

## 中学校理科授業におけるICT活用が いかに生徒の科学的概念理解を助けるか

### How Does the Use of Technology Support Students' Understanding of Scientific Concepts in Middle-School Science Lessons?

土佐 幸子, 末永 誠徳\*, 橋田 優希

The use of technology in science education is known to enhance student learning. However, in Japan, the effectiveness of using sensors and data-loggers was not very much explored. This study examines how the use of temperature sensors and data-loggers enhances student conceptual understanding of super cooling phenomena of water. A science lesson was developed and implemented in a 7<sup>th</sup> grade class (N=40). Students' work sheets and reflection sheets were collected as data. The analysis of data shows that the real-time measurement of the water temperature and the automatic graphing capability of the data-logger help students grasp the phenomena on site. The situation helps student undergo a conceptual change. Moreover, more group discussion happened and the level of student interest was high during the lesson. Extensions of the research such as to include a long-term effect of the use of technology were discussed.

#### 1. はじめに

学校教育の現場において情報通信技術（ICT）を活用することの重要性が叫ばれて久しい<sup>1)</sup>。平成18年にICT活用により、中学校・高等学校の数学、社会、理科において生徒の学力が、活用しなかった授業よりも高いという結果が報告された（図1）<sup>2)</sup>。

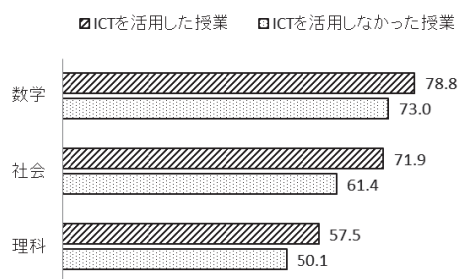


図1 中学校・高等学校のテスト結果（授業数28, 生徒総数852）（出典 文部科学省調査「教育の情報化の推進に資する研究」2006年）

また、同調査において、ICT活用の授業を行った教員の98.0%が関心・意欲・態度における効果を認めており、ICT活用によって子どもが集中して楽しく学習に取り組めることが明らかにされた。ICT機器の導入は教育現場における喫緊の課題となった。

ここでいうICT活用とは、動画コンテンツを複数のタブレット端末に用意して、生徒がグループごとに学習を進めるというように、従来の機器とは異なる効果が可能であるものと位置づけられている。例えば、電子黒板やタブレット端末によって、画像の拡大、書き込み、転送、投影、保存などが可能となり、子どもの考えを可視化したり共有したりすることが容易になる。様々な教科でICT活用を行うことができ、例えば理科の学習において、実験器具や実物を用意することが難しい教材の提示に利用できる。数学の学習では、図形を動かすこと、社会の学習ではインターネットを利用して地理や歴史に関する情報を、各自の目的に沿って検索することなどが考えられる。情報の提示、検索、発表に関するICT機器の利用は範囲が広く、前述の平成18年の調査では、学力面と意識面の両方でその効果が明らかにされた

2017.10.23 受理

\* 福島成蹊高等学校

のである。

しかし、理科学習におけるICT活用に関しては、前述のような情報提示や検索手段としてばかりでなく、センサーとデータロガーを用いた測定機器としての役割が重要である。データロガーとは、センサーやインターフェイス、ソフトウェアをコンピュータや卓上端末と併せて用い、リアルタイムでデータを収集・表示・分析できるような機器を指す。米国ではセンサーとデータロガーを用いた理科学習の効果について、多くの研究結果が報告されており、特にデータロガーの使用が子どもの探究的学習を深める効果があることが、多くの研究者によって示唆されている<sup>3, 4, 5, 6, 7)</sup>。従来の計測器を用いた実験では、時間ごとに値を読み取り、記録し、グラフを作成する、という時間のかかる作業が、データロガーを使えば、リアルタイムで自動的にグラフ化される。このような利点は、子どもがデータの解釈に多くの時間を使えることになる。さらに、データロガーの使用は、子ども同士がデータの解釈を話し合い、協働的な活動を促す効果があることが示唆されている<sup>7)</sup>。

日本の中学校理科におけるセンサーとデータロガーの使用について、まだ教科書には記述されていない。また、センサーの利用について、幾つかの実践例が報告されている<sup>8, 9, 10)</sup>が、それらの実践例では、センサーの使用により、現象に関する測定が可能あるいは精確になったことが注目されており、教材開発の視点でセンサーが取り上げられている。センサーとデータロガーは従来の測定機器にはない特徴を備えており、米国で示唆されたように、その特徴は日本でも、単に実験活動を便利にするだけでなく、子どもの科学的概念の構築にインパクトを与えるものと考えられる。

先行研究において、センサーとデータロガーの使用は、日米両国の理科教員の科学的な概念理解を深め、探究的な活動を促す効果があることが示唆された<sup>11)</sup>。そこで本研究では、中学校理科授業における子どもの概念理解に焦点をあてる。子どもの発話と記述したものを分析することにより、センサーとデータロガーが、どのように子どもの概念形成にインパクトを与えるかを明らかにする。

本研究における課題は以下の2つである。

1. センサーとデータロガーを使用することにより、理科授業中の子どもの学びや気付きにどのような特徴があるか。
2. センサーとデータロガーを使う理科授業において、どのような手立てが子どもの学びを促す

ことに有効か。

本研究の重要性は、センサーとデータロガーの使用によって子どもの考えがどのように変化するかを追い、その特徴を明らかにすることにある。さらに、その特徴と手立ての関係を明らかにすることにより、センサーとデータロガーを用いて子どもの概念理解を深めるための教授法について有効な提言をすることができる。なお、本研究では、子どもの科学的な概念理解に焦点を当てた。子どもの興味・関心・意欲など情意面に関しても、振り返りシートに質問項目を含めるなど、研究の範囲に入れた。

## 2. 研究方法

### 2-1 研究対象と時期

本研究ではある中学校1年生40名(男子23名、女子17名)を対象に筆者の1人が授業実践を行った。通常の理科カリキュラムに沿って、「物質の性質」の単元における「状態変化」について、1コマを研究のための授業とし、2016年9月に実践を行った。授業実践時に、生徒の発話、「実験ワークシート」および「振り返りシート」によるデータ収集を行った<sup>12)</sup>。

### 2-2 研究方法

本研究では、生徒の気付きや考え、現象の把握について経過を追うために、2種類の用紙を用いて記述によるデータ収集を行った。まず、「実験ワークシート」には次の4項目を記入してもらった。

- ①実験前の予想を言葉とグラフで
- ②実験結果を言葉とグラフで
- ③「なぜこのような現象が起こったのか、考えられること、説明できること」を話し合っ
- ④まとめ

「振り返りシート」には次の4項目を含めた。

- ①「授業を受けて楽しかったか」について生徒に5段階評価〔5 = とても楽しかった, 4 = 楽しかった, 3 = どちらでもない, 2 = つまらなかった, 1 = とてもつまらなかった〕を記入, さらに「どんなところが楽しかったか, あるいはどんなところがつまらなかったか」について記述
- ②「センサーを使った実験は分かりやすかったか」について〔5 = とても分かりやすかった, 4 = 分かりやすかった, 3 = どちらでもない, 2 = 分かりにくかった, 1 = とても分かりにくかった〕を記入, さらに「答えた根拠となる例」を列挙
- ③「過冷却の実験を通して, 分かったこと, 疑問

に思ったことなど」を自由に記述

- ④「温度センサーを使ってみた感想」、「今まで気付かなかった新しい発見」、「温度センサーでしてみたいこと」などを自由に記述

また、授業中、生徒にどのような気づきや考えが表れるかを調査するために、各グループにビデオカメラまたはボイスレコーダーを設置して、生徒の発話を記録した。

分析にあたっては、ビデオカメラやボイスレコーダーに記録された生徒の発話について、頻繁に表れる言葉を抽出し、カテゴリー別に分類した。また、「振り返りシート」の記述はすべてデジタル化し、その中で何に関する記述が多いのかをカテゴリー別に分類した。また記述の中で多く使われているワードを抽出し、記述が多い項目を明らかにした。5件法での回答は、度数を調べて平均を算出した。「実験シート」の記述については、予想と実験結果のグラフに着目し、比較を行った。

### 2-3 授業開発

中学校1年理科「物質の性質」の単元において実践する授業の開発にあたり、小学校4年生で学習済みである「水の3つのすがた」のうち、水を冷やす実験に焦点を当て、実験器具を温度計ではなく温度センサーにした場合に、子どもの学びや気づきにどのような変化が表れるかを調査した。

#### 2-3-1 授業の構想

水を冷やすと0℃で凍って一定になるということは、小学校で学習しており、多くの生徒は当たり前のことと捉えているだろう。しかし、静かにゆっくり冷やすことによって、0℃になっても凍らない過冷却現象が起こる。水温は0℃以下になっても下がり続け、-5℃付近になるか、あるいは衝撃を与えるかすると、凍って温度が急上昇し、0℃で一定になるという現象が起こる。現象を実際に見ることを通して、当たり前だと思っていたことが覆されることによって、生徒の頭の中に自然現象の新しい理解が促され、大きな概念変化が起こることが予想される。そのような大きな概念変化は表出されやすく、記述や発話によって捉えやすいことが期待される。

従来の温度計を用いて、過冷却現象を捉えることは難しい。小学校で水の冷却実験を行うには、1分ごと、あるいは2分ごとに温度計を試験管から出し入れして、温度計の値を読み取る必要がある。出し入れの際の振動の影響によって、過冷却状態を保つことは難しいと考えられる。しかし、温度センサーを使えば、出し入れで振動を起こすことはない。静

かに冷やすという条件を満たすことができるので、過冷却現象が起こる可能性が高まる。また、水の温度変化を、例えば1秒ごとのように細かく測定することが可能になる。さらにセンサーとデータロガーを使った実験では、自動的に温度測定が行われ、値がリアルタイムでグラフ化される。

これらのセンサーとデータロガーの特徴を活かし、水の凝固点に関する生徒の概念変化を目指す授業として、次の6点を取り入れた。

- ①実験を始める前に、水を冷やしていくと何度で凍り始めるかという予想をし、ワークシートに記入した後、全体の前で発表を行う。(既知知識の外在化、共有)
- ②全部で10班ある班ごとに活動を行う。予想、実験、考察の各場面において、話し合うことを促す。(概念の協働構築)
- ③データロガーに表示された実験結果のグラフをワークシートに写し、予想との比較を促す。(現象の把握)
- ④過冷却状態の水が一瞬で凍り、グラフが急上昇するところを事前に撮った動画で見せる。(現象の把握・確認)
- ⑤過冷却現象がなぜ起こるのかについて、粒子モデルで説明することを促し、全体の前で発表を行う。スライドで粒子モデルを提示する。(正しい概念の提示)
- ⑥応用例(過冷却の水を注ぐ、過冷却の雨である雨氷)を紹介する。(概念の活用)

#### 2-3-2 授業の流れ

授業の流れを表1に示す。

表1 授業の流れ

学習内容	学習活動	話し合い
1. 課題設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・温度センサーがどのようなものを理解させる。</li> <li>・既習事項を基に水を冷やしていくと何度で凍り始めるか予想させる。</li> <li>・細かく測定できる温度センサーを使って、水が凍っていく様子を観察するという課題を設定を行う。</li> <li>・生徒を指名して黒板に予想のグラフを書かせる。(生徒の活動)</li> </ul>	予想の場面で班での話し合いを行う。
2. 実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験の説明をした後に、実験を行う。</li> </ul>	

3. 結果のまとめ	<ul style="list-style-type: none"> <li>水が0℃で凍らないことと、それが過冷却現象であることを理解する。</li> </ul>	
4. 現象の理解	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験でなぜ過冷却が起こったのかを考えさせ、ゆっくり振動を与えずに冷却したことで粒子が動かないまま0℃以下まで下がったことを理解する。(粒子モデル)</li> <li>過冷却水を注ぐと凍っていく実験を見せる。(応用例)</li> <li>気象で過冷却の雨(雨水)があることを写真で提示する。(実際の自然現象)</li> </ul>	<p>過冷却が起こる理由を考えさせる。班での話し合いを行う。</p>

## 2-4 授業実践

授業実践の様子について、それぞれの場面で行われた学習活動を述べる。

### 1. 課題設定

まず全体の前で、生徒に温度センサーを握らせ、温度の数値が上がっていく様子、またその時の折れ線グラフが自動的に作成される様子をスライドに映して提示した。次に水を冷やしていくと何度で凍り始めるかと質問し、グラフを個人で予想したのちに班で話し合い、ワークシートに記入してもらった。1人の生徒に前に出てきてもらい、予想のグラフを黒板に書かせて全体で共有した。

### 2. 実験

実験方法は次の通りである。

- ①小さくした水に食塩を適量加えてかき混ぜる(寒剤)。必要に応じて食塩を加え、寒剤の温度を-7℃～-10℃に調節する。
- ②試験管に半分くらいの精製水を入れ、それをビー



図2 水の過冷却実験に用いた器具

カーの中に入れる。

- ③②のビーカーの中に①の寒剤を入れる。
- ④温度センサーを試験管の水の中に入れて温度を計測する。
- ⑤水の温度が3℃を下回ったら、データロガーのグラフ作成ボタンを押す。
- ⑥グラフ作成が終了(3分間)するまで、測定を続ける。

図2にある器具を用いて実験を行った。この実験は振動を与えることで、過冷却状態が長く続かず液体から固体に状態変化が起ってしまうので、実験中は温度センサーに触れたり、振動を与えないように注意した。また生徒が過冷却状態に気付けるように机間巡視で、グラフが0℃を下回ることや、振動を与えると温度が急激に上昇することなどの観察の視点を与える支援を行った。

### 3. 結果のまとめ

実験を終えた後、結果を班でまとめる時間を取った。実験結果として、データロガーで作成されたグラフを各自ワークシートに写し取り、気付いたこと、分かったことなどを記述させた。どのようなグラフが作成されたかについて、生徒1人に黒板にグラフをかいてもらい、多くの班で同じような結果が得られたことを確認した。その後、0℃で凍るはずの水が0℃以下まで液体の状態である現象を過冷却と呼ぶことを全体で共有した。また、事前に撮影した過冷却水が一瞬で凍る動画を見せ、グラフが急激に上昇した瞬間に試験管の中で何が起こったのかを理解させた。

### 4. 現象の理解

実験結果を確認した後、なぜ今回の実験で過冷却が起こったのかを生徒に考えさせる活動を行った。班で話し合いの時間を取り、考えが出てきた班に発表をしてもらった。過冷却のメカニズムについて、スライドで粒子モデルを提示して説明を行った。続いて、ペットボトルに入れた過冷却水を注ぐと瞬時に凍る実験動画と、気象現象における過冷却水の雨(雨水)が降ったときの様子の静止画像を提示した。最後に、振り返りシートに記入させて授業を終えた。

## 5. 結果

### 5-1 予想

授業内において、初めて温度センサーを目にした生徒が多く、温度センサーを手で握ると温度が上昇し、グラフが自動的に作成されることに興味を引

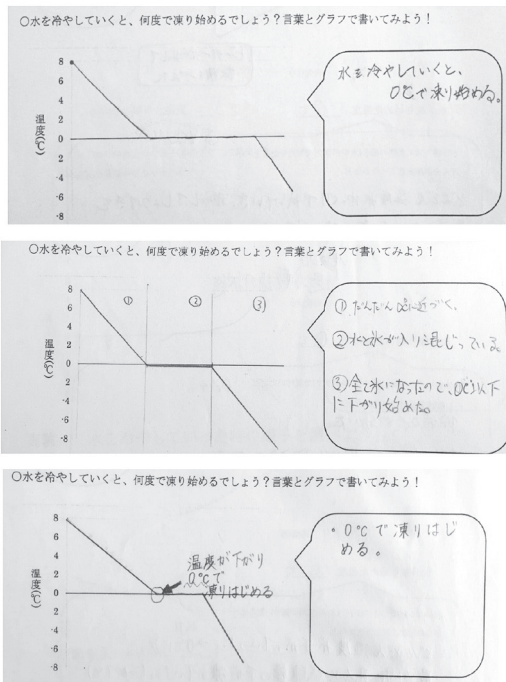


図3 水の温度変化について実験前の生徒の予想

かれている様子だった。実験に入る前の予想では、生徒全員が0℃で凍り始めて0℃で一定になるというグラフを予想した。(図3)

### 5-2 実験結果

実験中は、班員全員でグラフが作られていく様子を継続して観察していた。グラフが0℃を過ぎてマイナスまで進むと、生徒から「え！なんで!？」といった驚きの声があった。そしてピーカーから試験管を取り出して振動を与えると一瞬で凍り、温度も急激に上がるという現象を見るとさらに驚きの声と不思議に思う様子が見られた。温度センサーとデータロガーで作成されたグラフを記録しておくために、ワークシートに結果のグラフを記入させた(図4)。10班のうち1班を除いて過冷却現象を観察することができた。

### 5-3 現象の理解

実験結果のまとめの後、「なぜ過冷却が起こったと思いますか」という発問に対して、生徒は班ごとに話し合った。今回の実験で与えた「温度センサーに触れない」ことや「振動を与えない」ことの注意、および粒子について学習したことをヒントに考えをまとめる様子が見られた。「ゆっくり振動を与えずに冷却したことで、粒子が動かないまま0℃以下ま

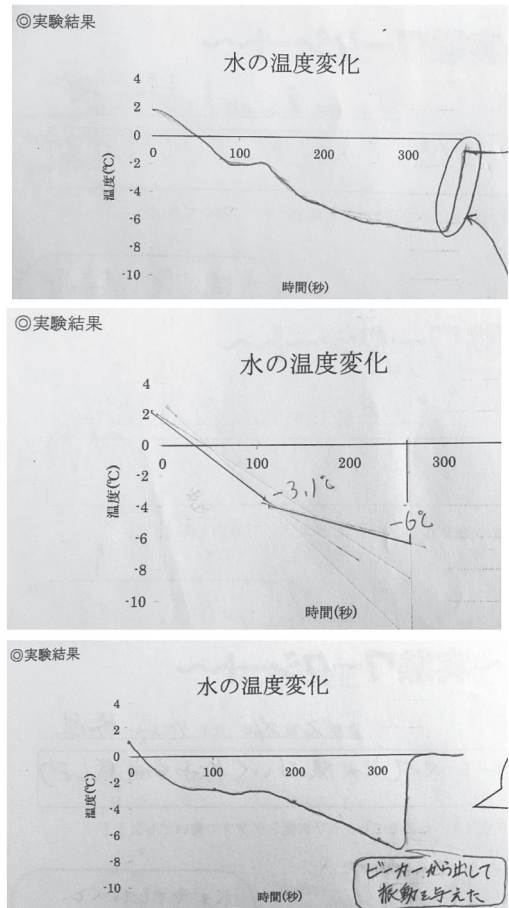


図4 水の温度変化について実験結果のグラフ

で下がり、振動を与えたことで粒子が整列して凍った。」という考えが生徒から出てきた。授業後に「過冷却のメカニズムについて詳しく知りたい。」と言ってくる生徒もいた。

### 5-4 振り返りシート

振り返りシートにおける5件法で求めた回答から、①あなたは授業を受けて楽しかったですか。という項目で平均4.74、②センサーを使った実験は分かりやすかったですか。という項目では平均4.65という結果が得られた。自由記述のコメントについて、内容の分類を行ったところ、「概念変化・概念理解」「探究」「新たな疑問」「興味関心」「センサーによる自動化・測定」「リアルタイムでグラフ化」「生徒同士の関わり」「授業展開」という8つのカテゴリーが現れた。カテゴリーに沿って、生徒のコメントを分類した。それぞれのカテゴリーに現れた特徴的なコメントとその頻度を表2に示す。

表2 カテゴリー別の特徴的な生徒コメントと頻度

カテゴリー	特徴的なコメント	数
1 概念変化・概念理解	・予想していたのと違い、面白いグラフになって驚いた。 ・自分が思っていたことが違って新しい発見ができた。 ・過冷却はゆっくり冷やすことによって、水の粒子が整列せずに冷たくなっていくことが分かった。	5
		5
		8
2 探究	・家でも作ってみたい。 ・温度センサーでエタノールなど他の融点も調べたかった。 ・温める方も見てみたい。	7 12 2
3 新たな疑問	・ゆっくり振動を与えずに冷やしていったら無限に液体なのか。 ・水以外の液体でもできるのだろうか。 ・過冷却はどのくらいの振動で固まるのか。 ・温度センサーの限界はあるか。	3 4 4 2
		4
		4
		2
4 興味・関心	・いきなり温度が上がったのがすごく面白いと思った。 ・センサーを使ったので普段より分かりやすく楽しかった。 ・身近な不思議に触れられた。	5 9 6
5 センサーによる自動化・測定	・自動的にグラフが作られ、人が作るより精確だ。 ・一秒ごとに温度が測れた。 ・簡単にグラフが作れて分かりやすかった。	12 3 8
		3
		8
6 リアルタイムでグラフ化	・リアルタイムでグラフとなって出てくるので、より精確で分かりやすい実験だった。 ・グラフに表されて過冷却の現象がすぐに分かった。 ・目で経過を見ることができた。	9 4 7
		9
		4
7 生徒同士の関わり	・グラフの変化を見ていたり、どうしてそうなるのだろうか、みんなで考えながらできた。 ・記録係が不要となり、みんなが実験を見れた。	1 1
		1
8 授業展開	・映像も見せて頂いて凍るところがよく分かった。 ・自分たちが作ったグラフから気付いたことを挙げていった。 ・実験の手順が紙でまとめてあって分かりやすかった。 ・実験が分かりやすい。	3 2 1 3
		3
		2
		1

「予想と違った」「新しい発見ができた」「～が分かった」という記述（計18個）から、過冷却によって生徒の中に概念変化や新しい概念理解が起こったことが分かる。また、「～についても調べたい」と

いう探究的なコメント（21個）や「～はどうなるのか」という新しい疑問のコメント（13個）も多く、生徒の探究心が促されたことが分かる。さらにセンサーを使用することによって、「リアルタイムでグラフになり、変化が分かりやすい」（9個）など、センサーの利便性について多くの生徒が気付いたことが分かる。さらに、生徒同士の関わりの中の「記録係が不要となり、みんなが実験を見れる。」という記述から、センサーとデータロガーを利用することで生徒同士が関わる機会が増え、全員で実験の解釈に目を向けることができることが分かった。

次に生徒の記述（総計160個）について、頻繁に使われているワードを抽出して分析を行った。分析結果を下図に示す（図5）。

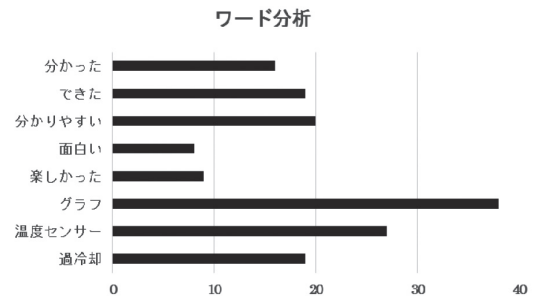


図5 生徒コメントで頻繁に使われているワードとその頻度

ワード分析結果から、「温度センサー」によって「グラフ」を作成することが生徒に大きなインパクトを与えたことが分かる。また生徒の記述とワード分析を照らし合わせると、「グラフ」と「分かりやすい」、また「グラフ」と「できた」というのがセットで記述されているものが多かった。このことから、生徒の思考の中でセンサーとデータロガーによる現象のグラフ表示が、理解の助けになっていたことが読み取れる。

## 6. 考察

本研究では、水の過冷却現象に関して温度センサーとデータロガーを用いて温度を測定する授業を開発し、その実践を通して、ICT機器が生徒の概念理解をどのように助けるかを調べた。生徒のコメントを質的に分析することにより、センサーとデータロガーの使用の有効性として、次の3点が明らかになった。

### ①生徒の概念変化を促す

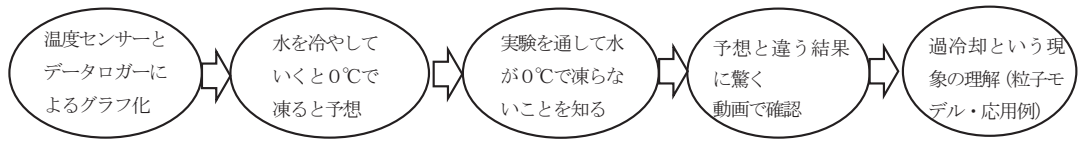


図6 生徒の理解の図式

授業実践で取り上げた過冷却現象について、既知っている生徒はおらず、全員が水は0℃で凍るものと考えていた。ところがセンサーとデータロガーを使った実験により、過冷却現象を観察することができた。しかも、センサーとデータロガーによって自動的に測定とグラフ作成が行われ、実験中にリアルタイムで現象とグラフの変化を同時に観察することができた。多くの生徒が自分の概念変化を自覚した。

### ②生徒の興味・関心を高める

5件法の質問に対して、回答の平均は4.74と非常に高く、授業を楽しみと感じた生徒が多かった。自由記述にも「面白い」「楽しかった」というコメントが挙がっている。また、探究の課題や新たな疑問を記述した生徒も多く、興味・関心が高まったことが分かる。興味・関心が高まった理由として、過冷却という現象自体の意外性、センサーとデータロガーによるリアルタイムの自動計測の面白さ、さらに班で話し合う楽しさの3つの要素が含まれていると考えられる。

### ③生徒同士の関わりを促す

既に述べたように、センサーとデータロガーの使用により、記録係が不要になり、全員がリアルタイムでグラフを見ながら実験を進めることができた。これによって、生徒同士が現象についての驚きや解釈を共有し、概念理解を深めることができた。

上記の3点は既に米国における先行研究で指摘されていたことであるが、日本の生徒を対象に行った実践においても同様の知見が得られたということは重要である。今後、中学校理科授業で、センサーとデータロガーを積極的に取り入れ、生徒の概念変化を促すような実践が積み上げられていくことが期待される。

ここで見落としてはならないのは、「2-3-1授業の構想」で述べたように、授業を効果的にするために取り入れた6つの要素である。事前の予想がなければ、生徒が概念変化を自覚することは少なかったであろう。事前に撮った過冷却の動画を見せ

たのは、過冷却が観察されなかった班だけでなく、どの班にとっても現象の確認になっただろう。ペットボトルの水や自然現象の例（雨水）は、生徒が過冷却を現実のものとして捉えることを助けたであろう。このように授業中の様々な要素がポジティブに重なり合って生徒の学びの実現性が高まる。これはICT活用とは無関係にどの授業でも言えることである。子どもの学びを促すような授業展開が入念に考えられていなければICT活用をしたからと言って、子どもの学びにはつながらないことに十分な注意が必要である。図6に生徒のたどるであろう概念理解の道筋を図式で示した。

## 7. 本研究の限界と今後の展望

本研究では温度センサーとデータロガーを用いて、ICT活用が子どもの科学的概念理解をどのように助けるかを調べた。中学校1年の物質の変化の単位における実践では、ICT活用が生徒の概念理解を促し、興味・関心を高め、生徒同士の関わりを深めることが示唆された。

本研究は1回の実践に留まっており、限られた研究結果であることは否めない。単元や学年、対象を変えてさらに多くのデータ収集を行うことが望まれる。また、継続的にICT活用を行うことによって、子どもの学習姿勢や考え方にどのようなインパクトを与えるかを調べることも興味深い。

本研究では振り返りシートの分析を主に行ったが、生徒の班ごとの発話を詳しく調べることができれば、生徒の生の声から概念変化の瞬間を捉えることも可能になる。残念ながら、今回の実践では班ごとに置いたビデオカメラやボイスレコーダーに記録された生徒の活動の様子は断片的で、生徒の変化を追うことができなかった。研究方法の上でも改善が望まれる。

センサーとデータロガーを用いた計測は、自動的にグラフの作成など、従来の計測機器ではできないことを可能にする。子どもの概念理解を助けるために、ICT機器をもっと有効に使う手立てを明らかに

していきたい。

#### 参考文献

- 1) 文部科学省 (2008) 「学力向上ICT活用指導ハンドブック」
- 2) 「ICTを活用した指導の効果の調査」研究会, 独立行政法人メディア教育開発センター (2007) 「文部科学省委託事業 教育の情報化の推進に資する研究 (ICTを活用した指導の効果の調査)」
- 3) Krajcik, J. S., & Starr, M. (2001). Learning science content in a project-based environment. In R. F. Tinker & J. S. Krajcik (Eds.), *Portable technologies: Science learning in context* (103-119). Netherlands: Kluwer.
- 4) Metcalf, S. J., & Tinker, R. F. (2004). Probeware and handhelds in elementary and middle school science. *Journal of Science Education and Teaching*, 13(1), 43-49.
- 5) Nicolaou, C. T., Nicolaidou, I. A., Zacharia, Z. C., & Constantinou, C. P. (2007). Enhancing fourth graders' ability to interpret graphical representations through the use of microcomputer-based labs implemented within an inquiry-based activity sequence. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 26(1), 75-99.
- 6) Novak, A. M. & Krajick, J. S. (2004). Using technology to support inquiry in middle school science. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: implications for teaching, learning, and teacher education* (1-14). Netherlands: Kluwer.
- 7) Russell, D. W., Lucas, K. B., & McRobbie, C. J. (2004). Role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in thermal physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(2), 165-185.
- 8) 松本卓也, 山本芳一 (2011) 「授業が変わる! センサー等を用いた教具の開発と実践」熊本県中学校教育研究理科部会, Retrieved from <http://sakura1.higo.ed.jp/ws/kcrikaws/re8.pdf>
- 9) 成田一之慎 (2012) 「酸素・二酸化炭素センサーを使った授業実践」北海道立理科教育センター研究紀要, 24.
- 10) 高橋和光, 大原ひろみ (2005) 「センサーとコンピュータを利用した中学校理科授業」*物理教育*, 53(2), 119-124.
- 11) 土佐幸子 (2014) 「データロガーを用いた研修が日米の理科教員に与える効果-探究的指導法に関する意識に着目して-」新潟大学教育学部研究紀要, 人文・社会科学編, 7(1), 171-184.
- 12) 末永誠徳 (2017) 「ICTを活用した探究的理科授業の開発研究-子どもの学びを深めるために-」平成28年度卒業論文集, 新潟大学教育学部理科教育学研究室