

博士論文

海洋研究成果の教材化と  
児童・生徒のメタ認知能力の育成

平成 25 年 12 月

高知大学大学院総合人間自然科学研究科  
黒潮圏総合科学専攻

中城 満

## 【はじめに】

私は、20 年間小学校の現場で理科教育とかかわってきた。そのため、昨今言われつづけて久しい「児童生徒の理科離れ」「教員の理科離れ」を解消したいという思いを強くもつ教員の一人である。自分自身が実践してきた理科教育の中で多く味わってきた理科の魅力を一人でも多くの人にも感じてほしいと願っている。

「理科離れ」の問題は今や教育現場での課題にとどまらず、「科学離れ」という言葉で代表されるように日本の社会全体の問題としても取り上げられている。また、平成 21 年度から始まった現行の学習指導要領においても、その改訂の経緯の中で、「思考力・判断力・表現力等をはぐくむために、観察・実験、レポートの作成、論述など知識・技能の活用を図る学習活動を発達段階に応じて充実させる」という記述があり、教育改革の柱の一つとして理科の重要性が示されている。とりわけ、理科学習の入り口である初等教育における理科教育の在り方の改善が重要であり、その充実に向けた取組等が注目されている。そして、さまざまな方面、分野で「理科離れ」の解消に向けての努力が続けられている。例えば CST（コア・サイエンス・ティーチャー）養成プログラムなどの充実を通して、現職教員や教育系大学院生の理科授業スキルアップをめざす取組などである。これらのさまざまな取り組みは一定の効果を上げ、徐々に理科を得意とする小学校教員は増えつつある。また、教育系番組などでも科学実験や面白実験などが多く紹介され、児童生徒の興味関心を喚起する環境も

充実してきているのも事実であろう。しかし、教育の効果は長い時間をかけて効果が表れるものだと言われているとはいえ、現在のところ「理科離れ」が解消される効果的な手法が明確に示されているわけではなく、児童生徒の「理科離れ」についての現状や小学校教員の「理科離れ」が解消されているわけではない。

本研究においては、このような一連の「理科離れ」の現状とその原因を分析するとともに、その解消に向けた手法を探ることを目的としている。その一環として、新しい科学研究成果の教材化による授業法の開発と理科授業におけるメタ認知能力育成のための手法の開発を行った。

本論文の構成は以下の通りである。

まず、日本における理科教育の現状を探ると共に、その原因を明らかにする。また、現在注目されている「科学コミュニケーター」に視点をあて、この取り組みや理念を分析する。その考え方をもとに、学校教育におけるインタープリターとしての理科教師の役割を明確にする。次に、著者自身がかかわった研究活動を基にして理科教育に活用されるべき科学的研究成果を把握し、教材化のための素材の開発について述べる。さらに、これらの教材を用いて研究授業実践を実施し、新たな理科指導法の可能性を探る。最後に、理科教育におけるメタ認知能力育成の意義を明確にしたうえで、科学教育研究成果に基づいて開発された教材を用いてメタ認知能力育成のための理科指導法の開発について述べる。

上記の構成を具体化した章立てを以下に示す。

はじめに

## 第1部 基礎研究

第Ⅰ章 わが国における理科教育の現状

第Ⅱ章 理科の学習を通して身につくもの

第Ⅲ章 科学コミュニケーションと理科教育

## 第2部 基礎科学研究

理科教材開発を目的とした、海洋研究「外洋棲ウミアメンボ3種の生息密度と温度環境」

## 第3部 質問紙研究

「青少年のための科学の祭典」に参加した子どもと保護者の科学への意識と分野選択に関する質問紙研究

## 第4部 介入授業研究

第Ⅰ章 「アメンボが浮くしくみ」教材の教育的効果を評価する為の介入授業研究

第Ⅱ章 子どものメタ認知能力を生かした授業の教育的効果を評価するための介入授業研究

第Ⅲ章 科学研究成果の教材化とメタ認知能力育成をめざした手法の開発

## 第5部 総合的考察

## 第 1 部 基礎研究

### 第 I 章 わが国における理科教育の現状

#### 1. 2つの国際学力調査

わが国の理科教育の現状を把握するために指標となるもののひとつが国際学力調査であり、代表的なものとして PISA「生徒の学習到達度評価」(PISA2003:Programme for International Student Assessment 2003)、TIMSS「国際数学・理科教育動向調査」(TIMSS2003:Trends in International Mathematics and Science Study 2003)、が挙げられる。ここでは、まず、PISA2003の結果からわが国の理科教育における「科学的リテラシー」の現状を、TIMSS2003の結果から小中学生の理科における一般的な学力についての現状を明らかにする。

PISA2003においては、41カ国の国と地域が参加して実施された。わが国では2003年7月に高校1年生約4,700人を対象として実施した。知識や技術等を実生活のさまざまな場面で直面する課題にどの程度活用できるかについて、「読解力」「数学的リテラシー」「科学的リテラシー」「問題解決能力」の4分野にわたり主に記述式で解答を求める問題により調査がおこなわれている。特に、理科教育と関連の深い「科学的リテラシー」については、その定義と3つの側面が明示されており、それぞれ以下のようにになっている。

科学的リテラシーとは、「自然界及び人間の活動によって起こる自然界の変化について理解し、意思決定するために、科学的知識を使用し、課題を明確にし、証拠に基づき結論を導き出す能力」である

#### 科学的リテラシーの3つの側面

・科学的知識・概念： 物理学、化学、生物学などの各分野から選択され、力と運動、生命の多様性、生理的变化などの多くのテーマから導かれる。

・科学的プロセス： 次の3つのプロセスに分類される。

プロセス1：科学的現象を記述し、説明し、予測すること

プロセス2：科学的探究を理解すること

プロセス3：科学的証拠と科学的結論を解釈すること

・科学的状況・文脈： 生活と健康、地球と環境、技術について、日常生活におけるさまざまな状況で科学を用いること。

これらの定義と側面は、理科教育においても大変重要な要素であり、これらの能力を育てることは、教科としての理科における目標のひとつでもある。また、知識や技術等をどの程度「活用」できるかを問う問題内容、記述式で解答を求めるという方式など、どれも文部科

学省が提示する「生きる力」の育成に共通する点がある。このような観点から、PISA2003の結果を、理科における思考力の現状を探るためのひとつの指標とする。

TIMSS2003の詳細は次のようなものである。対象者は、小学校4年生の児童については25カ国の国と地域で実施され、わが国では約4,500人が対象者となった、中学校2年生の生徒については46カ国の国と地域で実施され、わが国では約4,900人が対象者となった。調査内容については、学校のカリキュラムで学んだ知識や技能等がどの程度習得されているかについて、算数・数学および理科の学習内容に関して選択肢形式により解答を求める問題で調査がおこなわれた。そして、各国の教育制度、カリキュラム、指導方法、教師の資質、児童・生徒の学習環境条件等の諸要因との関係が明らかにされた。PISA2003が高等学校1年生を対象に実施されたのに対して、TIMSS2003は小学校4年生と中学校2年生を対象として実施されている。したがって、TIMSS2003における結果は、本論文の対象である初等教育と中等教育初期の児童生徒の実態を明確するための指標とする。

## 2. PISA2003 調査より

PISA2003の調査結果からは、主に「科学的リテラシー」についてのわが国における児童生徒の現状を分析する。表1-1-1は科学的リテラシーの各国における平均得点の比較したものである。この得点は、OECD加盟国の平均値が500点、標準偏差が100点になるように換算されている。わが国は本調査においても前回の2000年の調査においても上位を占めてお

**表 1-1-1 科学的リテラシー平均得点の国間比較（上位 5 位まで）**

2000 年調査(31 か国中)			2003 年調査(40 か国中)		
国名	得点	(標準誤差)	国名	得点	(標準偏差)
1 韓国	552	(2.7)	1 フィンランド	548	(1.9)
2 日本	550	(5.5)	2 日本	548	(4.1)
3 フィンランド	538	(2.5)	3 香港	539	(4.3)
4 イギリス	532	(2/7)	4 韓国	538	(3.5)
5 カナダ	529	(1.6)	5 リヒテンシュタイン	525	(4.3)

り、得点の面から見ると、科学リテラシーにおいては高い能力をもっていることが推察できる。

それでは、平均点には現れない個人の科学リテラシー能力に目を向けるとどうなるであろうか。表 1-1-2 は科学リテラシー平均得点の上位 5 カ国における得点分布を示したものである。その国の国内での上位 5%、上位 10%、上位 25%、下位 25%、下位 10%、下位 5% にそれぞれ位置する生徒の得点を表している。わが国は上位 5%、上位 10%、上位 25% に位置する生徒の得点をもっとも高くなっている。その一方で、下位 10%、下位 5% にそれぞれ位置する生徒の得点はいずれも 4 位となっている。これは、得点上位の生徒数と下位の生

**表 1-1-2 科学的リテラシー平均得点上位 5 カ国の得点分布 得点（標準誤差）**  
(点)

	下位 5%値	下位 10%値	下位 25%値	上位 25%値	上位 10%値	上位 5%値
フィンランド	393(3.5)	429(2.6)	488(2.8)	611(2.2)	662(2.9)	691(3.5)
日本	357(7.0)	402(6.0)	475(6.1)	624(4.2)	682(6.0)	715(7.9)
香港	373(9.8)	412(8.6)	478(6.9)	608(3.5)	653(3.9)	680(4.3)
韓国	365(6.3)	405(5.0)	473(4.8)	609(4.3)	663(4.7)	695(5.8)
リヒテンシュタイン	351(17.3)	389(8.7)	450(5.7)	598(9.1)	659(10.4)	690(13.5)
OECD 平均	324(1.2)	362(1.1)	427(1.0)	575(0.8)	634(0.9)	668(1.0)

※香港とリヒテンシュタインは OECD 非加盟国である。



徒数が多いことを示唆している。つまり、科学的リテラシーの高い生徒と低い生徒の格差が大きいことを意味している。後述の「科学的リテラシーの問題ごとの通過率」でも触れるが、このような能力の高い生徒と低い生徒の格差が大きいということはわが国の理科学力を特徴付ける現象の一つであると考えられる。

科学的リテラシーの問題ごとの通過率についても、詳細な分析がおこなわれている。科学的リテラシーに関する設問は全部で 34 問あり、「温室効果」「衣類」「地球の気温」「水」といった内容で、論述形式、選択肢形式等の手法で出題されている。わが国の結果については、全 34 問中平均正答率を下回ったのは 5 問のみ（温室効果 3 問目、クローニング 2 問目、生徒の自主研究 3 問目、天気予報 2 問目、潮力発電）であり、あとはすべて上回っている。

これらの問題のうち、問題内容と結果（反応率）が公表されているのが「クローニング」と「昼間の時間」についての内容の設問である。まず、「クローニング」の設問について考察する。「クローニング」の設問は、1997 年にスコットランドの科学者、I・ウィルムット博士によって誕生させたクローン羊の「ドリー」に関するものである。この中の「クローニングに関する問 3」は、多くの国で人間のクローニングを禁止しているがその理由として考えられる根拠が科学的かどうかを問うている。理由の選択肢が用意されていて、1 つは「クローン人間は、普通の人間より特定の病気にかかりやすい」というもの、もう 1 つは「人間は、神の領域をおかすべきでない」というものである。この設問についてのわが国の結果を表 1-1-3 に示す。わが国の結果は 13 か国中 9 位である。また、誤答率も韓国、香港につい

で多い。また、無答率もわずかではあるが他国よりも多い傾向がわかる。問3は理科の内容から言えば遺伝子操作などを含むが倫理的な問題も含んでいる。したがって、現代社会が抱える問題でもあるという側面から社会科や総合的な学習など多面的な学習を通して指導する必要がある。このような面で、わが国の教育現場の状況がこのようなさまざまな視点から追求する必要のある問いへの対応を困難にしているのかもしれない。ただ、この設問で取り上げられたクローン羊の話題については、発表当時はマスコミ等で大々的に取り上げられたが、他国での出来事でもあり、しばらくして話題にならなくなった印象が否めない。したがって、それに伴い学校現場においてもしだいに取り上げられなくなった。また、問いの2

**表 1-1-3 「クローニングに関する問3」の反応率 (%)**

国名	反応率				正答率
	完全正答	部分正答	誤答	無答	
1 ニュージーランド	74.9	13.3	11.6	0.3	74.9
2 カナダ	73.3	15.8	10.4	0.6	73.3
3 オーストラリア	72.8	16.0	10.7	0.6	72.8
4 アイルランド	71.4	13.8	14.0	0.8	71.4
5 オランダ	70.3	12.8	16.9	0.0	70.3
9 日本	65.3	11.7	22.1	1.0	65.3
11 ドイツ	63.1	14.6	21.6	0.7	63.1
12 香港	51.8	24.9	22.8	0.5	51.8
13 韓国	51.2	22.8	25.6	0.4	51.2
OECD 全体	62.1	18.8	18.2	1.0	62.1

※上位5カ国、下位3カ国抜粋（OECD加盟13か国中）

つ目の選択肢である「神の領域をおかすべきではない」といった宗教の要素が入ってきていることが韓国、香港をはじめわが国でも成績が低迷した理由のひとつになっているのではないかと考えられる。

もうひとつの「昼間の時間」に関する問題は、地球に昼と夜がある理由を問う問1と、メルボルン（南半球）で、昼間の時間が最も短い日を図示する（地軸、北半球、南半球、赤道などを書き入れる）問2から構成されている。表1-1-4は、そのうちの問2についての反応率を示したものである。わが国の正答率は37.9%でもっとも高くなっている。しかし、一方で「クローニングに関する問3」と同様、無答率の割合も高くなっている。全体の無答率が2位のカナダ、3位のフィンランド、11位のオランダよりも高いのである。2000年の調査においても、わが国の解答状況には、「完全正答の割合が高く、誤答の割合が低く、無回答の

**表 1-1-4 「昼間の時間に関する問2」の反応率 (%)**

国名	反応率				正答率
	完全正答	部分正答	誤答	無答	
1 日本	23.5	28.8	34.2	13.5	37.9
2 カナダ	19.6	15.4	52.5	12.6	27.3
3 フィンランド	19.2	14.2	55.7	11.0	26.2
4 オーストラリア	17.5	15.3	45.6	21.6	25.2
5 ニュージーランド	16.4	13.7	48.7	21.2	23.3
11 オランダ	13.4	9.0	65.5	12.1	18.0
12 アイルランド	9.4	14.4	60.4	15.8	16.6
13 ドイツ	11.7	7.9	47.7	32.8	15.6
OECD 全体	12.5	12.2	51.2	24.1	18.6

※上位5カ国、下位3カ国抜粋（OECD加盟13か国中）

割合が高い」という傾向が示されている。この傾向は「科学的リテラシー」の上位と下位の格差が大きいという傾向とも一致する。これらの点を総合すると、PISA調査における科学的リテラシーについてのわが国の状況は、全体的には高い水準を維持しているものの、身につけている生徒とそうではない生徒の格差が他国に比べて大きいという特徴があることが

わかる。

### 3. TIMSS2003 調査より

TIMSS2003 の目的は以下のようになっている。

初等中等教育段階における児童・生徒の算数・数学及び理科の教育到達度を国際的な尺度によって測定し、各国の教育制度、カリキュラム、指導方法、教師の資質、児童・生徒の学習環境条件等の諸要因との関係を明らかにする。

この目的と質問紙の内容等から以下のような点を明らかにすることができる。まず、児童・生徒のペーパーテストによる学力評価だけでなく、彼らの興味関心に代表されるような理科に対する心情面の状況を把握できるということである。次に、児童・生徒の学力を彼ら自身のもつ能力のみと関係付けるだけでなく、彼らが置かれた状況、特に教師の存在を含めた教育環境と関係付けて分析することができるということである。したがって、わが国の理科教育の現状を児童・生徒の能力からだけではなく、より多面的に把握することができるという点で PISA2003 の調査とは別の意義があるといえる。

まず、TIMSS2003 調査から明らかとなったわが国における理科の成績について考察する。

PISA2003 と TIMSS2003 が明確に区別できるのは、前者が「科学リテラシー」としての生徒

表 1-1-5 TIMSS2003 におけるわが国の理科の成績

実施年		第 1 回 (1970 年)	第 2 回 (1983 年)	第 3 回 (1995 年)	第 4 回 (2003 年)
小 学 校	国数	16	19	26	25
	学年	5 年	5 年	4 年	4 年
	表記	平均得点 (点)	平均正答率(点)	平均得点 (点)	平均得点 (点)
	得点／率	21.7	64.3	597	543
	順位	1 位	1 位	2 位	3 位
中 学 校	国数	18	26	41	45
	学年	3 年	3 年	2 年	2 年
	表記	平均総得点(点)	平均正答率(%)	平均得点(点)	平均得点 (点)
	得点／率	31.2	67.3	571	552
	順位	1 位	2 位	3 位	6 位

の能力を示しているのに対して、後者は物理、化学、生物、地学の各領域における知識理解を中心にした児童・生徒の能力を示している点にある。したがって、本調査によって明らかになるのは、概念的理解、事実の知識といった認知的領域についてである。ペーパーテストなどで測定が可能な学力に近い能力の状況を確認できるととらえられる。表 1-1-5 は第 1 回目から本調査である第 4 回目までのわが国の理科の成績と調査参加国数の推移を示したものである。第 1 回目は小学校中学校ともにわが国は 1 位の成績を収めている。そして回を重ねるにつれ、順位が下がっていることがわかる。本調査では特に中学校が順位を落としていくが、いずれにしても上位グループであることには変わらない。

本項の最後にも述べるが、このような推移を「成績が落ち込んでいる」と見るか、「依然上位に残っている」と見るかは、見方によると思うが、分析する側の立場によっても大きく

変わるのではないだろうか。国際比較という性質上、これらの成績を一括した「国の学力」として見る立場からは前者として見られるだろう。また、外交上の問題というような特殊な場合に限らず、「国の学力」が落ち込んでいるということは、将来を担う社会人の育成という点でも影響が出る可能性がある。したがって、われわれ一般の日常社会においてもまったく無関係なわけではないだろう。しかし、一人ひとりの児童生徒の人間性を育成するという教育における第一の目的から考えたとき、表 1-5 に見られるような成績の「落ち込み」をすぐさま「強力な対策を講じる必要のある案件」と捉える必要があるかどうかについては、慎重に考察するべきではないかと考える。このように考えたとき、これらの結果からは、わが国における理科の成績は「若干下降傾向にあるが、依然高い成績を収めている」ととらえてよいのではないかと考える。

次に、本調査によって示された児童生徒の理科に対する意識等についての推移を示す。表 1-1-6 は、「理科の勉強は楽しい」という質問に対する答えの割合である。「強くそう思う」の割合は、中学校よりも小学校のほうが高い割合を占めるが、いずれも国際平均値よりも低い値を示している。また、若干の改善傾向にはあるが、特に中学校において「そう思わない」「まったくそう思わない」の割合が非常に高い。これらの資料からは、一般的に言われている「小学校に理科嫌いは少なく、中学校で理科嫌いが多くなる」という実態を裏付けるものとなっている。いわゆる「中 1 ギャップ」と呼ばれる問題と関連があり、この原因の大きなひとつに教科としての理科の問題がある。たとえば、算数・数学においてもこのような教科

の苦手意識が生まれる傾向はあるが、算数・数学においては教科名が変更されるのに対して、理科は小中ともに「理科」のままなのである。教科書会社によっては小学校での「理科」から、中学校での「科学」へと変更している場合もあるが、学習指導要領そのものは理科のままなのである。これは、学習する児童生徒のみならず、教師自身もつ学習内容等の変化への自覚を鈍らせてしまうひとつの要因なのではないだろうか。

表 1-1-6 TIMSS2003 質問紙「理科の勉強は楽しい」の結果

選んだ項目		「強くそう思う」			「そう思う」			「そう思わない」 「まったくそう思わない」		
実施年		1995	1999	2003	1995	1999	2003	1995	1999	2003
小学	日本	38		45	50		36	12		19
	国際平均値	44		55	39		27	17		18
中学	日本	8	8	19	45	42	40	47	49	41
	国際平均値	23	32	44	49	47	33	28	21	23

このような学習が進むごとに苦手意識や有用感の喪失が増えるという現状は、大変憂慮すべき問題であり、その原因を明確にする必要がある。しかし、この問題は中学校の問題だけにとどまらず、理科という教科の基礎を築いてきたはずの小学校理科における問題点であることも忘れてはならない。小学校での体験的な学びがその機能を十分果たしきれずに、科学的な見方や考え方を養いきれずにいるのではないかという視点である。この問題点については、本研究を通して明確にするとともに、具体的な解決のための指導法も明らかにしていきたいと考えている。

表 1-1-7 は「理科の勉強に対する自信」に対する答えの割合である。表 1-1-6 の結果と同様、「自信」についても、小学校で高い割合を示していること、中学校で低い割合を示して

いること、国際平均値を下回っていることが示されている。「理科は楽しい」ということと

「理科に自信がある」ということの大きな相関があるということがわかる。

**表 1-1-7 TIMSS2003 質問紙「理科の勉強に対する自信」の結果**

選んだ項目		高いレベル	中間層	低いレベル
小学	日本	<b>46</b>	<b>41</b>	<b>13</b>
	国際平均値	59	32	9
中学	日本	<b>20</b>	<b>46</b>	<b>34</b>
	国際平均値	48	38	13

※：理科の勉強に対する自信に関して、下記のそれぞれの質問項目について、「①強くそう思う」、「②そう思う」、「③そう思わない」、「まったくそう思わない」から選択させ、次のようにレベルを設定している。

高いレベル：すべての質問項目に対し、①、②（否定的な質問項目では③、④）のみ回答

低いレベル：すべての質問項目に対し、③、④（否定的な質問項目では①、②）のみ回答

中間層：それ以外の場合

**【質問項目】**

- ・理科の成績はいつも良い
- ・私は、クラスの友達よりも理科を難しいと感じる
- ・理科は私の得意な教科ではない
- ・理科で習うことはすぐわかる

表 1-1-8 は中学生を対象にした「理科の勉強への積極性」に対する答えの割合である。理科への積極性が高いレベルの生徒は少なく、逆に低いレベルの生徒の割合が多いことがわかる。ただ、若干ではあるが 1999 年よりも 2003 年のほうが、高いレベルにおいて数値が上がり、低いレベルにおいて下がっている。また、国際平均値と比べると、高いレベルで国際平均値を大きく下回っており、低いレベルで上回っている。これらの結果からも中学生の理



科に対する苦手意識がうかがえる。また国際比較においてもわが国の生徒の理科に対する意識が低いことがわかる。この傾向はこれまで見てきた調査結果と同じような傾向を示しており、共通の原因が存在することがうかがえる。この調査における積極性のレベルを設定する際に使用された質問項目を見してみる（表 1-1-8※参照）と、たとえば、質問項目 d「他教科を勉強するために理科が必要だ」というように、他教科との関連性を問う内容や、質問項目 c, 質問項目 e, 質問項目 f, 質問項目 g のように、日常生活や将来のことまで教科としての理科の授業との関連を問う内容が含まれている。これらは、理科授業改善の視点とは異質な部分があるが、児童生徒が理科を学ぶ上での基本的な動機付けとしては無視できない要

**表 1-8 TIMSS2003 質問紙「理科の勉強への積極性」の結果**

選んだ項目		高いレベル		中間層		低いレベル	
実施年		1999	2003	1999	2003	1999	2003
中学	日本	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>60</b>	<b>56</b>	<b>30</b>	<b>27</b>
	国際平均値	40	57	49	31	10	12

※「理科の勉強への積極性」に関して、次のそれぞれの質問項目について、「①強く思う」、「②そう思う」、「③そう思わない」、「まったくそう思わない」から選択させ、次のようにレベルを設定している。

高いレベル：すべての質問項目に対し、①、②のみ回答

低いレベル：すべての質問項目に対し、③、④のみ回答

中間層：それ以外の場合

**【質問項目】**

- a 学校で理科をもっとたくさん勉強したい
- b 理科の勉強は楽しい
- c 理科を勉強すると、日常生活に役立つ
- d 他教科を勉強するために理科が必要だ
- e 自分が行きたい大学に入るために理科で良い成績をとる必要がある
- f 理科を使うことが含まれる職業につきたい
- g 将来、自分が望む仕事につくために、理科で良い成績をとる必要がある

素である。同様の結果は、表 1-1-9 から読み取ることができる。項 A と項 B は理科を肯定的に見ているかどうか、項 C は逆に否定的に見ているかどうかを読み取れる。いずれも、国際平均値とは逆の傾向を示している。理科を「生活に役立つ」「将来の自分にとって有益だ」ととらえている児童生徒は少ないのが現状であると考えられる。

西洋の科学を学ぶことがそのまま個人の利益や国の発展に寄与していた時代とは現在の状況は大きく違っており、現在では理科に限らず、学習自体の意義や動機付けが見出しづらい状況である。このようなわが国独自の社会状況も理科の勉強への積極性が見出せない原因のひとつであると考えられる。しかし、一方で、質問項目 c や質問項目 d のような内容に関しては、その原因を探り、解決するための大きな役割を理科教育が担うことができるもの

表 1-1-9 TIMSS2003 質問紙その他の項目における結果（中学生）

選んだ項目		「強くそう思う」			「そう思う」			「そう思わない」 「まったくそう思わない」		
実施年		1995	1999	2003	1995	1999	2003	1995	1999	2003
項 A	日本	9	11	12	30	31	27	60	58	61
	国際平均値	29	33	38	33	36	28	38	31	34
項 B	日本	5	4	11	44	35	43	52	60	47
	国際平均値	31	34	47	48	48	37	21	18	16
選んだ項目		「まったくそう思わない」			「そう思わない」			「強く思う」 「そう思う」		
項 C	日本		11	11		36	38		53	51
	国際平均値		18	27		39	27		44	46

項 A：「希望の職業につくために理科でよい成績を取る」の変化

項 B：「理科を勉強すると、日常生活に役立つ」の変化

項 C：「理科は得意な教科ではない」の変化

である。そのためには、理科教育を通じて、児童生徒がどのような場面でもどのような内容でも対応できるような普遍的な能力を身につけさせる必要がある。これらの能力や資質は、内田（2007）が述べているように、単に研究者や技術者の育成という視点にとらわれることなく、もっと広い視点から日本人、日本社会について考えることによって見出すことができる。また、坂本ら（2002）によれば、学力・思考力低下問題に関する合同シンポジウムにおける内容を紹介しているが、ここでも、日本独自の児童・生徒をどのように導くかということについての指針が示されている。それによれば、国際学力調査において近年めざましい成績の向上を示しているシンガポールの例を挙げ、これらの国々が英才教育をはじめ、高度な学力形成を目指す教育課程の編成に向かっているとしている。それに対して、日本においては、よりよい人間形成の基盤に立つ個性化とゆとりのなかで「生きる力」を育てようとする日本の教育課程は対比的であることが明らかにされたのである。これこそが教育の目的である児童・生徒の人格の陶冶という教育の目的そのものであるだろう。そして、その普遍的な能力が、文部科学省が提示している「生きる力」であり、グローバル化した現代の日本において、ダイナミックに目まぐるしく変化する現状を科学的に把握し、その把握に基づいた確かな戦略を見出して生き抜いていくことのできる能力の育成が求められているのである。そして、理科教育においてはこのような資質能力の核となるものが「科学的な見方や考え方」や「科学的な自然観」であろう。そして、したがって、本研究においても、具体的な実践研究を通じた手法開発の目的も、最終的には「科学的な見方や考え方」の育成に他ならないと

考えている。

#### 4. 国際学力調査の結果から見てきたわが国の理科の現状

以上の分析により見えてきたわが国の理科教育の現状を整理すると以下ようになる。

- ・ 「科学的リテラシー」については、国として見た総合的な児童・生徒の能力は高いといえる。しかし、個別に見てみると、個人差が大きく能力が高いものと低いものの二極化が進んでいる。
- ・ 理科の学力は若干下降傾向にはあるものの、国際間での比較においては上位に位置しており、能力の高さを示している。
- ・ 理科の学習への興味・関心、積極性、自信などは小学校において高く、中学校において低い傾向を示している。この傾向は他国の傾向とは逆である。
- ・ 理科に対する意識として、日常生活に役立つ、将来の自分のために役立つといった意識は低い傾向にある。この傾向は他国の傾向とは逆である。

このような現状において、もっとも憂慮すべき内容は、能力の二極化、理科に対する学習の意義付けのではないだろうか。先にも述べたが、学校教育における理科の最大の目的は、ノーベル賞を受賞するような科学者を大量輩出することでもなければ、かつて、科学技術立

国と呼ばれたわが国の知名度を取り返すことでもなく、人間育成そのものである。だとするならば、私たちが目を向けなければならないのは国際学力調査において上位を占めた「もともと理科好きな児童・生徒」ではなく、下位にランク付けされた「理科に興味・関心がもてない児童・生徒」「理科が嫌いな児童・生徒」なのではないだろうか。さらに、理科の目標である「科学的な見方や考え方を身につけることは、将来、科学者になったり技術開発者になったりするためのものではなく、科学に携わらなくても一般市民として身につけておかねばならない大切な能力なのだということを理科教師自身が自覚する必要がある。さらに、科学的な見方や考え方を身につけることが、日常の生活の中でどのように生かされるかを教師自身が明確にイメージし、理科授業において児童・生徒に対して適切に伝えていくことが必要であろう。

これらの問題を解決するための視点のひとつとして、次項において「科学コミュニケーターとしての理科教師の役割」を提示したい。

## 第Ⅱ章 理科の学習を通して身につくもの

本章においては、まず、理科教育にかかわって「文系」「理系」といった進路の違いがどのように児童・生徒や学生に影響を与えているのか、また、「文系」「理系」と分類されている人々にそれぞれどのような違いがあるのかについて、彼らがどのような科学的思考を習得してきたかという視点から考察する。次に、理科の目標である「科学的な見方や考え方」「科学的な自然観」とは何か、これらを「養う」とは何かを分析することによって、理科教育に求められている児童生徒に身につけさせるべき資質能力について明らかにする。これらの考察を通して、理科授業の目的の明確化とその目的を実現するための理科教師の役割について考察する。

### 1. 理科は「理系出身者」が教えるべき教科なのか

教員の理科離れが特に問題視されているのは、主に小学校現場においてである。そして、それらの原因の一つとして、小学校教員の多くが文系出身者であるという現状が挙げられる。この現状の要因として、まず、大学の教員養成カリキュラムの仕組みが挙げられる。多くの教育学部は文系に位置づけられ、入学する大半の学生は文系の学生だからである。また、理系の学生のうち教員志望のものはほぼすべてが中学校理科、高等学校理科の教員をめざす。学生自身も理科が好きで理科の内容を専門的に学んでおり、より高度な指導ができる中

等教育の教員を志向するのである。また、中学校が教科担任制であるのに対して、小学校が学級担任制であり、授業以外の児童指導や保護者の対応が必要となる。このような学校種における特性も、理学部等の学生が中等教育学校教員を志望する要因であると考えられる。

室伏（2003）は、理系と文系の学生における専門的知識などの格差が広がったことの一つの原因として、高等学校における履修の仕組みを指摘している。これによれば、特に現行の学習指導要領に変わる前の学習指導要領では、文系高校生と理系高校生では年間 10 単位もの理科授業履修の格差が生じる。そして、このような状況を生んでしまった原因として、理科教育の重要性に関する理系と文系の人々の間での理解の程度が違いすぎることを挙げている。

教員養成課程自体の特性も小学校現場に理系出身の教員が少ない理由として挙げられる。小学校は全科であることから理科以外の教科を指導しなければならない。そのため、小学校教員免許を取得するための単位数が多いことが原因で、これらの学生のうち小学校理科の教員をめざそうという希望の学生がいたとしても、在学中にこれらの単位をすべて取得することが困難なのである。これらの要因により、小学校の教員はほぼすべてが文系の出身者で構成されることとなる。

さらに、このような仕組みで輩出された文系出身の教員にとっては、理系である教科としての理科授業は難しいという苦手意識が存在する。学校現場においては、指導すべき知識理解項目への不安だけでなく、実験器具等の扱いの不慣れさから敬遠する教員も多く見られ

るのである。大阪府で以前発生したガスボンベの爆発事故や学級菜園で栽培されたジャガイモのソラニンによって中毒を起こした事故などが起こるたびに、教育委員会から指導徹底の通達が出されたり、マスコミで大きく取り上げられたりする。こうして、理科授業に対する敬遠の傾向に拍車がかかるのである。安全面の保障を徹底することは必要なのだが、理科授業を希望する教員そのものが減少していく現状があるのである。

このような現状を改善すべく、2013年3月には、自民党の教育再生実行本部が理数教育の充実策として、文系を含むすべての大学入試で理数科目を必須とすることや、小学校の理科の授業をすべて理科専門の教師が行うことを提言している。これらの学校現場における現状や文部科学省の提言からは、専門的な知識を有している者がその領域を指導できるし、指導すべきであるという考え方が読み取れる。もちろん、専門的な知識をもたない者にその指導はできないであろうことは容易に想像できる。しかし、理科の専門知識をもつことだけが「理科を指導できる」という必要十分条件なのだろうか。それだけでなく、児童生徒をよりよく理解する、そして、そのための専門知識を兼ね備えることが必要なのではないかと考えるのである。前項でも述べたが、わが国の理科教育の課題のひとつに「能力の二極化」が挙げられる。つまり、理科好きな子どもではなく、理科が苦手な子ども、理科が嫌いな子どもに焦点を当てることが必要なのである。私が大学で担当している中等理科指導法の受講学生に対し、「理科が嫌いな生徒はどうしてそう思うのでしょうか？」という質問をしたことがある。この際、多くの学生が「自分はこれまで理科が嫌いだったことがなかったので想



像できません」と答えて愕然としたことがある。学習指導は、児童生徒の現在の能力や課題を的確に把握し、それに合わせて適切な方法を用いて実施されなければならないのに、「嫌いな子どもの気持ちがわからない」では、指導者の専門的な知識を一方的に押し付ける指導になってしまわざるを得ない。そのような点において、専門的な知識だけではなく児童生徒の目線に立った指導としての専門的な知識を備えていることが理科教員に求められるのである。

## 2. 「文系」と「理系」の違いは何か

このような議論において、かならず話題となっているのが、「文系」「理系」という人の区分けについてである。前述の文部科学省による提言もこれらの「区分け」による発想が根底にあるように思われる。このような議論が行われるとき、これらの区分けは本当にその人の資質や能力を適切に示しているのかという疑問が起こる。「理系」として分類されている人が「文系」として分類されている人に比べて、理科教育における究極の目標である「科学的な自然観」や「科学的な見方や考え方」をより適切に身につけているのだろうか。そもそも、「理系」「文系」という区分けはどうして生まれたのだろうか。そして、これらの違いはその人の思考や生活にどんな違いがあり、理科の教員としての資質や能力にどのような影響があるのだろうか。このような疑問は、自分を「文系だ」と意識するあまり、理科に対して苦手意識を生むという意味で、冒頭で述べた小学校教員の理科離れという現状にも通ずる

ものがあるのではないだろうか。

日本の学校教育においては、遅くとも高等学校から進路指導等を通じて「文系」「理系」という区分けが指導に盛り込まれる。その結果、「理系人間」「文系人間」といった分類が自然発生する。生徒は、自分の進路を決定する重要な選択場面に際し、「自分は計算が苦手だから文系にした」といった自己分析によって自分を規定する。このような指導や学級編成等を通じて、生徒は自ら「自分は文系（理系）の人間だから…」と意識し始めるのである。これらは、日本の学校教育の仕組みが生み出したものである。さらに、桜井（1995）は、日本人の思考様式として文系と理系に区別されることを以下のように述べている。

現在、日本人の大部分は、幼児の段階から文系か理系かのどちらかに向いているとされて区別され、それが大体において、一生にわたって続く傾向がある。本来、人間には大変な融通性があり、文系、理系のうちのどちらというふうに分類することは難しいはずなのである。もちろん、人には傾いた面が見られるのは当然だが、それが生涯にわたって続くなどと考えられるのは、多分、わが国だけのことであろう。

それだけならまだ許されるとしても、文系の人間のほうが趣味が豊かであり、教養や人間性にも優れており、世にいう“物わかりのよい人”だとされているのがいかにもふしぎである。このことは一方では、理系の人間は、理屈っぽく偏屈で人間性の面では偏狭で、話のわからない人だといったことと、表裏の関係にある。

本来、このような区分けはその人を正しく評価したわけではないことが容易にわかる。また、阿部（1999）によれば、大学の一般教育においても、このような理系と文系の学問は互いに相いれない別の学問であるという認識が生まれたことを問題視しており、人文、社会、自然の産教科の間に深い関連性があることを指摘している。そして、これらの完成は学生の一般教育にとって本当に重要なことであり、教養教育の必要性を述べている。しかし、人は意外とこれらの価値基準に縛られており、自分を「文系」「理系」で区別したり、周りの人をこのような視点で眺めたりしているのである。一体、「理系」「文系」の違いはどこにあるのだろうか。または、それほど区別する必要はないのだろうか。

これらについて、教員養成課程の学生と理学部学生を対象にして、科学的思考力を問うパフォーマンス課題に取り組ませた結果を分析することを通して考察する。そして、この分析を受け、「文系」「理系」の相違は理科教員としての資質や能力として考慮すべき内容なのかどうかについて検討する。

### **3. 10年間の理科授業を通して身につくもの**

小学校第3学年から始まり、小学校で4年間、中学校で3年間、高等学校で3年間、合計10年間の初等・中等理科教育における理科学習を通して、児童・生徒に培われる資質・能力はなんだろうか。いわゆる理科の目標である。これは、学習指導要領に明記されており、

文部科学省（2008）および文部科学省（2009）によれば，それぞれの学校種においては次のようになっている。

#### 【小学校】

自然に親しみ，見通しをもって観察，実験などを行い，問題解決の能力と自然を愛する心情を育てるとともに，自然の事物・現象についての実感を伴った理解を図り，科学的な見方や考え方を養う。

#### 【中学校】

自然の事物・現象に進んでかかわり，目的意識をもって観察，実験などを行い，科学的に探求する能力の基礎と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め，科学的な見方や考え方を養う。

#### 【高等学校】

自然の事物・現象に対する関心や探究心を高め，目的意識をもって観察，実験などを行い，科学的に探求する能力と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め，科学的な自然観を育成する。

これらによると、最終的な目的として、それぞれ、小学校と中学校においては「科学的な見方や考え方を養う」、高等学校においては「科学的な自然観を養う」が挙げられている。したがって、10年間の理科学習を通した目的は、「科学的な見方や考え方」「科学的な自然観」を養うということになる。

さらに、小学校学習指導要領においては、「科学的な見方や考え方」について以下のよう  
に記述されている。

科学が、それ以外の文化と区別される基本的な条件としては、実証性、再現性、客観性などが考えられる。「科学的」ということは、これらの条件を検討する手続きを重視するという側面からとらえることができる。

実証性とは、考えられた仮説が観察、実験などによって検討することができるという条件である。再現性とは、仮説を観察、実験などを通して実証するとき、時間や場所を変えて複数回行っても同一の実験条件下では同一の結果が得られるという条件である。客観性とは、実証性や再現性という条件を満足することにより、多くの人々によって承認され、公認されるという条件である。

理科学習においては、実際に実験や観察を通して自然の中に隠されたきまりや規則性を見出していく。その際、児童・生徒自らが実験や観察を行うからこそ「実証性」が保障され、

そのよさを実感するからこそ「実証性」のよさに気づき、他の場面でも「実証性」を適用しようとして自ら検証するのである。また、理科授業においては、各グループでの実験や観察が行われ、グループごとに結果を導き出しもち寄って検討される。このとき、自分たちのグループの結果と同じ実験を行った自分たち以外のグループの結果とを比較し、同じ結果を得ることができれば「再現性」についての意味とよさに気づくことができる。そして、これらの活動を通して「実証性」「再現性」についての考え方を自らの考えとして取り入れ、他の場面でも使いこなすことができるようになると、さらに抽象的な概念を理解できたり発見したりすることができる。このようにして「客観的」な視野を身につけることができる。このようなプロセスが10年間の理科学習における活動の姿であり、このような過程を通して身につけていく力が「科学的な見方や考え方」「科学的な自然観」なのである。

教育の目的が「人間育成」であり、文部科学省が提起する「生きる力」であるならば、「科学的な見方や考え方」も「科学的な自然観」も理科を学ぶ児童・生徒がみな身につけなければならない資質・能力である。決して、科学者を目指すものだけが、さらに、「理系」と呼ばれる人だけが身につければよいのではないのである。したがって、高等学校を卒業した段階で、児童・生徒はみな「文系」「理系」の区別なくこれらの資質・能力を身につけているはずなのである。

#### 4. 「文系学生」「理系学生」を対象とした科学的思考力を測るパフォーマンステスト

##### (1) パフォーマンステストについて

理科の評価は、主に記述式によるテストで測定される。そして、測定が難しい項目、例えば、「関心・意欲・態度」「科学的思考」といった評価の観点などにおいては、しばしばパフォーマンス評価法が用いられる。

一般的にパフォーマンス評価とは、作文評価、口頭発表に対する評価、実技試験などの評価などのことを指す。この評価法が用いられるのは、科学用語を暗記しているからといって必ずしも科学的概念が獲得されたとは言い切れない。さらには、顕微鏡やガスバーナーといった実験器具を使いこなせるかどうかについては、記述式の評価では測定できない。これらの問題点にこの評価法がある程度対応できるのである。

ペーパーテストが主に「記憶」を中心とした内容に関する評価であるのに対して、パフォーマンス評価においては「行為・スキル」「適用」などに関する評価が可能である。このような特性を生かせば、前項において述べた「科学的な見方や考え方」「科学的な自然観」にかかわる「科学的思考力」を測定することができる。以上のような観点から、文系学生と理系学生における「科学的思考力」について比較、検討した。

## (2) 科学的思考力を測るためのパフォーマンステスト(小学校第6学年:ものの燃え方)

本実践において使用した実験器具は図1-2-1のようなものである。以下のような手順で、この器具を用いた現象を被験者に観察させた。

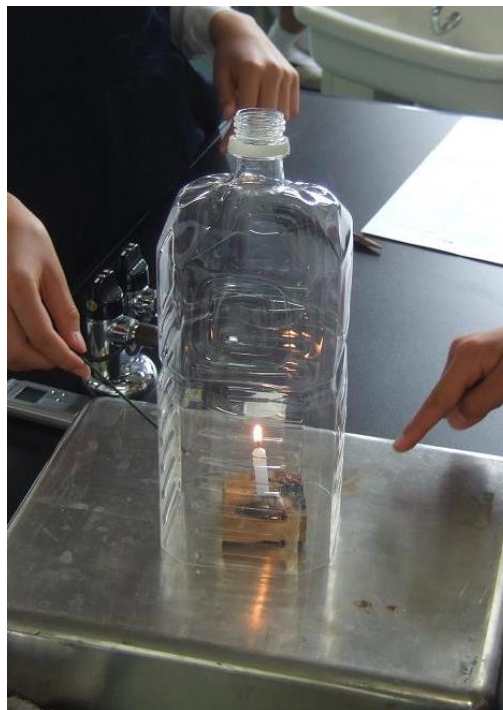


図 1-2-1  
パフォーマンステストに使用した実験器具

1. ふたをしたまま、このペットボトルを火のついたろうそくの上からかぶせる。

→30 秒ほどするとろうそくの  
炎は消える。

2. ふたをはずしてこのペットボトルを火のついたろうそくの上からかぶせる。

→ろうそくの炎は燃え続ける。

3. ふたをはずしたペットボトルの中で火が燃え続けた理由を考える。この際、「気体の動き」に着目し、燃え続けているときの気体の動きを矢印で表現（パフォーマンス）させる。

4. 線香の煙で気体の動きを確かめる。



この問いにおけるパフォーマンスは、「炎が燃え続けるための気体の動きを図に表す」ことであり、この図を正しく表現できるかどうかで、科学的思考を測定しようとするものである。実際の実験においては、ペットボトルの上の口からは中の気体が排出され、それに伴いペットボトルと床のわずかな隙間から中に空気が吸い込まれる、という現象が見られる。

このパフォーマンステストの正解を導くためには、2つのポイントをおさえておかななくてはならない。1つはペットボトルの上の口である。ペットボトルの口は直径2センチメートルほどの穴であるため、ろうそくの炎によって温められた空気の上昇によって外から空気が入ることができない。したがって、ペットボトルの上の口のところは「排出される空気の流れ」のみ記述しておかななくてはならない。2つ目はペットボトルの底を切った切り口と床の間の隙間についてである。この切り口ははさみで切り開けられたものであり、わずかな隙間が床との間に生まれる。この隙間を「空気の通り道」として認識していなければ、上の口のみが空気の出入り口として図を表現することとなる。また、この隙間を「空気の通り道」として認識しておれば、この隙間も空気の出入り口として図を表現するだろう。さらに、この隙間を空気がどのように流れるかを推測しなくてはいけない。ペットボトルの中の空気はろうそくの炎で激しく熱せられており、強い上昇気流が発生している。したがって、この上昇気流によるペットボトル外への空気の排出により低下した気圧を埋めるため、その分この隙間からペットボトルの外の空気が流入することとなる。つまり、この隙間においては「流入する空気の流れ」のみを記述しなくてはならないのである。

このような状況を推論するためには、いろいろな観点から現象を想像しなくてはならない。ろうそくの炎が終え続けるためには、まず、酸素が常に供給されなければならない。しかし、同時に二酸化炭素も発生しており、これは排出され続けなければならない。しかし、これだけの観点からは、正しい現象の説明は導き出すことができない。なぜなら、常温の二酸化炭素であれば、空気に比べて比重が重いので下方へ流れるが、発生した二酸化炭素は炎で温められ軽くなっているため、上昇してしまう。したがって、この観点を考慮に入れなければ、「下の隙間から二酸化炭素が排出され、上から外気が流入する」という判断をしてしまう可能性があるからである。また、ペットボトルの上の口の大きさも観点としなければならない。上の口がもう少し大きければ、上昇気流による排出の流れだけでなく、流入する気体の動きも見られるだろう。しかし、直径2センチメートルではそのような気体の出入りは見ることができないのである。したがって、このような状況における空気の動きを考える際には、科学的知識をもっているだけではなく、その実験における状況を適切に把握し、いろいろな方向から検討したうえで判断を下す必要があるのである。このような判断の過程において「科学的思考」が発揮されるのである。以上のことから、このパフォーマンス課題の解答がより正しく表現されたかどうかを診断することで、「科学的思考」スキルの定着度をある程度測定できるのである。

### (3) パフォーマンステストの実施方法

#### ① 対象学生および児童

対象とした学生および児童は表 1-2-1 のとおりである。なお、理系学生と文系学生に加えて、小学校第 6 学年の児童も対象とした。これは、このパフォーマンス課題について、通常行われる対象として選び出したものであり、比較の基準として設定したものである。

**表 1-2-1 パフォーマンス課題の対象学生および児童**

	課程	人数	受講授業名	主な志望校種
文系	教員養成課程 2 回生	50	初等理科指導法（必修）	中高等学校理科
	教員養成課程（理科コース） 2 回生・3 回生	17	中等理科指導法 I（必修・ 選択）	小学校 中学校理科
理系	理学部，農学部	65	中等理科指導法 I（必修・ 選択）	中高等学校理科
	小学 6 年生	33	国立附属小学校（既習内容）	

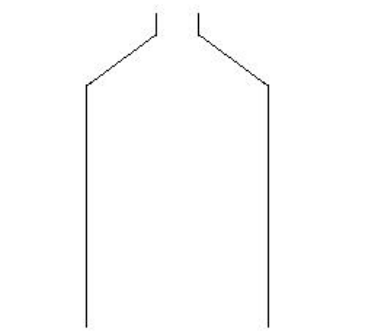
#### ② 分析方法

前項で示したパフォーマンス課題の手順に従い、対象学生および児童にそれぞれ問題に取り組ませた。手順③において、図 1-2-2 の様式のワークシートを使用し

これに直接「空気の流れ」を矢印で記入させた。

記入したワークシートを回収し、表現された矢印の

型を分類した。合計 13 種類の型が見出された。（表 2-2 参照，太枠の図が実際に見られる空気の流れである）この 13 種類を基本とし，正答数と誤答数，ペットボトルの上の口のみを



**図 1-2-2  
予想を記入するワークシート**

出入り口とみなす型と上だけではなく下の隙間も空気の出入り口とみなす型，それぞれの出入り口を出入りしている型と一方向のみとしている型，などに分類した。これを「文系学生」「理系学生」それぞれにおいて比較した。集計結果は表 1-2-3，表 1-2-4，表 1-2-5，表 1-2-6 にそれぞれ示した。表の横列はペットボトルの上の口に関する表記が同じもの，表の縦列は下の隙間に関する表記が同じものを整理してある。また，縦は「上の口の中央から排気，周りから吸気する」，「上の口の周りから排気，中央から吸気」，「上の口から出入り」，「上の口から出る，または入るだけ」をそれぞれ順に(a)(b)(c)(d)とナンバリングした。同様に，横は「下の隙間を考慮に入れていない」，「下の隙間から排気されている」，「下の隙間から吸気さ

表 1-2-7 予想の型別集計

	総数	正答	上のみ 正答	下のみ 正答	CO <sub>2</sub> 重 い	上 昇 なし	全て 出入り	下なし
文系学生	50	9	6	2	1	4	1	33
文系学生 (理科コース)	17	8	4	3	3	2	1	1
理系学生	65	35	1	9	13	3	1	6
小学生	33	5	0	0	0	1	2	26

れている」，「下の隙間から出入りしている」をそれぞれ㊷㊸㊹㊺とした。さらに，個別の型については，例えば正答の図は表 1-2-2 における (㊹-d) のように表記できるようにした。

### ③ 結果

表 1-2-7 は，予想の型別集計を表したものである。縦軸は対象学生および児童を表している。横軸については，それぞれ以下の型を集計したものである。

「正答」 : (㊦-(d))

「上のみ正答」 : (㊥-(d))

「下のみ正答」 : (㊦-(a)) (㊦-(b)) (㊦-(c))

「CO<sub>2</sub> 重い」 : (㊦-(a)) (㊦-(c)) (㊦-(d))

「上昇なし」 : (㊦-(b)) (㊦-(b))

「全て出入り」 : (㊥-(a)) (㊥-(c))

「下なし」 : (㊦-(a)) (㊦-(b)) (㊦-(c))

正答の割合を見てみると、理系学生は文系学生より有意に低かった ( $\chi^2$ -test:  $\chi^2$ -value=15.37, df=1, p<0.001)。教育学部の理科コースの学生は理系学生並に正答率が高く ( $\chi^2$ -test:  $\chi^2$ -value=0.25, df=1, p=0.618)、文系学生の率より有意に高かった ( $\chi^2$ -test:  $\chi^2$ -value=5.66, df=1, p=0.017)。また、表 1-2-2 における (㊦-(a)) (㊦-(b)) (㊦-(c)) はどれも、下の隙間は空気の入出口として考慮されておらず、ペットボトルの上の口のみに空気の入出りの矢印が記述されている。これらを集計したのが表 1-2-7 における「下なし」の項である。文系学生や小学生は下の隙間から空気が入ってくることを考慮しない割合が、理系学生や教育学部理系コースの学生より有意に高かった ( $\chi^2$ -test:  $\chi^2$ -value=23.08, df=1, p<0.001)。また、「CO<sub>2</sub> は重いので燃焼後の空気は下の隙間から出ていく」という考えを持っていた学生が理系学生の割合は他の文系学生より有意に高かった ( $\chi^2$ -test:  $\chi^2$ -value=5.79, df=1, p=0.016)。

#### ④ 考察

本パフォーマンス課題研究の正答率や、「CO<sub>2</sub> が重い」ことの考慮を見れば、理系学生のほうが文系学生よりも科学的な思考力は身につけているように思われる。しかし、文系学生でも理科コースに所属している学生もある程度の思考力は育まれているようだ。

どの対象学生および小学校児童においても、ごく少数ではあるが、ペットボトル上の口の中央から吸気し、周りから排気される、という予想が見られた。これは、熱せられた空気の上昇と口の大きさを考慮に入れていないことから導かれたものであると考えられる。口の大きさは実際に検証してみないわからないことであり、この問題に関する予想を立てるために配慮する視点に挙げることは難しいが、空気の上昇は考慮する事項として検討したい内容である。これらの問題点については、本問題に続いて、集気ビンを用いた実験を実施することで解消できる可能性がある。明らかにペットボトルの口よりも集気ビンの口のほうが広いからである。上方の口が広いと、排気に対して吸気のスペースが確保され、外からの空気が流入できるからである。これは、ある問題に対して答えを導くために考慮すべき要素を教師がいかに提供できるか、ということと関連がある。いずれにせよ、科学的リテラシーにはこのような要素をどれだけ多く抽出し、総合的に判断できるかという能力も含まれているのである。

理系カリキュラムを多く経てきたことによって理系学生は科学的リテラシーをよりよく身につけたと推測できる。そして、小学生を含む文系学生の多くがペットボトルの切り口の隙間に着目することができなかったということから、現象をいろいろな視点で検討するといった多面的な見方や「隙間が空気の出入り口となる可能性はないか」といった批判的な見方を十分働かせることが難しかったのではないかということが推察される。一方、下の隙

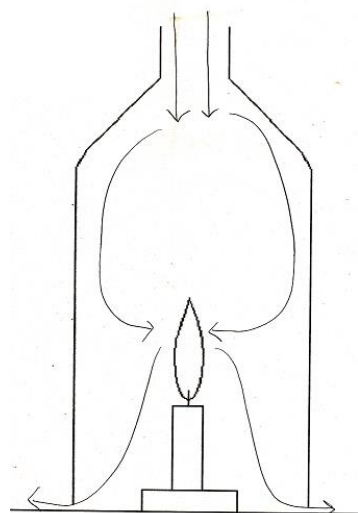


図 1-2-3 理系学生が描いた  
(①-(d)) 予想図の典型的な例

間から排気されるという予想が理系学生ほど多く（図 1-2-3）、文系学生や小学生に少なかったという結果からは、もっている知識が邪魔をしたのではないかということが推察される。ここでは、「二酸化炭素は空気より重い」という知識があっても、置かれた状況から「熱せられた気体は比重が軽くなる」という別の知識も加味して、総合的に判断を下さなければならなかったのである。科学的リテラシーを知識そのものの量としてとらえるのではなく、もっている知識をどう活用したり適用したりするかという判断力としてとらえるならば、前述の多面的に物事をとらえたり批判的に推測したりするといった考え方を通して判断することができなかった学生もいたということになる。

#### 4. 理科の教員として考慮されるべき資質と「文系」「理系」のちがい

以上のような結果と考察から、特に理科の教員として必要とされる資質とは何かということと理系と文系によるちがいの関連性について考察したい。

まず、知識の量についてである。知識をたくさんもっていたり経験を多く積んでおくことで、正しい判断を導いたりさまざまな可能性を踏まえてものごとを解釈したりすることができる。一方で、これらの知識が逆にまちがった判断を誘発してしまう例があるということが示された。このことから、理科教員としての資質に「学習内容をより精緻に知っておくこと」は必要条件にはなりえても、十分条件とまでは言い切れないということがわかる。つまり、もっている知識がある状況の中で使える情報かどうかを判断する能力が必要であり、このような判断力を理科授業の中で児童・生徒に指導するという視点をもっておかななくてはならない、ということである。さらに、理科教師に求められる資質能力をこのようにとらえてみると、この問題に対する誤答を提示したことが逆に学習指導に活用することを可能にするということに気づくことができる機会でもある。本問題に対してまちがった予想を示した学生は、自分自身がどのような判断が不十分だったのか、どのような考え方をすべきだったのかについて、この問題に取り組むことで気づくことができるのである。これは、まちがった答えを導いていたり、考えが思い浮かばずに立ち止まっていたりする児童・生徒にとって、どのような支援をすればよいかを教師自身が体験しているということでもある。だからこそ、児童・生徒の立場に立つことができるのである。このような診断的評価ができる理



科教師は、児童生徒が自然を理解するための適切な指導をすることができる。したがって、このような指導の視点は、決して科学的な知識の量が多いか少ないかではないということがわかる。

これらを文系学生の立場から考えるとどうであろうか。文系学生は明らかに理系学生に比べて科学的知識も科学的経験は少ない。これは前述のように科学的知識以外に理科教師に求められる資質・能力が必要であるということで解決できる。また、文系学生の中にも科学的思考を発揮し、問題解決に対応できる学生も多いこと、無意識ではあっても日常生活の中でもわれわれは科学的思考に基づきさまざまな判断を下していることなどから、理科教師としての資質・能力の基礎は十分備わっていると考えられる。また、文系学生にとって理科授業が敬遠されるのは、現職の小学校教員がもつ理科授業に対する意識と同じく、児童・生徒からの「なぜ？」という質問に適切に答えることができないから、ということが挙げられる。しかし、この点も前述の考察から言えば、知識の量が大きな問題にならない、ということによって解消できる。ただ、ここでもしっかりとらえておかななくてはならないのは、児童・生徒の立場に立った指導を心がけなければならないことである。したがって、文系学生にとっての理科教師のための資質・能力の問題点も、理系学生に必要とされる問題点と同じものを抱えているということになるのである。

以上のようなことから、「文系」か「理系」かという枠組みは理科教師に必要とされる資質・能力とは直接影響しないということが結論付けられる。そして、その資質・能力とは基

本的な科学的知識を身につけているということを基本とし、児童・生徒の自然理解の特性を十分考慮した診断的な評価を含む児童・生徒の立場に立った指導技術を備えていることと位置づけることができる。

# 第 1 部 第 II 章 付属資料

表 1-2-2 燃焼パフォーマンス課題における被験者の示した予想図

				(a) 上の口の中央から 排気， 周りに吸気
				(b) 上の口の周りから 排気， 中央から吸気
				(c) 上の口から出入り
				(d) 上の口から出る (入る) だけ
㊦下の隙間を考慮 に入っていない	㊧下の隙間から排 気されている	㊨下の隙間から吸 気されている	㊩下の隙間から 出入りしている	

表 1-2-3

文系学生（高知大学教育学部 2 回生・初等理科指導法受講生）による予想図とその人数（人）

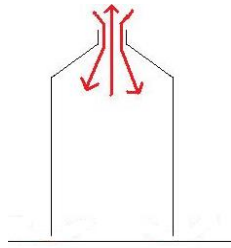
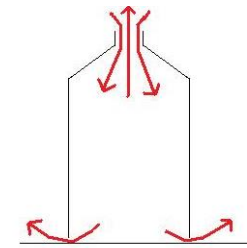
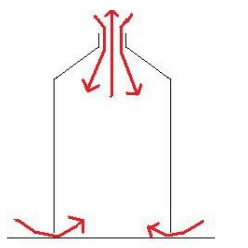
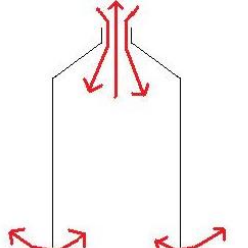
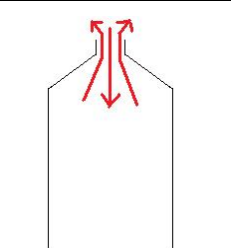
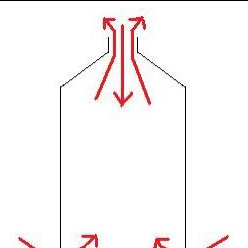
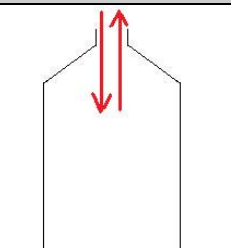
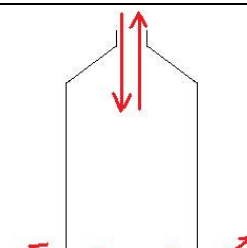
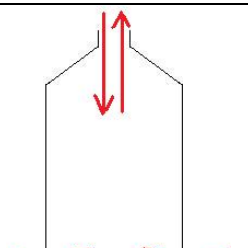
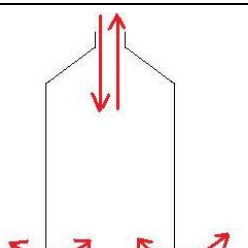
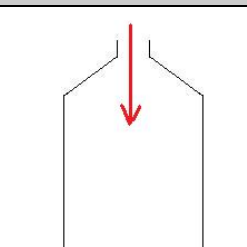
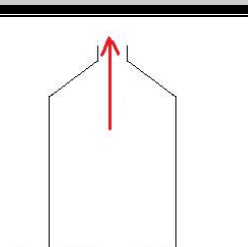
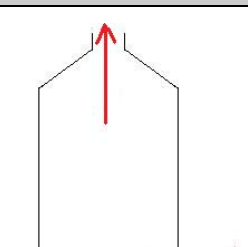
			
19	0	4	0
			
4		0	
			
10	1	2	1
			
	0	9	0

表 1-2-4

文系学生（理科コース）（高知大学教育学部 2 回生・3 回生／中等理科指導法Ⅰ受講生）  
による予想図とその人数（人）

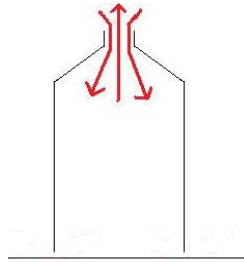
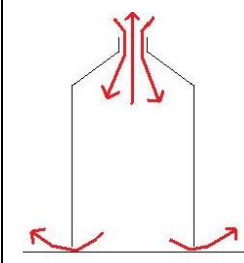
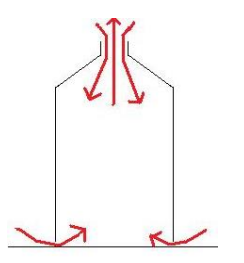
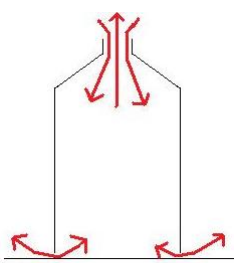
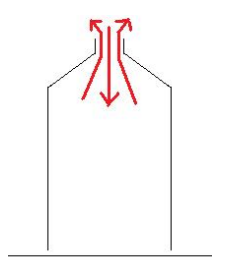
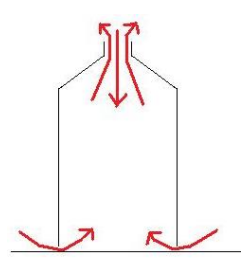
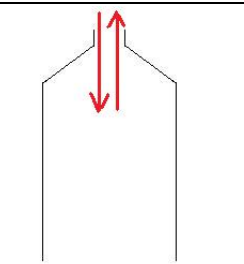
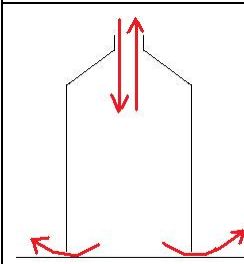
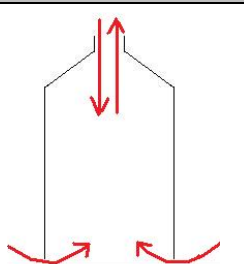
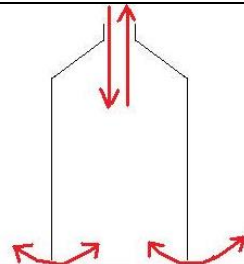
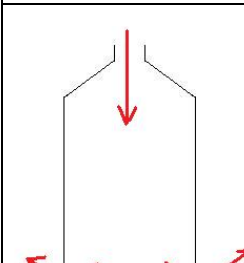
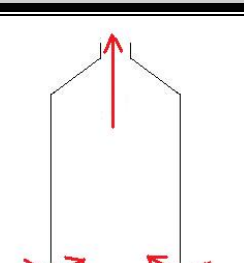
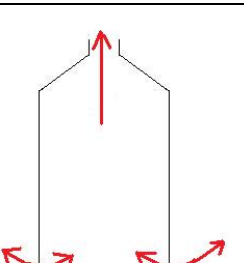
			
1	0	1	1
			
0	0	2	
			
0	0	1	0
			
	3	8	0

表 1-2-5 理系学生（高知大学理学部・農学部 2 回生・3 回生）による予想図と  
その人数（人）

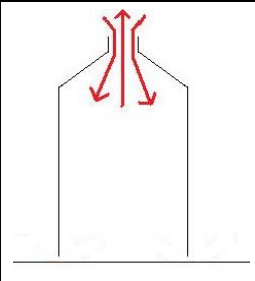
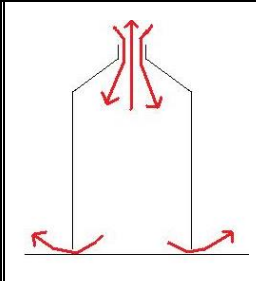
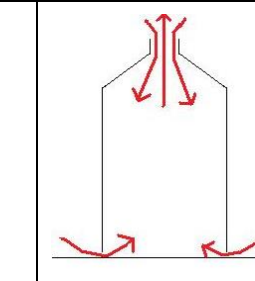
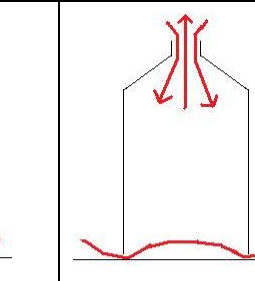
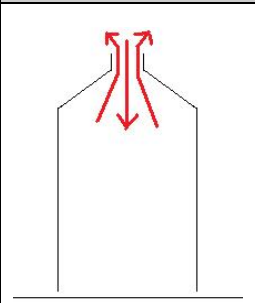
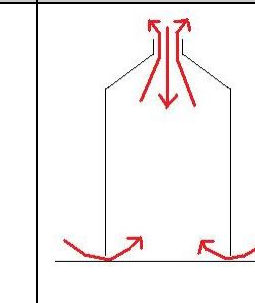
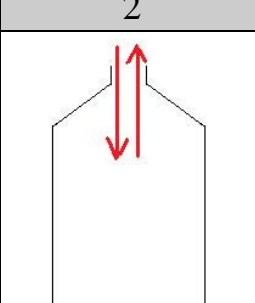
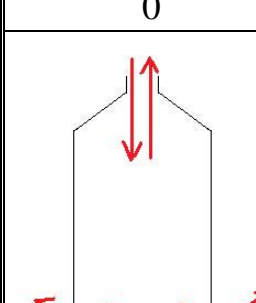
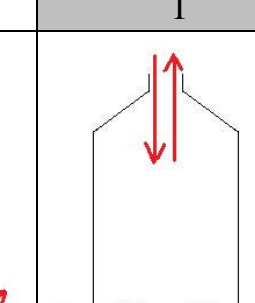
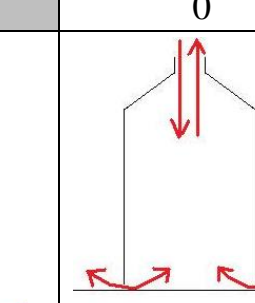
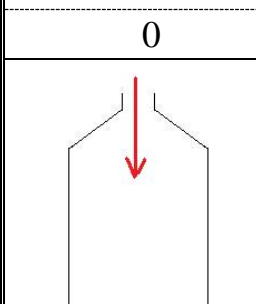
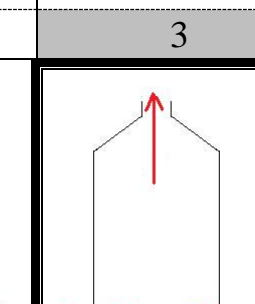
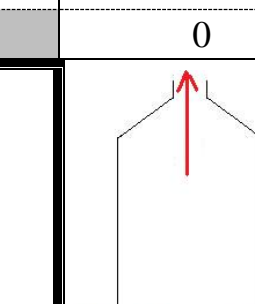
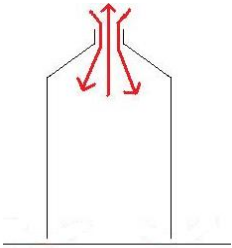
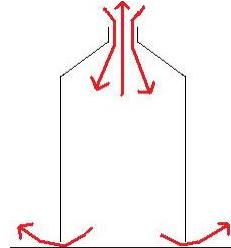
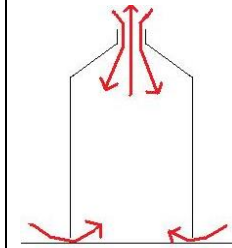
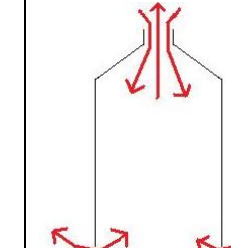
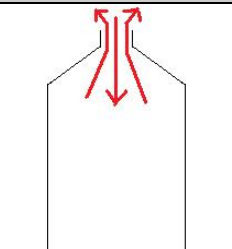
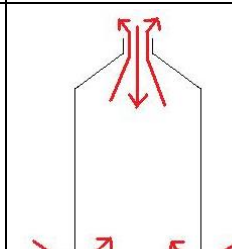
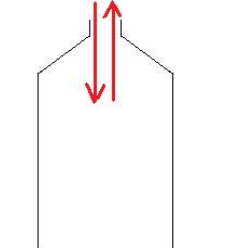
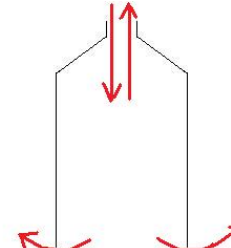
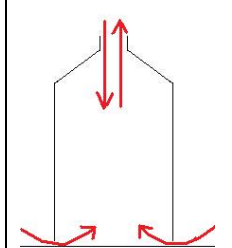
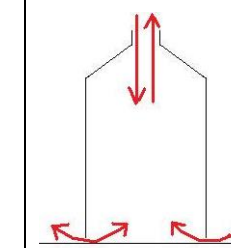
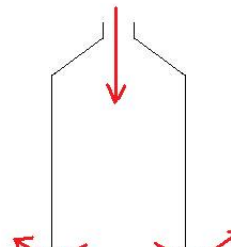
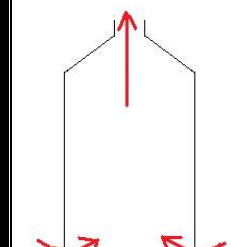
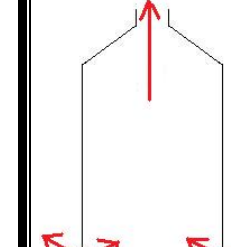
			
1	3	5	1
			
2	0	1	0
			
3	0	3	0
			
	10	35	1

表 1-2-6 小学生（高知大学教育学部附属小学校 6 年生）による予想図とその人数（人）

			
4	0	0	0
			
1		0	
			
21	0	0	2
			
	0	5	0

## 第Ⅲ章 科学コミュニケーションと理科教育

本章では、まず、科学コミュニケーションの考え方の基本的な理論について述べる。次に、この考え方をもとに、理科授業における科学的研究成果の教材化を進めるための視点を設定し、実践研究のための基礎理論としたい。

科学コミュニケーションは、一般的には、社会における「科学」と「一般市民」を結ぶための手段として位置づいている。これを理科教育に置き換え、「科学的概念」つまり理科で指導する内容と、「児童・生徒」を結ぶ役割を果たすコミュニケーターとしての理科教師の役割を明確にしようとするものである。科学コミュニケーションを広義にとらえるならば、学校教育における理科教育も一つの科学コミュニケーションの営みであるにとらえることができる。したがって、一般的な科学コミュニケーションの考え方や営みからは、理科教育における教師の役割を考えるための多くの示唆が得られるはずである。なお、科学コミュニケーションを「サイエンスコミュニケーション」と同義で使う場合があるが、本論文では、「科学コミュニケーション」に統一して使用することとする。

### 1. 科学コミュニケーションとは

科学コミュニケーションとは、千葉他（2007）によれば、「専門家と一般の人々の間、または異なる分野の専門家同士の間で、科学技術に関して相互に交流し、意見を交換すること」



である。また、科学コミュニケーションの具体的な例として、岸田（2011）は以下のようなものを挙げている。まず、一般的なものとして、ファラデーらが行った講演会、多くの研究機関が毎年開催している一般公開、科学博物館の常設展示、一般向けの科学書籍や科学雑誌、新聞やテレビの科学ジャーナリズムなどが挙げられる。広い意味では、小説やテレビ番組や映画や学校教育、家庭教育なども含まれる。これらの中でも、最近活発になってきたものとして、サイエンスカフェを挙げている。サイエンスカフェは、開催主体が大学や研究機関の場合、市民グループの場合などがあり、喫茶店や書店の公共スペースなどを利用して行われる。

日本における科学コミュニケーションの歴史は江戸時代までさかのぼることができるが、その時代の社会状況などによってその意義や形態は大きく変わってきている。明治維新以後、西洋自然科学の積極的導入を目指した時代や第二次世界大戦後においては、科学の必要性が十分認識されており、その効果や恩恵を大いに得ることができた。したがって、これらの時代は、比較的 science コミュニケーションがスムーズに進んだ時代だったようである。1956年に科学技術庁が設置されたこと、高度経済成長が進んだことなどからもその一端がうかがえる。しかし、1970年代に入り、反公害、反原発などの意識が高まり、反科学技術の意識が増大してくる。1980年代に入ると、日本の科学技術が世界のトップクラスに入るとともに高度経済成長も足踏みをはじめる。科学技術の進歩が第一義的に考えられていた時代からじょじょに人間や社会のための科学技術という形に認識が変化していったのである。そ

して、1990年代に入り、「若者の科学技術離れ」への危惧が高まるに従い、科学コミュニケーションの必要性が再認識され始めたのである。

現在において、科学コミュニケーションの必要性が高まっているのは「若者の科学技術離れ」だけが原因ではない。一般市民の間における科学に対する無関心の広がりもその原因となっているのである。科学技術の進展に伴い生活が向上したり便利になったりしており、ますますわれわれの日常生活は科学技術への依存度を高めている。それにもかかわらず、これらの科学技術による製品等は一般市民にとって取り扱うことのできないブラックボックスとなるといった現象から、じょじょに科学技術との距離感が広がりつつあるのである。さらに、自分たちで扱うことができないだけでなく、これらの製品は安価に交換することも可能となり、一般市民がその仕組みや原理を知る必要がなくなっている。その結果として、科学技術への無関心が生まれることになる。さらに、このような科学技術に対する無関心だけでなく、原子力発電所事故などを通して、科学技術への不信感まで生まれつつあるのが現状である。

このような現状から、科学コミュニケーションの必要性は以前にもまして高まっている。それは、国家の施策としても反映されている。例えば、スーパー・サイエンス・ハイスクール（JST／文部科学省）、サイエンス・パートナーシップ・プログラム：研究者と学校教育の連携（文部科学省）、サイエンスキャンプ（文部科学省）、青少年のための科学の祭典（文部科学省）などである。青少年のための科学の祭典については、高知大学においても長年取り

組まれており、その取り組みに関する内容は後に詳述する。

## 2. 科学コミュニケーションの難しさ

このように、科学コミュニケーションの必要性は高まっている一方で、その難しさも内在している。その難しさについて、藤垣ら（2008）は、「たとえば、サイエンスショーはおおむね科学技術のもつ楽しさを伝えることにその強みを発揮するが、科学技術に関する高度な知識や法則を伝えることはなかなかむずかしい。」と述べている。さらに、藤垣らは楽しさだけでなくより高い科学知識を伝えるための方法として、科学技術系博物館における解説展示活動、サイエンスカフェ、一般向けの科学技術の啓蒙書の順で挙げているが、「受け取る側の負担はこの順に大きくなっていく」と指摘している。この点は、情報の送り手の目的と受け手の目的のずれが要因となっており、科学コミュニケーションの最大の難しさでもある。情報の送り手にとっては、科学技術の内容や原理まで理解してもらうことが大きな目的となる。しかし、受け手側からすれば、送り手が意図するような目的をもっている場合もあれば、興味・関心が生まれさえすればよい場合もある。このような受け手側の立場をどのように把握し、理解したうえで科学コミュニケーションの目的をどう設定するのか、またはどのような活動を構成すればよいのかが情報の送り手には求められるのである。

もう一つの難しさを藤垣らは「日本語で科学コミュニケーションを行うことは、高コンテクスト言語で高コンテクスト文化を伝えるという二重の困難がともなう作業を行うことに

なる」と述べている。

さらに、前述の、「科学技術に関する高度な知識や法則を伝えることはなかなかむずかしい」ということとかかわって、科学の専門用語を使うということから「科学者が発信する情報はまちがいなく高コンテクスト的であろう」と述べている。つまり、日本は単一民族国家であり、会話においても必要最小限の言葉のやり取りで成立してしまうというのである。しかも、科学用語に代表されるように、科学の世界で扱われる言語はこの世界独特のものであり、その世界では暗黙の了解事項である内容が多く存在する。そのため、その外の世界に位置する人々にとっては、これら暗黙の了解事項がまず理解できていなければコミュニケーションをすることができないということになる。文化を単純に比較することはできず、必ずしも日本語が他の言語よりも高コンテクストだとは言いきれないが、ある文脈の中では知らず知らずのうちに高コンテクスト的になっている場合がある。またそれらは無自覚にこのような状況になってしまう場合が多いのである。

このような科学コミュニケーションにおける問題点は、まさに理科教育においても同じことが言えるだろう。つまり、情報の送り手にとっての科学技術における仕組みや原理の理解は理科教育における知識・理解の促進へと置き換えることができるし、情報の受け手にとってのおもしろさ、楽しさは、児童・生徒の興味・関心の喚起へと置き換えることができるのである。したがって、理科教育に携わるもの、特に学校現場において直接児童・生徒を指導する理科教員はこの難しさをまず自覚しておかなければならないのである。また、日本が、

さらには日本語が高コンテクスト的であるという点においては、これらの特性をふまえて言語活動の充実がより一層図られなければならないだろう。

### 3. 科学コミュニケーターとしての理科教師の役割

#### (1) 科学コミュニケーションと理科教育の違いから

前項では、科学コミュニケーションと理科教育の共通性について述べた。次に、これらの違いについて考察する。

千葉ら(2007)によれば、「科学コミュニケーションのあり方は、「どこで・だれに、いつ、何を、どのように、なぜ・何のために」の5つの状況によって異なってくる」とし、これらについて、博物館を例に以下のように述べている。(下線は著者による)

##### ①どこで、だれに

博物館で生じる学習は人々の持つ多様性を反映し、知識を獲得する認知的側面や興味関心を持つ情意的側面などの複数の側面が組み合わさったものになる。このように博物館における学習の複雑性と人々の多様性を認識する必要がある。

##### ②いつ

1回限りの単発的な学習活動や数回博物館を利用する継続的な学習活動、さらには博物

館活動が人々に及ぼす長期的な影響など、時間的な観点からの学習成果の把握が重要である。

### ③何を

科学的知識だけでなく、科学的営為の価値の認識、科学に対する意識も伝えていかなくてはならない。

### ④どのように

直接対話を基本としながら、さまざまなセクターとの連携、協働を進めていく必要がある。

### ⑤なぜ、なんのために（成果）

社会における博物館等の役割、存在意義の明確化が必要である。これは、人々の科学技術に関する知識、技能、物の見方である科学リテラシーの向上にもつながる。

これらの中から重要事項を抜き出し、理科教育と比較したのが表 1-3-1 である。活動場所やだれを対象としているのかといった違いを別にしても、多くの違いが存在することがわかる。もっとも注目すべきところは「なぜ、なんのために」という項であろう。博物館にお

いては科学コミュニケーションの目的が「市民の科学的リテラシー向上」という他者に対するものがあるだけでなく、博物館自体の社会的存在意義も目的とされている。

**表 1-3-1 博物館と学校教育における理科教育との状況の違い**

	博物館	理科教育
どこで、だれに	複雑性, 多様性 一般市民	画一性, 同質性 (学年別学級別の児童・生徒)
いつ	単発的, 長期的影響 (生涯)	継続性, 短期的 (1 年間) 影響
何を	科学的知識, 科学の価値, 科学に対する意識 (広範囲)	科学的知識, 科学の価値, 科学に対する意識 (限定的, 学習指導要領)
どのように	直接対話, 連携, 協働	集団学習, 対話 (話し合い) 問題解決的, 単独, 教科書, 教材
なぜ, なんのために	社会における存在意義 市民の科学リテラシー向上	自然の認識を通じた児童生徒の人格の陶冶, 「生きる力」の育成

これに対して、理科教育における目的はあくまで教育であり、自然の認識を通じた児童生徒の人格の陶冶、学習指導要領に明記されている「生きる力」の育成である。理科教育に絞っていうならば、理科の目標である「科学的な見方や考え方」「科学的な自然観」を養うことである。したがって、「何を」の項が広範囲なのか限定的なのかだけに限らず、理科教育においては、科学的知識を習得させたり、科学の価値を認識させたり、科学に対する意識を持たせたりするのは究極の目的ではない。むしろ、理科教育においてこれらは「手段」と捉えるべきである。

このような目的の違いを第一として、誰が対象か、どのような方法で活動を構成するかといった視点での違いをふまえて、教材化を進める必要があるだろう。

## (2) 科学コミュニケーションのために必要な資質

千葉ら（2007）によれば，科学コミュニケーションを担う人材における 3 つの役割と，その役割を果たすために必要な 3 つの資質（図 1-3-1）があり，それぞれ次のようなものであるとしている。

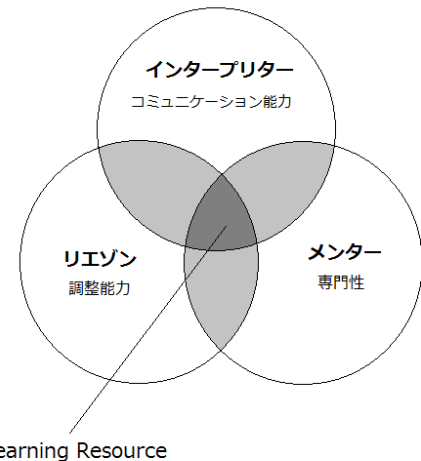


図1-3-1 人々と科学をつなぐ科学コミュニケーターに期待される役割と資質能力（小川，2005）

### (3 つの役割)

#### 「インタープリター」

：科学コミュニケーションを担う人材と科学技術理解増進の担い手としての役割→内容の指示、伝達，理解支援に関する「コミュニケーション能力」

#### 「メンター」

：伝える内容に関する「専門的知識」  
を備えた助言者としての役割

#### 「リエゾン」

：コミュニケーション環境を支え調整する「マネジメント能力」を備えた調整者としての役割



### (3つの資質)

①「深める力」：科学の面白さや重要性を感じ取り，その未来を想像できる能力

②「伝える力」：幅広い分野について，わかりやすく感動的に解説できる能力

③「つなげる力」：社会のさまざまな人々の間に双方向的コミュニケーションを実現できる能力

これらの役割や資質は科学コミュニケーターとしての理科教師が果たすべき役割であり，身につけておく必要のある資質である。さらに3つの資質は，実際の理科指導や理科授業作りにおいては明確な順序性をもって捉えておく必要があろう。すなわち，「深める」「つなげる」「伝える」である。まず，教師自身がメンターとしての専門性を高めるために「深める力」が必要となる。そしてその専門性を生かすためには，「つなげる力」を発揮し，学級内における児童・生徒の「双方向的コミュニケーション」を形成しなければならない。このような相互の結びつきがしっかりと形成された集団，または教師と児童・生徒の信頼関係が保たれている間においてこそ，「伝える」ことができるし，「伝える力」が発揮されるのである。相互作用の効果を利用できる能力そのものが「伝える力」といってもよいのではないだろうか。

### (3) 適切なコミュニケーションのための条件

最後に、意思疎通を円滑に行うために、コミュニケーションにどのような注意が必要かについて考察する。前項までで、科学コミュニケーションの特性と役割、その役割を果たすための資質能力について述べた。また、専門的知識をそのまま伝えようとしても受け手には伝わらないこともあるということも挙げた。では、どのような点を考慮すれば、適切な科学コミュニケーションが具現化できるのであろうか。

円滑な会話が成り立つ基礎理論・一般理論の構築につとめた哲学者グライス (Grice) (1989) は、「協働のルール」を提起し、とし、コミュニケーションに参加している各人が次のようなルールにしたがっていかねばならないとした。

協働ルール (cooperative principle) : 会話を行っている当事者どうしが互いに認め合っ

ている会話の方向づけに沿うようなしかたで、互いに文を発せよ。

さらに、これを具体的な内容として、量・質・関係・様相の 4 カテゴリーに関するルール (基準・格率) を析出した。その 4 つのカテゴリーのルールとは次のようなものである。

量のルール : あなたの発話による貢献が、相手に必要とされるだけの情報を与えるものでなければならない。必要以上の過度な情報量にもならないこと。

126, 東洋館出版 東京都

文部科学省（2008）「小学校学習指導要領解説理科編」， pp7-13， 大日本図書， 東京都

文部科学省（2008）「中学校学習指導要領解説理科編」， pp16-17， 大日本図書， 東京都

文部科学省（2009）「高等学校学習指導要領解説理科編 理数編」， p12， 実教出版株式会社， 東京都

室伏きみ子（2003）「理科教育から見えてくる日本の初等・中等教育の問題点」， p61， 学術の動向， 東京都

桜井邦朋（1995）「自然科学とは何か—科学の本質を問う—」， p129， 森北出版， 東京都

内田裕久（2007）「グローバル社会で活躍する研究者，技術者の育成」， p165， 工学教育東京都

質のルール：あなたの与える情報は、真なるものでなければならない。十分な証拠の

ないことはいわないこと

関係のルール：あなたの貢献は、会話の主題に関係のあるものでなければならない。

様相のルール：あなたの貢献は、相手によってただちに把握しうる、明確なものでな

ければならない（つまり、短く、順序立っていて、両義性を残さないよ

うにする必要がある。）

ここで示された協働ルールとその具体的な内容は、科学研究成果を具体的に教材化する際の大きな指標となる。つまり、科学研究成果それ自体は科学的に大変貴重なものであり価値も高いが、情報の受け手である児童・生徒に合わせて「加工」しなければならない。そのとき、協働のルールは「加工」のための視点となりえるのである。具体的には、児童・生徒の「学年における発達段階」「学級の人間関係における様相」「学習状況の実態」などを把握したうえで、協働ルールに沿って科学研究成果を加工していくのである

#### **4. 本研究における科学コミュニケーションに基づく教材開発と授業作り**

以上のような考察をもとに、次の 3 点を視点として科学的研究成果の教材化および授業実践に臨む。

1. 科学コミュニケーションの難しさを理科教師自身が自覚したうえで、言語活動の充実に努めること
2. 科学的認識を手段とし、「科学的な見方や考え方」「科学的な自然観」を養うことを目的とすること
3. 協働のルール conditions に沿って教材化し、授業作りにあたること。

## 第1部 引用文献

阿部謹也（1999）「教養教育の将来」, 379p, 教育学研究, 東京都

千葉和義, 仲矢史雄, 真島秀行（2007）「サイエンスコミュニケーション 科学を伝える 5つの技法」, pp3-24, 日本評論社, 東京都

Grice, P.（1989）Studies in the Way of Words, Harvard University Press, 邦訳：清塚邦彦訳, 『論理と会話』, 頸草書房, 1998

藤垣裕子, 廣野喜幸（2008）「科学コミュニケーション論」, pp65-91, 東京大学出版会, 東京都

岸田一隆（2011）「科学コミュニケーション 理科の〈考え方〉をひらく」, pp18-52, 平凡社新書, 東京都

文部科学省（2005）「小学校理科・中学校理科・高等学校理科 指導資料 PISA2003（科学的リテラシー）及び TIMSS2003(理科)結果の分析と指導改善の方向」, pp9-77, pp107-

## 第2部 基礎科学研究

(第2部は既に査読付英文誌“Natural Science”に掲載決定済みである。第2部補助資料参照。)

### 理科教材開発を目的とした海洋研究

#### 「外洋棲ウミアメンボ3種の生息域温度嗜好の比較」

##### 1. 要旨

本研究の主な目的は、3種の外洋棲ウミアメンボ類の生息域温度嗜好を調べることにあ  
る。私たちは、太平洋熱帯海域から温帯海域へかけての3回の研究航海を通じて、外洋棲  
ウミアメンボ類3種のそれぞれについて、調査海域における個体密度と水面温度・気温と  
の関係を調べた。28-30度の高温（水温・気温）域では、23-28度の低温域よりも、ツヤウ  
ミアメンボ（*Halobates micans*）の生息密度は有意に高かった。センタウミアメンボ(*H.*  
*germanus*)は、北半球熱帯太平洋では、29.6-30.0度の極めて高い温度域により高い密度で生  
息し、一方南半球太平洋では、24-30度の広い温度域に比較的高い生息密度で観察され  
た。コガタウミアメンボ(*H. sericeus*)は、23-28度の比較的低温域に高密度で生息してい  
た。この低温選好性は外洋棲ウミアメンボ類3種の中でも最もサイズが小さく（競争力が  
弱い）、北緯40度までの高緯度地方にまで生息していることと関係しているかもしれな  
い。

キーワード：外洋棲ウミアメンボ類、温度選好性、小型・中型・大型種、緯度分布

##### 2. 序論

様々な分類群にまたがった多くの変温動物は、日なた日かげを利用しながら、一日時間  
によってその行動を変化させている[1-5]。その事によって、少なくとも活動期間に於い

て、体温をその種特有の狭い範囲内に維持している[6-9]。オーストラリア産のハチは、環境温が34度の蜜より38度の蜜を好むことが示された[10]。これらは受粉媒介者の乾燥を避け（効率的な呼吸水の確保）、高い運動速度により受粉効率も高める効果が期待でき、双方にとって有利であるかもしれない。貯穀害虫（ヒラタムシやヒラタチャタテムシの仲間など）の温度選好性の研究は、彼らはより温度の高い場所を好み、より高温部への移動を可能にしていることを示した（カクムネヒラタムシ類[11]; ヒラタチャタテムシ類[12]）。温かい場所への選好性は貯穀内での急速な個体群拡大を誘導する上で有利となる。

温度選好性の違いはいくつかの事例で生息地変動に重要な役割を果たす。一つの例として、底生性昆虫と温度の関係があり、ドイツにおける小型または中型の河川での研究がある[13]。小型または中型の河川で得られた一連のデータでは、カゲロウ類、カワゲラ類、トピケラ類、甲虫類の種構成の変異の29%まで、夏の温度の変異によって説明できた。いくつかの昆虫は温度選好性に日周リズムを持つ。この例の一つにミツバチがある。単独のミツバチと10~20頭の集団ミツバチを温度勾配付きの部屋に置き、彼らの温度選好性を自然の夏の光周期条件下で48時間記録した[14]。単独ミツバチは温度選好性に於いて日周変動を示した。14時には34℃を選択したが、その後ゆっくりと選好温度は低下して行き、4時には28℃の夜間選好最低温を記録した。一方集団ミツバチは、4時に最高選好温度、31℃を記録、最低選好温度は14時に記録された29℃であった。ミツバチのコロニーが“恒温動物的”な超個体としてふるまうのに対し、集団から隔離された単独のミツバチは“変温動物的”戦略を採用し、朝に体を温める為にエネルギーを確保する（高温選択）。

もう一つの研究では、ミツバチのより高い温度の選好と、高温下でのより高い活動性が3-5日間自動活動記録システムによって記録された[15]。両方の研究の実験記録装置は、恒明条件と恒暗条件の両方で（ミツバチ温度選好性）概日リズムを記録した。これらの研究結果はまた、活動性や温度選好性における日周期リズムは部分的に明暗サイクルによって同調されることを示した。別の例として、SchilmanとLazzari[16]はオオサシガメ成虫

(*Rhodnius prolixus*) の温度勾配下での温度選好性を調べた。平均選好温度は僅かに性差があり、雄25.0℃、雌25.4℃であった。この選好性には、日周期リズムがあり、0.2℃の振幅を示した。暗期開始時に最高選好温度を示し、明期の間に最低選好温度に達した。雌の産卵は22-23℃から見られたが、彼女たちの温度選好性は25-26℃に位置し、この温度域は産卵のピークが見られる温度域と一致した。

生理生態学からの視点によれば、動物の温度選好性は彼らの生息場所の環境温と関係する。Kryukovら[17]は、北緯43-65度に位置する西シベリアとカザキスタンの異なった自然域から採取した昆虫病原糸状菌の20の隔離株の放射状成長を記録した。南部由来の昆虫病原糸状菌隔離株の35℃下での温度耐性は北部のものより高かった。GirguisとLee[18]はある種の多毛類動物の温度選好性を調べることで、極端な温度への適応を研究した。

Alvinellidae科に属する多毛類動物2種は、東太平洋および北西太平洋海底にある高温度排気孔にそれぞれ生息している。そこでは、生息場所としてのチューブの開口部の温度がA. *pompejana* の場合81℃を、*P. sulfincola*の場合90℃を記録した[19]。*P. sulfincola*の蠕虫は走熱性を持ち、極端な耐熱性を示す。彼らは40℃から50℃の温度選好性を示し、50℃への曝露に7時間耐えることができ、55℃曝露にも15分間耐えられる。昆虫の温度選好性の生理学的機能についての研究はほとんど無い。ショウジョウバエでは、脳のキノコ体におけるドーパミン信号が温度選好性を調節していることが、ある研究で示された[20]。温度選好行動におけるドーパミンの機能を同定するためにさまざまな遺伝的研究がおこなわれた。ドーパミン生合成を遺伝的突然変異や化学的抑制剤による処理によって抑制することにより、ショウジョウバエが通常より低い温度を選好するようになった。

外洋棲ウミアメンボ類は、表面水温が年中30℃前後に安定している熱帯外洋域に生息している[21-22]。しかしながら、温帯や亜熱帯域にも個体群を形成する外洋棲ウミアメンボ3種、ツヤウミアメンボ（以下ツヤ）、センタウミアメンボ（以下センタ）、コガタウミアメンボ（以下コガタ）の温度選好性は未だ調べられていない。2003年5月に行われた白鳳



丸航海において、コガタ(*Halobates sericeus*) は東シナ海（北緯27度10分～北緯33度24分，東経124度57分～東経129度30分）の18地点全てで採取された[23]のに対し、ツヤ(*H. micans*)やセンタ(*H. germanus*)は水温が25℃を超える北緯29度47分以南でのみ採取された[23]。水温が23度に満たない3箇所でサンプル調査がおこなわれたが、ツヤ、センタはともに採取物には含まれなかった。ある予備的実験では、温度変化への耐性がツヤ、センタ、コガタの順で強くなっていくことが示された[24]。このことは（大型、中型種である）ツヤとセンタが比較的高温度への選好性がある（低温度には弱い）と考えられる。しかし、この3種間に存在する温度選好性の多様性に関する本仮説を支えるためには、他の海域での調査結果が必要である。私たちはしたがって、熱帯太平洋域及び亜熱帯－温帯太平洋域におけるウミアメンボ3種の生息密度と海水面温度・気温との関係を調べることに着手した。

### 3. 研究対象と方法

海洋地球研究船「みらい」（8687t: 海洋研究開発機構所蔵）による航海（MR-12-05）（図1）と学術研究船「白鳳丸」（3991t: 同機構所蔵）による航海（KH-13-02）（図2）では、長さ6m、幅1.3mのニューストンネット（箱形で半分浮く形でニューストン＝表層生物を採取する）によりウミアメンボ類の採取が行われた。また、別の「みらい」航海（MR-06-05-Leg 3）（図3）では、長さ6m、直径1.5mのORI（“東京大学海洋研究所開発”の意）net（直径1.5mの金属製リングにネットを付けたもので、半分水面に出しながら曳航する）を使用してウミアメンボ類を採取した。

サンプリングは次の期間に実施された。

○2012年11月12, 15, 22日, MR12-05 次航海

○2013年2月4日～3月7日, KH13-02 次航海

○2006年12月24日～2007年1月8日 MR06-05 次航海

ネットは専ら夜間に、水面を15分間対水2.0-3.0ノットで右舷側から曳航し、1セット

とした。これを観測点毎に 3～6 セット行った。ニューストン(ORI)ネットの前面には流量計が設置され、流量計値/10×1.3m(=ネット幅)(1.5m：ネット直径)で曳網面積を算出した。

1km<sup>2</sup> 当たりの個体数を以下の計算式により求め、生息密度はとした。

$$\text{計算式：} (1000000/\text{曳網面積[m}^2]) \times \text{採集個体数}$$

採取物はネットの最尾部に取り付けられたサンプルボトルから透明水槽に移された。すべてのウミアメンボ個体はプランクトン用のピンセットで透明の水槽から拾われ白紙を引いたトレイへと移された。すべての標本は注意深く調べられ、各個体の種、成虫と幼虫の別、齢数が同定計数された。全ての観測点で、海水表面温度と甲板上での気温測定が行われた。

## 4. 結果

### 1) 個体群密度

東経 150 度 - 165 度の熱帯から温帯中央太平洋域では、北緯 14 度地点と南緯 27 度地点では、外洋棲ウミアメンボ 3 種で最小型種のコガタが優占して生息しており、北緯 2 度の低緯度地点では、同 3 種の中で中型種であるセンタウミアメンボが優占していた(KH-12-05 Leg1: 表 1)。KH-13-02 次-Leg 2 航海中、南緯 0-10 度の低緯度では、外洋棲ウミアメンボ類では大型種である、ツヤが優占して生息していたが、一方で中型種のセンタは KH-13-02 次-Leg 1 航海中、南緯 10-25 度の比較的高緯度域で優占していた( $\chi^2$ -test:  $\chi^2$ -value=112.4, df=1, p<0.001) (表 2-A, B)。コガタは北緯 15 度、東経 152 度の地点で 40000 頭/1km<sup>2</sup> の高い個体群密度で生息していた。MR-06-05 次-Leg 3 航海では、ツヤとセンタの両種が、北緯 0-8 度、東経 130-135 度の西熱帯太平洋海域に高い密度で生息していた(表 3)

### 2) 温度と個体群密度

3 つの採集地点の間で、コガタ、センタ、ツヤはそれぞれ、22-23℃、27-29℃、29-31℃

の温度条件で最も高い生息密度を示した(図 1-4, 図 1-5)。太平洋域のうち南半球の熱帯から温帯にかけて、種の違いや気温・水温の違いが個体群密度に相関している傾向が、共分散分析法によって明らかとなった。(種を共分散とした時の気温の密度への影響、自由度=1、F 値=2.46、危険率=0.093; 種を共分散とした時の水温の密度への影響、自由度=1、F 値=2.46、危険率=0.093; 水温と気温を共分散としたときの種による密度への影響、自由度=3、F 値=5.55、危険率=0.022)。太平洋のうち、主に南半球熱帯・温帯域では、ツヤで、個体群密度と気温・水温との間に正の相関関係が、コガタで、負の相関関係が見られたが、センタでは、そのような相関関係は見られなかった(図 1-6, 図 1-7)。西部太平洋熱帯域では、個体群密度と気温・水温との間に有意な正の相関関係が唯一見られたのはセンタであった(図 1-8, 図 1-9)。

## 5. 考察

Cheng [25] はその総説の中で、外洋棲ウミアメンボ類の発生や発生量は、一義的にまず表面海水温によって調節されていると述べた。外洋棲ウミアメンボ類(の生息)にとって、最適の温度は 24-30 度と見積もられた[25-26]。一方で、Andersen と Cheng[21]は外洋棲ウミアメンボ類の低温生存限界温度は 25℃付近であると述べた。本研究結果は、外洋棲ウミアメンボ類の温度選好性は種に依存する(種次第である)ことを示唆している。コガタは他の 2 種、ツヤやセンタより低い温度範囲である 23-28℃の温度を選好するかも知れない。コガタのより低くて広い範囲の温度選好値は、北緯 5-42℃[22]に及ぶ広域緯度範囲に渡る生息域と関係があると考えられる。そしてこの広い緯度範囲内を通過するように、北赤道海流や黒潮が本種を低緯度から高緯度へ運搬しているのかも知れない。一方、ツヤやセンタは主に北緯 15 度から南緯 15 度のはるかに狭い緯度域にその生息が限られている[22, 24, 27]。コガタによって示された、広い範囲にわたる温度選好性は、広い緯度範囲に分布するのに有利かもしれない。代わりに、コガタの低温選好性は本種が 3 種の中でもっとも

小型であることと関係する可能性がある。コガタは本来成長や生殖に適した高温域への生息を巡る競争力に他の2種より（小型ゆえ）劣っていることで、高緯度への進出を果たしたのかも知れない。もし地球規模の温暖化が未来に進行すれば、ツヤの生息域の北進が、海水面温度の上昇に伴って起こることが予測できる。本研究の限界として、温度が生活史形質（多産性、幼虫や成虫の生存率、配偶行動の頻度、1 齢幼虫の孵化率など）に及ぼす影響についてのデータが得られていないことが挙げられる。今後、これら実験データの取得が待たれる。

## 6. 謝辞

柏野祐二博士（主席研究者、MR06-05 次-Leg3 航海、海洋研究開発機構）、勝又勝郎博士（主席研究者、MR12-05 次航海、同機構）、そして、青山潤准教授（主任研究者、KH13-02 次航海、東京大学大気海洋研究所）に対し、「みらい」または「白鳳」航海中本研究遂行の許可を頂いたこと、本研究への温かい助言や航海を通して頂いたご厚誼に感謝申し上げます。3つの航海の間のサンプリングを含むフィールド研究は多くのみなさんのサポートにより可能になったものでした。MR-06-05 次-Leg 3 航海：喜多裕次郎船長，MR-12-05 次航海：堤義晴船長，KH-13-02 次航海：清野能稔船長をはじめ全乗組員の皆様、(株) グローバルオーシャンデベロップメント、(株) マリンワークジャパン所属の方々を含め、全ての科学者と技術者の皆様に感謝申し上げます。

## 第2部 引用文献

- [1] Malik, A.S., Boyko, O., Atkar, N. and Young, W.F. (2001) A comparative study of MR imaging profile of titanium pedicle screws. *Acta Radiologica*, **42**, 291-293.  
[doi:10.1080/028418501127346846](https://doi.org/10.1080/028418501127346846)
- [2] Hu, T. and Desai, J.P. (2004) Soft-tissue material properties under large deformation: Strain rate effect. *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, San Francisco, 1-5 September 2004, 2758- 2761.
- [3] Ortega, R., Loria, A. and Kelly, R. (1995) A semiglobally stable output feedback PI2D regulator for robot manipulators. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **40**, 1432-1436.

[doi:10.1109/9.402235](https://doi.org/10.1109/9.402235)

- [4] Wit, E. and McClure, J. (2004) Statistics for microarrays: Design, analysis, and inference. 5th Edition, John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- [5] Prasad, A.S. (1982) Clinical and biochemical spectrum of zinc deficiency in human subjects. In: Prasad, A.S. Ed., *Clinical, Biochemical and Nutritional Aspects of Trace Elements*, Alan R. Liss, Inc, New York, 5-15.
- [6] Giambastiani, B.M.S. (2007) Evoluzione idrologica ed idrogeologica della pineta di San Vitale (Ravenna). Ph.D. Thesis, Bologna University, Bologna.
- [7] Wu, J.K. (1994) Two problems of computer mechanics program system. *Proceedings of Finite Element Analysis and CAD*, Peking University Press, Beijing, 9-15.
- [8] Honeycutt, L. (1998) Communication and design course. <http://dcr.rpi.edu/commdesign/class1.html>
- [9] Wright, O. and Wright, W. (1906) Flying-machine. US Patent No. 821393.
- [10] Norgate, M., Boyd-Gerny, S., Simonov, V., Rosa, M. G. P., Heard, T. A., and Dyer, A. G. (2010) Ambient temperature influences Australian native stingless bee (*Trigona carbonaria*) preference for warm nectar. *PLoS ONE*, **5**, e12000. [doi:10.1371/journal.pone.0012000](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012000)
- [11] Jian, F., Jayas, D. S. and White, N. D. G. (2003) Movement of adult rusty grain beetles, *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Cucujidae), in wheat in response to 51C/mtemperature gradients at cool temperatures. *Journal of Stored Products Research*, **39**, 87-101.
- [12] Throne, J. E. and Flinn, P. W. (2013) Distribution of psocids (Psocoptera) in temperature gradients in stored wheat. *Journal of Stored Products Research*, **55**, 27-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2013.07.003>
- [13] Haidekker, A. and Hering, D. (2008) Relationship between benthic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) and temperature in small and medium-sized streams in Germany: A multivariate study. *Aquatic Ecology*, **42**, 463-481. [doi: 10.1007/s10452-007-9097-z](https://doi.org/10.1007/s10452-007-9097-z)
- [14] Grodzicki, P. and Caputa, M. (2005) Social versus individual behaviour: a comparative approach to thermal behaviour of the honeybee (*Apis mellifera* L.) and the American cockroach (*Periplaneta americana* L.) *Journal of Insect Physiology*. **51**, 315-322. [doi:10.1016/j.jinsphys.2005.01.001](https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2005.01.001)
- [15] Grodzicki, P. and Caputa, M. (2012) Photoperiod influences endogenous rhythm of ambient temperature selection by the honey bee *Apis mellifera*. *Journal of Thermal Biology*, **37**, 587-594. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2012.07.005>
- [16] Schilman, P. E. and Lazzari, C. R. (2004) Temperature preference in *Rhodnius prolixus*, effects and possible consequences. *Acta Tropica*, **90**, 115-122. [doi:10.1016/j.actatropica.2003.11.006](https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2003.11.006)
- [17] Kryukov, V. Y., Yaroslavtseva, O. N., Elisaphenko, E. A., Mitkovets, P. V., Lednev, G. R., Duisembekov, B. A., Zakian, S. M. and Glupov, V. V. (2012) Change in the Temperature

Preferences of *Beauveria bassiana sensu lato* isolates in the Latitude Gradient of Siberia and Kazakhstan. *Microbiology*, **81**, 453-459.

doi: 10.1134/S002626171204011X

- [18] Girguis, P. R. and Lee, R. W. (2006) Thermal Preference and Tolerance of Alvinellids. *Science*, **312**, 231. doi: 10.1126/science.1125286
- [19] Cary, S. C., Shank, T. and Stein, J. (1998) Worms bask in extreme temperatures. *Nature*, **391**, 545.
- [20] Bang, S., Hyun, S., Hong, S. T., Kang, J., Jeong, K., Park, J. J., Choe, J., Chung, J. (2011) Dopamine signaling in mushroom bodies regulates temperature-preference behaviour in *Drosophila*. *PLoS Genetics*, **7**, e1001346. doi:10.1371/journal.pgen.1001346
- [21] Andersen, N. M. and Cheng, L. (2004) The marine insect *Halobates* (Heteroptera: Gerridae): Biology, adaptations distribution, and phylogeny. *Oceanography and Marine Biology*, **42**, 119-180.
- [22] Harada, T., Sekimoto, T., Iyota, K., Shiraki, T., Takenaka, S., Nakajyo, M., Osumi, O., and Katagiri, C. (2010) Comparison of the population density of oceanic sea skater of *Halobates* (Heteroptera: Gerridae) among several areas in the tropical pacific ocean and the tropical Indian ocean. *Formosan Entomologist*, **30**, 307-316.
- [23] Harada, T. (2005) Geographical distribution of three oceanic *Halobates* spp. and an account of the behaviour of *H. sericeus* (Heteroptera: Gerridae). *European Journal of Entomology*, **102**, 299-302.
- [24] Harada, T., Takenaka, S., Sekimoto, T., Nakajyo, M., Inoue, T., Ishibashi, T. and Katagiri, C. (2011a) Heat coma as an indicator of resistance to environmental stress and its relationship to ocean dynamics in the seaskaters, *Halobates* (Heteroptera: Gerridae). *Insect Science*, **18**, 703-711.
- [25] Cheng, L. (1985) Biology of *Halobates* (Heteroptera: Gerridae). *Annual Review of Entomology*, **30**, 111-135.
- [26] Cheng, L. and Shulenberger, E. (1980) Distribution and abundance of *Halobates* species (Insecta: Heteroptera) in the eastern tropical Pacific. *Fishery Bulletin*, **78**, 579-591.
- [27] Harada, T., Takenaka, S., Sekimoto, T., Osumi, Y., Nakajyo, M., and Katagiri, C. (2011b) Heatcoma and its relationship to ocean dynamics in the oceanic sea skaters of *Halobates* (Heteroptera: Gerridae) inhabiting Indian and Pacific Oceans. *Journal of Thermal Biology*, **36**, 299-305.

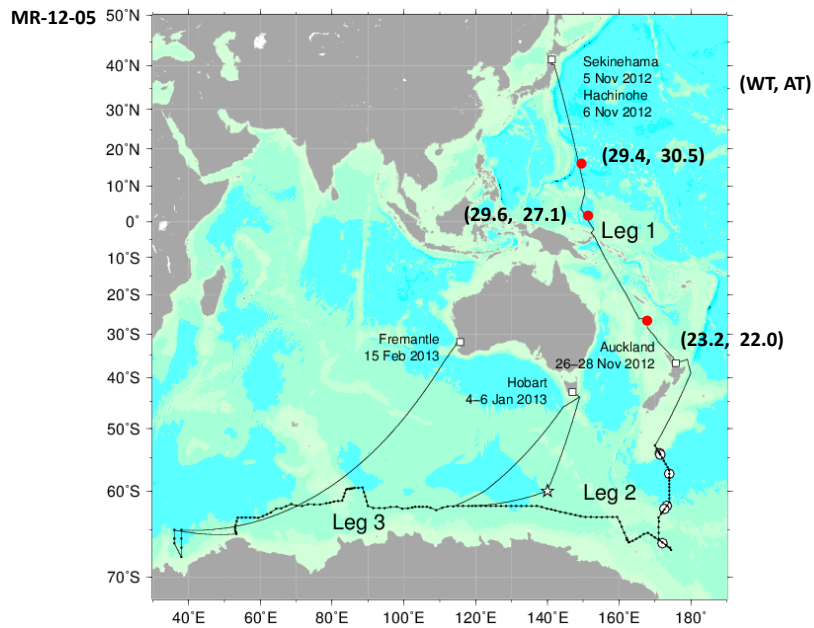


図1 MR12-05／みらい 航路とウミアメンボ採取地点（赤点）

## KH-13-02

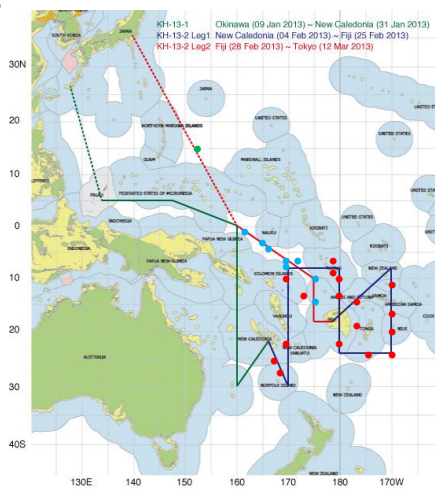


図2 KH13-02／白鳳丸 航路とウミアメンボ採取地点

Leg1（赤点：南半球高緯度地域）

Leg2（青点：南半球低緯度地域）

（緑点：北緯 15 度，単独採取地点）

### Cruise Track of MR06-05Leg3

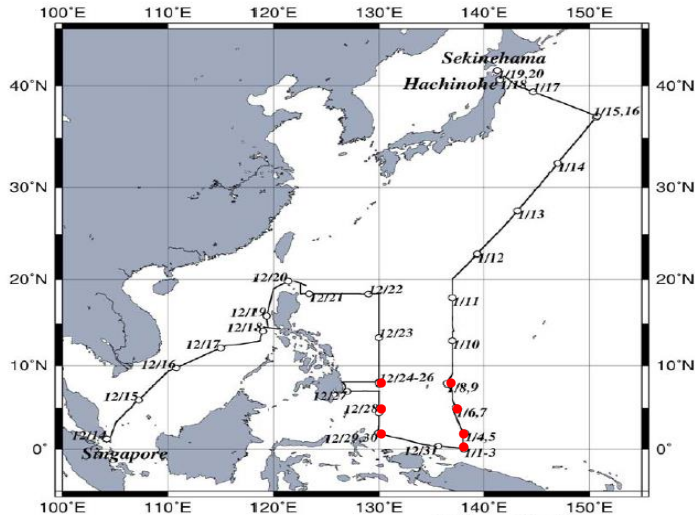


図 3 MR06-05-Leg3／みらい  
航路とウミアメンボ採取地点（赤点）

MR-12-05

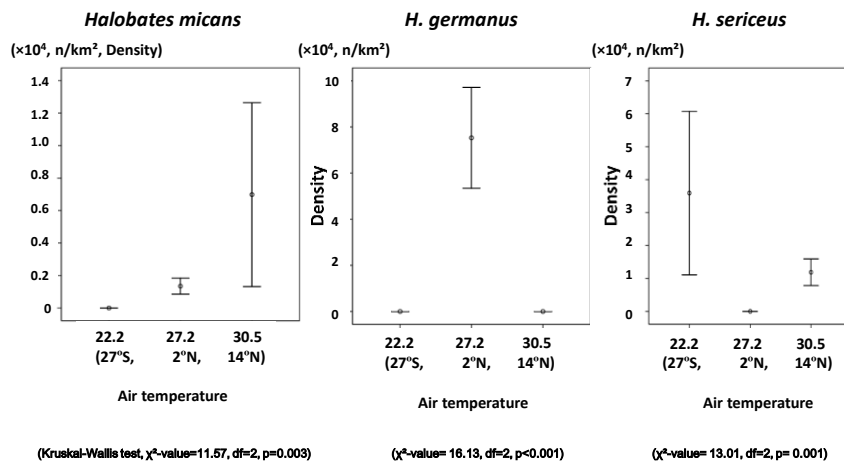


図 1-4 MR-12-05 航海におけるウミアメンボ 3 種の個体密度と採取  
地点 3 箇所の気温との関係



MR-12-05

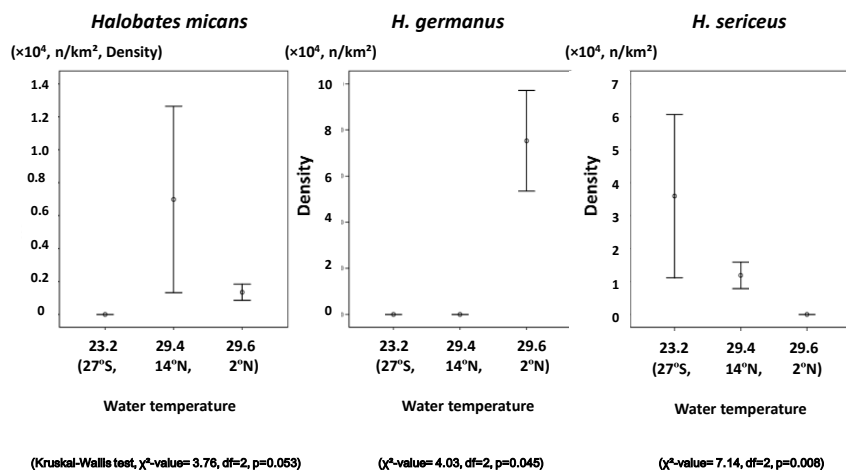


図 1-5 MR-12-05 航海におけるウミアメンボ 3 種の個体密度と採取

KH-13-02

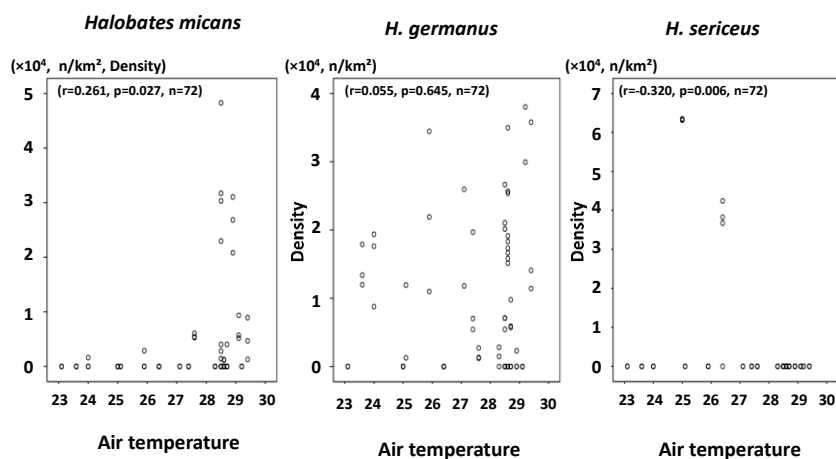


図 1-6 KH-13-02 航海におけるウミアメンボ 3 種の個体密度と採取  
地点 3 箇所の気温との関係

KH-13-02

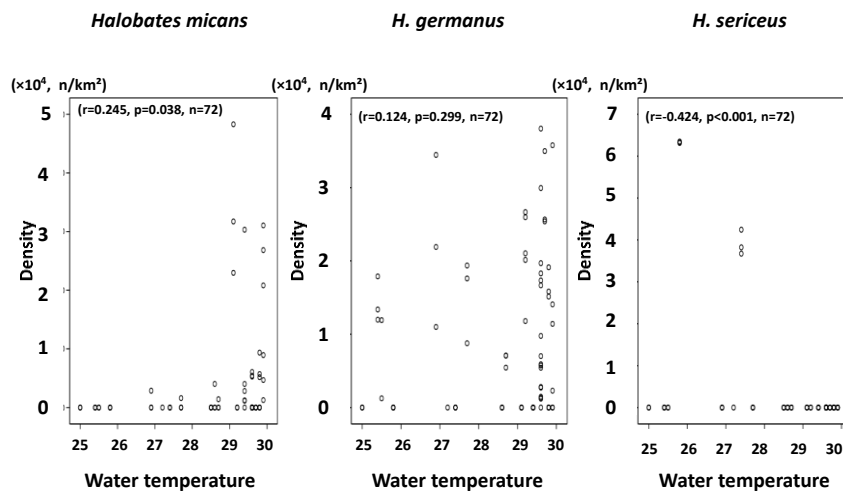


図 1-7 KH-13-02 航海におけるウミアメンボ 3 種の個体密度と採取地点 3 箇所の海水温度との関係

MR-06-05

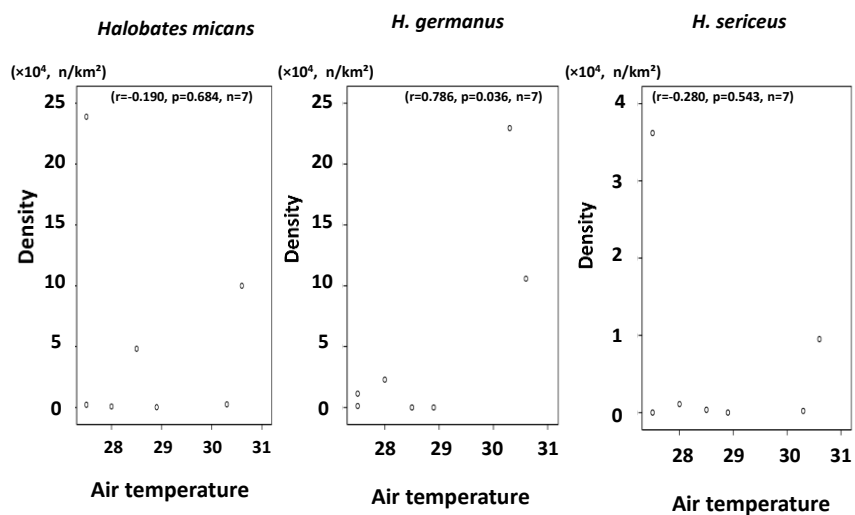


図 1-8 MR-06-05 航海におけるウミアメンボ 3 種の個体密度と採取地点 3 箇所の気温との関係

MR-06-05

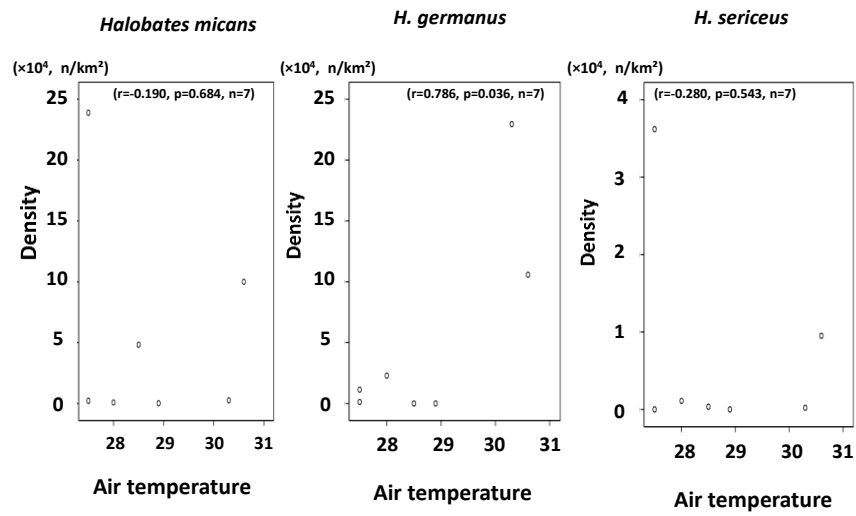


図 1-9 MR-06-05 航海におけるウミアメンボ 3 種の個体密度と採取地点 3 箇所の海水面温度との関係

表 1: 太平洋外洋域における 5 つの地点でのウミアメンボの個体密度の比較

※サンプリングは、この航海を含め 5 つの航海において実施された。

*H.m.*: *Halobates micans*; *H.g.*: *H. germanus*; *H.s.*: *H. sericeus*;

*H.p.*: *H. princeps*; sp.: *H. sp.*; Density: individual number/km<sup>2</sup>;

MR-12-05-Leg 1 (Stations 1-3: A-C): Western Subtropical and Tropical Pacific Ocean

	Total		<i>H.m</i>	<i>H.g</i>	<i>H. s.</i>	AS <sup>#</sup>
<b>A: 13°59'N 149°16'E</b>	<u>Nymphs    Adults</u>					
Number	44	73	43	0	74	0.0061659
Density	7136.0	11839.3	6973.8	0	12001.5	-
	Total		<i>H.m</i>	<i>H.g</i>	<i>H. s.</i>	AS <sup>#</sup>
<b>B: 01°55'N 150°31'E</b>	<u>Nymphs    Adults</u>					
Number	66	379	8	437	0	0.0043914
Density	15029.4	86305.1	1821.7	99512.7	0	-
	Total		<i>H.m</i>	<i>H.g</i>	<i>H. s.</i>	AS <sup>#</sup>
<b>C: 26°55'S 165°34'E</b>	<u>Nymphs    Adults</u>					
Number	71	183	0	0	254	0.0066742
Density	10638.0	27419.0	0	0	38057.0	-

AS<sup>#</sup>: Surface area swept by the net (km<sup>2</sup>)

表 2:インド洋及び太平洋外洋域における 5 つの地点でのウミアメンボの個体密度の比較

※サンプリングは、この航海を含め 5 つの航海において実施された。

*H.m.*: *Halobates micans*; *H.g.*: *H. germanus*; *H.s.*: *H. sericeus*;

*H.p.*: *H. princeps*; sp.: *H. sp.*; Density: individual number/km<sup>2</sup>; KH-13-02-Leg 1-2 (A-C)

**A: KH-13-02-Leg 1 (This cruise, St1-St17) Southern Tropical and Temperate Pacific Ocean, (08°01'S- 28°02'S, 167°01'E- 177°52'W)**

	Total		<i>H.m.</i>	<i>H.g.</i>	<i>H.s.</i>	AS <sup>#</sup>
	Nymphs	Adults				
Number	349	249	71	397	130	.03227406
Density	10813.6	7715.2	2199.9	12300.9	4028.0	-

**B: KH-13-02-Leg 2: (This cruise, St18-St25) Southern Tropical Pacific Ocean, 14°00'S-00°17'N, 175°00'E-161°34'E)**

	Total		<i>H.m.</i>	<i>H.g.</i>	<i>H.s.</i>	AS <sup>#</sup>
	Nymphs	Adults				
Number	207	96	135	80	0	0.01761734
Density	11749.8	5449.2	7662.9	4541.0	0	-

**C: KH-13-02-Leg 2: (This cruise, St26) Tropical Pacific Ocean (15°14'N, 152°04'E)**

	Total		<i>H.m.</i>	<i>H.g.</i>	<i>H.s.</i>	AS <sup>#</sup>
	Nymphs	Adults				
Number	59	29	0	0	88	0.00225004
Density	26221.8	12888.7	0	0	39110.4	-

AS<sup>#</sup>: Surface area swept by the net (km<sup>2</sup>)

表 3:インド洋及び太平洋外洋域における 5 つの地点でのウミアメンボの個体密度の比較

※サンプリングは、この航海を含め 5 つの航海において実施された。

*H.m.*: *Halobates micans*; *H.g.*: *H. germanus*; *H.s.*: *H. sericeus*;

*H.p.*: *H. princeps*; sp.: *H. sp.*; Density: individual number/km<sup>2</sup> ; MR-06-05-Leg 3 (Stations

1-7): Western Tropical Pacific Ocean (0°-8°N, 130°-138°E)

	Total		<i>H.m.</i>	<i>H.g.</i>	<i>H.s.</i>	AS <sup>#</sup>
	Nymphs	Adults				
Number	2185	1439	1678	1738	208	0.0293303
Density	74496.3	49061.9	57210.5	59256.1	7091.64	-

AS<sup>#</sup> : Surface area swept by the net (km<sup>2</sup>)

# Comparison of temperature preference for habitat among three species of oceanic sea skaters, *Halobates micans*, *H. germanus* and *H. sericeus*

Mitsuru Nakajo<sup>1</sup>, Takero Sekimoto<sup>1</sup>, Kentaro Emi<sup>1</sup>, Ryuta Ide<sup>1</sup>, Kai Wada<sup>1</sup>, Takao Inoue<sup>1</sup>, Masatoshi Moku<sup>2</sup>, Vladimir Kostal<sup>3</sup>, Chihiro Katagiri<sup>4</sup>, Tetsuo Harada<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Environmental Physiology, Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, Kochi, Japan;

\*Corresponding Author: [haratets@kochi-u.ac.jp](mailto:haratets@kochi-u.ac.jp)

<sup>2</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

<sup>3</sup>Institute of Entomology, Biology Center of the Academy of Sciences CR, Ceske Budejovice, Czech Republic

<sup>4</sup>Division of Life Science and Engineering, School of Science and Engineering, Tokyo Denki University, Tokyo, Japan

Received \*\*\*\*\* 2013

Copyright © 2013 Mitsuru Nakajo *et al.* This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2013 are reserved for SCIRP and the owner of the intellectual property Mitsuru Nakajo *et al.* All Copyright © 2013 are guarded by law and by SCIRP as a guardian.

## ABSTRACT

The main purpose of this study is to investigate temperature preference for habitat of three species of oceanic sea skaters, *Halobates micans*, *H. germanus* and *H. sericeus*. For each of the three species, we examined the relationship between population density and surface water and air temperatures in the sampling sites during three science cruises in the tropical to temperate zone of the Pacific Ocean. A higher density of *H. micans* was observed in sites with higher water and air temperatures at 28°C - 30°C than that at site with lower temperatures of 23°C - 28°C. A higher density of *H. germanus* was observed in sites with extremely high temperatures of 29.6°C and 30°C than that in sites with moderately high temperatures of 28°C - 29°C in the Pacific Ocean, while a relatively high density was observed in sites with a wide range of temperatures from 24°C - 30°C in the southern hemisphere Pacific Ocean. The relatively low temperature preference of 23°C - 28°C exhibited by *H. sericeus* may be related to its size as the smallest among the three species and its relatively wide latitudinal distribution ranging up to 40°N.

**Keywords:** Oceanic Sea Skaters; Temperature Preference; Latitudinal Distribution; Pacific Ocean

## 1. INTRODUCTION

Many ectotherms of diverse species modify the time of day for conducting behaviors (such as using sun or shade) [1-5], and maintaining body temperature within a narrow, species-specific range, at least during their active time [6-9]. Temperature preferences shown by insects have adaptive meaning for their life. A study on the temperature preference of grain beetles showed them to prefer warmer areas, and increasing the temperature caused a greater number of beetles to move towards the warmer areas (*Cryptolestes ferrugineus*: [10]; *Liposcelis*: [11]). Preference for warmer places can be advantageous for inducing a rapid increase in population number in the grain stock.

Differences in temperature preference could play an important role in habitat variability in some cases. One example is the relationship between benthic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) and temperature, studied in small and medium-sized streams in Germany [12]. Up to 29% of the variability in the Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera and Coleoptera, communities were explained by summer temperature variation in the data sets for both small and medium-sized streams.

From an eco-physiological point of view, the temperature preference of animals could be related to the ambient temperature of their habitats. Girguis and Lee [13] investigated adaptation to extreme temperature by examining the temperature preferences of the polychaete worm species, *Alvinella pompejana* and *Paralvinella*

*sulfincola* (family Alvinellidae), living directly on high-temperature vents in the Eastern and Northeastern Pacific, respectively, where temperatures up to 81°C and 90°C have been measured around *A. pompejana* and *P. sulfincola* tube openings, respectively [14]. *P. sulfincola* worms were shown to be thermo-taxic and extremely thermo-tolerant, preferring temperatures between 40°C and 50°C, with individuals surviving 7 hours of chronic exposure to 50°C and 15 minutes of acute exposure to 55°C.

Few studies have examined the physiological mechanism of temperature preference in insects. One study showed that dopamine signaling in mushroom bodies of the brain regulates temperature preference behavior in *Drosophila* flies [15]. Various genetic studies were performed to identify the functions of dopamine in temperature preference behavior. Inhibition of dopamine biosynthesis by genetic mutation or treatment with chemical inhibitors induced flies to prefer colder temperatures than normal.

Oceanic sea skaters inhabit the open ocean where the sea surface temperature is very stable, at around 30°C in tropical areas throughout the year [16,17]. However, the temperature preference of the three species of oceanic sea skaters, *Halobates micans* (Body size: 4.9 - 5.1 mm [16]), *H. germanus* (3.4-3.6mm) and *H. sericeus* (3.2 - 3.4 mm), in colonizing temperate and subtropical ocean areas, has yet to be determined. During one cruise by the R/V Hakuohomaru in May, 2003, one sea skater species, *Halobates sericeus*, was collected at 18 locations sampled in the East China Sea (27°10'N - 33°24'N, 124°57'E - 129°30'E) [18], and *H. micans* and/or *H. germanus* at 8 locations in the area south of 29°47'N, where the water temperature was higher than 25°C. Samples collected at three locations where the water temperature was less than 23°C did not contain either *H. micans* or *H. germanus*. In a pilot experiment, Harada et al. [19] showed decreasing heat tolerance in the order of *H. micans*, *H. germanus*, then *H. sericeus*, suggesting that the preceding two species were likely to prefer higher temperatures for their habitat than *H. sericeus*. However, data in other oceanic areas are needed to support this hypothesis on diversity of temperature preference among the three species. We thus set out to examine the relationship between population density and water surface and air temperature in the three species of oceanic sea skaters, *Halobates micans*, *H. germanus* and *H. sericeus*, inhabiting tropical and subtropical-temperate areas of the Pacific Ocean.

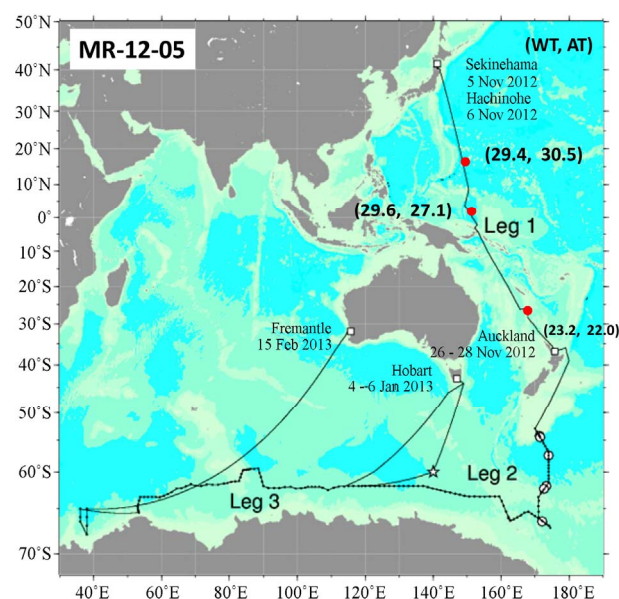
## 2. MATERIALS AND METHODS

Samplings were taken with a Neuston net (6 m long and with diameter of 1.3 m) during the MR-12-05 cruise

(The fifth cruise in 2012 by Research Vessel MIRAI) (Figure 1) by the Research Vessel, MIRAI (government vessel for oceanography: 8687 t) and KH-13-02 (The second cruise in 2013 by Research Vessel, HAKUOHOMARU (government vessel for marine science: 3991 t) (Figure 2), both owned by the Japan Agency for Marine-earth Science and TEChnology (JAMSTEC), and with an ORI net (6 m long and with diameter of 1.5 m) during the MR-06-05-Leg 3 cruise (Figure 3), also by the R/V MIRAI. Samplings were taken on November 12, 15 and 22, 2012 during the MR-12-05, from February 4 to March 7, 2013 during the KH-13-02, and from December 24, 2006 to January 8, 2007 during the MR-06-05-Leg 3.

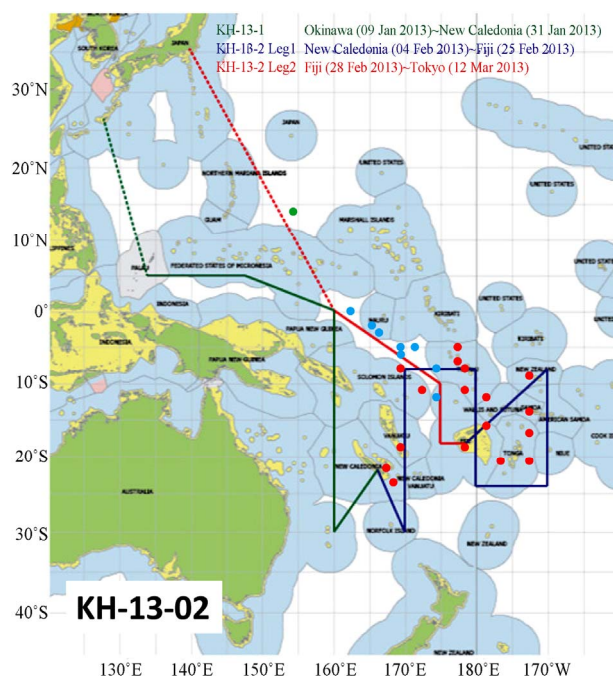
The net was trailed for 15 minutes, 3 - 6 times per station exclusively at night with a ship speed of 2.0 - 3.0 knots to the sea water. The surface area swept by Neuston (ORI) net was evaluated as an expression of flow-meter value  $\times$  1.3 m (or 1.5 m) of the width of the net. The population density was calculated as individual number per 1 km<sup>2</sup> using the expression, (1,000,000/surface area swept by the net)  $\times$  individual number of oceanic sea skaters collected.

Samples were transferred from a sample bottle at the end of the net to a transparent aquarium. All the samples were transferred with tweezers used for plankton from the transparent aquarium to a piece of white paper on a tray. All specimens were examined very carefully to identify species and stage (according to Andersen and Cheng [16]) and were tallied. The temperature of the surface water and air temperature on the ship deck were measured at all samplings.



**Figure 1.** Cruise track and sea skater sampling points (red circles) during the no: MR-12-05 by the R/V MIRAI.





**Figure 2.** Cruise track and sea skater sampling points during cruise no: KH-13-02 by the R/V HAKUHOMARU. Sampling points are shown by red circles in relatively higher latitude areas in the southern hemisphere during KH-13-02-Leg 1 and blue circles in relatively lower latitude areas during the KH-13-02-Leg 2. One isolated sampling point at 15°N during the KH-13-02-Leg 2 is shown by a green circle.

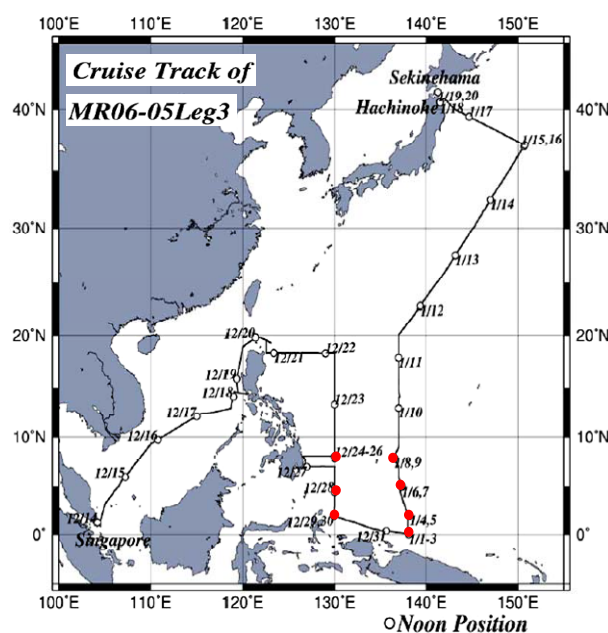
### 3. RESULTS

#### 3.1. Population Density

In the tropical to temperate zones of the central Pacific Ocean with a longitude of 150° - 165°E, the smallest species, *Halobates sericeus*, was dominant at 14°N and 27°S, while *H. germanus*, medium in size among the three species, was dominant at the low latitude of 2°N (Table 1). In the southern hemisphere of the Pacific Ocean, *H. micans*, the largest species, was dominant in the relatively lower latitude of 0° - 10°S during the KH-13-02-Leg 2, while *H. germanus* was dominant in the higher latitude of 10° - 25°S during the KH-13-02-Leg 1 ( $\chi^2$ -test:  $\chi^2$ -value = 112.4,  $df = 1$ ,  $p < 0.001$ ) (Tables 2A and B). *H. sericeus* was present at a high density of 40,000 individuals/km<sup>2</sup> at 15°N, 152°E (Table 2C). In the western tropical Pacific Ocean at 0° - 8°N, 130° - 135°E, both *H. micans* and *H. germanus* were present in high densities during the MR-06-05-Leg 3 (Table 3).

#### 3.2. Temperature and Population Density

Among the three sampling points, *H. sericeus*, *H. germanus* and *H. micans* were present in the highest density at points with temperatures of 22°C - 23°C, 27°C - 29°C, and 29°C - 31°C, respectively (Figures 4 and 5).



**Figure 3.** Cruise track and sea skater sampling points (red circles) during the no: MR-06-05-Leg by the R/V MIRAI.

**Table 1.** A comparison of population density of oceanic sea skaters, *Halobates* among five areas of the open Pacific Oceans. Samplings were performed during five cruises, including this cruise. *H.m.*: *Halobates micans*; *H.g.*: *H. germanus*; *H.s.*: *H. sericeus*; *H.p.*: *H. princeps*; sp.: *H. sp.*; Density: individual number/km<sup>2</sup>; MR-12-05-Leg 1 (Stations 1-3: A-C): Western Subtropical and Tropical Pacific Ocean.

A: 13°59'N 149°16'E	Total					
	Nymphs	Adults	<i>H.m.</i>	<i>H.g.</i>	<i>H.s.</i>	AS
Number	44	73	43	0	74	6166 × 10 <sup>-6</sup>
Density	7136.0	11839.3	6973.3		12001.5	
B: 01°55'N 150°31'E	Total					
	Nymphs	Adults	<i>H.m.</i>	<i>H.g.</i>	<i>H.s.</i>	AS
Number	66	379	8	437	0	4391 × 10 <sup>-6</sup>
Density	15029.4	86305.1	1821.7	99512.7		
C: 26°55'S 165°34'E	Table Column Head					
	Nymphs	Adults	<i>H.m.</i>	<i>H.g.</i>	<i>H.s.</i>	AS
Number	71	183	0	0	254	6674 × 10 <sup>-6</sup>
Density	10638.0	27419		38057.0		

AS#: Surface area swept by the net (km<sup>2</sup>).

In the tropical to temperate zone of the southern hemisphere of the Pacific Ocean, both species and temperature of air and water tended to be related to population density independently based on ANCOVA (Analysis of CO-Variance: air temperature on density with covariance

#Temperature preference for habitat of oceanic sea skaters.

**Table 2.** A comparison of population density of oceanic sea skaters, *Halobates* among five areas of the open Indian and Pacific Oceans. Samplings were performed during five cruises, including this cruise. *H.m.*: *Halobates micans*; *H.g.*: *H. germanus*; *H.s.*: *H. sericeus*; *H.p.*: *H. princeps*; sp.: *H. sp.*; Density: individual number/km<sup>2</sup>; KH-13-02-Leg 1-2 ((A)-(C)).

(A) KH-13-02-Leg 1	Total					
	Nymphs	Adults	<i>H.m.</i>	<i>H.g.</i>	<i>H.s.</i>	AS
Number	349	249	71	397	130	3227 × 10 <sup>-5</sup>
Density	10813.6	7715.2	2199.9	12300.9	4028.0	

(B) KH-13-02-Leg 2: (St18-St25)	Total					
	Nymphs	Adults	<i>H.m.</i>	<i>H.g.</i>	<i>H.s.</i>	AS
Number	207	96	135	80	0	1762 × 10 <sup>-5</sup>
Density	11749.8	5449.2	7662.9	4541.0		

(C) KH-13-02-Leg 2: (St26)	Table Column Head					
	Nymphs	Adults	<i>H.m.</i>	<i>H.g.</i>	<i>H.s.</i>	AS
Number	59	29	0	0	88	225 × 10 <sup>-5</sup>
Density	26221.8	12888.7		39110.4		

AS<sup>#</sup>: Surface area swept by the net (km<sup>2</sup>).

**Table 3.** A comparison of population density of oceanic sea skaters, *Halobates* among five areas of the open Indian and Pacific Oceans. Samplings were performed during five cruises, including this cruise. *H.m.*: *Halobates micans*; *H.g.*: *H. germanus*; *H.s.*: *H. sericeus*; *H.p.*: *H. princeps*; sp.: *H. sp.*; Density: individual number/km<sup>2</sup>; MR-06-05-Leg 3 (Stations 1-7): Western Tropical Pacific Ocean (0° - 8°N, 130° - 138°E).

KH-06-05-Leg 3	Total					
	Nymphs	Adults	<i>H.m.</i>	<i>H.g.</i>	<i>H.s.</i>	AS
Number	2185	1439	1678	1738	208	3227 × 10 <sup>-5</sup>
Density	74496.3	49061.9	57210.5	59256.1	7091.6	

AS<sup>#</sup>: Surface area swept by the net (km<sup>2</sup>).

of species,  $df = 1$ ,  $F = 2.46$ ,  $p = 0.093$ ; water temperature on density with covariance of species,  $df = 1$ ,  $F = 2.46$ ,  $p = 0.093$ ; species on density with covariance of air and water temperature,  $df = 3$ ,  $F = 5.55$ ,  $p = 0.002$ ).

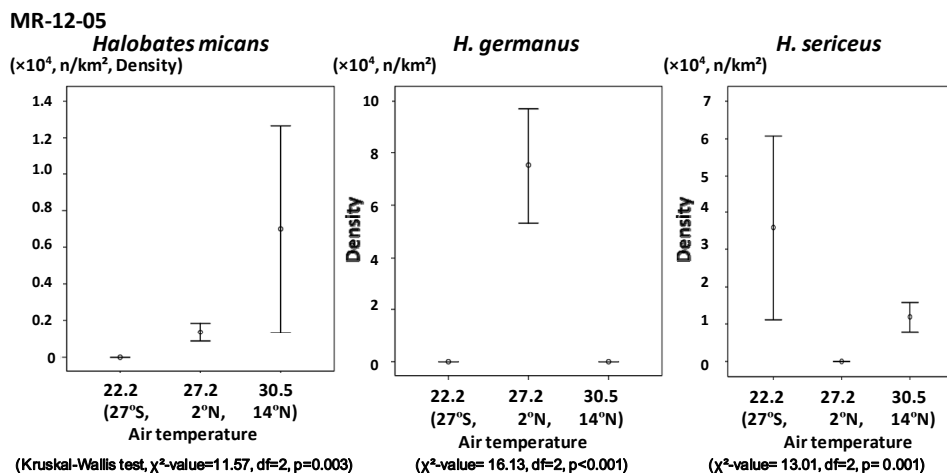
Positive and negative correlations were seen between population density and both air and surface water temperature for *H. micans* and *H. sericeus*, respectively, but no correlation was seen for *H. germanus* in the tropical and temperate areas of mainly the southern hemisphere in the Pacific Ocean (Figures 6 and 7). In the western tropical Pacific Ocean, the only association seen was a significant positive correlation between population density and air and water temperature for *H. germanus* (Figures 8 and 9).

## 4. DISCUSSION

Cheng [20] stated that the occurrence and abundance of oceanic sea skaters were primarily controlled by surface sea water temperature. The optimal temperature for oceanic sea skaters was estimated to be 24°C - 30°C [20,21]. However, Andersen and Cheng [16] claimed the lower limit of surface water temperature for survival of oceanic sea skaters to be around 25°C.

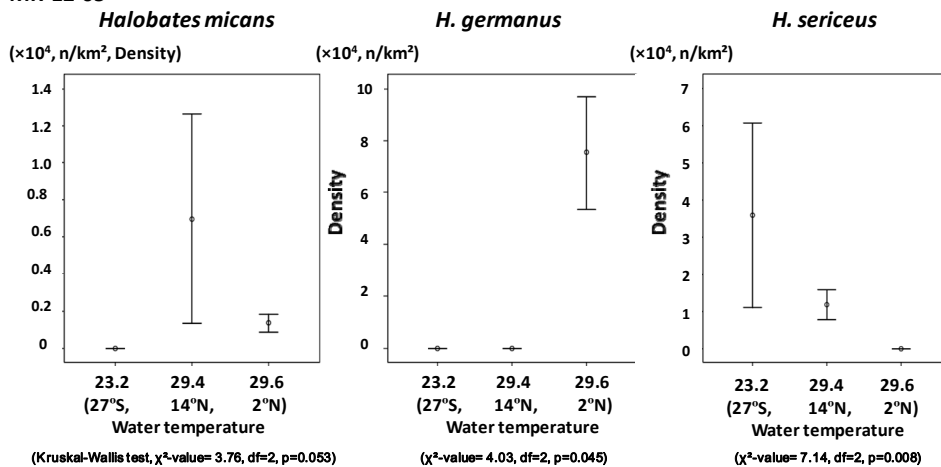
The results of the present study suggest that temperature preference by oceanic sea skaters differs depending on the species. *Halobates sericeus* may prefer a lower range of temperatures at around 23°C - 28°C than the other two species, *H. micans* and *H. germanus*, that favor a relatively higher range of temperatures, at around 28°C - 30°C.

The lower and wider-ranging values for temperature preference for habitat by *H. sericeus* may relate to its wide-ranging latitudinal distribution from 5°N - 42°N [17], across which the Northern Equator Current and the Kuroshio (Black Current) may transfer this species from lower to higher latitudes, while the latitudinal habitat



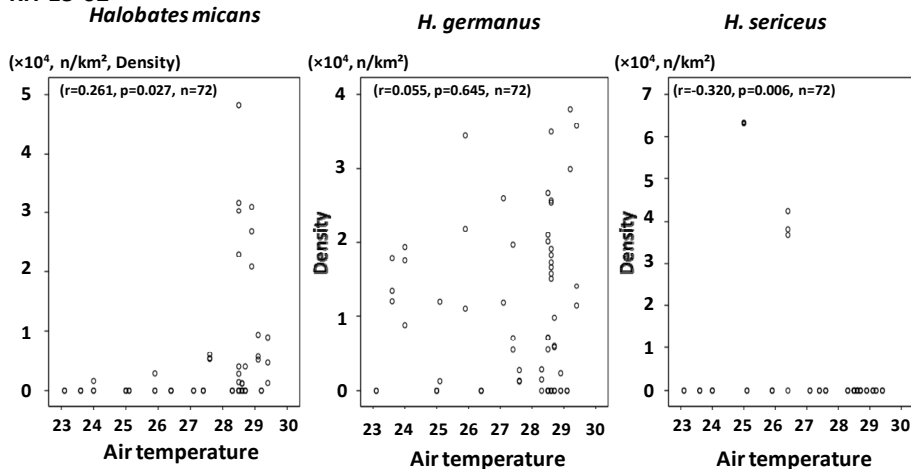
**Figure 4.** The relationship between population density of the three species of oceanic sea skaters and air temperature in the three sampling points during the cruise MR-12-05.

## MR-12-05



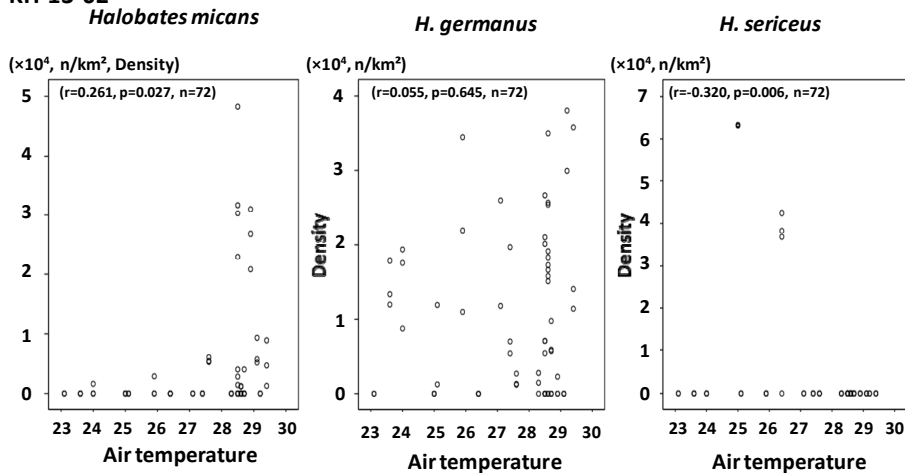
**Figure 5.** The relationship between population density of the three species of oceanic sea skaters and surface water temperature in the three sampling points during the cruise MR-12-05.

## KH-13-02

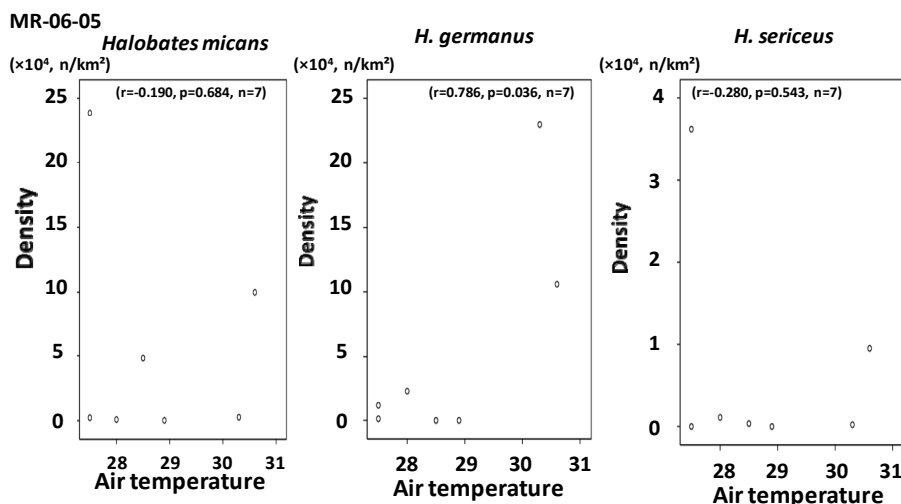


**Figure 6.** The relationship between population density of the three species of oceanic sea skaters and air temperature in the sampling points during the cruise KH-13-02.

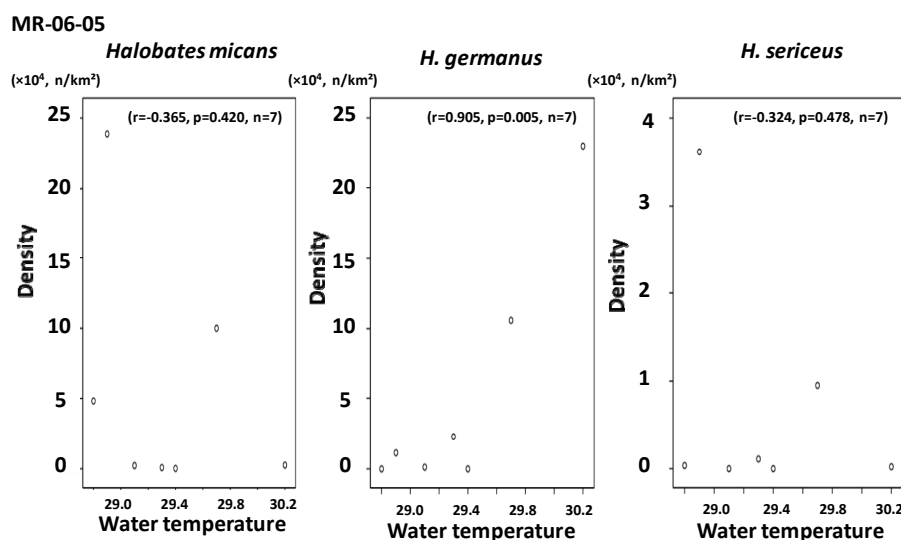
## KH-13-02



**Figure 7.** The relationship between population density of the three species of oceanic sea skaters and surface water temperature in the sampling points during the cruise KH-13-02.



**Figure 8.** The relationship between population density and air temperature in the sampling points during the cruise MR-06-05.



**Figure 9.** The relationship between population density and surface water temperature in the sampling points during the cruise MR-06-05.

range shown by *H. micans* and *H. germanus* is much narrower, mainly from 15°S to 15°N [17,19,22]. The wide range of temperature preference shown by *H. sericeus* may be advantageous for its distribution over a wide range of latitudes.

Alternatively, the preference for lower temperature by *H. sericeus* could be related to its size as the smallest among the three species, giving it less competitive power for occupying an adequate area at high temperatures for growth and reproduction. If the global warming will be going on in the future, northern spreading of the distribution of *H. micans* might be speculated in accordance with the warmed surface water.

As a limitation of this study, no experimental data were obtained on the effects of temperature on life history traits (such as fecundity, survival rate of larvae and adults,

frequency of mating behavior, and hatching rate of the first instars). Further studies are needed to obtain such experimental data.

## 5. ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Dr. Yuji KASHINO (Head Scientist on Leg 3 of the cruise: MR-06-05, JAMSTEC), Dr. Katsuro KATSUMATA (Head Scientist of the cruise: MR-12-05, JAMSTEC) and Prof. Jun AOYAMA (Chief Scientist of the cruise: KH-13-02-Leg 2, University of Tokyo) for their permission to do this study during the cruises on the R/V MIRAI and R/V HAKUHOMARU, their warm suggestions on this study, and their encouragement and help throughout these cruises. The field studies including samplings during the three cruises were also possible due to support from all of the crew (Captains: Mr. Yuji KITA for MR-06-05-Leg 3, Mr. Yoshiharu TSUTSUMI for MR-12-05 and Mr.

Takatoshi SEINO for KH-13-02) and all the scientists and engineers from Global Ocean Development Inc. (GODI) and Marine Work Japan (MWJ) in these cruises. We would like to give them special thanks. Thanks are also due to Ms. Laura SATO for her professional English editorial work on this manuscript.

## REFERENCES

- [1] Malik, A.S., Boyko, O., Atkar, N. and Young, W.F. (2001) A comparative study of MR imaging profile of titanium pedicle screws. *Acta Radiologica*, **42**, 291-293. <http://dx.doi.org/10.1080/028418501127346846>
- [2] Hu, T. and Desai, J.P. (2004) Soft-tissue material properties under large deformation: Strain rate effect. *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, San Francisco, 1-5 September 2004, 2758-2761.
- [3] Ortega, R., Loria, A. and Kelly, R. (1995) A semiglobally stable output feedback PI2D regulator for robot manipulators. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **40**, 1432-1436. <http://dx.doi.org/10.1109/9.402235>
- [4] Wit, E. and McClure, J. (2004) Statistics for microarrays: Design, analysis, and inference. 5th Edition, John Wiley & Sons Ltd., Chichester. <http://dx.doi.org/10.1002/0470011084>
- [5] Prasad, A.S. (1982) Clinical and biochemical spectrum of zinc deficiency in human subjects. In: Prasad, A.S., Ed., *Clinical, Biochemical and Nutritional Aspects of Trace Elements*, Alan R. Liss, Inc., New York, 5-15.
- [6] Giambastiani, B.M.S. (2007) Evoluzione idrologica ed idrogeologica della pineta di San Vitale (Ravenna). Ph.D. Thesis, Bologna University, Bologna.
- [7] Wu, J.K. (1994) Two problems of computer mechanics program system. *Proceedings of Finite Element Analysis and CAD*, Peking University Press, Beijing, 9-15.
- [8] Honeycutt, L. (1998) Communication and design course. <http://dcr.rpi.edu/commdesign/class1.html>
- [9] Wright, O. and Wright, W. (1906) Flying-machine. US Patent No. 821393.
- [10] Jian, F., Jayas, D.S. and White, N.D.G. (2003) Movement of adult rusty grain beetles, *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Cucujidae), in wheat in response to 51C/mtemperature gradients at cool temperatures. *Journal of Stored Products Research*, **39**, 87-101. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-474X\(02\)00024-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00024-3)
- [11] Throne, J.E. and Flinn, P.W. (2013) Distribution of psocids (Psocoptera) in temperature gradients in stored wheat. *Journal of Stored Products Research*, **55**, 27-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2013.07.003>
- [12] Haidekker, A. and Hering, D. (2008) Relationship between benthic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) and temperature in small and medium-sized streams in Germany: A multivariate study. *Aquatic Ecology*, **42**, 463-481. <http://dx.doi.org/10.1007/s10452-007-9097-z>
- [13] Girguis, P.R. and Lee, R.W. (2006) Thermal preference and tolerance of alvinellids. *Science*, **312**, 231. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1125286>
- [14] Cary, S.C., Shank, T. and Stein, J. (1998) Worms bask in extreme temperatures. *Nature*, **391**, 545. <http://dx.doi.org/10.1038/35286>
- [15] Bang, S., Hyun, S., Hong, S. T., Kang, J., Jeong, K., Park, J. J., Choe, J. and Chung, J. (2011) Dopamine signaling in mushroom bodies regulates temperature-preference behaviour in *Drosophila*. *PLoS Genetics*, **7**, Article ID: e1001346. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pgen.1001346>
- [16] Andersen, N.M. and Cheng, L. (2004) The marine insect Halobates (Heteroptera: Gerridae): Biology, adaptations distribution, and phylogeny. *Oceanography and Marine Biology*, **42**, 119-180.
- [17] Harada, T., Sekimoto, T., Iyota, K., Shiraki, T., Takenaka, S., Nakajyo, M., Osumi, O. and Katagiri, C. (2010) Comparison of the population density of oceanic sea skater of Halobates (Heteroptera: Gerridae) among several areas in the tropical pacific ocean and the tropical Indian ocean. *Formosan Entomologist*, **30**, 307-316.
- [18] Harada, T. (2005) Geographical distribution of three oceanic Halobates spp. and an account of the behaviour of *H. sericeus* (Heteroptera: Gerridae). *European Journal of Entomology*, **102**, 299-302.
- [19] Harada, T., Takenaka, S., Sekimoto, T., Nakajyo, M., Inoue, T., Ishibashi, T. and Katagiri, C. (2011) Heat coma as an indicator of resistance to environmental stress and its relationship to ocean dynamics in the sea skaters, Halobates (Heteroptera: Gerridae). *Insect Science*, **18**, 703-711. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7917.2011.01409.x>
- [20] Cheng, L. (1985) Biology of Halobates (Heteroptera: Gerridae). *Annual Review of Entomology*, **30**, 111-135. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.en.30.010185.000551>
- [21] Cheng, L. and Shulenberg, E. (1980) Distribution and abundance of Halobates species (Insecta: Heteroptera) in the eastern tropical Pacific. *Fishery Bulletin*, **78**, 579-591.
- [22] Harada, T., Takenaka, S., Sekimoto, T., Ohsumi, Y., Nakajyo, M. and Katagiri, C. (2011) Heatcoma and its relationship to ocean dynamics in the oceanic sea skaters of Halobates (Heteroptera: Gerridae) inhabiting Indian and Pacific Oceans. *Journal of Thermal Biology*, **36**, 299-305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2011.05.001>



## 第3部 質問紙研究

### 「青少年のための科学の祭典」に参加した子どもと保護者の科学への意識と分野選択

#### 1. 要約

本研究の目的は、青少年のための科学の祭典高知大会 2011 に参加した子ども達と保護者について、科学への意識と科学技術のどの分野に興味を示すのか、との間の関係を明らかにすることにある。質問紙は、「38 の出典のうち、どの出典に興味深かったか。」「どの出典が為になったか。」「どの出典から新知識が得られたか。」の項目を含み、いずれも 3 出典まで選択できた。学校で理科が得意な（だった）参加者は、得意ではない（なかった）参加者より、「興味深い」「為になる」と感じた出典数が多かった。理科好きな参加者と比較して、理科好きではない参加者が、より多くの割合で、新知見が得られた出典として、生物学関連のものを選択した。学校で理科が得意でない（なかった）参加者と比較して、理科が得意な（だった）参加者が、より多くの割合で、新知見が得られた出典として、物理学関連のものを選択した。これらの結果を総合すると、理科好きな子ども達は“物理学領域”に興味を持ち、理科嫌いな子ども達でも“生物学領域”なら興味を持てることを暗示している。

キーワード： 理科への意識、領域への興味、青少年のための科学の祭典高知大会、日本の子ども達と保護者、質問紙研究

#### 2. 序論

青少年のための科学の祭典は全国でもう 20 年間も公益財団法人日本科学技術振興財団・科学技術館が中央開催し、各地で地方大会が 15 年以上展開されている（田代ら、2011）。この祭典の教育的効果については、過去に様々な研究がなされている。小林（2001）はこの祭典に出展した理科教師への質問紙調査を行い、本祭典の効果を、青少年の科学への原体験を拡大する場として高く評価しており、学校教育とは独立して見ていることを明らかにしている。海野ら（2009）は、出展者への意識調査を行い、出展者は理科・科学離れの解決に実体験が貢献していることや、指導者の科学的な知識よりも教育的な知識が実体験の提供に効果的であることを示した。田代ら（2009）は、参加児童が興味を示しやすいのは、身近に楽しめる実験工作であり、保護者と子どもの興味を持った出展が一致していたことなどの知見を得た。田代ら（2010）が平成 21 年科学技術館開催の全国大会を対象に実施した調査研究により、科学技術が好きである祭典来場者ほど、科学技術に対する興味喚起度、知識獲得度、満足度、さらには科学的リテラシー自信度が高いことが明らかとなった。しかし、参加する子ども達の科学への興味や志向（理科が得意かなど）と、選択する出展分

野（物理、化学、生物、地学など）との関係などを、質問紙によって調べた研究例は見当たらない。

「青少年のための科学の祭典」高知大会は 2012 年 12 月 9 日（日）で第 15 回目を迎えた。1998 年 3 月の第 1 回以来、ほぼ毎年開催され、多くの幼児、小学生、中学生、高校生が参加して科学の楽しさを体感している。

第 1 回目から毎年 1000 名を超える子ども達が参加しているが、2005 年くらいから保護者も含め 2000 名に迫っている。これは子ども達にとって「科学の面白さ」を 1 日体験できる貴重な機会に本大会がなっていることを意味する。

「青少年のための科学の祭典」の目的とは何であろうか。全国大会主催の科学技術振興財団の公式ホームページによれば、「科学技術立国としてのわが国にあって、科学的思考力を身につけた真に創造性豊かな人材を育成することが課題であるのに、現実には 21 世紀の主役となるべき青少年の科学技術離れが進んでおり、理科嫌い若年化の傾向を示している。今、科学技術振興の原点である青少年の理工系指向への回帰運動、つまり“青少年が科学技術に親しむ環境づくり運動”を全力で実践する。」と示されている。「理科離

れ」や「理科嫌い」が日本で叫ばれる中、このように1日に千人を超える子ども達が集まってくる「科学の祭典」は、子ども達の「科学」や「理科」に対する意識や、具体的にどのような科学技術に関する「内容」を子ども達が選択するものなのかを調査する格好の機会となる。

本稿では、例えば、科学技術の内容のなかでどのようなものに魅かれたり、学んだりするのかという点に於いて、理科が好きな子どもとあまりそうではない子どもの間での違いを明確に映し出し、今後の科学教育の進展の基礎資料となることを目的とする。

### 3. 研究対象と方法

科学の祭典入場者〔2011年12月4日（日）第14回開催、子どもや学生：1030名；保護者：729名〕総てに、退場時に質問紙（資料）に回答するよう要請した。質問紙は12項目から成った。性別や属性の他、科学や理科に対する好みや教科として得意かどうか、科学の祭典に参加して面白かったかなど、科学や理科への意識や自己認識を聞いた。一方で、実際に科学の祭典に出展された38項目のブースのうち、「面白かった」「ためになった」「新発見があった」ものをそれぞれ、3項目以内で挙げてもらった。

祭典は高知大学北体育館を会場に9:00から16:00まで、体育館全体に同時に展開する38のテーマブースに入場者（無料）が自由にアクセスできた。

本質問紙調査の分析のねらいは、科学技術や理科への意識や自己認識と、実際にどのような出展ブースに引きつけられたかの間に何らかの関係があるかどうかを探ることにある。実際に出展されたブースの38項目（表1）をその内容によって、「物理系」：20項目、「化学系」：5項目、「生物系」：7項目、「環境・地学（地球

**表1：第14回「青少年のための科学の祭典」高知大会の出展項目〔カテゴリー、(1)：物理系、(2)：化学系、(3)：生物系、(4)：環境・地学（地球科学）系、(5)：技術・工学系〕**

1. 静電気の科学 (1)
2. 低温の科学 (1)
3. 気体の科学 (1)
4. 熱線カッターでオブジェを作ろう (1)
5. プラスチックコップを使ってコースターを作ろう (1)
6. ブーメランを作って戻るしくみを考えよう (1)
7. ロボット操縦体験 (5)
8. 君もフォークリフトのプログラマー (5)
9. 空気砲を作って遊ぼう (1)
10. 葉脈標本づくり (3)
11. オリジナルボールペン (4)
12. お医者さんになってみよう！ (3)
13. エコ工作☆アルミ缶でミニバケツを作ろう (4)
14. 使い捨てのプラスチックコップなどを使って電気を作ろう (1)
15. 水力発電・火力発電のしくみ (1)
16. 自転車発電機で電気をつくろう (1)
17. 作って遊ぼうミニミニ万華鏡 (5)
18. 液晶アクセサリを作ろう (5)
19. 歌うワイングラス (1)
20. サインペンでクロマト・アート (2)
21. ストロロンボーンをつくろう (1)
22. 手作り分光器で光をみよう！ (1)
23. きょうりゅうのタマゴ (3)
24. 輝け！アロマキャンドル (2)
25. コンピュータで見る分子の世界 (2)
26. シャボン玉で科学しよう (2)
27. ゆらゆら凧をつくろう (1)
28. かさ袋ロケット (1)
29. プラトンボをとばそう (1)
30. ビコピコカプセルであそぼう (1)
31. アラふしぎ！竹を曲げてトンボを作ろう (1)
32. ゆみやのふしぎ (1)
33. 坂をのぼる缶と白みそ積乱雲 (4)
34. ウイルソンの霧箱実験～身近な放射線を知ろう～ (1)
35. このホネ誰のどこの骨？ (3)
36. 小さな生き物を見てみよう (3)
37. アメンボも溺れる？！ (3)
38. 貝殻アクセサリを作って海辺の環境を学ぼう (3)

**表2：質問紙回答者の属性分布に見られる性差**

	幼児	小(低学年)	小(中学年)	小(高学年)	中学生	高校生	大学・専	保護者	計
女性	6 (3.9)	19 (12.5)	42 (27.6)	25 (16.4)	8 (5.3)	0 (0)	1 (0.7)	51 (33.6)	152
男性	12 (8.2)	33 (22.2)	46 (31.3)	24 (16.3)	3 (2.0)	1 (0.7)	3 (2.0)	25 (17.0)	147
計	18 (6.0)	52 (17.4)	88 (29.4)	49 (16.4)	11 (3.7)	1 (0.3)	4 (1.3)	76 (25.4)	299
$\chi^2$ -test for gender difference, $\chi^2$ -value: 14.23, df=3, $p=0.003$ (幼児・低学年, 中・高学年, 中高生, 学生・保護者に類別)									

表3：“科学や理科は好きか？”と“ためになった・発見があったテーマ数”の関係

“理科好きか？”	テーマ数							計
	0	1	2	3	4	5	6	
“好き”以上	44 (18.6)	9 (3.8)	16 (6.8)	16 (6.8)	17 (7.2)	10 (4.2)	125 (52.7)	237
“どちらかといえは好き”以下	46 (21.1)	3 (3.9)	5 (6.6)	5 (6.6)	8 (10.5)	4 (5.3)	35 (46.1)	76
計	60 (19.2)	12 (3.8)	21 (6.7)	21 (6.7)	25 (8.0)	14 (4.5)	160 (51.1)	313
“とても好き”・“好き”とそれ以外の2 類別 × “テーマ数の2 類別で $\chi^2$ -test								
	6 テーマ × 5 以下		4 テーマ以上×3 テーマ以下			0 テーマ×1 テーマ以上		
$\chi^2$ -value	1.031		0.114			0.230		
df	1		1			1		
P	0.310		0.736			0.632		

カテゴリー：物理、化学、生物、環境保全・地学、技術・工学の5つ

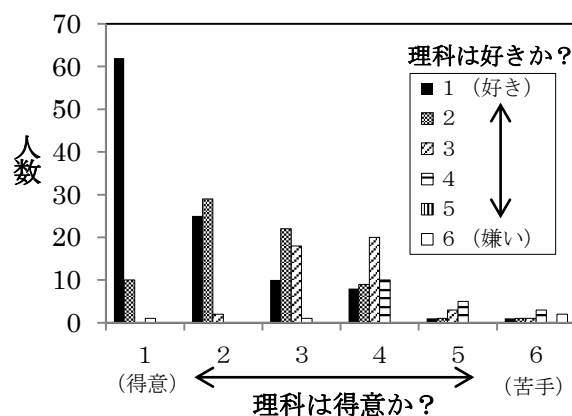
科学)系」：3項目、「技術・工学系」：4項目、の5分野に類別した。各参加者が38項目中3項目まで選択し、その全てを5分野に分類し、分析に用いた。分析の過程で、「理科好きグループ」とそうでないグループ、「理科得意グループ」とそうでないグループ、「祭典が面白かったグループ」とそうでないグループの2グループに分けた。“どちらかといえば”の回答をそうでないグループに入れたのは、相対的に2つのグループに分ける場合、明確に“好き”，“得意”，“面白い”と回答する群とそうでない群に分けるといふねらいがあったからである。

全ての統計分析は、SPSS version 12 を使用し行った。全ての質問項目が類別変数による回答であり、類別変数分析では最も汎用度が高く、信頼性の高い $\chi^2$ -test を検定用に用いた。

#### 4. 結果

質問紙に回答した年齢層のうち、最も多かったのが小学生で約63%を占めた。保護者も25%を占め、保護者と小学生が親子連れで参加している場合が多く見られたという観察結果を反映した。女性保護者（母親）の回答者数が男性保護者（父親）のほぼ倍に達し、逆に、男子低学年と男子幼児は女子に比較して多かった（表2）。回答者層の男女差の分析は、協力者を幼児と幼児的特徴が残る低学年、思春期前から思春期にさしかかる中学年・高学年、思春期から青年期初期の中高生、大学生・保護者の4カテゴリーにまとめた。理科好きな人ほど、理科が得意である傾向があった（図1）（ $\chi^2$ -test,  $\chi^2$ -value=178.35, df=20,  $p<0.001$ ）。“科学や理科がとても好き”“好き”の回答者は全体の76%を占めた。この“理科好き”なグル

ープ（以下，“理科好きグループ”）は、それ以外の回答者に比較して，“ためになった”，“新発見があった”ブースを回答した総数に違いは見られなかった（表3）。一方，“理科がとても得意”“得意”の回答者は全体の53%に止まり、この“理科得意”グループ（以下，“理科得意グループ”）は、それ以外の回答者に比較して，“ためになった”，“新発見があった”ブースを回答した総数が多い傾向にあった（表4）。



1：とても好き（得意），2：好き（得意），3：どちらかといえば好き（得意），4：どちらかといえば嫌い（苦手），5：嫌い（苦手），6：とても嫌い（苦手）

図1：“理科は得意か？”と“科学や理科は好きか？”の関係



表4：“理科は得意か？”と“ためになった・発見があったテーマ数”の関係

	テーマ数														
“理科得意か？”	0		1		2		3		4		5		6		計
“得意”以上	19	(14.7)	6	(4.7)	5	(3.9)	8	(6.2)	6	(4.7)	5	(3.9)	80	(62.0)	129
“どちらかといえば得意”以下	28	(24.1)	3	(2.6)	7	(6.0)	7	(6.0)	12	(10.3)	3	(2.6)	56	(48.3)	116
計	47	(19.2)	9	(3.7)	12	(4.9)	15	(6.1)	18	(7.3)	8	(3.3)	136	(55.5)	245
“とても得意”・“得意”とそれ以外の 2 類別 × “テーマ数の 2 類別で $\chi^2$ -test															
	6 テーマ × 5 以下				4 テーマ以上×3 テーマ以下				0 テーマ×1 テーマ以上						
$\chi^2$ -value	4.669				2.248				3.488						
df	1				1				1						
P	0.031*				0.134 <sup>#</sup>				0.062 <sup>#</sup>						

カテゴリー：物理，化学，生物，環境保全・地学，技術・工学の5 つ，<sup>#</sup>: 0.15>p≥0.05, \*: 0.05>p>0.01

表5：“科学の祭典は面白かった？”と“ためになった・発見があったテーマ数”の関係

	テーマ数												計		
“科学の祭典は？”	0		1		2		3		4		5		6		
“とてもおもしろかった”	31	(13.3 )	10	(4.3 )	14	(6.0 )	16	(6.9 )	17	(7.3 )	14	(6.0 )	13	(56.2 )	23 3
“おもしろかった”以下	24	(31.6 )	3	(4.0 )	6	(7.9 )	5	(6.6 )	8	(10.5 )	0	(0 )	30	(39.5 )	76
計	55	(17.8 )	13	(4.2 )	20	(6.5 )	21	(6.8 )	25	(8.1 )	14	(5.5 )	16	(52.1 )	30 9
“とてもおもしろかった”とそれ以外の2類別 × “テーマ数の2類別で $\chi^2$ -test															
	6テーマ × 5以下				4テーマ以上×3テーマ以下				0テーマ×1テーマ以上						
$\chi^2$ -value	6.442				9.419				13.080						
df	1				1				1						
P	0.011*				0.002**				<0.001***						

カテゴリー：物理，化学，生物，環境保全・地学，技術・工学の5 つ，

<sup>#</sup>: 0.15>p>0.05, \*: 0.05>p>0.01, \*\*: 0.01>p>0.001, \*\*\*: 0.001>p

表6：“面白かった”，“ためになった”，“新しい発見があった”カテゴリー分布と出店数のカテゴリー分布

面白かった テーマは？	“物理”	“化学”	“生物”	“環境保全・地学”	“技術・工学”	計
	391(49.3)	89(11.3)	143(18.1)	54(6.8)	114(14.4)	791
出展数分布との間で $\chi^2$ -test ( $\chi^2$ -value, df, p)	0.149, 1, 0.70	0.019, 1, 0.89	0.003, 1, 0.957	0.062, 1, 0.803	0.448, 1, 0.503	
ためになった テーマは？	“物理”	“化学”	“生物”	“環境保全・地学”	“技術・工学”	計
	315 (49.0)	78 (12.1)	135(21.0)	36(5.6)	79(14.0)	643
出展数分布との間で $\chi^2$ -test ( $\chi^2$ -value, df, p)	0.190, 1, 0.663	0.087, 1, 0.768	0.144, 1, 0.704	0.350, 1, 0.554	0.108, 1, 0.742	
新しい発見があった テーマは？	“物理”	“化学”	“生物”	“環境保全・地学”	“技術・工学”	計
	299 (50.1)	73 (12.2)	115(19.3)	32(5.4)	78(13.1)	597
出展数分布との間で $\chi^2$ -test ( $\chi^2$ -value, df, p)	0.093, 1, 0.761	0.101, 1, 0.755	0.016, 1, 0.898	0.441, 1, 0.507	0.205, 1, 0.651	

“科学の祭典はとても面白かった” “面白かった” の回答者は全体の 75%を占めた (表5)．この“科学の祭典は面白かった” グループ，は，それ以外の回答者に比較して，“ためになった” “新発見があった” ブー

スを回答した総数が有意に多かった (表5)．

表7: “科学や理科は好きか?”と“面白かったテーマのカテゴリー”の関係

“理科好きか?”	“物理”		“化学”		“生物”		“環境保全・地学”		“技術・工学”		計
とても好き	186	(52.5)	37	(10.5)	62	(17.5)	20	(5.6)	49	(13.8)	354
好き	130	(52.8)	23	(9.3)	40	(16.3)	17	(6.9)	36	(14.6)	246
どちらかといえば好き	55	(42.0)	18	(6.1)	31	(23.7)	10	(7.6)	17	(13.0)	131
どちらかといえば嫌い	19	(37.3)	9	(17.6)	7	(13.7)	7	(13.7)	9	(17.6)	51
嫌い	1	(33.3)	0	(0)	1	(33.3)	0	(0)	1	(33.3)	3
とても嫌い	0	(0)	2	(33.3)	2	(33.3)	0	(0)	2	(33.3)	6
計	391	(49.4)	89	(11.3)	143	(18.1)	54	(6.8)	114	(14.4)	791
“とても好き”・“好き”とそれ以外の2 類別 × “あるカテゴリー”とそれ以外の2 類別で $\chi^2$ -test											
	“物理”		“化学”		“生物”		“環境保全・地学”		“技術・工学”		
$\chi^2$ -value	10.407		3.898		1.529		1.702		0.121		
df	1		1		1		1		1		
P	0.001**		0.048*		0.216		0.192		0.728		

カテゴリー：物理，化学，生物，環境保全・地学，技術・工学の5つ， \*：0.05 > p ≥ 0.01， \*\*：0.01 > p ≥ 0.001

表8: “理科は得意か?”と“面白かったテーマのカテゴリー”の関係

“理科得意?”	“物理”		“化学”		“生物”		“環境保全・地学”		“技術・工学”		計
とても得意	92	(47.9)	24	(12.5)	33	(17.2)	11	(5.7)	32	(16.7)	192
得意	81	(52.6)	17	(11.0)	26	(16.9)	16	(10.4)	14	(9.1)	154
どちらかといえば得意	55	(45.1)	12	(9.8)	25	(20.5)	9	(7.4)	21	(17.2)	122
どちらかといえば苦手	55	(46.6)	15	(12.7)	21	(17.8)	8	(6.8)	19	(16.1)	118
苦手	12	(52.2)	3	(13.0)	3	(13.0)	4	(17.4)	1	(4.3)	23
とても苦手	7	(46.7)	3	(20.0)	3	(20.0)	0	(0)	2	(13.3)	15
計	302	(48.4)	74	(11.9)	111	(17.8)	48	(7.7)	89	(14.3)	624
“とても得意”・“得意”とそれ以外の2 類別 × “あるカテゴリー”とそれ以外の2 類別で $\chi^2$ -test											
	“物理”		“化学”		“生物”		“環境保全・地学”		“技術・工学”		
$\chi^2$ -value	0.967		<0.001		0.288		0.014		0.595		
df	1		1		1		1		1		
P	0.326		0.994		0.591		0.907		0.440		

カテゴリー：物理，化学，生物，環境保全・地学，技術・工学の5つ

回答者がどの分野の発展が“面白かった”か，“ためになった”か，“新しい発見があった”かについてその選択テーマ数の分野間分布は出展数の分野分布と酷似しており，分野間の偏りは無かった（表6）．“理科好きグループ”はそうでない回答者群と比較して，物理分野を“面白かった”と評価する割合が高く，逆に，“理科好きグループ”以外の回答群は，“理科好きグループ”と比較して，化学分野を“面白かった”と評価する割合が有意に高かった（表7）．また，“理科が得意か”や“科学の祭典は面白かったか”の違いによって，“面白かった”と評価した分野の違いは見られなかった（表8，9）．

“理科好きグループ”の回答群は“理科好きグルー

プ”以外より，物理分野を“ためになった”と評価する割合が高い傾向にあった（表10）．逆に“理科好きグループ”以外の回答群は“理科好きグループ”と比較して，生物分野を“ためになった”と評価する割合が高い傾向を示した（表10）．“理科得意グループ”以外の回答群は“理科得意グループ”と比較して生物分野を“ためになった”と評価する割合が高い傾向にあった（表11）．

尚，「ためになったテーマのカテゴリー」と「新しい発見があったテーマのカテゴリー」については，「祭典は面白かったか？」との関係を示す特記すべきデータが得られなかったため，表に示さなかった．

表 9：“祭典は面白かったか？”と“面白かったテーマのカテゴリー”の関係

“祭典は面白かった？”	“物理”		“化学”		“生物”		“環境保全・地学”		“技術・工学”		計
とても面白かった	303	(49.1)	73	(11.8)	115	(18.6)	40	(6.5)	86	(13.9)	617
面白かった	80	(47.3)	16	(9.5)	33	(19.5)	14	(8.3)	26	(15.4)	169
どちらかといえば面白かった	9	(69.2)	1	(7.7)	1	(7.7)	0	(0)	2	(15.4)	13
どちらかといえばつまらなかった	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0
つまらなかった	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0
とてもつまらなかった	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0
計	392	(49.1)	90	(11.3)	149	(18.6)	54	(6.8)	114	(14.3)	799
“とても面白かった”とそれ以外の 2 類別 × “あるカテゴリー”とそれ以外の 2 類別で $\chi^2$ -test											
	“物理”		“化学”		“生物”		“環境保全・地学”		“技術・工学”		
$\chi^2$ -value	0.002		0.872		<0.001		0.326		0.240		
df	1		1		1		1		1		
P	0.961		0.350		0.990		0.568		0.624		

カテゴリー：物理、化学、生物、環境保全・地学、技術・工学の5つ

表 10：“科学や理科は好きか？”と“ためになったテーマのカテゴリー”の関係

“科学や理科は好きか？”	“物理”		“化学”		“生物”		“環境保全・地学”		“技術・工学”		計
とても好き	148	(48.8)	38	(12.5)	63	(20.8)	16	(5.3)	38	(12.5)	303
好き	105	(54.1)	20	(10.3)	33	(17.0)	10	(5.2)	26	(13.4)	194
どちらかといえば好き	44	(42.3)	15	(14.4)	29	(27.9)	6	(5.8)	10	(9.6)	104
どちらかといえば嫌い	18	(52.9)	3	(8.8)	6	(17.6)	3	(8.8)	4	(11.8)	34
嫌い	0	(0)	0	(0)	1	(0.5)	1	(0.5)	0	(0)	2
とても嫌い	0	(0)	2	(33.3)	3	(50.0)	0	(0)	1	(16.7)	6
計	315	(49.0)	78	(12.1)	135	(21.0)	36	(5.6)	79	(12.3)	643
“とても好き”・“好き”とそれ以外の 2 類別 × “あるカテゴリー”とそれ以外の 2 類別で $\chi^2$ -test											
	“物理”		“化学”		“生物”		“環境保全・地学”		“技術・工学”		
$\chi^2$ -value	3.217		0.436		3.722		0.559		0.710		
df	1		1		1		1		1		
p	0.073 <sup>#</sup>		0.509		0.054 <sup>#</sup>		0.455		0.400		

カテゴリー：物理、化学、生物、環境保全・地学、技術・工学の5つ、<sup>#</sup>:  $0.15 > p > 0.05$

表 11：“理科は得意か？”と“ためになったテーマのカテゴリー”の関係

“理科は得意か？”	“物理”		“化学”		“生物”		“環境保全・地学”		“技術・工学”		計
とても得意	85	(49.1)	23	(13.3)	33	(19.1)	9	(5.2)	23	(13.3)	173
得意	69	(59.5)	15	(12.9)	18	(15.5)	6	(5.2)	8	(6.9)	116
どちらかといえば得意	44	(48.9)	15	(16.7)	18	(20.0)	5	(5.6)	8	(8.9)	90
どちらかといえば苦手	47	(48.5)	8	(8.2)	24	(24.7)	5	(5.2)	13	(13.4)	97
苦手	7	(50.0)	0	(0)	5	(35.7)	1	(7.1)	1	(7.1)	14
とても苦手	5	(33.3)	4	(26.7)	4	(26.7)	0	(0)	2	(13.3)	15
計	257	(50.9)	65	(12.9)	102	(20.2)	26	(5.1)	55	(10.9)	505
“とても得意”・“得意”とそれ以外の 2 類別 × “あるカテゴリー”とそれ以外の 2 類別で $\chi^2$ -test											
	“物理”		“化学”		“生物”		“環境保全・地学”		“技術・工学”		
$\chi^2$ -value	1.552		0.046		2.728		0.002		0.019		
df	1		1		1		1		1		
p	0.213		0.829		0.099 <sup>#</sup>		0.961		0.891		

カテゴリー：物理、化学、生物、環境保全・地学、技術・工学の5つ、 $\# : 0.15 > p > 0.05$

表 12：“科学や理科は好きか？”と“新しい発見があったテーマのカテゴリー”の関係

“科学や理科は好きか”	“物理”	“化学”	“生物”	“環境保全・地学”	“技術・工学”	計
とても好き	148 (52.3)	37 (13.1)	49 (17.3)	13 (4.6)	36 (12.7)	283
好き	91 (50.3)	18 (9.9)	29 (16.0)	14 (7.7)	29 (16.0)	181
どちらかといえば好き	46 (50.5)	10 (11.0)	26 (28.6)	2 (2.2)	7 (7.7)	91
どちらかといえば嫌い	13 (39.4)	7 (21.2)	7 (21.2)	2 (6.0)	4 (12.1)	33
嫌い	0 (0)	0 (0)	2 (66.7)	1 (33.3)	0 (0)	3
とても嫌い	1 (16.7)	1 (16.7)	2 (33.3)	0 (0)	2 (33.3)	6
計	299 (50.1)	73 (12.2)	115 (19.3)	32 (5.4)	78 (13.1)	597
“とても好き”・“好き”とそれ以外の2 類別 × “あるカテゴリー”とそれ以外の2 類別で $\chi^2$ -test						
	“物理”	“化学”	“生物”	“環境保全・地学”	“技術・工学”	
$\chi^2$ -value	1.691	0.272	8.056	0.864	1.632	
df	1	1	1	1	1	
p	0.193	0.602	0.005**	0.353	0.201	

カテゴリー：物理、化学、生物、環境保全・地学、技術・工学の5つ、\*\*：0.01 > p > 0.001

表 13：“理科は得意か？”と“新しい発見があったテーマのカテゴリー”の関係

“理科は得意か”	“物理”	“化学”	“生物”	“環境保全・地学”	“技術・工学”	計
とても得意	82 (52.7)	21 (13.5)	27 (17.3)	4 (2.6)	22 (14.1)	156
得意	68 (56.2)	15 (12.4)	22 (18.2)	4 (3.3)	12 (9.9)	121
どちらかといえば得意	42 (48.8)	12 (14.0)	14 (16.3)	4 (4.7)	14 (16.3)	86
どちらかといえば苦手	43 (49.4)	8 (9.2)	21 (24.1)	5 (5.7)	10 (11.5)	87
苦手	11 (64.7)	3 (17.6)	3 (17.6)	0 (0)	0 (0)	17
とても苦手	4 (26.7)	2 (13.3)	4 (26.7)	1 (6.7)	4 (26.7)	15
計	250 (51.9)	61 (12.7)	91 (18.9)	18 (3.7)	62 (12.9)	482
“とても得意”・“得意”とそれ以外の2 類別 × “あるカテゴリー”とそれ以外の2 類別で $\chi^2$ -test						
	“物理”	“化学”	“生物”	“環境保全・地学”	“技術・工学”	
$\chi^2$ -value	1.619	0.068	0.602	1.298	0.201	
df	1	1	1	1	1	
P	0.203	0.794	0.438	0.255	0.654	

カテゴリー：物理、化学、生物、環境保全・地学、技術・工学の5つ

“理科好きグループ”以外の回答群は“理科好きグループ”と比較して、生物分野を“新しい発見があった”と評価する割合が有意に高かった（表 12）。“理科得意グループ”とその他の回答群の間で、“新しい発見があった”テーマの分野選択に有意な違いは見られなかった（表 13）。

## 5. 考察

科学の祭典の参加者の中で、積極的に参加した証とも言える、質問紙への回答を得た協力者の多くは、保護者である母親と男子小学生の組み合わせであった。子どもに同行した保護者のうち、その 67%が母親であ

ったという事実から、父親は物理的・心理的余裕がないのか、または科学技術への興味が希薄なのか、については推論の域を出ない。

理科が好きであったことが、「ためになった」「新発見があった」項目数を多く書く行動にはつながらなかったことから、単に理科好きであることが、科学の祭典の内容の理解や習得に必ずしもつながっていないと言える。

「ためになった」「新発見があった」項目を多数挙げていた人たちは、「科学の祭典を楽しんだ」人達や「理科が得意な」人達に多かった。知的好奇心を触発する

ことが、科学技術を学んでいく原動力として期待できることを示しているとともに、科学技術に関しての基礎学力の高い方が、容易に学び取れるという至極当然の事もここから見て取れよう。理科が得意で理解力のあることが、祭典から多くを学ぶ基礎となることを本研究結果が表している可能性がある。

回答者がどの分野の出展が“面白かった”か、“ためになった”か、“新しい発見があった”かについてその選択テーマ数の分野間分布は、出展数の分野分布とほぼ同じであったことから、どの分野のテーマにも子ども達がアクセスし、ある程度の興味や発見が分野の偏り無くあったことが伺える。理科好きな人たちは、他分野より“物理”分野に“面白さ”や“ためになった”と感じる傾向があった。日本で一般に言われている“理科離れ”の中でも、高等学校などでより深刻な“物理離れ”も、理科好きな人たちにとっては無縁であると思われる。

逆に理科がそれほど好きでない人たちは理科好きな人たちより、生物分野に“新しい発見”があったり、“ためになった”と感じた割合が高く、“理科が得意”でない人たちが、“得意”な人たちより、生物分野で“ためになった”と感じた協力者の割合が高かった。これらの結果は、理科離れの問題解決のきっかけや導入的存在として、生物分野がその役割を果たせることを意味しているかも知れない。

「青少年のための科学の祭典」が日本の科学教育に果たす役割とは何であろうか。昨今の日本における

「理科離れ」や「理科嫌い」は「ゆとり教育」による、大幅な理科授業数の削減（荒井、2007）がその原因になっていることは否めない。しかし、子ども達を取り巻く環境の大幅な変動、取り分け急速に進む生活のIT

化やバーチャル化が彼らの“原体験”を奪い、様々な具体的体験を抽象化する知的作業が益々困難となりつつある。このような、科学的思考力の礎にもなると思われる現代の子どもたちの原体験不足を補う機会として「青少年のための科学の祭典」は益々重要な役割を担うはずである。小林（2001）は科学の祭典で行った調査で、「理科教員は科学の祭典を学校教育とは独立させた、原体験をはじめとするさまざまな科学に対する体験を拡大する場として評価している。」ことを明らかにしている。本研究結果から、特に「科学が好き

ではない」または、「科学が得意ではない」子ども達でさえ、生物領域の出展には興味を持ち、ためになったと回答している。科学の祭典は、科学が苦手な子ども達にも、最初は生物領域だけに関心があっても、科学に親しむうち、元々苦手かもしれない物理領域にも関心が広がっていく可能性がある。その点で科学の祭典が学校教育に間接的に貢献できる可能性を本研究は暗示している。滝川（1996）は1960年代から比べ、1995年当時の中学校理科の教科内容は変わっていないのに、時数は25%減となり、理科的原体験の機会である実験観察の時間が大幅に減少したことが当時の理科離れの原因の1つであることを指摘している。

この欠落した理科的原体験を学校教育の現場で意識的に増やすことの重要性は言うまでもない。しかし、このような子ども達の構造的原体験不足の解消を学校だけに委ねる訳にはいかない。また、家庭においても時間と労力の限りがある。この原体験不足を補う存在として期待できるのは、子ども科学館、動物園、植物園、自然史博物館、地質館、水族館などの社会教育施設である。落合（2000）は、自然史博物館が所有する哺乳動物の骨格標本、剥製標本、皮革標本が潜在的に、博物館以外の研究者や一般の教材としての利用価値があることを指摘しているが、現状では殆んど利用されていないことも述べている。本研究結果は、生物領域の出展が、理科を得意としない子どもたちの興味や関心を誘う力を持つ可能性を示している。これら社会教育施設で眠っている標本類が、もし、“非日常的催し”である「青少年のための科学の祭典」へ出展されれば、その事が科学教育への貢献につながる可能性がある。

社会教育施設が子ども達の科学教育に“日常的”に貢献している例として、デンマーク国立コペンハーゲン大学動物学博物館がある。この博物館は、運営の前面に大学院生をスタッフとして立て、デンマーク中から、バスでやってくる小学生達に、博物館内の教室で、剥製標本や皮革標本を使って、様々な鳥類の食性とそれに適応した嘴の形の関係や、哺乳動物の冬毛と夏毛の換毛とその生態学的意義（カモフラージュ）を教える授業を博士課程の学生達が行っている。これらは正規の理科の授業として行われている（原田ら、2002）。「青少年のための科学の祭典」は年に1回のイ

ベント的取り組みであり，この科学の祭典に出展している理科教師達も，この祭典と普段の学校教育での教育効果とは全く切り離して考えている（小林2001）．しかし，博物館所蔵の標本などを小学校理科室に期限を区切って（1－2ヶ月）巡回特設展示をするなど，「科学の祭典」の生物領域における科学教育的資源の“非日常性”をどのように学校教育の“日常性”に生かすことができるのかを考えていくことが今後の課題となろう．

資料：「第14回青少年のための科学の祭典・高知大会」入場者対象質問紙

しつもんしようし  
質問紙用紙

1. あてはまるものに○をお願いします。<sup>ねが</sup>

- ① ( ) 保育園・幼稚園児    ② ( ) 小学1・2年生  
③ ( ) 小学3・4年生    ④ ( ) 小学5・6年生  
⑤ ( ) 中学生    ⑥ ( ) 高校生  
⑦ ( ) 大学・専門学校生    ⑧ ( ) 保護者

2. あてはまるものに○をお願いします。<sup>まる おねがい</sup>

- ① ( ) 女の子(女性)    ② ( ) 男の子(男性)

3. どこから来<sup>き</sup>ましたか?

- ① ( ) 高知市    ② ( ) 南国市    ③ ( ) いの町    ④ ( ) 土佐市  
⑤ ( ) 他の中部    ⑥ ( ) 西部    ⑦ ( ) 東部    ⑧ ( ) 県外

4. 今日の「科学の祭典」をどのようにして知<sup>し</sup>りましたか?

- ① ( ) チラシ    ② ( ) テレビ    ③ ( ) ホームページ  
④ ( ) 友達や先生から聞<sup>き</sup>いて    ⑤ ( ) その他

5. あなたは、ふだん「科学」や「理科」が好きですか?

- ① ( ) とても好き    ② ( ) 好き    ③ ( ) どちらかといえば好き  
④ ( ) どちらかといえば嫌い    ⑤ ( ) 嫌い    ⑥ ( ) とても嫌い

6. 小 学 校 3 年 生 以 上 の 人 に 聞 きます。あなたは、「理科」は得意ですか(保護者の方: 学生の頃得意でしたか)?

- ① ( ) とても得意    ② ( ) 得意    ③ ( ) どちらかといえば得意  
④ ( ) どちらかといえば苦手    ⑤ ( ) 苦手    ⑥ ( ) とても苦手

7. 今日の「科学の祭典」はおもしろかったですか?

- ① ( ) とてもおもしろかった    ② ( ) おもしろかった  
③ ( ) どちらかといえばおもしろかった    ④ ( ) どちらかといえばおもしろくなかった  
⑤ ( ) おもしろくなかった    ⑥ ( ) ちっともおもしろくなかった(つまらなかつた)

8. あなたにとって「おもしろかった」テーマは何ですか? 番号で3つ答えてください。

( )、( )、( )

9. あなたにとって「ためになった」テーマは何ですか? 番号で3つ答えてください。

( )、( )、( )

10. あなたにとって「新しい発見があつた」テーマは何ですか? 番号で3つ答えてください。

( )、( )、( )

11. 来年もまた来たいと思いますか?

- ① ( ) とても来たい    ② ( ) 来たい    ③ ( ) どちらかといえば来たい  
④ ( ) どちらかといえば来たいと思わない    ⑤ ( ) 来たいと思わない  
⑥ ( ) ちっとも来たいと思わない

12. その他、気づいたことがありましたら、お書きください。

( )

ごかいとう  
御回答ありがとうございました。    はらだてつお    せいしょうねん    かがく    さいてんじつこういいんちょう  
(原田哲夫、青少年のための科学の祭典実行委員長)

## 第4部 介入授業研究

### 第1章 「アメンボが浮くしくみ」教材の教育的効果を評価する為 の介入授業研究

(第4部第1章の内容は英文論文として「生物教育」に投稿中である。第4部第1章資料参照。)

#### 1. 要旨

小学校中学校の理科授業で、教材「アメンボはどうやって水の上に浮いたり滑ったりしているのだろう」が使用され、評価された。3つの主な解答がこの問いの答えとなる。

- (1) アメンボは（その体重が）大変軽く、長い中足、後ろ足を持っている。
- (2) 彼らは夥しい細かな毛をその足に持っており、
- (3) 彼らは肢の符節から油を分泌し、自身の肢に貼付する。

これら3点共に、肢の表面が水面を押す圧力を軽減させる。

アメンボ類が滑っている水面に洗剤を入れると、それが原因で彼らは水におぼれる。このような実験は、小中学校の児童生徒に対し、「肢の周りの表面張力を維持することが、アメンボ類が浮くためには決定的に重要であること」を教えるのにある程度効果的である。そして、彼らが水面に浮くには夥しい肢の毛の間に存在する油の助けを受けているのだ。

#### 2. 序論

日本の義務教育において、今行われている科学研究の素晴らしい成果が理科教科書に盛



り込まれることは難しい。日本の子ども達が、動物の例を挙げるよう問いかけられたら、彼らは昆虫のような無脊椎動物ではなく、猫、馬、犬のような哺乳動物を答えるだろう。

“六脚上綱または昆虫綱”に含まれる昆虫達は、全ての動物種の 70-75%を占めているにもかかわらず、日本の子ども達は昆虫の生態的事柄や昆虫についてのその他の事柄についてほとんど知らない。 ショウジョウバエは昆虫を教育の世界に導くモデルになりえる。

[1]は、高等学校や単価大学・総合大学学部の生物学課程における遺伝学の教材として、ショウジョウバエが適切であると主張した。Mathews ら[2]は、昆虫達は大学入学前の学生達に対し、莫大な量の学ぶ機会を提供していると議論した。教師は、教育課程にうまく昆虫を取り入れるため、昆虫についての基本事項を知る必要がある。そして昆虫学者は昆虫学についての基本知識を提供する役割が担える。昆虫を応用領域に利用する特別で唯一無二な例として、Dadour ら[3]は分解を助けるハエ（ニクバエの仲間）は犯罪捜査や殺人犯捜査の場面で、小動物による（遺体などの）分解にハエを使うことによって捜査の道具となり得ることを示し、また警察教育や法定昆虫学の世界で司法制度に含まれる人々の教育にニクバエ達は有用である。現在では、昆虫学におけるこれらの基礎事項は日本の義務教育に十分には取り入れられていない。今の科学の流行に沿った科学の新知識が新しい刺激的な教材として科学教育に組み込まれるかも知れない。

異翅目・アメンボ科に含まれるアメンボの仲間は、子どもにとって親しみのある生物であり、殆どの場合アメンボ類はビオトープ教育に導入される一つの重要な構成要素として

教材に利用されてきた[4][5]。アメンボ類はショウジョウバエよりもはるかに大きな体を持ち、子ども達にとってたいへん扱いやすく操作しやすい。アメンボの仲間は「物はどのように水面に浮かぶことが出来るでしょう？」という物理学のテーマ用に適した教材として使用可能であろう。換言すれば、多くの子どもが「どうしてアメンボは水に浮いているのだろうか」という問題に知的好奇心を持って、魅かれるかも知れない。その問いには主に3つの解答が可能である[6][7][8][9][10][11][12][13][14][15]。

(1)アメンボは大変軽く、長い中肢と後肢をもっている。

(2) 彼らは夥しい細かな毛をその肢に持っており、

(3) 彼らは肢の符節から油を分泌し、自身の肢に貼付する。

すべての答えは肢の水面への単位表着面積当たりにかかる圧力の減少と結びつく。そして、3つ目の答えは肢回りの水表面張力を保つことと関係する。3つの答えの一つ目を教えるために、アメンボロボットが教材のためのいくつかの提案として導入された[16][17]。

アメンボ類は日本の教育現場にすでに導入されてきたが、それらは学校での教材としてどの程度教育的に有効かについての疫学的視点からの検証はまだない。小学校理科学習指導要領[18]は子ども達に対し身近な自然の観察についての3年生用教育内容を示している。

これらの内容は、「生物は周辺環境との関係の基で生きている」ことを理解するという教育目標を含む。その指針(小学校理科学習指導要領)はまた6年生用に「生物とその環境」についての内容を示す。中学校理科学習指導要領[19]は「動物の形態と機能」について教

えるべき内容を示す。これらの3つの重要な内容は本研究の教育目的に直接関係している。

この目的は、「生徒達はアメンボが水に浮く仕組みを理解できる」である。

本研究におけるもう一つの教育目的は、「本教材が子どもたちに親しみのある昆虫や他の生き物達への知的好奇心や科学的興味を増幅させることができる」である。本研究はこれらの2つの教育目的が、「アメンボ類はどのようにして水面に浮くことができるか」という教材によって達成できるかを検証する。本研究はまた、生きているアメンボやそれらの肢の電子顕微鏡写真が教材として教育的に有効かどうかを検証しようとする新たな挑戦でもある。これらの試みは疫学的手法（方法論）によって遂行された。この教材の教育的効果は、小・中学校での実際の理科授業において教材が試用され、その効果が検証されることによって評価される。

### 3. 研究協力者と方法

#### 1) 教材

生きたアメンボ [*Aquarius paludum* (Fabricius)] 成虫（写真1）と走査型電子顕微鏡写真（図1）（写真2,3）[20]が教材として使用された。生きたアメンボは浮いているときの水面に接した肢の観察に使用され（写真4）、「水面に1滴洗剤が落とされた時、アメンボ達は水面に浮き続けられるか。」という主題の実験のために供された。これらの電子顕微鏡写真は「なぜ洗剤が水面に滴下された時、アメンボは沈むのか。」について考えるための

情報源として用いられた。

## 2) 理科授業の指針と授業前後の質問紙研究

「アメンボの浮く仕組み」と題した理科授業が、著者のうちの2名（1名は小学校で、もう1名は中学校で授業実施）によって実施された（表1,2）。授業者は附属小学校6年生（11-12歳）と、附属中学校2年生（8年生：13-14歳）に対して、理科実験室で授業を実施した。同じ内容の授業が160名(40名×4クラス)の中学生と132名(32-35名×4クラス)の小学生に対し2007年10-11月に行われた。生徒はこの授業の間、実験を行うため7～8個のグループ（1グループ5～6人）を形成（写真4）した。アメンボが浮く仕組みについての教材は（図1,2）（写真2,3,4）のように作られ、本授業で使用された。「アメンボがどのように水面に浮くことができるのか」についての理解を問う質問を含む質問紙が授業の前後で実施された。授業前の質問紙回答結果は授業後のものと比較された。質問紙データは $\chi^2$ 検定とWilcoxon検定によって統計解析された。

## 3) 理科授業の内容

主な学習内容は、「アメンボがどのようにして水面に接しているかを観察すること」と「水に洗剤を一滴落としたら浮いているアメンボに何が起きるか」を実験することである。

#### 4) 理科授業の構成過程

##### ① 観察と説明

5分ほどアメンボの観察をおこなう。アメンボはグループごとに丸型水槽に入れられている（写真4）。アメンボが水面に浮く仕組みの説明は図1、写真2,3のような写真教材とイラスト（図2）を使っておこなわれた。

##### 説明その1：肢の構造

髯しい毛が肢の表面にあり，油滴が毛の間から見て取れる。

##### 説明その2：表面張力

「アメンボは表面張力という物理的な特徴によって水に浮くことができます。「表面張力」という言葉を聞いたことがありますか。」反応がないので、水で満たされたコップを例に挙げて表面張力の説明がなされた。そのコップの水はコップの上端を超えて“丘”を形作っている。「水がコップからこぼれ落ちないのは、水の分子と分子の間を結びつける力があるからです。この力を表面張力と言います。」「髯しい毛による肢のギザギザな表面や毛の間にある油滴は表面張力を効果的にし、アメンボが浮くことが出来ることに役立っています。」「浮いているアメンボの肢が水表面を押している様子を観察しよう。」

「これはアメンボの体重による圧力と表面張力の反発力が丁度釣り合っている状態です。」

**② 実験：**「洗剤を一滴落としたら浮いているアメンボに何が起こるでしょう。」

それぞれのグループで実験は以下のように行われた。

A) アメンボが浮いて滑っている丸型水槽の水面上に、スーパーで買ってきた洗剤が  
1 滴、ピペットで水面に落とされた（写真 4）。

B) アメンボ達に何が起こったかを観察した後、水中に沈んだアメンボを救い出し、  
乾いた紙の上に置いて回復を待つ。

肢を使った化粧行動が乾いた紙の上で観察された。

D) 紙の上で 5 分経過後アメンボを水面に戻し、完全に通常通り水面に浮けるよう回復  
したことを確認した。

E) アメンボが水に沈んだ仕組みについての説明

「洗剤は界面活性剤であるので、それが水分子と油分子の両方に結びつこうとする。」

これらの結びつきが水の分子間の引力を減らし、最後には夥しい毛の間に水分子が入り込み、肢が水の中に入っていく。

**③ 公害の問題についての説明：**アメンボと市民が使う洗剤による水の汚染

「市民の使った洗剤によって多くの川や水路が汚染され、多くのアメンボの仲間がそこに住めなくなっています。毎日あなたの家庭であなたが洗剤を使うとき、水面に棲む

アメンボ達に思いを馳せてください。」

#### 4. 結果

介入授業の事前と事後のデータ間で比較分析が実施された。「アメンボはどのように水に浮いていると思いますか」という問いに対して、「肢から分泌される油を使う」や「表面張力」と答える生徒の数が小中学校ともに有意に増加した（図 3）（表 3A）。

「洗剤を 1 滴落とすとアメンボに何が起こるか」という問いに対して、「水中に沈む」と答えた生徒の数が小中ともに有意に増えた（図 4）（表 3B）。洗剤を加えるとアメンボが沈む理由として、小中学生共に「水が肢の毛の間に入り込むから」と答えた児童・生徒数は介入授業の後有意に増えた（図 5）（表 3B-1）。「水の表面張力が減ったから」と答えた子どもの数は、中学校のみで介入授業後有意に増加した（図 6）（表 3B-1）。「表面張力の意味を理解している」と答えた児童・生徒の数は小中ともに介入授業後に増えた。「川や川岸にどんな生き物が住んでいますか」という質問に対して、小学生は授業前に平均 2.94 種数 ( $\pm 2.01$  SD,  $n=91$ ) (女子:  $2.94 \pm 2.09$ ,  $n=50$ ; 男子:  $2.88 \pm 1.93$ ,  $n=41$ ) 挙げたが、介入授業後 ( $\pm 1.73$ ,  $n=89$ ) (女子:  $2.57 \pm 1.99$ ,  $n=49$ ; 男子:  $2.05 \pm 1.30$ ,  $n=40$ ) は 2.34 種に減った (Wilcoxon test:  $z=-4.26$ ,  $p<0.001$ ; 女子:  $z=-2.97$ ,  $p=0.003$ ; 男子:  $z=-3.117$ ,  $p=0.001$ )。授業後の児童にとって、同様の内容の繰り返しの質問紙に対する解答への意欲が減退したのであろう。その一方で、40.3% の中学生が同様の質問に「アメンボ」を授業前に挙げていたが、その割合は介入授

業後には 62.7%に有意に増加した( $\chi^2$ -test:  $\chi^2$ -value=6.722, df=1, p=0.01)。たった一度の授業による心理学的印象は、決して強くはないが緩やかに存在すると思われる。

## 5. 考察

実際の実験を含んだ授業が「アメンボがどのように水面に浮くのか」を小中学生に教えるための効果的な方法であることを本研究は示している。しかしながら、“表面張力”という専門用語は、小中学生が理解するためには困難であるようだ。

アメンボの肢に生えている夥しい量の毛の間にある油が、水面に浮くための鍵となる要因として容易に思い描けるかも知れない。本介入授業では、2つの残された“水面に浮くための要因”について私たちが教えるために必要な時間が十分確保できなかった。

(3つの中での一番目の答え：極端に軽い体重 [雄は 15–10mg, 雌は 35-40mg]と肢の形態学的特徴：中肢と後肢における長く伸びた脛節と符節がもたらす接着面積の拡張) 肢に生える夥しい量の毛やそれらの毛の間の油がアメンボの肢の周りの表面張力を維持するのに決定的に重要であることを教えるのに、本授業で行われた実験がある程度有効であると思われる。この授業中の実験は、ある生き物が水面にどのように浮くのかを児童・生徒に教えるのにも効果的である。

この主題は「環境保全科学教育」用の効果的な教材の開発促進に結び付く。そしてこの場合の環境保全科学は通常の人々によって廃棄される洗剤によって生じる河川汚染と



関係する。例えば、中学校3年生理科学習指導要領(文部科学省、2010a[19])における「自然環境の保全と有用な科学技術」の単位では、以下のような情報が環境保全の方法を紹介する適切な教材として紹介される事が可能であろう。アメンボの仲間や他の水生昆虫は洗剤（アメンボ、*Aquarius paludum*: 異翅目）、金属(Brixら、 [21]: カワゲラ目、カゲロウ目、双翅目、同翅目、トンボ目、トビケラ目)そして以下の物理学的、化学的条件（電気伝導度：塩分濃度、溶存酸素量、炭酸カルシウム耐性、カルシウム、マグネシウム、アルカリ度、塩化物、硫酸塩、硝酸塩、リン酸塩、溶存酸素、そして生物化学的酸素要求量(Biochemical Oxygen Demand: B.O.D)の生物指標として使用可能である[22]。

#### 本教材の小学校理科・中学校理科学習指導要領における意義

学習指導要領[18][19]によれば、本教材「アメンボはどのように水面に浮き、滑走できるか」は教科書の以下の内容にふさわしい学際的教材である。

- 1.身近な自然（生き物と生活に身近な環境）の観察（小学校第3学年）
- 2.生き物とその環境（生き物と水の関係）（小学校第6学年）
- 3.動物の世界（無脊椎動物の世界）（中学校第2学年）
- 4.生き物とその環境（自然環境の調査と環境保全）（中学校第3学年）
- 5.空気と水の性質（小学校第4学年）

6.物質とはどのように水にとけるか（小学校第5学年）

7.力と圧力（中学校1学年）

8.水への溶解（中学校1学年）

9.自然環境保全と有用な科学技術（中学校3学年）

教科書には、1 から 4 の内容は生物学領域に含まれている。6 と 8 の内容は化学的領域であり、5 から 7 は物理学的領域である。9 の内容は統合的分野の事項であるが、中学校理科に含まれる。したがって、本研究における新教材「アメンボはどのように水面に浮き、滑走できるか」は、生物学、化学、物理学、環境保全学の複数領域統合的理解のために効果的な教材と言えよう。

## 6. 謝辞

本介入研究へご快諾の上ご参加下さった全ての研究協力者に感謝申し上げます。本論文作成の過程で、図や表の作成の技術的支援を頂いた竹内日登美博士に深く感謝申し上げます。

## 第4部 第I章 引用文献

- [1] Ranganath, H.A. and Tanuja, M.T. (1999) Teaching and learning genetics with *Drosophila*  
2. Mutant phenotypes of *Drosophila melanogaster*. *Resonance*, **4**, 95-104.
- [2] Matthews, R.W, Flage, L.R. and Matthews, J.R. (1997) Insects as teaching tools in primary and  
secondary education. *Annual Review of Entomology*, **42**, 269-289.
- [3] Dadour, I.R., Cook, D.F., Fissoli, J.N. and Bailey, W.J. (2001) Forensic entomology:  
application, education and research in Western Australia. *Forensic Science International*, **120**,  
48-52.
- [4] Ito, K., Masuda, K., Haruzono, N., Tsuda S., Manabe, T., Fujiwara, K., Benson, J. and Roe, M.  
(2003) Study on the biotope planning for children's play and environmental education at a  
primary school-The workshop with process planning methods -. *Journal of Japanese Society for  
Civil Technology (Research Articles on Environmental System)*, **31**, 431-438. (In Japanese)
- [5] Hirose, S. (2005) Creation of a school biotope via participation of children and citizens. *Journal  
of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering*, **73**, 899-904. (In  
Japanese)

- [6] Cheng, L. (1985) Biology of *Halobates*. (Heteroptera: Gerridae). *Annual Review of Entomology*, **30**, 111-135.
- [7] Hu, D.L., Chen, B. and Bush, J.W.M. (2003) The hydrodynamics of water strider locomotion. *Nature*, **424**, 663-666.
- [8] Andersen, N.M. and Cheng, L. (2004) The marine insect *Halobates* (Heteroptera: Gerridae): Biology, adaptations distribution, and phylogeny. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, **42**, 119-180.
- [9] Dickinson, M. (2004) Animal locomotion: How to walk on water. *Nature*, **424**, 621-622.
- [10] Gao, X. and Jiang, L. (2004) Biophysics: Water-repellent legs of water striders. *Nature*, **4**, 32-36.
- [11] Bush, J.W.M. and Hu, D.L. (2006) Walking on water: Biocomotion at the interface. *Annual Review of Fluid Mechanics*, **38**, 339-369.
- [12] Zelkowitz, R (2008) Water striders put best foot forward. *Science NOW* [<http://news.sciencemag.org/sciencenow/2008/08/08-02.html>]-strider.html).

- [13] Hu, D.L. and Bush, J.W.M. (2010) The hydrodynamics of water-walking arthropods. *Journal of Fluid Dynamics*, **644**, 5-33.
- [14] Ji, X.-Y., Wank, J.-W. and Feng, X.-Q. (2012) Role of flexibility in the water repellency of water strider legs: Theory and experiment. *Physical Review*, **E 85**, 021607.
- [15] Bush, J.W.M. & Hu, D.L. (2010) Walking on water. *Physics Today*, **63**: 62-63.
- [16] Song, Y.S., Sitti, M. (2007) STRIDE: A highly maneuverable and non-tethered water strider robot. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Article Number: 4209216, pp. 980-984.
- [17] Song, Y.S., Suhr, S.H. and Sitti, M. (2006) Modeling of the supporting legs for designing biomimetic waterstrider robots. *Proceedings – IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Article Number: 1642046, pp. 2303-2310.
- [18] Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-JAPAN. (2010a) Explanation of Teaching Guideline for Junior High School Teachers – Science Education, Dainippon-Tosho, pp. 12-15, ISBN978-4-477-01979-6. (In Japanese)

- [19] Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-JAPAN. (2010b ) Explanation of Teaching Guideline for Elementary School Teachers – Science Education, Dainippon-Tosho, pp. 14-17, ISBN978-4-477-01949-9. (In Japanese)
- [20] Inui, M.: Wondering of water striders. Tombow-shuppan, p. 31, 2000. (In Japanese)
- [21] Brix, K.V., DeForest, D.K. and Adams, W.J. (2011) The sensitivity of aquatic insects to divalent metals: A comparative analysis of laboratory and field data. *Science of the Total Environment*, **409**, 4187-4197.
- [22] Imoobe, T.O.T. and Ohiozebau, E. (2009) Pollution status of a tropical forest river using aquatic insects as indicators. *African Journal of Ecology*, **48**, 232-238.

#### 第4部 第I章 資料

### Testing the materials on “How can water striders float and stride on the water surface?” in science classes of compulsory schools and evaluation of their efficiency from epidemiological point of view

Tetsuo HARADA<sup>\*(1)</sup>, Toshiki TAMURA<sup>(1)</sup>, Shinya MAIHARA<sup>(1)</sup>, Kazuo

MIYOSHI<sup>(2)</sup>, Fumiko KOJIMA<sup>(3)</sup>, Mitsuru NAKAJYO<sup>(1)</sup>& Mika

YOKOTA<sup>(1)</sup>

*Laboratory of Environmental Physiology<sup>(1)</sup>, Affiliated Junior High School<sup>(2)</sup>,*

*Affiliated Elementary School<sup>(3)</sup>, Faculty of Education, Kochi University*

#### Abstract

Teaching materials were evaluated on “How can water striders float and stride on water surface?” and tested in science lessons in elementary and junior high schools. Three major answers are possible to the question: (1) Water striders are very light and have long middle and hind legs; (2) They have numerous fine hairs on their legs; and (3) They extract oil from the tarsus of their legs and

put it on the surface of their legs. All answers reduce the pressure per unit attachment water surface of legs. Putting detergent into water where water striders are striding causes them to sink into the water. Such experiments are effective in some extent for teaching both elementary and junior high school students that maintaining surface tension of water around legs is critical for their floating on water bodies with supporting by oil within the numerous and fine hairs on legs.

***Key words:*** *Water striders, floating on water, surface tension, oil excretion, numerous hairs on legs*

\*Author for correspondence: Tetsuo Harada, Laboratory of Environmental Physiology, Faculty of Education, Kochi University, Kochi City, 780-8520, Kochi Prefecture, Japan; E-mail: [haratets@kochi-u.ac.jp](mailto:haratets@kochi-u.ac.jp)

Running head: Why can water striders float on water?



## Introduction

In Japanese compulsory education, it is difficult to incorporate fruitful results of current science research into science text books. When Japanese children are asked to give examples of animals, they usually will not answer with invertebrates such as insects, but with mammals such as cats, horses and dogs. Although insects included in the class “Hexapoda or Insecta” make up 70-75% of all animal species, Japanese children know little about ecological and other aspects of insects. *Drosophila* can be a model for introducing insects into the educational scene. Ranganath and Tanuja (1999) argued that *Drosophila* is appropriate to use in materials for teaching genetics in high school and in undergraduate biological courses in college and university. Mathews et al (1997) discussed that insects can offer a vast array of teaching opportunities for precollege students. Teachers need to know the basics in order to use insects successfully in their curricula, and entomologists can take on the role of providing the basics on entomological issues.

As a specific and unique example of introduction of insects into an applied scenario, Dadour et al (2001) showed how flies that help in

decomposition can become tools for investigation by using them in small animal decomposition trials in the scene of the crime (SOC) and homicide investigations and to educate police and those involved in the judiciary system in the world of forensic entomology.

Currently, these basics in entomology are not sufficiently introduced in compulsory education in Japan. New science information relevant to current science scenarios may be incorporated into science education as new and exciting teaching materials.

Water striders included in Gerridae, Heteroptera are familiar organisms for children and have been used as the teaching materials for one important member to be introduced into the biotope education in most cases (Ito et al., 2003; Hirose, 2005). Water striders have much larger bodies than *Drosophila* and very easy to be treated and manipulated by children.

Water striders could be used for appropriate teaching materials for physics theme as “How can some things float on water surface?”. In other words, many children may be curiously attracted to the question of “How can water striders float on water?”. Three major answers are possible to

this question(Cheng, 1985;Hu et al., 2003; Andersen & Cheng, 2004; Dickinson, 2004;Gao& Jiang, 2004;Bush& Hu, 2006; Zelkowitz, 2008; Hu et al., 2010; Ji et al., 2012): (1) Water striders are very light and have long middle and hind legs; (2) They have numerous fine hairs on their legs; and (3) They extract oil from the tarsus of their legs and put it on the surface of their legs. All answers link to the reduction of the pressure per unit attachment area of water surface to legs, and third answer relates with keeping surface tension of the water layer around the legs. To teach the first point of three answers, water strider robots could be introduced, as some nominated issues for teaching materials (Song et al., 2006; Song & Sitti, 2007).

Although water striders have been introduced in the Japanese Educational scenes, there have been no evidences on how water striders are effective as teaching materials in schools from epidemiological points of view.

The government guideline for teaching natural sciences in elementary school (the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, 2008a), show the teaching contents for the third grade on the observation of

familiar nature to children. These contents include the teaching purpose of understanding “organisms live under the relationship with the surrounding environments”. The guideline also shows the contents on “organisms and their environment” for the sixth grade of elementary school students. The guideline of junior high school (the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, 2008b) shows a content to be taught as “morphs and function in animals”. These three important contents are directly related to the teaching purpose of the teaching material in the study, that “Students can understand the mechanisms of water striders to float on the water surfaces”.

Another teaching purpose of this teaching material in this study is that “This material can promote the curiosity and scientific interest to insects or organisms familiar to children”.

This study tries to test whether these two teaching purposes can be achieved by using the teaching material on “How can water striders float on water?”. This study also newly challenges to test the educational efficiency of the living water striders and the electro-microscopy pictures of the legs as teaching materials. These tests were performed by using epidemiological methodology. The educational impact of this teaching

material was evaluated by testing its use in actual science lessons in elementary and junior high schools.

## **Participants and Methods**

### *Teaching materials*

Both living adult water striders, *Aquarius paludum* (Fabricius) (Photo 1) and Scanning Electro-microscope pictures (Fig. 1) (Photos 2, 3) were used as teaching materials. The living water striders were used for the observation of legs attached to water film when floating (Photo 4), and an experiment entitled “Can water striders continue to float on water film when a droplet of detergent was put to the file?”. These electro-microscope pictures were used as the information resources for thinking about why water striders sink after the detergent was put onto the water film.

### *Guide line on the science lesson and questionnaire studies before and after the lesson*

A science lesson entitled “The floating mechanism of water striders” was conducted by two persons (one for elementary, another for junior high school)

of the authors (Tables 1, 2). The teachers gave the lesson to a grade 6 (aged 11-12yrs) classes in the affiliated elementary school and to grade 8 (13-14yrs) classes in the affiliated junior high school in the science experimental room for practical training in each school. The same lesson was given to both classes (40 elementary school students, and 160 (40 x 4 classes) junior high school students (32-35 junior high school students, and 132 (32-35 x 4 classes) in October or November, 2007. Students formed seven or eight small groups of 5-6 students to conduct practical experiments during the lesson (Photo 4). A teaching material on the floating mechanism of water striders was constructed (Figs.1, 2; Photos 2, 3, 4), and was used in the lesson. A questionnaire including a question on understanding about “How can water striders float on water surface?” was administrated before and after the class. Answers to the questionnaire given before the class were compared to those given after the class. The questionnaire data were statistically analyzed with  $\chi^2$ -test and Wilcoxon-test.

#### *Contents of science lesson*

Main contents of this lesson are “observation of how legs of water striders are attached to the water film” and “experiment of “what goes

on floating water striders when a droplet of detergents is put onto the water film”.

### *Process of science lesson*

#### 1) Observation and explanation:

After taking time (5min.) for the observation of water striders which are floating on the water body of the round shaped aquarium in each group (5 students) (Photo 4), the explanation about the mechanisms of how water striders can float on the water film has been performed with the teaching materials of photos (Fig. 1) (Photo 2, 3) and illustration (Fig. 2).

#### **Explanation 1: Structure of legs**

“Numerous hairs are on the surface of legs and oil droplet can be seen among the hairs.”

#### **Explanation 2: Surface tension**

“Water striders can float with the physic characteristic so called ‘Surface Tension’. Have you heard the word, “surface tension?”.

Because of no responses, the explanation of surface tension was done with the example of a cup filled with water which is still

making “hill” beyond the top level of the cup. “The reason why the water does not drop out of the cup is the binding power among the molecules of water. This power is called surface tension.”

“Jagged surface of legs due to numerous hairs and oil droplets among the hairs make the surface tension effective for floating of water strider.”

“Please observe that the legs of water strider floating yield to press on the water film. This is the situation of that the pressure due to the weight of the bug and reaction pressure due to the surface tension are evenly balanced.”

- 2) Experiment “What does go on floating water striders when a droplet of detergents is put onto the water film?”

In each group, an experiment was performed as follows.

A) A droplet of detergent which had been bought from a super market was put with a pipette onto the water film where water striders were floating and striding in a round-shaped and transparent aquarium (Photo 4).

B) After the observation of what goes on them, the water striders



which had been sunk in the water were rescued onto the dried paper to be recovered.

C) Cleaning behavior with legs on the dry paper was observed.

D) After 5 minutes on the paper, the water striders were back onto the water film to certify that they completely recover in order.

E) Explanation on the mechanism by which the water striders have been sunk. “Because the detergent is the surface-active agent, it tries to bind both into water molecules and oil molecules. These activities reduce the binding power between water molecules and finally the water come among the numerous hairs and the legs come into the water body. “

3) Explanation on the pollution problems: Water striders and water pollution by detergents used by citizens

“The rivers and water ways where the pollution of waters goes on by detergents used by citizens and increased number of water striders cannot inhabit there. Please think about water striders on water film when you use the washing agents in your home every

day.”

## Results

Comparative analyses were performed between the data before and after the lesson as an intervention lecture. To the question “How do you think water striders can float on water bodies?”, the number of students who answered “by using oils excreted from legs” or “surface tension” significantly increased both in elementary school and junior high school groups (Fig. 3) (Table 3A).

The number of students who answered “they sink into water” to the question, “What happens to water striders when a drop of detergent is put in the water?” significantly increased in both elementary and junior high school students (Fig. 4) (Table 3B). As the reasons for water striders to sink into the water after the application of drops of detergent, the number of both elementary and junior high students who answered “because water comes between leg hairs” significantly increased after the intervention lecture (Fig. 5) (Table 3B-1). The number of students who answered “because of reduced surface-tension” significantly increased only in the junior high school group (Fig. 6) (Table 3B-1). The

number of students who answered “I understand what the word ‘surface tension’ means” increased after the lecture both in elementary school and junior high school groups.

To the question “What kind of organisms are living in the river or its shore?”, elementary school students answered 2.94 kinds of animals on average ( $\pm 2.01$  SD,  $n=91$ ) (females:  $2.94 \pm 2.09$ ,  $n=50$ ; males:  $2.88 \pm 1.93$ ,  $n=41$ ) before the class, whereas the number decreased to 2.34 kinds of animals on average ( $\pm 1.73$ ,  $n=89$ ) (females:  $2.57 \pm 1.99$ ,  $n=49$ ; males:  $2.05 \pm 1.30$ ,  $n=40$ ) after the class (Wilcoxon test:  $z=-4.26$ ,  $p<0.001$ ; females:  $z=-2.97$ ,  $p=0.003$ ; males:  $z=-3.117$ ,  $p=0.001$ ).

Redundant questionnaire might reduce the passion to answer it after the class for young students. On the other hand, 40.3% of junior high school students answered “water striders”, to the same question, whereas the percentage was increased to only 62.7% even after the lesson on “water striders” ( $\chi^2$ -test:  $\chi^2$ -value=6.722,  $df=1$ ,  $p=0.01$ ). The impact on the psychological impression due to only one lesson seems to be not strong but moderate for the students.

## Discussion

This study shows that a lesson including a practical experiment may be an efficient method for teaching elementary school and junior high school students how water striders float on the water surface. However, the term 'surface tension' appears to be difficult for elementary and junior high students to understand. The oil that exists within the numerous hairs on the water strider legs may be easily imagined as key factors for floating on water surfaces. In this lesson, time constraints prevented us from teaching the remaining two factors that enable water striders to float on water (Answer No.1 among three; extremely light body weight of 15-10mg for males and 35-40mg for females and morphological characteristics of legs as large attachment surfaces due to long tarsal segments of mid and hind legs).

This experiment given in class appears to be effective to some extent for both elementary and junior high school students to teach them that numerous hairs and oil inside the fine hairs on legs are critical for maintaining surface tension of water around legs. It is also effective for teaching students how an organism floats on water.

This subject can be linked to the promotion of efficient teaching materials for ‘Education on Environmental Conservation Science’ in relation to the pollution of rivers due to detergents disposed of by regular people. For example, in the session of “Conservation of natural environment and useful science technology” in the third grade of junior high school (The Teaching Guideline of Science Education, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-JAPAN, 2010a), the following information could be introduced as an appropriate teaching material to introduce a method of environmental conservation. “Water striders and other aquatic insects could be used as a biological indicator of pollution by detergents (Water strider, *Aquarius paludum*: Heteroptera), metals (Brix et al., 2011: 38 species from Trichoptera, Ephemeroptera, Diptera, Hemiptera, Odonata, Plecoptera), and physical and chemical conditions which consist of conductivity, hardness  $\text{CaCO}_3$ , calcium, magnesium, alkalinity, chloride, sulphate, nitrate, phosphate, dissolve oxygen, and B.O.D (Imoobe & Ohiozebau, 2009: 24 species from Ephemeroptera, Odonata, Coleoptera, Diptera, Plecoptera, Tricoptera)”.

*Significance of this teaching material on Teaching Guideline of Science*

*Education for Compulsory Schools (Elementary and Junior High School, made by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-Japan)*

According to The Teaching Guideline of Science Education (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-JAPAN, 2010a,b), the teaching material, “How can water striders float and stride on the water surface?” is interdisciplinary material which is appropriate for the following contents in the textbooks.

1. Observation of familiar nature (organisms and their environment which are familiar to our life) (The third grade of elementary school)
2. Organisms and their environment (Relationship between organisms and water)  
  
(The sixth grade of elementary school)
3. Animal world (World of invertebrates) (The second grade of junior high school)
4. Organisms and their environment (Examination of natural environment and conservation of environment) (The third grade of junior high school)

5. Characteristics of air and water (The fourth grade of the elementary school)
6. How do substances solve water? (The fifth grade of the elementary school)
7. Power and pressure (The first grade of junior high school)
8. Water solution (The first grade of junior high school)
9. Conservation of natural environment and useful science technology (The third grade of junior high school)

In the textbook, contents of No1 to No4 are included in the biological field. Contents of No 6 and No 8 are in the chemical field, while No 5, No 7 are physics field. The integrated field issue is No 9 in the junior high school science education. Therefore, the material, “How can water striders float and stride on the water surface?” in this study seems to be a good model for the teaching materials to be effective for integrative understanding of biological, chemical, physics and environmental conservation fields.

### **Acknowledgement**

Thanks are due to all the participants for their kind participation in this

intervention study. Thanks are also due to Dr. Hitomi TAKEUCHI for technical supports on making figures and tables and to Ms. Laura SATO (A professional English editor) for linguistic support throughout the text.

## References

- Andersen, N.M. & Chen, L. (2004) The marine insect *Halobates* (Heteroptera: Gerridae): Biology, adaptations distribution, and phylogeny. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, **42**: 119-180.
- Brix, K.V., DeForest, D.K. & Adams, W.J. (2011) The sensitivity of aquatic insects to divalent metals: A comparative analysis of laboratory and field data. *Science of the Total Environment*, **409**: 4187-4197.
- Bush, J.W.M. & Hu, D.L. (2006) Walking on water: Biocomotion at the interface. *Annual Review of Fluid Mechanics*, **38**: 339-369.
- Cheng, L. (1985) Biology of *Halobates*. (Heteroptera: Gerridae). *Annual Review of Entomology*. **30**: 111-135.



Bush, J.W.M. & Hu, D.L. (2010) Walking on water. *Physics Today*, **63**: 62-63.

Dadour, I.R., Cook, D.F., Fissioli, J.N. & Bailey, W.J. (2001) Forensic entomology: application, education and research in Western Australia. *Forensic Science International*, **120**: 48-52.

Dickinson, M. (2004) Animal locomotion: How to walk on water. *Nature*, **424**: 621-622.

Gao, X. & Jiang, L. (2004) Biophysics: Water-repellent legs of water striders. *Nature*, **4**: 32-36.

Hirose, S. (2005) Creation of a school biotope via participation of children and citizens. *Journal of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering*, **73**: 899-904. (In Japanese)

Hu, D.L., Chen, B. & Bush, J.W.M. (2003) The hydrodynamics of water strider locomotion. *Nature*, **424**: 663-666.

Hu, D.L. & Bush, J.W.M. (2010) The hydrodynamics of water-walking arthropods. *Journal of Fluid Dynamics*, **644**: 5-33.

Imoobe, T.O.T. & Ohiozebau, E. (2009) Pollution status of a tropical forest river using aquatic insects as indicators. *African Journal of Ecology*, **48**: 232-238.

Inui, M.: Wondering of water striders. Tombow-shuppan, p. 31, 2000. (In Japanese)

Ito, K., Masuda, K., Haruzono, N., Tsuda S., Manabe, T., Fujiwara, K., Benson, J. & Roe, M. (2003) Study on the biotope planning for children's play and environmental education at a primary school-The workshop with process planning methods –. *Journal of Japanese Society for Civil Technology (Research Articles on Environmental System)*, **31**: 431-438. (In Japanese)

Ji, X-Y, Wank, J-W, & Feng, X-Q. (2012) Role of flexibility in the water repellency of water strider legs: Theory and experiment. *Physical Review*, **E 85**: 021607.

Matthews, R.W, Flage, L.R. &Matthews, J.R. (1997) Insects as teaching tools in primary and secondary education. *Annual Review of Entomology*, **42**: 269-289.

Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-JAPAN.

(2010a) Explanation of Teaching Guideline for Junior High School

Teachers – Science Education, Dainippon-Tosho, pp. 12-15, ISBN978-4-

477-01979-6. (In Japanese)

Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-JAPAN.

(2010b ) Explanation of Teaching Guideline for Elementary School

Teachers – Science Education, Dainippon-Tosho, pp. 14-17, ISBN978-4-

477-01949-9. (In Japanese)

Ranganath, H.A.&Tanuja, M.T. (1999) Teaching and learning genetics with

*Drosophila* 2.Mutant phenotypes of *Drosophila melanogaster*. Resonance,

4: 95-104.

Song, Y.S., Sitti, M. (2007) STRIDE: A highly maneuverable and non-

tethered water strider robot. Proceedings - IEEE International

Conference on Robotics and Automation. Article Number: 4209216, 980-

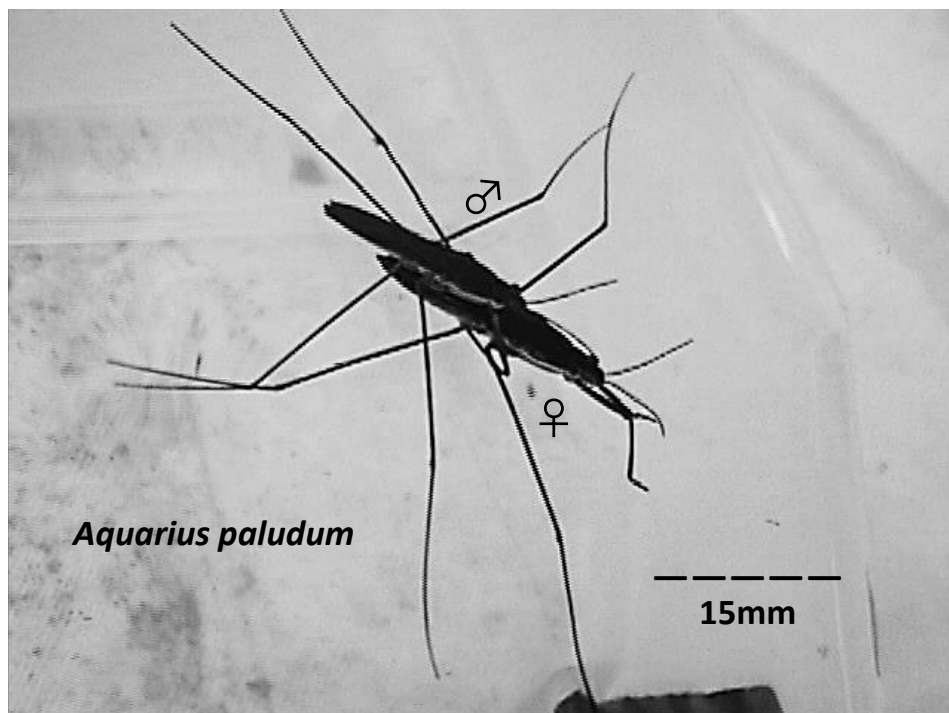
984.

Song, Y.S., Suhr, S.H. & Sitti, M. (2006) Modeling of the supporting legs for

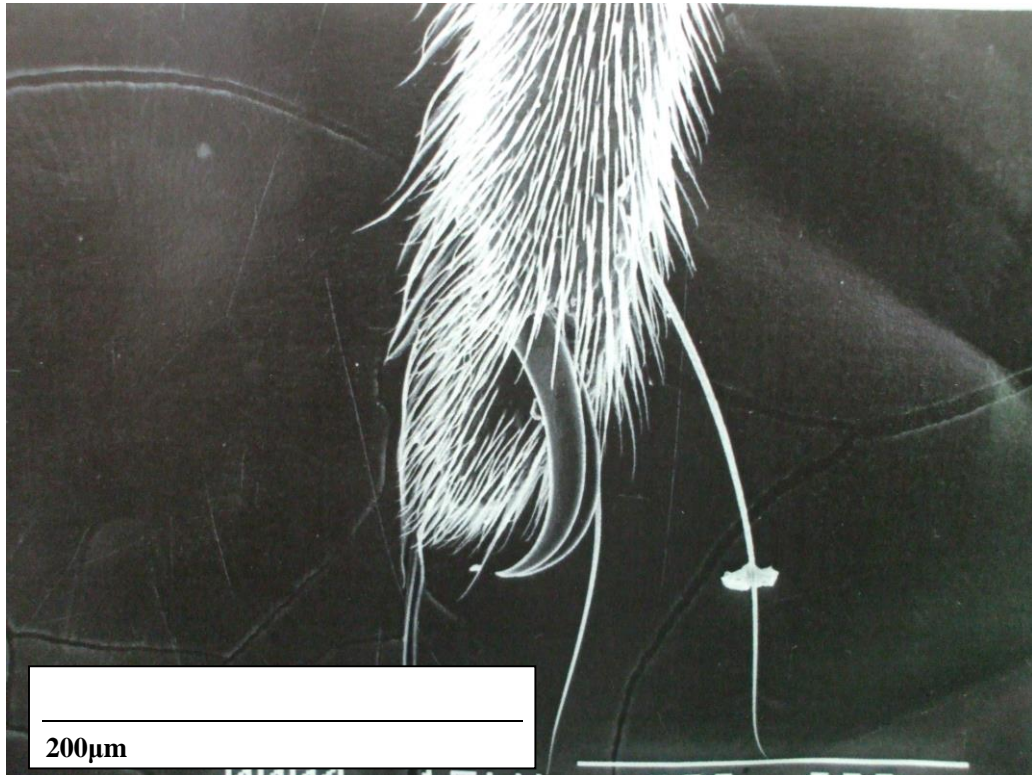
designing biomimetic waterstrider robots. Proceedings – IEEE

International Conference on Robotics and Automation. Article Number:  
1642046, 2303-2310.

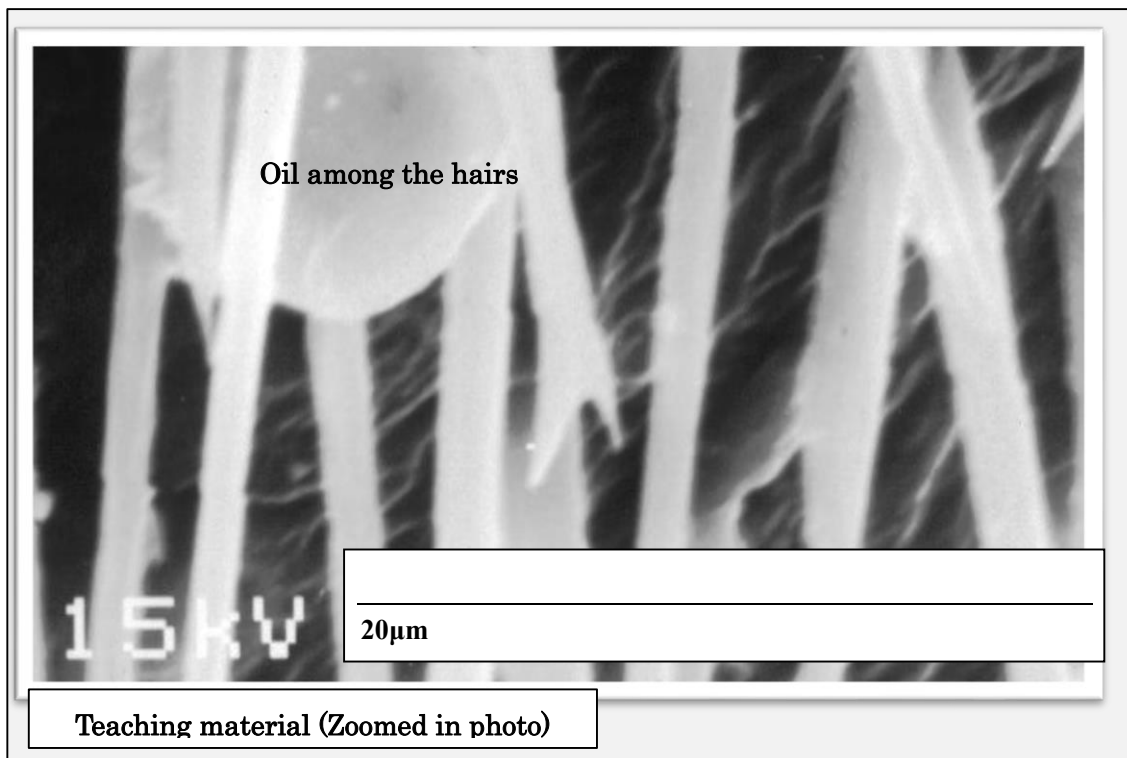
Zelkowitz, R (2008) Water striders put best foot forward. Science NOW  
[



**写真 1:** アメンボ(*Aquarius paludum* [Fabricius]) がタンデムの状態(雄が雌の上に乗っている状態。生殖期には常にこの状態で、時折交尾が行われる) (写真提供：原田)



**写真 2：** 実習を含んだ介入授業で使われた教材。この写真は、走査型電子顕微鏡写真でアメンボの後肢の先端を撮影したもの。肢は夥しい毛で覆われており、水面をとらえる鍵爪のような 2 本の構造と、水面の振動を感受する機械刺激に応答する感覚神経を含んだ細長い感覚毛が観察できる。(写真提供：原田ら)



**写真 3** : 実習を含んだ介入授業で用いられた教材。これは、アメンボ後肢の表面の拡大写真で走査型電子顕微鏡を用いて撮影された。表面に生えている毛の間の基部に油滴が見て取れる。(写真提供：原田ら)

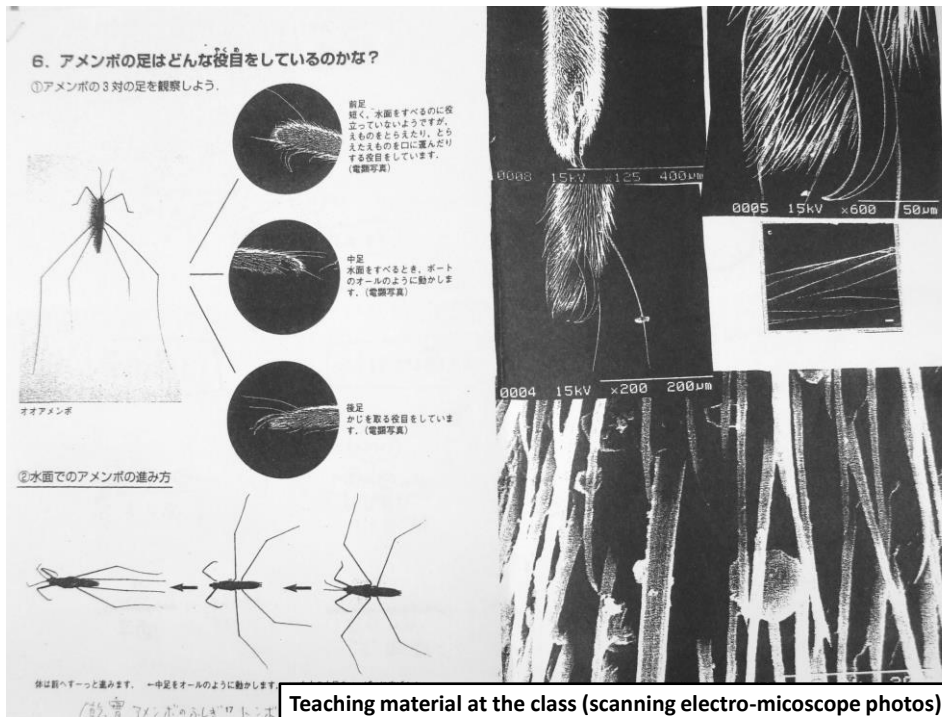


図1：実習を含んだ介入授業で用いられた教材。右半分はアメンボの走査型電子顕微鏡写真を用いて、肢に夥しい毛が生えていたり、毛の間に油滴がある様子を示している（原田ら、写真提供）。左半分はアメンボの肢の付き方や、水面を滑走する時の肢の動きを示したもの（Inui, 2000: p. 17 より）。





**写真 4：** 実習を含んだ介入授業中の一コマ。グループ学習中、水を張った丸型透明水槽の中で水面を滑走するアメーバ成虫の様子を観察する 5 名の児童。（写真提供：原田ら）（画像の加工は著者による）

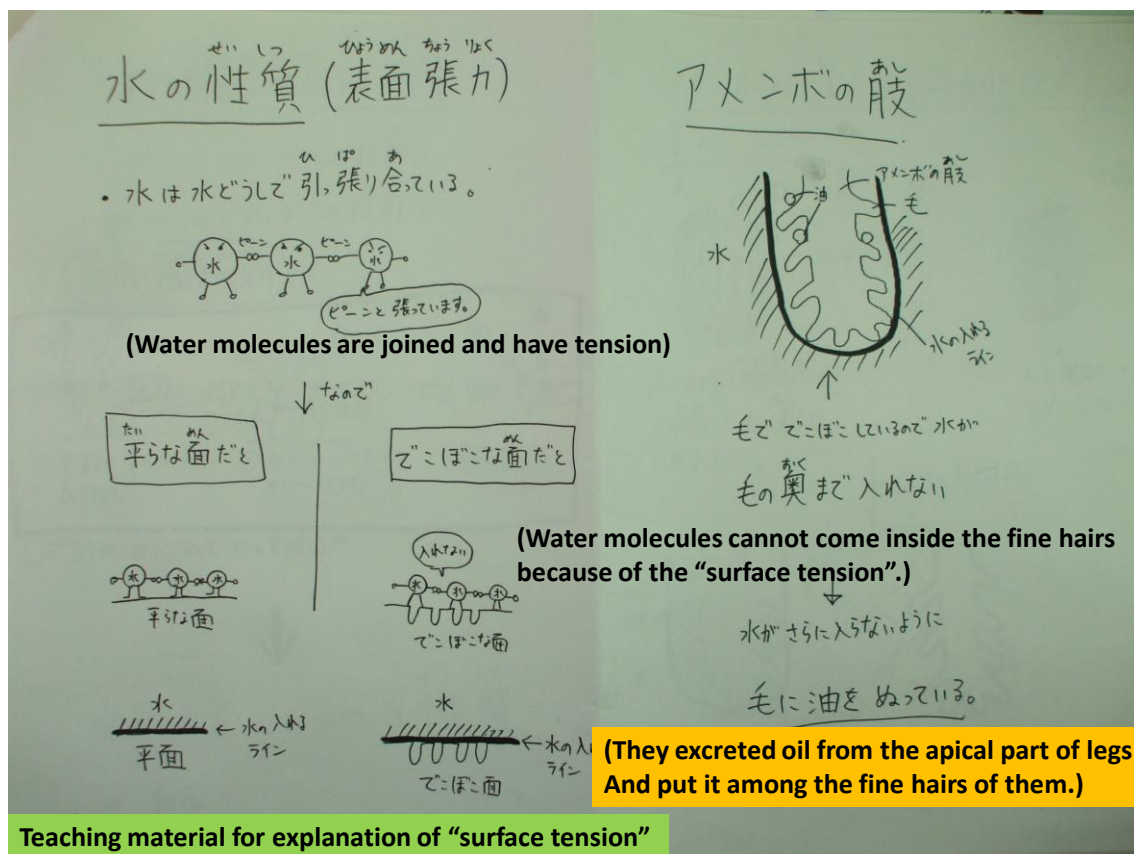
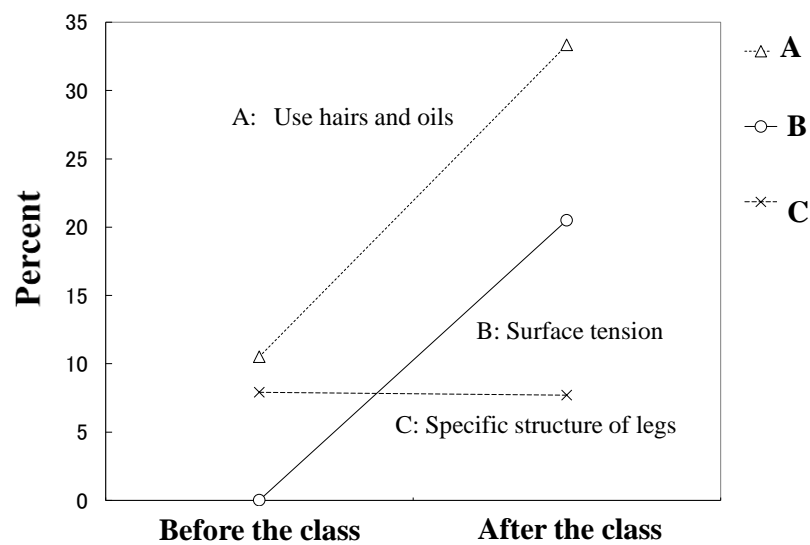
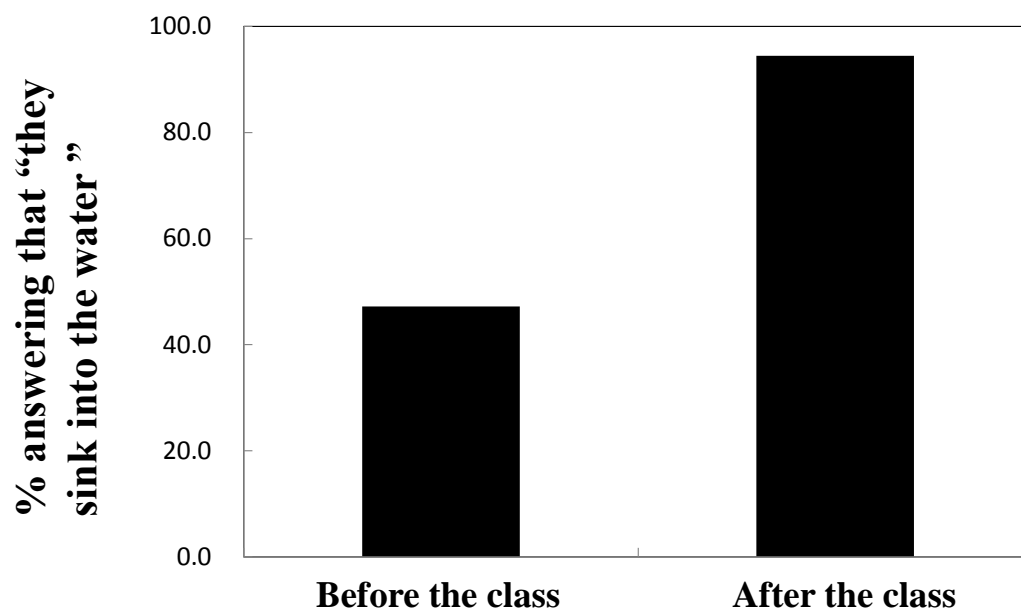


図 2 : 表面張力を子ども達に説明するシート



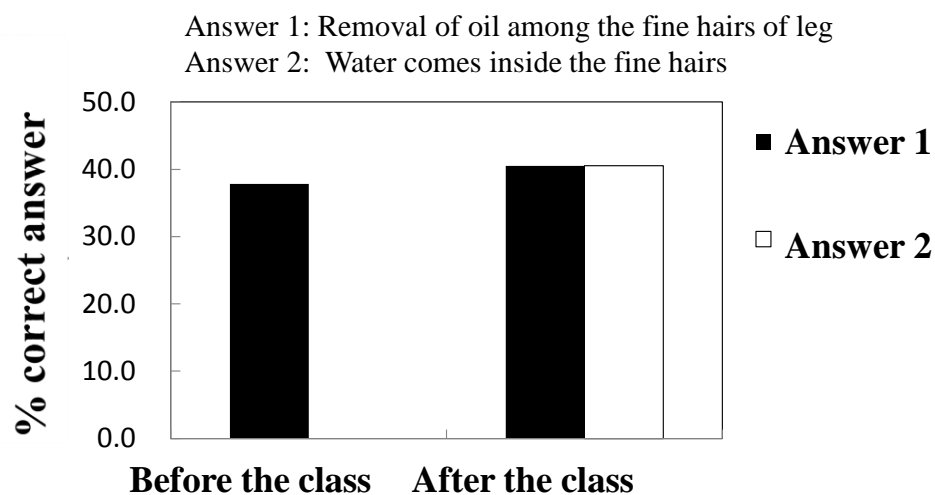
**(Q:How can the water striders  
float on the water surfaces? )**

図 3 : 小学校 6 年生対象介入授業「アメンボはどのようにして水面を浮くのか」の効果。授業後、“毛や毛の間の油を利用している”や“表面張力を利用している”の解答率が有意に増加した ( $\chi^2$ -test between “before” and “after”: A,  $\chi^2$ -value=5.103, df=1, p=0.024; B,  $\chi^2$ -value=12.062, df=1, p=0.001; C,  $\chi^2$ -value=0.000, df=1, p=1.000)。



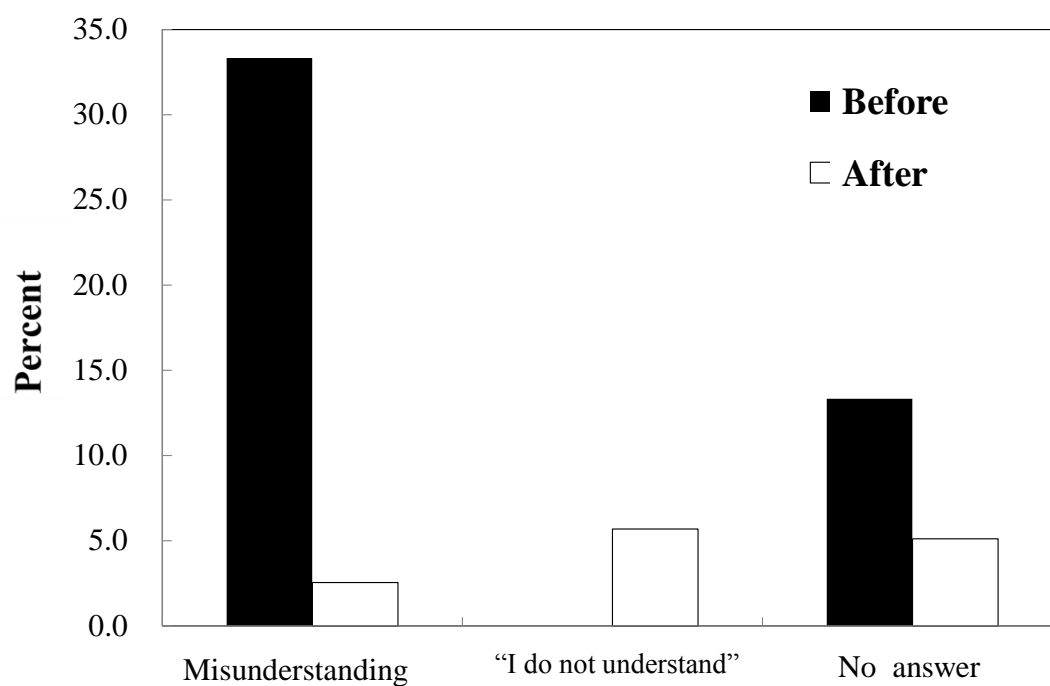
**(Q: What goes on if you put the washing agents into the water where the water striders are floating.)**

図 4: 「あなたが、もし水面に油滴を 1 滴落とすとアメンボに何が起こりますか」という質問への答えに、及ぼす介入授業（小学校 6 年生対象）の影響。「水中へ沈んだ。」の解答率が授業後有意に増加した。（ $\chi^2$ -test between “before” and “after”:  $\chi^2$ -value=195, df=1,  $p<0.001$ ).



**(Q: Why does the water striders sink into water ?)**

図 5 : 「水面に油滴を 1 滴落とすとアメンボはなぜ水中に沈むのですか」という質問への正答率に及ぼす介入授業（小学校 6 年生対象）の影響。「肢の毛の間に水が浸入したから」という回答が有意に増加した。( $\chi^2$ -test between “before” and “after”: Answer 1,  $\chi^2$ -value=0.057, df=1, p=0.812; Answer 2,  $\chi^2$ -value=18.814, df=1, p<0.001).



**(Q: What is the meaning of “surface tension” ?)**

図 6 : 「表面張力とは何ですか？」への小学校 6 年生の誤答率は介入授業後大幅に減少した。 ( $\chi^2$ -test between “before” and “after”:  $\chi^2$ -value=9.315, df=1, p=0.002)

**表 1： 介入授業内容の時系列(45 or 50min.):**

---

“How do water striders float on the water surface?”

Affiliated elementary school: 6<sup>th</sup> grade 1 class (11-12 yrs)

Affiliated junior high school: 2<sup>nd</sup> grade 4 classes (13-14 yrs)

**Questionnaires before and after the practical lesson**

About 200 students participated in the practical science lesson.

**Common summary of the class (elementary school)**

- |                 |  |
|-----------------|--|
| 1 (0-5 min.):   | <b>Questions on water striders</b><br>(Habitats?, color and morph?, food?)   |
| 2 (5-35min.):   | <b>A. Observation of water striders on water surface</b><br><b>B. Observation of legs on water surface</b><br><b>C. Explanation of “how they can float on water surface”</b><br>1) Photograph of legs by SEM (scanning electro-microscope)<br>2) Explanation of “surface tension of water surface”<br>3) Observation of oils among the fine hairs on legs (SEM photo)<br>4) Integrated explanation of how they can float on water surface<br><b>D. Experiment: “How do water striders on water surface</b><br><b>    behave if we put detergent into the water?”</b><br><b>E. Question on “the reason why they sink due to the detergent”</b><br><b>    and explanation.</b><br>1) Weakening of surface tension of water surface<br>2) Removal of oils from among the fine hairs on the legs |
| 3: (35-40min.): | <b>Pollution of rivers by detergent and other chemicals and</b><br><b>limitation in habitats for water striders</b><br><b>Protection of natural habitats for natural organisms from</b><br><b>several chemicals is needed.</b>   |
-

表 2：介入授業の授業計画、教授の要点、授業結果の要旨

<u>Time table</u>	<u>Planning of class</u>	<u>Key points for teaching</u>	<u>Abstract of class</u>
0-15 (min)	<p>Questionnaire administered</p> <p>Questions on water striders to pupils:</p> <p>“Do you know about waterstriders? Have you seen them?”</p> <p>“Answers by several pupils”</p> <p>“What do you think about morphs water striders?” “Where have you seen water striders living?”</p> <p>“Again answers from several pupils”</p> <p>Explanation by teacher on habitat (ponds, lake, small water pool, river, water way etc) of water striders.</p>	<p>Teacher ask pupils on their relationship with water striders, and make them interested in water striders.</p> <p>Teacher explains shortly life history of water striders to pupils, showing several photos of water striders on water bodies.</p>	<p>Questionnaire administered(0-10min)</p> <p>“Have you seen water striders?”</p> <p>“Where have you seen water stridersliving?”</p> <p>Answers: ponds in garden. paddy fields, small water pool, river, swimming pool. “What do you think about morphs and behavior of water striders?”</p> <p>Answers: Flying, carnivorous, insect six legs, four legs.</p>



15-35 min	<p>Observation of water striders on water in round-shaped transparent aquarium (diameter:30cm, height: 15cm) and picking it up and smelling it. “Water striders excrete a scent,because they are kinds of “bugs”:Heteroptera. Let’s pick it up and smell it!” “How do you smell it? It is called “Amembo” (Ame means sweet candy, bo means Boy in Japanese), because it smells like a sweet candy.” “Which part of the legs of water striders are attached to water surface?” “Can you see that long and distal part of the legs are attached to it?”</p> <p>“Can you observe the attached part</p>	<p>The pupils observe water striders float on water bodies in the round-shaped aquaria.</p> <p>The pupils can find out that the leg part attached to water surface becomes hollow.</p>	<p>Shall we observe the water striders are floating on water surface?</p> <p>Each member of 5 or 6 groups which consist of 5 or 6 pupils observed water striders and picked up them by hands. [It smells like orange.]</p> <p>Then teacher moved onto the explanation of how to float on water surface. First, the fine and numerous hairs on leg surface and the existence of oil-deposits were explained with photos of legs with taken by SEM.</p> <p>“Water striders can float on water using a physical characteristic of water, the “surface tension</p>
Continue this table onto the next page			
<u>Time table</u>	<u>Planning of class</u>	<u>Key points for teaching</u>	<u>Abstract of class</u>

<p>slightly become hollow on the water surface?”“How do water striders float on water body?”</p> <p>Teacher shows the photos of legs taken with Scanning Electro micro-Scope (SEM) to the pupils.“ You can see that leg surface is filled with fine and numerous hairswhich make water molecules out of hairs with surface tension.”“Surface tension can be explained the power to make the surface area smallest. ”</p> <p>“You can see that oil deposits are among the fine hairs in the SEM photo.”</p> <p>“Oils among the leg-hairs can help the water striders float on water, because oil repels water.”“The reason why water striders can float on water body is that the leg surface is extremely bumpy and have oils among the fine leg-hairs.”“In some cases, water striders cannot float but sink into water. In what kind of occasions do you think about such trouble occurs?” Pupils answer the question, then ask another question: “How do water striders floating on water behave when washingagents are put into water bodies?” Then the pupils put washing agents into water bodies,</p>	<p>Have you heard the word “surface tension?” [No answers by thepupils]</p> <p>“If glass is filled with water over the upper edge, the water became heaped up without overflowing, because molecules of water pull against each other. Water striders can float on water because of surface tension of water molecules.</p> <p>Waters directly attach the smooth surface of the legs if they have no hairs. However, water molecules cannot come-in among rough and fine hairs because of surface tension. Moreover, oil droplets among the hairs make the surface tension of waters greater because oils repel water. The teacher accessed to each group and said, “Did you find out that the legs push- the water surface and make a follow there?</p> <p>The pupils put a droplet of washing agents into the aquarium where water striders float on water body and observed them to be drown in the water. The teacher used the teaching materials and explained how water striders were drown.</p> <p>“Washing agents acted as a surfactant and reduced the power of surface tension of waters and</p>
---	--

Continue this table onto the next page

<u>Time table</u>	<u>Planning of class</u>	<u>Key points for teaching</u>	<u>Abstract of class</u>
	<p>and observe the response of water striders. “Why do water striders sink into water?” Explanation of how they are drown in water because of washing agent.</p> <p>1. Diminishing of surface tension in washing agent solute</p> <p>2. Removal of oils among the fine leg-hairs due to washing agents.</p>	<p>The pupils can see water striders are sinking in the water body including washing agent.</p>	<p>moreover jointed both water molecules and oils, and water molecules came among the fine leg hairs. Because of these reasons, legs sunk into the water.”</p>
<p><b>Summary</b> of the class (35-40min)</p>	<p>“If great amount of washing agents derived from general populations are flown into river, water striders can not survive there because there are drowned. Fortunately, many rivers or water ways are available for water striders to live. We should conserve such available habitat of water striders.”</p>	<p>“When washing agents from common population are flown into a river, there are possibilities for water striders to be drown in the river. If you wash something using washing agent, please think about water striders and reduce the amount of that.”</p>	

表 3：中学校 2 年生(138 名)対象介入授業が 4 つの質問(A, B, B-1, C) への解答に及ぼす影響

A “How do you think water striders can float on water bodies?”							
Answer	Before		After		$\chi^2$ -test		
	N	%	N	%	df	$\chi^2$ -value	p
“Using oils excreted at legs”	23	16.7	53	38.4	1	16.342	<0.001
“Due to numerous hairs on legs”	28	20.3	24	17.4	1	0.379	0.538
“Oils excreted and hairs on legs”	1	0.7	30	21.7	1	30.562	<0.001
“low weight”	15	10.9	8	5.8	1	2.324	0.127
“surface tension”	5	3.6	15	10.9	1	5.319	0.020
B “What goes on for water striders when a drop of washing agent liquid is put on the water body?”							
Answer	Before		After		$\chi^2$ -test		
	N	%	N	%	df	$\chi^2$ -value	p
“water strider sink”	96	69.6	12.5	90.6	1	19.096	<0.001
B-1 “Why does the result you answered to question B occur?”							
Answer	Before		After		$\chi^2$ -test		
	N/96	%	N/125	%	df	$\chi^2$ -value	p
“dissolution of oils”	22	22.9	41	32.8	1	2.602	0.107
“water comes among leg hairs”	2	2.1	62	49.6	1	59.592	<0.001
“reduced surface-tension”	0	0	6	4.8	1	6.962	0.008
C “Do you understand the word ‘surface tension’?”							
Answer	Before		After		$\chi^2$ -test		
	N	%	N	%	df	$\chi^2$ -value	p
“Yes”	26	18.8	68	49.2	1	28.458	<0.001

## 第Ⅱ章 子どものメタ認知能力を生かした授業の教育的効果を評価するための

### 介入授業研究

(第4部第2章は査読付の日本科学教育学会機関紙「科学教育研究」に掲載予定である。)

#### I. はじめに

本研究は、学習者自身に自らの認知過程を自覚させるための具体的な指導法の開発を試みたものである。具体的には、「他者」あるいは「もの」によって学習者自身が思考を変容させる過程とその根拠を自覚させることを目的としている。この自覚はメタ認知体験にほかならない。最終的にはこの体験を繰り返させることによって、メタ認知能力の育成が期待されるのである。

ここでいうメタ認知は、次のような二つの側面を持つ。すなわち、「自らの認知過程についての認識」と「自らおこなう認知の制御」(Lawson, 1984: 90, 翻訳は著者による)である。第一の側面である「自らの認知過程についての認識」とは、学習者の知識獲得過程それ自体について、自己を省みることによって得られた認識である。これに対して、「自らおこなう認知の制御」とは、新しい課題に直面した時に、これまで獲得してきた認知過程についての認識の中から、その課題を解決するために適切な方略を選び出すことである。

学習におけるこれら二つの側面は相互に関連していると考えられる。すなわち、「自らの認知過程についての認識」を得る体験を意識的に積み重ねることによって、「自らおこなう認知の制御」能力を身につける場合もあれば、逆に「自らおこなう認知の制御」を体験的に学ぶことによって「自らの認知過程についての認識」の自覚を深める場合もある。

本研究においては、第一の場合である「自らの認知過程についての認識」を得る体験を通して、「自らおこなう認知の制御」能力を身につける場合に焦点が当てられる。すなわち、自らが獲得した知識がどのような過程を経て自らのものとなったのか、その筋道の自覚を体験する場を理科授業において提供することによって、メタ認知能力を育成しようとする試みである。

#### II. 「友だちの考えを探ろう」からの発展

多くの児童は、理科の学習過程において、その始めと終わりでは大きく自らの思考を変容させている。こ

れらの変容を児童が自覚することは、メタ認知能力によっている。したがって、教師の多くはメタ認知能力を育成するための支援を重要だととらえてはいる。しかし、その認識が実際の教授活動に十分反映されているとはいえない。たとえば、メタ認知能力を育成するための支援の重要性や必要性について教師は意識しているにもかかわらず、実際の授業においてはその意識が十分反映されているとは言い難いのである(木下2005)。

この問題を解決するための具体的方法として、例えば、水落ら(2007)は、CSCL(Computer Supported Collaborative Learning)と呼ばれるコンピュータを活用したシステムによる授業を試みている。この試みによって、児童相互に実験の誤差認識や評価規準を可視化、共有させ、その結果、児童が自然事象についての正しい知識・理解に達することが示されている。

また、加藤(2008)は、メタ認知の働きを促進するために開発されたコンフリクトシートを活用することによって、その後の授業において児童自身がメタ認知を働かせるのに役立っている可能性を示唆している。

これらの研究の主眼は、学習者が他者とのかわり合いをもとに、自分自身の認知活動を振り返るという学習環境を整えることに置かれている。コンピュータやワークシートなどを活用することによってメタ認知能力が培われることが期待されるのである。

対照的に本研究は、これらのコンピュータソフトや特殊な学習環境などを用いることなく、通常の学習において継続的に活用することができる手法の開発をめざしている。学校現場における教師の立場からすれば、特別な機器やその操作に関わる知識を用いることなく、簡便かつ継続的に活用できる手法のさらなる開発も同時に求められるといえよう。

実際、このような学習環境を整えるためにコンピュータ等の機器を介さない学習方法についての試みもなされている。堀(2004)による、一枚ポートフォリオ評価という手法は、その一例である。これによれば、

児童自身の学習履歴を可視的にふりかえらせることを通して、児童のメタ認知能力を育成できるとしている。この手法の特徴は最小限の情報で最大限の効果を上げようとするところにある。1枚ポートフォリオは、主に学習前、学習中、学習後における児童自身の学びの履歴を振り返ることが特徴づけられる点である。

一方、本論文においては、学習の進行に伴って付け加わる友だちの意見や実験の進行に伴う情報を即時的に提供できる場を構成することを主な主眼としている。いいかえれば、学習過程におけるある時点での児童の思考状況ではなく、思考の変容過程そのものを意識させることを意図しているのである。

このような支援の具体的事例として、これまで楠瀬他(2003)、中城(2007; 2009; 2010; 2011)、Nakajo(2011)などの理科授業実践を報告してきた。これらの実践においては、「友だちの考えを探ろう」と教師が働きかけたり、学習対象を観察している様子を児童がお互いに観察し合ったり、思考の言葉化を通したりして、自分自身の思考に気づく活動が授業構成の工夫として組み込まれている。これらの工夫の本質は、「友だちの考えを探る」という教師の働きかけにおいて、友だちの考えが「自己を映し出す鏡」として働くように、鏡としての他者ないしは対象化された自分自身が想定されていることにある。

このような工夫の発展として本研究において新たに試みたのは、このような「現在の自己の思考」と「過去の自己の思考」との差異の可視化である。この差異は、「他の思考」との比較と同時に眼前の現象を観察することにより生じたものである。

この差異をより効果的に自覚させるために、児童の思考が変容するたびにその変容を即時的に児童自身が認識できる授業進行上の工夫をおこなった。その工夫とは、ある学習問題に対してもつ児童の予想は学習活動が進むにつれて変容していくものであるとしたうえで、付箋を用いてこの変容を可視化することである。このことにより、児童自身の思考の変容過程を自覚させること、その思考の変容が「他者」によるものなのか「もの」によるものなのかを自覚させること、これらを簡便かつ即時的におこなうことを試みたものである。これにより、「自らの認知過程についての認識」が可能になるのである。

以下において、このような考えのもとでおこなわ

れた授業構成の工夫を「予想の表明を複数回保証する授業」として提案するものである。

### Ⅲ. 複数回保証される予想の表明

理科の学習過程を通して、児童はさまざまな根拠によって自らの思考を変容させる。その変容の契機を与えるのは、実験や観察ばかりではない。これらの活動と同時に友だちともかかわり合い、このかかわり合いを通して、自らがもつ自然に対する見方や考え方を少しずつ変えながら認識を形成するのである。

多くの場合、本時において解決すべき問題の確認に続いて、問題の解決方法およびその方法から得られる結果の予想についての、自分の考えや立場を表明する機会が与えられる。しかし、このような機会が保証されるのは、ひとつの問題解決過程においては一度だけである。その後各児童の予想は、この過程を通してその児童のものとして了解され、児童自身も自分のものとして受け入れることになる。

しかし、ただ一度だけ表明された児童の予想は、教師によって最初に提示された具体物から得られるごくわずかな情報に基づくものである。その上、教師の提示物に内在している本時の目標に関する学習内容と、その児童がもつ既存の知識との関連に即座に気づき、それを反映させていることはごくまれである。したがって、これらの予想は授業の進行に伴い変容していくはずであり、暫定的とみなすべきである。

この暫定的な予想のもとで観察や実験をおこなう、具体物に触れる機会が増えれば増えるほど、児童は予想の見直しの必要性を自覚するであろう。この自覚は、具体物という「もの」が鏡として作用した結果である。児童が予想を見直す必要性を自覚するのはそればかりではない。友だちの意見を聞いたり、相談をしたりしていく中で、さらに予想が見直されるための情報は増えていく。これらの情報による見直しの自覚は、「他者」とのかかわりによる自省的な思考が促された結果である。

このように「もの」や「他者」とのかかわりが深まることによって、児童は新しい視点を得、その視点のもとで予想を見直すこともあれば、最初の予想の妥当性が明らかになる場合も生じるであろう。たとえ最初の予想の妥当性が明らかになった場合でも、新しい視点の下で得られた妥当性は、視点が異なっていると

いう点において最初に表明した予想の見直しが図られたと見なすことができる。こうして最初に表明した予想と、授業の中盤および終盤における見解が全く同じ児童はごく少数となるはずである。以後、このような「もの」や「他者」とのかかわり合いを通して新たな視点を得、その結果として自分の予想や見方・考え方が変化することを「思考の変容」と呼ぶことにする。

学習者においては、問題解決の過程において「思考の変容」は複数回生じているはずである。だとすれば、問題解決の過程における予想の表明は、学習活動の初期段階に一度おこなわれるだけでは不十分であるといわねばならない。児童の思考は学習活動の進行とともに変化しているにもかかわらず、一度だけの予想の表明ではその変容を適宜表現することができないのである。何より、その「思考の変容」は児童自身には意識され難いのである。

これは授業構成上の問題であり、「思考の変容」を児童自身に意識させる工夫によって克服される。本研究においては、これらの工夫を日常的かつ継続的に授業活用できる手法の開発を主な目的とした。

その工夫とは、1) 予想を表明する機会を増やすこと、2) 予想の更新を一覧できる形式で残すことによって、「思考の変容」を即時的かつ簡便に明示することによって把握させること、3) 予想が更新された根拠を明らかにさせることで、「思考の変容」を自覚させること、以上の3点である。

#### IV. 実践例「もののとけ方」の学習を通して

##### 1. 実践の分析における視点

これら三つの工夫を基に、第5学年「もののとけ方」の授業を実施した。記録にあたっては、ビデオカメラ2台、および各班に1台配付したICレコーダーによった。特にICレコーダーの存在に児童の注意が向かないように配慮した。その後、これらの記録を文字に起こし、児童の発言ならびに児童が立てた予想の一覧表、授業後の児童の感想文と共に分析した。また、

分析にあたっての視点は、以下の3点とした。まず、実験の進行に伴う児童の予想がどのように変容したのかについて、児童の発話記録と完成した予想の一覧表をもとに検討した。次に、思考の変容を促した根拠は何かについて、児童の発言や予想の一覧表をもとに検討した。最後に、授業後の児童の感想文における記述

から、「自らの認知過程の認識」が促されたかどうかについて、教師と児童のやり取りの記録をもとに検討した。

研究授業は、【研究授業1】、【研究授業2】として2回実施した。先におこなった【研究授業1】では、本研究で用いる手法の確立と詳細な児童の発言分析を主な目的とし、続く【研究授業2】では、【研究授業1】において採用した手法の効果をより一般的に検討するために、対象となる児童の範囲を広げて実施した。

対象とした児童は次の通りである。手法の確立を主目的とした【研究授業1】における対象児童は、高知大学教育学部附属小学校平成21年度の第5学年児童32名である。一般的妥当性の確証を目指した【研究授業2】における対象児童は、同附属小学校における平成24年度の第5学年児童115名と、高知市内の公立小学校第5学年の児童105名である。なお、研究授業の指導はいずれも著者の一人である中城（平成23年3月まで当該附属小学校に所属）がおこなった。

##### 2. 授業構成と手法の意図

研究授業における学習課題は、「食塩が水に溶ける限界はあるのか」、「限界があるとすれば何gくらいか」を見定めることである。

実際の学習活動においては、「班ごとに50ccの水に1gずつ食塩を入れかき混ぜながら溶かし、溶けた場合にはさらに食塩1gを溶かす」という操作を繰り返さ

せた。実験結果については、(図4-2-1)「50ccの水に溶けた食塩の量」を黒板に掲示し、全ての班の結果が一覧となってあらわせるようにした。その上で、班での活動の進行に従い、児童に結果を書き込ませながら実験を進めるように指示した。具体的には、(図4-2-1)に示すように、用意した水に食塩が1g溶けるごとに、一つ○を書き込ませるのである。この表が出来上がる過程、すなわち児童が一つずつ○を書き込むことは、実験の結果が随時更新されていく過程であり、同時に児童が予想を改める契機を提供している。これは、先に述べた工夫の2)にあたる。表に書き込まれる○は枠の中に整理して書きこませるようにしているので、この掲示物がそのまま各班の結果をあらわすグラフとなる。

(図4-2-1)の結果は、【研究授業1】において実施し

(表 4-2-1) 【研究授業 1】における  
各児童の予想値の変化 (最終段階)

児童	予想 1	予想 2	予想 3	児童	予想 1	予想 2	予想 3
1	11	22	20	20	20	20	20
2	8	52	20	21	15	13	20
3	7	17	27	22	30	16	20
4	16	16	18	23	20	20	20
5	10	25	20	24	10	20	20
6	20	20	20	25	15	15	25
7	25	15	25	26	25	15	21
8	18	18	25	28	5	15	20
9	15	15	15	29	15	15	30
10	15	16	16	30	15	15	25
11	15	15	20	32	20	20	20
12	17	17	17	34	20	20	20
13	48	30	22	35	90	35	23
16	5	18	18	36	30	12	19
18	80	30	25	37	5	19	20
19	5	15	20	38	19	25	20

た際の実験結果を表している。図中、△は「食塩が溶けきっていない状態」、×は「もうこれ以上溶けない、と判断した状態」をそれぞれ表している。

本時の学習は、次に示す①に始まり④で終わる過程をふむ。この過程において、予想を表明する機会①、②および③の時点で3回児童に保証される。

- ① 教師による問題提示、50ccの水および1gの食塩を自ら量り取った時点での問題の把握と予想の表明 … (予想1)
- ② 10g程度食塩が溶けた時点での予想の修正 … (予想2)
- ③ 食塩の飽和量に近づいた時点での予想の修正 … (予想3)
- ④ 最終的な結果の吟味と本時の問題に対する結論づけ

この過程の最後である④の時点においては、本時のまとめが行われる。各児童が三つの時点において行った(予想1・2・3)は、それぞれの時点で「水に溶ける食塩の量」を予想した数字であり、それを付箋に記入させ、(表4-2-1)にまとめさせた。なお、(表4-2-1)においては、個別の児童は番号で区別(欠番は欠席児童)している。(図4-2-1)と(表4-2-1)は、児童の

活動の進行と共にでき上がっていく。(図4-2-1)ができ上がっていく過程は、自分の班と他の班の実験経過を逐次あらわしている。その結果、児童はこれを見ることによって、自分自身の考えを改める必要に迫られたり、確信したりする。すなわち、(図4-2-1)は児童

20g		×					×	△	
	×	○	×	×		×	○	○	×
15g	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10g			0g~10gは省略						
班	1	2	3	4	5	6	7	8	9

(図 4-2-1) 50ccの水に溶けた食塩の量

### ※【研究授業 1】における結果

に思考の変容の契機を提供するのである。対照的に(表4-2-1)は、自分自身の予想の変容と友だちの予想の変容を表しており、これも同時に児童に思考の変容の契機を提供する。さらに、これらの手法においては、できるだけ特別な機器や準備を必要としない通常の教具を活用することを前提とした。したがって、これらの図表はすべて模造紙で作成し、掲示した。これにより、教師にとっては授業準備の簡素化はもちろん、児童の活動状況や予想の把握を可能とした。

これらを契機として予想を表明する機会を設けることは、取りも直さず自分自身の考えの変容を知る機会を保証することである。班活動を進めるにしたがって書きくわえられる情報こそ、自己の思考を変容させる契機であり、その変容に自分自身が気づくことに無理なく導く教師の工夫なのである。

## 3. 考察

### a. 実験の進行にともなう予想の変容

本時における課題は、先述のように「食塩が水に溶ける量には限界があるか」また「限界があるとすれば何gくらいか」である。この課題について児童の思考を刺激するために、次のような活動を実施した。

まず、1gの食塩を量りとらせ、その量感をつかませた。次に、50ccの水を量りとらせ、食塩と同様にその量感をつかませた。その後、量りとった食塩を水の中



に入れ、かき混ぜさせた。当然、食塩はすぐに水に溶けて見えなくなった。そこで、児童に「まだまだ溶けるかな？」という問いかけをおこないながら、さらに意見を求め児童の予想を整理させていった。

このような教師の働きかけが、児童の思考の言葉化を促すのである。ここでの児童にとっての言葉化の手がかりは、「50ccの水に対する食塩 1g の量感」および「50ccの水に対する食塩 1g の溶け具合」である。この「量感」と「溶け具合」から、「溶けやすい」と判断する児童も「溶けにくい」と判断する児童もいる。

いずれにせよ、これらの具体的な手がかりが多いほど、児童は「溶ける量」を予想しやすくなる。そして、「見通し」それ自身の言葉化は、活動への意欲化につながり、予想の表明を児童が無理なくおこなうことができるのである。

実際の学習場面では、水と食塩の量感をえた後の児童は、全員が「50ccの水に 1g の食塩は絶対に溶ける」という意見を表明した。具体物が提示されることにより、水の多さに比べて食塩の量の少なさが児童に溶け具合の見通しを与えたのである。また、実際に 1g の食塩が溶ける様子を観察しながら、多くの児童が「1g 超早い」、「溶けやすい」といった発言をしていた。

これに続いて、児童は（表 4-2-1）に示す（予想 1）の表明に至る。この時点での児童の予想した食塩の量は、5g から 90g と幅広いものであった。これらは個々の児童の量感や判断にのみ基づいたものである。この時点以降の活動において、児童の相互作用による思考の変容がおこなわれるのである。

食塩を 10g ほど溶かした時点で次のような児童の発言が残されている。

1g のときはけっこううまく溶けたけど、…なんか多くなるにつれて時間がかかってきた。

これは、2g から 10g 前後まで食塩を溶かした時の溶け具合を根拠に、自分の予想を見直そうとする児童の思考が言葉化されたものである。さらに、（予想 1）で表明した予想の数字が変わりそうかを児童に聞いたところ、過半数の児童が「考えが変わりそうだ」と答えた。食塩を 10g 前後まで溶かした時の体験によって児童の思考の変容が促されたのである。

この時点で（予想 1）に続いて（予想 2）を別の付箋に記入させ、（予想 1）で書きこんだ付箋のとなりに貼

るように指示した。この操作も必然的に児童の思考に変容を促す。例えば、自分が立てた（予想 1）が友だちの予想と大きくかけ離れている場合、（予想 2）における（予想 1）の見直しが迫られることになるだろう。

加えて、児童の思考の変容には、操作をおこないながら記録をしてきたグラフの伸び具合（図 4-2-1）も影響を与える。例えば、自分の班のグラフよりもたくさん溶かしている班のグラフが長くなっていることや、だんだんと溶けにくくなり、次の○印をつけるまでの時間が徐々に長くなっているということについても児童は気づく。これらの気づきは、食塩が 50g の水に溶ける限界の量に近い予想を立てている児童にとっては、自分の予想に自信を持つ根拠となる。他方、これらとかけ離れた予想を立てた児童にとっては、自分の予想を修正するための根拠になるのである。

すべての児童が（予想 2）を表明した後、一斉に食塩を溶かす活動を再開した。食塩をほぼ 15~16g ほど溶かした状況となった頃を見計らい、（予想 3）を立てさせた。（予想 2）を立てる時と同様、操作中の食塩の溶け具合や友だち相互のやりとり、自分以外の（予想 2）の記述、グラフの伸び具合などが、（予想 3）の根拠となっていると考えられる。

この段階では、それぞれの班の食塩水は飽和に近づいており、食塩を入れてもなかなか溶けにくくなってきたため、溶ける量の限界が近づいているのではないかという見通しをもちはじめた児童が増えてきている。例えば、水 50cc あたり約 18g の飽和食塩量よりもはるかに多い数値を予想していた児童は自分の予想を下方修正する（例えば、（表 4-2-1）における番号 35 の児童）。

対して、飽和食塩量よりも少なく見積もっていた児童はすでに自分が立てた予想の量を超えていることから、上方修正を行う（例えば、（表 4-2-1）における番号 19 の児童）。なお、18g という飽和食塩量の設定については、室温における 50 ml の水に飽和する食塩の量として、理科年表平成 23 年（自然科学研究機構国立天文台、2010：506）を基に、室温で 18g と概算した。

活動が進み、（予想 3）を立てるところまで食塩の溶け具合を観察してきたことによって、児童の思考は大きく影響され、変容している。

これらのことが読みとれる授業後の児童による感

想の一例を以下に示す。なお、この記述は(表 4-2-1)における番号 2 の児童のものである。また、下線部は著者による。

予想その 1 でぼくは 8g が限界だと思ったけど 5g ぐらいまでかんたんにとけたので 8g じゃ足りない と思った。なので 52g にしました。しかし、16g ぐらいでとけにくくなったので 20g に減らしました。

## b. 予想の変容の根拠

(予想 3) を立てた段階で、(表 4-2-1) は完成する。完成した(表 4-2-1)においては、(予想 3) の段階での値のばらつきが、(予想 1) の段階での値のばらつきと比べて、その範囲が小さくなっているということが読み取れる。(予想 1) においては、その範囲が 5g から 90g までだったのが、(予想 3) においては 15g から 30g にせばまっている。実験が進むにしたがって児童の予想が実際の飽和量に近づいているのである。

このように範囲がせばまるのは、児童が(予想 1) の段階では得ることのできなかった新しい根拠によって見直しが図られた結果である。この新しい根拠は大きく三つ考えられる。第一には、1g 溶かしきった後でさらに 1g の食塩を溶かすためにかかる時間が、実験が進むにしたがって長くなるという児童の体験的事実である。この体験によって、児童は「事実と自分の予想を照らし合わせる」というメタ認知的思考を促される。この結果、予想の修正を余儀なくされるのである。

第二には、(図 4-2-1) に表示されている他の班の実験結果である。各班が(図 4-2-1) に棒グラフを作り上げる過程が、自分たちの実験結果との比較を可能にしているのである。

最後に、第三の見直しの根拠として挙げられるのは、(表 4-2-1) に明記される友だちの立てた予想である。もし自分が立てた予想が友だちの多くが立てた予想と大きく離れていることに気づけば、自分の予想を見直す契機となる。逆に、自分の立てた予想と同じような予想を多くの友だちが立てたことに気づいた場合は、その予想に自信をもって実験に取り組むこととなる。

以下に、学習後における児童が記述した感想のうち、児童自身が自己の思考の変容を明確に意識している例を示す。

初めは、(そりゃー、50g 以上入れても溶けるろう) と思っていて、1g から順に測っていると、(なんだ、すぐ溶けるじゃん) と、どんどん調べていきました。7g ぐらいのところになると、(あれ?…なんかおそくなってないかな…) と思っていたけど、まだまだそんなことはないだろうと思いました。

そして、10g を測っていたけど、確実に最初よりはおそくなっていました。意識して測ると、11g、12g …と、だんだんおそくなっていることがわかりました。

上の感想において、(そりゃー、50g 以上入れても溶けるろう) と (なんだ、すぐ溶けるじゃん) という内的発言に関する記述は、(予想 1) の段階におけるものである。続く(あれ?…なんかおそくなってないかな…) という記述は(予想 2) の段階におけるものである。これらの内的発言に関する記述は、当該児童のメタ認知を表している。そして、これらの内的発言の変容は、徐々にこの児童がもつ食塩の溶解具合に関する思考が変容していることを示している。

以上の思考の変容を促すそれぞれ三つの根拠は、学習者を取り巻く環境に埋め込まれているといえる。この学習者を取り巻く環境は「もの」と「他者」に分けると考えやすい。「もの」としての環境とは、学習対象から得られる情報や実験・観察を通した結果や児童自身の発見などである。「他者」としての環境とは、教師も含めた同じ活動に取り組む友だちのふるまいである。このように個々の児童の学習活動は、その学習者を取りまく環境全てから影響を受けながら進められている。

これらの影響を自覚しながら児童が学習を行なうためには、まず、思考の変容を促す根拠として挙げた「もの」と「他者」の存在に教師自身が常に自覚的でなければならない。そうすれば、児童の発言や行動から思考の変容の根拠が「もの」なのか「他者」なのかを区別して明示することが可能になるのである。このような区別に基づく教師の支援によって、思考の変容が児童に自覚されるのである。

## c. 本手法における妥当性の検討

本研究が試みた手法の妥当性は、各児童の予想の変容を示している(表 4-2-1)から判断される。すなわち、予想を重ねるに従って、各児童の予想が 50 ml の水に

飽和する食塩の量にどの程度近づいたかが判断の基準となるのである。そこで、【研究授業 1】に引き続き、【研究授業 2】を実施した。そして、他の年度における児童や他の学校での児童による予想の変容を収集し、結果を検討した。なお、【研究授業 2】における指導の手順は、【研究授業 1】における手順と同じである。

以下に示す(表 4-2-2)は、【授業研究 1】と【授業研究 2】で収集した(表 4-2-1)に相当するデータについて、(予想 1)、(予想 2)、(予想 3)の各段階における、(18g±3g)の範囲で予想を記述している児童と、それ以外の児童の人数で比較したものである。

ここに設定した(18g±3g)という範囲は、授業者の経験から見積もった児童実験の測定誤差を考慮した上で、科学的事実を反映した予想値であると判断したものである。(表 4-2-2)において(18g±3g)の範囲を下回る予想をした児童は「14g 以下」、上回る予想をした児童は「22g 以上」と、それぞれ表示している。なお、「いくらでもとける」という予想をした児童はすべて「22g 以上」のグループに含めてあり、同時に「わからない」と予想した児童については、別に項を立てて集計してある。

「18g±3g」を予想した児童の割合は、予想が進むにつれて人数が増えていき、結果的に 66%の児童がこの範囲で予想している。その当然の結果として、極端に多い予想や少ない予想をする児童が減ってきている。これは、実験が進むにつれて食塩の溶け方の変化を実感したり、お互いの予想が交流されたりすることを通して、予想を立てるための根拠となる情報が増えてきたためである。

(予想 1) から始まり(予想 2)を経て(予想 3)に至る間に、「14g 以下」と予想した児童の減少が目立つ。これは、実験が進み予想値以上食塩が溶けたグループが増えたために、予想を変えざるを得ない状況が生まれたことが要因であろう。

対照的に、「22g 以上」を予想した児童が(予想 3)の段階でも 25%であったことは、「さらに時間をかければもっと溶けるのではないか」といった考えが作用しているのではないかと考えられる。

以上のような傾向は、【研究授業 1】、【研究授業 2】それぞれの特徴として共通している。このことから、【研究授業 2】の実践結果からも、本実践によって、「実験の経過」や「友だちの予想」に影響を受けなが

ら、児童は自らの予想を変えていったことが示唆されたのである。

#### d. 自らのメタ言語を耳にする児童

以下に抽出した児童の発言記録は、各児童の思考が変容するきっかけを示したものである。そのきっかけと思われる部分に下線を施してある。この発言を受け、その児童の思考の変容の根拠を自覚させるための教師の試みを T1~5 で表している。このような根拠の抽出作業を教師が意図的に、かつ積極的に行うことによって、児童に思考が変容する根拠をより明確に意識させ

(表 4-2-2) 児童の立てた予想の推移

	予想 1		予想 2		予想 3	
	人数 (人)	割合 (%)	人数 (人)	割合 (%)	人数 (人)	割合 (%)
14g 以下	81	32.1	61	24.2	18	7.1
18g±3g	62	24.6	99	39.3	168	66.7
22g 以上	92	36.5	92	36.5	65	25.8
わからない	17	6.7	0	0.0	1	0.4

ることができる。

S1: 3g で白くにごったから、90g は溶けないかなと思いました。

T1: 白くにごったことが、考えを変えた理由だね。

S2: 3g 入ただけで結構時間がかかっているので、80 (g) は時間的に無理！

T2: 6 時間 (6 校時) 終わっちゃうまでにできないよね。

S3: 5g をやっているときに過ぎたから、まだ増えるかなと・・・

T3: S3 さんは予想 (した重さ) がもう過ぎちゃったのか、こういう (予想の) 変わり方もあるね。

S4: 5g を予想してたんだけど、実験ですぐに簡単にぱっと溶けたので、やっぱり 15g から 20g の真ん中で 18g。

T4: こういうふうに、確かめるうちに変わってくるよね、とってもいいことです。

S5: ほかの班の結果を見ると終わっているところもあるので、(予想の値を) 増やしました。

T5: なるほど、他の班を見て、という情報も大事だからね。

児童 S1~4 の発言に下線を施した部分は、思考の変容の根拠としての「もの」が作用している例である。これらの意識化によって、思考の変容がさまざまな根拠によって起きていることを児童に印象付けることができる。そのために、T1~4 の教師の試みにおいては、思考の変容を促した実験などの現象への気づきや状況、すなわち「もの」が作用していることを、教師はあらためて児童自身に問い返している。

これらと比較して、S5 の「ほかの班の結果を見ると」という発言は、「他者」が思考の変容の根拠として作用している例である。もし、指導者が児童の「他者」を意識した発言を「思考の変容の契機」としてとらえることができれば、児童が考えを修正した根拠を「他者」に見出したことを明らかにするように導くことができる。たとえば、T5「他の班を見て、という情報も大事だからね。」という試みにおいて指導者の発言は、その児童がとった行動や発言の価値を見出し、意義づけることにつながる。これらの内容は、児童のメタ言語に他ならない。教師の発言を通して、児童は結果的に自らのメタ言語を耳にしていることになるのである。

#### e. 飽和現象のモデル化への契機

次に示す児童 S6 の発言は、実験経過をもとに飽和現象に対するその児童なりの考察を述べている。その考察が下線を施した部分である。

S6: えっと、1~3g くらいだったら、結構な秒数でとけるけど、15g とかだったら食塩にふくまれている成分が水の全体にいきわたっていって、塩があんまりかき混ぜても溶けない・・・。

T6: 水の中の成分、水の中に食塩の成分が全部に行きわたっていって入るすき間がない。これについて、みんな納得できます？

この児童 S6 の発言における下線部分は、単に観察

された事実そのままを表現したものではなく、目の前の事実から「飽和」のイメージをその児童なりの言葉で表わそうとしているものと見なすことができる。つまり、この発言内容は「自分の考えについて語る言葉」である。児童 S6 は、自分が実験を通して体感した「塩があんまりかき混ぜても溶けない」という事実から、「成分が水の全体にいきわたっていく」という、観察からは直接確認できない自分なりの推論を行なっているのである。

この発言に対して、指導者は「水の中の成分、水の中に食塩の成分が全部に行きわたっていって入るすき間がない」と当該児童の「考えについて語る言葉」の使用を肯定的に受け止め、「これについて、みんな納得できます？」と学級全体へと投げかけている。このような教師の評価を意図的に増やすことによって、「自分の考えについて語る言葉」を意識的に使おうとする態度を児童に養うことができるのである。さらに、教師は、児童 S6 の「全体にいきわたる」という言葉を、「入るすき間がない」に置き換えたうえで、他の児童にも飽和現象の粒子モデルが想起できるように、働きかけている。

この言葉を受けた他の児童は、「入るすき間がない」という状態をさまざまなものになぞらえて表現した。ある児童は、ビーカーの中に升目を書きこみ、できた部屋一つ一つに食塩と見立てた○を一つずつ入れていった。何も書きこまれていない部屋がある間は「食塩が水に溶けている状態」をあらわしている。この児童は、全ての部屋に○が書きこまれた状態が「飽和」であると見立てているのである。さらに、別の児童は「飽和」の状態を「満員になってしまったエレベーター」と表現した。エレベーターの定員を「食塩の飽和量」に見立てたのである。

このようなさまざまな現象に対する見立てをおこなったり、その見立ての妥当性を検討したりする活動は、現象を理解するための助けとなるだけでなく、児童の思考の自覚化を促すのである。また、初等教育での理科におけるこのような粒子のイメージ化については、中等教育での理科以降につながる粒子の一般化への素地を形成するうえで重要な役割を果たすはずである。

## V. 今後の展開への示唆

本研究では、日常的な教師の教授活動への導入のために、簡便かつ即時的に児童の思考の変容とその根拠を自覚化させる手法を目的とした。この点については、児童の発言等から一定の成果を得ることができた。また、このような即時的な思考過程の明示は、通常の授業において対応すべき指導者自身が児童を把握するためにも有効であった。

具体的には、児童の実験活動中、グラフや表の作成過程を児童自身が確認できるような環境を整えておくことによって、予想の変容を自己の思考の変容として児童自身が知ることができたのである。これは同時に、指導者の立場からすれば、教授過程において、随時児童の思考の変容を把握できることを意味している。さらに、グラフや表の作成過程を明示することによって、児童自身の思考とその児童をとりまく他者の思考までも指導者が把握できるのである。

最後に、本実践は小学校で本格実施を迎えた新学習指導要領における理科の目標に見られる「見通しをもって観察、実験をおこなう」に対応する具体的な実践でもあることを指摘しておく。すなわち、ある時点における予想は、その時点における見通しによって立てられる。その見通しはそれまでの観察にもとづいて得られるはずである。このように、観察・見通し・予想三者の関係をとらえると、見通しをもった実験をおこなうという観点から見て、通常おこなわれてきた授業展開のような、予想の機会が1回のみでは十分とは言えないことがわかる。なぜなら、最初の予想は、これら三者の関係が成立しえないままに宣言される場合がほとんどだからである。言い換えれば、予想の機会は児童に複数回保証されなければ「見通しをもった実験」はおこなえないのである。

今後は、本研究の成果をふまえ、本単元以外の単元における自己の思考変容の意識化を図る手法の開発が目指されるべきであろう。本研究の基本的な理念である「思考の変容に自ら気づく手法の開発」に従って、各単元にふさわしい手法が開発されれば、児童のメタ認知能力の育成が可能になると同時に、自己の思考の変容に自ら気づくことを習慣化させることが可能になるのである。

## 引用文献

- 平澤林太郎, 久保田善彦, 鈴木栄幸, 舟生日出男, 加藤浩: 二次元マトリックスによる仮説の外化と操作に関する研究—小学校 6 年生「水溶液の性質」の実践から, 理科教育学研究, 日本理科教育学会, 49(2), 59-65, 2008
- 堀哲夫: 一枚ポートフォリオ評価 理科, 日本標準, 2004
- 加藤尚裕: メタ認知ツールとしてのコンフリクトシートの利用に関する試み, 理科教育学研究, 日本理科教育学会, 48(3), 45-55, 2008.
- 木下博義, 松浦拓也, 角屋重樹: メタ認知に対する教師の意識と実態に関する基礎的研究, 日本教科教育学会誌, 日本教科教育学会, 28(3), 83-89, 2005.
- 久保田善彦, 鈴木栄幸, 舟生日出男, 加藤浩, 西川純, 戸北凱惟: 創発的分業支援システムによる教室内のコミュニティの変容と科学的実践—6 年生「電磁石のはたらき」の実践から—, 理科教育学研究, 日本理科教育学会, 46(2), 11-19, 2006.
- 楠瀬弘哲, 国沢亜矢, 中城満, 北村真一: 友だちの考えを探る—反本質主義的「自」・「他」概念に基づくメタ認知能力の育成—, 科学教育研究, 27(3), 194-202, 2003.
- Lawson, M.J.: Being Executive about Metacognition, John R. Kirby (Ed.), *COGNITIVE STRATEGIES AND EDUCATIONAL PERFORMANCE*, (89-109), Orland: ACADEMIC PRESS, INC. 1984.
- 水落芳明, 久保田善彦, 西川純: 理科実験場面における CSCL による評価規準の共有化, 理科教育研究, 日本理科教育学会, 48(2), 83-93, 2007.
- 文部科学省: 小学校学習指導要領解説理科編, 7-13, 2008.
- Nakajo, M.: Metacognition that pupils realize their changes in thought. *EASE2011 Conference Proceedings*, 158, 2011.
- 中城満, 楠瀬弘哲, 川崎謙: 自己の思考の変

- 遷に対する気づきを促す手法, 日本科学教育学会年会論文集 34, 315-316, 2010.
- 中城満, 楠瀬弘哲, 北村真一, 小島ふみ子, 川崎謙: 理科授業におけるメタ言語使用の意識化を図る手法の開発—相互モニタリングの手法を用いて—, 日本科学教育学会年会論文集 31, 457-458, 2007.
- 中城満, 楠瀬弘哲, 北村真一, 小島ふみ子, 川崎謙: 理科授業におけるメタ言語使用の意識化を図る手法の開発Ⅱ—話し合いのモニタリングの手法を用いて—, 日本科学教育学会年会論文集 33, 279-280, 2009.
- 中城満, 楠瀬弘哲, 国沢亜矢, 川崎謙: 思考の変遷に自ら気づく理科授業の創造, 日本理科教育学会全国大会発表論文集 9, 271, 2011.
- 自然科学研究機構国立天文台: 理科年表平成 23 年, 506, 2010.
- 山口悦司, 稲垣成哲, 舟生日出男, 疋田直子: 再構成型コンセプトマップ作成ソフトウェアに関する実践的研究: 小学校の授業における利用可能性の検討, 理科教育学研究, 日本理科教育学会, 43(2), 15-28, 2002

## 第Ⅲ章 科学研究成果の教材化とメタ認知能力育成をめざした手法の開発

### 1. 要旨

本介入授業は、2つの目的で計画、実施された。1つは科学教育研究の理科授業活用における教材化を目的としている。もう一つは、現在、他の領域で検証しているメタ認知能力育成のための手法について、小学校第6学年理科「生物と環境」においても活用可能かどうかを検証することを目的としている。

これらの介入授業研究を通して、地球温暖化研究における新しい研究成果が対象となっている単元においても教材化が可能であり、また、この教材を利用した理科授業において、メタ認知能力育成のための手法の一つを活用できたことが確かめられた。

### 2. 序論

#### 2-1. 教材化した科学研究成果の概要

##### 1) 介入授業「陸水産と外洋産、どちらのアメンボが温度変化に強いかな？」教材化のための科学研究成果

本教材は、本論文第Ⅰ章 基礎科学研究における科学研究成果に基づき教材化している。また、白木ら（2012）は、「外洋棲ウミアメンボ類の高温耐性に比べ、淡水産ウミアメンボ

類であるシマアメンボの耐性をはるかに高い (Harada, Siraki et al., unpublished)」を基礎研究として新教材を開発し、授業活用の可能性を見出している。それによれば、この基礎研究に基づいた教材化によって、シマアメンボの温度耐性に関する新たな認識を得られたことが確かめられた。これにより、この教材の理科授業への活用が可能であることが示された。また、白木らは、研究授業において、生きたシマアメンボを提示するなどして生の教材を使って授業を実施した学級と写真などの間接的な情報を利用して授業を実施した学級を設けて比較検討している。それによれば、後者のほうがよく授業内容を理解しているということを明らかにしている。

これらの知見に基づき、本研究における介入授業においても、白木らが開発した教材を活用して、介入授業「どちらのアメンボが温度変化に強いかな？」の教材化および研究授業を実施した。これらの科学研究が教材化において一定の成果を挙げているということ、児童にとってアメンボは身近な生物であるということ、授業者自身が基礎科学研究における研究航海に参加していることなどが、内容選定の主な理由である。

## 2) 介入授業「身近に地球温暖化の影響はあるのかな？」教材化のための科学研究

### 成果

地球温暖化にかかわる生物の分布拡大等に関する研究は現在盛んに行われている。岩槻ら (2008), 浅島ら編 (2010), などである。これらの中から、科学コミュニ



ニケーションのための協働ルールに基づき、吉尾ら（2010）による「気候温暖化とナガサキアゲハの分布拡大」を教材化のための基礎科学研究とした。これによれば、ナガサキアゲハやツマグロヒョウモンが分布を北方あるいは東方へと拡大しているが、本種の休眠性や耐寒性などの生理的な性質は変化していないことを前提として、分布拡大には気候温暖化に伴う冬季の気温の上昇が強く影響していると推定される、としている。

この科学研究成果における教材としての意義は次のようなものがあると考える。まず、介入授業の対象となる学校が高知市に所在しており、ナガサキアゲハはごく普通に高知市で見られる種であるということが挙げられる。また、ナガサキアゲハの休眠性や耐寒性を検証し、その結果をもとに本種の分布北上と気温温暖化に伴う冬季の気温上昇を推定している点において、消去法的な科学的アプローチを採用している点が挙げられる。地球温暖化における影響が身近な生物で検証できるという親近感の本教材活用の重要な点であるが、小学校第6学年において設定されている「推論する力」の育成のために、このような科学的アプローチの手法を体験的に学ぶことができるという意味でこの教材の価値は高い。

## 2-2. 学習指導要領との関連

以上のような、2つの科学研究成果を教材化するにあたっては、すでに利用されて

いる教育課程，そして，介入授業の行われる小学校における年間指導計画の一部として組み入れることを前提にした。したがって，本教材が最も適している単元は第6学年「生物と環境」であり，実施時期は1月から2月にかけてであると想定した。

小学校学習指導要領理科編（文部科学省；2008）における第6学年「生物と環境」の目標は，以下のとおりである。本教材においては，特に「ア 生物は，水及び空気を通して周囲の環境とかかわって生きていること。」が関連している。

### 「生物と環境」

動物や植物の生活を観察したり，資料を活用したりして調べ，生物と環境とのかかわりについての考えをもつことができるようにする。

ア 生物は，水及び空気を通して周囲の環境とかかわって生きていること。

イ 生物の間には，食う食われるという関係があること

また，上記単元の目標が示された後に，（内容の取り扱い）として，以下の補足説明が添えられている。

ここでは，生物と環境とのかかわりについて興味・関心をもって追究する活動を通して，生物と環境とのかかわりを推論する能力を育てるとともに，それらについての理解を図り，環境を保全する態度を育て，生物と環境のかかわりについての見方や考え方をもちることができるようにすることがねらいである。

(中略)

ここでの指導に当たっては、生物と環境のかかわりについて、観察、実験が行いにくいので、児童の理解の充実を図るために、映像や模型などを活用することが考えられる。

これらの表記から、「生物と環境のかかわり」という、抽象的な概念を含む内容できるだけ具体的な事例や資料を用いて授業活用することが推薦されている。しかし、このような場合に活用される資料は主に教科書であり、一般的な内容であることが多い。また、図鑑や参考書などにおいても具体性を確保することは難しい。そういう点において、本教材の具体性、近親性は「生物と環境」の単元における教材としての価値をより一層高

めている。

以上のような考えから、2つの科学研究成果を組み合わせ、表 4-3-1 のように3時間扱いの授業計画を設定した。

**表 4-3-1 「生物と環境」指導計画**

(全3時間)

第1時	<u>どちらのアメンボが温度変化に強いかな？</u> ウミアメンボとシマアメンボの温度耐性を比べよう
第2時	<u>身近に地球温暖化の影響はあるのかな？</u> ナガサキアゲハの分布が変化している理由を考えよう
第3時	<u>ヒトはどのようにして環境の中で生きていくのだろうか？</u> 環境問題に目を向けよう

### 3. 研究方法と研究協力者

#### 3-1. メタ認知能力育成のための手法：“マグネットを用いたメタ認知促進法”

本介入授業において、児童の思考がどのように変容するかについての明示の方法として、マグネットカードによるマトリックス表への掲示

写真 4-3-1 マグネットカードによるマトリックス表への掲示



マトリックス表への掲示（写真 4-3-1）を採用した。

本時の問題設定に対する 2 つの観点（例えば「シマアメンボのほうが温度変化に強い」「ウミアメンボのほうが温度変化に強い」といった立場を表す）を縦軸、「最初の考え」と「話し合い後（または実験後）の考え」を横軸にとるマトリックス表を黒板に提示する。そして、児童には自分の出席番号が書かれた 2 色のマグネットカードを配布する。これらを利用して、児童自身の思考の表明と思考の変化の明示、およびお互いの考えを把握させた。

#### 3-2. 授業記録の収集と分析

##### 1) 介入授業の実施と録画録音について

介入授業は、表 3-3-2 に示した日時、対象、内容で実施された。授業風景は固定されたビデオカメラで撮影し、介入授業の進行過程を把握した。児童の発言および指導者の発言等は IC レコーダーにて録音された。IC レコーダーは教師用に教卓に 1 つ、児童用に 9 つある机にグループに 1 つ設置した。ビデオカメラ、IC レコーダーは児童の発言等にてできるだけ影響を与えないようにするため、授業開始 5 分前には録音録画を開始しておいた。以上のような方法で授業を記録し、授業プロットを作成した。さらに、全ての授業

**表 4-3-2 介入授業の日時、対象、内容**

指導計画	6 年 1 組 (仮)	6 年 2 組 (仮)	6 年 3 組 (仮)	撮影等
第 1 時	2013 年 2 月 20 日 第 3 校時	2013 年 2 月 19 日 第 4 校時	2013 年 2 月 19 日 第 2 校時	映像・ 音声
第 2 時	2013 年 2 月 22 日 第 3 校時	2013 年 2 月 26 日 第 4 校時	2013 年 2 月 26 日 第 2 校時	映像・ 音声
第 3 時	2013 年 2 月 27 日 第 3 校時	2013 年 2 月 27 日 第 6 校時	2013 年 2 月 27 日 第 2 校時	なし

における授業後の感想を自由形式で記述させ、児童ごとに回収した。

介入授業において使用した学習材は、第 1 時間目の「どちらのアメンボが温度変化に強いかな？」においては、資料 4-3-1 を、第 2 時間目の「身近に地球温暖化の影響はあるのかな？」においては、資料 4-3-2 をそれぞれ使用した。介入授業を行った 3 クラスのうち 6 年 1 組と 2 組には“マグネットによるメタ認知法”を用いた“実験区”とし、3 組はこれを用いない“対照区”とした。

## 2) 質問紙調査

表 4-3-2 における日程で介入授業を実施する 1 ヶ月前、介入授業実施直後、実施後 1 ヶ

月時点で、資料 4-3-3 に示す内容の質問紙に記入させた。内容は、本教材の学習内容に関すること、一般的な理科学習に関することである。

質問紙調査においては、主に本教材が理科の教育課程に沿った学習のために有効利用できたかどうかを検討した。具体的には、学習後および学習の 1 ヶ月後において、学習した内容や本授業の目標に沿った内容を理解および意識しているかどうかを測定した。これらについての質問紙における関連項目としては、質問番号④-1 のアメンボに関する問い、質問番号⑦のナガサキアゲハに関する問い、質問番号⑤の地球温暖化に関する問いである。それぞれ質問番号④-1、質問番号⑦は学習内容に関する定着度を、質問番号⑤については、「地球温暖化への関心を高める」という本単元の目標への達成度を測るためのものである。

### 3) 収集された授業記録

収集された授業記録は以下のとおりである。

- ①ビデオ映像と IC レコーダーによる授業プロット記録（教師の発問と児童の発言）
- ②自由形式による授業後の児童の感想文（思考の変容の意識化について）
- ③各時間に示されたマグネットカードとマトリックス表
- ④介入授業をはさんで実施された質問紙への回答

①②および③の資料における発言内容や記述内容から、主に思考の変容への意識化が促されたのかについて検討する、特に②においては、授業終了後の感想文への記述にど

の程度自らの思考の変容が含まれているかを検討することで、授業過程で行われた思考の変容についての自覚がどの程度保持され残っているかを測ることができる。また、②および④においては、感想文への記述内容と質問紙への回答内容を検討することで学習目標の達成度について推測することができる。この達成度がこの教材の有効性について判断する指標となる。

## **4. 結果**

### **4-1. 介入授業の効果とその定着**

3クラス全体をまとめたデータによれば、「理科が好きですか」という問いに対し、授業後“より好き”な方向に有意に意識変化した(Wilcoxon test:  $z=-2.6$ ,  $p=0.009$ )、その意識変化は1か月後まで維持されなかった(Wilcoxon test:  $z=-1.1$ ,  $p=0.283$ )。

表4-3-3 学習前後における理科の好感度

		学習前	学習直後	学習後1ヶ月
1組 (仮)	とても好き	17	20	17
	好き	12	11	14
	あまり	1	3	1
	きらい	1	1	2
	合計	31	35	34
2組 (仮)	とても好き	6	7	4
	好き	13	17	19
	あまり	12	6	7
	きらい	3	5	3
	合計	34	35	33
3組 (仮)	とても好き	10	17	16
	好き	15	13	15
	あまり	4	3	3
	きらい	0	0	0
	合計	29	33	34
全体	とても好き	33	44	37
	好き	40	41	48
	あまり	17	12	11
	きらい	4	6	5
	合計	94	103	101
全体	とても好き +好き	73	85	85
	あまり+き らい	21	18	16
	合計	94	103	101

表4-3-4は，“陸産と外洋産のどちらのウミアメンボが温度変化に強い？”に対する

“正答”児童数について，授業実施前後および実施一カ月後で比較したものである。



質問項目④-1は、以下の通りである。結果は表4-3-4に示す。

- ④-1 アメンボの仲間は世界で約 600 種類ほどいます。そして、海にもすんでいます。
- ウミアメンボ類の中で、日本の陸水（溪流：けいりゅう、など）にすんでいるシマアメンボという仲間と、熱帯の外洋にすんでいるウミアメンボ類では、どちらのアメンボが温度変化に強いでしょうか。温度変化に強いと思う方を選んでください。
- （「温度変化に強い」とは、例えば、水温をあげていきどれくらいまでたえられるか、ということです）
- （選択肢） 1. 陸水産のウミアメンボ類 2. 熱帯外洋のウミアメンボ類 3. 同じ位

**表4-3-4 “陸産と外洋産のどちらのウミアメンボが温度変化に強い？”に対する  
“正答” 児童数の介入授業前後および1か月後の比較**

		学習前	学習直後	学習後1ヶ月
1組 (仮)	陸水	13	24	22
	外洋	10	10	5
	同じ	6	1	7
	合計	29	35	34
2組 (仮)	陸水	8	24	24
	外洋	17	9	5
	同じ	8	2	4
	合計	33	35	33
3組 (仮)	陸水	10	25	27
	外洋	17	4	5
	同じ	1	4	2
	合計	28	33	34
全体	陸水	31	73	73
	外洋	44	23	15
	同じ	15	7	13
	合計	90	103	101

3クラス全体をまとめたデータによれば，“陸産のウミアメンボが外洋産より温度変化に強い”という“正答”児童数は介入授業後有意に増加し(Wilcoxon test:  $z=-4.8$ ,  $p<0.001$ ), その増加は有意に維持された(Wilcoxon test:  $z=-4.8$ ,  $p<0.001$ )。全体としては、学習直後、学習後1ヶ月において、④-1の解答である「1. 陸水産のウミアメンボ類」を選択する児童が増えている。ただ、「陸水産アメンボのほうが温度変化への耐性が強い」ということについては、「外洋温度環境より陸水温度環境の方が圧倒的にウミアメンボ類にとっての環境温度変化が大きい」ことから容易に“正答”が導かれる可能性があるとは言え、環境サンプリング調査およびそれぞれの種における温度麻痺実験の結果によって得られたサンプルデータから母集団を推定したものであり、科学研究において完全に証明されたものではない。したがって、介入授業においても、温度麻痺実験の結果グラフを用いて検討したが、科学研究同様に「温度耐性が強いと考えられる」という結論付けにとどまった。これらのあいまいな結論付けが学習後の調査で「陸水産アメンボ」以外の選択肢を選んだ原因になっているのではないかと考える。ただ、これらの点においても、客観性を高め、疑いのある点も考慮に入れるという科学的態度そのものであり、児童がこれらの科学的営みの一端にふれる機会になったのではないかと考える。

表4-3-5 「ナガサキアゲハの名前を知っていますか」への回答の介入授業前後及び授業1か月後比較

		学習前	学習直後	学習後1ヶ月
1組 (仮)	知っている	7	32	28
	知らない	24	3	5
	合計	31	35	33
2組 (仮)	知っている	5	32	31
	知らない	29	2	1
	合計	34	34	32
3組 (仮)	知っている	7	30	33
	知らない	22	3	1
	合計	29	33	34
全体	知っている	19	94	92
	知らない	75	8	7
	合計	94	102	99

表4-3-5は「ナガサキアゲハの名前を知っていますか」への回答の介入授業前後及び授業1か月後比較“ナガサキアゲハの名前を知っていますか”に対し当然の事とは言え、介入授業後に“知っている”と答えた児童数が有意に増加した(Wilcoxon test:  $z=-8.1$ ,  $p<0.001$ )。この増加は1か月後も有意に維持されていた(Wilcoxon test:  $z=-8.1$ ,  $p<0.001$ )。ナガサキアゲハに関する質問については、データから推論する必要のない問題となっているためか、Wilcoxon検定における高いZ値(-8.1)からも、学習後の定着度が高かったと言える。さらに、それだけでなく、これらの定着度の高さと本教材の有効性は学習後における児童の以下のような記述からもうかがえる。

今日は、温暖化の影響は私たちの身の回りにもあるのか勉強しました。ナガサキアゲハの分布の広がり、最初は温暖化だけが原因だと思っていたけど、いろいろな意見を聞いたら、食べものとかも関係あるのかな～と思いました。しかし、結果は、今のところ温暖化が原因だということがわかりました。

ナガサキアゲハの分布の広がり、温暖化も含めたさまざまな可能性を含めて考えようとしていることが読み取れる。これは、表4-3-6に示す環境問題に関する関心の度合いにも関連付けることができる。それによれば、学習直後に「環境問題に関心が強くある、ある」という選択肢を選んだ児童が学習後1ヶ月における結果でも持続していることにも現れている。本介入授業において自由形式で記述された児童の感想において、上記のように授業内容と温暖化の問題を関連付けて述べられていたものは、回収できた47名中35名に上った。明確な因果関係が証明されたわけではないにせよ、身近に存在する生き物へまで、温暖化の影響が及んでいる可能性を実感できたからこそ、授業後の感想への記述まで記憶が残ったのでは内科と考える。また、授業プロットにおいても、このような温暖化の原因を多角的に検討しようとする意見はどの学級においても多数見られた。

表4-3-6 「環境問題に興味がありますか」への回答の介入授業前後及び授業1か月後比較

		学習前	学習直後	学習後1ヶ月
1組 (仮)	強く有	6	12	14
	有	20	18	16
	あまり	4	4	2
	全く	1	1	2
	合計	31	35	34
2組 (仮)	強く有	6	8	6
	有	15	13	16
	あまり	9	10	9
	全く	4	3	2
	合計	34	34	33
3組 (仮)	強く有	10	18	19
	有	12	12	13
	あまり	6	3	2
	全く	1	0	0
	合計	29	33	34
全体	強く有	22	38	39
	有	47	43	45
	あまり	19	17	13
	全く	6	4	4
	合計	94	102	101
全体	強く有＋有	69	81	84
	あまり＋全く	25	21	17
	合計	94	102	101

表4-3-6は「環境問題に興味がありますか」への回答の介入授業前後及び授業1か月後の比較についての結果である。3時間にわたる介入授業を受けて児童が「環境問題に興味がありますか」という問いに対し、より興味を持っている方向への回答行動の有意な変化

が授業直後に認められ(Wilcoxon test:  $z=-2.5$ ,  $p=0.012$ ), この変化は1か月後も有意に維持されていた(Wilcoxon test:  $z=-3.0$ ,  $p=0.002$ )。動物とその環境に関して学んだ本介入授業が、環境問題への関心を促し定着させる一定の効果があるかも知れない。

#### 4-2. 介入授業が「昆虫」に対する嗜好性・興味に及ぼす影響における男女差

表4-3-7「昆虫が好きですか」への回答の授業前後及び1か月後の比較

		好き	好き $\geq$ 嫌い	好き $\leq$ 嫌い	嫌い	合計
女子	事前	3	7	17	22	49
	直後	2	7	22	19	50
	1か月後	1	10	13	26	50
男子	事前	14	10	14	6	44
	直後	18	15	13	7	53
	1か月後	15	18	12	6	51

ウミアメンボ類とナガサキアゲハを題材にした本介入授業を受け、昆虫が好きかどうかについて意識の変化は男女共に変化は起こらなかった(女子: Wilcoxon test:  $z=-1.4$ ,  $p=0.166$ ; 男子,  $z=-0.3$ ,  $p=0.796$ )。また、本介入授業を受け、昆虫に興味を持つ方向への意識の変化は男子でのみ有意に見られ(Wilcoxon test:  $z=-2.8$ ,  $p=0.005$ )だが、女子では意識の変化は起こらなかった( $z=-1.1$ ,  $p=0.275$ )。男子に於いてみられたそのような意識の変化は1か月後も維持された(Wilcoxon test:  $z=-2.3$ ,  $p=0.023$ )。この結果は女子児童に対し昆虫教材をどのように有効に理科教育で用いていくのかについて課題を突

き付けている。

表4-3-8 「昆虫に興味がありますか」への回答の授業前後及び1か月後の比較

		好き	好き $\geq$ 嫌い	好き $\leq$ 嫌い	嫌い	合計
女子	事前	4	7	18	20	49
	直後	3	17	17	13	50
	1ヵ月後	3	15	16	16	50
男子	事前	11	17	9	6	43
	直後	19	16	12	6	53
	1ヵ月後	16	18	10	7	51

#### 4-3. “マグネットを用いたメタ認知促進法”を用いた介入授業の効果

##### 1) マグネットカード掲示行動の変容

本介入授業において採用したマグネットカードによるマトリックス表への掲示による

手法によって得られた児童の思考の変容は表3-3-6、表3-3-7のとおりである。

表 4-3-9 「どっちのアメンボが温度変化に強い？」におけるマトリックス表

1 組

シマアメンボ		ウミアメンボ
2,3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, <span style="border: 1px solid black;">18</span> , 20,21,22, 24, 25, 26,28, 29, 30, 31, 32,33, 34, 35, 36,	<span style="border: 1px solid black;">1</span> <span style="border: 1px solid black;">16</span> <span style="border: 1px solid black;">4</span>	14 <span style="border: 1px solid black;">23</span>
19		
<span style="border: 1px solid black;">1</span> , 2, 3, 5 6, 7, 8, 9,12, 15, <span style="border: 1px solid black;">16</span> , 20,21,22, 24,25,26, 28,29, 30, 31,32.33.34,35.36,	1 <span style="border: 1px solid black;">23</span>	<span style="border: 1px solid black;">4</span> ,14, <span style="border: 1px solid black;">18</span>

## 2 組

シマアメンボ		ウミアメンボ
1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11,12, 15,16, 17, 18, 19, 20,21, 22,23,24, 25,26,27, 28, 29, 30, 31, 32,33, 34,35,	4	
1, 3, ,6,7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25,26,27,28,29 30, 31, 32,33, 34, 35,	4 5	

## 3 組

シマアメンボ		ウミアメンボ
6, 10,12,18, 30,32	26	1, 2, 3, 4,7, 11, 13,14, 15, 16, 17, 19, 20,21,22,23,24,25,27,28,29, 31,33,34,35,
		8
1, 2, 3, 4,7, 8, 11,12,13, 14, 16, 17, 18,19, 20,21,22, 23,24, 25, 26, 27,28, 29,30, 31, 32,33, 34, 35,		15

表 4-3-10 「身近に地球温暖化の影響はあるのかな？」におけるマトリックス表

## 1 組

温暖化が原因	温暖化以外が原因	いろいろな原因
1, 2, 3,4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14,15, 16, 17, 19, 20,21, 22,23,24,25,27,28,29, 30, 31, 32, 34, 35,	18 (適応) (植物も北上) (天敵)	26,33,
15,32	18	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8,9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17,19, 20, 21,22,23,24,25,26,27,28,29,30, 31, 33, 34,35,



## 2 組

温暖化が原因	温暖化以外が原因	いろいろな原因
2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36,		1, 4, 7, 23 (えさ) (進化)
2, 3, 6, 9, 19,		1, 5, 7, 8, 11, 12, 15, 16, 14, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36,

## 3 組

温暖化が原因	温暖化以外が原因	いろいろな原因
1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35,	5 (天敵) (環境の悪化)	4, 33 (寒さに耐える)
1, 6, 7, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 20, 31, 32, 35,		2, 3, 4, 5, 8, 9, 12, 14, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 33, 34,

これらはすべて、児童自身の思考とその変容の表明である。さらに、友達の思考とその変容を同時に見ている。このような結果になった要因は、児童自身の判断によるものであったり、表明されているまわりの友達の動向であったりとさまざまであろう。しかしここで重要なのは、自らの意思で思考を変容させたのか友達の意見を採用して自分の考えを変更したのかということではなく、思考が変容した（またはしなかった）という自覚そのものである。その自覚がさまざまな学習場面で展開され、継続されることが重要なのである。

これらの自らの思考の変容は、学習後の感想によく表現されている。例えば、以下の  
ようなものである。

今日はウミアメンボ，シマアメンボでは温度変化がどちらが強いのか調べまし  
た。私は高温に強いウミアメンボがいいんじゃないかと思いました。でも，Mち  
ゃんが言った「体に適応している」という意見を聞いて，シマアメンボかなと思  
いました。結果，シマアメンボが強いと分かりました。

下線で示したように、この児童は「Mちゃん」という友達の意見を聞いて、自分の考  
えを変容させ、これを授業後まで維持し、学習後の感想に記述したのである。このよう  
な自覚に基づく言語活動を継続することによって、児童のメタ認知の応力は養われてい  
くのである。

## 2) “マグネットを用いたメタ認知促進法”の思考過程への影響

“マグネットを用いたメタ認知促進法”を用いた Class A, B (実験区) と  
用いなかった Class C (対照区) 間での“回答に至った思考過程”を記述した児童数の  
比較したところ、実験区のクラスの方が対照区クラスより、思考過程を記述した児童数が  
有意に多かった( $\chi^2$ -test: 「陸水産と外洋産のウミアメンボではどちらが温度変化に強  
い?」,  $\chi^2$ -value= 3.104, df=1, p=0.078; 「ナガサキアゲハの分布の広がり(北進)

は地球温暖化が原因だろうか？」， $\chi^2$ -value= 7.46, df=1, p=0.006)。更に，“思考過程において回答に至った根拠”を記述した児童数の比較したところ，実験区のクラスの方が対照区クラスより，“根拠”を記述した児童数が有意に多かった（ $\chi^2$ -test：「陸水産と外洋産のウミアメンボではどちらが温度変化に強い？」， $\chi^2$ -value= 6.067, df=1, p=0.014；「ナガサキアゲハの分布の広がり（北進）は地球温暖化が原因だろうか？」， $\chi^2$ -value= 16.181, df=1, p<0.001）。

本研究で用いた“マグネットを用いたメタ認知促進法”は他者の考えを認識することを通じて自らの科学的思考活動を促進する効果があると言えよう。

**表 4-3-11： “マグネットを用いたメタ認知促進法”を用いた Class A, B（実験区）と用いなかった Class C（対照区）間での“回答に至った思考過程”を記述した児童数の比較**

ウミアメンボ	児童数	考えの変容の記述
1 組（仮）（実験区）	21	11
2 組（仮）（実験区）	26	9
3 組（仮）（対照区）	20	4
$\chi^2$ -test: $\chi^2$ -value= 3.104, df=1, p=0.078		
ナガサキアゲハ	児童数	考えの変容の記述
1 組（仮）（実験区）	26	9
2 組（仮）（実験区）	—	（未回収）
3 組（仮）（対照区）	31	2
$\chi^2$ -test: $\chi^2$ -value= 7.46, df=1, p=0.006		

**表 4-3-12：“マグネットを用いたメタ認知促進法”を用いた Class A, B（実験区）と  
用いなかった Class C（対照区）間での“思考過程において回答に至った根拠”を記述  
した児童数の  
比較**

	児童数	考えの変容の記述（含根拠）
1 組（仮）（実験区）	21	6
2 組（仮）（実験区）	26	6
3 組（仮）（対照区）	20	1
$\chi^2$ -test: $\chi^2$ -value= 6.067, df=1, p=0.014;		
	児童数	考えの変容の記述（含根拠）
1 組（仮）（実験区）	26	9
2 組（仮）（実験区）	—	（未回収）
3 組（仮）（対照区）	31	0
$\chi^2$ -test: $\chi^2$ -value= 16.181, df=1, p<0.001		

## 5. 結語

以上のように、本教材は、第 6 学年理科における「生物と環境」の学習材として機能することが確かめられた。これは、本教材が身近な生物を対象とした研究成果であったこと、現代的環境問題を対象とした研究であったことなどが要因であると考えられる。

また“マグネットを用いたメタ認知促進法”である、マグネットカードによるマトリックス表への掲示についても、児童の思考変容の自覚を促すために効果的であったことが確かめられた。これは、本教材がマトリックスを構成するための二項対立的な問題場面を設定することができたことによるものであると考えられる。具体的には、第 1 時間目で言えば、「陸水産アメンボ」なのか「外洋性アメンボか」という対立項、第 2 時間目で言えば、

「温暖化が原因か」と「温暖化以外が原因か」という対立項が設定できることである。

理科教育に取り入れ教材化できる可能性のある科学研究成果はまだ多く存在する。一つでも多くの科学研究成果を教材化することで、より充実した理科授業が展開されるように今後も教材化を進めたい。

## 6. 引用文献

岩槻邦男，堂本暁子 編，「温暖化と生物多様性」築地書館，東京都

白木隆士（2012）「アメンボ類の高温耐性及び浸透圧耐性に関する小学校理科教材の開発とその教育的効果」

文部科学省（2008），「小学校学習指導要領理科編」，pp63-64，大日本図書，東京都

鷲谷いづみ，椿宜高，夏原由博，松田裕之，「地球環境と保全生物学 6」，岩波書店，東京都

吉尾政信，石井実（2010）「気候温暖化とナガサキアゲハの分布拡大」， pp54-71，

『地球温暖化と昆虫』， 全国農村教育協会， 東京都

(資料4-3-1)

## アメンボって どんな生きもの？



### ナミアメンボ(ナミ)

*Aquarius paludum paludum* (Fabricius 1794) = アメンボは半翅目アメンボ科昆虫であり、イギリスを含むヨーロッパ諸国・ロシア南部・イランなどの中東部・インド北部・タイ・ベトナム・中国・韓国・台湾・日本などアジア大陸の広い地域に分布している (Andersen, 1990)。生息地は、湖や池などの永続的な水面から水田や水溜りなど一時的な水面と多様である (Harada et al., 2000)。

### アメンボは昆虫の仲間か？

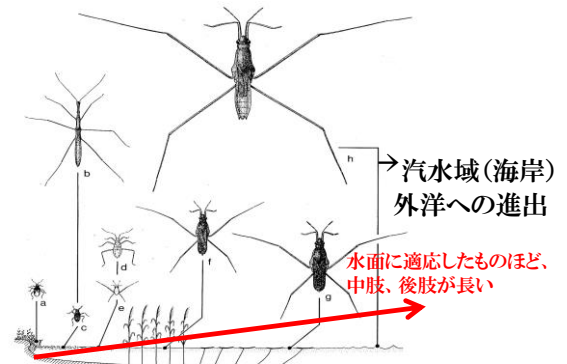
- 昆虫とは？(3年生の復習！)  
頭・胸・腹に分かれていること  
足は3対6本  
はねは4枚(2枚, 0枚もある)  
触角がある  
腹はいくつかの節  
「卵→幼虫→(さなぎ)→成虫」  
・  
・

### アメンボは「昆虫」の仲間だ！

- 「卵→幼虫→成虫」
- 消化液をえものに注入してとかす。それをストローのような口で吸い取る
- 水面に落ちた他の虫、死んで浮かんでいる魚などにむらがって食べる
- 足の先の毛で水面に浮かぶ(長いあしをオールのようにして進む)
- おぼれることがある

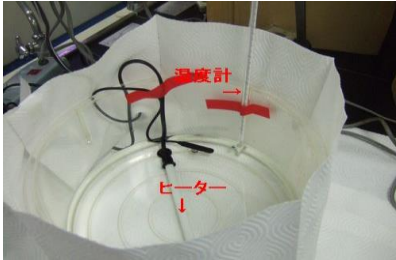
### アメンボの仲間は“水面のカメムシ”

- アメンボは昆虫の中でカメムシ目=半翅目に属する。
- 水面に進出した“カメムシ”はトアメンボ、カタビロアメンボなど。
- アメンボ類とマツモムシ類の共通の祖先  
中生代ジュラ紀初期(約180Ma-130Ma)  
の地層で化石として発見
- “アメンボ”の形をしたアメンボ科昆虫 (Gerridae)  
世界で562種確認。そのうち淡水産は494種。  
海水産は68種で、外洋に生息するのはわずかに5種



淡水産アメンボ類の水面への進出と体形の変化 (Andersen, 1982)

## 高温まひ実験



棒温度計を見ながら、ヒーターの手動オン-オフスイッチと注射器による10℃の冷水注入によって、プラスマイナス0.3度の精度で水表面温度を調節しながら1時間ごとに1℃ずつ表面水温を上げてゆき、高温麻痺の有無を観察する。

## どうしてそんな かわいそうなことをするの??

- 生息限界を知ることは環境の変化(温暖化など)を知ることと同じ。  
(それまでいなかった生き物が生きている・・・など)
- 害虫を駆除するため。(ヒトの生活のため)
- 生きものを守るため。  
(「守る」ためには「知る」ことが必要)

## どっちのアメンボが 温度変化に強い?

## シマアメンボとウミアメンボ

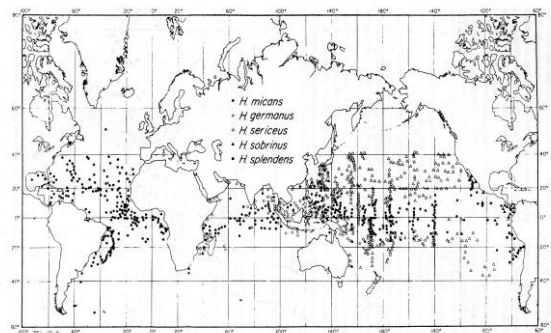
### シマアメンボ



#### シマアメンボ(シマ)

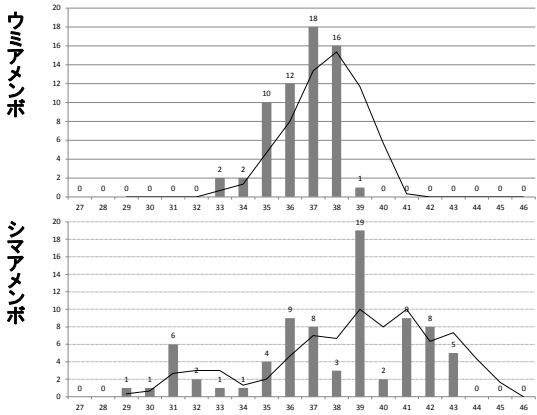
*Metrocoris histrio* (B. White, 1883)=シマアメンボは日本の陸水に棲む唯一のウミアメンボ亜科昆虫であり、本州、四国、九州に分布する。**内陸の山裾の河川や湧水などの年中安定した流れの緩やかな場所に**生息している (Wada & Harada, 2000)。

### ウミアメンボ



外洋棲ウミアメンボ5種の分布 (Andersen and Polhemus, 1976)

シマアメンボ	ウミアメンボ
川に生息(淡水)	外洋に生息(海水)
四季がある(温度変化大)	熱帯・亜熱帯(高温で一定)
雨, 樹木, 流れ	スコール, 台風, 日陰なし
鳥や他の生きもの(敵)	海鳥や魚など(敵)



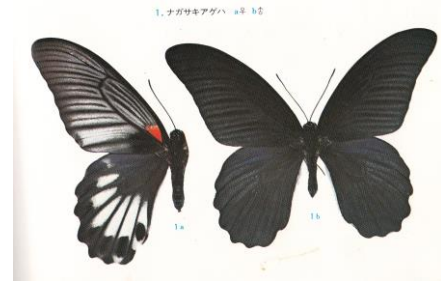
生きものは・・・  
環境に依存(しがっている)  
だけでなく  
環境に適応(乗り越える)  
しようとしている。



(資料4-3-2)

温暖化の影響は  
私たちの身の回りにも  
あるのだろうか？

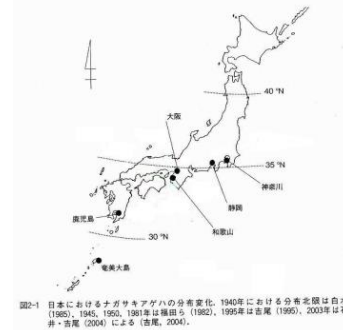
ナガサキアゲハはどんな昆虫？



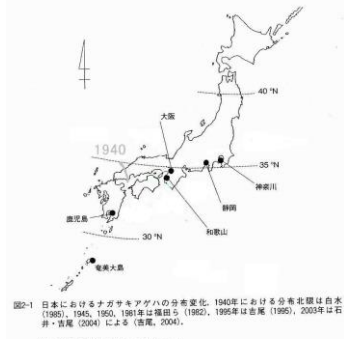
ナガサキアゲハはどんな昆虫？

- ・ マレーシア～台湾～日本
- ・ 日本は北の限界(北限)
- ・ さなぎで冬を越す(体が凍らない)
- ・ ミカン系の木の葉を食べる
- ・ 高知にとっても多い

ナガサキアゲハの分布の変化



ナガサキアゲハの分布の変化



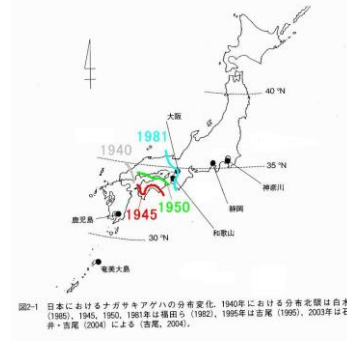
ナガサキアゲハの分布の変化



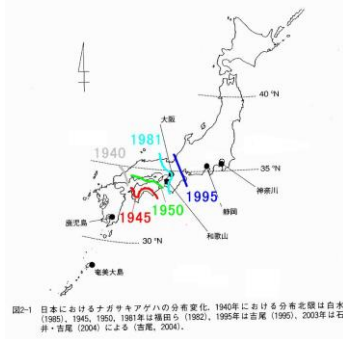
## ナガサキアゲハの分布の変化



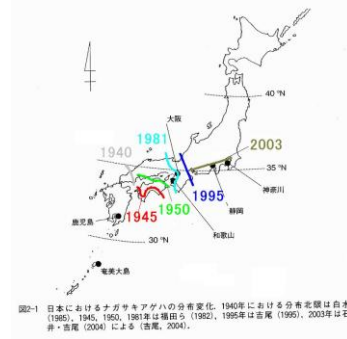
## ナガサキアゲハの分布の変化



## ナガサキアゲハの分布の変化



## ナガサキアゲハの分布の変化



ナガサキアゲハの分布の  
広が(北進)は  
地球温暖化が原因だろうか？

ア: 温暖化が原因だと思う。

イ: 温暖化以外に原因がある  
と思う。

ウ: 温暖化だけでなくいろいろな  
原因が影響している。

### 他に考えられる原因は？

- 昆虫自体の体が寒さに慣れてきた  
(耐えられるようになってきた)
- 食べるえさが北の方へ広がった
- 人がもちこんだ

### もう一度意思表示

### 実際の研究結果は・・・

- 奄美大島, 鹿児島, 和歌山, 大阪でとったナ  
ガサキアゲハの耐寒性は変わらなかった



- 昆虫自体の体が寒さに慣れてきた  
(耐えられるようになってきた)  
わけではなかった。

### 実際の研究結果は・・・

- 関東地方から北ではまだ見つけることができない



- 人がもちこんでも生き続けることはできる  
わけではなかった。

ということは・・・

やっぱり・・・

今のところ・・・

「温暖化」が原因としか

考えられない？！

他にどんなことが  
身の回りで起きているか  
(科学研究の成果)

- サクラの開花日(桜前線)が早くなった
- クマゼミの初鳴きが早くなった
- モンシロチョウが初めて見られる日がおそくなった(?)
- ホタルの初めて見られる日(ホタル前線)がばらばらになった

理科(科学)を学ぶ上で  
とても大切なこと

- ○○が原因ではない, ということがわかった。
- 「実験が失敗」ということは

理科(科学)にはない。(反証)

↓

「温暖化が原因だろう」という仮説の確からしさがより高まった。



2013, 02, 15, 高知新聞

ナゴヤサナエ  
稀少種  
北海道で確認



2013, 01, 30, 高知新聞

北半球  
積雪面積が  
10年で20%  
減少

(資料 4-3-3)

## 質問紙

(注意事項)

思ったことや考えたことをありのままに答えてください。番号がある問いには番号に○をつけてください。それ以外は文で答えてください。あなたの回答は研究目的以外に使用されません。また、これは試験ではありませんので、安心して答えてください。

( 年 組 番 )

①-1 あなたは「理科」という教科が好きですか。もっとも当てはまるものを選んでください。

1. 好き
2. どちらかというとき好き
3. どちらかというとき嫌い
4. 嫌い

①-2 上の質問で好き（または嫌い）と答えた（1～4）理由を書いてください。

②-1 「理科」について、『化学・物理分野』と『動植物・岩石・天体分野』では、どちらのほうが好きですか。

1. 『化学・物理分野』
2. どちらかと言えば、『化学・物理分野』
3. どちらかと言えば、『動植物・岩石・天体分野』
4. 『動植物・岩石・天体分野』

②-2 理科の学習内容について、あなたの最も好きな内容はどれですか。（ ）の中の学習内容を参考に、1つ選んでください。

1. 「物理」の内容

【5・6年生の内容でいえば…】

「ふりこのきまり」「てこのはたらき」など

2. 「化学」の内容

【5・6年生の内容でいえば…】

「ものの燃え方」「水溶液の性質」「もののとけかた」など

3. 「生物」の内容

【5・6年生の内容でいえば…】

「植物の養分と水の通り道」「メダカを育てよう」など

4. 「地学」の内容

【5・6年生の内容でいえば…】

「土地のつくり」「月と太陽」「流れる水のはたらき」など

③-1 あなたは昆虫が好きですか。

1. 好き
2. どちらかという人喜欢
3. どちらかという人喜欢
4. 嫌い

③-2 あなたは昆虫に興味がありますか。

1. 興味がある
2. どちらかと言えば興味がある。
3. どちらかと言えば興味がない。
4. 興味がない。

④-1 アメンボの仲間は世界で約 600 種類ほどいます。そして、海にもすんでいます。

ウミアメンボ類の中で、日本の陸水（溪流：けいりゅう、など）にすんでいるシマアメンボという仲間と、熱帯の外洋にすんでいるウミアメンボ類では、どちらのアメンボが温度変化に強いでしょうか。温度変化に強いと思う方を選んでください。

（「温度変化に強い」とは、例えば、水温をあげていきどれくらいまでたえられるか、ということです）

1. 陸水産のウミアメンボ類
2. 熱帯外洋のウミアメンボ類
3. 同じ位

④-2 ④-1 で答えを選んだ理由を書いてください。（わからない人は「わからない」と書いてください。）

⑤-1 あなたは「環境問題」に興味がありますか。

1. 興味がある
2. どちらかと言えば興味がある。
3. どちらかと言えば興味がない。
4. 興味がない。

⑤-2 あなたは「環境問題」と聞いて、どんなことばが思い浮かびますか。思いっくだけ書いてください。（わからない人は「わからない」と書いてください。）

⑥-1 あなたは、理科の学習で実験や観察をするとき、どちらの学習が自分にとってためになると思いますか。

1. 実物や本物の生きものなどを使って実験や観察をしながら学習する。
2. 実物や本物の生きものなどを使わずに、写真やビデオなどを使って学習する。

⑥-2 ⑥-1 で選んだ理由を書いてください。(わからない人は「わからない」と書いてください。)

⑦ ナガサキアゲハというチョウの名前を知っていますか。

1. 知っている。
2. 知らない。

⑧-1 ナガサキアゲハが見つかる地域の北の限界(「北限」と言います)が, じょじょに北の方に動いています。その主な原因は地球温暖化だと思いますか。

1. 地球温暖化が原因だと思う。
2. 地球温暖化は原因ではないと思う。
3. わからない。

⑧-2 ⑧-1 で2. と答えた人だけに聞きます。ナガサキアゲハの北限が北に広がっている現象で, 地球温暖化以外の原因と考えられることを下から選びましょう。また, それ以外にも思いつく人は, 「その他」に書きましょう。

1. 自分の体(ナガサキアゲハ)が寒さに強くなってきたから。
2. ナガサキアゲハが食べる植物(かんきつ類)の栽培面積が分布の北限より北の地方で増えたから。
2. その他

⑧-3 ナガサキアゲハ以外で, 地球の温暖化が原因ではないかと考えられる生きものの変化について, 知っていることを書きましょう。

1. 知らない。
2. 知っている。(知っている人は具体的に書いてください。)

⑨ 理科で実験や観察をして何かを確かめるとき, 大切にしたいことは何ですか。あなたの考えを書きましょう。(わからない人は「わからない」と書いてください。)

以上で質問は終了です。質問紙にお答えいただきありがとうございました。

中城

## 第5部 総合的考察

本項においては、まず、本研究において設定した基本的な研究基盤をもとに行われた3つの研究と授業実践研究について、それぞれの研究内容にそって総合的考察をおこなう。その上で、本研究の目的である「理科離れ」「科学離れ」を解消するための理科教育のあり方や理科教育の向かうべき方向性について考察し、総合的考察とし、本研究のまとめとしたい。

### 1. 科学研究成果の教材化について（基礎科学研究の教材化，介入授業に関して）

本研究の授業実践研究を進めるための研究基盤として、「わが国における理科教育の現状」、「理科の学習を通して身につくもの」、「科学コミュニケーションと理科教育」という3つの視点から本研究の基本的な考え方を構成した。

まず、一つ目には、わが国における児童・生徒の特性として、科学的概念の獲得や科学的リテラシーの育成といった、理科学習を通して身につけるべき能力資質が「二極化」していることを挙げ、この解消を目的とした。二つ目には、理科教師に求められる資質・能力として、「文系」「理系」といった区分けではなく、「インタープリター」「メンター」「リエゾン」の役割が必要で、協働のルールに沿った教材化とこれを活用した指導をおこなうことが必要であることを明確にした。最後に、これらの考え方を踏まえ、基本的な科学知識を基盤として、児童・生徒の自然理解の特性を十分考慮した診断的な評価を含む指導技術を生かすこ



と、またその指導技術が効果的に発揮できる教材を作ることを目的とした

教材化にあたっては、まず、理科を指導する教師自身が科学研究の現場に参加し、科学研究成果を十分把握しようと努めた。それと同時に、研究活動をじかに体験することによって得られる科学的経験や、ともに行動することによって得られる苦労や努力といった科学研究の営みそのものを体感した。次に、これらの科学研究活動から得られた知見と理科教育において指導される学習指導要領との関連性を探り、教材化の可能性を探った。ここにおいては、科学コミュニケーションが成立するための条件である「協働のルール」を教材化の視点とした。

研究授業実践においては、教材化された内容が実際の学校運営における年間指導計画にできるだけ沿うように、研究授業実施の学年や時期を考慮し設定した。また、その際、メタ認知能力育成のための手法を検証する目的として、複数の学級において条件を制御して研究授業を実施した。

本実践研究の成果としてまず挙げられるのが、科学的研究成果の教材化における可能性が高まったということである。本授業実践研究で用いられた教材化のための科学研究成果は温暖化という今日的課題と関連の深い内容であった。このことは、どの児童・生徒にとっても話題性が高く学習意欲を喚起させることにつながった。また、アメンボそのものが児童・生徒にとっては身近な生き物であるだけでなく、ウミアメンボが存在していることへの意外性も興味・関心を持たせる要因となった。このようなことから、学習に配する動機付け

においては、学習の「二極化」をある程度防ぎ、学習を効果的に構成することができた。また、この教材は、学習指導要領における第6学年「生物と環境」の教材としても十分活用できることが示された。この単元は、小学校での理科学習の総括としての役割をもったものである。しかし、このような総括としての役割が影響して、大変抽象的な内容が目立つ。例えば、有馬ら（2010）における記述は「水のじゅんかんと生物」「水や空気を守る」などである。このような環境問題にかかわる事例の一つとして本教材が位置づいたのである。

次に、研究の現場に指導者自身が参加し、科学的な成果にとどまらず、科学的な営みについて身をもって体験できたことが、この教材を有効に活用できたことも1つの要因である。本教材による学習活動の最中においても、調査航海における経験談は児童の興味を喚起し、学習活動の意欲付けとなった。もっとも重要なのは、指導者が科学者の立場を理解できたことと、そのことによる科学的態度についても理解できたことである。科学研究の現場では、たとえばサンプリングなどにおいても調査時間、調査条件、調査データの扱いなど大変厳密に行われる。程度の違いはあるが、理科授業における実験や観察においてもこのような厳密さは大切にされなければならない。さらに、これらの実体験は、なぜそのような厳密さが要求されるのかということについて児童・生徒に実感をもって伝えることができる。この点は、教材化の視点として一般化できるものではないが、科学的な営みの重要性を伝えるためには十分効果的であると考ええる。

一方で、課題も多く見出すことができた。科学コミュニケーションの理論に基づき、協働

のルールを考慮して教材化を行ったが、「量」「質」「関係」「様相」という具体的な4つのルールの中でも、特に「量」のルールを配慮しなければならないということが明らかとなった。科学研究成果はその全てにおいて有意義なものであり、科学者の立場からすると、その全てを伝える意味がある。しかし、児童・生徒にとっては、これら全ての情報を受け入れることは難しいし、学習指導要領の内容に準拠していなければならない。また、1授業時間は45分間であり、その中で問題解決的な学習活動を構成するためには、内容を十分精選した上でなければならない。このような点から、もっとも教材化において困難だったのは「量」のルールの条件を満たすことであった。

さらに、科学コミュニケーションが成立するための理科教師が果たすべき役割として挙げられた3つの役割についても、それぞれの重要性の度合いが違ってくるということが明らかとなった。すなわち、特に重視されなければならないのは「インタープリター」としての役割であった。

「メンター」としての専門性、「リエゾン」としての環境整備については、ある程度事前に準備ができるし、限定された環境の中での活動なので、学習活動中においても想定ができる。しかし、実際にコミュニケーションを成立させるためには、常に児童の状況を把握しつつ、その変化する状況に合わせて対応していかななくてはならない。この点については、教材化による科学研究成果を支えるための教師の役割として、常に意識しておかななくてはならないことだろう。

## 2. 科学の祭典に関する研究について（質問紙研究に関して）

科学の祭典への取り組みは、科学コミュニケーションの項でも述べたとおり、各地でその取り組みが盛んである。高知県においても、科学館がない分このような科学コミュニケーションの場を提供することが重視されている。

本質問紙調査によって、高知県における科学の祭典が果たす効果は立証され、理科好きな児童・生徒を増やすための一助となっていることが確かめられた。特に、1回の開催で600人近くの小学生が参加することなどから、小学生段階における科学への入り口としての興味付け、意欲付けについての一定の効果はあったと考えられる。また、保護者の参加による家庭の教育力、児童・生徒の科学的体験不足の解消についても、一定の効果があったものと考ええる。

出展されたブースの内容にもよるが、体験したり、楽しんだりする内容が中心であり、科学的知識や原理まで伝えるような科学コミュニケーションの場としての機能はまだ果たすことができていない。特に、科学的な原理や仕組みまで言及することに対して興味を持つであろう中学生や高校生の参加が少ないことが課題として挙げられる。これらの課題に対しては、情報の受け手としての立場から情報の送り手としての立場へと変換する取り組みが考えられる。つまり、中学生、高校生に演示講師としての役割を担ってもらうのである。彼らが講師となり、来場した小学生に科学実験を紹介したり実演したりすることを通して、科学コミュニケーターとしての役割を果たしてもらう。その中で、人に伝えることのおもしろ

さを感じたりやりがいを実感したりすることができるだろう。さらに、人に説明することを通して、その実験内容に関する原理や仕組みを自分自身がより深く理解できることにもつながるだろう。このような取り組みを通して、科学の祭典が理科好きな児童・生徒を増やすための重要な場を提供することになるだろう。

### 3. メタ認知能力の育成について

メタ認知能力育成のための介入授業は、メタ認知能力育成のための基礎研究のための介入授業と、科学研究成果の教材化による介入授業において実施された応用研究のための介入授業の2つの研究授業で構成された。

これらの介入授業における分析から、児童の立場や考えを随時明示させることによって、ある程度児童自身の学習状況を自覚させることができることが明らかとなった。それは、児童の予想を一覧表にしたり、自分の考えを示す立場を出席番号カードで表示したりすることなどを通じて達成できた。ただ、このような自覚的な状況は、あくまでその瞬間の自分自身の考えや立場を自覚させたに過ぎない。このような自覚の経験を日常的な学習活動において、常に意識させてやる必要がある。このような継続的な指導を通じてメタ認知能力は育成されるのである。

その意味で、これらの介入授業における成果と課題は、他の単元や他の学年、小学校から中学校へと活用を広げていかななくてはならない。このような内容に依存しない手法を

開発するためには、付箋を用いた手法や出席番号カードを用いた手法の更なるバリエーションを開発するとともに、介入授業での検証を継続しなければならないだろう。

#### 4. 終わりに

よりよい学習材、教材の開発とこれらをどのように活用するかという 2 つの側面はどちらかが進んでいけばよいのかというとそうではなく、車の両輪のようにバランスよく効果的に組み合わせることでよりよい理科授業の実現が可能となる。

学校教育とか理科教育だけで、今日ある「理科ばなれ」「科学ばなれ」「学習ばなれ」は解消し得ない、小手先だけの対策でしかない、という意見もある。一方で、日常生活における自然体験不足は現在の日本の社会では期待することが難しい。であればこそ、学校では日常的に行われている理科授業こそが、今の児童・生徒にとっては自然の入り口そのものになりうる可能性は十分にある。また、学校教育、理科授業が友達との関係を作る場、教師と児童生徒の関係作る場となりえるからこそ、理科教育によって育まれる未来を担う児童・生徒はかならず生み出すことができると確信するし、その責任も重大なものになるだろう。

## 【謝辞】

本研究にあたり，多くの皆様からのご支援・ご協力に深く感謝いたします。

本論文第 2 部における基礎データである外洋棲ウミアメンボの調査では 2 回も研究航海に参加させていただきました。そこでは，太平洋という過酷な自然環境の中でたくましく生きるウミアメンボの生態を実感できました。また，船内での研究活動に従事する多くの研究者，技術者，学生，そして，安全な航行を保障する船長をはじめとした研究船のクルー，彼らの科学研究にかかわる全ての人たちの営みを肌で感じることができました。表舞台に出ることはなくても，まちがいなく科学研究の基盤となっていることが確認できました。この経験は研究にかかわるものとして，理科教育にかかわるものとして，まちがいなく自分自身の“経験”となりました。

本論文第 3 部での研究の基盤は「科学の祭典高知大会」です。これまでずっと事務局長としてご尽力いただいた本学生物学研究室伊谷行准教授には，大会運営に関して多くのご指導，ご支援をいただきました。また，伊谷研究室の邊見由美女史には，科学の祭典ホームページの作成，質問紙のデータ処理など多岐にわたりご協力いただきました。科学の祭典の理科教育に果たす役割も実感できました。

本論文第 4 部における介入授業では，まず，授業提供してくださった高知大学教育学部附属小学校，平成 24 年度第 6 学年担任団，吉井容子先生，藤田究先生，田中元康先生，同理科専科，石元浩子先生に感謝申し上げます。先生方には，卒業間近のお忙しい時間帯にも

かかわらず、研究のための十分な時間を確保してくださいました。そして、介入授業の記録撮影支援、授業プロットの作成をご協力くださった中城研究室の学生諸君、名山元大氏、三上志穂里女史、小坂亮太氏、中城亜利沙女史、石原将司氏、西田佳余女史、古賀丹衣奈女史、みなさんの支えは大きな力となりました。

そして、最後に本研究科への入学からはじまり、研究全般にわたり大変貴重なご指導・ご教示をいただきました、高知大学教育学部環境生理学研究室の原田哲夫教授に深く感謝いたします。定期的に同行するフィールド調査においてもお示しになる、科学研究の魅力と厳しさを原田先生から学ぶことができました。このような科学研究の魅力はきっと「理科離れ」「科学離れ」を解消するためのきっかけとなると自負し、これからの理科教育のために努力してまいります。

支えていただいた方々のどれか一つでもなければ、本論文をまとめることはできなかったと思います。ご協力をいただいた皆様に改めてお礼を申し上げます。本当にありがとうございました。

2014 年 1 月

中城 満