

「水」を素材とした理科の学習文脈 (化学領域)

— 化学事象や自然事象における水の役割 —

網 本 貴 一*

(2015年12月7日受理)

Learning Context in Chemical Education Using “Water” in Chemical and Natural Events

Kiichi AMIMOTO

Abstract. This paper describes basic researches on learning contexts of “water” in chemical education. First, the features of “water” as teaching materials were discussed. Second, some previous efforts for the context-based learning of “water” in foreign and domestic cases were summarized. And third, two examples for the learning contexts of “water” were proposed on the basis of some lesson practices.

1. はじめに

理科の学習では、自然科学の概念や法則等に関する知識を生徒が獲得し、自然の事物・現象を科学的に捉える能力と態度を養う過程を通じて、生徒の科学的な自然観を形成させるとともに、科学および科学技術の更なる進展に貢献したりそれらの成果と日常生活や社会との関連を正しく認識したりすることのできる社会人を育成することが重要である。ここで、系統学習 (Systematic learning) が広く行われている。系統学習とは、学習する内容を段階的に配列して生徒に順序立てて学ばせる学習形態をいう。理科における系統学習では、自然科学の学問体系に沿って学習内容が展開されるので、理科における基礎概念や原理・法則を網羅的に学習することができるとともに、自然科学の知識基盤が階層的かつ論理的に構築されているすがたを生徒が認識することにもつながる。従って、科学および科学技術の基盤となる自然科学の学問体系の着実な理解を目標の一つとする理科の学習において、系統学習には一定のメリットが存在する。

一方で、理科の学習において目指されるべきもう一つの目標である、獲得した知識を元に自然の

事物・現象を科学的に捉えたり、科学および科学技術の成果と日常生活や社会との関連を生徒が理解したりすることができる科学的な能力 (思考力や判断力) の育成のために、生徒が主体的に理科の学習に取り組むための学習形態が提案されている。探究活動 (Inquiry-based learning: IBL) は、観察・実験などによって探究する過程を通じ、科学的な知識や方法を習得させようとする学習形態である。問題解決学習 (Problem-based learning: PBL) では、生徒が日常生活の中から自ら問題を発見して探究的に解決する過程を通じて、概念や法則の理解と科学的な能力の習得をめざす。発見学習 (Discovery learning) も PBL と同様、設定された問題を生徒が探究的に取り組む過程を含むが、その結果から科学的な事実や法則を発見的に見いださせようとする。このような学習活動では、生徒自らの興味・関心に基づいて学習の目標や目標達成のプロセスを設定するため、生徒の主体的な学びを促すことができるとともに、関連する科学知識や問題解決による達成感・自己有能感を獲得させるのに有効である。しかしながら、個々の問題設定に対応する教師側の負担が大きいことや、

*自然システム教育学講座

生徒の限られた興味や知識の範囲での探究活動となることで広範かつ系統的な知識や技能が習得されにくいなどの問題点はもはらんでいる。

このような中、素材やテーマをある文脈で提示し、関連する科学知識や技能を獲得させながら、日常生活や社会との関連を意識させる文脈学習 (Context-based learning) が注目されている。このような学習形態では、提示された素材やテーマの枠組みの中で習得すべき科学的 content や到達目標を生徒に明示でき、生徒による自発的な探究活動にも教師側はある程度の子測を持って対応することが可能になる。すなわち、文脈学習は、提示された素材やテーマの中で生徒に獲得させたい知識や技能を習得させる系統学習のメリットを残しながら、生徒による探究活動を通じて培われる科学的な能力の育成をも目指すことができる学習形態であると言える。さらに、提示される学習文脈 (Learning context) に応じて、習得すべき科学的知識や技能、他分野との関連性は多様であり、複数の学習文脈を準備することでさまざまな学習の展開や場面を設定することが可能となる。

本研究の目的は、理科のあらゆる場面で普遍的に見いだされる素材やテーマを用いた学習文脈の新たな可能性を、実践可能な学習展開例とともに提示することである。その際、物理・化学・生物・地学のそれぞれの領域のみに留まらず、理科全体の繋がりや科学および科学技術との関連を生徒にできるだけ意識させる学習展開をめざしている。このような目的のもと、我々の生活や自然の中に見いだされる「水」を共通の素材としたとき、物理・化学・生物・地学の四領域でどのような学習文脈が展開できるかについて、自然システム教育学講座の梅田 (物理)・網本 (化学)・富川 (生物)・吉富 (地学) の四人が議論を行ってきた。本稿では、まず素材としての水の特徴を概説した後、化学領域における水に関する学習文脈の先行例を整理する。その内容を踏まえて、化学領域における水を用いた学習文脈の新たな可能性を、いくつかの実践結果をもとに議論する。

2. 素材としての「水」の特徴

水の特徴はさまざまな観点から整理することができると考えられるが、本稿では以下に述べる三つの観点で水の特徴を整理した。

2.1 水の構造や性質に関する特徴

物質の構造や変化と性質を取り扱う化学では、水の構造と性質の多くが学習内容として取り上げられると同時に、そのことが身のまわりの事物・現象にどのように関わっているかについて言及される。構造の点からは、水は水素結合によるクラスター構造をとっているため、隙間の多い構造をしていることを学ぶ。このため、一般の物質では固相の方がより密に凝集するため液相よりも密度が大きいのに対し、例外的に水の方が水より密度が小さくなる。水に電解質を加えて溶解させると、電解質が水和されることで水分子間の距離が近づいて、多くの場合水溶液の体積は収縮する。水はその隙間に気体を取り込めるので、他の溶媒に比べて気体の溶解度が比較的大きい。このことは溶存酸素を必要とする水生生物の生息とも深く関係する。また、熱やエネルギー、圧力などに関する物理の概念を導入する素材としても、水は格好の素材となる。水は他の物質より比熱が大きいため、熱浴として利用される。水の蒸発熱がかなり大きいので、水が蒸発する際に水と接する外界から熱を大きく奪う。このことは、打ち水による温度低下や発汗による体温調節に関係する。静止流体の圧力や物体が受ける浮力についても、水がその導入素材として用いられている。水は比誘電率が最大の極性物質であることは、多くの無機塩や水素結合性物質を溶かす優れた溶媒であることや、プロトン受容体として高いプロトン移動度を示すこと、マイクロ波照射による誘電損失によって効果的に加熱されることなど、材料としての特性に深く関係する。さらに、水はさまざまな反応性を示す。水の電気分解によって酸素と水素を生じる反応は化学的性質によって化合物が構成元素の単体に分けることができることの実例として、燃焼によって水を生じる反応は化合や酸化を導入するための反応として、中学校理科の中でそれぞれ用いられる。

2.2 自然や生体との関連における水の特徴

水は、気象現象や大地の形成など、地球環境で起こる自然事象に深く関係している。生命を育む環境が地球上に整ったことは、水の温室効果によって気温が生命の生育に適した温度となったことや、水に対する二酸化炭素の溶解平衡によって

大気組成が一定に保たれたことによるところが大きい。光合成によって大気中に酸素が供給されたことも生物が繁栄できた理由の一つであり、この酸素は光化学系IIで水が酸化されることによって生じている。生体を構成する物質の中で最も多く存在しているのが水であり、細胞内液として体内環境を一定に整える、細胞外液として栄養や老廃物を運ぶ、細胞外マトリクスとしてムコ多糖とゲル化し軟骨や硝子体などを構成する、発汗によって体温を調節するなど、生命体の維持に深く関わっている。

2.3 日常生活における水の位置づけ

純物質としての水は、その状態の違いから氷・水・水蒸気を呼称され、物質の三態を捉える上で最も身近な物質である。人間の使用目的によって、水は生活用水・工業用水・農業用水・飲料水・上下水などとも呼ばれ、人間の営みとも容易に関連づけられる。我々の周りに存在する水は、ほとんどの場合純粋な水ではなく、何らかの溶質を溶かし込んだ水溶液であることから、水溶液の性質に関する学習の導入素材として活用できる。また、大気圧における水の融点と沸点が摂氏温度における0～100℃の温度指標であること、質量は水1ℓの質量が1kgとして定義されたこと、水1gを1℃温度上昇させるのに必要な熱量としてcalが定義されたことなどの歴史的背景を踏まえると、水は我々の生活に根ざした単位の基準物質としての側面をも担っていることが伺える。

以上のとおり、水は、化学のみならず物理・生物・地学の各領域においても重要な物質として取り上げることが可能であり、自然や日常生活の中の営みとも深く関連していることから、理科における領域横断的な学習文脈を構築するのにふさわしい素材の一つとして位置づけることができる。

3. 化学領域における「水」の学習文脈の例

水を素材とした新たな学習文脈を考えるにあたって、これまでに提案されている水の学習文脈の先行例を概観する。

3.1 諸外国における取り組み

学習文脈の素材として水を取りあげた先駆的な例として、アメリカ化学会により編まれた

“Chemistry in the Community: (ChemCom)”が挙げられる。Chemistry in the Communityはアメリカ市民が化学に対する理解を生活に身近な視点で捉えるための高校生に対するカリキュラムとして、1988年に第1版が出版された。1993年に出版された第2版は、大木らによって翻訳され、「ケムコム—社会に生きる化学—」として日本国内でも上梓された¹⁾。2011年に出版された第6版がアメリカにおける高等学校教科書として現在使用されている²⁾。このカリキュラムで興味深いことは、化学の知識に関する学習を内包しながら、科学および科学技術の諸問題を提示して市民としての判断力を問いかける構成としている点である。その際の素材として、物質・空気・石油・工業・原子・食品などに並んで、水が取り上げられている。例えば、ケムコムでは、「第1部 水の供給」として、魚の大量死に関する話題を導入にして、水の物理的性質や水溶液に関する学習内容を展開させた後、実社会における水の汚染の原因やその処理へと話題を進め、生徒自身の水質調査の結果も合わせて水の汚染に対する解決策を問う流れとなっている。最新版である第六版では、“UNIT 4 Water: Exploring Solutions”として、水の由来と性質、水溶液の濃度や溶質、酸塩基反応に関する学習を行った後、水の浄化や飲料水としての処理へと話題を進めている。随所に、物質の探究 (“Investigating Matter”)・技能を身につける (“Developing Skills”)・モデル化する (“Modelling Matter”)・判断を問う (“Making Decisions”)などの小項目が設けられていて、情報を与えて探究の方法を身につけさせた後、生徒が自ら考えて判断し行動するという立場を貫いていることが、特徴的である。

同じアメリカ化学会による文脈学習カリキュラムとして、“Chemistry in Context: Applying Chemistry to Society”が挙げられる。2014年に刊行された第8版が最新であり³⁾、廣瀬によってその日本語訳もつい最近上梓された⁴⁾。現代社会におけるさまざまな科学的話題を取り上げて、それぞれのUNITの中で化学の内容を概説した後、社会と科学技術にまたがる課題を認識した上で、適切な判断を下せる社会人を育成しようとしている思想は、先のChemistry in the Communityと同じである。Chemistry in the Communityが高等学校におけるカリキュラムの一つであったのに対し、

Chemistry in Context は科学を専攻しない文科系学生も含めた大学カリキュラムとして提案されたものである点が異なっている。また、ここで用いられている素材は、Chemistry in the Community においては物質・空気・石油・水・工業・原子・食品の7つであったのに対し、空気・オゾン層・気候変動・エネルギー・水・酸性雨・核・電子移動・プラスチック・医薬品・食品・遺伝子操作の12件についてであり、大学生が持つ既有知識と実社会に即した問題意識に沿って多様な学習展開されるように配慮されたカリキュラムになっている。特に水に関する章では、飲料水の安全性に関する話題から入って、水の特性と水への溶解に関する知識を学習した後、安全な水を供給するための方法と技術に関する話題へと展開されている。この学習文脈の中で、極性や比熱、水の硬度や逆浸透、不純物の分析手法など、大学基礎化学に関する内容に加えて、水の安全を守るための法規制なども取り扱われており、Chemistry in the Community よりも一般市民としての教養をより意識した学習文脈となっている。

ヨーク大学の科学教育グループによって開発され、イギリスの後期中等化学教育において現在採用されている Salters Advanced Chemistry も、文脈に基づいたアプローチによって構成されている⁵⁾。1991年に導入され、第3版までは学習文脈を記載した Chemical Storylines と関連する科学知識を取り扱う Chemical Ideas の2冊を併用されていたが、2015年に刊行された第4版では両者が統合され1冊で学習が進められるようになった。水を素材として取り入れた文脈は、イギリス後期中等教育の前半に当たる AS レベルの化学において、“Elements from the sea” の中で海洋水の構成や水の精製技術、また“The Atmosphere” の中で水が地球環境に及ぼす効果に言及する記述が、それぞれ見られる。

3.2 日本における取り組み

日本の高等学校理科においても、化学の知識・理解を体系的・系統的に取り扱うカリキュラムと一線を画す、身の回りの物質を中心に扱いながら関連する化学内容を習得させるカリキュラムもかつて実施され、その中で水を素材にした単元が採用されたことがあった。

昭和26年中学校・高等学校学習指導要領理科編（試案）改訂版において、高等学校化学の単元とその展開例に、「単元Ⅰ 水や水溶液にはどんな特性があるか」として、水と水溶液の性質、酸塩基の反応、水の分解による酸素・水素の生成、海水からの文脈で塩素とナトリウムの化合物へと展開させた学習文脈が提案された。昭和31年度改訂版高等学校学習指導要領理科編では、3単位および4単位の理科化学が設置された。その両方において、生活に関係の深い物質として水を最初に取り上げて、飲料水・軟水・硬水・海水との関連で、生活に関する問題の科学的処理の基礎となる事実・概念・法則等を学習することが示された。ところが、昭和35年10月施行の高等学校学習指導要領で、化学は化学Aと化学Bの2科目となり、これまでの身のまわりの物質を中心に据えたカリキュラムから化学に関する系統学習カリキュラムへと大きく変更された。そして引き続き高等学校学習指導要領（昭和45年10月改訂・昭和48年4月施行）では化学Ⅰと化学Ⅱと科目名称が変わり、高等学校学習指導要領（昭和53年改訂・昭和57年4月施行）では2科目が統合されて化学の1科目となったが、系統学習カリキュラムが引き継がれた。その状況が一寸変化したが、平成元年3月改訂・平成6年4月施行の高等学校学習指導要領においてであった。この改訂で化学は化学ⅠA、化学ⅠB および化学Ⅱの3科目となり、化学ⅠBと化学Ⅱが従来の系統学習カリキュラムに基づいて化学に関する基本的な概念や原理・法則を理解させることを目標としたのに対し、化学ⅠAは日常生活と関係の深い化学的な事象・現象を通して、その事象・現象や化学の応用を理解するとともに、科学技術の進歩と人間生活とのかかわりについて認識させることが目標とされた。つまり、系統学習カリキュラムとしての化学ⅠB および化学Ⅱと、素材探究型カリキュラムとしての化学ⅠA が併存した。そして化学ⅠAの素材として水が改めて取り上げられ、地球における水の分布と循環から始まって、水を使って物質の三態や密度・比熱の概念、水溶液を使って溶解のしくみや溶解度、酸塩基と中和の概念を導入する学習文脈が登場した⁶⁾。しかしながら、理系を選択した多くの高校生は化学ⅠBと化学Ⅱを選択履修し、化学ⅠAは大学進学を必要としない高校生向けに用意された科目で

あった。さらに、平成11年3月改正・平成15年4月施行、平成19年3月改正、そして現行（平成21年3月告示）の高等学校学習指導要領では、系統学習カリキュラムに回帰して、現在に至っている。

3.3 「水」を素材にした学習文脈の現状と課題

3.1および3.2で述べた諸外国および日本における取り組みから、水を素材にした学習文脈の現状と課題に関して、以下の視座を得ることができる。(1)日本においては、昭和26年から昭和35年までの10年程度の間素材を元に化学的内容を習得させるカリキュラムが行われていたのに対し、平成6年から15年までの10年間に化学IAとして文脈学習カリキュラムが試みられた時期はあったものの、昭和35年頃から現在に至るまで、主として系統学習カリキュラムによって化学内容の授業が行われている。他方、アメリカやイギリスでは、1980年代後半から現在に至るまで、文脈学習カリキュラムに基づいた化学の学習展開が中等教育から大学基礎教育にわたって試みられている。磯崎と内海は、Salters Advanced Chemistryに見られるカリキュラムの特徴を明らかにするとともに、社会や生活との関連において化学を捉えるうえで文脈に基づいたアプローチが有効であると述べている^{7,8)}。このような文脈学習カリキュラムの発展と有効性を踏まえ、我が国の系統学習カリキュラムの実情に即して再構成した学習の提案と実践的研究が望まれる。

(2)水を素材とする既存の学習文脈は、ケムコム等にみられる水資源に関する話題、Chemistry in Context等に記載されている飲料水の供給、そして、Salters Advanced Chemistryや化学IAで取りあげられた地球環境との関連の、およそ3つに類型化される。いずれの学習文脈も、水の状態変化や水溶液の性質、水の分析や浄化に関する内容をもとに、理科と日常生活や社会との関係を生徒に探究させる学習活動として興味深い。一方で、そのような文脈とは異なる観点から、水の持つさまざまな特徴を生かして、水が関与する複合的な化学事象を読み解いたり、他の領域との関連で水の特性を議論したりする新たな学習文脈の余地も残されていると考えられる。

4. 化学領域における「水」の学習文脈の実践例

化学領域における学習内容は、二つの視点から捉えることができる⁹⁾。一つは、物質の構造と変化に関わる基礎概念の習得に関する学習内容である。具体的に、物質の構造については構成粒子としての原子・分子・イオンと化学結合、物質の変化については状態変化・量的関係・酸塩基反応・酸化還元・エネルギー（熱化学）・速度論・平衡論が含まれる。このような化学の基礎概念を学ぶときに、水という素材を活用する学習文脈が考えられる。もう一つは、物質の性質に関する学習内容であり、具体的には無機物質や有機化合物、高分子化合物の性質や反応性について取り扱う。この際に水を素材として用いると、物質としての水の性質を探究する過程を通じて、既習事項である物質の構造と変化に関する内容を定着させる学習活動が提案できる。

3.3で述べた視座を踏まえ、上で述べた2つの視点から、水を素材とする学習文脈を提案し、筆者が高等学校への訪問授業における探究活動や本学教育学部自然系コースの講義・実習の中での実践結果を踏まえて、その具体を議論する。

4.1 化学の基礎概念の習得に「水」を用いる学習文脈の例

この目的で水を素材として用いる学習活動には、水の三態や溶解度、水溶液の性質、水溶液の反応に関連して酸塩基反応から酸化還元反応・電気分解に至るまで、さまざまなものが実践されている。なかでも、水の三態については体積変化を目視で観察する実験が小学校段階からよく行われており、気象などと関連させた学習文脈も取り扱われている。しかしながら、物質の状態変化の基礎として重要な概念である状態図や気液平衡に関して水や水蒸気を用いる学習活動であったり、気象など地球環境に関する学習文脈と異なる内容で取り扱っていたりするのは、多くない。そのような中、吸引ろ過などの実験操作の中で減圧状態を簡便に実現できる水流アスピレーターを用いると、「減圧状態を作って、その圧力を測定する」という学習文脈に沿って、水の気液平衡と蒸気圧曲線に関する演示実験や探究活動を行うことができる。この活動の詳細について、筆者が自然系コース2年生に対して実施している実践例を述べる。

図1に本実験で用いる装置の概略を示す。循環式水流アスピレーターに水銀柱圧力計を接続した後、アスピレーターを稼働させ、水銀柱圧力計の液柱差を読み取る。アスピレーターによって空気が排出されることで、アスピレーターから水銀柱圧力計に至るゴム管内の圧力は次第に減圧されるが、ある圧力値より下がらなくなる。これは循環水と気液平衡にある系内の水蒸気による圧力に基づくもので、水銀柱圧力計が示す圧力はその温度における飽和水蒸気圧に相当する。アスピレーターの循環水の温度を0～40℃程度の範囲で変化させながら飽和水蒸気圧を測定すると、およそ7～60 mmHg程度の値が得られる。横軸に水の温度、縦軸に飽和蒸気圧をプロットすることで、水に関する蒸気圧曲線を簡便に描くことができる(図2)。



図1. 水流アスピレーターを用いた水の飽和蒸気圧の測定装置の写真。水流アスピレーターの水温が17℃のとき、水の飽和蒸気圧は16 mmHgであることを示している。

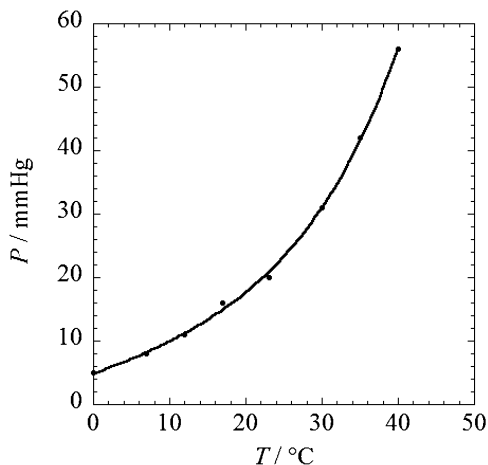


図2. 水流アスピレーターを用いて測定した水の蒸気圧曲線。

この演示実験では、水銀柱圧力計によって減圧度が測定できる原理や、細くなった流路に勢いよく水を流すとその周りの圧力が減圧されるという水流アスピレーターの原理について解説する必要がある。そこで、トリチェリーの真空や流体力学など、物理の学習内容とも一部関連させることになる。アスピレーターによる排気が続いてもある時点から圧力が変化しなくなることから、生徒は多くの場合装置のリークをまず疑う。水流アスピレーターの循環水に水を加えて水温を下げると水銀柱の液柱差が有意に小さくなることから、水の温度によって測定される圧力が変化することに着目させる。そして、水銀柱圧力計はゴム管を経て水と接しているという装置の構成に触れ、この実験では1成分2相系の気液平衡の蒸気圧を測定していることを導かせる。時間があれば、いくつかの水温で水蒸気圧を読み取り、蒸気圧曲線を描く活動を行うことができる。

この活動で興味深いことは、減圧装置に水流アスピレーターを用いると到達真空度が使用温度における水蒸気圧に限られる問題点があることに、生徒が自ら気づくように授業を展開できる点である。発展的な発問として、同様の装置・操作によってより高い真空度を得たいときにはどうすればよいか?と教師側から投げかけ、生徒に問題解決のための議論をさせてみるのも面白い。議論の結果を踏まえ、そのような場合には蒸気圧がほとんどない油回転真空ポンプが使われることを授業の終結に触れ、気液平衡に関する学習事項と真空を作る技術とを関連させた理解へと導くことができる。

4.2 物質としての「水」を探究させるなかで化学事象を読み解く学習文脈の例

物質の性質に関して水を素材にして学習させたい内容として、水素結合の形成に由来する水の特殊性が挙げられる。ここでは、筆者が溶液の性質に関する探究活動として、高等学校への訪問授業や自然系コース2年生の講義において実践している、水とエタノールの混合における体積収縮の実験を素材にした学習文脈の一例を述べる。

導入において、高等学校化学基礎および化学における単元「物質の構成」において学習している水素結合や水の構造、固体の溶質を溶かしたときの水和構造などに関する既習事項を確認する。続く

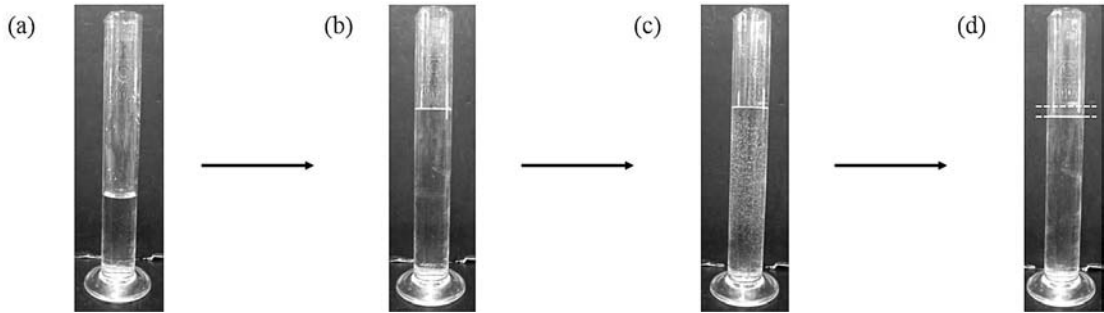


図3. 水50mlとエタノール50mlを混合したときの水溶液における体積収縮の実験の様子。(a) 水50mlをメスシリンダーに入れたところ。(b) (a) にエタノール50mlを入れたところ。(c) ガラス棒で水溶液をかき混ぜたところ。盛んに気泡が発生していることがわかる。(d) 気泡の発生が収まった後のエタノール水溶液。白の破線は水とエタノールを混合した直後との液面の違いを表す。

展開として、以下の要領で、水とエタノールの混合実験を行う。一連の実験の様子と結果の例を図3に示す。まず、水50mlを入れたメスシリンダーを用意し、ガラス棒で水を攪拌しても気泡がほとんど発生しないことを確認する。ここにエタノール50mlを静かに注ぎ、溶液の全量を100mlとする。ガラス棒を入れた後の液面の位置にマジックでしるしを付け、溶液を静かに攪拌する。すると、水とエタノールとの界面付近から気泡を生じ始め、水とエタノールが均一に混合される間に多くの気泡の発生を認めるようになる。しばらくして気泡の発生が収まった後、ガラス棒を取り除いてエタノール水溶液の全量を測定すると約96mlになり、水とエタノールの各50mlを足し合わせた100mlには決してならない。これは、溶液を作る際に水とエタノールがそれぞれのヒドロキシ基との間で引力的な分子間相互作用をするため体積の可成性が成り立たなくなることを簡単に理解させる演示実験として有効である。気体の発生は、エタノールが加わることによって水同士の水素結合によるクラスター構造が破壊され、クラスターの隙間に取り込まれていた気体が放出されるためであると、生徒は解釈することができる。さらにこのことは、魚類をはじめとする水生生物が生存するのに必要な空気（溶存酸素）を水は取り込める事実と深く関係していることに言及する。さらに、この実験を寒冷期に行うと、混合後のエタノール水溶液が入ったメスシリンダーを握った際に混合水溶液がほんのり発熱しているのを感じることができる。これは、混合によって水とエタノールとの引力的な分子間相互作用が生じ、混合前に比べて混合後でエネルギーの総和が減少して、そのエネルギー差の分だけ

溶液外に放出されるためであることも、生徒は自身を持つ熱化学に関する既有知識と思考をもとに解釈することができる。

本実践は、水とエタノールの体積比1:1の混合水溶液を作るだけの簡単な実験ではあるが、水素結合や分子間相互作用、熱化学に至るまで、実験から示唆される化学の内容は多岐にわたる。水の構造と変化のみならず、分子間相互作用や熱化学に関する既習事項も総動員して、生徒に実験結果を議論させることができる学習文脈を備えているのが、本活動の特色である。また、空気を取り込む水の性質と生物環境との関連を想起させ、理科の他領域へと接続させる学習文脈としても活用できる。

5. まとめ

本稿は、ある枠組みの中で理科の知識・技能の習得を図りながら生徒の科学的能力の育成を目指す学習形態としての文脈学習に着目し、理科のあらゆる場面に現れる「水」を素材とする学習文脈の開発研究の、現在までの到達状況を記した。学習文脈開発を開始するにあたり、素材としての水の特徴を水の構造と性質に関する化学的側面と自然・生物・日常生活との関連から整理するとともに、国内外で行われている水に関する文脈学習の先行例を概観した。その結果、既存の学習文脈は水資源の話題・飲料水の供給・地球環境に関する内容が中心的であり、その他にも水が持つさまざまな性質に基づいて新たな学習文脈を構築できる余地が残されていることを述べた。さらに本稿では、既存の学習文脈とは異なるものとして、水流アスピレーターによる減圧度測定から水の気液平

衡と蒸気圧、および真空を作る技術に至る学習文脈、水とエタノールの混合における体積収縮の実験から水素結合や分子間相互作用、熱化学に至る既習事項を総動員して化学事象を読み解く学習文脈の、2つの例を実践結果とともに述べた。

本稿の実践に関する章では、筆者が高等学校への訪問授業や自然系コースにおける授業・演習の中で演示実験等としてこれまで試みてきた内容を、水との関連で如何に学習活動を構成したかについて述べた。化学および理科全般に対する生徒の理解と興味関心を育むことができる素材は、何も水に限らない。そのような文脈学習は、ケムコム や Chemistry in Context, Salters Advanced Chemistry で、種々とりあげられていることは既に述べた。自然システム教育学講座の物理・化学・生物・地学の各領域が共同して、「水」あるいはそれ以外の素材を積極的に探索し、生徒の理科に対する学びを高めることができる学習文脈とそれに適う教材開発を今後も一層進めていく予定である。

注

高等学校学習指導要領に関する記述については、国立教育政策研究所：学習指導要領データベースを使用した。URLは以下のとおりである。<https://www.nier.go.jp/guideline/> (2015年12月1日閲覧)

謝辞

本稿の4.1および4.2で取り上げた授業実践に際して、協力いただいた生徒・学生諸氏に感謝いたします。また、本研究の一部は、平成25～27年度科学研究費補助金基盤研究(C) (課題番号：25350203, 研究代表者：網本貴一) および平成25

～28年度科学研究費補助金基盤研究(A) (課題番号：25242015, 研究代表者：古賀信吉) の助成を受けて行ったものであり、この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) アメリカ化学会 編集, 大木道則 訳, ケムコム 一社会に生きる化学, 東京化学同人 (1994).
- 2) American Chemical Society (ACS) Ed., Chemistry in the Community: (ChemCom), W.H. Freeman; Sixth Edition (2011).
- 3) American Chemical Society (ACS) Ed., Chemistry in Context 8th Edition, McGraw-Hill Education (2014).
- 4) A Project of the American Chemical Society, 廣瀬 千秋 訳, 改訂 実感する化学, 〈上巻〉地球感動編, 〈下巻〉生活感動編, エヌ・ティー・エス (2015).
- 5) Salters team at University of York Science Education Group (UYSEG), Salters Advanced Chemistry Fourth Edition, OCR (2015).
- 6) 野村祐次郎, 伊藤真人, 小林憲正, 辰巳敬, 本間善夫, 高等学校化学IA, 数研出版 (2002).
- 7) 内海志典, 磯崎哲夫, 科学教育研究, 34 (4), 338-351 (2010).
- 8) 内海志典, 磯崎哲夫, 中條和光, 科学教育研究, 35 (3), 234-244 (2011).
- 9) 磯崎哲夫 編著, 教師教育講座 第15巻 中等理科教育, 第7章 化学教材の開発と学習指導 (古賀信吉, 網本貴一 執筆), 協同出版 (2014).