

研究論文

小・中学生の力概念の基底としての存在メタファ

中山 迅
宮崎大学教育学部

宮川 雄司
元宮崎大学大学院生

**Ontological Metaphors
as a Basis of Primary and Lower Secondary School Students' Ideas of Force**
Hayashi NAKAYAMA*, Yuji MIYAKAWA**
Faculty of Education, Miyazaki University*
Former Graduate Student of Miyazaki University**

The hypothesis of this study is that students' ideas of force are based on some metaphors. In this study we focused our attention on ontological metaphors, because prior studies suggest that ontological metaphors are hidden in students' naive ideas of force. To examine the hypothesis we conducted interviews with 197 primary and lower secondary school students using the POE (Prediction-Observation-Explanation) method. As a result of the analysis of the transcribed protocols over half of students' predictions and explanations in every school grade are based on ontological metaphors. This result suggests that ontological metaphors are basic metaphors in students' ideas of force and these metaphoric conceptions might be the causes for generating naive conceptions of force.

Key words: Ontological metaphors, Ideas of force, Primary and lower secondary school students, Naive conceptions

1. 問題の所在

自然科学における科学概念と、多くの学習者の保有する素朴概念の間には隔たりがあることが、数多くの研究によって指摘されてきた。その中で、力の概念についても、いくつかの素朴概念に関する著名な研究がある (Viennot, 1979; Clement, 1982; Watts, 1983 など)。これらの研究で指摘されている素朴概念が、自然科学で容認されている力の概念とどのように異なっているのかを、まず比較してみたい。

自然科学における力の概念の辞書的定義は、次のようなものである。

物体の運動状態 (速度や角速度) が変化し、あるいは形が変わるとき、その物体には力がはたらいているという。基本的には、点状の物体 (質量

m) の速度が単位時間あたり a (=加速度) ずつ変化するとき、この物体には力 ma がはたらいているという。したがって力は作用点をもつベクトルである。(理化学辞典第4版, 1987)

つまり、物体の運動状態や形状の変化の原因が「力」と呼ばれている。そして、力 f 、質量 m 、加速度 a の間に成立する $f=ma$ という関係についての法則 (ニュートンの第2法則) を通して、物体の運動状態を説明したり予測したりするために用いられる概念である。さらにニュートン力学的な「力」には作用と反作用が同時に現れるという特徴がある。

このようなニュートン力学的な力の概念には、以下のような特徴が含まれている。

- (1) 力は、1つの物体から別の物体に作用する
- (2) 1つの力だけで存在することはなく2つの力が

同時に現れる（作用と反作用）

- (3) 2つの力の向きは、互いに逆向きである
- (4) 力は生起・消滅を繰り返す（保存されない）

一方、物理量の中には運動量や各種のエネルギーのように、物体に付随していて、物体内に蓄えられていると見なすことが可能な形式で定義されているものも存在する。しかし、力は物体間の相互作用の状況においてのみ定義可能であることが特徴である。

これに対して、非専門家である学習者の力の概念は、これとはかなり異なっている場合が多い。たとえば、運動物体に関して、次のような素朴概念が知られている。

Viennot (1979)

“supply of force”（運動を供給する力）
→物体に力がある限り運動が続く

Clement (1982)

“motion implies a force”（運動は力を含意する）
→運動物体には運動方向の力が働いている
→一定速度の運動にはその向きの力が必要
→運動方向の力は、運動が続く間は残っている

Watts (1983)

“motive force”（動機之力）
→物体が運動している時には力がはたらいている

“impact force”（衝撃之力）
→運動中の物体には他の物体に衝突したときに現れる力がある

同様に、静止する物体に働く力についての素朴概念については、中山・松原 (1989) が磁石と鉄の間に働く力について「力の内在」という素朴概念を指摘している。この素朴概念は、磁石や鉄に力が内在しているという考え方であり、力を物体に付随するものと見なす点が、前記の運動物体についての素朴概念と共通している。

こういった素朴概念の特徴には、次のような事項が

含まれている。

- (1) 力は単独で存在する
- (2) 力は物体に付随して存在する場合がある
- (3) 力は1つの物体から別の物体に移動できる
- (4) 物体は力を所有することができる

こういった特徴には、中山 (1998 a, b) が指摘した「存在メタファ」で説明を与えることが可能である。つまり、「力」を「モノ」に見立てるメタファが関係していると考えるのである。ここで、「存在メタファ」による力の素朴概念の説明は、瀬戸 (1995 a, b) の理論を背景としたものなので、これについて少し説明しておきたい。

瀬戸 (1995 a) は、次のように述べている。

「存在のメタファー」は、あらゆる思考対象をこの世に存在する「もの」に《見立て》るメタファーである。この世に存在すると《見立て》られた「もの」は、この世に「ある」と考えられる。

つまり存在メタファーは、概念や思考にかかわりのある重要なメタファーとして位置づけられている。「一つの出来事」「強い意志をもつ」(瀬戸, 1995 b) などといった表現は、存在メタファーに基づくものであり、そういった表現は概念や思考を規定する役割をも果たしていると考えることができる²⁾。

このように、対象を「モノ」に見立てると、その存在場所や方向、さらには移動について考える余地が生まれてくる。それを表現したのが図1である。すなわち、存在メタファーに基づく場合には、自ずと位置づけメタファーや運動メタファーに基づいた考えが導かれ、そこからさらに場所メタファーや方向メタファーに基づく考えが導かれることになる。(図1)。

このような考えに基づいて、存在メタファーに基づく力の概念を具体的に表したのが図2である。存在メタファーは、「力」と「モノ」の対応関係から出発する。この図には、「力」を「モノ」に見立てた場合に、基底領域としての「モノ」の特徴と目標領域としての

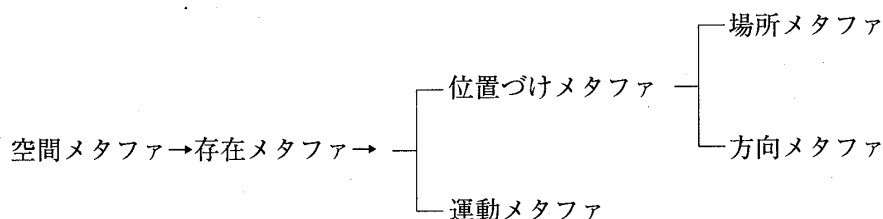


図1 存在メタファーの成り立ち (瀬戸, 1995 b を修正して作成)

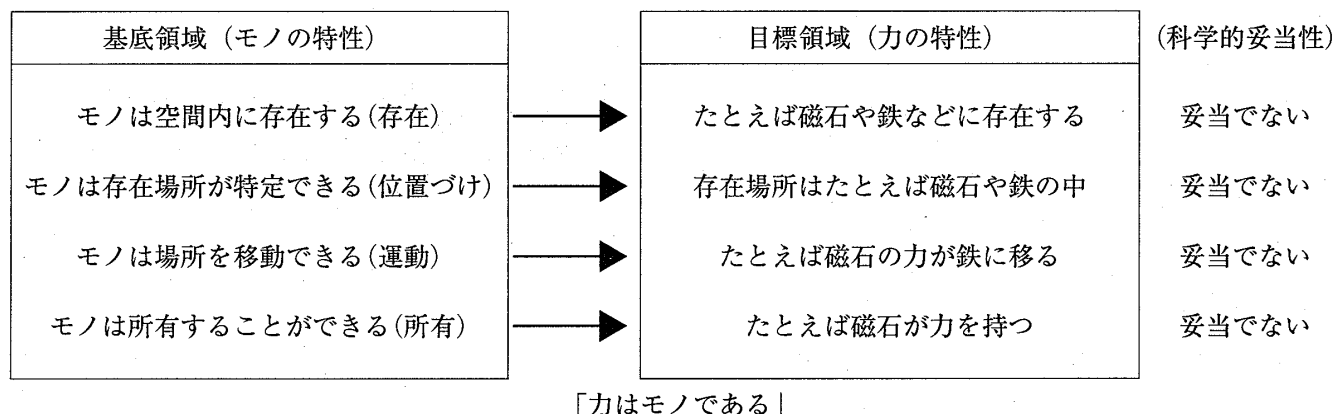


図2. 存在メタファに基づく素朴な「力」

「力」の特徴²⁾がどのように対応するのかが示されている。

このような対応関係に基づいて考えると、「力」は、運動または静止する物体に、必然的に位置づけられることになり、前述の Viennot (1979), Clement (1982), Watts (1983), そして中山・松原 (1989) が指摘した素朴概念において、学習者が力を運動または静止する物体に付随すると見なすことに、共通した説明を与えることができる。さらに、「手の力が物体に移る」とか「磁石の力が鉄に移る」といったような、物体間での力の移動という「運動メタファ」の考え方や、「物体が力を持つ」といった「所有メタファ」の考え方も、存在メタファから導かれたものと考えることができる。

ニュートン力学における「力」には、方位や位置づけはあるが、それは、特定の位置で特定の向きに「作用する」のであって、そこに「ある」と考えられるべきものではない。つまり、力学では「力が〇〇にある」とは、けっして表現されない。このことは、ニュートン力学的な力は物体間の関係を表す概念であり、位置と空間を占める「モノ」には見立てられないことを意味している。

これに対して、素朴概念のかなりの部分は、力を「モノ」に見立てるという意味での存在メタファに基づいて構成されていると考えることが可能である。

以上が、力に関する素朴概念が生じる原因の一部についての、存在メタファによる説明である。こういった説明は、力にかかわるいくつかの素朴概念が「存在メタファに基づく力の概念」として理解可能であることを示唆している。したがって、存在メタファは、力と運動にかかわる複数の素朴概念を統一的に説明する

理論的モデルになり得るものである。

一方、学習者自身にとっての存在メタファとは何であろうか。従来の研究で問題になっているいくつかの素朴概念が存在メタファに基づいて説明可能であることからすれば、力と運動についての学習者の概念や思考が本質的に存在メタファに基づいたものであると推定できる。しかしながら、それは実際の調査等によって確認されたものではない。学習者が実際に存在メタファに基づいて思考していることが調査等で示されれば、学習者の概念をメタファで説明する理論の説得力は増すであろう。

そこで、本研究では、力と運動にかかわる学習者の思考に存在メタファが関係していることを、調査によって確かめることにした。

II. 調査

1. 調査の目的

前述の問題に接近するため、学習者の「力」に関する概念の少なくとも一部が存在メタファに基づいたものであることを確かめる目的で、調査を実施した。

今回の調査では、質問紙調査によって「力の内在」に関する示唆 (中山・松原, 1989) が得られている「磁石と鉄の間に作用する力」を選んだ。

2. 調査の方法

a. 調査の実施

調査は、予測・観察・説明法 (White and Gunstone, 1992) にしたがって、一対一の面接法で実施した。

大まかな手順は、以下の通りである。

- (1) 図3のような、滑りやすい台の上へのせられた棒磁石と鉄の棒を提示する

- (2) それらが「同じ大きさ」で「同じ重さ」⁴⁾であることを述べる
- (3) 同時に手を放したときにそれらがどのように動くかを予測させる（図4の中の3つの選択肢から選び、回答用紙に記入）
- (4) その理由を質問して、口頭で回答させる
- (5) 生徒に、自分で実験させる（納得がいくまで）
- (6) 観察結果を回答用紙に記入させる
（予測の時と同じ3つの選択肢から選ぶ）
- (7) 「なぜ、そのような結果になったと思うか」を質問して、口頭で回答させる

提示物として用いた「滑りやすい台」（図3）は、アクリルで作った枠の中に直径約2mmのガラスビーズを敷きつめたものであり、棒磁石と鉄の棒の下には透明なアクリル板を張り付けて滑りやすくしてある。

面接は二人の筆者がそれぞれ担当し、原則として図5に示すような流れにしたがって実施した。そして、個々の被験者の回答に応じて質問を追加していった。

面接中の被験者の回答を、ビデオテープとオーディオテープに記録した。そして、事後に面接プロトコルとして書き起こしてから分析を行った。

調査対象は、宮崎市内の公立小学校の4年生から6年生の児童、および鹿児島県大島郡の中学校の1年生から3年生の生徒である。いずれも、各学年1学級の児童・生徒全員（欠席者を除く）を対象として調査を

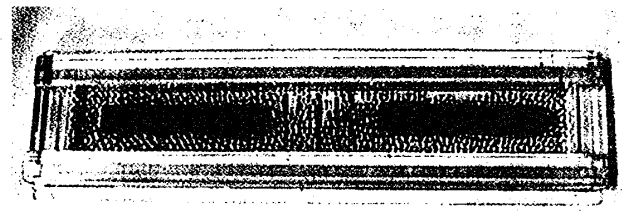
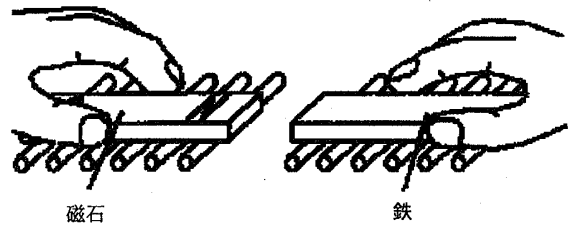
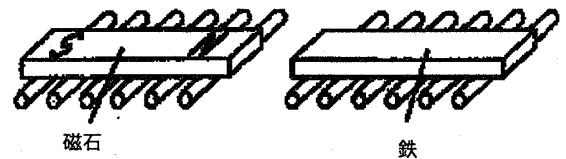


図3. 滑りやすい台の上の磁石と鉄

いつも 滑りやすい台の上に、同じおまのじしゃくとてつがあります。同時に手をはなすとどうなるとおもいますか？



↓ 手をはなす



あなたの予想はどれですか？下の①～③から選んでください。（ ）
 ①じしゃくの方がいっぱい動く
 ②てつの方がいっぱい動く
 ③どちらも同じくらい動く

図4. 予測の記入用紙

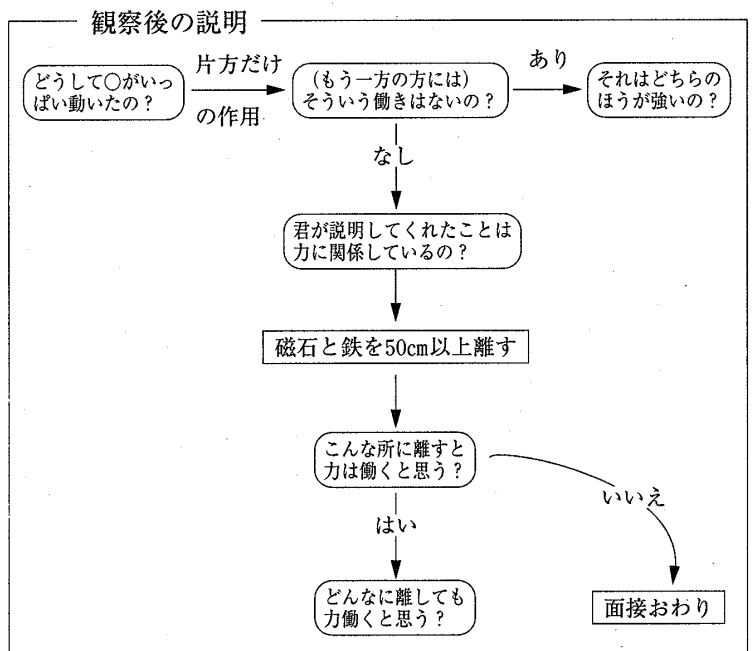
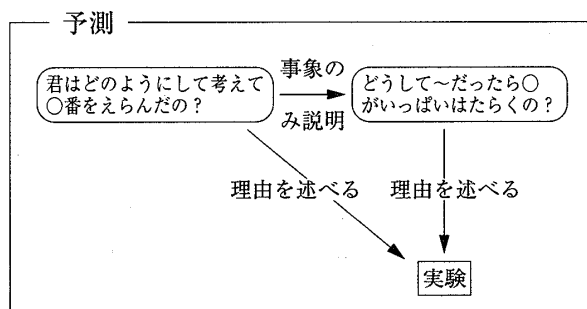


図5. 面接の流れ

実施した。男女の数は、ほぼ同数である。調査対象者

表1. 調査対象人数

学年	小4	小5	小6	中1	中2	中3	合計
人数	37	38	36	27	28	31	197

の人数を、表1に示す。

調査時期は、小学校は、1996年の2～3月および1997年の9月であり、中学校は1996年の9月である。

b. 分析

分析は、面接プロトコルの中から、存在メタファに基づく発話を特定する方法で実施した。また、分析においては、被験者が予測や観察の結果として、どの選択肢を選んだかは考慮しなかった。

分析の際には、表2に示す3つの観点をを用いた。

表2. プロトコル分析の際の観点

○ある存在
「力がある」 「力がない」 「引きつける力がない」 「少ない」「少なくなる」などの、量への言及 ※「ない」の場合は“力”と明言した場合
○運動
力が「届く」, 「届かない」 「伝わる」 「移す」, 「移る」 「出す」, 「出る」
○所有
力を「持っている」

まず、「ある存在」メタファを、存在メタファに属するメタファのうちで、「力が物体内にある」という直接の見立てによるメタファとして定義する。これを、「力が磁石にある」「鉄には力がない」などの発話によって特定していった。

次に、「運動」メタファは、力を移動する対象に見立てるメタファである。プロトコルでは「届く」「出る」などの発話によって特定した。

「所有」メタファは、「磁石が力を持っている」などのように、力を所有物に見立てるメタファである。

分析では、「ある存在」「運動」「所有」の3つのメタファを併せて「存在メタファ」と呼ぶことにした。

分析の観点は、面接プロトコルを一通り読んだ後で表2のように確定した。そして、2人の筆者がそれぞれ独立して分析を実施した。これは、分析の信頼性を確保するためである。独立した分析の後、二人の分析結果を対照し、一致率の算出を行った。その際には、一人の被験者に対する判定が完全に一致する場合を「一致」とした。ただし、見落としによる不一致は、これには含めなかった。二人の分析者の判断の違いがある場合には、協議によって判定を決定した。

3. 調査の結果

面接プロトコルの中から、メタファに基づいた発話を特定した。以下は、その事例である。ただし、Qは面接者の発話、Aは被験者の発話であり、下線は当該のメタファに基づく部分のみに付した。

「ある存在」

(小4 被験者番号36)

Q01: どうして鉄の方がいっぱい動くんだと思う?

A01: 鉄の方が力があるから

Q02: 磁石の方には?

A02: あると思う

Q03: でも鉄の方が強い?

A03: はい

(中1 被験者番号12番)

Q09: 重さがいっしょの時にどうして同じように動くんだと思う?

A09: 鉄にもちょっと磁石の力があるから.

Q10: 鉄にもちょっと磁石の力があるから? はじめから?

A10: いや、磁石につけてるうちに。

Q11: 磁石につけてるうちに? こう離してるときは?

A11: ない。

Q12: ない?

A12: ある? ない! ない!

Q13: くっつくのはどうして?

A13: くっつくのは左っかわの磁石のところに引っ張る力があるから.

Q14: 磁石のところに引っ張る力があるから? その引っ張る力というのは鉄の方にある?

A14：鉄の方に？あるかもしれない。

Q15：あるかもしれない？ふふ，うーん，

A15：ああ，ないわ，ない！最初からはない。

「運動」

(小4 被験者番号36—上記の続き)

Q08：うん，じゃあ，近いところだとひつついて，どうして遠くなるとひつつかないんだと思う？

A08：近いときは引きつけられる力が届くけど，遠くなると力がなくなってしまうから。

(中1 被験者番号12番—上記の続き)

A16：近づいてくっついたときにその磁石と一体化したときだから，くっついたときには磁石の力を，最初は磁石の方が鉄の方に移すって言うか・・・

Q17：移すって何を移すんか？

A17：磁力を。

「所有」

(小4 被験者番号26)

Q02：じゃあ，もう一回磁石の方が動いたという理由を教えてくださいかな？

A02：鉄と磁石がひつつこうとして・・・磁石が鉄の方に吸引力が・・・鉄は磁石みたいに吸い付こうとはしないから磁石の方が吸引力が大きい

Q03：じゃあね，その磁石のほうがかうくつつこうとするっていつてくれたけれども，そのことは力に関係していると思うそれとも関係してないと思う？

A03：関係している。磁石の方がいっぱい力を持っているから・・・いや，鉄の方かな？鉄の方に力があるから磁石が動くのかな？じゃない！こっち（磁石）の方がくつつこうとする力があるからこっちの方が動く

Q04：だったら，この鉄を取り去って磁石だけにするとするよ。このときに磁石の方にくつつこうとする力はあると思う？

A04：あると思う。

(中2 被験者番号3)

Q21：あの一この磁石は別にして力というのは何だと思おう？

A21：力ですか？うーん，・・・難しい。お互いが

持ってる，・・・えーっとなんて，人間でいえば能力みたいなもの，もともとあるもの。

(中2 被験者番号8)

Q01：どのように考えて鉄の方がいっぱい動くって言うのを選んだ？

A01：・・・磁石が力を持っているから。

二人の分析者による判定の一致率を学年毎に算出したところ，小4 = 100%，小5 = 94.7%，小6 = 94.4%，中1 = 100%，中2 = 92.8%，中3 = 90.3%であった。一致率から，分析の信頼性は確保されたと考えた。そこで，このようにして特定されたメタファについての集計を行った。以下に，その集計結果を示す。

表3. 存在にかかわる名メタファの集計結果

学年	ある存在	運動	所有
小4 (37人中)	5	21	1
小5 (38人中)	12	13	0
小6 (36人中)	10	10	0
中1 (27人中)	10	9	1
中2 (28人中)	13	8	5
中3 (31人中)	13	10	3

表4. 存在メタファの集計結果

学年	存在
小4 (37人中)	23
小5 (38人中)	19
小6 (36人中)	19
中1 (27人中)	14
中2 (28人中)	19
中3 (31人中)	19

まず，表3は存在にかかわる各メタファの集計結果である。

この結果から，いずれの学年においても「ある存在」または「運動」のメタファに基づく回答が，被験者の1/3から半数程度の割合で出現していることが

分かる。

次に、これらの各メタファのうちの少なくとも一つに基づく回答を集計したのが表4である。これは、「ある存在」「運動」「所有」を含む「存在メタファ」に基づく回答を行った被験者が、各学年に何人いるかを示している。この表は、すべての学年で半数またはそれ以上の人数の被験者の回答が「存在メタファ」を含むものであったことを示している。

III. 考察

「存在メタファ」は、力を何らかの形で空間内に存在する「モノ」に見立てるメタファである。したがって、今回の調査対象となった児童・生徒の半数またはそれ以上の者の「力」の概念には、「力」を「モノ」に見立てるメタファが関与しているという結論が得られる。

さらに、今回の調査で採用した「予測・観察・説明法」において、存在メタファに基づいた回答は、「説明」の場面だけではなく、「予測」の場面においてもすでに現れている。小・中学生の力についての思考への存在メタファの関与は一貫しているようである。

すでに述べたように、科学概念としての「力」は相互作用を前提とする概念であり、「モノ」への見立ては不可能である。科学概念のうちで「モノ」への見立てが成立するのは、運動量や各種のエネルギー、そして熱などである。

科学においても「モノ」への見立てが採用されている概念があることを考えると、児童・生徒が採用している「モノ」への見立て自体に、本質的な問題があるとは思えない。「モノ」への見立てを、何に対して行うのかに問題がある。素朴概念の場合は、メタファの基底領域としての「モノ」を「力」という目標領域に対応させる点が、科学的に容認される概念とは異なっている。

つぎに、このような「モノへの見立て」としての存在メタファに注目すると、従来から知られている素朴概念に、一貫した説明を与えると同時に、学習者の思考を予測することが可能となることが分かる。

力が「モノ」と見なされると、空間内のどこかに位置が決まらなくてはならない。その位置とは、運動中の物体 (Viennot, 1979; Clement, 1982; Watts, 1983) や磁石 (中山・松原, 1989) である。

Viennot (1979) の「物体に力がある限り運動が続

く」と、Clement (1982) の「運動方向の力は、運動が続く間には残っている」には、物体に「力」を位置づける見方が現れている。ところが、これらの「力」がモノに見立てられたものであれば、どこから移動して来なければそこに位置することができないことになる。そこで、「ボールを投げたときの手の力がボールに残る」(Clement, 1982) というように、「手から」「ボールへ」の力の移動を想定することになる。これが運動メタファである。存在メタファから導かれる運動メタファに基づいて、「力」はどこから供給されて物体に位置づくと思なされることになる。

したがって、学習者が存在メタファに基づいて「力」を考察する場合は、力の存在場所が物体の存在場所で一義的に決まると考えたり、それが物体から物体へと移動可能であると考えられる可能性が予測できる。

さらに、「磁石の中心付近ではなく先のほうに力がある」とか、「物体を支える手には力があるけど、物体がおかれた机にはない」といったような発想も生まれてくる。「力」という「モノ」を供給できそうな物体およびその場所と、供給できそうにない物体およびその場所を、仕分けする発想が生まれてくる。

このように、存在メタファに基づく概念化や思考に注目すると、従来から指摘されてきた素朴概念を関係的に説明できるだけでなく、これまで以上に学習者の概念や思考についての予測を行いやすくなる。

実際に、今回の研究で実施した調査では、磁石と鉄の間の相互作用についての「予測・観察・説明」において、学習者から「力がある」「力が届く」「力を持つ」といった説明が発せられることを、存在メタファに基づいてある程度予測することができた。こういった予測力は、教育課程や教材開発、授業設計に生かすことができる。

レイコフとジョンソン (1986 a, b) は、以下のように述べて、メタファの重要性を主張している。人間の概念体系の一部は、基本的に比喩的である (1986 b)。

われわれの通常概念体系は、その大部分がメタファによって構造を与えられている (1986 a)。

今回の調査結果は、「力」の概念もレイコフらの主張の例外ではなく、存在メタファがとりわけ重要な地位を占めていることを示している。そして、今回の結果は、力にかかわる素朴概念の多くを総称して「存在メタファに基づく力の概念」と呼ぶことの可能性を支

持するものであった。

ただし、今回の結果は「磁石と鉄が引き合う力の課題において」という限定つきである。運動物体についての課題についての検討は行われていない。今後は、運動物体に関する課題についても、「モノに見立てられた力概念」の予測力と説明力を確かめていくことも必要であろう。

付記

本研究は、文部省科学研究費補助金 平成7年度総合研究(A)、平成8・9年度基盤研究(A)「自然理解における科学的な知の表現方法と評価方法の体系化」(研究代表者：中山迅、課題番号07308013)、及び、平成8・9年度萌芽的研究「メタファーを基盤とした物理的素朴概念の分析」(研究代表者：中山迅、課題番号08878021)の援助を受けたものであることを付記する。心からお礼を申し上げたい。

また、調査に協力していただいた学校の児童・生徒及び教職員の皆さんに、この場を借りて心からお礼申し上げます。

《註》

- 1) 瀬戸(1995a, b)では、「存在のメタファー」という表記が用いられている。しかし、本論文では表記を「メタファ」に統一しており、瀬戸の「存在のメタファー」に対応するものを「存在メタファ」と呼ぶことにする。他の種類のメタファについても同様の言い換えを行った。
- 2) 現時点において、我々はこれが例外なくすべての思考対象に当てはまるとは解釈していない。たとえば、科学概念のすべてが存在メタファによって規定されるとは解釈しないほうがよいと考えている。
- 3) メタファの対応関係において、既知の知識領域を「基底領域」、未知の知識領域を「目標領域」と呼ぶ。
- 4) 科学的には「同じ質量」と述べるべきであるが、調査対象となった小学校4年生から中学校3年生までのすべての児童・生徒が理解可能な用語として、教示においては原則として「同じ重さ」という用語を用いた。

《引用文献》

Clement, J.: Student's preconceptions in introductory

mechanics, *American Journal of Physics*, 50 (1), Jan., 66-71, 1982.

久保亮五他編：理化学辞典第4版，岩波書店，1987.

G. レイコフ・M. ジョンソン著，渡部昇一他訳：レトリックと人生，大修館書店，1986a.

G. レイコフ・M. ジョンソン著 山梨正明訳：人間の概念体系における比喩構造，M. ミンスキー他著 佐伯胖編，「認知科学の基底」，産業図書，35-56，1986b.

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，30(2)，63-68，1989.

中山 迅：子どもの科学概念の比喩的な構成，科学教育研究，21(1)，12-21，1998a.

中山 迅：日光によるもののあたたまりについて小学生が比喩的に構成する概念，科学教育研究，22(2)，61-68，1998b.

瀬戸賢一：メタファー思考，講談社現代新書，1995a.

瀬戸賢一：空間のレトリック，海鳴社，1995b.

Viennot, L.: Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics, *European Journal of Science Education*, 4 (2), 205-221, 1979.

Watts, D. M.: A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force, *European Journal of Science Education*, 5 (2), 217-230, 1983.

White, R. and Gunstone, R.: *Probing Understanding*, The Falmer Press, London, 1992.

(受付日1998年9月9日；受理日1999年1月25日)

〔問い合わせ先〕

〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1
宮崎大学教育学部 理科教育講座
中山 迅
電子メール e04c01u@cc.miyazaki-u.ac.jp