

小学校5年「物の溶け方」の発展的課題に対する読み物とワークシートの開発と評価

山下修一¹⁾*・保刈栄紀²⁾・古市綾乃³⁾

¹⁾千葉大学・教育学部

²⁾すみだ教育研究所

³⁾墨田区立二葉小学校

Development and Evaluation of Reading Materials and Worksheets for Advanced Task of 5th grade “Dissolution of Matter”

YAMASHITA Shuichi¹⁾*, HOKARI Hideki²⁾ and FURUICHI Ayano³⁾

¹⁾Faculty of Education, Chiba University, Japan

²⁾Sumida Educational Research Institute

³⁾Futaba Elementary School

本研究では、小学校5年「物の溶け方」の発展的課題として、教科書の分散モデルではなく、水が食塩を取り囲むモデルで、児童が理解できるような読み物とワークシートを開発し、読み物の読解から児童がどの程度理解して説明できるようになったのかを探った。

その結果、開発した読み物を読んで、ワークシートに情報を整理したことから、90%以上の児童が食塩が水に取り囲まれているモデルを描き、科学的に説明できたのは82名(89.1%)となり、ほとんどの児童が科学的に自信を持って回答できるようになった。ワードクラウドからも、「読んだ後」には、「混ざる」「蒸発」に代わって「取り囲む」「電気」が出現し、読み物を通じて食塩と水が電氣的にくっついて食塩が水に取り囲まれて落ちてこないという説明が児童に受け入れられた。

This study was performed to investigate how newly developed the reading material and worksheet facilitated students' scientific explanation of “dissolution of matter”.

A total of 92 students tackled to explain “The reason why the salt solution does not become thicker at the bottom even after a week” in a 1-hour science lesson using the reading material and worksheet. The students' responses on the worksheet were analyzed. The results showed that 82 students were able to explain scientifically with confidence why the salt solution does not become thicker at the bottom. The students accepted the explanation that salt and water are electrically connected through the reading material and worksheet. In addition, most of the students realized that they had deeper understandings because they read the reading material and organized the information on the worksheet.

キーワード：発展的課題 (advanced task), 読み物 (reading material), ワークシート (worksheet), 物の溶け方 (dissolution of matter)

1. 問題と目的

2021年度に東京都墨田区に千葉大学のサテライトキャンパスが開設されたのを機に、千葉大学教育学部と墨田区が連携して児童・生徒の学習支援をすることになった。全国学力・学習状況調査結果から、墨田区の児童・生徒には活用力に課題があったため、PISA型の読解力・数学的リテラシー・科学的リテラシーを育む支援が求められた。そこで、科学的リテラシーを育む「千葉大学×墨田区」プロジェクトを立ち上げ、小・中学校理科各12単元についての支援が進められた(山下ら, 2022)。PISA型の科学的リテラシーには、科学的探究なども含まれる

が、本プロジェクトでは通常の理科授業展開の妨げにならないように、単元末に一単位時間で実施可能な支援にする必要があった。そのため本研究での「科学的リテラシーを育む支援」では、遠西ら(2022)が「理科では科学のテキストを読み解く能力、科学リテラシーを育成する」としていることから、「読み物を読んで情報を整理し、理解を深めて科学的に説明できるようにするための支援」として実施している。

具体的には、山下・野村・岩本(2022)が、千葉県教育委員会との共同研究で(勝田・桜庭, 2018)、コア知識(山下, 2018)とOPPA(One Page Portfolio Assessment)(堀, 2018)の知見を生かして、発展的課題に取り組むために開発した読み物とワークシートを参考にした。OPPAの知見から「学習前の予想(確信度)」を記

*連絡先著者：山下修一 syama@faculty.chiba-u.jp

述させ、ワークシートで脊椎動物の分類の観点に関するコア知識を振り返りながら、読み物のサメ・マンタ・イルカの情報を比較・整理させ、学習後には「学習後の回答（確信度）」、「学習によって成長したこと」を記述させた。その結果、脊椎動物の分類の学習を終えた時点では困難であったマンタの分類が、読み物を読んで情報を整理したことで、マンタを魚類に分類できるようになった。本研究でもこれらの知見を生かして、児童が発展的課題に取り組むための読み物とワークシートを開発できると考えた。

小学校5年「物の溶け方」では、2017年改訂の学習指導要領で「水溶液の中では、溶けている物が均一に広がることにも触れること」が中学校1年から移行され、小学生にどのように理解させるのかが課題となっていた（山下, 2022a）。菊地ら（2021）は、「溶液の均一性は、溶液概念の根幹をなす要素であり、学習者がこのことを受け入れないと溶液とは何かのイメージを持つことができない」と指摘している。戸井（2019）は、授業で学習したとしても「水溶液は下の方が濃い」という誤った認識をそのまま持ち続けてしまう子供が多いと指摘し、水溶液の均一性の理解と定着には、「重さのある粒子は下に落ちていく」という子供の素朴概念は認めつつも、完全に溶かした水溶液中ではそれが成り立たないことを捉えさせる必要があるとしている。

先行研究では、例えば宗近（2002）は、粒子モデルの導入によって、視覚的に捉えられない溶解現象のモデル化が容易になり、児童の概念形成の手段となると指摘している。また、菊池ら（2014）は、水と食塩の粒をカラーシールで表現させ、水溶液の上部・下部を蒸発乾固させる実験を通して均一性を確認した結果、4ヶ月後の遅延テストでも35名全員が上部・中央部・下部が同じ濃さであると回答したと報告している。ただし、小・中学校の教科書の水溶液モデルは、水との相互作用がない分散モデルで、上部・中央部・下部が同じ濃さであると回答できても、しばらくすると重い食塩が下に落ちてきてしまい、食塩水が均一のままであることをうまく説明できない。多くの生徒は高等学校化学で水和を習ってはじめて、「水と食塩がくっついて食塩水になったから均一のままだ」と長年の疑問を解消している（山下, 2022a）。山下（2022b）は、公立小学校の5年生の「物の溶け方」の授業を参観し、1週間経っても食塩水が均一のままである理由を児童25人に考えさせたところ、インターネットで予習をしていた3人の児童が、「水と食塩がくっついて食塩水になったから均一のままだ」と本質をついた考えを示したにもかかわらず、教員の方で教科書の分散モデルでまとめようとして、3人の考えは取り上げられず児童は納得していなかったと報告している。

そこで本研究では、分散モデルではなく、水が食塩を取り囲むモデルを用いて、児童でも理解できるように読み物とワークシートを開発し、読み物を通じて実際に児童がどの程度「1週間たっても食塩水が均一のままであること」を説明できるようになるのかを探った。

2. 方 法

1) 調査対象および実施時期

2022年3月に、教科書で「物の溶け方」を学習済みの墨田区内の公立小学校5年生3クラス92名を対象にして、4ページの読み物（図1）+A4版ワークシート（図2・図3）で構成された発展的学習「食塩水が1週間たっても下の方が濃くならない理由」を一単位時間（45分）で行った。

2) 調査項目

ワークシートの「食塩水が1週間たっても下の方が濃くならない理由（読む前・後）」「読み物を読んで成長したこと」に対する児童の記述・自信度を分析した。記述の分析には、荒木田・豊増・仲野（2022）が、2010～2021年にCAQDAS（Computer-Assisted Qualitative Data Analysis Software）を使用した質的研究論文95件を分析したところ、NVivoが最も多く使用されていたことから、NVivo for Windowsを用いて頻出語のワードクラウドを作成して分析した。

3) 読み物

本プロジェクトでの読み物は、A4 1枚の両面印刷とし、A5に折って小冊子にするように規格化されている。先行研究（山下, 2022a）では、小学校5年「ものどけ方」のコア知識として、「食塩水では、食塩の粒が目に見えないほど小さくなり、動いている水の粒に取り囲まれて均一になっている」としているが、読み物の制限から「動いている水」の部分を略して、水が食塩を取り囲むモデルを示して、「水と食塩が電氣的に引き合っつく」という説明に焦点化した。具体的には、分散モデルでは水より重い食塩がしばらくすると下に落ちてきてしまうこと（図1 p. 2上）、水より重い食塩が下に落ちてこないのは食塩が水に取り囲まれているからだということ（図1 p. 3上）、食塩が水にとけると電気を持つこと、水道から水を少したらしめてティッシュでこすったストローを近づける実験から水も電気を持っていること（図1 p. 3下）、みそ汁やコーヒーの中でも水に溶けるものは水に取り囲まれ、水に溶けないものが下に落ちてくること（図1 p. 4）等の説明にした。

本プロジェクトでのワークシートは、A4 1枚の両面印刷で、表面の「読み物を読む前」の考えを記述してから、裏面の表に情報を整理させて、「読み物を読んだ後」の考えを記述させ、そして再び表面に戻って、「読み物を読む前」の考えを見ながら、「読み物を読んで成長したこと」を記述させるように規格化されている。まず、図2のA4版ワークシートを表面にして配布し、「食塩水が1週間たっても下の方が濃くならない理由」について、読み物を読む前の自分の考えを記入させた。次に図1の読み物を配布して、読み物を各自で黙読させ、途中で読み物の3ページにある水道から水を少したらしめて、ティッシュでこすったストローを近づける実験について、事前に撮影した「水道から細く垂らした水をストローに近づけると、水がストローの方へ近づいていく様子」の動画を教室の大型テレビに映して観察させ、既に授業で

学習した食塩水の上部・中央部・下部の濃さが同じであるという実験結果と関連付けてワークシートの空欄を埋めることで、食塩と水が電気的にくっついて食塩が水に取り囲まれて落ちてこないという説明を理解して、自分なりの言葉で説明することを期待した。

3. 結果と考察

1) 児童の説明状況

ワークシートの記述を分析することで、食塩と水が電

氣的にくっついて食塩が水に取り囲まれて落ちてこないことを理解して、「食塩水が1週間たっても下の方が濃くならない理由」を説明できるようになったのか、学習によって成長したことを実感できたのかについて探った。

「読む前」と「読んだ後」の「食塩水が1週間たっても下の方が濃くならない理由」についての説明と自信度の推移を表1に示した。自信度「5：自信あり 4：やや自信あり 3：どちらでもない 2：やや自信なし 1：自信なし」については、回答番号をそのまま5点～1点と得点化して平均値（SD）を示した。また、図4

<食塩水が1週間たっても下のほうがこくならない理由>を
読み物を読んでから、ワークシートに情報をまとめよう！

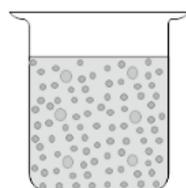
ピーカーに入っている水に食塩をとかすと、1週間たっても下のほうがこくならないことに、納得できる人は少ないでしょう。大学生でもほとんど説明できません。教科書のキャラクターも次のように言っています。

とかした後、しばらくすると下のほうがこくなるんじゃないかな。



ここでは、食塩水が1週間たっても下のほうがこくならない理由を考えていきます。

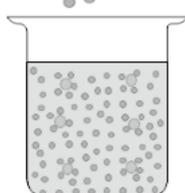
よく見る食塩水の図は、下のような食塩 ● と水 ○ の図です。



みなさんなら、どのように食塩水の図をかきますか？

1

実は、食塩水になると、水と食塩がばらばらあるのではなく、食塩が水にとりかまれているのです。



食塩が水にとけると、電気をもちます。

スポーツドリンクのラベルにNa+などを見たことがあるでしょう。

水もほんの少し電気をもっています。

<実験してみよう！>

水道から水を少したらし、ティッシュでこすったストロー(電気をもつ)をちかづけてみよう！



どうなりましたか？

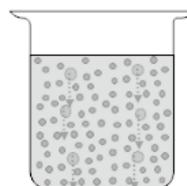
水も電気をもっていることがわかりましたか？

食塩水のなかでも、水と食塩が電気でくっついて、

食塩が水にとりかまれているので、下に落ちてこないのです。

3

よく見る図だと、水より重い食塩がしばらくすると下に落ちてきて、一週間すると下のほうがこくなってしまいます。



水より重い食塩が下に落ちてこないのは、何か理由があるはずですよ。自分で考えてみてください。

2

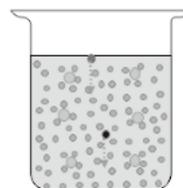
食塩水が1週間たっても下のほうがこくならない理由を説明できますか？

みぞれやコーヒーなどは、しばらくすると下に落ちてきてくるものが見えます。

みぞれやコーヒーのなかでも、食塩などの水にとけるものは、

水にとりかまれているので下に落ちてこないのですが、

水にとけないもの ● もまじっていて、水にとけないものが下に落ちてくるのです。



食塩が水にとけて食塩水になると、食塩が水にとりかまられるので、1週間たっても下のほうがこくならない理由がわかりましたか？

<<この読み物を見ながら、ワークシートに情報を整理してください>>

4

図1 A4に両面印刷して小冊子とした4ページ分の読み物

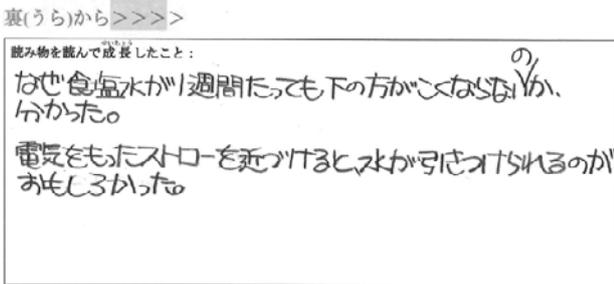
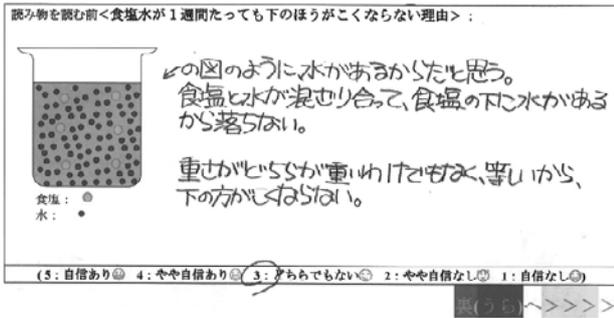


図2 ワークシートの児童の記述例(表)

には「読む前」, 図5には「読んだ後」の児童の理由の記述中の頻出語をワードクラウドで示した。

「読む前」は、「食塩水が1週間たっても下の方が濃くならない理由」について、「水と食塩がくっつくから」のように科学的に説明できたのは7名(7.6%) 自信度: 2.14 (1.13), 不十分な説明は85名(92.4%) 自信度: 2.60 (1.16)であり, 教科書で学習済みでも児童にとっては、発展的課題について説明することは難しかった。科学的に説明できた7名も自信度: 2.14で自信持って説明できたわけではなかった。図4「読む前」の理由の頻出語からは、「水」を中心として「混ざる」「蒸発」などが取り囲んでワードクラウドを形成していることがわかる。

「読んだ後」には, 図3のワークシート裏面の「食塩水の図: よく見る図から>>下の方が濃くならない図にしてみよう!」では, 84名(91.3%)が図3の例のように, 食塩が水に取り囲まれているモデルを描いていた。科学的に説明できたのは82名(89.1%) 自信度: 3.73 (1.17), 不十分な説明は10名(10.9%) 自信度: 2.80 (1.23)となり, ほとんどの児童が科学的に自信を持って回答できるようになった。図5の「読んだ後」の理由の頻出語を見ても, 「混ざる」「蒸発」に代わって「取り囲む」「電気」が出現し, 読み物を通じて食塩と水が電氣的にくっついて食塩が水に取り囲まれているから落ちてこないことが

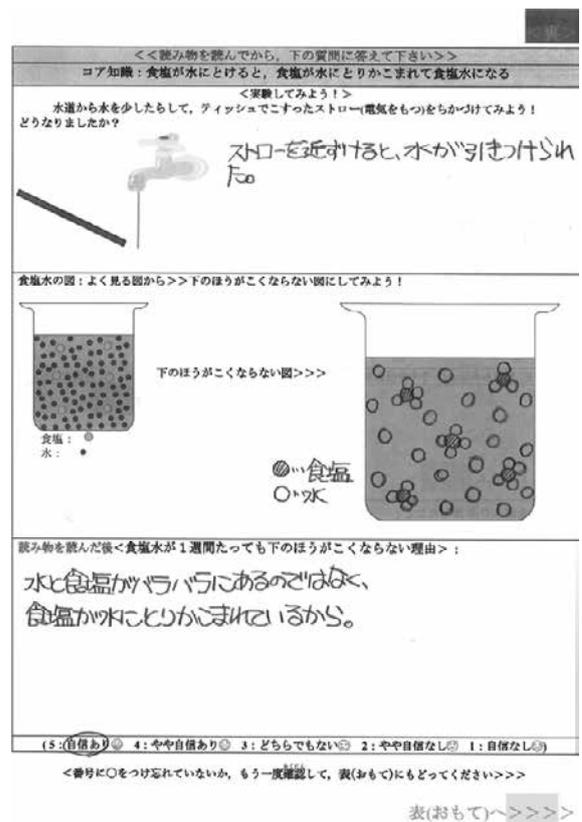


図3 ワークシートの児童の記述例(裏)

理解された。ただし, 不十分な説明だった10名(10.9%)の回答については, 「水にとけない成分は下に行くが, 食塩は下に行かないから」などといった説明であった。

2) 学習によって成長したこと

学習によって成長したことについての記述内容を「理解深化」「考えられた・説明できた」「興味・面白い」のカテゴリーに該当するものに分け(複数該当有), 図6には各カテゴリーの該当数を示した。なお, 「理解深化」については「最初はまったく分からなかったけど, 読み物を読んだらわかりやすくて, 1週間たっても下の方が濃くならない理由が分かった」など, 「考えられた・説明できた」については「書いてあることを自分の言葉でまとめることができた」など, 「興味・面白い」については「水がくっついていてのは驚きました。えー, そうなの?」と思ったのは水が電気を含んでいるのが驚きでした」などの記述を分類した。また, 図7には「学習によって成長したこと」の記述中の頻出語をワードクラウドで示した。

表1 説明と自信度の推移 (N=92)

説明	読む前	読んだ後
科学的 「水と食塩がくっつく」	7名(7.6%) 自信度: 2.14 (1.13)	82名(89.1%) 自信度: 3.73 (1.17)
不十分な説明	85名(92.4%) 自信度: 2.60 (1.16)	10名(10.9%) 自信度: 2.80 (1.23)

自信度: 自信度の平均値(SD)

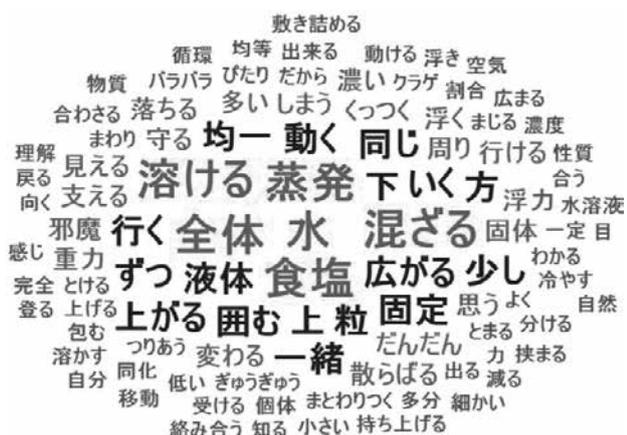


図4 「読む前」の理由の頻出語

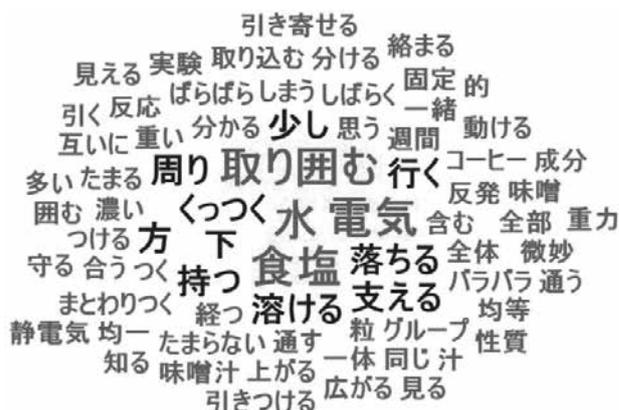


図5 「読んだ後」の理由の頻出語

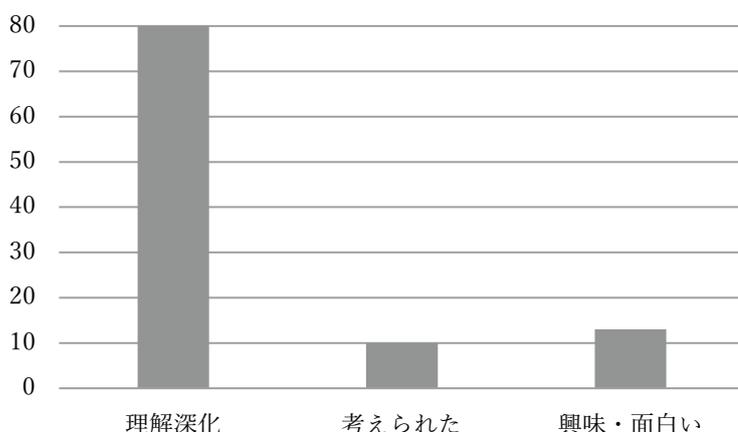


図6 学習によって成長したことの該当数 (N=92)

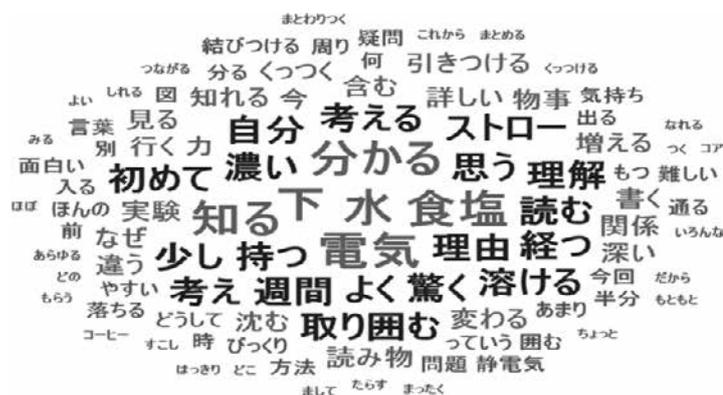


図7 学習によって成長したことの頻出語

80名(87.0%)が学習によって成長したこととして「理解深化」をあげ、15名(16.3%)が「考えられた・説明できた」、21(22.8%)が「興味・面白い」に関する記述をしていた。これらのことから、開発した読み物を読んで、ワークシートに情報を整理したことから、理解が深まったと実感していた様子が伺える。

図7を見ても「水」を中心として「分かる」「知る」「電気」などが取り囲んでワードクラウドを形成しており、食塩と水が電氣的にくっついて食塩が水に取り囲まれていることが理解されたと言えよう。

3) 読む前に「蒸発」に関連した記述をした児童

図4「読む前」の理由の頻出語に「蒸発」が見られ、「蒸発」が水溶液均一の理解の妨げになっているのではないかと考えられる。読む前に「蒸発」に関連した記述は、表2の12名(13.0%) 自信度:2.25(0.87)であった。

これは、4年生で覆いをした容器と覆いをしない容器に同量の水を入れ、数日後に水の量や内側の様子を比較する実験を行っており(兼子・山下, 2021)、覆いをしない容器では、「蒸発」により水が減ったという結果に関連づけてなんとか「水より重い食塩が下に落ちない理由」を児童なりに説明しようとしていたと考えられる。今後は蓋をした食塩水で考えさせることなどの配慮が必

表2 読む前の「蒸発」に関連した記述12例

蒸発してしまうから。(7例)
食塩も水も蒸発して空気中に出ていくから。
水が蒸発して溶けたものが広がるから。
水の蒸発と共に少しずつ上に上がっていくから。
水が蒸発して下が濃くなっても溶かしたものが全体に広がって、濃さが同じになるから。
水が蒸発していないから。

要だろう。読み物を「読んだ後」には、12名全員が自信度：3.58 (1.00) で科学的に説明できるようになり、学習によって成長したことに、「下が濃くならない理由がよく分かった」「食塩が水にとけて食塩水になると、その電気で水と食塩がくっつき、下の方に落ちてこないっていうことを学びました」のような「理解深化」に該当する記述をしていた。

4 まとめと今後の課題

本研究では、教科書の分散モデルではなく、水が食塩を取り囲むモデルで、児童が理解できるような読み物とワークシートを開発し、読み物の読解から児童がどの程度理解して説明できるようになったのかを探った。その結果、読み物を「読む前」は、「食塩水が1週間たっても下の方が濃くならない理由」について、「水と食塩がくっつくから」のように科学的に説明できたのは7名(7.6%) 自信度：2.14 (1.13) で、教科書で学習済みでも、「食塩水が1週間たっても下の方が濃くならない理由」について自信を持って説明することは難しかった。

読み物を「読んだ後」には、90%以上の児童が食塩が水に取り囲まれているモデルを描き、科学的に説明できたのは82名(89.1%) 自信度：3.73 (1.17) となり、ほとんどの児童が科学的に自信を持って回答できるようになった。ワードクラウドからも、「読んだ後」には、「混ざる」「蒸発」に代わって「取り囲む」「電気」が出現し、読み物を通じて食塩と水が電氣的にくっついて食塩が水に取り囲まれて落ちてこないという説明が児童に受け入れられたことがわかる。「学習によって成長したこと」については、80名(87.0%) が「理解深化」をあげ、15名(16.3%) が「考えられた・説明できた」、21名(22.8%) が「興味・面白い」に該当する記述をしていた。

これらのことから、開発した読み物を読んで、ワークシートに情報を整理したことで、食塩と水が電氣的にくっついて食塩が水に取り囲まれて落ちてこないという説明が理解され、自分なりの言葉で説明できるようになったと言えよう。ただし、12名(13.0%) が「読む前」の理由に「蒸発」に関連した記述をしたので、今後は蓋をした食塩水で考えさせるような配慮が必要だろう。また、今後は理科授業でも児童が1人1台端末を駆使して各種情報に容易にアクセスできるようになると、児童の中には「溶質を溶媒分子が囲み、溶質が引き離されればらばらになった状態が溶解である」という本質的な考えを示すことがあるだろう。その場合には、教員の方で見過ぎさないように留意が必要である。

付 記

本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究(C) 課題番号21K02921「コア知識とOPPAの知見を統合して発展的課題に対応するワークシートの開発と評価」研究代表者：山下修一、千葉大学教育学部×墨田区連携プロジェクト「リテラシー育成のための分析、授業開発および検証」を受けて実施したものである。

引用文献

- 荒木田美香子・豊増佳子・仲野宏子(2022)「質的研究における質的データ分析ソフトウェアの活用状況の実態」『日本看護研究学会雑誌』第45巻, 第2号, 201-212.
- 堀哲夫(2018)「授業改善の方法：OPPAの活用を中心にして」『科学技術教育』第229号, 2-4.
- 兼子稔・山下修一(2021)「小学校4学年「覆いをした容器内の水滴と水の量」に対する児童の納得度」『理科教育学研究』第62巻, 第1号, 221-228.
- 勝田紀仁・桜庭一慶(2018)「科学的な思考力を高める授業と評価の実践：コア知識を活用したコミュニケーション活動・OPPAの活用を通して」『科学技術教育』第229号, 15-17.
- 菊地洋一・斉藤友哉・久坂哲也・佐々木聡也・菊池永(2021)「コロナを効果的に用いる中学校の溶液の学習」『理科教育学研究』第62巻, 第1号, 247-259.
- 菊地洋一・高室敬・尾崎尚子・黄川田泰幸・村上祐(2014)「小学校における系統的物質学習の実践的研究」『理科教育学研究』第54巻, 第3号, 335-346.
- 宗近秀夫(2002)「小学生の溶解認識における概念変容の研究」『理科教育学研究』第43巻, 第2号, 1-13.
- 戸井伸泰(2019)「定量的実験を軸にした科学概念の形成—「水溶液の均一性」概念の定着を目指して」『教育実践研究』第29号, 67-72.
- 遠西昭寿・福田恒康・佐野嘉昭・比樂憲一(2022)「テキスト解釈としての理科授業」『日本理科教育学会全国大会発表論文集』第20号, 273.
- 山下修一(2018)「コア知識を用いたコミュニケーション活動」『科学技術教育』第229号, 5-7.
- 山下修一(2022a)『深い学びをめざした小学校理科授業と評価』大学教育出版.
- 山下修一(2022b)「実際の理科授業でどのように『深い学び』を実現するのか」『理科の教育』12月号, 12-13.
- 山下修一・保刈栄紀・及川美幸・古市綾乃(2022)「科

小学校5年「物の溶け方」の発展的課題

学的リテラシーを育む「千葉大学×墨田区」プロジェクト」『日本理科教育学会全国大会発表論文集』第20号, 196.

山下修一・野村裕美子・岩本華子（2022）「脊椎動物分類の発展的課題に対応するワークシートの開発と評価」『日本教育大学協会研究年報』第40号, 27-37.