

問題解決に生きてはたらく力を育成する理科学習の創造 (2)

——粒子モデルを用いた小中一貫の科学的概念の育成——

山崎 敬人 柴 一実 神山 貴弥 吉原健太郎
三田 幸司 風呂 和志 山下 由紀 中原 美保

1. はじめに

21世紀の時代を主体的に生きていく子ども達を育てる教育の営みにおいて、問題解決に生きてはたらく力の育成は本質的な課題として位置づけられる。この力を理科教育において育成していくために、広島大学附属三原学園では「科学的な思考をもとにした探究力の育成」と「科学に対する興味、関心の育成」がとりわけ重要であるとの認識に立ち、学習の主体者である子どもの実態と授業を創る教師の願いを踏まえた、小学校第3学年から中学校第3学年までの7年間にわたる独創的な初等・中等理科一貫教育カリキュラムの開発に取り組んできている¹⁾。本年度は3カ年計画の2年次にあたり、理科で求められる「諸技能、諸知識、諸概念」を効果的に育成するための小中一貫カリキュラムに研究の焦点を設定した。

本報では、上記の「諸技能、諸知識、諸概念」のうち主に「諸概念」の育成に関する研究成果を報告する。具体的には、まず、中学生の小学校理科および中学校理科の授業に対する意識の実態を分析・考察し、小学校理科および中学校理科の学習指導及びカリキュラムの改善とさらなる連携のための視点について検討する。次に、小学校6年生を対象とした粒子モデルを用いた授業の構想と実践の概要を述べるとともに、その授業がどのように児童に受けとめられたのか等について分析し、中学校理科で学習する内容の基礎となる概念や粒子モデルを小学校で導入した学習の可能性や課題等について考察する。

2. 中学生の小・中学校理科に対する意識

小学校理科および中学校理科の学習指導及びカリキュラムの改善とさらなる連携のための視点について検討するために、中学生の小・中学校理科に対する意識

について質問紙調査を実施した。調査問題は「小学校の理科と比べ中学校の理科になって理科が面白くなったか」「どちらかといえばそう思う」「どちらかといえばそう思わない」「そう思わない」から1つ選択して回答させる4件法の問題と、その理由を自由記述で回答させる問題であった。調査時期は2004年5月、対象者は広島大学附属三原中学校1年生(81名)、2年生(81名)、3年生(78名)、計240名であった。

まず、小学校の理科と比べて中学校の理科になって理科が面白くなったかに関する回答結果を学年別に整理すると、図1のようになった。

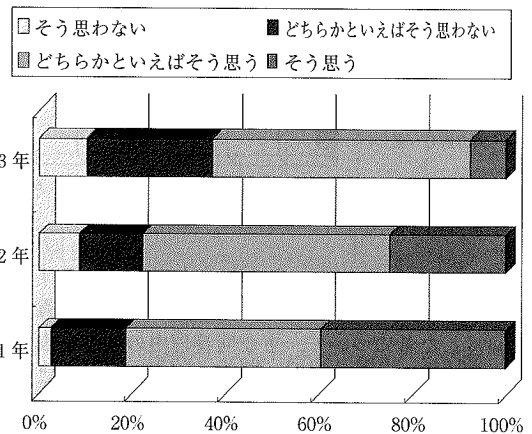


図1 「小学校の理科と比べ中学校の理科になって理科が面白くなったか」に対する回答

図1から、いずれの学年においても、中学校になって理科が面白くなったという回答が多数を占めていると言える。また、学年が上がるにつれて「そう思う」の回答の割合が減り、「そう思わない」と「どちらか

Takahito Yamasaki, Kazumi Shiba, Takaya Koyama, Kentaro Yoshihara, Koji Sanda, Kazushi Furo, Yuki Yamashita, Miho Nakahara: A Study on Developing the Science Learning to Improve the Ability of Problem Solving (2): Introducing Particle Model into Elementary Science to construct Scientific Concept from the elementary School to the Junior High School

といえそう思わない」の回答を合計した割合が増加していることがわかる。

次に、先の質問に対する回答理由（自由記述）をカテゴリー化して整理し、図2～4に示した。

まず、図2は全員の自由記述を分類し、各カテゴリーの回答者数を示したものである。全体的に、知的に深まること、それを実際に自分たちが実験で明らかにしていくことに対して面白さを感じているものが多数を占める反面、内容的な難しさを感じているものも相当数いることがわかる。

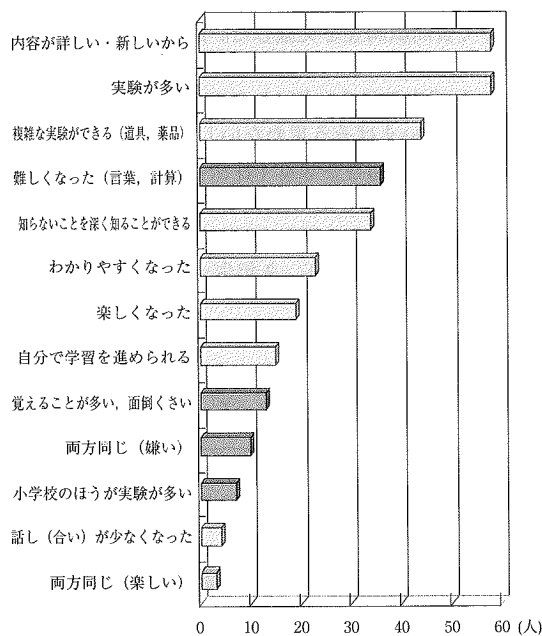


図2 回答理由 (全体)

図3は、「面白くなったかどうか」について「そう思う」または「どちらかといえばそう思う」と肯定的に回答した者について、主な回答理由の頻度を表したものである。高い割合を占めたのは、「内容的に詳しいことや新しいことを学習できること」や「知らないことを深く知ることができる」といった、知識・理解の深まりに関するものと、「実験が多い」や「複雑な実験ができる」といった、実験の多さや複雑さに関するものであった。このような結果から、比較的多くの子どもが、小学校よりも複雑な実験をたくさん行いながら自然の事物・事象の本質へと迫る中学校理科に対して魅力を感じていることを示していると考えられる。

それに対して、図4は「面白くなったかどうか」について「そう思わない」または「どちらかといえばそう思わない」と否定的な回答をした者について、主な

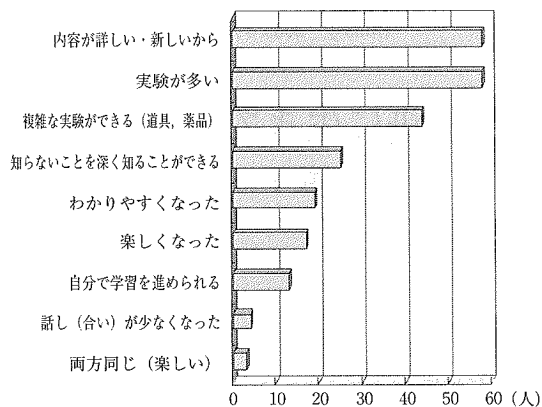


図3 肯定的回答の理由

回答理由の頻度を表したものである。ここでは「言葉や計算が難しくなった」や「覚えることが増えた」などが上位を占めていることがわかる。

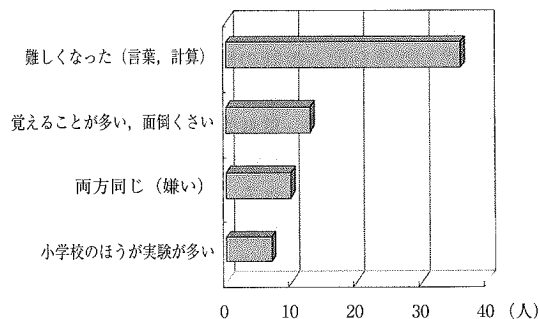


図4 否定的回答の理由

以上の結果は、小学校理科と中学校理科を効果的に連携させた系統的な学習の実現を図るとともに、小学校理科において児童に学習上の困難さを感じさせることのないよう配慮・工夫しつつ、学びが知的に深まっていくことに対する喜びや達成感を小学校段階から実感させることの重要性を示唆していると考えられる。

3. 授業実践の概要

(1) 授業のねらい

現行の学習指導要領には電流、水溶液、燃焼など粒子的なとらえ方が問題となる単元があるものの、小学校理科の範囲では粒子概念は取り扱われていない²⁾。粒子概念が取り扱われるのは、中学校以降となっている³⁾。しかしながら、山崎ほか (2002) によると、第4学年の電流の学習において電気を粒子として考え、直列・並列つなぎにおける電気の働きについて説明する場面で、モデルを使って学習を展開すると、学習時の子どもも相互の考えの違いが児童にとってより明らか

になったり、実験によって確かめられたことを児童が具体的に理解できるようになったりすることが報告されている⁴⁾。他にも、例えば宗近（2002）によれば、小学校第5学年の溶解の単元で粒子モデルを導入した授業を実践し、溶液の均一性や濃度の違いなどの理解において有効性があったことが指摘されている⁵⁾。

そこで、今回の実践では「ものの燃え方と空気」の単元において粒子モデルを導入し、子どもたちが粒子モデルを用いた学習に対してどのような印象を持ち、その因果に関する思考をどのように深め、知識や概念を習得したか、また、次年度迎える中学校理科に対してどの程度期待を高めたかについて考察することとした。

授業の対象は広島大学附属三原小学校第6学年2クラス計77名であった。授業は2004年5月に実施した。

(2) 授業の実際

授業では、第一次において底なし集気びんと粘土などを用いた実験を通して、物が燃えるためには空気の出入りが必要であることを子ども達と明らかにしていた。また酸素、窒素、二酸化炭素について教師側から写真1のような粒子モデルを導入し、実際の大きさ、空気中に含まれる量、呼び方などを紹介していった。そして、それ以降の様々な実験の予想や結果のまとめと考察では、子ども達が粒子モデルを用いて考えを交流したり、実験計画を立てたりして学習が展開していった。

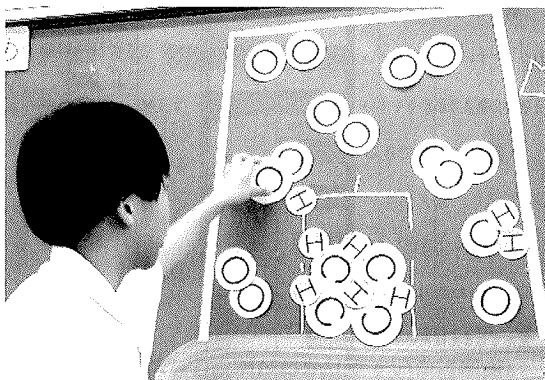


写真1 粒子モデルを用いた説明の様子

第2次で、燃焼前後の各気体の割合の変化を調べた後、発展的な内容として、第3次に図5のように密閉した中でろうそくを燃やし、火が消えたあとコップや台などを含めた総重量が変化するかどうかを思考場面とした学習を展開した。

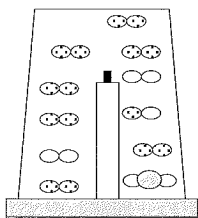


図5

その際、「二酸化炭素の発生で全体が重くなる」、あるいは「炭素がろうから発生したため総和の変化がない」といった対立した考えの交流が粒子モデルを用いてなされた。実験前は、二酸化炭素や炭素が増えるということ、そして二酸化炭素は他の気体より重いと考えて、前者の意見を支持する者が多数を占め、後者を支持する者は少数であった。

しかし、実際に実験して電子天秤で量ったところ、図5の実験装置全体で燃焼前と燃焼後で質量の総和に変化がないことが明らかになった。教師によるろうの成分の説明も参考にしながら、「ろうの中の炭素（厳密には水素も含む）が移動して酸素と結合しただけ、つまり単純に炭素が移動しただけであって、質量の総和は変わらない」ということを、子ども達はモデルを使いながらまとめていくことができた。

4. 授業実践の結果と考察

(1) 学期末テストでの定着度

当該単元の終了の1ヵ月後に行った学期末テストにおいて、実践した授業と同じ様な問題場面を問題文で提示したうえで、「実験装置（図5）の全体の重さは変わったか」「その理由は何か」を記述式で回答させた。その回答結果をもとにして、粒子モデルを用いた学習に対する定着度を示したのが図6である。

□ 正答 ■ ほぼ正答 ▨ やや正答 ▩ 記述不足 ○ 誤答

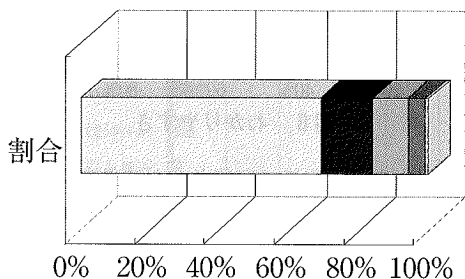


図6 定着度

図6をみると、8割の子どもがほぼ正答に近い回答を示すことができていたことがわかる。すなわち、大部分の子どもが、ろうそくが燃えるときの変化や重さの総和が変化しなかったことについての因果関係を、酸素や炭素といった粒子モデルを用いて説明することができていたと言えるだろう。

(2) 単元終了時の調査

ここでは、単元の終了後に実施した質問紙調査の結果をもとにして、本授業実践の結果について考察する。

① 粒子モデルの有効性について

「粒子モデルを使うと自分の考えが説明しやすいか」

「粒子モデルを使うとわかりやすいか」について4件法で回答させた結果は、図7・8のようになった。図7・8より、8割を上回る子どもが説明のしやすさ・わかりやすさについて肯定的に捉えていることがわかる。

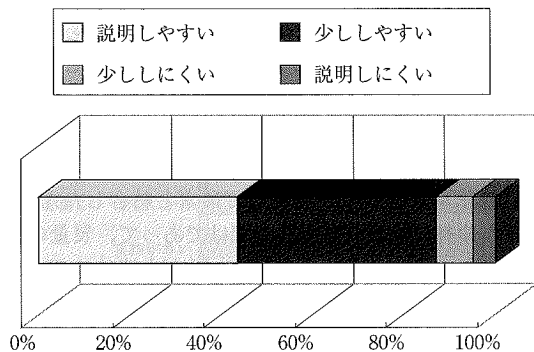


図7 説明のしやすさ

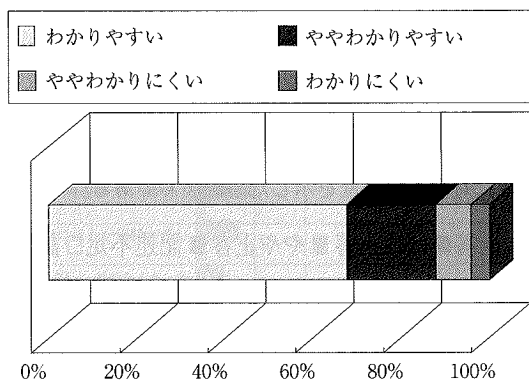


図8 わかりやすさ

その理由を自由記述で回答させた結果は、図9・10のようになった。粒子モデルを用いたことが学習に負の影響を与えるかということ懸念していたが、図9・10を見る限り、変化の様子を動きや図で表すことや学習内容について理解することに関しては、大きな抵抗感はなかったと思われる。特に説明しやすさ、伝えやすさ、わかりやすさといった点を多くの子どもが回答しており、粒子モデルを使った学習がある程度有効なものとして子ども達に受け入れられたと言えるだろう。

ただし、児童の中には、それぞれの思考の交流場面でなかなか自分なりの考えを持ちにくい子どもや、モデルに対する抵抗感（覚えにくさ、難しさ、扱いにくさ）を感じた子どももいたことが、この結果からもうかがえる

次に「粒子モデルを使うと友だちの説明が理解しや

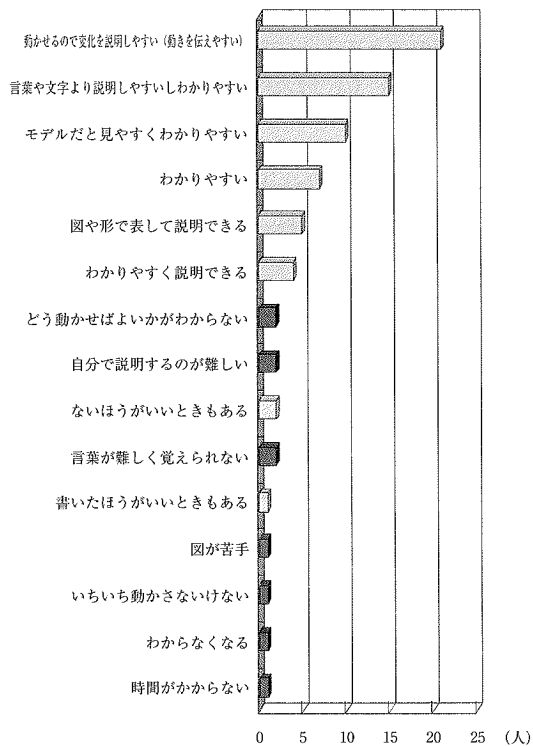


図9 説明のしやすさ (理由)

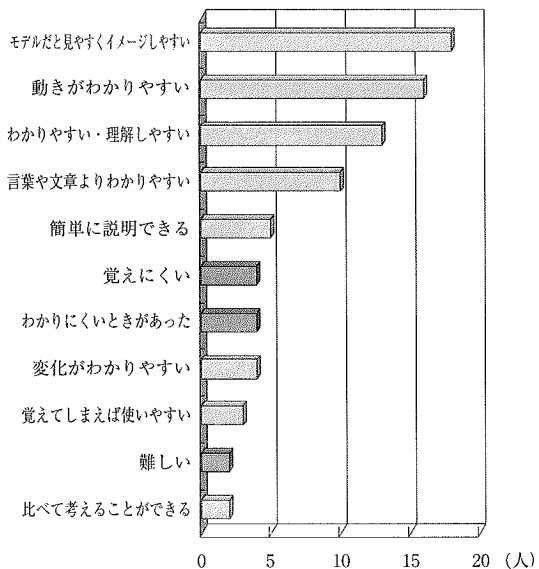


図10 わかりやすさ (理由)

すいか」について4件法で回答させた結果は、図11のようになった。ここでも9割近い子どもが友だちの説明の「理解しやすさ」を肯定的に捉えていた。また、その理由を自由記述で回答させた結果は、図12のよう

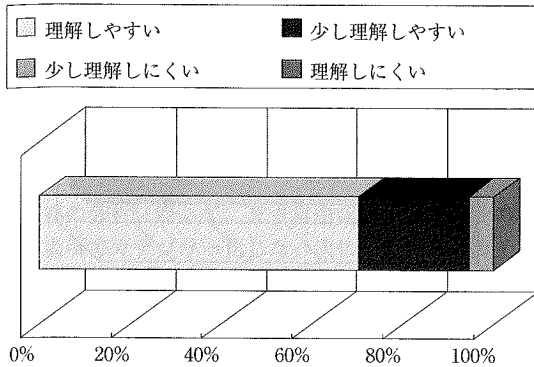


図11 友だちの説明がわかりやすいか

に整理できた。ここでは「わかりやすさ」「伝わりやすさ」「イメージのしやすさ」「変化や動きのわかりやすさ」といった回答が多く、この結果から、お互いの思考を交流する手段として粒子モデルが有効にはたっていたといえるだろう。

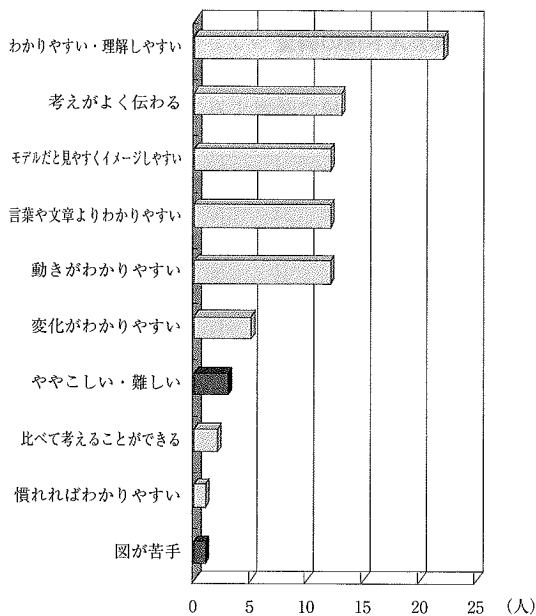


図12 友だちの説明がわかりやすいか (理由)

②粒子モデルを用いた小学校理科の学習について

次に、今回の実践における粒子モデルを用いた学習のように、中学校で学習することの基礎概念となるような学習内容を小学校で実施することに対する子ども達の考えを4件法で回答させるとともに、その理由を自由記述で回答させた。その結果をそれぞれ図13・14に示す。

図13では、9割を超える子ども達が小学校からでも問題ないという回答をしている。その内容を図14で詳

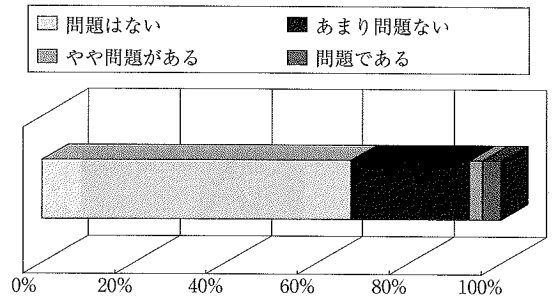


図13 小学校からでも問題はありますか

しく見ていくと、「説明しやすい」「わかりやすい」「伝えやすい」といった粒子モデルの利便性を指摘する考えがある一方で、「中学校で役に立つ」といった、先を見越した、ある意味では功利的な考え方も認められた。さらに「難しすぎる」「覚えられない」といった子どもが1割程度認められたが、この点については検討すべき課題として捉えておかなければならない。

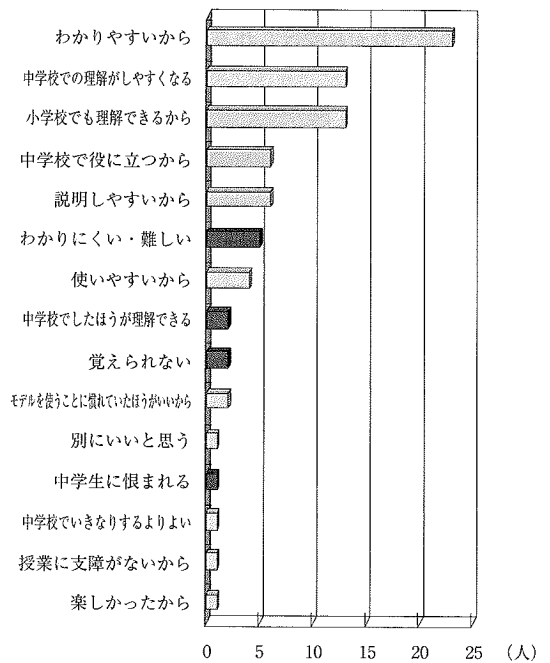


図14 小学校からでも問題はありますか (理由)

③中学校理科に対する期待について

今回の授業において中学校で学習することの基礎概念となるような内容を学習してみた結果、中学校理科が楽しみになったかどうかを4件法で回答させるとともに、その理由を自由記述で回答させた。この結果を整理したのが、それぞれ図15・16である。

図15では、7割半程度の子どもが中学校での学習が「楽しみになった」または「やや楽しみになった」と

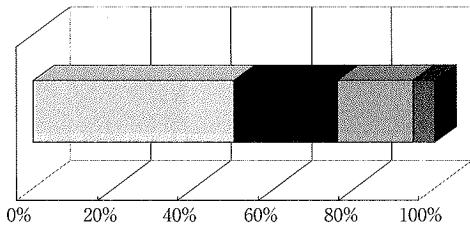
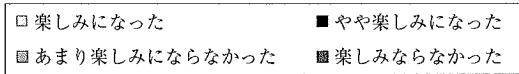


図15 中学校の理科が楽しみになったか

肯定的な回答をしている。

その理由を図16で詳しく見ていくと、「もっといろいろなことを学びたい」という学びに対する意欲が高まりを示す回答が多くみられた。また、今回の学習が「楽しかった」「わかりやすかった」「モデルを用いた学習ができる」などの回答からは、子ども達が今回の学習を有意義だったと感じたことにより、中学校でもこのような学習をしたいという、中学校理科の学習への期待感の高まりが見受けられる。

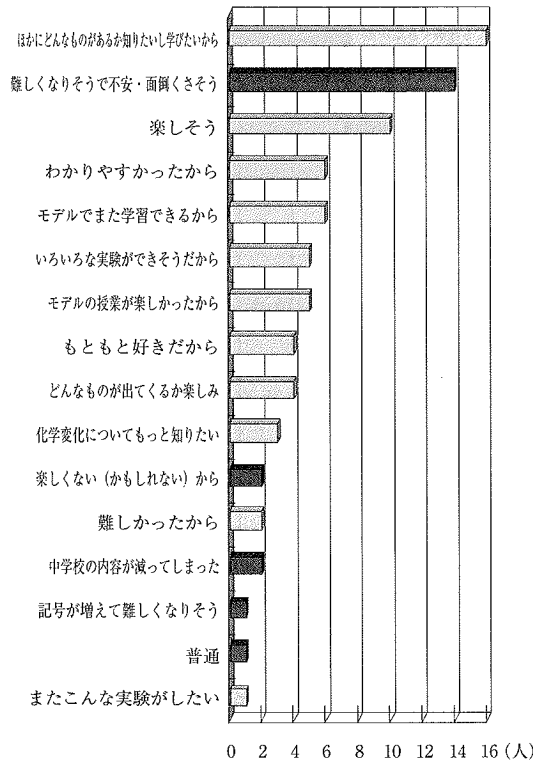


図16 中学校理科に対する期待や不安

また、図16での回答を肯定的回答と否定的回答に分けそれらの相対的割合を比較したところ、図17のよう

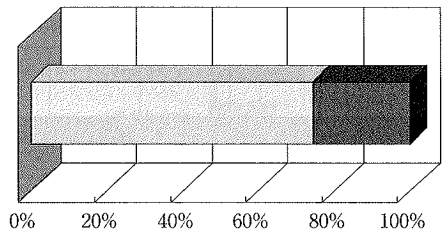


図17 肯定的回答と否定的回答の割合

になった。ここで7割程度が肯定的回答であったことから、概してみれば中学校理科に対する期待はある程度高まったものと考えられる。

その一方で、「難しそうで不安」という回答が少なくなかったことも事実である。このように2割弱の子どもが「難しい」と感じていた事実を踏まえ、中学校理科で学習することの基礎概念となるような内容を授業で扱う際の配慮や工夫について検討が必要である。

(3) 学期末テスト後の調査

当該単元の終了からほぼ1ヶ月後に実施した学期末テストに際し、中学校で学習することの基礎概念とな

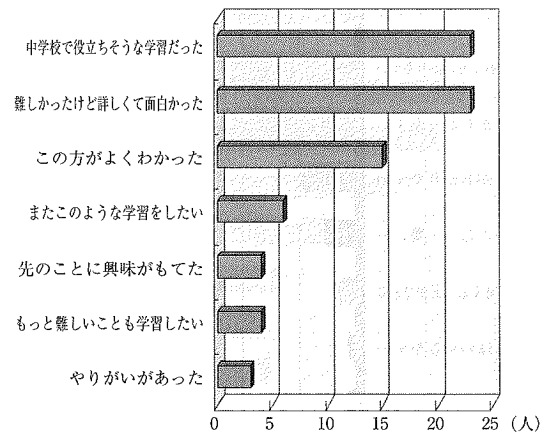


図18 肯定的回答

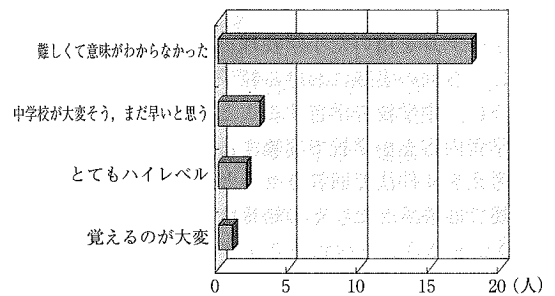


図19 否定的回答

るような学習内容を小学校で実施したことに対する考えを自由記述式で回答させた。ただし、この回答結果には、「ものの燃え方と空気」の単元に基づく児童の考えだけでなく、その単元の後に実施した「人と動物のからだのはたらき」の単元での学習に対する児童の考えも含まれている。

回答の分析に際して、まず自由記述の回答をその要点によってカテゴリー化した。次に、これらのカテゴリー化した回答を、今回のような学習を肯定的に考えているものと否定的に考えているものとに分類し、それぞれ図18と図19に示した。

図18をみると、単元終了時の調査結果を示した図14のときと同様、中学校での功利感、わかりやすさなどの回答が多いことがわかる。しかし、それに加え「難しかったけれども面白かった」という回答も比較的多く認められ、また少数ではあるが「もっと難しいことにも挑戦したい」「やりがいがあった」といった回答も見られた。これらの回答は、前述の中学生を対象とした調査でみられたような、難しいと感じながらも複雑で深い内容を学習していくことに対する満足感・充実感に通じるものであり、学びの深まりに対する肯定的反応として解釈することができるだろう。

もちろん、図19に示されているような否定的な回答は本実践の課題として反省すべき点である。特に「難しくて意味がわからなかった」という回答が生じないような学習構成や学習指導のあり方に関する配慮や工夫が必要であったと考えられる。ただし、既に述べたように、期末テスト時のこれらの回答には、粒子モデルを使った「ものの燃え方と空気」の授業実践だけでなく、その後実施した「人と動物のからだのはたらき」の単元に対する考えも含まれており、そこでの調べ学習発表会において「消化と呼吸」、「心肺機能」及び「内臓諸器官」に関する相当難しい発表が行われたことも、この結果に多少なりとも影響していたものと思われる。なお、肯定的な回答した児童と否定的な回

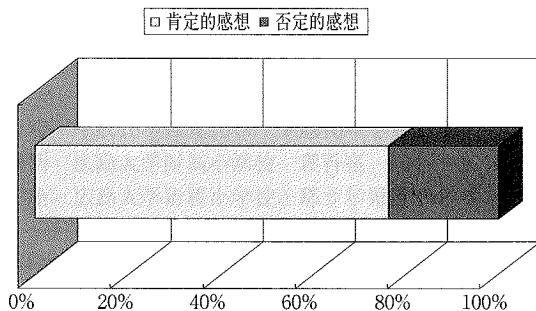


図20 肯定的な回答者と否定的な回答者の割合

答をした児童の割合（それぞれの回答の総和の比）は、図20のようであった。

次に、児童が肯定的な回答をしていたか否定的な回答をしていたかという点と、粒子モデルを用いた単元の学習に関する定着度との関連について検討しておきたい。そのために、まず図6で示した定着度（「実験装置全体の重さは変わったか」「その理由は何か」という設問。詳しくは4(1)を参照）の結果において、「正答」の子ども達を上位、「ほぼ正答」を含むその他の者を下位として分類した。そして、肯定的回答と否定的回答の各カテゴリーの回答者を、上位と下位に分けて整理した。その上で、上位及び下位の児童のうち、どれだけの割合の児童が各カテゴリーを回答していたのかを、図21に示した。

図21をみると、「難しかったけれど詳しくて面白かった」「この方がよくわかった」「もっと難しいことを学習したい」といったカテゴリーの回答は、上位のものが多いものの、下位のものの中にも相当程度認められた。また、「中学校でも役立ちそう」という回答は上位者の方がかなり多く、「やりがいがあった」「またこのような学習をしたい」といった回答は上位者のみにみられた。それに対して、「中学校が大変そう」という回答は下位者のみに、また「難しくて意味がわからなかった」という回答は下位者の方で多くみられた。

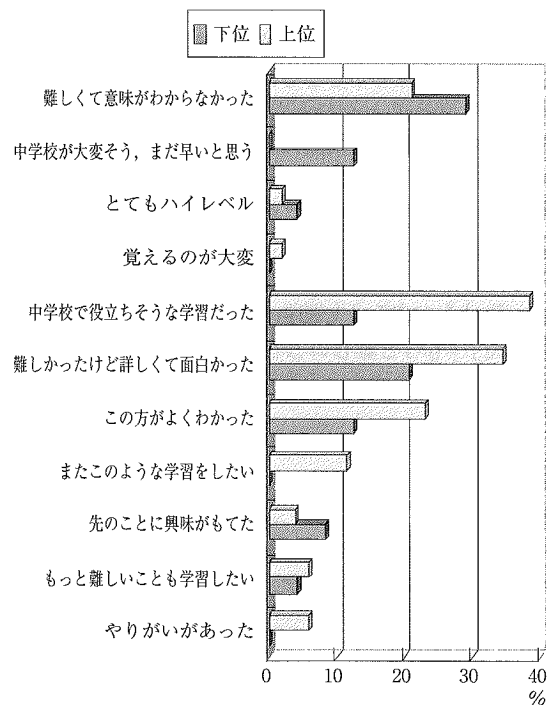


図21 定着度による回答の差

このような結果を踏まえると、今回の学習を難しくても面白いと感じることができた児童が上位・下位の双方でみられた点などでは、一定の成果があったと言える。しかし、同時に、中学校で役立ちそうだと感じた児童が下位よりも上位に多かったことや、その逆に、難しく意味が分からなかったとする児童が下位に多くみられたように、再検討すべき課題も残された。

5. おわりに

本研究では、小学校理科と中学校理科の効果的な連携を図ることを目指し、中学生の小・中学校理科に対する意識に関する調査結果の分析などを踏まえ、粒子モデルを導入した「ものの燃え方と空気」の単元の授業を構想・実践した。この授業では、粒子概念に基づく自然事象についての科学的な理解や思考を深めるとともに、学びが知的に深まっていくことに対する喜びや達成感を小学校段階から実感させることなどが目指された。

授業後に実施した調査結果などをもとにこの授業実践について考察した結果、中学校で扱う分子・原子の考えに発展しうる粒子モデルを導入した学習に対し、多くの子ども達にそのわかりやすさ、説明しやすさなどの有用感を実感させることができたことが明らかとなった。また、ものの燃え方に関する学習内容の理解において、高い定着度が認められた。これらのことから、燃焼という現象における変化のようすやしきみについて、多くの子ども達が粒子モデルを用いた学習によって理解を深めるとともに、粒子概念の基礎をいくらかでも養うことができたのではないかと考えられる。これは同時に、実際に目前で生じている現象についての因果関係に対する、粒子モデルを用いた思考が、小学生でも機能していたことを示していると考えられる。

さらに、定着度が上位か下位かにかかわらず「難しかったけれど詳しくて面白かった」「この方がよくわかった」「もっと難しいことを学習したい」という感

想を抱かせることができた。このように、粒子モデルを導入した「ものの燃え方」の授業実践により、中学校の理科に対する小学生の期待感を高めることができ、可能性が示唆された。

しかしその一方で、幾つかの課題も明らかになった。例えば、「難しかった」「わからなかった」「覚えられなかった」と考える子どもが少なからず認められたことや、上位の子どもだけに「やりがい」が感得されていたこと、さらには、下位の子どもだけに中学校理科に対する不安を感じさせていたことなどは、粒子モデルを用いた今回の実践の改善すべき課題として受け止めなければならない。

今後は、こうした課題を一つ一つ解決し、更なる実践の充実を図るとともに、小中一貫教育のよさを生かした、他の諸概念、諸知識、諸技能の育成のための学習の開発を続けていきたい。

<引用・参考文献>

- 1) 山崎敬人, 柴一実, 神山貴弥, 風呂和志, 三田幸司, 吉原健太郎, 矢形佳吉子, 山下由紀「問題解決に生きてはたらく力を育成する理科学習の創造」, 広島大学学部・附属共同研究紀要, 第32号, 2004, pp. 207-216
- 2) 文部省「小学校学習指導要領解説 理科編」, 東洋館出版社, 1999
- 3) 文部省「中学校学習指導要領解説—理科編—」, 大日本図書, 1999
- 4) 山崎敬人, 柴一実, 神山貴弥, 濱保和治, 吉原健太郎「問題解決能力の育成を目指した学習指導法に関する研究(2) —比喩的表現や思考を生かした理科学習の試み—」, 広島大学学部・附属共同研究紀要, 第30号, 2002, pp. 159-166
- 5) 宗近秀夫「小学生の溶解認識における概念変容の研究」, 理科教育学研究, Vol. 43, No. 2, 2002, pp. 1-13