

〈原著論文〉

「理論」の構築過程に基づく小学校理科学習指導に関する研究

— 粒子領域固有の認識方法の獲得と人間性の育成に着目して —

岡山大学大学院教育学研究科 川崎 弘 作
広島大学附属東雲小学校 中山 貴 司
日本体育大学大学院教育学研究科 雲 財 寛

本研究では、粒子領域の学習内容において、「理論」の構築過程に基づく学習指導が、科学固有の認識方法の獲得や人間性の育成に有効か否かを検証することを目的とした。科学理論とは、観察できる個々の現象を統一的に説明することのできる考えと捉えることができる。そして、科学理論は直接的に実証することが困難であることから、その考えが個々の事象を一貫して説明しやすく、後に実験により検証される新たな予測を生み出すこと、仮説演繹的な実験により反証されないこと等を通して確立されていくという構築過程を持つ。このような考え方に基づく学習指導を小学校第5学年の児童を対象に「もののとけ方」を通して実践を行ったところ、本研究の目的を達成したと判断できる結果を得ることができた。

キーワード：理科教育、理論と法則、人間性、粒子領域、科学の本質

1. 背景および目的

1-1. 理科教育と人間性の育成

「教科はなぜ必要か」という教科の成立基盤は、各教科の基底となる学問に関わる学習活動を通して、「各学問固有の認識方法」の獲得と「教科固有の人間性」の育成を行うことにある（角屋・雲財，2015a）。教科理科においては、自然科学（以下、科学と略す）が基底の学問となり、それに関わる学習活動を通して、両者を獲得・育成することが求められているといえる。そして、これらは、どちらか一方のみに着目するのではなく、科学の活動、いわゆる科学者が行う知識構成・創造の過程である「真正な科学（consistent with science）」（Krajcik & Blumenfeld, 2006）を経験させることにより、「科学固有の認識方法」を獲得し、その獲得過程において「理科固有の人間性」を育成することが望まれる。つまり、教科教育学的立場に立つならば、理科教育において、「真正な科学」に基づく学習活動が行われ、かつ、それによって科学固有の認識方法の獲得や理科固有の人間性の育成がなされる教育が求められているといえる。しかしながら、このような視点に立って教育実践

およびその効果検証を行っているものは管見の限り、みられない¹⁾。

1-2. 真正な科学に基づく理科学習活動

科学の営みを通して得られる知として様々なものがあるが、その中の一つとして科学理論や科学法則が挙げられる。そして、とりわけこれらに着目するならば、理科教育では、これらを科学（的）概念あるいは科学（的）知識として同一のものとして扱い、その獲得や構築の促進が取り組まれてきた。しかし、科学理論と科学法則は別種のものであり、それらを同一のものとして扱うのではなく、区別しておくことの重要性も指摘されている（Lederman & Lederman, 2012）。

そもそも、科学理論は「観察できる個々の事象を統一的に説明することのできる考え」、科学法則は「ある条件の中で成立する事象の必然的規則性」と捉えることができ（e.g., Lederman, 2007; 戸田山, 2011; 森田, 2010）、例えば温度が一定のときの気体の体積と圧力の関係を説明するボイルの法則が科学法則の一例として挙げられ、ボイルの法則を説明する分子運動理論が科学理論の一

例として挙げられる (Lederman, 2003)。そして、これに伴い、科学理論と科学法則が検証・確立される過程も異なる。科学法則は、観察可能な事象に対して、その関係や規則性を示したものであるため、観察・実験結果から直接的に検証することが比較的可能である。一方、科学理論は、直接観察できない対象を含んでいるため、実験・観察結果から間接的に検証する必要がある。具体的には、その考えが個々の事象を一貫して説明しやすく、後に実験により検証される新たな予測を生み出すこと、仮説演繹的な実験により反証されないこと等を通して蓋然性を高め、科学理論として確立されていく (Lawson, 1995; 戸田山, 2005)。

以上のように、科学理論と科学法則はそれぞれが意味するものやその検証・確立過程が異なる。このため、科学理論と科学法則、あるいは、子どもなりの理論と法則を子どもに構築させていく際の問題解決やそれに関する指導を同一の方法で行うならば、前述のような科学の活動とは整合しない理科学習になる可能性も否定できない。以上のことから、真正な科学に基づく学習活動を目指すためには、理論や法則を子どもに構築させていく際の問題解決や指導方法は区別するべきであると考え。しかしながら、これまでの理科教育研究においては、科学理論と科学法則のそれぞれの構築過程の違いを明確にした上で、その指導方法を検討するといった方法を採用しているものは希少である²⁾。以上のことから、本研究では、このような科学理論に着目した学習指導を、「理論」の構築過程に基づく学習指導とし、その方法や教育的効果に着目して研究を行う。

1-3. 本研究で着目する科学固有の認識方法

科学固有の認識方法は、主に物理学・化学・生物学・地球科学に対応した4種が挙げられる。そして、それらの認識方法に対応する形で、学習指導要領理科において学習内容の領域が区分されている (角屋ら, 2012)。これらの領域のうち、粒子 (化学) 領域では、中学校第2学年における「粒子概念」の獲得に向けて、小学校から物質の質的、実体論的な認識方法を獲得することが狙いとなっている (角屋, 2013)。ここでいう物質を質的、実体論的に認識するとは、例えば、小学校第4学

年の「A 物質・エネルギー」の「(1) 空気と水の性質」等において、目に見えない空気をとらえるために、空気を雲のようなものや粒の集合体を想定したりしながら、空気という観測対象を捉えていくことであるといえる。つまり、直接目に見えない対象や部分についても、そこに何かが存在するはずだ、そこにはこのような構造があるはずだと、その存在や構造を仮定しながら物質を捉えていくことであるといえる。そして、この存在や構造を仮定する際に、しばしば前述の雲のようなものや粒の集合体等といったいわゆる「理論」が用いられることになる。このため、粒子領域の学習内容は「理論」の構築過程に基づく学習活動を行う領域として適していると考えられる。以上のことから、本研究では、粒子領域の学習内容とその認識方法に着目する。

1-4. 本研究で着目する人間性

人間性とは「本能の命ずるとおりに行動し生理的欲求を満たすだけの動物的な生き方を越えた」部分に現れる人間固有の特質であり、このような立場に立てば、人間固有の特質として、言語を基本とするシンボルを操作する能力をもち思考力、想像力を働かせること、自我意識を持つこと、精神的価値を追究しようとするといったことが該当する (熊谷, 2013)。しかしながら、教科教育の文脈で「人間性」を言及する際には、その意味合いが異なる。具体的には、前述した思考力等は既に教科の目標に明確に位置づけられており、教科教育の文脈で言及される「人間性」とは、熊谷が指摘しているような人間固有の特質の全てを対象としているわけではない。

このことについて、とりわけ理科教育に着目するならば、角屋・雲財 (2015b) は、理科教育を通して育成される「人間性」について、仮説検証活動による個の確立を通して育成される自己決定や自己責任、他者とのかわりによる個の変容を通して育成される他者の尊重や謙虚さなどの大きく2種がそれにあたるとしている。つまり、教科教育、とりわけ理科教育における「人間性」とは、仮説検証活動といった科学的な活動を通して育成される、自己あるいは他者に対する情意的側面であるといえる。本研究では、理科教育を通した「人

間性」の育成を目指しているため、「人間性」については基本的にこの立場をとる。

また、詳細は後述するが、「理論」の構築過程に基づく学習活動では、前述したように、ある考えが個々の事象を説明しやすく、後に実験により検証される新たな予測を生み出すこと、仮説演繹的な実験により反証されないこと等を通して蓋然性を高め、理論として確立されていくといった、その理論が構築されていく過程が学習活動に組み込まれる。このため、自己と他者の意見を比較したり、自己の意見から他者の意見に変更したりといった他者とのかかわりが必然的に行われることになる。そして、このような活動が行われる中で、他者の意見は自己の意見の見直しを促してくれる、自分の意見をより良いものにしてくれるといった他者の尊重や謙虚さなどの重要性を認識し、これらに関する人間性が育成されるのではないかと考えられる。

以上のことから、本研究では、とりわけ他者とのかかわりによる個の変容を通した人間性に着目する。

なお、この人間性として、他者の尊重や謙虚さなどが挙げられているが、このような人間性は、各教科で指導すべきであるとされる道徳においても多数みられる。例えば、道徳の内容「B. 主として人との関わりに関すること」の中で「友達と互いに信頼し、学び合って友情を深め、(中略)人間関係を築いていくこと」や「自分の考えや意見を相手に伝えるとともに、謙虚な心もち、広い心で自分と異なる意見や立場を尊重すること」等が挙げられる(文部科学省, 2008)。本研究では、このような道徳における人間性と理科における人間性は区別する。それは、道徳ではこれらの人間性が「よりよく生きるための基盤となる道徳性を養うため」に育成が目指されている(文部科学省, 2008)のに対し、理科ではこれらの人間性がより妥当な科学的知識を構築するために育成が目標とされるべきであると考えためである。言い換えるならば、道徳では「平和で民主的な国家及び社会の形成者として」(文部科学省, 2016)自己理解や他者理解が必要になるのに対し、理科では科学的知識の構築者として、その考え(科学理論・法則等)が妥当なのか否かを判断する際に、他者の

意見を参考にしたり、比較したりすることにより自己の考えを見つめなおす必要があるからである。この点が、本研究でこれらの人間性を理科固有のものとして扱っている理由である。

1-5. 目 的

以上のことから、本研究では、粒子領域の学習内容において、「理論」の構築過程に基づく学習指導が、粒子領域固有の認識方法の獲得や他者とのかかわりによる個の変容を通した人間性の育成に有効か否かを検証する。

2. 実践および検証方法

2-1. 「理論」の構築過程に基づく学習指導

前述した「理論」の構築過程に基づく学習指導を提案している研究として、Lawson (1995) と原田 (1997) を挙げることができる。Lawson は、直接観察することのできない科学理論は、直接的に実証することが不可能であるという立場から、ある現象に対して一つの仮説を設定し、それに対応する一つの実験から結論を導出するのではなく、ある現象に対して、複数の仮説を発想することの重要性を主張した。そして、複数の仮説に対し、仮説演繹的な実験を行い、反証されなかった仮説を理論として選択させるといった学習指導を提案している。また、原田は、このような Lawson の考えに基づき、それぞれの仮説に対しても複数の仮説演繹的な実験から検証させる学習指導を考案し、その有効性を明らかにしている。本研究では、これら、ある現象に対して複数の仮説を発想させること、各仮説については複数の実験から検証させることの2点に加えて、前述の「理論」の構築過程に基づき、反証されない仮説が複数残った場合には、最も説明しやすい仮説を理論として選択させるという学習活動を取り入れることにした。なお、ここでの「説明しやすい」とは、複数の現象を一貫して、論理的矛盾やアドホック(その場のぎ)の仮定、正体不明・原因不明の要素をできるだけ含むことなく説明できる(戸田山, 2005)ということを指す。

以上を整理し、以下のような学習指導を設定した。まず、単元の初期段階で複数の仮説が発想されるような現象を提示する(学習指導1)。そして、

その発想された複数の仮説について、様々な実験を行っていく中で、各現象を説明しやすいか、反証されていないかといった視点から、それぞれの仮説を棄却したり、修正したり、理論として選択したりしていくような学習を展開する（学習指導 2）。

2-2. 調査時期・対象

2013年11～12月に広島県内の小学校第5学年1クラス34名を対象に「もののとけ方」において実践した。

2-3. 指導の実際

前述したように、本実践は、小学校第5学年「もののとけ方」において行った。本実践の指導の流れを表1に示す。なお、第2次以降は溶質として食塩に加え、ミョウバンも扱わせている。

表1 本実践の指導の流れ

次	指導内容（時数）
導入	a. 水 50ml とエタノール 50ml を混ぜたとき、100ml よりも体積が少なくなるのはなぜだろうか（2）
	b. 食塩が水にとけていく様子はどのようなになっているだろうか（2）
第1次	c. 食塩を水にかかすと全体の重さはどうなるだろうか（2）
第2次	d. 水の量を増やすとものがとける量はどうか（2）
	e. 水の温度を上げるとものがとける量はどうか（2）
第3次	f. 水にとけたものを取り出すことができるだろうか（2）

まず、「導入」の指導内容 a の第1時において、演示実験として水 50ml とエタノール 50ml を混ぜ、その混合液がおおよそ 98ml になる現象を提示した（学習指導 1）。その後、なぜ両者を混ぜた後の体積が 100ml ではなく 98ml になるか、その現象の理由について児童それぞれに仮説を発想させた。その際に発想された仮説とその人数について表2に示す。これらの仮説の名称は、授業内において児童と教員との話し合いにより決定され

た。なお、発想された仮説の中でも、本実践において単元を通して中心的に検証されていくことになる「粒すきま説」「粒吸収説」についてはそれぞれ表内に図を付す。

表2 導入時に発想された仮説と人数

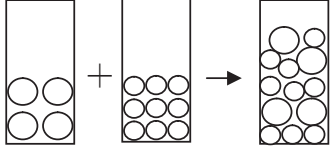
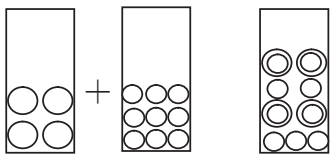
仮説の名称	内 容	人数
粒すきま説	<p>水とエタノールをそれぞれ粒で表し、一方の粒と粒の隙間に他方の粒が入り込んだ結果、体積が減少したという考え（水とエタノールの粒の大小については問わない）</p>  <p>水 エタノール</p>	2
粒吸収説	<p>水とエタノールをそれぞれ粒で表し、一方の粒の中に他方の粒が入り込んだ（吸収された）結果、体積が減少したという考え（水とエタノールの粒の大小については問わない）</p>  <p>水 エタノール</p>	14
蒸発説	水とエタノールを混ぜたことにより、水が蒸発して体積が減少したという考え	8
変化説	水とエタノールを混ぜたことで、別のものになったため体積が減少したという考え	9
冷却説	水とエタノールを混ぜたことにより、温度が下がり、体積が減少したという考え	1

表2に示すように学習指導1における演示実験により複数の仮説が発想されたため、前述した学習指導2に基づき、様々な実験を行っていく中で、各現象を説明できるか、反証されていないかと

いった視点から、それぞれの仮説を棄却したり、修正したり、選択したりできるように学習を展開した。そして、本時の中で、「蒸発説」においては、両者を混ぜる前後の質量を比べる実験を行い、質量に変化が無いという結果から、多くの児童が「蒸発説」を棄却した（各時において、各仮説を選択している人数分布の移り変わりについての詳細は後述する。以下、同様。）。また、「冷却説」においては、混ぜる前後の温度変化を比べる実験を行い、混ぜた後の方が温度が高くなるという結果から、「冷却説」も棄却された。一方、「変化説」については、もし変化するならば、水に食紅で色をつけ、その上でエタノールと混ぜると、水とエタノールが別のものに変化し、それに伴い色に変化があるかもしれないとの意見が児童から提案されたため、この意見に基づき実験を行った。その結果、両者を混ぜても赤色のままであったため、多くの児童が「変化説」を棄却した。

このような実験を行った後、教師から「この中の仮説の中で、自分にとってこの現象を一番説明のしやすいものはどれか」と問い、本時において、自分自身がどの仮説を最終的に支持するか選択させた。なお、本時における各仮説を選択した最終的な人数は、「粒すきま説」が15人、「粒吸収説」が15人、「蒸発説」が2人、「変化説」が2人、「冷却説」が0人となった。

そして、指導内容 a の第2時において、再度各仮説について、各現象を最も説明しやすく、反証もされていない仮説について、児童同士の話し合いを行わせた。その結果、本時において各仮説を選択した最終的な人数は、「粒すきま説」が20人、「粒吸収説」が14人となり、この二つの仮説に絞られた。さらに、本時の最後に、本時では水にエタノールという液体を混ぜたときの様子を扱ったため、次回以降水に固体を混ぜたときの様子についても扱うことを伝えた。そして、良い説というのは、様々な実験結果を一貫して説明できるものであるため、本時で選択した仮説が水に固体を混ぜたときの様子についても説明することができるかどうかを検討していく中で、最終的に最も説明しやすい仮説はどれかを選択していく学習を行っていき、児童に今後の学習の進め方について説明し、本時を終えた。

そして、表1に示した指導内容 b 以降の授業においても、複数の仮説について、様々な実験を行っていく中で、各現象を説明しやすいか、反証されていないかといった視点から、それぞれの仮説を棄却したり、修正したり、選択したりしていくような学習を展開した（学習指導2）。具体的には、各個人に各時点で選択している仮説に基づき各実験の結果を予測させたり、実験後の結果や他者の意見を基に、各自の仮説の妥当性を考察させたりすることを通して、それぞれの仮説を棄却させたり、修正させたり、選択させたりした。

なお、指導内容 e 「水の温度を上げるとものがとける量はどうなるだろうか」においては、溶質が食塩の場合、水の温度を上げても食塩がとける量は変わらないという実験結果が得られることが多い。しかし、本実践では、実験により少量ではあるが食塩が水にとける量が増えたという実験結果が得られたため、水の温度を上げると食塩とミョウバンのどちらも水にとける量は増えること、ミョウバンに比べ温度による食塩が水にとける量の変化は小さいことを考察時に確認した。

2-4. 検証方法

本研究の目的である、粒子領域の学習内容において、「理論」の構築過程に基づく学習指導が、粒子領域固有の認識方法の獲得や他者とのかかわりによる個の変容を通じた人間性の育成に有効か否かを明らかにするために、以下の3点の分析の視点に基づき検証を行う。

- i) 「理論」の構築過程に基づく学習活動が行えたか（発想された複数の仮説について、各現象を説明しやすいか、反証されていないかといった視点から棄却・修正・選択を行ったか。科学的に妥当な仮説を選択できたか。）。
- ii) 粒子領域固有の認識方法を獲得したか（複数の事象について、水溶液の溶質や溶媒を質的、実体的に捉えているか。）。
- iii) 他者とのかかわりによる個の変容を通じた人間性の育成に有効であるか（他者の尊重や謙虚さの重要性を認識したか。）。

3. 結果

3-1. 分析の視点 i) について

分析の視点 i) は、本研究の前提として、「理論」の構築過程に基づく学習指導は、実践を行った対象学年、対象単元に実施可能であったか（成立していたか）否かを検証するために設定したものである。このことについて検証するために、本研究では、(1) 児童それぞれが、各現象を説明しやすいかといった視点から、各自が発想した仮説について、棄却したり、修正したりしながら、仮説を選択しているか、(2) 最終的に科学的に妥当な仮説を選択しているかの大きく 2 点から検証を行うことにした。これに基づき、分析の視点 i) では以下の 3 点から分析を行う。なお、(1) が i)-1a, 1b, (2) が i)-2 に対応する。

- i)-1a 各個人が各実験後に選択した仮説の推移
- i)-1b 各個人が仮説を変更したときの理由
- i)-2 各学習後に選択された各仮説の割合

まず、「i)-1a 各個人が各実験後に選択した仮説の推移」から述べる。本実践を行うにあたり、各指導内容後に図 1 のように、各自が発想・選択した仮説の自信度をグラフとして記述させている。自信度グラフの下①～⑧は、それぞれ表 3 に示す時点を表し、四角の欄にはその時点でどの仮説を選択したかを表している。なお、指導内容 a が終了した時点で児童から他の仮説と迷っている場合はどのように書けばよいかとの質問があったため、指導内容 b 以降（図 1 においては②後以降）においては、選択しなかった他の仮説の自信度も同時に記述させた。

なお、図 1 にも示すように、指導内容 e（図 1 においては⑥）において、水の温度を上げるとものがとける量が増えたという現象を説明するために、児童たちは粒すきま説あるいは粒吸収説をそれぞれ修正し、「粒すきま・動き説」「粒すきま・ふくらみ説」「粒吸収・ふくらみ説」の新たな三つの仮説を創り出した。「粒すきま・動き説」は、温度が上がることによって、粒が動きだし、その結果、すきまが増え、ものがとける量が増えたと考える仮説である。「粒すきま・ふくらみ説」は、温度が上がることによって粒がふくらみ、その結

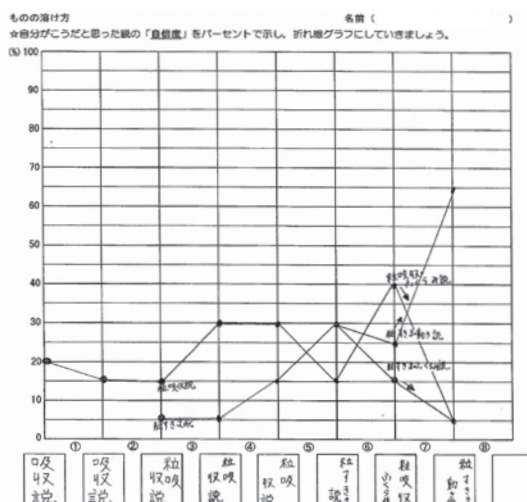


図 1 自信度グラフ

表 3 自信度グラフ下の数字が表す時点

数字	時 点
①	指導内容 a の第 1 時
②	指導内容 a の第 2 時
③	指導内容 b
④	指導内容 c
⑤	指導内容 d
⑥	指導内容 e
⑦	指導内容 f
⑧	予備

果、すきまが増え、ものがとける量が増えたと考える仮説である。そして、「粒吸収・ふくらみ説」は、温度が上がることによって、水の粒がふくらみ、水の粒の中により多くの溶質が入り込めると考える仮説である。

「理論」の構築過程に基づく学習指導が成立していたのであれば、児童それぞれが、各自が発想した仮説について棄却したり、修正したりしながら、最終的に自身が支持する仮説を選択している様子が自信度グラフの下①の四角の欄から読み取れると考えた。なお、仮説を棄却している様子は、グラフ下の四角の欄において、以前選択をしていた仮説から他の仮説を選択している様子として表れ、仮説を修正している様子は、もともと挙げられていた仮説を修正し、新たな仮説を創り出している様子として表れると判断した。図 1 を例に挙げるならば、仮説を棄却している様子として、例

えば、④から⑤にかけて「粒吸収説」から「粒すきま説」に変更されている部分がこれに該当する。また、仮説を修正している様子は、⑥において「粒吸収・ふくらみ説」といったこれまで挙げられていた説（「粒吸収」）を基盤にし、新たな考え（「ふくらみ」）を付与している部分がこれに該当する。このような考えに基づき、児童の自信度グラフを分析した結果、34名全員が仮説の棄却、修正を行い、最終的に自身が支持する仮説を選択していると判断できる記述をしていた。

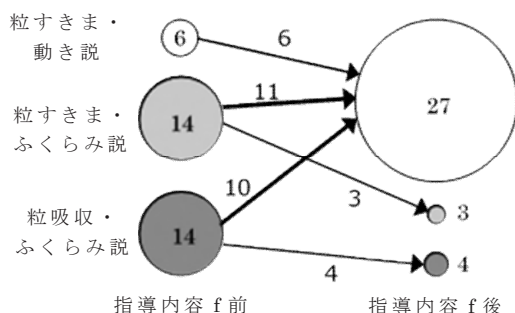
次に、「i）-1b 各個人が仮説を変更したときの理由」について述べる。「理論」の構築過程の学習に基づき、児童それぞれが、各自が発想した仮説について棄却したり、修正したり、選択したりしているならば、仮説を変更したときの理由として、変更後の仮説の方がより説明しやすい、変更前の仮説ではうまく説明できないといった点を挙げていることが想定される。本実践では、図1の自信度グラフに記入させる際に、なぜそのように記入したのか、その理由も併せて記述させている。このため、この理由の記述に、変更後の仮説の方がより説明しやすい、変更前の仮説ではうまく説明できないといった点が挙げられているか否かを分析する。なお、分析対象としては、他の仮説への変更が多かった指導内容 f（図1においては⑦）後に記述した理由とすることにした。指導内容 f 前後にそれぞれ選択している仮説の推移を図2に示す。

図2に示すように、指導内容 f 前には「粒すきま・動き説」を6名、「粒すきま・ふくらみ説」を14名、「粒吸収・ふくらみ説」を14名が選択し

ており、指導内容 f 後にはそれぞれ27名、3名、4名となっている。そして、指導内容 f 前に「粒すきま・ふくらみ説」を選択していた14名のうち11名が、「粒吸収・ふくらみ説」を選択していた14名のうち10名が、指導内容 f 後において「粒すきま・動き説」へと仮説を変更している。本分析においては、これら指導内容 f 前後において支持する仮説を変更した21名が記述した仮説を変更した理由について分析を行う。

まず、本分析を行う前に、指導内容 f 時の授業の流れについて説明する。本時の学習内容「水にとけたものを取り出すことができるだろうか」に対する実験前の主な説明はそれぞれ以下のようなものであった。「粒すきま・動き説」を選択している児童は、水を熱すると、水の粒の動きが活発になるから、その粒が空気中に飛び出していくことにより蒸発が起こり、そのすきまに存在していた食塩やミョウバンの粒がそのままビーカー内に残るため、水にとけたものを取り出すことができるという説明である。「粒すきま・ふくらみ説」、「粒吸収・ふくらみ説」では、水を熱すると、水の粒がふくらんでいって、水の粒がふくらむことによって上に上がっていくことで蒸発が起こり、その結果、水にとけたものを取り出すことができるという説明である。これらの考えにより、実際に実験を行い、水の蒸発により食塩やミョウバンを取り出すことができたが、実験後の考察時において「粒すきま・動き説」を選択している児童から、「粒すきま・ふくらみ説」、「粒吸収・ふくらみ説」について、次のような指摘があった。「粒すきま・ふくらみ説」については、水が熱せられることにより、粒がふくらんでいくと水の体積が増え続けていくのではないかという指摘である。一方、「粒吸収・ふくらみ説」については、水の中に食塩やミョウバンが吸収されているため、水の粒が上に上がっていくと同時に水の粒の中にある食塩やミョウバンも上がっていくため、ビーカー内に食塩やミョウバンが残らないはずではないかという指摘である。これらの指摘について、「粒すきま・ふくらみ説」、「粒吸収・ふくらみ説」を選択していた児童はうまく回答することができず、そのまま各自考察を記述することになった。そして、本

図2 指導内容 f 前後の仮説の推移



時の最後に最終的に選択した仮説と、その仮説を選択した理由を記述させた。

以上のような授業により、指導内容 f 前後において支持する仮説を変更した児童が21名いたため、これらの児童が記述した仮説を変更した理由について分析を行った。なお、本分析では、前述したように、仮説を変更したときの理由として、変更後の仮説の方がより説明しやすい、変更前の仮説ではうまく説明できないといった点を挙げているか否かを分析の視点とする。

仮説の変更を行った21名の児童の理由を分析したところ、大きく以下の2点の理由に大別できた。まず、1点目は児童Aの「(熱せられることにより)粒が出て行くという蒸発の説明がつくから」(()内は筆者加筆)といった「粒すきま・動き説」では食塩水が蒸発して食塩が残るという部分をうまく説明できるという点に着目した理由である。2点目は児童Bの「(熱せられることにより)粒がふくらむとどこまでも水が増えるから、蒸発という現象は説明できない」(()内は筆者加筆)といった「粒すきま・ふくらみ説」、「粒吸収・ふくらみ説」の「ふくらみ」の部分のうまく説明できないという点に着目した理由である。これらのうち、仮説を変更したときの理由として、前者は変更後の仮説の方がより説明しやすいという点を、後者は変更前の仮説ではうまく説明できないという点を挙げているといえる。また、児童Cのように「粒すきま・動き説は蒸発について説明できたけど、粒すきま・ふくらみ説、粒吸収・ふくらみ説が自分は納得いかなかったし上手に説明できていなかったからです」といった前述の両者を含んでいる記述もみられた。本分析で着目した21名の記述を分析したところ、21名全員が仮説を変更したときの理由として、変更後の仮説の方がより説明しやすいという点、変更前の仮説ではうまく説明できないという点の両者あるいはどちらかを挙げていると判断できる記述をしていた。

最後に、「i)-2 各学習後に選択された各仮説の割合」について述べる。図1の集計結果から、各学習後に選択された各仮説の人数の割合を求めた。その結果を図3に示す。なお、グラフ上の数字はその仮説を選択した人数、グラフ下の丸数字

は表3と同様の時点を表す。

図3より、最終的に科学的に妥当な仮説である「粒すきま・動き説」を34名中27名(79.4%)が選択していた。

以上の結果より、i)-1aでは、自信度グラフの四角の欄を分析することによって、全ての児童が仮説の棄却、修正を行っていること、i)-1bでは、とりわけ指導内容 f 後に他の仮説へ変更した児童に着目し、他の仮説へ変更した理由を分析することによって、仮説を選択する際には各現象を説明しやすいか否かという視点でその選択を行っていたことが明らかになった。

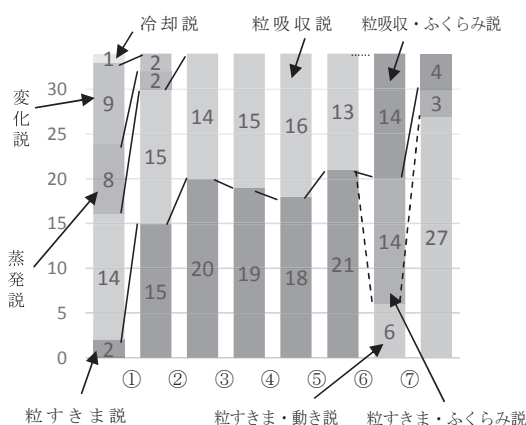


図3 各学習後に選択された各仮説の割合

また、i)-2では80%近くの児童が最終的に科学的に妥当な仮説を選択していた。i)-1a, 1b, 2の結果は、前述したように、(1) 児童それぞれが、各現象を説明しやすいかといった視点から、各自が発想した仮説について、棄却したり、修正したりしながら、仮説を選択しているか、(2) 最終的に科学的に妥当な仮説を選択しているかについて、十分に目標を達成できたと判断できる数値であったと考えられる。以上のことから、「理論」の構築過程に基づく学習指導は、対象学年、対象単元に実施可能であったと判断した。

3-2. 分析の視点 ii) について

分析の視点 ii) では、粒子領域固有である質的、実体的な認識方法、つまり、水溶液中の溶質や

溶媒の存在や構造を仮定しながら、水溶液にかかわる事象を捉えるという認識方法が獲得されたか否かを明らかにする。このため、複数の事象について水溶液中の溶質や溶媒の存在や構造を仮定しながら、水溶液にかかわる事象を捉えているかについて、図4に示すような考察場面の記述に対して分析を行った。なお、このときの基準としては、「水の量を増やすとものとのける量も増えることがわかった」といった、各事象をその関係や規則性のみで考察するのではなく、溶質や溶媒の存在や構造を仮定しながら考察しているか否かという点を用いた。例えば、図4であれば、「水の量を増やすとものとのける量も増える」という現象を説明するために、水(溶媒)や水溶液中の食塩、ミョウバン(溶質)の存在を粒で表したり、水の量を増やすことによって粒と粒の間のすき間が増えるといった構造を表したりしている。このため、この記述は、この現象について、溶質や溶媒の存在や構造を仮定しながら考察していると判断できる。なお、他の児童や他の指導内容の考察を分析する際には、科学的に妥当な「粒すきま説」に限らず「粒吸収説」等の説を用いて説明していたとしても、前述の基準を満たしていれば、質的、実体的な認識方法を獲得した記述であると判断した。分析は児童が考察を行っている指導内容b～eの記述を対象にした。

児童が考察を記述した指導内容 b～e におけるワークシートに対して分析を行った結果、指導内容 b～e の全てにおいて34名全員が各事象について、図4のように溶質や溶媒の存在や構造を仮定しながら考察していると判断できる記述をしていた。

このことから、本実践を通して、粒子領域固有の認識方法を獲得できたと判断した。

3-3. 分析の視点 iii) について

分析の視点iii)は、他者とのかわりによる個の変容を通した人間性の育成に有効か否かを明らかにすることであった。既に分析の視点i)において、児童それぞれが、各現象を説明しやすいかといった視点から、各自が発想した仮説について、棄却したり、修正したりしながら、仮説を選択しているか等、「理論」の構築過程に基づく学習活

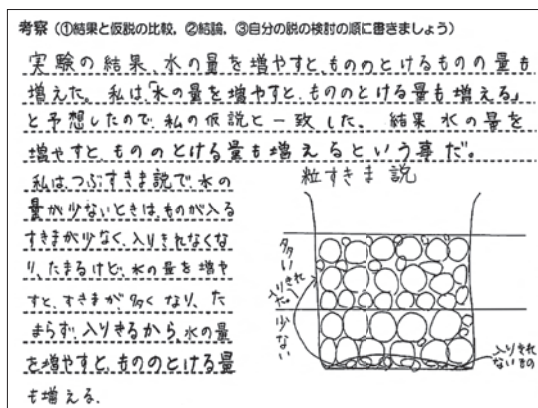


図4 考察例（指導内容d）

動が行えたことを明らかにした。とりわけ i) - 1b) においては、実験結果や他者からの意見により多くの児童が仮説を変更させている様子も確認された。前述したように、「理論」の構築過程に基づく学習活動が行えたならば、自己と他者の意見を比較したり、自己の意見から他者の意見に変更したりといった他者とのかかわりが必然的に行われることになる。そして、このような活動が行われる中で、他者の意見は自己の意見の見直しを促してくれる、自分の意見をより良いものにしてくれるといった他者の尊重や謙虚さなどの重要性を認識し、これらに関する人間性が育成されるのではないかと考えている。このため、分析の視点 iii) の具体として、他者の尊重や謙虚さの重要性を認識したか否かについて分析を行う。なお、児童には単元終了後に本単元の感想について、感想①「今回の理科の学習の一番いいところは何だと思いますか。」、感想②「今回の理科の学習を通して感じたことを書きましょう。」の問いに自由記述で回答させており、視点 iii) についてはこの記述を対象に分析を行う。以下、感想①、②の記述例について、それぞれ図 5、6 に示す。

他者の尊重の重要性を認識したか否かについては、このような記述の中に、「他者の考えや意見、話し合いのおかげで自分の考えを見直したり、より良い考えに変えたりすることができた」等の記述がみられるか否かという視点で分析を行った。また、謙虚さの重要性を認識したか否かについては、このような記述の中に、「自分の考えの間違いを認める素直さが大事だった」等の記述がみられ

感想①「今回の理科の学習の一番いいところは何だと思いますか。」

児童D：自分の考えを話し合いを通して深め、友だちの考えを認め合いながら話し合いをすること。

児童E：とにかく自分の説をもって、それがまだ不十分であれば友達からの質問を受けたりして、自分の考えが濃くなっていくこと。

児童F：自分の説が間違っていてその間違いを認める素直さと、自分の説はこうなんだという説明力。

図5 感想①の記述例

感想②「今回の理科の学習を通して感じたことを書きましよう。」

児童G：発表して意見を深めることのよさ。自分と友だちの意見を比べるよさ。友だちの意見を聞いて自分の意見＋友だちの意見をもち考えることのよさ。

児童H：人の意見を聞いて自分の説が変わるという大切さを感じた。

児童I：目には見えないことを今までに習ったことをふまえて考えるのが良かった。考えを交流して、相手の説を取り入れながら、自分の説が進化していくのがよかった。

児童J：自分でその説を信じていたとしても、自分ではその説に疑問に思うことがないし、でもこの理科の学習だとみんなが自分の説に質問をしてくれて自分の説の違うところやおかしいところが分かって、それを認めてうつつたり変わったりするのが良かったです。

児童K：自分の説は間違っていないかとか、この説なら説明できそうとかいろいろと考えられた（←いつも以上に）。

児童L：私は説を言い合うのはあまり好みませんでした。理由は、正しい説の人は喜ぶけど、間違った人はモヤモヤするし、シュンとしてしまっって明るくならないから。

図6 感想②の記述例

るか否かという視点で分析を行った。なお、児童Jの記述の「…(略)…この理科の学習だとみんなが自分の説に質問をしてくれて自分の説の違うところやおかしいところが分かって、それを認めてうつつたり変わったりするのが良かった…(略)…」

のように、他者の尊重や謙虚さに関連する記述が混在する事例も見られた。これは、他者の尊重と謙虚さを明確に区別できないことに起因する。このことから、本分析においては、他者の尊重と謙虚さを区別するのではなく、どちらかあるいは両者に関連する記述がみられる児童を、他者の尊重や謙虚さの重要性を認識できたと判断することにした。

分析を行った結果、34名中31名（91.2%）が他者の尊重や謙虚さの重要性を認識できたと判断できる記述であった。また、児童Jの「この理科の学習だと」や、児童Kの「いつも以上に」との記述にみられるように、これらの結果が本指導による効果であるという蓋然性を高める記述もみられた。なお、34名中2名（5.9%）が図6に示す児童Lのように他者の尊重や謙虚さの重要性を認識できなかったと判断できる記述、34名中1名（2.9%）は、これらに関連する記述がみられなかった。また、他者の尊重や謙虚さの重要性を認識できた児童と認識できなかった児童の人数の違いについて、正確二項検定を行ったところ、重要性を認識できなかった児童に比べ、認識できた児童の人数が有意に多いことも明らかになった（ $p < .01$ ）。

以上のように、多くの児童が他者の尊重や謙虚さの重要性を認識できたと判断できる記述をしていたことから、本学習指導は、他者とのかかわりによる個の変容を通した人間性の育成に有効であると判断した。

4. 考 察

前項において、以下の3点の分析の視点に基づき検証を行った。

- i) 「理論」の構築過程に基づく学習活動が行えたか（発想された複数の仮説について、各現象を説明しやすいか、反証されていないかといった視点から棄却・修正・選択を行ったか。科学的に妥当な仮説を選択できたか。）。
- ii) 粒子領域固有の認識方法を獲得したか（複数の事象について、水溶液の溶質や溶媒を質的、実体的に捉えているか。）。
- iii) 他者とのかかわりによる個の変容を通した人間性の育成に有効であるか（他者の尊重や謙虚

さの重要性を認識したか。))。

分析の視点 i) については、自信度グラフや各個人が仮説を変更したときの理由、児童が最終的に選択した仮説の割合の分析から、分析 ii) については、考察の記述の分析から、分析 iii) については、単元終了後の本単元に対する感想の分析から、それぞれについて、十分に目標を達成できたと判断できる結果を得られた。このことから、粒子領域の学習内容において、「理論」の構築過程に基づく学習指導が、粒子領域固有の認識方法の獲得や他者とのかかわりによる個の変容を通した人間性の育成に有効であると判断した。

一方で課題も残っている。まずは本指導法による人間性の育成についての因果関係のさらなる解明である。本研究では、授業中の児童の発言や児童同士のやりとりの過程を分析したわけではないため、どのような瞬間に人間性の育成に繋がるような認識が起こったか等については今後明らかにする必要があると考える。また、本指導法の効果の継続性という点も課題として挙げられる。本実践の効果検証は単元中、単元終了直後の児童の姿を対象に行った。このため、例えば、人間性の育成に関して、今回の実践で他者の尊重や謙虚さの重要性を認識したことが、児童のこれからの生活のどの程度の期間に影響を与えるかについては、明らかにしていない。本研究では、このような実践を繰り返し行うことで、その継続性という点を克服できることを想定しているため、「理論」の構築過程に基づく学習指導は人間性の育成に有効であると判断している。しかし、本研究での実践は一単元のみで行っており、継続性という課題については、今後、実践を積み重ねることにより検討を重ねていきたい。

また、本研究では、小学校第5学年を対象に実践および効果検証を行った。しかし、粒子領域においては、小学校第3学年から第6学年まで、あるいは中学校・高等学校までこのような学習指導が系統的に行われることが望まれる。今後は、各学年および校種において、どのような学習指導を行えばいいか、単元構成も含めて検討を重ねていく必要がある。他にも、「理論」の構築過程に基づく学習指導によって育成、向上が期待できる科

学的思考力や科学の本質の理解等の他の教育的効果についても検証していくことが必要である。

註

- 1) 2000年以降の『日本教科教育学会誌』『理科教育学研究』『科学教育研究』および、“*Journal of Research in Science Teaching*,” “*Science Education*,” “*International Journal of Science Education*”における、「人間性 (humanity)」に関する先行研究を概観したが見られなかった。
- 2) 2000年以降の『日本教科教育学会誌』『理科教育学研究』『科学教育研究』および、“*Journal of Research in Science Teaching*,” “*Science Education*,” “*International Journal of Science Education*”における、「理論 (theory)」, 「法則 (law)」に関する先行研究を概観したが見られなかった。

引用参考文献

- 原田周範 (1997) 「中学校における科学的思考力を育成する理科授業とその評価ーself-regulationを加味した learning cycle の導入ー」『兵庫教育大学大学院修士論文』
- 角屋重樹・雲財寛 (2015a) 「教科はなぜ必要なのか」, 日本教科教育学会編『今なぜ、教科教育なのかー教科の本質を踏まえた授業作り』, pp.13-16, 文溪堂
- 角屋重樹・雲財寛 (2015b) 「科学的な見方や考え方を育てる理科」, 日本教科教育学会編『今なぜ、教科教育なのかー教科の本質を踏まえた授業作り』, pp.13-16, 文溪堂
- 角屋重樹, 猿田祐嗣, 松原憲治, 後藤頭一, 五島政一, 鳩貝太郎 (2012) 「理科教員養成のコア・カリキュラムのあり方に関する一考察ー教職専門と教科専門の架橋を中心にー」『日本教科教育学会誌』, Vol.35, No.2, pp.11-18
- 角屋重樹 (2013) 『なぜ、理科を教えるのかー理科教育がわかる教科書』, 文溪堂
- Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. : Sawyer, R. K.(Ed.). (2006), Project-Based Learning, *The Cambridge Handbook of the Learning Science*, pp.409-426, Cambridge University Press
- 森敏昭・秋田喜代美 (監訳) (2009): 「プロジェ

- クトベース学習」『学習科学ハンドブック』, pp.250-265, 培風館.
- 熊谷一乗 (2013) 『新・人間性と教育－教育学概論第三版』, 学文社
- Lawson, A., E. (1995), *Science teaching and the development of thinking*, Wadsworth Publishing Company
- Lederman, N. G. & Lederman, J. S.: Fraser B. J., Tobin, K. G., McRobbie, C. J. (Ed.). (2012), Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry: Building Instructional Capacity Through Professional Development, *Second International Handbook of Science Education*, pp.335-359, Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
- Lederman, N. G.: Abell, S. K. & Lederman, N. G. (Ed.). (2007), *Nature of Science: Past, Present, and Future*, Handbook of Research on Science Education, pp.831-879, Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Lederman, N. G.: Marshall, S. P., Scheppler J. A., Palmisano, M. J. (Ed.). (2003), *Scientific Inquiry and Society as a Meaningful Context for Learning in Science*, Science Literacy for the Twenty-First Century.
- 渡辺正隆 (監訳) (2008): 『『科学的探究』と『科学の本質』』『科学力のためにできること 科学教育の危機を救ったレオン・レーダーマン』, pp.15-23, 近代科学社
- 文部科学省 (2016) 『小学校学習指導要領解説 総則編』, 東洋館出版社
- 文部科学省 (2008) 『小学校学習指導要領解説 道徳編』, 東洋館出版社
- 森田邦久 (2010) 『理系人に役立つ科学哲学』, 化学同人
- 戸田山和久 (2011) 『「科学的思考」のレッスン 学校で教えてくれないサイエンス』, NHK 出版
- 戸田山和久 (2005) 『科学哲学の冒険 サイエンスの目的と方法をさぐる』, 日本放送出版協会

A Study of a Teaching Method in Elementary School Science Based on a Building Process of Theory:
Focusing on giving a particular cognition method of Particle Discipline and Cultivating Humanities

by

Kosaku KAWASAKI

Graduate School of Education, Okayama University

Takashi NAKAYAMA

Shinonome Elementary School Attached to Hiroshima University

Hiroshi UNZAI

Graduate School of Education, Nippon Sport Science University

This study examined how a teaching method based on building process of theory cultivates humanities and gives a particular cognition method of particle discipline. A scientific theory can be perceived as an observable individual phenomenon holistically, however, it can be difficult to be proved directly. For this reason, it is built through following points. The probability of a theory is increased by doing a hypothetico-deductive experiment, rejecting alternative theories, and the theory having not been disproved. The teaching method based on this building process of theory was practiced for elementary school students (5th grade) on study of the dissolution of substances. The results indicated that this teaching method achieved the purpose of study.