

<実践研究>

水溶性蛍光色素を用いて溶液中における溶質の存在を学習した

児童の1年経過後の溶解概念

藤森隼一	信州大学学術研究院教育学系
伊藤冬樹	信州大学学術研究院教育学系
三崎隆	都留文科大学教養学部

キーワード：粒子概念，均一性，溶解現象，拡散

1. 研究背景

「物が水に溶ける」という現象は，食塩やインスタントコーヒーの溶解など身の回りで多く見られる。ものが水に溶けた水溶液は透明であり，溶質は溶液全体に均一に広がっている。齋藤ら（2017）では，液体にほかの物質が混合し，拡散により均一になることを溶解といい，溶解によってできた均一な混合物を溶液であると定義している。水分子がイオンなどの粒子と結びつくことを水和といい，水和された溶質は熱運動によって水中に拡散し，水溶液は全体として均一になる。溶液中における溶質の均一性（以下，均一性）は，溶解概念の根幹となるものである。溶解概念にかかわる学習内容として，「濃度」や「溶解度」，「質量保存」などが挙げられる。学習者は，これらの内容を通して，「粒子の保存性」について理解を深め，粒子概念を原子や分子，イオンといった，高次の概念へと深化させる。つまり，これらの学習内容を定着させるためには，学習者自身が溶液をイメージできていることが必要である。

学習指導要領では，小学校第5学年および中学校第1学年で均一性について扱うこととなっている（文部科学省（2017a, b））。児童の溶解認識について宗近（2000）は，小学生に対して実態調査を行い，均一性に関する認識は不十分であることを報告している。杉本・神林（2006）や戸井（2019）は，溶液中における溶質の存在について，溶かしたものが溶液中の下部に存在する「下部モデル」で考える児童が多いことを報告している。児童や生徒が下部モデルで考える要因について，杉本ら（2006）や菊池・斉藤・久坂・佐々木・菊池（2021）は，下部モデルは「物体は支えがなければ落下する」といった児童生徒の日常経験と結びついているためであることを指摘している。これらの報告から，均一性をイメージできていない児童の実態がうかがえる。

そこで筆者らは，溶質が溶液全体に拡散していることをイメージしやすい教材が必要であると考え，溶解前後で色調が暗褐色から黄色へと変化し，短時間で溶液全体を着色させることが可能な蛍光色素（ウラニン）を使用した授業をデザインし，実践した（藤森，三

崎, 伊藤 (2020))。児童の記述から, 溶液中における溶質を点や丸で表現する児童の存在と, 約 6 割の児童が均一性を理解していたことを確認した。すなわち, 蛍光色素を用いることは, 均一性の理解に有効であることを示唆した。

2. 研究の目的

藤森ら (2020) は授業中における児童の溶解概念の変容について報告しているが, その後の概念の定着に関する調査は実施されていない。児童が学習の前から有している概念は素朴概念と呼称され, これには誤概念も含まれている。授業で正しい概念を習得したとしても, 時間の経過とともに誤概念へ戻ることが指摘されている (例えば, 麻柄 (1996))。源田・村井 (2005) は, 小学校 5・6 年生に対して均一性の理解について調査を行った。下部モデルで考える 6 年生児童は, 溶解を学習する前の 5 年生より多いことを報告し, 学習後の時間経過とともに, 児童が元来有する素朴概念へと後戻りすることを指摘している。以上の指摘をふまえると, ウラニンを用いて溶液中における溶質の存在を学習したときには正しい概念を形成していた児童であっても, 時間の経過にともない, 誤概念を再形成している可能性が否定できない。一定期間経過した後の概念調査をすることは, 本单元において蛍光色素を使用することの有効性を裏づけるために重要であると考えられる。さらに, 学習後 1 年を経過した児童の溶解概念を調査し, 児童の溶解に関する概念変容を分析することによって, 小学校第 6 学年の学習内容と粒子概念との関連性や系統性を検討できる。そこで, 本研究では, 1 年後の均一性について調査を行い, 記述分析から児童の溶解概念の変容過程について検討することを目的とした。

3. 方法

3.1 調査方法

調査は, 質問紙を用いて行った。実施時期は, 2017 年 11 月である。調査対象は, 公立小学校第 6 学年児童 35 名である。この児童は, 藤森ら (2020) の授業実践に参加した学年の児童である。質問紙の内容を図 1 に示す。質問紙調査は無記名で行った。質問紙の左側には食塩水中における食塩の存在を図や絵で表現するための容器のイラストを記載した。右側には, 表現したものを言葉で表現するための記入欄を設けた。

食塩を水にときました。食塩水の中で, 食塩はどのように存在していますか。図や絵, 言葉を使って説明しましょう。

図 1 1 年後の均一性についての概念調査に関わる質問紙調査の内容

3.2 分析方法

まず、学習後1年を経過した児童が均一性を理解しているかを分析した。下記の2項目の両方について記述しているものを、均一性を理解していると判断した。

- (1) 容器のイラスト中の全体に点や斜線などを記述しているもの
- (2) 右側の記入欄に「全体に」、「まんべんなく」「広がっている」など、溶液中に溶質が均一に存在している文言を記述しているもの

次に、授業直後と授業1年後の調査で得られた記述のうち、均一性について理解できていると判断されたものを、宗近（2000）で示されている類型（図2）に基づいて整理した。なお、授業直後の記述分析には、単元最終時の授業で児童がまとめた食塩水中における食塩の存在を説明したときのものを用いた。

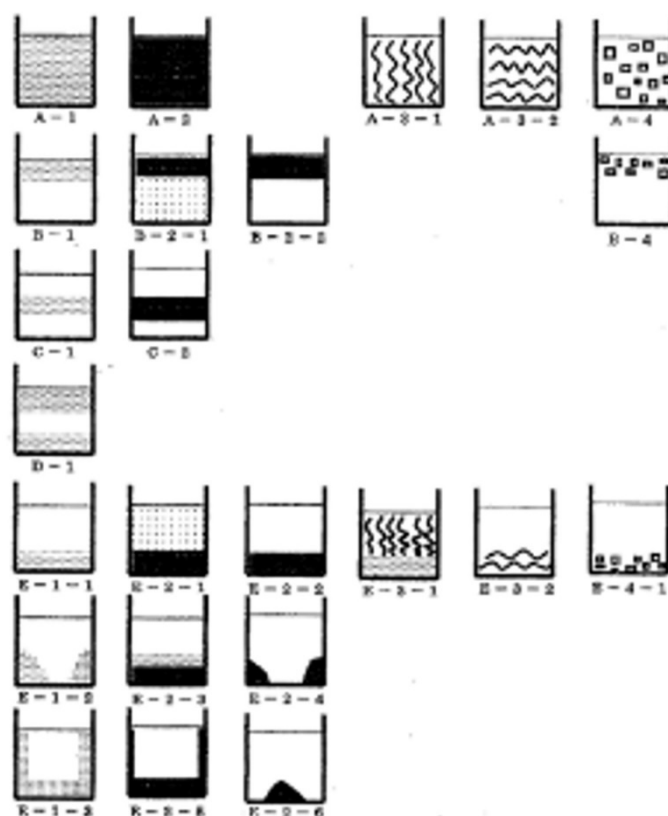


図2 宗近（2000）によるモデルの類型化

最後に、テキストマイニングを用いて、授業直後に児童が食塩水中の食塩の存在を説明したものと、授業1年後に行った調査の記述内容についてそれぞれ分析した。テキストマイニングとは、自然言語処理の手法を用いて、文章を単語や句に分割し、単語の出現頻度や単語間の関係を統計的に解析することによって文章から情報を抽出する方法であり、テキストデータを効率的・客観的に分析するのに有効な手段とされている（例えば、内田・川嶋・磯崎（2012）、雲財（2022））。板橋（2019）は、テキストマイニングを用いて児童が有するエネルギー概念と言葉のつながりについて分析した。その結果、エネルギー概念

が理科以外の教科や日常生活の経験に影響されること、食物に関する言葉とのつながりがあることを報告している。この研究は、理科における児童の記述をテキストマイニングによって分析し、その結果から概念と言葉の関連について検討したものである。このことは、授業直後や授業1年後の児童の記述に基づいて、溶解概念にかかわる言葉の関連性を検討可能であることを示唆している。本研究では、分析ソフトとして、軽量テキスト分析を行うフリーソフトウェアである KH Coder を用いた (樋口 (2020))。授業直後の説明と1年後の記述について、溶液中における溶質の存在を正しく理解できていると判断されたものを対象とした。記述の傾向を把握するための基礎資料として、頻出語を集計し、共起ネットワークを描画した。共起ネットワークとは、出現パターンが類似している語 (共起している語) をワード (語) とエッジ (線) で表す方法である (雲財 (2020))。これにより、語と語の共起関係を視覚的にとらえることが可能である。

4. 結果

図3に、溶液中における溶質の均一性を理解できていると判断された児童の表現例を示す。左側のイラスト内全体に丸や点、線が書かれており、溶液中において食塩が広がっていることをイメージしていると読み取れる。右側の記入欄には、「まんべんなく」や「全体に」、「広がって」と記述されており、食塩が均一に溶液中に存在していることを理解し

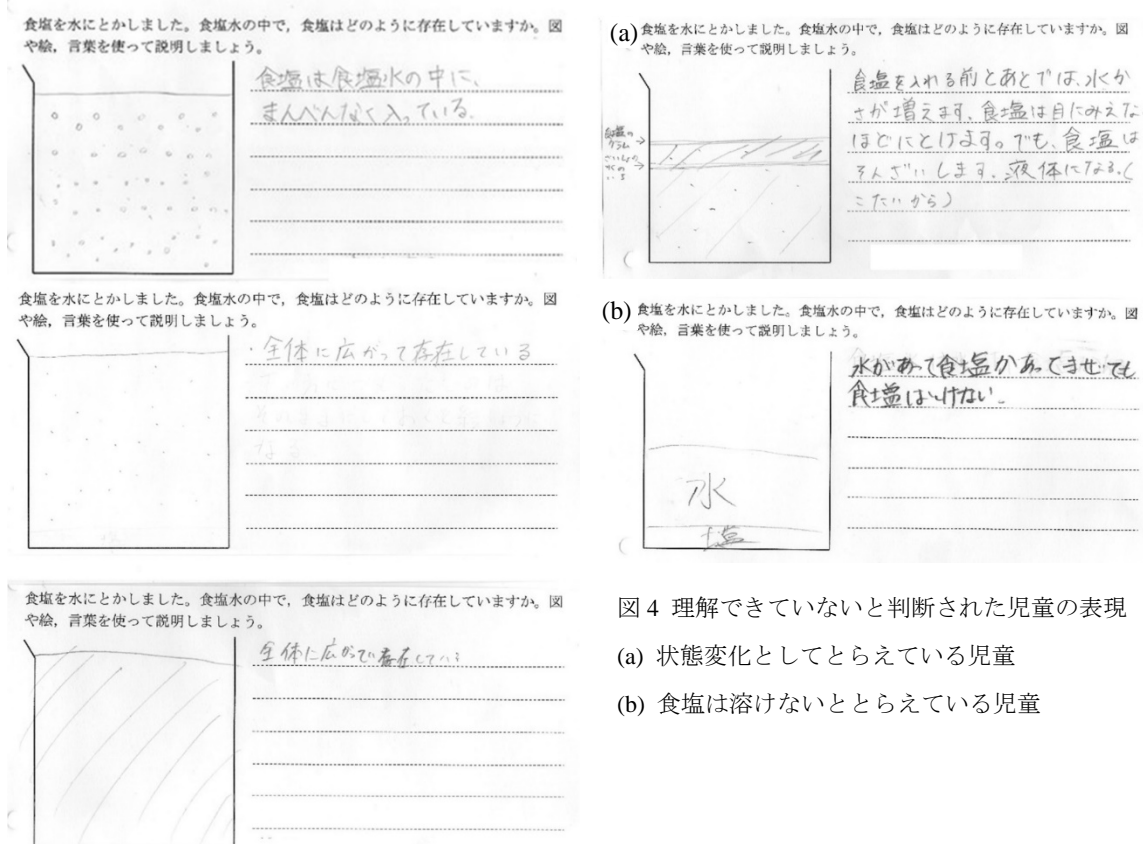


図3 理解できていると判断された児童の表現

図4 理解できていないと判断された児童の表現

- (a) 状態変化としてとらえている児童
- (b) 食塩は溶けないとらえている児童

ていることが読み取れる。以上より、これらの児童は1年経過した後も粒子を用いた表現をすることができ、均一性を理解できていると考えられる。本研究では、このように図や文章で均一性を説明しているものを、「均一性を理解（表現）している」と判断した。図4に、均一性を理解できていないと判断された児童の記述を図4(a)に示す。「食塩は目に見えないほどにとけます。でも食塩はそんざいします。」と、食塩の溶解を理解していると解釈できる記述をしているにもかかわらず、そのあとに「液体になる（こたいから）」と記述している。このことから、本児童は、溶解と状態変化を混同していると考えられる。図4(b)に示した学習カードには、左側のイラスト中に水と食塩が分離しているものが描かれており、右側の記述欄には「水があつて食塩があつてまぜても食塩はとけない。」と記述されていた。このことから、本児童は、食塩は水に溶解しないと捉えていると考えられる。本研究では、このように均一性について読み取ることができないものを、「均一性を理解（表現）していない」と判断した。全質問紙を分析したところ、均一性を理解できていると判断される児童は31名（89%）であった。そのうち、丸や点などを全体に書いている「粒子均一モデル」で表現している児童は30名（86%）であった。残りの1名は、容器全体に斜線を書いて表現していた。また、均一性を理解できていないと判断される児童は4名であった。藤森ら（2020）は、授業直後に均一性を理解している児童と理解できていない児童はそれぞれ24および13名と報告している。今回の調査において均一性を理解している児童は授業直後と比べて増加したことが分かる。

次に、授業直後と授業1年経過後の記述を対象として、均一性を理解できていると判断されたものを、図2に示した分類に基づいて整理した。対象となった児童は、授業直後で24名、授業1年後で31名であった。その結果、A-1、A-2、A-3およびA-4の4種類に分類された。いずれの類型も、溶液中における溶質の均一性を表現している。しかしながら、A-1、A-2、A-3およびA-4は、溶質をそれぞれ、「点」、「塗りつぶし」、「曲線」および「丸や四角」を用いて表現している。すなわち、溶液中の溶質の表現方法が異なっている。A-1とA-4は、粒子を用いて溶質を表現しており、溶液中における溶質の存在を正確に表現しているものといえる。表1に、各類型の内訳を示す。授業直後において、A-1およびA-4に分類される記述をした児童は、授業直後ではそれぞれ24および2名、授業1年経過後ではそれぞれ27および3名であった。割合で表現すると、授業直後では、それぞれ77および6%、授業1年経過後では、それぞれ87および10%であった。宗近（2000）では、各類型の詳細な割合は示されていないが、報告に記述されているグラフからは、均一性を表現できている児童の割合は6年生において3%程度と読み取れる。本研究において溶液中における溶質の均一性を理解できている6年生児童の割合はこの数値を上回った。

表 1 A-1～A-4 に分類された記述をした児童数

	A-1	A-2	A-3	A-4
授業直後 (人)	24	3	2	2
1年後 (人)	27	1	0	3

続いて、テキストマイニングを用いて記述内容を分析した。均一性を理解していると判断された児童の記述を対象とした。まず、授業直後の記述を分析した結果について述べる。表 2 に、出現回数が 3 回以上のリストを示す。「広がる」や「全体」、「溶ける」、「粒」といった語が見られた。このことは、溶液中に溶質は粒として存在し、全体に拡散していることをイメージしている児童の存在を示唆している。一方、「食塩」や「塩」、「ウラニン」といった具体的な溶質の名称、「加熱」といった実験にかかわる語が見られることから、実験に基づいて理解が促進されたと推察できる。「上」や「下」といった語から、溶質は溶液中に偏在していると捉えているようにも読み取れる。しかしながら、記述全体に着目すると、「上の方と下の方では塩の量はあまり変わらない」や「横や下に広がる」といった、食塩の蒸発乾固の実験やウラニンの溶解の観察に関わる記述であるため、偏在しているという捉えではないと考えられる。

表 2 授業直後の記述で出現回数が 3 回以上のリスト

抽出語	出現数	抽出語	出現数	抽出語	出現数
広がる	27	分かる	8	下	5
塩	25	目	8	上	4
全体	20	加熱	6	変わる	4
水	14	溶ける	6	出る	3
見える	10	粒	6	量	3
食塩	10	ウラニン	5		

次に、共起ネットワークを作成した。図 5 は、授業直後の記述をもとに作成した共起ネットワークである。円の大きさおよび連結線はそれぞれ、出現頻度および共起関係を表している。また、比較的強く関連している部分はサブグラフと呼ばれ、同じ色で示されている。図 5 から、次の傾向を読み取ることができる。全部で 3 つのサブグラフが確認された。サブグラフ 1 は水中における食塩の広がりに関する語の集まり、サブグラフ 2 は、ウラニンの広がりに関する語の集まり、サブグラフ 3 は、溶液中における溶質についての児童の体感に関する語の集まりと推察される。これらのサブグラフから、児童は、食塩は溶液中において全体に広がって存在していること、ウラニンの上下への拡散について、溶質は目に見えないほど小さな粒になって存在していることを捉えていると推察される。つま

蛍光色素を用いた授業実践と児童の溶解概念

り，児童は，食塩やウラニンをを用いた実験を通して溶質は溶液中において微小な粒として存在していることを理解したことが示唆される。

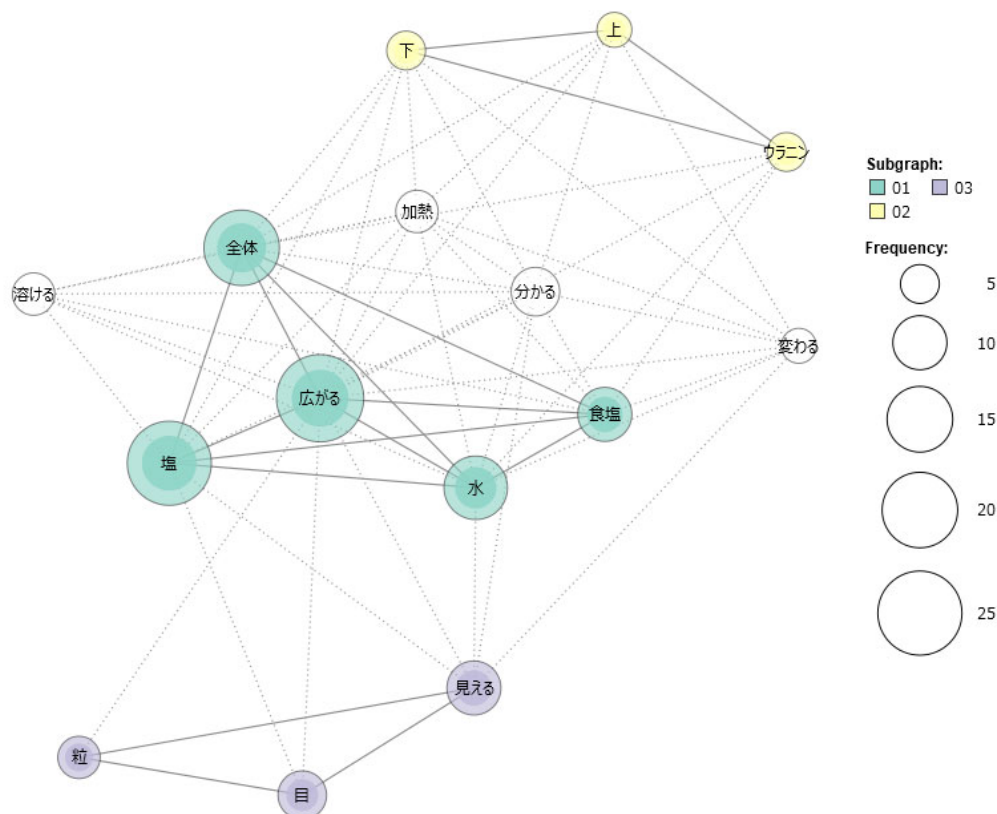


図5 授業直後の記述をもとに作成した共起ネットワーク

続いて1年後の調査で得られた記述について分析した結果を示す。まず，頻出語を集計した。表3に，出現数が3回以上のリストを示す。「見えない」や「全体」，「広がる」，「小さい」，「存在」，「粒」，「散らばる」といった語が見られた。このことから，溶液中の溶質について，見えないほど小さい粒で，溶液全体に存在していることをイメージしていることが推察される。「下」という語について，記述全体に着目すると「下にたまっていない」などの記述であり，溶質は下にたまっているととらえているわけではないと考えられる。

表3 授業1年後の記述で出現回数が3回以上のリスト

抽出語	出現数	抽出語	出現数	抽出語	出現数
見えない	15	溶ける	10	目	6
水	15	広がる	9	粒	5
全体	13	小さい	9	散らばる	4
食塩	11	存在	9	下	3

次に、共起ネットワークを作成した。図6の共起ネットワークから、全部で3つのサブグラフが確認された。結びついている語から、サブグラフ1は、水中に存在する溶質の大きさに関する語の集まり、サブグラフ2は、溶液中における溶質の均一性に関する集まり、サブグラフ3は、溶液中における溶質についての児童の体感に関する集まりと推察される。これらのサブグラフから児童は、溶液中において溶質は小さな粒で存在していること、溶質は溶けると全体へ広がっていること、食塩のような溶質は、水に溶けると目には見えなくなることを溶解の概念として有していることを示唆している。つまり、児童は、溶液中における溶質の存在について、「目には見えないほど小さい粒となって存在し、全体に広がっている」と理解し、粒子の存在や拡散、均一性をイメージできていると考えられる。

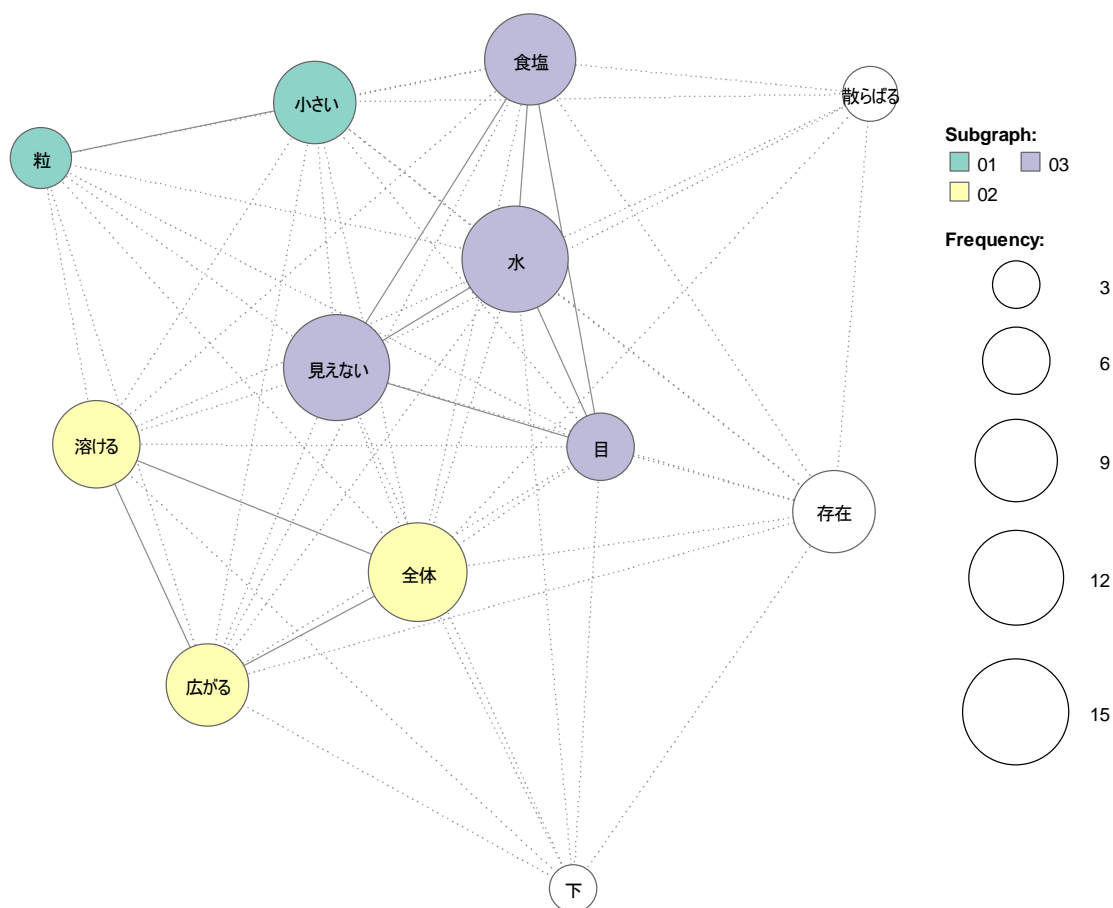


図6 授業1年後の記述をもとに作成した共起ネットワーク

5. 考察

本研究では、まず、ウラニンを用いて溶液中における溶質の均一性について学習した児童の1年経過後の溶解概念について調査した。質問紙を用いて調査したところ、均一性を理解していると判断される児童は89%であった。次に、均一性を正しく理解している児童

のモデル図を宗近（2000）に従って分類した。A-1やA-4のように、溶液中における溶質を点や丸などを用いて表現している児童は86%であった。つまり、児童は、均一モデルによる概念形成から変容していないことを示している。以上のことは、小学校第5学年「物の溶け方」において蛍光色素を用いた授業を行うことは、均一性の概念形成のみならず、粒子の存在をイメージして概念を定着できるという点において有効であると考えられる。

続いて、テキストマイニングを用いて記述内容について分析した。授業直後の記述を分析したところ、児童は、食塩やウラニンを用いた実験を通して、溶質の溶液中における微小な粒として存在することを理解していたことが示唆された。同様に1年経過後の記述を分析したところ、溶液中における溶質の存在について、「目には見えないほど小さい粒となって存在し、全体に広がっている」と微小な粒や拡散、均一性をイメージしていることが示唆された。まず、1年経過後の記述分析のみに着目する。溶解とは、水和した物質が、拡散によって溶液全体に均一になる現象のことである。記述分析から、微小な粒や拡散、均一性といった溶解の要素をイメージしていたと考えられる。このことから、小学校第5～6学年の学習を通して、溶解という現象を正確に理解したことが示唆される。次に、これらの記述の違いに着目する。授業直後は、食塩やウラニンの溶け方といった具体的な実験をイメージしていたにもかかわらず、1年経過後では具体的な溶質の記述は見られなかった。山下・小野寺（2009）は、粒子モデルを用いて小学校第5学年「もののとけ方」を学んだ児童が、第6学年「水溶液の性質」の一部でも粒子モデルで溶解について学ぶ効果を検討したところ、2年間通して一貫して粒子モデルを用いて学ぶことにより、粒子モデルの使用が促され、学んだ知識を活用して推論できるようになると報告している。本研究対象児童は、本調査前に気体の溶解、酸によるスチールウールの溶解について粒子モデルを用いた学習を経験している。これらの学習を通して児童は、溶質のとらえを固体のみならず、気体も含めて一般化させたり、拡散や均一性のイメージをより強固にしていたりしたと考えられる。

以上より、ウラニンを導入することによるイメージ化の促進や「物の溶け方」の授業で形成された粒子概念を小学校第6学年の学習内容へ適用したことが強固な概念定着の一因になったと考えられる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、小学校第5学年「物の溶け方」において蛍光色素を用いた授業を受けた児童の1年経過後の溶解概念について調査した。質問紙から、児童は1年経過後も均一性を理解していたことが分かった。小学校第5学年「物の溶け方」において蛍光色素を用いた授業を行うことで、溶液中における溶質の存在を正確に理解でき、その概念は、小学校第6学年の学習内容と関連させることで整理され、保持されることが示唆された。

現行の小学校学習指導要領（文部科学省（2017a））では、均一性について、モデルなどを利用した具体的なイメージづけは記載されていない。本指導内容に関係したモデル化に

については、「水溶液の中では、溶けているものが均一に広がることを学習していることを踏まえ、ここでは、物質の水への溶解を粒子モデルを用いて微視的に捉えさせるようにするとともに、粒子のモデルで均一になる様子について説明させるようにする。」と中学校学習指導要領解説（理科編）（文部科学省（2017c））に記述されている。そのため、現在出版されている小学校用教科書5社（毛利ら（2020）、石浦ら（2020）、養老ら（2020）、有馬ら（2020）、霜田ら（2020）、村松ら（2020））のうち溶液中における溶質の存在についてモデルを用いて説明している教科書は2社にとどまり、さらに、発展的な内容として扱われている。本研究において、溶液中における溶質の存在について、授業でウランを用いることで粒子モデルを用いて理解し、1年経過後の概念保持も確認された。このことから、小学校第5学年「物の溶け方」において蛍光色素を導入することは、小学校段階における早期の粒子概念の形成や粒子のモデル化という観点においても有効であるといえる。また、小学校第6学年の学習内容との関連も踏まえたカリキュラム構築が必要であること想起する結果も得られた。さらに、中学校段階から粒子モデルを導入する場合における蛍光色素の有用性についても調査することで、発達段階との関係性について検討可能であると考えられる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 18H00152、及び信州大学教育学部附属次世代型学び研究センター平成 28・29 年度プロジェクトの助成を受けたものである。

文献

- 有馬朗人ら（2020）. たのしい理科 5 年, 大日本図書.
- 藤森隼一・三崎隆・伊藤冬樹（2020）. 蛍光色素を用いた水溶液中における溶質の広がりの実感. *化学と教育*, 68, 1, 36-39.
- 源田智子・村井義明（2005）. 溶解教材における子どもの素朴概念と理解度調査. *山口大学 研究論叢 芸術・体育・教育・心理*, 55, 3, 31-45.
- 樋口耕一（2020）. 社会調査のための計量テキスト分析 内容分析の継承と発展を目指して 第2版, ナカニシヤ出版.
- 石浦章一ら（2020）. わくわく理科 5, 啓林館.
- 板橋夏樹（2019）. 概念地図法を用いた小学生のエネルギー概念の分析. *科学教育学研究*, 43, 3, 233-243.
- 菊池洋一・斉藤友哉・比坂哲也・佐々木瞬也・菊池永（2021）. コロイドを効果的に用いる中学校の溶液学習. *理科教育学研究*, 62, 1, 247-259.
- 麻柄啓一（1996）. 学習者の誤った知識はなぜ修正されにくいのか. *教育心理学研究*, 41, 4, 12-21.
- 文部科学省（2017a）. *小学校学習指導要領*. Retrieved from <https://www.mext.go.jp/content/>

蛍光色素を用いた授業実践と児童の溶解概念

- 20230120-mxt_kyoiku02-100002604_01.pdf (accessed 2023.07.25).
文部科学省 (2017b). *中学校学習指導要領*, Retrieved from https://www.mext.go.jp/content/20230120-mxt_kyoiku02-100002604_02.pdf (accessed 2023.07.25).
文部科学省 (2017c). *中学校学習指導要領解説理科編*, Retrieved from https://www.mext.go.jp/content/20210830-mxt_kyoiku01-100002608_05.pdf (accessed 2023.07.25).
毛利衛ら (2020). *新しい理科 5*, 東京書籍.
宗近秀夫 (2000). 小・中学生の溶解概念に関する実態調査. *理科教育学研究*, 40, 3, 13-21.
村松久和ら (2020). *楽しい理科 5 年*, 信州教育出版社.
齋藤烈ら (2017). *化学 改訂版*. 啓林館.
霜田光一ら (2020). *みんなと学ぶ小学校理科 5 年*, 学校図書.
杉本良一・神林久美子 (2006). 理科学習における子どもの水溶液概念獲得に関する研究 —小学校理科「もののとけ方」における学習の検討—. *地域学論集*, 3, 2, 203-237.
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*, 29, 61-72.
内田治・川嶋敦子・磯崎幸子 (2012). *SPSS によるテキストマイニング入門*, 朝倉書店.
雲財寛 (2022). 『理科教育学研究』はどのような論文を掲載してきたのか —テキストマイニングを用いて—. *理科教育学研究*, 63, 1, 225-232.
山下修一・小野寺千恵 (2009). 小学校 5・6 年の溶解の学習に一貫して粒子モデルを用いた効果. *理科教育学研究*, 50, 1, 85-92.
養老孟司ら (2020). *未来をひらく小学理科 5*, 教育出版.

(2023年11月30日 受付)
(2024年 2月 9日 受理)