

# 日常の現象から理科の見方・考え方を養う ～水の表面で起こる現象の理科教育教材としての提案～

村上 清文\*・和泉 研二

Nurturing the Viewpoints and Ways of Thinking of “Rika” from Daily Phenomena:  
Proposing “Rika” Teaching Materials Concerning Phenomena Occurring on  
the Surface of Water

MURAKAMI Kiyofumi\*, WAIZUMI Kenji

(Received September 27, 2019)

## 1. 緒言

日本の理科教育の伝統は科学的な見方・考え方と自然を愛する心情の2つを養おうとする点にある。明治24年の小学校教則大綱第8条の「理科ハ通常ノ天然物及現象ノ観察ヲ精密ニシ其相互及人生ニ対スル関係ノ大要ヲ理解セシメ兼ネテ天然物ヲ愛スルノ心ヲ養フヲ以テ要旨トス」（文部省、1891）以来、この二つの目標はその後の指導要領の改訂を通して脈々と受け継がれて来た。平成29年改訂の小学校学習指導要領（文部科学省、2018a）においては、「科学的な見方・考え方」が「理科の見方・考え方」に置き換えられ、形式上は「理科の見方・考え方」の下に「科学的な見方・考え方」と「自然を愛する心情」が内包される形として整理されている。この形式上の整理は評価されるべきであるが、「自然を愛する心情」のより具体的な姿が表現されていないように思われる。したがって、それ以前と同様に、教員にとって、どのような教材でどのようにアプローチすればこの目的が達成されるのか、その方策を考えることに困難さを感じると思われる。

水はヒトを含む地球上の生命にとって無くてはならない物質である。その特徴的な性質によって、生命体の主要な構成要素であると同時に様々なレベルにおいて環境維持の機能を果たしている。また、人間は、水を使った人工物を利用しながら、生活に役立っている。この水の役割の重要性から、水を題材とした教育は、その内容を深めつつ、小学校から大学に至るまで広く行われている。

例えば、小学校の生活科および理科の水に関する内容は、教科書の目次から、以下のようになっている。

## 生活1

- ・花を育てる：水やり
- ・しる遊び
- ・夏休み：プール、川遊び
- ・秋の虫を飼う：水やり
- ・お祭り：金魚すくい、ヨーヨーつり
- ・冬：霜柱、雪だるま
- ・自分でできること：掃除、靴洗い

## 生活2

- ・野菜を育てる：水やり
- ・生き物を探しに：生き物と水  
魚、ざりがに、かたつむり、かえる
- ・雨の日の不思議を探そう
- ・おもちゃ作り：船

## 理科3

- ・土と石を調べよう：水のろ過
- ・草花を育てよう：さし木
- ・空気と水を比べよう

## 理科4

- ・流れる水の働き：川
- ・水で体積を測る
- ・水の姿とゆくえ（水の3態）  
水蒸気、ゆげ、雲や霧、氷  
水の循環
- ・水や空気の暖まり方

## 理科5

- ・魚の育ち方：水槽での飼育
- ・物の溶け方：

\* 山口大学名誉教授

溶ける量、取り出す  
重さはどうなる？  
温度で変わる？  
ろ紙の使い方

理科 6

- ・物の燃え方：水上置換、石灰水
- ・植物のつくりと働き：水を取り入れるしくみ
- ・地層のでき方
- ・水溶液の性質：
  - 酸性、中性、アルカリ性、中和
  - 金属を溶かす
- ・人と自然：生き物と水と空気

この一覧を見るだけで、水教材の視野がいかに広いかが容易に知ることができる。中学校以降はこれらの内容をさらに広めかつ深めた理科教育の内容が展開されていくことになる。

しかし、これらの内容はそのほとんどが水のバルクな性質に関係するものである。我々が普段目にする地球上で水が存在する様態は地表と空気の間であることが多い。そこでは、図1のような水-空気界面が生じている。その他、水滴の表面も水-空気界面だし、濡れた髪の毛の表面にも水-空気界面が形成されている。

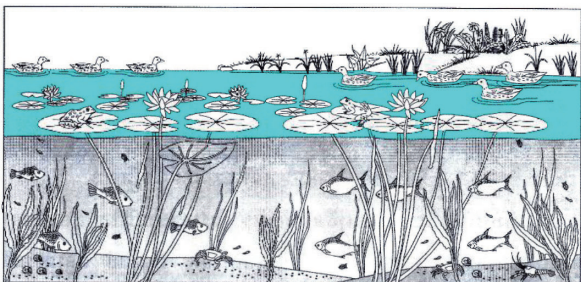


図1. 日常よく目にする空気-水界面（水面）の様子  
この絵の水面には水草の葉が広がり水鳥が泳いでいる  
(カンボジア小学四年生の教科書から、一部改変)

これらの水-空気界面で起こる様々な現象は、我々が日常生活で多く見ているにもかかわらずあまり意識されることがなく、小学校から大学に至る理科教育において教材として取り上げられることもほとんどない。

著者の一人は、この題材の可能性に注目し、教員養成系学部学生に対しては十数年来定期的に、その他、附属幼稚園児、小学生、中学生、高校生、現職教員、ジャイカ事業によるアフリカ諸国からの教員研修生、山口大学教育学部が実施する教育支援事業でのカンボジアの小学生や教員養成校生などに対して、機会あるごとに授業や講義を行ってきた。

本稿では、水-空気界面（水面）現象の理科教育教材としての可能性を提案したい。最初に、関連する水の諸

性質を「水の基礎知識」として確認する。次に「水面で働く力」に関する実験教材を提示した後、この力が関わる「諸現象」を紹介するとともに界面活性剤の効果に関する実験を紹介する。最後に、教材化にあたって、本教材の効果および「理科の見方」についての考察を行う。

2. 水の基礎知識

2-1. 地球上の水の起源、分布および循環

地球上の水の起源の一つの仮説として平衡凝結モデルがある（鈴木敬三、1997）。「原子太陽系星雲ガスは、全圧が0.001気圧以下と低いため、液体を経ずにガスから直接固体が析出する。星雲の温度がゆっくり下がるにつれて、凝結温度の高い物質から順に凝結して行った。星雲温度が600K（327°C）に下がったところから水が種々の鉱物に取り込まれ、その量は凝結物質の最大0.3%にもなる。これが地球である。鉱物中の水は、後にゆっくりと地球表面にあつまり、海や大気成分となった」。他の有力な説としては、近年、彗星衝突説が議論されている。しかし、これらのどちらが正しいかは未だ結論が出ていない。また、地球表面に液体の水が存在し得た三つの条件として、①太陽からの距離、②地球の質量、③二酸化炭素の海洋への吸収が考えられている。①および②のバランスの下に③の条件が揃ったことによって、液体の水が地球表面に存在し続けていると考えられている。

表1に水圏における水の分布と平均滞留時間を示す。分布に関しては、圧倒的に多くの割合を海洋が占めている。2番目は万年氷・氷河、3番目は地下水等々とオーダー的に割合が少なくなっている。また、平均滞留時間（全ての水が入れ替わるのに要する時間）も水の存在場所によって大きく異なっている。海洋の水の平均滞留時間が4000年と非常に長いものに対して、大気の滞留時間はわずか10日となっている。図2のように、地表や海洋から蒸散によって水は大気に移り、雲となり、雨や雪として再び地表や海洋に降り注ぐ。蒸散の際大量の熱を地表や海洋から奪い大気上空で宇宙に捨てるので、この水の循環によって地球は冷やされている。

表1. 水圏における水の分布と平均滞留時間（北野, 1995)

位置	水量 (t)	全体の水に対する百分率	平均滞留時間
淡水湖	125×10 <sup>15</sup>	0.009	10年
塩水湖および内陸海	104×10 <sup>15</sup>	0.008	—
河川水	1.1×10 <sup>15</sup>	0.0001	2週間
懸垂水（土壌湿気を含む）	66.6×10 <sup>15</sup>	0.005	2~50週間 (?)
深度800m以浅の地下水	4,200×10 <sup>15</sup>	0.31	} (数時間~10万年)
深度800m以深の地下水	4,200×10 <sup>15</sup>	0.31	
万年氷および氷河	29,000×10 <sup>15</sup>	2.15	
大気	12.9×10 <sup>15</sup>	0.001	10日
海洋	1,319,800×10 <sup>15</sup>	97.2	4,000年

(B. J. Skinner, 1982)

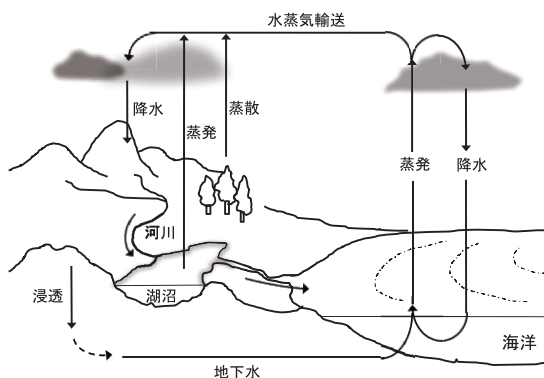


図2. 水の循環

### 2-3. 水の性質

2-3-1. 形 水分子は図3のような形をしている。水中の二つの水分子間には頻りに水素結合が形成される。この形と水素結合による引力が大きな蒸発熱 (40.7 kJmol<sup>-1</sup>)、凝固時の体積増加、大きな表面張力や誘電率などの水の特徴的な性質の主要な原因となっている。

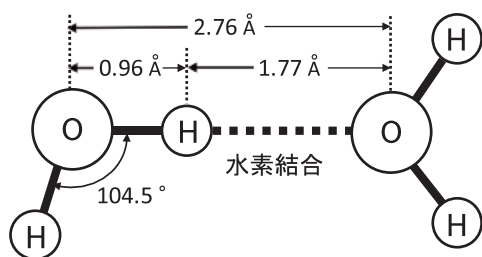


図3. 水分子の形と水素結合

### 2-3-2. 表面張力

水面に関わる現象を支配する性質の1つは表面張力である。図4に示すように、水中にある水分子には周りの分子から均等に引力が働きエネルギー<sup>注)</sup>の低い状態にあるが、水面(空気との界面)にある分子には横や下方からの分子からしか引力が働かず、エネルギーの高い状態にある。

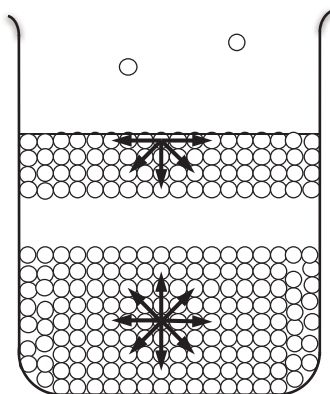


図4. ビーカーの中の水分子に働く力

表面の単位面積当たりのエネルギーを表面張力という。自然はエネルギーを下げようとする傾向、この場合、表面積を縮めようとする傾向にあり、これが表面張力として現れる。例えば、水滴は一定の体積で最小の表面積をもつ形すなわち球になろうとする。

表2に液体の表面張力を示す。この表から水は他の液体に比べて大きな表面張力を持つこと、すなわち表面のエネルギーが大きく表面を縮めようとする傾向が強いことがわかる。

表2. 液体の表面張力

物質	表面張力	物質	表面張力
	10 <sup>-3</sup> J m <sup>-2</sup>		10 <sup>-3</sup> J m <sup>-2</sup>
水	72.8	ベンゼン	28.9
アセトン	23.3	エタノール	22.6
エチルエーテル	17.0	メタノール	22.5
ヘキサン	18.4	グリセリン	6.34

### 2-3-3. 濡れ

2つ目の性質は濡れである。固体表面に液体が接するとき、固体と液体の相互作用が強い(仲が良い)と固体は液体によく濡れ、逆の場合は濡れにくい。接触角(θ)が濡れ易さの指標となっている(図5)。

濡れやすい表面はθが小さく(θ < 90°)、濡れにくい表面は大きい(θ > 90°)。この濡れやすさは液体と固体の性質で決まる。例えば、清浄なガラス表面は水によく濡れる(θ = 0°)が、パラフィン表面は濡れにくい(θ > 90°)水を弾く。

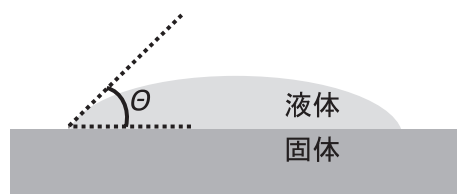


図5. 接触角(θ)

## 3. 水面で働く力

### 3-1. 水の粒(分子)同士は引っ張りあっている?

まず、表面張力の項で述べた分子同士が引っ張り合っていることを簡単に示す実験を行う。バルクな水から薄い層を切り出して膜にすれば、この膜内の分子集団には膜面に沿った2次元方向の力が均一に働くことになる。純粋な水では表面張力が大きいため膜を作成できないが、界面活性剤を添加することによって容易に膜を形成することができる(図6)。

プラスチック皮膜の針金の四角い枠に木綿糸を図7(A)の様に結び界面活性剤溶液の薄膜を張る。膜が全面に張られていると、糸は両側から同じ強さで引っ張られ、弛緩した状態にある。

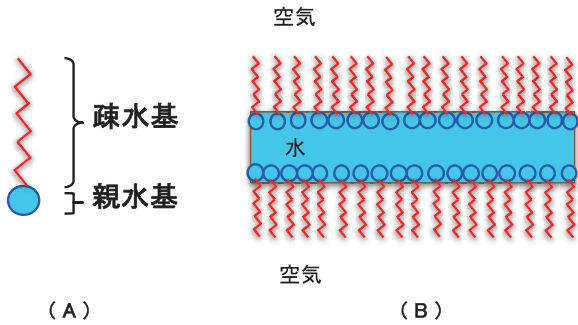


図6. (A) 界面活性剤の構造と (B) 界面活性剤による薄膜の形成。界面活性剤は水-空気界面で親水基を水に疎水基を空気に向けて並ぶことにより界面のエネルギーを下げるので、薄膜の形成を容易にする。

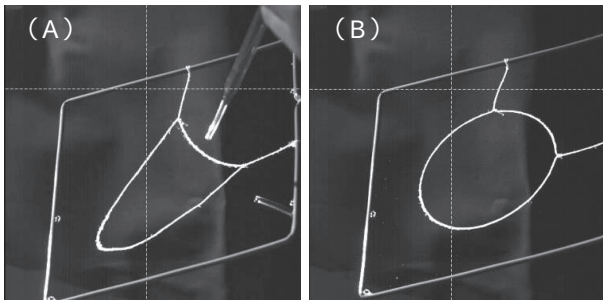


図7. 水の分子同士が引っ張り合っていることを示す実験

真ん中の糸で囲まれた部分の膜をガラスピペットや指で破るとその部分の領域は広がり円形となる (図7 (B))。これは、破れていない膜部分の表面エネルギーが最小 (表面積が最小) になるためである。破れた部分としては一定の長さの糸で囲まれた平面の面積が最大の円形となる。

### 3-2. メニスカスの観察

次に、ガラス製のシャーレに入った水の壁面付近の形を観察する (図8)。ガラス壁付近の水はガラス壁に沿って持ち上がり湾曲している。これをメニスカスと言い、ギリシャ語で新月の意味がある。小学校では5年生のメスシリンダーの使い方の場面で、湾曲した下の面の位置の目盛りを読むと教えられる。

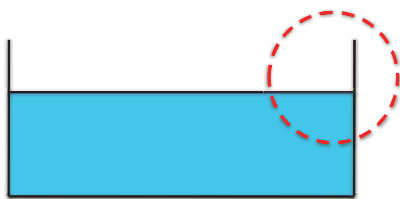


図8. メニスカスの観察

### 3-3. 1円玉を浮かべてみよう

水に1円玉が浮かぶことは知られている。水面に1円玉を浮かべ、1円玉の周りの水の形を観察する (図9)。

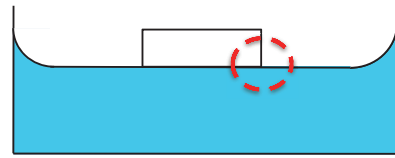


図9. 1円玉を浮かべてみよう

ガラス壁とは異なり、水面を押し下げ (表面を押し広げて)、トランポリンに乗った様に浮かんでいるのが観察される。

### 3-4. もう1枚浮かべるどうなる?

浮かんだ1円玉の横にもう1枚の1円玉を浮かべて変化を観察する (図10)。浮かんだ2つの1円玉が互いに水面上でくっついてくるのが観察される。浮かんだ1円玉の周りの水面は押し広げられて、エネルギーの高い状態にある。これらがくっつく理由は、このような状態が水面上のあちこちにある状態よりは、集合して (押し広げられた表面積を少なくして) エネルギーを下げた状態の方が安定であるからである。

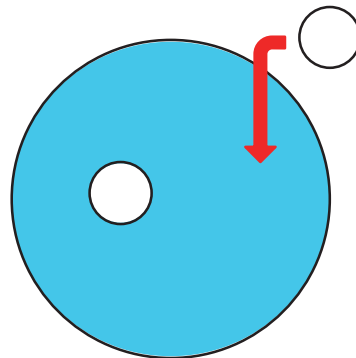


図10. もう1枚浮かべると、どうなる?

### 3-5. 二枚目を縦にして

次に、浮かんだ1円玉の横に1円玉を指で挟んで縦にゆっくりと差し入れるときどうなるだろうか? さらに、ゆっくりと引き上げるとどうなるだろうか? (図11)。

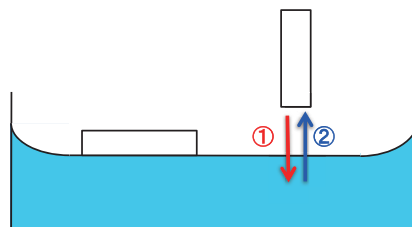


図11. 2枚目を縦にして

- ① ゆっくりと差し入れるときどうなる?
- ② ゆっくりと引き上げるとどうなる?

差し入れるときは、縦の1円玉の周りの水面は押し下げられて、浮かんだ1円玉の周りの水面と同じ形になるので、浮かんだ1円玉が縦の1円玉にくっついてくる。

引き上げるときは、縦の1円玉の周りの水は引っ張り上げられてシャーレの縁の水面と同じ形になる。引っ張り上げられた水面の形と押し下げられた水面の形は仲が悪い（近づくとエネルギーが大きくなる）ので、浮かんだ1円玉は縦の1円玉から遠ざかる。

### 3-6. 集合するわけ

実は、図9の状態、浮かんだ1円玉の周りの水面は押し下げられているのに対してシャーレの縁近くの水面は引っ張り上げられているので、浮かんだ1円玉は決してシャーレの縁に行くことはない。1円玉の代わりにペットボトルの蓋を水に浮かべると、蓋の周りの水面はシャーレ壁の場合と同様に引き上げられる。ペットボトルの蓋は1円玉とは反対にシャーレ壁にくっつく（図12（A））。

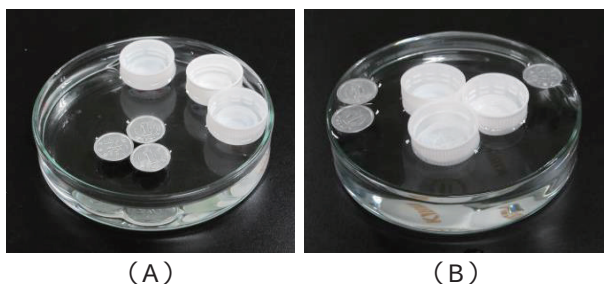


図12. 水位による1円玉とペットボトルの蓋の位置の変化（A）シャーレ壁高以下の水位、（B）シャーレの縁から溢れ出る直前の水位。

シャーレに入れた水を増やして溢れ出る直前の状態にするとシャーレの縁付近の水面は盛り上がり、1円玉の周りの水面の形と同じになる。すると1円玉はシャーレの縁にくっつく。反対にペットボトル蓋はシャーレの中央に寄ってくる（図12（B））。

これまでの実験をまとめると次の様に表現できる。すなわち、同じ水面の形同士は引き合うが、違う水面の形同士は反発する。これらの現象は、（佐々木恒孝、1978）に述べられている。図13にこの様子を示す。

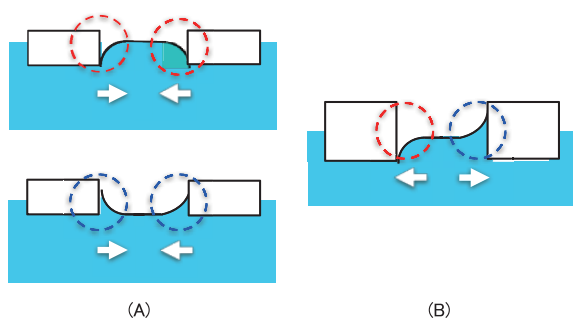


図13. 浮かんだものの水面の形と働く力との関係  
（A）同じ形の水面同士の場合引き合い、（B）異なる形の水面同士の場合反発する。

## 4. 水-空気界面が関係する日常の事例

### 4-1. 筆や髪の毛は水に濡れると纏まる

筆や髪の毛が濡れると纏まることはよく経験することである。濡れた毛髪や筆の毛の表面には水と空気の界面が形成されておりエネルギーの高い状態にある。これらは、離れて存在するよりも纏まって水-空気界面の面積を少なくした方が、エネルギーが小さくなるためそのような状態が実現される。

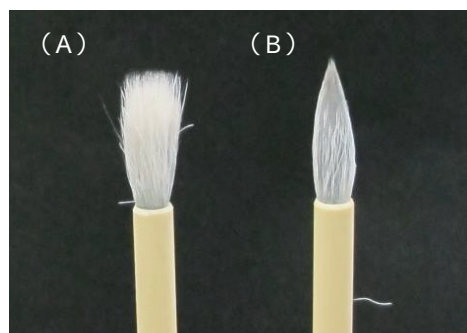


図14. 乾いた筆（A）と濡れた筆（B）の様子

### 4-2. 水面上の泡は寄り集まる

水面上に浮かぶ泡の縁付近の水は引き上げられた状態にある。このような泡同士は互いに寄り集まって集合体を形成する。

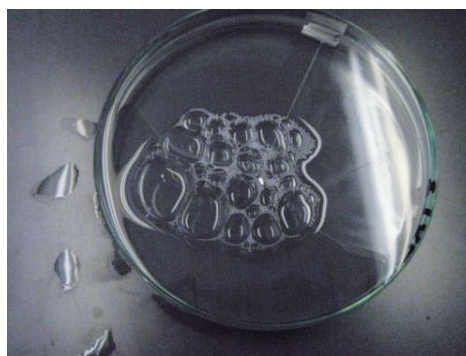


図15. 集合した水面上の泡

### 4-3. 泥団子や白玉団子を作るには水が必要

乾いた泥や白玉粉は手で丸めても固まることはないが、わずかに水を含ませると固まる。これも、髪の毛や筆と同様、水-空気界面の面積を少なくする働きによる。



図16. 泥団子

この働きを、視覚的によく見える様にするために、図17の様に粒を大きくしたモデルを用いることが可能である。

乾いたキューブ同士の間には何の力も働かない（図17左）が、間に水を少し入れるとキューブ同士は互いに接着して持ち上がる（図17右）。

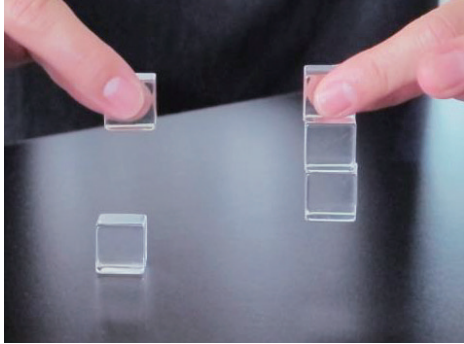


図17. 「粒を大きくしてみよう」  
濡れた砂粒間に引力が働くことを示すアクリルキューブモデル

#### 4-4. 水に浮かんだ浮き草や花びらは寄り集まる

私たちがよく目にする風景であるが、水面に浮かんだ浮き草や花びらは互いに集まっていることが多い。また、風がなく静かな水面で、アメンボが寄り集まっているのを見かけることもある。

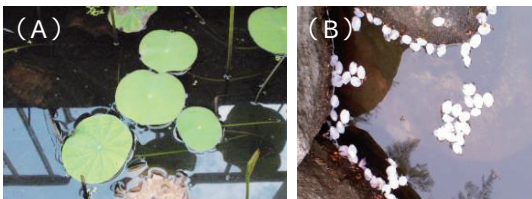


図18. 水面に浮かんだ蓮の葉 (A) と桜の花びら (B)

同じものの周りの水面は同じ形をしているので、その形に関わらず互いに集合する。

#### 4-5. 濡れ手で粟

手を濡らして乾燥した粟につけると粟粒が手にまぶらついてくる。苦勞せずに儲ける喩えとして諺に用いられている。



図19. 濡れ手で粟

#### 4-6. 逆さコップの水が落ちない訳

水をいっぱいに入れたコップに下敷きで蓋をして逆さにしても水は落ちてこない。その理由は、下敷きが少しでも下がるとコップのふちに沿って水-空気界面が形成され、エネルギーの高い状態となる。さらに下がると、水-空気界面の面積は増大し、エネルギーはさらに高くなる。結局、水-空気界面のない状態が最も安定である。

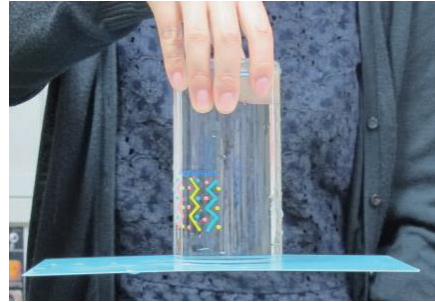


図20. 逆さコップ

#### 4-7. 昆虫の脱出戦略

昆虫の中には、水に落ちた時自分の周りの水面を調節して、水溜りからの脱出を図るものがある (Hu and Bush, 2005)。そのモデルが図21である。紙に昆虫の絵を描き輪郭に沿ってき切り抜く。水面に落とすと、水に触れた面は膨張し反り返った部分が水面を持ち上げてメニスカスを形成する。この形がシャーレの縁のメニスカスの形と同じになるのでこの模擬昆虫は泳がなくてもスウーと岸に到達する。

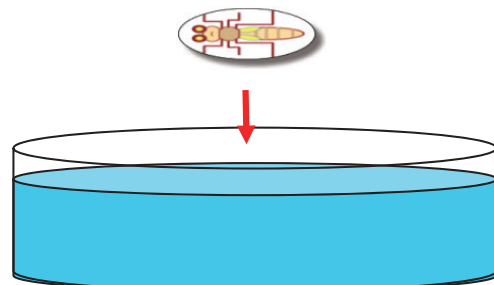


図21. 昆虫の脱出戦略モデル

### 5. 界面活性剤の効果

前節では、水面で働く力の日常の事例を見てきた。次に、これに対する界面活性剤の効果について、二つの事例を述べる。

#### 5-1. 盛り上がった水はどうなる？

ガラスコップから溢れる直前まで水を入れると表面張力で押さえ付けられ水面が盛り上がった状態になる。これに1滴界面活性剤溶液を垂らすと、表面張力が弱くなるので、盛り上がった部分の水が一気に周りに溢れる。

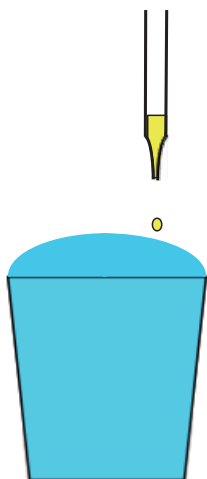


図22. 盛り上がった水はどうなる？

### 5-2. アメンボが溺れる？

アメンボの体は撥水性の物質できているため、1円玉の場合と同様に、水面を押し下げて浮かぶ。アメンボは忙しく動き回り器壁に頻繁に衝突を繰り返す。この水面に界面活性剤（洗剤）溶液を1滴垂らすとどうなるだろうか？ 結果は図23の様になる。



図23. アメンボの実験

界面活性剤がその疎水基をアメンボの体表に向けて結合するので、アメンボの体の表面は親水基で覆われることになる。その結果、水面が体表に沿って引き上げられ、水中に引き込む力が働く。アメンボは先ほどの動作を繰り返しながら沈んでいき、ものの10数秒もたたないうちに動かなくなる。

## 6. 教材化にあたって

以上、第2章から5章に渡って、水の基礎知識、水面で働く力、水-空気界面が関係する日常の事例、および、界面活性剤の効果についての教授内容を記述したが、これらは概ね、大学生や現職教員を想定した、フルバージョンとしての位置付けになる。実際には、実施する対象の児童・生徒の学年に応じ説明の平易化や内容の取捨選択等が必要になる。以下、実施経験に基づいて、エピソード

を交えながら、本教材の効果、および、理科教育の見方・考え方の視点からの考察を述べる。

### 6-1. 本教材の効果

6-1-1. 科学の始まり 2016年10月に山口大学教育学部附属幼稚園の4・5歳児に対して3-3から3-5の内容を実施した。一斉授業ではなく、日常の遊びの合間に興味のある園児が遊戯室の一角に設置したブースを訪れて遊ぶという形式である。幼稚園児にとって、1円玉を指で挟み水平に保ったまま水面の直上で静かに指を外して水に浮かべるという一連の作業は容易なことではなく、何回かの試行錯誤を要した。それだけにうまく浮かんだ時の喜びも大きく、歓声が上がった。3-5の実験（図11）では、浮かんだ1円玉の両側に同時に2枚の1円玉を縦に沈めるとどうなるだろうかという疑問が園児の一人から出された。結果としてはより近い1円玉にくっ付いてきたのであるが、園児からこのような疑問が出ることは意外であった。そこで今度は、2枚の1円玉を同時に逆向きに出し入れ（引き上げと沈み込み）するとどうなるかを試してみた。すると、浮かんだ1円玉を2枚の1円玉の間で、バトミントンで羽根つきをするように、行ったり来たりさせることができた。これらの実験から、縦に入れる1円玉は水面に対して直角よりも少し傾けて（浮かんだ1円玉に対して開き気味に）出し入れすると効率よく曲がった水面が形成されることがわかった。園児にとってこの実験は、繊細な指の動きを身につけるのに良いと思われるとともに素朴な疑問を生むきっかけにもなると思われた。ちなみに、この実験の際に園児に子ども用の白衣を着用させた（図24）。



図24. 白衣姿の園児たち

白衣を着た園児たちは、普段のわんぱく顔とは違って、「科学をやるんだ！」という顔つきになった。白衣の着用は意識の醸成にも役立つかもしれないと思われた。

また、2019年3月にカンボジアのいくつかの小学校で同様の実験授業を実施した（村上、2019）。そこで出会った児童たちのシャーレの縁に形成されたメニスカスや1円玉が浮かぶ様子を見つめる目は実に真剣であった。

6-1-2. 驚きと不思議さ 本実験教材の中で、受講者が驚く場面がいくつかある。1つ目は、水の分子同士が引っ張り合っていることを示す実験(図7)である。弛緩していた糸が自然の力で一瞬のうちに幾何学的な円に変わるのを見るとき、しばしば「ワァー」という驚きの声が出る。2つ目は、1円玉を浮かべる実験(図9および図10)で、浮かんだ1円玉の周りの水面が大きく湾曲して落ち込んでいる様子や2つの1円玉が互いに寄ってきてくっつく動きを観察する場面である。前者の場面では「スゲー」、後者の場面では「アッ、くっ付いた」という声が出ることが多い。3つ目は、昆虫の脱出戦略(図21)の実験で、模擬昆虫が体を反らせ、ひとりでの、シャーレの縁へと進む様子を見るときにも思わず声が出る。さらに、実際の昆虫の動画(Hu and Bush, 2005)を見せると驚きの表情を見せる。4つ目は、アメンボが洗剤液に沈む実験(図23)である。アメンボがもがきながら沈み早さに驚くとともにすぐに動かなくなるという結果になんとも言えない気持ちになる。これらの驚きや感情の動きは、想像していなかった形や動き(変化)を見たときに起こる。これらの生の反応は、「不思議だな」「なぜだろう?」という自発的な疑問が起こる端緒である。本教材にはこのような端緒が多く備わっている。

6-1-3. 納得 第4章の水-空気界面が関係する様々な日常の現象事例の紹介によって、受講者は普段意識することのない身近な多くの現象が同じ原理に従っていることを知る。これによって、学んだことの一般化がなされ、より確かな納得に至ると思われる。これらの事例を実験教材として提供することももちろん可能である。

6-1-4. 環境教育 2000年10月(本実験を始めた初期の頃)防府市青少年科学館(ソラル)での科学教室として、3-3、3-4、5-2、および関連する内容として墨流しの実験講座を行った。対象は小学生4名、中学生10名であった。小学生にはもちろん保護者が同席していた。特に印象深かったことを以下に述べる。

それは5-2の実験場面である。その時は各自にアメンボを洗剤液入りのビーカーに入れさせた。アメンボが、もがきながら沈んでいき、たちまち動かなくなる様子を見ると教室にざわめきが起こった。それと同時にこちらを睨むように見ている母親の視線を感じた。まるで、「私の可愛い息子になんて酷いことをさせるの!」と責めるような目であった。

「生き物が目の前でもがきながら死んでいくのを見ると胸が痛みますね。これは私も同じです。ですが、私たちは毎日たくさん洗剤を使って衣類や食器を洗っていま

すが、洗った後の液は一体どこにいくのでしょうか?」

説明がここまで来ると、先ほどの責める目が納得の目に変わり、私はホッとした。私たちは目の前で起こる悲劇には大変敏感に反応するが、視界から外れたところで起こることに対しては、たとえその原因が自分にあったとしても、鈍感である。この時の母親たちの視線の変化から、この教材は環境教育に使えると確信した。環境教育の重要なポイントは自分自身(より一般化して人間)の行為とその結果に対する想像力を養うことにあると思われた。

アメンボがもがきながら沈み死んでゆく様子を、抽象的な話ではなく目前で、見ることは大変感情を揺さぶる。この場面に立たされると、生徒、学部学生、現職教員、そしてアフリカ諸国からの教員研修生も、ほとんど例外なく、救出するためビーカーから取り出そうとする(図25)。



図25. 洗剤液にアメンボが沈む様子を観察するアフリカ諸国教員研修生

アフリカ諸国教員研修生の場合、「オー マイボーイ!」と叫びながら助けようとしていた。この気持ちは万国共通のようである。それを制して、洗剤の構造と機能および環境を変えることの意味を説明する。

ちなみに、洗剤液の中で動かなくなったアメンボは、その状態が短時間であれば、水で繰り返し洗い水気を取ってやれば、しばらくすると復活して跳ね回る。必要に応じて、このことも合わせて説明すると受講者は安心する。

## 6-2. 理科の見方における環境の位置づけ

平成29年改訂の学習指導要領解説理科編では、捉え方の視点としての「理科の見方」を、理科を構成する領域(エネルギー、粒子、生命、地球)の特徴的な視点から整理している(文部科学省、2018a)。すなわち、エネルギーを柱とする領域に関しては「主として量的・関係的な視点」、粒子を柱とする領域では「主として質的・実体的な視点」、生命を柱とする領域では「主として共通性・多様性の視点」、および、「地球」を柱とする領域では「主として時間的・空間的な視点」で捉える



とするものである。「主として」という断り書きが付いているとはいえ、この整理の仕方は偏りが大きく、これにとらわれすぎると一面的な教授と理解に陥る恐れがあると思われる。重なり大きい集合を無理やり分けた感がある。例えば、エネルギー概念には時間的・空間的視点は欠かせない。

「理科の見方」に関しては上記のこと以上に根本的な問題点がある。それは、緒言で述べたように、形式上は「理科の見方・考え方」の下に「科学的な見方・考え方」と「自然を愛する心情」が内包される形として整理されたことに関するものである。このように、日本の理科教育の伝統を考慮して形式的に整備されたことは評価されるべきであるが、残念ながら「理科の見方」にはそれが反映されていない。「理科の見方」として整理されたものはこれまでと同じ「科学的な見方」となっている。形式的には、ここに「自然を愛する心情」に関するものが入っているのが相当と思われる。「理科の見方」を視点として捉え、構成する領域の視点の特徴から整理しているが、別の整理も可能である。ここでいう領域（エネルギー、粒子、生命、地球）は概念として捉えることができる。すなわち、エネルギー概念、粒子概念、等々である。こう考えると、「自然を愛する心情」に関わる概念を「理科の見方」に付け加えれば実質的にも形式的にも整合性が取れることになる。この方が指導要領改訂の本来の意図に叶うと思われる。

筆者が提案したい付け加えるべき概念は「環境」である。日本人は昔から自然環境に恵まれ自然に親しみ愛でることから喜びを享受してきた。「喜び」と「愛」は一体なものであると考えられる（上野修、2005）。このことがかけがえのないこととの認識があればこそ、理科教育の目標として「自然を愛する心情」を養うことが受け継がれてきたはずである。他方、恵まれすぎてきたから、それが当たり前のことと受け取りがちであり、環境問題に対する問題意識が薄かった傾向も一方ではあると思われる。これに対する課題意識も指導要領解説の『「自然に親しむ」とは、単に自然に触れたり、慣れ親しんだりするということだけではない。……児童が対象である自然の事物・現象に関心や意欲を高めつつ、そこから問題意識を醸成し、主体的に追求していくことができるように……』（文部科学省、2018a）に同うことができる。しかし、自然に親しむことから自動的に問題意識が生まれないのと同様に科学的見方から問題意識が生まれる訳でもない。生命体の基本的欲求として「自己保存」（ダマシオ、2003）があり多くの活動はそのために行われているが、それを支えるものが環境である。キーワードは「愛＝喜び」と「自己保存」である。「自己保存」という要請から問題意識が生まれる。「自然を

愛する心情」は小学校では明示的に目標として述べられているが、中学校、高等学校と進むにつれて明示されなくなり、代わりに科学的探求の態度へとシフトしていく。これらを一貫した概念の元に明示できればさらに良い。

「環境」概念はそれにふさわしいと思われる。この環境概念と「自然を愛する心情」の繋がりは、次のように、文部科学省指導要領解説にも意識されている（文部科学省、2018b）。すなわち、「さらに、自然環境と人間との共生の手立てを考えながら自然を見直すことや実験などを通して自然の秩序や規則性などに気付くことも、自然を愛する心情を育てることにつながる」と考えられる。

概念として捉えた理科の見方に基づき、本教材を理科の見方・考え方に当てはめて、試みのマッピングを行うと表3の様になる。

表3. 本教材の理科の見方・考え方

		理科の見方				
		エネルギー	粒子	生命	地球	環境
理科の考え方	比較	量的・関係的 水面の形を比較して働く力との関係性を見つめる (メニスカスの形と引力・斥力のパターン)	質的・実体的	多様性・共通性	時間的・空間的	自己保存・喜び
	関係付け		粒子間の引力とマクロな形を関係付ける (水滴の形、膜の円形破れ)		水-空気界面の空間的広がりと働く力を関係付ける (汚染の原因への気付き)	アメンボに起こった現象と普段の私たちの行為の結果を比較・関係付けて、環境が保たれている条件を多面的に理解するとともに、強く保とうとする(水質保全等への関心・意欲・態度)
	条件制御					
	多面的考察			多様な現象に潜む共通性を理解する (身近な現象の事例)		

このように整理すると、「環境」は「エネルギー」、「粒子」、「生命」、および「地球」の見方（概念）を統合した見方（概念）であると同時に、「比較」、「関係付け」などの理科の考え方を総合して理解されるものであることが分かる。このように「環境」を付け加えることによって、理科という教科が知識・理解のレベルから行動のレベルまでを含んだ一貫性を獲得できると思われる。

最後に、まとめとして、2019年8月に光附属小学校で実施された現職教員対象の研修会での本教材に対する感想の1つを紹介する。

「教科書にない水についての実験でしたが、驚きがあって興味をもって取り組めた。今回のような驚きや興味関心が持てるような授業を考えていきたい。また、環境を含めて、自然を愛する心情を育てることも授業を考える時に意識していきたいと感じた」。

**付記** 本研究には山口大学基金の助成を得た。

**注)** 本稿ではギブスの自由エネルギーをエネルギーと表記する。一定温度一定圧力下では、ギブスの自由エネルギー

ギーが最小の状態が最も安定な平衡状態となる。

## 文献

- ・上野修、2005、スピノザの世界－神あるいは自然－、講談社、第6章。
- ・北野康、1995、「新版水の科学」p.20（表1 水圏における水の分布（米国、地質調査所による）より引用、NHK ブックス。
- ・佐々木恒孝、1978、身近な現象の化学、日本科学会編、第8章、「ぬれる－固体と液体の出合」。
- ・鈴木敬三、1997、水の話・十講－その科学と環境問題－、化学同人、p79。
- ・A. ダマシオ、2003、Looking for Spinoza 「感じる脳」田中三彦訳、ダイヤモンド社。
- ・D. L. Hu and J. W. M. Bush, 2005, Nature, vol. 437, 733-736, 'Meniscus-climbing Insects', Supplementary Video.
- ・村上清文、2019、平成30年度 山口大学教育学部 学部長裁量経費助成事業 報告書（令和元年5月）「教職グローバル・マインド育成のための参加型実践教育活動推進事業」～カンボジアの小学校における課題解決型理科実験授業の実践を通して～、p22、「カンボジアにおける教育支援報告」.<http://edu.yamaguchi-u.ac.jp/info/leaflet/h30-cambodia>.
- ・文部省、1891、小学校教則大綱（抄）（明治24年11月17日文部省令第11号、第8条）[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/others/detail/1318015.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1318015.htm).
- ・文部科学省、2018a、小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編、東洋館出版、pp12-13.
- ・文部科学省、2018b、小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編、東洋館出版、p18.