

「観察によって得た知識」と「科学的情報から得た知識」を いかに関連づけるか

——地球の形の概念の場合——

中 島 伸 子¹

A STUDY ON HOW TO RELATE "OBSERVATIONAL KNOWLEDGE" AND "KNOWLEDGE FROM SCIENTIFIC INFORMATION"

—— A case of the concept of the earth's shape ——

Nobuko NAKASHIMA

The present study had two purposes. One was to investigate children's and adults' informal knowledge of the earth's shape, especially on how they related the following two knowledges: "observational knowledge (e.g. the ground is flat)" and "knowledge from scientific information (e.g. the earth is round)", both conflicting each other. A second purpose was to examine effects of instructions invented by the author on changes from inadequate into adequate knowledges. The results of Exp. I and II—A: showed that contrary to results of previous researches there were many children (Kindergarteners, 1st, 3rd—, 5th—grades) who could not relate two conflicting knowledges at all. Although getting older made more people able to relate them correctly if needed, for a long time they considered them as distinct. The results of Exp. II—B showed that in order for children to correctly relate these knowledges, it was necessary to instruct them explicitly on how to properly relate them, while clearly indicating the conflict between both knowledges.

Key words: informal knowledge, conflict, observational knowledge, knowledge from scientific information, instruction.

問 題

科学教育の有効性を高めるために留意しなければならないことは、生徒は授業で取り扱う領域に関する「インフォーマルな知識」を既に持っており、それを授業に持ち込んで来るということであろう。子どもや成人は日常における様々な経験を通して、またある場合には実際的な必要に迫られて、「インフォーマルな知識」を生成すると考えられる。「インフォーマルな知識」は

日常生活を送る上では十分に有効であり、それ故に強固な知識である。

しかしながら「インフォーマルな知識」に基づく自然現象の説明は、科学的に認められている説明とは非常に異なることが多く、その上、従来の教育方法では科学的概念へと変化させるのが困難であることが明らかになっている (Clement, 1982; McCloskey, 1983; diSessa, 1982; Levin, Siegler, & Druyan, 1990; Levin & Druyan, 1993)。このような事実は、従来の教育が生徒が持ち合わせている「インフォーマルな知識」の性質を考慮しないままに「科学的概念」を教える授業を行ってきたことを示す。

¹ お茶の水女子大学人間文化研究科 (Faculty of Human Culture, Ochanomizu University)

従ってどのような教育的働きかけが有効かを結論づけるためには、生徒が授業に持ち込んでくる「インフォーマルな知識」の性質を明らかにすることが必要である。本研究では、人は主に2種類の経験を通して「インフォーマルな知識」を生成すると考える。第1に人は日常において生じる様々な現象を観察するという経験を通して自分なりの知識(=観察によって得た知識、以下「OK (Observational Knowledge)」)を生成する。第2に現代社会においては、人は様々なメディアから科学に関する断片的な情報(以下「科学的情報」)を受け取る機会が多く、そのような経験を通して科学に関する断片的な知識を得る(=科学的情報から得た知識、以下「KSI (Knowledge from Scientific Information)」)。従って現代のわが国の人々が持つ、科学に関する「インフォーマルな知識」の性質を明らかにするためには、「OK」と「KSI」の性質を明らかにする必要がある。さらに、しばしば1つの現象に関するこれら2つの知識は一致していない場合があるので、人々が「OK」と「KSI」をどのように関連づけているのかを明らかにする必要がある。本研究では、このような側面から「インフォーマルな知識」の性質を明らかにし、その結果を踏まえて、有効な教育的働きかけを考察することを目的とする。

上記の目的を遂行するために本研究では「地球の形の概念」を題材として取り上げる。その理由としては以下の4つが挙げられる。①多くの人々が共有している非常に強固な「OK(=地面は平らである/支えられないものは「絶対的な」²下に落ちる)」が存在する知識領域である(Spelke, 1991; Vosniadou & Brewer, 1992)。②多くの人々が共通の「KSI(=地球は丸い)」を保持している可能性が高い知識領域である。③①②の知識は一致していないので、人々が「OK」と「KSI」をどのように関連づけているかは重要な問題である。④わが国の理科教育においては、この知識領域に関する正式なカリキュラムは導入されていないので、どの年齢においても、この領域の知識は「インフォーマルな知識」と見なすことができる。

子どもの持つ「地球の形に関する概念」を調べた実

² 地球上においては、ものが落ちる方向を「下」と呼んでいる。科学的には「下」とは「地球の中心」ということになる。日常的な文脈で用いられている「下」という言葉は科学的な意味とは異なる暗黙的な意味を含んでいると考えられる。日常の現象を観察するという経験のみに頼ると、上下の方向を表わす方向ベクトルはこの世の中において1つしかないと感じられない。「絶対的な」という言葉を付加することによって、このような暗黙の意味を明示した。

証的研究は海外において、いくつかの文化圏でなされている(Mali & Howe, 1979; Nussbaum, 1979; Sneider & Pulos, 1983; Vosniadou et al., 1992)。これらの研究の共通の主張は次の2点にまとめられる。第1に人は人生の早期から「OK(=地面は平らである)」を保持し続けており、それと矛盾する「科学的情報(=地球は丸い)」に触れると、「OK」と「KSI」を統合して概念を生成する。特にこの領域における「OK」は非常に根深いので、子どもは「OK」に強い制約(constraint)を受けることが多い。この場合「KSI」が「OK」に同化(assimilation)される形で2つの知識の統合がなされ、誤概念(FIGURE 1のミカン型概念以下のモデル)が生じることになる。また「OK」の制約から解放され、「OK」を修正し調節(accomodation)する形で2つの知識の統合が生じる場合、科学的概念と定義される「球形概念(FIGURE 1)」が生成される。第2に、年齢の上昇に伴って概念が漸進的に変化し、最終的に「球形概念」に至る。この概念変化の基底にあるのは「OK」と「KSI」の統合のされ方の変化であると想定されている。

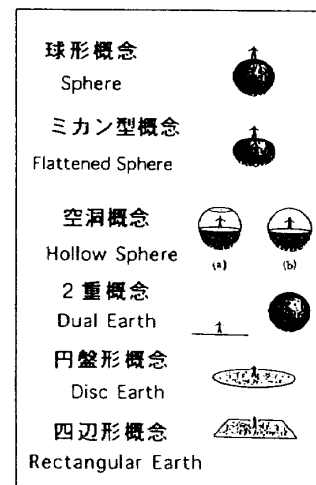


FIGURE 1 地球の形のメンタルモデル Vosniadou et al., (1992)

では「OK」と「KSI」との関係はどのようなものであろうか。上記の主張においては、その関係は「統合」としてとらえられている。しかし「OK」と「KSI」という2つの知識が、単に一時的に「関連づけ」されているだけなのか、それとも恒久的に「統合」されている状態にあるのかは実証的に明らかにされていない。また、ヴィゴツキー(1968)は、日常生活において得られるナイーブな知識を「生活的概念」、学校教育や科学者のレベルで習得される知識を「科学的概念」として位置づけているが、その関係については十分に明らかにされていない。さらに他の知識領域における学習過

程や知識変化の研究においても、新しく得た知識は既存の知識体系の中へ取り込まれ、再構造化が生じるという主張 (Carey, 1985 ; Wellman, 1990 ; Keil, 1986) がなされているが、これらの主張も、様々な年齢段階での知識体系の特徴の現象記述からの推論にとどまっており、実証的に明らかにされたわけではない。そこで本研究では「OK」と「KSI」との関係の在り方という側面を取り上げることとする。

先行の知見からは、「OK」と「KSI」の関係については次のようにまとめることができる。

①人は常に「OK」と「KSI」を関連づけて概念を生成する。

②年齢の上昇に伴って、「OK」と「KSI」の関連づけのされ方が変化する。

上記の①には次のような問題点がある。それは、本当に人は常に新情報を既存の知識体系に関連づけることができるのであろうか、ということである。Karmiloff-Smith (1984, 1992), Karmiloff-Smith & Inhelder (1974—1975) は、子どもがバランス課題における釣り合いに関する理論を構築していく過程を観察している。それによると、子どもは観察あるいは実験によって得たデータが、既存の知識体系 (Karmiloff-Smith は「理論」と呼んでいる) に合致しないとき、必ずしも既存の知識と新情報の両方を包括的に説明する知識体系を生成するわけではないという。そのような新データを例外として無視したり、新データを説明するためだけの知識体系を新たに築く時期が長期間続くという。「地球の形」の場合、新情報である「KSI」は人が観察によって自発的に得られるようなものではなく、より間接的に与えられるものである。しかも通常の日常生活を送る上では必要性が低い知識である。従って上記のように、新データを無視したり、局所的な知識体系を築いたりする傾向が助長される可能性がある。このような見解に基づくと、「地球の形」の場合にも、人が既存の「OK」と、それと合致しない新たな「KSI」とをすぐには整合的³に関連づけしない場合があると予想される。

ここで本研究の第1の目的をのべる。それは、主張

①で述べられているように、a) 人は常に「OK」と「KSI」を関連づけて概念を生成しているのか、それとも b) 「OK」と「KSI」とをバラバラに保持し、関連づけできない段階が存在するかどうか、という問題を明らかにすることである。

次に本研究の第2の目的を述べる。それは、「OK」と「KSI」の関連づけに関する発達的変化を、どのように特徴づけることができるだろうかという問題を明らかにすることである。仮に下線部 a) が否定され、下線部 b) が肯定されたとしたら、先行研究から導かれた②の主張に見られるように、発達的変化を「関連づけの仕方の変化」として特徴づけることはできないはずである。

本研究の第3の目的は、第1、第2の目的を遂行することによって明らかになった、地球の形に関する「インフォーマルな知識」の性質を考慮して、知識をより高度なものに変容させるための教授的働きかけの効果を検討する事である。このような教授的働きかけは理科教育において重要である。なぜならば、天体に関する単元は小3の理科教育から導入されており (文部省, 1992), この単元の理解は「地球の形」の概念の整合度と関連をもつと考えられるからである (Vosniadou et al., 1994)。

実験Ⅰ, Ⅱ-Aでは第1、第2の目的を遂行し、実験Ⅱ-Bでは第3の目的を遂行した。

実験Ⅰ

目的

上記の第1、第2の目的を検討する。そのために、人は「OK」と「KSI」をどのように関連づけているかという観点から、人々のもつ「地球の形」を明らかにし、異年齢間比較を行う。さらに Vosniadou et al., (1992) は、地球の形の概念の変化に対して、物体の落下に関する「OK」 (= 支えられないものは「絶対的」下に落ちる) が関連していることを示唆しているが、実証的な証拠はないので、「地球の形の概念」と「物体の落下に関する知識 (以下、引力概念)」との間には関連があるかどうかを明らかにする。

方法

1. 被験者

被験者は幼稚園の年長児、小学1年生、小学3年生、小学5年生、大学生を各20名ずつ、合計100名であった。平均年齢は、幼稚園の年長児は6歳6か月 (年齢範囲 ; 6:0~6:10), 小学1年生は7歳4か月 (年齢範囲 ; 6:11~7:8), 小学3年生は9歳4か月 (年齢範囲 ; 9:0~9:10),


³ 本研究においては「統合」という言葉を2つ以上の知識が (文脈にかかわりなく) 半ば恒久的に矛盾なく合成されている状態を指すものとして使用している。一方、「整合的」あるいは「整合」という言葉は、単に2つ以上の知識が矛盾なくまとめられている状態であることを指し、その状態の恒久性に関しては言及しないものとして使用している。

小学5年生は11歳3か月(年齢範囲;10:10~11:9)であった。大学生は女性のみであったが、その他の学年は男女は半数ずつであった。

2. 課題

(1)地球の形に関する質問; Vosniadou et al., (1992)の作成した質問群を筆者が日本語に翻訳し、言葉使い、言い回しなどの点で改良したものを使用した。この質問群をTABLE 1に示す。実験Iの分析対象とした質問は、Q1, Q6, そしてQ9である。Q9は、被験者が「地球は丸い」という「KSI」と「地面は平らである」という「OK」をどのように関連づけているかを調べる課題である。

TABLE 1 地球の形に関する質問

問 題
Q1 地球はどんな形ですか
Q2 地球を見るためにはどちらの方をみたらよいですか (Q3~Q5は無し)
Q6 地球の絵を描いて下さい
Q7 この絵の中で月と星と空はどこにありますか
Q8 人はどこに住んでいるのか示して下さい
Q9(a) ここに家の絵があります。この家は地球の上に建っていますね。 
(b) あなたはさっき(Q6で)地球を丸く描いたけれど、なぜこの絵の中では地球は平らなのですか。
Q10 何日もまっすぐ歩いていくとどこに着くと思いますか
Q11(a) 今までに地球の端に行ったことがありますか
(b) 地球の端はあると思いますか
Q12 地球の端から落ちることはあると思いますか
Q13 落ちたらどこに着くと思いますか
Q14(a) (子どもの描いた円を提示して)東京はこの絵の中でどこにあると思いますか
(b) アメリカはどこにあると思いますか
Q15 (子どもの描いた円の下部を指して)地球の下側は何か教えて下さい

*実験Iで分析対象としたのは太線で囲まれた質問項目である。

(2)引力に関する質問; Sneider & Pulos (1983)の作成した質問群を筆者が日本語に翻訳し、言葉使い、言い回しなどの点で改良したものを使用した。この質問群を用いて被験者の引力概念のレベル(1~3)を推測した。引力レベル1(Q1が不正解)は「ものはすべて『絶対的な』下に向かって落ちる」と考える段階である。引力レベル2(少なくともQ1は正解だが全問正解ではない)は「ものは地表に向かって落ちる」と考える段階である。引力レベル3(全問正解)は「ものは地球の中心に向かって落ちる」と考える段階である。TABLE 2に各質問の内容と、使用した道具、質問紙、正解をまとめて示した。ここで、Q2の正解についての留意点を述べておきたい。この問題の真の正解は「振動を繰り返

す(空気抵抗を考慮するなら、だんだん振幅が小さくなってやがて地球の中心で止まる)」というものである。これを図示したのはTABLE 2の正解の欄の上図である。このような正解は、引力の他に慣性も考慮に入れなければ導くことはできない。しかし本研究の目的は、被験者が少なくとも引力の知識(地球の中心からものは引っ張られている)をもっているかどうかを調べることにあるので、「地球の中心まで落ちていく」と考えている場合も第2の正解として認めた。これを図示したのがTABLE 2の正解の欄の下図である。

3. 手続

個別面接による実験を行った。実験に要した時間は1名につき20~30分であった。被験者の反応を記録するとともに録音した。最初に、地球の形に関する質問を行い、次に引力に関する質問を行った。

結果と考察

1. 子どもや成人の持つ地球の形の概念 一人は「OK」と「KSI」をどのように関連づけているか。— Q1, Q6への反応から被験者は1人を除いて全員が、「地球は丸い」という知識を持っていることが明らかになった。

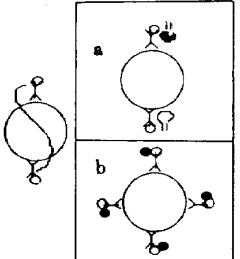
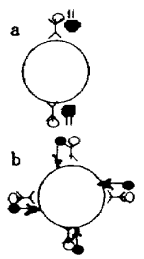
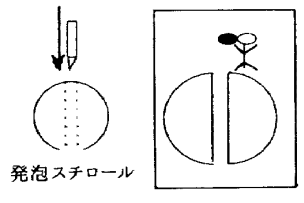
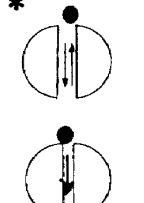
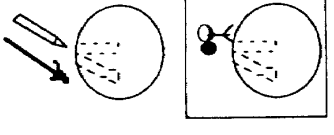

次にQ9の結果について述べる。「OK」と「KSI」の関連づけの仕方によって被験者を次の3つのカテゴリーに分類した。「正しく関連づけた被験者」、「関連づけできない被験者」、「誤った関連づけをした被験者」である。各カテゴリーについて判断基準を定め(FIGURE 2参照),これに従って2人の判定者が独立に判定したところ、判定の一致率は97%であった。不一致の場合は、協議により決定した。

FIGURE 2に各カテゴリーに分類された被験者の頻度を学年別に示した。「正しく関連づけた被験者」の頻度について χ^2 検定を行ったところ、学年と「正しく関連づけた被験者」の頻度の間に有意な連関が見られた($\chi^2(4)=33.50, P<0.01$)。また対間比較を行ったところ、幼稚園~小5までは各学年間に差はなかったが、幼稚園から小5までの各学年と大学生の間にそれぞれ0.05%未満の有意差があった。

このことから、ある年齢(小5~大学生の間)に達すると、ほとんどの者が「OK」と「KSI」を正しく関連づける事ができるようになるといえるが、小5までは、増加する傾向はあるものの著しい変化は見られない事が明らかになった。

また幼稚園から小5まで「関連づけのできない被験者」の占める割合が非常に多く、学年が上昇するにつれて減少する傾向はあるものの、余り変化は見られな

TABLE 2 引力に関する問題

質 問	使用した道具と質問紙	正解
<p>Q 1. この地球儀は地球を表わしており、人形はあなたを表わしています。</p> <p>(a) あなたがもし世界のこの場所（球の下側）に行ったとしたらコップの中の水はどうか描いて下さい。なぜそのようになるのですか。</p> <p>(b) 地球の周りの異なる地点から石を落としたらどうか描いて下さい。</p>		
<p>Q 2. この発泡スチロールのボールは地球を表わしていて、北極から南極へ通り抜けるトンネルがあります。このトンネルの中に石を落としたら、どうか描いて下さい。なぜそのようになるのですか。</p>		
<p>Q 3. この別の発泡スチロールのボールは地球を表わしていますが、赤道上的ある地点から二つのトンネルが掘られています。一つは地球の中心に向かいもう一つは南極に向かっていきます。</p> <p>(a) 石を穴の入り口にいたらどうか描いて下さい。</p> <p>(b) なぜそのトンネルを選びましたか。</p>		

* Q 2 の正解の上図は、石が振動を繰り返している様子を描いたものである。下図は地球の中心まで落ちていく様子を描いたものである。科学的に正しいものは上図のものであるが、本研究の目的に従って下図も正解とした（詳しくは本文を参照のこと）。

いことが明らかになった。このことから、人が「OK」と「KSI」とをバラバラに保持し、関連づけできない段階が存在することが明らかになった。さらにこのような段階は長期間続くことが示された。

次に「関連づけできない被験者」の特徴をより詳細に見ていく。Q 1, Q 6, Q 9 以外の質問 (TABLE 1) への反応を総合的に見ると、多くの被験者 (関連づけできない被験者のうちの 71%) は「地球は丸く、人間や家はその球面上に存在する」と考えていることが推測される。この推測が正しいとしたら、このような被験者は、下線部のような知識をもちながらも、その知識と「地面は平らである」という「OK」とを適切に関連づけることができないということになる。

2. 地球の形の概念と引力概念との関連

基準に従って、各被験者の引力レベル (1~3) を判定し、分類した。被験者における「OK」と「KSI」の関連づけの仕方別の各引力レベルの割合を FIGURE 3 に示した。各引力レベルの頻度について SAS (Statistical Analysis System) の CATMOD (CATegorical data MODeling) procedure を使用して 5 (学年:幼稚園児・小1・小3・小5・大学生) × 2 (「OK」と「KSI」の関連づけの仕方:正しい

関連づけ・それ以外) の 2 要因の対数線形モデルの当てはめによる分析を行った。その結果、関連づけの仕方の主効果が有意になった ($\chi^2(2)=7.94, P<0.05$)。このことから、「OK」と「KSI」との関連づけの仕方によって引力レベルは異なると言える。特に「正しく関連づけた被験者」の引力レベルは高い。

以上のことから、地球の形の「OK」と「KSI」との関連づけの仕方と引力概念とは関連している事が明らかになった。

3. まとめ

以上の結果から、次の 3 点が明らかになった。第 1 に子どもは必ずしも「KSI」と「OK」を関連づけて概念を生成しているわけではないことが示された。新しい情報や知識と既存の知識がバラバラに保持されている段階がある。第 2 に、「OK」と「KSI」の関連づけに関して、その形態は主に 3 つ確認された。「関連づけできない状態」、「誤った関連づけをする状態」、「正しく関連づけをする状態」である。年齢が上昇するにつれて「OK」と「KSI」を正しく関連づける子どもが増加していく。しかし、2 つの知識をバラバラに保持している時期も長く続く。これら 3 つの状態の発達の順序

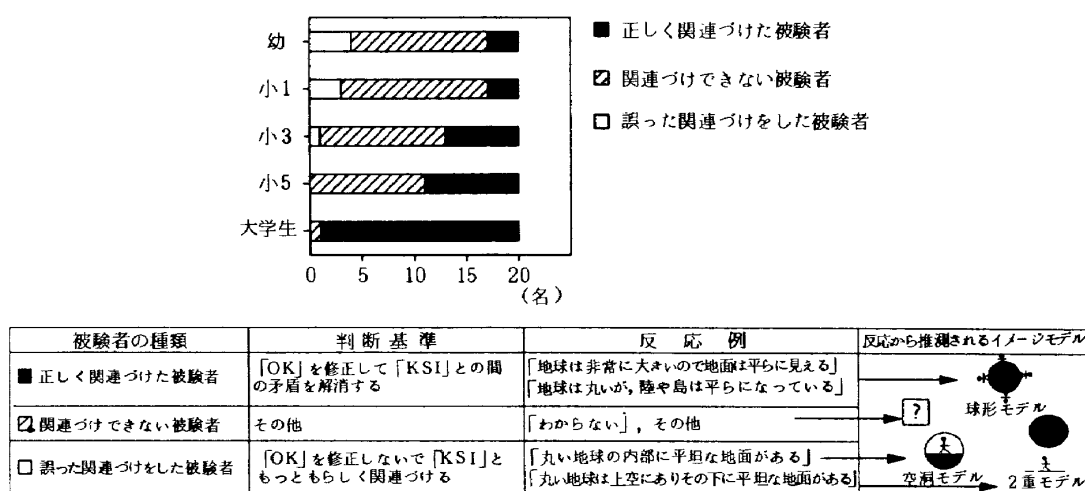


FIGURE 2 「OK (地面は平らである)」と「KSI (地球は丸い)」の関連づけの仕方の頻度

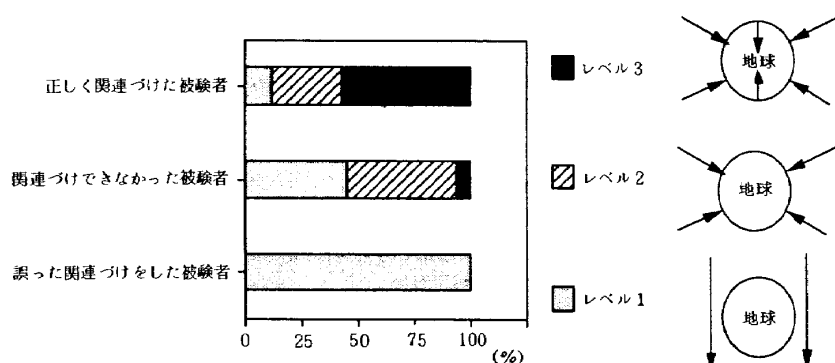


FIGURE 3 「OK (地面は平らである)」と「KSI (地球は丸い)」の関連づけの仕方別の各引力レベルの割合

は、「誤った関連づけ」→「関連づけ不可」→「正しい関連づけ」だと推測できる。第3に、地球の形の「OK」と「KSI」との関連づけの仕方と引力概念とは関連している事が明らかになった。

さらに、「OK」と「KSI」を関連づけていない子どもが非常に多いが、その中でも特に次のような子どもが多いのではないかとこの新たな予想が生じた。すなわち「地球は丸く、人間や家はその球面上に存在する」という「KSI」を持っているにもかかわらず、その知識と「地面は平らである」という「OK」とを関連づけていない子どもである。この「KSI」と「OK」からは「地面は丸く見えないのに、地面は丸いはず」という矛盾が生じる。ひょっとしたら被験者は、このような矛盾に気づいていないだけなのかもしれない。実験II-Aでは、被験者に対して上記の矛盾を明確に提示し、かつ下線部の有無を明確にすることができる方法を用いて上記の予想を検証する。

実験II-A

目的

「地球は丸く、人間や家はその球面上に存在する」という知識 (KSI) を持っているにもかかわらず、その知識と「地面は平らである」という「OK」とを関連づけていない被験者が多いのではないかとこの予想が正しいかどうかを確かめる。さらに、「地球は丸く、人間や家は球面の反対側にも住んでいる」という知識 (KSI) をもっている子どもは、そのような知識と「支えられないものは絶対的な下に落ちる」という「OK」とを関連づけているかどうかを確かめる。

本実験では上記の2組の「OK」と「KSI」がそれぞれ生み出す矛盾を明確に提示する課題 (矛盾提示課題) を作成し用いた。

方法

1. 被験者

被験者は小学1年生67名 (男児31名, 女児36名)、小学

3年生61名（男児21名、女児40名）、合計128名であった。平均年齢は、小1は6歳9か月（年齢範囲=6:3~7:4）、小3は8歳11か月（年齢範囲=8:4~9:6）であった。

2. 手続

個別面接による実験を行った。実験に要した時間は1名につき5~10分であった。球形概念、空洞概念、2重概念の3種類の概念（FIGURE 2参照）に対応する3種類の地球の模型（各模型とも、半径10cmのプラスチック製の透明半球を2つ付け合わせ、球にして作成した）を横一列に並べて被験者に提示し、被験者が正しいものとしてどれを選択するかを調べた（以後「模型選択課題」）。そして球形模型を選択した被験者に対してのみ、「矛盾提示課題」（具体的な方法はTABLE 3）を行った。

TABLE 3 矛盾提示課題の手続き

導入	まず、3人の架空の他者（人形：タロウ、ハナコ、アキラ）がそれぞれの模型の支持者であることを次のように告げる。「他の小学校でも、このクイズをしたんだけど、タロウ君はこれ〔球形模型〕、ハナコさんはこれ〔空洞模型〕、アキラ君はこれ〔二重模型〕が正しいと考えています」
形の課題	「ハナコさん（球形模型以外の模型を選択した架空の他者）は、これ（球形模型）は間違っていると言っています。なぜかという、これ（球形模型）だと丸くなっている所に人間が立っていますが、お外を見ると丸くなってなくて、平らなところに人間が立っているからだと言っています。～ちゃん（被験者の名前）はどう思う？ ハナコさんに教えてあげて。」
正反応	「地球が非常に大きいので平らに見える」
引力の課題	「もう一つハナコさんが疑問に思っていることがあります。それは、これ（球形模型）が正しいとしたら、下の方の人たちが落ちてしまうのではないか。そんなことはおかしいと言っています。～ちゃん（被験者の名前）はどう思う？ ハナコさんに教えてあげて。」
正反応	「地球には引っ張る力があるから反対側の人も落ちない。」

※〔 〕内の内容と課題の順序はカウンターバランスをとった。

※下線部は事後テストにおける矛盾提示課題においては「マユミ」さんに変更した。

結果と考察

FIGURE 4の左図は、球形模型を選択した被験者を、形の矛盾提示課題への反応によって分類したものであ

る。小1でも小3でも、過半数が正答できていない。このことから、予想通り、球形模型で示されているような、「地球は丸く、そのうえ人間や家は球面上に存在する」という知識を持っているが、そのような知識と「地面は平らである」という「OK」を関連づけていない子どもが多いということが明らかになった。

さらに、FIGURE 4の右図は球形模型を選択した被験者を、引力の矛盾提示課題への反応によって分類したものである。この課題においても小1、小3ともに過半数は正答できていない。このことから、「地球は丸く、球面の反対側にも人間がいる」という「KSI」と「支えられないものは『絶対的な』下に落ちる」という「OK」とを関連づけていない子どもが多いということが明らかになった。

以上の結果から「地球は丸く、そのうえ人間や家は球面上に存在する」あるいは「地球は丸く、球面の反対側にも人間がいる」という、より正確な「KSI」（「地球は丸い」という「KSI」よりも正確な）を持っているが、それと「OK」とを関連づけていない子どもが多いことが示された。また関連づけられないのは、必ずしも「地面は丸く見えないのに、地面は丸いはず」あるいは「物は『絶対的な』下に落ちるのに、落ちないはず」という矛盾を認識していないことが原因なのではなくて、明確に認識したとしても、関連づけられない場合が多いことが示された。

そこで実験II-Bでは、「OK」と、上記のような、より正確な「KSI」の正しい関連づけを促進するためには、どのような教授的働きかけを行えばよいのかという問題を扱う。実験II-Aの結果から「OK」と「KSI」の間の矛盾を明確に提示するだけでは、正しい関連づけがなされない場合が多いことが示唆された。従って

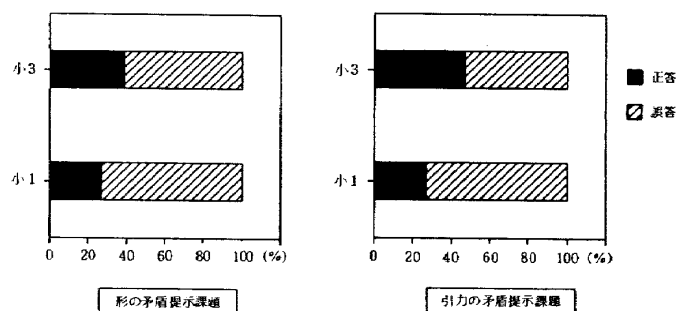


FIGURE 4 球形モデルを選んだ被験者における「矛盾提示課題」の正答・誤答の割合

「OK と KSI の間に生じる矛盾を明確に認識させること」に加えて、「矛盾の正しい解消の仕方を明確に教える」という、より積極的な教授的働きかけが必要で

あると予想される。そこで実験Ⅱ—Bでは、この予想を確かめるために具体的な教授的働きかけを考案し、教授効果があるかどうかを検討する。

実験Ⅱ—B

目的

上記の目的を遂行するために、次の2組の「OK」と「KSI」の生み出す矛盾の正しい解消の仕方を明確に教える教授的働きかけを行い、教授効果があるかどうかを明らかにする。第1セットは「地面は平らである」VS「地球は丸く、そのうえ人間や家は球面上に存在する」であり「地面は丸く見えないのに、地面は丸いはず」という＜形の矛盾＞を生み出す。第2セットは「支えられないものは『絶対的な』下に落ちる」VS「地球は丸く、球面の反対側にも人間がいる」であり「支えられないものは“絶対的な”下に落ちるのに、落ちないはず」という＜物体の落下に関する矛盾＞を生み出す。

対象となる被験者は、上記のような矛盾を明確に提示されても、2つの矛盾とも正しく解消することのできない被験者であるが、最初の知識状態に応じて、次の2つの群に分けられる。第1群の被験者は、最初に上記の「KSI」を知識として持っている被験者（以後、被験者①）である。第2群の被験者は、上記のような「KSI」を最初もっていない被験者（以後、被験者②）である。

実験Ⅱ—Bでは被験者のもつ最初の知識状態や、被験者の年齢が教授効果に影響を与えるかどうかにも明らかにする。

方法

1. 被験者

被験者①は、実験Ⅱ—Aにおいて球形モデルを選択し、形と引力の矛盾提示課題ともに正答できなかった子どもである。被験者②は、実験Ⅱ—Aにおいて球形モデル以外のモデルを選択し、しかもⅡ—Bで行った「矛盾提示課題」に2問とも誤答した子どもである。小1においては被験者①は17名、被験者②は37名、小3においては被験者①は19名、被験者②は11名であった。

2. 手続

個別面接による実験を行った。実験に要した時間は1名につき20～30分であった。まず第1に、全ての被験者に対して実験Ⅱ—Aで行ったモデル選択課題の正答モデル（球形モデル）を教えた。これは「地球は丸く、そのうえ人間や家は球面上に存在する」「地球は丸く、人間は球面の反対側にも住んでいる」という「KSI」の正当性を示すためである。次に被験者②を抽出するために、

実験Ⅱ—Aにおいて誤ったモデルを選択した被験者に対してのみ「矛盾提示課題」を行った。次に被験者を教授群と統制群に分け、教授群に対しては、2つの教授を行う。1つは「形の教授」であり、もう1つは「引力の教授」である。次に教授効果を調べるために、両群の被験者に対して「事後テスト」を行う。教授の方法と事後テストの内容については後に具体的に述べる。最後に全員に対して実験Ⅰで使用した「引力に関する質問」を行った。

3. 実験計画

2（学年；小1・小3）× 2（条件：教授群・統制群）× 2（知識の初期状態：被験者①・被験者②）× 2（事後テスト課題：形・引力）の4要因計画。第1～第3要因は被験者間要因、第4要因は被験者内要因である。各処理群の人数は1年生は（被験者①・教授群＝9名）、（被験者①・統制群＝8名）、（被験者②・教授群＝18名）、（被験者②・統制群＝19名）、3年生は（被験者①・教授群＝12名）、（被験者①・統制群＝9名）、（被験者②・教授群＝5名）、（被験者②・統制群＝6名）であった。

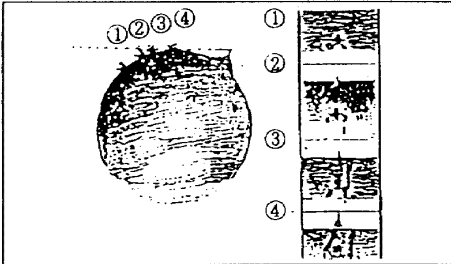
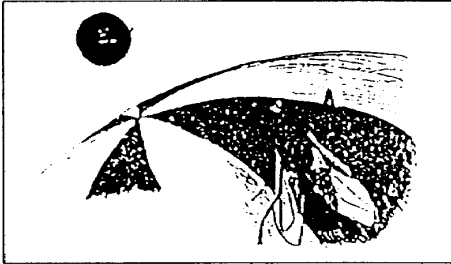
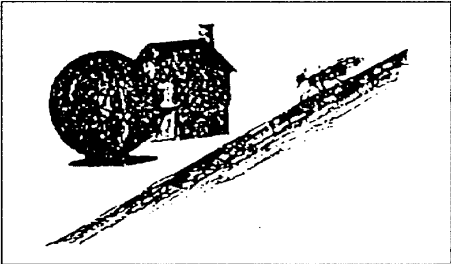
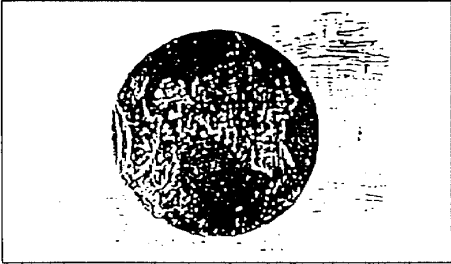
4. 教授方法

前もって正当性を示した「KSI」と、「OK」が生み出す矛盾の正しい解消の仕方を理解させるための教授を行った。教授の順序（引力、形）は被験者によってカウンターバランスをとった。以下で具体的な教授内容を述べる。

①形の教授「地面は丸く見えないのに、地面は丸いはず」という＜形の矛盾＞の解消の方法を教える教授：「地球は非常に大きいので地面は平らに見える」ということを理解するためには、「球と球面上の物体の大きさの相対比によって、物体からの球面の見えは異なる。球と球面上の物体の大きさの相対比が大きくなればなるほど、物体から見た球面の傾斜は徐々に小さくなる。そしてある相対比以上になると球面は平らに見える」というルールを使用できることと、「地球と人間の大きさの相対比は非常に大きい」という事実を知っていることが必要だと考えられる。そこで4枚の絵を順番に提示しながら上記のルールと事実を説明した。教示において使用した絵と具体的な教示内容はTABLE 4に示した（教示内容の一部はアンソニー・ラビエリ（1967）、板倉（1983）を参考にした）。

②引力の教授「支えられないものは“絶対的な”下に落ちるのに、落ちないはず」という＜物体の落下に関する矛盾＞の解消の方法を教える教授：「地球には、その中心からすべてのものを引っ張る引力という力があるので、地球の反対側のものや人間は落ちない」という

TABLE 4 「形の訓練」の教示内容の要点と使用した絵
(アンソニー・ラビエリ (1967) を参照。縮小版である。[1]～[4]の順に提示)

<p>[1] 我々は丸い地面に住んでいるという証拠</p>  <p>高い山や建物がなくて向こうまで続いている所に行くと地面が丸くなっているという事が分かる。例えば海に行くと、島に近づいてくる船は船体の上部から徐々に見えてくる。</p> <p>[2] 手のひらサイズのボールとその上に止まっているハエの絵</p>  <p>一目で、全体が見えるくらいの大きさのボールなら丸いということがすぐわかるが、ボールにとまっているハエには、ボールの表面のほんの少しの狭い場所しか見えないので、自分が丸くなったところに止まっているということはわかって、自分がボールの上にいるということにはわからない。</p>	<p>[3] 家屋くらいの大きさのボールとその上に止まっているハエの絵</p>  <p>家屋くらいの大きさのボールのときは、ハエは、ボールの縁のほんの少しの狭い場所しか見えな。だからハエは自分のいるところが丸くなっているとは感じない。それどころか全く平らなところに止まっていると感じるのである。</p> <p>[4] 地球の絵</p>  <p>私たちの住んでいる地球はものすごく大きなボールなのである。この絵の中では針の先よりも、もっとも小さくて見えにくいくらいなのだ。だから私たちは地球のほんの少しの部分しか見ることはできないので自分が住んでいるところが丸くなっているとは感じずに、平らなところに住んでいると感じているのである。</p>
--	---

ことを理解する上で困難なのは、遠隔作用力の一つである「引力」の性質をイメージすることだと考えられる。このようなイメージをしやすくするためには、「磁力」という遠隔作用力をもつ「磁石」の性質を子どもに思い出させながら、「引力」の性質との類似点や相違点を説明することが効果的であると考えられる。そこで上記のことを口頭で説明してから、磁石を中心に埋め込んだ地球の模型に、クリップ人形があらゆる位置で引っ付くことを実演して見せた。教示において使用した道具と具体的な教示内容は TABLE 5 に示した（教示内容の一部は板倉 (1983) を参考にした）。

5. 事後テスト

事後テストでは教授効果を検討するために再度「矛盾提示課題 (TABLE 3 参照)」を行った。ただし細部の言葉使いに変更を加えた。

6. 「引力に関する質問 (TABLE 2 参照)」


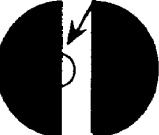
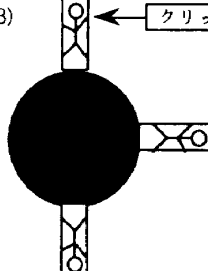
ここで測定した引力レベルが 1 のとき、すなわち「ものはすべて“絶対的な”下に向かって落ちる」と考える段階の時は、事後テストにおける「引力の課題」において TABLE 3 に示したような正反応を示しても無効とした。

結果と考察

教授の効果 —— 事後テストの結果 ——

FIGURE 5 に課題ごとの正反応数を条件別、学年別に示した。SAS の CATMOD procedure を使用して、事後テストにおいて正反応を示した子どもの頻度について 2 (学年) × 2 (条件) × 2 (知識の初期状態) × 2 (課題) の 4 要因の対数線形モデルの当てはめによる分析を行った。その結果、条件の主効果 ($\chi^2(1)=21.89, P<0.01$)、学年の主効果 ($\chi^2(1)=5.29, P<0.05$)、学年と条件の交互作用 ($\chi^2(1)=5.15, P<0.01$)、学年と条件と課題の 3 次の交互作用 ($\chi^2(1)=11.07, P<0.01$) がそれぞれ有意であった。3 次の交互作用が有意であったので、課題ごとに学年 × 条件の 2 要因の対数線形モデルの当てはめによる分析を行った。その結果、両課題において条件の主効果が、それぞれ有意であった (引力の課題 ; $\chi^2(1)=7.46, P<0.01$, 形の課題 ; $\chi^2(1)=8.96, P<0.01$)。また引力の課題において学年 × 条件の 2 次の交互作用に有意な傾向が見られたので ($\chi^2(1)=3.84, P=0.0501$)、学年ごとに条件を要因とする 1 要因の対数線形モデルの当てはめによる分析を行った。その結果、3 年生においてのみ条件の効果が有意であった ($\chi^2(1)=7.00, P<0.01$)。

TABLE 5 「引力の教授」の教示内容と使用した道具 ([1]~[3]の順で説明)

<p>[1] 説明 「地球には引力という力があって、人間やその他にも何でもかんでも、すべてのものを地球の真ん中から引っ張っているのだよ。だから地球の反対側の人間やものは落ちないんだよ。」</p> <p>[2] 引力と磁石の力の性質の類似性と相違点の説明 「～ちゃん、磁石って知ってるよね。磁石は鉄などを引っ張る力があるよね。引力っていうのも、磁石の力と同じような、ものを引っ張る力なんだよ。だけど引力と磁石の力の違うところは、磁石の力は鉄だけしか引っ張らないけれど、引力は、人間やその他に何でもかんでも引っ張るということなんだよ。」</p>	<p>[3] 道具を使用した説明 使用した道具：半球発泡スチロール（中が空洞）2個、磁石、クリップ人形（クリップに男の子又は女の子の人形を張り付けたもの） 「((1)半球発泡スチロールを2つにあわせて球形にしたものを提示して)これが地球だとします。((2)二つの半球を分離し、その中から磁石を取り出しながら)これは磁石なんだけれど、地球の真ん中には磁石の力と似た引力って言う力があって、引っ張っているから（半球の中に磁石をいれ再び二つの半球を合わせる）、人間がここにいても落ちないし((3)クリップ人形を球の下側や横に吸い付かせる）、ここにいても、もちろん落ちないんだよ ((3)クリップ人形を球の上側に吸い付かせる)。」</p>
<p>(1) 半球発泡スチロール</p> 	<p>(2) 磁石</p>  <p>(3) クリップ人形</p> 

以上の結果は、矛盾を提示するだけでなく、矛盾の解消を促す、より積極的な教授的働きかけが有効であるという予想を支持する⁴。そして形の教授はどちらの学年にも同じように教授効果が見られるが、引力の教授では3年生においてのみ教授効果が見られることが明らかになった。また最初にどの様な知識(KSI)を持っているかは教授効果に影響を与えないことが明らかになった。

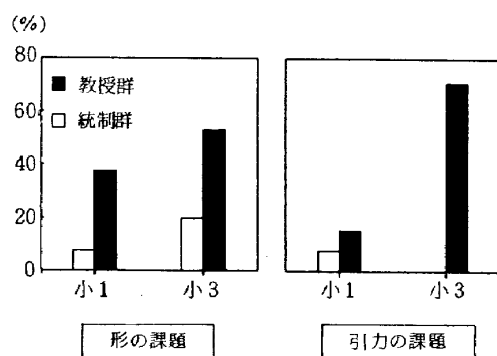


FIGURE 5 事後テストの正答の割合

⁴ これらの被験者のうち19名（小1・7名、小3・12名）に対して遅延テスト（事後テスト施行後10日～2週間後に事後テストと同じ課題を行った）を行った。訓練群のうち、事後テストはできたが遅延テストができなかった被験者は、形の課題においては5名中2名、引力の課題では7名中1名のみであった。このことから教授効果は長時間持続するという傾向が示された。

統括的討論

本研究では、実験Ⅰ、Ⅱ-Aにおいて地球の形に関する「インフォーマルな知識」の性質を検討した。それらの結果を踏まえて実験Ⅱ-Bでは「知識変化」を促す教授方法を考案し、その教授効果について検討した。

まず実験Ⅰ、Ⅱ-Aの結果を基にして「インフォーマルな知識」一般の生成過程の特徴を考察したい。第1に子どもは必ずしも新知識を既有知識に整合的に関連づけて概念を生成しているわけではない。第2に、年齢が上昇するにつれて既有知識と新知識とを正しく関連づける子どもが増加していく。しかし、2つの知識をバラバラに保持している時期も長く続く。第3に、必ずしも「OK」と「KSI」の生み出す矛盾を認識できないから、関連づけないのではなくて、矛盾を明確に認識しても関連づけしない、あるいはできない場合が多い。第4に、ある知識領域の構造化には、ある程度近い領域の知識のレベルも関与している（例えば、地球の形の概念と引力概念など）。

次に、本研究で得られた結果を「知識構造」や「知識変化のプロセス」に関する諸理論の中に位置づけて考察してみる。

多くの研究者（Carey, 1985；McClosky, 1983；Wellman, 1990；Vosniadou et al., 1992）は、子どもや初心者も、日常生活を通して物理的世界についての一貫した理論体系を築いているとする立場をとっている。このような立場の研究者は、知識変化のプロセスにおいては単に

既有知識に新たな知識が付加されるのではなく、理論変化が生じていると考える。「地球の形の概念」の場合は、たとえ「OK」と「KSI」が矛盾した関係にあると認識されるとしても、関連づけられないまま、バラバラに保持されている状態が長く続き、その後、正しく関連づけることが可能な状態へと移行していくと推測される。前者の知識状態を一貫した理論体系としてとらえるのは困難である。では後者のように、正しく関連づけられる状態であれば、一貫した理論体系を成しているといえるのであろうか。つまり、正しく関連づけることのできる人は、常に「自分は非常に大きい球のほんの一部の、狭い、平らに見える部分にのっている」ことを前提に地球に関する様々な問題解決を行うのであろうか。この問題は、本研究では直接扱っているわけではないが、おそらく一貫した理論体系などではなく、以下のような知識構造ではないかと推測される。

常識的に考えて、成人においても「OK」にのみ基づいて、あるいは「KSI」のみに基づいて問題解決をするということとはしばしばあるのではなからうか。そうであるならば、成人において「OK」と「KSI」は、その関連性が直接問われるときのみ一時的に関連づけ可能なのではないかと想定される。そしてそれ以外の時は「OK」は元のままの状態が存在し、「KSI」と共存しているのではないかと想定される。

以上のことをまとめると、「正しく関連づけできる状態」が理論かどうかは別としても、いずれにせよ「地球の形の概念」は必ずしも一貫した理論としてとらえることはできないと考えられる。

また知識変化のプロセスも、一貫した理論体系から、別の一貫した理論体系への変化としてとらえることは困難である。むしろ別個に存在していた知識間に、潜在的な関連性のリンクが形成されるという変化が、知識体系において生じているのではなからうか。そしてこのようなリンクは文脈によって現れたり、消えたりするという性質を持っているのではなからうか。

上記のような知識構造、知識変化のプロセスについての捉え方は、diSessa (1993) の見解によく当てはまる。彼によると知識は一貫した理論を成しているのではなく現象的原理 (Phenomenological primitives) という、日常的な現象を個別に説明する原理からなっているという。そして知識は全体として弱く構造化されており、知識相互の矛盾を解消できないなどの特徴を持つという。

そうすると科学教育の役割とは、必要なときに使用

可能な関連性の潜在的リンクを形成することと考えられる。そのためには、関連づけられるべき諸知識を同時に提示したり、あるいは知識間の矛盾を明確に提示するだけでは不十分である。知識間の関連性を明確にする、より積極的な教授的働きかけを行うことが有効である事が、実験II-Bの結果から示された。

今後の課題としては、他の科学的概念の領域における「インフォーマルな知識」の性質を明らかにし、その結果を踏まえて適切な教授的援助を考案することが望まれる。さらに様々な領域の「インフォーマルな知識」の性質が明らかになれば、「知識変化」に関する理論に新たな知見を加えることも可能になるだろう。

引用文献

- アンソニー・ラビエリ／佐野健治訳 1967 地球は丸い 福音館書店
- Carey, S. 1985 *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA : MIT press.
- Clement, J. 1982 Student's preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66—71.
- diSessa, A.A. 1982 Unlearning Aristotelian physics : A study of knowledge based learning. *Cognitive Science*, 6, 37—75.
- diSessa, A.A. 1993 Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2 & 3), 105—225.
- 板倉聖宣 1983 地球ってほんとうにまあるいの？ 仮説社
- Karmiloff-Smith, A. 1992 *Beyond modularities ; Developmental perspectives on Cognitive Science*, Cambridge MA, MIT press/Bradford books.
- Karmiloff-Smith, A., & Inhelder, B. 1974/1975 If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, 3 : 195—212.
- Keil, F.C. 1986 The acquisition of natural kinds and artifact terms. In W. Demopoulos & Marras (Eds.), *Language learning and concept acquisition* (pp.133—153). Norwood, NJ : Ablex.
- Levin, I., & Druyan, S. 1993 When sociocognitive transaction among peers fails : The case of misconceptions in science. *Child development*, 64, 1571—1591.

- Levin, I., & Siegler, R.S., & Druyan, S. 1990 Misconceptions about motion : Development and training effects. *Child development*, **61**, 1533—1557.
- Mali, G.B. & Howe, A. 1979 Development of earth and gravity concept among Nepali children. *Science Education*, **63** (5), 685—691.
- McCloskey, M. 1983 Naive theories of motion. In D.Gentner & A.L.Stevens (Eds.), *Mental models* (pp.299—324). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- 文部省 1992 小学校指導書理科編 教育出版
- Nussbaum, J. 1979 Children's conceptions of the earth as cosmic body : A cross—stage study. *Science Education*, **63**, 83—93.
- Sneider, C. & Pulos, S. 1983 Children's cosmographies : Understanding the earth's shape and gravity. *Science Education*, **67** (2), 205—221.
- Spelke, E. S. 1991 Physical knowledge in infancy : Reflections on Piaget's theory. In S. Carey & R.Gelman (Eds.), *The Epigenesis of Mind : Essays on Biology and Cognition* (pp.133—169). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Vosniadou, S., & Brewer, W.F. 1992 Mental models of the earth : A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, **24**, 535—583.
- Vosniadou, S., & Brewer, W.F. 1994 Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, **18**, 123—183.
- ヴィゴツキー 1968 思考と言語 明治図書
- Wellman, H.M. 1990 *The Child's theory of mind*. Cambridge, MA : Bradford books/MIT press.

付 記

本論文は、お茶の水女子大学に提出した修士論文（1993年度）の一部に加筆修正を加えたものです。実験の実施に協力して下さった市川市立南行徳幼稚園、文京区立荻窪小学校、お茶の水女子大付属小学校の先生方や生徒の皆様、また本論文の作成にあたり御指導いただきましたお茶の水女子大学の内田伸子教授、石口彰助教授に深く感謝いたします。

（1994.12.22.受稿，'95.2.3 受理）