



作用・反作用についての高校生の素朴概念に関する
教師の認知：磁石と鉄の場合

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 宮崎大学教育学部 公開日: 2011-08-09 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中山, 迅 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/3474

作用・反作用についての高校生の素朴概念に関する教師の認知

— 磁石と鉄の場合 —

中山 迅

**Teachers' Awareness of High School Students'
Naive Conceptions about Action and Reaction
— In the Case of a Magnet Bar and an Iron Bar —**

Hayashi NAKAYAMA

要 約

磁石と鉄を向かい合わせたときに作用する力に関する問題を高校生に課し、その時に得られる回答と、高校生が回答理由の中で用いる概念を、高校の物理の教師に推定してもらった。そして、両者の一致度を比較したところ、次のようなことが分かった。

1. 教師は高校生の回答を、選択肢のレベルではほぼ的確に予測できた。
2. 教師は、高校生の素朴概念のうち次の2つに類するものは的確に把握していた。
 - 力は磁石などの物体自体に「内在」している。
 - 常に力を作用する側となる物体（作用者）と、常に作用される側となる物体（被作用者）が存在する。
3. 教師は、高校生の素朴概念のうち、次の2つに類するものはあまり把握していなかった。
 - 力は物体自身に対して（他の物体にではなく）作用する場合がある。
 - 力には、「押す」、「引く」の他に、物体自身が「近づこうとする力」がある。

1. 目 的

理科教育学の研究領域において、構成主義的アプローチあるいは学習者の認知に着目した研究は、ますます盛んになってきている。Pundt, H. と Duit, R.¹⁾ の調査によれば、生徒の概念作用と理科教育に関する研究物の数は、1960～1970年の間で69件だったものが、1979～1982年で339件、1987～1990年では708件にもものぼっている。また、イギリスのリーズ大学を中心としたCLiSプロジェクト²⁾に代表されるように、学習者の概念の変容を促すことを中心とした実践的な研究プロジェクトも行われるようになってきた。

これらの研究で最も多く取り扱われている内容の領域は物理であり、その中でも力学の学習

に関する研究が最も多い³⁾。学習者の力学領域の素朴概念が、体系的かつ強固で変化しにくいことが、それに対する研究の多さにも表われている。例えば、磁石と鉄を例にとって筆者と協同研究者が行なった調査からは次のようなことが明らかになっている。

○磁石と鉄を近づけて、それらに作用している力について解釈する問題において、高校生と大学生が使用する解釈のルールの中には、「磁石には力が内在しており、内在している物体から他の物体に力が働くといった、対象に依存した解釈を行うルール」がある⁴⁾。

○磁石と鉄を向かいあわせた問題に対する回答理由において、小学校4年生から中学校3年生までの児童・生徒が、「力の内在」およびそれに類する説明を多く用いている。⁵⁾

この「磁石に内在する力」が、学習者が保有する素朴概念である。また、小学校以来磁石に関する学習や、力の学習を積み重ねてきた高校生や大学生に、このような考え方が少なからず存在することは、素朴概念が変化しにくいことを表している。そして、これに関心を持つ研究者や教師は、概念の変容を促すための指導法の改善に取り組んできている。

ところが、Berg, T. と Brouwer, W.⁶⁾は、実際に高等学校で物理を教えている多くの教師の意識は、必ずしも生徒の素朴概念に向いているわけではないことを指摘している。彼らはカナダにおける調査から、実際に理科を教えている高校の教師が、生徒の素朴概念を十分に把握してはいないことを指摘している。

これらのことから、素朴概念の存在を前提とした授業を実現するためには、次の2つの問題に同時に取り組む必要がある。

①学習者は、どのような素朴概念を保持しているかを明らかにする。

②教師は、学習者の素朴概念をどこまで把握しているかを明らかにする。

本研究は、主として②の「教師が学習者の素朴概念をどの程度まで把握しているのかを明らかにする」ことを目的としている。その手始めとして、磁石と鉄の作用・反作用に関する高校生の素朴概念について、教師が何を把握しており、何を見落しているのかを調査することにした。また、これと平行して、磁石と鉄の作用・反作用に関する素朴概念の実態についても、さらに詳しく調査することにした。

2. 方法

I. 調査対象と方法

調査の方法は質問紙法とし、資料1に示す調査用紙を用いて次の①②の手順で実施した。

(1) 教師を対象とした調査

資料1の問題に高校生が答えるときに、どの選択肢を選び、どのような理由づけを行うかを高校の物理担当教師に予測してもらう。(生徒の調査に先立って行う)

予測の際に想定する生徒は、教師の勤務校と同一地域の公立普通科の高校で「理科I」の学習をした直後の生徒とする。

(2) 生徒を対象とした調査

資料1の問題を「理科I」の力学領域の学習を一通り終えた高校生に課す。

調査は、広島県東部の高等学校で物理を担当している教師7名と、その地域の公立普通科の高校1年生172人を対象とした実施した。実施の時期は1992年の2月である。

II. 分析

調査から得られた資料は、以下のような手順で分析した。

- (1) 高校生の選択した回答分布と、教師が予測した回答分布の比較
- (2) 高校生が回答理由の中で用いた概念の抽出
- (3) 高校生が実際に使用した概念と、教師が予測した概念の比較

これらの分析を通して、磁石と鉄に相互に作用し合う力に関する高校生の素朴概念の実態を描き出し、それらに対する教師の把握状況と比較する。

3. 結果

結果 (1) 高校生の選択した回答分布と、教師が予測した回答分布の比較

表1は、問題の各選択肢に対する高校1年生の回答の分布についての各教師の予測及び教師間の平均値と、高校生の回答における各選択肢の選択率(%)の比較である。

表1. 教師の予測と高校生の回答 (1)

選 択 肢	高 校 教 師 の 予 測 (%)								高校1年生 172人 (%)
	A	B	C	D	E	F	G	平均	
a	5.3	10	5	10	4.5	10	6.0	7.3	11.0
b	31.6	15	50	15	4.5	40	24.1	25.7	33.7 *
c	31.6	30	10	40	63.6	30	54.2	37.1	30.8
d	26.3	40	35	30	9.1	10	12.0	23.2	11.6 **
e	5.3	5	0	5	18.2	5	3.6	6.0	4.7
その他及び無回答	0.0	0	0	0	0.0	5	0.0	0.7	8.1

注：A, E, Gの教師の予測した百分率は合計が100%でなかったため、合計が100%になるように補正した。

* は5%有意, **は1%有意

まず、生徒の回答に着目すると、もっとも多い回答は「(b) 磁石と鉄がお互いに近付き合うが、鉄の方が磁石よりも大きく動く」である。続いて多いのが「(c) 磁石と鉄が、お互いに同じくらい近付き合う」(正答)である。以下、(d) (a)と続き、(e)が少なく、その他及び無回答も8.1%存在する。

高校生の回答と教師の予測を比較すると、一人ひとりの教師の予測は必ずしも正確ではない。

ここで、教師全体の予測と高校生の回答を比較するため、表1で教師の予測の平均値を期待値として、適合度に関する χ^2 検定を危険率5%で行ったところ、有意な差が認められた。このことから、教師全体の予測と生徒の実際の回答の間にはずれがあると言える。続いて(a)~(e)の各選択肢について同様の検定を行うと、5%以下の危険率で有意差が認められたのは(b)と(d)であった。このことから、(b)と(d)では教師の予測と生徒の回答の間でずれがあると言える。ここで、(b)は「磁石と鉄がお互いに近付き合うが、鉄の方が磁石よりも大きく動く」であり、(d)は「鉄が磁石に近付き、磁石は動かない」である。どちらの選択肢も、鉄が動くことを強調しており、磁石は少し動くかまったく動かないかのどちらかである。つまり、教師は「主として鉄が動く」といった内容の回答の出現率を、正確には予測できなかったのである。しかし、(b)

に対しては生徒の選択肢よりも教師の予測値の方が高く、(d)に対しては教師の予測値は生徒の選択率よりも低くなっている。これら2つの逆の傾向を合わせると、教師は「主として鉄が動く」という考え方の生徒の割合を、全体としては予測していた可能性がある。

そこで、選択肢(a)と(e)はどちらも、主として磁石が動くことを強調した選択肢であり類似していること、一方(b)と(d)は共に主として鉄の方が動くことを強調した選択肢であり類似していることから、これらを合わせて集計した(表2)。表2から、選択肢[(b)+(d)](主に鉄が動く)

表2. 教師の予測と高校生の回答(2)

選択肢	教師 (%)	高校1年生 (%)
C (正答)	37.1	30.8
b + d	48.9	45.3
a + e	13.3	15.7
その他及び無回答	0.7	8.1

においても、[(a)+(e)](主に磁石が動く)においても、生徒の選択率と教師の予測の平均値がそれほどかけ離れていないのが分かる。 χ^2 検定でも有意な差は認められない。このことから、教師は磁石と鉄が向かい合う問題で、正答する生徒、主として鉄が動くと考える生徒、そして主として磁石が動くと考える生徒の存在を、全般的にはほぼ的確に把握していると言える。

結果(2) 高校生が回答理由の中で用いた概念の抽出

調査対象となった172人の高校生のうち、100人が自分の回答についての理由を記している。表3は、その100人が説明の中で用いた概念を、実際に検討し分類した項目である。概念は主として「accepted scienceの概念」と「力についての素朴概念」に分類されたが、その他に分類困難なものも存在した。最終的に表3に掲げた概念のどれかに該当する概念を用いた生徒は91人で、理由を書いた生徒のうちの91%が分類できたことになる。

表3.磁石と鉄の問題で高校生が説明のために用いた概念

◎ accepted scienceの概念
① お互い同じ強さで引き合う
② 形、大きさ、質量などが等しい
③ 作用反作用の法則から
◎ 力についての素朴概念
⑪ 磁石が(引く)力を内在している
⑫ 鉄が(引く)力を内在している
⑬ 磁石が近づこうとする力(性質)を内在している
⑭ 鉄が近づこうとする力(性質)を内在している
⑮ 2物体の「引く力」の強さには違いがある
⑯ 2物体が内在している「近づこうとする力」の強さには違いがある
◎ その他
⑳ 事実について経験的に得た知識 (「砂鉄が磁石につく」など)

結果 (3) 高校生が実際に使用した概念と、教師が予測した概念の比較

表4～表6は、高校生が実際に使用した概念と、教師が予測した概念の比較である。

表4の正答者の用いた概念を見ると、4人の教師が「③作用反作用の法則」の使用を予測している。しかし、実際にこの法則を説明の中で用いた生徒は、正答者の中で1人に過ぎず極めて少ない。また、「①お互いに同じ強さで引き合う」と「②形、大きさ、質量などが等しい」が、理由を書いた生徒の使用した概念の大半を占めているが、これらを指摘した教師は、7人のうち3～4人と、約半数にとどまっている。これらのことから、教師は正答者の用いている概念を的確に把握しているとは言い難い。

表4. 正答を選んだ生徒が用いた概念と、それに対する教師の予測の比較

選択肢	教師の予測	選んだ生徒	理由づけに用いた概念	予測した教師(人)	選んだ生徒[人](%)*
c (正答)	37.1%	53人 30.8%	①お互いに同じ強さで引き合う	4	13 (24.5)
			②形、大きさ、質量などが等しい	3	16 (30.2)
			③作用反作用の法則から	4	1 (1.9)
			⑪磁石が(引く)力を内在している	1	2 (3.8)
			⑬磁石が近づこうとする力(性質)を内在している	0	1 (1.9)
			⑭鉄が近づこうとする力(性質)を内在している	0	2 (3.8)

* 選択肢cを選んだ生徒数に対する百分率

表5. 選択肢bまたはdを選んだ生徒が用いた概念と、それに対する教師の予測の比較

選択肢	教師の予測	選んだ生徒	理由づけに用いた概念	予測した教師(人)	選んだ生徒[人](%)*
b + d 鉄の方が動く	48.9%	78人 45.3%	①磁石が(引く)力を内在している	6	38 (48.7)
			⑫鉄が(引く)力を内在している	0	2 (2.6)
			⑬磁石が近づこうとする力(性質)を内在している	0	1 (1.3)
			⑭鉄が近づこうとする力(性質)を内在している	1	3 (3.8)
			⑮2物体の「引く力」の強さには違いがある	2	6 (7.7)
			⑯2物体が内在している「近づこうとする力」の強さには違いがある	0	2 (2.6)
			⑳事実について経験的に得た知識(「砂鉄が磁石につく」など)	0	3 (3.8)

* 選択肢bまたはdを選んだ生徒数に対する百分率

表6. 選択肢aまたはeを選んだ生徒が用いた概念と、それに対する教師の予測の比較

選択肢	教師の予測	選んだ生徒	理由づけに用いた概念	予測した教師(人)	選んだ生徒[人](%)*
a + e 磁石の方が動く	13.3%	27人 15.7%	①磁石が(引く)力を内在している	2	7 (25.9)
			⑬磁石が近づこうとする力(性質)を内在している	1	5 (18.5)
			⑮2物体の「引く力」の強さには違いがある	1	4 (14.8)

* 選択肢aまたはcを選んだ生徒数に対する百分率

表5の、「主として鉄の方が動く (b+d)」という回答の理由では、理由を書いた生徒のうちの多くが「①磁石が(引く)力を内在している」という概念を用いている。これに対して7人中6人の教師がこれを予測しており、この回答について、教師の予測は的確であると言える。

表6の、「主として磁石の方が動く (a+e)」という回答の理由については、教師による予測件数自体が少ない。「①磁石が(引く)力を内在している」という考えから、磁石が動くと考えている生徒がいるが、これを予測した教師は2人に過ぎない。他に、「③磁石が近づこうとする力(性質)を内在している」という理由から磁石が動くとう回答に至った生徒もいるが、これも1人の教師しか予測していない。これらのことから、「主として磁石が動く」といった回答の理由は、教師にとって予測困難なものであったと言える。

4. 考察

結果から言えること、及びそれに基づいた発展的考察を以下に行いたい。

結果(1)から

一人ひとりの教師で違いはあるが、教師の予測の平均値と高校生が選んだ選択肢のずれは次の2つの選択肢で認められた。

- (b) 磁石と鉄がお互いに近付き合うが、鉄の方が磁石よりも大きく動く。
- (d) 鉄が磁石に近付き、磁石は動かない。

しかし、これらが類似した項目であることから、(b)と(d)を合わせて集計した場合は、教師の予測の平均値と生徒の回答のずれは認められなかった。このことから、「磁石と鉄が向かい合った場合には主として磁石の方が動く」と考える生徒が多いということ、教師はおおむね的確に予測しており、その出現率に関しても教師の予測は的確なものであったと言える。

結果(2)から

高校生が回答理由の中で用いた概念(表3)は、中山・松原、及び猿田の従来の研究⁷⁾で示されたものと基本的な違いはないが、表4、表5、表6から、それぞれの概念の使用割合を比較すると、以下のようなことが言える。

まず、正答(c)の理由づけでは、「③作用反作用の法則から」は非常に少ない。比較的多いのは、「①お互いに同じ強さで引きあう」と「②形、大きさ、質量などが等しい」という説明である(表4参照)。「①お互いに同じ強さで引きあう」は、作用反作用の法則から導かれるが、それを法則と関係づけて説明していない。この結果は、作用反作用の法則を学習済みであっても、それを学習者があらゆる対象に適用できるとは限らないことを示している。特に、今回の例のような磁石と鉄の組み合わせに作用反作用の法則を適用するという経験は、高校生にとっておそらくはじめての経験である。したがってこの結果は、直観的に正答が分かったとしても、法則と関係づけて説明することが困難であったことを示すものである。正答(c)を選んでも、その説明に素朴概念に属する①③④などを用いる生徒が存在することは、正答の選択肢を選んでいるからといって作用反作用の法則が理解できているとは限らないことの一つの例である。

また、「形も質量も同じだから、同じだけ引っ張られる。」というように、質量などの同等待性を、力が等しくなる条件と考えている生徒がいる。この考え方の裏返しだが、「重い物体の方が

軽い物体に大きい力を及ぼす。」といった、力と重さ・質量の同一視的考え方ではないだろうか。

次に、選択肢(b)と(c)（主として鉄が動くと考えた答え）の説明で高校生が用いた概念には、「①磁石が（引く）力を内在している」が多かった（表5参照）。これは、従来の知見を支持するものである。作用反作用の法則などに代表される力学の学習を一通り経験しても、「力は物に張り付いている」といった素朴概念が変化しないで残っていることを示している。

最後に、選択肢(a)と(e)（主として磁石が動くと考えた答え）で高校生が用いた概念には、「③磁石が近づこうとする力（性質）を内在している」と「①磁石が（引く）力を内在している」などがあった（表6参照）。⑬が出てくることは理科の教師にとっても理解しやすいが、「①磁石が（引く）力を内在している」という理由から「磁石の方が動く」と考える高校生がいることは推定しにくいことである。磁石と鉄の間に働く力についての高校生の理解の形態の多様性を物語るものである。

結果 (3) から

(c)（正答）への理由づけとして、教師は「③作用反作用の法則」を比較的多く予測しているが、これを理由に挙げている生徒は少ない（表4）。また、「③磁石が近づこうとする力（性質）を内在している」や「④鉄が近づこうとする力（性質）を内在している」を予測した教師はいなかった。このように、生徒の考えている判断基準と、教師の考えている判断基準の間にはずれがある。

(b)と(d)（主として鉄が動くと考える選択肢）の説明として、「①磁石が（引く）力を内在している」があることは、ほとんどの教師が予測していた（表5）。これは、教師は磁石における「力の内在」という素朴概念の存在を、よく把握していることを意味している。従来の調査⁸⁾で、小学生や中学生には磁石と鉄の問題で「磁石の方が大きく動く」と考える者が多いことが指摘されており、このような回答が学年が上がってもあまり改善されないことから、教師はこれらの誤りの存在や、そのような回答のもとになる概念には気づいていない可能性を考えていた。しかし、教師が(b)と(d)の回答の合計では選択率を的確に指摘したことや、「磁石が（引く）力を内在している」という概念の存在を教師が的確に指摘したことから、教師は磁石と鉄の間の力に関する中心的な素朴概念をつかんでいたことが分かった。

また、教師は「(b)磁石と鉄がお互いに近付き合うが、鉄の方が磁石よりも大きく動く」の出現率に対して、実際よりも高い予測をしていた（表1）ことから、教師が生徒のこの答えを普段から強く意識していることが分かる。したがって、教師はそれを改善するための指導法になんらかの工夫をしていると期待できる。それにもかかわらず「磁石の方が大きく動く」といった回答が高校生にも多く、「磁石が（引く）力を内在している」という考え方の生徒が多いことは、これに関する指導は通常の方法では困難であり、指導のあり方について根本的に検討する必要があることを示唆している。

(a)と(e)（主として磁石が動くという選択肢）の説明で用いられた概念を予測できた教師がほとんどいないことは、このような比較的小数の生徒の回答とその背後にある概念を教師が把握することの困難さを表している。また、この回答を行った生徒の指導法について、今後検討する必要性を示唆している。

結果全体を通して

今回の調査問題は、教師はニュートン力学における力の概念（accepted scienceの概念）による説明を期待するものであるが、高校生の回答にはニュートン力学的な力の概念とは異なった概念（素朴概念）による説明が多く出現している。ここで、ニュートン力学における力の概念の特徴は、次のようにまとめられる。

- ①物体から物体にはたらく（作用する）。
- ②必ず、「押し合う」、「引き合う」といった相互作用である。
- ③作用と反作用の区別はなく、それらの大きさは必ず等しい。

これに対して、「磁石が（引く）力を内在している」という最も代表的な素朴概念では、力を物体自体に内在するものと捉えている。そして、力を一つの物体から他の物体に一方的に働くものと捉えるところが、「相互作用」というニュートン力学的な力の概念とは根本的に異なる。しかし、この「磁石が（引く）力を内在している」という概念は、力を「他の物体に働くもの」と認識している点で、ニュートン力学的な力の概念に近い。これが、この素朴概念に対する教師の認識を容易にしているのかもしれないが、この点については今回の結果だけから判断することはできない。

一方、回答全体を通して、「⑬磁石が近づこうとする力（性質）を内在している」と「⑭鉄が近づこうとする力（性質）を内在している」という概念を指摘した教師は1人ずつしかない。こらはいずれも「力」を「近づこうとする性質」ととらえた概念であり、ニュートン力学における「力は他の物体に働く」という最も根本的な考え方と相容れない。つまり、⑬⑭はニュートン力学から最もかけ離れた素朴概念である。今回の結果は、教師たちがこの最も素朴な素朴概念を十分に把握することは困難であったことを示すものである。

作用・反作用の法則からは、物体の種類や運動状態などとは無関係に、2つの物体どうしに働く力の大きさは等しいことが導かれる。しかし、このことを一つひとつの事象に適用したときの結果は、生徒にとって自明ではない。磁石と鉄の間の力が異なると考える生徒が多いことがその例の一つである。生徒の「棒磁石に鉄釘が吸いついた」といった経験と「磁石には（引く）力がある」という素朴概念が結びついていたり、「磁石片が鉄板にくっついていった」といった経験と、「磁石には鉄に近づこうとする性質がある」という素朴概念が結びついていたりすると考えられる。つまりこの場合、磁石や鉄の力に関する知識は、「棒磁石と釘」や「磁石片と鉄板」といった個々の状況にうめこまれていると考えることができる。ところが、作用反作用の法則は「2つの物体が何でできているか」とか、「大きさはどうか」といった個々の状況を見捨て、いつも大きさの等しい2力が働いていると判断することを生徒に要求しており、生徒の素朴概念に基づく推論形式とは一線を画している。しかも、作用反作用の法則に表われる「力」は物体に張り付いているのではなく、「接触したとき」とか、「鉄と磁石が近くにきたとき」といった一定の条件下で初めて生起するものである。「力は磁石の中にある」といった「内在」的な素朴概念は、この点でもニュートン力学的な力とは一線を画している。

以上から、磁石と鉄を題材とした場合の、高校生による「力」の素朴概念の特徴は以下のように表せる。

- [1] 力は磁石などの物体自体に「内在」している。
- [2] 常に力を作用する側となる物体（作用者）と、常に作用される側となる物体（被作用者）が存在する。

[3] 力は物体自身に対して（他の物体にではなく）作用する場合がある。

[4] 力には、「押す」、「引く」の他に、物体自身が「近づこうとする力」がある。

今回の結果では、高校教師は [1] と [2] については、比較的的確に把握できたが、[3] と [4] についての把握は充分でなかったと言える。

教師が作用反作用の法則に基づいた「力」の解釈を生徒に求めようとするれば、個々の事例において「物体が他の物体を（引く）力を内在する」とか「物体が他の物体に近づこうとする力（性質）を内在する」という、力の本質にかかわる生徒の素朴概念と直面しなければならない。今回の結果から、鉄と磁石の事例において「物体が他の物体を（引く）力を内在する」という種類の素朴概念の存在を、教師は予想外的確さで把握していることが示された。これは、大変心強いことである。しかしその一方で、「物体が他の物体に近づこうとする力（性質）を内在する」という素朴概念には、十分な注意が向いていないことが示された。理科の授業を通して、素朴概念に基づく解釈から accepted science の概念に基づく解釈への変容を生徒に対して求める限り、教師と生徒のギャップがどこに存在するかを明らかにしつつ、それを克服するために、指導過程を改善する努力を続けなければならないであろう。

引用・参考文献

- 1) Pfundt, H. and Duit, R., *Bibliography : Students' Alternative Frameworks and Science Education 3rd Edition*, IPN, Germany, 1991, p.xl.
- 2) Scott, P., et al., *A constructivist view of learning and teaching in science*, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, The University of Leeds, 1987.
- 3) *op. cit.* 1), p.xli.
- 4) 中山 迅・松原道男, 「学習者の「力」の理解に関する研究 (2) — 誤りのルール化の試み —」, 日本理科教育学会研究紀要, Vol.30, No.2, pp.63-68, 1989.
- 5) 猿田祐嗣, 「中等教育における力学概念の理解のための視点の役割に関する調査研究」, 平成元年度科学研究費補助金奨励研究 (A) 研究成果報告書, 課題番号01780336, 1990.
- 6) Berg, T. and Brouwer, W., Teacher awareness of student alternate conceptions about rotational motion and gravity, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.28, No.1, pp.3-18, 1991.
- 7) *op. cit.* 4), 5)
- 8) *op. cit.* 5)