

中学校理科における「水」の発展的学習 —水の特異性・重要性を伝える教材開発と実践研究—

富田小夜*・高橋 治**・村上 祐***

(2008年11月20日受理)

1. はじめに

「水」は私たち人間にとって最も身近な物質である。地球には、太陽系の惑星の中で唯一、水が作り出した海が存在し、地球の表面の約70%は海で覆われている。「水の惑星」と呼ばれる地球の水は、海面や地表面から蒸発し、大気中で雲をつくり、やがて雨となって地表に戻る。このような水の循環によって、地球上のあらゆる生命が生きていける環境がつけられている。人間を含め、地球上の生命は水なしでは生きていくことができない。生命は誕生以来ずっと水と共存し、進化し続けてきたからである。

物質としての水は、地球環境や生命にきわめて密接に関わる多くの特異的性質を示す¹⁾。私たちは日常生活の中で、固体の水(氷)、液体の水、気体の水(水蒸気)を目にすることができる。このように常温付近の狭い温度範囲で三態変化することが、特に重要な水の性質である。また、固体の水が液体の水に浮くことや、水はいろいろな物質をよく溶かすことも特異的性質である。このような水の特異的性質が、生命に適した地球環境をつくり出し、生命を支えてきたのである²⁾。

しかし、

『私たちは、毎日の生活の中で、このような水の恵みに気がついていないのではないだろうか・・・』

『水が自然界の中できわめて特異な物質であるということを知っている人は少ないのではないだろうか・・・』

水は地球環境や生命にとってきわめて重要で、人間にとっても身近な物質であるが、義務教育の段階で「水」の特異的な性質を取り上げ、その重要性を生徒に伝えるような学習はほとんどない³⁾。近年では、総合的な学習の時間において水の学習をする児童・生徒が増えているようではあるが、そこでは、学校付近の水質や地域における水の使い方などを学習するだけである。中学校の理科においても、水の特異性と地球や生物との関わりについて、すなわち、水の特異的性質により地球環境や生命が支えられているということについて、学習する場面が少ないと考えられる⁴⁾。大人になっても、たとえば Newton 誌^{5,6)} のような科学雑誌を読まない限り、

* 岩手大学大学院教育学研究科 (現北海道大学大学院理学院博士後期課程)

** 盛岡市立黒石野中学校

*** 岩手大学教育学部

水の特異性を知る機会などないであろう。そこで本研究では、水の特異性や重要性を伝えることのできる学習内容・教材を検討し、科学的リテラシー向上の観点から、全ての人が学ぶ義務教育段階の理科教育に導入することとした。具体的には、中学校理科の授業の中で行うことができる「発展的な水の学習」とし、この学習内容を4時間の授業に構成した。

2. 授業で生徒に伝えたい内容

4時間の授業における実験および説明を通して、生徒には次の3つの水の特異性を理解させ、それらが地球環境および生命にとってきわめて重要な関わりを持っていることを伝えたい。そのうえで、水と身近な生活との関わりについても考えさせ、水を大切にすることを育てたい。

(1) 氷が水に浮く

日常生活の中でよく見かける当たり前のことに過ぎないが、この現象は固体の水の密度が液体の水に比べて小さいから起きるのである。しかし、同じ体積で固体と液体を比較したとき、固体が液体より軽い（固体の密度が液体の密度より小さい）という性質を持つ物質は、水の他にはアンチモンやゲルマニウムなどごく限られている^{7,8)}。したがって、多くの物質では「固体は液体の中に沈む」のが普通なのである。

このような水と水の密度の特殊な関係が、なぜ生命にとって重要なことなのであろうか。水が、他の物質と同じように、氷になったとき沈むと仮定しよう。そうすると、冬季、池や湖の水面近くの水は冷やされて氷になり、できた氷は底に沈んでいく。氷ができるとすぐに沈むので、やがて池・湖全体が氷で埋め尽くされてしまう。これでは湖沼の生物たちは生きてはいけない。海でもさらに大規模に同じような現象が起こるのであろう。氷が水に浮き水面上に氷の層を作ることで、水温を零度以上に保ち、水中の生物を守っているのである。

(2) 水はいろいろな物質をよく溶かす

物（溶質）が液体（溶媒）に溶けるということは、溶質が溶媒の分子と結びつき非常に小さな粒になって溶媒中に分散することである。水は小さな極性分子であるため、溶媒としての能力に優れている。溶ける量（溶解度）を別にすれば、水は最も多様な物質を溶かす液体である。たとえば、海水には60種以上の元素が溶けている²⁾。また、私たち人間の体の約60%を水が占めている。その中に生命維持のために必要な物質が溶けており、水を媒質に多くの生命反応が行われている。さらに、体内の水はいろいろな栄養物や老廃物を溶かして運搬する役割を果たしている。中学校理科第二分野では、植物の光合成によって作られたデンプンは、いったんブドウ糖になって師管を通して運搬されることを学習する。デンプンは水に溶けないため、水に溶けるブドウ糖になって水とともに植物全体に運搬されているのである。

(3) 水は蒸発しにくい

一般に、液体が蒸発して気体になるとき、まわりから熱を奪う。反対に、気体が液体になる（凝結）ときはまわりに熱を与える。水は、物質あたりこの熱の出入りが最も大きい物質である。液体という状態は、液体を構成している物質の間に何らかの結合力が働いて集

中学校理科における「水」の発展的学習

まっている状態である。これを気体にするためには、この結合を切り離して、ばらばらな状態にする必要がある。水の場合、水分子同士を結びつけている結合力が大きく、その結合を切って気体（水蒸気）にするには大きなエネルギーを必要とする。したがって、水は蒸発しにくいのである。その反対に水蒸気が凝結して水になる時は、やはり大きなエネルギーをまわりに放出する。

この「水⇄水蒸気の状態変化における大きな熱の出入り」という水の性質は、地球を生命にとってきわめて好都合な温暖な環境に保っている主要な要因である。また、身近な経験として、私たちの体は汗の蒸発により体温を下げる調節を行い、あるいは夏の暑い日に打ち水をして庭に冷気を呼び込んだりしている。

3. 授業実践

以上のような内容の「水に関する発展的学習」を実践する時期を、中学校2年の終了直前（2月）とした。その理由は、1年の「身の回りの物質」で水の状態変化や溶解現象について学習し、2年で原子・分子について学習するからである。水の特異的な性質を理解してもらうためには、これらの学習を終えた段階が最も効果的であると考えた。また、中学生でも理解できるように、生徒実験で用いる教材を工夫するとともに、内容の説明にはパワーポイントによるアニメーションや分子模型、カラー印刷したプリントを用いることにした。

実践に協力していただいたのは岩手県北の中規模中学校で、2学年には2クラス計80人の生徒が在籍していた。授業は2006年2月初旬の4日間で、1クラス4時間、計8時間行った。また、事前・事後のアンケート調査、各授業に対する生徒による評価、および期末試験結果などによりこの授業を検証した。

4. 4時間の授業目標と具体的内容⁹⁾

(1) 1時間目

【目標】：固体の氷が液体の水に浮くということは、他の物質にはない現象であることを実験によって確かめる。同時になぜ氷が浮くのか、その理由を理解する。

【具体的内容】：まず初めに、教師が「氷が水に浮く」と「(予め固まらせておいた)酢酸の固体が酢酸に沈む」を演示してみせ、物質には固体が液体に浮く場合と沈む場合があることを予備知識として与えた。次に、他の物質ではどうなるのかを生徒自身に実験させた。ここで取り上げた物質は、容易に固体—液体の状態が作り出せる鑛(ろう)、ナフタレン、無水フタル酸、無水マレイン酸、p-ジクロロベンゼンで、全て固体が液体に沈むことを観察させた。さらに、液体窒素で凍らせたエタノールの固体も、エタノールに沈むことを演示で見せ、氷が水に浮くのは特殊なことであることを確認させた。

授業の後半では、氷が水に浮く理由、すなわち氷になると水分子が大きな隙間を作って並ぶことを理解してもらうために、発砲スチロールで制作した氷と水の分子模型¹⁰⁾を示すとともに、パワーポイントの自作アニメーションを使って説明した。

(2) 2時間目

【目 標】：水によくものが溶けることを，他の溶媒との比較実験で確認する。また，水にもものが溶ける仕組みを理解する。

【具体的内容】：初めに，生徒実験として，水と他のいくつかの溶媒に物質を入れて，溶けるかどうか，および溶ける様子の違いを観察させた。ここでは，水以外の溶媒としてエタノール，ヘキサン，石油エーテルとし，溶かす物質として，食塩，砂糖（以上の2つは身近な物質），ヨウ化カリウム（エタノールに溶けると着色することで，生徒に興味を抱かせる），硫酸銅五水和物（青色結晶で，溶け方が観察しやすい）とした。実験は，これらの物質をそれぞれ入れたティーバッグをビーカー中の液体に浸し，溶け方を調べた。その際，シュリーレン現象の有無を観測させながら，溶質—溶媒の組み合わせによる溶けやすさをまとめさせた。

授業の後半では，ものが溶媒に溶けるということの科学的な意味および水がものをよく溶かす理由を説明した。ここでは身近な組み合わせである食塩が水に溶ける場合を例にとりあげ，食塩を構成しているナトリウムイオンと塩化物イオンにそれぞれ水分子が数個くっついて，それらのイオンを引き離すことで，食塩を溶かしていく様子をパワーポイントの自作アニメーションを使って説明した。溶媒がエタノールの場合は，エタノール分子が水分子に比べて大きく，食塩のイオンの隙間に入っていけないため，食塩を溶かしにくいという，かなり単純化したアニメーションで説明した。

(3) 3時間目

【目 標】：どんな液体でも，蒸発するときにはまわりから熱を奪うことを確かめる。また，中でも水が最も蒸発しにくいことにも気づくとともに，水の気化熱が身近なことに関係していることを理解する。

【具体的内容】：本時では初めに，運動して汗をかいた後そのままにしておくことで体が冷えることから，水が蒸発（気化）するときまわりから熱を奪うことに気づかせた。水以外の液体でも同じようになるかどうかを，水，エタノール，アセトン，石油エーテルで実験した。デジタル温度計の上に置いたステンレスの皿にこれらの液体を少量入れ，液体が蒸発する様子と温度がどう変化するかを30秒ごとに観察させた。その結果，どの液体でも温度が徐々に下がっていき，それと同時に液体が少なくなり蒸発していることが確認された。また，液体によって変化の速度が異なることや，水の場合が蒸発も温度変化も最も遅く水は蒸発しにくいということにも気づくことができた。

授業の後半では，皮膚についた水が蒸発すると冷たく感じることを例にプリントを使って気化熱を説明し，それ以外の身近なことにも言及した（たとえば，暑いとき犬が舌を出していること，夏の日に打ち水¹¹⁾をすることなど）。また，実験でみられたように水は蒸発しにくいことが，その水の特性が地球環境とどう関係するかについてもパワーポイント¹²⁾を用いて説明した。

(4) 4 時間目

【目 標】：1～3 時間目で学習したいろいろな水の特性が，地球環境や人間を含む生命にとって重要であることを理解できる。

【具体的内容】：これまで学習してきた水に関する内容が生徒にさらに定着するように，パワーポイント¹³⁾を使ったクイズ形式で授業を進めた。クイズ形式にした理由は，実験操作のない，黒板を使った説明だけの理科授業よりも，クイズで生徒と教師がやりとりすることで，50分間生徒を集中させることができると考えたからである。クイズは全15問で，初めに問題を出して生徒に答えさせてから（生徒はプリントに記入する），その問題についてパワーポイントで解答・説明していくという順序で進めた。授業の後半では，事前アンケートと同じ内容のアンケート，およびこの4時間の授業で学習した内容に関するアンケートに答えさせた。

5. アンケート調査・試験結果と考察

この授業実践を検証するため，授業をする前のアンケート（事前アンケート）と授業後のアンケート（事後アンケート），4時間の各授業に対する生徒の評価（授業評価），および学期末試験で生徒の変容および理解度を調査した。事前・事後のアンケートの構成は，「理科に関するアンケート」，「水に関するアンケート」，および「水に関する問題」である。ここでは，主として，生徒が授業内容をどの程度理解しているか，この実践授業をどう評価しているかについて考察するため，事前・事後の「水に関する問題」，「生徒による授業評価」，および「試験結果」について報告する。なお，事前・事後の「理科に関するアンケート」は，平成13年度小中学校教育課程実施状況調査（国立教育研究所教育課程センター）¹⁴⁾を利用したものである。その中の「理科の勉強をすれば，ふだんの生活や社会に出て役に立つ」，「理科の勉強は，自然や環境の保護のために必要だ」などの項目で，生徒の変容が大きかった。事後アンケートをとったのは4時間目の水の重要性を強調した授業の直後であり，その印象がまだ残っていたためと考えられるが，水にとどまらず理科の学習の意義・重要性を生徒に感じてもらえたと評価できる。

(1) 水に関する問題

a. 水分子（H₂O）を図で書いてください。

表1 質問 a の回答者数

解 答（記述式）	事 前／人	事 後／人
正 解（折れ曲がった構造）	17	37
直線状の構造	58	37
無回答等	1	1

水分子の折れ曲がった構造は，教科書では中学校2年の「化学変化と原子・分子」で出てくるので，本研究授業の前に生徒は目にしているはずである。しかし，二酸化炭素が直線状の分子で，水が折れ曲がった構造の分子であることの説明はない。問題 a では，解答

例として直線状の二酸化炭素を示しておいたので、その影響で事前調査では多くの生徒が直線状の図を書いたと思われる。事後ではそれがかなり改善されているが、本実践で（水分子の構造について特に言及はしなかったが）分子模型やパワーポイントで何度も見せていることからすれば、やや物足りない結果となった。

- b. 10gの水が氷になると、重さ（質量）はどうなりますか。

表2 質問bの回答者数

選 択 肢	事 前／人	事 後／人
10gより重くなる	14	2
10gより軽くなる	13	0
変わらない	45	72
わからない	4	1

事前での誤答はかなりの割合（41%）であったが、大きく改善された。しかし、原子・分子および質量保存則を学習済みの中学2年生の4割が間違えたことには、別の問題（たとえば、粒子概念の定着と学習時期の問題¹⁵⁾等）がありそうである。

- c. 10cm³の体積の水が氷になったとき、体積はどうなりますか。

表3 質問cの回答者数

選 択 肢	事 前／人	事 後／人
10cm ³ より体積が増える	23	67
10cm ³ より体積が減る	28	1
変わらない	21	5
わからない・無回答	4	2

これは事後最も大きく改善された項目である。中学1年の「身の回りの物質」で氷と水の密度を学習しているので、本来はこの問題に答えられるはずであるが、事前調査では70%間違えた。前問b同様、本実践で水の特異性を学習したことが、既習事項の再確認に役立ったと言える。

- d. 水が氷になると、水分子の形はどうなりますか。

表4 質問dの回答者数

選 択 肢	事 前／人	事 後／人
形が変わる	25	6
形は変わらない	45	62
わからない・無回答	6	7

これは質問aとも関連する内容で、事後に正答できた生徒が増えた。本実践は水の構造についてはあまり言及しなかったが、十分とは言えないまでもかなりの改善がみられた。

- e. 水が氷になると、水分子の大きさはどうなりますか。

表5 質問eの回答者数

選 択 肢	事 前／人	事 後／人
大きくなる	8	3
小さくなる	14	0
変わらない	45	69
わからない・無回答	9	3

前問dと密接に関わっている質問であるためか、事前では「形が変わらない」と「大きさは変わらない」が同じ45人で、同一人がどちらも正答した可能性がある。dの「形」に比べて、「大きさ」の方でより大きな改善が見られたことが注目される。

- f. 氷と水のように、「固体が液体に浮く」ということが、普通のことと思いますか。

表6 質問fの回答者数

選 択 肢	事 前／人	事 後／人
そう思う	12	27
少しそう思う	22	7
どちらとも言えない	24	20
あまりそう思わない	13	7
そう思わない	5	13
無回答	0	1

この問題では期待した結果にならなかった。これまでの問題で事後における改善が大きかったことからすれば、この原因は、fの質問内容の難しさにあるのではなく、質問文の曖昧さにあったと考えられる。「固体が液体に浮く」という現象が「他の物質でも」普通に見られるか、という趣旨の質問であったが、「氷と水では」普通に見られるかと誤解した生徒も多かったのではないか。その結果、事後に、「少しそう思う」や「あまりそう思わない」という曖昧な答えが減った分、「そう思う」と「そう思わない」の確答に変わったと考えられる。また、「どちらとも言えない」が事後でもあまり減っていないことも、質問の主意が伝わっていなかったことを示している。

- g. 「氷が水に浮く」ことがどんな役に立っていますか。役に立っていると思うことを挙げてください（記述式）

事前調査では、生徒は身近なこと「スケートができる」「氷の上で釣りができる」や、北極・南極に関すること「北極・南極に住む生物の生息に役立っている」を挙げる傾向が見えた。一方で、無回答や「役に立っていない」「わからない」も多かった。事後では、身近なことに加えて、北極・南極に関することなど地球規模の視点からと、人間だけでなく他の動物の視点からの記述「北極・南極の氷が浮いている」「北極などの魚が住める」「海面上昇を防いでいる」「氷が沈んだら、海面が上昇し、世界中の低地が水に浸かる」が多くなった。また、無回答や「わからない」が大きく減った。本実践の特に4時間目の授業により、生

徒の視点を広げることができたと思われる。

- h. 「水はものをよく溶かす」ことがどんな役に立っていますか。役に立っていると思うことを挙げてください（記述式）

事前調査では、コーヒー・紅茶・ジュース・砂糖などを溶かして飲み物を作るのに役立っていると記述した生徒が非常に多かった。「洗濯に役立っている」も数人いたが、無回答や「特になし」という生徒はかなり多数であった。事後では、やはり飲み物に関する記述が多かったが、それ以外に「薬を溶かすのに役立っている」「血液で栄養分を運ぶ」「植物が養分を運びやすくする」「有害なものを薄めて無害に変える」「人が生きる」など、多様な記述が増えた。このことから、4時間目の授業は、生徒の視点を広げることに効果があったと思われる。しかし、事後でも無回答や「よくわからない」が多数あったことは、「ものが溶ける」ことの本質を理解ができていないためと思われる、このことは次の「授業評価」にも現れている。

(2) 生徒による授業評価

それぞれの授業時間が、生徒にとってわかりやすかったか、楽しかったか等、生徒の受け止め方を調べるため、各授業の最後に、学習プリントに記入させた。次の5つの質問項目に、「そう思う」、「少しそう思う」、「どちらでもない」、「あまりそう思わない」、「思わない」の5つから選択させた。次の表7は、「そう思う」と「少しそう思う」という良い評価をした生徒の人数割合をまとめたものである。

質問項目は以下の通り。

- ① 授業はわかりましたか
- ② 授業は楽しかったですか
- ③ 説明はわかりやすかったですか
- ④ 実験の意味はわかりましたか（4時間目ではこの項目はない）
- ⑤ (1時間目) 氷が水に浮く理由がわかりましたか
(2時間目) 水にものが溶ける理由がわかりましたか
(3時間目) 「液体が気体に状態変化するとき、まわりの熱を奪う」理由がわかりましたか
(4時間目) 「水は、地球や生物にとってとても重要な物質だ」という理由がわかりましたか

表7 各質問で「そう思う」、「少しそう思う」を選択した生徒の合計割合

質問項目	1時間目／%	2時間目／%	3時間目／%	4時間目／%
①	83	80	80	96
②	76	81	78	93
③	75	77	80	89
④	79	77	77	—
⑤	82	73	81	96

中学校理科における「水」の発展的学習

生徒による授業評価は、各時間・各項目とも概ね75%以上の生徒が良い評価をしており、この意味では本実践授業は成功したと言える。特に、4時間目のクイズ形式の授業では、どの項目も90%以上の生徒が良い評価をしているのが注目される。これまで言われてきたこととして、小中学生の多くは理科が好きであるが、その要因は様々な実験があることにある。しかし、その反面、実験作業のない、教師からの内容説明だけの理科授業では、生徒を集中させることは難しい。その点、この4時間目は1～3時間目で学習した「水の特異性」を振り返り、理解の定着を図る「教師からの説明の時間」であるが、クイズ形式による全員参加型・インタラクティブ型であったため生徒の評価が高かったと言える。学習内容や学習場面によっては、通常の授業にも応用できる手法と思われる。

1～3時間目の授業では、やはり科学的にやや難しい「溶ける」を扱った2時間目の評価が全体的に少し低く、項目別でも「水にもの溶ける理由」がわかった割合が最も低かった。また、自由記述欄で、実験で使用した薬品に臭いがきついものがあったことを指摘した生徒も数人いた。授業後の後片付けの大変さを考慮すると、使う試薬をさらに工夫することが必要である。

(3) 学期末試験結果

本実践授業の10日ほど後に行われた学期末試験「理科」の中に、本実践の学習内容に関連する問題を組み入れた。その試験結果から本実践を検証する。組み入れた問題は、以下の通りで、記述式の問題である。

【問題10】水には、他の液体と違う性質が2つあります。それはどんなことですか。また、そうなる理由をそれぞれ説明しなさい。(8点)

理科全体の平均点は68.0点、この問題10の平均点は3.8点(8点中)であった。問題10の平均点が50%に届かなかったので、全体から見るとやや難しかったと判断される。しかし、他の記述式の説明問題も低得点であったことから、本実践授業の内容が特別に定着していないとは言えない。表8は、問題10の得点を理科の総点分布ごとに示したものである。この表から、総点が80点以上の理科の成績がよい生徒は問題10も良くできているが、80点より低い点数の生徒には難しかったと言える。特に、60～79点の中位成績者にとっても、問題10の平均点は3～3.9点で、難しかったことになる。

表8 総点分布ごとの人数と問題10の平均点(8点中)

総点(100点中)	人数/人	問題10の平均点
～49点	11	1.0*
50～59点	10	2.0
60～69点	18	3.0
70～79点	16	3.9
80～89点	14	6.8
90点～	9	6.2

* 理科の総点が50点未満の生徒11人の問題10の平均点

また、問題10の得点ごとの人数と総点の平均点を下の表9に示す。これで注目されるのは、0点が20人もいることである。これが、この問題の平均点を下げている大きな原因である。彼らの総点も低いことから、理科が不得意な生徒には全く答えられない問題であったと言える。上述した事前・事後のアンケートから明らかなように、実践授業により水に関する理解についてかなりの改善が見られたが、理科を不得意とする生徒には定着しなかったのだろうか。あるいは、1～3時間目の授業がよくわからなかったとした20～25%の生徒が、低い点を取った可能性も高い。次に注目されるのは半分できた（4点）生徒も多かったことである。彼らのほとんどは水の特異性を2つ挙げることができたが、なぜそうなるかの説明が不十分であった。2点の生徒も、特異性1つを挙げることはできたが、その説明ができなかった。このことには、他の記述式問題の結果も含め、科学的現象を文章で説明することを苦手とする生徒が多いという、日本の中学生の傾向が現れている¹⁶⁾。

表9 問題10の得点分布

問題10の得点	人数／人	総点の平均点
8点	10	84.9*
7	9	79.3
6	6	83.8
5	5	77.2
4	18	69.8
3	2	48.5
2	8	57.1
1	0	—
0	20	52.2

*問題10の得点が8点満点であった生徒10人の理科総点の平均点

6. おわりに

本研究の目的「授業実践により、水の特異性および重要性を伝える」は、どこまで達成できたのだろうか。水の特異性に関する理解の点では、事前・事後アンケート調査や生徒による授業評価から、概ね達成されたということが出来る。しかし、期末テストの結果からは、理科の苦手な生徒にはあまり定着していないこと、および水の特異性を挙げることはできてもその理由を書けなかった生徒が多いことが明らかになった。このことから、「知識伝達」の面が強かった1～3時間目の授業を、「生徒に考えさせ、探求させる」面をもう少し取り入れた授業に改善することが考えられる。一方、水の重要性に関しては、かなりよく伝えることができたと評価できる。特に、4時間目の「水の特異性・重要性」を解説する授業で、クイズ形式により興味を持たせて生徒を集中させた工夫が生きている。

日本人が身につけるべき科学技術の基礎的素養を調査研究していた「科学技術の智プロジェクト」(Science for All Japanese)の報告書¹⁷⁾には、私たちが直面する喫緊の4問題のうちの1つとして「水」が取り上げられている。そこでは、水は人間生活—生命—原子・分子の科学—自然環境—気象—宇宙を結ぶテーマであり、これらの面を関連させ、統一的にとらえ直した水の教育が、これからの日本人の科学的リテラシー向上のために必要であると提言している。また、最近の理科教育関連の学会においても、「水」を主題として構成したいいくつかのカリキュラムが報告されている¹⁸⁾。このように、私たちに最も身近な物質である「水」に関する教育が、義務教育段階を含め今後ますます重要になってくると思われる。本研究の実践授業は、そのための試行の1つと位置づけられる。

謝 辞

本研究を進めていくためには、中学校での実践授業が不可欠であった。その授業実践にご協力いただいた岩手県北のI中学校の教職員の皆様および中学生諸君に、心から感謝致します。

注および参考文献

- 1) 水には63の異常な性質があると言われている。Martin Chaplin, Water Structure and Science, <http://www.lsbu.ac.uk/water/anmlies.html>
- 2) 上平 恒「生命からみた水」, 共立出版, 1990年。
- 3) 文部科学省「中学校学習指導要領(平成10年12月)」解説—理科編。
- 4) 東京書籍「新しい科学 1分野上下, 2分野上下」平成14年, 18年発行。
- 5) Newton 別冊「水のサイエンス」, ニュートンプレス, 2006年。
- 6) Newton ムック「宇宙の不思議なはじまり そして地球と生命」, ニュートンプレス, 2006年。
- 7) 日本化学会編「化学便覧 基礎編」(改訂3版), 丸善, 1991年。
- 8) 国立天文台編「理科年表」, 丸善, 2000年。
- 9) 4時間の授業で用いた学習プリントやパワーポイントの内容は、富田小夜修士論文「中学校理科における水の発展的学習」(岩手大学, 2007年3月)に収録されている。
- 10) 平尾二三夫, 板倉聖宣「発泡スチロール球で分子模型をつくろう」, 仮説社, 2000年。
- 11) 全国的に行われた「打ち水」行事については <http://www.uchimizu.jp/> を参照。
- 12) ここで用いたいいくつかの画像は、次のウェブサイトからダウンロードした。
http://sharaku.eorc.nasda.go.jp/ADEOS2/library/20030708/0708a_j.html
http://www.planetary.orjp/solar_main.html
<http://www.hq.nasa.gov/office/oer/japan/nasatoday/index2.html>
- 13) ここで用いたいいくつかの画像は、次のウェブサイトからダウンロードした。
<http://jvsc.jst.go.jp/>
<http://subsite.icu.ac.jp/people/yoshino/watermiracle.html>
<http://subsite.icu.ac.jp/people/yoshino/NSIII01n33.html>
- 14) 国立教育政策研究所「小中学校教育課程実施状況調査報告書」(中学校), 東洋館出版, 平成13年。
- 15) 著者らの研究グループは、中学生に粒子概念が定着していないことを踏まえ、粒子概念を

小学校から段階的に導入すべきであると主張している。菊地洋一，武井隆明，三田正巳，高橋 治，村上 祐「粒子概念の位置づけと物質学習カリキュラム」，理科教育学研究，49，pp.35-51，2008。

- 16) OECD（経済協力機構）の2006年学習到達度調査 PISA（Programme for International Student Assessment）によれば，日本の15歳段階生徒の科学的リテラシーはやや低下した。特に，科学的能力の3領域「科学的な疑問を認識すること」，「現象を科学的に説明すること」，「科学的証拠を用いること」の内，前2領域が全体の平均点を下げていた。国立教育政策研究所「PISA 調査のアンケート項目による中3調査集計結果（速報）」，<http://www.nier.go.jp/>。小倉 康「PISA2006で見えてきた科学的リテラシー育成の課題」，日本科学教育学会第32回年会論文集，pp.1-4，2008。
- 17) 平成18・19年度科学技術振興調整費「重要政策課題への機動的対応の推進」調査研究報告書，2008年。<http://www.science-for-all.jp/>
- 18) 木谷要治，山根一晃「理科の各教材を水との関連で見直す」，日本理科教育学会全国大会論文集，第4号，p262，2006。高野裕恵，松原静郎，堀哲夫，馬路英和「持続可能な発展を指向した水教材の開発と試行」，日本理科教育学会全国大会論文集，第6号，p237，2008。