

## 「温度と熱」の科学的定義に基づいた 中学校理科単元「化学変化と熱」における授業実践

Teaching practice regarding the subject “Chemical changes and heat” in a junior high school on the basis of scientific definition of “temperature and heat”

渡部 康弘\*      園山 裕之\*\*  
Yasuhiro WATANABE      Hiroyuki SONOYAMA  
西山 桂\*\*\*  
Katsura NISHIYAMA

### 要 旨

平成20年の中学校学習指導要領改訂に伴い、「化学変化と熱」の単元において「エネルギー」ではなく「熱」に焦点を当てた学習が開始された。しかし従来手法では、小学校で学ぶ「温度や熱」の概念を継続して使用していることが多く、本単元で温度や熱の科学的な定義を学ぶことは少ない。そのため多くの生徒が温度と熱の正確な概念を形成できていないことが明らかとなった。本研究では、授業導入時に温度と熱を再定義した。その定義に基づいて、単元「化学変化と熱」の授業展開を考案するとともに、中学校理科の授業において実践した。

According to the Curriculum Standards of Science targeting for junior high schools, Revision 2008 by MEXT, Japan, the subject “Chemical changes and heat” focuses on heat, instead of energy. On the other hand, education procedures mostly keep employing the concept “temperature and heat”, which is provided in terms of elementary schools. To our knowledge, there are few reports redefining “temperature and heat” on the basis of scientific background in this subject. Our questionnaires for pupils have revealed that the majority of students have incorrect concepts as regards temperature and heat in reality. In the present study, we introduce scientific definition concerned with temperature and heat in the earliest stage of the subject sequence. We have also provided a teaching practice of this subject, and employed this package in the classes of a junior high school. It is concluded that such a practice we gave in this work is shown to be effective in suitable understanding on chemical changes and heat.

〔キーワード〕 化学変化と熱, 温度と熱, 発熱反応, 吸熱反応  
chemical changes and heat, temperature and heat, exothermic reaction, endothermic reaction

\* 島根大学大学院教育学研究科教育内容開発専攻自然系教育コース  
\*\* 島根大学教育学部附属中学校  
\*\*\* 島根大学教育学部自然環境教育講座

## I 緒言

### 1. 背景

平成20年の中学校学習指導要領改訂に伴い、いくつかの学習内容について取り扱う学年が変更された。中学校理科においては、学年移動した一例として「化学変化と熱」の単元が挙げられる。平成10年度改訂の学習指導要領理科編では、中学第3学年「化学変化とエネルギー」の学習において、熱はエネルギーの一形態として扱われていた。一方、現行の平成20年度改訂の学習指導要領理科編において、当該単元はエネルギー学習以前の中学校第2学年に「化学変化と熱」として移動したことで、化学変化において「エネルギー」ではなく「熱」に焦点を当てた学習内容となった。

化学変化と熱の授業では、普段経験することが少ない吸熱反応、すなわち、周囲の媒体から熱を得て進行する反応の理解が特に困難であると予想される。吸熱反応は、熱の正確な概念形成が図られていなければ理解の難しい現象である。よって本研究では、熱概念を的確にとらえるために「温度と熱の関係」を学習に際して導入することで、実測する温度をもとにしながら熱をとらえてゆくことが可能な授業の提案・実践授業を行う。また、当実践が「化学変化と熱」の単元において効果的であるのかどうか、明らかにする。

### 2. 温度と熱

「熱」を取り扱う際には「温度」も重要な概念となる。それは「温度」という概念が「熱」という概念を導入する際の基礎としての位置を占めるからである。統計熱化学に基づくと、温度は、着目している系のエントロピーのエネルギーに関する偏微分として定義される<sup>1)</sup>：

$$\frac{1}{T} = \left( \frac{\partial S}{\partial E} \right)_{N,V} \quad (1)$$

ここで、 $T$ 、 $S$ 、 $E$ はそれぞれ系の温度、エントロピー、エネルギーを示す。偏微分は、系に含まれる粒子の数 $N$ 及び系の体積 $V$ を一定にして行われる。式(1)によると、二つの系が接触していてエネルギーが系Aから系Bへと流れるとき、系Aの方が「温度が高い」ことを示している。

一方、教育現場においては、式(1)を言語化した形で「熱」と「温度」とが定義されることが多い。例えば文献<sup>3)</sup>では、次のように述べられている。すなわち、温度とは「物体や物質の冷温の度合いを数量的に表したもの」、また熱は「高温の物体から低温の物体へと移動して温度変化をおこすもの」とされている。つまり、温度変化を調べることで熱の移動を見出すことができる(図1)。これは、式(1)を用いた統計熱化学的に厳密な定義とも対応している。

温度や熱に関する学習は小学校から段階的に行われている(図2)。小学校では3学年で暖かさ・冷たさなどの感覚、4・5学年で温度の測定、そして6学年において初めて熱を学習することになる。中学校ではそれらを踏まえ「状態変化と熱」「化学変化と熱」「電気とそのエネルギー(熱量)」において熱に関する科学的な現象・原理・法則の学習がなされるような展開となる。しかしながら、温度概念から熱概念への移行においては、「温度と熱」などの相互関

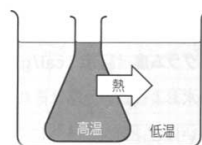


図1 温度と熱の関係<sup>2)</sup>

係を学習する単元は設けられていない。とりわけ温度が低い場合を「熱」によってどのように説明し得るのかについて、授業内容を慎重に構築する必要がある。

一方、温度や熱に関する調査では、子どもが極めて多様な熱のイメージを有していることが分かっている。<sup>4)～5)</sup> また、日常用語としての熱から脱却できない(温度との区別ができない)、熱を具体的な物体(熱素)としてとらえている、冷たい熱が存在するなどの誤った理解や概念も報告されている。<sup>6)～9)</sup>

これらのように、「温度と熱」は日常的なものである一方、その意味や概念は適切ではない場合も多いと考えられる。つまり熱を取り扱う単元において、ただ漠然と「熱」という用語だけを扱うだけでは、個々の生徒に多種多様な熱の解釈を許し、科学的な「熱」の定義に基づかない可能性を含んでいる。よって、生徒に対して正確な熱の提示や温度との区別についての指導を行う必要がある。

### シーケンス(学習の順序)

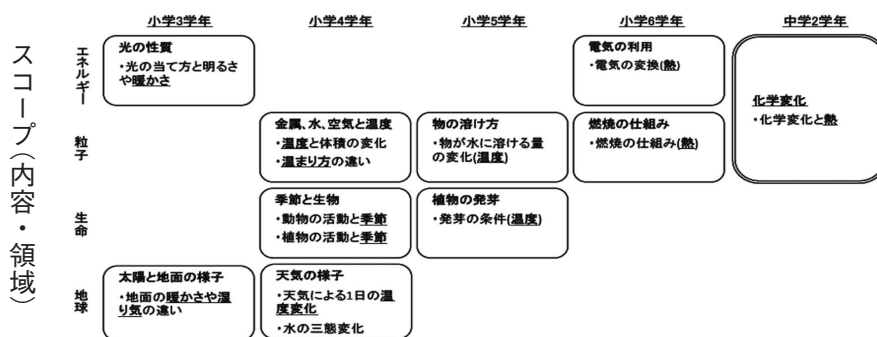


図2 小学校・中学校理科の熱・温度に関する内容構成<sup>10)</sup>

### 3. 化学変化と熱

この項では、化学反応に関する統計熱化学の序論を記述する。熱力学第二法則を用いて、中学理科で取り扱われる化学反応の基礎理論について考察する。

#### (1) エントロピー変化の定義<sup>11)</sup>

温度 $T$ で与えられる系に熱 $\Delta q$ が入ってくる過程を考える。エントロピー変化は、

$$\Delta S = \frac{\Delta q}{T} \quad (2)$$

で与えられる。この場合、 $q$ の符号は系へ入るものが正として定義されているので、発熱反応では $\Delta q < 0$ 、吸熱反応では $\Delta q > 0$ である。また、式(2)の $\Delta$ は、熱が出入りする過程の前後に関する差分とする。ここで、孤立した系A、系Bを考え、温度がそれぞれ $30^{\circ}\text{C}$ 、 $50^{\circ}\text{C}$ であるとしよう。両者を接触させたうえで熱の移動のみを許し、系Bから系Aへ熱 $q$ が自発的に移動したとする。また、ある系のエントロピーを $\Delta S(\cdot)$ と表現する。ここで“ $\cdot$ ”とは、着目している系を示す。熱化学では、着目している系全体を「宇宙」と呼んでいるので、宇宙のエントロピー変化 $\Delta S(\text{univ})$ は：

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{univ}) &= \Delta S(A) + \Delta S(B) \\ &= \frac{\Delta q}{303} - \frac{\Delta q}{323} \\ &> 0\end{aligned}\quad (3)$$

つまり、自発的に進行する不可逆過程ではエントロピー変化が正であることがわかる。これは、熱力学第二法則の結果のひとつである。

## (2) 化学変化に伴うエントロピー変化

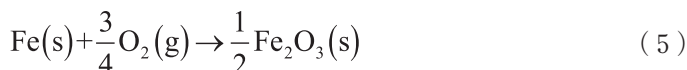
### 1) 発熱反応

次に、化学変化の進行に伴う系のエントロピー変化を具体例とともに考察しよう。今回着目しているエントロピー変化  $\Delta S(\text{sys})$  は：

$$\Delta S(\text{sys}) = \Delta S(\text{p}) - \Delta S(\text{r}) \quad (4)$$

と定義される。ここで、“ $\cdot$ ” = “sys”，“p”，“r” とは、それぞれ “system (系)”，“p (product; 生成物)”，“r (reactant; 反応物)” を意味している。

具体例として、まず鉄の酸化を考えよう。系を簡単にするために、燃焼によって鉄が酸化し、酸化鉄 (Ⅲ) が直接生成する反応を考える。



ここで、酸化鉄 (Ⅲ) の標準生成エンタルピー  $\Delta H^\ominus$  は文献<sup>2)</sup> によると、 $-824.2 \text{ kJ mol}^{-1}$  であるので、式 (5) の反応に関するエンタルピーは  $\Delta H = -412 \text{ kJ mol}^{-1}$  である。ただし、有効数字を 3 桁として記述した。この反応では  $\Delta H < 0$  であるので、発熱反応であることが見て取れる。つまり系が  $\Delta H$  を外界に放出するとともに、外界は  $-\Delta H$  を受け取ってエントロピーが増加することになる。外界のエントロピー増加  $\Delta S(\text{ext})$  を具体的に求めると：

$$\Delta S(\text{ext}) = \frac{-\Delta H}{T} = \frac{-(-412)}{298} = 1.38 \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \quad (6)$$

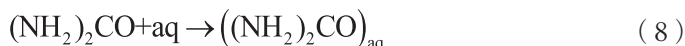
次に、 $\Delta S(\text{sys})$  を具体的に計算しよう。式 (5) に現れる化学種の標準エントロピーは、Fe, O<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> それぞれについて 27, 205, 87.4 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup> である。従って、式 (5) の左辺、右辺におけるエントロピーの総和はそれぞれ 181 及び 43.7 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup> となり、 $\Delta S(\text{sys}) = -137 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  を与える。系のエントロピー変化は負であるものの、宇宙のエントロピー変化は：

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{univ}) &= \Delta S(\text{sys}) + \Delta S(\text{ext}) \\ &= 1.24 \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \\ &> 0\end{aligned}\quad (7)$$

であるので、反応は自発的に進むことになる。

## 2) 吸熱反応

今回の授業でも取り上げた、尿素が水に溶解する反応を考える。



この場合、共有結合の組み替えといった化学反応は進行しない。一方、尿素の水に対する標準溶解エンタルピーは  $15.4 \text{ kJ mol}^{-1}$  であり、吸熱反応である。外界のエントロピー変化は、 $25^\circ\text{C}$ での過程を考えると、式(6)と同様に、 $\Delta S(\text{ext}) = -52 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  となる。一方、 $18.5 \text{ mol}$ 尿素の水  $1 \text{ kg}$  に対する無限希釈エンタルピー  $-2.75 \text{ kJ mol}^{-1(2)}$  を用いて、 $\Delta S(\text{sys}) = 167 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  と見積もられる。結果として、 $\Delta S(\text{univ}) = \Delta S(\text{sys}) + \Delta S(\text{ext}) = 115 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  と求められる。吸熱反応であっても、反応が自発的に進行する様子がエントロピー項によって確かめられた。

## (3) 「化学変化と熱」の授業

上述のように実際の化学変化と熱の現象は、エンタルピーやエントロピーの概念があつてはじめて理解が可能である。実際の授業においては、このような高度な内容には触れることはできないが、従来であればエネルギー図等によって現象をとらえさせていた。しかし、現行ではエネルギー学習が未習内容であり、熱をエネルギーとして見なしている者は少ないと考えられる。一方で、本単元では熱に焦点をあてることが重要である。これらの観点から、熱を温度と関連付けてとらえていく学習は、この単元でも既習内容との関連性を考えるうえで最良であると考えられる。一方、本単元を教える授業者としては、上記のような科学的本質に精通しておく必要がある。

## II 研究目的と方法

## 1. 研究目的

学習の導入で温度と熱の関係性を提示することにより、化学変化における熱の出入りを正確な概念として理解することができるかについて、その有効性を実践授業およびアンケートを通して検証する。

## 2. 研究方法

今回実施した研究方法の概要は以下の通りである(表1)。

表1 研究方法とその実施目的

授業観察及び生徒観察	<ul style="list-style-type: none"> <li>①授業実践を行う前単元の学習についての授業観察を行い、学習内容や授業の進め方等を自身の実践研究の参考とする。</li> <li>②各クラスの様子や各生徒の授業中における様子などの把握から生徒観の構築を行う。</li> </ul>
事前アンケート	<ul style="list-style-type: none"> <li>①既習事項に関する調査を選択及び記述・図示式の問題により実施し、授業実践に向けた指導計画の参考とする。</li> </ul>

	②「温度と熱」に関する調査を選択及び記述式の問題により実施し、素朴概念の把握及び授業実践に向けた指導計画の参考とする。 ③熱概念と他の概念とのつながりを把握するとともに、授業実践後の事後アンケートと比較材料として、生徒の変容や授業実践検討の資料とする。
授業計画・授業実践	①授業計画を行うとともに、必要な教材・教具の研究・作製を行う。 ②温度と熱の関係を取り入れた授業実践を行う。
事後アンケート	①「温度と熱」に関する概念がどの程度形成されているのか把握する。 ②熱概念と他の概念とのつながりを把握するとともに、授業実践前の事前アンケートと比較し、生徒の変容や授業実践検討の資料とする。
データ解析・考察	①研究授業を評価する。 ②評価を基にした教材の改善案を提出する。

### Ⅲ 実践内容及び考察

#### 1. 事前アンケート

今回は、S大学教育学部附属中学校第2学年4クラス（以下、S中学校A, B, C, D組とする）を対象に授業を実践した。まず、対象となる生徒に事前アンケート（標本数 $N=134$ ）を実施した。実施日は、2012年7月下旬である。事前アンケート（全7題）は、選択問題および記述・図示問題とした。実際の問題および集計結果の一部を示す。 $N$ を考慮し、百分率として得られる値は四捨五入のうえ1の位まで有意として表示する。

【事前 問3】私たちは冷たいかき氷に指を入れると冷たく感じる。このとき、手と氷の間ではどのようなことが起こっていると思いますか。（記述・図示問題）

	正答(%)	誤答(%)
A組	15	85
B組	9	91
C組	9	91
D組	9	91

<正>                      <誤>

【事前 問3】は、冷たく感じるということをどのようにとらえているのか調査する問題である。冷たく感じるとは、自身が低い温度になることを感覚的にとらえたものである。よって、この問題では間接的に温度変化をどのようにとらえているかの調査になると考える。【事前問3】の結果から約90%の生徒が、冷たく感じる場合には氷の方から「冷たい熱」などが移動していると答えた。図1に示したように、温度と熱の関係を考えると、これらのとらえ方は誤ったものである。つまり、多くの生徒が冷たく感じる（自身の低温変化）場合について、正確に熱と関連づけて考えることができていないことが明らかとなった。

【事前 問 4】温水と冷水が接している場合を考える。(1) 温水の温度はどう変化しますか、(2) 冷水の温度はどう変化しますか、(3) 温水と冷水の温度変化後の温度の関係はどうなりますか。(選択問題)

	(1) 温水の温度変化(%)		(2) 冷水の温度変化(%)		(3) 温・冷の比較(%)	
	正答	誤答	正答	誤答	正答	誤答
A組	94	6	94	6	68	32
B組	97	3	84	16	66	34
C組	88	12	88	12	62	38
D組	85	15	79	21	65	35

【事前 問 4】では、高温の物体(温水)と低温の物体(冷水)が接した系においてどのような温度変化を示すのかについて調査した。調査した結果、温水の温度が次第に下がっていく(冷める)現象は約90%の生徒が理解していた。また、冷水の温度が次第に上がっていく(温まる)現象も約85%の生徒が正確に答えることができた。しかし、温度が平衡状態となることについては、正答率が約65%と比較的低い値となった。

これらの結果から、生徒は温度変化については理解できているものの、温度変化と熱との関係については誤った理解をしている生徒が多いことが明らかとなった。よって、温度と熱についての正確な概念を提示する機会を導入することが必要であることが分かった。

## 2. 教材研究・授業計画

### (1) 温度と熱のモデル図の導入

事前アンケートの結果から生徒たちは、温水と冷水が接した系における温度変化については理解できているものの、温度変化と熱との関係については誤ったとらえ方をしていることが明らかとなった。これらを踏まえて、生徒が理解可能な温水と冷水が接した系での温度変化の現象に、熱の出入りの関係を付加したモデル図を考案・作成した(図3)。

使用場面としては、生徒が正確な熱の概念を用いながら学習を進めていけるように学習の導入部とした。

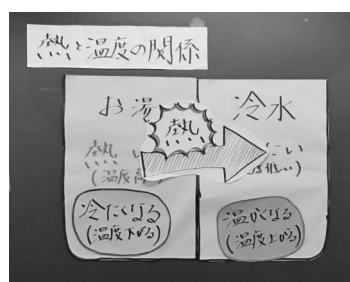


図3 温度と熱の関係モデル

### (2) 発熱反応と吸熱反応

中学校第2学年における理科の教科書のうち、現行の5社すべてを比較したところ、次のような発熱及び吸熱反応が取り扱われていることが分かった。<sup>13)-17)</sup> 本授業実践においては、発熱反応として鉄の酸化と水素の発生、吸熱反応としてアンモニアの発生を行うことにした。また、発熱反応と吸熱反応それぞれの現象をとらえるために、実験は同じ時間に行わず、複数の授業回に分けて行うことにした。

## ① 発熱反応の実験

- 鉄の酸化（鉄粉と酸素の反応）：5社
- 水素の発生（マグネシウムと塩酸の反応）：2社
- 中和熱（塩酸と水酸化ナトリウムの反応）：1社

## ② 吸熱反応の実験

- アンモニアの発生（水酸化バリウムと塩化アンモニウムの反応）：3社
- 炭酸水素ナトリウムとクエン酸水溶液（レモン汁）の反応：3社

## (3) 発熱反応と吸熱反応における生徒主体のまとめ

中学校第2学年で現在使用されている教科書（5社）の授業展開では、熱をとらえるためになぜ温度を計るのかについては触れられていない。<sup>13) - 17)</sup> また、事前アンケート結果から分かるように、生徒たちは温度と熱の関係を正確に理解していない。そのため従来は、まとめで示される「温度の上昇＝熱の発生」、「温度の低下＝熱の吸収」という関係は教師から与えられることで成り立っていた。一方、本実践においては温度と熱の関係性を生徒は事前に理解している。この学びを活用し、生徒自身によって化学変化による温度変化から熱の出入りを見出すとともに、最終的には化学変化と熱の関係へとつなげて行くような4ステップの学習のまとめを提案した。以下に具体的な学習の流れを示す。

① 化学変化による温度変化の結果から熱の出入りを考える

以下、例として発熱反応実験の場合を考える。生徒たちは実験の結果から化学変化によって「周囲の温度が上昇する」という結果を得ることができる。この結果を、温度と熱の関係を参考に熱の出入りの視点で考えてみると、温度が上昇するということは「熱がどこからか移動してきた」ということに気づくことができる。

② 熱がどこから移動してきたのか考える

続いて、『移動してきた熱はどこから来たのだろうか？』と発問を投げかけることで、生徒たちは2つの予想を持つ。(a) (化学変化によって) 熱がより周囲から移動してきた (集められた)、(b) 化学変化によって合成した物質 (以降、物質Cとする) から熱が放出されたという考えである。ここでは、生徒たち同士で議論をさせる中で、(a) 案の場合では、熱が奪われているより周囲の温度は温度と熱の関係から低下していかなければならず、実際の現象とは異なるということに気づかせる。これによって、(b) 案の現象が起きているということを論理的に導くことができる。

③ 熱を放出した物質Cの温度を考える

『物質Cから熱が周囲に放出されるということは、物質Cの温度と周囲の温度を比較するとどうなっているだろうか？』という発問をすると、生徒は、温度と熱の関係から、温度が「物質C>周囲」であるから、「物質C→周囲」へと熱が移動するということを理解することができる。つまりは、物質Cが高温になっていることがイメージできる。

④ 物質Cを高温にする熱の供給源を化学変化と結びつける

物質Cは高温となったが、もともとの化学変化する前の2つの物質 (以下、物質Aと物質Bとする) は、常温であった。逆に言えば、物質Cが高温になるのは、物質Aと物質Bが化学変化したからであり、このことから物質Cを高温にする熱は、化学変化によってもたらされることにたどり着ける。吸熱反応においても同様な展開でまとめを行う。



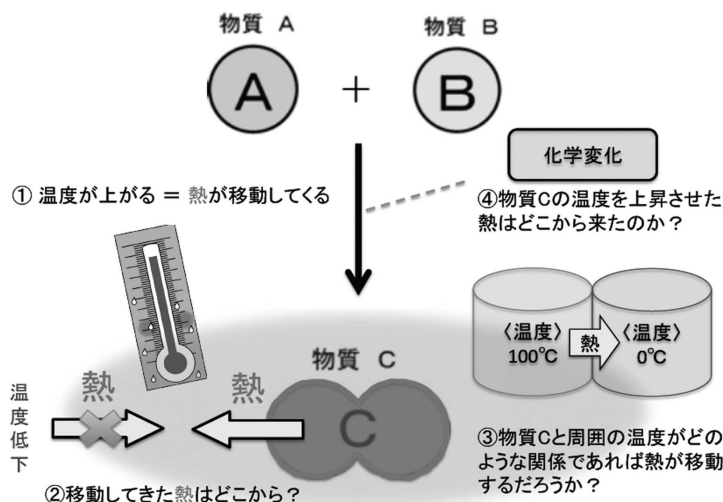


図4 発熱反応における4ステップでのまとめの概要

#### (4) ものづくり<sup>10)</sup>

平成20年度改訂の学習指導要領理科編においては、科学的な思考力・表現力の育成に向けた活動のひとつとして、原理や法則の理解を深める有効な方法として「ものづくり」を挙げている。理解を深めるためには、実感を伴った理解を促すとともに、学習内容と日常生活や社会との関連を図るといった視点が重要である。化学変化と熱の単元は、ガスコンロやエンジン、ライターなど私たちの生活に密接に関わっている事物・現象を取り扱うことから、ものづくりを取り入れるには適した単元である。よって生徒たちの理解を深める手法としてもものづくりを取り入れることにした。

具体的な教材としては、尿素と水の吸熱反応を選択した。尿素は一般にも広く用いられている物質であり、保湿クリームや尿素肥料として活用されている。ホームセンターなどでは、尿素肥料を比較的安価で手に入れることができる。また、尿素と水の吸熱反応は、市販されている冷却パックの原理としても用いられており、学習内容と日常生活とのつながりを持つことができる。従来は、鉄の酸化を利用したカイロ作りが多く紹介されていた。ただし、本授業実践は9月と暑い時期に行われるため、吸熱反応を利用したものづくりの方がより望ましく実感を伴う理解につながると考えた。

実際のものづくりでは、まず市販の急冷パックを分解し、水が入った袋と尿素から構成されることを確認させた。次に、これらをもとに、尿素肥料と水をチャック付きのビニール袋に封入した冷却パックを作製することにした。

### 3. 授業実践

S中学校第2学年において、4クラス分(のべ134名)を対象に全3時間の授業を実施した。具体的には、2012年9月初旬の一週間にわたって実施した。授業単元の学習指導要領に沿った表記は、「(4) 化学変化と原子と分子のうち、イ化学変化、(ウ) 化学変化と熱」である。授業の概要を示す(表1)。

表2 実践授業の目標と授業内容の概要

第1時	<p>〈目標〉 目的にそった実験の基本操作を習得するとともに、結果の記録や整理などのしかたを身につけている。【技能】</p> <p>〈内容〉 これまで学んだ化学変化の中で「熱」と関係あった反応を挙げさせ、その後、生徒が何気なく使っている熱について温度との関係を説明した(図3)。そして、これらの関係を踏まえて、鉄の酸化と水素の発生の発熱反応実験を行った。</p>
第2時	<p>〈目標〉 発熱・吸熱反応について化学変化と熱の出入りの観点から考えることができる【思考・表現】</p> <p>〈内容〉 前時の発熱反応の実験を復習し、本時ではアンモニアの発生実験(吸熱反応)を行った。そして、実測して明らかとなった温度変化を元にして、吸熱反応・発熱反応における熱の出入りを、モデル図を用いて生徒とともに考えた。</p>
第3時	<p>〈目標〉 これまでの学習を元に、化学変化と日常生活との関わりについて表すことができる。【思考・表現】</p> <p>〈内容〉 再度吸熱・発熱反応のまとめを行い、その後、尿素と水の冷却パックのものづくりを一人ひとりが行った。そして、化学変化全体のまとめとして日常の中にある化学変化を写真の中から各班なるべく多く見つけ出す活動を行い、最後に日常で化学変化が担っている役割について解説を行った。</p>

## 4. 事後アンケート

S中学校第2学年4クラスを対象に事後アンケート(N=132)を実施した。実施日は、2012年9月初旬である。事後アンケート(全3題)は、選択問題及び記述問題とした。実際の問題および集計結果の一部を示す。

<p>【事後 問1(1)】 私たちは冷たいかき氷に指を入れると冷たく感じる。このとき、手と氷の間ではどのようなことが起こっていると思いますか。</p> <p>(記述・図示問題)</p>		正答(%)	答(%)
	A組	56	44
	B組	44	56
	C組	71	29
	D組	59	41
<p>【事後 問1(2)】 化学変化によって周囲の温度が下がる理由について、文章あるいは図で示しなさい。</p> <p>(記述・図示問題)</p>		正答(%)	誤答(%)
	A組	72	28
	B組	63	37
	C組	85	15
	D組	77	23

【事後 問2】あなたの率直な意見に合うものに○を付けてください。(選択問題)

番号	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)
授業内容は分かりやすかったか	26	55	16	3
「温度と熱について理解できたか	34	57	9	0
「化学変化と熱」について理解できたか	25	62	12	1
「温度と熱」を用いて「化学変化と熱」について考えることができたか	24	59	17	0
化学変化を生活に感じることができたか	64	28	8	0
授業内容は有意義なものであったか	49	45	5	1

I：そう思う II：ややそう思う III：あまりそう思わない IV：そう思わない

【事後 問1(1)】は、【事前 問3】と同様の問題である。互いを比較すると、事前では正答率が約10%と低い値であったのに対して、事後では正答率が約60%と6倍高くなった。これは、冷たく感じる(自身の温度が低下する)ことについて、熱の正確な概念をもとにとらえることができるようになったことを表している。

【事後 問1(2)】は、吸熱反応における温度変化について熱を踏まえて理解しているかを調査している。この結果、約75%の生徒が正確に理解していることがわかった。また、誤答をした生徒の多くは、発熱反応について正確に答えていたことから、実際にはより高い正答率であった可能性が高い。

【事後 問2】は、授業について生徒から意見を調査したものである。その結果、約80%の生徒がこの授業について分かりやすかったと答えた。理解度についても約85%が理解できたと回答した。これらのことから、授業実践については生徒にとって比較的分かりやすく、学習の理解も可能であったと言える。また、「温度と熱の関係」を利用して「化学変化と熱」を見出す学習展開についても、約80%の生徒が意図していた思考をしたことがわかった。

## 5. 考察

事前アンケートの結果から、生徒の現状認識について次のことが明らかになった。すなわち、現在行われている化学変化と熱の学習では、温度や熱については既習内容であったために別段その定義や概念に触れることはなかった。しかし【事前 問3】の調査から、生徒たちの多くが冷たく感じる場合(自身の温度が低下する場合)を、「冷たい熱の移動」等の誤った熱概念によって理解していることが明らかになった。つまり生徒たちは、既習学習のみでは正確な熱の概念、特に温度と熱の関係性については理解ができていないことを明らかにした。

また、【事前 問3】と【事後 問1(1)】との比較から、授業後は温度と熱の正確な概念到達率が向上したことが分かった。このことから、授業の導入において温度と熱の関係性を提示するだけでも、温度と熱の正確な概念形成には大きく寄与することが明らかとなった。一方で、約40%は授業後も誤った概念から脱していないことから、日常生活や既習学習で獲得した「冷たい熱」や「冷たさが伝わる」といった誤った認識の根深さが浮き彫りになった。化学変

化と熱の単元では「熱」に焦点を当てた学習を行う必要があるため、学習に際しては正確な熱概念の定着を図る必要性がある。

一方、【事後 問1(2)】の結果から、約75%の生徒が授業後に吸熱反応における熱の移動を正確に理解していることが分かった。このことから、本授業実践の学習効果はある程度認められた。また学習到達度を比較すると、「温度と熱の関係性」の方が「化学変化と熱の学習内容」より小さい。つまり、生徒の中には「温度と熱」の概念がなくても化学変化と熱の理解が可能であった者がいたことが推察される。本研究のように温度と熱の関係を提示した場合でさえこのような結果になったことから、従来の学習ではこの傾向が如実に現れると考えられる。よって本単元では、化学変化と熱の理解が達成できたとしても、実際には、正確な熱の概念を獲得あるいは利用できていない可能性があるとし唆される。これらの結果から、これまでの化学変化と熱の学習では熱概念そのものの扱いが軽々であることを危惧したい。今後は正確な熱概念の構築に向けた系統性についても重々考慮しながら学習を計画していく必要がある。

#### IV 結語

本研究では、「温度と熱」の定義を導入するとともに、学習のまとめにおいて、生徒主体で行えるような4ステップの学習のまとめを考案・実践した。まとめについては、温度と熱の関係を利用するがあまり、思考の過程が複雑になってしまう点が懸念された。しかし、【事後 問2】の結果から、約80%の生徒が温度と熱の関係を念頭におきながら化学変化と熱を考えることができたと答えた。つまり、本研究におけるまとめの展開は生徒たちに対しても妥当であったと評価できる。また、【事後 問2】の回答結果から、授業全体の難易度や理解のしやすさはともに高い値となった。ただし、どの項目も約10%の生徒が低い評価をしていることも反省しなくてはならない。

以上を総論すると、本研究で行った学習展開は本単元において有効な手段として利用できることを明らかとした。授業の核として、温度と熱の関係をとらえる過程を経るだけでも、学習においては論理的に生徒の主体的な学びが達成できるとともに、正確な熱の概念の定着も図れることが明らかとなった。

一方、「温かい」「冷たい」という感覚は、ヒトの感覚器を通じて得られるもっとも基本的な情報のひとつである。現に私たちも、幼少期から外界の寒暖に関する情報に慣れ親しんでいる。このように、温度や熱に関する情報には日常的に接する機会が非常に多いからこそ、理科授業構築の際には、熱化学に関する用語の科学的な定義も含めて、注意を払うことが必要であろう。

今回検討した「化学変化と熱」の単元は、以降に学習するエネルギーの教科内容への重要な橋渡しとなる。中等理科で取り扱われるような、一見単純に思われる化学反応についても、それに関与する物質のエネルギー及びエントロピー変化に関して、温度と熱は極めて本質的な役割を果たしている。ピーカーの中で進行する化学反応を見つめながら、温度と熱、ひいては物質とエネルギーについて深く考えるきっかけとなるような授業作りを今後も目指したい。

## 参考文献

- 1) D. A. McQuarrie: “Statistical Mechanics”, Harper Collins Publishers, New York (1976).
- 2) 左巻健男: 「新しい科学の教科書－現代人のための中学理科 (1)」文一総合出版, 改訂第3版 (2012).
- 3) 隅倉雄一・栗田一良: 「児童・生徒における温度概念の発達に関する調査」日本理科教育学会研究紀要, 21, 9-18 (1981).
- 4) 杉本良一・松尾映子: 「子どもの生活に根ざした理科学習に関する研究－子どもの熱概念と物のあたたまり方の学習に関する研究－」鳥取大学地域学部紀要, 1, 80-109 (2005).
- 5) 石川聡子・竹本浩志: 「児童・生徒の熱概念形成に関する先行研究の分析」大阪教育大学教科教育学論, 11, 35-45 (2012).
- 6) 香西武・板垣靖・河野好宏・橋場仁・S. T. Palmera: 「小中学生の熱移動に関する比較－1990年と2000年調査を比較して－」鳴門教育大学研究紀要19, 13-20 (2004).
- 7) 元起克敏: 「熱概念に関する子どもの認識についての調査－熱は「物質」か「運動状態」か－」日本理科教育学会 9, 21-26 (1996).
- 8) 日本教育理科学会, 特集「温度と熱」の指導とその改善, 理科の教育 31, 9-12 (1982).
- 9) 隅倉雄一・栗田一良: 「児童・生徒における熱概念認識に関する調査－熱に対するイメージを中心に－」日本理科教育学会研究紀要22, 73-80 (1981).
- 10) 文部科学省「中学校学習指導要領解説理科編」大日本図書 (2008).
- 11) 左巻健男・露本伊佐男・藤村陽・山田洋一・和田重雄: 「基礎化学12講」化学同人 (2008).
- 12) 日本化学会編, 化学便覧基礎編Ⅱ, 改訂第5版, 丸善 (2004).
- 13) 塚田捷・山極隆・森一夫・大矢禎一ほか57名: 「未来ひろがるサイエンス2」啓林館 (2011).
- 14) 岡村定矩・藤嶋昭ほか49名: 「新しい科学2年生」東京書籍 (2011).
- 15) 細矢治夫・養老孟司・下野洋・福岡敏行ほか25名: 「自然の探究 中学校理科2」教育出版 (2011).
- 16) 霜田光一ほか25名: 「中学校科学2」学校図書 (2011).
- 17) 有馬朗人ほか57名: 「理科の世界2年」大日本図書 (2011).