校3年生（9歳）、5年生（11歳）と同じく長野県公立中学校1年生（13歳）、3年生（15歳）、合計661人であった。図5.1の調査問題の回答を正答、速度依存、その他に分類し、図6.1のように回答の分布を学年別に示す。

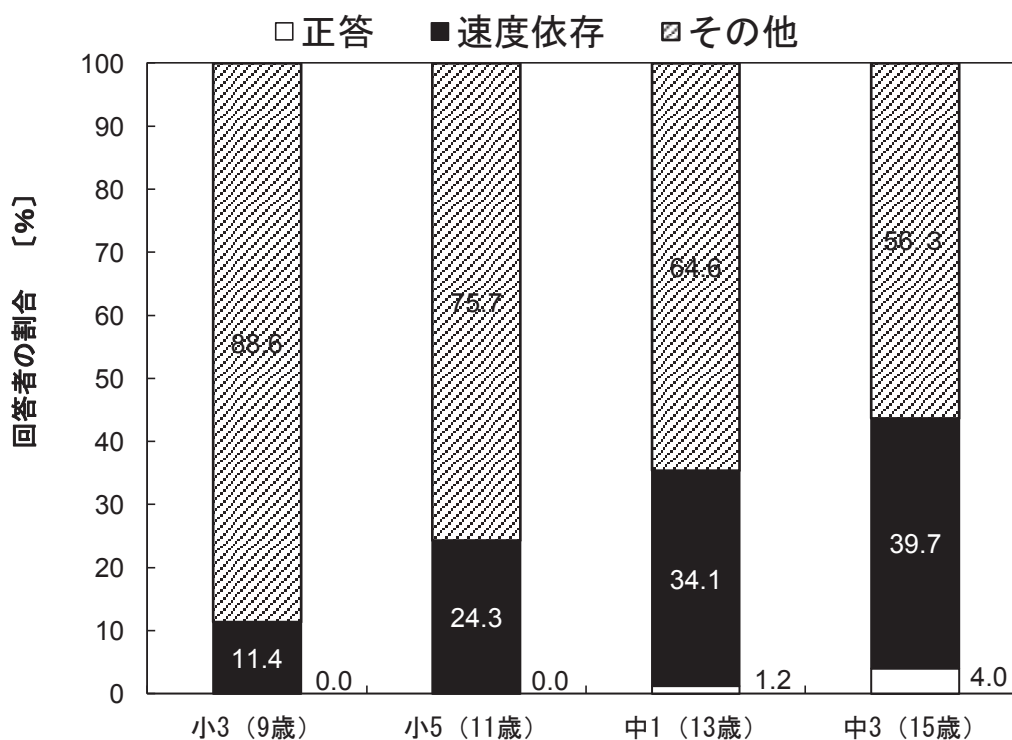


図 6.1 調査問題の学年別回答分布

調査問題の正答者は、図6.1のように中学校1年生から、1.2%とわずかに確認できるものの、「力と運動」の学習を終えた中学校3年生であっても、正答率は4.0%であった。正答率が5%未満であることについては、2009年から行っている調査結果ともほぼ一致している。

このように、2009年から行ってきた調査結果や2011年に行われた調査問題の集計結果から、力と運動に関わる基礎的な学習を終えた中学校3年生であっても、斜面や水平面における力と運動の関係性は正しい知識として身に付いておらず、約40%の生徒は力が速度に依存する誤概念を保持していることが明らかとなった。

表6.1は、調査問題において速度依存の回答をした被験者とそれ以外の回答をした被験者の学年別集計表である。 χ^2 検定の結果、人数の偏りは有意であった($\chi^2(3)=38.9, p<0.1$)。

残差分析によると、表 6.1 のように速度依存の回答については、小学校 3 年生（9 歳）の段階でマイナスに有意となり、小学校 5 年生（11 歳）の段階においては有意な残差は現れなかった。中学生になると中学校 1 年生（13 歳）の段階からプラスに有意傾向となり、中学校 3 年生（15 歳）の段階においてはプラスに有意となった。このような結果から、義務教育段階の児童生徒は、中学生くらいから力が速度に依存するような誤概念を獲得していくことが明らかとなった。

表 6.1 調査問題の回答に関する学年推移と集計表

			速度依存	それ以外	合 計
学年	小 3	実際度数	18	140	158
		期待度数	44.7	113.3	158.0
		学年の%	11.4	88.6	100
		残差	-5.41**	5.41**	
	小 5	実際度数	34	106	140
		期待度数	39.6	100.4	140.0
		学年の%	24.3	75.7	100
		残差	-1.19	1.19	
	中 1	実際度数	56	108	164
		期待度数	46.4	117.6	164.0
		学年の%	34.1	65.9	100
		残差	1.92 [†]	-1.92 [†]	
	中 3	実際度数	79	120	199
		期待度数	56.3	142.7	199.0
		学年の%	39.7	60.3	100
		残差	4.27**	-4.27**	
合計	実際度数	187	474	661	
	期待度数	187	474	661.0	
	学年の%	28.3	71.7	100	

[†]p<.10 *p<.05 **p<.01

調査問題の回答内容をより詳細に分類するために、問題文中の力学台車①の位置ではたらいっている力の大きさや向きを基準とし、下り斜面・水平面・上り斜面の 3 つの場面ごとに表 6.2 のような項目で分類した。このような方法で分類すると、調査問題の正答は、下り斜面で「A」、水平面で「B」、上り斜面で「C」となり、「ABC」と分類される。速度依存の回答は、下り斜面で「D」、水平面で「E」か「F」、上り斜面で「F」となり、「DEF」あるいは「DFF」と分類されることになる。学年ごとに分類をしてみると、小学校 3 年生は合計 53 パターン。小学校 5 年生は合計 45 パターン。中学校 1 年生は合計 63 パターン。中学校 3 年生は合計 61 パターンとなった。このように、どの学年においても数多くのパターンが出現することから、児童生徒は斜面や水平面ではたらく力の関係について、多様な概念構成

をしていることがわかる。詳細については付録 3 に示す。

上記のように、回答パターンが数多く出現することから、調査問題の回答について、選択者の多かった上位の 5 項目を学年別に集計したものを表 6.3 に示す。どの学年においても、5 番目以降の回答者の割合は 5.0% 以下となっている。調査問題の回答について、小学校 3 年生以外は速度依存の回答である「DEF」や「DFF」の回答率が最も高くなっている。また、中学生になると他の選択項目に比べて「DEF」や「DFF」の割合が極端に高くなることがわかる。

表 6.2 回答内容の分類項目

項目	内 容
A	①と同じ大きさの力
B	力がはたらいしていない
C	逆向きで①と同じ大きさの力
D	だんだん大きくなる力
E	③とほぼ同じ大きさの力
F	だんだん小さくなる力
G	逆向きでだんだん大きくなる力
H	①より小さい一定の力
I	①より大きい一定の力
J	その他（無回答も含む）

表 6.3 各学年で多く出現した回答項目と人数〔人〕

順位	小学校 3 年生		小学校 5 年生		中学校 1 年生		中学校 3 年生	
	項目	人数	項目	人数	項目	人数	項目	人数
1	III	18 (11.4)	DFE	22 (15.7)	DEF	35 (21.3)	DEF	71 (35.7)
2	DFE	11 (7.0)	DEF	12 (8.6)	DFE	21 (12.8)	AAA	16 (8.0)
3	AHH IHH	8 (5.1) 8 (5.1)	IAH	11 (7.9)	JJJ	7 (4.3)	JJJ	9 (4.5)
4			III	9 (6.4)	AHI DJJ	5 (3.0) 5 (3.0)	ABC AHH DFE	8 (4.0) 8 (4.0) 8 (4.0)
5	AAA DEF IAH	7 (4.4) 7 (4.4) 7 (4.4)	HHH	7 (5.0)				

(注) カッコ内の数値は学年内の%。

調査問題の回答についてまとめた表 6.1 の結果から、義務教育段階においては高年齢ほど力が速度に依存する誤概念を構成する割合が高くなっていくことが明らかになった。この結果は、福岡・増田(1993)の小中学生を対象に調査した「物理量的な視点」の発達とほぼ一致している。つまり、力が速度に依存する誤概念は、速度に関する物理量的な視点の発達とともに強固な誤概念となっていくことが推測される。

6.2 節 「力と運動」領域における概念地図調査

長野県公立中学校 1～3 年生の生徒と教員養成系大学の学生に「力と運動」に関わる調査問題と概念地図(concept mapping)を出題し、それぞれにどのような対応関係が確認できるのかを調査した。調査時期は 2012 年 7～9 月である。

6.2.1 項 「力と運動」に関わる調査問題の回答

「力と運動」の学習を行っていない中学生のなかで、図 5.2 の調査問題 A～C に正答している生徒は確認されなかった。調査問題 A～C に関わる中学生と大学生の回答者の割合を図 6.2～6.4 に示す。調査問題の回答は、正答と速度依存とその他（速度依存以外の誤回答）に分類される。中学生の分析結果に関しては、各学年の数値に加えて中学生全体の数値も示すようにした。調査問題 A の速度に依存する典型的な誤回答の割合は、中学校 1 年生で 36.1%，中学校 2 年生で 43.2%，中学校 3 年生で 50.0%であった。この結果は、過去に行った著者らによる調査結果とほぼ一致している(第 6 章第 1 節参照)。大学生において、事前調査誤答グループの正答率は、調査問題 A で 7.1%，調査問題 B で 14.3%，調査問題 C で 21.4%であり、1～2 割程度の割合で調査問題の正答者も確認された。また、事前調査誤答グループの中で速度に依存する典型的な誤回答をした学生の回答率は、調査問題 A で 35.7%，調査問題 B で 85.7%，調査問題 C で 50.0%となり、中学生全体との比較で大きな違いは確認されなかった。一方、事前調査正答グループの正答率は、調査問題 A で 100.0%，調査問題 B で 77.8%，調査問題 C で 66.7%であり、比較的多くの学生が科学的に妥当な概念を保持しているグループであることが確認された。また、事前調査正答グループの中で速度に依存する典型的な誤回答をした学生の回答率は、調査問題 A で 0.0%，調査問題 B で 22.2%，調査問題 C で 11.1%であることから、他グループと比較するとその割合は極端に少ないという特徴が確認された。

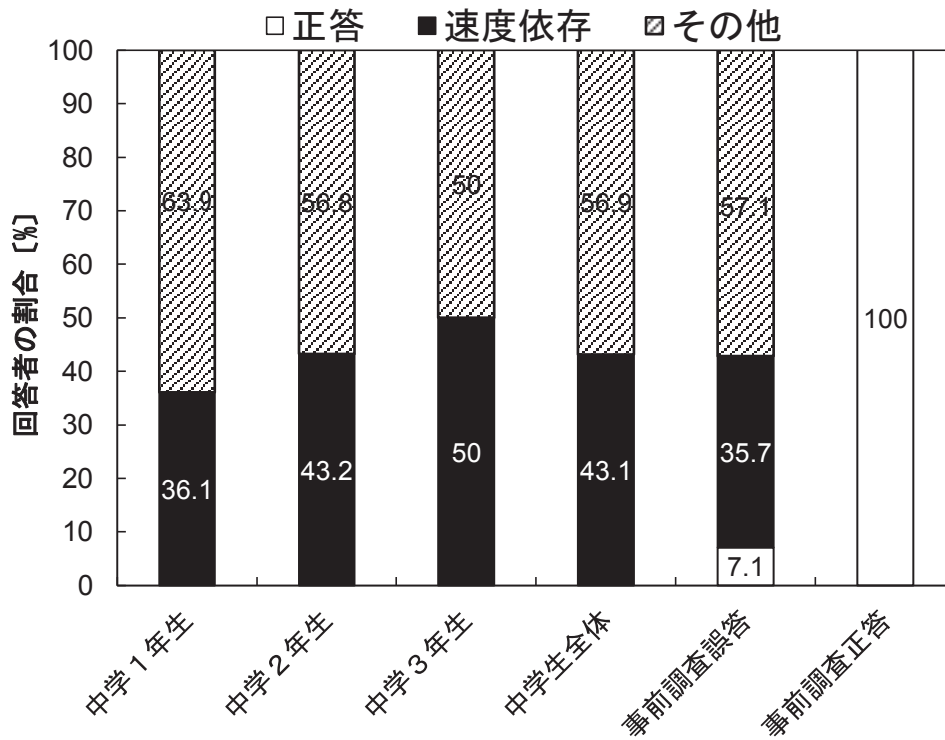


図 6.2 調査問題 A のグループ別回答分布

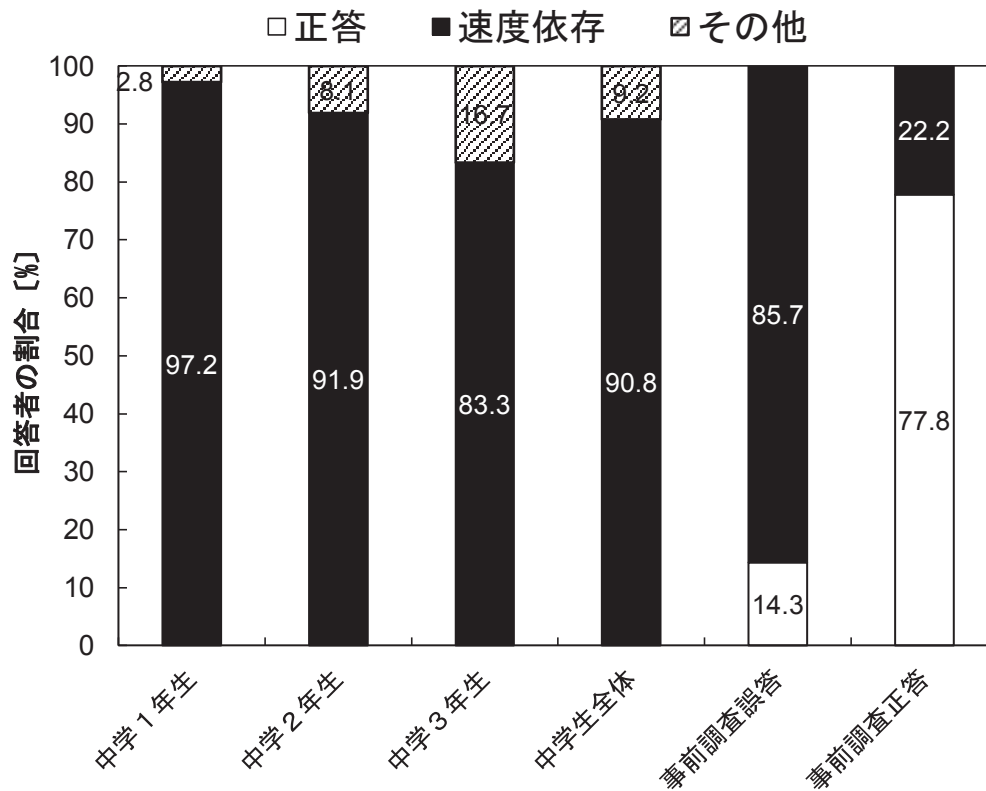


図 6.3 調査問題 B のグループ別回答分布

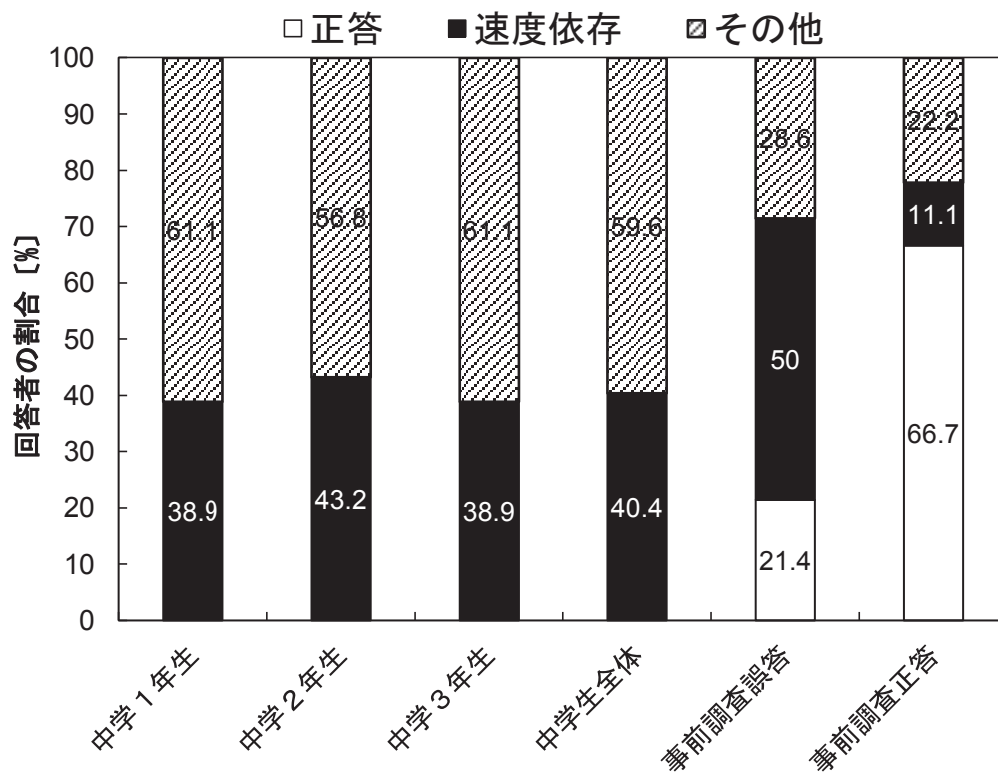


図 6.4 調査問題 C のグループ別回答分布

6.2.2 項 「力と運動」に関わる概念地図の回答

次に、図 5.3 のような「力と運動」を鍵概念ラベルとした概念地図の作成について、9 語の提示ラベルの結合順を分析した結果を表 6.4 に示す。表 6.4 には各グループの結合順に加えてラベルの使用数と使用率も示すようにした。「力がはたらく」と「力がはたらかない」という 2 つのラベルに着目をして、それらの結合順を比較すると、大学生の事前調査誤答グループや事前調査正答グループは、それらの結合順が 2.5 以下の早い結合となり上位ラベルとして被験者に位置付けられている。それに対して「力と運動」の学習を行っていない中学生の場合、「力がはたらく」は結合順の早い上位ラベルであるが、「力がはたらかない」については結合順が遅い下位ラベルになっていることが大きな特徴としてあげられる。また、2012 年 7～9 月に行った本調査においても、2011 年 11 月に行った調査と同様に「静止」が、中学生にとって結合順が遅い下位ラベルとなることが明らかになった。中学生と大学生のラベル使用率を比較すると、「力と運動」の学習を行っていない中学生の方が、概念地図のラベル使用率が全体的に低くなっている。このような結果から、「力と運動」に関する概念の構成が未熟なグループの場合、概念地図のラベル使用率が低くなることが示唆された。

表 6.4 「力と運動」ラベルを中心とした結合順

		力がはたらく	水平面上	等速直線運動	机の上をすべるドライアイス	下り斜面	だんだん速くなる	だんだん遅くなる	静止	力がはたらかない
中学校1年生 合計36人	結合順平均	2.3	3.7	3.0	4.0	3.0	3.6	3.7	4.1	3.6
	使用数〔人〕	32	22	17	15	25	20	23	20	25
	使用率〔%〕	89	61	47	42	69	56	64	56	69
中学校2年生 合計37人	結合順平均	2.2	3.1	2.8	3.0	3.2	3.1	3.2	3.7	3.2
	使用数〔人〕	27	15	19	23	25	27	22	26	24
	使用率〔%〕	73	41	51	62	68	73	59	70	65
中学校3年生 合計36人	結合順平均	2.5	2.9	3.1	2.9	2.9	3.5	3.6	4.1	4.0
	使用数〔人〕	25	23	13	24	27	27	24	25	24
	使用率〔%〕	69	64	36	67	75	75	67	69	67
中学生全体 合計109人	結合順平均	2.3	3.3	2.9	3.2	3.0	3.4	3.5	4.0	3.6
	使用数〔人〕	84	60	49	62	77	74	69	71	73
	使用率〔%〕	77	55	45	57	71	68	63	65	67
大学生 事前調査誤答 合計14人	結合順平均	2.2	3.2	2.9	4.2	2.8	3.1	3.1	3.4	2.5
	使用数〔人〕	12	14	13	12	12	13	14	14	12
	使用率〔%〕	86	100	93	86	86	93	100	100	86
大学生 事前調査正答 合計9人	結合順平均	2.3	2.5	2.7	3.8	3.1	3.1	3.3	3.0	2.3
	使用数〔人〕	7	9	9	6	9	9	9	9	7
	使用率〔%〕	78	100	100	67	100	100	100	100	78

事前調査誤答グループや事前調査正答グループの大学生にとっては、「力がはたらく」と「力がはたらかない」が上位ラベルとして概念構成されていた。そこで、それらのラベルにはどのようなラベルが結合しやすいのかを分析した。これ以降の分析においては、「力がはたらく」と「力がはたらかない」を中心に結合順を分析するため、今回の概念地図の作成で鍵概念ラベルとして位置づけた「力と運動」は経由しないようにして、それらの結合順を分析する。また、「力がはたらく」と「力がはたらかない」が存在する命題において、それらを結ぶ横断結合(Novak & Gowin, 1984) (例えば、「反対の関係」というような結合語) は、その結合線を省いて分析を行う。

「力がはたらく」を中心とした提示ラベルの結合順を表 6.5 に示す。中学生全体のラベル使用率を確認すると「下り斜面」や「だんだん速くなる」の使用率が比較的高く、結合順も早いラベルとなっていることがわかる。また、「机の上をすべるドライアイス」の結合順は 3.1 となっており、「力がはたらく」から比較的早い結合順になっていることが明らかとなった。中学生の「机の上をすべるドライアイス」と結合するラベルの順番やそれを結ぶ結合線に書かれた結合語の内容を確認すると「机の上をすべるドライアイスはだんだん遅くなり、いつかは静止して力がはたらかなくなる」というような日常生活の中で体験する物体の運動を基に概念地図を作成する傾向が確認された。一方、大学生の事前調査誤答グループについては、中学生にとって比較的高い使用率になっていた「下り斜面」「だんだん速くなる」に加えて、「水平面上」「だんだん遅くなる」の使用率が高い。また、「机の上をすべるドライアイス」の結合順は 3.7 となっており、中学生の概念構成とは反対に、事前調査誤答グループの大学生にとっては比較的結合順の遅いラベルとなっていることが明らかとなった。大学生の事前調査正答グループは、「だんだん速くなる」「下り斜面」「だんだん遅くなる」の使用率が高く、他のラベルはほとんど結合しない。「水平面上」については、1 人のみ使用しているが、事前調査正答グループにとっては結合しにくいラベルであることが他のグループとは異なる点である。事前調査正答グループにおいて、「机の上をすべるドライアイス」と「力がはたらく」との結合は確認されなかった。

表 6.5 「力がはたらく」ラベルを中心とした結合順

		力がはたらく	水平面上	等速直線運動	机の上をすべるドライアイス	下り斜面	だんだん速くなる	だんだん遅くなる	静止	力がはたらかない
中学校1年生 合計36人	結合順平均		3.9	3.4	4.0	2.4	2.9	3.6	4.8	4.8
	使用数〔人〕		15	12	10	19	17	18	13	13
	使用率〔%〕		42	33	28	53	47	50	36	36
中学校2年生 合計37人	結合順平均		3.3	3.2	2.5	2.8	2.7	4.3	4.3	5.2
	使用数〔人〕		6	6	11	13	15	8	7	6
	使用率〔%〕		16	16	30	35	41	22	19	16
中学校3年生 合計36人	結合順平均		2.8	3.0	2.9	2.6	2.8	3.5	4.2	5.3
	使用数〔人〕		12	6	14	23	23	15	13	11
	使用率〔%〕		33	17	39	64	64	42	36	31
中学生全体 合計109人	結合順平均		3.4	3.3	3.1	2.6	2.8	3.7	4.5	5.1
	使用数〔人〕		33	24	35	55	55	41	33	30
	使用率〔%〕		30	22	32	50	50	38	30	28
大学生 事前調査誤答 合計14人	結合順平均		2.6	2.6	3.7	2.8	2.6	2.7	3.2	5.0
	使用数〔人〕		10	7	7	9	10	9	5	2
	使用率〔%〕		71	50	50	64	71	64	36	14
大学生 事前調査正答 合計9人	結合順平均		2.0	2.0	／	2.6	2.4	2.5	3.0	／
	使用数〔人〕		1	1	0	7	7	6	1	0
	使用率〔%〕		11	11	0	78	78	67	11	0

次に、「力がはたらかない」ラベルを中心に結合順を分析した結果を表 6.6 に示す。中学生全体のラベル使用率を確認すると「静止」の使用率が高く、結合順も早いラベルとなっている。また、使用率はやや低くなるが「だんだん遅くなる」というラベルの使用率が比較的高く、結合順も早いラベルとなっていることがわかる。「机の上をすべるドライアイス」に着目してみると、その結合順は 4.4 と比較的遅い結合になっており、「力がはたらかない」よりも「力がはたらく」の方が結合しやすいことがわかる。このような結果からも机の上をすべるドライアイスの運動方向には力がはたらいっていないが、多くの中学生は MIF 型の誤概念を構成していることがわかる。一方、大学生の事前調査誤答グループは、「力がはたらかない」との結合順が 3.2 となっており、「力がはたらく」との結合順 3.7 と比較するとドライアイスの運動を摩擦力や空気抵抗がほとんどはたらかないというように運動条件を理想化し、科学的に妥当な概念に近づいていることが示唆される。大学生の事前調査正答グループは、「静止」の使用率がもっとも高く、使用率はやや低くなるが、他にも「等速直線運動」「水平面上」「机の上をすべるドライアイス」が結合する。事前調査正答グループの場合、「力がはたらく」「下り斜面」「だんだん速くなる」「だんだん遅くなる」のラベルは結合しない。このような結果から、事前調査正答グループは、「力がはたらかない」を上位ラベルとして運動の第 1 法則に関わる命題と、「力がはたらく」を上位ラベルとした運動の第 2 法則に関わる命題とで明確に分離をし、概念構成していることが明らかとなった。

表 6.6 「力がはたらかない」ラベルを中心とした結合順

		力がはたらく	水平面上	等速直線運動	机の上をすべるドライアイス	下り斜面	だんだん速くなる	だんだん遅くなる	静止	力がはたらかない
中学校1年生 合計36人	結合順平均	4.8	3.7	4.3	4.8	4.3	5.0	2.9	2.2	
	使用数〔人〕	13	11	6	10	14	12	14	18	
	使用率〔%〕	36	31	17	28	39	33	39	50	
中学校2年生 合計37人	結合順平均	5.2	3.4	4.6	3.7	4.4	4.6	2.2	2.2	
	使用数〔人〕	6	7	7	10	5	7	12	19	
	使用率〔%〕	16	19	19	27	14	19	32	51	
中学校3年生 合計36人	結合順平均	5.3	3.9	5.2	4.6	5.2	4.8	2.9	2.2	
	使用数〔人〕	11	15	5	13	12	12	17	21	
	使用率〔%〕	31	42	14	36	33	33	47	58	
中学生全体 合計109人	結合順平均	5.1	3.8	4.7	4.4	4.6	4.8	2.7	2.2	
	使用数〔人〕	30	33	18	33	31	31	43	58	
	使用率〔%〕	28	30	17	30	28	28	39	53	
大学生 事前調査誤答 合計14人	結合順平均	5.0	3.3	2.8	3.2	5.5	5.5	3.8	2.2	
	使用数〔人〕	2	4	6	6	2	2	5	9	
	使用率〔%〕	14	29	43	43	14	14	36	64	
大学生 事前調査正答 合計9人	結合順平均	／	3.0	2.0	3.0	／	／	／	2.0	
	使用数〔人〕	0	4	4	3	0	0	0	6	
	使用率〔%〕	0	44	44	33	0	0	0	67	

6.2.3 項 「力と運動」における概念構成とその発達

「力と運動」に関わる概念構成を発達的な視点で考えたとき、表 6.4 の中学生グループの調査結果からも明らかなように、「力と運動」に関わる概念が未熟な場合、「力がはたらく」を上位ラベルとして概念構成し、その後は結合順の早いラベルから並べると「等速直線運動」「下り斜面」「机の上をすべるドライアイス」「水平面上」「だんだん速くなる」「だんだん遅くなる」と様々な運動の様子を日常生活での経験を踏まえて概念地図上に表記する傾向が確認できる。そして、動いている物体は最終的に「静止」して、「力がはたらかない」というように物体の運動を一連の概念系列の中で捉え、MIF 型の概念を構成している。大学生になると「力がはたらく」だけでなく「力がはたらかない」も上位ラベルとして構成され、「力と運動」の概念が発達していく傾向が確認できる。また、「机の上をすべるドライアイス」の運動条件が理想化され、「力がはたらかない」と結合しやすくなる傾向が確認される。最終的には事前調査正答グループのように「力と運動」に関わる概念構成が成熟すると、「力がはたらく」を中心的なラベルとして、運動の第 2 法則に関わる「だんだん速くなる」「だんだん遅くなる」「下り斜面」が結合する。また、「力がはたらかない」は、それを中心的なラベルとして運動の第 1 法則に関わる「等速直線運動」「静止」「水平面上」「机の上をすべるドライアイス」が結合する傾向が確認できる。事前調査正答グループの結合順を基に作成した概念地図は図 6.5 のようなものである。

Novak & Gowin (1984) の概念地図法を参考にすると「机の上をすべるドライアイス」のような具体的な事象ラベルは下位ラベルとして位置付くことが示されている。実際に中学生が理科授業で扱うラベルとしては「だんだん速くなる」には「自由落下」というラベルの結合が考えられる。また、「だんだん遅くなる」には「摩擦力がはたらく面での運動」などの結合も考えられる。高校生の物理授業を想定した場合は、「力がはたらかない」と並列に「つり合い」というラベルを想起させたり、「力がはたらく」には「等加速度直線運動」のようなラベルも位置付かせたい。実際に今回の調査でも事前調査正答グループの中には、これらのラベルを追加ラベルとし、力学概念を構成している大学生も確認された。

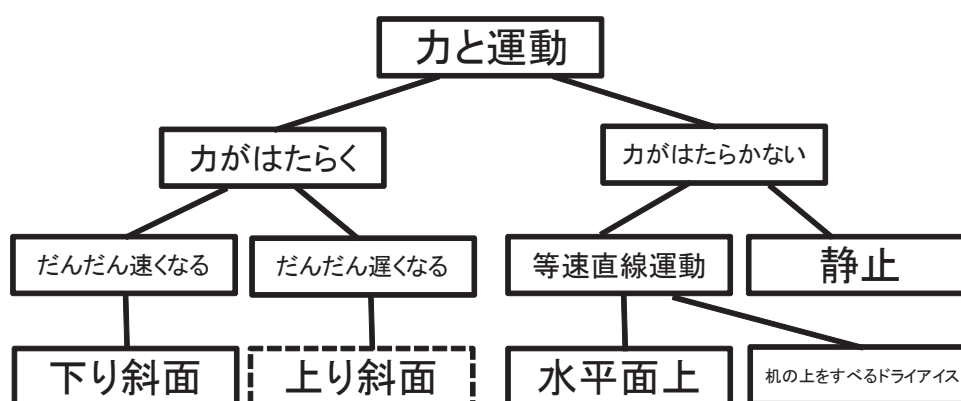


図 6.5 事前調査正答グループの典型的な概念地図

6.3 節 「力と運動」領域における授業実践と概念変容に関する調査

「力と運動」領域に関わる表 5.2 のような授業展開を通して、被験者の力学概念に中学校の理科学習と生活経験がどのように影響するのかを詳細に調査した。調査は 2012 年 9 月から 2013 年 1 月に行い、調査対象は長野県公立中学校 3 年生 33 人であった。その結果と考察は以下のようなものである。

6.3.1 項 「力と運動」に関わる調査問題の回答

「力と運動」に関わる調査問題 A～C の正答と典型的な誤回答は図 5.4 に示した。調査問題 A～C の典型的な誤回答は、運動する物体の速度に依存する誤回答（速度依存と表記）である。調査問題 A と B の水平面上の運動については、空気抵抗や床との摩擦力等を考えて、少しずつ小さくなる力を記入した回答もあったが、ここでは速度依存の分類に入れることにする。調査問題 A～C に関わる回答者の割合とその変遷を図 6.6～6.8 に示す。調査問題の回答は、正答と速度依存とその他（速度依存以外の誤回答）に分類される。

「授業前」の段階で、図 5.2 の調査問題 A～C に正答している被験者は確認されなかった。「第 2 法則後」の段階では、調査問題 A と B に正答した被験者が 1 人確認され、調査問題 C は運動の第 2 法則のみに関わる内容の問題であることから、調査問題 A や B と比較すると正答者の割合が高くなっていった。「授業後」の段階では、運動の第 1 法則に関わる内容も終了していることから、調査問題 A と B の正答者の割合が増加した。調査問題 C の「授業後」段階での正答者は、「第 2 法則後」の調査から約 1 週間後の僅かな期間をおいてからの調査であったが、正答者の割合は半減した。「2 ヶ月後」の段階では、調査問題 A と B の正答者の割合は減少したが、調査問題 C の正答者の割合の変動は確認されなかった。速度依存の回答者の割合は、調査問題 A～C において、「第 2 法則後」の段階で減少するものの、調査問題 A と B はその後増加傾向にあった。

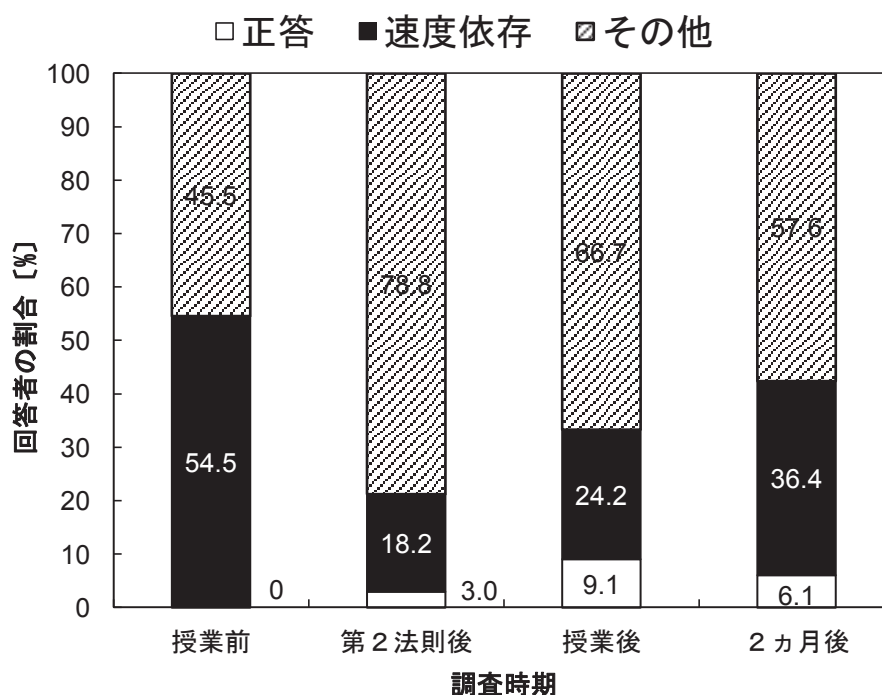


図 6.6 調査問題 A の回答者の割合とその変遷

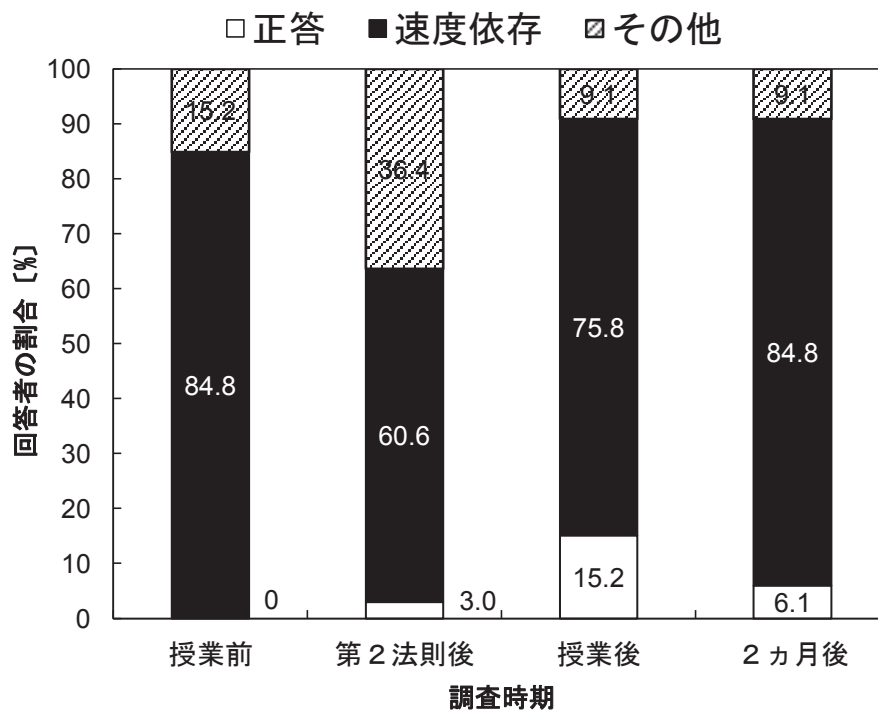


図 6.7 調査問題 B の回答者の割合とその変遷

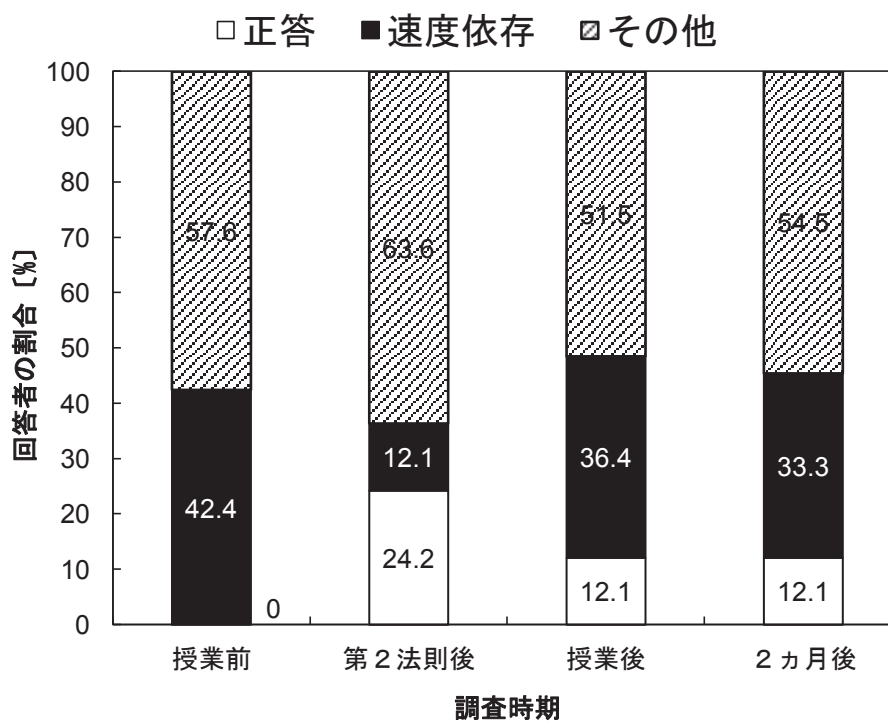


図 6.8 調査問題 C の回答者の割合とその変遷

6.3.2 項 「力と運動」に関わる概念地図の回答

6.3.2.1 「力と運動」を中心とした結合順とその変遷

次に、図 5.3 のような「力と運動」を鍵概念ラベルとして中心に据えた概念地図の作成について、9 語の提示ラベルが結合する順番を集団レベルで分析した結果を表 6.7 に示す。表 6.7 には各調査段階での結合順平均に加えてラベルの使用数と使用率も示した。

運動の第 2 法則に関わる「力がはたらく」と運動の第 1 法則に関わる「力がはたらかない」という 2 つのラベルに着目をし、その結合順の変遷を比較したものを図 6.9 に示す。「授業前」の段階では、「力がはたらく」ラベルの結合順が 2.7 となり、「力がはたらかない」は 3.4 となった。被験者は「力がはたらく」を上位ラベルとして力学概念を構成し、その後は様々な運動の様子を日常での経験を踏まえて概念地図上に表記する傾向が認められた。そして、「力がはたらかない」と、動いている物体は最終的に「静止」というように物体の運動を一連の概念の系列の中で捉え、MIF 誤概念を構成していた。このような傾向は、2012 年 7～9 月に行った調査結果と同様であった(第 6 章第 2 節参照)。「第 2 法則後」の段階では両ラベルの数値がそれぞれ下がり、「授業後」の段階ではほぼ同じ数値に変化した。このような結果から、中学校の理科学習を通して両ラベルは被験者にとって同程度の上位ラベルとして変容することが明らかとなった。さらに、授業の終了「2 ヶ月後」の結合順に着目してみると、両ラベルとも「授業後」段階よりも数値が下がり、被験者にとってより重要な上位ラベルとして位置付くことが確認された。

表 6.7 「力と運動」ラベルを中心とした結合順

調査時期		力がはたらく	水平面上	等速直線運動	机の上をすべるドライアイス	下り斜面	だんだん速くなる	だんだん遅くなる	静止	力がはたらかない
		授業前	結合順平均	2.7	2.9	2.8	2.7	2.9	3.5	3.6
	使用数〔人〕	32	29	22	30	31	32	32	31	32
	使用率〔%〕	97	88	67	91	94	97	97	94	97
第2法則後	結合順平均	2.5	3.3	3.8	3.5	2.9	3.6	3.4	4.0	3.1
	使用数〔人〕	33	33	18	27	33	33	30	31	30
	使用率〔%〕	100	100	55	82	100	100	91	94	91
授業後	結合順平均	2.8	3.1	3.5	3.6	3.0	3.6	3.6	3.8	2.7
	使用数〔人〕	33	32	33	32	33	33	32	33	33
	使用率〔%〕	100	97	100	97	100	100	97	100	100
2ヵ月後	結合順平均	2.3	3.0	3.6	3.8	2.8	3.7	3.8	4.2	2.3
	使用数〔人〕	33	33	33	33	32	33	33	33	33
	使用率〔%〕	100	100	100	100	97	100	100	100	100

調査対象の人数は33人である。

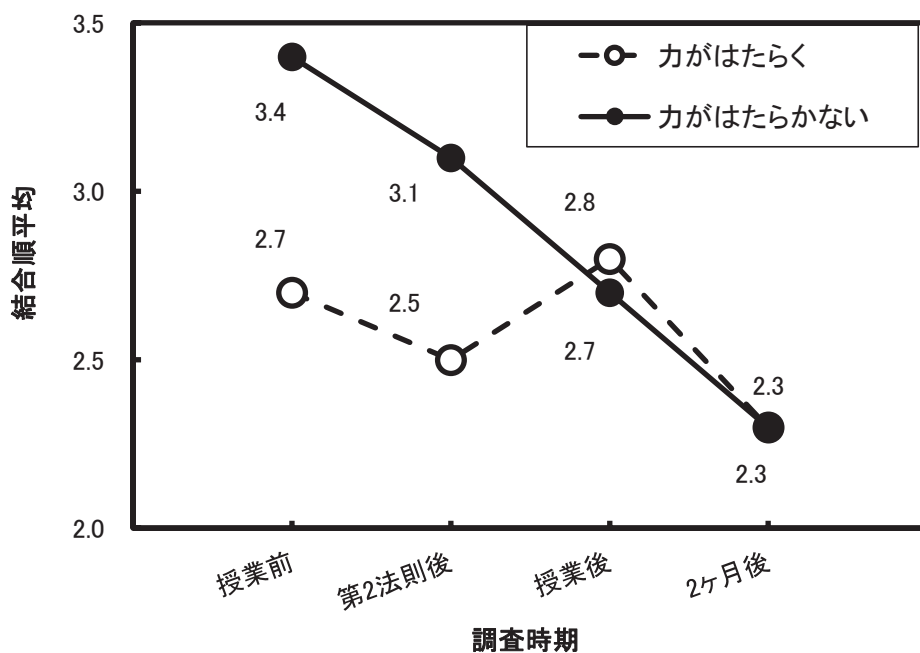


図 6.9 力のはたらきに注目した結合順の変遷

6.3.2.2 「力がはたらく」を中心とした結合順とその変遷

次に、「力がはたらく」と「力がはたらかない」ラベルには、授業を通してどのようなラベルが結合しやすくなるのかを集団レベルで分析した。これ以降は、「力がはたらく」と「力がはたらかない」を中心に結合順を分析するため、今回の概念地図の作成で鍵概念ラベルとして位置付けた「力と運動」は経由しないようにして、結合順や使用率を分析する。また、「力がはたらく」と「力がはたらかない」が存在する命題において、それらを結ぶ横断結合(Novak & Gowin, 1984)は、その結合線を省いて分析を行うことにする。例えば、「反対の関係」や「逆」という結合語が確認された。

「力がはたらく」を中心とした提示ラベルの結合順や使用率を分析した結果を表 6.8 に示す。全体のラベル使用率を確認すると「下り斜面」や「だんだん速くなる」の使用率が比較的高く、結合順も早いラベルとなっていることがわかる。使用率については、両ラベルとも調査期間を通して70%以上の高い割合で推移した。「だんだん遅くなる」は、「授業後」の段階で70%ともっとも割合が高くなるものの、調査期間を通して50~70%で推移し、「下り斜面」や「だんだん速くなる」と比較すると結合しにくい傾向が確認された。

表 6.8 「力がはたらく」ラベルを中心とした結合順

調査時期		力がはたらく	水平面上	等速直線運動	机の上をすべるドライアイス	下り斜面	だんだん速くなる	だんだん遅くなる	静止	力がはたらかない
授業前	結合順平均		3.2	3.0	2.8	2.5	2.7	3.5	4.2	4.5
	使用数[人]		18	14	19	24	23	17	17	16
	使用率[%]		55	42	58	73	70	52	52	48
第2法則後	結合順平均		2.8	3.3	3.3	2.5	2.4	3.4	4.4	4.1
	使用数[人]		26	14	20	30	30	19	15	14
	使用率[%]		79	42	61	91	91	58	45	42
授業後	結合順平均		3.0	3.9	3.8	2.5	2.6	2.9	4.2	4.3
	使用数[人]		21	18	19	31	31	23	15	11
	使用率[%]		64	55	58	94	94	70	45	33
2カ月後	結合順平均		2.9	3.5	3.7	2.2	2.5	3.1	4.2	4.6
	使用数[人]		18	15	14	31	32	20	13	9
	使用率[%]		55	45	42	94	97	61	39	27

調査対象の人数は33人である。

6.3.2.3 「力がはたらかない」を中心とした結合順とその変遷

「力がはたらかない」ラベルを中心に結合順や使用率を集団レベルで分析した結果を表 6.9 に示す。全体のラベル使用率を確認すると「静止」の使用率がもっとも高く、結合順も早いラベルとなっている。また、使用率はやや低くなるが「だんだん遅くなる」というラベルの使用率が比較的高く、結合順も早いラベルとなっていることがわかる。2012年7～9月に行った調査によると、科学的に妥当な力学概念を保持している可能性の高い学習者は、「力がはたらかない」と「だんだん遅くなる」が結合しにくいラベルとして位置付けている(第6章第2節参照)。しかし、表 6.9 の「力がはたらかない」と「だんだん遅くなる」のラベルの結合順や使用率の推移を確認してみると、運動の第1法則に関わる学習を行った「授業後」の段階で、結合順が 3.3 とやや遅くなり、ラベルの使用率も 55% と調査期間の中ではもっとも低い割合になっているものの、全体的には 50% 以上の高い割合で推移し続け、被験者にとって分離しにくいラベルであることが明らかとなった。

表 6.9 「力がはたらかない」ラベルを中心とした結合順

調査時期		力がはたら	水平	等速	机の上をす	下り	だんだん	だんだん	静止	力がはたら
		らく	面上	直線	べるドライ	斜面	速くなる	遅くなる		かない
授業前	結合順平均	4.3	3.4	4.5	3.8	5.3	5.7	2.8	2.4	
	使用数[人]	15	19	11	15	12	12	24	26	
	使用率[%]	45	58	33	45	36	36	73	79	
第2法則後	結合順平均	4.1	3.8	3.4	3.5	4.7	4.6	3.0	2.3	
	使用数[人]	14	18	5	12	15	14	23	28	
	使用率[%]	42	55	15	36	45	42	70	85	
授業後	結合順平均	4.3	3.1	2.8	3.6	5.0	5.2	3.3	2.4	
	使用数[人]	11	19	23	20	10	10	18	28	
	使用率[%]	33	58	70	61	30	30	55	85	
2ヵ月後	結合順平均	4.8	3.4	3.5	3.5	4.4	4.6	2.8	2.7	
	使用数[人]	8	16	16	17	10	10	21	28	
	使用率[%]	24	48	48	52	30	30	64	85	

調査対象の人数は 33 人である。

6.3.3 項 授業後段階で妥当な概念を獲得した被験者

「授業後」の段階で、図 5.2 の調査問題の 3 題に完全正答した被験者が 3 人確認され、その「2 ヶ月後」の段階では 1 人となった。この 2 ヶ月後に「力と運動」に関わる 3 題の調査問題で完全正答にならなかった 2 人の被験者は、どのようなことが要因となって誤概念を再構成しているのかを明らかにするため、「授業後」の段階で科学的に妥当な概念を獲得した可能性の高い 3 人の「授業後」と「2 ヶ月後」の概念地図を図 6.10 に示し、分析した結果を表 6.10 に示す。表 6.10 には、「力と運動」「力がはたらく」「力がはたらかない」を中心的なラベルとしたときの結合順平均に加えて、ラベルの使用数と使用率も示した。被験者 3 人の図 6.10 の拡大資料は、資料 1～3 に示す。

3 人の被験者は、「授業後」の段階で図 6.5 と類似した運動法則に関わる命題でそれぞれのラベルが完全に分離する概念地図を作成していた。「2 ヶ月後」の段階では、3 題の調査問題に完全正答した 1 人の被験者は同様の概念地図を作成し続けた。しかし、3 題の調査問題の一部で誤回答をした 2 人の被験者は、「2 ヶ月後」の段階で、概念地図の作成において「力がはたらかない」に「だんだん遅くなる」ラベルが結合し、力学概念を再構成するようになる共通点が確認された。「力がはたらかない」と「だんだん遅くなる」ラベルが結合しやすい表 6.9 や表 6.10 の分析結果から、被験者の力学概念の構成において、「力がはたらかない」と「だんだん遅くなる」という生活経験が、理科学習後の概念の再構成に影響を及ぼす傾向が確認された。

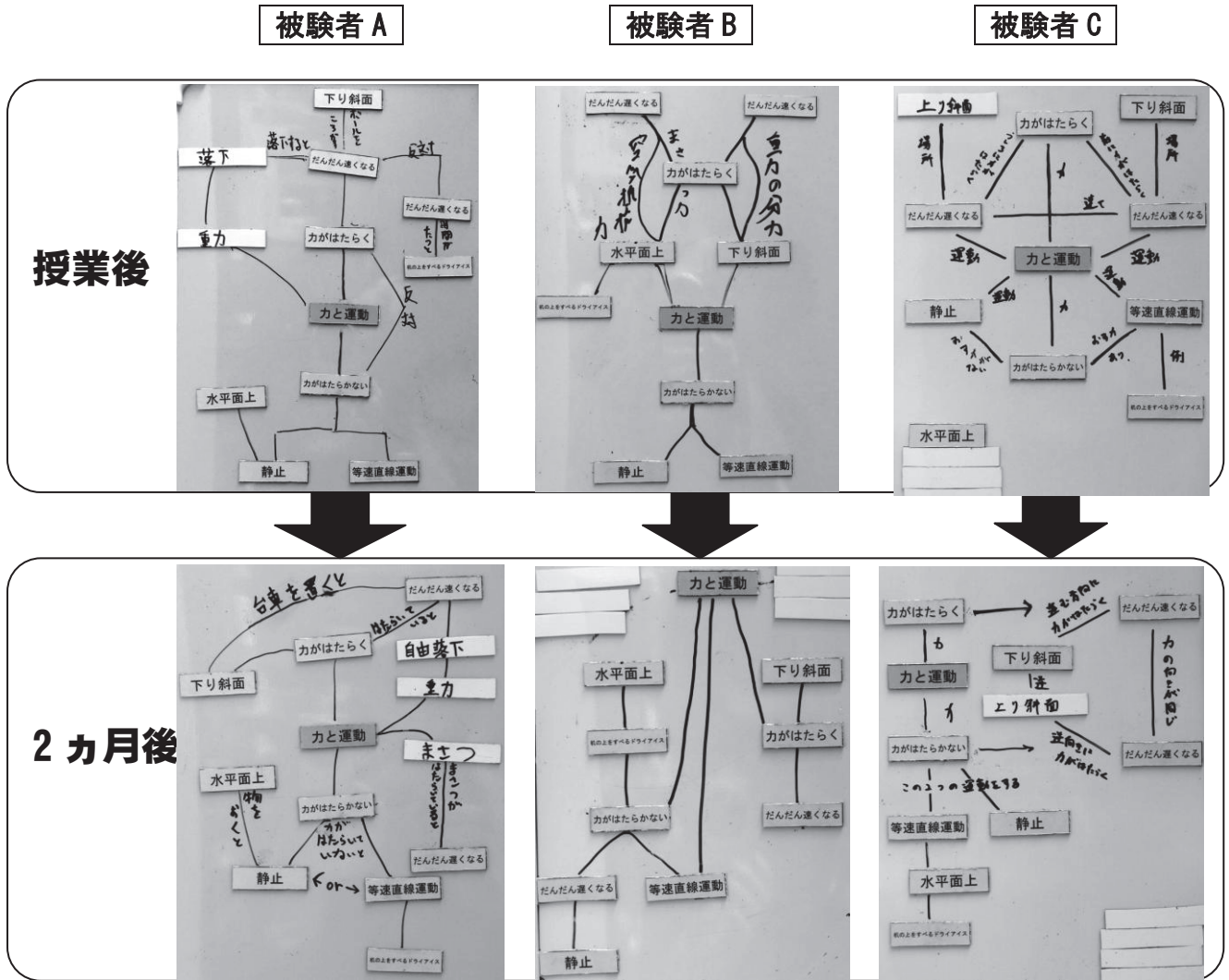


図 6.10 「授業後」段階で妥当な概念を獲得した被験者 3 人の概念地図の変化(資料 1,2,3 に拡大図再掲)

表 6.10 「授業後」に妥当な概念を獲得した被験者

中心ラベル	調査時期		力がはたらく	水平面上	等速直線運動	机の上をすべるドライアイス	下り斜面	だんだん速くなる	だんだん遅くなる	静止	力がはたらかない
			力と運動	授業後	結合順平均	2.3	3.0	2.7	3.7	3.0	2.7
使用数[人]	3	2			3	3	3	3	3	3	3
使用率[%]	100	67			100	100	100	100	100	100	100
2ヵ月後	結合順平均	2.0		4.0	2.7	4.0	3.3	3.0	3.0	3.3	2.0
	使用数[人]	3		3	3	3	3	3	3	3	3
	使用率[%]	100		100	100	100	100	100	100	100	100
力がはたらく	授業後	結合順平均		2.0	/	3.5	2.7	2.0	2.3	/	/
		使用数[人]		1	0	2	3	3	3	0	0
		使用率[%]		33	0	67	100	100	100	0	0
	2ヵ月後	結合順平均		6.0	5.0	7.0	2.3	2.0	3.0	5.0	4.0
		使用数[人]		1	1	1	3	3	1	1	1
		使用率[%]		33	33	33	100	100	33	33	33
力がはたらかない	授業後	結合順平均	/	3.0	2.0	3.0	/	/	/	2.0	
		使用数[人]	0	1	3	1	0	0	0	3	
		使用率[%]	0	33	100	33	0	0	0	100	
	2ヵ月後	結合順平均	4.0	3.0	2.0	3.0	4.0	3.0	2.0	2.3	
		使用数[人]	1	3	3	3	1	1	2	3	
		使用率[%]	33	100	100	100	33	33	67	100	

調査対象の人数は3人である。

7章 結論

本研究では、「力と運動」に関わる調査問題と概念地図を用いて被験者の力学概念の構成を詳しく調査した。その結果を第4章の(1)～(5)に対応させて要約すると次のようになる。

- (1) Clement (1983) や相澤・蛭田(1987)の知見により、日常での生活経験が学習者の誤概念の構成に影響していると示唆されている。そこで、「力が速度に依存する誤概念」が、義務教育段階の児童生徒にどのように構成されているのかについて、小学校3年生(9歳)、小学校5年生(11歳)、中学校1年生(13歳)、中学校3年生(15歳)を対象に調査した。

調査問題の誤回答の多くは力が速度に依存する回答であり、これは、例えば Champagne et al. (1980)の知見と同様である。新たな知見としては、本研究で使った図5.1の調査問題において、義務教育段階の児童生徒の年齢が高くなるほど、力が速度に依存する誤概念を構成する割合が高くなることがわかった。特に中学校1年生段階から、速度依存の誤概念が強くなり始めることが明らかとなった。

- (2) 物理学の問題を初学者と熟達者に分類させると、初学者は問題の表層的な構造に着目して分類するのに対し、熟達者は運動の第1法則の問題、第2法則の問題、のように問題の解決方法に直結した深層的な構造に着目して分類することが過去の知見として示されている(Chi et al., 1981)。本研究では、「力と運動」に関わる調査問題の回答と概念地図を比較した場合、どのような対応関係が確認できるのかを調査した。その結果、新しい知見として以下のようなことが明らかになった。

中学生のように「力と運動」に関わる概念が未熟な場合、「力がはたらく」を上位ラベルとして概念構成し、動いている物体は最終的に「静止」して、「力がはたらかない」というように物体の運動を一連の概念系列の中で捉え、MIF型の概念を構成していた。

大学生になると「力がはたらく」だけでなく「力がはたらかない」も上位ラベルとして構成されていく傾向が確認できた。また、「机の上をすべるドライアイス」の運動条件が理想化され、「力がはたらかない」と結合しやすくなる傾向が確認された。

大学生の事前調査正答グループのように「力と運動」に関わる概念構成が成熟している場合、「力がはたらく」を中心的なラベルとして、運動の第2法則に関わる「だんだん速くなる」「だんだん遅くなる」「下り斜面」が結合する。また、「力がはたらかない」は、それを中心的なラベルとして運動の第1法則に関わる「等速直線運動」「静止」「水平面上」「机の上をすべるドライアイス」が結合する傾向が確認できた。事前調査正答グループの結合順を基に作成した概念地図は図6.5のようなものであった。

- (3) 結論(2)の知見を基にして、中学生を対象に「力と運動」領域の授業を展開し、被験者の力学概念に中学校の理科学習と生活経験がどのように影響するのかを「力と運動」に関わる調査問題と概念地図を用いて詳しく調査した。

新しい知見としては、概念地図の作成を集団レベルで分析した結果、授業前の段階で下位ラベルとなっていた「力がはたらかない」は、その後の理科学習を通して「力がはたらく」ラベルと同様に上位ラベルとして力学概念が構成されるように変容した。

- (4) 調査期間を通して、科学的に妥当な力学概念を保持した可能性の高い被験者は、概念

地図の作成において「力がはたらく」と「力がはたらかない」を上位ラベルとし、運動の第 1 法則と第 2 法則に関わる命題で分離して図 6.5 と類似した力学概念を構成した。これも新しい知見である。

- (5) 中学校の理科学習において「力がはたらかない」と「だんだん遅くなる」ラベルの分離は困難であり、被験者の概念構成において、「力がはたらかないとだんだん遅くなる」という生活経験が、科学的に妥当な概念を獲得する際に弊害を及ぼした。また、理科学習を通して一時的に科学的に妥当な概念を構成した被験者でも、その後「力がはたらかないとだんだん遅くなる」という生活経験が、MIF 誤概念の再構成に影響を及ぼす傾向が確認された。これも概念地図法のラベル変化を分析した新たな知見である。

8章 今後の課題

近年、認知科学を中心としたこれまでの学問的蓄積を活かしつつ、よりよい教育を生み出すため、学習科学を基盤とした研究が進められている。学習科学は、学習環境をデザインし、すべての学習者に理想的な学習プロセスを生み出すことを目的としている。2014年に発刊された「科学教育研究」特集号では、日本を代表する学習科学研究者の一人である三宅が、「人はいかに学ぶか」という研究の必要性を述べた。そして、わが国には学びの多様性や学習者がどのようなモデルをつくり、それをどのように変容していけるかについての理論がないと主張した(三宅ら, 2014)。

本研究の「力と運動」領域のように、生活経験の影響が強く働く学習領域であれば、誤概念が強く構成される前に、より低学年段階で学ぶ方がよいと考えられる。しかし、運動の第1法則の学習内容は抽象化されたものであるため、高学年段階で学ぶ方がよいともいえる。このようなことから学習者の発達段階等をふまえ、学習者の実態を包括的にとらえた理科カリキュラムを作成していく必要がある。また、この学習領域のような生活経験が学習者の誤概念構成に強く影響してしまう学習内容については、理想的な条件を設定した実験や観察を通して、体験的な学習活動を充実させる必要がある。例えば、高校物理では一般的であるエアートラックの実験を中学校の理科の授業でも活用できるように改良し、摩擦力がほとんどはたらないような条件のもとでの実験や観察の時間を十分に確保することで、運動の第1法則についての理解を深めるような指導を行うことが考えられる。具体的には、物体に最初だけ力を加えたものが、等速直線運動を続けることを理解させたり、動いているときに、さらに運動の向きに力を加えるとより加速することを実感させたりすることで、科学的に妥当な概念構成を促進するような実験を取り入れた授業をデザインする必要があると感じている。

本研究の「力と運動」領域における授業実践と概念変容に関する調査の結果(第6章第3節)で興味深かったのは、授業終了2ヵ月後の段階で図5.2の「力と運動」に関わる3題の調査問題に完全正答した被験者Aの学習過程であった。本研究の結果と考察では、被験者を集団レベルで分析したため議論することは控えたが、被験者Aの概念変容は他の被験者と比較すると特殊なものであった。本調査で行った授業実践の授業展開を表5.2に示し、研究方法でも述べたように「力と運動」に関わる調査問題と概念地図の調査は、「力と運動」の授業を行う前(第1回目:授業前と表記)と運動の第2法則に関わる授業を終えた⑧時限目の後(第2回目:第2法則後と表記)、運動の第1法則と第3法則に関わる授業も終えた授業終了後(第3回目:授業後と表記)、授業終了2ヵ月後(第4回目:2ヵ月後と表記)の合計4回行った。

調査期間の中で、被験者Aは第2回目の調査(運動の第2法則に関わる授業を終えた⑧時限目の後)段階で、図5.2の「力と運動」に関わる3題の調査問題に完全正答し、概念地図も「力がはたらく」と「力がはたらない」ラベルを完全に分離させ、図6.5と類似した力学概念を構成していたのである。つまり、被験者Aは、運動の第1法則に関わる理科学習を行う以前に科学的に妥当な力学概念を構成していた可能性が高いのである。被験者Aの第2回目調査段階の概念地図は資料4に示す。

全ての調査が終了してから、被験者Aに早い段階で「力と運動」に関わる3題の調査問

題に正答していたことを伝え、正答に至った考えを尋ねたが、被験者 A は「力はそのようにはたらくから…」と控えめに答えるだけであった。被験者 A が構成していた誤概念が、どのような学習を通して科学的に妥当な力学概念に変容したのかについては、本研究内容では不十分である。今後は、調査対象となる被験者数を増やし、被験者 A のような科学的に妥当な概念を保持した学習者に、インタビュー調査等を含め、力学概念の変容過程を詳細に調査する必要があると考えている。

最後に、もう 1 点、本研究では取り扱わなかった性差の影響に関して、今後の課題として述べておきたい。著者らは、第 5 章第 1 節の事前調査として、2009 年に教員養成系大学の学部 1 年生 (170 人) と大学院生 (97 人) を対象に図 5.1 の調査問題を出題し、力と運動に関わる実態を調査した。本研究の第 5 章第 2 節でも述べたように、被験者となった学生は所謂文系学生であり、高校で物理 I・II を履修した学生の割合は、毎年変動するが、全体の 10~20% である。調査の結果、図 5.1 の調査問題に対する正答者は 267 人中 8 人 (正答率 3.0%) であり、正答者 8 人の性別は男性が 7 人で女性が 1 人であった。また、第 5 章第 1 節の「運動中の物体にはたらく力」の認識に関する実態調査において、図 5.1 の調査問題に対する正答者は、中学校 1 年生の 164 人中 2 人 (正答率 1.2%) と中学校 3 年生の 199 人中 8 人 (正答率 4.0%) であったが、その正答者 10 人の性別は全て男性であった。さらに、第 5 章第 3 節の「力と運動」領域における授業実践と概念変容に関する調査において、授業終了 2 ヶ月後に図 5.2 の調査問題 A (図 5.1 の調査問題と同じ内容) に正答していたのは、中学校 3 年生の 33 人中 2 人 (正答率 6.1%) であり、正答者 2 人の性別は男性であった。このように、性差が力学の誤概念構成に影響を与えている可能性は認識している。しかしながら、性差は、単に生物学的な男女差によって引き起こされるだけでなく、社会的文化的要因等による生活経験上の違いによって引き起こされる可能性もあるため、慎重な先行研究のレビューと綿密な研究計画が必要と考えている。このようなことから、本研究では、この点には言及しなかったが、今後、引き続き研究を進めていきたいと考えている。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、終始あたたかいご指導と激励を賜りました東京理科大学川村康文先生に心から感謝の意を表します。川村康文先生には研究方法の初歩から論文指導まで、言葉では尽くせない学恩を賜りました。日々の指導において、時には深夜にもかかわらず添削等に丁寧に対応していただきました。本学博士課程における先生からのご指導とご支援に心より感謝申し上げます。

東京理科大学小川正賢先生には3年間、北原和夫先生には2年間、清水克彦先生には1年間副指導教員として、あたたかいご指導と多くの励ましを賜りました。小川正賢先生には海外文献のレビューや英語指導等を通して、ここには書き尽くせないほどのあたたかいご指導を賜りました。研究者としてだけでなく教育者としてのあるべき姿を先生の振り舞い等から、大変多くのことを学ばせていただきました。北原和夫先生からは、ご指導を通して、自然の奥深さと自然と向き合う謙虚な姿勢について学ばせていただきました。清水克彦先生からは、研究に関わる本質的な見方や考え方についての的確なご指導を賜りました。副指導教員の先生方に心より感謝申し上げます。

上越教育大学定本嘉郎先生には、修士課程からご指導をいただきました。本博士論文の作成においても多くのご協力とご支援を賜りました。心より感謝申し上げます。定本研究室の学生の皆様にも感謝申し上げます。

本博士論文に関わる論文投稿の際には、査読員の先生方から多くの的確なご助言を賜り、より論理的な内容にまとめさせていただきました。心より感謝申し上げます。

本論文の作成に関わっていただいた長野県教職員の先生方、生徒の皆さんに心より感謝申し上げます。

最後に、これまでの人生を陰で支えてくれた両親に深く感謝する。特に、父は本学博士課程への入学を心から喜んでくれ、その1ヵ月後の2012年5月2日に他界した。もし、本博士論文にほんの僅かでも科学教育への成果といえるようなものが存在するならば、その全てを父明男と母恒子に捧ぐ。

付記

本研究をまとめた2014年10月19日。昨年度までの2年間、理科の授業で共に学び合った大切な教え子である松本あいこさんが突然の事故に巻き込まれて永眠した。科学に高い関心をもった理科好きの生徒であり、普段の生活では思いやりのある素直で優しい生徒であった。あいこさんを大切に育ててこられた御両親の悲しみを同苦するとともに、あいこさんにとってそうであったように、理科の学習が一人でも多くの子ども達にとって希望の光となることを願う。

引用文献

- 相澤則行, 蛭田幸太郎: 力と運動についての初学者の直観的信念, *物理教育*, 36(1), 38-41, 1987.
- Alonzo, A. C., & Steedle, J. T.: Developing and Assessing a Force and Motion Learning Progression, *Science Education*, 93, 389-421, 2009.
- Başer, M., & Geban, Ö.: Effect of instruction based on conceptual change activities on students' understanding of static electricity concepts, *Research in Science & Technological Education*, 25(2), 243-267, 2008.
- Boyer, C. B.: A history of mathematics (2nd ed.), New York: John Wiley, 1991.
- Brouwer, W.: Problem-posing physics: A conceptual approach, *American Journal of Physics*, 52, 602-607, 1984.
- Brown, D., & Clement, J.: Misconceptions concerning Newton's law of action and reaction: The underestimated importance of the third law. Novak, J. (Ed.), *Proceedings of the 2nd International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, 3, 39-53, 1987.
- Caramazza, A., McCloskey, J., & Green, B.: Naive beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects, *Cognition*, 9, 117-123, 1981.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E., & Anderson, J.H.: Factors influencing the learning of classical mechanics, *American Journal of Physics*, 48, 1074-1079, 1980.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E., Desena, A. T., & Squires, D. A.: Structural representations of students' knowledge before and after science instruction. *J. Res. Sci. Teach.*, 18: 97-111, 1981.
- Chi, M. T. H.: Conceptual change within and across ontological categories, Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 129-160). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press, 1992.
- Chi, M. T. H. , Feltovich, P. J. , & Glaser, R.: Categorization and representation of physics problems by experts and novices, *Cognitive Science*, 5, 121-152, 1981.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F.: The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction, *Review of Educational Research*, 63(1), 1-49, 1993.
- Clement, J.: Student's preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50, 66-71, 1982.
- Clement, J.: *Mental Models*, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 325-340, 1983.
- Corsini, R. J. (Eds.): Concise encyclopedia of psychology, John Wiley & Sons, 1987.
- Dilber, R., Karaman, I., & Duzgun, B.: High school students' understanding of projectile motion concepts, *Educational Research and Evaluation*, 15(3), 203-222, 2009.
- DiSessa, A. A.: *Mental Models*, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 15-33, 1983.
- DiSessa, A. A.: Towards an epistemology of physics, *Cognition and Instruction*, 10,

- 105-225, 1993.
- Driver, R., & Bell, B.: Students' thinking and the learning of science: A constructivist view, *School Science Review*, 67, 443-456, 1986.
- Driver, R., & Easley, J.: Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students, *Studies in Science Education*, 5, 61-84, 1978.
- Eryilmaz, A.: Effects of conceptual assignments and conceptual change discussions on students' misconceptions and achievement regarding force and motion, *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10), 1001-1015, 2002.
- Fisher, K. M.: A misconception in biology: Amino acids and translation, *Journal of Research in Science Teaching*, 22 (1), 53-62, 1985.
- Fisher, K. M., & Lipson, J. I.: Twenty questions about student errors, *Journal of Research in Science Teaching*, 23 (9), 783-803, 1986.
- Fensham, P. J., Garrard, J. E., & West, L. H. T.: The use of cognitive maps in teaching and learning strategies, *Research in Science Education*, 11, pp.121 -129, 1981.
- 福岡敏行, 岩井徳二, 松元博志: 概念地図法, 日本理科教育学会編『キーワードから探るこれからの理科教育』, pp.182-187, 1998.
- 福岡敏行, 増田衛: 運動要因に対する子どもの視点と力概念のフレームワークの発達に関する研究一人の関与に関わる事例を提示した方略による一, 日本理科教育学会研究紀要, 33(3), 1-9, 1993.
- Gauld, C.: Student belief and cognitive structure, *Research in Science Education*, 17, 87-93, 1987.
- Gilbert, J., & Watts, M.: Misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education, *Studies in Science Education*, 10, 61-98, 1983.
- Gilbert, J. K., Watts, D. M., & Osborne, R. J.: Students' conceptions of ideas in mechanics, *Physics Education*, 17, 62-66, 1982.
- Gunstone, R. F.: Student understanding in mechanics: A large population survey, *American Journal of Physics*, 55, 691-696, 1987.
- Gunstone, R. F., & White, R. T.: Understanding of gravity, *Science Education*, 65, 291-299, 1981.
- Gunstone, R. F., & White, R. T.: Assessing Understanding by Means of Venn Diagrams, *Science Education*, 70(2), 151- 158, 1986.
- Guzzetti, B. J., Hynd, C. R., Skeels, S. A., & Williams, W. O.: Improving high school physics texts: Students speak out, *Journal of Reading*, 36, 656-663, 1995.
- Guzzetti, B. J., Williams, W. O., Skeels, S. A., & Wu, S. M.: Influence of text structure on learning counterintuitive physics concepts, *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 701-719, 1997.
- Halloun, I., & Hestenes, D.: The Initial Knowledge State of College Physics Students, *American Journal of Physics*, 53 (11), 1043-1055, 1985a.
- Halloun, I., & Hestenes, D.: Common Sense Concepts about Motion, *American Journal*

- of *Physics*, 53 (11), 1056-1065, 1985b.
- Hawking, S. (Ed.): On the shoulders of giants, Philadelphia: Running Press, 2002.
- Helm, H.: Misconceptions in physics amongst South African students, *Physics Education*, 15, 92-105, 1980.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G.: Force Concept Inventory, *The Physics Teacher*, 30, 141-158, 1992.
- Hewson, M. G., & Hewson, P. W.: Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning, *Journal of Research in Science Teaching*, 20(8), 731-743, 1983.
- Hewson, P. W., & Thorley, N. R.: The conditions of conceptual change in the classroom, *International Journal of Science Education*, 11, special issue, 541-553, 1989.
- 堀哲夫: 第2章構成主義学習論, 理科の学習論下, 理科教育学講座 5, 東洋館出版社, pp.105-226, 1992.
- Horton, P. B., McConney, A. A., Gallo, M., Woods, A. L., Senn, G. J., & Hamelin, D.: An investigation of the effectiveness of concept mapping as an instructional tool, *Science Education*, 77(1), pp.95-111, 1993.
- 市川伸一, 伊東裕司編著: 認知心理学を知る, ブレーン出版, 1987.
- 市川伸一: 考えることの科学~推論の認知心理学への招待~, 中公新書, 1997.
- Ioannides, C., & Vosniadou, S.: The changing meanings of force: From coherence to fragmentation, *Cognitive Science Quarterly*, 2(1), 5-62, 2001. Retrieved October 30, 2006, from <http://www.cs.phs.uoa.gr/el/staff/vosniadou/force.pdf>
- 岩崎允胤, 鯉坂真編: 現代哲学概論, 青木書店, 1990.
- 柏木聞吉: 力と運動の問題点 (講演要旨), 物理教育, 5 (3), 106-108, 1957.
- 加藤伸明: 力の誤概念を解消する教材の開発と指導法の研究, 上越教育大学修士論文, 2011.
- 加藤伸明, 定本嘉郎: 力の誤概念の解消を促す教材の開発と指導方法の改善, 物理教育, 59, 181-186, 2011.
- 加藤伸明, 定本嘉郎: Clement のロケット問題の誤概念を支える要因, 物理教育, 第 60 巻, 第 3 号, 188-193, 2012.
- 川村康文: 「慣性力実験器」の製作およびそれを用いての学習効果の測定, 日本理科教育学会研究紀要, 36(3), 13-24, 1996.
- 川村康文: 大学生にみる物理分野における素朴概念の実態, 物理教育, 第 48 巻, 第 1 号, 78-82, 2000.
- 川村康文, 子安増生: 力学法則における高校生の関心・意欲と理解度を高めるための実験演示法の開発, 科学教育研究, 第 22 巻, 第 1 号, 32-41, 1998.
- 岸学: 概念地図法, 日本教育工学会編『教育工学事典』, pp.66-68, 2000, 実教出版.
- 小林昭三: 力学の誤概念を転換する IT 活用教育の有効性, 大学の物理教育, 2003-2, 47-50, 2003.
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M.: Impetus beliefs as default heuristics: Dissociation between explicit and implicit knowledge about motion, *Psychonomic Bulletin and Review*, 8, 439-453, 2001.

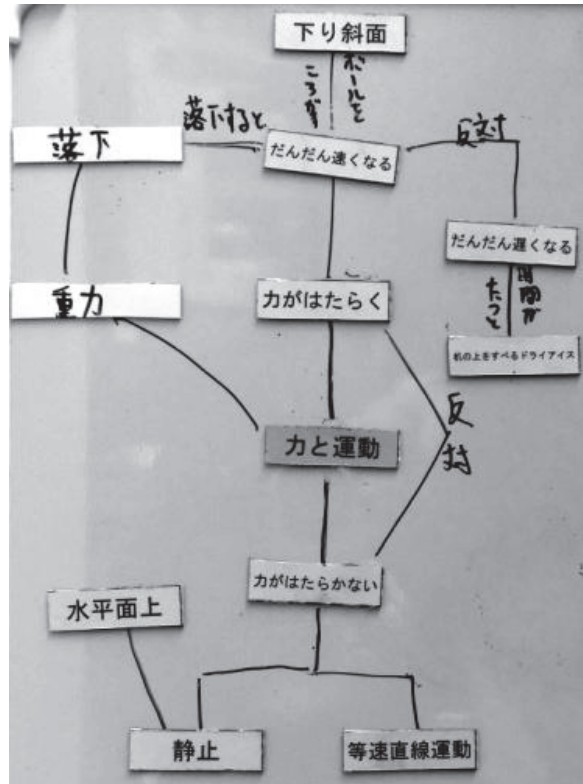
- Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D., & Simon, H. A.: Expert and novice performance in solving physics problems, *Science*, 208, 1335-1342, 1980.
- Maloney, D.P.: Rule-governed approaches to physics: Newton's third law, *Physics Education*, 19, 37-42, 1984.
- McCloskey, M.: Intuitive physics, *Scientific American*, 248(4), 114-122, 1983a.
- McCloskey, M.: *Mental Models*, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 299-324, 1983b.
- McCloskey, M., & Kohl, D.: Naive physics? The curvilinear impetus principle and its role in interactions with moving objects, *Journal of Experimental Psychology: Memory and Cognition*, 9, 146-156, 1983.
- McDermott, L. C., & Redish, E. F.: Resource Letter PER-1: Physics Education Research, *American Journal of Physics*, 67, 755-767, 1999.
- Minstrell, J.: Explaining the "at rest condition of an object, *Physics Teacher*, 20, 10-14, 1982.
- 三浦登, 他: 新編新しい科学1分野下, 東京書籍, pp.51-52, 2006.
- 三宅なほみ, 大島純, 益川弘如: 学習科学の起源と展開, 科学教育研究, 第38巻, 第2号, 43-53, 2014.
- 村山功: 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓(編)教科理解の認知心理学, 新曜社, pp. 99-151, 1989.
- 中山迅: 子どもの科学概念の比喩的な構成, 科学教育研究, 22(1), 12-21, 1998.
- 中山迅, 宮川雄司: 小・中学生の力概念の基底としての存在メタファ, 科学教育研究, 23(2), 81-88, 1999.
- 中山迅, 稲垣成哲編著: 理科授業で使う思考と表現の道具: 概念地図法と描画法入門, 1998, 明治図書.
- 中山迅, 猿田祐嗣: 慣性についての高校生の素朴概念に関する教師の認知, 科学教育研究, 19(2), 103-110, 1996.
- 新田英雄: 素朴概念の分類, 物理教育, 第60巻, 第1号, 17-22, 2012.
- Novak, J. D.: A theory of education, Ithaca: Cornell University Press, 1977.
- Novak, J. D.: Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Maps™ as facilitative Tools in Schools and Corporations, 1998, Lawrence Erlbaum Associates.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B.: *Learning how to learn*, pp. 1-108, 1984. (福岡敏行, 弓野憲一監訳: 子供が学ぶ新しい学習法—概念地図法によるメタ学習—, 東洋館出版社, 1992)
- Nussbaum, J.: Classroom conceptual change: Philosophical perspectives, *International Journal of Science Education*, 11(5), 530-540, 1989.なお, 構成主義はここで「規約主義 (Conventionalism)」とも言われている。
- Nussbaum, J., & Novak, J. D.: An assessment of children's concepts of the Earth utilizing structured interviews, *Science Education*, 60,535-550, 1976.
- 岡村定矩, 藤嶋昭ほか: 新しい科学3年, 東京書籍, pp. 90-141, 2012.
- 沖花彰: 中学校理科「力学」分野における概念地図法の適用, 理科教育学研究, 47(1), 7-16, 2006.
- Osborne, R. J., & Gilbert, J. K.: A method of investigating concept understanding in

- science, *European Journal of Science Education*, 2, 311-321, 1980.
- Osborne, R. J., & Wittrock, M. C.: The generative learning model and its implications for science education, *Studies in Science Education*, 12, 59-87, 1985.
- Peters, P. C.: Even honors students have conceptual difficulties with physics, *American Journal of Physics*, 50, 501-508, 1982.
- Pfundt, H., & Duit, R.: *Bibliography*, Students' alternative frameworks and science education (2nd ed.). Kiel, Germany: Institute for Science Education, 1988.
- Pines, A. L., & West, L. H. T.: Conceptual understanding and science learning: An interpretation of research within a sources-of-knowledge framework, *Science Education*, 70 (5), 583-604, 1986.
- Pope, M., & Gilbert, J.: Personal experience and the construction of knowledge in science, *Science Education*, 67(2), 193-203, 1983.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A.: Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change, *Science Education*, 66, 211-227, 1982.
- Prescott, A. E.: Student understanding and learning about projectile motion in senior high school, Unpublished doctoral thesis, Macquarie University, Sydney, Australia, 2004.
- Redish, E. F.: *Teaching Physics with the Physics Suite* (Wiley, 2003).
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H., & Resnick, L. B.: Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions, *Cognition and Instruction*, 18, 1-34, 2000.
- Rosenquist, M. L., & McDermott, L. C.: Aconceptual approach to teaching kinematics, *American Journal of Physics*, 55, 407-415, 1987.
- Ruiz-primo, M. A., & Shavelson, R. J.: Problems and issues in the use of concept maps in science assessment, *Journal of Research in science Teaching*, 33(6), 569-600, 1996.
- Sadanand, N., & Kess, J.: Concepts in force and motion, *Physics Teacher*, 28, 530-533, 1990.
- Schoenfeld, A. H.: *Mathematical problem solving*, Academic Press, 1985.
- Sequeira, M., & Leite, L.: Alternative conceptions and history of science in physics teacher education, *Science Education*, 75, 45-56, 1991.
- Sutton, C. R.: The learner's prior knowledge: a critical review of techniques for probing its organization, *European Journal of Science Education*, 2, 107-120, 1980.
- 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓: 教科理解の認知心理学, 新曜社, 1989.
- 鈴木亨: 誤概念を支える因果スキーマ, 物理教育, 56, 10-15, 2008.
- 田中照久, 定本嘉郎: 素朴概念の実態を基に開発した円運動教材を用いた授業実践, 物理教育, 51, 79-84, 2003.
- Thorley, N. R., & Stofflett, R. T.: Representation of the conceptual change model in science, *Teacher Education*, 80(3), 317-339, 1996.
- 徳永好治, 島畑博明: 「運動物体に内在する力」概念克服のための新実験教材, 理科教育学

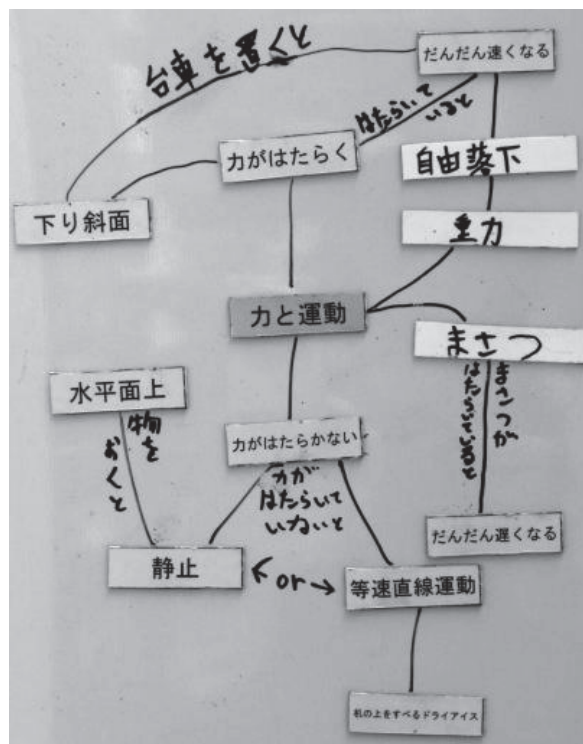
- 研究, 48, 75-84, 2007.
- 東京都理化教育研究会: How to teach 「学習法」 物理のつまづきに関する調査研究(その1)つまづき解消に向けて, 物理教育, 49-2, 196-209, 2001.
- Trowbridge, D. E., & McDermott, L. C.: Investigation of student understanding of concept of velocity in one dimension, *American Journal of Physics*, 48, 1020-1028, 1980.
- Trowbridge, D. E., & McDermott, L. C.: Investigation of students understanding of the concept of acceleration in one dimension, *American Journal of Physics*, 49, 242-253, 1981.
- Trumper, R., & Gorsky, P.: A cross-college age study about physics students' conceptions of force in pre-service training for high school teachers, *Physics Education*, 31, 227-235, 1996.
- Tsaparlis, G., & Papaphotis, G.: High-school students' conceptual difficulties and attempts at conceptual change: The case of basic quantum chemical concepts, *International Journal of Science Education*, 1-36, 2008.
- 塚本浩司: 仮説実験授業の理論と, 1980年以降の英米における"新しい物理教育研究", 物理教育, 52(2), 133-139, 2004.
- 上辻由貴子: 「概念地図法とは」, 中山迅・稲垣成哲編著: 「理科授業で使う思考と表現の道具: 概念地図法と描画法入門」, 1998, 明治図書.
- 上辻由貴子: 「概念地図法」, 武村重和・秋山幹雄編著『理科重要用語 300の基礎知識』, p.217, 2000, 明治図書.
- Viennot, L.: Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal of Science Education*, 1, 205-211, 1979.
- Watts, M., & Pope, M.: Thinking about thinking, learning about learning: Constructivism in physics education, *Physics Education*, 24, 326-331, 1989.
- Whitaker, R. J.: Aristotle is not dead: Student understanding of trajectory motion, *American Journal of Physics*, 51, 352-357, 1983.
- White, R.T.: Learning science. Oxford: Basil Blackwell, 1988. (堀哲夫, 森本信也訳: 子ども達は理科をいかに学習し教師はいかに教えるか—認知論的アプローチによる授業論—, 東洋館出版社, 1990)
- White, R., & Gunstone, R.: *Probing Understanding*, 1992, Falmer Press. (中山迅・稲垣成哲監訳: 子どもの学びを探る—知の多様な表現を基底にした教室をめざして—, 1995, 東洋館出版社)
- 山口悦司, 稲垣成哲, 福井真由美, 舟生日出男: コンセプトマップ: 理科教育における研究動向とその現代的意義, 理科教育学研究, 43(1), 29-51, 2002.
- 山崎翔平, 定本嘉郎, 牧井創: MIF 素朴概念をなくす教材の開発と中学校での授業実践, 物理教育, 57, 215-219, 2009.

資料1 被験者Aの授業後と2ヵ月後の概念地図

授業後

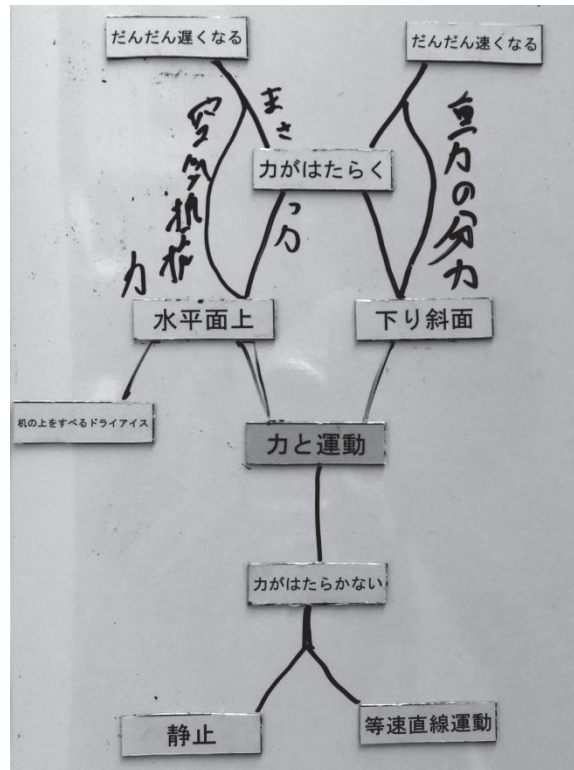


2ヵ月後

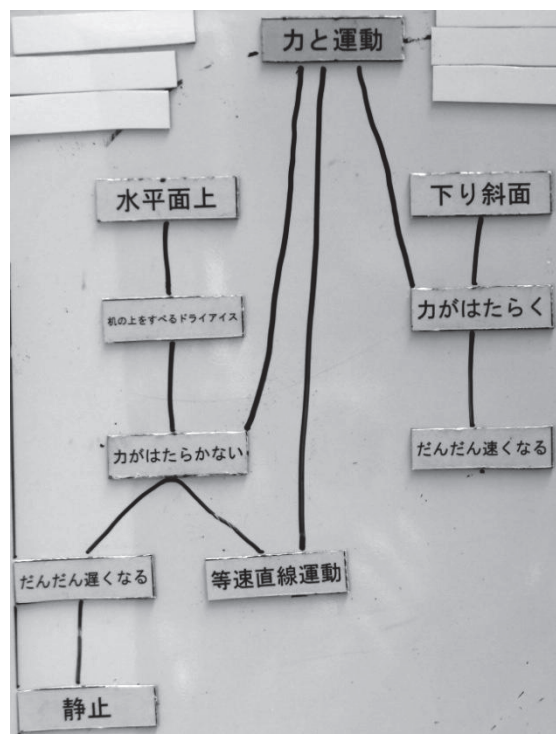


資料 2 被験者 B の授業後と 2 ヶ月後の概念地図

授業後

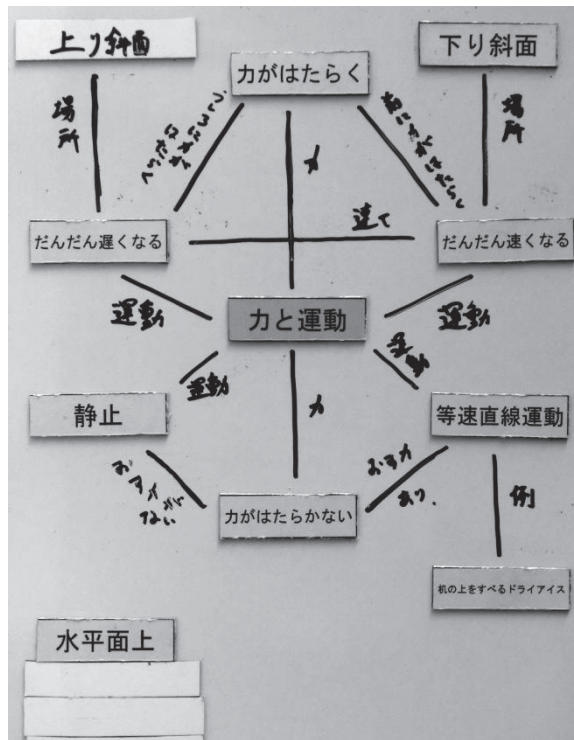


2 ヶ月後

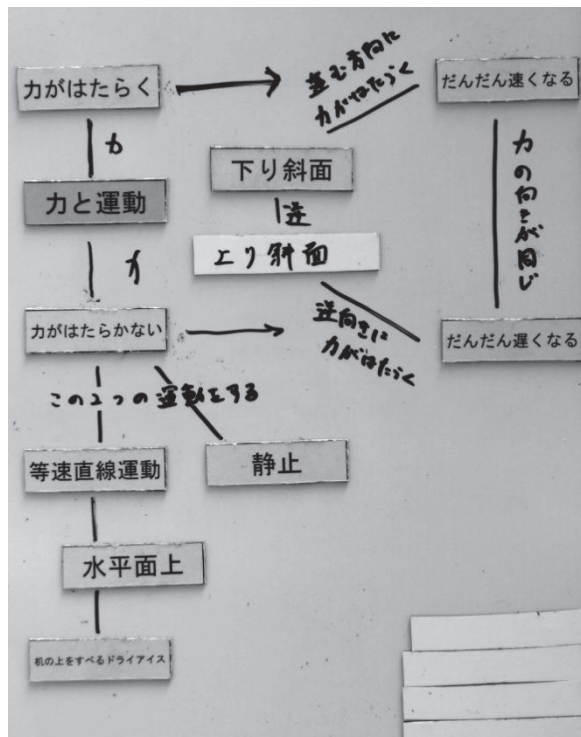


資料3 被験者Cの授業後と2ヵ月後の概念地図

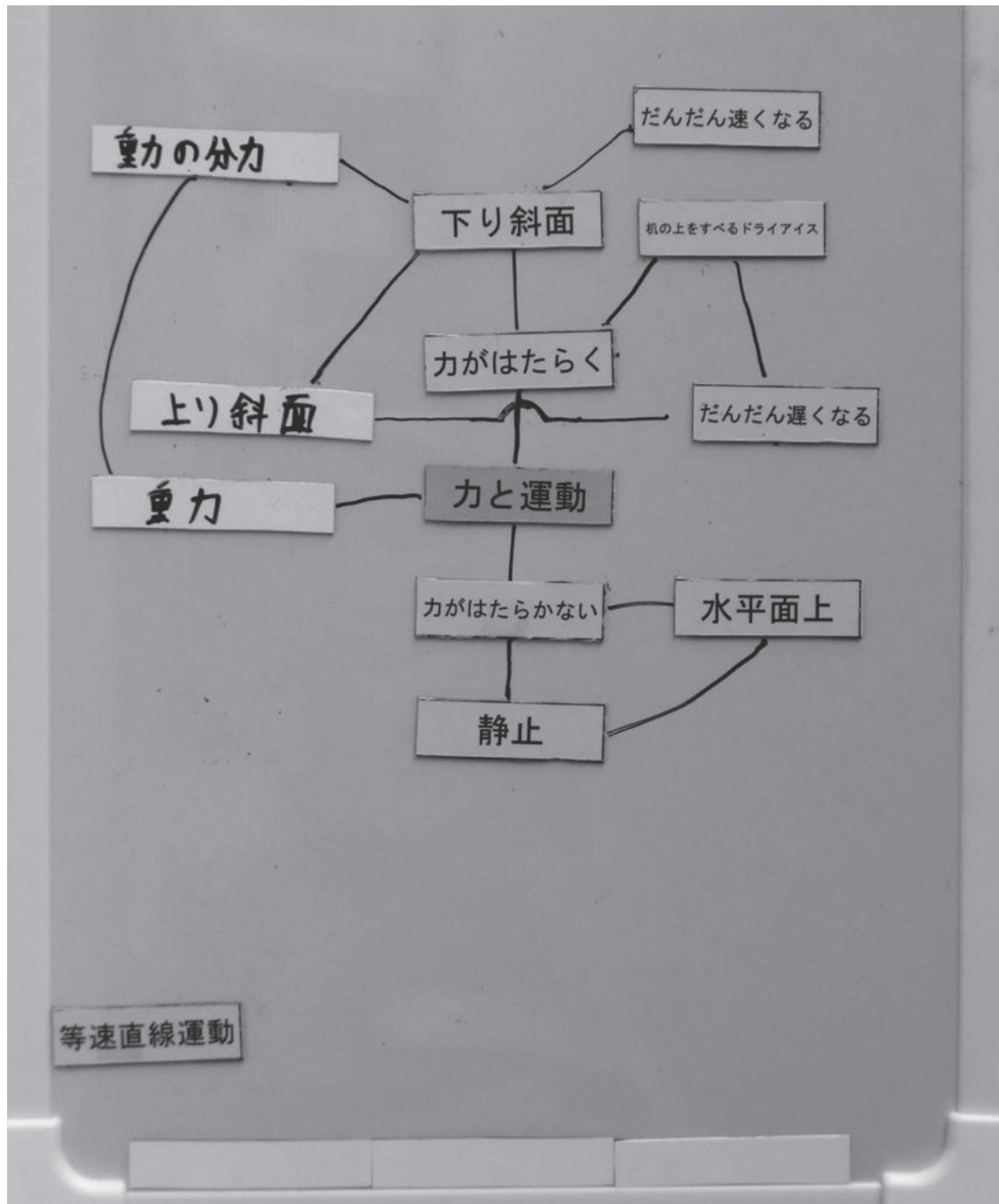
授業後



2ヵ月後



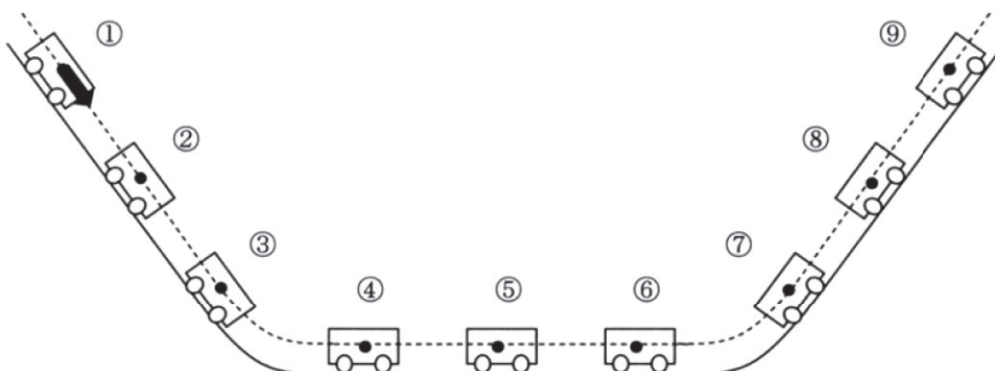
資料 4 被験者 A の第 2 回目調査段階の概念地図



小学生

年 組 番 男・女 氏名 _____

下の図のように、車が左から右へ動いている。①の車には下の図のように点線方向の力ははたらいているとする。②～⑨の場所で点線方向にはたらく力を矢印で記入してください。なお、①より大きな力がはたらいている場合は①の矢印より長い矢印を、①より小さな力がはたらいている場合は①の矢印より短い矢印を記入してください。また、その力を記入した理由を下の空らん(りゆうを くのうに かくきなさい)に書きなさい。ただし、空気の抵抗や摩擦は考えません。

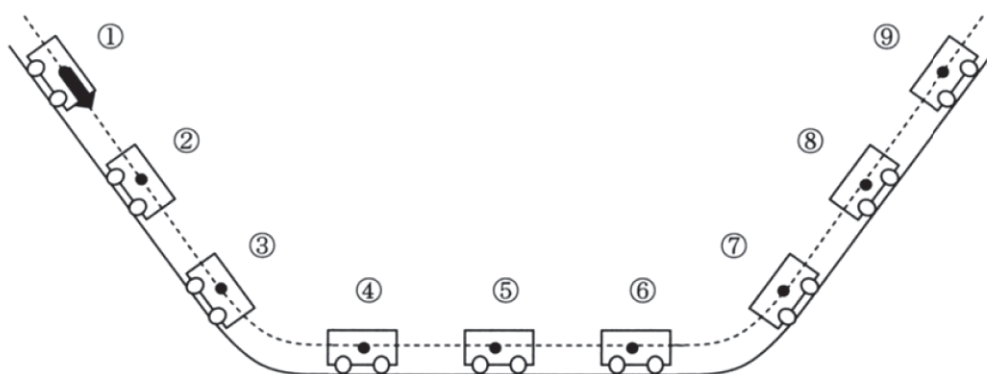


理由

中学生

年 組 番 男・女 氏名

下図のように、力学台車がなめらかな面を左から右へ運動している。①の力学台車には下図のように点線方向の力がはたらいているとする。②～⑨の位置で点線方向にはたらく力を矢印で示せ。なお、①より大きな力がはたらいている場合は①の矢印より長い矢印を、①より小さな力がはたらいている場合は①の矢印より短い矢印を記入せよ。また、その力を記入した理由を下の空らん書きなさい。ただし、空気の抵抗や摩擦（まさつ）は考えない。



理由

付録3 調査問題の回答についての詳細な分類

パターン 番号	小学校3年生			小学校5年生			中学校1年生			中学校3年生		
	順位	項目	人数	順位	項目	人数	順位	項目	人数	順位	項目	人数
1	1	III	18	1	DFE	22	1	DEF	35	1	DEF	71
2	2	DFE	11	2	DEF	12	2	DFE	21	2	AAA	16
3	3	AHH	8	3	IAH	11	3	JJJ	7	3	JJJ	9
4	3	IHH	8	4	III	9	4	AHI	5	4	ABC	8
5	5	AAA	7	5	HHH	7	4	DJJ	5	4	AHH	8
6	5	DEF	7	6	AAA	6	6	AAA	4	4	DFE	8
7	5	IAH	7	6	AAH	6	6	AAH	4	7	DBF	5
8	8	AAH	6	8	IIF	5	6	AFF	4	7	HHH	5
9	8	JJJ	6	9	AHH	4	6	HHJ	4	9	AAC	3
10	10	HAI	5	9	IHH	4	10	AAF	3	9	AAF	3
11	10	HHH	5	9	IIH	4	10	AHH	3	9	AAJ	3
12	10	IAA	5	12	AIH	3	10	IAH	3	9	DHF	3
13	10	IHH	5	12	IFF	3	10	IHH	3	9	DJJ	3
14	10	JHH	5	12	JAH	3	14	ABC	2	9	IHH	3
15	15	AII	3	12	JHH	3	14	AJJ	2	15	ABF	2
16	15	DAF	3	16	AAC	2	14	DAF	2	15	DAF	2
17	15	HAI	3	16	AAI	2	14	DEH	2	15	DEH	2
18	18	ADI	2	16	DAF	2	14	DEJ	2	15	IJJ	2
19	18	AHI	2	16	DAH	2	14	DFB	2	19	AAB2	1
20	18	DFE	2	16	DEH	2	14	DFG	2	19	AAG	1
21	18	DEH	2	16	DHH	2	14	DHH	2	19	AAI	1
22	18	DFH	2	16	HAI	2	14	HHH	2	19	ABB	1
23	18	HHA	2	16	IAA	2	14	HAI	2	19	ABH2	1
24	18	IFH	2	24	AAD	1	14	IHF	2	19	AHA	1
25	18	IHI	2	24	AAF	1	14	III	2	19	AHC	1
26	18	JHA	2	24	AFA	1	14	IJJ	2	19	AIA	1
27	18	JJI	2	24	AHA	1	27	AAI	1	19	AIF	1
28	28	AAI	1	24	DAA	1	27	ADF	1	19	AIH	1
29	28	AHA	1	24	DAG	1	27	AHG	1	19	AII	1
30	28	AHF	1	24	DEA	1	27	AHJ	1	19	D2E2F2	1
31	28	AID	1	24	DEJ	1	27	AIA	1	19	DBD	1
32	28	AIH	1	24	DFA	1	27	AID	1	19	DBG	1
33	28	DEA	1	24	DFG	1	27	AIC	1	19	DBJ	1
34	28	DEG	1	24	DFH	1	27	AJD	1	19	DEG2	1
35	28	DEI	1	24	DFI	1	27	DAA	1	19	DEI	1
36	28	DFI	1	24	FFG	1	27	DAJ	1	19	DEJ	1
37	28	DID	1	24	FHD	1	27	DDD	1	19	DFG	1
38	28	HAA	1	24	HBJ	1	27	DDF	1	19	DFH	1
39	28	HIA	1	24	HHD	1	27	DEA2	1	19	DHD	1
40	28	HIH	1	24	IFI	1	27	DEG	1	19	DHG	1
41	28	IAI	1	24	IIA	1	27	DEI	1	19	FBD	1
42	28	IFA	1	24	JAI	1	27	DFA	1	19	FHG	1
43	28	IFF	1	24	JFH	1	27	DFH	1	19	HAA	1
44	28	IIF	1	24	JFI	1	27	DHF	1	19	HBD	1
45	28	IJJ	1	24	JJJ	1	27	DHJ	1	19	HFD	1
46	28	JAD	1				27	DJI	1	19	HHD	1
47	28	JAH	1				27	FBG	1	19	HHF	1
48	28	JAJ	1				27	FFB	1	19	IAF	1
49	28	JDA	1				27	FHD	1	19	IAH	1
50	28	JDH	1				27	FII	1	19	IAJ	1
51	28	JHJ	1				27	HBH	1	19	IDF	1
52	28	JIF	1				27	HHD	1	19	IFH	1
53	28	JII	1				27	HII	1	19	IIC	1
54							27	IAF	1	19	IIF2	1
55							27	IDC	1	19	IIG	1
56							27	IHH	1	19	IIH2	1
57							27	IHJ	1	19	III	1
58							27	IIA	1	19	JAA	1
59							27	JAJ	1	19	JHF	1
60							27	JEF	1	19	JHJ	1
61							27	JHH	1	19	JIA	1
62							27	JHJ	1			
63							27	JJH	1			

※回答者が力学台車に2種類の矢印を記入している場合は、その2力の合力からA～Jの分類をし、その後ろに「2」を付け加えた。

主論文を構成する論文と参考論文

本博士論文は、以下の論文をもとに内容を再構成した。

主論文を構成する論文

1. 「運動中の物体にはたらく力」の認識に関する実態調査
—MIF 素朴概念が高学年ほど増加していくことについて—
加藤伸明, 定本嘉郎, 川村康文
科学教育研究 第 36 巻 第 1 号 53-60 頁 (2012)
2. 「力と運動」領域における概念地図法の適用
加藤伸明, 定本嘉郎, 賀原一陽
理科教育学研究 第 54 巻 第 2 号 171-179 頁 (2013)
3. 理科学習と生活経験が中学生の力学概念に及ぼす影響
加藤伸明, 川村康文, 定本嘉郎, 賀原一陽
科学教育研究 第 38 巻 第 2 号 107-116 頁 (2014)

参考論文

1. 力の誤概念の解消を促す教材の開発と指導方法の改善
加藤伸明, 定本嘉郎
物理教育 第 59 巻 第 3 号 181-186 頁 (2011)