

水を混合したときの温度変化に関する小学生の判断

金 田 茂 裕

中学校理科の教科書（上田他, 2001）では、水を混合したときの温度変化、および、熱の移動について、「容器にいれた高温の水と低温の水をふれ合わせておくと、高温の水の温度は下がり、低温の水の温度は上がって、最後は同じ温度に（p. 61）」なること、そして、移動した熱量（cal）は、[水の質量]×[水の温度変化]の式で求められることが説明されている（ただし、最近の教科書（戸田他, 2002）では、このことについての説明がなくなっている）。一方、小学校理科の教科書（竹内, 2000; 戸田他, 2002）では、以上の内容に関連することは書かれていない。小学生は、これらのことについて理科の学習内容で学んでいないと考えられる。

本研究の目的は、以上を背景として、水を混合したときの温度変化に関する小学生の判断について調べることである。先行研究では、子どもの物理・化学現象に関する素朴概念（Stavy, 1982; Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou & Brewer, 1994; Wiser & Amin, 2001; Mazens & Lautrey, 2003）や、子どもにとって将来の生活で必要と考えられる科学的リテラシー（国立教育政策研究所, 2002）について調べられてきたが、本研究はこれらの研究と同じように、子どもの素朴概念や科学的リテラシーを明らかにし、科学的概念の教授方法や子どもの学習プロセスを調べる研究につながると考える。

Table 1 先行研究で使用された課題

	先行研究	課題の概略	正答
課題[1]	Strauss(1982)	A, B, C の容器には、同温、同量の水がある。A と B の水を、D（空の容器）に移したときの C と D の温度を比較	C=D
課題[2]	〃	A, B の容器には、それぞれ10℃の水がある。A と B の水を、C（空の容器）に移したときの C の温度を判断	10℃
課題[3]	Verschaffel, De Corte, & Lasure (1994); Reusser & Stebler (1997); Yoshida, Verschaffel, & De Corte (1997); 金田 (2001)	80℃の水1ℓと、40℃の水1ℓを、A（空の容器）に移したときの A の温度を判断	60℃

金田：水を混合したときの温度変化に関する小学生の判断

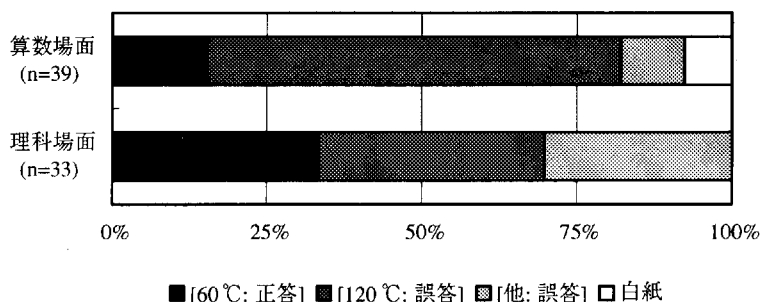


Figure 1 小学生の解答の人数比率（金田, 2001 を再分析し作成）

参考になる研究として、Strauss (1982) では、子どもの温度概念を調べる目的で、3歳から13歳までの幼児、児童、生徒を対象に課題[1] (Table 1), および、課題[2] (Table 1) を用いた調査がおこなわれた。その結果、課題[1]について、正答率のU字曲線が得られ、3-5歳で正答率が高いが、6-9歳で低くなり、10歳以上で再び高くなったという結果が報告された（ただし、統計的データは論文中に掲載されていない）。一方、課題[2]について、課題[1]で正答した子どもの多くが誤答し、[20℃]と答えたと報告されている。Strauss (1982) は、これらの結果にもとづいて、課題内容の差異が正答率に関連すると指摘し、課題[1]のように課題内容に数値の計算が含まれない場合（qualitative）に正答率は高く、課題[2]のように課題内容に数値の計算が含まれる場合（numerical）に正答率は低くなると考察した。

その他に参考になる研究として、Verschaffel, De Corte, & Lasure (1994) では、小学生の文章題解決方略を調べる目的で、10-11歳の小学生（n=75）を対象に課題[3] (Table 1) を用いた調査がおこなわれた。その結果、[60℃]と解答した小学生の正答率は9%、[120℃]と解答した小学生の誤答の比率は80%であった。Verschaffel et al. (1994) は、この結果にもとづいて、小学生は物理・化学的な現象について十分考慮せずに文章題を解く傾向があることを指摘した。ただし、この指摘とあわせて、Verschaffel et al. (1994) では、小学生は水を混合したときの温度変化に関して物理・化学的な知識を持っていない可能性もあると考察されている。なお、結果の再現性について、Verschaffel et al. (1994) を追試的に検討した研究でもほぼ同様の結果が得られ、小学生（10-12歳: n=67）の課題[3]に対する正答率は13%（Reusser & Stebler, 1997）、小学生（5年生: n=45）の課題[3]に対する正答率は2%（Yoshida, Verschaffel, & De Corte, 1997）であった。

さらに、その他の研究として、金田 (2001) では、小学生の算数場面における文章題解決方略、小学生の理科場面における文章題解決方略、高校生の文章題解決方略を比較する目的で、小学生（n=72: 5年生2クラス）と高校生（n=78: 1年生）を対象に課題[3]を用いた調査がおこなわれた。金田 (2001) のデータについて、ここで再分析した結果、[60℃]と解答した小学生の正答率は算数場面（算数の授業時間内に課題[3]を実施; n=39）で15%、理科場面（理科の授業時間内に課題を実施; n=33）で33%であり、一方、高校生の正答率は100%であった。また、[120℃]と解答した小学生の誤答の比率は算数場面で67%、理科場面で36%であり、高校生の誤答の比率は0%であった。これらの結果をもととして、小学生における解答の場面間の差について、 χ^2 検定をおこ

なったところ（ただし、[60℃]と[120℃]以外の解答は[他]としてまとめ、白紙の解答は除いて分析した）、場面間で差があり（ $\chi^2(2)=9.08, p<.05$ ）、残差分析の結果、算数場面で[120℃]の誤答が多いこと、理科場面で[他]の誤答が多いことが示された。[60℃]の正答の人数については、場面間で差がなかった（Figure 1）。

以上の先行研究の結果をまとめると、課題[1]と課題[2]については統計的データがないため詳細不明だが（Strauss, 1982）、課題[3]について、水を混合したときの温度変化を小学生の多くは正しく判断できないことが示されたと思われる（Verschaffel et al., 1994; Reusser & Stebler, 1997; Yoshida et al., 1997; 金田, 2001）。小学生が正しく判断できない原因は明らかでないが、原因となると考えられる要因のひとつとして、水を混合したときの温度変化に関する小学生の物理・化学的な知識の有無があげられる（Verschaffel et al., 1994）。また、その他の要因として、課題[3]で[80℃]と[40℃]の真ん中の値[60℃]を求める算数の計算能力の有無があげられると思われる。そこで、本研究では、これらの要因について検討するために、「水を混合したときの温度変化に関する小学生の判断」を調べる課題とは別に、「温度変化に関する知識」を調べる質問と、「2つの数値の真ん中の値を求める計算能力」を測定する課題を用意し、各課題成績間の関係を調べることにした。

方 法

対象

滋賀県内の公立小学校1校より、小学5年生111名（3クラス:男53名、女58名）。

材料

以下のような4種類の課題を用意した（Table 2）。

温度判断課題 課題[3]を参考にして作成した課題であり、[30℃]と[40℃]の水を混合したときの温度判断（正答は、[35℃]）を小学生に求めることにした。この課題で正答するためには、「温度変化に関する知識」と、「2つの数値の真ん中の値を求める計算能力」の両方が必要とされることが考えられる。この課題により、先行研究（Verschaffel et al., 1994; Reusser & Stebler, 1997; Yoshida et al., 1997; 金田, 2001）の結果が追試的に再現されることが考えられる。

温度変化に関する質問 課題[1]を参考にして作成した課題であり、[35℃]のお風呂に[35℃]と同じ温度（質問①）、[35℃]より高い温度（質問②）、[35℃]より低い温度（質問③）のお湯をそれぞれ注いだときの温度変化について、選択試形式で小学生にたずねることにした（選択肢は、[35℃]より高くなる、変わらない、[35℃]より低くなる、その他の意見の4択）。この質問で正答するためには、「温度変化に関する知識」が必要とされることが考えられる。一方、「2つの数値の真ん中の値を求める計算能力」は必要とされないと考えられる。

真ん中の値を求める課題 本研究で新しく作成した課題であり、[30点]と[70点]という2つの数値の真ん中の値（正答は、[50点]）を小学生に求めてもらうことにした。この課題で正答するためには、「2つの数値の真ん中の値を求める計算能力」が必要とされることが考えられる。一方、「温度変化に関する知識」は必要とされないと考えられる。なお、この課題は、「平均（6年生の

Table 2 本研究で使用する課題

		A*	B*
温度判断課題	温度が30℃のお湯が1ℓあります。そこに、温度が40℃のお湯を1ℓ混ぜたら、何のお湯ができますか。また、そのお湯の温度は何℃になりますか。	○	○
温度変化に関する質問	温度が35℃のお風呂があります。このお風呂に、下の①～③の温度のお湯を注ぎ、混ぜました。お風呂の温度はそれぞれどうなりますか。①同じ温度のお湯を入れたとき。②35℃より高い温度のお湯を入れたとき。③35℃より低い温度のお湯を入れたとき。(選択肢Ⅰ：35℃より高くなる、選択肢Ⅱ：35℃のまま変わらない、選択肢Ⅲ：35℃より低くなる、選択肢Ⅳ：その他の意見)	○	×
真ん中の値を求める課題	田村くんの算数の点数は、30点でした。井上くんの算数の点数は、70点でした。田村くんと井上くんのちょうど真ん中の点数を求めましょう。	×	○
算数テスト	① $3+11$ ② $60-10\times 5$ ③ 1.24×212 ④ $2.7\times 8+2.7\times 2$ ⑤ $12\div 20$ ⑥ $5.92\div 16$ ⑦オレンジとパイナップルとメロンの値段を比べました。メロンは1200円でパイナップルの2倍でした。パイナップルの値段はオレンジの4倍でした。オレンジの値段は何円だったのでしょうか。⑧文房具店で、同じ値段のノートを6冊買い、次にスーパーに行って、100円のジュースを買うと、全部で940円でした。ノート一冊の値段はいくらでしょう。	—	—

A*は「温度変化に関する知識」、B*は「2つの数値の真ん中の値を求める計算能力」を表し、○印はその知識、および、能力が必要とされると考えられること、×印は必要とされないと考えられることを示す。

学習内容)」と関連する内容であると思われるが(細川他, 2002), 本研究で調査対象とした小学校5年生は、調査を実施した時点で、「平均」を学校の算数で習っていなかった。

算数テスト 以上の他に、参考資料を得る目的で、小学校4年の算数教科書(細川他, 1999)の章末問題より、計算問題6問と文章題2問を選択し、算数テストとして使用することにした。なお、算数テストには、「温度変化に関する知識」、および、「2つの数値の真ん中の値を求める計算能力」が必要とされる問題は含まれていない。

手続き

各クラスの担任教諭に依頼して調査をおこなった。課題は調査冊子の形式にまとめ、「算数テスト」、「温度判断課題」、「真ん中の値を求める課題」、「温度変化に関する質問」の順序で小学生に提示した。さらに、そのあとに「温度判断課題」をもう一度提示した。ここで、「温度判断課題」を2回にわたり提示した理由は、課題提示順序の効果の有無をあわせて調べるためである。調査実施にあたっては、「勝手にページをめくって、次のページ(次の課題)に進んだり、前のページ(前の課題)に戻ったりせず、先生の合図に従ってページをめくること」、および、「問題の内容に関する質問は認められないので、自分でよく考えて解答すること」が小学生に教示された。また、各課題の制限時間は、それぞれ3～5分(ただし、算数テストは8問で約10分)に設定した。調査全体の所要時間は、約30分であった。

結 果

課題別の成績

温度判断課題 「温度判断課題」は、「真ん中の値を求める課題」、「温度変化に関する質問」の前（1回目）と後（2回目）におこなった。1回目について、[35℃]と解答した小学生の正答率は16%(18名)、[120℃]と解答した小学生の誤答の比率は43%(48名)、これら以外の解答をした「その他の誤答」の比率は3%(3名)、白紙は38%(42名)であった。また、2回目について、比率はそれぞれ順に、23%(25名)、56%(62名)、21%(23名)、1%(1名)であった。

次に、1回目と2回目の解答の変化について調べたところ、変化なし（[35℃]→[35℃]、[70℃]→[70℃]など）は59%(66名)であり、変化あり（[70℃]→[他]）は3%(3名)であった（ただし、白紙の解答は除いて分析した）。また、 χ^2 検定をおこなったところ、1回目と2回目で比率に差があり（ $\chi^2(2)=9.40, p<.01$ ）、残差分析の結果、1回目で「その他の誤答」が多いことが示された。[35℃]の正答率、および、[70℃]の誤答の比率については差がなかった（Table 3）。

Table 3 「温度判断課題」に対する解答（%：カッコ内は人数）

		2 回目			
		[35℃: 正答]	[70℃: 誤答]	[他: 誤答]	白紙
1 回目	[35℃: 正答]	16(18)	0	0	0
	[70℃: 誤答]	0	41(45)	3(3)	0
	[他: 誤答]	0	0	3(3)	0
	白紙	6(7)	15(17)	15(17)	1(1)
	計	23(25)	56(62)	21(23)	1(1)
		計	計	計	計
		16(18)	43(48)	3(3)	38(42)
		100(111)			

Table 4 「温度変化に関する質問」に対する解答（%：カッコ内は人数）

		選択肢Ⅰ [高くなる]	選択肢Ⅱ [変わらない]	選択肢Ⅲ [低くなる]	選択肢Ⅳ ・無回答	計
質問①	同じ温度の水を混合したとき	26(29)	71(79)	2(2)	1(1)	100(111)
質問②	高い温度の水を混合したとき	95(105)	2(2)	2(2)	2(2)	100(111)
質問③	低い温度の水を混合したとき	3(3)	9(10)	85(94)	4(4)	100(111)

温度変化に関する質問 質問①（正答は、選択試Ⅱ）、質問②（正答は、選択試Ⅰ）、質問③（正答は、選択試Ⅲ）について、正答率はそれぞれ順に、71%(79名)、95%(105名)、85%(94名)であった。3つの質問の中で最も正答率が低かった質問①について、誤答の内容を調べたところ、小学生の26%(29名)は選択肢Ⅰを選んでおり、「同じ温度の水を混合したとき温度は高くなる」と考えていることがわかった（Table 4）。

次に、質問①、質問②、質問③の3つの質問に対する正誤パターンを調べたところ、3つの質問のすべてに対して正答した小学生の比率は64%(71名)であった。一方、1つ以上の質問で誤答した小学生の比率は36%(40名)であった。ここで前者については、温度変化に関する物理・化学的な知識をもっている可能性が高いと考えられるが、後者については、もっていない可能性が高いと考えられる。

真ん中の値を求める課題 [50点]と解答した小学生の正答率は50%(55名)であった。一方、[50点]以外の解答をした誤答の比率は36%(40名)、白紙の比率は14%(16名)であり、誤答と白紙をあわせて50%(56名)であった。なお、[50点]以外の解答で最も多かったものとして、40名の誤答のうち、12名は[40点]と答えていた。

算数テスト 平均得点[SD]は、6.66点[2.52]であった。

課題成績間の関係

以上の結果をもととして、「真ん中の値を求める課題」、および、「温度変化に関する質問」に対する解答の正誤パターンを調べ、小学生111名を次の4群に分けることにした。A群(n=40)は、「真ん中の値を求める課題」と「温度変化に関する質問」の両方に正答した群(○)である。B群(n=15)は、「真ん中の値を求める課題」に正答したが、「温度変化に関する質問」に正答しなかった群(○×)である。C群(n=31)は、「真ん中の値を求める課題」に正答しなかったが、「温度変化に関する質問」に正答した群(×○)である。D群(n=25)は、「真ん中の値を求める課題」と「温度変化に関する質問」の両方に正答しなかった群(××)である（Table 5）。

Table 5 課題成績間の関係

	n	真ん中の値を 求める課題	温度変化に 関する質問	温度判断課題 1回目(正答率)	温度判断課題 2回目(正答率)	算数テスト 平均得点 [SD]
A 群	40	○	○	43	53	8.08a [1.90]
B 群	15	○	×	0	7	7.40a [1.45]
C 群	31	×	○	3	6	5.42b [2.22]
D 群	25	×	×	0	4	5.48b [2.96]

○印は課題、あるいは、質問に対して正答したこと、×印は正答しなかったことを表す。

次に、A群、B群、C群、D群における「温度判断課題」の1回目の正答率を調べたところ、正答率はそれぞれ順に、43%、0%、3%、0%であった。また、同様に「温度判断課題」の2回目の正答率を調べたところ、正答率はそれぞれ順に、53%、7%、6%、4%であった。

さらに、A群、B群、C群、D群における算数テストの平均得点[SD]について調べたところ、平均得点[SD]はそれぞれ順に、8.08点[1.90]、7.40点[1.45]、5.42点[2.22]、5.48点[2.96]であった。この結果をもととして、算数テストの平均得点について1要因分散分析をおこなった結果、群間で有意差があり ($F(3,107)=11.54, p<.01$)、LSD法による多重比較の結果、 $A群=B群>C群=D群$ であった。この結果より、算数テストの得点は「真ん中の値を求める課題」の成績と関連し、「温度変化に関する質問」とは関連しないことが示されたと思われる。

考 察

本研究の目的は、水を混合したときの温度変化に関する小学生の判断について調べることであり、小学5年生 ($n=111$) を対象に、「温度判断課題」、「温度変化に関する質問」、「真ん中の値を求める課題」、「算数テスト」を用いた調査をおこない、各課題の成績の分析、および、各課題成績間の関係の分析をおこなった。その結果より、次の2点について考察したい。

第1は、先行研究 (Verschaffel, De Corte, & Lasure, 1994; Reusser & Stebler, 1997; Yoshida, Verschaffel, & De Corte, 1997; 金田, 2001) の結果の追試的な再現性についてである。この点について、Table 3 より、温度判断課題で[35℃]と解答した小学生の正答率は比較的低く (1回目は16%、2回目は23%)、一方、[70℃]と解答した小学生の誤答の比率は比較的高かった (1回目は43%、2回目は56%)。このことから、「水を混合したときの温度変化を小学生の多くは正しく判断できない」という点で、これらの先行研究の結果は追試的に再現されたと思われる。

第2は、小学生が温度変化を正しく判断できない原因についてである。この点について、Table 5 より、「真ん中の値を求める課題」と「温度変化に関する質問」の両方に正答したA群 ($n=40$) では、「温度判断課題」に対する正答率は43~53%と半分程度であったが、一方、B群 ($n=15$)、C群 ($n=31$)、D群 ($n=25$) では、正答率は0~7%と低かった。このことから、少なくとも次の2つの場合が原因として考えられると思われる。1つ目は、B群 ($n=15$)、および、D群 ($n=25$) のように、小学生が温度変化に関する正しい知識をもっていないと考えられる場合である。例えば、B群 ($n=15$) の場合、小学生は2つの数値の真ん中の値を求める計算能力をもっていたと考えられるが、「温度判断課題」において物理・化学的な知識がないためそのような計算をする必要性に気づかなかったのではないと思われる。2つ目は、C群 ($n=31$)、および、D群 ($n=25$) のように、小学生が2つの数値の真ん中の値を求める計算能力をもっていないと考えられる場合である。例えば、C群 ($n=31$) の場合、小学生は温度変化に関する物理・化学的な知識をもっていたと考えられるが、「温度判断課題」において2つの数値の真ん中の値を計算により求めることができなかったのではないと思われる。

以上をまとめると、温度変化に関する物理・化学的な知識の有無の要因と、2つの数値の真ん中の値を求める計算能力の有無の要因の2つの要因が、「温度判断課題」の正答率に関連することが本研究により示されたと思われる。ただし、本研究からは明らかでない点もあり、Table 5

をみると、A群(n=40)でも約半数（正答率は43～53%）は「温度判断課題」で正答できていなかったことがわかる。そこで、A群(n=40)の誤答内容について調べたところ、[70℃]と解答した誤答の比率は33%(13名)、[40℃]と解答した誤答の比率は10%(4名)であった。この結果は、本研究で検討した2つの要因の他にも、「温度判断課題」の正答率に関連する要因がある可能性を示唆するものであると思われる。

以上の結果をふまえると、今後の研究課題として、「課題にとりくむときの場面(金田, 2001)」など、正答率と誤答の比率に影響を与える可能性があるその他の要因について関連を調べることがあげられると思われる。また、その他の今後の研究課題として、小学校1～6年生を対象として、「同じ温度の水を混合すると温度は高くなる (Table 4)」のような素朴概念をもつ子どもの比率を調べることがあげられる。おそらく、このような素朴概念をもつ子どもの比率には、学年(年齢)以外にも、理科学習の内容、日常的な経験などの要因が関連すると考えられる。本研究の結果をもととして、これらの要因との関連で、子どもの素朴概念について調べ、さらに、正答をフィードバックすることがその後の成績に及ぼす効果をさまざまな条件間で比較することにより、科学的概念の教授方法、および、子どもの学習プロセスが明らかになり、先行研究 (Stavy, 1982; Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou & Brewer, 1994; Wiser & Amin, 2001; 国立教育政策研究所, 2002; Mazens & Lautrey, 2003) につながる知見が導き出されると考えられる。

謝 辞

本研究にご協力いただきました堀川文雄先生ほか、小学校の先生方、児童の皆様に心より御礼申し上げます。

文 献

- 細川藤次他 1999 文部省検定済教科書 算数1～6年 啓林館
細川藤次他 2002 文部科学省検定済教科書 算数1～6年 啓林館
金田茂裕 2002 不備のある算数文章題に対する小学生と高校生の解決方略 京都大学大学院教育学研究科紀要, 48, 468-477.
国立教育政策研究所 編 2002 生きるための知識と技能 OECD生徒の学習到達度調査 (PISA) ぎょうせい
Mazens, K., & Lautrey, J. 2003 Conceptual change in physics: children's naive representations of sound. *Cognitive Development*, 18, 159-176.
Reusser, K., & Stebler, R. 1997 Every word problem has a solution? The social rationality of mathematical modeling in schools. *Learning and Instruction*, 7, 309-327.
Stavy, R. 1982 U-shaped behavioral growth in ratio comparisons. Strauss, S. (ed) *U-shaped behavioral growth*. Academic Press. 11-36.
Strauss, S. 1982 Introduction. Strauss, S. (ed) *U-shaped behavioral growth*. Academic Press. 1-9.
竹内敬人他 2000 文部省検定済教科書 理科3～6年 啓林館
戸田盛和他 2002 文部科学省検定済教科書 たのしい理科3～6年 大日本図書
戸田盛和他 2002 文部科学省検定済教科書 中学校理科1分野上・下 大日本図書
上田誠也他 2001 文部省検定済教科書 新しい科学1分野上・下 東京書籍
Verschaffel, L., De Corte, E., & Lasure, S. 1994 Realistic consideration in mathematical modeling of school arithmetic word problems. *Learning and Instruction*, 4, 273-292.
Vosniadou, S., & Brewer, W. F. 1994 Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.

- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. 1992 Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, **24**, 535-585.
- Wiser, M., & Amin, T. 2001 "Is heat hot?" Inducing conceptual change by integrating everyday and scientific perspectives on thermal phenomena. *Learning and Instruction*, **11**, 331-355.
- Yoshida, H., Verschaffel, L., & De Corte, E. 1997 Realistic considerations in solving problematic word problems: Do Japanese and Belgian children have the same difficulties? *Learning and Instruction*, **7**, 329-338.

(教育認知心理学講座 助手)

Judgments on the Temperature Change of Mixed Water by Elementary School Students

KINDA Shigehiro

The present study examines the judgments on the temperature change of mixed water in elementary school students. We asked 111 students (fifth-graders) to work on a temperature judgment task: What will be the temperature of water, when 1 l of water at 30°C is mixed with 1 l of water at 40°C? In addition, we asked questions about the qualitative aspects of temperature change: How does the temperature change when we mix two lots of water of the same (or different) temperature(s)? Furthermore we measured the mathematical ability of the students to calculate the middle numerical value between two numerical values. The results show that the students could judge correctly in the temperature judgment task if they were able to correctly answer the questions and if they have sufficient mathematical ability.