

## 初年次教育における学生の原体験不足を補う理科教材の整備

－聞く・読むだけではない、見て触って実感する基礎概念－

坂根弦太

岡山理科大学教育支援機構理科教育センター

### 1. はじめに

#### 1-1 初年次教育の重要性

日本では大学がユニバーサル化<sup>1)</sup>し、どのような目的・目標で学ぶのか定まらず、学習意欲の低い学生が増えている<sup>2)</sup>。講義では学生消費者主義<sup>3)</sup>のもと、受動的に教育サービスを受け取るだけの消費者になっている学生も多く<sup>4)</sup>、大学教員もその対応に苦悩している<sup>5)</sup>。

一方で学生は、卒業するまでに大学・学部・学科等が定めるディプロマ・ポリシーに達する必要がある。大学での学びの生活に適応し、中退や退学などの挫折をすることなく、卒業して社会に貢献できる人材となるためには、大学に入学して最初の1年間の教育、すなわち初年次教育で、多種多様な学生を、大学で学んでいける一定レベルに引き上げる必要がある。

本学は多数の学部・学科で構成されており、理系の学生も文系の学生も存在する。学生によって高等学校等での物理・化学・生物・地学の履修状況は様々であり、入試科目で理科教科を選択していない学生もいる。本学の学習支援センターでは正課外に数学、物理、化学のリメディアル講座が開講しているが、原則として学力多様化度調査の結果により指定された対象者のみが受講対象となっており、必ずしも受講希望者が全員リメディアル教育を受講できるわけではない。文系の学生を含めた全学生に対して開講されている理科の教養教育科目では、卒業して社会人として生きていくとき、自らが専門としない分野も含む理科全般に関して興味を持ち、正しく理解できる基礎的な知識と積極的に探求する意欲を身につけるとともに、科学的かつ論理的に自らの考えをまとめ、他人に伝えることができるようになることが望ましい。

#### 1-2 理科における学生の原体験<sup>6)</sup>不足

理科分野は広く深く、授業で受講生全員に届く言葉で説明することは難しい。なぜならば学生によって、これまでに身につけた知識も経験も多種多様だからである。届かない言葉、すなわち脳裏に何もイメージできない知らない言葉で説明を受けても、学生は眠くなるだけである。初年次教育で、学生に「この授業内容は学ぶに値しない」と思われたら致命的である。教員は理科の専門家であり、自らは広く深い知識と経験を有しているかもしれないが、その教員が想定する「大学1年生なら身につけているであろう、知識と経験」は、必ずしも受講生全員には当てはまらない。学生が生まれてから大学に入学するまでに、少なくともどのような知識を得て、少なくともどのような経験を積んでいるか、世代の違う教員には想定

することが困難である。

温度、熱、電気、粒子、波、大きさ、色、圧力など、理科では多くの概念が登場する。学生はその概念を、科学的正確さを持って身につける必要がある。その言葉を耳にしたとき、脳裏にイメージする内容が科学的に正しくないと、理科の事象を科学的かつ論理的に思考し、他人に伝えることはできない。

生まれてから大学に入学するまで、学生は物や現象を見て、聞いて、触って、体感した経験（原体験）を言葉と結びつけ、概念を形成していく。例えば「温度」の概念の形成には、夏の暑い感覚（汗をかいたり喉が渴いた経験）や冬の寒い感覚（震えたり手がかじかんだ経験）をはじめ、ラーメンやお茶が熱かった経験、かき氷やアイスクリームが冷たかった経験、風邪の時に使った体温計、部屋にある温度計、天気予報で聞いた最高・最低気温、火傷をした経験、霜焼けになった経験、テレビで見た液体窒素の実験、社会科見学で行った製鉄所の経験など、様々な経験が積み重なり、様々な知識と結びつく段階を経る。学校の理科では、0℃は氷が水になる温度、100℃は水が水蒸気になる温度、正確に温度を測るにはアルコール温度計を使う、ピーカーに入れた氷をアルコールランプで加熱してみる、さらに加熱して沸騰させてみる、など、概念が科学的により正確になるように修正が行われる。

しかし現在の学生が子供だった時代、冷暖房が完備された室内で過ごすことが多く、うだるような暑さや震えるような寒さに苦しんだ経験が少なく、体温計を自ら使った経験がなく、気象情報にも興味がなく、火傷や霜焼けの経験もなく、液体窒素も製鉄所も見たことがないとしたら、「温度」という言葉を聞いたとき、脳裏にイメージする内容は教員の子供時代とはだいぶ違うかもしれない。

子供時代の原体験が違えば、小・中学校で行われる理科の「概念」の科学的な修正効果も違うかもしれない。加えて最近では、高等学校理科での生徒実験の実施率は高くない。

### 1-3 大学の普通教室で実施できる理科実験

理科の様々な概念の基盤となる原体験を共有・確認し、原体験不足を補うために、大学の普通教室で安全に実施可能な理科実験を計画し、必要な教材を整備した。実験ではないが、実物に見て触ってみる体験をするための教材も含まれる。教材による原体験の共有により、受講生全員に届く言葉で概念の説明ができる。教材には驚きや感動を伴うものを厳選し、体験が楽しく思え、将来にわたって印象に残ることを目指した。

普通教室で実験を行う場合、最も重要なことは安全性である。普通教室には水道もなければ実験用の換気設備もない。教員は1人しかおらず、事故が起こった場合に対応ができない。日常生活と同程度まで、実験のリスクを下げる必要がある。

本学での講義時間は90分間、休憩時間は15分間である。何時限目かにもよるが、教室まで教材を教員が1人で運搬し、講義中に短時間で実施し、講義終了後に速やかに撤収できる必要がある。準備や片付けに長い時間を要する教材は不適である。

受講生は40名前後の場合もあれば100名を越えることもある。教材を何セット準備できるかにより、教員が実験を行って受講者に見せる演示実験の場合もあれば、学生が何人かでグループを構成し、グループで実験を行う学生実験の場合もある。受講生の人数分、実験セットを準備できた場合は、1人1人で実験を行えることもある。なるべく多くの教材を準備するためには、教材が比較的安価であることも条件の一つである。

## 2. 整備した理科教材

## 2-1 演示実験

整備した演示実験の一覧を表1に示す。

表1. 演示実験

No.	概念名	教材名	個数	説明
1	地球の大きさ	気象観測用風船	1	直径 130 cm の風船を地球に見立て、地球の大きさを実感させる。
		ドライヤー	1	
2	シャルルの法則	ソーラーバルーン	1	長さ 3 m の風船で、暖かい空気は浮き上がることを実感させる。
		ドライヤー	1	

## 2-2 学生実験

整備した学生実験の一覧を表2に示す。

表2. 学生実験

No.	概念名	教材名	個数	説明
1	温度・熱	ガラスデュワー瓶	2	液体窒素にスプレー菊の花を入れ凍らせた後、トングで粉々にする。放射温度計で液体窒素がいかにかに低温であるか、測定してみる。
		トング	2	
		放射温度計	32	
		液体窒素運搬瓶	1	
2	電磁誘導	銅パイプ	27	立てたアクリルパイプの上から磁石球を投下し、普通に落下することを確認する。磁石がアルミニウムや銅にくっつかないことを確認後、アルミニウム・銅パイプの上から磁石球を投下し、電磁ブレーキがかかることを確認する。斜めにした金属板で磁石球を転がす。
		アルミニウムパイプ	30	
		アクリル樹脂パイプ	16	
		アルミニウムレール	9	
		銅板	1	
		アルミニウム板	1	
		ステンレス板	1	
ネオジウム磁石球	60			
3	電気・電子	検電器	40	電子はマイナス電荷を有すること、同符号電荷は反発すること、電子の移動が電気であること。
		ストロー	1500	
		エナジースティック	17	
4	エネルギー	リサイクルカイロ	200	結晶が析出すると、高温になる。
5	自由電子	豆電球テスター	24	鉄釘には電気が流れる。アルミニウム硬貨には電気が流れるかどうか、カラーホイル折り紙には電気が流れるかどうか、実験する。
		鉄釘	24	
		アルミニウム硬貨	24	
		カラーホイル折り紙	24	
6	電磁波	長いバネ	12	波長とエネルギーの関係を実験。
7	密度	密度測定用円柱	20	アルミニウム、鉄、真鍮の密度。
8	分光・蛍光	紫外線ライト	55	白い紙の指定部分を蛍光ペンで塗りつぶし、紫外線を照射する。UVチェックカードに紫外線を照射する。蛍光灯照明やLED照明を回折格子スライドで分光する。
		UVチェックカード	286	
		蛍光ペンセット	150	
		回折格子スライド	500	
		スペクトロスコープ	6	
9	有機分子	HGS分子モデル	104	プロパノールまでを組み立てる。
10	磁性	ネオジウム磁石棒	27	シャープペンシルの芯が磁石から逃げようとする（反磁性）、アルミ箔が磁石にくっつくこと
		磁性流体	23	
		シャープペンシル芯	40	

表2. 学生実験 (続き)

No.	概念名	教材名	個数	説明
10	磁性	アルミ箔	10	ること (常磁性) を確かめる。磁気ビュアシートで磁界を観察する。磁性流体のスパイク現象を確認する。磁石にくっつく硬貨とくっつかない硬貨があることを確認する。渦電流の発生を確かめる。
		針	10	
		消しゴム	10	
		磁気ビュアシート	13	
		ニッケル硬貨	10	
		アルミニウム硬貨	10	
11	モル	1 mol の風船	9	1 mol の気体は標準状態で 22.4 L であること、それがどれぐらいの量 (大きさ) であるか実感する。同じ 1 mol の原子であっても原子量がかかなり違えば、その質量がかかなり異なることを体感する。12 g の炭素というのがどれぐらいの量 (重さ) であるか実感する。モルは英語で mole、モグラも mole。
		空気入れ	1	
		マグネシウム 1 mol	1	
		タングステン 1 mol	1	
		アルミニウム 1 mol	1	
		銅 1 mol	1	
		炭素 1 mol	1	
		グラファイト	61	
モグラのマスコット	500			
12	大気圧	マルデブルクの半球	3	球の中を真空にすると半球は人間の力でいくら引っ張っても外れない。大気圧の大きさを実感する。
		トンでも吸盤	19	
		どこでも吸盤	22	
13	色・補色	三原色 LED	70	赤と緑の光を足すと黄色になる。
14	運動エネルギー	ガウス加速器	15	レールの上にネオジム磁石球と鉄球を置く。磁石球を近づけていくと鉄球が突然加速して飛び出す。
		ネオジム磁石球	30	
		鉄球	30	
15	原子軌道	電子雲ガラス彫刻小	22	電子雲三次元ガラス彫刻模型。原子の中の電子の姿 (原子軌道の二乗) を手にとって実感する。
		電子雲ガラス彫刻中	30	
		電子雲ガラス彫刻大	4	
16	酸・塩基	pH 試験紙	500	pH 試験紙で水溶液の pH 測定。
17	熱伝導	アイスモールド	5	円形バット (水受け皿) に置いたアイスモールドに氷をセットし、水分子の形など様々な形の氷を作る。氷の温度を測定する。氷に食卓塩を振りかけると、温度が驚くほど下がることを確認する。断熱紙コップにぬるま湯を入れる。鉄棒、アルミニウム棒、銅棒の先端を氷水・湯に浸けて熱伝導性の違いを体感する。ヒートパイプでは瞬時に熱が伝わることに驚く。
		円形バット	5	
		杓文字	5	
		食卓塩	5	
		断熱紙コップ	5	
		湯沸かし器	1	
		発泡スチロール容器	5	
		ヒートパイプ	6	
		鉄棒	10	
		アルミニウム棒	10	
銅棒	10			
18	結晶・複屈折	方解石	130	結晶を実感し、複屈折を知る。
19	ボイルの法則	5 mL 注射器	150	注射器の先端を消しゴムに挿し、真空保存器に入れて真空ポンプで容器内の空気を除く。個包装の飴や風船でも同様に実験してみる。
		消しゴム	150	
		600 mL 真空保存器	62	
		真空ポンプ	62	
20	表面張力	超撥水メッシュ	18	紙コップに水道水を入れる。スポイトで水滴を超撥水紙皿に滴下し
		超撥水スプーン	9	

表2. 学生実験 (続き)

No.	概念名	教材名	個数	説明
20	表面張力	超撥水紙皿	9	てみる。バットの上の超撥水メッシュシートに、スポイトで水滴を滴下してみる。超撥水スプーンで紙コップ中の水を掬ってみる。
		スポイト	8	
		紙コップ	8	
		バット	8	
21	直交ニコル	偏光板	60	直交ニコル状態を体感する。
22	化学反応	爆裂如意棒	350	重曹とクエン酸水溶液の反応。
23	元素	ガリウム (液体)	8	周期表の元素に親しむ。ガリウムは液体金属、ビスマスは表面酸化皮膜による干渉色で美しい。キュービックジルコニアは光り輝く。
		ビスマス (結晶)	1	
		銀箔	1	
		二酸化ジルコニウム	500	
24	周期表	周期表カード	500	原子番号の順番に元素記号を並べると周期的に似た性質が表れる。平仮名の50音表のように、元素記号を並べた表が周期表。周期表は化学の世界のガイドマップ、化学を学ぶときは頻繁に参照する。
		立体周期表	100	
		AR 周期表	1000	
		中文周期表	1000	
		冗談周期表	1000	
		元素記号一覧表	1000	
25	化学発光	ルミカライト	200	酸化剤を発光液に混ぜ光らせる。
26	エントロピー	輪ゴム	1000	伸ばしたゴムを縮めると冷える。

### 3. 実施状況

#### 3-1 身近な化学 I・身近な化学 II

全学部 (理学部、工学部、総合情報学部、生物地球学部、経営学部、教育学部) 対象、週1コマ (90分間)、8週 (最終評価試験を含む) で1単位の1年生向けの科目である。高等学校での化学の履修を前提にせず、身近な題材を取り上げ、化学の基礎概念 (本学卒業生 (文系・理系) が身に着けるべき化学リテラシー) を学習する。教科書は、日本化学会化学教育協議会「グループ・化学の本21」編、「「化学」入門編 身近な現象・物質から学ぶ化学のしくみ」、化学同人2007年。この講義での理科教材使用状況を表3に示す。

表3. 身近な化学 I・身近な化学 II

科目名	回	実施した理科教材名	実施時間	受講生の人数
身近な化学 I	1	表1 No. 1 「地球の大きさ」	5分間	2016年度: 37名 2017年度: 54名
	2	表2 No. 1 「温度・熱」	15分間	
	3	表2 No. 24 「周期表」	15分間	
		表2 No. 7 「密度」	10分間	
		表2 No. 23 「元素」	10分間	
		表2 No. 2 「電磁誘導」	15分間	
	4	表2 No. 3 「電気・電子」	10分間	
	5	表2 No. 5 「自由電子」	5分間	
	6	表2 No. 15 「原子軌道」	10分間	
		表2 No. 9 「有機分子」	15分間	
		表2 No. 10 「磁性」	5分間	
	7	表2 No. 11 「モル」	10分間	
		表2 No. 8 「分光・蛍光」	15分間	

表 3. 身近な化学 I・身近な化学 II (続き)

科目名	回	実施した理科教材名	実施時間	受講生の人数
身近な化学 I	7	表 2 No. 6 「電磁波」	5 分間	
		表 2 No. 4 「エネルギー」	10 分間	
		表 2 No. 20 「直交ニコル」	5 分間	
	8	なし		
身近な化学 II	1	表 2 No. 18 「結晶・複屈折」	5 分間	2016 年度：36 名 2017 年度：57 名
		表 2 No. 12 「大気圧」	10 分間	
		表 2 No. 14 「運動エネルギー」	10 分間	
		表 2 No. 17 「熱伝導」	15 分間	
	2	表 2 No. 19 「ボイルの法則」	15 分間	
		表 1 No. 2 「シャルルの法則」	5 分間	
		表 2 No. 20 「表面張力」	10 分間	
	3	表 2 No. 22 「化学反応」	5 分間	
	4	表 2 No. 16 「酸・塩基」	10 分間	
	5	なし		
	6	表 2 No. 13 「色・補色」	10 分間	2016 年度：36 名 2017 年度：57 名
		表 2 No. 25 「化学発光」	5 分間	
	7	なし		
8	なし			

## 3-2 現代人の科学 D (コンピュータで理解する周期表の世界)

教育学部を除く全学部 (理学部、工学部、総合情報学部、生物地球学部、経営学部) 対象、週 1 コマ (90 分間)、8 週 (最終評価試験を含む) で 1 単位の 1 年生向けの科目である。高等学校での化学・物理の履修を前提にせず、量子力学が支配する分子・原子・電子の不思議な世界をコンピュータで計算・三次元可視化して実感することを目的としている。教科書は使用していない。この講義での理科教材使用状況を表 4 に示す。

表 4. 現代人の科学 D (コンピュータで理解する周期表の世界)

回	実施した理科教材名	実施時間	受講生の人数
1	なし		
2	表 1 No. 1 「地球の大きさ」	5 分間	2016 年度：14 名 2017 年度：36 名
	表 2 No. 24 「周期表」	5 分間	
	表 2 No. 11 「モル」	5 分間	
3	表 2 No. 3 「電気・電子」	5 分間	
	表 2 No. 5 「自由電子」	5 分間	
4	表 2 No. 15 「原子軌道」	5 分間	
5	表 2 No. 9 「有機分子」	10 分間	
6	表 2 No. 6 「電磁波」	5 分間	
	表 2 No. 8 「分光・蛍光」	5 分間	
	表 2 No. 13 「色・補色」	5 分間	
	表 2 No. 25 「化学発光」	5 分間	
7	表 2 No. 10 「磁性」	5 分間	
8	なし		

## 3-3 化学基礎論 I・化学基礎論 II

2016年度は理学部動物学科対象、2017年度は生物地球学部生物地球学科対象、2016年度は週1コマ(90分間)、16週(最終評価試験を含む)、2017年度は週2コマ(90分間)、8週(最終評価試験を含む)で2単位の1年生向けの科目である。高等学校での化学の履修を前提にしており、高等学校の学修内容よりやや高度な化学の基本的な事項を学習する。教科書は、野島高彦、「はじめて学ぶ化学」、化学同人2012年。この講義での理科教材使用状況を表5に示す。

表5. 化学基礎論Ⅰ・化学基礎論Ⅱ

科目名	回	実施した理科教材名	実施時間	受講生の人数
化学基礎論Ⅰ	1	表1 No. 1「地球の大きさ」	5分間	2016年度：32名 2017年度：131名
	2	表2 No. 23「元素」	5分間	
	3	表2 No. 3「電気・電子」	5分間	
	4	表2 No. 15「原子軌道」	5分間	
	5	なし		
	6	表2 No. 24「周期表」	5分間	
	7	表2 No. 5「自由電子」	5分間	
	8	なし		
	9	表2 No. 9「有機分子」	10分間	
	10	表2 No. 11「モル」	5分間	
	11	表2 No. 22「化学反応」	5分間	
	12	表2 No. 4「エネルギー」	10分間	
	13	なし		
	14	なし		
	15	なし		
	16	なし		
化学基礎論Ⅱ	1	表2 No. 1「温度・熱」	5分間	2016年度：27名 2017年度：114名
	2	表2 No. 26「エントロピー」	5分間	
	3	表2 No. 19「ボイルの法則」	5分間	
		表1 No. 2「シャルルの法則」	5分間	
	4	表2 No. 11「モル」	5分間	
	5	なし		
	6	なし		
	7	なし		
	8	なし		
	9	表2 No. 18「結晶・複屈折」	5分間	
	10	なし		
	11	表2 No. 16「酸・塩基」	10分間	
	12	なし		
	13	表2 No. 8「分光・蛍光」	10分間	
	14	表2 No. 6「電磁波」	10分間	
		表2 No. 21「直交ニコル」	5分間	
表2 No. 25「化学発光」		5分間		
15	表2 No. 10「磁性」	10分間		
	表2 No. 2「電磁誘導」	10分間		
16	なし			

## 4. 理科教材の導入効果

### 4-1 地球の大きさ<sup>7)</sup>

直径 130 cm の地球では、一番高い山であるエベレストでもその高さは 0.9 mm、国際宇宙ステーションは高さ 4 cm を飛行している。大きすぎて把握できない地球の大きさを 1000 万分の 1 の地球模型によって実感できる。子供の身長である 1 m を 10 倍、10 倍していくと、宇宙に至る巨大な世界の大きさが把握できる。10 分の 1、10 分の 1 していくと、原子や電子に至る極小の世界の小ささが把握できる。<sup>8)</sup> 身近な化学 I、身近な化学 II、化学基礎論 I、化学基礎論 II では、毎回の講義の最後に、受講生全員に講義の感想を書いて提出してもらっている。以下にこの教材に関する代表的な感想を列挙する。

- ◇宇宙のスケールの大きさを感じられた。〈身近な化学 I・2016〉
- ◇化学の世界の大きさを知った。〈身近な化学 I・2016〉
- ◇地球の果てしない大きさや原子のとてつもない小ささを感じた。〈身近な化学 I・2016〉
- ◇大きさの比較がとても面白かった。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇我々は莫大な数字の中で生活していることを実感した。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇身近ないろいろなものがどれぐらいの大きさなのかが分かった。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇とてつもなく大きな世界や小さな世界について考えた。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇大きさの比較がとても分かりやすく楽しかった。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇宇宙と人より、人と分子の方が、スケール的には近い。〈化学基礎論 I・2016〉
- ◇物の大きさについての説明がとても分かりやすく理解できた。〈化学基礎論 I・2016〉
- ◇マイクロやマクロのスケールを実感できて良かった。〈化学基礎論 I・2017〉
- ◇大きさを想像できるということは大切だと思う。〈化学基礎論 I・2017〉
- ◇地球の大気や海水の薄さは予想以上で驚いた。〈化学基礎論 I・2017〉
- ◇ものの大きさの尺度を知っておくことは大切だと思った。〈化学基礎論 I・2017〉
- ◇原子の小ささに興味がわいた。〈化学基礎論 I・2017〉
- ◇地球が宇宙規模で見るといかに小さいのかが分かった。〈化学基礎論 I・2017〉
- ◇大きさのだいたいの概念がつかめた。〈化学基礎論 I・2017〉

### 4-2 シャルルの法則

黒色ポリエチレン（厚さ 0.01 mm）でできた筒状の風船（直径 57 cm、長さ 3 m）に家庭用ヘアドライヤーで熱風を吹き込んで膨らませると、教室の天井まで浮き上がる。気体は温度が上昇すると体積が増大することが実感できる。

- ◇空気を温めると浮くことが気球に利用されていることを知った。〈身近な化学 II・2016〉
- ◇気体の体積と温度の関係が身近に利用されていることを知った。〈身近な化学 II・2017〉
- ◇この法則は高校で習っていたが、実験を通して理解が深まった。〈身近な化学 II・2017〉
- ◇シャルルの法則のイメージがしっかりとできた。〈身近な化学 II・2017〉
- ◇温めたら大きくなった風船の実験が面白かった。〈化学基礎論 II・2016〉
- ◇熱気球の原理を実際に見て楽しかった。〈化学基礎論 II・2017〉
- ◇シャルルの法則についてとても分かりやすく理解できた。〈化学基礎論 II・2017〉
- ◇暖かい空気が上に行くことを実際に見て分かりやすかった。〈化学基礎論 II・2017〉
- ◇黒の風船すごかった。熱風を入れると浮くことを初めて知った。〈化学基礎論 II・2017〉

### 4-3 温度・熱

液体窒素を透明ガラスデュワー瓶に入れ、1人1本のスプレー菊を各自が液体窒素に浸け、トングで挟んで粉々にする。教室の窓を開放し、換気に留意する。ゴムボールを液体窒素に浸け、床に落下させると破裂する（演示実験）。放射温度計で液体窒素の温度を測ると



マイナス側に振り切れてしまう。液体窒素は $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ であることを知る。

- ◇液体窒素を使った作業は初体験ですごく良かった。〈身近な化学Ⅱ・2016〉
- ◇花が割れたのを見て、改めてすごい温度なのだ実感できた。〈身近な化学Ⅱ・2016〉
- ◇初めて液体窒素を使った実験をして、とても経験になった。〈身近な化学Ⅱ・2016〉
- ◇普段お目にかかれない液体窒素の実験ができて嬉しかった。〈身近な化学Ⅱ・2016〉
- ◇実際の実験がとてもワクワクして、楽しい授業だった。〈身近な化学Ⅱ・2016〉
- ◇実験を間近で見てとても化学に対する興味を引き立てられた。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇液体窒素中にゴムボールを入れて粉々になる実験は楽しかった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇液体窒素を初めて生で見て実験でき、とても良い体験だった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇液体窒素が扱えるというのは大学らしくて良かった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇実際に現象を見て確かめることで、より記憶に残った。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇冷たいのに沸騰するというのは不思議な感じ。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇液体窒素で花を凍らせることで、その温度の低さを実感できた。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇今回は教科書だけでは理解できない内容だった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇授業内容が興味深いものなので、退屈する暇がない。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇液体窒素に初めて触れることができて面白かった。〈化学基礎論Ⅱ・2016〉
- ◇液体窒素を用いて凍るところを見ることができて楽しかった。〈化学基礎論Ⅱ・2016〉
- ◇液体窒素で花を凍らせる実験が興味深かった。〈化学基礎論Ⅱ・2016〉
- ◇「あの液体窒素か！！」と興奮した。〈化学基礎論Ⅱ・2016〉
- ◇液体窒素の実験を自分でできて嬉しかった。〈化学基礎論Ⅱ・2016〉

#### 4-4 電磁誘導

アクリル樹脂パイプ、アルミニウムパイプ、銅パイプを立て、上からネオジム磁石球を投入して落下させ、下で受け取る。自由電子が存在する金属のそばで磁石を動かすと、渦電流が流れ、磁石を動かす方向とは逆向きの力（電磁ブレーキ）がかかることを体感する。アルミニウムより銅の方が強く電磁ブレーキがかかる。

- ◇電磁ブレーキの実験、楽しかったです。〈身近な化学Ⅰ・2016〉
- ◇パイプの種類でこんなにも落下速度が違うことに驚いた。〈身近な化学Ⅰ・2016〉
- ◇金属は金属でも、種類によって違いがあることが分かった。〈身近な化学Ⅰ・2016〉
- ◇銅パイプを落下する磁石球の速度が遅くて不思議な感覚がした。〈身近な化学Ⅰ・2016〉
- ◇ネオジム磁石がゆっくり落ちることにとっても驚いた。〈身近な化学Ⅰ・2016〉
- ◇電磁ブレーキの様子を見るのは面白かった。〈身近な化学Ⅰ・2017〉
- ◇ネオジム磁石の実験で不思議な体験ができてとても感銘を受けた。〈身近な化学Ⅰ・2017〉
- ◇電磁ブレーキの実験にすごく関心を持った。〈身近な化学Ⅰ・2017〉
- ◇高校の物理で習った電磁誘導を体感できた。〈身近な化学Ⅰ・2017〉
- ◇銅の筒の実験は魔法みたいで面白かった。〈化学基礎論Ⅱ・2016〉

#### 4-5 電子・電気

ストローを1人2本配布する。紙袋の端をちぎり、10回程度ストローを紙袋に出し入れして静電気を帯びさせる。紙袋からストローを出して両手に1本ずつ持ちストローを平行にすると、強い反発力を体感できる。エナジースティックは人間の身体にも電気が流れることが実感できる。10~20人が手をつないで回路を作り、電気が流れることを確認する。

- ◇ストローの実験で、思いのほか反発する力が強くて驚いた。〈身近な化学Ⅰ・2016〉
- ◇身近なストローでこんなに分かりやすく反発するとは。〈身近な化学Ⅰ・2017〉
- ◇ストローの実験はとても簡単であったが興味深かった。〈身近な化学Ⅰ・2017〉
- ◇紙でこすると検電器の針が振れたが、指では振れなかった。〈身近な化学Ⅰ・2017〉

- ◇5人で手をつないで実験したら、見事にブザーが鳴った。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇手で触れるだけで音が鳴ったので驚いた。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇人間にも電気が流れることを実験で確認できた。〈身近な化学 I・2017〉

#### 4-6 エネルギー

酢酸ナトリウム水溶液（過冷却状態）が入ったリサイクルカイロ（エコカイロ）を各自が手にし、トリガーとなる金属板を曲げると酢酸ナトリウム三水和物の結晶化が一気に始まり、発熱する。凝固によって発生する熱により、抽象的なエネルギーの概念を実感できる。

- ◇カイロの結晶析出にはとても驚いた。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇酢酸ナトリウムが一気に結晶化することを知れて楽しかった。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇カイロの結晶ができるシーンが面白くて感動した。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇酢酸ナトリウムがカイロになることは大発見だった。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇酢酸ナトリウムがすぐに結晶化することを初めて知った。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇液体が衝撃で結晶になるのが不思議で良かった。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇エコカイロの仕組みを知れて良かった。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇エコカイロの話は興味深く、考えが深まった。〈身近な化学 I・2017〉

#### 4-7 自由電子<sup>9)</sup>

豆電球テスターを用い、どのようなものに電気が流れるか調べる。結果として、金属には自由電子があるため、必ず電気が流れることを認識する。

- ◇光っている折り紙にアルミニウムが含まれていたことに驚いた。〈身近な化学 I・2016〉
- ◇一円玉に電気が流れるとは思わなかった。〈身近な化学 I・2016〉
- ◇金紙に電気が流れることは驚きだった。〈身近な化学 I・2016〉
- ◇金属の性質には自由電子が関わっていることが分かった。〈身近な化学 I・2016〉

#### 4-8 電磁波<sup>10)</sup>

2人で1組となり、床に置いた長いバネの両端を各人が持つ。まず波長の長い波を発生させ、次に波長の短い波を発生させてみる。どちらの方が疲れるかを体感することにより、波長が長い波はエネルギーが小さく、波長が短い波はエネルギーが大きいことを体得する。

- ◇波長は大きく動かす方が疲れると思ったが実は逆だった。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇バネの実験が面白かった。波がはっきり見え不思議だった。〈身近な化学 I・2017〉

#### 4-9 密度

同じサイズのアルミニウム、鉄、真鍮の円柱（直径 20 mm、長さ 32 mm）を手のひらに載せ、体積が同じでも金属の種類によって重さが違うことを感じ取る。

- ◇物質によって密度が異なり、その重さが体験できて面白かった。〈身近な化学 I・2016〉
- ◇色々な元素の密度が知れて良かった。〈身近な化学 I・2017〉

#### 4-10 分光・蛍光

1人1個の回折格子スライドを手にし、教室の照明を分光してみる。各自、ワークシート（白色コピー用紙の一部を真っ黒に印刷してあり、その真っ黒の中に白い部分が残してある）の指定箇所を蛍光ペンで塗りつぶし、教室を真っ暗にした後に、紫外線ライトで 375 nm の紫外線をワークシートに照射する。驚くほど明るく輝き、蛍光現象を実感できる。UV チェックシートに紫外線を照射し、太陽光中の紫外線が日焼けの原因であることを知る。

- ◇蛍光ペンが紫外線によってあんなにきれいに光るのには驚いた。〈身近な化学 I・2017〉
- ◇光を簡単に分けられることにびっくりした。〈身近な化学 I・2017〉

- ◇紫外線について興味を持った。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇紫外線ランプを使った実験がとても面白かった。特に蛍光ペン。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇白色光を分光スライドで見ると色んな色が見えてきれいだった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇紫外線ライトで蛍光ペンが良く光ってきれいだった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇蛍光ペンの実験は初めてだった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇紫外線を使うと蛍光ペンが光るのを見て、結構驚いた。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇蛍光ペンを紫外線で照らすととても明るくなったのに驚いた。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇特に蛍光ペンの実験がすごかった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇紫外線と蛍光ペンの実験が楽しかった。〈身近な化学 I ・2017〉

#### 4-1-1 有機分子

HGS 分子モデルで、炭素原子 3 個、酸素原子 1 個、水素原子 8 個のセットを各自使用する。メタン(CH<sub>4</sub>)、エタン(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、プロパン(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)、水(H<sub>2</sub>O)、メタノール(CH<sub>3</sub>OH)、エタノール(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)、プロパノール(C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>OH)を順に組み立て、立体的な分子の形、原子の結合の本数などを理解する。

- ◇組み立てるのがとても面白かった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇もっと大きな分子を作ってみたい。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇実際に模型を用いて構造式を分かりやすく理解できた。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇分子モデルを使うと分子がどんな形をしているか分かりやすい。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇立体構造のモデルを作るのが楽しかった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇分子モデルを組み立てながら小テストができ分かりやすかった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇分子モデルで分かりやすく構造が理解できた。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇自分で作ってみることで立体的な形が理解でき面白かった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇模型を使って実際に構造式を作れたので学びが深まった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇自分で分子モデルを作っているのがとても分かりやすかった。〈化学基礎論 I ・2017〉
- ◇先生がモデルを貸してくださったのでイメージしやすかった。〈化学基礎論 I ・2017〉

#### 4-1-2 磁性<sup>11)</sup>

すべての物質は磁石を近づけると、くっつくか、逃げようとするかのどちらかであることを体感する。グラファイト (反磁性)、アルミニウム (常磁性)、ニッケル (強磁性) を例にとる。磁界は見えないが、磁気ビュアシートでは二次元の、磁性流体では三次元の磁力線として可視化することができる。

- ◇磁性流体のスパイク現象を見て感動した。〈身近な化学 I ・2016〉
- ◇磁性流体のスパイク現象がすごくきれいだった。〈身近な化学 I ・2016〉
- ◇スパイク現象を初めて見てとても興味を持てた。〈身近な化学 I ・2016〉
- ◇磁性流体のスパイク現象は黒いウニみたいで面白かった。〈身近な化学 I ・2016〉
- ◇ネオジム磁石でスパイク現象を起こす実験がとても楽しかった。〈身近な化学 I ・2016〉
- ◇磁性流体のスパイクに驚いた。〈身近な化学 I ・2016〉
- ◇磁石を近づけるとトゲトゲがでてくるのは不思議で面白かった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇スパイク現象が思っていたよりすごくて驚いた。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇スパイク現象はとても面白くてウニみたいだった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇スパイク現象が強烈だった。〈身近な化学 I ・2017〉

#### 4-1-3 モル

$6.02 \times 10^{23}$  個 (アボガドロ定数) だけ粒子 (原子、イオン、分子など) が集まった量 (物質質量) である 1 mol が、自分でその物質を持ってみてどれぐらいの量であるかを体験する。

マグネシウム 1 mol とタングステン 1 mol では、原子の数は同じなのに、その重さはかなり違う。1 mol の気体は標準状態で 22.4 L であるが、22.4 L の気体がどれぐらいの体積であるか、1 mol の風船を手にとってみて、実感する。苦手意識を持つ学生が多いモルに親しむため、モル(mole)と英語で同じ綴りであるモグラ(mole)のマスコットを手にとってみる。

- ◇アボガドロ定数がどのくらい大きい数なのか初めて実感できた。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇モグラがとても可愛かった。そのおかげでモルが印象に残った。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇様々な物質の 1 mol の重さを体感できて良かった。〈化学基礎論 I ・2017〉
- ◇アボガドロ定数について理解が深まった。〈化学基礎論 I ・2017〉
- ◇1 mol の分子の数が多くてびっくりした。〈化学基礎論 I ・2017〉
- ◇物質量が大切なことが分かった。〈化学基礎論 II ・2017〉

#### 4-14 大気圧

マルデブルクの半球をくっつけて球の中の空気を抜く。2人で本気で引っ張っても半球は外れない。教室の壁や机に吸盤をくっつけ、比較的強い力で引っ張ってもなかなか外れないことを体感する。大気圧の大きさを実感する。

- ◇身近に真空状態のものがたくさんあるのが知れて良かった。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇普段の生活でも大気圧を活用しているなど思った。〈化学基礎論 II ・2016〉
- ◇空気の圧力は、とても大きな力になるんだと思った。〈化学基礎論 II ・2016〉
- ◇トンでも吸盤は大気の利用しており、すごいと思った。〈化学基礎論 II ・2016〉
- ◇注射器で中を真空状態にするとくっつく道具が面白かった。〈化学基礎論 II ・2016〉
- ◇大気の方が思ったより強くて驚いた。〈化学基礎論 II ・2016〉

#### 4-15 色・補色

教室を真っ暗にした後、赤色 LED、緑色 LED、青色 LED を各自が点灯させ、それぞれの色の光を混ぜて何色になるか確認する。赤と緑を混ぜると黄色になる。赤と青を混ぜるとマゼンタになる。緑と青を混ぜるとシアンになる。赤と緑と青を混ぜると白になる。黄色と青を混ぜても白になる。青の補色が黄色であることを理解する。

- ◇赤、青、緑を足すと白になることを実際に見て良かった。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇色の三原色を科学的に見ると、とても不思議なものに思えた。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇色と補色の組み合わせは知らなかったので学習できて良かった。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇光の絵の具、同じ色を混ぜても違う色になることに驚いた。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇初めて光の三原色の実験をして、とても面白かった。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇補色が興味深かった。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇色の足し算、引き算が楽しかった。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇三原色について知ることができたので良かった。〈身近な化学 II ・2017〉

#### 4-16 運動エネルギー

ガウス加速器<sup>12)</sup>の実験を行う。プラスチックレールの先端にタッパーが取り付けられている。レールのタッパーとは反対側に、鉄球 2 個、ネオジム磁石球 1 個をくっつけて並べる。ネオジム磁石球から 10 cm 離れたレールの上に、別のネオジム磁石球を置く。ネオジム磁石球を近づけていくと、突然に磁石球は加速し、ネオジム磁石球同士が衝突し、先端の鉄球が猛烈な勢いで飛び出してタッパーに衝突する。

- ◇磁石の実験で、速いスピードで磁石が転がりびっくりした。〈身近な化学 II ・2016〉
- ◇レールの実験は自分でやると、スピードが速く見えて驚いた。〈身近な化学 II ・2016〉
- ◇想像よりスピードが出て驚いた。〈身近な化学 II ・2016〉

- ◇磁石を使った実験で、速かったのにびっくりした。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇動きが速すぎでよく見えなかったのに驚いた。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇磁石の実験が一番印象的だった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇ガウス加速器の実験を前々からやってみたかったのが良かった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇磁石の実験が凄かった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉

#### 4-17 原子軌道

電子雲三次元ガラス彫刻模型 NEBULA<sup>13)</sup>を回覧する。原子の質量は原子核の質量とほぼ同じであり、通常、電子の質量は無視される。しかし原子核の大きさは原子に比べて相当に小さく、原子の大きさを決めているのは電子である。電子の姿は原子軌道で表される。原子軌道の二乗が電子の確率密度になる。ガラスの内部に電子の確率密度がレーザー彫刻された NEBULA を手に取り、いろいろな方向から眺めてみることにより、原子軌道の立体的なイメージが把握できる。

- ◇電子が原子を形作っていることが分かった。〈身近な化学Ⅰ・2016〉
- ◇s、p、d、fの意味がよく理解できた。〈身近な化学Ⅰ・2016〉
- ◇電子軌道の形が面白く、どうしてこんな形なのか興味がわいた。〈身近な化学Ⅰ・2016〉
- ◇他授業でも軌道の説明があり分からなかったが今日は分かった。〈身近な化学Ⅰ・2016〉
- ◇電子の軌道が実際は複雑なことを初めて知った。〈身近な化学Ⅰ・2016〉
- ◇電子軌道を目視することができたのはとても嬉しかった。〈身近な化学Ⅰ・2017〉
- ◇ガラスの軌道模型がとても分かりやすく良かった。〈化学基礎論Ⅰ・2017〉
- ◇高校までの電子のイメージとすいぶん違うことが分かった。〈化学基礎論Ⅰ・2017〉

#### 4-18 酸・塩基

1人5枚の pH 試験紙を配布する。自宅で様々な水溶液の pH を測定してくる(宿題)。

- ◇コーラが強い酸性を示すことに驚いた。〈身近な化学Ⅰ・2017〉
- ◇身近にある液体は、わりと酸性のものが多くことに驚いた。〈身近な化学Ⅰ・2017〉
- ◇pH 測定とても楽しかった。〈身近な化学Ⅰ・2017〉
- ◇身近な物質の pH を計ることによって自分で体験できて良かった。〈身近な化学Ⅰ・2017〉

#### 4-19 熱伝導

アイスモールドで氷の成形が短時間でできる。水分子、サッカーボール、球、雪の結晶など様々な形の氷が容易にできあがる。金属には自由電子があり、この自由電子が熱を良く伝えることが原理だと知る。氷に食塩を振りかけると寒剤となり、0℃よりも温度が下がる。氷+食塩の寒剤と、ぬるま湯を用意し、鉄、アルミニウム、銅の熱伝導の違いを確かめる。ヒートパイプでは瞬時に熱が伝わることを確認する。

- ◇多くの実験をして熱について興味や関心が湧いた。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇氷に塩をふると-20℃まで下がるのはとても不思議だった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇氷に塩をふりかけて温度を測る実験が面白かった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇氷に塩をかける実験は科学的に考えるととても面白い現象だ。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇塩を入れることで温度が劇的に下がったのが面白かった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇氷に塩を大量に入れると温度が下がったのに驚いた。〈身近な化学Ⅱ・2017〉
- ◇氷は0℃と信じていたが、塩をかけると氷点下に下がり驚いた。〈身近な化学Ⅱ・2017〉

#### 4-20 結晶・複屈折

炭酸カルシウムの結晶(方解石)を1人1個手に取り、結晶は面で囲まれていること、面と面の角度は結晶の種類によって決まっていることを実感する。方解石の結晶を教科書の

文字の上に置き、複屈折が観察できることも確認する。

◇方解石の複屈折に感動した。〈化学基礎論Ⅱ・2017〉

◇方解石が面白かった。〈化学基礎論Ⅱ・2017〉

#### 4-21 ボイルの法則

気体の圧力と体積の関係を調べる。プラスチック製注射器の先端を消しゴムに挿して塞ぎ、ピストンに力を加えると体積が小さくなる。ピストンを引っ張ると体積が大きくなる。消しゴムで塞いだ注射器を真空保存器の中に入れ、真空ポンプで保存器の空気を抜くと、注射器のピストンが動き、注射器内の空気の体積が大きくなる。個包装の飴、空気が入った水風船も真空保存器の中に入れて減圧してみる。減圧後には弁を開け常圧に戻す。

◇山に登るにつれて袋が膨らむというのは聞いたことがあったが、体験したことはなかった。近いことを体験できて良かった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉

◇ポテトチップスの袋がパンパンに膨らむ理由を知った。〈身近な化学Ⅱ・2017〉

◇飴の袋が意外と大きく膨れた。〈身近な化学Ⅱ・2017〉

◇真空ポンプを使う実験は初めてだったので、面白いだけでなく、自分にとって良い経験となり、嬉しかった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉

◇袋が膨らんだりする原理が分かった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉

#### 4-22 表面張力

蓮の葉に雨粒が落ちて、葉の上の水滴は丸くなり葉は濡れない。液体には丸くならうとする性質がある。蓮の葉と似た超撥水性を持つメッシュシート、スプーン、紙皿に、班単位で水道水を滴下し、超撥水性を体感する。

◇超撥水の実験が面白かった。〈身近な化学Ⅱ・2017〉

#### 4-23 直交ニコル

1人2枚の偏光板（偏光フィルム）を手に取り、まず1枚で教室の照明を見ると、暗くなることを確認する。次に2枚を重ね、1枚を回転させていくと、真っ暗になる位置があることを発見する。これが偏光顕微鏡で使われている直交ニコル状態であることを知る。

#### 4-24 化学反応

重曹（炭酸水素ナトリウム）とクエン酸（水溶液）を混ぜると化学反応が起こって、クエン酸ナトリウムと水と二酸化炭素になる。爆裂如意棒には、重曹の粉末とクエン酸水溶液入りの袋が入っている。机の上に爆裂如意棒を置き、上からたたいてクエン酸水溶液の袋を破ると、急激に二酸化炭素が発生して爆裂如意棒はパンパンに硬くなる。化学反応によって新たな物質が生まれることを実感する。

◇クエン酸と重曹の反応で袋が膨らんだことに驚いた。〈身近な化学Ⅱ・2017〉

◇如意棒が面白かった。〈化学基礎論Ⅰ・2017〉

#### 4-25 元素

世の中のすべての物質は周期表の元素からできている。元素（単体）はそれぞれ個性豊かで、いろいろなものがある。室温程度で液体の金属は水銀だけではない。ガリウムも液体である。サンプル管に入ったガリウムを回覧し、液体であることを確認する。ビスマス結晶は表面の酸化皮膜の厚さにより様々な色の干渉色が見える。原子炉の核燃料被覆管にはジルコニウムの合金が使われている。二酸化ジルコニウムの立方晶（キュービックジルコニア）はダイヤモンドと似た屈折率で、ブリリアンカットしたものはダイヤモンドと容易には見

分けがつかない。

- ◇ビスマスがとてもきれいで不思議な形をしていた。〈身近な化学 I ・2016〉
- ◇ビスマスを持ったりできてすごく楽しかった。〈身近な化学 I ・2016〉
- ◇低い温度で融点がかかるような金属もあるのだと知った。〈身近な化学 I ・2016〉
- ◇ガリウムやビスマスの実物を初めて見られて良かった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇キュービックジルコニアがすごくきれいだった。〈化学基礎論 II ・2017〉

#### 4-26 周期表

様々な周期表を入手し、周期表に親しみを覚えるとともに、旅するときに地図を見るように、化学の世界を歩くときは周期表を見れば有用な情報が得られることを知る。世界地図は本来地球儀のように立体的なものである。周期表にも立体周期表がある。

- ◇周期表を立体的に見ることによって元素の性質が良く分かった。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇立体周期表がお気に入りです。〈身近な化学 I ・2017〉
- ◇家に帰ってから立体周期表を作ります。〈身近な化学 I ・2017〉

#### 4-27 化学発光

3つの実験スタイルがある。(1) 受講生が多い場合、教卓で演示される実験を見る。(2) 受講生が少ない場合、1人1個の実験道具を手にし、酸化剤(過酸化水素水)が入ったガラス管を折り、発光液(溶媒・発光試薬・触媒・蛍光色素)に混ぜる。(3) あるいは班ごとに、酸化剤と発光液の入ったスポイトをサンプル管の中に注ぎ込む。いずれに場合も教室を真っ暗にしておき、教科書が読めるほどの予想外に強力な発光に驚く。

- ◇2種類の液体を混ぜると光る実験が面白かった。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇ケミカルライトの中に何が入っているか知れて良かった。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇お祭りなどで用いる光る棒の原理を初めて知った。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇発光する化学反応はとても面白く魅力的でもっと知りたい。〈身近な化学 II ・2017〉
- ◇物質を混ぜただけで光を発するのは凄いと思った。〈身近な化学 II ・2017〉

#### 4-28 エントロピー

輪ゴムを急に伸ばして唇の下にあてると熱く感じる。伸ばしきったまま輪ゴムが冷えて室温になるまで待ち、今度は急に縮めて唇の下にあてると冷たく感じる。輪ゴムの状態変化とエントロピーの増減の関係を実感する。

- ◇輪ゴムが冷たく感じたので驚いた。〈化学基礎論 II ・2017〉
- ◇輪ゴムの実験が手軽にできて良いなと思った。〈化学基礎論 II ・2017〉

### 5. 授業アンケート結果

授業の最終回(もしくは最終回の1回前)、学生は本学の OUS-mylog (ポートフォリオ) サイトにログインし、授業アンケートに回答する。教員には誰がどのように答えたかは分からないシステムになっている。学生には「この授業アンケートの目的は、各授業について学生みなさんがどのような印象を受けたか、どのように取り組んだかを調査し、その結果を各先生方に伝えて授業の改善に活用することです。」と伝えてある。

今回、整備した理科教材を使用した10の講義(いずれも筆者が担当)、身近な化学 I (2016年度、2017年度)、身近な化学 II (2016年度、2017年度)、現代人の科学 D (2016年度、2017年度)、化学基礎論 I (2016年度、2017年度)、化学基礎論 II (2016年度、2017年度) で授業アンケートを実施した。「授業に対するあなたの成長について」の質問項目より

「この分野への理解が深まった」、「この分野への興味、関心が高まった」の2項目、「総合評価」の質問項目より「授業に対する教員の意欲が感じられましたか」、「総合的に判断して、この授業に満足しましたか」の2項目について、以下に学生回答結果を示す。

#### 5-1 授業に対するあなたの成長について

「この分野への理解が深まった」を選択した学生の人数・割合（アンケート回答数に対する割合）を図1に、「この分野への興味、関心が高まった」を選択した学生の人数・割合を図2に示す。

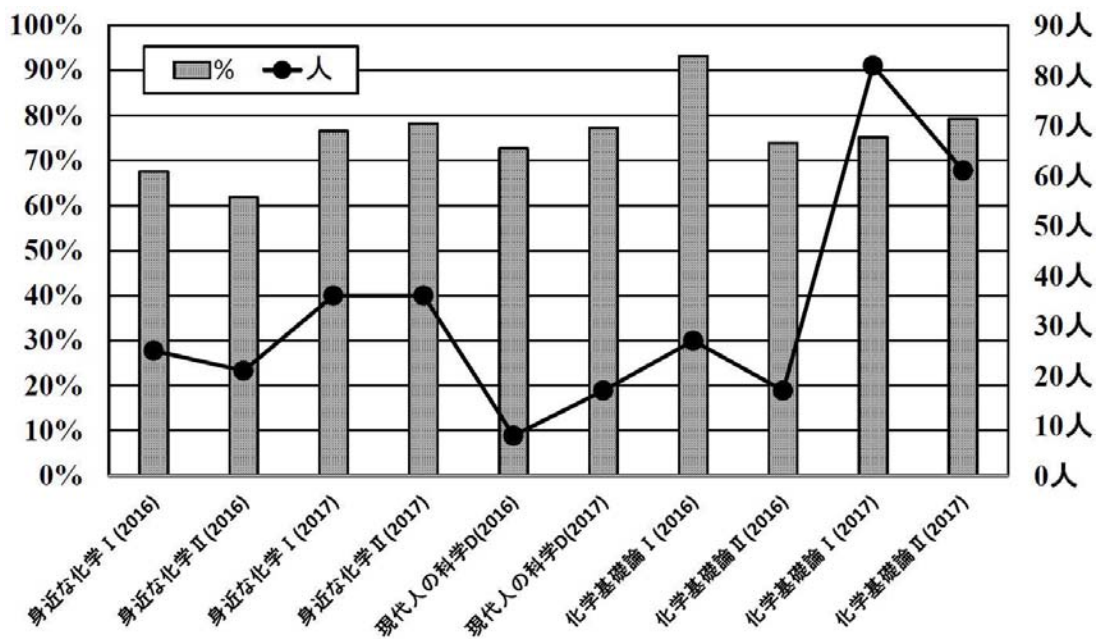


図1. この分野への理解が深まった

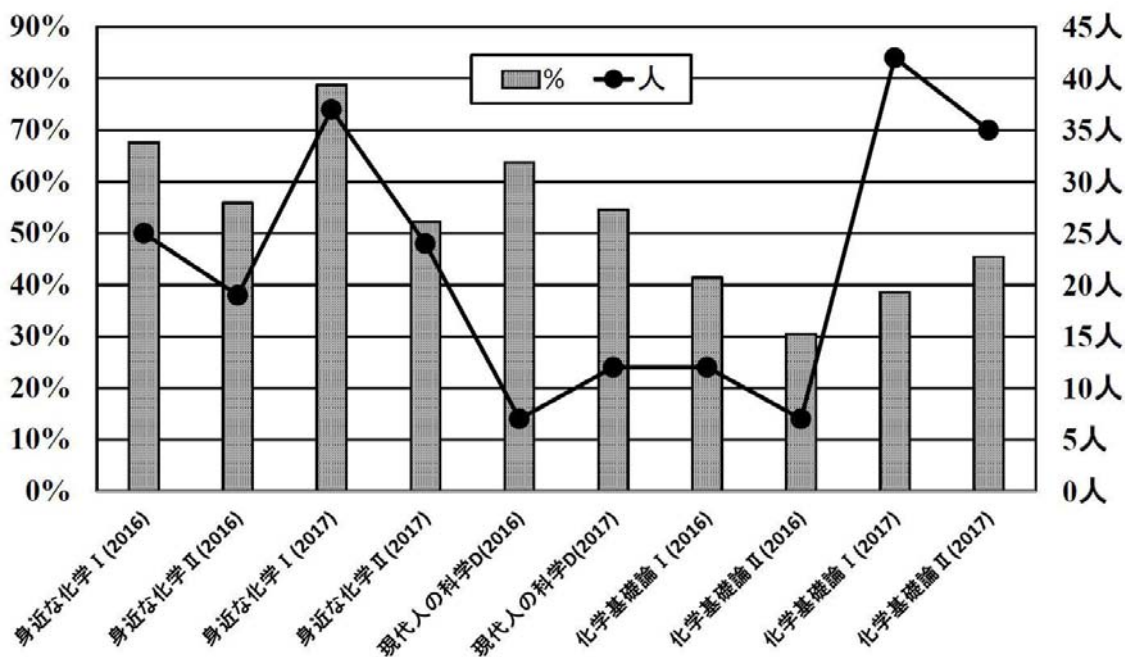


図2. この分野への興味、関心が高まった



## 5-2 総合評価

「授業に対する教員の意欲が感じられましたか。1つ選んでください。」という項目に対して、感じられた：5点、少し感じられた：4点、どちらとも言えない：3点、あまり感じられなかった：2点、感じられなかった：1点とし、平均をとった（表6）。

表6. 授業に対する教員の意欲が感じられましたか

講義名	平均点	講義名	平均点
身近な化学 I (2016)	4.92 (n = 37)	現代人の科学 D (2017)	4.55 (n = 22)
身近な化学 II (2016)	4.71 (n = 34)	化学基礎論 I (2016)	4.68 (n = 28)
身近な化学 I (2017)	4.93 (n = 45)	化学基礎論 II (2016)	4.87 (n = 23)
身近な化学 II (2017)	4.93 (n = 46)	化学基礎論 I (2017)	4.73 (n = 105)
現代人の科学 D (2016)	4.82 (n = 11)	化学基礎論 II (2017)	4.82 (n = 77)

それぞれの講義における「教員の意欲」に対する学生回答の割合を図3に示す。

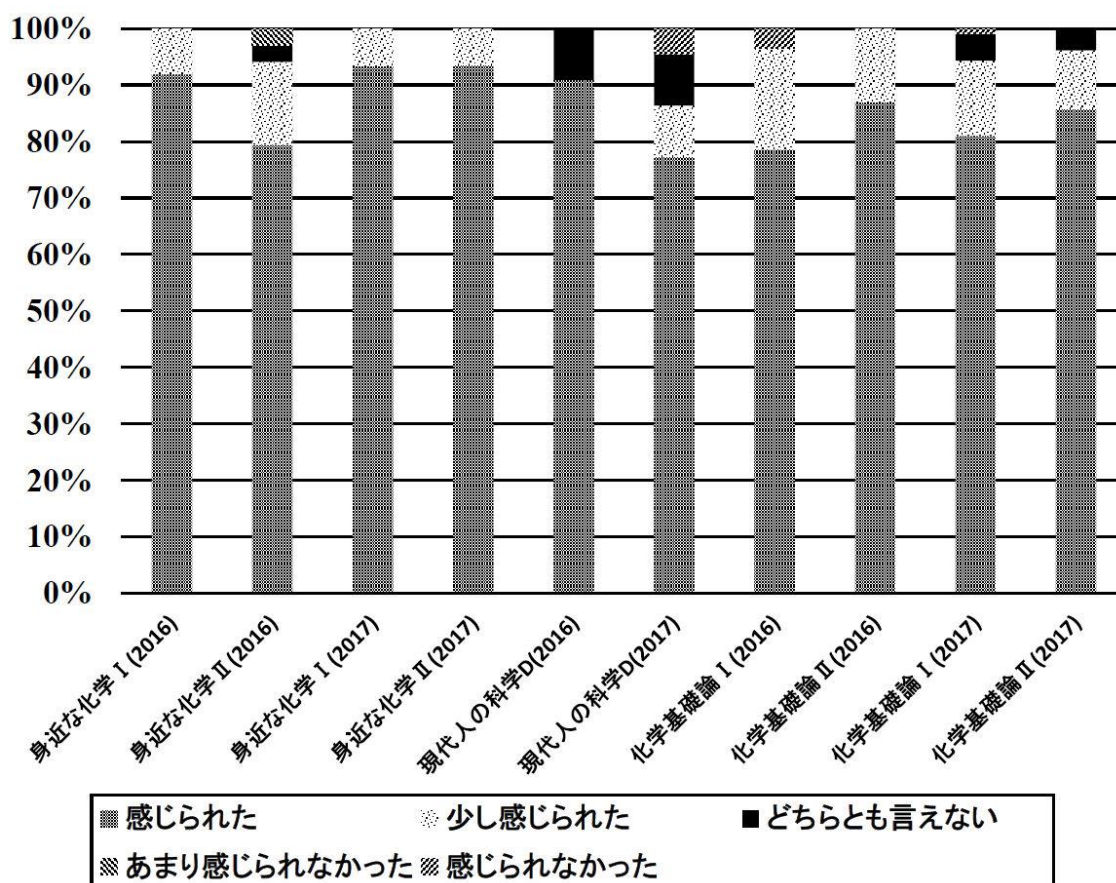


図3. 授業に対する教員の意欲が感じられましたか

「総合的に判断して、この授業に満足しましたか。1つ選んでください。」に対して、満足：5点、ほぼ満足：4点、普通：3点、やや不満：2点、不満：1点とし平均をとった（表7）。

表 7. 総合的に判断して、この授業に満足しましたか

講義名	平均点	講義名	平均点
身近な化学 I (2016)	4.59 (n = 37)	現代人の科学 D (2017)	4.36 (n = 22)
身近な化学 II (2016)	4.44 (n = 34)	化学基礎論 I (2016)	4.07 (n = 29)
身近な化学 I (2017)	4.80 (n = 46)	化学基礎論 II (2016)	4.39 (n = 23)
身近な化学 II (2017)	4.70 (n = 46)	化学基礎論 I (2017)	4.32 (n = 107)
現代人の科学 D (2016)	4.55 (n = 11)	化学基礎論 II (2017)	4.48 (n = 77)

それぞれの講義における「満足度」に対する学生回答の割合を図 4 に示す。

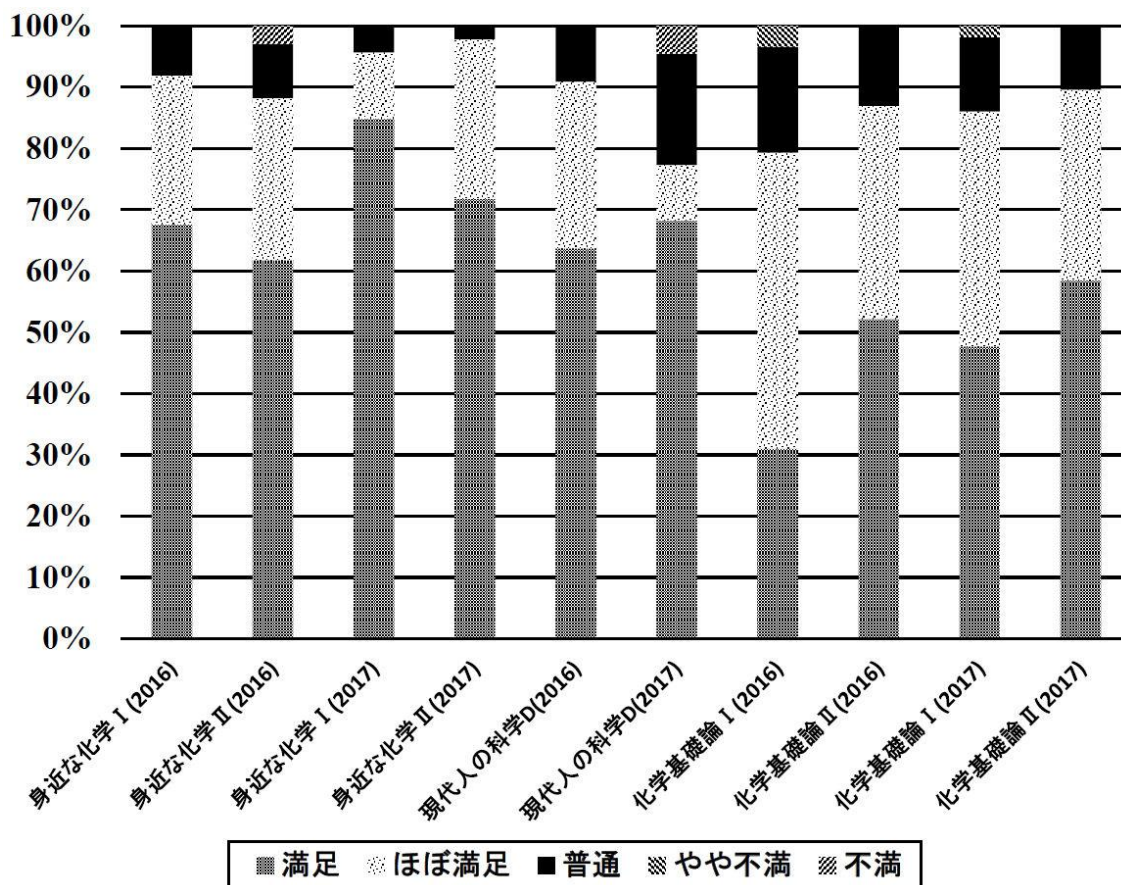


図 4. 総合的に判断して、この授業に満足しましたか

## 6. おわりに

### 6-1 結論と課題

普通教室で安全に実施できる理科実験教材を独自に整備した。筆者の担当した 10 の講義でこれらの教材を使用した結果、4-1~28 に示した学生の感想に見られるように、学生自身の五感で教材を体験でき、驚いた、初めて知った、楽しかった、理解できた、興味深かった、嬉しかったなど、学生の原体験不足を補うことができ、興味関心を引き出すことに成功した。実験に参加しない学生はおらず、学生の能動的な学習を誘導できた。

筆者は2016年度と2017年度に「身近な化学Ⅰ・Ⅱ」、「現代人の科学D」、「化学基礎論Ⅰ・Ⅱ」を担当したが、それ以前は担当していなかった。今回の理科実験教材は2016年度に整備し、それ以降、筆者が担当したすべての講義科目で使用したが、「理科実験教材を使用しなかった場合」のデータが存在せず、「理科実験教材」の使用の有無による教育効果の比較はできていない。

今回、理科実験教材を使用した10の講義科目の成績分布を表8に示す（100点満点、S: 90点以上、A: 80~89点、B: 70~79点、C: 60~69点、D: 59点以下）。

表8. 理科実験教材を使用した科目における成績（E評価（受講・受験せず）は除外した）

科目名	S	A	B	C	D	平均点
身近な化学Ⅰ(2016年)	4人	8人	17人	7人	1人	75.0
身近な化学Ⅱ(2016年)	9人	7人	12人	7人	2人	76.9
身近な化学Ⅰ(2017年)	17人	23人	8人	5人	1人	83.6
身近な化学Ⅱ(2017年)	17人	13人	13人	11人	0人	79.3
現代人の科学D(2016年)	4人	4人	2人	1人	0人	82.5
現代人の科学D(2017年)	9人	12人	6人	2人	1人	82.8
化学基礎論Ⅰ(2016年)	3人	7人	6人	10人	6人	69.0
化学基礎論Ⅱ(2016年)	4人	6人	10人	7人	0人	76.5
化学基礎論Ⅰ(2017年)	8人	22人	34人	36人	26人	67.8
化学基礎論Ⅱ(2017年)	16人	25人	25人	26人	18人	72.1

成績の平均点（表8）とアンケート「この分野への興味、関心が高まった」（図2）にはある程度の変動が見られた（図5）。理科実験教材によりこの分野への興味、関心が高まった学生の割合が高い場合、成績（平均点）も高く、理科実験教材による教育効果はあったものと考えている。

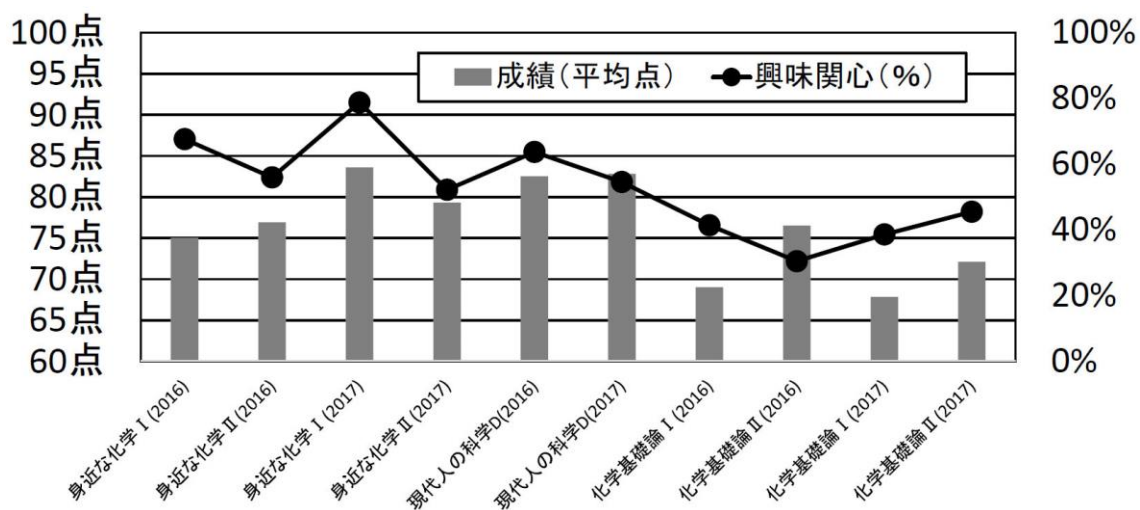


図5. 成績（平均点）とアンケート「この分野への興味、関心が高まった」の相関

アンケート「この分野への理解が深まった」と答えた学生の割合(図1)は、成績との相関は見られなかったが、どの科目でも60%~90%と高率だった。受講生の大部分が、講義中に実施した理科実験を通して、何らかの発見(初めて体験した、初めて知ったなど)を得て、「この分野への理解が深まった」のだと考えている。もし、実験を含めた講義内容が、すでに体験している、知っていることばかりであれば、成績は良いとしても、アンケートで「この分野への理解が深まった」とは答えないと思われるからである。

アンケート「授業に対する教員の意欲が感じられましたか」(表6、図3)は、「感じられた」と「少し感じられた」を合わせると、90%~100%と極めて高率だった。学生が能動的に授業に参加していない場合、この回答項目は「どちらとも言えない」、「あまり感じられなかった」、「感じられなかった」と回答するものと思われ、理科実験教材を取り入れた今回の授業は、学生から見て教員の熱心さが(押しつけではなく)好意的に受け入れられたものと考えている。

アンケート「総合的に判断して、この授業に満足しましたか」(表7、図4)は、「満足」と「ほぼ満足」を合わせると、概ね90%前後であり、極めて高率だった。特に、ほぼ毎回理科実験教材を豊富に取り入れ、2年目で教員(筆者)の実験実施に対する習熟度も向上した「身近な化学I(2017年)」および「身近な化学II(2017年)」では、身近な化学I:96%(n=46)、身近な化学II:98%(n=46)の学生が「満足」または「ほぼ満足」と答えており、受講生(アンケート回答者)のほぼ全員が総合的に授業に満足していた。

今回整備した理科教材を、学内のより多くの教員に活用して頂くことが今後の課題である。

## 6-2 学内貸し出し制度

<http://www.chem.ous.ac.jp/~gsakane/eduExp/> で教材リストを公開し、学内教員に貸し出す制度を運用している。実験一式は運搬用コンテナに収納してあり、容易に教室まで運搬できる。

謝辞 本研究は、平成28年度岡山理科大学教育改革推進事業によって行った。岡山理科大学に感謝する。

## 参考文献

- 1) マーチン トロウ著, 天野郁夫・喜多村和之訳: 高学歴社会の大学—エリートからマスへ—, 東京大学出版会(1976)
- 2) 初年次教育学会編: 初年次教育の現状と未来, 世界思想社(2013)
- 3) D. リースマン著, 喜多村和之・江原武一・福島咲江・塩崎千枝子・玉岡賀津雄訳: 高等教育論—学生消費者主義時代の大学—, 玉川大学出版部(1986)
- 4) 松下佳代: 学生消費者主義と大学授業研究: 学習活動の分析を通して, *京都大学高等教育研究*, **8**, pp 19-38(2002)
- 5) 片瀬一男: ユニバーサル化した大学における教員の苦悩—東北学院大学の教員意識調査から—, *東北学院大学教育研究所報告集*, **7**, pp 5-40(2007)
- 6) 小林辰至: 問題解決能力を育てる理科教育—原体験から仮説設定まで—, 梓出版社(2012)
- 7) 板倉聖宣: 科学の学び方・教え方, 太郎次郎社(1975)
- 8) 上田剛慈: 素粒子から銀河まで 10<sup>x</sup>の世界, 彩図社(2013)
- 9) 仮説実験授業研究会: 仮説実験授業研究(第三期)第2集, 仮説社(1990)
- 10) 板倉聖宣: 電磁波を見る, 仮説社(2006)
- 11) 板倉聖宣: 反磁性と常磁性の新実験, ナトゥラ・ジャパン(1983)
- 12) Simon Quellen Field: GONZO gizmos: projects & devices to channel your inner geek, Chicago Review Press(2002)
- 13) Nakao Tokita・Sumio Tokita・Teruo Nagano: A Three-Dimensional Representation of Born's Probability Densities of Hydrogen Atomic Orbitals in Glass Blocks, *J. Comput. Chem. Jpn.*, **5**(3), pp. 153-158(2006)