

小中学校の関連を意識した新しい理科学習教材の開発と 授業実践研究Ⅲ

～小学校と中学校における「物質の溶解概念」の調査研究～

栗田 克弘^{*1}・津守 成思^{*2}・竹田 崇志^{*3}・秋山 広之^{*3}・田中 聡^{*3}
柴田 勝^{*1}・重松 宏武^{*1}

The Research and Development of Teaching Materials in Elementary and Junior high school Science Lessons III:
Student's Understanding of Dissolving Substances in Water

KURITA Katsuhiko^{*1}, TSUMORI Narushi^{*2}, TAKEDA Takashi^{*3}, AKIYAMA Hiroyuki^{*3}, TANAKA Satoshi^{*3}
SHIBATA Masaru^{*1}, SHIGEMATSU Hirotake^{*1}

(Received JULY 31, 2024)

キーワード：生活的概念、科学的概念、溶解概念、低次の法則、中心概念

はじめに

小学校や中学校の理科の授業では、実験や観察が児童生徒の認識に果たす役割は非常に大きいと考えられる。本研究の大きな目的は、児童生徒の認識を深める新しい実験や観察の開発を行い、児童生徒の自然認識がどのように深まったかを授業実践で検証することである。児童生徒の自然認識の概念形成と実験や観察における活動を関連づけて研究していくことである。小学校では実験や観察の活動が中心になり、中学校では実験や観察の結果を考察する活動が中心になることが多い。この様相を、「体験型理解」と「思考型理解」として筆者（栗田 2023a）は表してきた。しかし、小学校では「体験型理解」で中学校では「思考型理解」というように単純に分けることは慎重に考える必要がある。実際の児童生徒の自然認識の過程においては、学習内容によってどちらも重要であり、この2つの認識過程を行ったり来たりしながら児童生徒は理解を深めている。本研究では、このような児童生徒の自然認識の過程を、実験や観察による活動と思考活動とを関連づけて考え、より「自然認識を深める」ことに効果のある実験や観察を開発することである。このことは、小学校や中学校の学習内容を「科学的認識の順次性」（栗田克弘 2023b）でとらえることでもある。これは自然科学教育において、児童生徒の「科学的概念形成」を行うことでもある。小学校と中学校における「自然科学教育における科学的概念形成」につながる実験や観察の開発を、授業実践により明らかにしていきたいと考えている。

本研究では、小学校5年「水にとけるもの」と中学校1年「水溶液」における溶解概念の調査研究を行った。マクロな現象からミクロな現象をどのように理解させるのかにつながる小学生の学習前と後の溶解概念の変容と、中学生の学習後の溶解概念の調査を行いその比較を行った。学習前の児童生徒が日常経験を通してどのような生活的概念を持っているのか、あるいは持っていないのかを知ることは科学的概念形成の授業では重要なことである。また、学習の後に生活的概念がどのような科学的概念に変容しているのかを知ることも同様である。生活的概念として児童生徒が持っている誤概念や未熟概念は、学校教育における理科の授業で扱う「中心概念」と裏腹の関係にある。自然科学教育における基本的で本質的な学習内容は、誤概念や未熟概念が科学的概念に変容していくことに直結しているからである。「中心概念」とは、児童生徒が生活経験や既習事項をもとに自分たちで獲得可能な自然科学の基本的で本質的な法則である。まずは低次の法則が1時間ごとに児童生徒が獲得を目指す内容であり、その妥当性を明らかにすることが求められる。

*1 山口大学教育学部理科教育選修 *2 山口大学教育学部附属山口小学校 *3 山口大学教育学部附属山口中学校

1. 小学校と中学校の「溶解概念」の調査研究について

1-1 小学校5年「水にとけるもの」と中学校1年「水溶液」における溶解概念について

小学校では「水にとけるもの」の単元で溶解を扱っている。溶解概念の初歩的内容が日常経験で知っているマクロな現象で導入されている。マクロな現象として溶解を十分小学校段階で理解しておくことは、中学校におけるミクロな現象として理解する上で重要である。目に見えないくらい小さな粒子の世界を、目に見えるくらい確信を持って理解するには、マクロな現象を十分理解しておくことが重要となる。小学校での科学的概念形成の指針は、このようにミクロな世界につながるマクロな世界を十分体得することである。そうしないと中学校でのミクロな視点は生徒にとってかなり難しい内容になるか、現実からはかなりかけ離れたものになってしまうであろう。このように溶解概念の調査研究では、「水にものが溶ける」「溶解する」ということを児童生徒がマクロな現象としてどのようにとらえているかをまずはとらえなくてはならない。そして、小学校から中学校へマクロからミクロな橋渡しが重要になってくる。

現在の小学校理科では、以下の内容が取り扱われている。

(ア) 物が水に溶けても、水と物とを合わせた重さは変わらないこと。

(イ) 物が水に溶ける量には、限度があること。

(ウ) 物が水に溶ける量は水の温度や量、溶ける物によって違うこと。

現在の学習指導要領に沿った中学校の理科の教科書では、以下ことが取り扱われている。

「物質の水への溶解を粒子の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。また、水溶液の濃さの表し方に質量パーセント濃度があることにも触れる。」

小学校ではマクロな現象で考え、中学校ではミクロな視点でとらえることが期待されている。中学校と小学校で扱う実験は重複が見られるが、考察を粒子モデルで行うかどうかの違いがある。

小学校では「物が水に溶ける」ことを「水溶液が透明になる」とことと最初に関連づけている。日常生活の経験から「ものが水にとけるととう明になる。」という考えは、既に児童の中にあるということが大前提になっている。中学校では小学校での学習活動と既習事項が土台になっているため、改めて「水溶液が透明であること」を取り上げて学習することはない。

1-2 小学校理科5年「水にとけるもの」の教科書での取り扱いについて

「物質が水に溶解すると透明の水溶液になる。」ということを経験ではどのように扱われているか、現在使用されている6社すべてについて調べてみた。小学校では、「ものが水にとけるととう明になる。」ということを経験ではどのように取り上げられているかである。

「水溶液が透明である。」ことの教科書での記述はすべての教科書で次のようになっている。それは日常生活の事例をとりあげて解説する方法である。水に食塩やさとう（コーヒーシュガーなど）をとかしてそれが「とう明」であり、これを「水よう液」と定義する（約束する）手順である。この場合には日常生活での溶解の典型的な現象を取り上げて、そこから一気に「法則化」する方法である。指導者から見ると、児童は日常生活から考えるのでわかりやすい、ととらえているのであろう。しかし、児童が典型的な現象から他の溶解現象についても一般化できているかどうかは不明である。食塩やさとうが水に「溶けきった」場合だけをとりあげていて、他の物質についてや「溶け残り」については全然扱われず「法則化」されていると考えられる。そのため児童がこの一気に「法則化」されたものが、その後に活用できるかどうか懸念が残る。

小学校では「ものが水に溶けるととう明になる。」よりも、「ものが溶けても、物と水を合わせた重さは変わらない。」や「溶ける限度がある。」「ものや温度や量で溶ける量が違う。」ことに重点を置いて指導している。そのため「水溶液が透明である。」は日常生活から簡単に理解できるものとしているのではないかと考えられる。そのため、「ものが水にとける。」ということが、目に見えるマクロな現象としてどういうことなのかについてはあまり深く丁寧に扱われない。日常生活の事例をあげるだけでは、児童はそれを法則化（一般化）することはできない。本研究では、溶解概念の導入として初歩的なマクロな現象での指導段階があり、それを丁寧に指導する必要があるのではないかと考える。小学校の溶解の導入では、「ものが水にとけるととう明になる。」ということを経験を時間をかけて指導する必要があるのではないだろうか。

1-3 質問紙調査について

小学校と中学校の溶解の生活的概念や科学的概念を調べるため質問紙調査(図1、図2)を作成した。

(8) 海で貝がらを拾ってきました。その貝がらをくぐいで、右の図の大きさにしました。水の入ったビーカーにスプーン1はい入れ、よくかき混ぜました。この時、貝がらは水にとけますか。当てはまるものに○をつけてください。

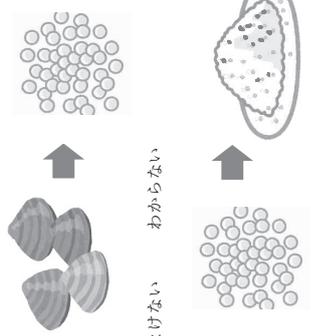
全部水にとける 少し水にとける 水にとけない わからない

(9) (8)の貝がらをさらに細かくくぐいで、さとうと同じくらいの大きさの粒にしました。この貝がらを水に入れ、よくかき混ぜました。この時、貝がらは水にとけていますか。当てはまるものに○をつけてください。

全部水にとけている 少し水にとけている 水にとけない わからない

(10) ものが水にとける時と、とけない時の違いは何だと思えますか。あなたの考えを説明してください。

説明



(11) 水の入ったビーカーにさとうを入れ、よくかき混ぜてさとう水を作りました。この時、水にかす前の重さがそれぞれ水は100g、さとうは10gで合合わせると110gでした。では、ビーカーの中のさとう水の重さは110gとくらべてどうなりますか。当てはまるものに○をつけてください。

110gより重くなる 変わらず110gである 110gより軽くなる わからない

(12) 2つのビーカーに同じ量の水が入っています。1つにはさとうを入れ、もう1つにはさとうと同じ量の食えんを入れ、それぞれかき混ぜました。どちらも見えなくなりました。2つのビーカー全体の重さをくらべるとどうなるでしょうか。当てはまるものに○をつけてください。

さとう水 食えん水

さとうの方が重くなる どちらも同じ重さになる さとうの方が軽くなる わからない

(13) 2つのビーカーに同じ量の水が入っています。1つには食えんを入れ、もう1つには食えんと同じ量の貝がら(細かくくぐいだいた)を入れ、それぞれかき混ぜました。すると、食えんは見えなくなりましたが貝がらは下にたまりました。この時、2つのビーカー全体の重さをくらべるとどうなるでしょうか。当てはまるものに○をつけてください。

食えんの方が重くなる どちらも同じ重さになる 貝がら(くぐだいてある)貝がら(細かくくぐいだいた)の方が重くなる わからない

ご協力ありがとうございました。

「水にとけるものととけないもの」についてのアンケート

年 組 番

(1) あなたのまわりに「水にとけるもの」と「水にとけないもの」はどんなものがありますか。それぞれ3つずつ書いてください。分らないときは、書かなくてもよいです。

水にとけるもの

水にとけないもの

(2) 水に白い粒のさとうを入れ、よくかき混ぜると白い粒は目で見ることができなくなりました。この時、さとうは水にとけていますか。当てはまるものに○をつけてください。

水にとけている 水にとけていない わからない

(3) 水に白い粒のさとうを大量に入れ、よくかき混ぜてさとう水を作りました。すると白い粒も下にたまりました。この時、さとうは水にとけていますか。当てはまるものに○をつけてください。

水にとけている 水にとけていない わからない

(4) さとう水と水を入れたビーカーに入れました。このビーカーを横からぞくと、ビーカーを通して向こうの景色を見ることができました。この時、白い粒のさとうを目で見ることができませんでした。さとうはなくなったのでしょうか。当てはまるものに○をつけてください。

さとうはなくなった さとうはなくなっていない わからない

(5) 水にブドウ一粒くらいの大きさの「かたまりになったさとう」を入れてよくかき混ぜました。この時、さとうのかたまりは水にとけますか。当てはまるものに○をつけてください。

水にとける 水にとけない わからない

(6) ビーカーに水を入れ、そこに「しょくべに」を入れました。それをかき混ぜるとうすい色のついた水(色水)ができました。この色水が入ったビーカーを横からぞくと、ビーカーを通して向こうの景色を見ることができました。この時、「しょくべに」は水にとけていますか。当てはまるものに○をつけてください。

水にとけている 水にとけていない わからない

(7) 校庭からどろろをもってきて、水を入れた水そうにこのどろろを少し入れかき混ぜると、水そうの中の水は茶色にどろりしました。この時、校庭から持ってきたどろろは水にとけていますか。当てはまるものに○をつけてください。

水にとけている 水にとけていない わからない

図1 小学校での学習前と学習後の質問紙調査

「溶解」についてのアンケート 中学校

年 組 番

- (1) あなたの回りある「水に溶解する物質」と「水に溶解しない物質」を、それぞれ3つずつ書いてください。
(わからない場合は書かなくても構いません。)

水に溶解する物質

水に溶解しない物質

- (2) 容器の水に砂糖を大量に入れ、よくかき混ぜて砂糖水を作りました。すると、容器の底に砂糖が少しまみりました。この時、水に砂糖は溶解していますか。当てはまるものに○をつけてください。

ア. 溶解している イ. 溶解していない ウ. わからない

- (3) ビーカーに入っている水に赤い食紅を入れました。それをかき混ぜると薄い赤色の水(色水)になりました。この色水が入ったビーカーを横からのぞくと、ビーカーを通して向こうの景色を見ることができました。この時、食紅は水に溶解していますか。当てはまるものに○をつけてください。

ア. 溶解している イ. 溶解していない ウ. わからない

- (4) 水を入れた水そうに泥を少し入れかき混ぜると、水そうの中の水は茶色にになりました。この時、泥は水に溶解していますか。当てはまるものに○をつけてください。

ア. 溶解している イ. 溶解していない ウ. わからない

- (5) ペットボトルの中に水と二酸化炭素を半分ずつ入れ、激しく振るとベットのボトルが少しへこみました。この時、水に二酸化炭素は溶解していますか。当てはまるものに○をつけてください。

ア. 溶解している イ. 溶解していない ウ. わからない

- (6) ペットボトルの中に水と二酸化炭素を半分ずつ入れ密閉して気温の変化の少ない部屋に数日間置いておきました。この時、水に二酸化炭素は溶解していますか。当てはまるものに○をつけてください。

ア. 溶解している イ. 溶解していない ウ. わからない

- (7) 貝殻をくだいて砂と同じ大きにしました。それを1リットルの水の入った容器にスプーン1杯分入れ、よくかき混ぜました。この時、くだいた貝殻は水に溶解しますか。当てはまるものに○をつけてください。



ア. 溶解する イ. 溶解しない ウ. わからない

- (8) (7)の貝殻をさらにくだいて粉末にしました。人の息を吹きかけると舞い上がるぐらい小さくなっていきます。それを1リットルの水の入った容器にスプーン1杯分入れ、よくかき混ぜました。この時、くだいた貝殻は水に溶解しますか。当てはまるものに○をつけてください。



ア. 溶解する イ. 溶解しない ウ. わからない

- (9) あなたは「物質が水に溶解しているかどうか」をどのような考えで判断しますか。あなたの考えを教えてください。

- (10) ビーカーに入っている水に砂糖を入れよくかき混ぜて砂糖水を作りました。この時、もとの水の重さは100gで砂糖は10gでした。では、かき混ぜた後の砂糖水の重さは110gと比べてどうなりますか。当てはまるものに○をつけてください

ア. 110gより大きくなる イ. 変わらず110gである ウ. 110gより小さくなる エ. わからない

- (11) 2つのビーカーに同じ量の水が入っています。1つには砂糖を入れ、もう1つには砂糖と同じ量の食塩を入れ、それぞれかき混ぜました。すると砂糖も食塩も見えなくなりました。2つのビーカー全体の重さを比べるとどうなるでしょうか。



ア. 砂糖水の方が重くなる イ. どちらも同じ重さになる
ウ. 砂糖水の方が軽くなる エ. わからない

- (12) 2つのビーカーに同じ量の水が入っています。1つには食塩を入れ、もう1つには食塩と同じ量の貝殻(粉末の状態)を入れ、それぞれかき混ぜました。この時、2つのビーカー全体の重さを比べるとどうなるでしょうか。



ア. 食塩の方が重くなる イ. どちらも同じ重さになる
ウ. 食塩の方が軽くなる エ. わからない

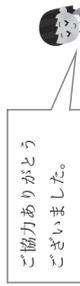


図2 中学校での学習後の質問紙調査

この質問紙調査のねらいは、児童生徒が理科の授業前に日常経験から身につけている溶解概念に関わる生活的概念（未熟概念や誤概念など）を見つけ出すことである。これらから理科の授業を通してどのような科学的概念に変容させていくかを明らかにすることが可能になる。1時間ごとの授業で「何をどのように」学習するのかを概念形成の視点で明らかにすることができるようになる。本研究は、このように生活的概念と結びつけた学習内容を事実（低次の法則としての）や概念（初歩的な）として意味づけることにつながるものである。すなわち、科学的概念形成における中心概念を明らかにすることにつながる研究である。

新しく作成した質問紙調査では以下の観点①～⑦について、小学校では学習前と学習後に中学校では学習後について児童生徒の溶解概念の認識の調査を行った。

- ①日常生活から「水にとけるもの（水に溶解する物質）」と「水に溶けないもの（水に溶解しない物質）」をあげることができるか。
- ②「水にものがとけるととう明になる。」「物質が水に溶解すると水溶液は透明になる。」ことを十分理解できているか。無色透明だけでなく有色透明についても理解できているか。
- ③「水にとけるものでも量が多いととけ残りがでること」「水に溶解する物質でも量が多い全部溶解せず溶け残りがでること」を理解できているかどうか。
- ④「水にとけないもの」「水に溶解しない物質」でも、粉々に砕けばとける（溶解する）ようになるという誤概念を持っていないか。
- ⑤「水にもの（物質）がとけていること（溶解していること）を水溶液がとう明（透明）になる」ことで認識できているかどうか。
- ⑥「ものが水にとけている時だけでなく、ものが水にとけていなくても全体の重さ（質量）は保存されている」という認識ができているかどうか。出入りするものがなければ重さ（質量）は保存されていると理解できているかどうか。
- ⑦中学校では、固体だけではなく気体についても水に溶解する物質があることを理解できているかどうか。

2. 溶解に関する質問紙調査の結果と考察について

2-1 小学校における低次の法則としての「ものが水にとけるととう明になる。」

前述したように「ものが水にとけるとその水溶液はとう明になる。」ということ、理科の教科書では日常生活の経験から児童が容易に理解できるものとしている。そのため、このことを授業で時間をとって丁寧に学ぶ機会はあまりない。そこで、質問紙調査から学習前と後の児童の状況を考察してみたい。

【小学校質問（2）】水に白い粒のさとうを入れ、よくかき混ぜると白い粒は目で見ることができなくなりました。この時、さとうは水にとけていると言えますか。

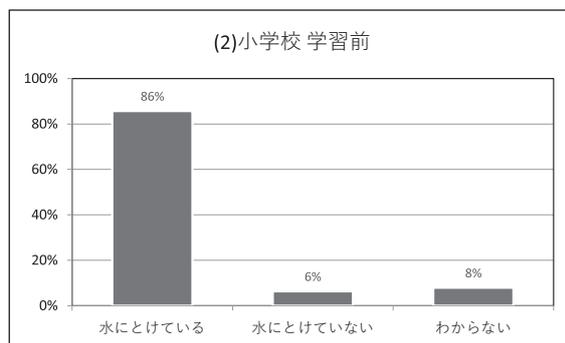


図3 小学校学習前（とう明） N=63

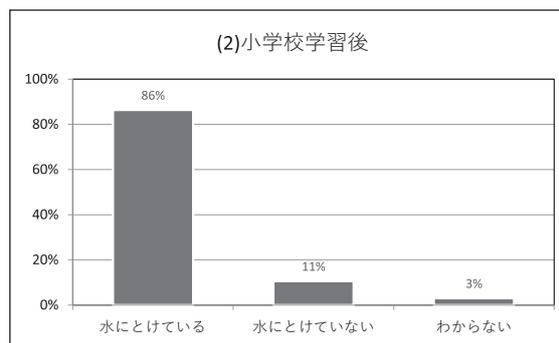


図4 小学校学習後（とう明） N=66

図3と図4は【小学校質問（2）】の学習前と後についての調査の結果である。これから学習前と後で「さとうが水にとける時には、その水溶液が「とう明」になる。」ということ、現象では理解できていると考えられる。しかし、「とう明」という言葉で児童が定式化しているかは不明である。さらに、これはさとうを水にとかした場合についての個別事例についてだけで、さらに一般化された「低次の法則」として他の物質についても同様に考えられるかどうかはさらなる調査が必要である。

次にものが水にとけてとう明になった時にもものがなくなったかどうかを見る。

【小学校質問（4）】さとう水をビーカーに入れました。このビーカーを横からのぞくと、ビーカーを通して向こうの景色を見ることができました。この時、白い粒のさとうを目で見ることができませんでした。さとうはなくなったのでしょうか。

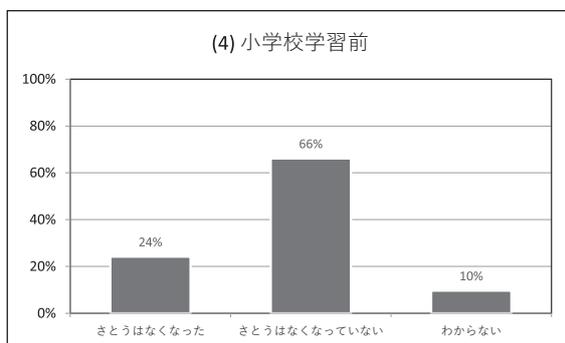


図5 小学校学習前（とう明） N=62

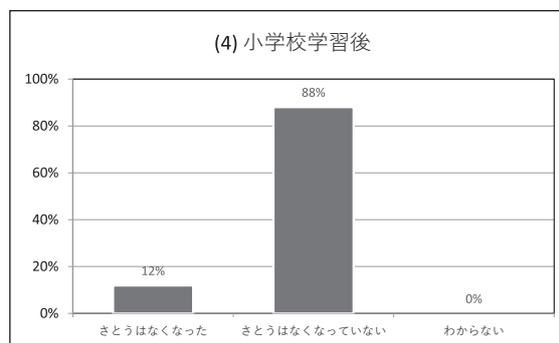


図6 小学校学習後（有色とう明） N=67

図5と図6は【小学校質問（4）】の学習前と後の結果である。これから、学習前は「水にものがとけて目に見えなくなってもさとうはなくなっていない。」と理解できている児童は66%であり、学習後は88%であることがわかる。授業で「重さの保存」について学習するために、これは授業による効果があり児童の認識の変容があると考えられる。「重さの保存」と「ものが水にとけて見えなくなってもなくなる」を関連づけて児童は理解できていると考えられる。

小学校理科では水溶液の無色透明だけではなく、有色透明についても扱われるが実際の授業ではあまり時間をかけられていない。以下が水溶液の有色透明についての調査である。

【小学校質問（6）】ビーカーに水を入れ、そこに「しょくべに」を入れました。それをかき混ぜるとうすい色のついた水（色水）ができました。この色水が入ったビーカーを横からのぞくと、ビーカーを通して向こうの景色を見ることができました。この時、「しょくべに」は水にとけていますか。

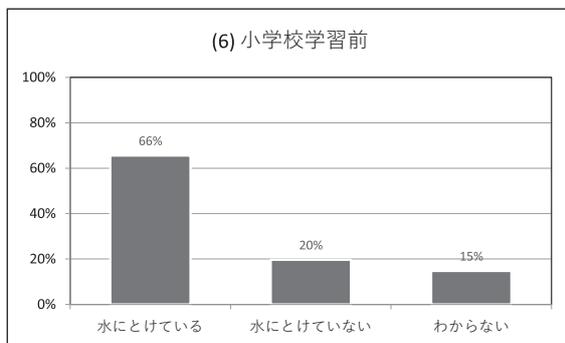


図7 小学校学習前（有色とう明） N=62

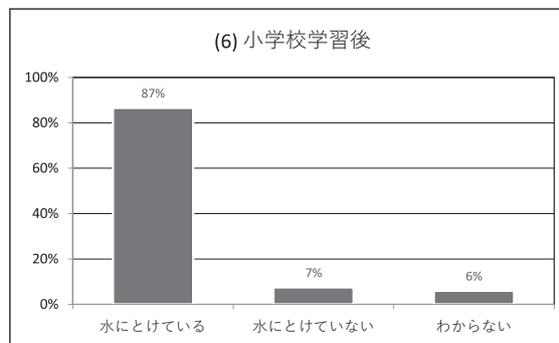


図8 小学校学習後（有色とう明） N=67

図7と図8は【小学校質問（6）】の学習前と後の結果である。学習前は「ものが水にとけると有色で透明になる。」ことについては66%の理解である。学習後は87%で学習効果が見られる。学習前は、日常経験では物質が水に溶解する時は大抵無色透明であり、有色透明については意識していないためであると考えられる。水溶液が有色透明になることは、日常経験からは自明のことではない。そのため「ものが水にとけるととう明になる」ということは、理科の授業で無色透明を土台に意図的に丁寧に指導する必要がある。

さらに、「とう明になる。」ということに関連する現象として「ものが水にとけていな時には、水がにごる」ということを児童がどうとらえているかを調べた。

【小学校質問（7）】校庭からどろをもってきて、水を入れた水そうにこのどろを少し入れかき混ぜると、水そうの中の水は茶色ににごりました。この時、校庭から持ってきたどろは水にとけていますか。

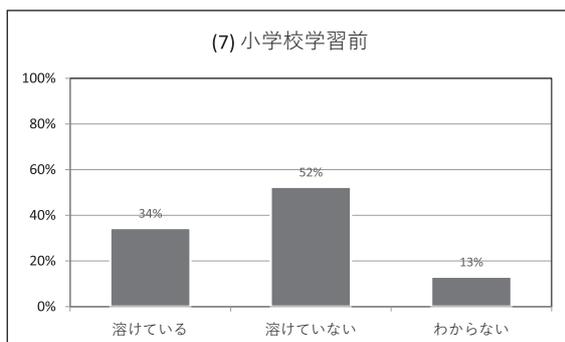


図9 小学校学習前 (にごる) N=59

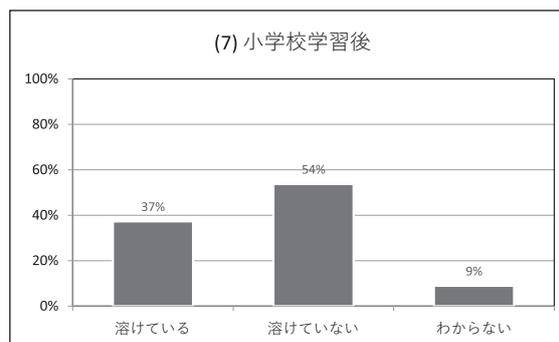


図10 小学校学習後 (にごる) N=67

図9と図10は【小学校質問(7)】の学習前と後の結果である。「ものが水にとけるととう明になる。」ということが十分理解できているのであれば、それに関連する現象である「ものを水にとかしてにごっているものは水にとけていない。」ということも十分理解できているはずである。しかし、この結果から学習前にはこの認識は十分ではなく52%であり、日常経験からは認識できないことであることがわかる。理科の授業を通して「とう明」だけではなく「にごる」ことも同時に学習しないと、「ものが水にとけるととう明になる。」は児童の低次の法則として不十分になってしまう。低次の法則は個別の事例だけではなくある程度広い対象に対して成り立ち、児童が随意的に活用できる科学の概念や法則である。

この質問紙調査では、「ものが水にとけるととう明になる。」ということをも低次の法則として児童が認識しているかどうかを、記述式の質問で実施した。

【小学校質問(10)】ものが水にとける時と、とけない時の違いは何だと思いますか。あなたの考えを説明してください。

表1は【小学校質問(10)】の学習前と学習後に、「ものが水にとけるととう明になる。」と記述した児童の回答である(原文のまま)。学習前は全回答者63人のうち6人、学習後は全回答者68人のうち7人の記述である。

表1

学習前	学習後
<ul style="list-style-type: none"> ・水の中に入れたものが目でみえるか見えないかのちがいだと思います。 ・物が見えないか、<u>すけてむこうが見えるか</u>、何もないかがとける時で、とけない時はその反対。 ・目に見えるかどうかのちがい ・見えなくなったらとけてみえるときはとけない ・とけている時は<u>向こうの見れたり食べ物</u>の大半は水に溶ける?食べ物じゃない物はとけないとか、小さい物とか(さとうや塩)カチコチ?サラサラ? ・とけるときは、<u>とうめいで、とけない時はにごっている</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・まぜていてもとけると見えなくなってそこからなかをまぜて見えなくなったらだいたいとけている ・見て見えなくなりぜんたいにきんべんなくひろがること ・その水が<u>とうめい(色がついているもの)</u>かどうか。 ・<u>とう明(とけているとき)</u> ・<u>とけるときは、とうめいで</u>、とけないときは少しにごっているか、底にちんでんする。 ・とける時は、水とまぜることによって目に見えないほど小さくなることです。 ・(色がついていても)とうめいかそうでないかのちがい。

記述式の結果を見るとわかるように、「ものが水にとけるととう明になる。」と明確に書ける児童の数はかなり少ない。学習前は63人中3人(4%)、学習後は68人中4人(6%)である。このうち1人だけが学習前と学習後の両方に「とう明」を記述していた。児童の低次の法則として「ものが水にとけるととう明になる。」は、児童にとっては現象であって言葉になった自然のきまりではない可能性がかなり高いと考えられる。学習前は現象であってもよいが、理科の授業を通して低次の法則として言葉での定式化が必要である。

このように「ものが水にとけるととう明になる。」に関する調査では、【小学校質問(2)】では「さとう

を水にとかした場合にはとう明になる。」と学習前も後も 86%の正答を示した児童であるが、「にごるととけているか」や「ものが水にとける時ととけない時の違いは何か」の問いに対しては正しく回答することが難しく、最終的に「ものが水にとけるととう明になる」が低次の法則としては認識されていないことがわかる。

2-2 低次の法則としての「物質が水に溶解すると透明の水溶液になる。」

中学校での溶解に関する質問紙調査では、水溶液の「有色透明」と「にごる」について以下のように質問を行った。

【中学校質問（3）】 ビーカーに入っている水に赤い食紅を入れました。それをかき混ぜると薄い赤色の水（色水）になりました。この色水が入ったビーカーを横からのぞくと、ビーカーを通して向こうの景色を見ることができました。この時、食紅は水に溶解していますか。

【中学校質問（4）】 水を入れた水そうに泥を少し入れかき混ぜると、水そうの中の水は茶色にごりました。この時、泥は水に溶解していますか。

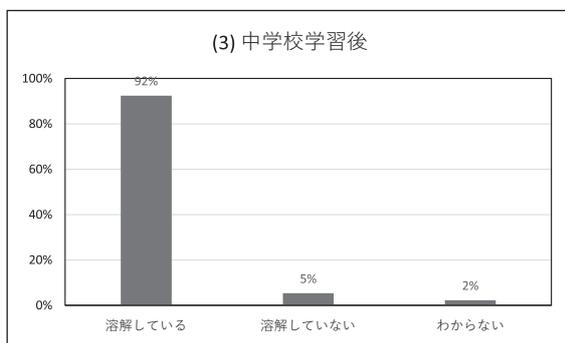


図 11 中学校学習後（有色透明） N=132

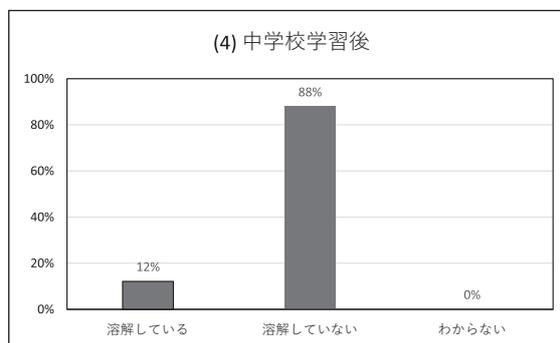


図 12 中学校学習後（にごる） N=132

図 11 は【中学校質問（3）】、図 12 は【中学校質問（4）】の回答をグラフにしたものである。中学校の学習後では、「有色透明」について 90%以上の生徒が正しく理解できていることがわかる。泥を水にかき混ぜた場合にも 90%近い生徒が正しく判断することができている。小学校の学習後（図 8 や図 10）にくらべて中学校での理科の授業での学びが大きく影響していることが推測できる。

そこで「物質が水に溶解すると水溶液は透明になる。」ということが、溶解という現象を判断する時の低次の法則として身につけているかどうかを記述式の質問にて調べてみた。

【中学校質問（9）】 あなたは「物質が水に溶解しているかどうか」をどのような考えで判断しますか。あなたの考えを教えてください。

表 2 は【中学校質問（9）】の生徒の記述の中で、「物質が溶解した時に水溶液が透明になる。」と記述した生徒の一部の記述である。回答者の全数は 132 名（中学 1 年生）で、「透明である」と記述したのはそのうちの 65 名（49%）である。

表 2

「透明」のみの記述の事例	「透明」「沈殿がない」の記述の事例
<ul style="list-style-type: none"> すべて物質が溶けきって向こう側が見えるとき。 とう明で、ビーカーを通して向こうの景色が見えるかどうか まぜると無色あるいは有色の透明になるとき。 物質が水にとけ、水溶液がとうめいだったら、溶解している。 	<ul style="list-style-type: none"> 透き通って（色がついていても）見えたらで判断している。均一に広がっていて、下に物質がたまっていない。 横から見たときに向こうの景色が見え、ビーカーのそこに物質がない、もしくは、ビーカーのそこにたまった物質が入れた量より少ない場合溶解してい

<ul style="list-style-type: none"> ・物質が溶解した水溶液が、<u>透明で向こうの景色が見えるようになっているか</u>、という考えで判断する。 ・物質が水に完全にとけ、<u>とうめい</u>になっているか。 ・すき通っていて、<u>とう明</u>。<u>向こう側の景色が見える状態</u> ・水が<u>透けてにごっていない</u>でそれ以上物質がどけなくなったら ・水溶液が<u>すき通っていたら溶解している</u> ・透明な容器に入れたとき、<u>すき通っていて反対側の景色を見れるかどうか</u>。 ・透明で、まんべんなく物質がちらばっている様子 ・<u>水を通して周りの景色が見えるかどうか</u>。 ・物質を入れた時に<u>液が透明になりそうか</u>イメージして判断します。 	<ul style="list-style-type: none"> ると判断する。 ・時間を置いて<u>ビーカーの下に物質がたまるかどうか</u>、<u>とう明</u>かどうか ・<u>すきとおっているか</u>、<u>物質がのこっていないか</u> ・完全に<u>物質が下にもたまらずとけていて</u>、<u>透明</u>。 ・水溶液の濃さに差がないか、<u>透明か</u>、<u>ちんでんしていないか</u> ・<u>すき通っている</u>、<u>沈でんしなく</u>、どこも均一 ・<u>透明であるかどうか</u> <u>長時間おいて</u>、<u>物質が下にたまるかどうか</u>。 ・水が<u>透明か</u>どうか。<u>物質が底にたまっていないか</u>。 ・<u>下に物質がたまっておらず</u>、<u>透けている</u>。 ・<u>向こう側が見えるか</u>、<u>数日たってもちんでんしないか</u>
---	--

「水溶液が透明である。」と記述した 65 名の中で 11 名 (全体の 8%) は、「すきとおっているか、物質がのこっていないか。」「透き通って (色がついていても) 見えたらと判断している。下に物質がたまっていない。」「横から見たときに向こうの景色が見え、ビーカーのそこに物質がない」「透明であるかどうか 長時間おいて、物質が下にたまるかどうか。」のように、「水溶液が透明である」ことと「沈殿物がないない。」ことまで記述している。マクロな現象として溶解していると判断する視点をより詳しく記述している。

一方で表 3 のように、「溶け残り」という言葉を使って記述している生徒が 11 名 (全体の 8%) いた。

表 3

<p>「溶け残り」と記述した生徒の事例</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>溶け残りがなく</u>、透明であるかどうか／<u>溶け残りがなく</u>こと、透明で溶けムラがないこと／<u>溶けのこりがあるか</u>とうめいか／<u>とうめいか</u> (すき通っているか)、<u>とけのこりがあるかないか</u>、なんとなくのイメージ／<u>ビーカーを通して景色を見れる</u>、濃度が均一、<u>とけのこりがない</u>。／<u>とう明</u>になっているか、<u>とけのこりがないか</u>。／<u>水溶液の色の濃さが均一</u>で、うしろがすきとおって見え、<u>とけ残りが</u>ないか。／<u>とうめいか</u>どうか、<u>とけのこりがないか</u>／<u>とけ残りがなく</u>、透明になっているかという考え。 ・①透明 ②溶け残りがなく ③全体に溶け広がっている／<u>液が透明</u>、<u>全ての物質が溶けているか</u> (<u>とけ残りが</u>あるか)

「溶け残り」とは、そもそも溶解する物質が限度を超えた時に析出する場合に使う言葉である。「溶け残りがなく、透明である。」という場合には、物質がすべて溶解している (「溶ける」) ことを示している。「溶け残りがあれば溶解している。」とも言えるので、「溶け残り」を記述した生徒についてはさらに検討する必要がある。「溶ける」「溶け残り」については中学校でも深く言及しないので、溶解学習における今後の課題の一つである。以下のように【中学校の質問 (2)】の理解が低いこともこのことに関係していると考えられる。

【中学校質問 (2)】容器の水に砂糖を大量に入れ、よくかき混ぜて砂糖水を作りました。すると、容器の底に砂糖が少したまりました。この時、水に砂糖は溶解していますか。

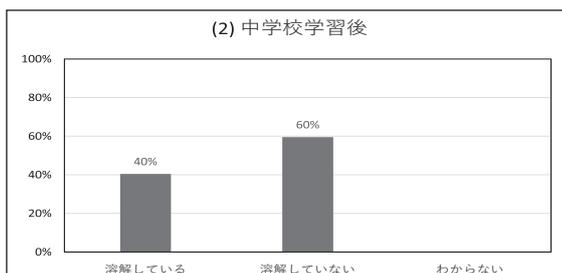


図 13 中学校学習後 (溶け残り) N=132

図 13 は【中学校質問 (2)】の結果を表したものである。日常経験から大量の砂糖であっても水の量に応じて溶解することを生徒は知っているはずである。また「砂糖水」と示されているのも砂糖が水に溶解したことを示している。しかし、「溶解していない」と回答した生徒が 60% もいることから、小学校から中学校の溶解学習において「溶け残り」「溶ける」という概念は、「物質が溶解すると透明になる。」という児童生徒の低次の法則に関わる内容である。

今後のさらなる検討が必要である。

【中学校質問（9）】において「水溶液が透明になること」以外に、「質量が保存されること」を生徒が記述することが期待されたがそのように回答した生徒はいなかった。【小学校質問（10）】においても「重さの保存」に関する記述はみられなかった。これもさらなる検討が必要である。

おわりに

本研究は、小学校と中学校で児童生徒が学ぶ溶解概念についての基礎研究である。科学的概念形成の授業においては、児童生徒が日常経験からどのような生活的概念を保有しているのかを知ることが重要である。生活的概念には、誤概念や未熟概念を含んでいるのが通常である。その生活的概念から自然科学のどのような内容をどのような順序で児童生徒が学んでいくが適切かを考える必要がある。生活的概念と新しく学ぶ科学的概念の橋渡しをするのが理科の授業である。本研究ではそれを「低次の法則」という表現を使ってきた。「低次の法則」とは、学習段階に応じてだんだん抽象的で普遍性のある「高次の法則」へつながっていくものである。

この「低次の法則」をどう解釈するかが理科教育に求められる研究課題である。小学校では言語の発達や習得の問題もあり、自然科学では「事実」と呼ばれるものが児童にとっては「科学の法則（低次）」になっていることがある。大人にとっては解釈を盛り込まない現象としての「事実」であっても、自然科学の初心者である児童生徒には意味のある現象として理解するために解釈を盛り込んだ「法則」である。これを本研究では「低次の法則」と呼んでいる。そして、この「低次の法則」は、児童生徒が「高次の法則」へ進んでいくための重要な概念形成の土台になっているのである。理科の教科書の「さとうが水にとけると透明になる。」という個別の事象だけを前提に溶解概念に拡張していくことに無理があるのではないかということでもある。

溶解概念において、「ものが水にとけるととう明になる。」「物質が水に溶解すると水溶液は透明である。」ということは、物質の溶解を考える上で児童生徒にとっては重要な思考の手立てである。それは日常経験を通してすでに獲得している自明のことではない。学校教育における理科の授業において身につけていくものであるというのが本研究の立場である。そのために、本研究では小学校と中学校における児童生徒の実態を調べるための調査研究を行った。そして「物が水に溶解すると水溶液が透明になる。」ということ、小学校と中学校の科学的概念形成の授業では「低次の法則」として位置づけ指導することの重要性を明らかにすることができた。

本研究は2023年度の山口大学教育学部の学部・附属共同プロジェクトの一環である。質問紙調査は、山口大学教育学部附属山口小学校と附属山口中学校において実施した。本研究が日本における科学的概念形成の基礎研究として多くの方に貢献できることを期待している。

引用文献

- 栗田克弘 津守成思 秋山広之 竹田崇志 田中聡 柴田勝 重松宏武：小中学校の関連を意識した新しい理科学習教材の開発と授業実践研究 II ～小学校における「電圧」の授業実践について～，山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要第 56 号，pp. 97-106，2023a.
- 栗田克弘：科学的概念形成過程における生徒の認識の順次性について ～授業戦略としての『概念形成図』～，山口大学教育学部研究論叢第 73 巻，pp. 223-232，2024b.

参考文献

- 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，2017 年.
- 文部科学省：中学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説理科編，2017 年.
- 栗田克弘 津守成思 秋山広之 柴田勝 重松宏武：小中学校の関連を意識した新しい理科学習教材の開発と授業実践研究～小学校における「電圧」の導入について～，山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要第 54 号，pp. 1-12，2022 年.