

科学的概念と素朴概念の統合に影響する知識の 教授の効果の検討

—中学生の電気概念の獲得プロセス—

山 縣 宏 美

問 題

科学的概念の獲得は難しい。その原因の一つは、人が科学的概念の学習以前に、身の回りの現象を観察することによって、科学的には誤った素朴概念を形成しているためである（Vosniadou, 1994）。科学的概念を正しく獲得するためには、この素朴概念を修正し、科学的概念へと変化させなければならない。しかし、素朴概念は日常経験から得られたものであるため、強力に変化しにくく、年長の子どもや大人でも保持しており、科学的概念の獲得の妨げになっている。

このような概念獲得はどのようなプロセスで達成されるのだろうか。中島（2000）によると、まず日常的概念を枠組みとし、その中に科学的概念や日常経験を組み込む段階があり、ここで誤った素朴概念が生じるという。次に、科学的概念は受容しているが、それが解釈枠組みとしては働かず、日常経験を科学的概念の枠組みに統合することができない段階がある。この段階では、日常経験と科学的概念の矛盾を解消することができない。そして最後に、その矛盾を解消するための知識を導入して日常経験と科学的概念を統合する段階があり、この段階で科学的概念を獲得したということができる。

つまり、科学的概念を獲得するためには、科学的概念を受容する過程と、日常的概念を科学的概念と統合する過程が必要だということである。中島の一連の研究（1995, 1999）では、学習する科学的概念として、地球の形の概念が使われている。これは視覚的な情報によって、受容可能な概念である。例えばVosniadou, Skopeliti & Ikospentaki（2005）では、地球の形の概念を学習させるため、地球のモデルを実際に提示することの効果調べられている。しかし、理科教育において、つまずきの原因となる理解困難な概念とは、「電気」や「力」、「熱」といった、実際にそのものを見ることができない概念であることが多い。

その中でも、電気に関して、子どもがどのような概念を持っているかということについては、Tasker & Osborn（1985）によって、直列の回路を流れる電流が途中の豆電球を通った後に全くなくなる、あるいは減少するという誤った素朴概念を、18歳の生徒でも20%近く持っていることが報告されている。このような誤った概念は、回路の途中の豆電球が光るために、電子を消費しているという日常的概念より生じたものと考えられる。有川・丸野（1998）では、中学生が発熱体に対して持つメンタルモデルが調査されているが、ここでも発熱体が熱を生じるために電子を消費しているという誤ったメンタルモデル（装置モデル）を中学生が持っていることが報告されている。実際は、電子自体ではなく、電気エネルギーが熱に変換しているというエネルギー変化モデルが科学的に正しいモデルである。本実験では、このように学習してもなお、根強く誤っ

た素朴概念が残っている電気に関する科学的概念の獲得を扱うこととした。

電気のような視覚的に受容不可能な科学的概念を獲得するには、どのような知識が必要になってくるのだろうか。科学的概念の獲得には、前述の通り、科学的概念を受容する過程と、日常的概念を科学的概念と統合する過程が存在すると考えられる。それぞれの過程に対応するものとして、まず一つ目にあげられるのは、科学的概念を受容する過程に関わる、科学的概念を納得するための知識である。納得するということは、科学的概念が、科学的な権威に認められていることを知ることではなく、どうしてそれが正しいのかを因果的に知ることである。「電流は直列回路内を一定の量で流れる」という電気概念で言うと、電子が流れる仕組みを知ることがそれにあたる。目に見えない仕組みを知識として知ることによって、電流が一定の量で流れるという科学的概念を受容できるようになると考えられるからである。

次にあげられるのが、日常的概念を科学的概念と統合する過程に関わる、素朴概念を形成する元になっている日常的現象に対する誤った認識に関する正しい知識である。電気概念では、電池やバッテリーが消費されるという日常経験、あるいは熱や光が発生するには、何かが消費されているはずという直感が、有川・丸野（1998）で見られたような「発熱体が熱を発生するときに電子を消費する」という誤った認識につながり、「電流の量は途中で減少する（あるいはなくなる）」という素朴概念を形成していると考えられる。そこで、このような誤った認識を修正する正しい知識、つまり発熱体での熱の発生する仕組みについての知識が、素朴概念を形成する現象に関する知識となる。このような知識を獲得することによって、発熱体がつながれた「直列回路の電流が一定である」という科学的概念と「発熱体で電子が消費される」という誤った日常的概念を統合させることができると考えられる。つまり、熱が発生するのは電子が消費されているからではないということがわかることによって、発熱体に電気を流すと熱が発生するという日常経験が、矛盾なく科学的概念に統合されるようになると考えられるのである。

本実験では、「電流は直列回路内を一定の量で流れる」という電気についての科学的概念の獲得において、その科学的概念がどうして正しいのかを因果的に説明したものと、その科学的概念に関する誤った素朴概念「電流の量は途中で減少する（あるいはなくなる）」が形成される元になっている「発熱体で電子が消費される」という誤った日常的現象の解釈を修正するものといった2種類の知識の説明がどのような影響を及ぼすのかを調べることを目的とする。これら2種類の知識をそれぞれ教授することによって、科学的概念を獲得する過程における、科学的概念を受容する過程と、日常的概念を科学的概念と統合する過程の2つの下位過程それぞれを促進し、それによって科学的概念が獲得されるのかどうか、また獲得のされ方に違いがあるのかどうかを検討することができると思われる。

ただし、科学的概念の獲得には、学習者の既有知識の状態も深く関わっていると考えられる。Chinn & Brewer（1993）では、信念と矛盾するデータに対する反応に影響する要因の一つとして、既有知識の堅固化（entrenchment）をあげている。既有知識の堅固化とは、学習者が持っている既有知識が、どれだけ堅固なものになっているかということであり、これは、同じ現象を説明する他の可能性をどれだけ受容するかどうかということによっても測定できると考えられる。つまり、この指標を測定することで、より詳細に学習者の既有知識の状態を明らかにすることができる。本実験では、上記の2種類の知識が、既有知識の堅固性にもどのような影響を与えるか

を調査することによって、単に解答がどう変化したかだけではなく、より詳細に学習者の変化の状態を追うことができると考えられる。

また、理科学習における問題の一つとして、生徒が学習した内容をすぐに忘れてしまうということがあげられている (Georghiades, 2000)。よって、科学的概念が獲得されているかどうかを調べるためには、教授の直後だけでなく、しばらく時間を置いた後の状態についても調べることが必要であると考えられる。

よって、本研究では教授前テストで、発熱体で熱が生じる仕組みについてどのような概念を持っているかと、電流に関して正しい科学的概念を持っているかどうかを調べる課題を行った後、知識の教授として「科学的概念を納得するための知識」、あるいは「素朴概念を形成する現象に関する知識」を教授し、教授後テストとして教授前テストと同様の課題を行い、教授前テストと教授後テストでどのように解答が変化するかを調査した。また、知識の教授と時間経過の影響を調べるため、教授後テストを教授前テスト、知識の教授の1週間後に遅延して行う群を設けた。また、課題に対する解答だけでなく、他の選択肢のモデルをどれだけ受容できるかどうかを調べることによって、既有知識の堅固性がどのように変化するかも見ることにした。

本研究の目的は、電流に関する科学的概念を納得するための知識、あるいは素朴概念を形成する現象に関する知識を教授することによって、電流に関する日常経験の一例である発熱体についての概念と、電流自体の概念がどのように変化するかを調査することである。併せて、既有知識の堅固性がどのように変化するかも調べ、また、教授の効果と時間経過の影響も検討する。

方 法

実験参加者

実験参加者は京都市内の公立中学の3年生8クラス270名（男性147名、女性123名）であった。電気の分野は中学2年生で習うため、実験参加者はすべて電気の分野を既に学習していた。これらの実験参加者を2クラスごと4つの群にランダムに分け、それぞれを科学的概念を納得するための知識を教授され教授後テストを直後に行う群（科学直後群）、科学的概念を納得するための知識を教授され教授後テストを1週間後に行う群（科学遅延群）、素朴概念を形成する現象に関する知識を教授され教授後テストを直後に行う群（素朴直後群）、素朴概念を形成する現象に関する知識を教授され教授後テストを一週間後に行う群（素朴遅延群）とした。それぞれの群の人数は、科学直後群66名（男性36名、女性30名）、科学遅延群67名（男性38名、女性29名）、素朴直後群67名（男性35名、女性32名）、素朴遅延群70名（男性38名、女性32名）となった。

材料

問題冊子はフェイスシート、教授前テスト（発熱体が熱を発生するしくみを問う問題：発熱体問題・導線を通る電流の量を問う問題：電流問題、各1問）、教授前テストの2つの問題の解答が矛盾していないかどうかの確認、知識の教授（素朴概念を形成する現象に関する知識・科学的概念を納得するための知識）、教授後テスト（発熱体問題・電流問題、各1問）からなる。

発熱体問題とは、有川・丸野（1998）より中学生の持つ発熱体のメンタルモデルの中から、科学的なモデルであるエネルギー変換モデルの代表として、「細いパイプ」モデルと「障害物」モデルを使用し、素朴なモデルである装置モデルの代表として、「熱装置」モデルと「化学変化」モデルを

使用し、これら4つのモデルと「どれにもあてはまらない」という5つの選択肢の中から、自分の考えに近いものを選択するというものであった。選択肢の順番は(1)「細いパイプ」モデル、(2)「熱装置」モデル、(3)「障害物」モデル、(4)「化学変化」モデル、(5)どれにもあてはまらない、で固定した。それぞれのモデルには、その説明とモデルを表わす図をつけた (Figure 1参照)。また他に、その解答についての確信度を5段階 (1. 全く自信がない, 2. あまり自信がない, 3. どちらでもない, 4. 少し自信がある, 5. かなり自信がある) で評定させ、それぞれのモデルについて、それが正答だった場合にどれだけ納得できるかという、他のモデルの受容度を5段階 (1. 全く納得できない, 2. あまり納得できない, 3. どちらでもない, 4. 少し納得できる, 5. かなり納得できる) でそれぞれ評定させた。この受容度の評定は、既有知識の中で他のモデルがどれだけ堅固になっているかを調べるためのものである。

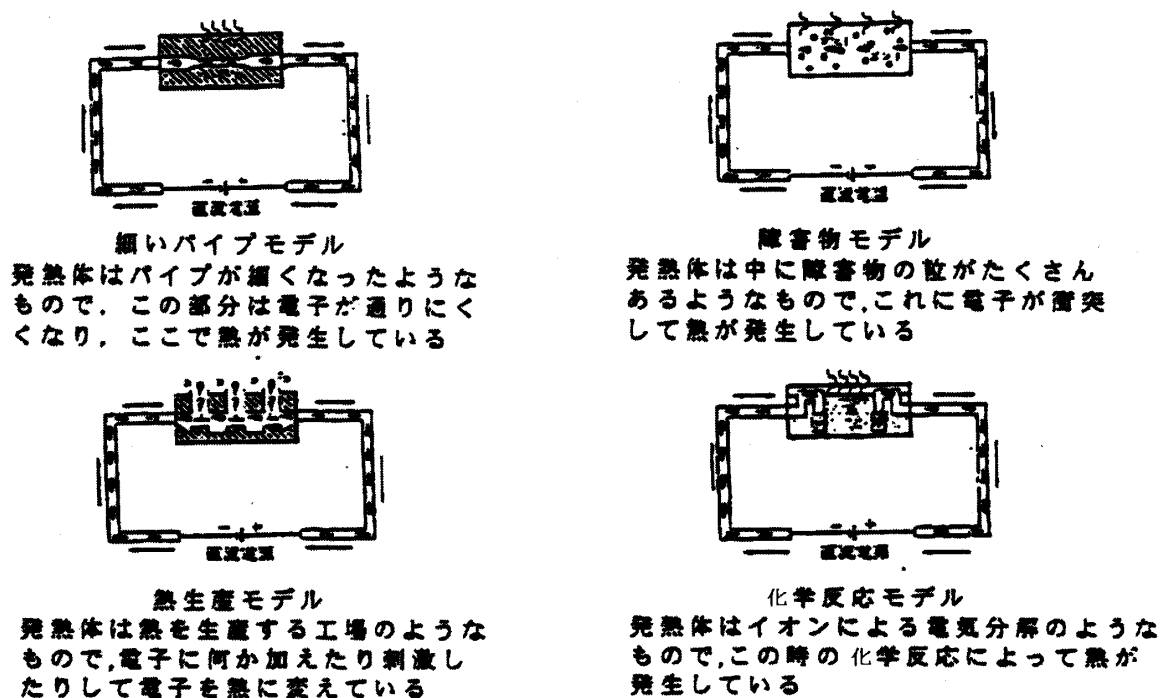


Figure 1 発熱体問題で使した図 (有川・丸野,1998より、一部文字を修正)

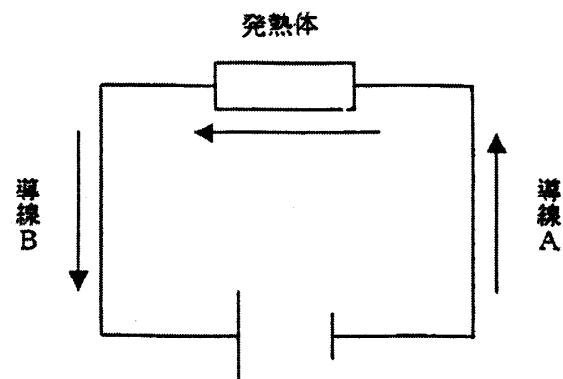


Figure 2 電流問題で使した図

電流問題とは、Tasker & Osborn (1985) を参考にFigure 2を作成し、Aの線を通る電流と比べて、Bの導線を通る電流の量がどうなっているかを3つの選択肢から選ぶ問題であった。使用した選択肢は、(1) 導線Bには電流が全く流れていない、(2) 導線Bには少し電流が流れるが、Aよりも少ない、(3) 導線Bには導線Aに流れているのと同じだけの電流が流れている、の3つであった。次にどうしてそう思うのかを自由記述で解答させ、選択肢の解答についての確信度と、それぞれの選択肢が正答であった場合の受容度を発熱体問題の場合と同様に聞いた。また、教授前テストと教授後テストは全く同じ問題を使用した。

Table 1 知識の教授の文章と問題

	科学的概念を納得するための知識	素朴概念を形成する現象に関する知識
説明文	電流とは (タイトル) 原子は+の電気を帯びた原子核と、-の電気を帯びたいくつかの電子とからなります。金属は原子が正しく並んでできていますが、一部の電子が原子を離れ自由に動きまわっています。このような電子を自由電子といいます。電子が原子から離れると、電氣的に不安定になるため、原子は再び安定した状態に戻ろうと、足りなくなった電子を他から埋め合わせようとします。また、飛び出した電子の方も電子の足りない原子と一緒に安定しようとしてします。このため金属線に電圧をかけると、自由電子が物質中の自由電子を押し出し、押し出された自由電子が次々と連鎖するように電子の流れを作ります。入ってきた電子と同じ数だけの電子が押し出されるわけですから、回路内の電流は常に一定なのです。	どうして発熱体から熱は発生するのか (タイトル) 発熱体というのは、抵抗のおおきな金属でできています。電気コンロなどで、電気が熱に変わるのは、原子と電子がぶつかり合って摩擦熱が生じるからです。物と物をこすり合せると熱が発生しますが、これが原子レベルでおきているのです。抵抗の大きなニクロム線などに電気を流すと、電子はニクロム線の原子に邪魔されて思うように進めずに、激しくぶつかり合いながら進みます。このときのぶつかる勢いが、電気エネルギーで、ぶつかることによって勢い、つまり電気エネルギーが減った分、熱エネルギーに代わっているのです。電子一つが出す熱は非常に小さなものですが、これがたくさん集まるとオーブントースターや電気ストーブのように大きな熱になるわけです。
問1	原子から離れた電子のことを何といいますか ①.自由電子 2.放浪電子	発熱体はどのような金属でできてきますか ①.抵抗の大きなもの 2.抵抗の小さいもの
問2	電子の離れた原子は電氣的にどうなっていますか 1.安定 ②不安定	抵抗では電子はどうなるのでしょうか ①原子にぶつかる 2.消滅する
問3	2個の電子が離れた原子核には何個の電子がつかますか ①2個 2.1個	どうして熱が発生するのですか 1.原子と電子がぶつかった時に化学反応が起こるため ②原子と電子がぶつかった時の摩擦のため
問4	導線中の電気の流れはどうなっていますか ①連鎖的 2.増えたり減ったりする	熱エネルギーに変わるのは何ですか 1.電子 ②電気エネルギー

注)問題の二者択一の選択肢のうち番号に○のついている方が正答

また、知識の教授では、科学的概念を納得するための知識を教授される群には、科学的概念を納得するための知識として、電流が回路内で一定であることについての説明の文章、素朴概念を形成する現象に関する知識を教授される群には、素朴概念を形成する現象に関する知識として、発熱体が熱を発生する仕組みについての説明の文章を読ませ、どちらもその説明文について2択式の問題を4問解かせた。それぞれの説明文は新井（1998）を参考に筆者が作成したもので、専門家（高校の物理教師）により推敲された。その説明文と問題がどのようなものであったかについてはTable 1に示した。最後にこの文章の内容がわかったかどうか、4段階（1.全くわからない、2.あまりわからない、3.だいたいわかった、4.よくわかった）で評定させた。

手続き

クラスごとに集団法で実施した。実験は各クラスの理科の授業中に行い、実験者は各クラスの理科担当の教員が務めた。実験参加者には、この実験が、中学生の理科学習の実態を調べるためのものであり、結果は統計的に処理され、成績などには一切関わらないことを説明した。

問題冊子を配布し、フェイスシートに出席番号、年齢、性別等を記入させた後、指示があるまで先のページを開かないこと、後から前のページに戻って解答を書き直さないことを注意した。それぞれの問題はクラス全員が記入し終わるのを待って進められた。知識の教授のページでは。文章をじっくり読んでから問題を解くよう指示し、このページだけは必ず7分間時間をとった。教授後テストが直後の群は教授後テストをそのまま続けて行い、1週間後の群は1週間後の同じ時間に教授後テストのみを行った。所要時間は教授前テストと知識の教授で30分、教授後テストで10分であった。すべての実験の終了後、問題の解答、実験で提示されていない教授文をまとめたプリントを配布し、クラス間の差がなくなるよう配慮した。

結 果

分析対象者

全解答の中から、解答に不備があった者、知識の教授で文章の内容が全くわからないと評定した者、知識教授文章の読後課題で問4を誤答した者は除外し分析を行った。問4を誤答した者を除外したのは、問4がそれぞれの知識の教授の目的である、電流の量は変化しないこと、あるいは電子は熱に変化しないことを理解したかどうかを確認することができる問であったからである。

その結果、分析対象は科学直後群が62名（男性34名、女性28名）、科学遅延群が63名（男性35名、女性28名）、素朴直後群が45名（男性21名、女性24名）、素朴遅延群が60名（男性34名、女性26名）となった。素朴直後群は他の群に比べ、問4を誤答した者が多く、人数が顕著に減少しており、クラス間に学力差があった可能性が考えられる。しかし、実験に対する態度などにはクラス間に差はなく、問4を正答した者のみを分析対象としたことで、学力差をうめる操作ができたと考える。

電流問題の解答の変化

電流問題の解答は、(1) 流れない、(2) 減少するの選択を誤答、(3) 変わらないの選択を正答とし、教授前テストから教授後テストへの解答の変化パターンごとの人数をTable 2に示した。教授前・後テスト、どの知識教授条件においても、(1) 流れないの選択肢を選んだものはほとんどいなかった。

Table 2 電流問題の回答の変化のパターンごとの人数比 (%)

	正→正	正→誤	誤→正	誤→誤
科学直後群 (N=62)	58	5	19	18
科学遅延群 (N=63)	57	10	11	22
素朴直後群 (N=45)	42	13	9	36
素朴遅延群 (N=60)	57	12	10	22

知識の教授前後の正答者の比率の差についてマクニマーの検定を行ったところ、科学直後群のみ有意差 ($z=2.06$, $p<.05$) が見られた。つまり、電流に関する科学的概念を納得するための知識を教授され、直後に教授後テストを受けた群だけ、電流問題の正答者が増えたといえる。

発熱体問題の解答の変化

発熱体問題の解答は、熱生産モデル、化学反応モデル、どれにもあてはまらないの選択を誤答、細いパイプモデル、障害物モデルの選択を正答とし、教授前テストから教授後テストへの解答の変化パターンごとの人数をTable 3に示した。

Table 3 発熱体問題の回答の変化のパターンごとの人数比 (%)

	正→正	正→誤	誤→正	誤→誤
科学直後群 (N=62)	27	16	15	42
科学遅延群 (N=63)	40	13	10	38
素朴直後群 (N=45)	51	2	31	16
素朴遅延群 (N=60)	40	10	27	23

知識の教授前後の正答者の比率の差についてマクニマーの検定を行ったところ、素朴直後群 ($z=3.10$, $p<.001$) と素朴遅延群 ($z=1.92$, $p<.05$) に有意差が見られた。つまり、電流に関する素朴概念を形成する現象に関する知識を教授された群のみで教授後テストの正答が増えたといえる。

電流問題における選択肢の受容度の変化

電流問題のそれぞれの選択肢が正答であった場合の受容度について平均と標準偏差を求めたところ、Table 4のようになった。

Table 4 電流問題の選択肢の教授前後の受容度の平均 (カッコ内は標準偏差)

	全く流れない		減少する		変わらない	
	教授前	教授後	教授前	教授後	教授前	教授後
科学直後群	1.81(0.86)	1.81(0.91)	3.55(1.06)	3.00(1.22)	3.86(1.03)	4.10(0.88)
科学遅延群	1.78(1.02)	2.21(1.13)	3.10(1.31)	2.92(1.07)	3.97(1.15)	3.97(0.91)
素朴直後群	1.91(1.00)	1.91(0.94)	3.33(1.12)	3.10(1.19)	3.82(0.88)	3.42(1.15)
素朴遅延群	1.93(1.01)	2.27(1.30)	3.13(1.10)	3.18(1.16)	3.75(1.15)	3.68(1.13)

これらについて、知識の種類 (科学的概念を納得するための知識・素朴概念を形成する現象に関する知識：被験者間) × 教授後テストの時期 (直後・遅延：被験者間) × 教授 (教授前テスト・

教授後テスト：被験者内) の3要因分散分析を行った。

まず、「全く流れない」という選択肢については、教授の主効果 ($F_{(1,226)}=6.84, p<.01$) と、教授後テストの時期と教授の交互作用 ($F_{(1,226)}=6.84, p<.01$) が有意であり、特に遅延条件の教授後テストで、受容度が上がることが示されたが、受容度の値が1, 2点台と低いため、「全く流れない」という選択肢が受け入れられているとはいえない。

次に、「減少する」という選択肢については、教授の主効果 ($F_{(1,226)}=11.11, p<.005$) と、教授後テストの時期と教授の交互作用 ($F_{(1,226)}=5.89, p<.05$) が有意であり、特に直後条件の教授後テストで、受容度が下がることが示された。単純効果の検定をおこなったところ、科学直後群で教授前テストより教授後テストの方が有意に受容度が低く ($F_{(1,226)}=15.87, p<.001$)、素朴直後群でも、10%水準で有意な差がある傾向がみられ、教授前テストより教授後テストの方が受容度が低かった ($F_{(1,226)}=3.15, p<.10$)。

最後に、「変わらない」という選択肢については、知識の種類の主効果 ($F_{(1,226)}=5.99, p<.05$)、知識の種類と教授の交互作用 ($F_{(1,226)}=6.55, p<.05$)、知識の種類と教授後テストの時期と教授の交互作用 ($F_{(1,226)}=4.27, p<.05$) が有意であり、単純効果の検定を行ったところ、科学直後群で、教授前テストより教授後テストの受容度の方が、10%水準で有意に高い傾向にあり ($F_{(1,226)}=2.79, p<.10$)、素朴直後群で、教授前テストより教授後テストの方が有意に受容度が低かった ($F_{(1,226)}=8.74, p<.005$)。

発熱体問題における選択肢の受容度の変化

また発熱体問題のそれぞれの選択肢が正答であった場合の受容度について、平均と標準偏差を求めたところ、Table 5のようになった。

Table 5 発熱体問題の選択肢の教授前後の受容度の平均 (カッコ内は標準偏差)

	熱装置モデル		障害物モデル	
	教授前	教授後	教授前	教授後
科学直後群	3.10(1.13)	3.08(1.11)	3.32(1.24)	3.13(1.14)
科学遅延群	2.70(1.23)	2.97(0.98)	3.40(1.20)	3.38(1.06)
素朴直後群	3.18(1.12)	2.42(1.11)	3.22(1.17)	4.00(1.04)
素朴直後群	3.08(1.17)	3.00(1.21)	3.63(1.10)	4.03(0.84)

知識の種類 (科学的概念を納得するための知識・素朴概念を形成する現象に関する知識：被験者間) × 教授後テストの時期 (直後・遅延：被験者間) × 教授 (教授前テスト・教授後テスト：被験者内) の3要因分散分析を行った。ここでは、発熱体に関する素朴なメンタルモデルの代表として熱装置モデル、科学的なメンタルモデルの代表として障害物モデルの結果を扱う。

まず、素朴なメンタルモデルである熱装置モデルについては、知識の種類と教授の交互作用 ($F_{(1,226)}=12.23, p<.001$)、教授後テストの時期と教授の交互作用 ($F_{(1,226)}=9.43, p<.005$) が有意であり、単純効果の検定を行ったところ、素朴概念を形成する現象に関する知識を教授した群で教授後テストの受容度が有意に下がっていることが示された ($F_{(1,226)}=14.46, p<.001$)。

また、科学的なメンタルモデルである障害物モデルについては、知識の種類的主効果 ($F_{(1,226)}=10.63, p<.005$)、教授の主効果 ($F_{(1,226)}=11.24, p<.001$)、知識の種類と教授の交互作用 ($F_{(1,226)}$

$=22.76$, $p<.001$) が有意であり、単純効果の検定を行ったところ、素朴概念を形成する現象に関する知識を教授した群で、教授後テストの方が有意に受容度が高かった ($F_{(1,226)}=33.00$, $p<.001$)。

考 察

概念獲得のプロセス

科学的概念を納得するための知識を教授することによって、電流問題の正答が有意に増えたことから、科学的概念を納得するための知識の教授が、電流に関する科学的概念の獲得を促進したといえる。しかし、素朴概念を形成する現象に関する知識を教授することでは、電流問題の正答は増えず、素朴概念の修正にはつながらないことが示された。

このような結果から、概念獲得のプロセスにおいて、「直列の回路を流れる電流の量は一定である」という科学的概念を納得しても、それと関連する「熱が発生する時、電子は消費される」という素朴概念が自動的に修正されるわけではないということが示された。また、そのような誤った素朴概念に関連する正しい知識を獲得しても、そのまま科学的概念を受け入れることができるようになるわけではないことも示された。

これは、知識は一貫した理論をな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的に説明する原理から成り立っており、知識相互の矛盾を解消できないとする diSessa (1993) を支持する知見である。本実験でも、「発熱体で電子を消費する」という誤った素朴概念と、「電流の量は一定である」という科学的概念は矛盾するものであるが、どちらかについての正しい知識を与えられた場合でも、この二つの概念の矛盾を解消するような活動は、自由記述の中でもほとんどみられなかった。

本実験では、電気に関する課題を2種類用いたわけであるが、教授した知識の効果はどちらか一方のみで、どちらもの課題にみられることはなかった。現象的原理の考え方から見ると、この結果は説明可能である。つまり学習者は、さまざまな情報から、ある一つ概念に関する一貫したメンタルモデルを構成するのではなく、それぞれの現象に応じた個々のメンタルモデルを構成しており、その中には矛盾したものも共存しているのである。したがって、さまざまな現象を統一的に説明できる一貫した概念というのは、自動的に生成されにくいということが言え、そのような自分自身の概念、あるいは知識の状態に意識的に気付くという、メタ概念的な気付きの段階を経ることによって、そのようなバラバラな概念がどう統合されていくのか、これから検討していく必要がある。

既有知識の堅固性への影響

電流問題でのそれぞれの選択肢が正答であった場合の受容度の変化を見ると、科学的概念を納得するための知識を教授された群では、「減少する」という誤ったモデルの受容度が下がり、「変わらない」という正しいモデルの受容度が上がっている。しかし、どちらも教授後テストが直後条件の場合にしかそのような効果が見られておらず、電流についての一時的な理解に終わった可能性がある。

また、素朴概念を形成する現象に関する知識を教授された群では、「変わらない」という正しいモデルの受容度が、特に直後群で教授後に下がっており、発熱体についての理解が、電気概念

についての理解につながらなかっただけでなく、電気概念についての理解を歪曲した可能性も示唆される。

電気の流れは、しばしばホースの中を流れる水に例えられる (Gentner & Gentner, 1983)。したがって、抵抗というのは、ホースを指でつまんだり、ホースの中に砂利などが詰まったりして、水が流れにくくなっている状態である。しかし、絶えず水が送り出されるなら、流れにくくなっている場所の先の水量は変わらないということがわかるはずである。

しかし、この流れにくいということと、流れる量が少なくなるということを混同してしまった生徒が多かったことが、素朴概念を形成する現象に関する知識を獲得しても、電流問題の正答につながらなかった原因としてあげられるだろう。例えば、生徒の中には、「電子が障害物に衝突してなくなる」というように答えていた者もいたが、これは衝突することと、物がなくなるということを混同してしまっている例である。

教授された文章を正しく理解し、問4で熱に変わるのは電子自体ではなく、電子エネルギーであると解答した生徒のみを分析することで、教授された知識を誤って解釈しているという可能性は排除しているのだが、それでも正しい発熱体モデルを電子が消失するイメージでとらえてしまい、電流問題で誤答するというのは、まだ認識の枠組みとしては素朴概念が強固に残っているということを示していると言えるだろう。

本実験の対象となった生徒は、全員電気の分野を学習しているため、直列回路内の電流が一定であることを習っているが、それでも「減少する」というような解答がみられ、素朴概念を形成する現象に関する知識を教授された群では、「変わらない」というモデルの受容度が下がった。麻柄 (1996) では、いったん誤った知識が発動すると、それに合わせる形で既有知識 (科学的概念) の改竄が行われたということが報告されている。本実験でも、発熱体に関する正しい知識が教授され、それを受け入れたにもかかわらず、その知識を、「電子が消費される」という誤ったイメージにあわせて改竄するという現象が見られたといえる。

次に、発熱体問題でのそれぞれの選択肢が正答であった場合の受容度の変化を見ると、科学的概念を納得するための知識を教授された群では、教授の前後で変化が見られなかったのに対し、素朴概念を形成する現象に関する知識を教授された群では、誤ったモデル (熱装置モデル) の受容度が下がり、正しいモデル (障害物モデル) の受容度が上がっていた。このことから、電流についての正しい知識を教授されても、関連する現象の理解は促進されないということが言える。

時間経過の影響

これらの知識の教授の効果は直後においてはみられたが、教授後テストが遅延後の場合にはあまりみられなかった。このことから、本実験で見られた概念変化は一時的なものでしかなかった可能性がある。その理由としては、本実験での教授方法が、単に知識を文章として読むという単純なものを使用していたことがあげられる。ただし本実験は、概念獲得に効果的な教授法についての研究ではなく、どのような内容のものを与えるとよいのかを調べた研究であり、より深く知識を定着させるには、こういった教授が効果があるのかということについては、これからの調査が必要となってくるだろう。説明文理解の分野では、図の呈示が深い理解を促進する (Mayer & Gallini, 1990) ことが示されており、また技能獲得の分野では、原理を理解するだけでなく、それを体験することが重要である (有川・丸野, 2000) ことが示されている。このような教授法が、

長期的な科学的概念獲得においても効果があるのかどうかを明らかにしていくことが今後の課題として考えられる。

教育的意義

理科教育において、科学的概念を獲得するために、どういう内容の教授を行えばよいのかということについて、本実験で得られた知見より考察していく。

理科学習においては、導入として実験や具体例といった関連する現象についての学習が行われる。しかし、今回の結果からは、このような関連する現象の理解から、より抽象的な科学的概念への理解は促進されない可能性が示唆された。また、堅固な素朴概念をもっている場合には、その素朴概念に合うように関連する現象の理解を歪めてしまう場合もありうる。さらに、科学的概念を納得した場合でも、関連する現象の解釈には、自分の持っている素朴概念によって判断をしてしまうということがある。

本実験では、発熱体で電子が消費されないことがわかって、電流の量が一定であることを理解することにはつながらず、また電流の量が一定であることがわかって、発熱体で電子が消費されないことを理解することにはつながらずということが示された。したがって、学習者は、その2つの知識間の矛盾を解消するような積極的な知識構築活動を行っておらず、単に教授された知識を自身の既有知識の中に加えたただけであったという可能性が示唆された。このことから、学習者には、学習中に単に知識を覚えるだけでなく、現象どうしのつながりや、自分自身の知識の中に矛盾はないかといった既有知識の状態について、より意識的になることをすすめる必要があると考えられる。そうして概念を積極的に構築していく活動を行うことによって、その概念が、さまざまな現象についての一貫した説明枠組みとなると考えられる。

今後の展望

まず、本実験の問題点としては、知識の教授の間4を分析から除外した結果、素朴直後群の人数が顕著に減少し、問題があったことがあげられる。この問題を解消するためには、事前に群ごとの学力を調べておく必要があったと考えられる。

また、本実験で正しくモデルを選択することと、正しく科学的概念を理解することはイコールとはいえない。単にその概念を持っているかどうかを問うだけでなく、その概念を使用する問題解決場面で正しい概念を適用できるかどうかということによって、科学的概念の獲得の質と知識の教授の関係についてもみていきたい。

素朴概念を形成する現象に関する知識に関して、発熱体の前後で電流が不変であるということが明示されていないため、前述のように、電子が消費されるイメージを残す余地があったということも問題点としてあげることができる。ただ、消費されるのが電子ではなく、エネルギーであるということを明示していても、電流は減少するという素朴概念は根強く残るという、素朴概念の堅固性は示されたといえる。

本実験では、科学的概念を獲得する過程のうちの2つの下位過程それぞれが促進された場合の影響を見るため、科学的概念の獲得に必要なと考えられる2種類の知識のどちらか一方のみを与えるという条件を設定した。もちろん、教育的にはどちらの知識も必要であると考えられるため、今後の課題としては、これらの知識が与えられる順番の影響などを検討していくことも重要である。

謝 辞

本稿作成にあたり、丁寧なご指導をいただきました、京都大学大学院教育学研究科 子安増生教授に深く感謝いたします。また実験にご協力いただいた中学校の先生、生徒の皆さんにも厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 新井宏之 (1998) 図解でわかる電気の事典 西東社
- 有川誠, 丸野俊一 (1998) 発熱体に対して中学生が持つメンタルモデルの分析 教育心理学研究, 46, 58-67.
- 有川誠, 丸野俊一 (2000) 原理に対する理解及び操作体験が工具操作能力の改善に及ぼす効果 教育心理学研究, 48, 501-511.
- Chinn, C. & Brewer, W. (1993) The role of data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- diSessa, A. A. (1993) Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10, 105-225.
- Georghiades, P. (2000) Beyond conceptual change learning in science education: Focusing on transfer, durability and metacognition. *Educational Research*, 42, 119-139.
- 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.
- Mayer, R. E. & Gallini, J. K. (1990) When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82, 715-726.
- 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ー地球の形の概念の場合ー. 教育心理学研究, 43, 113-124.
- 中島伸子 (1999) 科学的概念の枠組の中に日常経験を統合する方法の変化. 地球の形の概念を題材として. 日本教育心理学会第41回総会発表論文集, p.667.
- 中島伸子 (2000) 知識獲得の過程: 科学的概念の獲得と教育 風間書房
- Tasker, R. & Osborne, R. (1985) Science teaching and Science learning. In Osborne, R. & Freyberg, P. (Eds.), *Learning in science: The implications of children's science*. Heinemann.
- 森本信也・堀哲夫(訳) 子ども達はいかに科学理論を構成するかー理科の学習論ー. 東洋館出版社.
- Vosniadou, S. (1994) Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S., Skopeliti, I. & Ikospentaki, K. (2005) Reconsidering the role artifacts in reasoning: Children's understanding of the globe as a model of the earth. *Learning and Instruction*, 15, 333-351.

(教育認知心理学講座 博士後期課程3回生)

(受稿2005年9月9日、改稿2005年11月28日、受理2005年12月8日)

The Effect of Instruction of Knowledge on the Coordination between Naive and Scientific Concepts: Junior High School Students' Process of Acquiring the Scientific Concept of Electric Current

YAMAGATA Hiromi

The present study investigates the effects of two types of knowledge on acquiring and retaining the scientific concept of electricity. The participants were 270 ninth grade junior high school students. One type of knowledge was about justification of scientific concepts of electric current and the other relates to modifying the wrong concept about electric current. Students were divided into four groups. All groups were given two problems; one was about the quantity of electrical current running a circuit, and the other was about the way to radiate heat from the heater. They engaged in the same problems as posttest immediately or a week later after receiving the instructions of knowledge. The results of comparing answers before and after the instructions are as follows; in the problem of electric current, instruction of knowledge to justify scientific concept increases correct answers, while that of knowledge to modify the wrong concept does not. But in the problem of the heater, the result was the opposite. Both types of knowledge lacked the effect of retaining the scientific concept. These results imply that in the process of concept acquisition, students do not automatically coordinate the naive concepts that they possess with scientific ones.