

上小教研理科分科会

# 原子論的自然観の確立

熱現象を気体分子の運動として理解する

2012年10月6日(土)

上田高校 渡辺規夫

[高校理科教育の実情と困難]

「グラフで見る世界 252」



『たのしい授業』2009年6月号(仮説社)板倉聖宣作成

「私の授業は6割以上の生徒に好かれている」と思っている教師は9%。  
この9%の教師に注目したい。

[全国高等学校理科教育研究大会より]

理科が好きだという生徒

小中学校では 5教科の中で1位

高校では30%台 5教科の中で5位

理科が大切だと思う生徒 5教科で5番目

大会の結論 「理科離れの流れは変わっていない。」

文部科学省 平成24年度全国学力・学習状況調査の結果より

- 平成24年4月17日実施（抽出調査（抽出率約30%））
- 小学校第6学年、中学校第3学年が対象
- 国語、算数・数学に加え、初めて理科を実施

	小学校			中学校		
	理科	国語	算数	理科	国語	算数
勉強が好き	<b>82%</b>	63%	65%	<b>62%</b>	58%	53%
勉強は大切	<b>86%</b>	93%	93%	<b>69%</b>	90%	82%
授業で学習したことは将来社会に出たときに役に立つ	<b>73%</b>	89%	90%	<b>53%</b>	83%	71%

- 理科の勉強が好きな小学生・中学生の割合は国語、算数・数学に比べて高いが、「理科の勉強は大切」「理科の授業で学習したことは将来社会に出たときに役に立つ」と回答した小学生・中学生の割合は国語、算数・数学に比べて低い。

[国際学力調査より]

日本の学力が低下していると報道されている。この報道は正しいだろうか  
たとえば「科学的リテラシー」が低いと言われているが、2003年 PISA<sup>\*1</sup> の  
国別得点で日本はどのあたりにいるのだろうか。

- 予想 ア、高いレベル  
      イ、真ん中へんのレベル  
      ウ、低いレベル

---

\*1 PISA 調査の概要（文部科学省のHPより）

PISA2003 生徒の学習到達度調査

実施主体 経済協力開発機構（OECD）（1960年設立の政府間機関、30カ国より構成）

参加国 41カ国/地域（OECD加盟30カ国、非加盟11カ国/地域）

調査実施時期 2003年7月（前回は2000年）

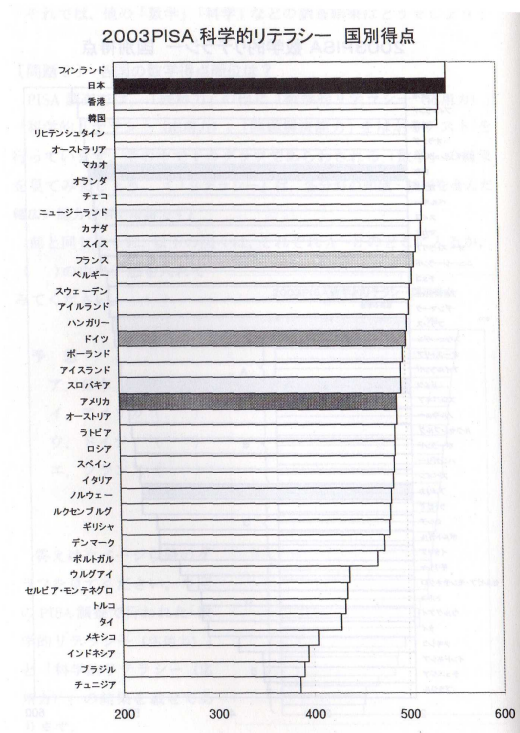
調査対象 高校1年生（約4,700人）

調査項目 読解力、数学的リテラシー、科学的リテラシー、  
問題解決能力（2003年調査から）

調査内容 知識や技能等を実生活の様々な場面で直面する課題にどの程度活用できる  
かを評価（記述式が中心）

## 結果

多くの人の予想に反して日本は大変高いレベルにある。アメリカ、ドイツ、フランスといった先進国はみな中ぐらのレベルである。



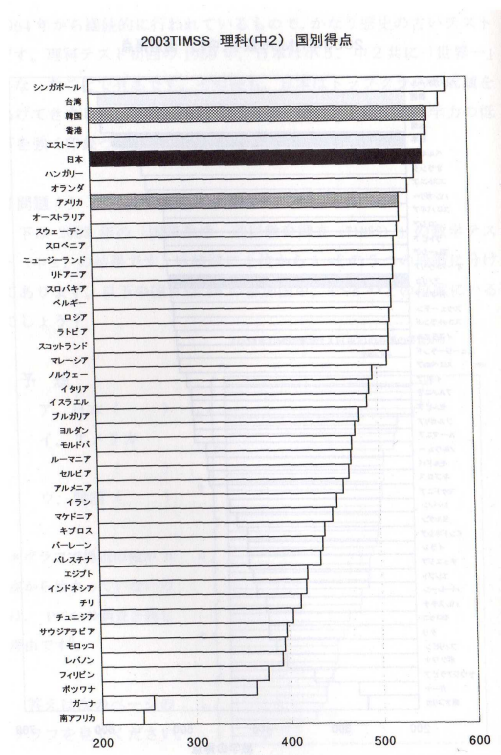
TMISS2003 の調査の調査で日本の中学 2 年生の学力はどのくらいの水準だっただろうか。

予想 ア、高いレベル

イ、真ん中へのレベル

ウ、低いレベル

TMSS2003 年<sup>\*2</sup> の調査で日本の中学 2 年生の学力はやはり、国際的に高い水準にある。



\*2 TIMSS 調査の概要 (文部科学省のHPより)

TIMSS2003 国際数学・理科教育動向調査

実施主体 国際教育到達度評価学会 (IEA)

(1960 年設立の国際学術研究団体、60 カ国/地域の教育研究機関より構成)

参加国 小学校 4 年生 : 25 カ国/地域

中学校 2 年生 : 46 カ国/地域

調査実施時期 2003 年 2 月 (前回は小学校 : 1995 年、中学校 : 1999 年)

調査対象 小学校 4 年生 (約 4,500 人)

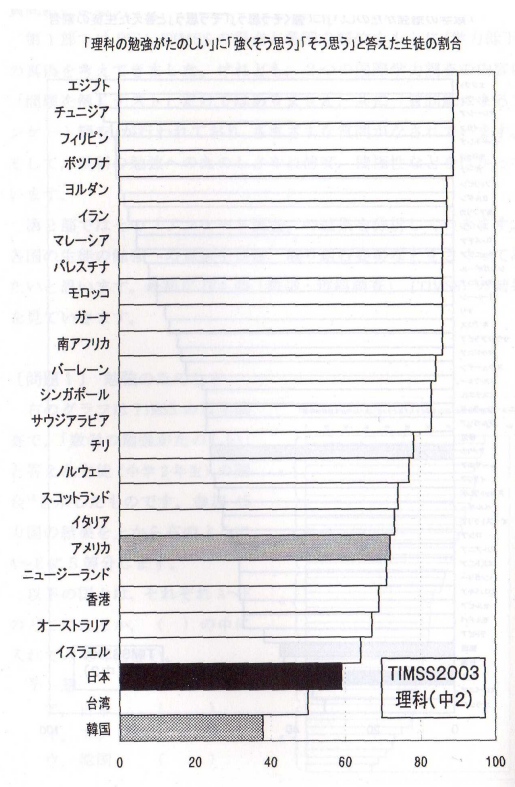
中学校 2 年生 (約 4,900 人)

調査項目 算数・数学、理科

調査内容 学校のカリキュラムで学んだ知識や技能等がどの程度習得されているかを評価 (選択肢が中心)

では、日本の生徒の学力には問題がないのだろうか。

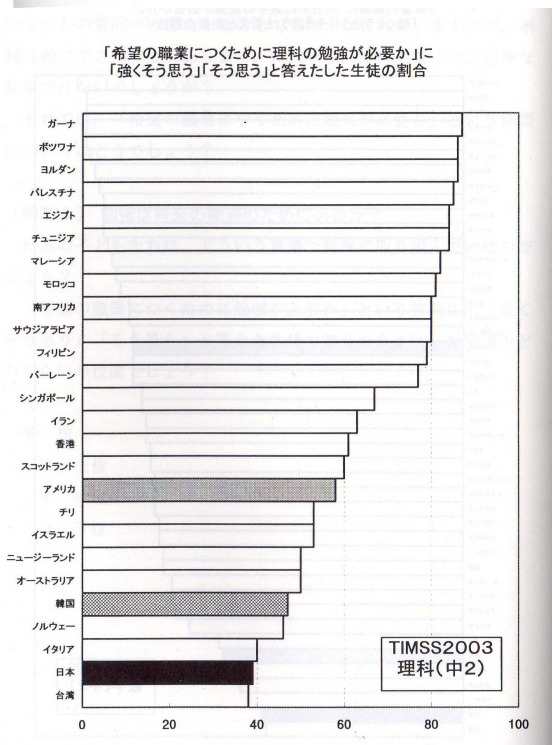
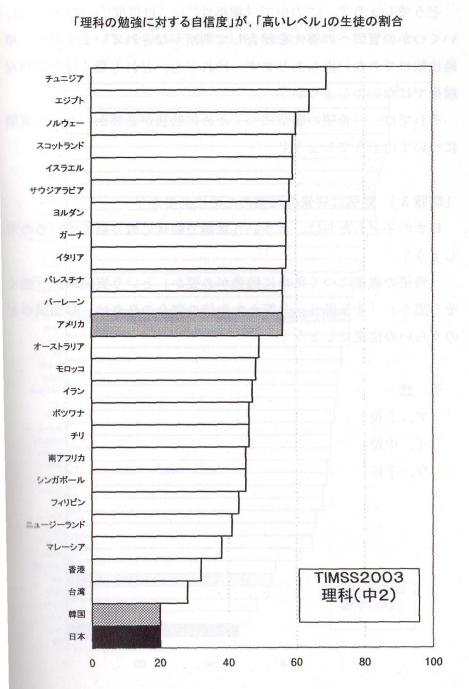
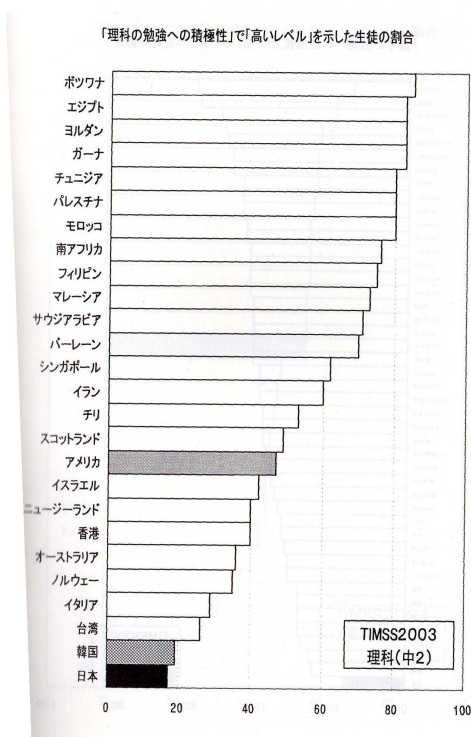
楽しさについてどうだろうか。



TMISS2003によると、日本の中学2年生が理科がたのしいと感じている生徒の割合が国際的に見てきわめて低い水準にある。このことは重要なことであるにも関わらず、ほとんど指摘されていないし、知られていない。

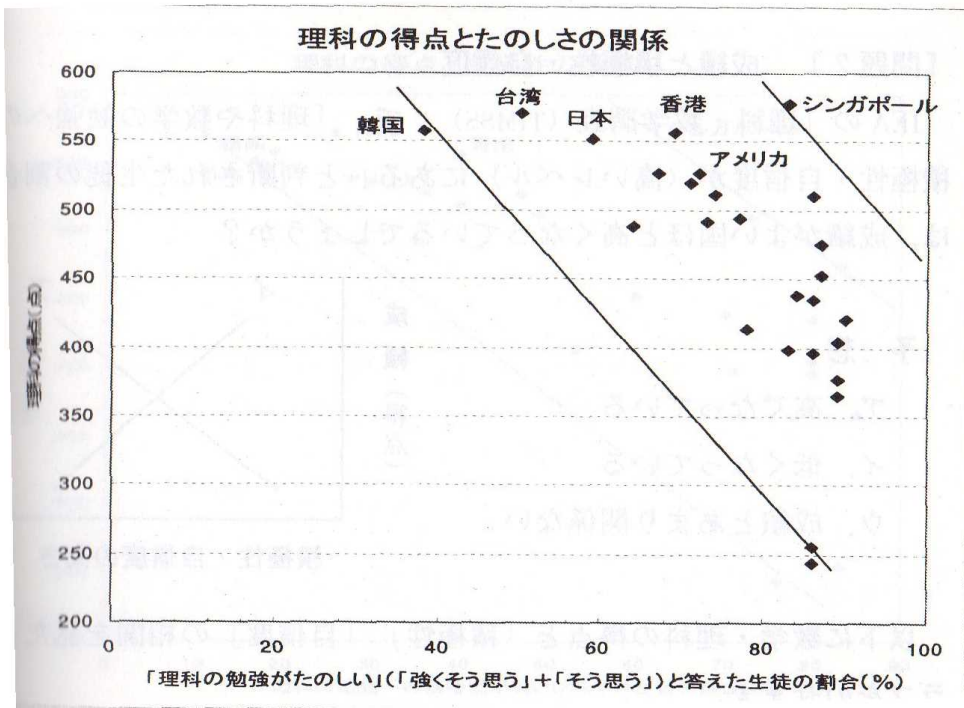
## 理科の勉強への積極性

## 理科の勉強に対する自信度



希望の職業につくために理科の勉強が必要と思っているか。





理科の勉強がたのしいと思う生徒の割合は、学力と逆相関がある。すなわち、理科の学力が高い国ほど、理科の勉強がたのしくないのである。

たのしくない勉強をしているということほど、非人間的な状況はないのではないだろうか。たのしくなく身につけた学力は、社会の中で、また人生において生かすことはできないのではないだろうか。

**[結論]**

日本の理科教育の主要課題は、学力向上ではなく、たのしさの復権である。

**たのしさ復権の方策——原子論的自然観の教育**

科学史研究は近代科学が原子論的自然観の基礎の上に築かれたことを明らかにしてきた。近代力学、近代科学は原子論的自然観（というより、「原子論的先入観」）を持っている者にとってはきわめて理解しやすいものであるが、原子論的自然観を持たない者にとってはきわめて難解……というより、



理解不可能である。実際これまでの理科教育では、原子論的自然観を教えることなく近代力学、近代科学を教えようとしてきたため、ほとんど成果をあげなかった。

原子論的自然観を先に教えてしまったらどうだろう。生徒にとってはその基礎の上に成立している近代力学、近代科学を学ぶのが大変易しくなってしまうはずである。

## 原子論的自然観の教育の早期導入の意義

「原子・分子論的な判断の基準は「なんでも一般化しろ」とか、「なんでも一般化してはいけない」などという判断の基準よりずっと有効なものであるということは注意すべきことです。こういう生産的な発想は早くから導入した方がいいことはもちろんです。」(『未来の科学教育』板倉聖宣著 仮説社 初版 1966 年)

「こういう生産的な発想」とは原子論的自然観のことを指している。板倉さんは原子論的な自然観を早期に導入すべきだと主張していたのである。

「しかし、実際には、ガリレイの力学の出発点は、アルキメデスの原理であり、アリストテレス的自然観に対立する原子論的な考え方であった。そういう科学史研究からはおのずと異なった科学観——理科教育観がもたらされるはずである。」(「理科教育におけるアリストテレス・スコラの力学観と原詩論的・ガリレイ的力学観」岩城正夫・上川友好・板倉聖宣共著『科学史研究』52号 板倉聖宣著『科学と方法』季節社に所収)

「科学史研究からは異なった理科教育観がもたらされる」というのは、この場合、早期から原子論的自然観を導入した理科教育のことを指している。

近代力学・近代科学は原子論的自然観をもとにして築かれたきた。この原子論的自然観はアリストテレス・スコラ哲学的自然観と鋭く対立してきた。近代科学はアリストテレス・スコラ哲学的自然観を克服することを通じて成立したのである。

生徒たちは、授業で学ぶ前に、自然についてアリストテレス・スコラ哲学的自然観を持っている。生徒が近代力学・近代科学を身につけるためには、すでに持っているアリストテレス・スコラ哲学的自然観を克服して、原子論的自然観を身につけることが不可欠である。原子論的自然観は生徒の中で自然発生することはない。教えない限り原子論的自然観を身につけることは不可能である。にもかかわらず、これまで原子論的自然観の教育の重要性に注目する人は少なかった。

生徒は自ら持つアリストテレス・スコラ哲学的自然観をそのままに、それと対立する近代力学・近代科学を理解しようとする努力をしてきたのである。生徒が近代力学、近代科学の学習に困難を感じ、その結果として理科嫌いになったのは当然のことだったのである。

原子論的自然観の教育を早期に導入することによって近代力学・近代科学を学ぶことはたのしくてよくわかるものになると考える。

## 理科教育史における原子論的自然観の扱い

しかし、これまでの理科教育においては原子論的自然観は扱われてこなかった。それどころか、「目に見えないものについて論ずるのは非科学的だ」として反対する意見があった。また、「原子論などという難しいことを生徒が理解できるはずがない」という反対意見もあったのである。

20世紀初頭の物理学の革命によって、原子論が決定的に勝利し、反原子論の主張が誤りであることが証明された。しかし、その成果が理科教科書にはっきり取り入れられるようになったのは1960年代のPSSC（アメリ

力) や1963年に成立した仮説実験授業(日本)においてであった。<sup>\*3</sup>

文部科学省の新学習指導要領(高校では平成25年度より実施、理科については平成24年度より先行実施)においてはじめて「粒子概念の重視」がうたわれた。大いに歓迎したい。

## 原子論的自然観の教育は何をもたらすか

### ——自ら考えることができる生徒の育成

ボイル・シャルルの法則の授業を例として考えてみよう。これまでの理科教育では、実験的にボイル・シャルルの法則が成り立つことを示し、その法則を用いて問題をどう解くかを教えるものだった。生徒は自分の頭を使って考える場面がない。

原子論的自然観を教える教育では、まず、原子・分子の存在を教え、分子運動のイメージが形成できるように授業を組み立てる。温度は分子運動の激しさの程度であり、気体の圧力は分子が容器の壁に衝突したとき与える力積(衝撃力)の総和である。分子運動をこのようにイメージすることができるようになれば、気体の入っている容器の体積を小さくすれば、分子の衝突回数が増えるから気体の圧力が増えることは直観的に明らかに思われるようになる。これはボイルの法則そのものである。また、温度が高くなれば、分子運動が激しくなるので、容器の壁に衝突する勢いは大きくなり、容器の体積が変化できるのであれば膨張するだろうことは当然のこととして理解できる。これはシャルルの法則そのものである。このように根本の分子運動につ

---

\*3 粒子概念についての先行研究

「小学校における粒概念の導入」黒田弘行『理科教室』1963年1月号 粒概念にもとづく溶解の授業

「熱の学習」久保田芳夫・黒田弘行『理科教室』1962年2月号  
原子論を学習するための基礎としての熱の学習

いて理解すれば、ボイル・シャルルの法則は自明のこととして理解できるようになるのである。<sup>\*4</sup>

これまでの理科教育ではボイル・シャルルの法則を現象論的に教え、それが成り立つ根拠を最後に付け足しのように教えてきた。この教え方はきわめて不適切である。分子運動を最初に教え、そこから生徒が自分の頭で考えてボイル・シャルルの法則を導くことができるようにする方がはるかにわかりやすく、また楽しく学ぶことができる。

原子論的自然観の教育のもたらすものをまとめると以下のようなになる。

- ・近代力学、近代科学を当たり前のこととして理解できるようになる。
- ・概念・法則の根本的理解
- ・苦しい勉強から脱却して楽しく学ぶことができるようになる。
- ・自分の頭で考えることが身につく。

## 授業のねらい

原子論的自然観を身につけさせる授業を通じて、生徒が理科が好きになり理科の学習に熱意を持つようにする授業を目指した。

[授業のテーマ]

熱現象を分子運動から理解する。

[授業の目標]

授業の前に目標を設定した。目標は達成できたかどうかをはっきり判定できる形で設定した。達成できたかどうかをどう判定するかをあらかじめ決めておこうというのである。

[目標 1]

半数以上の生徒が授業を「5大変楽しかった」または「4楽しかった」

---

<sup>\*4</sup> 実は、ボイルもシャルルも実験データの分析から法則を導いたのではなく、分子運動のイメージをもとに法則が成立することを予想し、実験的に証明したのである。

と回答する。

[目標 2]

半数以上の生徒が授業を「5 大変よくわかった」または「4 わかった」と回答する。

[目標 3]

半数以上の生徒が授業を「5 大変ためになった」または、「4 ためになった」と回答する。

[目標 4]

授業後生徒が分子運動の概念を使いこなせるようになる。

[目標 5]

教師自身がこの授業を楽しいと感じる。

## 授業の概要

### 仮説実験授業授業書《温度と分子運動》第 1 部にもとづく授業

生徒 上田高校 2011 年度 2 年生 物理 I 選択生徒 156 名

授業者 渡辺規夫

実施時期 2011 年 12 月 6 日 (火) ~ 12 月 9 日 (金)

授業時数 (65 分授業 3 コマ)

授業の最初に「熱は分子運動であり、温度が高いほど、分子運動が激しい」ということを説明する。

熱の正体  
ものをたたいたりすると熱くなることを示す実験

熱の正体は分子運動  
火打ち石

問題1	問題の概要	選択肢		A	B	C	D
	ある温度の物質の原子分子の速度はみな同じか	ア	みな同じ速さ	0	3	1	1
イ		数倍も違う	18	23	10	18	
ウ		違うが数倍も違うことはない	14	4	16	12	

正解はイ、数倍も違う。

問題2	問題の概要	選択肢		A	B	C	D
		0℃の水分子と 100℃の水分子の 速度分布	ア	速度は大きく違う	0	2	7
イ	同じ速度の分子が少しはある。		14	12	16	23	
ウ	分子の速度はあまり変わらない		7	10	1	1	

正解は ウ 0℃の水分子も100℃の水分子も分子の速度分布はほとんど変わらず、100℃の方がほんの少し分子運動の激しい方にずれているだけであるということを知って、生徒は大変驚く。

ここで、「動く！空気分子シミュレーション2007」（制作 宍戸哲広・小林眞理子氏）を用いて、分子運動のイメージが持てるようにした。このソフトにより、同じ温度でも速い分子もあれば遅い分子もあることが自然にイメージできるようになった。温度というのは平均の分子運動の激しさであることを強調した。

問題3	問題の概要	選択肢		A	B	C	D
		部屋の壁の温度と 気温は同じか違う か。	ア	同じ	1	3	2
イ	壁の温度の方が高い		0	0	22	0	
ウ	壁の温度の方が低い		31	23	1	23	
エ	何とも言えない		5	1	2	0	

実験は非接触温度計を用いる。結果は ア 生徒は大変驚く。

熱力学第0法則 十分長い時間接触していると同じ温度になる。

問題4	問題の概要	選択肢		A	B	C	D
		汲み置いた水の温 度は気温と同じか、 違うか	ア	部屋の気温と同じ	12	8	9
イ	部屋の気温より低い		14	7	17	8	
ウ	部屋の気温より高い		0	1	0	0	
エ	その他の予想		0	0	0	0	

結果は イ 2℃くらい低い。水の表面から絶えず水蒸気が蒸発している。その際、熱を奪っている。湖は十分長い時間空気と接触しているので熱力学

第0法則で考えると湖の水温と気温は同じになると思えるところだが、湖の表面から絶えず水蒸気が蒸発している。これは水分子のうちの分子運動が激しい（＝温度の高い）分子が飛び出すので、残った液体の水は運動の激しくない（＝温度の低い）分子が残るので、湖の水温の方が低くなっている。汲みおいた水の容器にふたをして蒸発できないようにしておくと、気温と水温はぴったり同じになる。この実験は重要であるにもかかわらず、これまであまり注目されてこなかった。

問題5	問題の概要	選択肢		A	B	C	D
	水の水面近くの水蒸気を風で吹き飛ばしたら水温は下がるか	ア	水温はさらに下がる	15	20	18	28
イ		水温は変わらない	14	14	15	7	

実験はドライヤーを用いた。正解は ア さらに下がった。

問題6	問題の概要	選択肢		A	B	C	D
	アルコールも蒸発によって温度が下がるか	ア	気温より低くなる	21	16	21	31
		イ	気温と同じ	0	6	4	2
ウ		気温より高くなる	0	0	0	0	

正解はア 水の場合の応用問題であり、注射のときの消毒で冷たい感じがすることで全員正解すると予想していたが、水の場合とは違うと考える生徒が少なからずいることに驚いた。

問題7	問題の概要	選択肢		A	B	C	D
	真空ポンプで水を蒸発させたら、凍らせることができるか	ア	できる				
イ		できない					

水の分子の運動を見る実験で代用 （後述）

問題8	問題の概要	選択肢		A	B	C	D
	水蒸気が液体の水になるとき気温が上がるか	ア	気温が上がる	23	6	18	25
		イ	気温が下がる	5	5	12	5
ウ		どちらとも言えない	0	11	0	0	

正解はア 今村理則氏の霧が発生するときの気温が上がることを示す観測データを使用



問題9	問題の概要	選択肢		A	B	C	D
	100℃の水蒸気は危険か	ア	大やけどする危険がある	31	25	25	21
	イ	大やけどする危険はない	0	0	3	8	

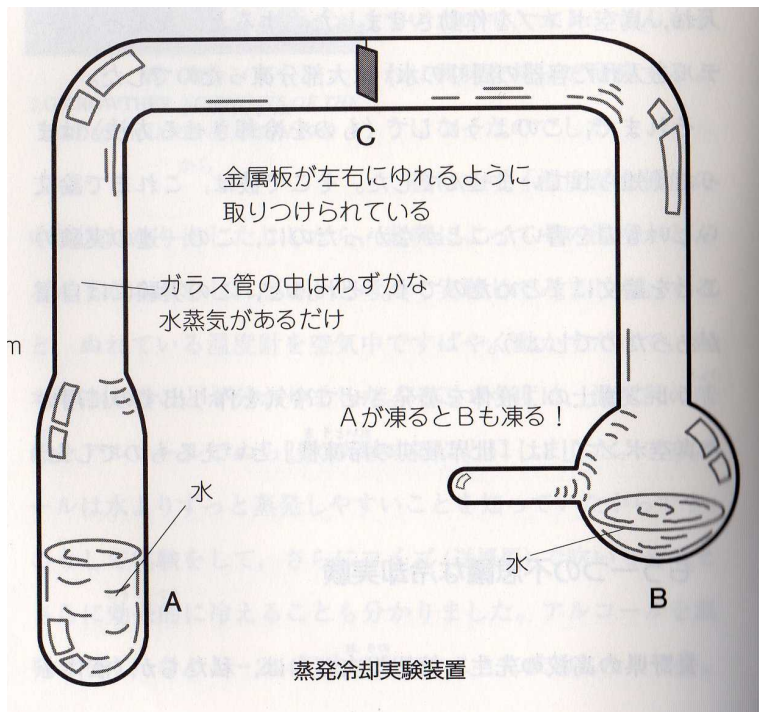
正解は ア 100℃の空気は（サウナでもわかるとおり）危険はないが、100℃の水蒸気（あるいは過熱水蒸気）は液体の水になるとき多量の熱を放出するので大変危険である。

生徒は自分の頭で考えて予想を立てていた。

なお、生徒全員が手を上げていない場合がある。それについて生徒に理由を聞いたところ、予想が決まらないうちに聞かれるからとのことであった。授業運営法に改善の余地があることがわかった。

問題7では次のような実験をした。

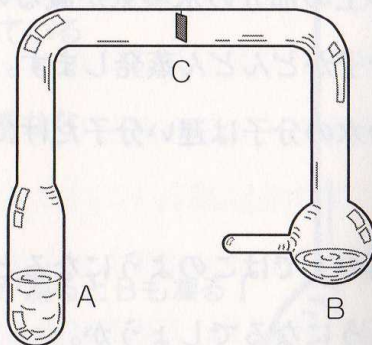
分子運動を目で見る実験



Aを液体窒素（沸点  $-196^{\circ}\text{C}$ ）に浸けて冷やすと、まずAの水が氷になり、2秒ほどしてBの水が凍る。Aを冷やすことで、Aから飛び出す水分子の数が減り、Bから元気のいい（運動エネルギーの大きい）水分子が飛び出してAに飛び込むため、Bにはおとなしい（運動エネルギーの小さい）水分子が残り、（温度とは分子の運動の激しさの程度だから）Bの温度が下がり凍ってしまう。

### 【問題2】

この実験のとき、Aの中の水が凍って、そのあとすぐにBの中の水が凍りはじめるとき、Cの部分にある金属板は、どのように動くと思いますか。



#### 予想

- ア. 金属板は、Aの側にかたむく。
- イ. 金属板は、Bの側にかたむく。
- ウ. 金属板は、AとBの両側にゆれ動く。
- エ. 金属板は、動かない。

実験してみると ア 金属板はAの側にかたむく が正しいことがわかる。Bから飛び出した水分子が金属板に衝突して金属板をかたむけるのである。これは、水分子の運動を具体的に目に見えるようにする実験である。

## 生徒による授業評価

たのしかったですか。

	A	B	C	D	合計	百分率
5 大変たのしかった	20	24	15	13	72	48.6
4 たのしかった	15	14	12	21	62	41.9
3 どちらとも言えない	1	1	8	3	13	8.8
2 つまらなかった	0	0	0	0	0	0.0
1 大変つまらなかった	0	0	0	1	1	0.7
合計					148	100.0

5 大変たのしかった	4 たのしかった	3どちらとも言えない
← 90.5% →		

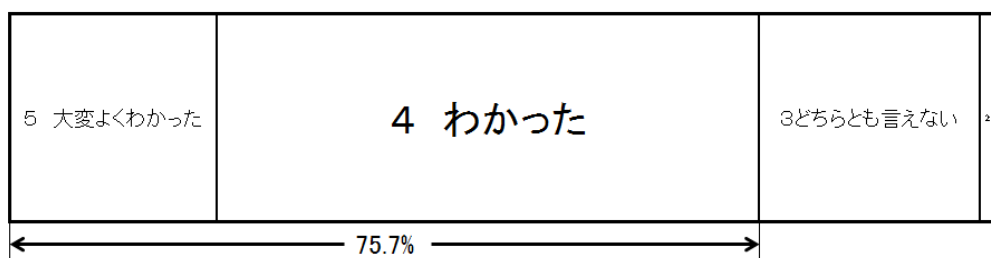
[目標 1]

半数以上の生徒が授業を「5 大変楽しかった」または「4 楽しかった」と回答する。

は、達成された。

わかりましたか

	A	B	C	D	合計	百分率
5 大変よくわかった	10	14	3	4	31	20.9
4 わかった	17	16	20	28	81	54.7
3 どちらとも言えない	9	8	12	4	33	22.3
2 わからなかった	0	1	0	1	2	1.4
1 全然わからなかった	0	0	0	1	1	0.7
合計					148	100.0



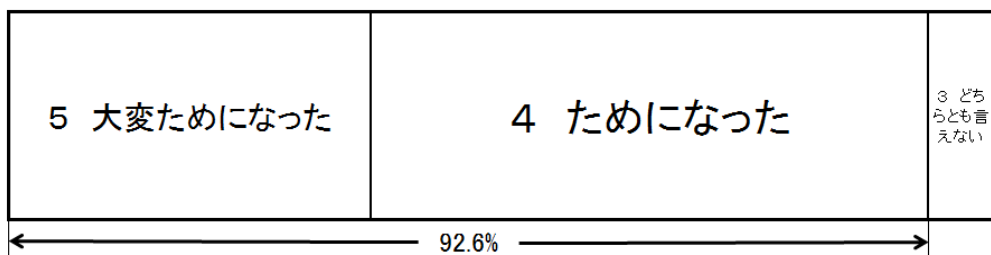
[目標 2]

半数以上の生徒が授業を「5 大変よくわかった」または「4 わかった」と回答する。

は達成された。

ためになりましたか

	A	B	C	D	合計	百分率
5 大変ためになった	18	15	9	12	54	36.5
4 ためになった	16	19	23	25	83	56.1
3 どちらとも言えない	2	5	3	0	10	6.8
2 ためにならなかった	0	0	0	0	0	0.0
1 全然ためにならなかった	0	0	0	1	1	0.7
合計					148	100.0



[目標 3]

半数以上の生徒が授業を「5 大変ためになった」または、「4 ためになった」と回答する。

は、達成された。

[目標 4]

授業後生徒が分子運動の概念を使いこなせるようになる。

今後の推移を見守りたい。具体的には、物理Ⅱの分子運動の範囲の学習の際、分子運動のイメージが有効に作用することを期待している。

[目標 5] 教師自身がこの授業を楽しいと感じる。

は、達成された。

## 感想文による授業評価

以下は授業通信に載せた生徒の感想文等の転載である。

### この授業で理解したこと

- ◆温度は、分子運動の激しさの程度を表すもので、激しいほど温度は高く、おとなし いほど温度は低い。
- ◆熱とは分子の乱雑な運動の激しさである。
- ◆水が蒸発するときには温度が下がり、液体になるときは温度が上がる。
- ◆熱は「熱」という物質があるのではなく、分子運動である。

### 授業の感想

#### ◆どんなものでも分子・原子からできている

すべての物体が分子・原子からできているということが今までは信じられなかったけど、針金の実験などから、どんなものでも分子・原子からできていることが本当だとわかったし、温度と分子運動の関係もイメージできた。

(A講座女子)

#### ◆文章ではわからないところまで

実験をやって、文章ではわからないところまで理解できた。(A講座女子)

#### ◆物体にも温度があるんだ

意外なことが多い授業だなあと思いました!! まず、体温とか気温とかが身近なことしかあまり知らなかったけど、物体にも温度があるんだなあと思いました。(←当たり前だけど)(A講座女子)

#### ◆分子は見えないけど、感じる事が出来た

分子から出来ていると言われてもあまりよくわからないけど、実験して体積の変化や温度の変化を見て、分子は見えないけど、感じる事が出来た。

(A講座女子)

#### ◆熱を放出したんだ

1℃の違いは、体感ではけっこう違うように感じるけど、分子の速さを見るとほとんど変わっていないことに驚きました。今朝、雪が降っていて、暖かく感じたので、固体になるとき熱を放出したんだと思いました。(A講座

男子)

◆衝撃的だった

温度がなぜ高くなるのかを初めて知って少し衝撃的だった。(A講座女子)

◆妹に話した

授業中の実験で、今まで習った事を元にして予想を立てるのが楽しかったです。また、その予想が当たったときは嬉しかったです。日常生活で「何だろう？」って思っていた事とかが知れて、物理の授業が楽しかったと思えました。理解した事が楽しくて妹に話したりしました。(B講座女子)

◆真実みたいなものがわかった

アルコールの温度の下がる速さが速くて驚きました。身のまわりの現象の真実みたいなものがわかりました。(B講座女子)

◆蒸発を防ぐ油

水の上によく、蒸発を防ぐために油をたらしたりとかするけど、油の分子はみな元気がないのですか？不揮発性の液とか……。人の体温とかは何の分子の働きですか。(C講座女子)

ひとつのことを習うとすぐそれをいろいろな場合に当てはめてみるという習慣(くせ)がつくと、いろいろなことを疑問に思うようになります。大変よいことです。

水の分子と油の分子の質量を比べると油の分子の方がずっと大きい(重い)のです。

(分子量がはるかに大きいので)

絶対温度Tと分子の平均の運動エネルギーの間には

$$\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT \quad k \text{ はボルツマン定数 (3年でやります)}$$

という関係があるので、同じ温度(Tが同じ)の水と油は  $\frac{1}{2}m\overline{v^2}$  の値が等しいことになります。

mは分子1個の質量ですから、水の分子より油の分子の方がmの値が大きく、その結果vの値が小さい。すなわち重い油の分子の運動はゆっくりということになります。そこで同じ温度で水は蒸発し、油は蒸発しないということになるのです。

人の体温は人の体を作っているタンパク質や脂肪などの分子の平均の運動エネルギー



に比例します。これらの分子は高分子なので質量  $m$  が大きくその結果分子運動の速さは小さいということになります。体温  $36.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  で汗（水）は蒸発するけれどもタンパク質や脂肪は蒸発しないのです。

#### ◆二酸化炭素の液化

二酸化炭素を圧縮して液体にしてほしかった。（C講座男子）

#### ◆分子運動からみた摩擦熱

摩擦熱が発生するのは物体どうしがこすれ合っただけで分子が振動するからなら、なめらかな面どうしでは熱は発生しないのですか。（C講座女子）

そのとおりです。機械の軸と軸受けの間の摩擦で熱が発生するのを、潤滑油をさして摩擦力を小さくして熱の発生を小さくしています。もし完全に摩擦力0であれば、熱は発生しません。摩擦力が0の場合、摩擦力に逆らってする仕事は0になるので熱は発生しないのです。

#### ◆分子運動が見えた

液体窒素の実験がすごくおもしろかった。片方が凍るともう一方も凍る…不思議、ふしぎ…。分子が飛んでいるのが金属板が動くことで見えたのがすごかった。（D講座女子）

#### ◆理由がわかった

日常起きている現象の理由がわかった。（D講座男子）

### 授業の成果

- ・原子論的自然観を教える授業は可能で、有意義である。
- ・生徒は分子運動を理解し、イメージを持って熱現象について考察することができるようになった。
- ・分子運動のイメージを持って熱現象を考察することを通じて、原子論的自然観が生徒の中に定着した。
- ・生徒に支持される授業は、レベルを上げることにより、たのしくわかりやすくすることによって実現する。（レベルを下げてたのしくならないし、わかりやすくない。生徒に支持されない。）

## 後書

高校卒業までにすべての生徒に身につけさせたい自然観を列挙すると、

原子論的自然観

エネルギー的自然観

進化論的自然観

自然の階層性

の4つになると思う。今回の授業では原子論的自然観と、自然の階層性を扱った。分子1個1個についての法則性（ミクロの世界を支配している法則）と、分子の集団の法則性（分子の集合体であるマクロな世界の法則）がつながっているが異なっていることを知ることは、社会の法則性を理解する上でも重要なことであると思う。

生徒の授業アンケートの結果から、この授業を通じて楽しさの復権がなされたと言えると思う。学力の伸びについては今後に期待したい。

授業を受けてくれた生徒諸君、このレポート執筆の途中でさまざまな助言をしてくれた、上田仮説サークルの研究仲間の先生方に感謝したい。

## 参考文献

『たのしい授業』2005年10月号（仮説社）

板倉聖宣 授業書《蒸発と分子運動》

犬塚清和改訂 ルネッサンス高校版 授業書《温度と分子運動》

サイエンスシアターシリーズ熱をさぐる（温度と原子分子）編3『ものを冷やす』  
（仮説社）

『原子論の歴史』上・下 板倉聖宣著 （仮説社）

『学力低下の真相』中一夫著 板倉研究室刊

『〈学力低下〉なんかこわくない』中一夫著 ほのぼの出版

『理科教室』（科学教育研究協議会編 日本標準刊）2012年9月号所収

板倉聖宣論文「〈実体積原子模型〉を使えば、子どもは大歓迎

——「原子・分子」を小学校低学年から教える意義と方法——」