

要 旨

最近、実験や計算で求めた数値の妥当性や有効性を考えることができない生徒が多くなったように感じている。そこで、生徒が計算で求めた数値を実感できる実験を行った。次に、実験で得られた数値について、前時までに学習した内容を活用して考察させることで、その数値の示す意味を理解させようと試みた。加えて、そこで得た新しい知識を身近な事柄に「たとえ」させることで、その知識の理解を更に深めさせた。その結果、生徒は苦手意識の強い「物質量」や、温度上昇に伴う気体の体積の膨張について、原子、分子の概念を用いて説明できるようになった。

<キーワード> ①数値の実感 ②たとえ話（メタファー） ③一枚ポートフォリオ評価

1 研究の目標

日常生活や授業で獲得した知識、経験を活用して、実験や計算で得られた「数値」に対して科学的に思考する力を育成するような授業展開の工夫について検討する。

2 目標設定の理由

最近、実験や計算で求めた数値の意味（妥当性や有効性を含む）を考えることができない生徒が多くなったように感じている。例えば、理科総合Aの計算問題に対する生徒の解答を見てみると、「一定の速さ 2.0m/s で1分間歩いたときの距離は幾らか。」といった計算の手順が分かりやすい問題では正答率が高いのに対し、「速さ 10m/s を km/h に変換しなさい。」（正解は 36km/h）といった自分で計算を組み立てる問題では正答率が著しく下がる。この問題に対する生徒の誤答は 600km/h や 0.01km/h などが多い。前者は1時間に 600km も進む（プロペラ機程度）、後者は1時間に 10m しか進まない（カタツムリより遅い）ということであり、計算の結果を検討すればすぐに間違いに気付くはずである。その証拠に、授業で同様の解説をすれば、多くの生徒のうなずく姿や恥ずかしそうな笑みが見受けられる。しかし、実際に自分で検討して間違いに気付く生徒は非常に少ない。もし計算力が低いのであれば最初の問題に正解することもできないはずであり、理解力が低いのであれば解説を聞いても納得することはできないであろう。つまり、これは上記のような能力が低いために起こっているのではないと考えられる。能力や知識は十分に身に付けているのだが、自分が計算で求めた結果に意味があることを知らず、その数値が指し示していることについて生徒は余り考えていないことの表れであろう。

文部科学省が実施した平成17年度高等学校教育課程実施状況調査¹⁾に、教師に対して「生徒が理解しにくい単元はどこですか。」と聞いた項目がある。この中で、実に 86.7%もの教師が「生徒が理解しにくい。」と答えた単元が「物質量」であった。この数値は高校化学の他の単元と比べて最も高い（平均 37.2%）。物質量は高校の化学分野で初めて定量的な内容を学習する単元であるが、近年の生徒に取って「数値について考えること」がいかにハードルの高いことであるかがうかがわれる。

そこで、本研究では生徒が実験や計算で得た「数値」について、今までに学習した科学的知識や実体験と関連付けさせながら思考させることで、数値の意味を理解させる指導法の工夫について探っていきたいと考え、本目標を設定した。

3 研究の仮説

実験により得られた数値を今までに学習した科学的知識や実体験と関連付けながら考えさせる学習活動を行えば、その数値の意味について実感を通して理解させることができるであろう。

4 研究の内容と方法

- (1) 科学的思考力の定義とその指導法について、文献や資料等を基に理論研究を行う。
- (2) 本校第2学年機械科（男子39名）及び電気科（男子40名）を対象に、理科総合A「相対質量と粒子の数」「物質質量」の単元において授業実践を行い、仮説を検証する。

5 研究の実際

- (1) 数値について考えるために必要な科学的思考力とは

科学的思考力を「自然を対象とした思考活動で、新しい事実や法則を見付けだすまでの一連の能力」²⁾ととらえたとき、その中には図1のような力が含まれる。この中で、得られた数値から課題を発見するためには、数値の差に気付く能力、すなわち比較能力が必要とされる。さらに、その課題を解決するためには、課題を一つ一つの要素に分ける能力、すなわち分析能力と、それらの要素の原因と結果を明らかにする能力、すなわち因果関係をとらえる能力が必要とされる。つまり、数値について考える力を育成するためには、上記の3つの力を用いる場面を授業中に設定することが求められる。

そこで、今回の研究では特に実験の考察において、この3つの能力を活用する場面を設定することにした。

- (2) 「たとえ」話の作成による理解の深まり

例えば、原子中の原子核の大きさを生徒に理解させたいと考えたとき、「原子核の直径は、原子の直径(約 10^{-8} cm)の10万分の1から1万分の1(約 10^{-13} cmから約 10^{-12} cm)である。」と説明しても、余りに数値が小さいため、生徒にその小ささがなかなか伝わらない。しかし、これを「原子核は、原子全体を直径200mの野球場で表すと、ピッチャーマウンドあたりに置いた1円玉(直径2cm)の大きさくらいしかない。」と説明すれば、生徒は実感を伴って理解できるであろう。このように、学習する内容を身近な事柄に「たとえ」することは、生徒の理解を大いに助ける。

上記のような「たとえ」は通常、教師から生徒に提示されるものである。しかし、このような「たとえ」を生徒自身が考え出すことができれば、その生徒は学習内容を理解できたといえるのではないかと考えた。また、「たとえ」を考える活動自体が生徒の理解を深めるとも考えられる。

そこで、学習で得た新しい知識を生徒自身が身近な事柄に「たとえ」する場面を授業中に設定した。

- (3) 単元の構成

物質質量の単元のねらいは、物質質量の定義や個数、質量、体積との関係を理解させることにある。しかし、物質質量は基準となる数(6.0×10^{23})が余りに大きいため、生徒が物質質量のイメージをもちにくい。また、エネルギーのように直接実感できない(質量や体積に変換して初めて実感できる)ことも理解を妨げている要因の一つである。しかも、この物質質量そのものの学習では、化学変化や物理変化と直接関係がないため、生徒実験も計画しにくい。そのため、この単元は通常6時間程度の講

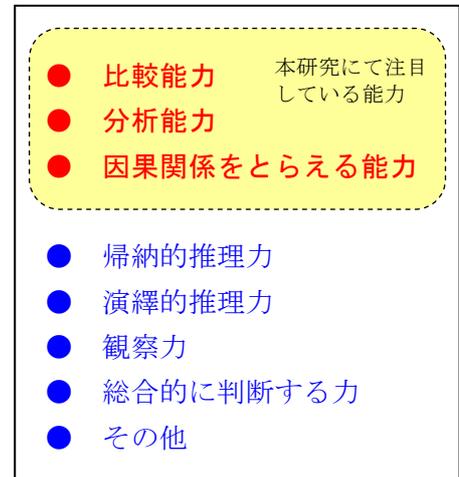


図1 「科学的思考力」に含まれる力

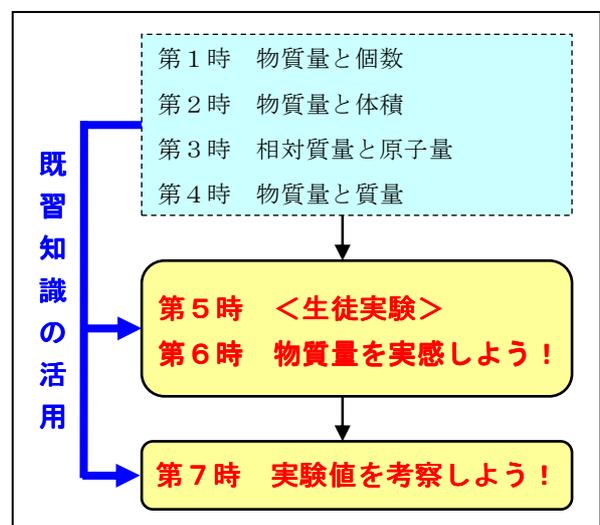


図2 今回の研究における単元の構成

義や問題演習のみで終わることが多い。物質量が高校化学最大の壁となっている要因は、学習内容だけではなく単元の構成にもあると考えた。

そこで、今回は単元構成を前頁図2のように考えた。まず、4時間の授業（講義）で物質量について学習させる。通常はこれで単元の学習が終わる。しかし、今回は前時までに学習した物質量を実感させるための生徒実験を加えた。これにより、生徒は、物質量を机上の数値ではなく実体のあるものとして実感することができる。さらに、そこで得た数値を既習の知識や身近な事柄を用いて考察させることにより、物質量の理解をより深めさせるよう試みた。

(4) 実際の授業の様子と教師の手立て（吹き出し中は生徒の感想（一枚ポートフォリオより））

【第5時、第6時】＜生徒実験＞ 物質量を実感しよう

【実験①】 1 mol の重さはどれくらい？

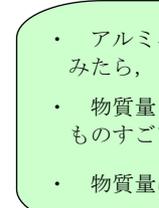
水、エタノール、トルエン、ショ糖、塩化ナトリウムを電子天びんでそれぞれ1 mol 分ずつ量り取り、その量の差を比較する。



- ・ スクロース（砂糖）が一番重いとは思わなかった。
- ・ 物質量の違いで量がとても違ったから、びっくりしました。
- ・ 物質量と質量の違いが分かった。

【実験②】 一円玉 10mol は何 g？

一円玉（アルミニウム）を1枚1g、針金（鉄）を1本4gと仮定して、それぞれ1 mol, 2 mol, 5 mol, 10 mol 分数えて並べる。



- ・ アルミニウム 10mol を一円玉でやってみたら、とんでもないくらい量が多かった。
- ・ 物質量を一円玉、針金で表すと、ものすごい量だと思いました。
- ・ 物質量は重さに比例している。

【実験③】 ドライアイス 1 mol は何 L？

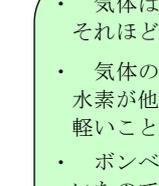
ドライアイスの粉末を1 mol 分 (44g) 量り取り、それをビニール袋に入れて昇華させ、膨らんだ袋の大きさで1 mol 分の体積を実感する。さらに、その袋が1 mol ボックス（容積 22.4L）に入るかを確かめる。



- ・ ドライアイスの実験で、たったあんなに小さい量でもゴミ袋がパンパンになるまで膨れたのでびっくりした。
- ・ ドライアイスは冷たかった。
- ・ 膨らんだドライアイス 1 mol は、1 mol ボックスに入らなかった。

【実験④】 気体 1 mol 分の体積は？

水素、酸素、二酸化炭素を水上置換法でそれぞれ 300mL 捕集し、放出前後のガス缶の重さから放出した気体の重さを計算する。その値と分子量を基に、気体 1 mol 分の体積を計算する。



- ・ 気体はたくさん出しても、それほど重くなかった。
- ・ 気体の重さを調べる実験では、水素が他の気体と比べてかなり軽いことがわかった。
- ・ ポンペの中はかなり圧縮されていたので、あんな小さなポンペにこんなに入るものなのかと思った。
- ・ 目に見えないものにも重さが実感できた。

【実験⑤】 お鍋のガスの正体は？

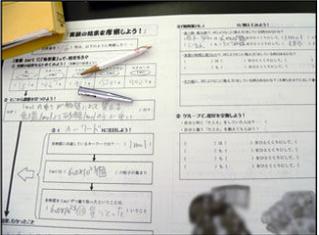
実験④と同様の方法で、窒素とガスコンロ用ガスをそれぞれ 300mL 捕集し、その重さを求める。その値から、ガスコンロ用ガスの分子量を計算し、中に入っている物質を推測する。



各ブースにノートPCを1台ずつ置き、生徒が実験操作を自分で確認しながら実験できるようにした。

- ・ ガスボンベやH₂, O₂, CO₂などの気体を300mL分取り出したけど、取り出す前と余り重さが変わっていなかったのが意外でした。
- ・ 実験は楽しかったが、計算がとても大変でした。
- ・ 書いて覚えていたことがすべてではないということが分かった。

【第7時】＜講義＞ 実験の結果を考察しよう

考察用ワークシート	授業の進め方					
<p>考察用ワークシート</p> <p>〔赤字の記述は生徒が自分で考えたもの。〕 〔青字は教師側から与えたもの。〕</p> <hr/> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>授業用プリント（番外編2）「実験の結果を考察しよう！」</p> <p>― 出席番号（ ）号は、以下のように考察した！ ―</p> </div> <p>【考察 part 1】「物質の量」って、何だろう？</p> <p>① 実験の結果をまとめてみよう！（実験①の結果より）</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>水 1 mol (18) g</td> <td>エタノール 1 mol (46) g</td> <td>トルエン 1 mol (92) g</td> <td>塩化ナトリウム 1 mol (58.5) g</td> <td>スクロース 1 mol (342) g</td> </tr> </table> <p>↓</p> <p>② 実験の結果から、気付いたこと、思ったことを書き出してみよう！</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>・液体でも1 molの量が多かったり、少なかったりと大きく差がある。</p> <p>・塩と砂糖は似てるけど、実際は砂糖が何十倍も重かった。</p> </div> <p>↓</p> <p>③ そこから、課題を見つけよう！（課題の発見）</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>なぜ（同じ1 molなのに質量(g)は物質によってそれぞれ大きく異なる）の？</p> <p>なぜ（食塩1 molより砂糖1 molの方が重い）の？</p> </div> <p>↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>④（キーワード）に注目しよう！</p> <p>各物質に共通しているキーワードは？…（1 mol）</p> <p>↓</p> <p>1 mol は（6.0×10^{23}個）の粒子の集まり</p> <p>↓</p> <p>各物質を1 mol ずつ量り取ったということは、 （6.0×10^{23}個の粒子を量り取った）ということ</p> </div> <p>↓</p> <p>⑤ 考察の結果、わかったこと（新しい知識の獲得）</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>（同じ1 molなのに質量(g)は物質によってそれぞれ大きく異なる）のは、 （粒子1個1個の重さが異なる）からだ！</p> </div> <p>↓</p> <p>⑥「物質の量」を、（身近な事柄）に例えてみよう！（比喻による理解の深まり）</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>・食べ物、飲み物で、同じようなこと(数え方)をしている例はあるかな？</p> <p>（原子・分子）は（6.0×10^{23}個）をひとつくりにして、（1 mol）と数えるが、</p> <p>①（たまご）も（10個）をひとつくりにして、（1パック）と数える！</p> <p>②（ずし）も（2個）をひとつくりにして、（1貫）と数える！</p> <p>・文具で、同じようなこと(数え方)をしている例はあるかな？</p> <p>①（鉛筆）も（12本）をひとつくりにして、（1ダース）と数える！</p> <p>②（シャープの芯）も（40本）をひとつくりにして、（1個）と数える！</p> <p>・その他に、同じようなこと(数え方)をしている例はあるかな？(文章も自分で工夫して書いてみよう！)</p> <p>・（トランプ）も（54枚）をひとつくりにして、（1個）と数える！</p> <p>・サッカーは11人をひとつくりにして1チームと数える</p> </div> <p>↓</p> <p>⑦ グループで、意見を交換しよう！</p> <p><Check Point!> ひとつくりにしたのは、（個数）になっているかな？</p> <ul style="list-style-type: none"> 自分と同じ「たとえ」をしていた人は？…（AくんとDくん） 自分と違う「たとえ」を教えてもらおう！ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>（原子・分子）は（6.0×10^{23}個）をひとつくりにして、（1 mol）と数えるが、</p> <p>（ビール）も（20本）をひとつくりにして、（1ケース）と数える。</p> <p>（バレエ）も（6人）をひとつくりにして、（1チーム）と数える。</p> <p>（生徒）も（40人）をひとつくりにして、（1クラス）と数える。</p> </div>	水 1 mol (18) g	エタノール 1 mol (46) g	トルエン 1 mol (92) g	塩化ナトリウム 1 mol (58.5) g	スクロース 1 mol (342) g	<p style="text-align: center;">授業の進め方</p> <div style="text-align: right;">  </div> <p>① 実験の結果を整理させる。</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; text-align: center; margin: 5px 0;"> <p>授業はパソコンとプロジェクターを用いて行った。</p> </div> <p>② 共通のキーワード（既習事項）に注目させることで、実験の結果から何らかの情報を取り出させる（比較能力）。</p> <p>③ ②で記入させた文章から、今回検討する課題を発見させる。</p> <p>④ 課題を解決するため、その課題を構成する要素に分けさせ（分析能力）、それぞれについて検討させる。その際、既習事項を振り返らせ、それらを活用させる（知識を活用して考える力）。</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; text-align: center; margin: 5px 0;"> <p>生徒が記入したワークシート</p> </div> <div style="text-align: right;">  </div> <p>⑤ ④で考えたことを用いて、課題を解決させる（因果関係をとらえる能力）。</p> <p>⑥ 学習した知識の理解を深めさせるため、学習事項を身近な事柄に「たとえ」させる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>授業中の生徒の様子</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>グループ討議中の生徒たち</p> </div> </div> <p>⑦ 各自が考えた「たとえ」話をもち寄せ、互いの意見を交換させる。</p> <p>その際、検討の視点（生徒に「たとえ」させたい比喩の観点）を与えることで、「たとえ」話の妥当性を検討させる（左の考察用ワークシート中の<Check Point!>）。</p>
水 1 mol (18) g	エタノール 1 mol (46) g	トルエン 1 mol (92) g	塩化ナトリウム 1 mol (58.5) g	スクロース 1 mol (342) g		

（この他に、実験で測定した1 molの体積から、温度上昇による気体の膨張についても考察させた。）

(5) 授業の考察

ア 実感をもつための実験 (p. 57 <生徒実験>物質量を実感しよう)

今回は物質量を実感するというねらいの基、各試料の秤量等に重点をおいた生徒実験を実施した。化学反応を伴わないので高校生にとっては物足りないかと考えていたところ、意外にも好評であった (p. 57 生徒の感想)。また、生徒がその後の授業 (生徒が苦手とする実験の考察) に意欲的に取り組むことができたのも、実験で実感を得た効果が大きいように感じられた。

イ 課題の発見、解決における既習知識の活用 (p. 58 ①~⑤)

今回の授業では、実験で得られた数値の差から前時までに学習した知識を活用して課題を発見させ、その課題の解決まで導いた。現在の高校の授業では余り取り入れられていない手法であったが、「考えることを久しぶりにやったので楽しくやれた。」など、生徒には好評であった。また、「この理科の授業を通して、理科の勉強というよりは社会に出てからどうするのかといったような事を考えさせられました。」など、数値から課題を発見し解決する一連の過程を、社会人に求められる能力の一つとしてとらえることで、学習の意義を理解した生徒もいた。今回の取り組みは学習内容の理解だけでなく、学習の動機付けの観点からも有効であることが分かった。

ウ 「たとえ」話の作成 (p. 58 ⑥⑦)

機械科の生徒を対象に、検証授業後に採ったアンケートで、「たとえ話を考えた方が、理解が深まるか。」と聞いてみた。その結果、39名中34名(87%)の生徒が「理解が深まる」と答えた。「たとえ」話の作成は、生徒に肯定的に受けとめられていることが分かった。

また、身近な事柄に「たとえ」することで、生徒が学習内容を身近なものと感じるようになることも分かった(図3上)。理科の課題の一つに「学習したことが教室の外で余り活用されない」ことが挙げられるが、日常生活と理科の授業をつなぐ意味でも、「たとえ」することは効果が高いと考えられる。

エ 研究全体における学習内容の理解の深まり

学習内容の理解度について、4時間の講義が終わった段階と、その後の実験および考察が終わった段階で聞いてみた (p. 56 図2)。その結果、講義だけでは理解できなかった生徒の多くが、実験と考察を行った後は理解できたと答えた(図3下)。物質量と質量、物質量と体積についても同様の傾向が見られることより、この一連の学習活動が生徒の理解を大いに助けることが分かった。

オ 一枚ポートフォリオ評価³⁾

学習の前後における生徒の思考の変容を評価するため、一枚ポートフォリオ評価を取り入れた。一枚ポートフォリオは、総合的な学習の時間等で取り入れられているポートフォリオを一枚にまとめたもので、学習者が授業で学習した内容や感想を学習履歴として一枚のシートに記入できるように構成されている。加えて、学習の前後で同じ質問に答えさせることで、その記述量や内容の変化から生徒の思考の変容を客観的に評価することができる。このとき、自分の記述内容の変化について生徒自身にも評価させることで、自分の成長や学習する意義を自覚することができ、更なる自発的な学びにつながることを期待される。今回の研究ではこの一枚ポートフォリオ評価

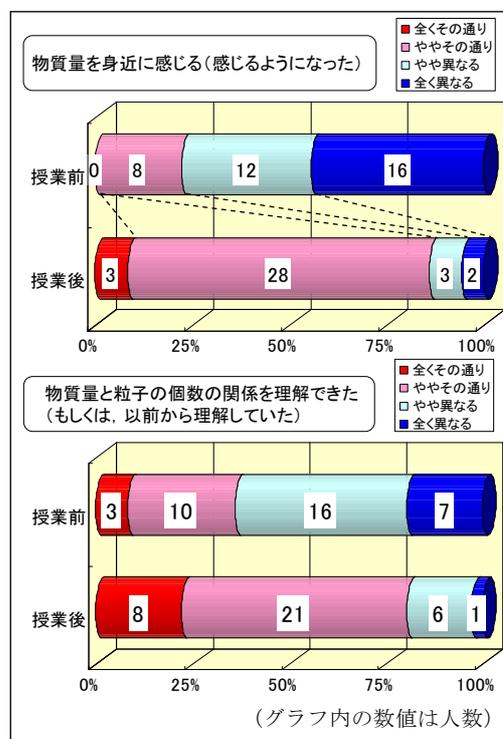


図3 授業前、授業後の生徒の意識の変容 (回答者 36名)

を用いて、研究の成果について以下に検討した。

物質質量についての講義（4時間）が終了した時点で、「物質質量という語を使って文を3つ書いてください。」という質問に答えさせた（図4）。物質質量の学習が一通り終了しているにもかかわらず、生徒は無回答や単語・短文、「物質質量はイメージできない。」など感情的な文章を多く記入していた。

しかし、実験及び考察後、同じ質問について記入させたところ、無回答が0人となった。記述内容も比較的長文となり、学習内容を用いた表現になっているものが多かった。生徒は講義だけでは理解できなかった物質質量について、その後の実験と考察の授業を受けることで理解できた（若しくは深まった）ことが分かった。また、生徒が記入した文字数を集計したところ、講義の終了時点では21.7文字なのに対し、実験、考察終了後は53.8文字と2倍以上に増えていた。これは、物質質量に対する苦手意識が低下したことに加え、物質質量についての理解が深まったことで、それを表現したいという欲求が生まれたためだと考えられる。

上記の質問に加え、生徒に「つぶれたピンポン球をお湯に付けると元に戻ります。なぜでしょう。」という質問についても実験、考察の前後で記入させた。生徒Aの記述を見てみると、講義の終了時点では「球の中の空気が温かくなって膨張するから。」と現象だけを記入しているのに対し、実験、考察終了後は「中の空気が温かくなり、原子の移動速度と範囲が広がったから。」と気体の膨張を原子、分子の視点でとらえていた。生徒Aのように気体の膨張を原子、分子の視点でとらえている生徒の人数は、講義の終了時点で1人（1%）だったのに対し、実験、考察終了後は59人（79%）と大幅に増えていた（全75人）。生徒は物質質量について粒子の視点で考察することで、他の自然事象についても粒子の視点を用いて考えることができるようになることが分かった。

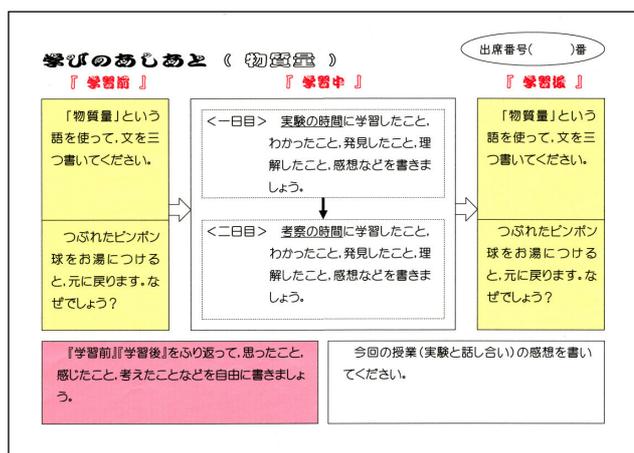


図4 今回用いた一枚ポートフォリオの構成

6 研究のまとめと今後の課題

実験によって実感をもたせること、学習内容を身近な事柄に「たとえ」させることで、生徒の理解を深めさせることができた。このような学習活動を繰り返し取り入れることで、生徒は学習内容について自発的に「たとえ」るようになり、それが生徒自身の理解を更に深めていくことが期待される。また、理科の学習内容と日常生活との距離が近づくことで、生徒の学習意欲も高まると考えられる。

生徒の科学的思考力を育てるという観点において、このような取り組みは定量的な学習内容に限らず、どの単元でも有効な学習方法の一つだと思われる。今後はその方法について、どこでどのように取り入れることがより効果的であるか、検討を続けていきたい。

《引用文献》

- 1) 国立教育政策研究所 『平成17年度教育課程実施状況調査 高等学校 化学I』 p.25
http://www.nier.go.jp/kaihatu/katei_h17_h/h17_h/result_q441.pdf
 (2008年3月)
- 2) 文部省 『高等学校理科指導資料 指導計画の作成と学習指導の工夫』
 1992年 東洋館出版社 p.18
- 3) 堀 哲夫 『一枚ポートフォリオ評価 理科』 2004年 日本標準 p.10