

小学校理科「水の温まり方」に関する教材開発 —「食紅カプセル」を用いた水の対流と温度変化の理解—

Development of Teaching Materials for “How to Warm Water” in Elementary School Science -Understanding Water Convection and Temperature Change using “Food Coloring Capsules”-

石 井 健 作

Kensaku Ishii

1 はじめに

現行の小学校学習指導要領では、その教科独自の「見方・考え方」を働かせて、学習を進めることが各教科の目標に定められている。特に理科では、「小学校学習指導要領解説 理科編」の第1章総説 2理科改訂の趣旨（2）理科の具体的な改善事項の中で、平成28年12月に行われた中央教育審議会答申で示された「主体的・対話的で深い学びの実現」¹⁾と「理科の見方・考え方」²⁾の関連について以下のように述べられている。

③学習・指導の改善充実や教育環境の充実等
i)「主体的・対話的で深い学び」の実現
「主体的な学び」、「対話的な学び」、「深い学び」の三

つの視点から学習過程を更に質的に改善していくことが必要である。なお、これら三つの視点はそれぞれが独立しているものではなく、相互に関連し合うものであることに留意が必要である。その際、自然の事物・現象について、「理科の見方・考え方」を働かせて、探究の過程を通して学ぶことにより、資質・能力を獲得するとともに、「見方・考え方」も豊かで確かなものとなると考えられる。さらに、次の学習や日常生活などにおける問題発見・解決の場面において、獲得した資質・能力に支えられた「見方・考え方」を働かせることによって「深い学び」につながっていくものと考えられる。

つまり、理科については、自然の事物・現象を対象として、「理科の見方・考え方」を働かせ、探究をしていくことが重要である。「理科の見方・考え方」については、それぞれ、領域、学年の特性に合わせて、以下のように整理されている。

【理科の見方】

領域	エネルギー	粒子	生命	地球
見方	主として 量的・関係的な視点	主として 質的・実体的な視点	主として 共通性・多様性の視点	主として 時間的・空間的な視点

ただし、これらの特徴的な視点はそれぞれ領域固有のものではなく、部分と全体、定性と定量などといった視点もある。

【理科の考え方】

学年	3年	4年	5年	6年
考え方	「比較する」 複数の自然の事物・現象を対応させ比べること	「関係付ける」 自然の事物・現象を様々な視点から結び付けること	「条件を制御する」 変化させる要因と変化させない要因を区別するということ	「多面的に考える」 自然の事物・現象を複数の側面から考えること

これからの理科の学習指導では、各領域・各学年でこれらの「理科の見方・考え方」を働かせながら資質・能力を育てていくことが重要である。

そこで、本研究では、子どもの科学的な概念形成が難しいと言われている4年生「ものの温まり方」、特に「水の温まり方」の着目し、科学的な系統性を踏まえ、「理科の見方・考え方」を明確にした教材開発を行うこととした。

2 「ものの温まり方」の単元の科学的概念の系統性

福岡³⁾は、物理教材観として、「実利的・功利的観点」「学問体系的観点」「探究的観点」「概念構成的観点」「STS (Science-Technology-Society) 的観点」で説明している。前述のように、「ものの温まり方」は子ども達にとって概念形成が難しいことと言われていることから、それらの観点の中でも「概念構成的観点」に着目した。これは、物理学を一つの建造物として考え、幾つかの概念が構造体として組み上げられているという考え方である。この構造体を建造するためには、基礎や柱となるものをはっきりさせておく必要がある。つまり、基礎的・基本的科学概念を獲得することが大切であるという考え方である。(Fig.1)

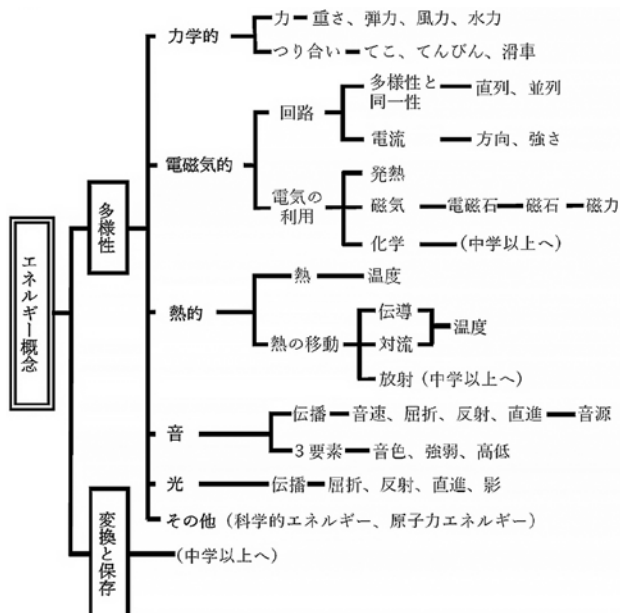


Fig.1 福岡が示した「エネルギー概念」の概念構造図

特に「ものの温まり方」に関する単元は、現行学習指導要領の内容構成としては、「粒子」に位置するが、内容構成としては「粒子のもつエネルギー」となっ

ている。科学的な内容としては、「熱の伝導」と「熱の対流」が重要となってくる。〔熱放射〕については、中学校の指導内容)

3 小学校学習指導要領における「ものの温まり方」の指導内容とポイント

小学校学習指導要領 解説 理科編では、「ものの温まり方」は、第4学年「A 物質・エネルギー」の「(2) 金属・水・空気と温度」に示される指導内容⁴⁾である。以下のように示されている。

金属、水及び空気の性質について、体積や状態の変化、熱の伝わり方に着目して、それらと温度の変化とを関係付けて調べる活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する。

ア 次のことを理解するとともに、観察、実験などに関する技能を身に付けること。

(ア) 金属、水及び空気は、温めたり冷やしたりすると、それらの体積が変わるが、その程度には違いがあること。

(イ) 金属は熱せられた部分から順に温まるが、水や空気は熱せられた部分が移動して全体が温まること。

(ウ) 水は、温度によって水蒸気や氷に変わる。また、水が氷になると体積が増えること。

イ 金属、水及び空気の性質について追究する中で、既習の内容や生活経験を基に、金属、水及び空気の温度を変化させたときの体積や状態の変化、熱の伝わり方について、根拠のある予想や仮説を発想し、表現すること。

特に(イ)が「ものの温まり方」の内容であるが、解説では以下のようになっている。

(イ) 金属、水及び空気を熱したときの熱の伝わり方に着目して、それらと温度の変化とを関係付けて、金属、水及び空気の温まり方を調べる。これらの活動を通して、金属、水及び空気の性質について、既習の内容や生活経験を基に、根拠のある予想や仮説を発想し、表現するとともに、金属は熱せられた部分から順に温まっていくこと、水や空気は熱を加えられた部分が上方に移動して全体が温まっていくことを捉えるようにする。また、物によってその温まり方には違いがあることを捉えるようにする。

以上のことから、子ども達概念形成が難しいとされる「水の温まり方」の指導では、概念構成的観点の点から、基礎的・基本的科学概念として、以下の点が重要であると考えられる。

【概念構成的観点の点からの基礎的・基本的科学概念】

- ① 熱したときの熱の伝わり方に着目させること【水の対流】
- ② 熱の伝わり方と温度を関係付けること【水の温度変化】

【身につける科学的に妥当な概念】

- ★ 水は熱を加えられた部分が上方に移動して全体が温まっていくこと

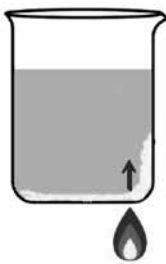
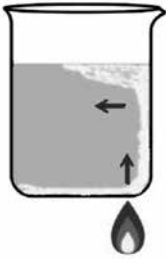
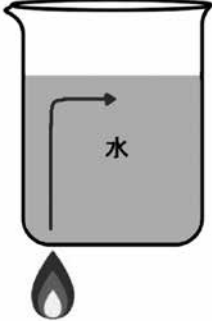
4 「水の温まり方」についての教科書での取り上げられ方の整理

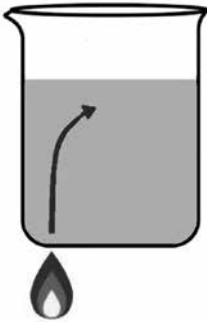
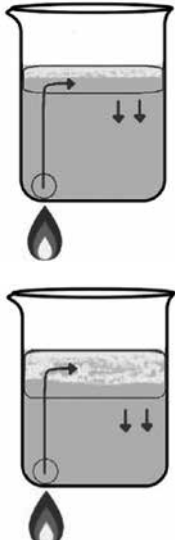
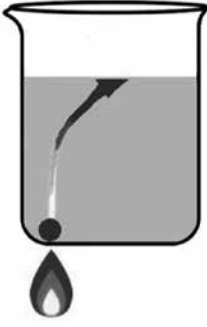
以上の「水の温まり方」についての主な単元構成、概念形成をさせるための手立て、水の温まり方の説明（まとめ）、指導のポイント、概念構成的観点が、現在

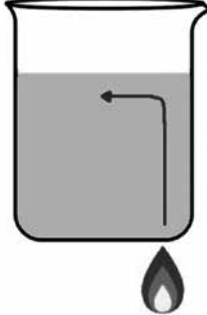
使用されている検定済教科書（全6社）⁵⁾では、どのように取り上げられているかを調査し、整理する。（表1）

野口ら⁶⁾によると、2014年当時の教科書会社各社の分析を行い、水の温まり方における不適切な取り扱いがあることが明らかにされ、また、このような不適切な記述を改善していくことで、理科を苦手とする教師の指導を是正していくことが可能になると示唆している。その中で、モデルについての調査はされているが、教科書の記述を補完するための、教材についての言及はされていない。そこで、本学習における「理科の見方・考え方」及び「指導のポイント」を考慮した教材開発を行いたいと考えた。

表1 「水の温まり方」に関する教科書の整理

<p>A 社</p>	<p><u>主な単元構成</u> 金属の熱伝導 → 水の対流 → 空気の対流</p> <p><u>概念形成をさせるための手立て</u> まずは示温インクを使って試験管の中の水の温度変化を調べ、その後、水の入ったビーカーに絵具（金色）の塊を入れ、水の動きを調べる。</p> <p><u>水の温まり方の説明（まとめ）</u> 水は、熱せられたところがあたたまり、温度が高くなる。温度の高くなった水が上のほうへ動き、水は全体があたたまっていく。</p> <p><u>指導のポイント</u> ① 料理時の鍋に水を入れた様子の写真から考えさせる。 ② 試験管で色の変化を見せる。 ③ 2段階的で（試験管、ビーカー）を行い、関連付ける。 ④ 金属の温まり方と比較しながら考察させる。 ⑤ 矢印と色の変化を用いてイメージ図で説明させる。</p> <p><u>概念構成的観点</u> 【水の対流】【水の温度変化】のいずれも網羅していると判断する。</p>	<p>イメージ図</p>  <p>Fig.2</p>  <p>Fig.3</p>
<p>B 社</p>	<p><u>主な単元構成</u> 金属の熱伝導 → 空気の対流 → 水の対流</p> <p><u>概念形成をさせるための手立て</u> 実験1で、示温インクを使ってビーカーの中の水の対流を調べる。同時に実験2で、絵具（オレンジ）の塊を入れ、水の動きを調べる。</p> <p><u>水の温まり方の説明（まとめ）</u> ・あたためられた水は、上に動きます。 ・水は、空気と同じように、動きながら全体があたたまっていきます。</p> <p><u>指導のポイント</u> ① 示温インクでいきなり水の温度変化を調べさせる。 ② 絵具で水の動きを調べさせる。 ③ 水の温度変化と動きを同時に調べ、関連付ける。 ④ 金属の温まり方と比較しながら考察させる。 ⑤ 矢印で水の動きをイメージ図で説明している。</p> <p><u>概念構成的観点</u> 【水の対流】【水の温度変化】のいずれも網羅していると判断する。</p>	<p>イメージ図</p>  <p>Fig.4</p>

C 社	<p><u>主な単元構成</u> 金属の熱伝導 → 水の対流 → 空気の対流</p> <p><u>概念形成をさせるための手立て</u> まずは示温インクを使って試験管の中の水の温度変化を調べ、実験1で、示温インクを使ってビーカーの中の水の対流を調べる。同時に実験2で、けずりぶしを入れ、動きを調べる。</p> <p><u>水の温まり方の説明（まとめ）</u> ・あたためられた水は上に動き、それにつれてまわりの水も動いて、水の流ることができることによって、全体がだんだんあたたまっていく。</p> <p><u>指導のポイント</u> ① 試験管で色の変化を見せる。 ② 試験管を熱する場所を変える。（中央部 → 下部） ③ 試験管の結果から、金属と違うという見通しを持たせる。 ④ 示温インクの説明では、色についての言及はあるが、温度についての言及はない。 ⑤ けずりぶしでは、「回るように動いた」と記述している。</p> <p><u>概念構成的観点</u> 【水の対流】は十分であるが、【水の温度変化】については、授業中に補足しないといけないと考える。</p>	<p>イメージ図</p>  <p>Fig.5</p>
D 社	<p><u>主な単元構成</u> 金属の熱伝導 → 水の対流 → 空気の対流</p> <p><u>概念形成をさせるための手立て</u> まずは示温インクを使って試験管の中の水の温度変化を調べ、実験では、示温インクを使ってビーカーの中の水の対流を調べる。</p> <p><u>水の温まり方の説明（まとめ）</u> ・水を熱すると、あたためられた部分が上へ動く。このような動きを続けて、水全体があたたまっていく。</p> <p><u>指導のポイント</u> ① 金属の結果をもとに、水の温まり方を予想させる。 ② 示温インクの温度変化を示す。 ③ 試験管で色の変化を見せる。 ④ 金属棒の熱伝導から、試験管の温度変化を考えさせる。 ⑤ 水の温まり方は、まずはイメージ図で予想させる。</p> <p><u>概念構成的観点</u> 【水の対流】【水の温度変化】のいずれも網羅していると判断する。</p>	<p>イメージ図</p>  <p>Fig.6</p> <p>Fig.7</p>
E 社	<p><u>主な単元構成</u> 金属の熱伝導 → 水の対流 → 空気の対流</p> <p><u>概念形成をさせるための手立て</u> まずは示温テープと示温インクを使って試験管の中の水の温度変化を調べ、その後、示温インクとコーヒーの出しがらを使ってビーカーの中の水の対流を同時に調べる。</p> <p><u>水の温まり方の説明（まとめ）</u> 水は、熱したところが上にあがり、かわりに上の冷たい水が下にしずむというように、水が動くことによって、全体が温まる。</p> <p><u>指導のポイント</u> ① 示温テープを用いる。 ② 試験管上部も熱し、温かい水は上部に溜まることを観察させる。 ③ 試験管、ビーカーのどちらも複数の実験を関連付ける。 ④ 矢印と色の変化のイメージ図で説明する。</p> <p><u>概念構成的観点</u> 【水の対流】【水の温度変化】のいずれも網羅していると判断する。</p>	<p>イメージ図</p>  <p>Fig.8</p>

F 社	<p><u>主な単元構成</u> 金属の熱伝導 → 水の対流 → 空気の対流</p> <p><u>概念形成をさせるための手立て</u> まずは示温インクを使って試験管の中の水の温度変化を調べ、その後、水の入ったビーカーに示温インクを入れ、動きを調べる。</p> <p><u>水の温まり方の説明（まとめ）</u> 水は、一部を熱すると、熱してあたためられた部分が上の方へ動いて、上から順にあたたまり、全体があたたまります。水のあたたまり方は、金ぞくのあたたまり方とはちがいます。</p> <p><u>指導のポイント</u> ① 料理時の鍋に水を入れた様子の写真から考えさせる。 ② 示温インクのみで実験する。 ③ 段階的に2つの実験（試験管、ビーカー）を行い、関連付ける。 ④ 最後も日常に返り、鍋の水で説明している。 ⑤ 更に、水が動く理由を粒子モデルで説明している。</p> <p><u>概念構成的観点</u> 【水の対流】は十分であるが、【水の温度変化】については、授業中に補足しないといけないと考える。</p>	<p>イメージ図</p>  <p>Fig.9</p>
-----	--	---

4 「水の温まり方」に関する教材と理解の経年変化

高木ら⁷⁾は、水の温まり方（対流）を見るために、高分子吸収材を用いた教材開発を行った。給水してゲル化し、水と密度が近くなる性質を生かした教材である。0.5%の食用色素（食紅）で着色した高分子吸収材は、水の対流の様子が明瞭に観察することができることを明らかにしている。一方、色素の付け方を検討する課題が残っていた。

佐伯、木村⁸⁾は、水の温まり方を調べるために、洗濯用合成洗剤も用いた教材開発、実践を行っている。洗濯用洗剤は、非イオン界面活性剤が含まれることで、一定の温度以上で白濁する性質がある。実験では、曇点が約75℃であり、示温インク（40℃で変化）よりも高い温度で行われている。この実践からは、水の温まり方について子どもが正しい概念を形成することができていること、授業参観した教師が実践に意欲的になっていることが明らかになっている。動きについては意識できると思われるが、白濁ということから、子ども達がどれだけ温められたということを意識できたかは、更に考察する必要があると思われる。

宇佐美⁹⁾は、充満サーモイクラモデルを開発し、

授業実践を行っている。アルギン酸ナトリウムを用いた人工イクラに、示温インクを混ぜ、ビーカーの中に充填し、温度変化と動きを同時に見ることができるようにした。実践後、児童に水の温まり方を図示させたところ、温度の高い水が、次々と上に溜まった後、温度の低い水が下の方へ下がっていくことを描くことができている。この実験から、充満サーモインクモデルは、水の温まり方を視覚的に捉える上で有効であることが明らかになっている。

森藤ら¹⁰⁾は、物の温まり方に関する授業とその理科の経年変化について調査している。1年後に理解状況を調査している。水の動きについて初めは、様々な説が支持されていたが、高分子吸収材を用いた実践を行った授業直後には「熊手説（科学的に妥当なモデル）」が支持されていたが、1年を経過した後には、再び説が支持されることが明らかになっている。これにより、高分子吸収材を用いた教材としての価値が限定的であったことを示唆している。

このように、様々な教材が開発され、実践されているが、子ども達にとって思考の過程が複雑であったり、また、準備に時間がかかってしまったりすると、教材として本末転倒である。学習内容を網羅し、かつ単純な教材が必要であると考えられる。

5 教材「食紅カプセル」の開発

(1)教材研究の視点

現行の学習指導要領の内容及び教科書に紹介してある教材を吟味して、教材開発を行った。水の温まり方に関する教材を開発する際に、重要な視点は以下のものであると考えた。

【教材研究の視点】

- ① 水の温まり方が視覚的に分かりやすいこと。 【質的・実体的の視点】
- ② 水そのものの移動を直感的に捉えやすいこと。 【質的・実体的の視点】
- ③ 温度変化と温まり方の関係を捉えやすいもの。 【関係付けの視点】
- ④ 特別な素材を使わずに、簡単に手に入るもの。または、手軽に製作できるもの。 【準備し易さの視点】

そこで、上記のことを満足できるものとして「食紅カプセル」を提案したい。本教材については、石井¹¹⁾ですでに授業実践を行っている。その際は食紅カプセルと示温インクを並行して、実験させ、矢印や色を使ったイメージ図の作成に効果があったことが明らかになった。今回は、「概念構成的観点」と上記の教材研究の視点から食紅カプセルの効果について考えてい。

(2) 材 料

- 食紅 500mg 程度
- 薬剤カプセル（ゼラチン製） # 0 : 0.68ml
薬局で購入可
- アルミワイヤー 20cm 程度 # 19 : ϕ 1.0mm

(3)作成の手順

- ① 食紅をからの薬剤カプセルに入れる。(Fig.10)
 - ※ できるだけ、カプセルの周囲につかないように丁寧に入れる。
- ② 食紅カプセルをアルミワイヤーで固定し、三脚部分を作る。(Fig.11)
 - ※ 中心のワイヤーは短くしていても、三脚部分の曲げ方で深さは変えられる。

- ③ 食紅カプセルの一方（熱源に近い方）にピンで穴を開けておく。(Fig.10)

※ 穴からカプセルが溶け始め、食紅が流れ出すくなる。

- ④ 三脚部分をビーカーに固定して、深さを調節する。(Fig.12)

※ 熱源の位置も考えながら、前後左右にも調整すると良い。



Fig.10 完成した食紅カプセル

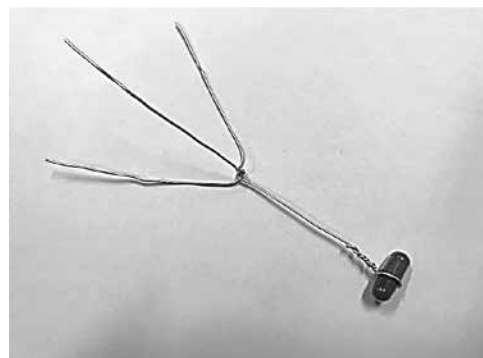


Fig.11 三脚を取り付けた様子

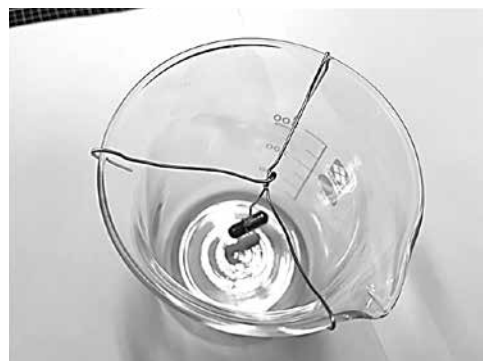






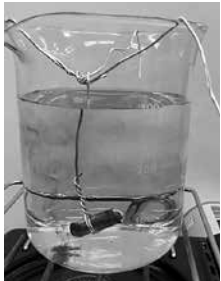

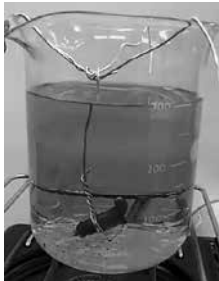





Fig.12 ビーカーに取り付けた様子

(4)教材を用いた実験の実際

【実験環境】 実験室内温度：16.5℃、初めの水温：12℃、水 300mL（300mL ビーカーを使用）

【時間経過とビーカー及び食紅カプセルの様子】

時間	0 min 05sec	0 min 20sec	0 min 50sec
ビーカーの様子	 <p>Fig.13 カプセルの口から食紅が出始める。</p>	 <p>Fig.15 食紅が上昇し始める。</p>	 <p>Fig.17 カプセルが溶け、激しく食紅が出始める。</p>
カプセルの様子	 <p>Fig.14</p>	 <p>Fig.16</p>	 <p>Fig.18</p>
時間	1 min 15sec	2min 40sec	3min 50sec
ビーカーの様子	 <p>Fig.19 上昇がはっきりと見える。</p>	 <p>Fig.21 上昇が激しくなり、上部が赤く染まる。</p>	 <p>Fig.23 激しい対流が起こり、全体が赤く染まる。</p>
カプセルの様子	 <p>Fig.20</p>	 <p>Fig.22</p>	 <p>Fig.24</p>

(5)教材の価値及び期待できる教育的効果

【「概念構成的観点」の点から】

「食紅カプセル」は、水に溶けやすい性質、かつ色の識別が容易であるため【水の対流】については、大変効果的であると考えられる。また、カプセルが温められて徐々に溶けていく様子から【水の温度変化】についてもイメージがしやすいと考える。

【教材研究の視点から】

透明の液体である水に食紅で着色することで、水そのものの移動を直感的に捉えることができると考える。流体である水は、温度が上がることで体積膨張が起こり、密度が低くなる。従って、温度が低く密度が高い水よりも上部に移動する。着色された水を見ることで、移動そのものが一目瞭然である。また、着色が赤色と言うことにも着目したい。赤のイメージとして、温度が高いことが挙げられる。赤い水が上部に移動することで、水の温まり方について子ども達は視覚的に理解することができると考える。これからはイメージしにくいものに対して、【質的・実体的の視点】で見ることに繋がる。また、温度変化と温まり方について【関係付け】ながら考えることが予想される。更に、前述の通り、身近に手に入るもので教材を準備した。特別な素材を使わずに、簡単に手に入るもの。または、手軽に製作できるという、【準備し易さ】という点からも、教材の価値があると考ええる。

5 終わりに

今回は、「ものの温まり方」、特に「水の温まり方」に関する科学的な系統性、及び指導内容、教科書比較から、教材研究の視点を明確にし、教材開発を行った。【水の対流】【水の温度変化】という「概念構成的観点」と、【質的・実体的の視点】【関係付けの視点】【準備し易さの視点】という教材研究の視点から「食紅カプセル」を提案したが、今後は以下の点での更なる教材研究・改善が求められる。

- 【水の対流】は分かりやすいが、【水の温度変化】については、赤一色となり、それぞれの子どもによってどのような捉え方をするかは明らかになっ

ていない。サーモインクの性質を生かしたサーモパウダーを使うと、更に視覚的に分かりやすい教材になると考える。

- 【質的・実体的の視点】は、目に見えないものを可視化することに意味がある。特に子どものイメージについては、更に調査・分析の余地がある。この「食紅カプセル」を見た際の、子どもがどのようなイメージを持つかを調査していきたい。
- 中学校の学習内容にどのように繋がるかも再度検討し、汎用性のある粒子概念について、更なる教材研究が必要である。

この教材が少しでも現場の実践に生かされるように、現場の先生方と改善を繰り返しながら、実際に授業の中でこの教材を使っていただき、子ども達の理解度の評価、及び、困難であると言われている本学習内容の概念変容を分析していきたいと考える。

<参考文献>

- 1) 文部科学省「小学校学習指導要領(平成29年告示) 解説 理科編」、東洋館出版社、pp.7-8、2018
- 2) 前掲書1)、pp.13-14
- 3) 福岡敏行「理科教育講座 第7巻 理科教材論(下)」、東洋館出版社、pp.3-21、1992
- 4) 前掲書1)、pp.48-50
- 5) 今回調査したのは、以下の6つの教科書会社の検定済教科書である。
 - 文部科学省検定教科書「新編 たのしい理科 4年」、大日本図書、pp.175-178、2024
 - 文部科学省検定教科書「新編 新しい理科 4」、東京書籍、pp.142-145、2024
 - 文部科学省検定教科書「わくわく理科 4」、啓林館、pp.145-148、2024
 - 文部科学省検定教科書「みんなと学ぶ 小学校理科 4年」、学校図書、pp.164-168、2024
 - 文部科学省検定教科書「未来をひらく 小学理科 4」、大日本図書、pp.150-155、2024
 - 文部科学省検定教科書「楽しい理科 4年」、信州教育出版社、pp.138-142、2024
- 6) 野口祐未・森藤義孝「小学校理科における科学用

語の取り扱いに関する分析」、日本科学教育学会研究会研究報告、29 巻 1 号、pp.109-114、日本科学教育学会、2018

- 7) 例えば、高木盛雄・伊藤敏幸「水の温まり方 (対流) を見る : 高分子吸水材を用いた教材の開発 Part 1」、化学と教育、43 巻 11 号、p. 729、日本化学会、1995
- 8) 佐伯英人・木村ひろみ「洗濯用合成洗剤を使って水の温まり方を調べる実験」、理科教育学研究 理科教育学研究、58 巻 3 号、pp.231-238、日本理科教育学会、2018
- 9) 宇佐美宏幸「水の温まり方におけるモデル教材の開発 : 大量のサーモイクラを入れた充満サーモイ

クラモデルを活用して」、日本理科教育学会全国大会要項、第 65 回全国大会論文集、p.231、日本理科教育学、2015

- 10) 森藤義孝・河野将和・前田和美・石井健作「ものの温まり方に関する授業とそれによってもたらされる理解の経年変化」、日本理科教育学会九州支部大会発表論文集、37 号、pp.33-34、日本理科教育学会、2009
- 11) 石井健作・甲斐初美「『科学用語』に視点を当てた授業構成に関する研究」教育学実践研究第 21 号、pp.83-90、福岡教育大学教育総合研究所、2013