

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 -

杉本良一*・神林久美子**

Acquiring the Concept of Water Solution in Science Learning

-A Survey on Learning How Things Dissolve in Elementary Science-

SUGIMOTO Ryoichi and KANBAYASHI Kumiko

キーワード：理科教育，理科学習，科学概念，小学校理科，水溶液

Keywords: science education, science learning, scientific concepts, elementary science, water solution

1 はじめに

理科学習では正しい科学的概念や科学思考力を身に付けることが求められている。しかし、学習させた後に必ずしも正しい科学概念が身に付いているとは限らない。なぜ正しい科学概念が身に付かないと考えられるのか。それは、知識を獲得する過程で、子どもの既存の考えやイメージが深く根付いているからと思われる。大人や子どもを対象とした科学の概念調査に関する研究から、学習前に子どもには自然に対する何らかの既存の概念が存在していること、小学校や中学校、さらには高等学校において理科学習を積み重ねてきた大人でさえ、科学概念とは異なった概念を保有している人が多いことなどが報告されている¹⁾。

子どもたちが学習前にあらかじめ持っている概念は、素朴概念 (Naive Conception) やプリコンセプション (Pre-Conception)、子どもの科学 (Children's Science) などと呼ばれている²⁾。すなわち、教師が時間をかけて詳細に説明したとしても、学習が終われば時間の経過とともに記憶から次第に忘れ去られ、はじめに持っていた概念へ後戻りしてしまうことさえある。子どもたちの長期記憶へ科学概念を身に付けさせるためには、単に科学的知識を伝達する形式の授業だけではなく、子どもの既存概念に焦点を当て、それらを子どもたちの意識の中で科学的概念へと変容させていくような理科授業をデザインしていくことが必要となってくる。

多くの科学概念の中でも、溶媒に溶質がとける「溶解」という現象は身近な現象であり、特に「とける」という言葉は様々な意味で使われており、日常生活や経験から、子どもたちは「とける」と

* 鳥取大学地域学部地域教育学科学習科学講座

** 西宮市立西宮浜小学校

ということについて多様な考えやイメージを抱いていると考えられる。それらは小学校理科5年「もののとけかた」の学習にも使われていると考える。溶解の学習に関する子どもの概念を調査した先行研究から、溶解現象に関する子どもの様々な素朴概念が明らかにされており、実際の調査からも粒子について学んでいない小学生の子どもでも、溶けるということに関して子どもなりに溶質を粒のようなものとしてとらえ、水溶液の均一性に対する説明を試みる子どもも存在していることが分かった³⁾。しかし、溶解現象は一般的に指導の困難な教材であるといわれている。それは、溶質粒子を視覚的に確認することができず、感覚を通して理解することが子どもにとって難しいからである。また、小学校段階で実験・観察の結果から水溶液のミクロな状態を推論することはきわめて難しいと考えられる。

本研究では、理科学習における子どもの水溶液概念獲得を目指し、中学校・高等学校と連続して溶解現象をとらえることができるように小学校の溶解に関する学習について検討し、第5学年の「もののとけかた」の学習の展開について示唆することを目的とする。

研究の方法としては、教科書や学習指導要領などから溶解に関する学習の構造をとらえ、問題点などを探る。さらに文献で紹介されている授業実践事例の分析、質問紙法による小学生の水溶液に関する調査の分析と考察により、改善した授業設計や指導事例について論ずる。

2 小学校理科における「溶解」の学習について

2-1 「溶解」の学習と学習指導要領における変遷

学習指導要領の変遷に伴い、現在の教育現場では授業時間数や学習内容が大きく変化している。小学校における水溶液に関する学習を見る限りでも、その取り扱いが大きく変化していることがわかる⁴⁾。

昭和43年学習指導要領までは、2年、4年、5年、6年と低学年から高学年までカリキュラムが組まれ段階的に学習が進められていたが、昭和52年度の学習指導要領から2、5、6年で扱われるようになり、平成元年の学習指導要領からは学習構造が変化し、5年「ものの溶け方」、6年「水溶液の性質」のみで扱うこととなっている^{5,6,7)}。

この内容の取り扱いの変化の中で一番大きく変わっていることは、以前は低学年でじっくり取り組まれていた「いろいろなものを溶かす その変化を探る、観察する」という学習の機会が確実に減っていることである。昭和52年以前の学習指導要領の中では、溶解に関する学習は小学校2年生の時点から「せっけんの溶け方やシャボン玉のでき方を調べる」という学習から始まっている。せっけんを溶かしてせっけん水を作り、せっけんは水よりも湯に早く溶けることに気づくことや、せっけん水の濃さによって、シャボン玉がうまくつくれなかったことに気づくなど、温度や濃度に着目した活動が行われていた。その次の学年では、食塩やホウ酸など、物質を溶かしたときのそれぞれの違いを見る学習を行っている。

また、昭和54年度の教科書では、「いろいろなものを溶かしてみよう」という内容の学習が2年生の理科で行われており、このように早い段階から遊びや作業を通して簡単な自然科学的事実に気づかせ、これに関連した新しい事実の正しい見方や考え方・扱いができるようにするとともに、ものの溶け方や変化に関心を持たせながら、いろいろな道具の使い方に慣れさせるような指導が行われてきた。

しかし、現在の学習過程では、啓林館の平成14年度理科指導書年間指導計画作成によると⁸⁾、第

5 学年で「7 ものの溶け方」として溶解の学習が位置づけられ、学習時間としては、年間計82(95)時間のうち配当12(13)時間である。物を溶かす活動そのものは「食塩やコーヒーを溶かす活動」が導入部分で2時間程度確保されているだけである(表1)。学習の中では、「コーヒーシュガーを水に溶かして、溶ける様子を観察しよう」という導入から始まり、子どもたちはそれがもやもやと溶けていくのを目にする。次に、塩を水に溶かしてみよう溶ける量を調べる学習、温度と溶ける量との関係へと学習を進めてく。水などに何かを溶かす行為そのものは、子どもたちにとってみれば面白く興味深い現象だろう。しかし、学習構造の変化の中でいろいろなものを溶かしてみようという低学年での学習がなくなったことによって、高学年で要点を絞った学習が構成されており、内容としても以前ほど細かく設定されておらず簡素化されている。

表1 現行の学習指導要領による「もののとけかた」の学習指導例⁸⁾

学習目標	授業時数	学習内容	
物を水に溶かし、水の温度や量による溶け方の違いを調べ、ものの溶け方の規則性について捉えることができる。	2	導入	食塩やコーヒーシュガーを水に溶かしてみる。
	1	1次	溶けたものの重さがどうなるのかを調べる。
	5	2次	物が溶ける量について、水の温度を変えて調べる。
	3	3次	水溶液を冷やして溶けたものを取り出す。モールを使って結晶作りをする。
	1	まとめ	まとめと発展
	(1)	(ゆとり)	

さらに、1950年代から1970年代の教科書と比較すると、現在の教科書ではイラストや写真による視覚化で直感的になっているが、子どもたちにとって生活感のない題材から出発し、論理的文章を読みこなす機会もないまま、科学的思考を求めているように見える。

戦後すぐに作成された教科書は読み物としての記述がほとんどを占めており、文章そのものから理解させるという学習が求められていた。そして、70年代の教科書では、仮説・検証に関する文章の記述がなされており、教科書をもとに学習を行うことである程度、科学的思考力や解決力が身に付いていたと考える。現行の教科書は図や写真を多用した内容となっており、子どもたちにとって順序だてて理解することが難しい構成となっている。

理科教育における課題が科学的思考力や知識の習得、問題解決能力の育成とされる中、実際には、科学的な文章や実験結果に関する文章を論理的に考えることが出来ない、学習したことが生活に役立つと考えていないという問題点がある。現在までの小学校の理科教科書の記述の変遷から、理科教科書の題材が生活から切り離され、また、文章を読み、論理的に考える構成から視覚的・直感的に答えを推定させる構成になっているのである。

このような学習指導要領の変遷にともなう学習内容の変化は、子どもたちが学習の中で溶解現象についての概念を段階的に築いていくことを困難にし、また、物が溶ける、物を溶かすということへの子どもの関心や探究心を芽生えさせるきっかけを奪うなど、少なからず子どもたちの学習に影響していると考えられる。

2-2 「溶解」に関する子どもの素朴概念

学習する前の子どもはまったく白紙の状態ではなく、それまでの経験から自分なりの考えや概念を形成していると考えられている。このような子どもの考えや概念は「素朴概念」と呼ばれており、

素朴概念は子どものその後の概念形成に少なからず影響するといわれる。

多くの科学概念の中でも、溶解という現象は身近な現象であり、特に「とける」という言葉は様々な意味で使われている。それゆえに日常生活やそれまでの経験から、子どもたちは「とける」ということについて多様な素朴概念を抱いており、それは「もののとけかた」の学習にも持ち込まれている。素朴概念は非常に強固なもので簡単には変容しない。学習者がその認知構造の中で概念変換を行うことでしか、変容しないものであると考えられている。そのためただ教えるだけでは短期記憶としてしか残らず、すぐに忘れ去られてしまうだろう。科学的思考力や知識を身に付ける理科学習を考える上で、子どもの素朴概念を明らかにし、教師が実態を把握しておくことは授業を形成するためにとっても重要であると考えられる。

例えば、森本によると、会話を通した子どもの概念構築の様子が示されている⁹⁾。

温度を上げれば溶解度が増すことは、日常的な経験から想像することが出来る。子どもはこうした分析をするべく、溶媒とした水へのエネルギー付与により、溶解度が決められるという理論を構築していった。そして、水を温めたとき、溶解度が増すことを考える学習の中で、子どもたちは「水にない力をお湯は持ったんだ」「火はパートナーだったんだ」と考えている。さらにそこから溶解という現象について「水は火のパワーをもらって食欲を出し、まるでものを食べるように溶かしていく」「温度が上がってミョウバン自体が食べられやすくなったんだ」「(温度が下がってミョウバンが析出したのは)パワーが下がって水が(ミョウバンを)吐き戻したんだ」というふうに考えていた。子どもたちは溶解現象の中に「パワー」という自分なりの考え方を導き出し、そこから溶かす物と溶かされる物を峻別し、さらには溶解限度がエネルギーにより決定されるという考えを構築していったことが明らかにされている。

ここで重要なのはこのように考えていく過程であり、子どもたちが自分なりの理論を構築していくことが概念定着において重要なことであるということである。しかし、それはあくまで科学的根拠に基づくものでなければ意味がない。また、説明しやすいように教師がそのヒントや手だてを与えることも必要である。

表2に現行の指導要領における溶解に関連した小中高の学習内容についてまとめた。

中学校までの理科では原子や分子を出すのではなく、それより先に巨視的な事実を十分に把握されることが重要なことであるとされる。なぜ分子、原子を考えなければならないのか、その必然性が納得できるような思考の進め方が要求されている。

粒子の考えは、なぜ化学変化において質量が保存され体積は保存されないのか、なぜ化合物の組成は一定であるのかを説明するために考えられたものである。このことは生徒に理科を学ばせる上で忘れてはならないことであって、理科教育の中へ原子や分子を導入する必然性はここにあるのである。物質概念においては、高等学校で物質の化学変化や構造の概念、モル概念の獲得を目指し、そのために中学校・小学校の段階で獲得すべき概念が各カリキュラムとして挙げられるのが理想であろう。最終的な概念獲得を目指し、溶解現象を扱う上でより深い理解を促すためには、小学校の段階でも、もっと積極的に粒子概念を取り上げ、学習内容の中で取り扱うべきであると考えられる。

2-3 第5学年「もののとけ方」の学習

小学校理科の中で、「溶解」はどの時代の学習指導要領においても必ずとりあげられている。溶液教材は基本概念としての物質概念を育てるのに適しており、下位概念として物質の保存、変化、組織、構造、粒子性などがある。その中でも粒子概念は、物質を認識する上で極めて重要な役割を

表2 現行の学習指導要領における小・中・高校の溶解に関連する学習内容

	物質概念		
	物質の変化	物質の種類と性質	物質の構成
小学校	水溶液の性質 ・気体の溶け方 ものの溶け方 ・濃さと重さ、溶ける量 ・ものが溶ける様子	水溶液の性質 ・金属を溶かす水溶液 ・酸性、中性、アルカリ性	
中学校	水溶液 ・溶液、濃度 ・水溶液の反応	酸、塩、アルカリ 化学反応 ・気体を発生する化学変化	原子、分子 ・元素記号 ・化学式 ・モデル
高校	・反応熱 ・酸化と還元	・酸、塩基、中和	・物質質量 ・原子、分子、イオン

果たすものであり、他の科学概念において理解の基本となるものである。

理科の学習を構成するにあたってそこに一貫して流れている考え方は、体制化された科学的概念をいかに教えるかということである。物質の階層構造の理解は「物質の三態 分子 原子 原子核・電子」というように、学習の積み上げにより成立するものである。物質概念において、小学校ではまず、金属 非金属、水に対する可溶・難溶、固体 液体 気体などのマクロな観点から物質の多様な挙動を理解させることが重要とされる。そして、小学校から中学校へ段階的に発展性を持たせて学習を進めていく中で、合理的に物質の基本的概念の理解を図らせるのである。

溶解現象の学習において基本となるのは、物質の保存、均一性、溶解度、濃度等が挙げられる。そして、小学校で取り扱う溶解概念は現在小学校5年生に位置づけられている。その中で「とける」という現象は、水に物質がとけた後の水溶液の「透明性」「保存」「飽和」の3つの内容から構成されており、平成10年度の学習指導要領の中では、目標と内容として以下のように示されている。

表3 学習指導要領における目標(1998年度告示)

B 物質とエネルギー

(1) 物を水に溶かし、水の温度や量によるとけかたの違いを調べ、物の溶け方の規則性についての考え方を持つようにする。

ア 物が水に溶ける量には限度があること。

イ 物が水に溶ける量は水の量や温度、溶ける物によって違うこと。

また、この性質を利用して、溶けている物を取り出すことができること。

ウ 物が水にとけても水と物を合わせた重さは変わらないこと。

そして、「ここでは、物を水に溶かし、水の温度や量の条件を変えて物が水に溶ける量を調べ、物が水に溶ける量には限度があることや、水の温度や量、溶ける物の種類が変わると物が溶ける量が変わることを捉えるようにする。また、物を水に溶かす前と水の重さの和と、溶かした後の全体の重さを比較し、物が水に溶けても全体の重さは変わらないことを定量的に捉えるようにする。」というのがこの単元のねらいである⁷⁾。

しかし、こうしたマクロからミクロにいたる学習の積み上げだけでは、小学校の段階において物

質概念の基礎はあいまいで、粒子論の導入も発達段階から見て理解することが困難な内容となり、興味・関心の対象ともならない可能性がある。これは、学習内容の構成が子どもたちに何らかの必然性を持たせることもなく、科学のいろいろなラベルの形成を強いる授業がひたすら展開されていくからであると考えられる。水に対する物の溶解において、子どもたちが興味を示すのは「均一に分散している」ということよりも、溶媒がどこへ消えたのかということにあるのではないだろうか。

子どもたちの興味がどこにあるのかというのは授業を構成する上で非常に重要なことである。たとえ、小学生には到底理解できないような内容であっても、直感的に興味・関心、そして、それを思考する必要性があれば、抽象的にでも概念を受け入れが形成されることもあると考えられる。

2-4 指導計画や授業設計の違いにおける概念形成の変化

ものの溶け方に関する自然認識は「物質の保存 重さの保存 溶液の均一性」の順に長い時間をかけて培われるものであるとされている¹⁰⁾。そして、児童の自然な認識の発達に任せておくだけならば概念が形成されるまでに長い期間がかかるが、具体的操作を通しながら、一人一人の発達に即した課題に自ら取り組むことで、その発達を促すことが可能になるのである。しかし、子どもの概念形成は果たして本当にその順序で形成されると言えるのだろうか。ピアジェは課題提示とそれに対する子どもの反応を分類し、その結果と子供の年齢との関係から発達段階の考え方を提示し、また、課題解決能力が認知的発達段階に依存していると述べている。先行研究において、従来行われている学習課題の順番を入れ替えると子どもの理解がどうなるかを調べたものがある¹¹⁾。

彼らは、ピアジェが行った保存に関する調査の中から、「もし、子どもたちが、透明な水溶液の中に見えない溶質が存在しているという文脈の下でこの問題を考えることができるのなら、実際に水溶液の重さを測定しなくても重さが保存していることを指摘することができる¹²⁾」と考えた。そして、「もし、状況や文脈が概念形成に重要な意味を持つならば、はじめに与えられる情報とそれを取り巻く状況は、後の情報を解釈するのに強く影響を与えるだろう¹³⁾」という仮説を立てた。そこで、食塩水を作って、水の重さと食塩の重さから食塩水の重さが保存されていることを調べる保存課題と、蒸発凝固によって食塩水中から食塩が析出してくる析出課題を、独立した集団に対してその順序を変えて提示しながら、水溶液中の食塩の存在や食塩水の重さ、析出してくる食塩の由来などに関する一連の質問を行った。

その結果、2つの提示課題の順序を変えるだけで、重さの保存に関する子どもの考えは大きく異なってくることが明らかにされた。

保存課題から析出課題へと進んだ正置群に対して、析出課題から保存課題へと進んだ倒置群では食塩水の保存を予測できるものが多かった。

析出課題において正置群の子どもには「食塩ができた(生成した)」という考えが多かった。

正置群における子どもの分かり方は「重さの保存」であったのに対して、倒置群では「物質の保存」であった。

このような事実が観察された理由は、正置群においては食塩が溶けて見えなくなる保存課題から始まるため、子供は閉鎖系においては重さ(物質)は保存されるというあたり前の考えが視覚情報によって抑制され「食塩がなくなった」という考えを作り出し、その文脈に沿って後に得られる情報が処理されたためだと考えられる。

この調査からは、教材の内容もそこでの手続きも同じ課題を、順番を変えて提示するだけで、子供の理解の仕方が全く違ってくることが証明された。これは子どもの知的情報処理の結果であると

考えられ、ピアジェの発達段階による考えとも異なるものである。子どもが一連の文脈の中で自分の考えを構成していくとき、はじめの状況や提示された情報の順序が子供の考えに大きく影響を与えており、このような事実から、単元構成などにおける学習内容の配列も重要であると考えられる。

3 「水溶液」に関する子どもの概念調査

日常生活やそれまでの学習や経験から、子どもたちは多様な考えやイメージを抱いていると考えられ、それらは学習にも持ち込まれている。そこで、「溶解」に関するアンケートを実施し、子どもたちが「溶ける」という現象をどう考えているか、「水溶液」に関してどのような認識・意識を持っているかを明らかにすることを目的とし、調査を実施した。

3-1 調査方法・時期

調査は、2005年11月から12月にかけて行った。調査は、質問紙法で行い、全てに同じ調査用紙を配布した。

3-2 調査対象

鳥取県内の小学校3年生から6年生を対象に調査を行った。対象児童を以下に示す。

表4 対象児童数(人)

	3年生	4年生	5年生	6年生	合計
A小学校	37	23	34	43	137
N小学校	18	21	28	19	86
合計	55	44	62	62	223

3-3 調査内容

水溶液に関する素朴概念を調べるものを中心に、主に、飽和水溶液や濃度に関するものを質問選択式と描画法を用いて調査した。それぞれの質問項目については、先行研究を参考にしながら、以下の項目に基づいて作成した。

設問1 水に食塩を溶かしたときの状態

- (1) 水溶液の濃さの概念
- (2) 水溶液の濃さの均一性とろ過
- (3) 溶け残りのある食塩水

食塩水に溶け残ったもの 溶け残りのある食塩水の濃度

「飽和」の概念 食塩をより多く方法

設問2 食塩の溶けたときの水の中の様子

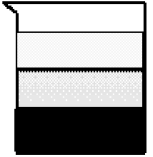
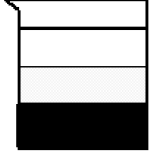
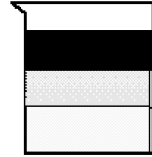
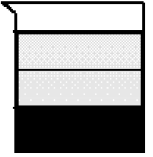
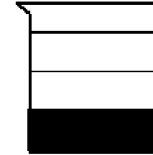
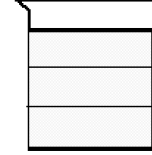
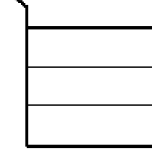
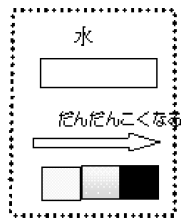
前回の調査により、「ものは溶けると下に沈む」「溶けると小さな粒になる」などの素朴概念をもつ子どもは多いという結果が得られていた。しかし、それぞれの概念のつながりや関係についてはあいまいな点が多いと思われる。そこで、今回は「濃度」と「飽和」と言う観点から、子どもたちが溶解をどう捉えているのかを調べることにした。調査用紙は図1-1及び1-2に示す。

理科アンケート調査 ()年()組 名()

このアンケートは、「もののとけ方」の学習について調べるものです。成績にはまったく関係ありませんので安心して答えてください。

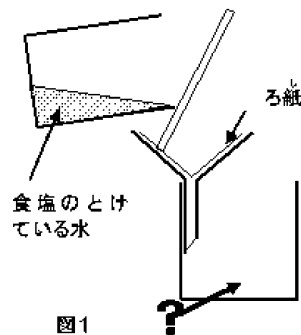
1. 水に食塩をいれてかき混ぜ、食塩をときました。

1) このとき、ビーカーの中の食塩水のこさはどうなっていると思いますか。あなたの考えに近いものを(ア)～(キ)から一つ選び、そう考えた理由を〔 〕に書いてください。

(ア) 食塩水は下に行くほどだんだんこくなっている。 	(イ) 上の方は水で、下に行くほど食塩水はこくなっている。 	(ウ) 食塩水が一番上がこく、下に行くほどうすくなっている。 	(エ) 一番下がこくて、あとは同じこさである 
(オ) 一番下だけこい食塩水で、あとの部分の水である。 	(カ) 食塩水は全部同じこさになっている。 	(キ) その他 	

〔 〕理由〔 〕

2) この食塩水を右のような図1の装置でろしました。ビーカーの中には、何がたまると思いますか。次のア～カの中から、あなたの考えが一番近いものを選んでください。また、あなたがそう考える理由も書いてください。

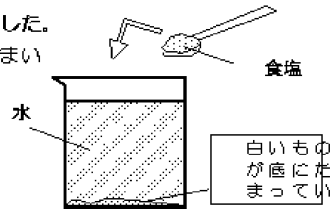


- (ア) 食塩だけがたまる
- (イ) 水だけがたまる
- (ウ) もともと同じこさの食塩水だけがたまる
- (エ) 前よりもこい食塩水がたまる
- (オ) 前よりも薄い食塩水がたまる
- (カ) その他：()

〔 〕理由〔 〕

図1-1 調査用紙

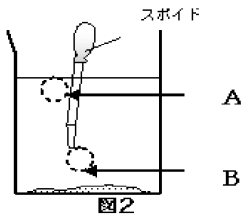
1) このビーカーの中にさらに食塩を加えてかき混ぜました。すると、ビーカーの底の方には白いものが、たまってしまいました。



① 底にたまった白いものは何だと思えますか。

[]

② 下の図2のように上の方(A)と下の方(B)の食塩水を取ってこさを調べました。このときAとBのこさには違いがあると思えますか？あなたの考えに近いものを(A)～(E)から一つ選び、そう考えた理由を〔 〕に書いてください。



- (ア) 上のAのほうがこい
- (イ) 下のBのほうがこい
- (ウ) AもBも同じこさ
- (エ) その他

理由 []

③ このままかき混ぜ続けると底にたまった白いものはどうなるでしょうか。あなたの考えに近いものを(A)～(E)から一つ選び、そう考えた理由を〔 〕に書いてください。

- (ア) とける
- (イ) 少しとける
- (ウ) とけない
- (エ) 変化はない

理由 []

④ この水にもっともっとたくさんの食塩をとかしたいと思えます。何か工夫をするとたくさんの食塩がとけるようになるかもしれません。あなたならどのような方法を考えますか。

[]

2. もし目に見えたら、食塩のとけた水の中の様子はどのようなになっているのだろう？

下の図に食塩のとけた水の中の様子を絵や記号、文字などを使って自由に表してください。また、〔 〕にあなたの考えを説明してください。

【あなたの考え】

[]

【食塩のとけた水の中の様子】

図1-2 調査用紙その2

4 調査結果と考察

4-1 水溶液の均一性に関するもの

(1) 水溶液の濃さの概念

「水に食塩をいれてかき混ぜ、食塩をときました。このとき、ビーカーの中の食塩水の濃さはどうなっていると思いますか。」という質問に対して以下の(ア)～(キ)の選択肢を設定し、選択式で回答を求めた。その結果を次に示す(表5, 図2, 3, 4)。

選択肢

- (ア) 食塩水は下に行くほどだんだん濃くなっている
- (イ) 上の方は水で、下に行くほど食塩水は濃くなっている。
- (ウ) 食塩水は一番上がこく、下に行くほどうすくなっている
- (エ) 一番下が濃くて、あとは同じ濃さである
- (オ) 一番下だけこい食塩水で、あとの部分は水である。
- (カ) 食塩水は全部同じ濃さになっている。(正答)
- (キ) その他

表5 水に食塩を溶かしたときの状態と濃度

	3年		4年		5年		6年		合計	
	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合
ア	9	16.4%	9	20.5%	20	32.3%	25	40.3%	63	28.3%
イ	8	14.5%	9	20.5%	10	16.1%	5	8.1%	32	14.3%
ウ	6	10.9%	2	4.5%	6	9.7%	0		14	6.3%
エ	4	7.3%	5	11.4%	3	4.8%	0		12	5.4%
オ	10	18.2%	4	9.1%	7	11.3%	6	9.7%	27	12.1%
カ	17	30.9%	12	27.3%	14	22.6%	26	41.9%	69	30.9%
キ	1	1.8%	3	6.8%	2	3.2%	0		6	2.7%
合計	55		44		62		62		223	

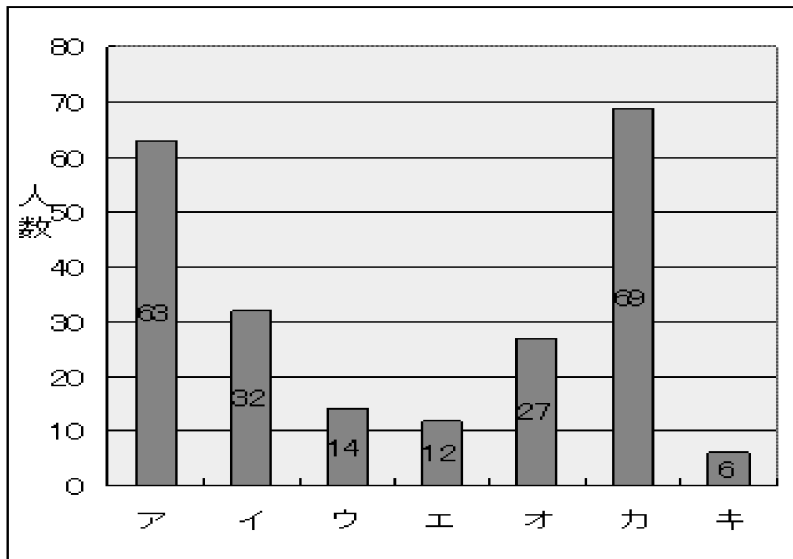


図2 「水に食塩を溶かしたとき」の結果

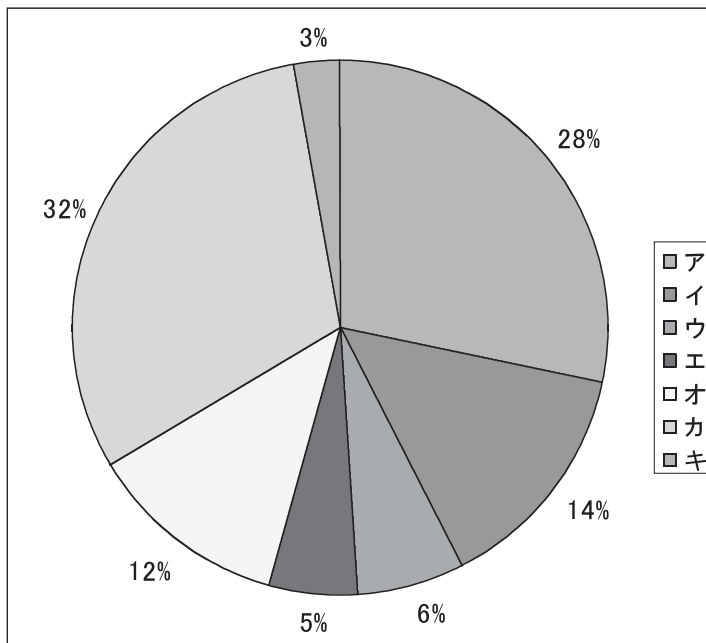


図3 全体の割合

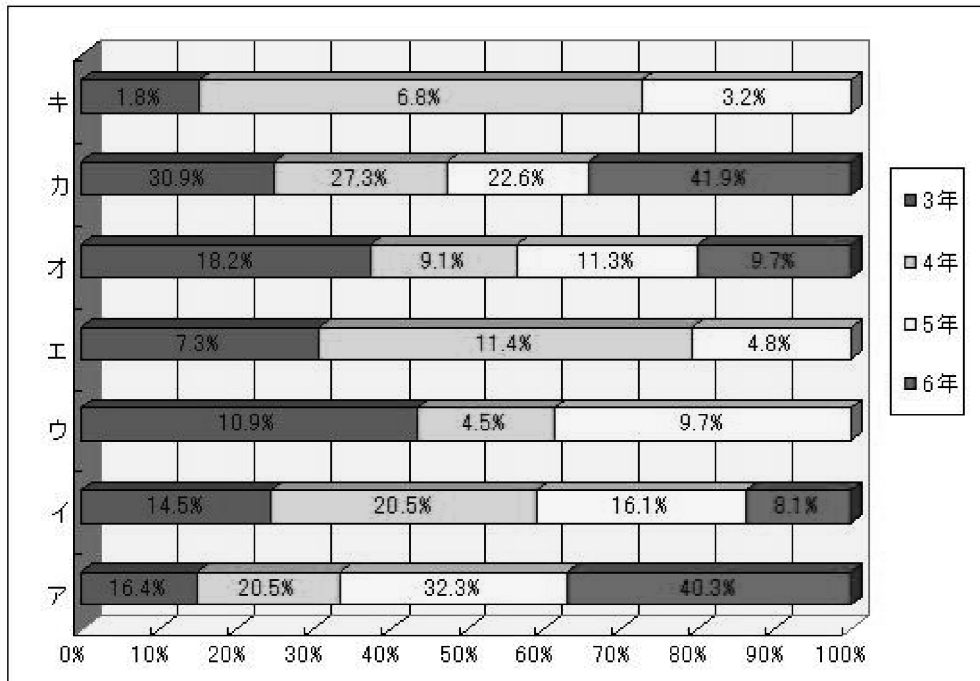


図4 回答項目における各学年の割合

設問1-(1)の結果と考察

正答である「(力)食塩水は全部同じ濃さになっている」という回答は全体では、最も多く69人(30.9%)であった。学年ごとに見ると、3年生で30.9%、4年生で27.3%、5年生で22.6%となり、学習後の6年生では41.9%であった。

2番目に多かったのは「(ア)食塩水は下に行くほどだんだん濃くなっている」という回答で、64人(28.3%)であった。(ア)と考える児童は学年に比例して増加しており、3年生で16.4%、4年生で20.5%、5年生で32.3%、6年生では40.3%となっていた。

「食塩を溶かしたときに下の方が濃くなる」という考え、つまり選択肢では(ア)(イ)(エ)(オ)にあたる考えを持つ児童の方は、135人(60.5%)であった。学年ごとに見ると、3年生で32人(58.2%)、4年生で27人(61.3%)、5年生で40人(64.5%)、6年生では36人(58.1%)であった。水溶液について学習後の6年生では、(エ)(オ)の考えを持つ児童はいなかった。

そして、回答のほとんどは(ア)か(オ)のどちらかを選択していた。

・²検定を行った結果を示す。

全体 : $\chi^2 = 35.1$ ($p=0.00930 < 0.01$)

学年間 : 3 - 4年生 $\chi^2 = 15.7$ ($p=0.0176 > 0.01$)

4 - 5年生 $\chi^2 = 11.6$ ($p=0.0690 > 0.01$)

5 - 6年生 $\chi^2 = 19.7$ ($p=0.00314 < 0.01$)

3年生と4年生、4年生と5年生では有意差は見られなかったが、5年生と6年生の間には有意

差が見られた。

回答結果と子どもたちの理由付けから、水溶液の濃度の概念に関して考察する。未学習の3～5年生と、水溶液について学習経験のある6年生の回答結果についてみると、6年生で正答率が増えるということは、やはり水溶液に関して学習していることが影響していると考えられる。全体的に見ると、(ア)(イ)(エ)(オ)を選んだものが61%と言う結果から、「食塩を溶かしたときに下の方が濃くなる」という考えを持つ児童が多いということがいえる。しかし、「全体に広がる」という均一性の概念が学習後に増えるのに対して、「(ア)食塩水は下に行くほどだんだん濃くなっている」を選んだ児童も学年を追うごとに増え、6年生がもっとも多いという結果が得られている。(ア)を選んだ理由として、3,4年生では「なんとなく」「下に沈むから」というものが多かったが、5年生では、「塩は固体だから沈むと思った」「かき混ぜて、そしたら塩は沈むから」などが多く見られた。また、6年生では、「食塩は重いから」「食塩の粒は下にたまる」「水に食塩を混ぜると重くなったのを思い出したから」「重いものは下に沈むから」など、「重さ」と言うものを意識していることが分かる。

このように、水溶液の学習を終えている6年生は、「食塩の重さ＝食塩は沈む＝下の方が濃い」という考え方を持っていた。つまり、濃度の概念を重さの概念とあわせて捉えていると考えられる。また、食塩が水に溶けると「下に沈む」あるいは「上に浮かんでくる」と考えている子どもが約60%存在することから、濃度に関しても「均一性」についての概念は形成されていないことが明らかになった。しかし、「濃度」そのものの捉え方として、「溶けた食塩が下に沈む」と考える子どもは「下の方が濃い」と考え、「溶けた食塩は全体に広がる。均一になる」と考える子どもは「全体の濃度も均一である」と考えていた。さらに、「溶けた食塩は上に浮く」と考える子どもは「上のほうが濃くなる」と答えている。このことから、水溶液について学習する前でも、「濃度」に関する概念が形成されており、水の中での食塩の所在が食塩水の濃度の考え方に関係していることが明らかとなった。

さらに回答理由を見ていくと、「均一である」と言う考えを持つ子どもに共通なのが「かき混ぜたから全体に広がる」という考え方である。「かき混ぜる＝広がる」という認識が、同じ濃さになるという考えに結び付けられているようだ。

設問1-(2)「水溶液の濃さの均一性とり過」についての結果と考察

「食塩水をろ過しました。ビーカーの中には、何がたまると思いますか。」という質問に対して以下の(ア)～(キ)の選択肢を設定し、選択式で回答を求めた。

- (ア) 食塩だけがたまる
- (イ) 水だけがたまる
- (ウ) もとと同じこさの食塩水だけがたまる(正答)
- (エ) 前よりもこい食塩水がたまる
- (オ) 前よりも薄い食塩水がたまる
- (カ) その他

その結果を次に示す(表6, 図5-7)。

表6 食塩水の濃度とろ過

	3年		4年		5年		6年		合計	
	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合
ア	7	12.7%	11	25.0%	10	16.1%	8	12.9%	36	16.1%
イ	18	32.7%	10	22.7%	22	35.5%	12	19.4%	62	27.8%
ウ	6	10.9%	11	25.0%	6	9.7%	15	24.2%	38	17.0%
エ	8	14.5%	2	4.5%	4	6.5%	3	4.8%	17	7.6%
オ	15	27.3%	10	22.7%	18	29.0%	24	38.7%	67	30.0%
カ	1	1.8%			2	3.2%			3	1.3%
合計	55		44		62		62		223	

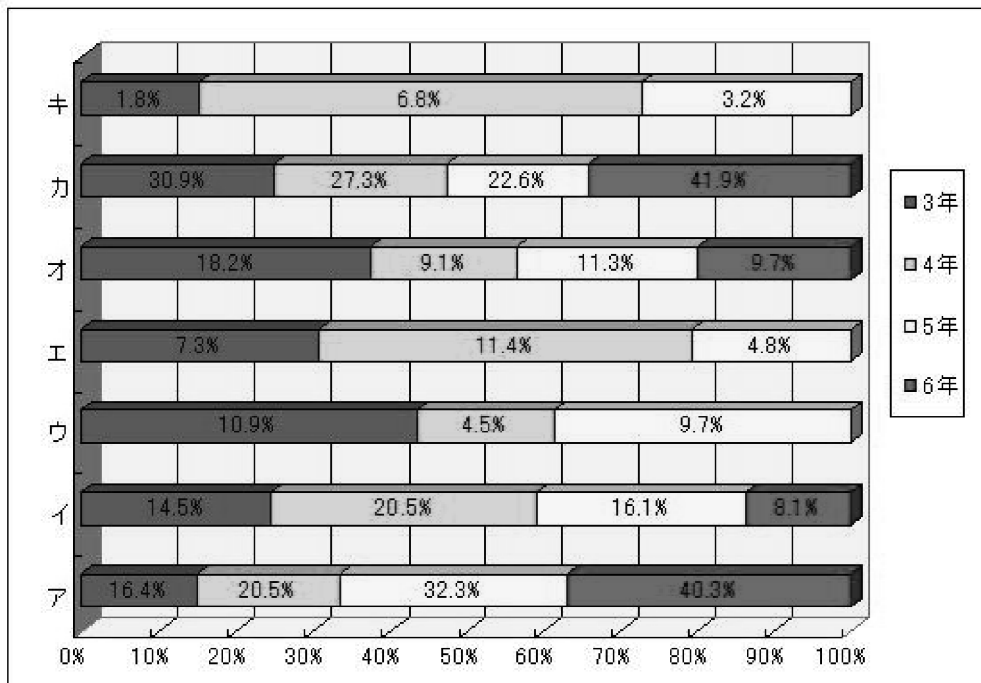


図5 「食塩水の濃度とろ過」の結果

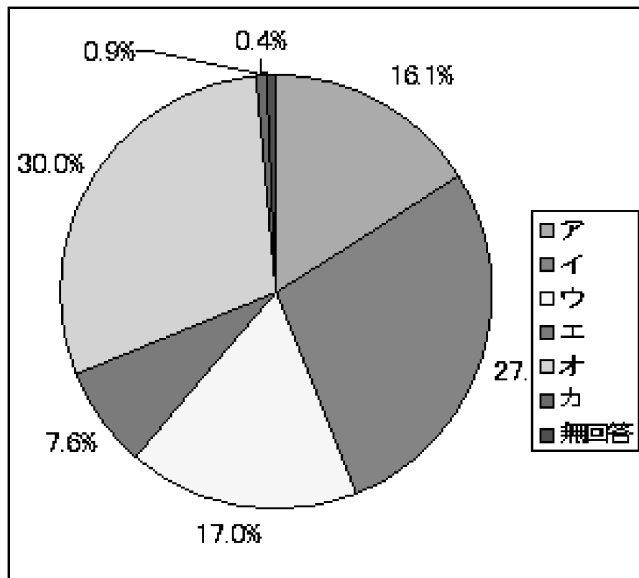


図6 全体の割合

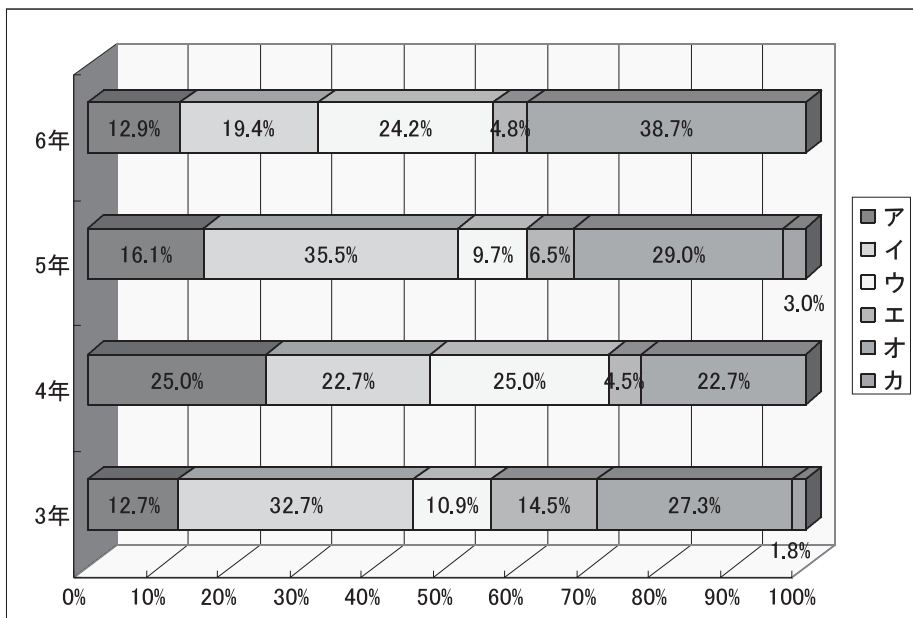


図7 回答項目における学年の割合

正答にあたる「(ウ)もとと同じ濃さの食塩水だけがたまる」を選んだ児童は全体では38人(17.0%)であった。学年別に見ると、(ウ)と答えた児童は3年生で10.9%、4年生で25.0%、5年生で9.7%、6年生では24.2%である。

全体的に見ると、「(オ)前よりも薄い食塩水がたまる」の回答が最も多く全体の67人(30%)で、次に多かったのは「(イ)水だけがたまる」という回答が62人(28%)である。

この結果から、ろ過すると濃度が下がると考える児童は、全体の129人(57.8%)である。学年ごとに見ると、(イ)あるいは(オ)と答えた児童は、3年生で33人(60.0%)、4年生で20人(45.4%)、5年生で40人(64.5%)、6年生で36人(58.1%)であった。

「(イ)水だけがたまる」「(エ)前よりも濃い食塩水がたまる」という考えは、学年が上がるにつれて減少している。

・²検定を行った結果を示す。

全体 : $\chi^2 = 23.8$ ($p = 0.0685$ 0.05)

学年間 : 3 - 4年生 $\chi^2 = 11.9$ ($p = 0.0364$ 0.01)

4 - 5年生 $\chi^2 = 11.2$ ($p = 0.0484$ 0.01)

5 - 6年生 $\chi^2 = 11.9$ ($p = 0.0359$ 0.01)

よって、学年における有意差は見られなかった。

(ア)(エ)と答えた児童の多くは、「ろ過したとき、ろ紙が水を吸い取ってしまうから」という理由を挙げていた。ろ紙が水を吸い取ることで、濃縮され、水が全部なくなる、あるいは、濃度が上がると考えている。

そして、ろ過すると濃度が下がると考えの(イ)(オ)に関して回答理由を見ると、「食塩水をろ過した場合、水の中の食塩もこし取られる」「ろ紙に食塩がたまるから」「食塩はろ紙を通らない」などが挙げられており、どちらもろ過の作業によって食塩がこし取られてしまったと考えていた。また、「環境の勉強でろ過をして、そのろ紙のところ物が詰まっていたから」「ごみが取れたから」という経験に基づく回答もあった。しかも、これらは、「なんとなく」や「予想」という回答の多い3、4年生に比べて、ろ過の操作を経験している5、6年生において多く、はっきりとした理由付けとして述べられていた。

多くの子どもたちは、ろ過という操作が「不純物をこし取るもの」ということは理解している。そして、「溶ける」ということは「小さな粒になって水と混ざる」と捉えられている。このような水溶液の考え方がろ過の操作と結びついたとき、不純物がろ紙にひっかかるということが強く影響し、食塩水の中に溶けている食塩は「不純物と同じ」「ろ紙を通り抜けないものである」と認識されてしまうと考える。また、このことから、子どもたちの言う「粒」の捉え方として、水に溶けた食塩はろ紙を通り抜けるほど小さなものとしては考えられていないといえるだろう。

ろ紙や、ろ過自体の理解が確かではないため、はっきりとしたことはいえないが、食塩を溶かしたとき、全体が同じ濃さになる(均一)という概念をもっている、子どもたちのいう「粒」とか「広がっている」という考えの多くは、分子や原子といったレベルの「粒子」として捉えられているわけではないようである。「ろ過」については、第5学年の「もののとけ方」の学習の中で初めてその操作を学習することになっている。そして、学習の中では、ミョウバンの結晶を取り出すためなどにろ過の操作が行われている。

溶けている状態と混ざっている状態の区別のためには、ろ過の操作を用いることが有効であると考える。そして、ろ過の理論を考え、「一度溶けた物質はろ過してもろ紙にはひっかからない」と

ということが学習の中で取り入れられれば、「粒子性」や「均一性」ということに関して考えていくきっかけとなり、「溶解」についてより深い考え方を引き出し、理解を深めることにつながっていくのではないかと思われる。

設問1 - (3)「溶け残りのある食塩水」の結果と考察

食塩水の溶け残ったもの

「食塩水を溶かしたビーカーの中にさらに食塩を加えてかき混ぜていくと、ビーカーの底の方には白いものが、たまってしまいました。底にたまった白いものは何だと思いませんか。」という問いに対し自由記述で回答を求めたところ、中には、「ごみ」「微生物」などの外れな答えを書いている児童が見られたが、ほとんどの子どもが「塩である」と答えていた。

溶け残りのある食塩水の濃度

溶け残りがある食塩水の濃度について聞いたものである。

「溶け残りのある食塩水の入ったビーカーの上の方(A)と下の方(B)の食塩水を取って濃さを調べました。このときAとBの濃さには違いがあると思いませんか。」という質問に対して以下の(ア)～(エ)の選択肢を設定し、選択式で回答を求めた。

その回答の結果を以下に示す(表7, 図8 - 10)。

- (ア) 上のAのほうが濃い
- (イ) 下のBのほうが濃い
- (ウ) AもBも同じ濃さ(正答)
- (エ) その他

表7 溶け残りのある食塩水

	3年		4年		5年		6年		合計	
	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合
ア	7	12.7%	1	2.3%	6	9.7%	0		14	6.3%
イ	36	65.5%	26	60.5%	47	75.8%	44	71.0%	153	68.6%
ウ	12	21.8%	15	34.9%	9	14.5%	17	27.4%	53	23.8%
エ	0		1	2.3%	0		1	1.6%	2	0.9%
無回答	0		1	2.3%	0		0		1	0.4%
合計	55		43		62		62		223	

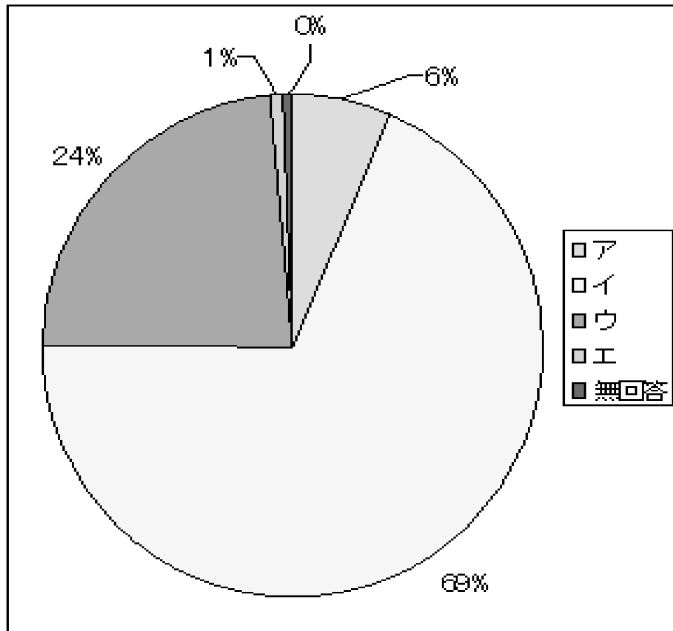


図8 溶け残りのある食塩水の結果

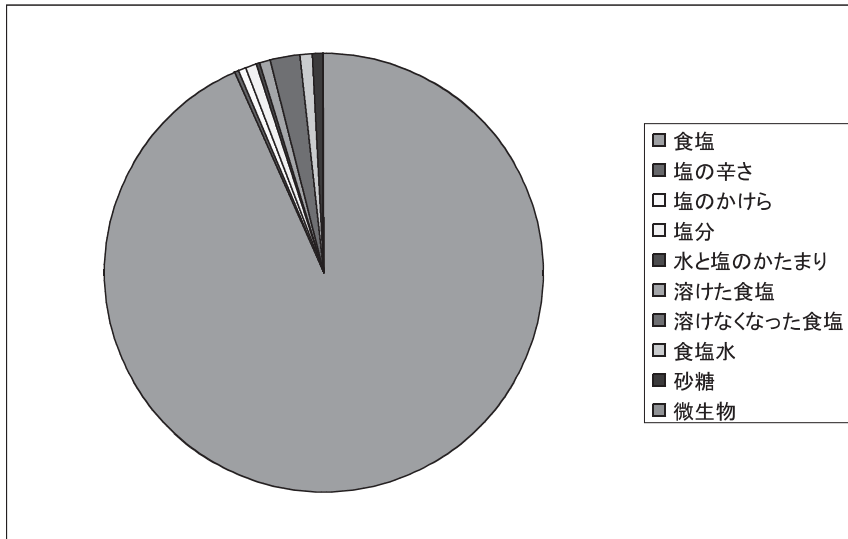


図9 食塩水の濃度

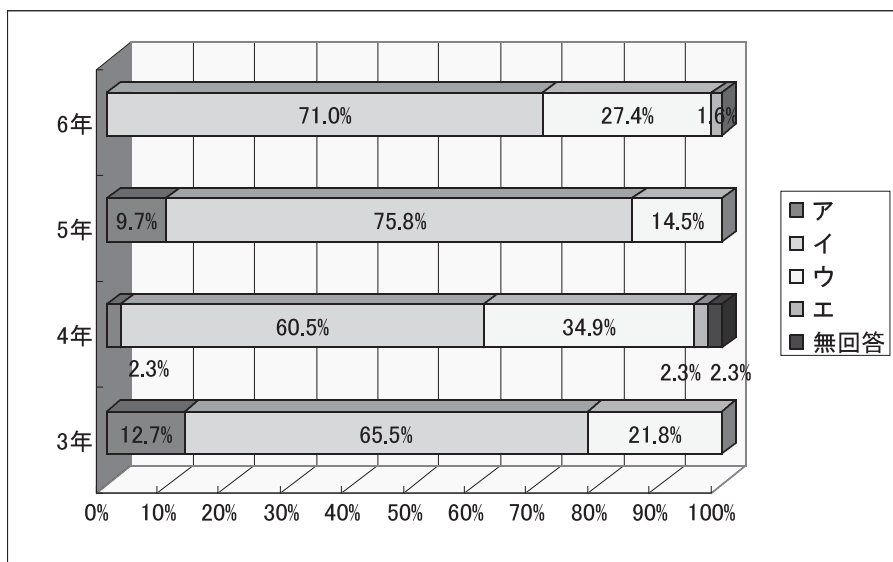


図10 全体の割合

全体的に見ると、最も多かったのは「(イ)下のBの方が濃い」の153人(68.6%)であった。学年ごとに見ると、(イ)と回答したのは3年生では65.5%、4年生では60.5%、5年生では75.8%、6年生では71%である。

正答にあたる「(ウ)AもBも同じ濃さ」と答えた児童は53人(23.8%)であった。

学年ごとに見ると、3年生21.8%、4年生34.9%、5年生14.5%、6年生27.4%である。

・²検定を行った結果を示す。

全体 : $\chi^2 = 18.0$ ($p=0.0357$ 0.01)

学年間 : 3 - 4年生 $\chi^2 = 8.91$ ($p=0.0305$ 0.01)

4 - 5年生 $\chi^2 = 9.001$ ($p=0.0292$ 0.01)

5 - 6年生 $\chi^2 = 9.04$ ($p=0.0287$ 0.01)

よって、学年における有意差は見られなかった。

この結果から、学年にかかわらず、水溶液において溶け残りがある場合「下部のほうが濃くなる」と考える子どもが多いということがわかった。しかも、(1)では「食塩を溶かしたときに下の方が濃くなる」という考えを持つ児童が全体の60.5%であったのに対し、とけ残りがあるという状況では69%に増えていることから、子どもたちにとって、水溶液中にとけ残りが存在することが濃度の概念に影響すると考える。しかも、そう考える理由として「塩があるところのほうが味が濃いから」「下にたまっているほうが濃いに決まっている」「ココアを飲むときにもそうなるから」などの理由が挙げられていた。このような考えは、日常生活経験から得た考えと思われるものが多く、特に味覚に関するものからきている。

(1)で食塩を溶かしたときの濃度は均一であると答えていた児童は、溶け残りがある食塩水でも同じように均一であると考えているのだろうか。とけ残りのあることで、濃度に関する概念にどのよ

うな違いがあるのかを考察するために、(1)と(3) についてクロス集計を行った。

この結果、正答にあたるカウと答えている児童は、全体で26人(11.7%)である。学年ごとに見ると、3年生では10.9%、4年生では11.4%、5年生では8%、6年生では16.1%という結果であった。学年ごとの正答率に大きな差はみられない。

学年ごとのクロス集計により回答パターンを調べると、3、4年生では(カイ)が一番多い組み合わせであるのに対して、5、6年生では(アイ)という回答パターンが最も多くなっている。高学年の方が、「食塩水は下の方が濃い」という考えがより一層強くなっているということが言える。

6年生についてみると、水溶液の学習後であることから、回答のばらつきが少なくなっている。最も多いのは(アイ)のパターンで30.6%、2番目に多いのが(カイ)のパターンで25.8%、そして3番目に多いが正当パターンである(カーウ)であった。

さらに、(1)の項目について(ア)(イ)(エ)(オ)を「下が濃い」という考えに当たるとし、全体の結果を示した(表3-15)。これより、(1)で水溶液の濃度の均一性を捉えていた児童のうち、溶け残りがあることによって「下の方が濃い」と答えた児童は41人(59.4%)、溶け残りがあっても「同じ濃さである」と答えた児童は26人(37.7%)であった。

また、逆に(1)で「下の方が濃い」と答えていた児童のうち、溶け残りがある場合は「同じ濃さになる」と答えている児童が24人(16.5%)いた。同じく溶け残りがある水溶液でも「下が濃くなる」と答えたのは98人(73.7%)であった。

食塩が溶けたとき、「その濃度は同じである」と考えることが出来る子どもでも、溶け残りがあるということによって、下の方が濃いと考えてしまうことから、均一性の概念が確実に形成されているとは言いがたい。

表8 (1)/(3) クロス集計による濃度に関する概念 全体

(1)/(3)	上が濃い	下が濃い	同じ	無回答	合計
下が濃い	9	98	24	2	133
上が濃い	3	8	3	0	14
同じ濃さ	1	41	26	1	69
その他	1	5	0	0	6
合計	14	152	53	2	223

・学習内容の変化にともなう濃度の概念形成の違いについて
 先行研究において1984年に実施された調査から、同じ問いに対する正答率を示し、今回の結果と比較する¹¹⁾。

1984年の調査(林)		2005年の調査(本研究)	
3年生	18%	3年生	22%
4年生	5%	4年生	35%
5年生	23%	5年生	15%
6年生	73%	6年生	27%

1984年の調査では、3, 4, 5年生に比べ、6年生で正答率が上がり73%となっている。しかし、今回の調査では、4年生で少し上がるものの各学年に大きな変化は見られず、6年生の正答率に関しては27%であった。過去の結果と比較すると、3, 4年生では正答率が上がっているといえるが、6年生の正答率が大きく下がっている。この原因として考えられるのは、1984年当時行われていた5年生の学習である。

当時、5年生では、食塩水を中心に「水溶液の濃さと重さ」について、固体が水に溶ける量を調べ、水溶液の濃さと重さの関係についての学習がなされていた。しかし、平成元年の学習指導要領から、「濃度」に関する取り扱いはなくなくなり、「ものが水に溶ける量（溶解度）」のみが取り扱われるようになったのである。

先ほどの回答理由に挙げたように、日常で物を溶かす場面に触れることは多く、特に「濃い・薄い」という濃さの概念は、味覚からくる経験の影響が大きい。また、「下に沈む」という素朴概念から「下の方が濃度も濃くなる」という考えが形成されやすいたことが挙げられる。濃度に関する学習がなくなったことにより、「濃度はどこも同じである」という（ウ）の正答率が下がったことから考えれば、濃度の均一性に関する概念形成は、学習することで身に付く概念といえる。

「濃度」に関する学習過程では、必然的に溶かした物質の「保存」の概念が獲得され、さらに物質の「均一性」の概念へと発展すると考えられる。よって、これらの概念獲得を目指すためには、粒子概念を導入する学習を考えると、「濃度」に関する扱いは必要であると考えられる。

設問1-(3)- 「飽和」の概念の結果と考察

小学校5年「ものどけ方」の学習では、「物を溶かすとき、その溶ける量には限度がある」ということを学習する。溶け残りがでている飽和水溶液に関して、「このままかき混ぜ続けると底にたまった白いものはどうなるのでしょうか。」という問いを設定し、これに対して以下の（ア）～（エ）の選択肢を設定し、選択式で回答を求めた。

その結果を以下に示す（表9, 図11 - 14）。

- （ア） とける
- （イ） 少しとける
- （ウ） とけない(正答)
- （エ） 変化はない

表9 飽和の概念の結果

	3年		4年		5年		6年		合計	
	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合	人数	割合
ア	18	32.7%	23	52.3%	20	32.3%	12	19.4%	73	32.7%
イウ	2114	38.2%	145	31.8% ¹	317	50.0% ¹	2820	45.2% ³	9446	42.2%
		25.5%		1.4%		1.3%		2.3%		20.6%
エ	2	3.6%	2	4.5%	4	6.5%	2	3.2%	10	4.5%
合計	55		44		62		62		223	

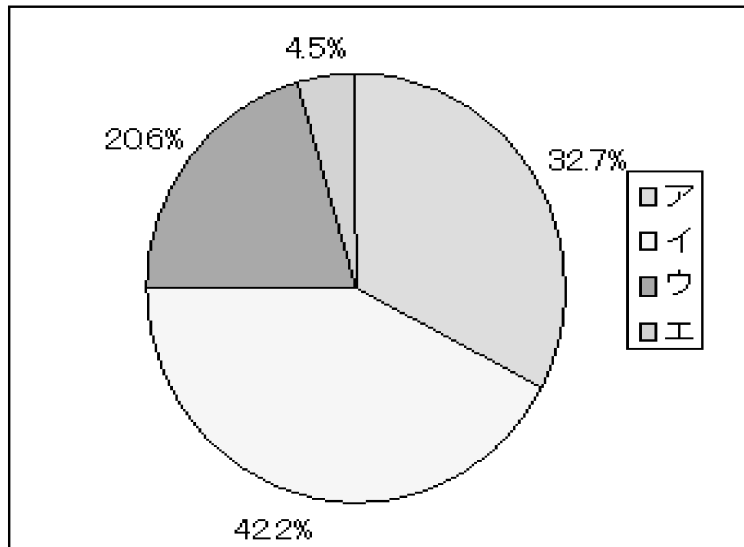


図11 飽和の概念

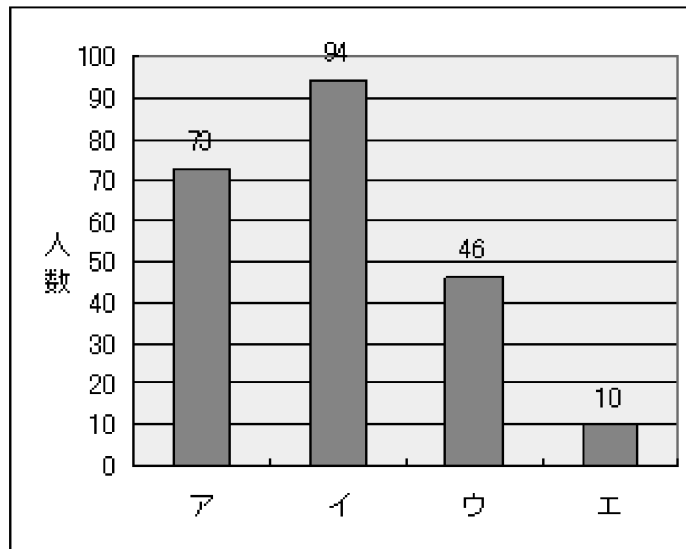


図12 全体の割合

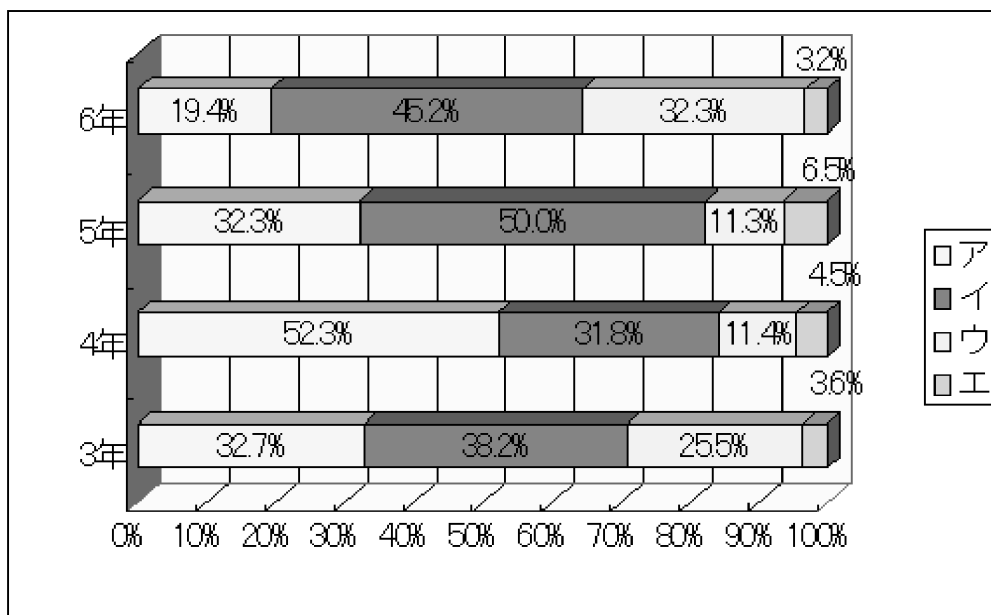


図13 学年ごとの比較

全体的に見ると、最も多かったのは「(イ)少し溶ける」と答えた児童で42.2%であった。続いて「(ア)溶ける」と答えた児童は32.7%、「(ウ)溶けない」と答えた児童は20.6%であった。

・²検定を行った結果を示す。

全体 : $\chi^2 = 20.9$ ($p = 0.0133 < 0.01$)

学年間 : 3 - 4年生 $\chi^2 = 8.99$ ($p = 0.0294 < 0.01$)

4 - 5年生 $\chi^2 = 12.1$ ($p = 0.00691 < 0.01$)

5 - 6年生 $\chi^2 = 11.9$ ($p = 0.00783 < 0.01$)

よって、4 - 5年生、5 - 6年生の間で有意差が認められた。

水溶液が飽和した状態であるとき、その後さらにかき混ぜても、温度や水の量に変化がない限り、いくらかき混ぜても溶けることはない。しかし、この問に対して、全体の74.9%の子どもが「かき混ぜ続けると溶ける」または「少し溶ける」と答えている。特に、6年生では64.6%が飽和している状態でも「かき混ぜれば溶ける」と考えており、それについて回答の理由を見ると、「塩は溶けるものなのだ」というものもみられた。5年生の「もののとけ方」の学習では「溶ける量には限度がある」ということを学習しているはずだが、この結果から、「飽和」の概念は定着しにくいものであることが考えられる。

設問1 - (3) - 「塩をより多く溶かす方法」の結果と考察

「この食塩水にもっともっとたくさんの食塩をとかしたいと思います。何か工夫をするとたくさんの食塩がとけるようになるかもしれません。あなたならどのような方法を考えますか。」という問いに対して自由記述で回答を求めた。

結果をまとめたものを表10、図14 - 18に示す。

結果

まず、回答結果については、主に以下の5つに大きく分類し、そこからさらに細かく分類した。(分類については、林ら(1984)を参考にした¹¹⁾。

熱による方法

- ・お湯を用いてとかす
- ・加熱する(あたためる)
- ・日なたにおく

溶質・溶媒の量を変える方法

- ・水の量を増やす
- ・塩の量を減らす
- ・塩の量を増やす

攪拌する方法

- ・かき混ぜる
- ・かき混ぜる速さを変える
- ・振る

細粉する方法

- ・細かくする
- ・塩を少しずつ入れる
- ・水を少しずつ入れる

その他

- ・他のものを入れる(砂糖・しょうゆ・石鹼・洗剤・薬)
- ・塩を温める ・にがりを入れる ・冷やす(氷を入れる) ・放置する
- ・蒸発させる ・ろ過する

表10 塩をより多く溶かす方法

		3年生	4年生	5年生	6年生	合計	
熱による方法	湯で溶かす	24	13	17	7	61	123 (49.6%)
	加熱する	5	7	22	27	61	
	日なたに置く	1	0	0	0	1	
溶質・溶媒の量を変える方法	水の量を増やす	11	3	6	38	58	61 (24.6%)
	塩の量を減らす	0	0	0	1	1	
	塩の量を増やす	1	1	0	0	2	
攪拌する方法	かき混ぜる	8	7	8	2	25	30 (12.1%)
	混ぜる速さを変える	0	0	3	0	3	
	振る	2	0	0	0	2	
細粉する方法	細かくする	1	3	3	0	7	20 (8.1%)
	塩を少しずつとかす	1	5	6	0	12	
	水を少しずつ入れる	1	0	0	0	1	
その他	他のものを加える	3	0	2	0	5	14 (5.6%)
	塩を熱する	2	0	0	0	2	
	にがりを入れる	0	0	0	1	1	
	氷を入れる(冷やす)	3	0	0	0	3	
	放置する	0	1	0	0	1	
	蒸発させる	0	0	0	1	1	

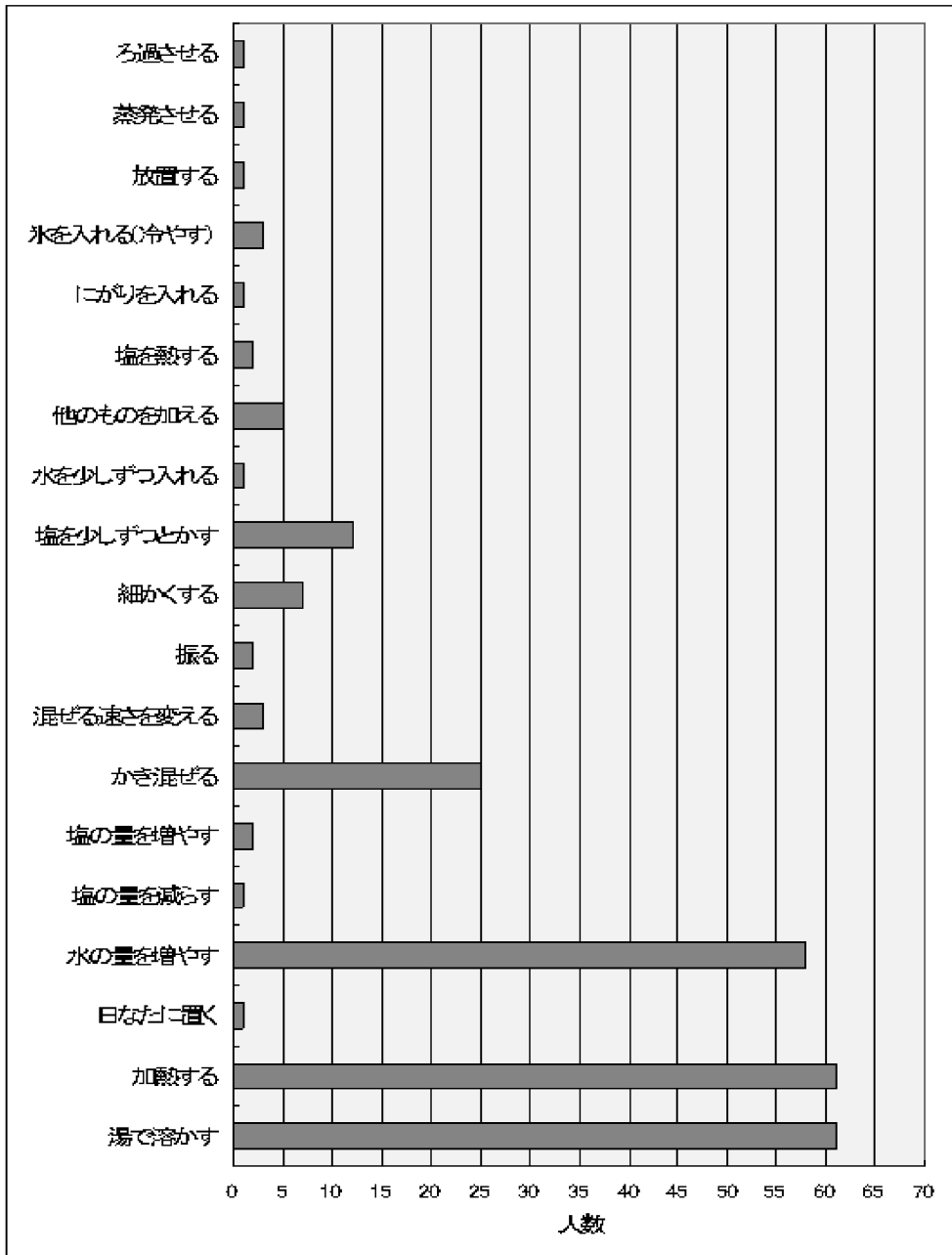


図14 塩をより多く溶かす方法(全回答)

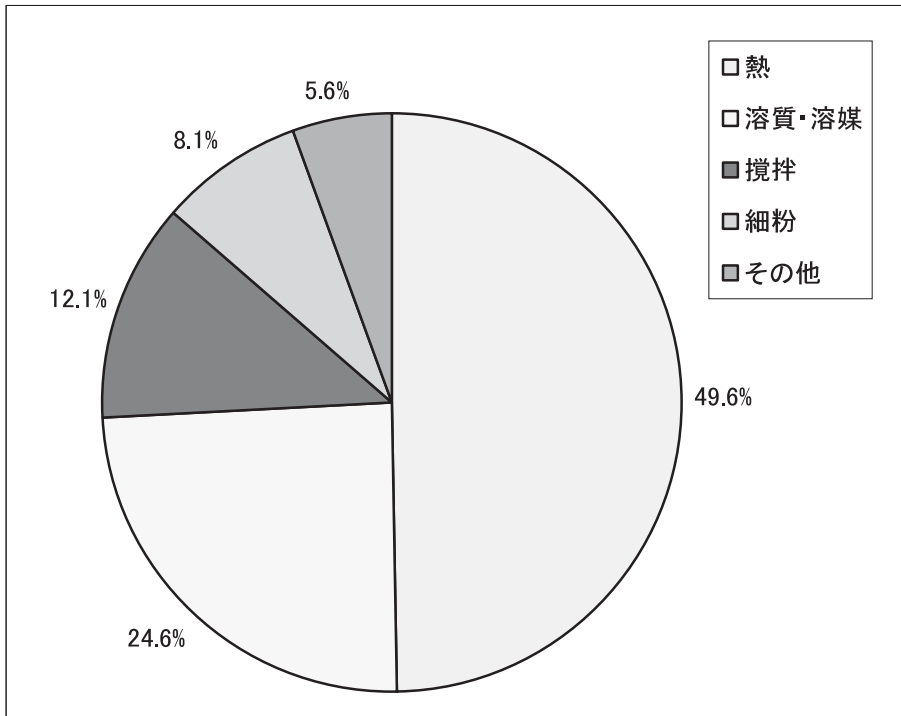


図15 全体の割合

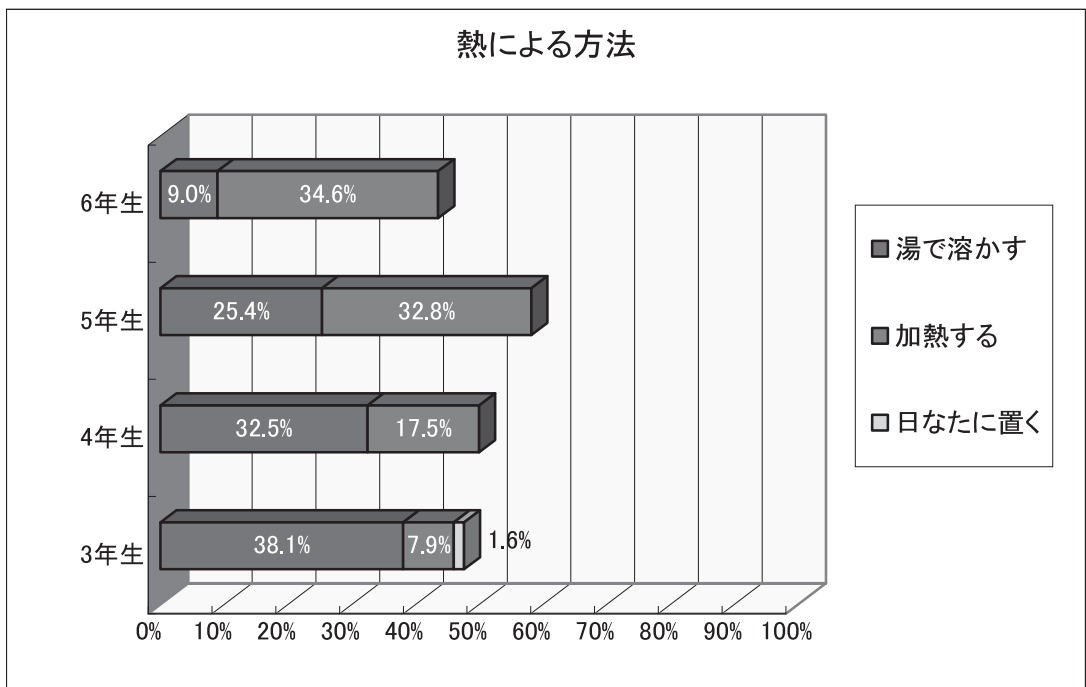


図16 各項目の学年による比較 熱

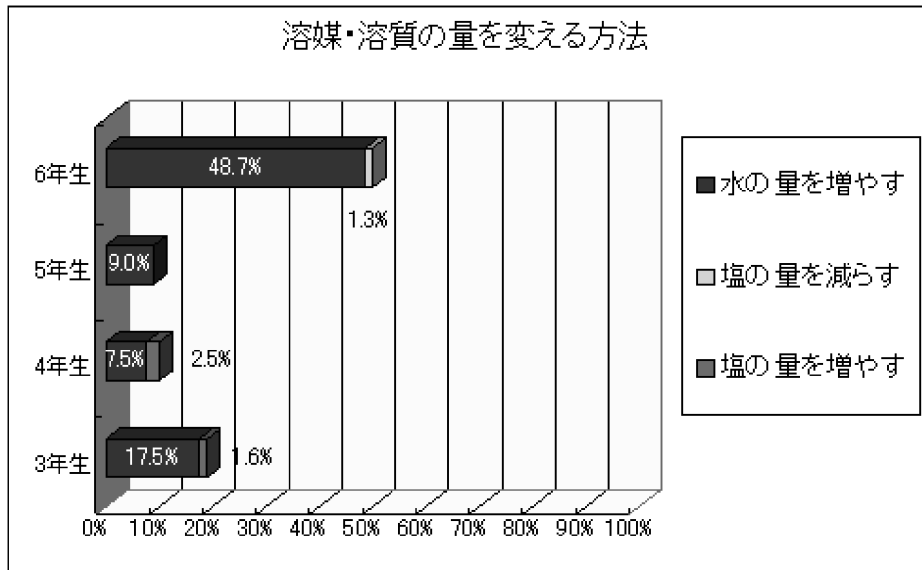


図17 各項目の学年による比較 溶質・溶媒

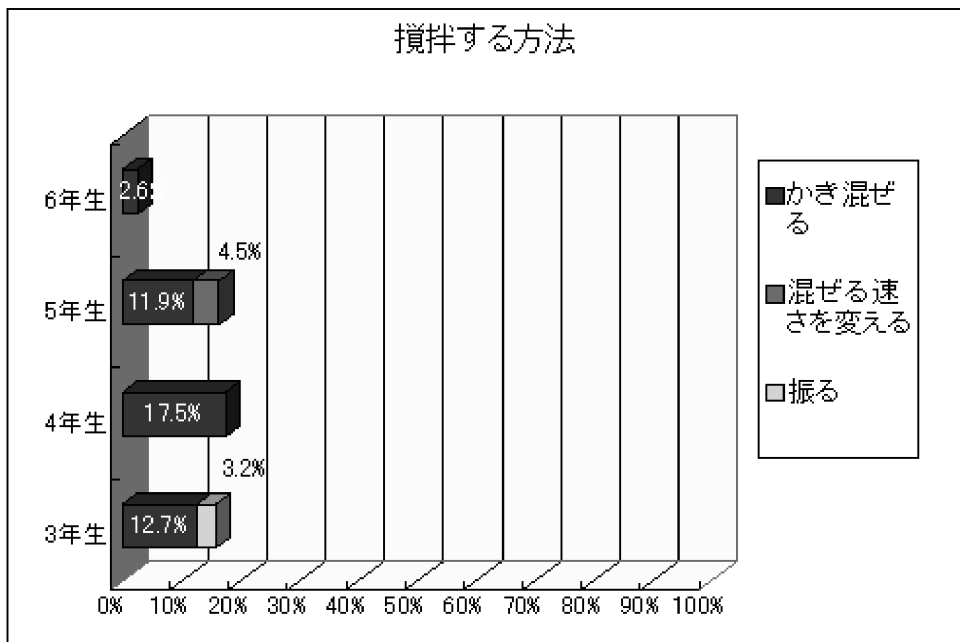


図18 各項目の学年による比較 攪拌

分類した項目の中で、全学年では「熱による方法」がもっとも多く49.6%を占めている。続いて多いのは、「溶質・溶媒の量を捉える方法」で24.6%である。

また、学年ごとに見ると、3、4年生では「お湯で溶かす」という回答が最も多く、5年生では「加熱する」という回答が、6年生では「水の量を増やす」という回答がもっとも多く見られた。

学年ごとに見ると、熱に関する方法の中でも「湯に溶かす」という回答は学年があがるにつれて減少しているが、「加熱する」という回答は学年があがるにつれて増加している。

「水の量を増やす」という回答については、3年生で17.5%、4年生で7.5%、5年生で9%と、減少傾向にあるが、6年生では48.7%に増えている。

「攪拌による方法」の中で、「かき混ぜる」という回答は、3年生で12.7%、4年生で17.5%、5年生で11.9%、6年生で2.8%となっており、4年生で少し割合が増えるものの、全体的に学年が上がるにつれて減少している。

飽和水溶液にさらに食塩を溶かす場合の方法として、3年生では様々な方法が上げられているが、学年が上がるごとにその方法は絞られ、6年生になると、主として、「加熱する」という方法と「水の量を増やす」という方法にほぼ絞られてくる。

全体としては、「熱」によるものが最も多く、溶解度を学習していない3年生や4年生でも、「熱」による方法を挙げていた。このことから、「溶解度」と「熱」に関する概念は学習前に形成されているといえる。そしてそれらは、日常生活の中で形成されていると考えられる。

また、「湯で溶かす」という考えと、「加熱する」という考えに学年ごとに違いがあるのは、科学的な操作を行えるかどうかの違いであると考えられる。つまり、5、6年生において、特に6年生では、学習により様々な実験や操作について学んでいるため、食塩を溶かす際、直接火にかけて加熱するという方法を考えつく子どもが多くなっているのである。それに対し、3、4年生では加熱するという概念がまだ形成されておらず、生活の中からの直接的な経験を用いて、お湯を使ってとかそうとする方法を多く用いるのだと考える。このような結果は、先行研究における「角砂糖を早く溶かす」という場面において調査された子どもの回答結果にも表われていた。

設問2「食塩が溶けたときの水の中の様子」の結果と考察

「もし目に見えたとしたら、食塩のとけた水の中の様子はどのようになっているのだろう？」という問いに対して、描画法と文章による説明で回答を求めたところ、それらの回答の中に、溶けるといふ現象を溶質と溶媒について捉えたものがあった。それは、具体例(メタファー)を用いて水に食塩が溶けた様子を分かりやすいように説明をしているものである。

その内容は「水の中にいすがあるとしたら、塩がそのいすに座って、いすがなくなって座れない食塩は下に積もる。」「水の中に食塩が座るいすがあると考える。そのいすは水の量によって数が違う。」「満席になったら、もう溶けなくなる。」といったものであった。

子どもたちは、水をいすに例えて溶けるといふ現象を捉えている。水に溶けた食塩は、さながら「いすとリゲーム」のようにそれぞれが水の中の一つ一つのいすに座っていくのである。そして、いすに座ることができなかった食塩は溶け残りとしてあふれ、下に沈んでいくというのだ。

また、この「いすと食塩」の考え方を書いていた子ども5名のうち4名は、(3)における飽和水溶液に関する問いに対しても同じ考え方で正答の(ウ)を選んで回答していた。このように、溶質と溶媒に関して着目し、「溶ける」といふ現象を捉えていた児童は、飽和水溶液に関する理解度は高いと思われる。それはこの「いすと食塩」の考えを用いて、とけ残った食塩について、なぜこれに

上溶けないのかという理由を自分の理論で説明できるからである。

この「いすと食塩」の考え方で答えていたのは5人とともに6年生である。なぜこのように子どもたちがいすの考え方をういて回答していたのかというと、5年生のときに理科の学習で習ったからだという。このようなメタファーを用いた学習は、目に見えない現象を理解しやすいだけでなく、自分なりの理論をもって説明する力も養うことが出来ると考える。

2. もし目に見えるとしたら、食塩のとけた水の中の様子はどうになっているのだろうか？
 下の図に食塩のとけた水の中の様子を絵や記号、文字などを使って自由に表してください。
 また、() にあなたの考えを説明してください。

【あなたの考え】

水の中にいすがあるとしたら食塩がそのいすにすわるからみえないいすがまんたんにたつたせいでおはもうけ+ない。

【食塩のとけた水の中の様子】

図19 描画法による子どもの回答

2. もし目に見えるとしたら、食塩のとけた水の中の様子はどうになっているのだろうか？
 下の図に食塩のとけた水の中の様子を絵や記号、文字などを使って自由に表してください。
 また、() にあなたの考えを説明してください。

【あなたの考え】

水の中にいすがあると考えると食塩がそのいすにすわって、いすがいなくなって、すわれないう食塩は下につもる。

【食塩のとけた水の中の様子】

☆☆☆ご協力ありがとうございました☆☆☆

図20 描画法による子どもの回答

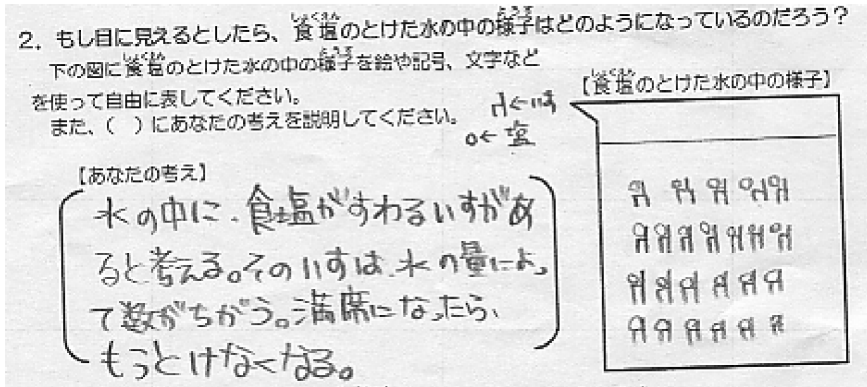


図21 描画法による子どもの回答

5 結論

本研究では、理科学習における子どもの水溶液概念獲得を目指し、小学校の溶解に関する学習について検討を重ねてきた。その結果、学習指導要領の変遷に伴う現在の学習の問題点が挙げられ、実際の調査などから、子どもの様々な水溶液に関する概念が明らかになった。

5-1 問題点と課題

ア 学習内容の変化にともなう問題点と課題

学習指導要領の変遷にともない、溶解学習に関しても「溶解」に関する学習を扱う時間が極端に減ったため、学習の中でじっくりものを溶かす機会が確実に減ってしまうという大きな変化があった。水などに何かを溶かす行為そのものは、子どもたちにとって面白く興味深い活動と言えるだろう。高学年へと学習を進めていく中で、それまでに学んできたことや活動・経験によって形成された考えやイメージが重要であることは間違いない。しかし、学習構造の変化の中で「いろいろなものを溶かしてみる」という低学年での学習がなくなったことによって、現在では高学年で要点を絞った学習が構成されることとなった。そして、内容も以前ほど細かく設定されず簡素化され、学習は与えられた実験や観察によって進められているのが現実である。

子どもの科学的概念の習得に素朴概念が影響しているとすれば、学習内容の変化は、子どもたちが学習の中で溶解現象についての概念を段階的に築いていくことを困難にし、また、物が溶ける、物を溶かすということへの子どもの関心や探究心を芽生えさせるきっかけを奪うなど、少なからず子どもたちの学習に影響していると考えられる。

今後の学習を考えたとき、まず、今以上にいろいろなものを溶かす経験とそのための学習時間をもっと時間が確保されるべきなのではないだろうか。そして、そのような学習の中で、「どのような状態が水に溶けたといえるのか」を明確にすることが必要であると考えられる。様々な溶かす活動や実践を通して、溶解現象への興味を深め、検証された結果から自分たちの「溶ける」の基準を見つけ出し、広い意味で「溶ける」ことについて考えさせることから出来るはずである。

イ 小学校の「溶解学習」における粒子概念の必要性

中学校までの化学では唐突に原子や分子を出すのではなく、それより先に巨視的な事実を十分に把握されることが重要なことであるとされる。なぜ分子、原子を考えなければならないのか、その必然性が納得できるような思考の進め方が要求されている。

しかし、小学生の子どもに目に見えない現象を捉えさせるのは難しい。目の前で起こることや実験結果について、事実・事象を大まかに捉えさせるだけの学習では、結局子どもたちにとっては理解することが難しくなってしまうのではだろうか。

物質概念においては、高等学校で物質の化学変化や構造の概念、モル概念の獲得を目指し、そのために中学校・小学校の段階で獲得すべき概念が各カリキュラムとして挙げられるのが理想であると考えられる。溶解の学習に関する子どもの概念を調査した先行研究や実際の調査からは、溶解に関する子どもの様々な素朴概念があきらかにされており、粒子について学んでいない小学生の子どもでも、溶質を粒のようなものとしてとらえ、水溶液の均一性に対する説明を試みる子どもも存在していることが分かった。

最終的な概念獲得を目指し、溶解現象を扱う上でより深い理解を促すためには、小学校の段階でももっと積極的に粒子概念を取り上げ、学習内容の中で取り扱っていくべきであると考えられる。たくさんの実験を繰り返すだけでなく、溶解現象を溶質と溶媒の観点から捉えさせることは、結果として正しい概念を形成し、理解することにつながるのではないだろうか。粒子的なものの見方は小学校の段階で培われる可能性が十分あると考えられる。

ウ 子どもの水溶液に関する概念

本研究において、水溶液の「濃度」と「飽和」という観点から、子どもの溶解に関する考え方を探るため調査を行った。その調査から明らかになった結果を以下にまとめる。

- ・水溶液について学習する前でも「溶質」に関する概念が形成されており、それらは主に、「味覚」によって形成されたものである。
- ・食塩水の濃度に関して、全体として「食塩を溶かしたときには下の方が濃くなる」と考える子どもが多い。
- ・溶液中での溶質の所在が濃度の考え方に関係している。
- ・「重さ」の捉え方が「濃度」の概念形成に影響を及ぼしている。
- ・「攪拌」の操作が「均一性」の概念を形成に関与している。
- ・「水に溶けた食塩はろ過によってこし取られる」という素朴概念がある。
- ・溶液中に溶け残りが存在する場合、下部の濃度が高くなると考える子どもの割合が増える。
- ・溶液中の濃度の均一性は学習によって形成されるものである。
- ・「飽和」の概念は形成されにくく、学習後でも6割以上の子どもが溶液中に溶け残りがあってもかき混ぜれば溶けると考えている。
- ・「溶解度」に関して、「溶解」と「熱」のつながりは、学習前に形成されている。

子どもは溶解を考えると、強く「重さ」意識していた。「とける＝なくなる」と考える児童に対しては、学習の中で重さを量る実験などにより食塩の保存を捉えさせることは有効である。しかし、「重さ」から溶解を考えていくだけでは、食塩がピーカー下部に沈むという考えや、ピーカー下部になるほど濃くなるという考えをさらに強くしてしまう危険性もある。実験を行うことでその考えが変わるどころか、より根強く子供たちの中に残ってしまうことも頭に入れておかなければなら

らない。さらに、水溶液について学習する前でも、「濃度」に関する考え方が形成されていたおり、「溶け残り」の存在が溶解に関する理解を複雑にしていると考えられる。均一性については正しい概念が形成されているとはいえないが、「濃度」そのものの捉え方として、水の中での食塩の所在が食塩水の濃度の考え方に関係していることがいえる。そして、その考え方は、日常生活経験から得た考えと思われるものが多く、特に味覚に関するものからきていた。

5-2 第5学年「もののとけかた」の学習への示唆

ア 学習への示唆

以上の結論を元に、小学校の溶解に「もののとけかた」に必要なことは何かを考え、具体的な学習について考える。

「ものを溶かす活動」を多く取り入れる

溶解という現象はとても複雑である。水にものを溶かすとき、何が溶けていて、何が混ざっている状態なのか、大人でも明確に判別することは難しいだろう。

この学習の中でまず大切なのは、水にものが溶けるという現象自体に興味を抱かせることである。そして、様々な水に溶けるものを目にする中で、「なぜ溶けるのか」「とけ方に違いはあるのか」「溶けたものはどこへ行くのか」など、素直な疑問を子どもの中に抱かせるのである。

子どもが興味を持って溶かす活動を行う場面を考えるとき、「日常生活や自分の身の回りにあるものを、まず手当たりしだい溶かす」という活動を行うのも良いだろう。教師が指定したいいくつかのものだけでなく、子どもたちが自分で溶かして見たいものを探し、それらを実際に溶かし、溶けるか溶けないか、それぞれに何か変化があるかなど、一人一人が追求していくことで、探究心を芽生えさせるはずである。

粒子概念から「濃度」と「飽和」を捉えさせる学習

小学校の溶解に関する学習で、もっとも有効なのは「粒子概念」を取り入れた学習である。そして、学習する前から「濃度」について食塩の存在を意識しているということは、溶かすもの(溶質)について捉えることは可能であるといえる。つまり、「溶解」の学習を行うとき、「濃度」に関して「食塩の所在」を考えることから学習を始めるとすれば、必然的に溶かした物質の「保存」の概念が獲得され、さらにそこから溶質の「均一性」の概念へと発展させることが出来るはずである。

よって、粒子概念を導入する学習を考えるとき、「濃度」に関する取り扱いが必要であると考えられる。そして、「なぜ溶け残りが出てくるのか」という「飽和」について考えることが、子どもの「溶解」に関する理解を深めることにつながる。

しかし、粒子概念を用いた授業を行うといっても、小学校の学習で求められるのは細かい科学理論の習得ではない。大切なのは、分子・原子といった直接的な表現を用いるのではなく、「～だとしたら」というメタファー¹⁴⁾などを用いて自分なりの理論を見つけ出すことである。

今回の調査から「イーストと食塩」という理論を自分なりに習得している子どもがいたこと明らかになった。この理論は、一部の児童にしか見られないものだが、メタファーを用いて考えるうえで、正しい科学的概念に非常に近いものであるといえる。

「溶け残り」の存在が「溶解」概念を左右すると先ほど述べたが、水に溶けた食塩について「イーストと食塩」の理論をもちいて考えることが出来る子どもは水溶液の濃度と均一性を正しく捉え、溶け残りに関してもしっかりと説明することが出来ていた。

全てにおいて正しい考え方でなくとも、子どもたちなりに説明できる理論を引き出すことで、溶

解に対する理解を深めたい。まず重要なのは正しい答えを出せるかではなく、どのように考え、どのように導き出したのかというその課程だと考える。

以上のことをふまえて、第5学年の「もののとけ方」の学習への示唆として、「メタファー」をもちいた学習を提案する。溶解現象をミクロの視点から捉えることで、理解を深めさせたい。

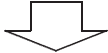
イ 「イスと食塩」の理論を用いた授業設計

水にたくさん溶かすと溶け残りが出てくることを子どもたちに確認させる際、「なぜ溶けの残りが出てきたのか」について考えさせるものである。これによって、「溶解度」や「飽和」について考えさせることができると考える。

具体的な内容としては、私は、「イスと食塩」のような理論を用いて、クラス全体で遊びを通して溶解学習を行うことを考えた。それは、飽和を考えるものとして、小学校ではよく行われる「イス取りゲーム」を取り入れた学習である。その内容の概要については、学習案として次に示す。これらの学習を通して、「飽和」や「溶解度」について、ミクロな視点で溶解について捉えることができ、さらに楽しみながら学ぶことができると考える。その内容については以下に示す。

学習事例 イス取りゲームを応用させた授業 飽和を考えさせる

イスが水(溶媒)で子ども自身を食塩(溶質)と見立てる。そして、イスや人の数、動きなどに着目しながら、クラス全員でイス取りゲームをすることで、「溶ける」仕組みについて学習するのである。一定の量の水に対して、塩が溶ける量には限度があるということを学ぶ。

学習過程	指導上の留意事項
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> 水にたくさん食塩をとかすと溶け残りが出てくるのはなぜだろう </div>	
<p>1 <u>イス取りゲームをする</u></p> <div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> ・イスは何脚あるか？ ・座れなかったのは何人か？ <p>○イスの数が多いと、座れる人の数も多い ○イスが減ると、座れない人が増える</p> <p>2 <u>溶けるということについて考える</u></p> <p>みんなを食塩、イスを水（水の量）と考えてみよう。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・まずはこの活動になれる意味で、普通にイス取りゲームを行う。その際、イスの数をランダムに変えながら、イスの数と座れなかった人数をそのつど確認して、板書しておく。 <p>・板書にかいたことをもとに「溶ける」現象について考える。</p>

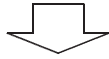
2 溶けるということについて考える

みんなを食塩、イスを水（水の量）と考えてみよう。

◎たとえの考え：

「水の中には『イス』があると考えて『食塩』がそのイスに座ると考える」

実は、ものを溶かした水の中でも同じ事が起きている。



・ 溶け残りが出てくるのは、食塩がイスに座れなくなったからだよ！

・ 板書にかいたことをもとに「溶ける」現象について考える。

○溶けることには決まりがある

○イスの数と人の数

(以下略)

6 おわりに

本研究では子どものもつ「ものの溶け方」に関する素朴概念を調査し、その実態を明らかにした。その結果、こどもは多様な水溶液の概念を有し、それを学習に適用しようと努力していることが分かる。子ども固有の考えは十分納得のできるものでこれらを授業設計に利用することにより、より適切な指導計画、指導案等が作成することが可能となる。今後はさらに粒子概念を定着させる教材や中学校の分子やイオン概念に通ずる概念形成をはかる授業設計の方法について、実践を積み重ねながら、この学習の検討をしていきたいと考える。

引用文献

- 1 武村重和・秋山幹雄編；「理科重要用語300の基礎知識」, p.161, 明治図書, 2000,
- 2 堀哲夫；「子どもの素朴概念」, 『キーワードから探るこれからの理科教育』, pp.206 - 211, 東洋館出版社, 1998
- 3 神林久美子；「子どもの素朴概念を生かす理科授業に関する研究 - 粒子概念の変容を中心として」, pp.24 - 58, 鳥取大学教育地域科学部卒業論文, 2004
- 4 那須悦代, 喜多雅一；「1950年から2002年までの小学校理科における水溶液の性質の単元に関する教科書の記述の変遷」, 化学と教育, pp.159-162, 53巻3号, 日本化学会, 2005
- 5 文部省 「小学校指導書 理科編」, 昭和43年, 大蔵省印刷局, 1968
- 6 文部省 「小学校指導書 理科編」, 昭和53年, 大日本図書, 1978

- 7 文部省 「小学校学習指導要領解説 理科編」, 東洋館出版社, 1999
- 8 竹内敬人他「理科5年下 指導書 第二部解説」, 新興出版社啓林館, 2002
- 9 森本信也「論理を構築する子どもと理科授業 - 学ぶ力と心を育てる授業の発信 - 」, 東洋館出版社, 2002
- 10 中島稔, 戸北凱惟; 「葛藤教材の同時提示による溶解時の質量保存に関する学習者の理解」日本理科教育学会研究紀要, Vol.39, No.1, pp.31-38, 1998
- 11 林良重; 「幼稚園児より大学生までの溶解についての概念の発達に関する調査」, 日本理科教育学会研究紀要, Vol.24, No.3, pp.1-12, 1984
- 12 遠西昭寿, 横山治郎; 「水溶液における重さの保存に対するこどもの考え」, 日本理科教育学会研究紀要, Vol.34, No.2, pp.45-51, 1993
- 13 *ibid.*, p.45
- 14 中山迅; 「子どもの科学概念の比喩的な構造」, 科学教育研究, Vol.22, No.1, pp.12-21, 1998

(2006年10月2日受付, 2006年10月11日受理)