

## 中学2年「化学変化と熱」の理解に関する実践的研究

～エネルギーモデルの活用を通して～

坂本 有希\*, 木村 玲\*\*, 菊地 洋一\*\*\*

(2013年3月5日受理)

Yuki SAKAMOTO, Ryo KIMURA, Yoichi KIKUCHI

Practical Research on the Understanding of “Chemical Reactions and Heat” in Second Grade of Lower Secondary School — by the use of the Energy Model —

### 1 はじめに

2008年3月の中学校学習指導要領の改訂により、「化学変化と熱エネルギー」の学習は中学3年から中学2年に移行された<sup>1)</sup>。化学変化と熱エネルギーの関係については、化学カイロや中和、物質の水への溶解、アンモニアの発生実験などを行い、その化学変化による温度変化と熱エネルギーの出入りを関係付けて説明するのが一般的である<sup>2)</sup>。しかし、中学理科の教科書<sup>3)-7)</sup>のように言葉や式による説明だけでは化学変化に伴う熱エネルギーについての本質的な理解は困難であり、結局あまり印象に残らない学習になる可能性がある。特に吸熱反応については、「熱をうばう」や「熱を吸収する」から温度が下がると説明されるが、理解に至っていないのが現状である。高校化学の教科書等<sup>8)-12)</sup>のように反応物と生成物を並べて、化学変化はエネルギーの高い方から低い方へ進み、そのエネルギー差を外部に放出すると説明する方法もあるが、この方法では吸熱反応についての説明が難しい。エントロピーの要素をどのように扱うかは高校化学の指導でも以前から課題となっている点であろう。

### 2 生徒の実態

本研究の対象は、岩手大学教育学部附属中学校平成23年度第2学年160名である。授業実践は平成23年10月に実施した。

単元「化学変化と熱エネルギー」に入る前に、生徒の実態を明らかにするため、事前調査を行った。調査内容は、『「化学変化」と「熱」の2つの言葉を使って、文をつくりなさい。』であり、これについて自由記述させた。その記述内容ごとに

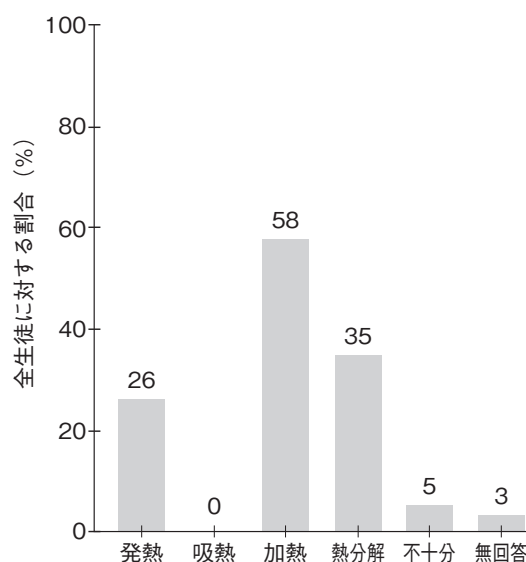


図1 学習前の「化学変化と熱」についての自由記述 (対称生徒: 第2学年160名)

\* 岩手大学教育学部附属中学校、\*\* 岩手大学教育学研究科 (2年)、\*\*\* 岩手大学教育学部

集計した結果が図1である。自由記述なので複数の内容について書いた生徒もいる。

本単元で学んでほしい「熱」とは、化学変化に伴う熱エネルギーである。しかし、化学変化によって生じる熱エネルギー＝「発熱」について記述した生徒は全体の26%であった。一方、ガスバーナーなどによる「加熱」によって化学反応が進むと記述した生徒は58%であった。また、「熱分解」という化学変化の種類について答えた生徒は35%であった。「化学変化」と「熱」の2つの言葉を使用せず、不十分な文をつくった生徒は5%であった。

生徒はこれまで原子・分子などの粒子論、分解、化合、酸化、燃焼、還元等の化学変化について学習してきた。熱に関しては、鉄と硫黄の化合実験において、化合によって生じた熱エネルギーにより、ガスバーナーでの加熱を止めても反応が続くことを学習している。しかしながら今回の結果は、生徒にとっての「化学変化と熱」は、化学変化によって熱エネルギーが生じるということよりも、化学変化を起こすための熱エネルギーの印象の方が強いことを示している。また、この時点で、周囲から熱エネルギーをうばう吸熱反応について記述した生徒は1人もいなかった。

### 3 研究の目的

本研究では、中学校、高等学校の「化学変化と熱エネルギー」の学習に存在する一般的な課題と本校生徒の実態を踏まえ、化学変化に伴う熱エネルギーの出入りについての理解を深めることを第一の目的とした。そのために、エネルギーの大きさを「面積」で表すエネルギーモデルの活用を試みることにした。エネルギーを“折り紙”による面積で表し可視化することで、化学変化と熱エネルギーの関係について思考しやすくするとともに、それをういて表現活動〈パフォーマンス〉もしやすくなる考えた。

## 4 実践

### (1) 単元の指導計画と評価規準

化学変化に伴う熱エネルギーについて理解させるために、表1のように6時間計画の単元を構想した。評価方法として一枚ポートフォリオ評価(One Page Portfolio Assessment: OPPA)<sup>13)</sup>も活用した。

### (2) 授業の実際

【1時間目】本単元の本質的な課題への気付きとエネルギーの考え方

本単元の学びが充実したものになるかどうかは、この時間が重要である。事前調査の結果〈図1〉より、化学変化に伴う熱エネルギーの出入りについての意識は低い。一方、ガスバーナーなどの加熱器具への意識は高い。この時間では、あえてガスバーナーで起こっている反応について注目させることで、化学変化に伴う熱エネルギーについての視点をもたせたい。また、エネルギーの考え方、エネルギーモデルの表し方について理解させたい。指導の流れは表2の通りである。

この授業の前半は、生徒が加熱器具としてしか見ていなかったガスバーナーの炎に注目させることで、本単元の本質的な課題に気付かせることがねらいであった。生徒の反応から、予想通り、ほとんどの生徒はガスバーナーで化学変化が起こっているとは考えたことがなかったようである。ブドウ糖やエタノールなどの有機物と同様に、プロパンガスの燃焼によって水や二酸化炭素ができることを確認したことで化学変化であることを納得した。そして、ガスバーナーが「なぜ、燃えはじめたのか?」、「なぜ、燃え続けているのか?」について思考したことで、化学変化に伴って熱エネルギーが発生していることを理解できたようである。クラス全員で化学変化に伴う熱エネルギーについて共通理解できた後で、本単元の本質的な課題である「化学変化に伴う熱エネルギー」について確認した。

表1 「化学変化と熱エネルギー（全6時間）」の指導計画と評価規準

時	学習内容	ねらい	評価観点				評価規準	評価方法
			関	思	技	知		
1	メタンの燃焼（ガスバーナー） 化学エネルギー、エネルギーの変換、エネルギーの保存、エネルギーモデルの理解	ガスバーナーが燃焼し続けていることに注目させ、その理由を考えさせる。ガスバーナーの燃焼のしくみを理解させ、本単元の本質的な課題について気付かせる。そして、エネルギーモデルの考え方について理解させる。			○		折り紙を使って、エネルギーの保存を表すことができる。	学習シート
						○	メタンや酸素などのすべての物質は化学エネルギーをもっていること、化学エネルギーは熱エネルギーに変換されること、エネルギーは保存されることを説明できる。	学習シート OPPシートA (学習履歴I)
2	温度が上昇する化学変化をエネルギーモデルで考察し表現すること	化学かいるや金属と塩酸の反応など、加熱を必要としない発熱反応の実験を行い、前時に学習したエネルギーモデルを活用して、それらの化学変化について説明させる。		○			温度が上昇する化学変化について、折り紙によるエネルギーモデルと文章で説明することができる。	学習シート
3	温度が低下する化学変化をエネルギーモデルで考察し表現すること	硫酸アンモニウムと水酸化バリウムの混合による吸熱反応の実験を行い、エネルギーモデルを活用して温度低下の原因を考察し、それについて説明させる。		○			温度が低下する化学変化について、折り紙によるエネルギーモデルと文章で説明することができる。	学習シート
4	発熱反応と吸熱反応の一般化 電気分解や光合成との関係付け	化学エネルギーと熱エネルギーのエネルギー変換、エネルギーの保存を意識させながら、発熱反応と吸熱反応のモデル化を行い、熱エネルギーの出入りの理解を深めさせる。既習の水の電気分解や光合成との関係付けを行わせる。			○		発熱反応と吸熱反応を、エネルギーモデルと文章で説明することができる。	学習シート OPPシートB (学習履歴II)
				○			種々の化学変化とエネルギーの出入りについて考察し、エネルギーモデルで表現できる。	学習シート
5 6	化学変化と熱エネルギーについてのレポート作成	前時までの学習で、個々の生徒が抱いていた化学変化と熱エネルギーについての課題を明らかにし、個々の生徒の視点でレポートを作成させる。		○			化学変化と熱エネルギーについての課題を明らかにし、それについて独自の視点で考え、まとめている。	レポート
			○				評価規準を作成し、意欲的に課題解決に取り組んでいる。	レポート

後半は、化学変化と熱エネルギーを理解するために本研究で新たな取組として提案する「折り紙を使ったエネルギーモデル」についての学習である。エネルギーモデルを使って思考する場合、大前提となるのが「エネルギーの保存」である。これについては教師が与えた（図2中のE）。この考え方をもとにして、ガスバーナーの反応、つまりメタンの燃焼における熱エネルギーの発生と、

それによる周囲の温度上昇のしくみを説明した。図3は、エネルギーモデルを作成する様子と完成したものである。本実践では化学変化前後のエネルギーの保存を重視するため、各物質がもつ化学エネルギーの大きさの違いには触れないこととした。この方法を利用して、次時からの化学変化について説明することになる。

表2 第1時の授業展開

段階	学習活動	指導や支援の留意点
導入	1 ガスバーナーについて知っていることを学習シート【図2】に記入する。【図2 A】	・各部の名称, 加熱器具であることを確認する。
展開	課題: ガスバーナーについて理解を深めよう!	
	2 加熱器具であるガスバーナーを使ってブドウ糖を燃焼させる。【図2 B】	←このとき生徒は, ガスバーナーには注目していない。
	3 ガスバーナーの炎に注目し, どのような反応が起こっているか考える。【図2 C】 メタン + 酸素 → 水 + 二酸化炭素  なぜ, 燃えはじめたのか? ……① なぜ, 燃え続けているのか? ……②	・本時の課題であるガスバーナーに目を向けさせる。 ・集気びんを使って, 水と二酸化炭素が出ていることを確認する。 ・①の問いかけで燃焼の三条件を確認し, それをもとに②について考えさせる。燃焼によって発生した熱により反応が続いていることに気付かせる。
	4 物質は化学エネルギーをもっていること, 化学エネルギーが熱エネルギーに変換していることを知る。【図2 D】	・熱エネルギーは, 温度の変化で測定できることを確認する。
	5 ガスバーナーの現象や事前調査を振り返り, 本単元の本質的な課題に気付く。	・はじめにグループ内でお互いの事前調査の内容を比較させ, 記述内容を分類させる。結論が出ない場合はグループを超えて比較させる。
6 メタンの燃焼反応を, 折り紙を使用したエネルギーモデルで表す。	・エネルギーの保存の考え方【図2 E】を説明し, メタンの燃焼を例として, エネルギーモデルの使い方を説明する。	
終結	7 OPP シートのAに「今日の授業で重要だと思うこと」を記入させる。	

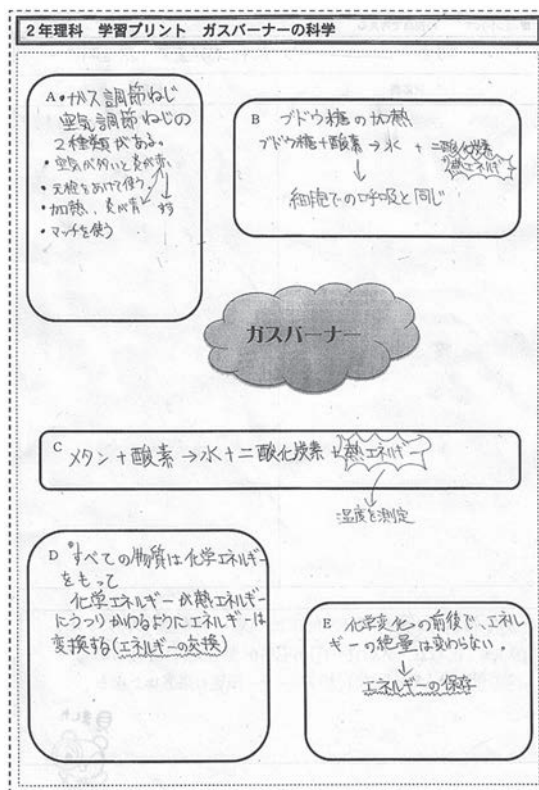


図2 第1時の学習シート(前半)

【2時間目】発熱反応をエネルギーモデルでパフォーマンス

第2時は, 発熱反応の実験を行い, 前時に学習したエネルギーモデルを活用して, 思考, 判断, 表現させる。モデルの活用により熱エネルギーの発生についてさらに理解を深めるのがねらいである。指導の流れは表3の通りである。

この時間では, 課題を, あえて“加熱をしない”化学変化とした。第1時のような授業をしても, 「ガスバーナーによる加熱によって反応が進み続ける」と根強く思っていたり, 「加熱しないと化学変化がはじまらない」と考えたりする生徒が多いのではないかと考えたからである。

今回の反応は発熱反応であり, 基本的には第1時と同じ考え方で説明できるので, 生徒は迷うことなくエネルギーモデルを活用して, 説明することができた(図4, 5)。



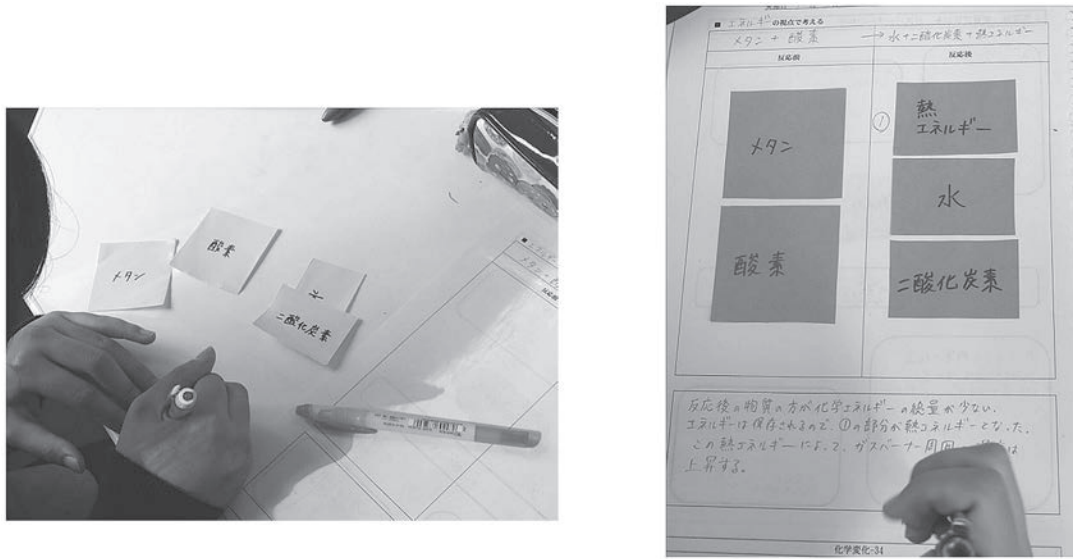


図3 メタンの燃焼のエネルギーモデルを作成する様子（左）と完成したものの（右）

表3 第2時の授業展開

段階	学習活動	指導や支援の留意点
導入	1 前時の学習内容を確認する。	
展開	課題：加熱をしない化学変化をモデルを使って表してみよう！	
	2 実験方法を確認し、実験を行う。 ①化学かいろ ②マグネシウムリボン+塩酸 ①、②の実験で、反応前後の温度を測定する。	・①、②の化学変化にかかわる物質は、教師が提示する。
	3 折り紙のエネルギーモデルを用いて、①、②の反応で温度が上昇したことを考察する。	
4 グループ内、学級全体で意見を交流する。		
終結	5 加熱を必要としない化学変化に伴う熱エネルギーについて理解する。	

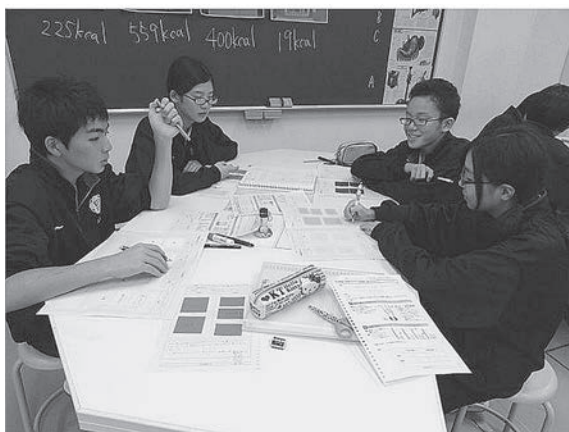


図4 グループ内で交流する様子



図5 学級全体で交流する様子

【3時間目】吸熱反応をエネルギーモデルでパフォーマンス

第3時は、吸熱反応の実験を行い、エネルギーモデルを活用して、思考、判断、表現させる。実験結果とエネルギー保存の考え方をもとにエネルギーモデルを作成し、反応前の熱エネルギーが使われたことにより温度が低下したことを理解させるのがねらいである。指導の流れは表4の通りである。

今回の化学変化をエネルギーモデルで表すことは難しいのではないかと考えていたが、下書きの

段階（図6）で熱エネルギーを反応前に位置付けている生徒がほとんどであった。しかし、熱エネルギーと温度低下の関係を言葉で表現することに苦勞していた生徒がいたのも事実である。この時間では、教師がまとめるようなことはせず、生徒同士の交流を経て、さらに考察の文章を吟味させて学習シートを提出させた（図7）。

学年160名中2名であるが、グループ内での交流後も他の生徒とは違う「マイナスの熱エネルギー」を反応後に位置付けて説明した生徒がいた（図8）。授業後に個別に考え方を聞いてみると、

表4 第3時の授業展開

段階	学習活動	指導や支援の留意点
導入	1 前時の学習内容を確認する。	
展開	課題：アンモニアの発生をモデルを使って表してみよう！	
	2 実験方法を確認し、実験を行う。 ・塩化アンモニウム+水酸化バリウム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アンモニアの発生にかかわる物質は、教師が提示する。</li> <li>・熱エネルギーをどこに位置付けるか迷うことが予想されるため、折り紙のエネルギーモデルをつくる前に下書きをさせる。</li> <li>・下書きをもとにグループ内で交流させる。</li> </ul>
	3 エネルギーモデルを用いて、温度が低下したことを考察する。	
	4 グループ内で意見を交流する。	
5 折り紙のエネルギーモデルを用いて、温度が低下したことを考察する。		
終結	6 折り紙のエネルギーモデルの説明文を吟味する。	

■実験結果をモデルで説明する（右ページに清書）前に、モデルと考え方の下書きをしてみよう！

反応前	反応後	【考え方】
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">塩化アンモニウム</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">水酸化バリウム</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">熱エネルギー</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">水</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">塩化バリウム</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">アンモニア</div>	<p>塩化アンモニウムと水酸化バリウムが熱エネルギーを利用して化合した。それによって熱エネルギーが化学エネルギーに変換され、水と塩化バリウムとアンモニアになり、温度が下がった。</p>

図6 吸熱反応をモデルで表した下書きの例

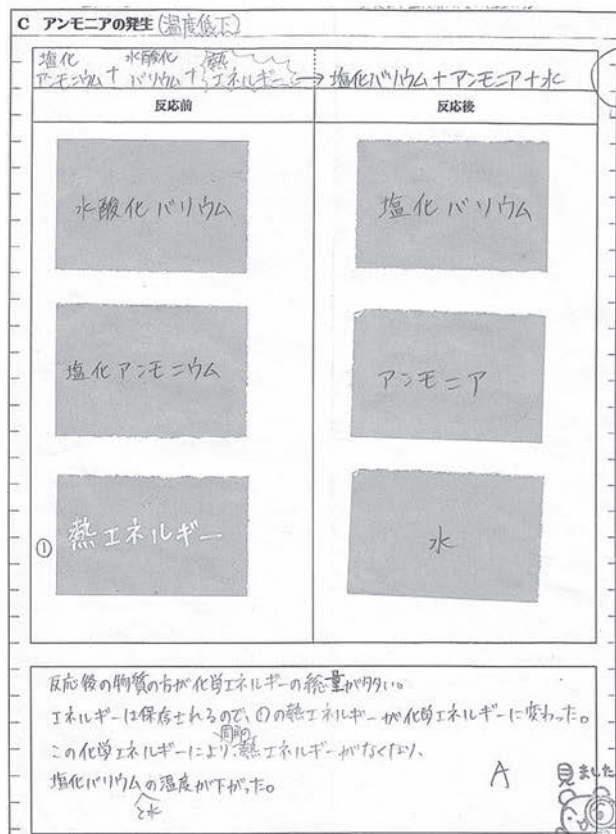


図7 吸熱反応をモデルで表した清書の例

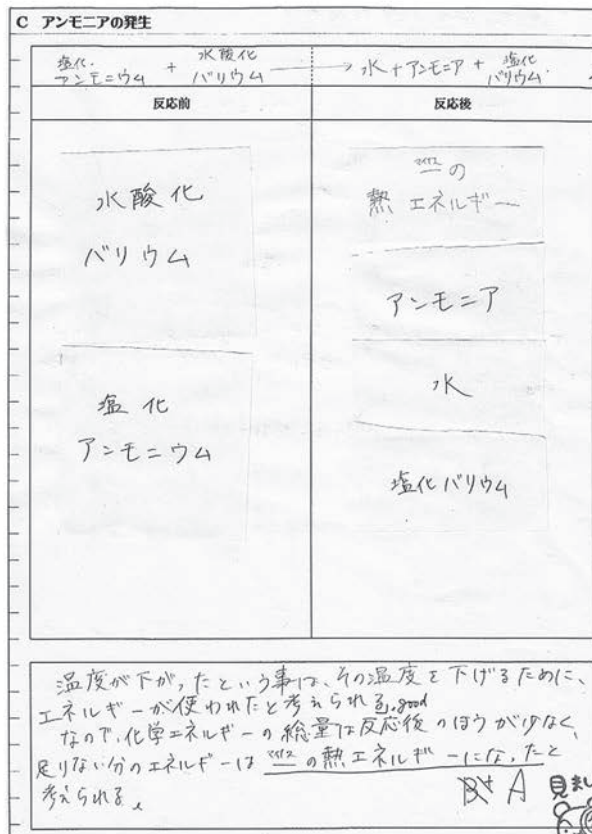


図8 マイナスの熱エネルギーを使った例

熱エネルギーが使用されたことにより温度が低下したという考え方があった。反応前に「マイナスの熱エネルギー」を移動したらプラスになるのではないかという数学の移項の説明をしたところ、その考えもすんなり理解していた。

【4時間目】発熱・吸熱反応の一般化と応用

第4時〈指導の流れは表5〉は、はじめに第3時のまとめからスタートした。前時は、エネルギーモデルはすんなりできたものの、アンモニアの発生による温度低下と熱エネルギーの関係を文で表現することに苦労していた生徒が多かった。そこで、前時の段階で「熱エネルギーがうばわれて」や「熱エネルギーが使われて」などの文章表現を使っていた生徒に発表させ(図9)、温度低下と熱エネルギーの関係について理解させた。

その後、発熱反応と吸熱反応の一般化を行い、電気分解や光合成にもエネルギーモデルの考え方を応用させ、理解の深化を図ろうとした。

また、これまでの学習の中で、表面的には熱エネルギーの出入りを説明できていたものの、生徒からは次の2つの疑問が挙げられていた。OPPシートの学習履歴への記述や授業後の質問である。1つは、「反応前後で原子の種類と個数が同じなのに、なぜ化学エネルギーの総量が異なるの



図9 アンモニアの発生による温度低下を説明する様子



表5 第4時の授業展開

段階	学習活動	指導や支援の留意点
導入	1 前時の学習内容のまとめをする。	
展開	課題：化学変化と熱エネルギーの出入りについて理解を深めよう！	
	2 発熱反応と吸熱反応を一般化する。	
	3 反応前後で原子の種類と個数が同じなのに、化学エネルギーの総量が異なるのはなぜか説明を聞く。	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素の燃焼を例とし、水素、酸素、水を構成する原子に注目させ、それぞれ結びついている原子が異なることに気付かせる。</li> <li>具体的な数字を用い、結合する原子が違うために化学エネルギーの総量が異なることを理解させる。</li> <li>ガスバーナーの実験を振り返り、周囲の熱エネルギーがエネルギーの保存に関係していることを理解させる。</li> </ul>
	4 発熱反応の熱エネルギーがどこに行くのか、吸熱反応の熱エネルギーがどこから来るのか確認する。	
	5 水素の燃焼と水の電気分解、ブドウ糖の燃焼と光合成を比較させながら、エネルギーの出入りについて考察する。	
6 5のエネルギーモデルをグループ、学級全体で確認する。		
終結	7 OPP シートのBに「今日の授業で重要だと思うこと」を記入させる。	

か？」ということ。もう1つは、「発熱したエネルギーはどこに行って、うばわれた（吸収された）熱はどこからきたのか？」という2点である。特に2つ目については、熱エネルギーが反応前後の物質にとどまっているという考え方につながり、化学エネルギーと熱エネルギーの区別がなくなっていた。

そこで、1つ目については、物質によって原子同士が結びつくためのエネルギーが違っていることを説明することにした。2つ目については、ガスバーナーの反応を振り返り、発生した熱エネルギーは反応後の二酸化炭素と水にとどまるのではなく、周囲（空気中）に広がっていくことを確認した。

#### 【5・6時間目】「化学変化と熱」レポート作成

このレポートは、本単元のまとめとなるパフォーマンスである。化学変化と熱の関係性については、生徒一人一人が自分の課題をもって学習

してきたはずである。ここで、課題を明らかにし、それについて解決する形のレポートを作成することにした。

また、このレポート作成にあたり、「新しい発見」、「図や式・その説明文」、「用語」、「モデル」、「日常生活とのかかわり」の5項目において、生徒に評価規準を作成させた(図10)。これがレポー

○次の評価の観点クリアすること。

項目	具体的な内容	評価
新しい発見	化学変化により、発熱するだけでなく吸熱する場合もあることを図と文でくわしく説明する。	A
図や式 その説明文	図や反応式を適切に用い、それについてわかりやすく説明している。	B
用語	「吸熱・発熱反応」、「エネルギー保存」の3つのキーワードを適切に用い、表現する。	A
モデル	折り紙によるエネルギーモデルを使用し、エネルギー量を面積で表現している。	A
日常生活とのかかわり	吸熱・発熱反応は、日常でいつどこで利用されているのかを明確にする。	A

(A:よくできた B:ほほできた C:努力を要する)

図10 生徒が作成した評価規準の例



トの構想、作成過程において指標となり、よりよいレポートが作成されることをねらった。

この時間の後半には、レポート作成に入り、6時間目まで作成を続け、終了できなかった場合には宿題とした。

### (3) 評価のポイント

#### ① 化学変化と熱についての理解を深める形成的評価について

本単元の目標は、「化学変化によって熱を取り出す実験を行い、化学変化には熱の出入りが伴う

ことを見いだすこと。」である。これを達成できるように、2～4時間目（表6～8）では形成的評価を行い生徒の理解を確認した。

#### ② 総括的評価の1つとしてのレポート

生徒一人一人の課題にもとづいて作成するレポートの教師側の評価のポイントは2つである。「化学変化に伴う熱エネルギーによって温度変化が起こることを説明している」「折り紙によるエネルギーモデルを使用する」である。これについては、レポートに取り組んだすべての生徒が達成できていると評価した（図11）。

表6 第2時「発熱反応」のルーブリックとその評価の割合

段階	科学的な思考・表現	割合
A	熱エネルギーが発生することをエネルギーモデルで表現し、熱エネルギーの発生と温度上昇を関係付けて文で説明することができる。	65%
B <sup>+</sup>	熱エネルギーが発生することをエネルギーモデルと文で説明することができる。	23%
B	熱エネルギーが発生することをエネルギーモデルで表現することができる。	12%
C	反応前後のエネルギー量が保存されていない。	0%

表7 第3時「吸熱反応」のルーブリックとその評価の割合

段階	科学的な思考・表現	割合
A	アンモニアの発生で、熱エネルギーがうばわれることをエネルギーモデルで表現し、熱エネルギーの消失と温度低下を関係付けて文で説明することができる。	46%
B <sup>+</sup>	アンモニアの発生で、熱エネルギーがうばわれることをエネルギーモデルと文で説明することができる。	40%
B	アンモニアの発生で、熱エネルギーがうばわれることをエネルギーモデルで表現することができる。	13%
C	反応前後のエネルギー量が保存されていない。	1%

表8 第4時「発熱反応・吸熱反応の一般化と応用」のルーブリックとその評価の割合

段階	科学的な思考・表現	割合
A	水の電気分解や光合成をエネルギーモデルで表現し、文で説明することができる。	79%
B	水の電気分解や光合成をエネルギーモデルで表現することができる。	21%
C	水の電気分解や光合成をエネルギーモデルで表現することができていない。	0%

～エネルギーの基本知識～

①そもそも、化学エネルギーとは物質のもつエネルギーであり、言い換えば物質を構成する原子の結合エネルギーである。  
 ②すべての物質は化学エネルギーをもっている。  
 ③化学エネルギーが熱エネルギーに変わるにつ、エネルギーはうつり変わる(エネルギー変換)。  
 ④化学変化の前後でエネルギーの総量は変わらない(エネルギーの保存)。↑ガバナー

ex)  $\text{メタン} + \text{酸素} \rightarrow \text{水} + \text{二酸化炭素} + \text{熱エネルギー}$   
 $\text{化学エネルギー} + \text{化学エネルギー} \rightarrow \text{化学エネルギー} + \text{化学エネルギー} + \text{熱エネルギー}$

物質Aの化学エネルギー → 物質Cの化学エネルギー  
 物質Bの化学エネルギー → 熱エネルギー

物質Dの化学エネルギー → 物質Eの化学エネルギー  
 熱エネルギー

＜化学変化で温度が上がる＞  
 ・化学変化によって周囲に熱エネルギーが発生する反応。  
 → 発熱反応(温度上昇)  
 ex) 鉄粉の酸化(化学変化)  
 $\text{鉄} + \text{酸素} \rightarrow \text{酸化鉄} + \text{熱エネルギー}$   
 Why? → 鉄と酸素が結び付いたとき、両者の化学エネルギーを使って酸化し、熱エネルギーと酸化鉄が生まれた。(物質AとBの物質名の化学エネルギーの総量より、物質Cの化学エネルギーの方が大きかったため)

＜化学変化で温度が下がる＞  
 ・化学変化をするために熱エネルギーを必要とし、それを周囲からうばう反応。  
 → 吸熱反応(温度低下)  
 ex) アンモニアの発生  
 $\text{塩化アンモニウム} + \text{水} \rightarrow \text{アンモニア} + \text{塩酸}$   
 Why? → 反応の化学エネルギーより反応物の化学エネルギーの方が大きい反応の速い方がエネルギーの保存にエネルギーが必要となり、周囲の熱エネルギーを奪って温度が下がった。

発熱反応と日常生活の関わり...? 化学変化と生活の関わりを探る。  
 ・化学変化は、酸が酸化すると熱が発生する熱が利用されている。  
 ・例) ① 暖房: 石油やガスが燃焼して熱を発生させる。② 調理: 薪やガスが燃焼して熱を発生させる。③ 発電: 石油やガスが燃焼して熱を発生させ、熱を電気に変換する。  
 ・POINT: 水が氷になるときに熱を放出する。これは化学変化ではないが、熱エネルギーの放出という点では化学変化と類似している。

＜植物の光合成でも...?＞  
 ・二酸化炭素 + 水 + 光エネルギー(日光) → グルコース + 酸素  
 つまり、植物の光合成が行われるためには、エネルギーが必要である。ただし、吸熱反応ではない。  
 ・その他: ① 呼吸作用: 酸素とグルコースが反応して二酸化炭素と水を生成し、熱エネルギーを放出する。② 蒸発: 水が気体になるときに熱エネルギーを吸収する。③ 融解: 氷が溶けるときに熱エネルギーを吸収する。④ 凝固: 水が氷になるときに熱エネルギーを放出する。⑤ 結露: 水蒸気が凝縮して水滴になるときに熱エネルギーを放出する。⑥ 凍結: 水が氷になるときに熱エネルギーを放出する。⑦ 融解: 氷が溶けるときに熱エネルギーを吸収する。⑧ 凝固: 水が氷になるときに熱エネルギーを放出する。⑨ 結露: 水蒸気が凝縮して水滴になるときに熱エネルギーを放出する。⑩ 凍結: 水が氷になるときに熱エネルギーを放出する。

化学変化と熱の関係と化学エネルギーで説明しよう。

＜学習前＞「化学変化」と「熱」の2つの言葉を使って、文を作らなさい。  
 ① 熱を加えることで化学変化をする物質がある。  
 ② 化学変化で熱が発生する物質がある。

③ ガバナー。科学。④  
 ・ガバナーは、メタン + 酸素と書けることができた。火をつけ化学反応が起こると、二酸化炭素 + 水 + 熱エネルギーが発生する。これを化学エネルギーと習った。下図のとおりだ。  
 ・反応前・物質: 物質は化学エネルギーをもっている。化学エネルギーが熱エネルギーに変化するとき、熱エネルギーは物質から出ていく。  
 ・反応後・物質: 物質は化学エネルギーの総量が少なくなった。(エネルギーは物質から出ていく)。反応前・物質の熱エネルギーは、反応後・物質の熱エネルギーよりも大きくなる。このエネルギー変換で下った熱エネルギーは、ガバナー。周囲の温度は上昇する。  
 エネルギーの保存 - 化学変化の前後でエネルギーの総量は変わらない。

⑤ 加熱もしない。化学変化は。  
 ① 試験管にうすい塩酸と水酸化ナトリウムを混ぜる。(A)  
 ② マグネシウム粉を水酸化ナトリウムから、塩酸と混ぜる。(B)  
 ③ 結果① → Aの時よりBの時の方が温度が上昇している。なぜか? 熱エネルギーが放出されている。  
 ・理由①  
 マグネシウムと塩酸が反応したことで、塩酸マグネシウムと水素が発生した。  
 ・理由②  
 マグネシウムと塩酸が反応したことで、塩酸マグネシウムと水素が発生した。この反応は化学反応で、熱エネルギーが放出された。熱エネルギーは物質から出ていく。反応後・物質の熱エネルギーは、反応前・物質の熱エネルギーよりも大きくなる。このエネルギー変換で下った熱エネルギーは、ガバナー。周囲の温度は上昇する。

反応前	反応後	反応前	反応後
メタン	熱エネルギー 二酸化炭素	マグネシウム	熱エネルギー 塩酸
酸素	水	塩酸	水素

↑ エネルギーモデルで考えよう...

⑥ 発熱  
 ① 水酸化ナトリウムと塩酸を混ぜると、塩酸と水酸化ナトリウムが反応して、塩化ナトリウムと水が発生する。  
 ② 水酸化ナトリウムと塩酸を混ぜると、塩酸と水酸化ナトリウムが反応して、塩化ナトリウムと水が発生する。この反応は化学反応で、熱エネルギーが放出された。熱エネルギーは物質から出ていく。反応後・物質の熱エネルギーは、反応前・物質の熱エネルギーよりも大きくなる。このエネルギー変換で下った熱エネルギーは、ガバナー。周囲の温度は上昇する。  
 ③ 結果① → 反応前・物質の熱エネルギーは、反応後・物質の熱エネルギーよりも大きくなる。このエネルギー変換で下った熱エネルギーは、ガバナー。周囲の温度は上昇する。  
 ④ 理由①  
 水酸化ナトリウムと塩酸が反応したことで、塩化ナトリウムと水が発生した。この反応は化学反応で、熱エネルギーが放出された。熱エネルギーは物質から出ていく。反応後・物質の熱エネルギーは、反応前・物質の熱エネルギーよりも大きくなる。このエネルギー変換で下った熱エネルギーは、ガバナー。周囲の温度は上昇する。  
 ⑤ 理由②  
 水酸化ナトリウムと塩酸が反応したことで、塩化ナトリウムと水が発生した。この反応は化学反応で、熱エネルギーが放出された。熱エネルギーは物質から出ていく。反応後・物質の熱エネルギーは、反応前・物質の熱エネルギーよりも大きくなる。このエネルギー変換で下った熱エネルギーは、ガバナー。周囲の温度は上昇する。

＜学習後＞「化学変化」と「熱」の2つの言葉を使って、文を作らなさい。  
 ① 化学変化をするために、熱を加える必要はない物質がある。  
 ② 化学変化で熱が発生する。化学エネルギーが熱エネルギーと変わり、熱エネルギーが放出されている時は熱が下がる。  
 ③ 化学変化が起こるとき、熱が発生したり、うばわれるりする。  
 ④ 化学変化で発生した熱によって、反応がすすむ。

＜感想＞  
 ・化学変化の新しい発見、知ることによって化学変化することによって、2年生の前期でやった化学変化の学習で、水酸化ナトリウムと塩酸、水酸化ナトリウムと硫酸を混ぜると、水酸化ナトリウムと硫酸が反応して、硫酸ナトリウムと水が発生する。この反応は化学反応で、熱エネルギーが放出された。熱エネルギーは物質から出ていく。反応後・物質の熱エネルギーは、反応前・物質の熱エネルギーよりも大きくなる。このエネルギー変換で下った熱エネルギーは、ガバナー。周囲の温度は上昇する。

図11 生徒が作成した「化学変化と熱」レポートの例



5 生徒の変容

(1) 事後調査の記述から

本単元の学習後、学習前と同様に『「化学変化」と「熱」の2つの言葉を使って、文をつくりなさい。』という問いについて自由記述させた。その結果は図12右のとおりである。本単元の目標であ

る化学変化に伴う発熱と吸熱についての変容は一目瞭然である。ほとんどの生徒が発熱反応について記述し、学習前は0%だった吸熱反応については88%の生徒が記述している。生徒にとって、化学変化についての新しい視点を発見することになり、充実した学びになったと言える。

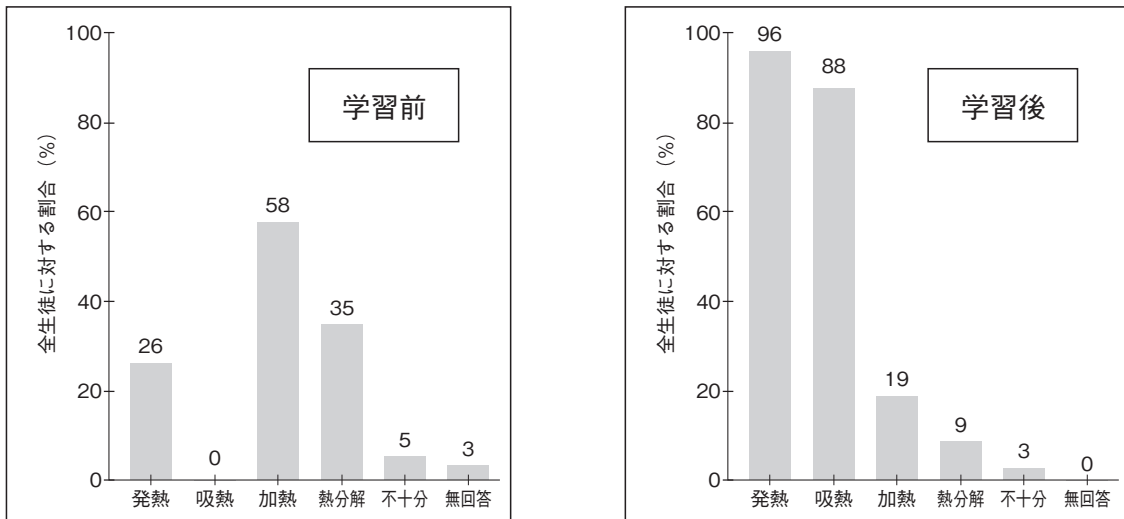


図12 「化学変化と熱」についての自由記述の学習前（左）と学習後（右）の比較

The OPP sheets contain the following content:

- Learning Objectives (学習前):**
  - 「化学変化」と「熱」の2つの言葉を使って、文をつくりなさい。化学変化には、物質が熱で分解、熱分解という法がある。
  - 20 cm<sup>3</sup>の水素と酸素の混合物に点火すると水ができる。水素も酸素も熱をいよるに燃やせる性質には、酸素の体積を何 cm<sup>3</sup>にすればよいか。また、この時の水素と酸素の質量比はどうなるか。考え方がわかるように説明しなさい。  
水の化学式は H<sub>2</sub>O である。このことから水素と酸素の質量比は常に 2:1 ということが分かる。この問題は、水素が 20 cm<sup>3</sup> だから、酸素は 10 cm<sup>3</sup> になる。
- Learning History A (学習履歴 A):**
  - 10月16日 タイトル: 水素と酸素の反応  
反応前 → 反応後  
水素 酸素 → 水  
化学式: 2H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> → 2H<sub>2</sub>O  
水素は少量の反応で酸素は大量の反応でできる。
  - 11月7日 タイトル: 質量保存の法則  
質量保存の法則  
→ 物質を水に溶かすこと(溶解)は状態変化  
化学変化の反応前後で物質全体の質量が変化しない。  
水素に酸素を反応させたとき、反応前後で原子の種類と数が変わらない。  
単体の酸化の時は質量が増えているがこれは酸化している物質の質量は変わらない。  
銅と酸素の酸化の方が増えている。(0.2g)
  - 11月9日 タイトル: 質量の関係は?  
炭酸ナトリウムと水と二酸化炭素の質量の関係 → 簡単にいうと比例の関係。  
これは、それぞれの物質の原子の種類と数の割合が変わらないからである。  
→ 大原則  
原子の種類によって原子団の質量は変化する。  
例) 200NaHCO<sub>3</sub> → 100Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 100H<sub>2</sub>O + 100CO<sub>2</sub>  
それぞれの質量は全てが100倍になる。
- Learning History B (学習履歴 B):**
  - 10月21日 タイトル: 熱エネルギーの出入り  
化学変化によって温度が上がる → 発熱反応  
化学変化によって温度が下がる → 吸熱反応  
発熱反応: A + B → C + 熱エネルギー  
吸熱反応: D + 熱エネルギー → E + F  
① 温度が上がるのは化学変化によって。  
② 温度が下がるのは化学変化によって。  
③ 温度が上がるのは化学変化によって。  
④ 温度が下がるのは化学変化によって。
  - 11月16日 タイトル: 酸化の反応と酸化の反応  
20gの銅の酸化の実験で、実験値が理論値と合わない。これは、酸化の反応で銅が酸化して、空気中には、酸素の割合が4、酸素の割合が1なので、銅は酸化して銅酸化物になる。酸化の反応は、銅と酸素の割合が4:1なので、銅は酸化して銅酸化物になる。  
① 酸化の反応は、銅と酸素の割合が4:1なので、銅は酸化して銅酸化物になる。  
② 酸化の反応は、銅と酸素の割合が4:1なので、銅は酸化して銅酸化物になる。
  - 11月10日 タイトル: 物質の質量比  
理論値は、実験値と比較してその実験値が正しいかというところを確かめる必要がある。  
質量の関係  
銅の酸化  
2Cu + O<sub>2</sub> → 2CuO (Cu = 64, O = 16)  
2x64 1x32 2(64+16)  
128 32 160 ← 最大の質量比は32だから  
4 : 1 : 5  
1:1:1の割合で銅と酸素の質量比は4:1:5になる。

図13 本単元で作成した OPP シートの例 枠内が本単元の記述内容

また、パフォーマンスの1つとして位置付けたOPPシートも充実したものになっている(図13, 14)。学習履歴A, Bには「授業で重要だと思ったこと」を記入させた。生徒は自分なりに思考して重要なことを判断し記述する。もし、文章表現

に間違いがあったとしても、先生が修正してくれると考えているので他者に頼らず自分の言葉で書く。これは生徒と教師の信頼関係によって成立する。この学習履歴への記述は、教師にとっても重要である。記述内容によって、自分がねらったと

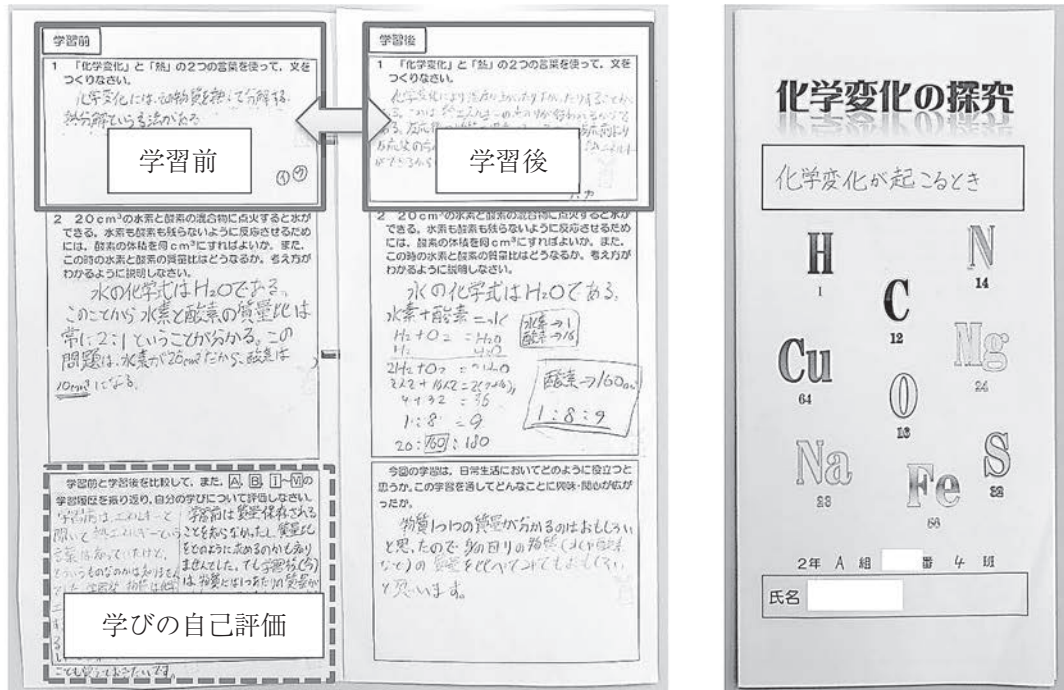


図14 OPPシートは、右側を折りたたむと学習前と学習後の自分の記述を対比しやすいようになっている(左)。この比較や学習履歴を振り返り、自分の学びを点線の枠に評価する。左側を折りたたむと表紙が現れコンパクトな状態になる(右)。

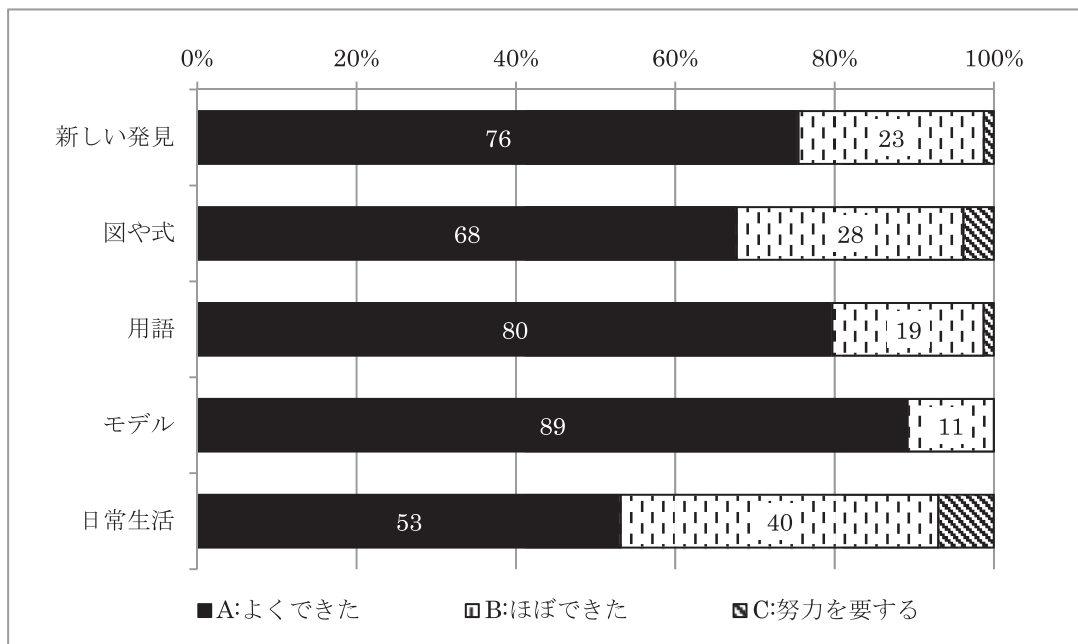


図15 「化学変化と熱」レポートの生徒による自己評価の集計



おりの授業ができたかどうか判断できるからである。また、次の授業に不十分な点を改善して臨むことができる。

生徒による学びの自己評価を見ても、本単元の学習によって、化学変化と熱エネルギーの関係について新たな視点をもつことができたという学習の有用性を記述する生徒が多かった。

### (2) 生徒の自己評価から

本単元の最終的なパフォーマンスであるレポートについて、生徒自身が設定した評価規準（図10）にもとづいて評価をさせた。生徒の評価もまたおおむね達成できたという結果になっている（図15）。特に、本実践で取り組んできたエネルギーモデルの使用については評価が高い。一方、他に比べると評価が見劣りしてしまうのは「日常生活とのかかわり」である。多くの生徒は、それについて、カイロやガスコンロなどの例を挙げている。これらが具体例として挙げられていれば十分であると思うが、吸熱反応の例を複数示すことができなかつたのが評価を下げた原因であろうと考えられる。吸熱反応の例として、冷却パック以外に、乾湿計や打ち水などの気化熱を挙げている生徒もいた。数少ない吸熱の現象を挙げられたことは評価できる。ただし、気化熱の例は物理現象であり、原子の組み換えが起こる化学変化に伴う吸熱反応の例には当てはまらない。

### (3) レポート作成を終えての生徒の感想から

以下の感想は学年のほんの一部でしかないが、充実した取組だったことがうかがえる。全体的に肯定的な感想であった。

- ・この單元ではほとんどが新発見でした。新しく発見したことを中心にレポートを作成しました。日常生活について考えてみると、思っていたよりも身近にエネルギーが存在していることが分かりました。エネルギーにも様々あり、今回は熱エネルギーについて考えを深めたので、光や電気のエネルギーについても調査してみたいなと思いました。化学変化についての考えが深まったとともに、興味をもちました。普通に生活しているけれど、不思議なことはいっぱいあるなと思いました。化学で1つ1つ説明できるようになったらカッコイイですね。
- ・今回の化学変化と熱エネルギーの学習で、この2つを関連させることにより、より理解が深まりました。レポート作成して、今回の單元の一連を頭に入れることができたと思います。
- ・様々な実験を1つ1つ振り返ることができた。また、折り紙によるエネルギーモデルを用いることで、より分かりやすく考えることができた。私たちの体内で起きている化学変化や熱エネルギーについても知ることができてよい機会となった。
- ・発熱反応、吸熱反応についてまとめるとき、特に吸熱反応について日常生活でのかかわりある具体例がなかなか見つからなかった。もう少し見つけられたら良かったと思った。
- ・レポートを作成してみて、内容が伝わりやすいようにまとめるのは難しかったけど、うまくコンパクトに書けてよかった。

## 6 結論

本研究では、化学変化と熱エネルギーの関係性の理解のために、発熱反応と吸熱反応のしくみに踏み込んだ学習活動を展開した。そのために考案した教材が、エネルギーの大きさを面積で表すエネルギーモデルである。化学変化による温度変化の結果をもとに、その原因についてエネルギーモデルを用いて思考、判断する活動を通して理解に迫ろうとした。また、折り紙を用いたエネルギーモデルは表現活動において視覚的に訴えるという点で効果が期待された。

授業者の実感として、エネルギーモデルの活用は非常に有効であった。特に、吸熱反応の思考場面において効果的であったと考えている。これまでの授業では、化学変化によって温度が上昇すれば熱エネルギーが発生したことになりその熱エネルギーを反応式の右辺に書く、温度が低下していれば熱エネルギーがうばわれたことになりその熱エネルギーを反応式の左辺に書くというような表面的な知識の獲得、悪く言えば記憶にとどまり、本当の意味での理解には至っていなかったと考えている。しかし、今回の実践では、生徒がエネルギーモデルを用いて熱エネルギーの位置付けを考え、発熱反応と吸熱反応のしくみを説明するプロセスを踏んだことで理解が可能となり、化学変化と熱エネルギーの関係性が強く印象に残るものとなったのではないかと考えている。これは、実践後の調査の自由記述からも明らかである。さらに生徒たちが学びの有用性を実感できたことは今後の学習にむけた意欲につながると考えられる。折り紙の使用については、他者に説明する上では視覚的な面で非常に優れていると感じた。ただ、使用する折り紙の色や、折り紙を切ったり、糊付けしたりするのに時間がかかってしまう点についてはまだまだ改善の余地がある。

## 7 おわりに

この学習内容は指導要領の今次改訂により3年生から2年生に移行した内容である。「化学変化と原子・分子」の学習と時期を隔てず学習するこ

とが可能となったが、3年生の「エネルギー」を学習していないというデメリットも生じる。しかし、エネルギーという用語は日常生活でもよく使われている用語であり、1年生の光合成や2年生の細胞の呼吸でも使われている。実際、今回の実践において、生徒たちは熱エネルギーという用語を違和感なく使っていた。また、化学エネルギーやエネルギーの変換という用語については、技術・家庭（家庭分野）の食生活でそれらが意味する内容を学習している。例えば、食物がエネルギーをもっていることや、そのエネルギーが活動したり体温を保ったりするために使われることである。このような観点からも、社会科の「資源・エネルギー」や技術分野の「エネルギー変換」などとの関係を見通した単元づくりが不可欠である。

今回のエネルギーモデルを活用した思考活動は、エネルギーの保存が大前提となる。本実践では教師が知識として提示し、生徒たちはそれを活用して思考、判断することで、化学変化に伴う熱エネルギーの出入りについて理解を深めた。しかしながら、粒子概念と同様に不可視で実証が難しい概念をどこで学習させるかは議論が尽きないことであろう。ただ、1つ言えるのは、本実践でのエネルギーモデルは、3年生のエネルギー学習に十分に応用できるということである。エネルギーの多様性、変換性、保存性、そして、エネルギー効率の学習については特に有効であると考えられる。

最後に、本研究で掲げた「化学変化と熱エネルギーの理解を深める」という目的の先には、本実践によるパフォーマンスを通して、生徒が「自ら課題を見いだす」ことがあった。そのために、本質的な課題に迫るための視点を与え、疑問を抱くような事象の提示を意識した。ガスバーナーの燃焼がその1つであったが、生徒にとってはガスバーナーの見方が変わり、これまで何回も使ってきたガスバーナーが新鮮に見えたに違いない。授業後、こんなことを私に話してきた生徒がいた。ガスバーナーに点火する際のマッチについて、「擦ったときの摩擦熱が燃えはじめるきっかけで、

燃え続けるのはマッチが燃えたときに発生する熱のためですね。」と納得した表情で説明しにきた。うれしい瞬間であった。生徒が主体的に探究し、他の事象に関係付けたり、発展していくような学びである。今後もそれが可能な教材開発および単元開発に取り組んでいきたい。

### 参考文献

- 1) 文部科学省 (2008) 『中学校学習指導要領』
- 2) 文部科学省 (2008) 『中学校学習指導要領解説 理科編』
- 3) 岡村定矩他 (2012) 『新しい科学 2年』東京書籍
- 4) 霜田光一他 (2012) 『中学校科学 2』学校図書
- 5) 塚田捷他 (2012) 『未来へひろがるサイエンス 2』啓林館
- 6) 有馬朗人他 (2012) 『理科の世界 2年』大日本図書
- 7) 細谷治夫他 (2012) 『自然の探究 中学校理科 2』教育出版
- 8) 文部科学省 (2009) 『高等学校学習指導要領解説 理科編』
- 9) 長倉三郎他 (2003) 『化学 I』東京書籍
- 10) 竹内敬人他 (2003) 『ダイナミックワイド図説化学』東京書籍
- 11) 数研出版編集部 (2006) 『改訂版フォトサイエンス化学図録』数研出版
- 12) 浜島書店編集部 (2002) 『ニューステージ新訂化学図表』浜島書店
- 13) 堀哲夫 (2011) 「OPPA の基本的骨子と理論的背景の関係に関する研究」『山梨大学教育人間科学部紀要』 Vol.13