

真空デシケーターと真空ポンプを使った理科の授業

—中学校の第1学年「力と圧力」において—

小松 裕典^{*1}・佐伯 英人

A Science Class Using a Vacuum Desiccator and a Vacuum Pump:
A case study of "Force and pressure" in the 1st grade of lower secondary school

KOMATSU Yusuke^{*1}, SAIKI Hideto

(Received August 3, 2016)

キーワード：真空デシケーター、真空ポンプ、理科、力と圧力

はじめに

中学校の第1学年の「力と圧力」では「水圧や大気圧の実験を行い、その結果を水や空気の重さと関連付けてとらえること」を学習する(文部科学省, 2008a)。文部科学省(2008b)の『中学校学習指導要領解説理科編』では、大気圧の実験が2つ例示されている。具体的には「空き缶を空気圧でつぶす実験を行い、空気の圧力の存在を理解させる」とあり、また、「圧力容器に詰まった空気を大気中に放出して、その前後の質量を測定し、空気には重さがあることを見いださせ、空気の重さと大気圧を関係付けてとらえさせる」とある。

前述の「空き缶を空気圧でつぶす実験」は、2016年度版の5社(学校図書, 教育出版, 啓林館, 大日本図書, 東京書籍)の中学校理科の教科書中、1社(東京書籍)の教科書で示されている。

前述の「圧力容器に詰まった空気を大気中に放出して、その前後の質量を測定する実験」に関する実験は、5社の中学校理科の教科書中、5社の教科書で示されている。具体的には、5社の教科書で、簡易加圧器や空気入れを使って容器(ペットボトル, スプレーの空き缶, ゴムボール)の中に空気を入れる方法が示されている。なお、1社(啓林館)の教科書では「簡易型真空実験装置(本稿では簡易真空容器と称する)の空気をぬく前の質量と、ポンプで空気をぬいた後の質量のちがいを調べる」とあり、簡易真空ポンプ(本稿では簡易減圧器と称する)を使って簡易真空容器の中の空気をぬく方法が併記されている。

この他にも大気圧を利用した実験がいくつか紹介されている。具体的には「水で満たしたコップにハガキでふたをし、ひっくり返しても水はこぼれない」といった実験、「簡易減圧器を使って、空のペットボトルの中の空気をぬくとペットボトルがつぶれる」といった実験などである。

「容器内の空気をぬいていき、容器の中に入れたものの変化を調べる実験」も大気圧を利用した実験の1つであり、5社の中学校理科の教科書中、2社(教育出版, 大日本図書)の教科書で示されている。教育出版の教科書では「吸盤は大気圧によって固定される」、また、「簡易真空容器のなかの空気をぬくと、大気圧がはたらかなくなって固定していた吸盤が外れる」という記述があり、吸盤が鉛直面に付いている写真と簡易真空容器の中に吸盤が落ちている写真が掲載されている。また、大日本図書の教科書では「空気をぬいていくと、中の物体はどうなるか」という記述があり、簡易真空容器の中に「菓子などが入った袋」が置かれている写真が掲載されている。本研究では、この「容器内の空気をぬいていき、容器の中に入れたものの変化を調べる実験」を工夫改善し、授業実践を行い、授業を受けた生徒の意識をもとに授業(演示実験, 生徒実験, 実験以外)の有効性について議論する。

*1 山口大学教育学部附属山口中学校

1. 工夫改善

ナリカ (2014) の動画「C15-6064真空実験セットVPF-YouTube」では「容器内の空気をぬいていき、容器の中に入れたものの変化を調べる実験」が示されている。動画の内容（実験の方法と観察できる現象）を表1に示す。実験のようすを図1～図5に示す。授業では、この実験を演示実験として実施した。なお、使用した缶コーヒー（材質：アルミニウム）の缶内には、窒素がコーヒーの酸化を防ぐために充填されている。演示実験で使用した真空デシケーターは、SANPLATEC社の真空ポリカデシケーターPC-210KGである。真空ポンプは、FUSO社の小型シングルステージ真空ポンプVP115型である。

一方、ナリカ (2014) をもとに生徒実験の方法を工夫改善した。生徒実験の方法と観察できる現象を表2に示す。この実験では、図6～図8のように簡易真空容器内に「水のみを入れたフィルムケース」と「水と空気を体積比で9：1入れたフィルムケース」をビーカーに入れて置かせる。実験中、簡易減圧器を使って簡易真空容器内の空気をぬいていくと、「水のみを入れたフィルムケース」からはビーカーに水が出てこないが、「水と空気を体積比で9：1入れたフィルムケース」からはビーカーに水が出てくる（図7）。この実験で使用した簡易真空容器と簡易減圧器は、ARTEC社の真空実験容器（700ml）である。

表1 演示実験の方法と観察できる現象

<ol style="list-style-type: none">① 缶コーヒーの缶底に小さな穴をあける（図1）。穴はアイスピックのニードルの先端を缶コーヒーの缶底の中央部に当て、アイスピックの座金を金槌で叩いてあける。② ビーカー（300mL）内に穴のあいた缶コーヒーを置く。缶コーヒーは缶底（穴のあいている方）を下にして置く。③ 缶コーヒーを入れたビーカーを真空デシケーター内に入れる。④ 真空デシケーターの蓋をして密閉し、真空ゴムホースを取り付けて真空ポンプと真空デシケーターを接続する（図2，図3）。⑤ 真空ポンプを使って真空デシケーター内の空気をぬいていき、容器の中のを生徒に観察させる。真空ポンプを使って真空デシケーター内の空気をぬいていくとビーカーにコーヒーが出てくる（図4）。⑥ 真空デシケーターのコックを閉じた後、真空ポンプと真空デシケーターを接続している真空ゴムホースを外す。⑦ 真空デシケーターのコックを開いて空気を入れる。真空デシケーターのコックを開いて空気を入れると、ビーカーに出ていたコーヒーが缶コーヒーの缶の中にもどる（図5）。
--

ナリカ (2014) より

表2 生徒実験の方法と観察できる現象

<ol style="list-style-type: none">① フィルムケースを2つ準備し、フィルムケースの蓋に小さな穴をそれぞれあける。穴はピンバイスのドリル刃の先端をフィルムケースの蓋の中央部に当て、ピンバイスを手で回してあける。② 1つのフィルムケースには水のみを入れる（水で満たす）。もう1つのフィルムケースには水と空気を9：1の体積比で入れる（水で満たさない）。フィルムケースに蓋（小さな穴をあけたもの）をし、各フィルムケースをそれぞれビーカー（50mL）内に置く。フィルムケースは蓋（穴のあいている方）を下にして置く。③ 2つのフィルムケースを入れたビーカーを簡易真空容器内に入れる。④ 簡易真空容器の蓋をして密閉し、簡易減圧器を簡易真空容器に取り付ける（図6）。⑤ 簡易減圧器を使って簡易真空容器内の空気をぬいていき、簡易真空容器の中のを生徒に観察させる。簡易減圧器を使って簡易真空容器内の空気をぬいていくと、水のみを入れたフィルムケースからはビーカーに水が出てこないが、水と空気を入れたフィルムケースからはビーカーに水が出てくる（図7）。⑥ 簡易減圧器を簡易真空容器から外す。⑦ 簡易真空容器の蓋の上のボタンを押して空気を入れると、ビーカーに出ていた水がフィルムケース（水と空気を入れたもの）の中にもどる（図8）。



図1 缶コーヒーの缶底に小さな穴をあけたようす

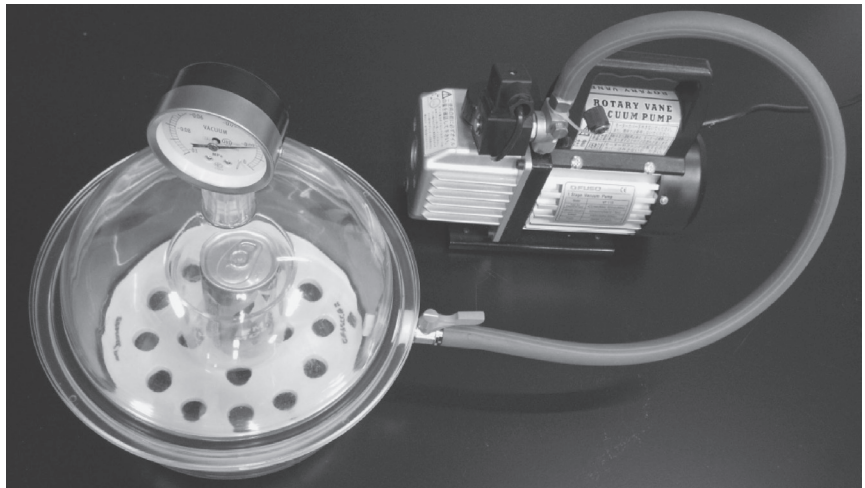


図2 真空デシケーターと真空ポンプ（缶コーヒーを入れたビーカーを真空デシケーター内に入れた状態）

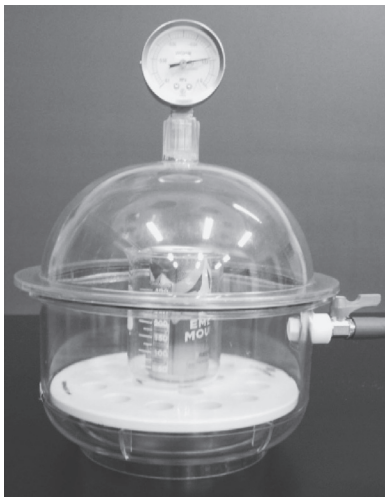


図3 真空ポンプを使って真空デシケーター内の空気をぬく前のようす

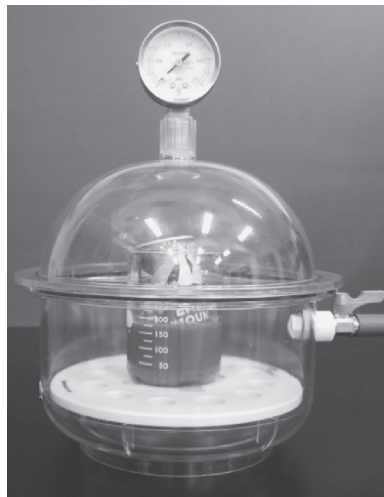


図4 真空ポンプを使って真空デシケーター内の空気をぬいた後のようす（ビーカーにコーヒーが出てくる）

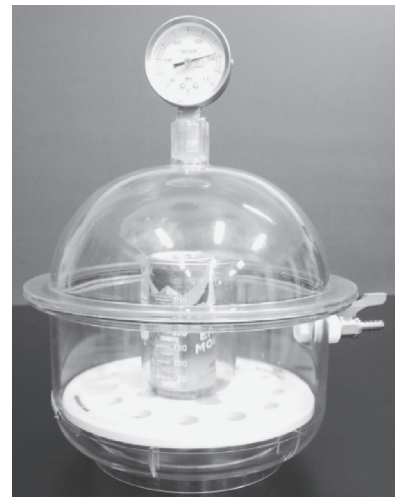


図5 真空デシケーターのコックを開いて空気を入れた後のようす（ビーカーに出ていたコーヒーが缶コーヒーの缶の中にもどる）



図6 簡易減圧器を使って簡易真空容器内の空気をぬく前のようす（左のフィルムケース：水のみを入れたもの、右のフィルムケース：水と空気を体積比で9：1入れたもの）



図7 簡易減圧器を使って簡易真空容器内の空気をぬいた後のようす（右のフィルムケースからビーカーに水が出てくる）



図8 簡易真空容器の蓋の上のボタンを押して空気を入れた後のようす（ビーカーに出ていた水が右のフィルムケースの中にもどる）

2. 授業実践

授業は山口大学教育学部附属山口中学校の1年A組で実施した。1年A組の生徒数は34名（男子：17名、女子：17名）である。なお、この授業は2015年11月20日（金）の第63回中学校教育研究発表会で公開した。授業者は筆者の1人の小松である。

以下、授業実践について述べる。授業の導入時、表1に示したナリカ（2014）の実験を演示実験として行い、生徒に、真空デシケーター内の空気をぬいていくとピーカーにコーヒーが出てくるようす、また、真空ポンプと真空デシケーターを接続している真空ゴムホースを外し、真空デシケーターのコックを開いて空気を入れると、ピーカーに出ていたコーヒーが缶コーヒーの缶の中にもどるようすを観察させた。演示実験のようすを図9に示す。

演示実験後、学習課題「どうして缶の中のコーヒーが出たのだろうか」を提示し、生徒一人ひとりに予想させた。生徒の予想は「缶のまわりの空気がなくなったから」といったものであった。

ここで、生徒に缶コーヒーの缶内にはコーヒーだけでなく、気体も入っていることに気付かせ、缶コーヒーの缶内の気体に着目して考えられるようにするため、表2の生徒実験を学習班ごとに行わせた。生徒実験のようすを図10、図11に示す。

生徒実験終了後、演示実験と生徒実験の結果をもとに、各学習班で話し合わせた。このとき、教員は、生徒に演示実験ではなく、生徒実験について考えるように指示した。学習班で話し合いをしているようす（ホワイトボードに自分たちの考えを表出しているようす）を図12に示す。各学習班の考えがホワイトボードに表出された時点で、ホワイトボードを黒板に貼り、学級全体で話し合わせた（図13）。

2班の考えが表出されたホワイトボードを図14に示す。図14のホワイトボードに書かれていることは次の3つ（①～③）である。

- ① 「缶の中の空気が外におす力」^Aと、「外の空気が缶をおす力」^Bがつりあっている。
 - ② 外におす力が缶をおす力より大きい→水が出る
 - ③ 「外の空気が缶をおす力」^Bがもとにもどって「缶の中の空気が外におす力」^Aとつり合う→水がもどる
- このとき、2班の生徒は、「缶の中の空気が外におす力」^Aと「外の空気が缶をおす力」^Bの関係で現象（水が出ない、水が出る、水がもどる）を説明した。ただし、生徒実験で起こった現象について説明しているため、厳密に言うと「缶」ではなく、正しくは「フィルムケース」である。

授業終了時、教員は、学習課題「どうして缶の中のコーヒーが出たのだろうか」についても、ほぼ同様の解釈でよいことを伝えた。なお、缶コーヒーに充填されている気体が窒素であることについては生徒の理解を妨げる可能性があったため、ふれなかった。



図9 演示実験のようす



図10 生徒実験のようす（フィルムケースに水を入れているようす）



図11 生徒実験のようす（簡易減圧器を使って簡易真空容器内の空気をぬいているようす）

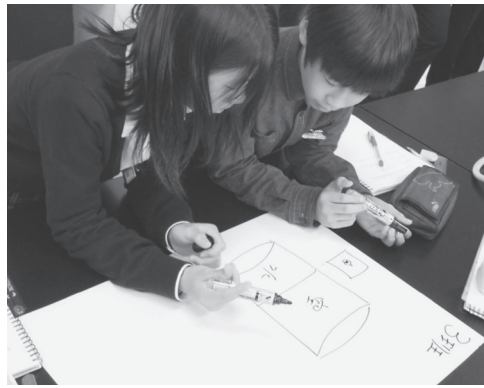


図12 学習班で話し合いをしているようす（ホワイトボードに自分たちの考えを表出しているようす）

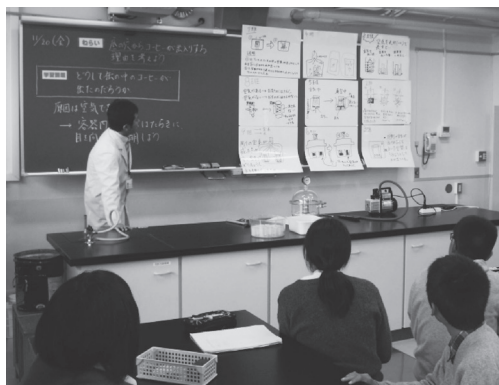


図13 ホワイトボードを黒板に貼り、学級全体で話し合っているようす

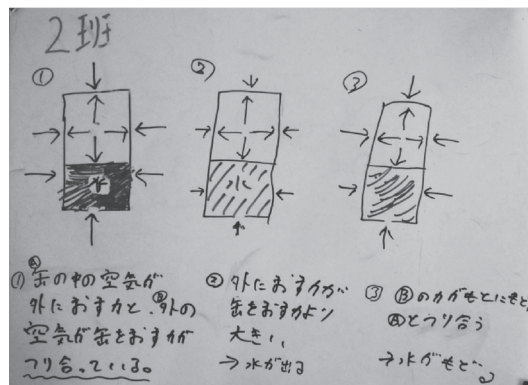


図14 学習班の考えが表出されたホワイトボード（2班の考え）

3. 調査の方法、分析の方法

3-1 調査の方法

調査には質問紙法（選択技法，記述法）を用いた。質問紙では問1と問2を設定した。質問紙の問1は選択技法による調査、問2は記述法による調査である。問1では「今日の授業を受けて、あなたが感じたことを教えてください。それぞれのこう目において、あてはまるものに○をつけてください」という指示を行い、表3（表4）の質問項目①～質問項目④について5件法（とてもあてはまる，だいたいあてはまる，どちらともいえない，あまりあてはまらない，まったくあてはまらない）で回答を求めた。問2では「問1でどのように答えた理由を教えてください。理由が書けるものについて書いてください」という指示を行い、表4（表3）の質問項目ごとに記述欄を設定し、自由記述で回答を求めた。この調査は授業終了後に実施した。

3-2 分析の方法

質問紙の問1を分析するにあたり、5件法の「とてもあてはまる」を5点、「だいたいあてはまる」を4点、「どちらともいえない」を3点、「あまりあてはまらない」を2点、「まったくあてはまらない」を1点とした。この得点を用いて平均値と標準偏差を算出し、天井効果の有無、床効果の有無を確認した。この授業において、問1の質問項目①～質問項目④は、得点の値が高いほど良好な状況を示す質問項目として設定した。そのため、天井効果がみられた場合、生徒の意識は良好と判断し、床効果がみられた場合、生徒の意識は不良と判断した。天井効果と床効果がみられなかった場合、平均値をもとに値の高低を判断した。

質問紙の問2については、記述の内容を読み、生徒がそのように感じた要因（生徒の意識の背景）を見取ることができた記述を抽出した。このとき、同一の質問項目において「コーヒーが出たり，入ったりしたから」と「コーヒーが出入りしたから」のように、記述の違いが表現の違いのみの場合、その一方を削除した。

次に、抽出した記述について、実験に関する記述、実験以外のことに関する記述に分けた。実験に関する記述については、その要因が演示実験と生徒実験のいずれにあるかを観点として分類した。実験以外のことに関する記述については、その要因について考察し、解釈した。

4. 結果、考察

質問紙の問1を分析した結果（平均値と標準偏差，天井効果の有無，床効果の有無）を表3に示す。問1の3つの質問項目（質問項目①「おもしろかった」，質問項目③「よく考えた」，質問項目④「興味をもった」）で天井効果がみられた。そこで、これらの質問項目について、生徒の意識は良好と判断した。一方、質問項目②「よく分かった」では天井効果がみられなかったが、平均値は4.00であった。平均値が4点以上であったため、この質問項目について、生徒の意識は概ね良好と判断した。

表3 質問紙の問1を分析した結果

番号	質問項目	平均値 (標準偏差)	天井効果	床効果
①	おもしろかった	4.59(0.70)	●	-
②	よく分かった	4.00(0.74)	-	-
③	よく考えた	4.32(0.81)	●	-
④	興味をもった	4.38(0.74)	●	-

N=34 min=1 max=5

効果あり：● 効果なし：-

質問紙の問2の記述内容をもとに抽出し、分類した結果を表4に示す。

実験に関する記述には、質問項目①「おもしろかった」では、S1「コーヒーが出たり，入ったりしたから」、S2「実験の内容がおもしろかったから」、S3「見たことがない現象だったから」、S4「水を出させたり，入らせたりすることができたから」、S5「実験を自分たちでできたから」、S6「班のみんなと実験したから」、S7「自分で実験をして考え（仮説）をもつことができたから」があった。質問項目②「よく分かった」では、S9「実際に自分たちで実験をしたから」があった。質問項目③「よく考えた」では、S17「実験を見る時，する時に『なぜ，この現象が起きるのか』を考えたから」があった。質問項目④「興味をもった」では、S25「コーヒーが出たり，入ったりしたから」、S26「マジックみたいな実験だったから」、S27「初めて見た実験だったから」、S28「班で実験をしたから」があった。

実験に関する記述のうち、その要因が演示実験にあると解釈したものは、質問項目①「おもしろかった」ではS1、S2、S3、質問項目③「よく考えた」ではS17、質問項目④「興味をもった」ではS25、S26、S27である。なお、S2、S3、S26、S27については演示実験を見たこと、生徒実験をしたことの両方が含まれる可能性はあるが、授業の導入時に演示実験を見たことによる影響が大きかったであろうと考え、要因を演示実験とした。S17については、その要因が演示実験と生徒実験の両方にあると考えた。

実験に関する記述のうち、その要因が生徒実験にあると解釈したものは、質問項目①「おもしろかった」ではS4、S5、S6、S7、質問項目②「よく分かった」ではS9、質問項目③「よく考えた」ではS17、質問項目④「興味をもった」ではS28である。前述したように、S17についてはその要因が演示実験と生徒実験の両方にあると考えた。

上記のことは、演示実験を見たことで、「おもしろかった」、「よく考えた」、「興味をもった」という意識をもった生徒がいたこと、また、生徒実験をしたことで、「おもしろかった」、「よく分かった」、「よく考えた」、「興味をもった」という意識をもった生徒がいたことを示している。

以下、実験以外のことに関する記述を示し、さらに、その要因について考察し、解釈した結果を示す。

質問項目①「おもしろかった」では、S8「班のみんなと話し合うことができたから」があった。S8では「学習班での話し合い」が要因として考えられる。

質問項目②「よく分かった」では、S10「自分の知っていることを使って考えられたから」、S11「ホワイトボードに図を書き表しながら考えられたから」、S12「友達の説明が分かりやすかったから」、S13「知っ

ていることをもとに友達が説明してくれたから」、S14「みんなの意見を聞くことができたから」、S15「他の班の説明が分かりやすかったから」、S16「いろいろな班の意見をホワイトボードで見ることができたから」があった。S10では「知識を活用して考察できたこと」が要因として考えられる。S11では「ホワイトボードを使った活動」が要因として考えられる。S12、S13、S14、S15では「友達の説明」が要因として考えられる。なお、S12、S13、S14の「友達の説明」には「学習班での話し合い」、「学級全体での話し合い」のいずれか、もしくは、両方が該当すると考えられる。また、S15の「友達の説明」には「学級全体での話し合い」が該当すると考えられる。S16では「各学習班のホワイトボードを黒板に貼って一覧表示したことが考えられる。

質問項目③「よく考えた」では、S18「理由を考える時間が多かったから」、S19「班で話し合う時間がたくさんあったから」、S20「班の話し合いで、いろいろな意見が出たから」、S21「ホワイトボードに書く時にみんなと話し合うことができたから」、S22「ホワイトボードに書く時に、どう表現したらよいかを話し合ったから」、S23「見えない力をホワイトボードに図で書く必要があったから」、S24「どのように説明すれば分かりやすいかを考えたから」があった。S18では「考察するための時間を十分にとったこと」が要因として考えられる。S19では「学習班で話し合う時間を十分にとったこと」が要因として考えられる。S20では「学習班での話し合いが充実したこと」が要因として考えられる。S21、S22では「ホワイトボードを使った話し合い」が要因として考えられる。なお、S19、S20、S21、S22は、いずれも「学習班での話し合い」である。S23では「ホワイトボードを使った活動」が要因として考えられる。S24では「説明の仕方について考えたこと」が要因として考えられる。

質問項目④「興味をもった」では、S29「班の話し合いで、多くの意見が出たから」、S30「目に見えない力について考える内容だったから」があった。S29では「学習班での話し合いが充実したこと」が要因として考えられる。S30では「学習内容が適切であったこと」が要因として考えられる。

表4 質問紙の問2の記述内容を抽出・分類した結果

番号	質問項目	記述内容	演 示 実 験	生 徒 実 験	実 験 外
①	おもしろかった	S1：コーヒーが出たり，入ったりしたから	○		
		S2：実験の内容がおもしろかったから	○		
		S3：見たことがない現象だったから	○		
		S4：水を出させたり，入らせたりすることができたから		○	
		S5：実験を自分たちでできたから		○	
		S6：班のみんなと実験したから		○	
		S7：自分で実験をして考え（仮説）をもつことができたから		○	
		S8：班のみんなと話し合うことができたから			○
②	よく分かった	S9：実際に自分たちで実験をしたから		○	
		S10：自分の知っていることを使って考えられたから			○
		S11：ホワイトボードに図を書き表しながら考えられたから			○
		S12：友達の説明が分かりやすかったから			○
		S13：知っていることをもとに友達が説明してくれたから			○
		S14：みんなの意見を聞くことができたから			○
		S15：他の班の説明が分かりやすかったから			○
		S16：いろいろな班の意見をホワイトボードで見ることができたから			○

③	よく考えた	S17：実験を見る時，する時に「なぜ，この現象が起きるのか」を考えたから	○	○	
		S18：理由を考える時間が多かったから			○
		S19：班で話し合う時間がたくさんあったから			○
		S20：班の話し合いで，いろいろな意見が出たから			○
		S21：ホワイトボードに書く時にみんなと話し合うことができたから			○
		S22：ホワイトボードに書く時に，どう表現したらよいかを話し合ったから			○
		S23：見えない力をホワイトボードに図で書く必要があったから			○
		S24：どのように説明すれば分かりやすいかを考えたから			○
④	興味をもった	S25：コーヒーが出たり，入ったりしたから	○		
		S26：マジックみたいな実験だったから	○		
		S27：初めて見た実験だったから	○		
		S28：班で実験をしたから		○	
		S29：班の話し合いで，多くの意見が出たから			○
		S30：目に見えない力について考える内容だったから			○

○：該当する

おわりに

授業では、ナリカ（2014）を演示実験として実施し、また、それをもとに工夫改善した生徒実験を実施した。さらに、学習班でホワイトボードを使って話し合う活動、さらに、学級全体で話し合う活動を実施した。

調査・分析の結果、生徒が「おもしろかった」、「よく考えた」、「興味をもった」と感じており、また、「よく分かった」と概ね感じていたことが明らかになった。これらのことは、授業を受けた生徒の意識が概ねポジティブであったことを示している。今後、生徒が「よく分かった」とさらに感じられるように授業を工夫改善していきたい。

さて、演示実験を見たことで、「おもしろかった」、「よく考えた」、「興味をもった」という意識をもった生徒がいたこと、また、生徒実験をしたことで、「おもしろかった」、「よく分かった」、「よく考えた」、「興味をもった」という意識をもった生徒がいたことが明らかになった。これらのことは、演示実験、生徒実験が有効であったことを示唆している。

この他、学習班での話し合い、学級全体での話し合いも、生徒の意識が概ねポジティブであった要因の1つであったことが分かった。さらに、学習班での話し合い、学級全体での話し合いで、ホワイトボードを用いて話し合わせたことが有効に機能していたことも明らかになった。

今後の課題

中学校理科の第1学年では「光と音」を学習する（文部科学省，2008a）。文部科学省（2008b）の『中学校学習指導要領解説理科編』では「光と音」において「真空鈴の実験」が例示されている。2016年度版の5社（学校図書，教育出版，啓林館，大日本図書，東京書籍）の中学校理科の教科書中、5社の教科書で「真空鈴の実験」に関する実験が示されている。具体的には「容器の中に乾電池つきのブザーを入れた状態で簡易減圧器や真空ポンプを使って容器内の空気をぬいていき，ブザーの音の大きさの変化を調べる」といった実験である。なお、1社（大日本図書）の教科書では、容器の中にブザーだけでなく、プロペラとテープを入れており、容器内の空気をぬいていくと、テープが風になびかなくなることも示されている。

「光と音」と「力と圧力」の2つの単元において、真空デシケーターと真空ポンプ、また、簡易真空容器と簡易減圧器を用いた実験をすることが可能である。実験を行う目的や着目点が異なるため、生徒が学習を通して身に付ける知識は異なるが、両者の関連付けを図ることは可能と考えられる。今後、生徒の概念形成という視点から研究を行っていきたい。

文献

- 有馬朗人ほか（2016）：『新版理科の世界1』，大日本図書。
- 岡村定矩・藤嶋昭ほか（2016）：『新編新しい科学1』，東京書籍。
- 霜田光一・森本信也ほか（2016）：『中学校科学1』，学校図書。
- 塚田捷・大矢禎一・江口太郎・鈴木盛久一ほか（2016）：『未来へひろがるサイエンス1』，啓林館。
- ナリカ（2014）：「C15-6064真空実験セットVPPF-YouTube」，<https://www.youtube.com/watch?v=W36X3JdL5xs>
- 細矢治夫・養老孟司・丸山茂徳ほか（2016）：『自然の探究中学校理科1』，教育出版。
- 文部科学省（2008a）：『中学校学習指導要領』，東山書房。
- 文部科学省（2008b）：『中学校学習指導要領解説理科編』，大日本図書。