

中学校理科「化学変化と原子・分子」における学習コンテンツの開発と活用

栗田清史*, 川上綾子**

中学校理科「化学変化と原子・分子」において、粒子概念形成の促進をめざし、そのための学習コンテンツを開発するとともに、その活用を組み込んだ単元を設計した。それに基づく授業実践の結果、理科に対する情意面や有用感の高まり、より高次の粒子観への変容が生徒らにみとめられた。また、各コンテンツの操作性や機能、内容の構成等についても概ね良好な評価が得られ、開発したコンテンツの活用は生徒の学習にポジティブな影響を及ぼしたと考えられた。

〔キーワード：中学校理科，原子・分子，粒子概念，学習コンテンツ，単元設計〕

I. はじめに

中学校理科化学領域における主要な目標の一つに、粒子概念の獲得を通して、それまでの巨視的物質観から新たに微視的物質観を形成していくことがあげられる。すなわち、小学校段階の学習によりこれまで巨視的に捉えていた物質の性質や変化について、中学校では第1分野「化学変化と原子・分子」の学習を通じ、粒子による統一的な見方ができるようになることが重要である。その意味において、「化学変化と原子・分子」における粒子概念の獲得は、物質に関する認識を巨視的な認識から微視的な認識へ導いていくという、物質概念形成上重要な役割を担っているといえる。

このように粒子概念の形成はきわめて重要なものでありながら、その形成は大変難しいことが内外の研究者によって指摘されている。例えば井出(1984)は「巨視的現象を微視的立場から考えることが初等化学教育の最大の難点である」と述べているし、Nussbaum(1985)は「中学校理科カリキュラムの中心的な教育目標の一つは、生徒に物質の粒子モデルを理解させることである」と指摘しつつも、反面「粒子モデルを生徒たちが自分の中に取り入れることについては、彼らの素朴な認識との適合が難しいため、生徒たちが粒子モデルを直ちにあるいは積極的に形成することはありそうにもない」という。さらに堀(1990)の「多くの児童・生徒は、目に見えないものは存在しないと考えがちである。理科の授業では観察や知覚不能な事象まで思考の対象に加えるので極めて難しく感じることになる」との指摘からも、粒子概念形成の困難さは推察される。

そのような粒子概念の形成に関して、実際の授業では、上述したそれ自体の難しさに加え、扱うべき内容の量に

対する時間的制限や、当該内容に対して生徒が先行知識を持っていないという先入観などから、教師がトップダウン的に教えるという授業スタイルがとられがちである。この方法は、指導に時間がかからないといったメリットはあるが、生徒に当該内容の学習に対する必然性をもたせることは難しく、その結果、説明された事柄をとりあえず暗記するといった傾向を生みやすいと思われる。

このような授業の結果、粒子概念を「理解」することではなく知識や問題解決の方法の「記憶」に重点が置かれることとなり、授業そのものに楽しさや喜びを見いだせない、それを学ぶことの有用性を感じられない、実感を伴った理解をしないため学んだことを日常生活に適用できない、等の問題点が現れてきた。

これらの問題点を解決するには、教師からの説明を主とする指導法を改善するとともに、粒子の実在感やそれを使って現象を理解することの有用性を感じ得るような教材を積極的に導入することが必要であろう。

そこで本研究では、単元当初から一貫して教師による情報提示が中心となる授業ではなく、原子や分子の存在をボトムアップ的に導入し、生徒が自らの知識や考えに限界を感じた時点で科学概念をトップダウン的に教えるというスタイルの単元構成を提案する。また、目に見えないものを可視化し、物質の性質や変化に関わる巨視的現象を微視的現象と対応づけて認識するためには、それを目的とした適切な学習コンテンツの活用が効果的であると考えられる。それにより、様々な巨視的現象について微視的視点から考えたり、生徒自らコンテンツ内の現象を試行錯誤的に変化させながら観察したりすることが可能となり、それが粒子の実在感や有用感を導くことになるであろう。そこで、本研究では粒子概念形成を促進する学習コンテンツの開発とその活用を組み込んだ授業

* 愛媛県松山市立中島中学校

** 鳴門教育大学授業開発講座

の効果の検証を主たる目的とする。

II. 単元構成及び学習コンテンツの開発

2.1 単元構成

上述したように、教師主導で粒子概念を教え込むのではなく、生徒の既有知識や考えを利用しつつ学習の必然性を引き出した上で概念形成を図る単元構成のモデルとして、堀ら (2000) の提案がある。それは単元を以下のような5つのステップで構成する方法である。すなわち、①既有知識や考えの抽出 (原子・分子に関する情報源や知識の確認)、②既有知識や考えの吟味・確認・拡充・深化 (学習の動機づけ)、③新しい知識や考えの構築 (生徒の既有知識や考えを生かす)、④知識や考えの再構築 (原子・分子概念の導入・モデル化・略図化・推敲)、⑤日常生活で起こる現象への応用 (新しい知識や考えの応用) である。①から③がボトムアップ型、④と⑤がトップダ

ウン型の展開ということになる。この堀ら (2000) の考えに基づき、具体的には図1に示すような単元構成とした。

2.2 学習コンテンツの開発

2.2.1 開発上の留意点

「化学変化と原子・分子」を学習済みの中学生の粒子観に関する実態調査 (栗田, 2004) や先行研究 (例えば、湯澤, 1998 など) の知見から、コンテンツの開発に当たっては次の点に留意した。

(1) 巨視的現象と微視的視点の対応

物質の性質や変化についての巨視的現象と微視的視点 (粒子概念) との関連づけに留意し、粒子概念を単なる便宜的な思考モデルとしてではなく実在のものとして具体的に捉えられるようにする。

(2) インタラクティブな特性

生徒が目の前で生じている現象に試行錯誤的に働きか

章	題材	ねらい	S	時間	学習活動	粒子概念の形成を促進させるための支援	方略・評価
1 物質の変化 8時間	1 ホットケーキはなぜふくらむのか	○炭酸水素ナトリウムを熱すると3つの物質に分解できることを確かめることができる。	1	第1次	◎プレテスト (授業前の調査) を行う。	○粒子に関する知識や考え方を確認する。	・プレテスト
					①ホットケーキがふくらむしくみを考える。 ②実験により確かめる。	○学習への動機づけをする。 ○生徒に葛藤を起こさせる。	・ワークシート ◎実験
	2 物質はどこまで分解できるか	○水に電流を流すと2種類の気体が生じることを確かめることができる。	3	第3次	①炭酸水素ナトリウムの説明を聞く。 ②実験1 (炭酸水素ナトリウムを熱して変化を調べよう) を行い結果をまとめる。 ③炭酸水素ナトリウムを熱したときの変化について説明を聞く。	○炭酸水素ナトリウムを熱したときの変化とホットケーキが膨らむしくみを結びつける。	◎実験1
					④前時の学習内容を振り返る。 ⑤水はさらに分解できるか話し合う。 ⑥実験2 (水に電流を流して出てくる物質を調べよう) を行い結果をまとめる。	○生徒の既有知識を生かし自由に発想させる。	・ワークシート □話し合い ◎実験2
	3 発泡スチロールに圧力を加えるとなぜ縮むか	○身近な現象について自分なりの考えを持ち、積極的に話し合いに参加することができる。	4	第5次	①前時の学習内容を振り返る。 ②次の課題について話し合う。 ・発泡スチロールに圧力を加えるとなぜ縮むのか。 ・煙の微粒子はなぜ不規則な運動をするのだろうか。 ③一連の実験や事例から原子の考え方を導く。 ④学習コンテンツについて説明を聞く。 ○原子の世界をのぞいてみよう ○原子記号の由来 ⑤コンテンツに関するアンケートを行う。	○生徒の既有知識を生かし自由に発想させる。 ○既有の物質観の不適切性に気づかせる。 ○素朴な知識や考えだけでは学習が行き詰まってしまいこの現象を説明できる何か有効な手だてがありそうだという状況で次に進む。 ○原子の存在に気づかせる。 ○マクロからミクロな視点へ移行させる。	◎動画 ・ワークシート □話し合い ◎電子顕微鏡 ◎模型 ◎原子記号 ・アンケート
					①前時の学習内容を振り返る。 ②水の電気分解についての説明を聞く。 ③単体はそれ以上分解できないことの説明を聞く。 ④物質は何からできているのか考える。		
	4 物質はなにからできているか	○物質を作るもとの粒子は原子であることと共通の性質を把握する。 ○多くの物質は複数の原子が結びついて分子ができていることを理解する。	4	第6次	①前時の学習内容を振り返る。 ②コンテンツの使い方について説明を聞く。 ○分子モデルを考えよう ○水の電気分解を分子モデルで考えよう ③コンテンツに関するアンケートを行う。	○考えを共有させ意見交換をさせる。 ○物質の粒子の構造や基礎法則を理解させる。	・ワークシート ◎分子作成 ◎水の電解 ・アンケート
					①前時の学習内容を振り返る。 ②化学式についての説明を聞く。 ③単体、化合物の違いについて説明を聞く。		
	1 燃えるとはどんなことか	○燃焼は、物質が酸素と化合することであることを、例をあげて説明することができる。	5	第8次	①前時の学習内容を振り返る。 ②実験3 (スチールウールを燃やしてできる物質を調べよう) を行い結果をまとめる。		◎実験3
					③前時の学習内容を振り返る。 ④燃焼についての説明を聞く。 ⑤金属と酸素の化合について説明を聞く。		
2 身近な現象を考えよう	○身近な物理現象や化学現象を粒子概念を使って説明することができる。	5	第10次	①今までの学習を振り返る。 ②身近な化学現象について考える。 ○ガスが燃えるしくみを分子モデルで考えよう ③身近な物理現象について考える。 ○水の性質を分子モデルで考えよう ④ナノテクノロジーの最先端技術について知る。 ⑤コンテンツに関するアンケートを行う。	○日常生活へフィードバックさせる。 ○反応する物質によって発生する物質が違ふことを理解させる。 ○分子運動の動的イメージを確立させる。 ○最先端技術を知りさらに興味を高める。	◎水の性質 ◎動画 ◎ガス ・アンケート ◎ポストテスト	
				◎ポストテスト (授業後の調査) を行う。			

注) S:Step, ◎:contents, ①:experiment, ◎:movie

図1 本研究における「化学変化と原子・分子」の単元構成

けると、コンピュータからそれに対応した反応が返ってくる。これを繰り返すことにより、生徒は意図した結果を生み出せるようになり、現象の変化のしくみ（ここでは物質の微視的認識）について理解することになる。そのようなインタラクティブな特性をコンテンツに取り入れる。

(3) インターフェイスの工夫

学習者を粒子概念の学習活動に引き込むために、外生的動機づけと内生的動機づけの手法（佐伯，1997）を取り入れた。前者は、ゲームの要素や次の場面に行くために難関をくぐらせるような特定の課題に取り組みさせるもので、学習内容とは直接結びつかないがその場のやる気を起こさせるには効果がある。後者は、学習内容を分かりやすく興味深いものにして知的探究自体のおもしろさを教示するもので、粒子概念について言えば生徒をミクロの世界に誘い込むものである。これら動機づけのための2つの点を念頭にインターフェイスを工夫した。

2.2.2 コンテンツの内容

中学2年「化学変化と原子・分子」の単元における利用を想定して、(1)から(4)の目的ごとに①から⑥に示す6種類のコンテンツを開発した。各コンテンツは本単元の学習過程で適宜活用される(図1の右端の欄を参照)。開発には Macromedia 社の Flash MX を使用し、生徒は Flash Player により利用できるようになっている。

(1)粒子概念の学習への動機づけ

①「原子の世界をのぞいてみよう」

本コンテンツは、「バーチャル電子顕微鏡」の操作を通して、実際に原子を観察しているような疑似体験をさせることにより、物質の粒子的構造や原子自体への興味や関心を高めるとともに、原子に対する実在感を高め本単元の学習への有用感を引き出そうとするものである(図2)。

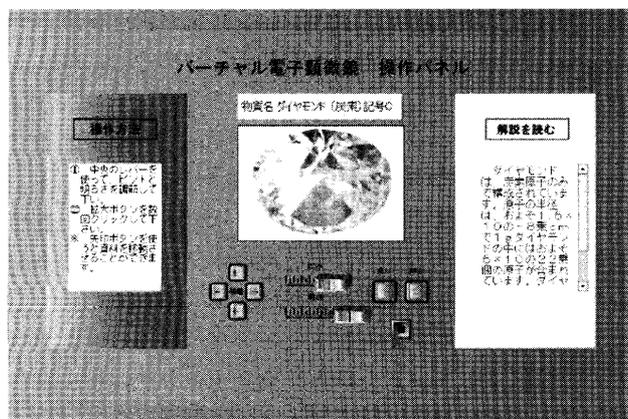


図2 「原子の世界をのぞいてみよう」

(2)原子記号の獲得

②「原子記号の由来」

原子記号の習得は、粒子概念を形成する上で欠かせな

い。本コンテンツでは、中学校で扱う18種類の原子について、原子記号の由来に関する情報を提示することで、できるだけいろいろな情報を関連づけ、原子記号の理解や記憶を促進するよう図った。また、ドリル形式のサブコンテンツ「原子記号マスター」では時間制限が設けられており、生徒にとって本単元中煩わしい学習の一つである原子記号の獲得をできるだけ楽しく行うことができたよう工夫した。

(3)化学変化の基礎法則の理解

③「分子モデルを作ろう」

本コンテンツは、身近に存在している分子がどのような構造をしているかというイメージの確立をめざして開発した(図3)。生徒が4種類の原子(H, C, N, O)を自由に組み合わせて分子を探索的に作成すると、その分子が存在するかどうかをコンピュータが判断するようになっている。実在する分子に対してはその名前や説明が表示される。実在する分子を求めて繰り返し試行させ、分子をつくる原子の結びつき方の規則性に気づかせたいと考えた。

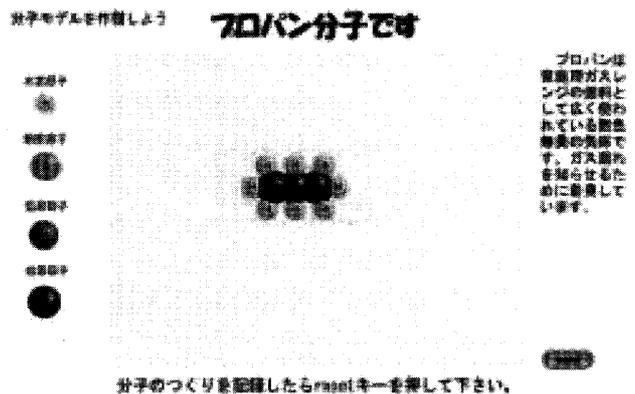


図3 「分子モデルを作ろう」

④「水の電気分解を考えよう」

既習の化学変化である水の電気分解を取り上げ、その現象を微視的に捉えさせることを目的として本コンテンツを開発した(図4)。生徒はまず、予想画面において、水槽内の水分子を構成している酸素原子と水素分子を両極の試験管に自由に配置して両極に発生する気体名やその体積を予想し、その後確認画面でこれを確かめる。確認画面では、酸素原子と水素分子を適切な試験管にドラッグすれば原子・分子はその場に固定(吸着)されて試験管内の気体が増す一方、不適切なところにドラッグすればそれぞれの原子・分子は元の位置に戻ってしまう。このインタラクティブな機能により、生徒はコンテンツからのフィードバックに従って正解へ至ることができ、水を分解すると両極に気体がどのように発生し、なぜその体積が2対1になるのかを視覚的に理解することができる。

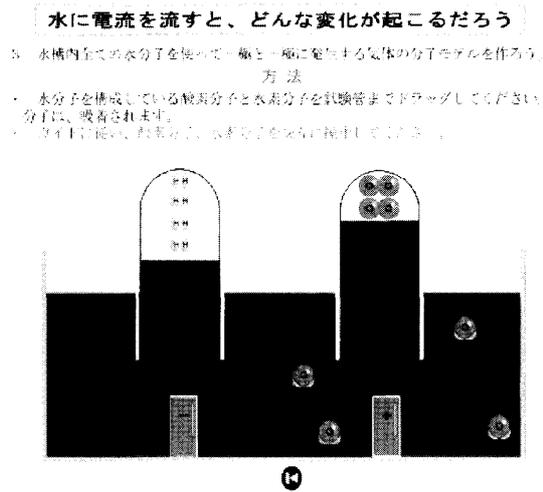
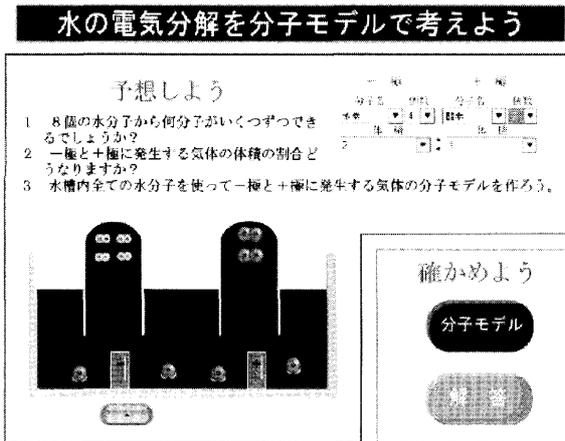


図4 「水の電気分解を考えよう」

(4)身近な現象におけるミクロとマクロの対応と統合
⑤「ガスの燃焼のしくみを考えよう」

本コンテンツでは、身近な化学変化としてガスの燃焼を取り上げ、メタンとプロパンの分子構造の違いにより燃焼時に発生する物質が異なることに対する微視的な認識の形成を目的とした。

生徒はまず、ガスに関する基本的な質問に解答したり、メタンガスとプロパンガスの重さの違いを表現するアニメーションを見たりしながら興味関心を高める。その後、動く分子をマウスでキャッチできれば次のサブコンテンツを始められるというゲームをクリアしたあと、メタンやプロパンの燃焼に関するサブコンテンツに進む。

サブコンテンツ「メタンの燃焼について考えよう」(図5)では、生徒が、バーチャル・ガスバーナーのガス調節ねじ・空気調節ねじ等を操作しながら、メタン分子と酸素分子が結合して生じる反応を理解できるようにした。指定された原子を適切な位置にドラッグすればその場で吸着され、不適切な位置にドラッグした場合は元の位置に戻る。この操作を通して生徒は、メタン分子と酸素分子の数によっては不完全燃焼になったり完全燃焼になったりすること、前者の場合は煤が出たり炎の温度が上が

らないこと、後者の場合は炎の温度が高くなること等を理解する。ガスバーナーの操作や化学反応についての解説など、生徒の反応に対して適宜フィードバックを与え、学習が適切に進められるようにした。また、プロパンについても同様のコンテンツを開発した。最後には、ガスの燃焼に関する確認問題を用意した。

⑥「水の性質を考えよう」

本コンテンツは、身近な物理変化として水の性質について微視的に捉えさせ、分子運動に関わる動的イメージの形成を目的とするもので、「食塩粒子の拡散」「水の気化」「水の凝固」の3つのサブコンテンツから構成されていた。いずれもコンピュータとの相互作用を通して、水の物理的な変化のしくみを理解できるようになっている。

「食塩粒子の拡散」コンテンツでは、食塩を水に溶かしたときその粒子がどのように拡散するかについて、選択肢から解答を選んだ後に食塩を水に入れる操作をすると、粒子が溶けて均一に広がっていく様子がアニメーションとして提示され、生徒の解答に応じたKR情報が返される。その後、粒子が均一に広がる様子を、今度は分子モデルを使って表したアニメーションにより再度確認させるようになっている。また、コンテンツの進行に伴って適宜解説を表示するようにした。

「水の気化」コンテンツでは、温度変化に伴う気体分子の運動の変化の動的イメージを確立させるため、生徒にバーチャル・ガスバーナーを使って水の温度を操作させ、それに対応した水分子の動きと温度や気圧の変化が表示されるようにした。また、加熱の際に容器にふたをかぶせた場合の分子運動を観察するものや、食塩水を加熱すると沸騰する温度がどうなるかを原子や分子の考え方を用いて発展的に考えさせるコーナー等も設けた。

「水の凝固」コンテンツでは、「食塩粒子の拡散」とほぼ同様の構成で、質問に解答したり画面上で現象の変化を観察したりしながら水を凍らせると体積が増すしくみを理解できるようになっていた(図6)。

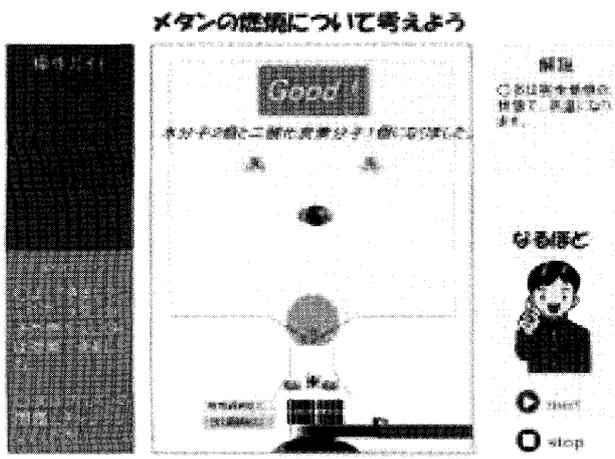


図5 「ガスの燃焼のしくみを考えよう」

水を凍らせるとなぜ体積が増えるのだろう？

水分子の動きが鈍くなると、水素原子と酸素原子が互いに引き合うため分子は六角形を作るように結びつきます。その結果、水に比べて体積が増加するのです。

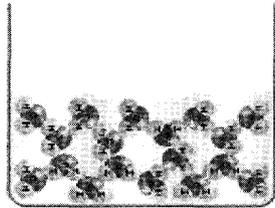


図6 「水の性質を考えよう」

Ⅲ. 授業実践と学習コンテンツの評価

3.1 方法

3.1.1 対象および時期

授業は愛媛県内の中学校2年生26名(男子15名,女子11名)を対象として,2003年10月から11月にかけて実施された。また,当該単元について既習の同校3年生17名(男子9名,女子8名)にも上記①～⑥のコンテンツを利用してもらいその評価を依頼した。

3.1.2 授業の手続き

2年生に対する授業は,図1の単元構成に沿って第一著者が行った。全10時間のうち7時間は理科室で,残る3時間はコンピュータ室で一人一台パソコンが与えられ実施された。

3.1.3 授業及びコンテンツに関する調査

授業及びコンテンツの有効性並びに生徒のもつ粒子観を明らかにするために,以下の3種類の調査を行った。

(1)コンテンツの効果に関する調査(調査1)

開発したコンテンツの効果を検証するため,各コンテンツの活用後,それぞれについて操作性や各種機能の有効性,その活用により学習内容がどのくらい理解できたか等を質問紙により4件法(4:そう思う～1:そう思わない)で問い,さらにコンテンツを活用した感想の自由記述も求めた。この調査については,授業対象であった2年生に加え,3年生にも実施した。

(2)生徒のもつ粒子観に関する調査(調査2)

実施した授業とその際活用したコンテンツが生徒の粒子概念形成の促進に有効であったかどうかの検証を目的として,授業実践前後に行われた。

生徒のもつ粒子観を評価するために,2種類の問題用紙が作成された。問題用紙Aは授業実践前後で同一のものを実施し単純比較することを,問題用紙Bは授業実践

後に実施し,今回の単元構成やコンテンツ活用による授業を受けていない生徒の調査結果(栗田,2004)と比較することを目的としている。2つの問題用紙は,含まれる問題の様式と構成は同様であるが,扱う内容は異なっていた。問題用紙Aの具体的な内容は,①「気体の分子運動による体積変化」としてへこんだピンポン球をもとの形にもどすための方法を問うもの,②「水の三態変化」として水を凍らせると体積がどのように変化するかを問うもの,③「金属の酸化」として金属をさびにくくする方法を問うもの,④「炭酸水素ナトリウムの分解」としてホットケーキをふっくらと仕上げるための知識を問うものの4題であった。一方,問題用紙Bの具体的な内容は,①「金属の原子構造」としてきつくなったジャムのふたを開ける方法を問うもの,②「水の三態変化」としてコップの表面に出てくる水滴がどこから出てきたのかを問うもの,③「金属の酸化」として使い捨てカイロを効率よく温める方法を問うもの,④「ろうそくの燃焼」としてろうそくの炎の温度はどこが最も高いかを問うものの4題であった。これら全8題とも,選択肢から解答を選び,各現象のしくみについて自由記述で説明するよう求めるものであった。

(3)理科の学習及びコンピュータについての認識や情意面に関する調査(調査3)

理科という科目に対する情意面や,理科と日常生活との関連性についての認識,コンピュータの利用に対する意識などの点が今回の授業によりどのように変容したかを調べるために,授業の前後で質問紙による調査を行った。質問紙は4件法(4:そう思う～1:そう思わない)の質問項目(後述の表9参照)及び感想等を求める自由記述欄からなる。

3.2 結果と考察

3.2.1 調査1:コンテンツの効果に関する調査

各コンテンツの評価について2年生・3年生の結果をまとめて以下に述べる。なお,各表中の質問項目の表現は簡略化して示してある。

①「原子の世界をのぞいてみよう」

各質問項目において4件法の各評定を選択した人数と平均点(各評定を4点～1点として得点化。以降も同じ。)の結果を表1に示す。表の通り,いずれの質問項目に対しても概ね肯定的な評価を得た。とくに質問②では4分の3にあたる生徒が4を選択していることから,生徒らにとって最初に出会うコンテンツではあったがその操作に際して問題はなかったと考える。また,原子の実在感や原子構造と物質の性質との関係理解についても多くの生徒が肯定的な回答を寄せていた。感想欄にも

- ・教科書で見るとよりわかりやすかった。
- ・黒鉛とダイヤモンドは同じ炭素原子でできているけど,結

びつき方で堅さが違っていることを理解することができた。

- ・(バーチャル電子顕微鏡は) 本当に自分で操作して使っているみたいで楽しかった。

等の意見が寄せられた。

表1 「原子の世界をのぞいてみよう」に対する評価

質問項目	4	3	2	1	平均点
①原子の存在感を感じたか	24	15	2	0	3.54
②コンテンツは操作しやすかったか	31	8	2	0	3.71
③操作ガイドや解説は役に立ったか	30	16	4	1	3.34
④原子構造による物質の性質の違いが理解できたか	26	11	4	0	3.54

②「原子記号の由来」

表2に示す通り、1名を除き全員が4ないし3を選択しており、本コンテンツが原子記号を覚えるのに有効であったと感じられていたことが示された。感想欄にも

- ・ゲーム形式だから楽しく覚えることができた。
- ・原子記号のテストは難しかったけどやりだしたらとまらなかった。

等の記述が見受けられた。しかし、調査3の結果として後述するように、授業がすべて終了した後の感想欄には、「覚える」ということに関してはコンテンツは有効ではないとする記述も見受けられた。そのため本コンテンツは、原子記号の導入時に特に動機づけを目的として使用することが効果的であると思われる。

表2 「原子記号の由来」に対する評価

質問項目	4	3	2	1	平均点
①原子記号を覚えるのに提示された情報や映像は役に立ったか	25	15	1	0	3.59
②「原子記号マスター」は原子記号を覚えるのに役に立ったか	29	11	1	0	3.70

③「分子モデルを作ろう」

本コンテンツについても、表3の通り、1名を除き全員が肯定的な回答を選択しており、良好な評価が得られたといえる。特に質問②や質問③で4の選択者数が多いことから、生徒が自由に作成した分子の有無をコンピュータが判断し、そのフィードバックにより軌道修正しながら試行錯誤的に問題を解決していく機能や過程が効果的であったと考えられる。感想としては

- ・原子はただくっついているだけだと思っていたけど、規則性があることを知りびっくりした。
- ・分子を自分なりに考えながらつくって、それが何かの分子だったらとてもうれしい。
- ・ゲーム感覚で楽しく分子モデルを作ることができた。

等の意見があった。

表3 「分子モデルを作ろう」に対する評価

質問項目	4	3	2	1	平均点
①原子の結合の規則性を理解できたか	22	20	1	0	3.49
②自由に分子モデルを作成した後、結合の規則性を利用して再度分子モデルを作成する流れはわかりやすかったか	31	12	0	0	3.72
③分子の存在をコンピュータが判断する機能は役に立ったか	30	12	1	0	3.67

④「水の電気分解を考えよう」

表4の通り、ここでも概ね高い評価が得られた。質問①の結果からは水の電気分解を微視的な視点から捉えることが多くの生徒で可能となったことが示され、質問③や質問④の結果からは、生徒の予想に対するコンピュータのフィードバック機能の効果が示されている。

・水に電流を流すと、酸素が陽極に水素が陰極に行くことがわかった。なぜ、それぞれ移動するのだろうか。という感想欄の意見は、水の電気分解をマイクロレベルで理解した上でさらに発展的に考えようとしている現れであり、通常では知覚できない巨視的現象を原子や分子のモデルにより可視化したことが効果的であったと思われる。

表4 「水の電気分解を考えよう」に対する評価

質問項目	4	3	2	1	平均点
①水中で起こっている原子や分子の変化を理解できたか	26	16	1	0	3.58
②予想→確かめ→解答の流れはわかりやすかったか	19	22	2	0	3.40
③原子を適切な試験管にドラッグすると気体が増える機能は役に立ったか	24	16	3	0	3.49
④原子を不適切な試験管にドラッグすると元に戻ってしまう機能は役に立ったか	27	12	4	0	3.53

⑤「ガスの燃焼のしくみを考えよう」

表5に示した結果の通り、質問①及び質問③・質問④については4ないし3の選択者が大半を占め、コンテンツの操作性や分子の概念的理解においては良好な評価が得られたといえる。例えば、

・プロパンガスとメタンガスの違いは、それぞれの分子を比較していたので、とても分かりやすかった。との感想はそのことを表すものである。

ただ、質問②が他と比べて相対的に低い評価となっており、生徒によっては、メタンやプロパンを構成している原子と酸素原子を組み合わせて新しい物質を創造する活動が必ずしもガスが燃焼するしくみと結びついていなかったのではないかと考えられる。感想欄にも

- ・少しわかりにくいところがあった。
 - ・あまり理解できなかったのできちんと復習したい。
- といった意見が見られた。

表5 「ガスの燃焼のしくみを考えよう」に対する評価

質問項目	4	3	2	1	平均点
①ガスの分子構造による性質の違いが理解できたか	31	11	1	0	3.70
②ガスの燃焼のしくみが理解できたか	24	13	6	0	3.42
③バーチャル・ガスバーナーは操作しやすかったか	30	10	3	0	3.63
④操作ガイドや解説は役に立ったか	27	15	1	0	3.60

⑥「水の性質を考えよう」

本コンテンツに関する結果は表6の通りである。ここでも全般に4ないし3の回答が多く、概ね肯定的な評価を得たといえる。

表6 「水の性質を考えよう」に対する評価

質問項目	4	3	2	1	平均点
①水の状態変化は水の分子運動が変化して起こることが理解できたか	25	16	2	0	3.53
②ア) 沸騰しているときの水分子の様子を理解できたか	34	5	4	0	3.70
イ) 水より食塩水の沸点が上昇するしくみを理解できたか	23	15	4	1	3.40
ウ) 操作ガイドや解説は役に立ったか	21	21	1	0	3.47
③ア) ふたをした鍋の中の水分子の様子を理解できたか	30	10	3	0	3.63
イ) 水蒸気による気圧の変化のしくみを理解できたか	21	15	5	2	3.28
④食塩が溶けていくしくみを理解できたか	25	17	1	0	3.56
⑤凍ると体積が増加するしくみを理解できたか	33	9	1	0	3.74
⑥具体的現象のアニメーションと分子モデルを用いたアニメーションの比較は理解しやすかったか	29	13	1	0	3.65

- ・水を加熱すると蒸発して少なくなったり、加熱をやめると水に戻ったりしてすぐわかりやすかった。
- ・私たちがいつも入っているお風呂でも、たくさんの水分子があり働いているのですごいなあと思った。

等の感想は、これらの肯定的な評価を裏付けるものである。とくに後者の生徒については、本コンテンツで学習した水分子の概念を生活中的の身近な現象に適用できていることがうかがえる。

しかし、相対的に質問②イや質問③イの評価が低く現れている。これらは、水の温度変化に伴う基本的な現象の学習のあと発展的なコーナーとして扱われるものである。このことから、やや複雑な現象のしくみに関する理解には、本コンテンツ活用のみでは困難が伴う生徒もいたことがわかる。

3.2.2 調査2：生徒のもつ粒子観に関する調査

問題用紙A・Bで生徒が解答した、現象の生じるしくみに関する自由記述の分析により、生徒らの粒子観を森本・森藤(1988)に基づき以下のような4つのカテゴリーに分類した。物質の三態すべてにおいて全く粒子的視点を欠いており、知覚できないものを想定することができない「現象論的説明群」、物質の構成単位として粒子的なものを想定することもあるが、一貫して原子・分子を想定するまでには至っていない「前粒子論的説明群」、物質三態のすべてにおいて原子・分子を想定できるが、三態変化を分子の運動性、原子・分子間距離、原子・分子間力の変化として捉えることができない「疑似粒子論的説明群」、物質の三態のすべてにおいて原子・分子を想定でき、しかも三態変化を分子の運動性、原子・分子間距離、原子・分子間力の変化として捉えることができる「粒子論的説明群」である。すなわち、後者ほど高度な粒子観となる。

表7は、問題用紙Aについて、授業の前後で各カテゴリーに分類された人数を表したものである。①～④は前述した各問題を、「正」「誤」は問題の解答として選んだ選択肢が正答であったかどうかを示している。なお、ここでは図1の単元構成を含めてその効果を検証するため、分析の対象になったのは授業を受けた2年生26名のデータである。

表7に示されているように、授業前の調査ではほとんどの生徒が現象論的説明群に属していたのが、授業後は前粒子論的説明群から粒子論的説明群までに含まれる生徒の数が増えていた。すなわち、その程度の違いはあれ、現象の生じるしくみを考える際に粒子を想定するようになった生徒が授業後は相対的に増加したといえる。また、そのほとんどは選択肢による解答で正しいものを選んでいくことから、粒子を用いて現象を正しく捉えていたと判断できる。特に、開発したコンテンツで直接的に扱っていた②の「水の三態変化」については、最も高次な粒子論的説明群にまで至ったものが10人となるなど、授業前との変化が顕著であった。

表7 授業前後における粒子観の変化(人)(n=26)

	①		②		③		④	
	正	誤	正	誤	正	誤	正	誤
授業前								
現象論	25	0	19	4	20	5	20	5
前粒子論	1	0	1	2	0	1	0	1
疑似粒子論	0	0	0	0	0	0	0	0
粒子論	0	0	0	0	0	0	0	0
授業後								
現象論	16	0	8	1	11	4	17	1
前粒子論	0	0	2	0	1	1	6	0
疑似粒子論	4	0	5	0	1	0	2	0
粒子論	6	0	10	0	8	0	0	0

ただ、授業前後の同一問題による比較のみでは、そこで見られた粒子観のポジティブな変容が今回の単元構成や開発したコンテンツによるものかどうか明らかではない。方法はどうか、とにかく「化学変化と原子・分子」の単元を通して粒子概念について学習していることがこのような変容を生じさせた可能性もあるからである。

そこで、次に問題用紙Bに関する結果について、栗田(2004)における調査結果との比較を行った。栗田(2004)では、教科書を中心とした一般的な方法で当該単元を学習した生徒らがどのような粒子観を持っているかを、今回と同様の方法(問題は問題用紙Aと同じ)で示している。つまり、今回の問題用紙Bに関する調査と栗田(2004)の調査は、いずれも生徒らにとって粒子概念の学習を終えてから初めて取り組む問題であったことが共通している一方、当該の学習が本研究の授業実践に基づくものであったかどうかには違いがある。したがって、これらを比較することにより、今回の単元構成や開発したコンテンツが生徒の粒子観の変容に与えた影響を検討することができる考えた。2つの調査結果を表8に示す。

問題内容が異なるので問題ごとの比較はあまり意味をなさないが、全体を通してみると、何らかの粒子概念を

用いて現象のしくみを説明していた生徒(すなわち現象論的説明群以外)の比率は今回の調査結果の方がやや上回っていることがわかる。上記したように、この結果は今回の単元構成あるいはそこで活用されたコンテンツの効果とみなしうるものである。

以上の結果より、開発したコンテンツ及びその活用を組み込んだ単元構成による今回の授業実践が、生徒らの粒子概念の形成に一定の役割を果たしたと考えられる。

3.2.3 調査3：理科の学習及びコンピュータについての認識や情意面に関する調査

授業前後の結果を表9に示す。理科の学習に関する4項目すべてにおいて授業後に4点の回答者数が多くなっており、それが平均値の上昇につながっている。このことから、今回の粒子概念の学習を通して、全般的には生徒らは理科の学習が生活と関わっていることを実感するようになり、理科の学習に有用性を感じ興味や関心が高まったのではないかと考えられる。

コンピュータに関する項目では、質問①と質問④の平均値の上昇傾向から、今回のコンテンツが生徒らにより好意的に受け入れられ、かつ学習において有効だと感じられていたといえるだろう。また質問②で授業前から授

表8 今回の調査(問題用紙B)と栗田(2004)における調査との比較(人)

		①		②		③		④		計
		正	誤	正	誤	正	誤	正	誤	
栗田(2004) n=35	現象論	30(85.7)	5(14.3)	19(54.3)	9(25.7)	6(17.1)	20(57.1)	26(74.3)	0(0.0)	115(82.1)
	前粒子論	0(0.0)	0(0.0)	2(5.7)	0(0.0)	3(8.6)	1(2.9)	6(17.1)	0(0.0)	12(8.6)
	疑似粒子論	0(0.0)	0(0.0)	3(8.6)	0(0.0)	3(8.6)	0(0.0)	3(8.6)	0(0.0)	9(6.4)
	粒子論	0(0.0)	0(0.0)	2(5.7)	0(0.0)	2(5.7)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	4(2.9)
今回の調査 n=25	現象論	13(52.0)	8(32.0)	14(56.0)	4(16.0)	15(60.0)	1(4.0)	11(44.0)	9(36.0)	75(75.0)
	前粒子論	2(8.0)	1(4.0)	2(8.0)	1(4.0)	6(24.0)	0(0.0)	2(8.0)	0(0.0)	14(14.0)
	疑似粒子論	1(4.0)	0(0.0)	4(16.0)	0(0.0)	1(4.0)	0(0.0)	2(8.0)	0(0.0)	8(8.0)
	粒子論	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	2(8.0)	0(0.0)	1(4.0)	0(0.0)	3(3.0)

注) カッコ内は%

表9 理科の学習及びコンピュータについての認識や情意面に関する調査結果

質問項目	授業前					授業後				
	4	3	2	1	平均点	4	3	2	1	平均点
1 理科について										
①理科は好きですか	9	15	2	0	3.27	12	13	1	0	3.42
②理科の学習はあなた自身の生活と関係あると思いますか	6	18	1	1	2.54	11	11	4	0	3.27
③理科の授業で学習したことをもっと詳しく調べてみたいと思いますか	3	9	13	1	2.54	5	13	8	0	2.88
④理科の学習は新しい科学や技術を理解するのに必要だと思いませんか	8	17	1	0	3.27	13	13	0	0	3.50
2 コンピュータについて										
①コンピュータを使った学習は好きですか	10	11	3	2	3.12	15	8	3	0	3.46
②コンピュータを使うことは難しいですか	8	12	5	1	3.04	1	13	8	4	2.42
③コンピュータをうまく使えるようになりたいですか	18	8	0	0	3.69	17	7	2	0	3.58
④コンピュータは理科の学習に役立つと思いませんか	9	14	3	0	3.23	10	15	1	0	3.35

業後へかけて回答がマイナス方向への移行傾向を示していたことより、コンピュータに対する難しいイメージが低下していたこと、ひいては今回のコンテンツの操作性に大きな問題はなかったことがうかがえる。

授業後の感想欄には、多くの生徒が“わかりやすかった”あるいは“理解しやすかった”“楽しかった”等の好意的な記述を寄せており、今回の単元構成並びに開発したコンテンツの活用に対し、概ね肯定的な評価を得られたといえるだろう。ただし、中には“ノートに記入したりすることが少ないので、その場ではよくても後であまり覚えていない”“原子記号を覚えるには実際に書いて覚えた方がよい”という、「記憶」の促進に関しては否定的な意見も見られた。

IV. まとめと今後の課題

本研究では、粒子概念の形成を促進するために単元「化学変化と原子・分子」を対象とした学習コンテンツの開発とその活用を組み込んだ単元設計を行い、それに基づく授業を実践した。その結果、開発した各コンテンツはその操作性や機能、内容の構成等について概ね良好な評価が得られた。また授業後には、理科への情意面・有用感の高まりやより高次な粒子観への変容が生徒らにみとめられたこと、感想欄にも授業全般に対する肯定的な意見が多かったこと等から、コンテンツ活用を組み込んだ図1の単元構成そのものが粒子概念の形成に一定の効果をもたらしたと思われる。

ただし、粒子観の変容について過去の調査と比較した結果(表8)からは、今回の授業実践がとりわけ顕著な効果を持つとは言い難い。現実世界にまで適用可能な粒子概念形成の困難さを再確認せざるを得ない結果とも言えるが、その克服に向け、新たなコンテンツ開発を含め、単元構成や各時間の指導のあり方についてさらに検討を加える必要がある。

また、今回開発したコンテンツについては、やや複雑な現象のしくみを理解することや原子記号などの記憶を促進することにおいてはその効果が低下する感があった。それに対しては、このような点にも有効なコンテンツを目指し開発を進めることも一つの方法ではあるが、一方では、コンテンツの持つ効果を見きわめた上で活用のあり方を工夫していくことも重要であると考え。学習内容、コンテンツの機能、授業における教師のねらい等の相互関係から、どの場面でもどのように活用すれば生徒の学習に最も効果が現れるのかを十分に考え授業の中に組み込んでいくことは、どのようなコンテンツであれ教師にとっては必須の条件であろう。

参考文献

- 1) 堀 哲夫：理科教授・学習における児童・生徒の思考の特徴—科学的概念の形成と理解の実態調査・研究を基礎として—, 日本理科教育学会研究紀要, 31(2), 61-72, 1990年.
- 2) 堀 哲夫・市川直貴・桐原孝明：ボトムアップ的な学習とトップダウン的な学習を融合した指導, 日本理科教育学会第50回全国大会宇都宮大会要項, 20, 2000年.
- 3) 井出耕一郎：物質概念とその育成の方策, 理科の教育, 33(2), 9-13, 1984年.
- 4) 栗田清史：中学校理科における粒子概念の形成を促進する授業のあり方—学習コンテンツの開発と活用を通して—, 鳴門教育大学大学院修士論文(未刊), 2004年.
- 5) 森本信也・森藤義孝：中学生における粒子概念の習得に関する基礎的研究, 日本理科教育学会研究紀要, 29(2), 1-8, 1988年.
- 6) Nussbaum, J. 1985 The particulate nature of matter in the gaseous phase. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes: Open University Press. (内田正男(監訳): 子どもの自然理解と理科授業, 東洋館出版社), 1993年.
- 7) 佐伯 胖：新・コンピュータと教育, 岩波書店, 1997年.
- 8) 湯澤正通(編著)：認知心理学から理科学習への提言—開かれた学びをめざして— 北大路書房, 1998年.