

中学校理科における対話と討論を通した 「気体の性質」に関する授業実践

片平 克弘 筑波大学大学院人間総合科学研究科
杉本美穂子 元埼玉県新座市立第五中学校¹⁾
高間 智子 埼玉県立新座高等学校
芦田 実 埼玉大学教育学部

キーワード：構成主義、構築、対話、協同、相互活動

1. はじめに

理科カリキュラムの定式化の試みの中で多くの指導方法や教材が開発されている。しかし、それとは対照的に学習環境に関するデザイン開発は少ない(鄭仁星他、2008)。学習環境に関しては理念的に多くのことが語られるものの、個々の学習環境のデザインでは、授業の目標・目的、学習内容、教授方法の分析に止まらず、教師の教授観や知識観、想定する学習者像、活動の流れ、社会的側面など様々な要因を考慮しなければならず、デザインを定式化することは難しい。特に、知識は社会的経験を通して構築されるとする社会構成主義²⁾の立場からのアプローチをどう学習環境デザインに組み込むかは難しい課題である。

そこで、本研究では、「気体の性質」をテーマに、知識構成を支援する学習環境をデザインするための基礎資料を得るため、対話や討論などの社会的側面を取り入れたグループ活動の有効性を質的に探った。特に、共同体への参加や他者との相互作用の深層を探るため、少人数での実践を行った。そこでは、普段の授業の中では見過ごされてしまうような、変化のわかりにくい学習者や自分の考えをなかなか表現しない

学習者の変化を探った。

2. 研究の目的

「気体の性質」の学びの過程を分析し、対話と協同を重視した学習法の特徴や有効性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、授業プロセスを「根拠を持った予想」、「討論」、「検証実験の考案」、「実験」、「振り返り」の観点から質的に分析する。生徒の「声」は、録音による対話プロトコル、面接時のインタビュー記録から分析する。

4. 構成主義の学習論の前提

構成主義³⁾に基づく学習は、教師が単に知識を与えるような受け身的な活動ではなく、生徒たちがある状況や文脈の中で自らの知識構造に働きかけ、しかも、教材に働きかけながら知識を積極的に構成する活動とされている(Fensham, 1994, Tobin, 1993)。この一連の活動の中では、学習内容の意味を発展させる対話

や協同的な作業が欠かせない。特に、社会構成主義では、学習を共同体への参加と捉えており、対話や討論に見られる協同的な相互作用を重視している。社会構成主義者が唱えるこの学習論は状況や文脈の中に学習の本質を見いだそうとする挑戦的な取り組みと考えられるが、他方、学習環境の射程を拡張したことにより、授業の捉え方が難解なものになっているという批判がある（加藤、2000）。また、実践研究の視点からは、認識の個人的構成を乗り越えようとする社会構成主義の企ては、教室での授業に関する限り、成功を収めているとは言い難く（森藤、2000）、さらなる事例の収集や分析が望まれる。

ところで、周知のとおり、社会構成主義と構成主義を識別する重要な点は「社会」という表記にある。すなわち、社会構成主義では世界や現実社会的に構成されると考えており、この点が構成主義と根本的に異なっている。また、社会構成主義では、一般に世界や現実とは当該文化の歴史、風俗、慣習、宗教、政治などに依拠することが指摘され、しかも、それらすべてが「言語によって意味を付与され、その記述や説明の様式は、対人的な相互作用に規定されている」（菅村、2007:88）と捉えている。すなわち、「客観的な事象というの、言葉によっていかようにも描写できるものであり、ひとびと土士の対話によって作られる」（菅村、2007:88-89）のである。

本研究では、実践の中で交わされる言葉は、語られることにより意味をもち、それにより、生徒は世界を構成しているとする立場から、理科で扱う事象への意味づけを生徒の対話の中に探った。さらに、本研究では、社会構成主義の「社会」という表記に含意される「社会文化的」、「対人的」という意味のうち、狭義の「対人的」という意味で「社会」を用いた。

5. 「物質の粒子性」に関する先行研究

本研究では、中学校理科で扱う「物質の粒子

性」に焦点をあて、その中でも概念理解に困難性（Hodson、1998）が指摘されている「気体の性質」（Novick et al.、1978、Brook et al.、1984、片平、1993、片平、2007）を題材とした。「物質の粒子性」に関する学習内容には、物質の粒子構造、粒子の均一性、粒子の運動性、粒子の重さの保存、気体粒子の拡散、気体粒子間の真空など多岐に渡っており、いずれも視覚化するのが難しいため、学習時には粒子モデルを用いた推論が必要となり、それが学習を一層難しいものになっている。

気体の粒子モデルの理解の困難性に関しては、国内外の研究を問わず指摘されている。とりわけ、粒子モデルをもっている生徒でも、そのモデルは、根本的には、分子運動論的な粒子モデルの考え方を欠いたものとなっていることが明らかにされている（Glenn et al.、1988）。気体分子運動論によれば、どのような気体でもきわめて多数の運動する微小な対象が含まれている。この対象となる分子を直接観察することはできないが、気体分子運動論からは、気体が示す観察可能な振る舞いについて、いろいろな帰結を演繹することができるのである。たとえば、「圧力が一定の状態、熱を加えると気体が膨張する。」というのはひとつの帰結である。気体分子運動論で観察不可能な対象が指定されるのは、実験の検証に基づき、この種の帰結を演繹することができるからである（Samir O. 廣瀬訳、2008）。本実践の検証実験の中でも、気体の膨張と収縮を扱っている。集気瓶の口にはったセッケン膜が、ドライヤーの加熱によってどのように変化するかを生徒たちに考えさせ、検証実験から粒子の均一性や運動性を推論させようと試みている。

6. 本実践の特色

本実践では、生徒一人一人の理解がどのような対話や探究活動を契機に変化し、その結果、理科授業の中で目指される探究的な学びがいか

に生成するかを分析した。特に、「討論」、「検証実験」の対話を通じた理論構築を学習環境デザイン視点から探っている(杉本、2003)。

小グループの討論をデザインする際には、一人一人の生徒に自分の考え方を顕在化させる機会を従来の授業場面以上に提供する必要がある。本実践では、十分な時間をかけた討論の場を理論が構築される相互作用の場と捉え、対話の中では、一人一人が自分の考え方を示すだけでなく、他者の考え方を批判的に受容するよう意識させた。

また、検証実験に際しては、生徒一人一人が考えた実験を直ぐに行わせることはせず、この構想段階にも実験計画を討論する時間を設けた。他者との相互作用の中で計画を吟味し、その後、実験を実施し、結果を分析するという作業を通して、理論が構築されていく様子を実感させた。

7. 「気体の性質」に関する学習の展開

7-1 小集団による討論

本実践では、「空気の温度による体積変化」の内容を扱い、討論、実験・観察、考察を行う一連の過程の中で、物質の粒子性に関する生徒の認識や意識の変化を探っている。本調査で扱っている「空気の膨張」は小学校の学習内容である。

ここでは、調査用紙に描かれた図(問2と問5に関しては図Ⅰの上部に示した)をもとに空気の膨張・圧縮に関する現象を生徒に考えさせ、「粒子の均一性」に対する認識を会話プロトコルから探った。

(1) 本実践の方法

調査対象：中学校3年生男子5名 K君、G君、S君、Y君、N君(5人は、ほぼ一般的な中学生。成績的には5段階評定にそれぞれ1人ずつ分布している集団である。)

調査時期：1998年5月29日～9月3日、放課後の部活動の時間

調査場所：埼玉県S市立M中学校理科室

調査内容と意図：

ア) 学習内容の「問い直し」としての調査問題「空気の温度による体積変化」を用いた質問紙⁴⁾による調査(5/29)

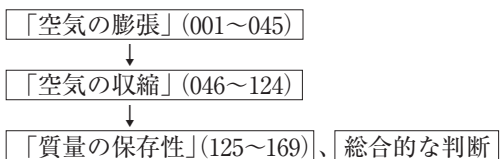
イ) 調査問題に対する各自の考えを書かせることによる「思考の深化・顕在化」の調査(5/29)

ウ) 調査問題を「協同」で解決していく過程における「対話」の調査(5/29・6/2)

(2) 第1段階—問題についての討論の過程(5/29)

- ・生徒は、各問題について、自分の考えや解釈した理由を他のメンバーに説明する。質問に答えながら、意見交換を行う。
- ・杉本教諭(以下、授業者)はグループの一員として聞き手として参加している。また、司会者としても生徒が発言しやすい雰囲気作りを心がけていた。生徒どうしで話が進む場合には控えめな進行役であった。

(展開された討論の内容とプロトコル・データ番号)



(3) 第2段階—「予想に対する検証実験方法の考案」、「討論」、「実験」、「考察」を行う過程(6/2)

- ・生徒は、自分が選んだ問題の回答を検証するための実験方法を考案する。討論を通してその方法を吟味し、改良を加えながら実験を行う。得られた結果をもとに考察し、結論を導く。(実験は「確証」、「反証」のいずれでも良いとした。)
- ・構成主義の立場から、本デザインでは教師の役割は生徒の学習を支援するファシリテーター的存在である。生徒が行き詰まったときにはアドバイスを与え、生徒と共に実験方法を考えたり、実験を一緒に行ったりしている。

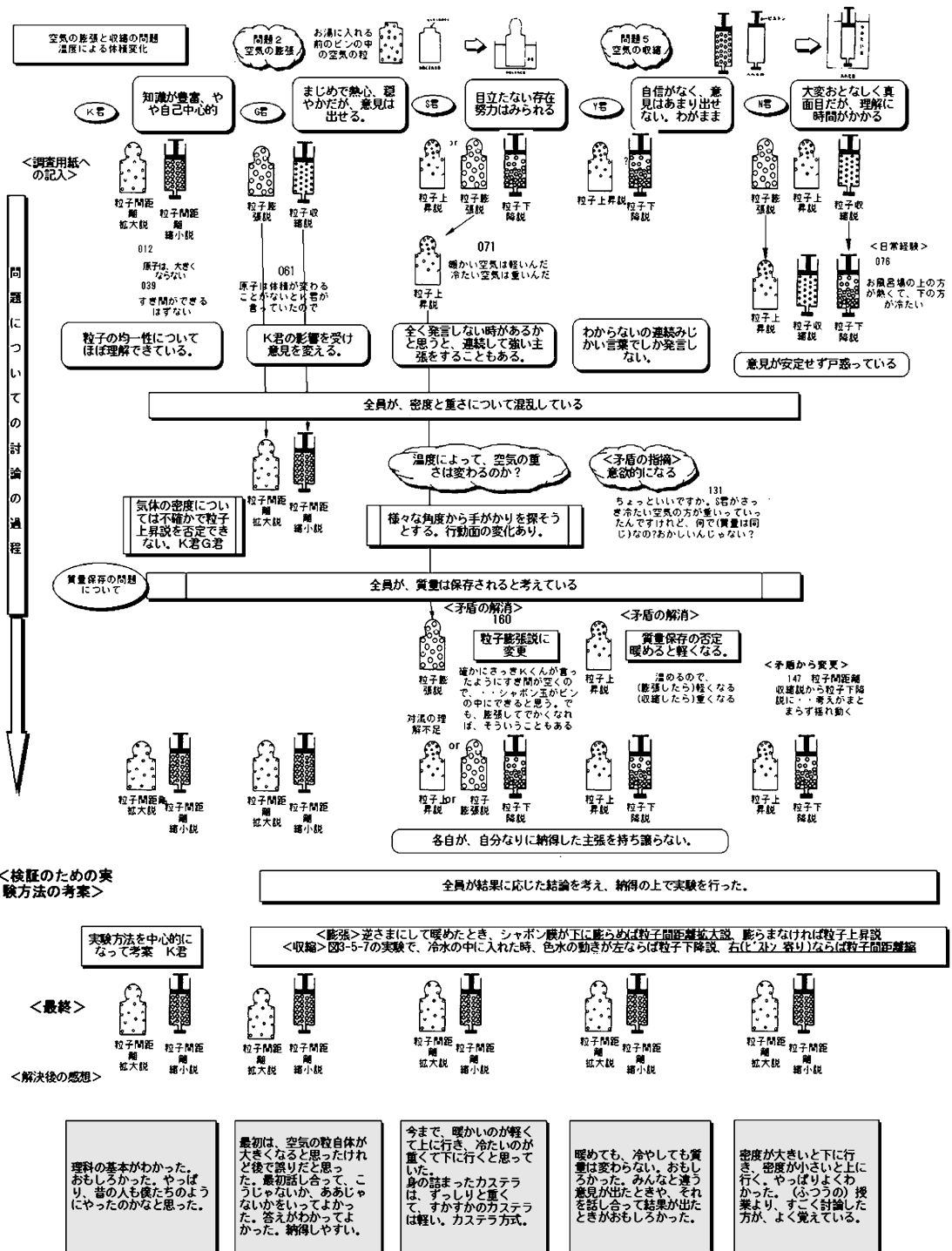


図1 5人(K君、G君、S君、Y君、N君)の粒子認識の変化の全体図

〈展開された討論の内容とプロトコル・データ番号〉

検証実験(確証・反証)の考案と吟味(170~279)



実験による解決と考察・まとめ(300~337)

7-2 学習過程の実践的検討

(1) 討論による「物質の粒子性」に関する認識の変化

ア) 生徒達の変化の全体像

小集団での討論によって、質問紙調査では分かりにくかった生徒一人一人がこだわっている見方や考え方を顕在化することができた。図Iには、5人の生徒の粒子認識の変化の全体像を示した。これは授業者によってまとめられた図であり、調査に用いた実験器具とその説明を示し、討論の過程での生徒の変化を大まかに示した。また、生徒の主な発言のプロトコルも時系列の中に加えた。さらに、生徒が変化するきっかけとなった発言についてはプロトコル番号を記入した。

気体の学習では、一般に空気を基準として「重い」や「軽い」という用語が使われており、図Iの全体図からは、生徒が「密度」と「重さ」を混乱していることが読み取れる。特に、正答である「気体が膨張すると粒子と粒子の間隔が広がる」と捉える説(以下、「粒子間距離拡大説」)を、K君が主張するにもかかわらず、G君以外は影響を受けることがなかった。これは、K君が主張した際、S君の「暖かい空気は軽いので上に行き、冷たい空気は重いので下に行く」という発言に、他の誰もがもっともだと思ったからである。S君は、これは自分の生活体験から出てきたものと付け加えていた。この時、S君の発言に対して、特にK君からも反対意見は出なかった。S君の発言を受けて、中学校の理科教科書を確認してみたところ、気体の密度の記述に関しては極端に少なく、また、密度と重さの違いについても十分な説明がなされていなかった。

イ) 討論することに意義を感じた生徒のプロトコル(変化がわかりにくいY君の変化)

Y君は自分の考えを表現しようとしないう生徒である。また、課題の取り組みに関しても、面倒だと思ふ気持ちを表情や態度に現す生徒である。

初めは(プロトコル・データ番号50まで)「わからない」という言葉を何度も発し、直感的で、短い言葉でしか表現をしなかった。しかし、Y君は話し合いが進む中で、下線部に示すように、内容に関する質問を出したり、他の生徒の矛盾点を指摘したり、矛盾を解消する意見を述べたりするようになった。Y君は、討論の中で、矛盾を解消するために質量についての意見を変更したことを受けて、「温めても、冷やしても質量は変わらない」ことにこだわっていた。

[Y君に係するプロトコル]

下線部は、Y君に変化が見られたことを表すプロトコル。①~⑤は調査問題の回答の選択肢番号。

(空気の収縮に関するY君のプロトコル)

052 T: では問題5を番号と理由で言うとうどうですか。

056 Y: ④番で、冷たいので冷やしたから。

062 T: 他に意見が変わる人はいますか?

063 Y: 右側は、変わらないです。

069 Y: S君が言ったように空気が下に行って、そのすき間にピストンがなんか行くんじゃないかなと思いました。

(質量の保存性に関するY君のプロトコル)

129 Y: 問題3も問題6も③番で、直感です。

131 Y: ちょっと、いいですか。S君がさっき、冷たい空気の方が重いっていったんですけど、何で③(「同じ」)なの?おかしいんじゃない?(矛盾の指摘)

133 Y: さっき、言ったじゃん。冷たい空気の方が重いつて。

139 Y: おまえ (Sに向かって)、適当じゃないか。

140 T: ところで、Y君は?

141 Y: ③

142 T: 理由は?

143 Y: 直感で。

146全: (みんなで笑う。)

150 Y: S、おまえ一番矛盾しているよ。

151 S: おまえが、賛成しただろ。

152 Y: ハハハ

153 Y: 意見変えていいですか? 問題3は、温めるので②の「軽くなる」で、問題6は、冷たくするので①の「重くなる」です。

(検証実験の考案と吟味に関するY君のプロトコル)

224 T: みんなの言う、冷たい空気が下にいくというのは、聞いたことなの? 実感なの?

225 Y: 実感です。なあ、……

246 S: 地球上だったら、水滴は下へ行くのですか。

247 Y: 当たり前だろ

253 T: この問題は、今、空気で考えたけれど、もし、酸素だけだったら、結果は違うの?

254 Y: 違います。はい。

(実験による解決と考察・まとめのY君のプロトコル)

300 T: では、実験を始めましょう。

302 Y: やらせてください。

310 Y: ほら、下に下がってる。

309 Y: もう一回冷やさせてください。 すごい! (凹んでいる。)

327 T: じゃあ、水が外へいくためには、どうする。

328 Y: 温める。

「302 Y: やらせてください。」「309 Y: もう一回冷やさせてください。」などの発言からは、Y君が意欲的に検証実験に参加していることが分かる。彼は討論が進むにつれて、態度に変化がみられた生徒である。この変化については、3ヶ月後に行った面接の際に、「話し合いの中で自分を表現できたことにより、自分の存在感をつかみ、そこに学びの楽しさを見いだした」ことによると述べていた。Y君は、自分の予想が当たることよりも、討論すること自体に意義を感じていた生徒と言える。

ウ) 自分の意見を振り返り、発言できるようになった生徒のプロトコル (目立たないS君の変化)

普段、どちらかというが目立たない生徒S君は、討論の中で、「暖かい空気は、軽くなって上に行くというが、温度によって空気の重さは変わるのか。」ということに疑問を抱き、その解決に悩んでいた。以下に示すプロトコルの番号分布からも分かるようにS君の発言は少なく、常に静かにしており、他の生徒の意見を聞いていても発言しない時が多かった。しかし、自分の意見に自信があるときには、皆を説得するために強い主張を続けることがあった。

討論が進むにつれて、S君は他の生徒の意見をじっくり聞きながら自分の意見を振り返るようになった。「質量保存とは何か。」を改めて考え、自分の中の矛盾を解消するように、考えを立て直していた。また、途中の段階では、自分の主張を通すために、様々な角度から、手がかりになりそうなことを探していた。以下、S君のこだわりが、部分的に集中しているプロトコルを示す。ところで、S君は、最初に説明を求められた時以外、045まで、まったく発言していなかった。その後

も、065と071の2回だけ発言し、次の発言は、以下にプロトコルを示す160以降である。

[S君に関するプロトコル]

以下のプロトコル番号の下線は、S君の発言である。

(質量の保存性に関するS君のプロトコル)

160 S：あの、問題2の答えを変えていいですか。⑤に変えていいですか。④で考えると確かにさっきK君が言ったように、すき間があくので、上に上がっても下に引かれて逆にシャボン玉がビンの中にできると思う。でも、粒が、膨張して、でかくなれば、そういうこともあるから。

161 K：S君に質問ですけど、⑤番にしたわけは、原子がくっついたからですか。原子が大きくなったからですか。原子自体が大きくなったのか、原子に何かがくっついたのか。

162 S：くつつくわけない。

163 K：じゃあ、大きくなったの？

164 Y：ハハハ、そんなわけないじゃん。

165 T：この図がわかりにくいかもしれないけれど、これは粒が見えるとして、書いたものだから、一部を拡大して書いたイメージとして考えてほしいのだけれど。いまK君の聞いているのは、粒自体が大きくなったのか。粒同志がくっついたのかと言うことだけれど…。

166 S：粒自体です。

168 K：さっきS君が、クーラーの冷たい空気は、下にさがって言いましたけど、コマーシャルで上にも行く空気っていうのもあるらしいんですけど、冷たいのが…。

169 S：知らない。それでも、問題5の④は変えません。問題2の④番は、ぜっ

たい無理だと思うので、……でも、ピストンの方だったら、すき間があいてもそれを埋めようとしてお互いが引き合うから、ピストンの方も下がっていくと思う。こっち(問題2)の方で、空気が上がっていくのだからこのシャボン玉が中に行くと思うから、問題5の方じゃこの下の(針を指す)方が行くはずないから、ピストンが動くと思います。

(検証実験の考案と吟味に関するS君のプロトコル)

187 T：これは、全体を冷たい水の中で実験するわけ？

188 K：そう。

190 G：泡がでたら、④番。でなかったら、①番。

191 S：④番以外は、別に重さが変わるとは書いていないから、下にさがるとも書いていないから①番とは限らないじゃないか。<こだわり>

192 K：でも、それで④は消える。

S君は控え目な性格で、すばやい対応ができない生徒だが、こだわったことに対しては、悩みながらも、論理的に結論を導いている(160、169、191)ことが分かる。彼にとっては、小集団での討論は、自らの考え方を深めるために有効な方法だったと考えられる。

エ) K君、G君、N君の変化

Y君やS君以外の生徒も、討論により自分たちの考え方を顕在化させ、理解を深めていった。そして、「物質の粒子性」以外の見方である、「密度」や「熱」や「空気中の水蒸気」のことも目を向けていくようになった。また、5人の生徒は他の生徒の考え方に合わせるのではなく、自分なりに納得したことを主張し続けた。

以下、紙幅の都合上、プロトコルを示すことはできないが、K君、G君、N君の具体的な変化について述べる。

〈知識が豊富だが理解が曖昧である「K君」の変化〉

K君は知識が豊富なので、粒子の均一性について知識としては知っていたが、他の生徒の疑問である「暖かい空気は軽いから上に行くのではないか」という問いに答えられなかった。そのため、表面上は、予想通りの結果になったことを喜んでしたが、内心では、理由を説明できないことに対し、歯がゆく思っていた様子だった。K君は、見かけ上、知識が豊富なようだが、「粒子の均一性」については、十分に理解していなかった生徒と言える。

〈自分の考えに確信を持たない「G君」の変化〉

G君は、粒子の均一性についての知識がなかったため、粒子自体が膨張すると考えていた。途中、K君の「原子は大きくなる。」という言葉に納得し、すぐに均一性に意見を変えるが、他の生徒の疑問には答えられず、困っていた。G君は、均一性が正しそうだと考え始めたが、確信を持たない状態であった。討論に関しては、「最初話し合っ、こうじゃないか、ああじゃないかを言ってよかった。答えがわかってよかった。納得しやすい。」とその良さを述べていた。

〈考えることに意義を見いだした「N君」の変化〉

N君は大変おとなしい生徒であり、かつ、学方面からも他の生徒の話をして理解することができない生徒である。S君の発言に賛成する意見を述べたにもかかわらず、発言の際に理由をはっきりと言うことができなかった。たとえば、膨張と収縮を逆のものとして捉えることができなかった生徒である。また、授業者もN君の考え方の変化を討論の対話からは十分に読み取れなかった。N君は、物質の

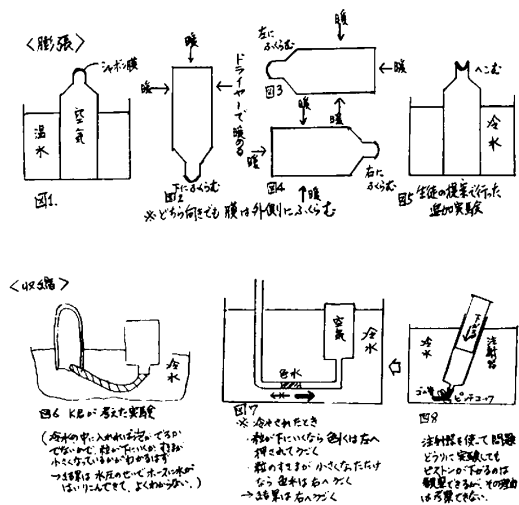
粒子性をどう捉えたか不安な生徒であったが、感想の欄に、「やっぱりよくわかった。(ふつうの) 授業より、すごく討論した方が、よく覚えている。」と書いており、自分の言葉で考え、友人に聞き、実験を試すこと自体に意義を見いだしたことが確認できた。

7-3 気体の膨張・収縮に関する検証実験の方法の考案と実施

以下、仮説を設定した後の検証実験の概要を箇条書きに示す。ここでは、生徒に仮説を十分に吟味させた後に実験を行ったため、実験結果に対する解釈のずれはおきにくかった。

(1) 膨張について (図Ⅱ.<膨張>の手書きの図を参照)

- ・具体的な空気の膨張についての解決方法では、容器としてペットボトルを用いた。
- ・ペットボトルを取り出し、下向き、右向き、左向き (図2、図3、図4) にした場合、どの方向にシャボン膜が膨らむかを実験した。ここでは、お湯の代わりにドライヤーを用いた。逆さまにして暖めたとき、シャボン膜が下に膨らめば「粒子間距離拡大説」、内部に入り込めば「粒子上昇説」となると仮定した。



図Ⅱ 空気の膨張・収縮についての実験図 (図1～図8)

検証実験の結果、どの実験においてもシャボン膜が外側に膨らむことから、5人の生徒は、「粒子間距離拡大説」を承認した。

- ・「冷やしてもみたい」と言う意見が生徒から出たので、追加実験としてペットボトルを冷水の中に入れてみた。ここでは、石けん膜が凹む様子を全員で観察した。(図5)

(2) 収縮について(図Ⅱ、<収縮>の手書きの図を参照)

- ・K君が、「もし粒子が下に押ししているのなら、ピストンのないビンにホースをつければ、泡が出るはずだ」と提案し、図6の装置で実験した。しかし、実際には、水がホースに入り込み変化がみられなかった。
- ・話し合いの中で、図6の装置は改良され、ホースに色水を入れ、ホースの口を外に出して色水の動きを観察することになった。色水が左へ動くならば、粒が下に行く「粒子下降説」であり、右へ動くならば、「粒子間距離縮小説」ということを5人で十分に納得した上で実験を行った。検証実験の結果、色水は右に動いた。この結果から、5人は「粒子間距離縮小説」、すなわち、粒のすき間が小さくなったという結論に至った。(図7)

本検証実験のデザインでは、教師が実験方法を提示せず、生徒たちに自分たちの考えを立証するための実験を考案させ、その後実際に行い、結果については仮説をもとに考察させている。上述したように、この検証実験の過程を通して、温度変化による気体の膨張・収縮時の「粒子の均一性」に関する概念を5人の生徒全員に確認することができた。

以上、本研究で行ったプロトコル分析や検証実験から以下のことが明らかになった。

- 1) 一人一人の生徒は、討論に参加することによって気体に関する自らの考え方を表出するようになった。検証実験前の討論では、生徒は根拠を示されても、容易に他の意見に同調することはなく、自分の考え方にこだわり続けた。

- 2) 生徒達が協同で行った検証実験の考案は、彼らの思考を拡張させ、発見的かつ創造的な活動となった。

- 3) 実験結果に対応する結論を事前に議論したことにより、実験結果に対する生徒の解釈のずれは生じなかった。特に、生徒は、疑問が実験により解決できた時、「気体の性質」に関する概念を容易に変化させた。

8. おわりに

「気体の性質」に係わる微視的概念の育成については、ミクロの概念を押しつけるような指導ではなく、「なぜ、気体の粒子性を考えなければならないのか」など必然性を納得できるような思考の展開を含む授業デザインが求められている。本実践の討論では、教師の控えめな進行役の働きにより、生徒たちの対話が促進され、一人一人の粒子的理解が深まったと考えられる。

一方、生徒たちは小グループの活動を通して、対象世界を広げ、仲間との関係を発展させ、自分自身の存在を確かめていた。本研究の学習環境は、「関係欲求充足の場」であり、かつ「認知的欲求充足の場」(露木、1997)になっていたと言える。

註

- 1) 共同研究者の杉本美穂子教諭は、平成17年7月22日に家庭訪問の途中、交通事故で亡くなられた。本研究は、埼玉大学教育学研究科在籍時に杉本教諭と共著者らが協同して行った研究成果に加筆・修正したものである。本稿を彼女の霊前に捧げたい。
- 2) 社会構成主義は構成主義に対する反論として登場したにもかかわらず、最近では広義の構成主義の一派と考えられ、両者の特徴を生かすための試みが行われている。菅沼(2007)は、構成主義を社会構成主義の略語として使用する人もいるが、そのように使うべきではないと指摘する。社会構成主義は、“social constructionism”の訳語の一つであり、訳者

- によっては、「社会(的)構成主義」や「社会(的)構築主義」と訳されている。菅沼は、歴史的に“constructivism”が「構成主義」と訳されることが多かったことを踏まえ、“social constructionism”を「社会的構築主義」と訳することを主張している。ただし、本稿では従前どおり、社会構成主義の用語を使用している。
- 3) 「構成 (construct)」と「構築 (construction)」という用語には、“organize” (組織する、系統立てる、準備する、*n*: “organization”)、“build” (建設する、築き上げる、形成する、*n*: “build”)、“create” (創造する、創作する、建設的なことをする、*n*: “creation”) という意味が含まれている。これらを踏まえると、構成主義や構築主義という言葉が受け入れられている背景には、それぞれの意味に加え、「組織的」、「建設的」、「創造的」という積極的かつ能動的意味が付与されているからと考えられる。
- 4) 空気の膨張・圧縮に関する現象の調査問題に関しては、高野圭代、堀哲夫、平田邦男 (1991) の論文の調査問題を用いた。さらに、討論の際にもそれを用いた。資料として引用文献の後に掲載した。

引用文献

- Brook, A., Briggs, H. and Driver, R. (1984) *Aspects of Secondary Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter: Children's Learning in Science Project*, Centre for Studies in Sciences and Mathematics Education, The University of Leeds
- Fensham, P., Gunstone, R. & White, R. (eds.) (1994) *The Content of Science: A Constructivist Approach to its Teaching and Learning*, Falmer Press
- Glenn, D., Charles, D., Okhee Lee, Theron, D. (1988) *Matter and Molecules: Teacher's Guide*, Institute for Research on Teaching, Michigan State University
- Hodson, D. (1998) *Teaching and Learning Science*, Open University Press, p.117. 小川正賢監訳: 新しい理科教授学習論、東洋館出版社、150、2000

- 片平克弘: 初等・中等教育全体を通してみた化学教育の実践上の課題と展望—児童・生徒理解研究の視点から—、化学教育の課題と展望、理科の教育、42、18、1993
- 片平克弘: 基本概念の有用性と授業を行う際の留意点—「エネルギー」と「粒子」概念の場合—、理科の教育、56、12-14、2007
- 加藤圭司: 理科の学習論研究と授業実践、理科の教育、49、8-11、2000
- 森藤義孝: 構成主義の学習論に基づく理科学習指導とその問題、理科の教育、49、12-45、2000
- Novick, S. and Nussbaum, J. (1978) Junior High School Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: An Interview Study, *Science Education*, 62(3), 273-281
- Samir Okasha, 廣瀬俊訳: 科学哲学、岩波書店、2008
- 菅村玄二: 構成主義とは何ではないのか?、構造構成主義の展開、至文堂、88、2007
- 杉本美穂子: 平成10・11年度大学院派遣教員研修報告書、対話と協同の中での学びを生かした授業デザインと教師の変容—中学生の粒子概念形成を事例に一、2003、157頁
- 高野圭代、堀哲夫、平田邦男: 粒子概念の理解に関する研究—空気の温度による体積変化を事例にして—、日本理科教育学会研究紀要、32(2)、91-100、1991
- 鄭仁星、久保田賢一、鈴木克明他: 最適モデルによるインストラクショナルデザイン—ブレンド型eラーニングの効果的な手法、東京電気大学出版局、2008
- Tobin, K. (1993) *The Practice of Constructivism in Science Education*, LEA, p.ix
- Tyler, R. (1992) Independent Research Projects in School Science: Case Studies of Autonomous Behavior, *International Journal of Science Education*, 14, 393-411
- 露木和男: 支援という営みの奥にあるもの、理科の教育、46、14、1997

(2010年3月31日提出)

(2010年4月16日受理)

資料 使用した調査問題 (高野圭世、堀 哲夫、平田邦男、1991)

(問題1)
下の図のように、からのピンの口をセッケン水のまくをほり、あついお湯の中に入れました。すると、シャボン玉ができました。
なぜ、シャボン玉ができたのでしょうか？ そのわけを、せつめいしてください。

お湯に入れる前 お湯に入れた後

シャボン玉ができたわけ

(問題2)
問題1で、お湯の中に入れる時のピンの中には、右の図のように、小さな空気のつぶが入っていることにします。
では、問題1で、シャボン玉がふくらんだとき、ピンの中の空気のつぶは、どんなふうになっていると思いますか？
つぎの①～⑥の中から、えらんでください。
また、それをえらんだわけも答えてください。

① 空気のつぶとつぶの間のすきまが広がっている ② 空気のつぶがふえている ③ 空気のつぶが外から入ってきてふえている

④ 空気のつぶがあたためられて上にあがっている ⑤ 空気のつぶが大きくなっている ⑥ わからない

答え わけ

(問題3)
問題1の図を、もう一度見てください。
空気にも重さがあるのですが、ピンの中の空気は、お湯に入れる前と、入れた後では、どちらの方が重いですか？
つぎの①～④の中から、えらんでください。また、それをえらんだわけも答えてください。

① お湯に入れる前の方が重い
② お湯に入れた後の方が重い
③ どちらも同じ重さ
④ わからない

答え わけ

(問題4)
下の図のように、空気の入った注射器の元をゴムでふさいで、つめたい水の中に入れました。すると、注射器のピストンが、下にさがりました。
なぜ、ピストンが下にさがったのでしょうか？ そのわけをせつめいしてください。

入れる前 入れた後

ピストンがさがったわけ

(問題5)
問題4で、つめたい水の中に入れる時の注射器の中には、右の図のように、小さな空気のつぶが入っていることにします。
では、問題4で、注射器のピストンが下にさがった時、注射器の中の空気のつぶは、どんなふうになっていると思いますか？
つぎの①～⑥の中から、えらんでください。
また、それをえらんだわけも答えてください。

① 空気のつぶとつぶの間のすきまがせまくなっている ② 空気のつぶがへっている ③ 空気のつぶが外に逃げてへっている

④ 空気のつぶが冷やされて下にさがっている ⑤ 空気のつぶが小さくなっている ⑥ わからない

答え わけ

(問題6)
問題4の図を、もう一度見てください。
問題4で、注射器の中の空気は、つめたい水の中に入れる前と、入れた後では、どちらの方が重いですか？
つぎの①～④の中から、えらんでください。また、それをえらんだわけも答えてください。

① つめたい水に入れる時の方が重い
② つめたい水に入れた後の方が重い
③ どちらも同じ重さ
④ わからない

答え わけ

The Study of Practice about “The Property of Gases” through the Talks and the Discussion in the Junior High School Sciences

Katsuhiro KATAHIRA, Mihoko SUGIMOTO, Tomoko TAKAMA and Minoru ASHIDA

Keywords : constructivism, construction, dialogue, collaboration, reciprocal action

We analyzed qualitatively individual students' learning and the interaction with students who studied “the property of gases”. The theme of “the property of gases” of which many students felt the difficulty in understanding was investigated. In this study, we thought the learning was some sort of participation to the community.

As a result, the following points became clear.

- 1) Students came to express the personalized ideas concerning the gases while they were having a discussion. Before the experiment of the verification, it did not easily tune to other students' opinions when they got some doubts, and they kept sticking to own ideas though they accepted it at once during the discussion when convincing reasons were shown by others.
- 2) At the stage where their ideas were checked, the method of verification experiments to obtain positive proof and counterevidence was devised. It was heuristic for the students and the creative efforts because they had had to think while expanding the idea.
- 3) The gap between the interpretation and the outcome of experiments was not caused because the conclusion to make them correspond to the outcome of the experiments had been discussed before they were experimented. When the doubts that the students had held during the discussion were able to be solved with mutual consent, their conceptual change was smoothly done.