

理科学習における概念変化のプロセスとその要因

山 縣 宏 美

Processes and their factors of conceptual change in science learning

YAMAGATA Hiromi

は じ め に

科学的概念を理解するのは難しい。それは人が科学的概念の学習以前に、日常生活で身の回りの現象を観察することによって、科学的には誤った概念を形成しているからである。このように人間が日常生活で自然に獲得する知識体系は素朴概念(*naive concept*), 前概念(*preconception*; Clement, 1982), 誤概念(*misconception*; Fisher, 1985), $\bar{ru}$ (ル・バー; 永野, 1967; 進藤, 1995), インフォーマルな知識(中島, 1994)などと呼ばれる。研究者によって使用する用語は異なるが、共通する特徴として、専門家の持つ概念とは異なること、多くの人に共有されること、容易には変化しないこと、科学理論とは別の信念体系を形成していることがあげられる(Fisher, 1985)。

このように子どもが既に持っている知識の集まりは、理論の形をとっているといわれる(Carey, 1985; Vosnidou & Brewer, 1992)。「理論」というのは、Wellman (1990)によると、知識の首尾一貫性があること、存在論的区別ができること、因果的説明の枠組を持っていることが前提となる。このような説明枠組を持つことで、子どもは外界の事象を予測し、説明することができるようになる。

しかし、この素朴理論が誤っている場合には、事象を正しく理解することはできない。つまり自然科学を正しく理解するためには、このような素朴概念を修正し、正しい科学的概念へと変換させなければならない。しかし素朴概念は日常生活から経験的に得られたものであるため強力で、従来の教育方法では科学的概念へと変換させるのはなかなか困難であり、年少の子どもだけではなく、高校生や大学生、大人までもが保持しているということが報告されている(Clement, 1982; McCloskey, Washburn & Felch, 1983)。

稲垣(1996)によると、素朴概念から科学的概念への概念変化(*conceptual change*)には2つの水準が考えられる。1つは学校でその教科に関する体系的教授を受けなくても生じる、いわば「自生的な」概念的变化であり、もう1つは、その教科に関する体系的教授により科学理論の基本的概念装置を理解することで生じる概念的变化である。本論文で扱うのは後者の概念変化であるが、このような概念変化は年長児童や大人の一部でしか達成されないとされている(稲垣, 1996)。

概念変化とは、人が既有知識と矛盾する情報（科学的知識）にさらされた際に起こる、知識獲得の一形態である。本論文では、このような概念変化の起こるプロセスと、それに影響する要因についての研究を概観し、今後の課題について検討する。

1 概念変化のプロセス

1-1 自分の信念と矛盾するデータに対する反応

Chinn & Brewer (1993) は、学習者が自分の既存の理論と矛盾するデータに直面したときの反応として、7種類の反応をあげている。これらの反応というのは、新情報を得た後に概念変化が起こった、あるいは起こらなかった結果をしめしているといえる。以降はこの Chinn & Brewer (1993) の分類に依拠し、論点を整理していく。

まず1つめの反応は、データそのものを無視する (ignore) 反応である。この場合、データは学習者に何の変化も起こさなかったということになる。Kuhn (1989) では、証拠からある理論を導き出す課題で、からしが風邪の原因になると信じている9年生の子どもは、風邪をひいた子どもと、ひかなかった子どものどちらもがからしを食べていたという証拠を提示されても、そのデータを無視して、からしは風邪の原因となるといはったという例が報告されている。

2つめの反応は、データを拒否する (reject) 反応である。無視することとの違いというのは、拒否する理由が説明できるという点にある。ここであげられる理由は、データの取り方の方法論的問題や、データが例外的なものである、あるいは不正なものであるといった「データに信用性がない」というものである。方法論的な問題があるとした例としては、Johsua & Dupin (1987) があげられる。Johsua & Dupin (1987) では、豆電球をつないだ直列回路で、電流の量が豆電球を通ったあとに減少すると考えている生徒に対して、豆電球を通る前の導線と通った後の導線にそれぞれ電流計をつなぎ、どちらの電流計も同じ値であることを示したところ、生徒は「電流が豆電球で消費され減少する」という自分たちの理論を変えるのではなく、電流計が壊れている、あるいは豆電球が不良品なので、それらを替えなくてはならないと反応した。

3つめは、データを領域外に排除する (exclude) 反応である。ここでは、データ自体は信用されているが、違う領域を説明するためのものと位置づけるため、概念変化は導かれぬ。Karmiloff-Smith & Inhelder (1975) は、4～9歳児に、さまざまなブロックを細い金属の支えの上で釣り合わせるよう求めた。その結果、子どもは6・7歳までに、釣り合いをとるには、幾何的な中心に置けばよいという幾何的中心 (geometric-center) 理論を持つことがわかったが、この理論では重さが不均一な (uneven) 積み木の場合、バランスが取れない。このとき子どもは、その幾何的中心理論を変化させるのではなく、不均一な積み木はバランスをとることが不可能なのだとしてしまう。つまり、不均一な積み木はバランスがとれないものなので、幾何的中心理論で扱うものではないとすることで矛盾を解消しているのである。

4つめは、データを一時的に保持する (hold in abeyance) という反応である。これはデータが理論と矛盾することは認識されているが、それを解決することができないことによる反応である。例えば中島 (1995) では、幼稚園児や小学生は、「地球は丸い」という科学的概念を、「地面は平らに見える」という観察によって得た知識とは関連付けできないまま、ばらばらに保持して

いる状態があることが報告されている。

5 つめは、既存の理論に合うように、データを解釈しなおす (reinterpret) 反応である。Wisniewski & Medin (1991) では、大学生に 10 枚の絵を提示し、都会の子どもが描いた絵か田舎の子どもが描いた絵かを判断させ、それぞれの判断の後、それが正解かどうかをフィードバックを行い、判断のルールの変化を調査したところ、ルールを修正した人はほとんどおらず、「都会の子どもはテレビをよく見るのでテレビのキャラクターを描く」と考えた人は、キャラクターを描いた絵が田舎の子どもが描いたものだとフィードバックされても、「田舎の子どももテレビを見るのでキャラクターの絵を描く」と修正するのではなく、描かれたキャラクターは田舎の子どもの想像の産物であるとした。

6 つめは、データを再解釈し、周辺の (peripheral) に理論を変化させる反応である。Vosniadou & Brewer (1992) では、幼児が、地球が平らであるというデータと地球は丸いという理論を調和させるために、地球をディスク型と考えたり、中が空洞になっていてそこに人は住んでいると考えたりしたという例が報告されている。つまり、ここではデータと理論を誤って結び付けてしまっているといえる。

そして 7 つめは、データを受け入れて、理論を変化させる反応である。この反応のみが、正しく概念変化が起こったことを表すものであるといえる。

同じように、子どもが信念と矛盾する情報にどのように反応するかについて調査した研究として Chan, Burtis & Bereiter (1997) があげられる。Chan, Burtis & Bereiter (1997) は、子どもの進化の概念について調査を行なっているが、ここでは子どもが進化に関するさまざまな文章を処理するレベルとして、同化以前 (subassimilation) のレベル、直接的同化 (direct assimilation) のレベル、表面的構成 (surface-constructive) レベル、潜在的知識構築 (implicit knowledge building) のレベル、顕在的知識構築 (explicit knowledge building) のレベルの 5 つのレベルが報告されている。しかし、Chan らの研究は扱った領域が進化に関するもののみであり、すべての反応を網羅しているとはいえない。Chan らのレベル分けは、さまざまな領域の研究を包括的に扱った Chinn & Brewer (1993) の 7 種類の反応と比較すると、同化以前のレベルが無視、直接的同化のレベルが拒否と排除、表面的構築のレベルが保持と再解釈、潜在的知識構築のレベルが周辺の理論変化、顕在的知識構築のレベルが理論変化の反応に対応すると考えられる。(表 1 参照)

表 1 Chinn & Brewer (1993) と Chan, Burtis & Bereiter (1997) の反応の分類の比較

Chinn & Brewer (1993)	Chan, Burtis & Bereiter (1997)
無視	同化以前
拒否	直接的同化
排除	
一時的保持	表面的構築
再解釈	
周辺の理論変化	潜在的な知識構築
理論変化	顕在的な知識構築

1-2 それぞれの反応が生じるプロセス

では、理論変化以外の6つの反応はどのようなプロセスで、生じているのだろうか。

概念変化はまず、学習者に科学的概念（新情報）が提示されることから始まる。1つめの反応「無視」というのは、その情報と既存の理論に矛盾があることにすら気づいていない状態である。新しい情報と既存の理論の矛盾に気づくことによって、次の段階に進むことができる。

矛盾に気づいたとしても、新情報の信用性に問題があるとみなした場合には、概念変化は起こらない。2つめの反応である「拒否」は、新しい情報が信用性のない、誤った情報とみなすことでその矛盾を解消している状態である。この反応を無くすためには、情報の信用性を高めなければならない。

また、新情報を正当な情報であるとみなしても、矛盾している既存の理論が扱う領域とは違う領域を扱っていると考えすることで、矛盾を認知的に解消しているのが3つめの反応の「排除」である。このような反応を無くすためには、新情報が既存の理論と同じ領域（現象）を扱っていることを、明確に示さなければならない。

新情報と既存の理論の矛盾に気づいたとしても、それを解消するための知識がなければ2つを統合することはできない。それが4つめの反応である「保持」である。前述の中島（1995）では、「地球の形は丸い」という科学的知識と「地面は平らに見える」という経験的な知識を統合するには、形の大きさや見え方の関係や引力に関する知識が必要で、それがなければ矛盾する科学的知識と経験的知識はそのまま保持されていることが報告されている。

また、統合するための正しい知識がなかった場合、新情報と既存の理論を誤って統合するという場合も考えられる。誤った統合の方法としては2種類の方法が考えられるが、まずは既存の理論に合うように、新情報の解釈を歪曲するという方法である。これが5つめの反応である「再解釈」である。もう一つは新情報に合うように、既存の理論を部分的に歪曲するという方法である。これが6つめの反応である「周辺の理論変化」である。そして、統合に必要な知識を獲得し、正しい方法で統合を行なった結果、7つめの反応の「理論変化」が起こる。

麻柄（1996）は誤った知識が修正されない理由について、大学生で調査を行なっているが、その結果、誤った知識が発動されると、正しい既有知識（科学的知識）が矛盾しない形で改竄され、必要な正しい知識が利用されるようになってからも誤った知識を修正しにくいことが示された。それはヒントによって活性化された正しい知識が他とは切り離された孤立した知識となるためであるとしている。そして、誤った知識が修正されにくい原因として、次のような2段階のモデルを想定した。第1段階は、問題解決に正しい知識が正しく認知構造に取り入れられるかどうか、である。ここで取り入れられないのは、誤った考えがスキーマとして作用して、既知の単純な事実がそれに同化（assimilation）する形で歪められるためである。次に第2段階として、かりにその情報が正しく取り入れられた場合に、その情報が利用されるかどうかのポイントになる。この場合、取り入れられたにしても、誤った考えとの相互交渉を持ちえず、それだけで孤立した知識を構成してしまう段階があるとしている。

この研究（麻柄、1996）を前述のプロセスにあてはめると、第1段階というのは、素朴概念が説明枠組となって、科学的概念がそれと矛盾しないように歪曲されている状態であるから、「再解釈」の状態であるといえる。そして第2段階というのは、科学的概念は受け入れられているが、

それが既存の理論と接点を持たず、孤立して存在している状態であるから、「一時的保持」の状態であるといえる。

2 概念変化に影響する要因

2-1 概念変化に影響する要因の分類

Chinn & Brewer (1993) は、概念変化に影響する要因を、既有知識の性質に関わるもの、新しい理論の性質に関連するもの、既有知識と矛盾するデータ（反証例）の性質に関わるもの、処理の方略に関わるものに分け、それぞれについて詳しく述べている。（表 2 参照）

表 2 概念変化に影響する要因 (Chinn & Brewer, 1993 より)

既有知識の性質に関わるもの	(1) 既存の理論の堅固化 (2) 存在論的信念 (3) 認識論的傾倒 (4) 背景知識
新しい理論の性質に関わるもの	(1) 代替理論の入手可能性 (2) 代替理論の質
反証例の性質に関わるもの	(1) データの信用性 (2) データの曖昧さ (3) 多様なデータの存在
データの処理方略に関わるもの	(1) 深い処理

2-1-1 既有知識の性質に関わるもの

まず、既有知識の性質に関わるものとしては、(1) 既存の理論の堅固化 (entrenchment), (2) 存在論的信念 (ontological beliefs), (3) 認識論的傾倒 (epistemological commitments), (4) 背景知識 (background knowledge) の 4 つがあげられている。

既存の理論の堅固化とは、既存の理論がどれだけ深く他の信念のネットワークに埋め込まれているかに関わる。堅固な信念とは、多くの証拠により支持され、さまざまな領域の説明を広く行なうことができ、個人あるいは社会的な目的を達することができるものということができる。つまり、信念が堅固であればあるほど、概念変化は困難になる。

次に、存在論的信念とは、世界に関する基本的なカテゴリーや属性に関する信念である。Chi et al. (1994) によると、物理領域における誤概念は、カテゴリー間違いによるものが多いという。例えば、光や熱や力を物質であるとみなしてしまうと、これらの現象を正しく理解することはできなくなる。しかし、このような抽象的な概念を教授する場合、物質のアナロジーを用いて説明を行なうことは多々ある。Reiner et al. (2000) では、そのようなプロセスのカテゴリーに属するものに対して、物質ベースの説明を行なうのは避けるべきであると論じられている。

次に、認識論的傾倒とは、科学的知識というのはどういうものか、および良い科学的理論というのはどういうものかについての信念である。Samarapungavan (1992) では、「ある現象のセットをなるべく少ないルールで非アドホックに説明する理論の方が好ましい」という理論の節約性に関するメタ知識を小学 5 年生では獲得しており、2 つの理論の善し悪しを比較評価する際に、

このようなメタ知識を用いて判断することができるようになると報告されている。また、中島(1997)では、そのような認識論的知識を明示的に与えることによって、より汎用性の高い理論への修正が促進された。このように認識論的知識もまた、概念変化に影響を与えることが実証されている。

最後に、背景知識とは、焦点にはなっていないが、学習者が真であると仮定している科学的知識のことである。例えば、宇宙の起源についての理論を調べる天文学者にとっての背景知識とは、数学の知識や化学スペクトルについての知識、電波望遠鏡についての知識などである。この背景知識はその内容によって、概念変化を促進するものにも、抑制するものにもなりうる。つまり、新情報を提示されたときに、その情報を支持するような知識が活性化された場合には、概念変化は促進され、既存の理論を支持するような知識が活性化された場合には、概念変化は抑制される。

2-1-2 新しい理論の性質に関わるもの

次に、新しい理論の性質に関わるものとしては、(1) もっともらしい代替理論の入手可能性 (the availability of a plausible alternative theory), (2) 代替理論の質、の2つがあげられている。代替理論の入手可能性とは、既存の理論に取って代わる理論があるかどうかということである。次に、代替理論の質については正確さ (accuracy), 展望 (scope), 一貫性 (consistency), わかりやすさ (intelligibility) の4つの視点から論じることができる。つまり、新しい理論が代替理論になり得るには、正確であること、展望があること、一貫性があること、わかりやすいことが必要条件となる。

Posner et al. (1982) は概念変化が起こる条件として、①学習者が保持する概念に対して不満 (dissatisfaction) があること、②学習者にとって新しい概念がわかりやすい (intelligible) こと、③新しい概念がまことしやか (plausible) であること、④新しい概念が実り多い (fruitful) ものであること、の4つをあげているが、最後の3つはこの代替理論の性質に関わる要因と対応しているといえる。

2-1-3 反証例であるデータの性質に関わるもの

次に、反証例であるデータの性質に関わるものとしては、(1) データの信用性、(2) データの曖昧さ、(3) 既存の理論を除外するための多様なデータの存在、の3つがあげられている。まず、データの信用性が低ければ、データの拒否の反応につながると考えられる。データの信用性をあげるには、4つの方法があり、それはデータの出所 (source) の信用性を増すこと、データの収集や分析の方法の信用性を増すこと、何度も繰り返してそのデータが得られることを示す (データが偶然得られたものではないことを示す) こと、直接実験結果を観察することの4つである。また、データの曖昧性は排除されなければならない要因である。そして、多様なデータの存在によって、拒否や再解釈の反応を除外することができるようになる。

2-1-4 データの処理方略に関するもの

最後に、データの処理方略に関するものとしては、深い処理をおこなうかどうかということがあげられている。学習者は、どうすれば矛盾する情報の処理を深く行なうことができるようにな

るのだろうか。その一つの方法は、学習者にとって関わりの深い問題を選択する方法であり、もう一つの方法は、学習者の推論を他者が判断することを学習者に伝える方法である。データを深く処理する、つまりデータについて熟考する (contemplate) ということは概念変化が起こる前提となるもので、熟考されなければ概念変化は起こりえない。

しかし、熟考といった深い処理が必ずしも正しい概念変化を導くわけではないという報告もなされている (Kuhn & Lao, 1998)。それは、熟考によって「無視」といった反応は少なくなるかもしれないが、それが真の「理論変化」を導くとは限らず、他の反応を導く可能性は大いにあるからである。つまり、熟考というのは概念変化が起こる前提となるものではあるが、それによってどのような反応が生成されるかは他の要因による、ということができる。

2-2 概念変化のプロセスと要因の関係

このように、概念変化に影響を与えていると考えられる要因はたくさんあげられるが、これらの要因が概念変化のどのプロセスに影響を与えているのかについては不明な点が多い。前述の要因は大きく分けると、実験刺激に関わる要因と、学習者自身の性質に関わる要因の2つに分けることが出来るが、まず、実験刺激に関わる要因というのは、新しい理論に関する要因と、反証例となるデータに関する要因である。これらの要因を操作すること、つまり、刺激(教材)を改良することによって、概念変化を促進する条件のそろった材料を作ることができる。そうすれば「拒否」や「排除」といった反応に進むプロセスに向かう可能性を減らすことができると考えられる。しかし、刺激がよければ必ずしもそういった反応に進まないとは限らない。「拒否」や「排除」といったデータの受け入れに関する反応というのは、学習者自身の性質に関わる要因にも関わってくるからだ。

データの受け入れのかどうかに影響する学習者自身の性質としては、既有知識の堅固化があげられるだろう。受け入れられるデータの性質がどんなに優れたものであっても、学習者の既有知識である素朴概念が堅固に守られたものであれば、そのデータは受け入れられにくくなる。したがって、データを受け入れられるようにするには、提示する刺激を改良するだけでなく、学習者自身にも、このような堅固な既有知識の力を弱める教授を行わなければならない。

しかし、データが受け入れられても、そこで新情報と既有知識を統合して新しい説明枠組みである理論を作り出すという、学習者の積極的な知識構成活動が無ければ、「一時的保持」の反応にとどまってしまう。ここで学習者が積極的な知識構成活動を行なうかどうかには、学習者の既有知識の性質に関わる要因である、認識論的信念が関わってくるだろう。青木 (1992) によると、人はデータ志向的なもの (個々の現象を別々に説明し、一つの説明と次の説明との間に一貫性がない) から、理論志向的なもの (個々の説明の基礎として、何らかの総括的な原理を持っているもの) へと変化していくという。Samarapungavan (1992) で、小学5年生が獲得していると報告された「理論の節約性」に関するメタ知識などから生じると考えられるこのような理論志向によって、学習者は知識構成活動に従事するようになると考えられるが、青木 (1992) では、小学6年生は、現象を過剰に因果的にとらえるため、実際は起こりえない現象に対して、因果的な解釈をつけてしまうという結果が得られている。したがって、認識論的信念は学習者の積極的な知識構成活動を促進するが、その後どのような知識が構成されるかには、また他の要因が影響して

いると考えられる。

また、ここで、新情報と既有知識を統合するためには、そのための知識が必要になってくる。この問題は Chinn & Brewer (1993) では触れられていない問題であるので、後の章で詳しく述べることにする。

これ以降の反応、「再解釈」、「周辺の理論変化」、真の「理論変化」というのは、学習者が入手した情報を利用して、積極的に知識を構成する活動を行った結果産出される反応である。このように学習者が知識構成活動に従事するかどうかに影響するのが、学習者自身の性質に関わる、既有知識の性質に関わる要因であると考えられる。まず「再解釈」という反応は、既存の理論に矛盾しないように、新情報を解釈しなおす反応である。この反応が他の二つと違うのは、自分の既存の理論が誤っていることに気づいていない点である。ここでも関連する要因は既有知識の堅固化であるといえる。つまり、自分の理論が正しいと思っていれば思っているほど、その理論を修正することには抵抗が生じる。ここでは、自分の理論が誤っているかもしれないということに気づかせる教授によって既有知識の堅固化を弱めることが必要になる。

次の「周辺の理論変化」と真の「理論変化」の違いとして考えられるのは、上でも述べた素朴概念と新情報を統合するための知識としてどのようなものを持っているかという点であると考えられる。つまり、正しい理論変化が起こるためには、自分の既存の理論について素朴概念と新情報の正しい統合のされ方についての知識を持つことが必要である。しかし、理論変化が「周辺の」に起こるのか、「中心的」に起こるのかにどの要因が関係するのかについては、より実証的な研究を行なう必要があるだろう。

3 概念変化に必要な教授に関する研究

本章では、2-2章で述べてきたことをふまえて、教育者側から学習者に対して働きかけることができる教授に関する研究を以下にまとめた。

3-1 既存の素朴理論の明確化

金野 (1990) は、「ある種の花火は水の中でも燃やすことができるが、それはなぜだろうか」という、経験的知識と一見矛盾する問題（花火問題）を解決する過程を発話プロトコル法を用いて観察し、正解の解決パターンを産出するために必要なのは、(1) 課題領域の科学的知識の獲得、(2) 矛盾を解消する具体例の吟味、(3) 経験的知識の捉え直し、の3つであるとした。しかし、実験的にこれらの条件を操作し、同じ花火課題とその応用課題を行った結果、具体例の吟味と経験的知識の捉え直しの両方を行なった群と、経験的知識の捉え直しのみを行なった群を比べると、これらの問題解決の成績が変わらなかったことから、具体例の吟味は、問題解決を直接的に促進するのではなく、経験的知識の捉え直しを促す効果があるのではないかと考察している。つまり、具体的に矛盾を解消できる場合を考えることで、経験的に持っている知識の欠点に気づくことができるのではないかと考えられる。

進藤 (1995) では、浮力についての科学的情報の提示後の事後テストの成績が、教授前に単に浮力についての問題を解いただけの群より、問題を解いた後に、その問題を解いた法則を記入さ

れたものから選ぶという課題を行った群の方が良いという結果が報告されている。つまり、自分が事前にどのような理論によって問題を解いているかを意識することが、その後の科学的情報の提示による概念変化を促進するということが示されている。

また、小野寺(1994)では、粘土の形を変えても重さが変わらないことについて、驚きの反応を示した子どもと、冷静な反応を示した子どもでは、驚きの反応を示した子どもの方が、後に保存課題に正答するようになった。

このように、概念変化を促進する働きかけとして、まず最初にあげられるのは、学習者が持っている素朴理論を明確化するというものである。前述したように、Posner et al. (1982) は概念変化が起こる条件として、学習者が保持する概念に対して不満をもつことをあげている。つまり、既存の理論が誤っており、それでは直面している現象が説明できないことをはっきり意識化する必要があるということである。それによって、既有知識の堅固性が弱まることで、新情報が受け入れられやすくなり、「再解釈」の反応も抑制されると考えられる。

3-2 素朴概念と科学的概念を統合するための知識の獲得

中島(1999)によると、学習者は、最初は科学的概念の枠組みの中に素朴概念を形成する元になっている日常経験を統合することができない。そのため、こじ付け的な原理や、個々の現象や状況を個別的に説明する原理を導入することによって、日常経験を統合する段階があるという。この段階というのは、「再解釈」あるいは「周辺的な理論変化」の段階であるということができるだろう。そして、最終的には個別の現象や状況を超えた一般的原理を導入することによって、正しく日常経験を統合することが可能になるという。この状態が「理論変化」の状態であるといえる。つまり、「再解釈」や「周辺的な理論変化」ではなく、真の「理論変化」が起こるためには、その一般的原理といわれる知識を獲得しなければならない。

中島(1995)では、科学的知識と日常経験から得た知識の矛盾を解消するための知識を教授することで、2つの知識の統合が促進された。しかし、中島の一連の研究(中島, 1995, 1999)は地球の形の概念という領域を扱ったものに限定されているため、「矛盾を解消するための知識」といってもその内容は領域によって異なると考えられる。したがって、より厳密に定義するならば、矛盾を解消するための知識は、「素朴概念の誤りを正すための知識」と定義することができるだろう。

しかし、山縣(2000)では、素朴概念を形成する元となっている知識を修正するための知識の教授の影響をみたところ、その知識の教授は、素朴概念の修正には効果があったが、直接的には科学的概念の獲得につながらなかった。つまり、統合の下位段階には、素朴概念を修正するほかに、また別の段階が存在すると考えられる。素朴概念を形成する元になっている知識を修正するだけでなく、その素朴概念と科学的概念を比較検討する段階や、どちらが正しいのかを判断する段階など、どのようなプロセスで統合が起こっているのか見ていき、そのプロセスを進めるのにどのような知識が必要なのかを特定していくことが今後の課題である。

結 語

素朴概念の概念変化研究は、どのような教授が効果を持つかという視点で行なわれていること

が多く、概念変化のプロセス自体はあまり扱われてこなかった。しかし、どのような教授が一般的に効果を持つかということについては、個々の領域について見ていくのではなく、概念変化のプロセスに照らして、どのプロセスに効果があるのかを詳しく検討する必要がある。

本論文では、Chinn & Brewer (1993) による反証例に対する反応の分類に依拠し、その反応にしたがって概念変化のプロセスを想定した。また、概念変化に影響するとされている要因についてもあわせて記述した。その中でも、特に概念変化のプロセス全般に関わるのは「既有知識の堅固化」に関する要因であった。したがって、よりミクロに概念変化のプロセスについて研究していくためには、その堅固化の度合いを数値でとらえ、堅固化を弱める教授活動について調べていく必要があるだろう。

山縣 (2000) では、生徒の既有知識の堅固化の度合いを、既有知識についての回答の確信度として調べたところ、素朴概念を修正するための知識を教授した群と、科学的概念を納得するための知識を教授した群で、確信度が減少したことから、誤った既有知識の堅固化がこれらの知識の教授によって弱まったということがいえる。このように既有知識の堅固化を弱めることは、素朴概念と科学的概念を統合する概念変化の起こる土台を作ることにつながる。

また、概念変化における素朴概念と科学的概念の統合のプロセスにおいて、どのような知識が必要であるのかということについては、まだ検討の余地がある。統合のプロセスをより詳細に想定し、その下位段階においてどのような知識が必要になるのか、実証的に検証していく必要があるだろう。

〈謝 辞〉

本稿作成にあたり、丁寧なご指導をいただきました、京都大学教育学研究科 子安増生教授に深く感謝いたします。

〈引用文献〉

- 青木多寿子 (1992) 重さ判断課題の誤りに及ぼす知識の影響とその発達差. *心理学研究*, 63, 188-195.
- Carey, S. (1985) *Conceptual change in childhood*. MIT Press. 小島康次・小林好和(訳) 1994 子どもは小さな科学者か ミネルヴァ書房
- Chan, Burtis & Bereiter (1997) Knowledge building as mediator of conflict in conceptual change. *Cognition and Instruction*, 15, 1-40.
- Chi, Slotta, & Leeuw (1994) From thing to processes; A theory of conceptual change for learning science concept. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Chinn, C. & Brewer, W. (1993) The role anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- Clement, J. (1982) Student's preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- Fisher, K. M. (1985) A misconception in biology: Amino acids and translation. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 53-62.
- 稲垣佳世子 (1996) 概念的発達と変化. 波多野誼余夫(編) 認知心理学5 学習と発達. 東京大学出版会

- Johsua, S. & Dupin, J.J.(1987) Taking into account student conceptions in instructional strategy: An example in physics. *Cognition and Instruction*, 4, 117-135.
- Karmiloff-Smith, A. & Inhelder, B.(1974) If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, 3, 195-212.
- 金野祥子 (1990) 一見矛盾する課題の解決過程における知識の役割. 教育心理学研究, 38, 126-134.
- Kuhn, D., Amsel, E. & O'Laughlin, M. (1988) The development of scientific thinking skills. Academic Press.
- Kuhn, D. (1989) Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96, 674-689.
- Kuhn, D. & Lao, J. (1998) Contemplation and conceptual change: Integrating perspectives from social and cognitive psychology. *Developmental Review*, 18, 125-154.
- 麻柄啓一 (1996) 学習者の誤った知識はなぜ修正されにくいのか. 教育心理学研究, 44, 379-388.
- McCloskey, M., Washburn, A. & Felch, L. (1983) Intuitive physics: The straightdown belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 636-649.
- 永野重史 (1967) 能力分類の試み(1). 授業研究, 49, 118-125.
- 中島伸子 (1995) 「観察によって得た知識」と「科学的情報から得た知識」をいかに関連付けるか—地球の形の概念の場合—. 教育心理学研究, 43, 113-124.
- 中島伸子 (1997) ルール修正に及ばず反例遭遇経験の役割—理論の節約性に関するメタ知識の教授の効果—. 教育心理学研究, 15, 263-273.
- 中島伸子 (1999) 知識獲得の過程—科学的概念の獲得と教育. 日本教育心理学会第41回総会論文集, 89.
- 小野寺淑行 (1994) 子どもの素朴概念に対する反証実験の有効性. 千葉大学教育学部紀要, 42, 299-310.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982) Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H. & Resnick, L. B. (2000) Naive physics reasoning: A Commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18, 1-34.
- Ruffman, T., Perner, J., Olson, D. R. & Doherty, M. (1993) Reflection on scientific thinking: Children's understanding of the hypothesis-evidence relation. *Child Development*, 64, 1617-1636.
- Samarapungavan, A. (1992) Children's judgments in theory choice tasks: Scientific rationality in childhood. *Cognition*, 45, 1-32.
- 進藤聡彦 (1995) 誤法則を明確化する先行課題が法則の修正に及ぼす効果. 教育心理学研究, 43, 266-276.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. (1992) Mental models of the Earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vosniadou, S. (1994) Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Wellman, H. M. (1990) The child's theory of mind. The MIT Press.
- Wisniewski, E. J. & Medin, D. L. (1991) Harpoons and long stics: The interaction of theory and similarity in the rule induction. Fisher, Pazzani & Langley (Eds) Concept formation: Knowledge and experience in unsupervised learning. Morgan Kaufmann.
- 山縣宏美 (2000) 生徒の科学的概念の獲得のプロセス—素朴概念と科学的概念の統合に必要な知識の検討—. 京都大学大学院教育学研究科修士論文(未公開)

(博士後期課程1回生, 教育認知心理学講座)