

小学校教員志望学生を対象とした酸とアルカリに関する認識調査

Preservice Elementary School Teachers' Recognition of Acids and Alkalis

佐藤 寛之* 佐々木 智謙* 松森 靖夫*
SATO Hiroyuki SASAKI Tomonori MATSUMORI Yasuo

望月 健人** 萩原 修***
MOCHIZUKI Kento HAGIHARA Osamu

要約：小・中学校の理科学習において、水溶液に関する学習は、身の回りの物質への理解を深化・拡大させていくためにも重要な意味や意義をもつものといえる。そのため、水溶液に関する学習を指導・支援する教師には、適切な科学的概念の構築が授業をデザインしていくうえでも必要となってくる。そこで、本研究では、酸と塩基における代替的な概念に関する Hanqing & Laura の指摘をもとに、小学校教員志望学生を対象とした酸とアルカリに関する認識状態を把握することを目的として、質問紙調査を実施した。その結果、水溶液の「液性」、「中和と塩」、「液性の強さ」において、学生は低い認識状態にあることが明らかとなった。

キーワード：酸，アルカリ（塩基），中和，教員養成，自然認識

I 問題の所在と研究の目的

現行の小学校と中学校の学習指導要領では、小学校第6学年理科「水溶液の性質」¹⁾と中学校第1分野「酸・アルカリとイオン」²⁾において、水溶液の液性に関する学習、つまり、酸とアルカリ（塩基）に関する学習が、それぞれ設定されている。酸とアルカリ（塩基）に関する学習は、上記の義務教育課程のみならず、高等学校化学基礎「酸、塩基と中和」³⁾までの各校種の理科で扱われており、酸とアルカリ（塩基）の物質の同一性、多様性や相互作用等を学ぶことが、学校教育における理科学習では重視されている。日常生活における身の回りの物質への理解を深化・拡大することを目標とした理科学習における酸とアルカリ（塩基）に関する学習の重要性から、国内外において酸とアルカリ（塩基）に関する認識調査を通じた研究が、これまでも行われてきている。

例えば、Hanqing & Laura⁴⁾は、主に高校生、あるいは大学生を対象とした、酸と塩基における代替的な概念に関する従来の研究を総括して、学生は日常や学習経験等から、「酸、及び塩基の巨視的性質」、「酸、及び塩基の微視的性質」、「中和」、「酸と塩基の強弱」、「pH」、「滴定」の6つの項目において、表1に示すような科学概念とは異なる代替的な概念を構成し、科学的概念の獲得の妨げとなっていることを指摘している。

また、日本国内においても、岡ら⁵⁾は、酸性雨を効果的に理解させる化学のカリキュラムを検討する前段階として実施した酸についての質問紙調査に対する回答から、酸について正しく説明ができていた生徒は、表2に示すように、酸と塩基を学習した翌年（生徒は、中学校3年生で「アレーニウスの定義」、高等学校2年生で「ブレンステッド・ローリーの定義」を学習）だけ定着度が良いことを報告している。

* 科学文化教育講座 ** 教育学研究科大学院生 *** 山梨大学教育学部附属中学校教諭

表1 酸と塩基に関する代替的な概念の例 (Hanqing & Laura 2015)

項目	酸と塩基に関する代替的な概念
酸、及び塩基の巨視的性質	<ul style="list-style-type: none"> ● 酸は苦味、塩基は酸味がある。 ● 酸はピンク色、塩基は青色。酸の溶液は赤色、塩基の溶液は青色である。
酸、及び塩基の微視的性質	<ul style="list-style-type: none"> ● 塩基の溶液中に OH⁻の存在する。 ● 強酸は常に、弱酸より高い pH である。
中和	<ul style="list-style-type: none"> ● 酸と塩基の中和反応による生成物である塩の pH は、常に7である。 ● 中和反応は、強酸と強塩基の間のみで起こる。
酸と塩基の強弱	<ul style="list-style-type: none"> ● 強酸と弱酸での違いは、強酸は弱酸より食べ物を溶かすのが早い。 ● 強酸は、希薄な酸より濃縮である。
pH	<ul style="list-style-type: none"> ● より高い pH は、より高い酸性である。 ● 強酸の pH の値は、ほぼ7である。
滴定	<ul style="list-style-type: none"> ● pH は当量点で、常に7である。 ● 指示薬は酸-塩基の反応で、中和をもたらす。

※酸と塩基に関する従来研究

- 調査国：台湾、インドネシア、トルコ、ギリシャ、イスラエル、カナダ、アメリカ合衆国等
- 調査者対象：高校生、教員志望学生、大学生、教師
- 調査方法：多肢選択肢、自由記述形式の質問紙、インタビュー、概念地図法、授業観察、ペーパーテスト

表2 酸を説明できている生徒の割合 (岡ら 1998)

時期・対象	1997年6月上旬、O大学附属T中学校・附属高等学校T校舎に在籍する生徒計785人					
調査内容	酸性雨の学習を効果的に行うための事前調査の一部として、アンケート形式で「酸とはどのような物質か」を問い、中学・高校生の酸に関する認識状態を把握することを目的として、調査を実施した。					
学年・人数	中学生			高校生		
	1年生 158名	2年生 150名	3年生 152名	1年生 126名	2年生 112名	3年生 87名
正答率 (%)	0	7	2	47	24	62

そして、山田ら⁶⁾は、理科実験中に起こる事故と生徒の安全認識に関する研究において、研究手法として用いた単語・分節法分析の有効性を検証するための前段階の調査として、高校生に「酸・塩基について知っていること」を自由記述させた。この調査の結果、調査対象の生徒が中学校理科教科書に掲載されている単語の2割程度しか記述しなかったことから、中学校理科における「水溶液の性質」の学習内容が定着できていない可能性を、山田らは指摘した。

これらのように、日本国内における酸とアルカリ（塩基）に関する学習で、子どもが酸とアルカリ（塩基）に関する科学的概念の獲得や長期的な定着が容易ではなく、その原因として、Hanqing & Lauraが指摘している酸と塩基に関する代替的な概念が関係していると考えられる。しかし、日本国内における大学生を対象とした酸とアルカリ（塩基）に関する認識調査は皆無に近い。

そこで、本研究では、Hanqing & Lauraの研究をもとに、義務教育課程かつ高等学校での学習過程を経て、将来、子どもに理科学習を指導するであろう小学校教員志望学生を対象として、酸とアルカリ（塩基）に関する認識状態を把握することを目的として、質問紙による認識調査を行うこととした。

II 小学校教員志望学生を対象とした酸とアルカリに関する認識調査の概要

1. 調査方法と内容

本調査で用いた質問紙は、質問1、質問2、質問3、質問4・5の設問をA3サイズ1枚に記載

小学校教員志望学生を対象とした酸とアルカリに関する認識調査

するように作成し、4枚で構成した。A3サイズの内紙を用いることで、質問紙の回答スペースを十分に確保し、調査時間は各学生に必要な回答時間を充当するようにした。質問紙調査における質問内容と問題は、表3と図1に示す通りである。質問紙で扱われた水溶液とその溶質は、中学校第3学年の文部科学省検定済理科教科書（計5社）^{7) 8) 9) 10) 11)}のすべての教科書に共通して記載がある水溶液8種類（水、砂糖水、炭酸水、塩化ナトリウム水溶液、食酢、アンモニア水、水酸化ナトリウム水溶液、塩酸）と、それらの水溶液の溶質となりうる物質5種類（二酸化炭素、塩化ナトリウム、アンモニア、水酸化ナトリウム、塩化水素）を参考にして、計13種類の水溶液やその溶質となりうる物質を選定した。

質問1

アキラさんとカナコさんから、「自由研究のために、カナコさんのお姉さんが持っている理科の教科書にあった物質・水溶液の性質を調べるつもりです。合っているかわからないので、自分たちの実験が終わったら教えてください。」と、質問されました。以下の表中にある①～③の物質・水溶液について、あなたはどのように質問に答えますか。あてはまる選択肢の数字に○印をつけてください。

	物質・水溶液名	何性ですか？
⑦	水酸化ナトリウム	1. 酸性 2. アルカリ性 3. 中性 4. わからない 5. その他 ()

質問2

アキラさんとカナコさんから、「異なる2つの溶液を混ぜたとき、どのような変化が起きるか調べようと思います。合っているかわからないので、自分たちの実験が終わったら、また教えてください。」と、頼まれました。子ども達は、同じ重さ（100g）の水溶液を2つ用意し、その2つの水溶液を混ぜる①～⑥の6つの実験を行うつもりです。以下の6つの実験で、混ぜた水溶液は何性になると思いますか、また、混ぜた水溶液中に生成物ができると思いますか。あてはまる選択肢の数字とカタカナに○印をつけ、理由を説明してください。

④塩酸（100g） + 水酸化ナトリウム水溶液（100g）

性質	1. 酸性	2. 中性	3. アルカリ性	4. わからない	5. その他 ()
生成物	ア. できる	イ. できない	ウ. わからない		
理由					

質問3

アキラさんとカナコさんから、「酸性、アルカリ性には、それぞれ共通する性質は何か調べようと思います。自分たちの実験が終わったら教えてください。」と、質問されました。酸の水溶液、アルカリの水溶液について、それぞれの共通の性質を説明してください。

(1) 酸の水溶液の性質

味、におい、見た目などで共通すること

水溶液の性質を調べるために用いるものと、その変化に共通すること

それ以外で共通すること

(2) アルカリの水溶液の性質

味、におい、見た目などで共通すること

水溶液の性質を調べるために用いるものと、その変化に共通すること

それ以外で共通すること

質問4

酸性、中性、アルカリ性を示す水溶液には、「酸」と「アルカリ」を水に溶かすことで生成します。この「酸」や「アルカリ」とは何ですか。それぞれ説明してください。

(1) 酸

(2) アルカリ

質問5

酸には「強酸」と「弱酸」、アルカリには「強アルカリ」と「弱アルカリ」があります。これらの強弱には、どのような違いがありますか。図や文章を用いて、説明してください。

図1 質問紙調査の各設問
(設問の一部のみ掲載したり回答欄を狭めたりして、4枚の内紙を1枚にまとめたもの)

表3 質問紙調査の内容

	設問内容	回答形式	酸と塩基に関する代替的な概念
質問1	液性	選択肢	「酸とアルカリに関する性質」
質問2	中和と塩	選択肢と理由記述	「中和」, 「滴定」
質問3	各水溶液に共通する性質	自由記述	「酸と塩基に関する巨視的・微視的性質」
質問4	酸とアルカリの概念規定	自由記述	「酸と塩基に関する巨視的・微視的性質」
質問5	酸とアルカリの強弱	自由記述	「酸と塩基の強弱」, 「pH」

※質問1以外は、Hanqing & Laura 2015の研究を参考にし、問題を作成。

2. 調査期日及び調査対象

表3の調査項目に関して作成した質問紙調査用紙を用いて、山梨大学に在籍し、「初等理科教育学」を履修している小学校教員志望学生（以下、学生と略記する）計131人（男：56人，女：76人）を調査対象として、酸とアルカリに関する認識調査を2016（平成27）年7月下旬に実施した。

調査対象学生の所属コース・人数を表4に示す。表4の「その他」に属する2人は、山梨大学大学院教育学研究科に所属する学生1人と、小学校教諭免許状の取得を希望する科目等履修生1人であった。調査対象学生のうち、平成11年改訂の高等学校学習指導要領（旧課程）の理科の各科目を履修してきた学生は17人、平成21年改訂の高等学校学習指導要領（新課程）の理科の各科目を履修してきた学生は114人であった。この学生の高等学校在籍時における理科の各科目の履修状況に関する集計結果を表5に示す。131人の学生のうち、化学に関する基本的な科目（旧課程では化学I，新課程では化学基礎）を履修してきた学生は103人（78.6%）であり、8割弱の学生が高等学校の「化学」に関する基礎的な科目を履修していた。このことは、質問紙調査実施の際に行った高等学校在籍時における理科の各科目の履修状況に関するアンケート調査の集計結果から理解できた。

表4 調査対象学生の所属コース・人数

コース名	人数
幼小発達教育コース	22
障害児教育コース	21
言語教育コース	17
生活社会教育コース	20
科学教育コース	28
芸術身体教育コース	21
その他	2
計	131

表5 学生の高等学校理科の履修科目

旧課程（高等学校理科）17人		新課程（高等学校理科）114人		計 131人
科目名	履修者数（割合）	科目名	履修者数（割合）	履修者数（割合）
物理I	4人（3.1%）	物理基礎	68人（51.9%）	72人（55.0%）
物理II	2人（1.5%）	物理	21人（16.0%）	23人（17.6%）
化学I	8人（6.1%）	化学基礎	95人（72.5%）	103人（78.6%）
化学II	3人（2.3%）	化学	34人（26.0%）	37人（28.2%）
生物I	13人（9.9%）	生物基礎	110人（84.0%）	123人（93.9%）
生物II	2人（1.5%）	生物	18人（13.7%）	20人（15.3%）
地学I	0	地学基礎	37人（28.2%）	37人（28.2%）
地学II	0	地学	1人（0.8%）	1人（0.8%）
理科総合A	16人（12.2%）	科学と人間生活	2人（1.5%）	
理科総合B	3人（2.3%）	理科課題研究	1人（0.8%）	

Ⅲ 調査結果とその分析

1. 液性（質問1）

質問1は、「酸とアルカリに関する性質」を問う設問であり、この設問では学生に、13種類の水溶液（「水」を含む）と水溶液の溶質となりうる物質の液性の有無についての回答を求めた。本研究では、液性を「酸性、アルカリ性や中性といった水溶液がもつ性質」と措定し、回答結果を集計した。つまり、液性をもたないものは、水溶液の溶質となりうる5種類の物質となる。質問1の回答内容についての集計結果を表6に示す。

表6に示したように、液性に関する正答の割合は、「水」を含む水溶液では、⑬塩酸95.4%（125人）、⑤食酢93.1%（122人）、⑥水93.1%（122人）、③砂糖水90.8%（119人）、⑧アンモニア水88.5%（116人）、①塩化ナトリウム水溶液51.1%（67人）であり、①塩化ナトリウム水溶液以外の水溶液では、9割弱の学生は水溶液の液性を理解することができていた。また、液性をもたない物質では、液性がないことを説明する「5. その他」の選択肢を回答した学生の割合は、⑦水酸化ナトリウム2.3%（3人）、⑨塩化ナトリウム2.3%（3人）、⑪アンモニア2.3%（3人）、⑫二酸化炭素2.3%（3人）、②塩化水素0.8%（1人）であり、ほとんどの学生は、それらの物質に液性がないことを言及することができなかった。

また、調査項目として示した水溶液（①・④・⑧・⑩・⑬）と各水溶液の溶質である物質（⑨・⑫・⑪・⑦・②）の液性に関する回答傾向を比較すると、各水溶液とその溶質に類似した回答傾向がみられることから、高等学校の化学で学習する「酸」・「塩基」との混同を考慮しても、中学校理科で学習する水溶液の「液性」に関する理解は不十分であると推察できる。

そして、⑩水酸化ナトリウム水溶液の溶質である⑦水酸化ナトリウムに着目すると、水酸化ナトリウム自体には液性がないと認識している学生は、「5. その他」を回答した2.3%（3人）のみであった。水酸化ナトリウム自体には液性がないと回答した学生の理由として、「固体だから性はない（女45）」、「固体だから（女71）」と記述していることから、水溶液と溶質となりうる物質の性質を科学的な理解のもとに区別していた。このように回答できた学生は、溶質となりうる物質において、ごく少数であったことから、①塩化ナトリウム水溶液を除き、9割弱の学生は、中学校で学習す

表6 各水溶液と物質の液性の有無に関する回答の集計結果

質問1 回答を求めた物質名	正答	回答の割合（%）					
		1 酸性	2 アルカリ性	3 中性	4 わからない	5 その他	無記入
①塩化ナトリウム水溶液	中性	15.3	<u>29.8</u>	51.1	3.8	0	0
②塩化水素	液性なし	<u>70.2</u>	16.8	6.1	5.3	0.8	0.8
③砂糖水	中性	2.3	3.1	90.8	3.8	0	0
④炭酸水	酸性	64.1	11.5	<u>22.1</u>	2.3	0	0
⑤食酢	酸性	93.1	4.6	2.3	0	0	0
⑥水	中性	0.8	3.8	93.1	1.5	0	0.8
⑦水酸化ナトリウム	液性なし	18.3	<u>67.9</u>	9.2	0.8	2.3	1.5
⑧アンモニア水	アルカリ性	6.1	88.5	0	5.3	0	0
⑨塩化ナトリウム	液性なし	18.3	26.0	<u>45.8</u>	7.6	2.3	0
⑩水酸化ナトリウム水溶液	アルカリ性	21.4	69.5	6.1	3.1	0	0
⑪アンモニア	液性なし	7.6	<u>74.8</u>	6.9	8.4	2.3	0
⑫二酸化炭素	液性なし	<u>47.3</u>	9.9	29.0	10.7	2.3	0.8
⑬塩酸	酸性	95.4	2.3	1.5	0	0.8	0

※正答の割合を太字で示す。また、誤答のうち、最も割合が高いもの（10%以上）を下線で示す。

る水溶液の液性は理解しているものの、各水溶液の溶質となりうる物質についても液性が存在すると考えていることが推察できる。

2. 中和と塩（質問2）

質問2は、「中和」や「滴定」に関する認識を問う設問であり、この設問では学生に、「同じ質量（100g）の異なる2種類の水溶液（濃度は不明記）を混ぜたとき、混ぜた水溶液は何性か、また生成物ができるか否か」ということについて、2種類の水溶液を混合する6つの場面で回答を求めた。質問2の①「砂糖水と塩化ナトリウム水溶液」、②「炭酸水と食酢」、③「水酸化ナトリウム水溶液とアンモニア水」の3つの混合する場面では、同じ液性の水溶液を混合するので、中和反応は起きない。そのため、質問2の設問①～③においては、水溶液の液性は変化せず、中和における生成物である「塩」は生じない。また、質問2の④「塩酸と水酸化ナトリウム水溶液」、⑤「食酢と水酸化ナトリウム水溶液」、⑥「塩酸とアンモニア水」の3つの混合する場面では、異なる液性の水溶液を混合するので、中和反応により、その生成物である「塩」は生成するが、各設問における2種類の水溶液の濃度をあえて明記しないようにしたため、水溶液の液性を同定できないことを言及する必要がある。質問2の回答内容についての集計結果を表7と表8に示す。

表7に示したように、2種類の水溶液を混合後の液性に関する正答の割合は、同じ液性の2種類の水溶液を混合する①～③の設問では、①「砂糖水と塩化ナトリウム水溶液」51.1%（67人）、②「炭酸水と食酢」78.6%（103人）、③「水酸化ナトリウム水溶液とアンモニア水」64.1%（84人）であり、半数以上の学生は液性が変化しないとする選択肢を回答していた。また、異なる液性の2種類

表7 2種類の水溶液の混合後の液性に関する回答の集計結果

質問2 回答を求めた2種類の水溶液	正答	回答の割合（％）					
		1 酸性	2 中性	3 アルカリ性	4 わからない	5 その他	無記入
①砂糖水+塩化ナトリウム水溶液	中性	13.7	51.1	<u>22.1</u>	12.2	0	0.8
②炭酸水+食酢	酸性	78.6	8.4	0.8	12.2	0	0
③水酸化ナトリウム水溶液+アンモニア水	アルカリ性	5.3	<u>19.1</u>	64.1	10.7	0	0.8
④塩酸+水酸化ナトリウム水溶液	わからない	20.6	<u>57.3</u>	4.6	14.5	0.8	1.5
⑤食酢+水酸化ナトリウム水溶液	わからない	10.7	29.8	<u>38.9</u>	17.6	0.8	0
⑥塩酸+アンモニア水	わからない	<u>48.1</u>	29.8	3.8	16.0	0.8	0

※正答の割合を太字で示す。また、誤答のうち、最も割合が高いもの（10%以上）を下線で示す。

表8 2種類の水溶液の混合後の生成物に関する回答の集計結果

質問2 回答を求めた2種類の水溶液	正答	回答の割合（％）			
		ア（できる）	イ（できない）	ウ（わからない）	無記入
①砂糖水+塩化ナトリウム水溶液	できない	3.8	64.1	<u>26.7</u>	5.3
②炭酸水+食酢	できない	9.9	58.8	<u>26.0</u>	4.6
③水酸化ナトリウム水溶液+アンモニア水	できない	20.6	38.2	<u>34.4</u>	6.9
④塩酸+水酸化ナトリウム水溶液	できる	58.8	13.0	<u>22.1</u>	5.3
⑤食酢+水酸化ナトリウム水溶液	できる	34.4	17.6	<u>39.7</u>	6.9
⑥塩酸+アンモニア水	できる	37.4	16.0	<u>37.4</u>	7.6

※正答の割合を太字で示す。また、誤答のうち、最も割合が高いもの（10%以上）を下線で示す。

の水溶液を混合する④～⑥の設問においては、あえて濃度に関する条件を明記しなかったため、「4. わからない」と「5. その他」を正答として集計したところ、学生の正答の割合は④「塩酸と水酸化ナトリウム水溶液」15.3% (20人)、⑤「食酢と水酸化ナトリウム水溶液」18.4% (24人)、⑥「塩酸とアンモニア水」16.8% (22人)であった。この結果から、混合後の液性については、「塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の濃度によるから。(男12)」、「濃度が分からないから(女5)」のように問題設定の条件の不備を指摘し、選択肢を選んだ学生は、ごく少数(④:4.6% (6人)、⑤と⑥:3.1% (4人))であった。

そして、表8に示したように、2種類の水溶液を混合後の生成物に関する正答の割合は、同じ液性の2種類の水溶液を混合した際に「イ.できない」と解答すべき①～③の設問では、①「砂糖水と塩化ナトリウム水溶液」64.1% (84人)、②「炭酸水と食酢」58.8% (77人)、③「水酸化ナトリウム水溶液とアンモニア水」38.2% (50人)であったが、同時に約3割の学生が「ウ.わからない」を選択し回答していた。さらに、異なる液性の2種類の水溶液を混合後の生成物に関する正答の割合では、正答である「ア.できる」を選択したのは、④「塩酸と水酸化ナトリウム水溶液」58.8% (77人)、⑤「食酢と水酸化ナトリウム水溶液」34.4% (45人)、⑥「塩酸とアンモニア水」37.4% (49人)であり、6割弱の学生が、中和を想起しやすい④「塩酸と水酸化ナトリウム水溶液」について、科学的に正しい認識を保持していたことが調査結果から示された。一方、設問⑤と設問⑥では「ウ.わからない」を選択した学生が正答を選択する学生と同程度いることが結果から示された。

これらの結果から、3割から半数程度の学生は、異なる液性の水溶液を混合することで、中和反応により、生成物ができることは認識しているが、微視的な部分である「酸性の水溶液中の H^+ とアルカリ性の水溶液中の OH^- の物質量が等しいときに中性になる」という命題や、その説明に必要な水溶液の濃度概念に関する理解が不十分であることが調査結果から示された。また、②「炭酸水+食酢」・③「水酸化ナトリウム水溶液+アンモニア水」・④「塩酸+水酸化ナトリウム水溶液」のように各液性の典型事例の混合については、約6割程度の学生が中学校の理科学習での既習事項をもとに回答していることが推測できた。

3. 各水溶液の共通する性質 (質問3)

質問3は、「酸と塩基に関する巨視的性質、微視的性質」を問う設問であり、この設問では学生に、酸性とアルカリ性の各水溶液に共通する巨視的性質(味、におい、見た目等)、液性を同定するための指示薬とその変化、これら以外で共通する性質についての回答を求めた。中学校第3学年理科の文部科学省検定済教科書(計5社)では、酸性、アルカリ性の各水溶液に共通する性質を表9のように記載している。また、水溶液の液性を同定するための指示薬については、中学校理科では「リトマス紙」、「BTB溶液」、「フェノールフタレイン溶液」、「ムラサキキャベツ液」、「pH試験紙」を、また、高等学校化学で「メチルオレンジ」、「メチルレッド」を取り扱っている。そのため、質問3

表9 酸性、アルカリ性の水溶液に共通する性質 (中学校の文部科学省検定済理科教科書(計5社))

酸性の水溶液に共通する性質	アルカリ性の水溶液に共通する性質
① 青色リトマス紙を、赤色に変化させる。	① 赤色リトマス紙を、青色に変化させる。
② 緑色のBTB溶液を、黄色に変化させる。	② 緑色のBTB溶液を、青色に変化させる。
③ 電解質の水溶液である。	③ 電解質の水溶液である。
④ マグネシウムリボンを入れると、水素が発生する。	④ マグネシウムリボンを入れると、水素が発生しない。
⑤ pH試験紙につけると、黄色～赤色になる。	⑤ pH試験紙につけると、青色になる。
	⑥ フェノールフタレイン溶液を、赤色に変える。

の学生の回答には、これらの指示薬の名称や色の変化についても記載があることが想定し、設問を作成した。

質問3の回答内容について、巨視的性質に関する回答の集計結果を図2に、指示薬に関する回答の集計結果を図3に、巨視的性質と指示薬に関する回答以外の共通する性質について言及した回答の集計結果を図4に示す（質問3では、1人の学生が複数回答をしているので、延べ人数で示す）。

図2に示したように、酸性やアルカリ性の各水溶液の巨視的性質について説明している学生の人数（割合）は、酸性の水溶液では、「すっぱい（男41）」に代表される「酸味」113人（86.3%）と「つんとしたにおい（男19）」に代表される「刺激臭」57人（43.5%）を酸性の水溶液に共通する性質として言及する学生が、その他の巨視的性質と比較して多かった。また、アルカリ性の水溶液では「にがい（女37）」に代表される「苦味」22人（16.8%）と「刺激臭のものが多い（男54）」に代表される「刺激臭」32人（24.4%）をアルカリ性の水溶液に共通する性質として学生は言及していた。しかし、アルカリ性の水溶液に関しては、「わからない（無記入）」と回答する学生が酸性の水溶液と比較すると多く（酸性：5人（3.8%）、アルカリ性：35人（26.7%））、これらの結果から、これまでの日常経験や学習履歴において、酸性の水溶液のほうが、アルカリ性の水溶液よりもエピソードやイメージとして想起しやすい「味」、「におい」をもとに共通性質として水溶液の液性の理解の手助けとなっていることが理解できた。

また、酸性とアルカリ性の各水溶液において共通する性質として、液性を同定するための指示薬について言及した学生の人数（割合）は、図3に示したように、「リトマス紙」が最も多く（酸性：124人（94.7%）、アルカリ性：122人（93.1%））、次いで「BTB溶液」（酸性：38人（29.0%）、アルカリ性：35人（26.7%））、アルカリ性の水溶液を同定することができるフェノールフタレイン（酸性：4人（3.1%）、アルカリ性：34人（26.0%））、酸性と回答した学生は科学的に誤った理解をしている）となっており、中学校までの理科学習で用

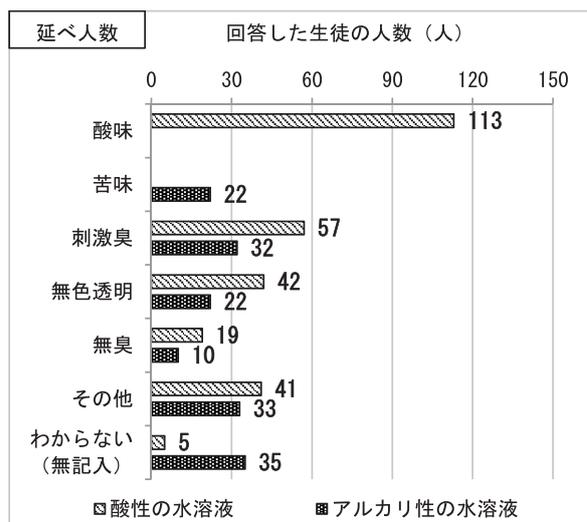


図2 巨視的な性質に関する回答の集計結果

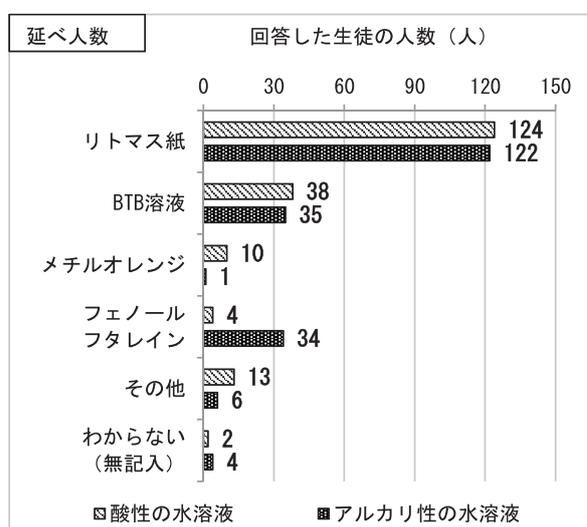


図3 指示薬に関する回答の集計結果

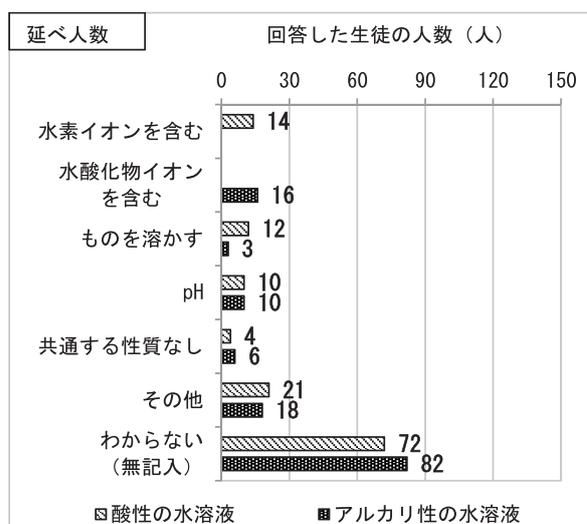


図4 共通する性質に関する回答の集計結果（上記以外）

いる指示薬を回答していた。ここで、約9割の学生がリトマス紙を用いることで水溶液の液性を同定できると回答していたことは注目に値する。リトマス紙は、水溶液の液性の同定のために小学校理科でも取り扱うものだが、その同定の精度には限界があるため、中学校理科の段階でもBTB溶液やpH試験紙が用いられている。このことから、学生は一番簡便な方法で液性を同定することができる、あるいは、観察・実験を通して、指示薬やその液性による色の変化をエピソードとして、保持する必要性をあまり認識していなかったと推測することができた。

そして、図4に示したように、各水溶液に共通する巨視的性質や指示薬の変化以外で共通する性質として、1割程度の学生が「イオン」（酸性：「水素イオンを含む」14人（10.7%）、アルカリ性：「水酸化物イオンを含む」16人（12.2%））や「pH」（酸性とアルカリ性：ともに10人（7.6%））について言及するのみであり、約6割の学生が「わからない（無記入）」（酸性：72人（55.0%）、アルカリ性：82人（62.6%））と回答していたことが結果として示された。その他の共通する性質として「電解質の水溶液であること」に関する言及も期待したが、電解質の水溶液であることに言及した学生は、酸性とアルカリ性の水溶液ともに2人（1.5%）だけにとどまっており、中学校理科で学習する「水溶液とイオン」、「酸・アルカリとイオン」に関する理解が不十分であることが調査から明らかとなった。

4. 酸とアルカリの概念規定（質問4）

質問4は、「酸と塩基に関する巨視的性質、微視的性質」を問う設問であり、この設問では学生に、「酸やアルカリ（塩基）とは、どのようなものであるか」という概念規定についての回答を求めた。酸とアルカリ（塩基）については、現行の学習指導要領において、中学校理科では「アレーニウスの定義」を基に概念規定され、また、高等学校化学基礎では「アレーニウスの定義」に加えて「ブレンステッド・ローリーの定義」によって概念規定されている（これらについては、表10で示す）。

表10 酸とアルカリ（塩基）に関する概念定義（第一学習社，2016）

アレーニウスの定義	ブレンステッド・ローリーの定義
酸：水溶液中で電離して、水素イオン H^+ (H_3O^+) を生じる物質	酸：相手に H^+ （陽子）を与える物質
塩基：水溶液中で電離して、水酸化物イオン OH^- を生じる物質	塩基：相手から H^+ （陽子）を受け取る物質

質問4の回答内容についての集計結果を図5に示す（質問4も1人の学生が複数回答をしているので、質問3と同様に、集計結果は延べ人数で示す）。ここでは、「酸とアルカリ（塩基）とは、どのようなものであるか」について、どのようなことを用いて説明したかに着目し、学生の回答を分類した。その結果、「アレーニウスの定義」を用いて説明した学生が最も多く（酸：69人（52.7%）、アルカリ：62人（47.3%））、より微視的性質に着目した「ブレンステッド・ローリーの定義」を用いて説明した学生はごくわずかしかなかった（酸：6人（4.6%）、アルカリ：5人（3.8%））。しかし、これは質問紙調査作問の際の設問設定の

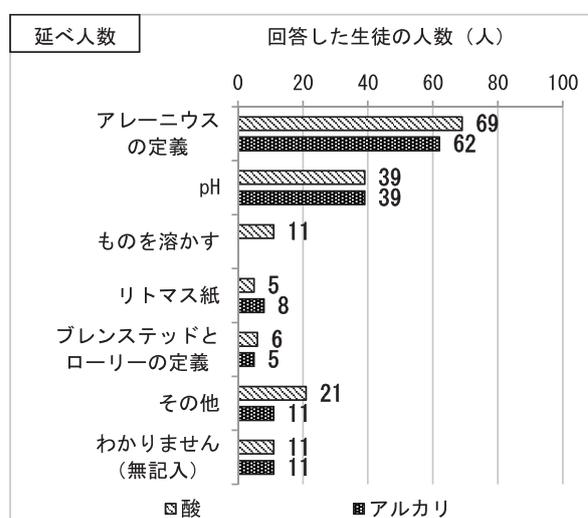


図5 酸とアルカリの概念規定に関する集計結果

不備（「塩基」ではなく、「アルカリ」という用語を用いた）のために、「ブレンステッド・ローリーの定義」により説明の必要がないと学生が解釈して回答した可能性もあると考えられる。また、「pH」を用いて説明した学生は約3割（酸，アルカリともに39人（29.8%））であった。「pH」を用いた学生の「酸とアルカリ（塩基）」に関する説明の記述内容では，酸とアルカリ（塩基）の微視的性質について「pH」を用いた説明しようとして試みていたのではなく，巨視的性質を説明するという意味で液性の強さの指標である「pH」を理解していたことが読み取れた。

5. 酸とアルカリの強弱（質問5）

質問4は、「酸と塩基の強弱」と「pH」を問う設問であり，この設問では学生に，「酸とアルカリの強さの違い」についての回答を求めた。「酸とアルカリの強さの違い」についての説明は，高等学校化学基礎で学習する「電離度」の違いによるものが，学生の回答としては科学的に適切であると考えられる（ただし，一部の学生は未履修のため，このことに言及できない可能性がある）。「電離度」の違いを「酸とアルカリの強さの違い」の説明に用いると，「酸（塩基）が水溶液中でほぼ完全に電離して，電離度1に近い酸（塩基）を強酸（強塩基），一部しか電離せず，電離度が小さい酸（塩基）を弱酸（弱塩基）となる（第一学習社，2016）」という電離度の理解を説明に用いて，酸やアルカリ（塩基）の強弱に言及すると考えられる。

$$\text{電離度 } \alpha = \frac{\text{電離した酸（塩基）の物質質量 [mol]}}{\text{溶解した酸（塩基）の物質質量 [mol]}}$$

質問5の回答内容についての集計結果を図6に，学生の回答例を表11に，それぞれ示す（質問5も1人の学生が複数回答をしているので，質問3・4と同様に，集計結果は延べ人数で示す）。ここでは，「酸とアルカリ（塩基）の強さの違い」について，どのような根拠を用いて説明したかに着目し，学生の回答を分類した。その結果，「pHの数値」を用いて説明した学生が最も多く（45人（34.4%）），「電離度」を用いて説明した学生は2

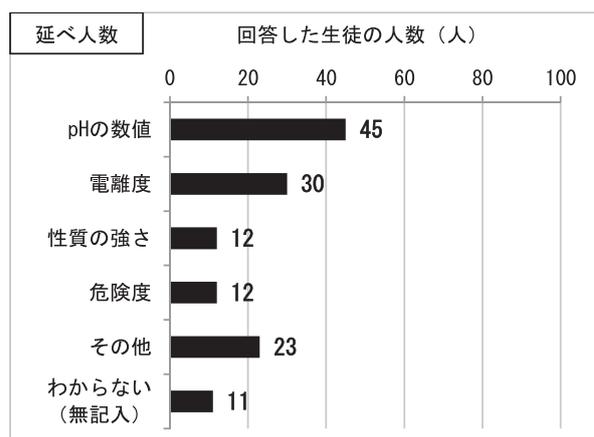


図6 酸とアルカリの強弱についての集計結果

表11 酸とアルカリの強弱についての学生の回答例

分類項目	学生の回答内容（一部）
pHの数値	<ul style="list-style-type: none"> ● 酸 pH値が0に近いと強酸、7に（中性）に近いと弱酸になる。アルカリ pH値が14に近いと強アルカリ、7（中性）に近いと弱アルカリになる。（女10） ● pHの数字の値ごとで区切られている。（？）（女28）
電離度	<ul style="list-style-type: none"> ● 電離度 α が強酸，強塩基のときは限りなく1に近く，弱酸，弱塩基は $\alpha \ll 1$ となっている（男43） ● 電離度によって強弱が決まる。（女43）
性質の強さ	<ul style="list-style-type: none"> ● 物をとく強さ。（女39） ● 性質が強いかわい（女70）
危険度	<ul style="list-style-type: none"> ● 毒性がより強いのが強酸や強アルカリ（男2） ● 強酸は危険なものが多く，弱酸は危険性は低くなる。アルカリも同じで，強いほど危険性が増す。（男7）
その他	<ul style="list-style-type: none"> ● 強酸は塩酸のなどで弱酸は酢酸などが挙げられる（男31） ● K Ca Na Mg Al Zn Fe Ni Sn Pb Hg Ag というイオン化傾向に影響されるものである。（あまり覚えていません）（女14）

割程度 (30人 (22.9%)) に留まった。このように、中学校理科でも学習する「液性の強さの指標」であるpHの数値のほうが電離度を用いた説明よりも、学生にとっては説明しやすいものとなっていた。上記の根拠以外での説明では、トートロジー的な「性質の強さ」や日常生活等に由来する「危険度」を根拠に説明する学生がともに1割程度 (12人 (9.2%)) 存在した。その他にも、「中和」(8人 (6.1%)) や「濃度」(7人 (5.3%)) を根拠とし、性質の強さの違いを説明する学生も存在した。

この設問の回答からは、学生は酸とアルカリ (塩基) の強弱の違いを示す根拠としての「電離度」と液性の強さの指標である「pH」の2つを混同して理解していることが推測できた。

IV 結語

本認識調査の結果から、約8割の小学校教員志望学生が高等学校において化学の基本的な科目を履修しているが、酸とアルカリ (塩基) の理解は十分とはいえない状況にあることが明らかとなった。

液性 (質問1) に関する回答の結果では、「水酸化ナトリウム」といった水溶液の溶質自体に液性が存在していると回答した学生が8割以上 (86.3%, 119人) もおり、学生においては、日常生活や理科学習の中で、ある水溶液 (例: 水酸化ナトリウム水溶液) とその溶質 (例; 水酸化ナトリウム) の語句を明確に区別するのではなく混同していることが推察できた。このことは、将来教壇に立ち、実際に理科の学習活動を指導・支援するまでには、再度、理解し直すべきことであるといえる。

また、中和と塩 (質問2) に関する回答の結果では、異なる液性の水溶液を混合した際に、生成物である「塩」が生じることに言及できた学生は約4割 (43.0%, 56人) に留まり、さらに「2つの水溶液の濃度が不明であるゆえに、混合後の液性を言及できない」ことを指摘した学生はごく僅か (3.8%, 5人) であったことが示された。この結果から、学生は中和 (性質を異なる性質をもった水溶液を加えることで、もともとの水溶液の性質が相殺され、打ち消しあうこと) については少なからず認識できているが、水溶液の電離等の微視的性質、つまり H^+ と OH^- のようなイオンと中和の関係については、更なる理解が必要な状況であるといえる。

そして、酸とアルカリの強弱 (質問5) に関する回答の結果からは、その説明に際して、電離度を根拠にしている学生は2割程度 (22.9%, 30人) しかおらず、中学校理科でも学習する「液性の強さの指標」であるpHの数値による説明 (34.4%, 45人) のほうが、電離度よりも説明しやすいものとなっていることが明らかになった。このことは、先行研究での指摘、例えば、Cetingul and Gebanによる「生徒が強酸はより濃縮されており、弱酸と比較してよりpHが高いと信じていたことがわかった。」やLin et alの「生徒は強さと濃度、電離、解離、ときどきpHが混同していることがわかった。これらの生徒にとって、弱酸 (あるいは塩基) は少しの危険をもたらすが、どんなに希薄しても強酸は危険である。」¹³⁾と同様に、学生も酸や塩基の強弱の根拠となる「電離度」と液性の強さの指標である「pH」が混同していることが改めて理解できる結果となった。

本研究の調査において、低い認識状態であることが示された水溶液の「液性」や「中和と塩」、「液性の強さ」は、どれも中学校理科の学習内容である (ただし、中学校理科で学習する科学的概念だけでは、それぞれの根拠を示し説明することが難しいものもある)。今後は、小学校教員養成課程に在籍する学生の水溶液に関する概念の再構築を促すための指導方策の検討と、その実践と有効性を実証する必要がある。これらについて、今後の課題としていきたい。

附記

本研究はJSPS 科研費16K04675, 17K01024, 17K12932の助成を受けたものである。

引用文献

- 1) 文部科学省 (2008) : 『小学校学習指導要領解説 理科編』, 大日本図書, pp. 67-68
- 2) 文部科学省 (2008) : 『中学校学習指導要領解説 理科編』, 大日本図書, pp. 57-62
- 3) 文部科学省 (2009) : 『高等学校学習指導要領 理科編 理数編』, 実教出版, pp. 56-58
- 4) Hanqing,P. &Laura,H. (2015) : Students' Alternate Conceptions on Acids and Bases, *School Science and Mathematics*, 115 (9), pp.237-243
- 5) 岡博昭・井野口弘治 (1998) : 「気体と酸の認識に関する発達過程－酸性雨の学習を効果的に行うため－」, 大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎 研究集録, 40, pp. 1-27
- 6) 山田佳那・松村佳子 (2006) : 「理科実験中に起こる事故と生徒の安全認識」, 奈良教育大学教育実践総合センター研究紀要, 15, pp. 61-70
- 7) 有馬朗人ら (ほか56名) (2011) : 『理科の世界 3年』, 大日本図書, pp. 162-182
- 8) 細矢治夫ら (ほか25名) (2011) : 『自然探究 中学校理科3』, 教育出版, pp. 20-30
- 9) 岡村定矩ら (ほか49名) (2011) : 『新しい科学 3年』, 東京書籍, pp. 30-47
- 10) 霜田光一ら (ほか29名) (2011) : 『中学校 科学3』, 学校図書, pp. 88-103
- 11) 吉川弘之ら (ほか57名) (2011) : 『未来へひろがる サイエンス3』, 啓林館, pp. 96-116
- 12) 山内薫ら (ほか22名) (2016) : 『高等学校 改訂 化学基礎』, 第一学習社, pp. 124-129
- 13) 前掲書4)