

# 子どもの主体的・協働的な課題解決による理科授業の開発

—小学校における化学変化の見方や考え方に焦点をあてて—

柘植 一輝 三田 幸司 風呂 和志 柴 一実  
山崎 敬人

## 1. はじめに

平成26年11月に「新しい時代にふさわしい学習指導要領等の在り方」について、文部科学大臣が諮問した内容には、新しい時代に必要となる資質・能力を「課題発見と解決」、「子どもの主体的・協働的な学習」、「実社会や実生活での活用」といった視点が提示されている<sup>1)</sup>。理科はまさにこれらの要請に応える教科であり、子ども自身の課題発見からスタートし、子どもの主体的・協働的な課題解決を通して、科学的な見方・考え方の形成を図ることが目指されている。

その中で、化学変化や状態変化は、小学校から高等学校までを通して形成される重要な概念である。状態変化については、小学校第4学年の単元「金属、水、空気と温度」の中で水の三態変化を学習する。化学変化については、第6学年の単元「水溶液の性質」の中で学習するが、「水溶液には、金属を変化させるものがあること」という内容をとらえさせることにとどまっている。そのため、金属の化学的な変化が水溶液と金属の両方が関係することによって生じているというイメージをもつことは難しい。また、金属そのものが単独で水溶液によって新しい物質に変化するという誤概念をもつことも考えられる。

昭和43年度小学校学習指導要領<sup>2)</sup>では、化学変化についての学習は、物が燃えるとその物質が変わること、酸性とアルカリ性の水溶液を混ぜ合わせると中和して別の物質ができること、金属がさびると物質が変わることを扱っていた。これらの学習は現行の平成20年度小学校学習指導要領<sup>3)</sup>ではいずれも扱われていない。

小・中学校を通して学習内容を見たとき、化学変化を学習するのは中学校第2学年になってからである。つまり、小学校児童についてみれば化学変化の概念が十分に学習されていないという課題がある。身のまわりに化学変化を利用したものと現象が多く見られる現在、物質そのものが変化するという見方や考え方を学習する必要があるのではないだろうか。

この課題を解決すべく、小学校における新たな化学変化を指導する方法や教材開発、授業開発を行うことは、重要な意義があると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、五感を通して小学生にも分かりやすい化学変化の指導のための教材を開発し、その効果を検証するとともに、子どもの主体的・協働的な課題解決による授業開発のための示唆を得ることを目的とした。

## 3. 研究の方法

物質そのものが変化する化学変化には、主に化合と分解がある。そこで、まずどちらの化学変化が小学生にとって理解しやすいかを検討した。そして、カルボン酸とアルコールによるエステル化の反応を取り上げ、子どもたちが実験で反応させる試薬の種類と組み合わせを予備実験により検討した。その上で、開発した実験内容を小学校第4学年の理科授業で実践するとともに、その実験の操作の子どもにとってのわかりやすさと、化学変化に関する学習としての効果について質問紙により検討した。

## (1) 化学変化の検討

小学生が試薬を用いた実験を行い化学変化に関する理解を深めることに焦点をあてた先行研究は管見の限り見当たらなかった。一方、中学生を対象とした先行研究では、石井ら(2011)が「化学変化の学習において、分解よりも化合の方が分かりやすいと思っている生徒が多いこと、その理由の1つに物質と物質とが組み合わさって新しい物質ができるという考え方が理解しやすいということ」<sup>4)</sup>を報告していた。昭和43年度小学校学習指導要領で扱われていた化学変化も、物質と物質とが組み合わさって新しい物質ができるという内容であったことから、これらを参考に2つの試薬を用いて新たな物質が生まれる化合の化学変化を取り上げることにした。

## (2) カルボン酸とアルコールの種類と組み合わせの検討

小学生に物質の変化が分かりやすい教材として、カルボン酸とアルコールの試薬を混合させ、濃硫酸の触媒下でエステル化させる反応(図1)を取り上げることにした。低分子量のエステルは、果物の芳香をもつことが知られ、においの変化から物質の変化をとらえられると考えた。

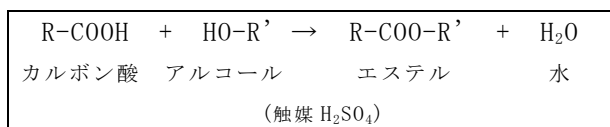


図1 カルボン酸とアルコールのエステル化

カルボン酸は、酢酸、酪酸の2つを選んだ。酢酸は調味料のお酢、酪酸はチーズや銀杏に含まれており、子どもたちが生活経験と結びつけてにおいを記録できると考えたからである。アルコールは、メチルアルコール、エチルアルコール、プロピルアルコール、*n*-ブチルアルコール(以下、ブチルアルコール)、イソブチルアルコール、*n*-アミルアルコール(以下、アミル

アルコール)、イソアミルアルコール、*n*-ヘキシルアルコール(以下、ヘキシルアルコール)、*n*-オクチルアルコール(以下、オクチルアルコール)の9種類を用意し、表1に示したカルボン酸とアルコールの組み合わせで予備実験を行った。

まず、カルボン酸である酢酸と酪酸それぞれに同じ種類のアルコールを反応させたとき、どちらのカルボン酸を用いても果物の芳香をもつエステル化合物が得られるアルコールを調べた。その結果、メチルアルコール、エチルアルコール、プロピルアルコール、ブチルアルコールはいずれも反応後のエステル化合物で果物の芳香を確認することができた。メチルアルコールは、濃硫酸の触媒下で酢酸と常温で激しく反応が進むことと、反応後のエステル化合物(酢酸メチル)が水に溶けやすく分離が難しいことから小学生が行う実験には適さないと判断した。酢酸と酪酸それぞれに反応させるアルコールとして、4種類のアルコールの中で最も分子量が大きいブチルアルコールを用いることにした。酢酸とブチルアルコールのエステル化合物(酢酸ブチル)はバナナ様、酪酸とブチルアルコールのエステル化合物(酪酸ブチル)はパイナップル様の芳香をもつことが知られている。ブチルアルコールに反応させるカルボン酸の種類によって、においが異なることに気づき、カルボン酸が加熱後に得られる物質の変化に関係していることをとらえやすいと考えた。

次に、酢酸と反応させる別のアルコールを検討した。反応前のおいと、エステル化合物のおいの変化が分かりやすいように、悪臭防止法において特定悪臭物質に指定されているイソブチルアルコールを用いることにした。酢酸とイソブチルアルコールのエステル化合物(酢酸イソブチル)はメロンの芳香をもつことが知られている。これは酢酸ブチル(バナナの芳香)とは明らかに異なる芳香である。酢酸と反応させるアルコールの種類によって、においが異なることに気づき、アルコールが加熱後に得られ

表1 カルボン酸とアルコールの組み合わせ

	メチル アルコール	エチル アルコール	プロピル アルコール	ブチル アルコール	イソブチル アルコール	アミル アルコール	イソアミル アルコール	ヘキシル アルコール	オクチル アルコール
酢酸	酢酸 メチル	酢酸 エチル	酢酸 プロピル	酢酸 ブチル	酢酸 イソブチル	酢酸 n-アミル	酢酸 イソアミル	酢酸 n-ヘキシル	酢酸 n-オクチル
酪酸	酪酸 メチル	酪酸 エチル	酪酸 プロピル	酪酸 ブチル	酪酸 イソブチル	酪酸 n-アミル	酪酸 イソアミル	酪酸 n-ヘキシル	酪酸 n-オクチル

る物質の変化に関係していることをとらえやすいと考えた。

### (3) 実験操作の検討

カルボン酸とアルコールのエステル化は、高等学校の化学で学習される内容である。高等学校では、エステル化の反応を実際に確かめる目的で実験が行われることが多く、反応に用いる濃硫酸は触媒としてはたらくことは、触媒の役割とともに学習している。しかし、小学生において濃硫酸の触媒としてはたらくことを理解させることは難しいと考えた。また、触媒のはたらくを説明することは、物質が変化することを暗に伝えることになってしまう。そこで、今回は濃硫酸を加える理由を、実験時間の短縮をはかるためと説明し、事前に教師がアルコールに濃硫酸を加えておくことにした。これにより、子どもが試薬をはかりとり、混合させる操作はカルボン酸とアルコール（濃硫酸入り）の2種類のみとした。なお、実験前に子どもたちには各試薬の危険性を指導し、アルコールに濃硫酸を混ぜていることを伝えることにした。

次に、反応後のエステル化合物の分離方法について検討した。分離には、水やエーテル類を用いる方法があるが、今回の反応によって生じるエステル化合物はいずれも水よりも比重が軽く、水にほとんど不溶であることから水のみを用いた分離方法とした。

これらのことから、実験操作を図2のようにした。

- (1) 試験管にカルボン酸2mLとアルコール（濃硫酸入り）3mLをはかりとる。
- (2) (1)の試験管をふり、薬品をよく混ぜる。
- (3) 加熱前のおいをかぎ、記録する。
- (4) ビーカーに水を入れて、ガスコンロで80℃になるまで加熱し、(3)の試験管をお湯に入れて6分間待つ。
- (5) 6分間経ったら、試験管をビーカーから取り出し、試験管立てに置く。
- (6) 試験管にプラスチックピペットで水を20mL入れる。(1回につき5mLはかれる。)
- (7) 試験管にゴム栓をして、上下に50回はげしく振る。
- (8) (7)の試験管を試験管立てに置き、2分間待つ。
- (9) プラスチックスポイトで上の部分だけを取り出し、サンプルビンの綿に3滴分しみこませる。
- (10) 加熱後のおいをかぎ、記録する。

図2 実験操作

### (4) 授業計画

反応に用いるカルボン酸やアルコール、実験操作を検討した結果、次の授業計画とした。

第1次 試薬・実験器具の扱い方と実験操作  
(2時間)

- ①各試薬の危険性と安全な扱い方、実験器具の扱い方
- ②香料づくりの実験操作説明

第2次 酢酸とブチルアルコールの反応  
(2時間)

- ①加熱前の混合まで
- ②加熱後の分離まで

第3次 酪酸とブチルアルコールの反応  
(1時間)

第4次 酢酸とイソブチルアルコールの反応  
(1時間)

まず第1次では、小学第4学年では学習していない、各試薬の危険性と安全な扱い方、液体試薬をはかりとる技能を習得するため駒込ピペットやスポイトの使い方を指導する。そして、香料づくりの実験操作を説明する。

第2次では、カルボン酸とアルコールの代表として、酢酸とブチルアルコールを用いて実験を行う。このとき、酢酸とブチルアルコールそれぞれの試薬のにおいを嗅がせ、さらに2つの液体を室温で混合させたときのおいを嗅がせることによって、どちらのおいも感じられることから混合するだけでは物質は変化しないことをとらえさせる。そして、混合液を室温で一週間放置し再びにおいを嗅がせることによって、においの変化がないことから時間が経っても物質は変化していないことをとらえさせる。次に、新たに調製した混合液を80℃の温浴で加熱し、分離した液体と加熱前の混合液のおいを比べて嗅がせることで、においの変化からはじめの物質とは異なるものができていることをとらえさせる。

第3次では、カルボン酸とアルコールのうち、カルボン酸を酢酸から酪酸に変えてブチルアルコールと混合させて実験を行ったとき、酢酸を用いたときとおいが異なることから、物質の変化にはカルボン酸が関わっていることをとらえさせる。

第4次では、カルボン酸とアルコールのうち、アルコールの種類を変えて酢酸と混合させる実験を行い、物質の変化にはアルコールが関わっていることを確かめさせる。

なお、それぞれの実験でカルボン酸とアルコールそれぞれの試薬のにおい、混合液を加熱する前のおい、加熱後に水で処理して分離した物質のにおいを嗅ぎ、言葉で記録させる。また、それらのおいから加熱前と加熱後の物質が同じものか、異なるものかを二者選択によって記録する。そしてすべての学習後に、質問紙による調査を行う。

#### (5) 調査項目

質問紙での調査は、図3の内容で行った。

<p>1. カルボン酸とアルコールを混ぜた液体をお湯で温めたとき、試験管の中でどのようなことが起きていると思いますか。(自由記述)</p> <p>2. カルボン酸やアルコールの種類とにおいにはどのような関係がありますか。(選択)</p> <p>ア. カルボン酸の種類によって、においは決まる。 イ. アルコールの種類によって、においは決まる。 ウ. カルボン酸とアルコール両方の種類によって、においは決まる。 エ. その他 ( )</p> <p>3. 実験操作の中で、難しいと感じた操作番号とその理由を答えましょう。(3つまで)</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td> <p>(1) 試験管にカルボン酸2mLとアルコール(濃硫酸入り) 3mLをはかりとる。</p> <p>(2) (1)の試験管をふり、薬品をよく混ぜる。</p> <p>(3) 加熱前のおいをかぎ、記録する。</p> <p>(4) ビーカーに水を入れて、ガスコンロで80℃になるまで加熱し、(3)の試験管をお湯に入れて6分間待つ。</p> <p>(5) 6分間経ったら、試験管をビーカーから取り出し、試験管立てに置く。</p> <p>(6) 試験管にプラスチックピペットで水を20mL入れる。(1回につき5mLはかれる。)</p> <p>(7) 試験管にゴム栓をして、上下に50回はげしく振る。</p> <p>(8) (7)の試験管を試験管立てに置き、2分間待つ。</p> <p>(9) プラスチックスポイトで上の部分だけを取り出し、サンプルビンの綿に3滴分しみこませる。</p> <p>(10) 加熱後のおいをかぎ、記録する。</p> </td> </tr> </table> <p>4. もっと試してみたいことや疑問に思ったことはありますか。(自由記述)</p>	<p>(1) 試験管にカルボン酸2mLとアルコール(濃硫酸入り) 3mLをはかりとる。</p> <p>(2) (1)の試験管をふり、薬品をよく混ぜる。</p> <p>(3) 加熱前のおいをかぎ、記録する。</p> <p>(4) ビーカーに水を入れて、ガスコンロで80℃になるまで加熱し、(3)の試験管をお湯に入れて6分間待つ。</p> <p>(5) 6分間経ったら、試験管をビーカーから取り出し、試験管立てに置く。</p> <p>(6) 試験管にプラスチックピペットで水を20mL入れる。(1回につき5mLはかれる。)</p> <p>(7) 試験管にゴム栓をして、上下に50回はげしく振る。</p> <p>(8) (7)の試験管を試験管立てに置き、2分間待つ。</p> <p>(9) プラスチックスポイトで上の部分だけを取り出し、サンプルビンの綿に3滴分しみこませる。</p> <p>(10) 加熱後のおいをかぎ、記録する。</p>
<p>(1) 試験管にカルボン酸2mLとアルコール(濃硫酸入り) 3mLをはかりとる。</p> <p>(2) (1)の試験管をふり、薬品をよく混ぜる。</p> <p>(3) 加熱前のおいをかぎ、記録する。</p> <p>(4) ビーカーに水を入れて、ガスコンロで80℃になるまで加熱し、(3)の試験管をお湯に入れて6分間待つ。</p> <p>(5) 6分間経ったら、試験管をビーカーから取り出し、試験管立てに置く。</p> <p>(6) 試験管にプラスチックピペットで水を20mL入れる。(1回につき5mLはかれる。)</p> <p>(7) 試験管にゴム栓をして、上下に50回はげしく振る。</p> <p>(8) (7)の試験管を試験管立てに置き、2分間待つ。</p> <p>(9) プラスチックスポイトで上の部分だけを取り出し、サンプルビンの綿に3滴分しみこませる。</p> <p>(10) 加熱後のおいをかぎ、記録する。</p>	

図3 調査内容

設問1では、混合液を加熱した場合のみにおいに変化がみられることから、加熱時の物質の変化について子どもの考え方を考察する。設問2では、カルボン酸やアルコールの種類をそれぞれ変えて実験を行ったときのおいの変化から、2つの物質が関わっていることをとらえているかを考察する。設問3では、化学変化の指導のための実験操作が小学校第4学年の子どもに適切なものであったかを考察する。設問4では、化学変化をとまなう実験を体験したことで、子どもがどのような興味や疑問をもつようになったかを考察する。

#### 4. 授業実践

##### (1) 対象児と実施時期

広島大学附属三原小学校の第4学年1クラスの子ども(30人)を対象として、水の三態変化を学習した後、平成27年11月~12月に途中で他の単元をはさみながら実施した。

##### (2) 授業の実際

###### ① 試薬・実験器具の扱い方

小学校第4学年の子どもは、試薬を扱うことが初めてとなるため、第1次では、それぞれの試薬の危険性と安全な扱い方を指導した。まず、試薬を扱うときは保護めがねを着用し立って実験を行うことや、においを確認するときは手であおぐようにして嗅ぐことなど実験全般に関わることを指導した。次に、各試薬の危険性・有害性として飲み込むと生命に関わること、皮膚に接触すると薬傷を起こすこと、アルコールは可燃性の液体であり引火しやすいことを説明した。そして、皮膚に接触した場合などはすみやかに大量の水で洗い流すことが必要であることを指導した。さらに、濃硫酸が衣服に付着すると穴があくことを演示し、皮膚への接触を防ぐだけではなく試薬をこぼさないようにする必要があることを指導した。これらの指導をした上で、液体試薬を安全に正確にはかりとるために駒込ピペットの使い方を指導した。濃硫酸を扱うことから試薬をはかりとる場合はガラス製の駒込ピペットを用いた。一方、水をはかりとる場合は、ポリエチレン製の一体型ピペットを使用した。一人に一本ずつの駒込ピペットと水を入れた試薬瓶の練習セットを配布し、十分に練習できる環境と時間を確保した。

## ②香料づくりの実験操作説明

香料のつくり方の1つに、カルボン酸とアルコールを混ぜ合わせてつくる方法があることを紹介した。また、カルボン酸とアルコールという言葉はそれぞれ種類名を表しており、カルボン酸には酢酸と酪酸、アルコールにはメチルアルコール、エチルアルコール、プロピルアルコール、ブチルアルコールなどの物質があることを紹介した。そして、具体的な実験操作を示した。

## ③酢酸とブチルアルコールの反応

第2次の第1時では、カルボン酸に酢酸、アルコールにブチルアルコールを用いて実験を行った。まず、それぞれの試薬のにおいを嗅ぎ、記録したところ、表2のような表現があった。

表2 酢酸・ブチルアルコールのにおい表現

酢酸 (人)	ブチルアルコール (人)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・酢/酢飯(20)</li> <li>・接着剤/糊(3)</li> <li>・その他(6)</li> <li>・におわない(1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ペンキ(7)</li> <li>・除光液(1)</li> <li>・牛のフン(2)</li> <li>・牛乳(1)</li> <li>・牧場(1)</li> <li>・ミント(1)</li> <li>・葉っぱ(1)</li> <li>・レモン(1)</li> <li>・シナモン(2)</li> <li>・その他(11)</li> <li>・におわない(2)</li> </ul>

酢酸は、酢のにおいと説明した子どもが20人、接着剤や糊のにおいと説明した子どもが3人いた。日常生活で酢酸ビニル系の物質を含む接着剤が使われていることから23人(77%)が酢酸特有のにおいをとらえて記録することができたと考えられる。一方、ブチルアルコールは子ども一人ひとりが多様なものにたとえて説明していた。ブチルアルコールは、同類のにおいを嗅いだ経験が少ないため、においを何かにたとえて記録することは難しかったと考えられる。

室温で2つの試薬を試験管内で混合させた後、混合液のにおいを嗅ぎ記録した。このとき、混合液から酢酸とブチルアルコールそれぞれのにおいがしたことから、「2つの試薬が混ざり合っただけで、変化は起きていない」と判断した子どもは24人(80%)、「においが変わったことから変化した」と判断した子どもは6人(20%)であった。6人のうち4人が、酢酸のにおいはするが、ブチルアルコールのにおいがしなく

なったことを理由に挙げていた。また、2人は全く別のおいになったことを理由に挙げていた。においを嗅いだ後、試験管にゴム栓をして一週間室温で放置した。

一週間後の第2時ではもう一度、酢酸とブチルアルコールを別の試験管で混合させ、一週間室温で放置した混合液とにおいを比較させた。その結果、「どちらもにおいが同じで、変化は起きていない」と判断した子どもは24人(80%)、「においに違いあり、一週間室温で放置した方が変化した」と判断した子どもは1人(3%)、「どちらもにおいが同じで、混合によって(一週間室温で放置したことに関わらず)変化した」と判断した子どもは5人(17%)であった。この5人は全員が前時に「においが変わったことから変化した」と判断した子どもたちであった。

子どもたちの20%が、加熱前の混合段階でにおいが変化したと判断したことから、混合液から酢酸とブチルアルコールそれぞれのにおいを嗅ぎ分けることは難しいことだと分かった。

においを比べた後、当日混合させた液を加熱し、水で処理し分離後、再び一週間前に混合させた液とにおいを比べさせた。その結果、30人全員が「(一週間室温で放置した混合液と)においが違う」と記録した。子どもたちの多くは、においが変化するということはこの体験から理解することができたと考えている。

## ④酪酸とブチルアルコールの反応

第3次では、カルボン酸を酢酸から酪酸に変えてブチルアルコールと反応させる実験を行った。子どもたちは、酪酸のにおいを表3のように記録した。

表3 酪酸のにおい表現 (人)

<ul style="list-style-type: none"> <li>・銀杏(12)</li> <li>・チーズ(11)</li> <li>・牛乳(2)</li> <li>・吐しゃ物(1)</li> <li>・その他(4)</li> </ul>
--

26人(87%)の子どもが酪酸特有のにおいをとらえて記録することができたと考えられる。室温で2つの試薬を試験管内で混合させた後、混合液のにおいを嗅がせ記録させた。このとき、「2つの試薬が混ざり合っただけで、変化は起きていない」と判断した子どもは28人(93%)、

「においが変わったことから変化した」と判断した子どもは2人(7%)であった。2人はともに、第2次の酢酸を用いた実験において加熱前の混合液のにおいから「においが変わったことから変化した」と判断していたり、酪酸特有のにおいを具体的に記録できていなかったりした子どもであった。

混合液を加熱後、エステル化合物を分離してにおいを記録した。そして、加熱前のにおいと比べたところ、27人(90%)が「においが変わった」、3人(10%)が「においは変わっていない」と記録した。また、前回の酢酸とブチルアルコール、今回の酪酸とブチルアルコールを混合してできた香料が同じものかを尋ねたところ、30人の子ども全員が別のものと答えた。その根拠とした子ども一人ひとりのにおいの記録は表4のとおりである。

表4 エステル化合物のにおいの表現

	酢酸とブチルアルコール (酢酸ブチル)	酪酸とブチルアルコール (酪酸ブチル)
1	バナナ・マニキュア	青りんご
2	バナナ・除光液	青りんご
3	酢のにおい	においが変わった
4	分かりません	梨
5	バナナ	パイナップル
6	青りんご	梨
7	いいにおい	いいにおい
8	マニキュア	梨
9	レモン・ゆず	青りんご
10	レモン	青りんご・ぶどう
11	なし	青りんご
12	マニキュア	りんご
13	マニキュア	りんごのような甘い
14	マニキュア	鼻づまりで分かりません
15	バラ	白ぶどう・青りんご
16	青りんご	梨
17	分かりません	りんご
18	除光液	りんご
19	マニキュア	グリーンアップル
20	マニキュア	青りんご
21	マニキュア	りんご
22	青りんご・バナナ	りんご
23	バナナ	青りんご
24	レモン	動物のにおい
25	ネイル	梨
26	マニキュア	甘酸っぱいにおい
27	変わったにおい	青りんご
28	ネイル	青りんご
29	バナナ	酢のようなにおい
30	糊	りんご・パイナップル

酪酸は強烈な特異臭を放つため、子どもたちには不評であった。しかし、加熱後のにおいの変化に非常に驚いていた。「もとの試薬がくさいものほど良いにおいのものできる」と発言した子どもが多かった。

#### ⑤酢酸とイソブチルアルコールの反応

第4次では、アルコールをイソブチルアルコールに変えて酢酸と反応させる実験を行った。子どもたちは、イソブチルアルコールのにおいを表5のように記録した。

表5 イソブチルアルコールのにおい表現(人)

・ガス(10)
・ガソリン(8)
・その他(12)

どの子どもの記録もイソブチルアルコールが不快なにおいであることは共通していた。しかし、表現は子ども一人ひとりによって多様なものであった。混合液を加熱させた後、エステル化合物を分離してにおいを記録させた。そして、加熱前のにおいと比べさせたところ、14人(47%)が「においが変わった」、16人(53%)が「(ほとんど)においは変わっていない」と記録していた。半数の子どもが、「においは変わっていない」と答えたことについて、エステル化合物を分離した液体に、反応に使われなかったイソブチルアルコールがわずかに含まれており、このにおいが影響したと考えられる。

#### 5. 結果と考察

質問紙による調査の結果を集計したところ、設問1の回答は表6のとおりであった。

表6 設問1の回答

分類	回答内容(人)
I	・より混ざった(4) ・1つに混ざった(2) ・とけて混ざった(1)
II	・混ざって新しい薬品ができた(1) ・はじめとは違うものになる(4) ・他の物になった(1)
III	・くっついた(2) ・それぞれの液体がとけて合成した(1) ・合体にした(4) ・バラバラだったものが一緒にかたまる(1)

IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>・香料と水に分かれた(1)</li> <li>・熱でバラバラになる(2)</li> <li>・分かれた(1)</li> </ul>
V	<ul style="list-style-type: none"> <li>・それぞれの液体が2つずつに分かれて、それぞれがくっついた(1)</li> </ul>
VI	<ul style="list-style-type: none"> <li>・その他(3)</li> </ul>

分類Ⅰは、加熱することによってさらに混ざり合う(混合)という考え方である。分類Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ, Ⅴは、2つの物質が互に関係し合っ  
て変化が起きるとい  
う考え方である。また、分類Ⅲでは化合、分類Ⅳでは分解、分類Ⅴは分解と化合の両方が起きているという考え方である。多くの子どもが、加熱することによって物質そのものに何らかの変化が起きるとい  
う考え方をもっていることが明かとなった。

設問2の回答は表7のとおりであった。

表7 設問2の回答

選択肢	人数
ア. カルボン酸の種類によって、においは決まる	4
イ. アルコールの種類によって、においは決まる。	0
ウ. カルボン酸とアルコール両方の種類によって、においは決まる。	25
エ. その他 ・カルボン酸とアルコールの相性によって決まる。	1

多くの子どもは、「カルボン酸とアルコール両方の種類によって、においは決まる。」と回答していることから、2つの物質が互に関わっていることをとらえていると分かった。これは、カルボン酸とアルコールの種類と組み合わせを変えて複数回実験を行った成果であると考えられる。一方、「カルボン酸の種類によって、においは決まる。」と回答した4人は、いずれもイソアミルアルコールを用いた実験で「においは変わっていない」と記録した子どもであり、酢酸とイソアミルアルコールの混合液を加熱しても明確なにおいの変化を感じられなかったことが影響していると考えられる。

設問3の回答は表8のとおりであった。

表8 難しいと感じた実験操作とその理由(複数回答)

操作	回答内容(人)
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・はかりとることが難しいから(5)</li> <li>・はかりとるとき、2mLより下で止まってしまうから(1)</li> <li>・はかりとるときに、なかなかぴったりにならないから(2)</li> <li>・はかった後、ゴムのところを離すと空気が入ってくるから(1)</li> <li>・2mLはかっても空気が上がって減るから(1)</li> <li>・時間がかかるから(1)</li> <li>・失敗したらどうしようと思い、緊張するから(1)</li> <li>・こぼしたら大変なことになったらいけないとプレッシャーを感じたから(1)</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・薬品がこぼれないように混ぜるのが難しいから(1)</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・強烈なおいだから(2)</li> <li>・くさいから(1)</li> <li>・におったことがないにおいで緊張するから(1)</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>・6分間待つことが正直めんどうだから(1)</li> </ul>
5	回答者なし
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>・正しい量を入れることが難しいから(1)</li> <li>・多くても少なくてもだめだから(1)</li> <li>・はかりとるときに、なかなかぴったりにならないから(1)</li> <li>・何回とった(操作した)か分からなくなるから(1)</li> <li>・時間がかかるから(1)</li> <li>・水を入れる量が少しでも違っていると、香料の濃さやにおいが変わるから(1)</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>・疲れるから(3)</li> <li>・ゴム栓をつけるときにこぼれそうになるから(1)</li> <li>・振るときにこぼれたらどうしようと不安になるから(1)</li> </ul>
8	回答者なし
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上の部分だけとることが難しいから(4)</li> <li>・下の水を吸い取ってしまいそうだったから(4)</li> <li>・上の部分だけを取り出さないとにおいが変わってしまうから(1)</li> <li>・(サンプルピンの口の)幅がせまかったから(1)</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>・においが変わっているし、緊張するから(1)</li> <li>・あまりにおわなかったから(1)</li> </ul>
無回答	(1)

操作1, 6, 9はいずれも液体を駒込ピペットやスポイトではかりとるものである。今回、事前にピペットの使い方を習得できるように環境と時間を確保してから実験に臨んだが、子どもたちにとっては難しさを感じる操作であることが分かった。練習時には、はかりとる液体の量に応じてゴムキャップに適切な力を加えられ

る技能を習得させる必要がある。また、はかりとった後に空気が入ることで液体の量が見かけ上増減することを説明だけではなく演示等で理解させ、操作のやり直しは不要であることを指導する要があると考え。操作4については、加熱器具を扱う操作であるが、第4学年の他の単元ですでに学習した器具であることから子どもたちは抵抗なく扱えたと考えられる。操作3, 10は、においを嗅いで記録する活動であった。試薬のにおいを嗅ぐことに抵抗を感じている回答も見られたが、子どもはにおいを何かにとえて記録しており、難しさを感じた回答は見られなかった。これは、今回の実験においては、混合液のにおいが加熱前後で変化するかどうかが確認できれば十分だったからである。しかし、においの感じ方には個人差があり、子どもが実験中に書いたブチルアルコールやイソブチルアルコールのにおいの記録を見ると、一人ひとりの表現が多様であった。アルコールについては、においの表現例を子どもと一緒に確認する必要があると考える。

設問4の回答は表9のとおりであった。

表9 設問4の回答

分類	回答内容 (人)
i	・カルボン酸とアルコールそれぞれの混ぜ合わせる量を変え、どの量のときが一番良い香りになるか。(5) ・カルボン酸をたくさんにして、ブチルアルコールを少しにして実験してみたい。(1)
ii	・(混合液を) 冷やしても香料ができるか調べたい。(2)
iii	・その他 (5)

分類 i は、試薬の量と反応後のにおいの関係を調べる記述である。今回の実験においては、試薬の種類に関わらずカルボン酸とアルコールを一定量で反応させた。これに対し、6人の子どもは同じ試薬の組み合わせであっても、それぞれの量を変えるとにおいが変化するのではないかと考えていた。この疑問を解決していくことで、2種類以上の物質が化学変化(化合)するときには、決まった量関係で物質同士が反応するというきまりを見つけられると考える。分類 ii は、化学変化が起きる条件を調べる記述である。今回の実験では、教師が加熱する方法を

指示したが、子ども自身がどのような条件下で物質が変化するかを考え、実験することで日常生活に見られる化学変化に着目するきっかけになると考える。

## 6. まとめと今後の課題

本研究では、五感を通して小学生にも分かりやすい化学変化の指導のための教材を開発し、その効果を検証するとともに、子どもの主体的・協働的な課題解決による授業開発のための示唆を得ることを目的とした。質問紙調査の結果、カルボン酸とアルコールの混合液の加熱後のにおいの変化から、小学校第4学年でもはじめとは異なる物質に変化していることをとらえられることが明らかとなった。また、カルボン酸とアルコールの種類と組み合わせを変えて実験することで、化学変化には2種類の物質が互いに関わり合っているととらえられることが分かった。

一方、においの感じ方は個人差が大きく、加熱前の混合液からカルボン酸とアルコールのにおいを嗅ぎ分けることが難しい子どもが多いことが分かった。また、においの変化を感じることができても、加熱によって試薬同士がより混ざったという考え方にとどまっている子どもがいた。

開発した教材をもとに、子どもの主体的・協働的な課題解決学習を行うためには次のようなことが考えられる。1つ目は、基本の操作によって物質が変化することをとらえさせた後、子どもたちに物質が変化するときの条件(温度や時間)を問うことである。そして、同じ考えをもつ子ども同士で実験グループをつくり、温度や時間の条件を変えて実験させ、その結果を報告させる。また、同じ条件下でも反応に用いるそれぞれの試薬の量によって、においに変化があるかを調べるときには、試薬の量を少しずつ変えて複数の実験グループに分けて担当させることで、各グループの実験につながりをもたせることができると考える。2つ目は、においの感じ方には個人差があることから、物質の変化がにおい以外の性質にも見られないか調べる方法を考え、その結果を説明し合う活動を採り入れることである。授業実践を通して、小学生によるこれらの実施可能性を追究することが今後の課題である。



## 引用・参考文献

- 1) 文部科学省「初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について（諮問）」,  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1353440.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1353440.htm), 2015年5月20日アクセス.
- 2) 国立教育政策研究所「学習指導要領データベース」昭和43年度 小学校学習指導要領,  
<https://www.nier.go.jp/guideline/>, 2015年8月18日アクセス.
- 3) 文部科学省「小学校学習指導要領解説 理科編」, 2008, 大日本図書.
- 4) 石井俊行「分解と化合における子どものわかりやすさからみた学習の順序性とその指導法に関する提言」, 理科教育学研究51(3), pp. 25-32, 2011.