

「溶液の均一性」概念の獲得における常識知の役割

隅 田 学

(愛媛大学教育学部理科教育研究室)

日 置 洋 平

(宮崎大学大学院)

中 山 迅

(宮崎大学教育文化学部)

(平成13年5月24日受理)

The role of commonsense knowledge in conceptual change about dissolution

Manabu SUMIDA, Yohei HIOKI and Hayashi NAKAYAMA

1 はじめに

溶質が水に溶けると、水溶液中では溶質が均一に広がりどの部分でも同じ濃さになっている。この場合、水溶液をそのまま放置しても、部分によって濃さが変わることはない。この「溶液の均一性」概念は、国内外の先行研究において獲得が非常に困難な概念とされており、子ども達が様々な代替的見方・考え方を保持していて、特に「溶質が下にたまる」と考える学習者の割合が高いことが報告されている(例えば, Slone & Bokhurst, 1992; 秦, 1994; 堀, 1997; 佐藤他, 1998; 宗近, 2000)。

近年、認知発達研究では、理科学習の過程で生じる領域固有の概念変化について、世界各国で様々な学年段階を対象に調査・研究が行われてきた。その中で、各領域ごとにバラバラに議論されてきた研究成果を関連付けようと、学習者の常識知^{注1)}に焦点を当てた理論的枠組みが提案されている(例えば Bliss & Ogborn, 1994; Chi et al., 1994; Vosniadou, 1994; Driver et al., 1994)。その中で多くの研究者に了解が得られているものとして、「支えがないものは下に落ちる (unsupported objects fall downwards)」という常識知がある。この常識知は、溶解に関する学習者の典型的な代替的見方・考え方とうまく重なる。「溶液の均一性」概念のように、学校理科で学ぶ科学知と常識知が矛盾する場合、常識知は、生得的な要素を含み、知識獲得の過程において根本的な制約として作用するため、概念変化の困難性を説明する際の中心的要素になると考えられる。

そこで本研究では、常識知と科学知との間に決定的な矛盾が想定される「溶液の均一性」概念を題材とし、小学生から大学生における理解の実態を明らかにするとともに、知識獲得の根本的制約として働く常識知が科学知の獲得過程にどのように関わっているか検討することを目的とする。

2 調査対象と方法

(1) 調査対象

本研究では、公立小学校の5年生21名、6年生21名、国立大学附属中学校の2年生16名、そして国立大学教育学部の学生18名の合計76名を調査対象とした。本調査対象となった小学5年生は、学校理科において、まだ溶液の均一性に関する学習経験を持たない。小学6年生は小学5年次に溶液の均一性に関して学習していた。中学2年生については、小学5年次と中学1時次に溶液の均一性に関する学習経験があった。大学生の被験者については、教育学部の理科専攻の学部生（特別教科理科教員養成課程3・4年生）17名と大学院教育学研究科理科教育専修の大学院生1名が含まれていた。

(2) 調査のデザイン

本調査は、図1に示すようなデザインに沿って事例面接形式（White & Gunstone, 1992）で行われた。

本調査デザインには、三つの課題が設定されている。まず「溶解」に関する手順を示した後、砂糖を水に溶かして10分後の砂糖の状態（課題1）、そして1ヵ月後の砂糖の状態（課題2）を絵に描いて説明してもらった。

第三の課題は矛盾説明課題（Contradiction-Explanation Method）である。矛盾説明課題とは、子ども達が自分の自然認識を生得的に制約するような常識知と科学知との間にどのように整合を持たせていくのか、その認知変化のプロセスをプローブする方法である。本研究では、課題2に対して、「1ヶ月後も砂糖は均一に存在する（均一モデル）」と答えた被験者については、非科学モデルを提示し、自分の科学知と常識知との間に、どのように整合性を持たせているのかを調査した（課題3-a）。また、「1ヶ月後砂糖は下にたまる（下部沈殿モデル）」と答

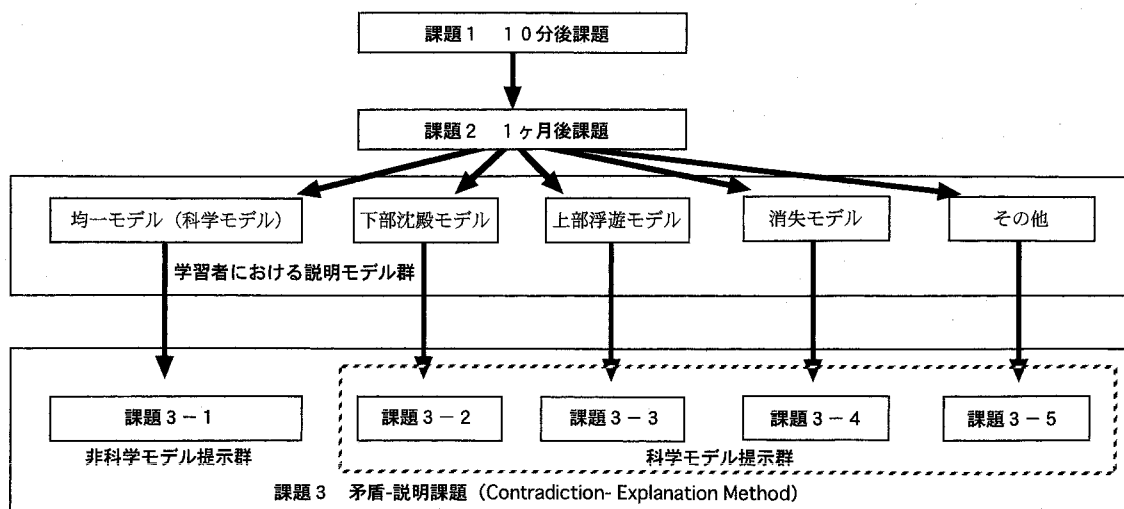


図1 調査のデザイン

えた被験者に対しては、1ヶ月後砂糖は均一に存在することを教示し、科学知と自らの考えとの矛盾にどのような整合性を持たせようとするのかを調査した(課題3-b1)。なお、図1に示すように「上に浮く(上部浮遊モデル)」、「なくなる(消失モデル)」、「その他」といった応答をした被験者については、基本的に「下部沈殿モデル」で説明した被験者と同様の調査ルートデザインした。

3 結果と考察

(1) 「溶解」に関する学習者の認知の実態

本研究で行った第1課題(10分後課題)、第2課題(1ヶ月後課題)の両課題に対する小学生から大学生までの被験者の応答より、次の表1に示される四つの説明モデルが抽出された。本調査で抽出された均一モデル(科学モデル)、下部沈殿モデル、上部浮遊モデル、消失モデルは、いずれも溶解に関する子どもの見方・考え方についての先行研究に見いだされたものと一致している。なお極めて小数ではあるが、ビンの周りにくっつく等それら四つの説明モデルに含まれないモデルで説明を行った被験者もいたので、彼らは「その他」として扱った。

次に、表1の説明モデルを用いて、第1課題(10分後課題)と第2課題(1ヶ月後課題)における被験者の応答を分類し、各説明モデルの出現頻度とその応答遷移をまとめたものが、図2の応答遷移ダイアグラム(例えば、脇元, 1992; 隅田1995a, 1995b)である。応答遷移ダイアグラムは、二種類の課題と、それらの課題への五種類の回答を組み合わせた5×2の行列になっている。それぞれの楕円の面積は、該当する説明モデルの出現率に比例するように描かれている。左側の列と右側の列とを結ぶ線は、10分後課題でそれぞれの説明モデルを応答した学習者が、1ヶ月後課題ではどの説明モデルへと移行したかを示しており、線の幅はその方向に応答遷移を示した学習者の割合に比例するように描かれている。

図2から、まず小学生について見てみると、5年生では、両課題共に均一モデルの説明を行った被験者は見られず、大多数の者が下部沈殿モデルで説明し(10分後課題:76.2%; 1ヶ月後課題:66.7%)、全体の半数以上の者がその説明モデルを両課題に一貫して適用した。小学6年生では、均一モデルの説明がわずかに見られるが、両課題においてそれを一貫して適用したのは、全体の1割にも満たない。ここでも、両課題に対し下部沈殿モデルで説明する被験者の割合が非常に高く(10分後課題:71.4%; 1ヶ月後課題61.9%)、約半数が一貫してこのモデルを適用した。

中学2年生の場合、10分後課題については科学的な均一モデルの出現率は小学生よりも高くなる。しかし1ヶ月後課題になると多くの者が下部沈殿モデルへと応答遷移し、均一モデルの出現率を大きく上回っている。

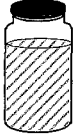

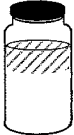
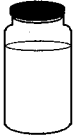
大学生については、10分後課題・1ヵ月後両課題において大多数のものが均一モデルで説明を行い(10分後課題:94.4%; 1ヵ月後課題77.8%)、約8割がこの応答タイプを一貫して適用していた。つまり、小学校で学ぶ内容とも言えるこのような単純な砂糖の溶解課題であっても、多くが一貫して科学的な均一モデルを適用できるのは大学生のみであった。

(2) 「溶液の均一性」概念の獲得における常識知と科学知との整合

a) 科学的な応答をした学習者は常識知との矛盾をどのように説明するか?

図2より、科学的な均一モデルで説明した中学生や大学生も、溶解に関する理科学習経験の

表1 「溶解」に関する学習者の説明モデル

説明モデル	描写例	説明例
均一モデル		砂糖は水にとけたまま全体にたまる。
下部沈殿モデル		砂糖は水にとけたまま下の方にたまる。 砂糖はつぶになって下にたまる。
上部浮遊モデル		砂糖はとけたまま上の方にたまる。
消失モデル		砂糖は水の中のどこにもない。

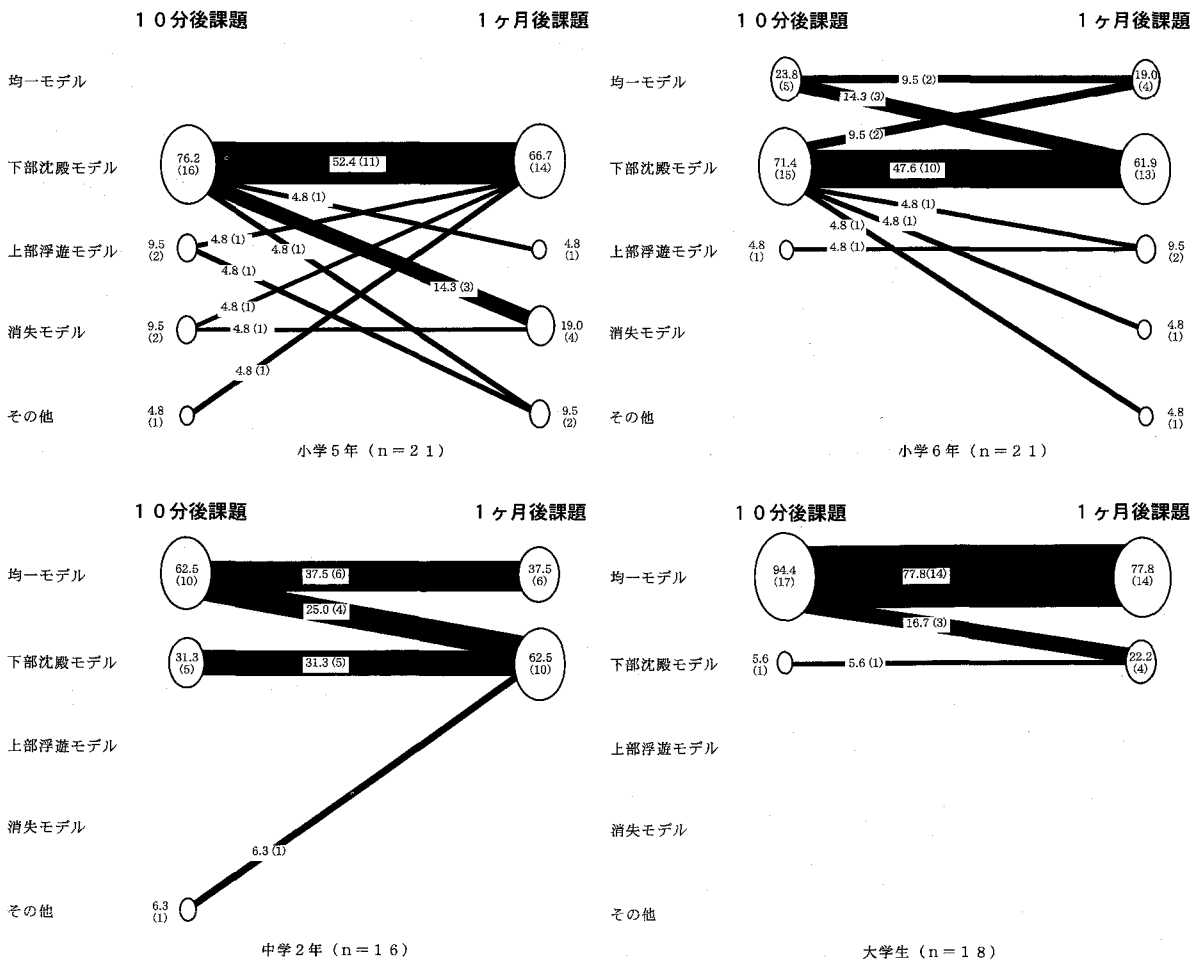


図2 各学年における各課題に対する応答遷移ダイヤグラム

ない小学校段階では、その多くが下部沈殿モデルで説明していたと考えられる。それでは、溶液の均一性概念を獲得した学習者は、「支えがないものは下におちる」という常識知を放棄したのだろうか、もし放棄したのでなければ、どのようにして科学知とうまく整合性を持たせているのだろうか。

ここでは、均一モデルで説明した被験者に対して、非科学的な説明モデルを提示し、彼らがそれらの間をどのように整合させて説明したか（課題3-a）を分析した。「科学的な応答」をした被験者において抽出された科学知と常識知との間の整合タイプを示したものが表2である。なお学年別の各整合タイプの出現頻度については後で詳細に分析する。

表2 「科学的な応答」をした被験者による科学知と常識知との整合

整合タイプ	整合の仕方	説明例
未科学的整合タイプ	うまく説明できない	ちょっとわからん(大学-12)。 溶けたから(小学6年-19)。
異科学的整合タイプ	科学的に容認しにくいある種の見方・考え方で説明する	砂糖水っていう新しいものになってしまっているから(大学-11)。
個別科学的整合タイプ	具体的な個別例を用いて説明する	ジュースとか1ヶ月置いても砂糖のかたまりとか出てこないから(大学-16)。
半科学的整合タイプ	間違った科学知識を用いたり、意味のわかりにくいこじつ的な説明をする	あんまり電気的な偏りが無いんで、化学変化が起きないから(大学-15)。 水に溶けきれぬ砂糖の量は、変わらないから(中学2年-7)。
全科学的整合タイプ	科学的に容認できる見方・考え方を 用いて説明する	砂糖のまわりを水が取り囲んでしまっているため(大学-2)。 溶けている状態の方が安定しているから(大学-7)。

()内は応答した被験者の学年と面接番号を示す。

表2に見られるように、未科学的整合タイプ、異科学的整合タイプ、個別科学的整合タイプ、半科学的整合タイプ、全科学的整合タイプの五つのタイプが、「溶液の均一性」概念の獲得における整合タイプとして抽出された。

b) 科学的な応答をしなかった学習者は科学知との矛盾をどのように説明するか？

本調査では、1ヵ月後課題において下部沈殿モデルに代表される科学的に妥当でないモデルで説明を行った被験者に対して、実際には砂糖が均一に存在することを教示し、自分の回答との矛盾をどのように解消するかを調べるための課題(課題3-b1, 2, 3, 4)が設けてある。ここでは、1ヵ月後課題において科学的な応答をしなかった小学生から大学生の被験者が、科学知と遭遇した際、自らの見方・考え方との矛盾をどのように説明するのかについて分析を行った。なお学年別の各整合タイプの出現頻度については、先の均一モデルで説明した被験者における各整合タイプの出現頻度とあわせて後で詳しく分析する。

表3は、科学的な応答をしなかった学習者が科学知との矛盾を説明する際に用いた整合タイプである。

表3よりわかるように、「科学的な応答」をしなかった被験者による科学知と常識知との整合は、未科学的整合タイプ、異科学的整合タイプ、個別科学的整合タイプ、半科学的整合タイプ、全科学的整合タイプの五つの整合タイプであった。その説明例からもわかるように、抽出

表3 「科学的な応答」をしなかった被験者による科学知と常識知との整合

整合タイプ	整合の仕方	説明例
未科学的整合タイプ	うまく説明できない	わからない(小学6年-9)。 なんとなく(小学6年-14)。
異科学整合タイプ	科学的に容認しにくいある種の見方・考え方で説明する	さとうすいになり、水と一緒にあってやるから全体ある(小学6年-1)。 水に溶けて、水分になるから(小学6年-12)。
個別科学的整合タイプ	具体的な個別例を用いて説明する	海の水とか川の水とか、なんかそういうのが、上の方と下の方で変わっていないのを知っているから(大学-8)。
半科学的整合タイプ	間違った科学知識を用いたり、意味のわかりにくいこじつけ的な説明をする	水と重さが同じくらいになったから(小学6年-8)。 溶ける大きさとかが決まっているから(小学5年-11)。
全科学的整合タイプ	科学的に容認できる見方・考え方を 用いて説明する	水に溶けるってことは、水和するという風に、言い換えることができるから(大学-17)。 全体に溶け込んでいるから(小学6年-10)。

()内は応答した被験者の学年と面接番号を示す。

された整合タイプはいずれも「科学的な応答」をした被験者において見いだされた整合タイプと同様である。つまり、「溶液の均一性」概念の獲得には、表2及び表3に示される五つの理解のタイプがメタレベルで存在すると考えることができよう。

(3) 「溶液の均一性」概念の獲得における常識知の役割

a) 「溶解」に関する認知の発達的变化

本調査対象の小学生から大学生の1ヶ月後課題に対する応答を各説明タイプに分類、グラフ化したものが表4と図3である。表4では、小学5年と小学6年、小学6年と中学2年、中学2年と大学との間で、各説明モデル毎に説明モデル(2:その説明モデルと他の説明モデル)×学年(2)で χ^2 検定を行い、有意な違いが見られたものについては記号で示している。

表4より、隣接する学年間で説明モデルの出現傾向に有意な違いが見られたのは、中学2年と大学の間のみで、大学生の方が科学的な均一モデルの出現頻度が有意に高く、下部沈殿モデルの出現率が有意に低かった。小学5年、小学6年、中学2年と学年の上昇につれて均一モデルの出現率は上昇するが、それらは統計的に有意な違いとは言えず、常識知を背景とする下部沈殿モデルの出現率は高いままほとんど変わらない。

表4 「溶解」に関する各説明モデルの学年別出現頻度(1ヶ月後課題)

説明モデル	小学5年	小学6年	中学2年		大 学
均一モデル	0	4(19.0)	6(37.5)	<	14(77.8)
下部沈殿モデル	14(66.7)	13(61.9)	10(62.5)	>	4(22.0)
上部沈殿モデル	1(4.8)	2(9.5)	0		0
消失モデル	4(19.0)	1(4.8)	0		0
その他	2(9.5)	1(4.8)	0		0

()内は出現率の%; >, <は5%水準で有意であることを示す。

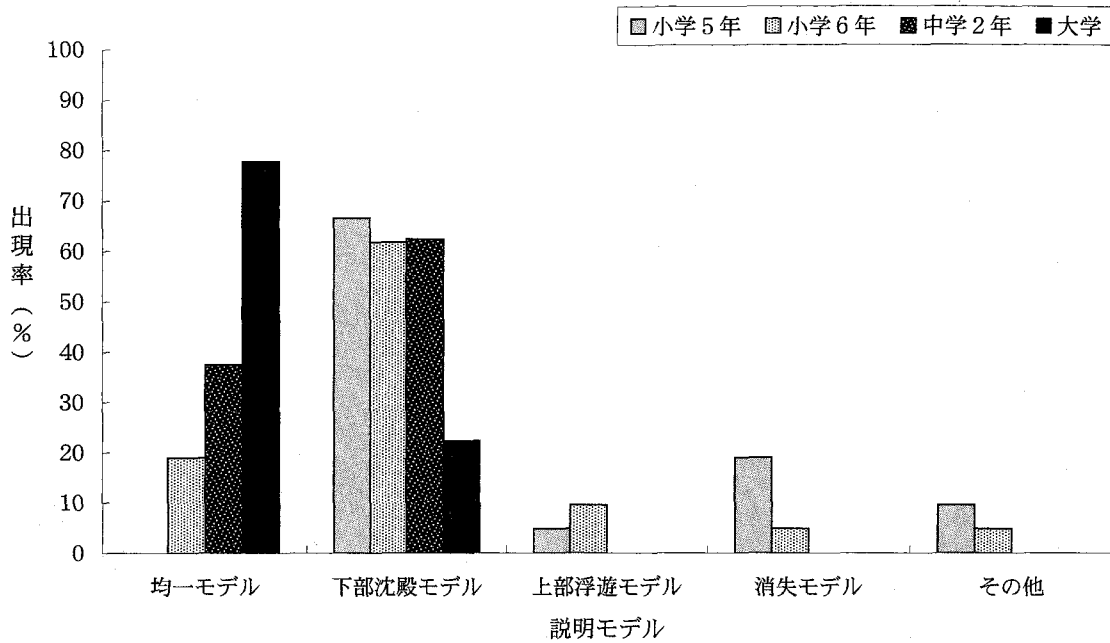


図3 説明モデル別に見た「溶解」に関する認知の発達的变化（1ヶ月後課題）

つまり、「溶液の均一性」概念の理解へ向けた学習では、下部沈殿モデルの見方・考え方が重要なキーとなっており、繰り返すが、その背景と思われる「支えがないものは下に落ちる」という常識知と科学知との間にどのような整合性を持たせるかが重要となってくるのである。そして、その常識知が生得的な要素を含み、知識獲得において根本的な制約として作用することを合わせて考えると、「溶液の均一性」概念は、何かしらの教育的介入（Educational Intervention）なくして、自発的に獲得可能な概念とは考えにくい。

b) 「溶液の均一性」概念の獲得軌道

表2・表3で示した、常識知と科学知との間の整合タイプに基づき、被験者の応答を分類し、学年別に各整合タイプの出現率をまとめたものが表5と図4である。ここでも、表4で各説明タイプの出現傾向について学年間で比較を行ったのと同様に、小学5年と小学6年、小学6年と中学2年、中学2年と大学との間で、各整合タイプ毎に整合タイプ（2：その整合タイプと他の整合タイプ）×学年（2）で χ^2 検定を行い、有意な違いが見られたものについては記号で示している。

表5より、隣接する学年間で整合タイプの出現傾向に有意な違いが見られたのは、中学2年と大学との間で、大学生の方が全科学的整合タイプの出現率が有意に高く、異科学的整合タイ

表5 「溶液の均一性」概念の獲得に関する各整合タイプの学年出頻度

整合タイプ	小学5年	小学6年	中学2年	大 学
未科学的整合	13(61.9)	8(38.1)	4(25.0)	3(16.7)
異科学的整合	2(9.5)	5(23.8)	6(37.5)	1(5.6)
個別科学的整合	0	0	0	3(16.7)
半科学的整合	5(23.8)	6(28.6)	5(31.5)	4(22.2)
全科学的整合	1(4.8)	2(9.5)	1(6.3)	7(38.9)

()内は出現率の%；>，<は5%水準で有意であることを示す。

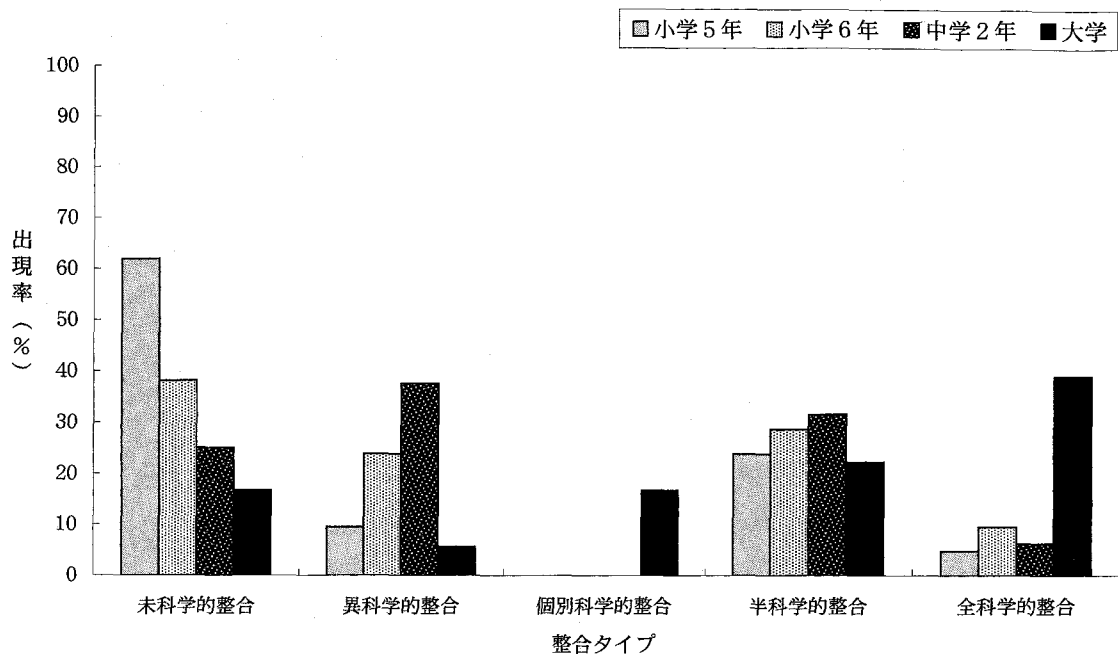


図4 整合タイプからみた「溶液の均一性」概念の発達的变化

プの出現率が有意に低かった。

ここで表5・図4より、小学生から大学生による各整合タイプの出現率を比較することによって、未科学的整合タイプから全科学的整合タイプへの理解の軌道を予測することができる。つまり小学5年生では未科学的整合タイプが多数を占めるが、小学6年では、統計的には違いは見られないものの未科学的整合タイプの出現率が低下する分、中でも異科学的整合タイプの出現率が上昇する。中学2年ではさらに未科学的整合タイプの出現率が下がり異科学的整合タイプの出現率が上昇する。小学5年から中学2年まで全科学的整合タイプの出現率は低いままに保たれている。そして、大学生では未科学的整合タイプや異科学的整合タイプの出現率がぐっと低くなり、全科学的整合タイプの出現率が上昇する。全学年グループを通じて、半科学的整合タイプの出現率は30%弱でとどまっている。

つまり、「溶液の均一性」概念の獲得の軌道とは、未科学的整合タイプから異科学的整合タイプへ、そして全科学的整合タイプに至るものであると予測することができよう。そして、半科学的整合タイプは変化が困難な理解のタイプであることも推測できるであろう。中島(2000)は、地球の球形概念を題材に、その獲得過程において、「日常的概念で日常経験を解釈する段階」から、科学的概念に遭遇し「日常的概念を枠組みとして科学的概念、日常経験を組み込む段階」、そして「科学的概念を受容するが日常経験を統合できない段階」、そしてこじつけの原理、個別の原理を獲得し、「科学的概念を枠組みとして、こじつけの原理、個別の原理を導入することによって日常経験を統合する段階」、更に一般的原理を獲得し、最終的に「科学的概念を枠組みとして、一般的原理を導入することによって日常経験を統合する段階」の五つの段階を提案している。こうしたメタレベルでの科学概念の獲得モデルを実証的に精緻していくことが今後の課題である。

4 全体的考察

本研究で議論の対象とした、「支えがないものは下に落ちる」という常識知は、幼児期の早い段階に意識的な認識や仮説検証の過程を経ずに獲得され、概念獲得に強い制約として働くことが議論されている (Spelke, 1991; Bliss & Ogborn, 1994; Vosniadou & Ioannides, 1998)。本研究の結果においても、溶解に関する小学生の認知的実態として、下部沈殿モデルの説明が大多数を占めていた。また、中学生や理科専攻の大学生について見ても、科学的に妥当でない説明モデルとして、下部沈殿モデルの説明が依然として確認されたことから、この常識知の制約の強さが示唆される。

本研究では、「溶液の均一性」概念の獲得において、常識知と科学知との整合を不可欠なものとして仮定し、未科学的整合タイプ、異科学的整合タイプ、個別科学的整合タイプ、半科学的整合タイプ、全科学的整合タイプの五つの整合タイプを抽出した。概念変化に関する本研究の理論的背景は、科学概念の獲得と変化のプロセスにおいて常識知が放棄されるのではなく、科学知と整合しクロスしていくモデルである。これは、概念変化研究において、その出発点とされる Posner et al. (1982) の PSHG モデルとは異なる。つまり彼女らが提案した、全く異なる理論間の共約不可能性に焦点を当てた概念変化モデルではなく、初期の概念構造が漸進的に修正、変化し、クロスしていく概念変化モデルである。ここであらためて述べておきたいのは、本調査で抽出された五つの整合タイプは全て科学的理解の背景となりうるということである。本研究のように科学的理解の多様性を明らかにし、認めていくことによって、様々な学年段階の多様な子ども達による「溶液の均一性」概念の獲得を促進可能な多元的な理科授業が創造できると思われる。

最後に、本研究では矛盾説明課題を用いることによって、小学生から大学生より、常識知と科学知との間に五種類の整合タイプを抽出し、科学概念の獲得軌道としてそれらの順序性についての検討を行った。その結果、科学概念の獲得軌道として、未科学的整合タイプから異科学的整合タイプ、そして全科学的整合タイプへ至る各整合タイプの順序性が推測された。さらにそこでは、半科学的整合タイプは変化が困難な理解のタイプであることも推察された。しかし、これらの説明は、まだ予測の域である。例えば、学習者は、実際の学校理科授業場面において、どのようにその整合タイプを変化させていくのであろうか。今後は、更に調査対象を広げて、各整合タイプの生態や順序性、そして学習者における認知的相互作用について検討を行っていきたい。

注

- 1) 本研究で常識知として取り扱うようなものは、存在論に関わる前提 (Ontological Presupposition; Vosniadou, 1994) や存在論的カテゴリー (Ontological Category; Chi et al., 1994)、常識知 (Commonsense Knowledge, Commonsense Reasoning; Bliss & Ogborn, 1994) 等、研究者により様々にラベル化されている。ただ、存在論 (Ontology) の定義及び解釈については、研究者間で十分な哲学的議論がされているようには思えず、明らかにそのターゲットが異なると思われるものもある (例えば Driver, 1994)。そこで、本研究では、生得的な要素を含み、知識獲得において強い制約として作用することに関して共通理解が得られている知識を常識知とする。

付記

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金・平成12年度奨励研究 A「イギリス CASE プログラムにおける科学教材配列と常識知の発達」(研究代表者：隅田学) の援助を受けて行ったものである。

引用・参考文献

- Bliss, J., & Ogborn, J. (1994) Force and motion from the beginning, *Learning & Instruction*, 4, 7-25.
- Chi, H. T. M. & Slotta, D. J. & DE Leeuw, N. (1994) From things to processes: A theory of conceptual change for Learning science concepts, *Learning & instruction*, 4, 27-43.
- Driver, R., Leach, J., Scott, P., & Wood-Robinson, C. (1994) Young people's understanding of science conceptions, *Studies in Science Education*, 24, 75-100.
- 秦道隆 (1994) 溶解に関する子どもの理解の実態と理科教育に対するその意味, 福岡教育大学修士論文.
- 堀哲夫編者 (1997) 問題解決能力を育てる理科授業のストラテジー, 明治図書.
- 宗近秀夫 (2000) 小中学生の溶解概念に関する実態調査, *理科教育学研究*, 40, 3, 13-21
- 中島伸子 (2000) 知識獲得の過程, 風間書房.
- Posner, G. L., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982) Accomodation of a scientific conception: Towad a theory of conceptual change, *Science Education*, 66, 211-227.
- 佐藤哲也・森藤義孝・隅田学・小牧啓介・元村義信 (1998) 児童・生徒の溶解に対する認識の実態—コミットに着目して—, 日本理科教育学会第48回全国大会要項.
- Slone, M., & Bokhurst, F. D. (1992) Children's understanding of sugar water solutions, *International Journal of Science Education*, 14, pp.221-235.
- Spelke, S. E. (1991) Physical knowledge in fancy: reflections on Piaget's theory. In Carey, S., & Gelman, R. (ed.), *The Epigenesis of mind: Essays on Biology and cognition*, LEA, 133-169.
- 隅田学 (1995a) 「振り子の運動」に関する学習者の認知の発達の変容と学校理科学習の効果, 日本理科教育学会研究紀要, 36, 1, 17-28.
- 隅田学 (1995b) 「振り子の運動」に関する実験・観察に関する認知的考察, *科学教育研究*, 19, 2, 111-120.
- Vosniadou, S. (1994) Capturing and modeling the process of conceptual change, *Learning & Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S. & Ioannides, C. (1998) From conceptual development to science education a psychological point of view, *International Journal of Science Education*, 20, 10, 1213-1230.
- 脇元宏治 (1992) 単純な電気回路に適用される小学校児童の状況依存性, 日本理科教育学会研究紀要, 32, 3, 49-60.
- White, R., & Gunstone, R. (1992) *Probing Understanding*, TayLor & Francis, 中山迅・稲垣成哲監訳 (1995) 子どもの学びを探る, 東洋館出版社.