

# 力学の概念形成におけるブリッジングアナロジー 方略の教授効果

高垣マユミ・中島朋紀\*

## Effectiveness of the Bridging Analogies Strategy on Acquiring Concept of Force

TAKAGAKI Mayumi · TOMONORI Nakashima

The purpose of this study is to examine the effectiveness of teaching strategies for inducing conceptual changes in students' preconceptions about force. The experiment strategy was derived from Clement's (1993) model of the bridging analogies strategy. 24 fourth graders were instructed in action and reaction of force. Protocol described by students in pre-post test and videotaped records of the lesson were analyzed. The results showed that; (1) During the lesson, most students changed their preconceptions detecting analogies between "Anchor", "Bridging", and "Target". (2) After the lesson, those who solved action and reaction tasks by intuitive theories decreased, and those who solved tasks by physical theories increased.

**Keywords:** Bridging Analogies Strategy, Acquiring concept of Force, Action and Reaction, Fourth Grade Students

ブリッジングアナロジー方略, 力の概念形成, 作用反作用, 小学4年生

### I. 問題

#### 1. 研究の背景

近年の科学教育研究では、子どもが教室で授業を受ける場合、日常生活の中でとりたてて意図的な教育を受けることなく構成してきた知識が、授業で教授される体系的な知識の学習に関与するという実態が着目されてきた。こうした知識は、インフォーマルな知識(丸山・無藤, 1997), プリコンセプション(Hashweh, 1988), 素朴な知識(Saxe, 1988), ミニ理論(Claxton, 1983), ミスコンセプション(Fischbein, 1993)等と呼ばれ、従来の教授方略においては変容し難いことが指摘さ

れている(作間, 1983)。そして、これらを科学的な知識や概念に変容させる教授方略を解明し、概念変容に効果的な授業モデルやカリキュラムを開発することは、学校現場及び科学教育研究の大きな課題の一つとなってきている。

こうした現状を鑑み、近年、様々な教授方略が考案されている。代表的なものとして"The Structure Mapping Theory"(Gentner, 1983), "The General Model of Analogy Teaching"(Zeitoun, 1984), "The Teaching With Analogy Model"(Glynn, 1989), "The Bridging Analogies Strategy"(Clement, 1993)が挙げられる。これらの方略は、

\* 本学附属初等部

教授・学習過程において、「ターゲット（獲得すべき科学的概念）に対するアナログ（類似する）となる概念を見い出す」というアナロジーによる学習プロセスが、科学的概念の獲得に有効であることを指摘したものである。本研究ではこれらの方略の中から Clement（1993）の提案する "The Bridging Analogies Strategy"（ブリッジングアナロジー方略）を取り上げたいと考える。その理由は、当該方略の枠組みは他の3つに比べ、①子どもの概念を学習の起点としている点、②子どもの概念の治療（remedy）を可能にするアナロジーに注目してデザインされている点から、概念変容を促す教授方略として示唆的であり、その有効性を実証的に検討することの意義は大きいと考えるからである。

## 2. ブリッジングアナロジー方略

ブリッジングアナロジー方略の特徴は、アナログとなるものを学習者にとって親しみのあるもの（学習者の既有知識、とりわけ直観的な知識）の中から選ぶ点にある。従来、学習者の持つ既有知識はおおむね学習にとって障碍となるものとして考えられてきた。しかし、ここでは、既有知識は肯定的な役割を果たすという点に着目している。すなわち、科学的な概念としては必ずしも正しいとは言えないものであっても学習者にとって親しみのある考え方であれば、それを出発点として概念の変容が可能であると考えられる。

ブリッジングアナロジー方略において、学習の出発点になるアナログを "Anchor Analogy" と呼ぶ。ここでは、学習者にとって親しみのある考え方から出発することが重要となる。次に、"Anchor Analogy"が理解できても、学習の到達点である "Target" との類似性が見いだせない場合も大いにあり得る。両者の間に大きな "jump" がある場合、"jump" を細分化するために、中間的なアナロジーを介在させる必要がある。この橋渡しとなるアナロジーを "Bridging Analogy" と呼ぶ。

## 3. 力学の概念形成

本研究においては、ブリッジングアナロジー方略の適用事例として、「初等力学」を取り上げる。

その理由を以下に述べる。

第1に、力の概念は、理科、数学、技術など広範囲な分野において極めて重要な概念であるにもかかわらず、従来から、教授する側にとって学習させるのが最も困難である概念の一つである（Watts, 1997; Brown & Clement, 1987）と指摘されているからである。また学習者にとっても、理科教育の中で最も興味・関心の低い領域である（藤田, 1984）と指摘されているからである。

第2に、我が国の初等科学教育では、ニュートン力学の文脈で力学教材を取り扱っていないからである。我が国の初等科学教育では一般的に、力を「筋肉の緊張」として導入している。このような力の定義は必然的に、「X（生物・無生物）のもつ力」という考え方を強化することになる。一方、科学的概念としての力は、「物体間の相互作用」である。従来の教授法では、両者の認識の差を埋めることは容易ではない。力はそもそも相互作用であり、2つの物体間で作用し合うものであるから、これに関する何らかの扱いが必要なのではないだろうか。2力のつり合いや作用と反作用の概念を含まない現行の小学校学習指導要領理科における力学教育は、小学校力学教育を上位の科学的な「力学」の基礎を学ばせるという系統性から考えると構造上大きな欠陥がある、という批判もある（平田, 1982）。

次に、本研究においては、小学校4年生を実験対象者として選定するが、その理由を以下に述べる。

第1に、子どもたちの力の概念の出発点は、自分がした行為（引っ張った、押した）や、自分が出したもの（力こぶを作った、踏ん張った）等、日常経験を通して獲得されていくからである。そのため、「力は単独で存在する」とか、「物体（人を含む）は力を所有する」等というように力を「内在的なもの」と思い込んでしまうことが報告されている（Watts, 1997）。学校教育で力の「科学的な知識」が育成されていない小学4年生までは、こうした「日常的な力の概念」を形成している可能性が考えられる。本研究においては、子どもの日常的な力の概念を学習の起点とすることか

ら、小学4年生を実験対象者として選定した。

第2に、小学校における「初等力学」の学習の果たすべき役割は、認知発達段階の移行を促す意味においても大きいことが指摘されている(戸北, 1985; 川勝, 1998)。Piaget (1969)の発生的認識論を「力の概念」に適用すると、小学校低学年段階(1~3年)のアニミズム的思考(animism)においては、「力」は生き物が何かに働きかける結果生じるものであるというように、一方的に働きかけるものと捉えてしまう。それゆえ、静止している物体はあるべき場所にじっと座っているだけで、おおよそ力とは無縁であるかのように考えてしまう。また、この段階の自己中心的思考(egocentrism)においては、自分がした行為(引っ張った、押した等)や自分が出したもの(力こぶを作った、踏ん張った等)を通して、力の概念を形成している。一方、小学校高学年段階(4~6年)になると、自己中心性から解脱する方向(decentration)へと向かう。自己を客体化する見方を身に付けることで、例えば机の上に置かれた本をも客体化して、そこにはどのような力が働いているかを認識することができるようになっていく。こうした認知発達段階の移行を促す意味においても、小学校4年生が「初等力学」を学習する意義は大きいと考える。

## II. 目的

以上の問題を踏まえて、まず、本研究の第1の目的を述べる。先行研究(Brown, 1994)においては、ブリッジングアナロジー方略の枠組みに基づき、アメリカの高校生(高校物理を未履修)を対象として力学の授業を行った結果、力学の概念形成に有効であることが示されている。しかし、当該方略は日本の小学生に対しては未検討であり、その有効性は試みられていない。そこで、本研究では、小学校4年生を対象として、ブリッジングアナロジー方略の枠組みに基づく実証的研究を行い、当該方略に依拠した教授法は初等力学の概念形成に有効であるか否かを検討する。

次に、本研究の第2の目的を述べる。今回、現行の小学校学習指導要領理科において取り扱われ

ていない「力の作用・反作用」の概念を取り挙げる。ゆえに、大半の小学生は、静止している物体に働く力を考えるという経験を持つことは皆無であろう。そこで、静止している物体に働く力という本来見ることができない力を「見えるようにする」ために、以下の2つの視点を組み入れることを試みる。第1には、「力は相互作用により働き合う」という視点である。換言すれば、「何が何によって力を及ぼされているのか」を明確に捉えられるということである。かなり意識的に、「物体間における力の相互作用」=「物体間に働く力」=「作用・反作用」の考え方を導入していかなければ、物理学的な「力の概念」の形成は困難であろう。第2には、「物体はバネの性質を持ち、押されたら押し返そうとする力が働く」という視点である。以上の2つの視点、すなわち「力の相互作用性」と「物体の弾性力」を学習過程で取り上げることは、力の作用・反作用の概念形成に有効であるか否かを検討する。

## III. 方法

### 1. 対象児

神奈川県内の小学校児童4年生24名(男子6名、女子18名)。事前・事後テスト、及び授業を2002年2月、総合的学習の時間に実施した。授業者は学級担任であった。

### 2. 手続き

#### (1) 事前テスト

課題は、「hand on spring」: バネを手で押し下げている場面、「book on board」: 柔軟性のある板の上に本を置いている場面、「book on desk」: 机の上に本を置いている場面の3つである。各課題において、2種類の質問が行われた。①上向きの力の有無: 上向きの力が働いているか否かを4段階の尺度(4:「大変そう思う」、3:「ややそう思う」、2:「あまりそう思わない」、1:「全然思わない」)で回答させ、その理由を記述させた。②ターゲット課題との類似: 「hand on spring」と「book on desk」、「book on board」と「book on desk」が類似しているか否かを、4段階尺度(4:「大変似ている」、3:「やや似ている」、2:「あまり似ていない」、

1:「全然似ていない」)で回答させ、その理由を記述させた。なお、4段階尺度は、数値が増えるほどより概念獲得が進んだと解釈される。

調査は、質問紙に記述する形式で行われた。なお、各課題の提示順序は、対象児間でカウンターバランスをとった。回答は対象児ペースで進められ、各人の調査に要した時間は、約10~15分であった。

(2) 授業の構成

第1に、本研究における学習プロセスは、学習者に "Target (=book on desk)" を理解させるた

め、"Anchor Analogy (=hand on spring)" と "Bridging Analogy (=book on board)" を用意し、さらに、自作 VTR 教材による物体の微視的なモデル (Microscopic Model) の説明を追加した構成となっている (FIGURE 1)。力学の概念を初めて学ぶ者にとっては、現象の背後にある力のメカニズムは極めて抽象的であり、理解することは容易ではない。そのため、公式や数値的例題を用いず、日常生活で用いられる身近な事例を通して定性的なアプローチで問題解決が行われた。

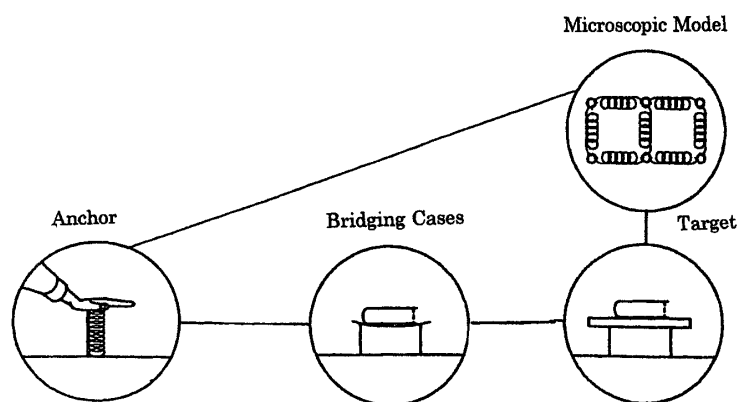


FIGURE 1 Concept diagram of static normal forces (Clement, 1993)

TABLE 1 本研究における「力の作用・反作用」の授業の構成

Learning Cycleの相	Bridging Analogies Strategy を用いた学習内容
<engagement phase> 新しい学習テーマとの遭遇と学習動機の高まり	①「机は、本を押し上げているか」を学習テーマとして提示する。本来、見えない力を見えるようにするという、これから続く一連の授業への関心を高める。
<exploration phase> 仮説・予測の設定、実験・観察の遂行、結果の考察	②バネに親しむ実験を通して、バネの性質を発見させる。 a. バネは「ちぢむ」と、もとにもどろうとする。 b. バネを手で押すと、バネが手を押し上げている力を感じる。 ③以下の3つの課題について、仮説を設定し、教師の演示実験・一連の実験・観察活動等を通して、仮説を検証していく。 課題1:「バネの上の手」(Anchor)において、バネは手を押し上げているか？ 課題2:「柔軟性のある板の上にのせた本」(Bridging)において、柔軟性のある板は本を押し上げているか？ 課題3:「机の上の本」(Target)において、机は本を押し上げているか？ 各課題 (Anchor, Bridging, Target)間の類似点を考えさせる。 a. Anchor→Bridging→Target (バネ→板→机)と徐々に変形が少なくなる。しかし、全ての物体はバネ的性質を持ち、接触している他物体を押し返す力は、全ての場合に働いている。 b. 力は、物体が接触しているとき、物体間で必ず作用し合う。
<term introduction phase> 得られた結果をもとにした科学的用語・概念の学習	④授業のまとめと、物体の微視的モデルについて説明を行う。 VTRによって、バネも板も机も、原子がバネで結合されているようにモデル化できることを提示する。 a. いかなる物体も、押したとき、拡大して見ればちぢんでいる。ただし、ちぢみの程度が違う。 b. 物体が接触しているとき、作用・反作用が各々の物体に一組になって働く。

第2に、本研究で考案した「作用・反作用」の授業の展開をTABLE 1に示す。抽象的な力の概念は単なる教え込みによって理解することが困難であるため、授業の展開は、仮説・実験・結果の解釈の活動を基本単位とする① engagement phase, ② exploration phase, ③ term introduction phase という3つの相から成る (Lowson, 1995)。具体的には、「討論に十分な時間を割き、既有知識に基づく学習者なりの仮説を設定する。→実験・観察の活動を行う。→実験・観察の結果に基づく討論を行い、仮説を検証する。」という仮説・探求活動が行われる。

(3) 事後テスト

事後テストの課題については、教授効果を検討するために、授業後、再度事前テストの問題が同一の手続きで行われた。各人の調査に要した時間は、約20~25分であった。

IV. 結果と考察

(1) 上向きの力の有無

TABLE 2 Means and SDs of Achievement Scores of Subjects (exerts an upward force)

	Pretest		Posttest		T-VALUE
	Mean	SD	Mean	SD	
hand on spring	3.20	1.19	3.64	0.77	2.09*
book on board	2.73	0.91	3.47	0.78	4.08***
book on desk	2.31	1.04	3.27	1.01	4.42***

\*p<.05    \*\*\*p<.001

事前・事後テストの平均値及び標準偏差の比較をTABLE 2に示す。各課題における得点をt検定により比較した結果、"hand on spring", "book on board", "book on desk"において、事前・事後テストの得点差が有意であった ( $t(23)=2.09, p<.05$ ;  $t(23)=4.08, p<.001$ ;  $t(23)=4.42, p<.001$ )。これより、3つの課題の得点は、授業を受けたことにより、

有意に上昇したことが示された。

上記の数量的分析の結果の解釈をするために、以下、①事前・事後テストの理由記述のプロトコル分析、さらに、②授業過程のトランスクリプト分析の観点からの解釈的分析を行う。

第1に、学習者の概念がどのように変容したのかを、事前・事後テストのプロトコル分析から明らかにしていく。"hand on spring", "book on board", "book on desk" の各課題における事前・事後テストの理由記述を、力を直観的に捉える視点、力を物理学的に捉える視点のカテゴリーに分類して、それぞれの人数分布をTABLE 3に示す。カテゴリー (3: 「直観的に捉える」, 「物理学的に捉える」, 「無回答」) × 学習状況 (2: 事前, 事後) の $\chi^2$ 検定を行った結果、事前・事後テストによるカテゴリーの頻度の違いに有意差が見られた ( $\chi^2(2, N=24)=5.99, p<.05$ ;  $\chi^2(2, N=24)=12.39, p<.01$ ;  $\chi^2(2, N=24)=13.80, p<.01$ )。TABLE 3によれば、力を現象を通して「直観的に捉える」者 (例えば、「つくえも本も動いてないから、力は働いていない」, 「つくえは本の重さをささえている」, 「つくえがささえてないと、本はゆかに落ちちゃうと思う」等) の割合は、"hand on spring", "book on board", "book on desk" の各課題において有意に減少した。一方、力を「物理学的に捉える」者 (例えば、「本がつくえをおす力と、つくえが本をおす力の両方がはたらいている」, 「本があってへこんだ分だけ、つくえも上向きにおしかえそうとしている」, 「両方とも物どうしが、下向きと上向きにおし合っている」等) の割合は、"hand on spring", "book on board", "book on desk" の各課題において有意に増加した。この結果は、学習者は授業を受けた後、力の概念形成にとって重要である「力の相互作用性」と「物体の弾性力」

TABLE 3 Numbers and Percentage of Subjects in each categories of saying the situation exerts an upward force

	hand on spring				book on board				book on desk			
	Pretest		Posttest		Pretest		Posttest		Pretest		Posttest	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
intuitive ideas	14	58.3	7	29.2	16	66.7	7	29.2	19	79.2	9	37.5
physical ideas	7	29.2	15	62.5	5	20.9	15	62.5	2	8.3	13	54.2
NR	3	12.4	2	8.3	3	12.4	2	8.3	3	12.4	2	8.3

を認識することができるようになったことを示している。

第2に、概念変容をもたらした要因は何であるかを、授業観察記録及びビデオ記録に基づく授業過程のトランスクリプト分析から明らかにする。一連の学習過程の中で、既有知識が修正されたとされる特徴的な発話に関して、的確にかつ端的に提示しうるシーケンスを以下に抽出した。尚、Tは教師、Cは子ども、C<sub>n</sub>は複数の子どもを示す。

#### a. 事例1 <engagement phase>

“book on desk”について考える

- 1'08" T: 「みんな、先生の机の上の本をよーく見てください。この本に、力は働いているかどうか考えてみよう。どう思う？」
- 1'24" C<sub>1</sub>: 「なんかね、本は動いていないから…。たぶん、力はないんじゃないかと思う。」
- 1'35" C<sub>2</sub>: 「あのさ、本をのせたって、本をのけても、何もかわっていないでしょ。だから、つくえは…。」
- 1'50" T: 「机は、どうしたの？」
- 1'53" C<sub>2</sub>: 「つくえは、だから、一定のじょうたいをたもっているだけ。」
- 2'02" T: 「保っているだけ。本に力は働いていない？」
- 2'07" C<sub>2</sub>: 「働いてない。」

#### b. 事例2 <exploration phase>

“book on desk”について考える

- 30'15" T: 「みんなの机の上の本には、いろいろやってみて、力は働いてる？ どうかな？」
- 30'22" C<sub>3</sub>: 「あの…意見言ってもいい？ 板の場合、本が下におしたら、もとにもどろうとする力がはたらいたでしょ？ だから、つくえも、見た目は分からないけど、同じ力がはたらいてると思う。」
- 30'54" T: 「同じ力が働いてる？」
- 30'59" C<sub>3</sub>: 「板の方はやわらかいけど、あの、つくえはかたいだけで、ちゃんと本をお

しあげていると思う。」

- 31'10" T: 「机は固い。机とベニア板の厚さは？」
- 31'14" C<sub>n</sub>: 「ちがーう。」
- 31'18" C<sub>4</sub>: (机を指して) 「厚い。」
- 31'22" C<sub>5</sub>: 「何十、何倍も。」
- 31'27" C<sub>6</sub>: 「板をなんまいも重ねれば、つくえと同じ。」

#### c. 事例3 <term introduction phase>

“book on desk”について考える

- 34'34" T: 「今から、みんなを机の中に招待します。」
- 34'39" C<sub>7</sub>: 「しょうたい？へんじゃない？」
- 34'46" T: VTRを見せる。
- 34'48" C<sub>n</sub>: 「うわー。」「なにそれ？」「いいね。それって。」「スローで見るとよくわかるよね。」
- 39'35" T: 「机の拡大モデルは、どんな動きをしたた？」
- 39'43" C<sub>8</sub>: 「ちぢんでいるかなあ。」
- 39'46" C<sub>9</sub>: 「ちぢんだら、おしかえしてもどってる。」
- 39'51" C<sub>10</sub>: 「バネよりつくえの方がちぢみ方が小さいけど、ちゃんとちぢんだ。」
- 40'02" C<sub>11</sub>: 「バネの方がつくりがやわらかいから、ちぢみ方も、もとにもどるのも大きい。」
- 40'12" T: 「机も、押したら縮んで、押し返す力があつたというわけだね。」

授業過程のトランスクリプト分析より、概念変容をもたらした要因としては、以下の2点が考えられる。

第1に、「力は相互作用により働き合う」という視点を獲得したことである。すなわち、「何が何によって力を及ぼされているのか」を明確に捉えられるということである。事例1のengagement phaseでは、机の上に本に働く力を視覚的・直観的に捉えているため、力の相互作用を見出すことができない(C1, C2)。しかし、事例2のexploration phaseでは、実験・観察を通して獲得した「ベニア板の上の本」の現象の解釈を、「机の

上の本」の現象の解釈に適用しようとしていることが分かる (C3, C6)。その結果、「机の上の本に力は働いていない」という視覚的・直観的な仮説は、「おしたらおし返す力を受ける (力の相互作用性)」という物理学的視点へと修正がなされている。

我が国の初等科学教育では一般的に、力を「筋肉の緊張」として導入している。このような力の定義は必然的に、「X (生物・無生物) のもつ力」という考え方を強化することになる。一方、科学的概念としての力は、「物体間の相互作用」である。従来の教授法では、両者の認識の差を埋めることは容易ではない。従って、今回のように、かなり意識的に「物体間における力の相互作用」＝「物体間に働く力」＝「作用・反作用」の考え方を導入していかなければ、科学的な「力の概念の形成」は困難であることが考えられる。

第2に、日常生活では見ることのできない「物体の弾性力」の現象をモデル化できたことである。本来見ることができない抽象的な「力」が「見えるようになる」ためには、子どもたちにとっては目に見えない、直接経験し得ないことを教えることが必要になる。事例3の term introduction phase では、「バネよりつくえの方がちぢみ方が小さいけど、ちゃんとちぢんでた (C10)」と、机もバネの構造をしたものとして受け入れられている。この発話は、「全ての物体はバネ的性質を持ち、おしたらおし返す力が働く」という物理学的視点が獲得されたことを示唆している。机のように一見なんの変化も起きていないように見えるものでも、その原子レベルの目に見えないつくりを頭の中に思い起こしてそれが一種のバネとして働いていることを理解できるようになれば、力の実在もよく分かるようになるものと考えられる。

以上の結果より、「力の相互作用性」と「物体の弾性力」の2つの要因を学習過程で意識的に取り上げることは、力の作用・反作用の概念形成に有効であることが示された。

(2) ターゲット課題との類似

事前・事後テストの平均値及び標準偏差の比較を TABLE 4 に示す。各課題をt検定により比較した結果, "hand on spring", "book on board" において,事前・事後テストの得点差が有意であった ( $t(23)=2.80, p<.01$ ;  $t(23)=3.77, p<.001$ )。これより, 2つの課題の得点は, 授業を受けたことにより, 有意に上昇したことが示された。

TABLE 4 Means and SDs of Achievement Scores of Subjects (analogous to the target)

	Pretest		Posttest		T-VALUE
	Mean	SD	Mean	SD	
hand on spring	2.64	1.07	3.24	0.96	2.80 **
book on board	2.62	0.98	3.36	0.86	3.77 ***

\*\*p<.01 \*\*\*p<.001

上記の数量的分析の結果の解釈をするために、以下、①事前・事後テストの理由記述のプロトコル分析、さらに、②授業過程のトランスクリプト分析の観点からの解釈的分析を行う。

第1に、学習者の概念がどのように変容したのかを、事前・事後テストのプロトコル分析から明らかにしていく。"hand on spring", "book on board", "book on desk" の各課題における事前・事後テストの理由記述を、表象的な構造の類似性、現象の背後にあるメカニズムに目を向けた類似性のカテゴリーに分類して、それぞれの人数分布を TABLE 5 に示す。カテゴリー (3:「表象的な構造の類似性」,「メカニズムの類似性」,「無回答」) × 学習状況 (2:事前, 事後) の  $\chi^2$  検定を行った結果、事前・事後テストによるカテゴリーの頻度

TABLE 5 Numbers and Percentage of Subjects in each categories of indicating the situation is analogous to the target

	hand on spring				book on board			
	Pretest		Posttest		Pretest		Posttest	
	N	%	N	%	N	%	N	%
analogy of specific structure	16	66.7	5	20.9	17	70.8	6	25.0
analogy of mechanism	5	20.9	17	70.8	4	16.8	16	66.7
NR	3	12.4	2	8.3	3	12.4	2	8.3

の違いに有意差が見られた ( $\chi^2(2, N=24)=14.70, p<.01$ ;  $\chi^2(2, N=24)=16.67, p<.01$ )。TABLE 5によれば、「表象的な構造の類似性」の言及(例えば、「バネの上に手がのっているのと、つくえの上に本がのっているのが同じ」, 「いたとつくえがにている」, 「じょうきょうが同じ」等)の割合は, "hand on spring", "book on board" の各課題において事後テストにおいて有意に減少した。一方, 「メカニズムの類似性」の言及(例えば, 「目に見えないけど, つくえもちぢむと, バネと同じようにはね返そうとする」, 「バネもつくえも, 上から力を受けるとへこんで, 元にもどろうとする力がはたらく」, 「ちぢむ, おし返すのかんけいがにている」等)の割合は, "hand on spring", "book on board" の各課題において有意に増加した。この結果は, 学習者は授業を受けた後, 視覚的・表象的な関係構造の類似性の予測から, 現象の背後にあるメカニズムに目を向けた類似性の予測へと変容していることを示唆している。

第2に, 概念変容をもたらした要因は何であるかを, 授業観察記録及びビデオ記録に基づく授業過程のトランスクリプト分析から明らかにする。一連の学習過程の中で, 既有知識が修正されたと思われる特徴的な発話に関して, 的確にかつ端的に提示しうるシーケンスを以下に抽出した。

#### d. 事例4 <exploration phase>

“hand on spring”について考える

- 18'51" T: 「みんな, 自分のバネを触ってみてどうだった? わかったことを教えて。」  
 18'58" C<sub>12</sub>: 「びっくり箱みたーい。」  
 19'02" T: 「びっくり箱みたい? どういう所が?」  
 19'07" C<sub>13</sub>: 「おしたら, すぐはねかえってくる。」  
 19'12" C<sub>14</sub>: 「おせばおすほど, だんだん手ごたえがついて, もとにもどろうとしている。」  
 19'20" C<sub>15</sub>: 「上へ行こうとする力が大きいってこと。」  
 19'28" C<sub>16</sub>: 「空気の原理といっしょでしょ?」  
 19'32" T: 「空気の原理といっしょ?」  
 19'36" C<sub>16</sub>: 「おせばおすほど, 空気がちぢまってはねかえるでしょ。バネもちぢまって

はねかえるから。」

19'46" T: 「押せば縮まって, はねかえる力が働く。」

#### e. 事例5 <exploration phase>

“book on board”について考える

- 25'46" T: 「みんな, 今から先生も, みんなと同じ事を前でやってみるから見てね。この板の上に, 本を置くと…。板がどうなるか様子をよく見ていてね。」  
 26'02" C<sub>11</sub>: 「おー。」「そっと置かないと。」「わー, 板がまがる。」  
 26'14" T: 「バネのときと, 似ている所はないかな?」  
 26'29" C<sub>17</sub>: 「あっ。わかった。本がもし手で, それでだよ, 本が手でおす力になって, 返す力がバネが板になって。バネと原理がいっしょだよ。」  
 26'41" T: 「バネと原理がいっしょ?」  
 26'44" C<sub>17</sub>: 「バネも板もおされると, イヤダーっっておしあげる力があるところ。」  
 26'52" T: 「バネも板も押し上げている力が働いているんだ。」

授業過程のトランスクリプト分析より, 概念変容をもたらした要因としては, 以下の点が考えられる。すなわち, 学習者はアナロジーを用いて現象を理解しているということである。学習の出発点になる "Anchor Analogy" は, 学習者にとって親しみのあるもの(学習者の既有知識, とりわけ直観的な知識)の中から選ばれた。その結果, 事例4の engagement phase では, 物をのせるとちぢむことが明らかかなバネの場合には理解の困難が生じない(C13, C14, C15)。事例5の exploration phase においても, 実験・観察を通してバネ(=Anchor Analogy) → 柔軟な板(=Bridging Analogy)の相互間に類似性を見出すことができる(C17)。このように, 既有知識と学習の到達点である "Target (机)" との間に大きな "jump" がある場合, "Bridging Analogy (柔軟な板)" を介在させることが有効であることが示唆された。アナロジーを用いて現象を理解していけ



ば、最終的には、固体というものはどんなものでも、バネと同じ性質を持っていることに気づき、力の実在もよく分かるようになるものと考えられる。

従来、アナロジーやメタファーは現象の理解に有効な手段であることが指摘されている(森本・尾崎, 1995)。本研究においても、学習者の既有知識から出発しアナロジーを用いて現象を理解していく教授方略は、新しい概念に対するコミットメントを高める効果をもたらし、小学生の力学の概念形成、すなわち力の作用・反作用の定性的理解に有効であることが実証的に示された。本研究で得られた知見は、教育課程、教材開発、及び授業設計に生かすことができるという点で、重要な意味を持つと考えられる。

### (3) 今後の課題

本研究が対象とした「作用・反作用」以外にも、力のつり合い、落体の運動、慣性力などの領域の力の概念は、現行の小学校学習指導要領理科では取り扱われていない。しかしながら、特に抽象的な力の概念は、単なる教え込みによって理解することが困難であることや、小学校力学教育を「初等力学」の基礎を学ばせるという系統性から考えると、こうした内容は、本研究で実践したように総合的学習の時間を用いて定性的に扱われるべきではないだろうか。小学校段階において、力学の基本的な概念を公式や数値的例題を用いず、学習者の既有知識、とりわけ直観的な知識を出発点として日常生活の身近な事象を用いながら定性的に認識させることは、上位の科学的な力学の概念を獲得する上で有効であると考えられる。

今後の課題は、「作用・反作用」以外の他の領域においても、ブリッジングアナロジー方略に依拠した教授法は子どもたちの概念の変容を促進し、かつ自然現象の解釈に効果が高いか否かを、実際の授業に即して実証的に検討していくことである。

### 引用文献

- Brown, D.E. 1994 Facilitating conceptual change usin analogies and explanatory models, *International Research of Science Education*, **16**, 201-214.
- Brown, D.E., & Clement, J. 1987 Misconceptions concerning Newtons' law of action and reaction ; The underestimated importance of the third law; *Proceedings of the Second International Seminar, Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, **3**, 39-53.
- Claxton, G. (Ed.). 1983 *Mini theories: A preliminary model for learning science*: Center for Educational Studies. King's College.
- Clement, J. 1993 Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, **30**, 1241-1257.
- Fischbein, E. 1993 The theory of figural concept, *Educational Studies in Mathematics*, **24**, 139-162.
- 藤田静作 1984 中学生の物理単位に関する意識 *物理教育*, **32-4**, 259-263.
- Gentner, D. 1983 Structure-Mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, **7**, 155-170.
- Glynn, S.M. 1989 Analogical reasoning an problem solving in science textbook. In Glover, J.A (Eds.), *Handbook of Creativity*: Plenum Press. 383-398.
- Hashweh, M.Z. 1988 Descriptive studies of students' conception sin Science. *Journal of Research in Science Teaching*, **25**, 121-134.
- 平田邦男 1982 小学校力学教材の構造と問題点 *理科の教育*, **2**, 85-89.
- 川勝博 1998 力の論理と自然観の教育 *理科教室*, **41**, 6-13.
- Lawson, A.E. 1995 *Science teaching and the development of thinking*. Wadsworth, Belmont.
- 丸山良平・無藤隆 1997 幼児のインフォーマル算数について *発達心理学研究*, **8**, 98-110.
- 森本信也・尾崎幸也 1995 子どもの自然認識におけるメタファー表現の意味するもの *日本理科教育学会研究紀要*, **35**, 1-9.
- Piaget, J., & Inhelder, B. 1969 *The psychology of the child*. New York :Basic Books. 波田野完治

- (監訳) 1969 新しい児童心理学 白水社.
- 作間慎一 1983 図形に関する児童のつまづきわかる授業,23,11-14.
- Saxe,G.B. 1988 Candy selling and math learning. *Educational Researcher*,17,14-21.
- 戸北凱惟1985 物理領域・教材精選の方向—力学概念形成に関して—教育科学・理科教育,17,69-78.
- Watts,D.M.1997 Prompting teachers' constructive reflection: Pupils' questions as critical incidents. *International Journal of Science Education*, 19, 1025-1037.
- Zeitoun,H.H. 1984 Teaching scientific analogies :A proposed model. *Research in Science and Technology Education*, 2,107-125.

#### 要旨

本研究の目的は、Clement (1993) が考案したブリッジアナロジー方略を用いた教授法が、日本の小学生の力学の概念形成に有効であるか否かを検討することである。小学校4年生の児童24名を対象に、ブリッジアナロジー方略を用いた「力の作用・反作用」に関する授業が実施された。事前・事後テストのプロトコル、授業時のビデオ記録の分析から、以下の点が明らかにされた。

- (1) 授業過程において、学習者の多くは、"Anchor", "Bridge", "Target"間の類似性を見出すことによって、既存の力の概念を変容していった。
- (2) 授業後、作用反作用の力学課題を「直観的な観点」から解釈する者が減少し、「物理学的な観点」から解釈する者が増加した。

(2002. 10. 22. 受稿)