

小中学生の熱移動理解に関する比較

— 1990年と2000年調査を比較して —

香西 武⁽¹⁾, 板垣 靖⁽²⁾, 河野 好宏⁽³⁾,
橋場 仁⁽⁴⁾, Sandra T. PALMERA⁽⁵⁾

(キーワード: ものの温まり方, 小中学生, 概念形成, 学力, 熱移動理解)

I はじめに

ものの温まり方は、日常生活と密接な物理現象の一つである。この、ものの温まり方に関する学習は、昭和52年学習指導要領(以下昭和52年版と略す)では小6に位置付けられており、その学習目標及び内容は「金属を熱すると、熱は熱した所から順に伝わっていくこと」や「空気や水が温まるのは、体積の変化によって起こる空気や水の移動によること」を理解することであった¹⁾。

その後、平成元年に改訂がなされた平成元年学習指導要領(以下平成元年版と略す)では指導学年が小4となった。また、学習目標及び内容は「金属、水及び空気は、温めたり冷やしたりすると、その体積が変わること」、「金属は熱せられた部分から順に温まるが、水や空気は熱せられた部分が移動して全体が温まること」とされた²⁾。ものが温まる際の現象面に関する学習については、昭和52年版、平成元年版共に位置付け及び内容に関して差なかった。しかし、その原因に関する学習は、昭和52年版に比べ平成元年版では軽い扱いとなっている。今回改訂された平成10年学習指導要領(以下平成10年版と略す)では指導学年が平成元年版と同じく小4で、内容も「金属は熱せられた部分から順に温まるが、水や空気は熱せられた部分が移動して全体が温まること」となっており³⁾、平成元年版とほぼ同様である。

香西⁴⁾は平成元年版実施前に昭和52年版で学習した児童・生徒、すなわち小6で学習した児童・生徒に対して、ものの温まり方についての定着状況を調査した。その結果、金属棒の伝導に関しては小6と中1で正答率に有意差が認められたが、学習前の小4でも日常生活の中で理解していることを明らかにした。また、放射については中3でもその概念が定着していないことを明らかにした。

その後、平成元年に学習指導要領が改訂され、それ以

降現在までものの温まり方に関する学習は小4でなされてきている。平成10年版に基づく教育課程が実施され始めた現在、小4で学習してきた現在の児童・生徒の定着状況を明らかにすることは平成元年版の改訂が適切であったかを判断するだけでなく、今後の学習への示唆となろう。一方、新学習指導要領実施に向けて準備が進んでいた段階で、「学力低下」を懸念する声があがっていたのは周知の通りである。その声に対して、文部省がIEAの調査結果を公表し、学力は高水準を維持している旨の見解を述べた。

本研究では、1990年調査⁴⁾と今回の調査結果を比較することにより、昭和52年版に基づいて学習した児童・生徒と平成元年版に基づいて学習した児童・生徒のものの温まり方に対する理解度を比較し、学習指導要領変更の妥当性を検討する。また、新たな調査に基づき、児童・生徒がとらえている温度変化と重さの関係を考察する。これらの調査から、理解面及び概念形成面での比較を行い、昨今の「学力低下」論争に対し概念形成面からの具体的な資料を提供する。また、これらの調査で明らかにされた問題点に対する指導の方策についても言及する。

II 調査方法

1. 調査対象

調査対象は、宮崎県、島根県、北海道の公立小・中学校、小3～中3である。調査対象者は、小3・・・144名、小4・・・151名、小5・・・144名、小6・・・148名、中1・・・45名、中2・・・45名、中3・・・60名、合計737名である。

2. 調査期間

平成12年2月～3月

(1) 鳴門教育大学自然系(理科)教育講座

(2) 島根県六日市町立六日市小学校

(3) 宮崎県日向市立美々津中学校

(4) 北海道帯広市立花園小学校

(5) Manuel L. Quezon 小学校(フィリピン:元鳴門教育大学教員研修留学生)

3. 調査問題と集計方法

香西⁴⁾で調査した問題に温度変化と重さに関する設問を加え調査を行った。回答は、2～4個の選択肢の中から一つを選び、選択の理由もできるだけ記述させた。

III 調査結果と考察

テストの結果はそれぞれの項目毎に集計し百分率を算出した。また、学年間、調査年度間の有意差をみるための統計検定として Pearson の χ^2 検定を行った。

1. 熱伝導に関して

(1) 水平に設置した金属棒の熱伝導 (設問1・等距離)

この問題は、水平に設置した金属棒の中央部を温め、熱源から等距離にある位置 A, B への熱の伝わり方を問う問題である。結果について表1に示す。

表1 設問1の結果

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
Aが早い (1990)	10.2	8.2	3.3	3.5	2.4	1.9	2.4
Bが早い (1990)	12.6	5.9	6.6	2.8	2.8	3.9	2.4
同時 (1990)	77.2	85.9	90.1	93.7	94.8	94.2	95.2
N	214	219	241	254	249	258	244

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
Aが早い (2000)	5.6	4	2.1	1.4	2.2	0	0
Bが早い (2000)	4.9	6	3.5	2	6.7	4.4	1.7
同時 (2000)	89.5	90	93.7	96.6	88.9	95.6	98.3
無回答 (2000)	0	0	0.7	0	2.2	0	0
N	144	151	144	148	45	45	60

注. Nは人数を示す。その他の数値は割合を示す。

この設問通り実際に実験を行えば、ほとんどの場合どちらかが早くたおれるだろう。従って実際の実験を想起しながら回答すると、「A, B どちらかが早くたおれる」と答える児童・生徒がいるのも当然のことである。その点で、この設問での回答傾向が直接的に理解度を示していると判断できない部分もある。しかしながら、学習後は学習のまとめとして「同時にたおれるはずである」と一般化することから考えると、選択肢の一つである「同時」を選択することになるだろう。

「同時にたおれる」と答えた児童・生徒について、1990年の調査では小学校の各学年間において有意差が認められたが、今回の調査ではそれらの学年間での有意差は認められなかった。小学校段階において、今回の調査結果は1990年調査より高い正答率を示す。特に小3での正答率が高い。しかし、小3ではまだこの学習はなされておらず、この知識の習得が日常生活経験によるものであると推測されるにもかかわらず、正答率は既習学年である小4とほぼ同じ割合を示す。

1990年の調査でも、調査時未習学年である小6と既習学年である中1の間に、回答率に有意差は認められなかった。今回の調査でも未習学年である小3と既習学年である小4との間には有意差は認められない。従って、水平に設置した金属棒での熱伝導について、児童は学校での学習以前にその概念を獲得し、一般化した知識を身につけていると言える。

(2) 水平に設置した金属棒の熱伝導 (設問2・異距離)

この問題は、水平に設置した金属棒の中央部を温め、熱源からの距離の異なる場所への熱の伝わり方を問う問題である (Aは熱源に近い場所, Bは熱源から遠い場所)。結果について表2に示す。

表2 設問2の結果

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
Aが早い (1990)	74	80.5	83.4	86.6	95.2	96.5	93
Bが早い (1990)	25.5	17.7	16.2	11.8	2.8	3.5	4.9
同時 (1990)	0.5	1.8	0.4	1.6	2	0	2.1
N	214	219	241	254	249	258	244

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
Aが早い (2000)	75.7	91.4	88.9	77	91.1	86.7	95
Bが早い (2000)	20.8	7.9	11.1	21.6	6.7	13.3	3.3
同時 (2000)	3.5	0.7	0	1.4	2.2	0	1.7
無回答 (2000)	0	0	0	0	0	0	0
N	144	151	144	148	45	45	60

注. Nは人数を示す。その他の数値は割合を示す。

1990年の調査では、5%水準で小3・小4間、小5・小6間、小6・中1間に有意差が認められたが、今回の調査では小3・小4間 ($\chi^2 = 13.33$, $df=1$, $p<.01$), 小5・小6間 ($\chi^2 = 7.236$, $df=1$, $p<.01$) に有意差が認められた。小3・小4間については、小4での学習経験がなかった1990年調査でも有意差が認められたが、今回の調査時において熱伝導に関する学習が小4では既習事項となっている点で同じ学年間であっても状況が異なっている。そこで、1990年小4・2000年小4間について有意差検定を行った。その結果、両者間に有意差 ($\chi^2 = 6.61$, $df=1$, $p<.01$) が認められた。このことは、平成元年版に基づいた小4での学習の成果を示していると考えられる。今回調査の小5・小6間に有意差が認められるのは、小6の正答率の低下に起因するがその原因は明らかではない。

設問1, 設問2の両設問とも正答した者は、小3 69.4%, 小4 83.4%, 小5 84%, 小6 77%, 中1 82.2%, 中2 82.2%, 中3 93.3%と小3・小4間に飛躍がある以外、小4から中2まで小6を除いて、正答率にさほどの違いは認められない。このことから、小4での学習の成果が示唆される。

表3 設問3の結果

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
Aが早い (1990)	62.5	51.6	51.3	36.4	32.5	31.8	25.9
Bが早い (1990)	16.2	17.3	15.8	22.9	22.1	26.3	17.8
同時 (1990)	21.3	31.1	32.9	40.7	45.4	41.9	56.3
N	214	219	241	254	249	258	244

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
Aが早い (2000)	48.6	51	46.5	42.5	31.1	28.9	23.3
Bが早い (2000)	34.7	25.8	34.7	29.7	44.5	48.9	36.7
同時 (2000)	16.7	22.5	16	26.4	24.4	20	38.3
無回答 (2000)	0	0.7	2.8	1.4	0	2.2	1.7
N	144	151	144	148	45	45	60

注. Nは人数を示す。その他の数値は割合を示す。

(3) 金属板での熱伝導 (設問3)

この問題は、水平に設置した金属板の一端を温め、熱源から距離の異なる位置への熱の伝わり方を平面上で問う問題である (Aは熱源に近い場所、Bは熱源から一番遠い場所、CはA、Bの中間)。結果について表3に示す。

金属板での熱伝導理解については、金属棒の場合と異なって平面上に示された各ポイントの距離関係を理解する必要がある。そのため、正答率低下の要因に熱伝導理解以外の要因が加わる。設問2と比較して、小3、小4の正答率が約5ポイント程度低下しているのはこれらに起因するものと考えられる。設問2では、小6で正答率が低下し、小5・小6間に有意差が認められたが、この設問では小5・小6間、小6・中1間に有意差は認められない。また、小4から中3までそれぞれの学年間に有意差は認められず、小4～小6については85%～90%の正答率で推移することから考えると、設問2での小6の正答率低下の原因は熱伝導理解以外の原因、例えば設問に対する誤解が考えられる。

1990年の調査では、未習学年と既習学年である小6・中1間に有意差がみられた。今回の調査でも同様に小3・小4間に有意差 ($\chi^2 = 9.245, df=1, p<.01$) が認められ、これらのことは、熱伝導理解に学校での学習が影響していることを示している。

以上、金属板、水平に設置した金属棒での熱伝導についての調査結果からは、学習による理解の向上が認められる。しかし、今後の学習を考える場合、学習前の小3でも正答率が70%以上であることは、香西⁴⁾で指摘されているように、この学習が新鮮味をおびた学習とならないという問題があると言える。理科に対する興味・関心を高めるという観点から、熱伝導に驚きをもたせるためには、実験等に新たな工夫が必要である。

(4) 傾斜金属棒の熱伝導 (設問4)

この問題は、傾斜している金属棒の中央部を温めて、熱源から等距離にある位置への熱の伝わり方を問う問題である (Aは熱源から下側にある場所、Bは熱源から上側

表4 設問4の結果

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
A-C-B (1990)	83.8	81.1	79.7	84.6	95.1	91.3	93.1
その他 (1990)	16.2	18.9	20.3	15.4	4.9	8.7	6.9
N	214	219	241	254	249	258	244

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
A-C-B (2000)	70.8	85.4	89.6	85.1	97.8	88.9	98.3
その他 (2000)	27.8	14.2	10.4	14.9	2.2	11.1	1.7
無回答 (2000)	1.4	0.4	0	0	0	0	0
N	144	151	144	148	45	45	60

注. Nは人数を示す。その他の数値は割合を示す。

にある場所)。結果について表4に示す。

この設問の主旨は、金属棒での本質的な熱伝導を理解しているかどうかを調査するためのものである。今回の調査と1990年の調査を比較すると、1990年の調査の方がどの学年でも正答率が高い。2000年と1990年の学年間での有意差を調べると、小5 ($\chi^2 = 12.078, df=1, p<.01$)、小6 ($\chi^2 = 7.915, df=1, p<.01$)、中1 ($\chi^2 = 6.85, df=1, p<.01$)、中2 ($\chi^2 = 7.725, df=1, p<.01$)、中3 ($\chi^2 = 6.42, df=1, p<.05$) とほとんどの学年で有意差が認められた。このことは2000年調査児童・生徒の理解レベルが1990年に比べて低下したことを示している。

小3における2000年調査と1990年調査の比較では、小3が未学習学年であるにもかかわらず、2000年調査児童・生徒の理解レベルが1990年調査に比べて低くなっている。このことは、2000年調査児童・生徒の理解レベルの低下が、未習の状況の中でも進行していることを示している。しかし、2000年と1990年の正答率の差が、学年進行と共に大きくなっていることは、それ以降の学習も理解レベルに大きく影響していることを示している。

1990年調査の児童・生徒の学習は昭和52年版に基づいており、その学習指導要領には「金属などを熱した時、熱していない部分まで温度が高くなるのは熱が移動するためであることを調べさせ (以下略)」¹⁾ という記述が示すように、ものが温まる原因を熱の移動という観点でとらえさせる学習が含まれていた。一方、今回調査した児童・生徒は平成元年版に基づいて学習しており、その学習指導要領では「身の回りのものに熱がかかわることによって起こる現象に興味・関心を持ち、それらの現象とその原因を意欲をもって調べようとする (以下略)」というように、現象面に対する興味・関心がねらいの中心であった。つまり、昭和52年版ではものが温まる原因を熱の移動と関連付けて学習したのに対し、平成元年版ではものの温まり方の学習が身の回りのものが温まる現象を学習することに主眼がおかれ、熱の移動というものの温まり方の本質的な学習にはなっていない。従って、今

回の調査で正答率が低下した原因の一つに、児童・生徒が現象としてのものの温まり方に気付くことはできても、ものが温まる原因を熱の移動という観点でとらえさせる学習がなされていないために本質的な理解が不足しているということがあげられる。

1990年の調査でも理解度はさほど高くないが、それでも義務教育を終える段階での正答率は約60%であった。ところが、今回の調査では、義務教育を終える段階での正答率が40%程度と低下している。水平に設置した金属棒及び金属板に関する正答率は1990年と2000年の調査では大差なかったことから判断すると、本設問に対する正答率の差は、熱に関する本質的な学習の有無に関連するものと思われる。

文部省⁵⁾はIEAの調査結果から「児童・生徒の学習状況はおおむね良好である。・・・(中略)・・・これらの調査結果から、我が国の児童・生徒の学力は、全体としておおむね良好であり、また維持されていると考えられる」と述べている。本設問に対する解答結果は、科学的な概念形成及び知識理解面で、1990年と比較して2000年の方が明らかに低下した結果となっている。従って、10年前と比べ熱の伝導に関して、現在の児童・生徒の理解度は低下していると言える。

2. 対流について (設問5)

この問題は、水を入れたビーカーの中心部付近を温めた時の水の動きを問う問題である(Aが右方向への動き、Bが左方向への動き、Cが上方向への動き)。結果について表5に示す。

水の温まり方に関して今回の調査では、未習学年の小3と既習学年である小4以上で正答率に差はなく、また各学年間の有意差も認められなかった。1990年調査でも、小3と中3の正答率に大きな差はなかった。従って、水の対流についての現象面での理解に関しては、児童・生徒は学習以前から知識を習得していることを示している。

対流の原因に関する学習については、昭和53年小学校指導書理科編では、小6で「水や空気では、熱した部分の温度が上がり、膨張して体積が増し、他の部分と比べ

表5 設問5の結果

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
Cの方向 (1990)	80.3	75.7	77.5	82.3	74.9	75.3	89.6
その他 (1990)	19.7	24.3	22.5	17.7	25.1	24.7	10.4
N	214	219	241	254	249	258	244

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
Cの方向 (2000)	75.7	68.2	74.3	77	75.6	75.6	76.7
その他 (2000)	24.3	30.5	20.8	22.3	24.4	22.2	18.3
無回答 (2000)	0	1.3	4.9	0.7	0	2.2	5
N	144	151	144	148	45	45	60

注. Nは人数を示す。その他の数値は割合を示す。

て同体積の重さが軽くなるために上方に移動し、水や空気が循環して全体が温まっていくこと」を学習することとされていた。これは対流の原因を温度差のある水の同体積の質量を比較することによって考察するものであった。ところが、平成元年小学校指導書理科編では、「水や空気の場合は、最初に熱した部分が上に移動し、移動した所に温度の低い水や空気が入り込み、熱せられて上に移動する。この繰り返しによって水や空気は全体が温まっていくことをとらえられるようにする。」と現象についてのみ学習することになった。この設問に関しては、現象面での理解を問う問題であったので、学習指導要領変更に伴う児童・生徒への理解の影響についてはいたらなかった。

3. 放射について (設問6)

放射についての理解を問うために、「真空中であっても熱が伝わるか」について調査したのが設問6である。結果を表6に示す。

昭和52年版、平成元年版の両者とも放射についての学習は小学校・中学校共に触れられていないので、前回、今回とも児童・生徒は学習経験をもたない。しかし、放射によるものの温まり方は日常生活の中でも非常に身近な現象であり、児童・生徒が日常的に体験している現象でもある。

1990年の調査では、正答率は小学校低学年で高く、学年進行と共に、正答率が下がる傾向にあることを指摘した⁴⁾。今回の調査でも、1990年と同じく、小学校で正答率が高く、中学校で低い傾向にあることが確認された。今回の調査に関して、学年間の有意差は、小4・小5間 ($\chi^2=7.404, df=1, p<.01$), 中1・中2間 ($\chi^2=4.286, df=1, p<.05$), 中2・中3間 ($\chi^2=6.038, df=1, p<.05$)で認められた。これらの結果は、1990年の調査とほぼ同じ傾向にある。

1990年の調査では、小5・小6間にも有意差が認められ、その正答率低下の一因として、小5に学習が位置付けられていた音の学習をあげた(調査時点で小5は音の学習は未習事項であった)。今回の調査では、音の学習

表6 設問6の結果

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
伝わる (1990)	50.5	54.8	46.4	32.4	38.3	25.3	32.5
伝わらない (1990)	49.5	45.2	53.6	67.6	71.7	74.7	67.5
N	214	219	241	254	249	258	244

	小3	小4	小5	小6	中1	中2	中3
伝わる (2000)	30.6	39.1	24.3	34.5	20	40	18.3
伝わらない (2000)	69.4	54.3	70.1	64.8	77.8	60	80
無回答 (2000)	0	6.6	5.6	0.7	2.2	0	1.7
N	144	151	144	148	45	45	60

注. Nは人数を示す。その他の数値は割合を示す。

は小3と中1で行うことになっており、調査時点で小3、中1ともに音については既習事項となっていた。1990年と2000年小3の正答率比較において、2000年の方が正答率が低いのは、前回指摘した通り音を学習することにより空気の存在を強く意識することによって、音の伝わり方の学習結果を熱の伝わり方の考察に転移させた結果であろうと推測される。事実、児童の理由の欄をみると、「空気がないから」という理由が非常に多くみられる。また、中1に関しても今回の調査での正答率の低下は、「空気がないと真空中で音もないから」という記述が理由の欄にみられるように、音の学習が放射の理解に対して影響を与えていると言える。

誤答をもたらす動的要素として、加茂川⁶⁾は水が沸騰する時の泡について検討する中で先行学習の影響をあげている。今回の調査での放射の誤答に関しても、加茂川の指摘通り、先行学習の影響と考えられる。

今回の調査では、小5にも著しい低下がみられる。現行の学習指導要領では小5で天気の変化と気温について学習することになっており、その中で、気温と太陽の高さの関係を学習し、空気の存在を強く意識する学習が行われている。小5での正答率の低下の要因にこの学習の関与も考えられる。1990年の調査でも、天気に関する学習が小6でなされており、小6に正答率の低下がみられた。

熱が伝わることの理由について、児童・生徒の記述は非常に少なく、感覚的に漠然と伝わるだろうととらえているようである。しかし、中3になると、「宇宙でも太陽の熱がとどくから」というような理由の記述がみられ、生活経験と関連付けた解釈がなされるようになってきている。

以上、放射に関する理解度は、義務教育を終える段階で1990年の調査では30%程度、今回の調査では20%程度である。日常的な現象である放射に対する理解がこのように低いことは、国民の科学的素養の育成という観点からも問題であるし、さらに前回と比較して理解度が低下していることも問題である。

4. 熱と重さの関係

(1) 温めた場合

熱と重さに関連する学習は、小4での「金属、水及び空気は、温めたり冷やしたりすると、その体積が変わること」に関する学習、中1での状態変化と質量に関する学習がある。

設問は、蓋の閉まっている缶ジュースを温めると、重さはどう変化するかを問う問題で、その結果を図1に示してある。

このグラフから、小3・小4年では温めると重くなると同答する傾向があることが認められる。理由の欄から

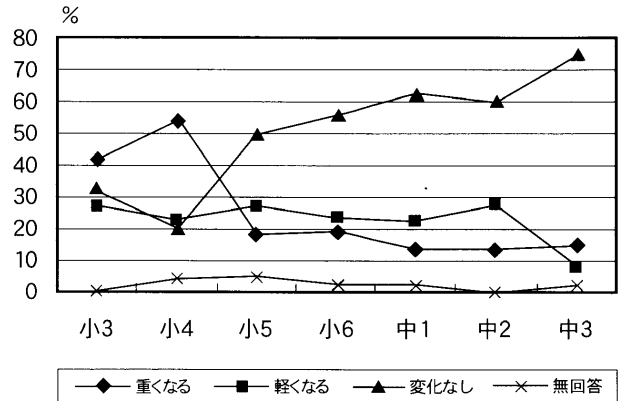


図1 温めた時の重さの変化

児童・生徒の考えをみると、小学生では論理的な理由を書くことは難しいが、記述されたものから理由として成立するのを見ると、「かさが増えるため」という回答が多い。また、中学生でも「熱で缶が膨張するから」「中の空気が膨張するため」で代表されるような膨張と結びついたものが最も多く、体積が増えることによって重くなると考えている。従って、小学生、中学生共に温度変化と体積変化の関係から質量変化を類推する結果となっている。

学年間の有意差は、小3・小4間 ($\chi^2 = 5.037, df=1, p<.05$) 及び小4・小5間 ($\chi^2 = 29.585, df=1, p<.01$) に認められる。温めると重くなるを考える児童は小3から小5間でその回答傾向が変化し、重くなる同答した児童の割合は小5から減少し、変化しないと答えた児童は小5から増加する。一方、軽くなる同答した児童・生徒は、小3から中3にかけて微減するものの、一定の割合で存在する。その理由を記述欄からみると、中学生では「気圧のせいで軽くなる」というものや、小学生では、「蒸発するから軽くなる」というものが多い。児童・生徒の中には缶の中身が減ると考えている者もいたり、問題の把握が十分にできていない恐れもあるが、これらは、対流の観察結果と結びつき、温めると空気が軽くなって対流するという生活の中でつくられた概念から生み出されたものであろうと考えられる。

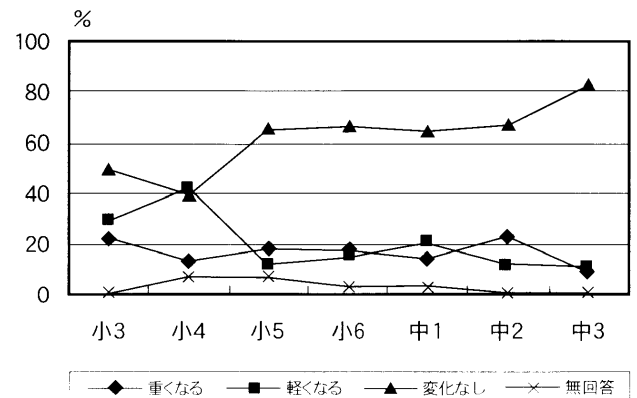


図2 冷やした時の重さの変化

(2) 冷やした場合

設問は、蓋の閉まっている缶ジュースを冷やすと重さはどう変化するかを問うもので、その結果を図2に示す。

小3、小4では温めると重くなると思える児童が多かったが、冷やした場合は軽くなると思える児童が多い。冷やすと軽くなると思える理由としてあげられている主なものは、中学生では「冷やしたら缶が小さくなる」「中の空気が縮小するため」である。小学生でも「冷たいから縮む」と中学生と同様の理由を記述している。これらは、温めた場合の理由と対をなすものである。一方、冷やすと重くなると思えた理由としては、中学生では「気圧のせいで重くなる」、小学生では「冷やすと缶が硬くなるから」という理由をあげている。

小3、小4では冷やすと重くなると思えた児童・生徒より冷やすと軽くなると思えた者の方が多い。学年間の有意差は、小4・小5間 ($\chi^2 = 18.229, df=1, p<.01$) に認められる。冷やすと軽くなると思える児童は小3から小5間でその回答傾向が大きく変化し、小5から軽くなると思える児童の割合が減少し、変化しないと考える児童が増加する。一方、重くなると思えた児童・生徒は、小3から中3にかけて微減するものの、一定の割合で存在する。これらの結果は、温めた場合と対をなすものである。

次に、温めた場合（温と表現）と冷やした場合（冷と表現）のクロス集計結果を図3に示す。

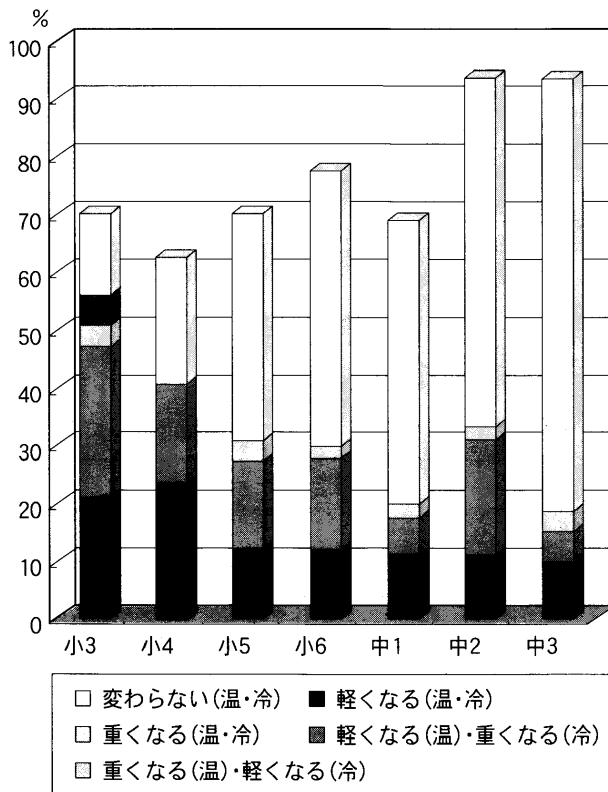


図3 温めた時と冷やした時の重さの変化
温：温めた場合 冷：冷やした場合

温めると重くなり冷やすと軽くなると思えた児童・生徒は小3で21.1%、小4で23.7%と中学年に多いが、小5以降の高学年になると10%程度で推移する。また、温めると軽くなり冷やすと重くなると思えた児童・生徒は小3で26.3%と最も高く、その後小4から小6までは15%程度で推移し、中2で少し高くなるものの中学校では5%程度で推移する。冷やしても温めても重くなると思えた児童・生徒は、小3から中3までほとんど変わらず、3%程度である。また、冷やしても温めても軽くなると思えた児童・生徒は、最も多い小3で5.3%、それ以外の学年では全くいなかった。

これらの結果から、小3では、温めると軽くなり、冷やすと重くなると思える児童が多いが、小4では、温めると重くなり、冷やすと軽くなるという考えの児童が増える。このことに関連する学習としては、小4での「もののかさと温度」の学習あり、それが児童の考えに影響していると考えられる。

(3) 凍らせた場合

この設問は、蓋の閉まっている缶ジュースを凍らせると重さはどうなるかについて問う問題で、結果を図4に示す。

この設問における各学年間の有意差は、小3・小4間 ($\chi^2 = 8.28, df=1, p<.01$)、小4・小5間 ($\chi^2 = 8.515, df=1, p<.01$)、中2・中3間 ($\chi^2 = 5.341, df=1, p<.05$) に認められる。小3から小5に有意差が存在するのは小3から小5間で回答傾向が変化することを示し、このことは温めたり冷やしたりした場合と同様の傾向である。

凍ると軽くなると思えている児童・生徒は、小3～中3まで10%前後とあまり大きな変化はない。一方、凍ると重くなると思えている児童・生徒は、小3では77.1%と非常に多く、小4で62.9%、小5以降中2までは50%前後と誤答者の割合が正答者より多い。中3で初めて、正答者が58.3%と誤答者の割合を上回る。小3、小4では冷やすと軽くなると思える傾向にあることは先述の通りであるが、凍った時の重さについては冷やした場合とは異なり、温度が下がるにもかかわらず、重くなると思

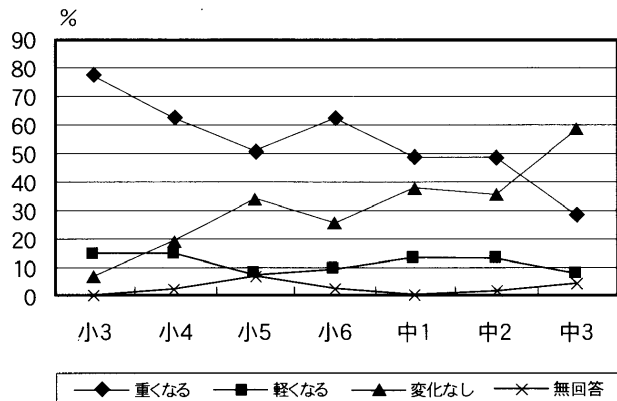


図4 凍らせた時の重さの変化

える傾向にある。凍ると重くなる理由として児童・生徒が最も多くあげているのは、「氷になると体積が増える」というものである。このことは、凍る場合の状態変化を生活感覚と結び付け、重さとの関係を類推したものと考えられる。他には、「氷になると質量が増えるから」ということを理由としてあげている中学生もいる。

中2で質量保存の法則に関連する学習をするが、学習前の中1と学習後の中2で正答率に有意差は認められない。このことは、凍らせた場合の重さの変化について、生活で身に付けた誤概念を変更させることの難しさが指摘される。

以上のことから、現在の学習指導要領の下で行われている現象中心の学習だけでは、児童・生徒に誤概念を生み出させやすく、現象と原因を結び付けた学習展開の必要性が示唆される。

IV 今後の指導への示唆

指導時数の削減と共に指導内容も削減され、学力低下を懸念する声が聞かれる平成10年版での学習において、児童・生徒に確かな学力を付けていくためには、従来以上に教師の指導のあり方に課せられた課題は大きい。本研究で明らかになったように、現象面だけの学習では、本質的な理解に至らないばかりでなく、誤概念を定着させる結果となる。日常生活にみられる現象を学習の場に持ち込むことによって、生活体験を科学的体験に深化させることは重要な学習である。しかし、そのみに終わらないことが肝要で、現象を規定する科学的事実を追究する学習活動が必要である。

例えば、金属棒での熱移動に関しては小4で学習するが、単に水平の金属棒だけで学習するのではなく、斜めに設置した金属棒での学習も重要である。そのことによって、熱は重力に影響されず上方にも下方にも同じ速さで伝わるのが理解できるはずである。また、水や空気の温まり方に関連しては、水や空気は暖めるとその体積は増えるが、重さは変わらないことを学習し、そこから対流の原因を考察することが重要である。

放射に関しては、現在小・中学校を通してその学習はなされていない。放射のメカニズムについて立ち入ることは難しいが、中3で学習する「地球と宇宙」の中で、太陽からの光と熱を扱うことによって放射について理解させることは可能である。

V まとめ

伝導、対流、放射等ものの温まり方に関する内容について小3から中3年まで737名を対象に調査を行い、1990年の調査と比較した。その結果、学習の理解度、温かさ

と重さの関係等について以下のようなことが明らかになった。

1. 金属板、金属棒での熱伝導については、小3・小4間に有意差が認められ、小4での学習効果が認められる。しかし、斜めにした金属での熱伝導については、1990年との理解度を比較すると、今回の方が低下している。この低下の要因の一つに、平成元年版学習指導要領改訂により、それ以降ものが温まる原因についての学習がなされていないことがあげられる。
2. 対流については、未習学年・既習学年間の正答率に有意差が認められず、従って学習による効果は認められなかった。
3. 放射については、1990年の調査でも理解度が低かったが、今回の調査ではさらに理解度が低かった。放射を考える上で、音の学習や天気学習もその判断材料にしている可能性がある。
4. ものを温めると重くなると思う傾向が強いのは、小学校中学年であり、ものを冷やすと軽くなると思う傾向が強いのも小学校中学年である。児童はその理由を温度変化と体積の膨縮の関係に求めている。また、小3ではものを温めると軽くなり、冷やすと重くなると思う傾向が強い。小4では温めると重くなり、冷やすと軽くなると思う児童が増える。4年生での回答傾向の変化は、小4での「もののかさと温度」の学習に起因すると考えられる。
5. ものが凍ると重くなると思う傾向は小学生ほど強く、中3になって初めて、凍っても重さは変わらないと答える生徒が多くなる。しかしその割合も50%程度で、状態変化と質量に関する学習効果が現れているとはいえない。このことは、生活上で形成された誤概念を修正することの難しさを示す。
6. 現在の児童・生徒のものの温まり方についての学習は、現象面の理解が中心であるため、本質的な理解がなされていないばかりでなく、誤概念を定着させる結果となっている。
7. 今回の調査結果は、前回の調査結果より正答率が低下している。

本研究によって問題点が明らかとなった伝導、対流、放射に関する学習について、今後の指導への示唆として学習への位置付けを考察した。これらの指導は、平成12年度学習指導要領の枠を越えた指導となるが、新学習指導要領に基づいた教育課程では、その枠を越えることも容認されている。今後、教師は学習の中に現象面での学習と現象を規定する科学的事実を追究する活動を組み込むことにより、児童・生徒の科学的概念を正しく形成していくことが重要である。

文 献

- 1) 文部省：小学校指導書理科編，大日本図書，
p.135, 1978
- 2) 文部省：小学校指導書理科編，教育出版，p.116, 1989
- 3) 文部省：小学校指導書理科編，東洋館出版，
p.121, 1999
- 4) 香西 武：小中学生のものの温まり方に関する学習
について，日本理科教育学会研究紀要，32(3)，pp.61
-70, 1992
- 5) 文部省：我が国の児童・生徒の学力の現状について，
文部広報，1026，p.2, 2000
- 6) 加茂川恵司：動的要素に注目する子ども固有の考え
方の分析法—その答えは問いからどのように構成され
たか？—，科学教育研究，23(5)，pp.333-347, 1999

A Comparative Study of Students' Understanding of the Concept of Heat Transfer

— Results of Testing Third to Ninth Grade Students, in the Years between 1990 and 2000 —

Takeshi KOZAI⁽¹⁾, Osamu ITAGAKI⁽²⁾, Yoshihiro KAWANO⁽³⁾

Hitoshi HASHIBA⁽⁴⁾ and Sandra PALMERA⁽⁵⁾

The study curriculum that will be implemented in 2002 is slimmer than that of the 1989 curriculum. Many people, who are anxious about the decline of students' basic knowledge, have discussed the problems associated with the slimmer version. However, since basic data on scholastic ability in elementary and lower secondary schools are limited, this argumentation becomes almost abstract.

In this study, we have therefore examined students' understanding of heat transfer comparing the year 1990 students to the year 2000 students for the concept of heat transfer and representation of heat. In order to avoid any controversy, the test was identical to that used ten years ago.

The findings of the present study are as follows:

1. Fourth grade students who studied the concept of heat transfer, using a metal plate and inclined metal bar, have a level of understanding which is lower than students of the year 1990. This is because their curriculum did not include the cause of heat transfer.
2. Understanding of the phenomenon of convection is equal between unlearned third grade students and a learned group of students.
3. On the understanding of radiation, the students' understanding of the year 2000 is lower than the students of 1990.
4. Third and fourth grade students think that a material becomes heavy if is warmed, and it becomes lighter if the material is cooled. Their reasoning is influenced by temperature change and cubic shrink proofing.
5. Elementary school students think that frozen material is heavier than unfrozen material. Ninth grade students realize that weight does not change even if the material freezes, however, only 50% understand that.
6. They make up their concepts about the relationship between weight and temperature changes based on their daily life experience, before they acquire a scientific conception about it. Therefore, even if students study the law of constancy of mass in the seventh grade, it is difficult to modify their misconceptions to a scientific conception.
7. This research revealed that the year 2000 students understanding and knowledge of the concepts of the heat transfer was lower than the 1990 students.

(1) Faculty of Natural Science Education, Naruto University of Education

(2) Muikaichi Elementary School, Shimane

(3) Mimitsu Lower Secondary School, Miyazaki

(4) Hanazono Elementary School, Hokkaido

(5) Manuel L. Quezon Elementary School, Philippines