

氏名（本籍）	かとうのぶあき（長野県） 加藤伸明
学位の種類	博士（学術）
学位記番号	甲第1号
学位授与の日付	平成27年3月20日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	「力と運動」領域における概念構成への生活 経験の影響

論文審査委員（主査）教授 川村 康文  
教授 北原 和夫 教授 小川 正賢  
教授 太田 尚孝 教授 井上 正之

## 論文内容の要旨

### < 研究背景 >

第2章では、本研究の背景について述べている。

「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。

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、学習に関する構成主義の立場に立ったものが多い。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。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。

構成主義の立場から、学習者の独特な考え方の重要性を主張する研究の中では、様々な述語が使用されている。例えば、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。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。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。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。

#### <予備的検討>

第 3 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。

#### <研究目的>

第 4 章では、先行研究の内容を踏まえ、本研究の目的を焦点化している。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。

#### <研究方法>

第5章では、研究目的(1)～(5)を達成するための研究方法について述べている。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(661人)を対象に調査し、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(109人)と教員養成系大学の学生(23人)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(33人)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。

#### <結果と考察>

第6章では、本研究の結果と考察について述べている。

第6章第1節では、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についてまとめている。第6章第2節では、2012年7月から9月に行った「力と運動」領域における概念地図調査についてまとめている。第6章第3節では、2012年9月から2013年1月に行った「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ついてまとめている。

#### <結論>

第7章では、本研究の結果を第4章の研究目的(1)～(5)に対応させて要約している。

- (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、本研究で使用した調査問題において、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。

- (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。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、「力と運動」領域における概念構成への生活経験の影響について、詳しく考察を行ったものである。「力と運動」領域における学習者の認識には、学習者が日常経験からつくりあげた、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として素朴概念が知られている。本論文においては、素朴概念などを誤概念とよび、誤概念が生活経験とともにどのように構成されていくかについて述べられている。

本論文は、全8章から構成されている。第1章は、はじめにとして、子供たちの「力と運動」領域における誤概念について簡単に説明した上で、論文の研究動機が端的に述べられている。

第2章では、本研究の背景について述べている。学習者が、誤概念に対して、妥当な科学概念を学ぶことができる学習論のひとつとして、構成主義学習論が知られている。そこでまず、構成主義的な理科学習の特徴を紹介し、その学習においてよく利用される概念地図法を概念理解の評価方法として紹介している。つづいて、主題となる「力と運動」領域の概念構成の先行研究の調査を行っている。

第3章では、「力と運動」領域の概念の概念構成の評価を行うための実験教材などを、2009年から2011年の間に、本博士研究の予備的検討として行ってきたが、この研究の内容について改めて総括し、本博士研究の出発点を確認している。

第4章では、本研究の目的として、次の5点について解明することが述べられている。

- (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。

第5章では、前の章の研究目的の(1)～(5)を達成するための研究方法が述べられている。研究目的(1)達成のために、開発した「力と運動」に関わる調査問題を用いて、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)達成のため、中学生と教員養成系大学の学生に、開発した「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、中学生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。

第6章では、本研究の結果と考察が述べられている。第1節では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を、第2節では2012年7月から9月に行った「力と運動」領域における概念地図調査について、第3節では2012年9月から2013年1月に行った「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ついてまとめられている。

以上を踏まえて、第7章では、本研究の結果が、第4章の研究目的(1)～(5)に対応させて、以下のように整理されている。

- (1) 「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調査したところ、調査問題の誤回答の多くは、「力が速度に依存する」という回答であり、新たな知見として、本研究で使用した調査問題において、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) 「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ところ、新しい知見として、次のことが見いだされた。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。

- (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続け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力学概念を構成した。
- (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。

最終の第8章では、研究の今後の発展について、加藤氏の独自の見通しが記述されている。

本研究では、次のような知見が得られた。

義務教育の段階では、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ことが児童生徒のデータから確認された。また、開発した調査問題から「力と運動」に関する妥当な概念を構成している学習者の場合、「力がはたらく」というラベルには運動の第2法則に関わるラベルが結合し、「力がはたらかない」というラベルには運動の第1法則に関わるラベルが結合する傾向が確認できた。しかし、多くの中学生は、授業を受けたのち MIF 誤概念を再構成する傾向がある。概念地図法でのデータを分析することにより、「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。これらの知見は、これまでからそのように推論はされていた面があるが、加藤氏が、データを蓄積し解析することにより明らかにしたことは、この分野の学問の発展に大きく寄与したといえる。

以上により、本研究は博士（学術）の学位論文として十分に価値のあるものと認める。