

探究の過程を実現する物理基礎授業の試行

一次期学習指導要領を実現する授業実施のために

特別研究員

川角博

平成 34 年(2022 年) 4 月 1 日より施行される高等学校学習指導要領理科に示される探究の過程を意識した物理基礎の授業を試行した。実際の高校生に授業を行い、多数(見学者 40 名超)の教育関係者による授業評価、生徒自身による自己評価などを得た。一般市民に必要な探究の過程のトレーニングとしての物理基礎授業の在り方、探究過程の授業の作り方、授業時数を提言する。

〈キーワード〉 学習指導要領、探究の過程、授業、物理基礎、物理、公開授業

I 試行授業公開の背景

1 次期学習指導要領物理基礎・物理の特徴と物理教育の実態

昭和 22 年度に示された学習指導要領試案には、目標として「物理現象に関する研究の方法や知識体系を確実に学び取らせ・・・」、「なるべく観察・実験を中心として自発的に学習を進め、かつ、簡単な実験の技術を身につけさせる」とある。その後、昭和 31 年度改訂版では、「現象を的確に把握することは、物理の学習に第一に必要なことから、選んだ事物・現象は、実物や実験によって体験させなければならない」とされている。改訂版では、観察・実験をさらに重視したと言える。次期学習指導要領では、「自然の事物・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す」とある。つまり、目標は首尾一貫して、学習対象である自然界の探究の過程を通して知識と技能を獲得しながら、科学の方法を学ぶことを目指している。次期学習指導要領ではさらに踏み込んで、「内容」に「観察・実験から・・・見出して、理解する・・・」と、物理の授業方法までも規定している。このように、具体的な観察・実験を高校の学習指導要領で指定したのは初めてである。この背景には、学習指導要領がその目標として「観察・実験から学ばせる」ことを示してきたにもかかわらず、現実の高校物理教育現場で「観察・実験を通して、科学的に探究する力」を育てることができていなかったことを示唆している。

このことは、報告「理科ワーキンググループにおける審議の取りまとめ」にある次の記述からもうかがえる。小学校、中学校ともに、「観察・実験の結果などを整理・分析した上で、解釈・考察し、説明すること」などの資質・能力に課題がみられることが明らかになっている。高等学校については、観察・実験や探究的な活動が十分に取り入れられておらず、知識・理解を偏重した指導となっているなどの指摘がある。1)

平成 20 年度高等学校理科教員実態調査に、この裏付けの一つとなる次のような結果が示されている。なお、この調査時点での物理の科目は、物理Ⅰ、物理Ⅱの二科目で、ともに 3 単位、年間 105 時間の授業である。物理Ⅱの授業で、生徒による観察や実験が行われる回数を数か月に 1~2 回程度以下とする教員は、普通科で 80%強、理数科や SSH でも 80%弱である。また、実験を行うにあたって障害となっていることとして最も回答が多いのは、普通科、理数科、SSH ともに、授業時間の不足が 80%程度となっている。2)

2 解決すべきこと

なぜ学習指導要領物理のねらいにそった授業がされてこなかったのか。この原因が明らかにされなければ、次期学習指導要領での物理の授業も改善されない。目標を認識していないとも考えられるが、そうでもない。私が行った現職教員研修での複数回の調査では、いずれの場合でも、次のような傾向がみられる。

授業で最も伝えたいことは、「科学的なものの見方考え方」「問題解決能力」とする教員が70%程度、その一方でその授業が実現できているとする教員は40%程度に過ぎない。3)

学習指導要領の目標を理解しているかどうかは別としても、ほぼそれと同じ授業目標を先生方は持っているが、その実現ができていないのだ。教員が目指す授業(それは学習指導要領が目指す授業とほぼ一致する)ができないのは、「時間不足」だという。2) この「時間不足」の背景には、教員の多忙もあるのだろう。「観察・実験を通して探究的に自然界について学ぶ授業」をどのようにしたら実現できるのかが分からない、これを解決するための研究や研修に当てる時間がないのだ。平成20年度高等学校理科教員実態調査に、以下の結果がある。

教材研究の時間確保に対して「非常に必要、必要」とする教員は普通科、理数科、SSHで95%ほど、研修の機会の確保についても「非常に必要、必要」とする教員はSSH、普通科、理数科で80%~90%に達している。2) 自然界を理解し、科学の方法を学ぶには、自然界を探究する学習は必須である。報告「理科ワーキンググループにおける審議の取りまとめ」では、以下のようにまとめている。

「観察・実験」や「探究活動」を充実させることにより、科学的な探究の過程を通じて、中学校で身に付けた資質・能力を更に高める、観察・実験が扱えない場合も、論理的に検討を行うなど探究の過程を経ることが重要である。1)

次期学習指導要領物理基礎・物理の目標を実現する授業が実施されるためには、科学的な探究の過程を経る具体的で実現可能な授業の姿を示す必要がある。このために、これを目指す授業を試行・提案し、分析・評価しながら授業改善をしておかなければならない。

II これまでの授業実践

1 日常的な授業

私が行っていた授業では、次期学習指導要領が示す以上に、実験から始め、これを探究する授業が多かった。その基本的な構造とおよその授業時数を次に示す。4)、5)

- ① 導入的な学習：現象の何について知りたいのかを明確にする。これを知るために必要な知識や技能を獲得する。0.2~1時間
- ② 生徒実験：目的に向かって生徒が実験データを集め、分析解釈する(実験結果の処理は課題)。0.8~1時間
- ③ データ分析と理解：生徒実験と同じ条件で実施した実験データに基づいて、そのデータについて分析・解釈・考察し、およその法則性を捉えたり、現象の意味を理解したりする。1時間
- ④ 物理法則の理解：得られた物理法則が自然界の現象をうまく説明していることを、他の現象などに適用するなどして理解を深める(従来の授業に近い講義、問題演習も含む)。1~2時間
- ⑤ 応用的理解：生徒が見出した実際の現象に関する課題に対し、獲得した物理法則を活用して、結果を推測し、実験方法も企画し、結果を分析・考察し、発表する。(大単元ごとの課題研究)3~5時間

この具体的な内容については、「現象を定量的に捉えながら学ぶ物理」(平成18年3月 東京学芸大学附属高等学校研究紀要 Vol. 44 pp. 27~40)などに示しているのので、そちらを参照されたい。

2 NHKTV 物理基礎

私は、昭和58年以来、NHK教育テレビ高校講座物理(物理I、物理基礎などと名称は変化している)を担当し、観察・実験を通じた物理の授業を継続してきた。TV番組での授業の弱点は、学習活動をする生徒とのリアルタイムでの相互作用がないことである。テレビの授業は、アクティブラーニングが苦手なのである。平成29年4月から始まったNHKTV高校講座物理基礎(<http://www.nhk.or.jp/kokokoza/tv/butsurikiso/>)では、これを少しでも克服しつつ、さらに探究の過程を重視した。各回の基本的な流れは次のようになっている。6)

- ① 生活の中の身近で知っていることから始める
- ② 分かっていないことから不思議に気付く
- ③ 不思議を解決していく過程で、知識と解決の方法(科学の方法)を学ぶ

- ④ 仮説を立てながら、必ず実験をし、具体的なデータを使う
- ⑤ 再度日常生活との関係を知る

この流れの中で、番組内の家族が探究の過程を実践していく。さらに、各地の通信高校に出かけ、それまでの学習を生かして課題を解決する番組を4回入れてある。

Ⅲ 探究の過程を実践する授業構築のために

1 授業クラスの状況と授業テーマの決定

公開授業は、福井県立科学技術高等学校理科(物理)教諭服部先生の好意により、2学期期末試験終了後の情報工学科1年生物理基礎の1時間を提供していただいた。2学期は、熱と温度についての授業が行われており、服部先生からは実際に使っている授業プリントを提供していただくなど、綿密な打ち合わせをしていただいた。服部先生によると、熱と温度に関する生徒実験はやっていないとのことであった。そこで、定番である金属の比熱を混合法で調べる実験をベースとして、熱と温度の授業を受けた上でも特に理解の困難な「温度とは何か」に迫る授業を実施することとした。ところが、授業指導演案を作っていく過程で、生徒たちが化学基礎を学んでおらず、モル概念を知らないことに気付いた。このため、授業導入部分に、モル概念の理解から温度や熱につながる流れを追加する必要があった。

2 探究の過程を重視した授業構築の流れ

探究過程とは何かの共通理解が無いと、そのための汎用的な授業構築ができない。そこで、次期学習指導要領高等学校理科解説が示す「資質・能力を育むために重視する探究の過程イメージ」(資料1 探究の過程イメージ参照)の実現を意識し、福井県教育総合研究所橋本先生らの協力の下、汎用的に使える授業評価表(資料1)を作った。1時間の授業の流れ作りには、前記Ⅱ 1、2に示した私の過去の授業のスタイルを意識している。これらに基づき、定番実験をベースとして、実験プリント「金属の温度を探る」(資料2)、ワークシート「温度とは何か」、比熱実験データの集約生徒配布用、学習指導演案(資料3)を作った。定番実験をベースとしたのは、見慣れた教科書実験を探究の過程にできなければ、探究の過程を踏まえた実験の普及は困難だと考えたからである。その一方で、今回の授業に限っては、物理基礎の内容をこえた深い理解も目指した。というのも、生徒たちはすでに物理基礎の温度と熱の学習を終えており、これを復習する形では探究の過程となりにくいこと、物理基礎の学習を終えただけではすっかりとした温度の理解に至っていないであろうと推測したこと、未知の熱現象に触れることで物理の学習の奥深さを感じ取らせたかったこと、公開授業参加者にあるていどのインパクトも与えられること等があった。

与えられた授業は1時間しかない。試行として分析・評価するために、この1時間に探究の過程を網羅し、生徒の活動を意識した。この限られた時間の中で、すべてを網羅すること自体に無理を感じてはいたが、問題点を浮き彫りにするために、試行としてあえて実施した。

3 公開した授業の流れ

詳細については、学習指導演案(資料3)を参照していただきたい。ここでは、流れの概要をまとめておく。

- (1) 自然現象に対する気づき
 - ① 導入的な予備知識として、モル概念に触れる 身近な物質(アルミニウム、鉄、銅、水)と周期表の原子量などを使って、原子・分子を同じ個数で比べる。
 - ② 分かっていることから始める 40℃の水は、半分にしても40℃。同質量の40℃と60℃の水を混ぜると50℃となる等(経験と2学期の既習事項として判断できる)。
 - ③ 分からないことに気づかせる 40℃+40℃、40℃+60℃は、通常の足し算とは異なる結果になる。そこに温度の本質があるのではないか。
- (2) 課題の設定 自由研究や課題研究ではないので、「教師が設定する問い」の形で課題を設定し、その合理性の理解に向かう展開とする。
 - ① 温度と同じような計算結果が現れるもの テストのクラス平均点(人数当り)、金の単価(質量当り)、ガ

ソリンの単価(体積当り)、リンゴの単価(個数当り)などがあげられる。

- ② 温度も物質の何か当りの平均値を示すと考える ここで、「物質の何か当り」、「何の平均値」が不明である。
- (3) 仮説の設定 仮説の設定をまったく自由にできればそれに越したことはないが、限られた時間数の中では難しい。ある程度の絞り込みを提案し、仮説を設定する。
 - ① 何の平均値だろうか 内部エネルギーについては既習であり、同量の同じ物質でも、温度が高いほど内部エネルギーが大きいことを知っている。熱に関わるエネルギーの平均値と考えたらどうか。
 - ② 平均って何だろう エネルギーの平均値として、「体積当り、質量当り、原子の個数当り」の三つに絞って仮説を設定し、どの可能性があるのかを個人や班で推定する。
- (4) 検証計画の立案 検証方法についてもまったく自由にできればそれに越したことはないが、準備された実験器材と限られた時間数の中では難しい。ここでは、これから実施する実験方法が、仮説の検証となることを考えさせ、理解させる。
 - ① 熱力学第0法則、熱量保存の法則の確認 生活経験の振り返りと既習事項の復習をする
 - ② 高温金属と室温の水との混合による温度変化を調べる いくらエネルギーが水とやり取りされ、金属の温度がいくらになったのかを知るには、水の温度変化を調べればよい。
 - ③ 同じ結果を探せばよい 金属が異なっても、温度が同じならば、熱に関するエネルギーの「何か当たり」の平均値が同じになるはずである。
 - ④ 極低温金属でも同様な実験をする ③と同じことは、極低温でも現れるのか。
- (5) 実験の実施 実験は、資料2のように行った。すべての班が最低3種類の金属について、高温と極低温での実験を実施することが理想であるが、1時間で完結するために、各班に1種類の金属を分担させた。このとき、同じ金属を二班ずつ扱うことで、実験結果の間違いに気づきやすくなる。極低温の実験では、班ごとに異なる種類の金属(高温実験の金属と同じ)を1種類ずつあてた。これにより、全部で9班の実験を同時に行った。(図1)このような方法では、各班の実験データを処理しただけでは、それ以上の分析・考察・推論ができない。一方で、全体のデータに自分の班のデータが影響してしまうという緊張感がある。さらに、全体のデータを総合して考察するという連帯感、達成感が得られる。
- (6) 結果の処理 結果の処理は、「実験データの集約」の表に各班のデータを計算処理し、同時に授業者の結果を伝えるものとした。実験データをそのままパソコンに打ち込み、同時にスクリーンに表示した。
- (7) 考察・推論 各班の実験結果だけでは、仮説の検証はできないが、スクリーンに映されたすべてのデータを比較することで考察できる。温度が同じならば、熱に関するエネルギーの「何か当たり」の平均値が同じになると言えるのかを探せばよい。
- (8) 表現・伝達 これらの結果に基づいて、最終的にはレポート作成や発表などをするのが理想であるが、その時間は取れなかった。そこで、ワークシート「温度とは何か」にまとめさせることにした。



図1 授業の様子

IV 実験結果

当日生徒が得た実験結果を表1、予備実験の結果を表2に示す。生徒実験での金属温度がすべて96℃としてあるのは、湯せん装置の設定温度である。しかし、実際には実験途中で装置が停止してしまい、再起動した。このため、すべての班に最初の金属温度96℃が保証されているか不安である。授業中に生徒から聞き取って入力したデータで、アルミニウムと鉄を入力ミスしたことが、授業後のデータ分析から判明した(表1は、こ

の入力入れ違いを正したものである)。このため、授業最後にデータから分析する際に混乱が生じた。

実際の授業では、表2 予備実験の結果を利用した。予備実験の場合、同数で比較すると、常温で金属によらず比熱がほぼ同じことが分かる。極低温からの実験では、常温とは異なる比熱を示し、しかも鉛と他の金属との違いは著しいこともわかる。生徒の室温データの場合も、銅以外では

同数で比較した場合と同じくらいの値になっている。見学者によると、銅を扱った班は、はじめの水温を測定し忘れて途中から温度測定を始めたそうである。開始水温を 22℃としてみると、銅の値も他の金属と同じくらいの値となる。極低温では、放出熱量が金属によらずほぼ同じになっているのは、同数で比較した場合である。また、温度によって放出熱量の値(モル比熱容量)が変化していることもわかる。

表1 生徒が得た実験結果

		3cmキューブの場合							同体積(27cm ³)で比較	同質量(1g)で比較	同数で比較
金属	原子量 M	体積 [cm ³]	質量 m [g]	金属温度 t1 [°C]	水の質量 [g]	開始水温 t2 [°C]	最終水温 t3 [°C]	水の吸収熱量 Q [J]	金属1K当り放出熱量 q [J]	金属1K当り放出熱量 q [J]	金属1K当り放出熱量 q [J]
Al	27	27	74	96	200	22.0	27	4200	61	0.8	22.2
	27	27	74	96	200	22.0	26.8	4032	58	0.8	21.3
Fe	56	27	212	96	200	22.0	29.3	6132	92	0.4	24.3
	56	27	212	96	200	22.2	29.5	6132	92	0.4	24.4
Cu	64	27	241	96	200	25.6	28.1	2100	31	0.1	8.2
	64	27	241	96	200	24.1	28.3	3528	52	0.2	13.8
金属	原子量 M	体積 [cm ³]	質量 m [g]	金属温度 t1 [°C]	水の質量 [g]	開始水温 t2 [°C]	最終水温 t3 [°C]	水の放出熱量 Q [J]	金属1K当り吸収熱量 q [J]	金属1K当り吸収熱量 q [J]	金属1K当り吸収熱量 q [J]
Al	27	27	74	-196	200	21.3	8.6	10668	52	0.7	19.0
	27	27	74	-196	200	0	0	0	0	0.0	0.0
Fe	56	27	212	-196	200	22.2	4.9	14532	72	0.3	19.1
	56	27	212	-196	200	0	0	0	0	0.0	0.0
Cu	64	27	241	-196	200	22	4.1	15036	75	0.3	20.0
	64	27	241	-196	200	0	0	0	0	0.0	0.0

表2 予備実験の結果

		3cmキューブの場合							同体積(27cm ³)で比較	同質量(1g)で比較	同数で比較
金属	原子量 M	体積 [cm ³]	質量 m [g]	金属温度 t1 [°C]	水の質量 [g]	開始水温 t2 [°C]	最終水温 t3 [°C]	水の吸収熱量 Q [J]	金属1K当り放出熱量 q [J]	金属1K当り放出熱量 q [J]	金属1K当り放出熱量 q [J]
Al	27	27	72	100	222	24.1	29.3	4848.5	69	0.95	25.7
	27	27									
Fe	56	27	208	100	217	24.0	31.2	6562.1	95	0.46	25.7
	56	27									
Cu	64	27	242	100	231	24.1	31.1	6791.4	99	0.41	26.1
Pb	207	27	298	100	221	24.00	27.2	2970.2	41	0.14	28.3
金属	原子量 M	体積 [cm ³]	質量 m [g]	金属温度 t1 [°C]	水の質量 [g]	開始水温 t2 [°C]	最終水温 t3 [°C]	水の放出熱量 Q [J]	金属1K当り吸収熱量 q [J]	金属1K当り吸収熱量 q [J]	金属1K当り吸収熱量 q [J]
Al	27	27	72	-196	118	25.2	6.9	9038.7	45	0.62	16.6
	27	27									
Fe	56	27	200	-196	164	24.9	5.9	13063	65	0.32	18.2
	56	27									
Cu	64	27	242	-196	161	24.4	3.4	14209	71	0.29	18.8
Pb	207	27	299	-196	196	24.8	15.9	7319	35	0.12	23.9

V 授業評価と分析

1 授業見学者による授業評価

授業見学者(40名超、他に NHKTV、福井新聞)による授業評価表(資料1)の集計結果を表3に示す授業計画の欄に関しては、すべて空欄が12(40%)あったが、それに続く評価項目についてはほとんど記入してあった。

一方、すべてに✓が7(23%)であった。授業計画の欄に✓を入れながら、評価項目を評価していないものはなかった。この欄の扱い方、ねらいについて再検討が必要と思われる。

表3 見学者による授業評価集計 回収数30()内は%

	1		2			3			
	ア	イ	ウ		エ	オ	カ	キ	
			仮説設定	計画立案	観察実験				
授業計画✓	17(56%)	16(53%)	14(46%)	12(40%)	14(46%)	12(40%)	11(36%)	10(33%)	1(3%)
A	23(76%)	17(56%)	13(43%)	8(26%)	12(40%)	5(16%)	6(20%)	5(16%)	1(3%)
B	5(16%)	9(30%)	13(43%)	16(53%)	12(40%)	15(50%)	10(33%)	11(36%)	8(26%)
C	0(0%)	0(0%)	1(3%)	1(3%)	2(6%)	4(13%)	4(13%)	3(10%)	4(13%)
空欄	2(6%)	4(13%)	3(10%)	5(16%)	4(13%)	6(20%)	10(33%)	11(36%)	17(56%)

- (1) 課題の把握 自然現象に対する気づき(ア)、課題の設定(イ)に関しては、ある程度の評価が得られている。
- (2) 課題の探究 仮説の設定・計画立案(ウ)に関して否定的な評価はほとんどないものの、生徒が主体的に設定できる展開ではなく、教員がある程度おぜん立てしている点が気になる点であろう。観察実験に関

しても同様であるが、そもそも実験のためにとれた時間が短く(見学者でござった返す実験室内にもかかわらず、生徒は実質 10 分ほどで実験を完了させていた)、十分な感じが得られなかったであろう。結果の処理(エ)は、計算処理が 4 項目もあり難しいことと時間短縮などのため、生徒のデータをプロジェクターに映し、説明しながらパソコン上で処理をし、同時に生徒に同様な処理を促した。このため、結果の処理の評価は、高くない。

- (3) 課題の解決 考察・推論(オ)(カ)については、生徒に考えさせる時間は無く、表 2 の結果から分析を説明したので、評価できないと言えるだろう。表現・伝達(キ)については、ワークシートの提出を授業後の課題としていたので、これも研究協議時点では評価できない。

回収できた評価表には、生徒の様子に基づいて評価されている記述も多数あったが、以下には、感想・意見・メモ等としての記述の一部を示す。

- ・ 2 時間構成だとよかった。興味のわく導入ただただに結論が急ぎすぎていてもったいなかった。
- ・ ワークシートの工夫、分かり易く記入できる様式だともっとスムーズになっただろう。
- ・ 活用については、授業内に配置したほうが良いかどうか(評価表に入れておくべき?)。
- ・ やはり 2 時間分必要か? 課題を出しておくのが良いか。

2 生徒による自己評価

ワークシート最後につけた生徒自身による自己評価の集計結果を以下に示す。回収回答数は 31 であった。(図 2)

- ① 解決すべき課題に気付いた
- ② 仮説について議論できた
- ③ 実験の目的と内容を理解できた
- ④ 実験ができた
- ⑤ 結論を結果のデータから判断できた
- ⑥ まだまだ分からないことがあることに新たに気付いた
- ⑦ 新たに出てきた分からないことを解決したいと思えた

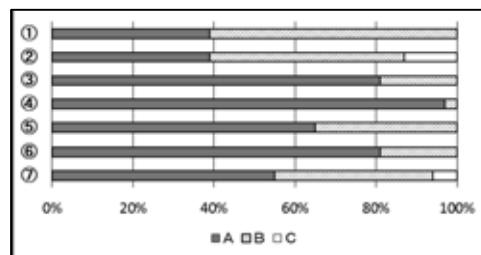


図 2 生徒の自己評価

この結果に否定的な自己評価はほとんどない。特に評価が高いのは、③A81%、④A97%、⑤A65%、⑥A81%、⑦A55%である。このことから、生徒は、実験そのもの、その判断、未知への気づきに肯定的であると言える。生徒の授業感想をいくつか下に示す。

- ・ 温度という難しい言葉ではないのに説明することができないことについて考えることができてよかった。
- ・ 普通の生活では考え付かないことも普通の生活のことを交えて面白く教わったのが面白く興味がわいた。
- ・ 先生がたくさんいてとても緊張した。先生の話が難しかった。でも、実験が成功したので良かった。
- ・ 温度というのはいったい何なのか、これから分かって行けるように頑張りたい。
- ・ 今回の実験で分からないことが増えた。分からないことをそのままにせず、しっかり調べようと思う。
- ・ データを見てある程度実験を理解することができてよかった。
- ・ 規模のでかい実験は楽しいし、ちゃんとデータが出るので良かった。
- ・ 全然知らない先生だったけど、授業の目的もはっきりしていたし、説明も分かり易く面白かった。

3 授業者自身の評価

見学者も生徒も好意的評価を下しているものの、予想(ねらい?)通りとはいえ、自分の過去の授業の中でも最低ランクの授業であった。逆に言えば、その原因を改善できれば、実際に使える授業となる。公開授業では、生徒の主体的な活動による探究の過程を歩ませることが不十分過ぎた。その原因は、探究の過程に対する過度の期待と時間不足であろう。

生徒数をこえる見学者に取り囲まれ、NHK のテレビカメラが撮影する中で、初対面の先生による授業であったにもかかわらず、私が次々と繰り出す発問に一生懸命に答え、実験を 10 分で終わらせ、温度の理解不足を認識した上で、さらに深い学びが必要だと感想に残す素晴らしい生徒たちに出会えた。生徒に大いに助けられ励まされた授業は、今後の授業改善のエネルギーとなる。

VI 次期学習指導要領を実現する授業への提言

1 探究の過程に対する過度の期待

再度、物理基礎の目指す探究の過程を考えるために、学習指導要領物理基礎目標をまとめてみる。「日常生活や社会との関連を図りながら、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付ける。観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。物体の運動と様々なエネルギーに主体的に関わり、科学的に探究しようとする態度を養う。」つまり、物理基礎「観察・実験から・・・見出して、理解する・・・」は、課題研究を目指しているのではなく、物理基礎の学習を通して探究の過程を歩む機会を与え、このトレーニングを目指しているのである。本稿Ⅱ 1、2に示した私の過去の授業のスタイルもこれを目指していた。物理基礎を題材として、仮説の設定、検証計画の立案、考察・推論などの機会を与え、これを授業で磨き上げていくことが、探究の過程の学習となる。このためには、探究の過程で示された生徒の様々な考え方に、生徒自身が合理性をもって判断を与えるための授業が必要である。探究の過程を授業に設定しておくだけで、生徒だけでそれらをすべてやらせようとするのは、物理基礎での探究の過程に対する過度の期待と言える。それができてしまうのなら、“探究の過程の学習”は要らないだろう。

2 探究の過程に必要な授業時間

仮説の設定を教師がある程度の枠に誘導しても、1時間ですべての探究の過程を経験させることには無理がある。今回の授業で生徒のグループワークを必要とする部分は、実験を除いても本稿Ⅲ 3 (1)～(8)に5項目はある。これにそれぞれ5分を当てても、授業の半分を要する。しかも、たった5分で、主体的で探究的な活動となりうるのだろうか。4人班で一人に1分しか与えられない。ましてや、それらの活動を振り返り、磨く時間はない。言い放しで終わってしまう。進化する議論には、十分な議論の基盤が必要である。この基盤作りには、適切な課題(予習)が必要である。実験の前や後に、主体的な議論に必要な基盤作りの課題を与えなければ、授業中のグループワークは生きてこない。

一つの実験に対し、1～2項目の探究の過程を重視することとしても、2～3時間の授業が必要であろう。

(1) 2時間の場合

生徒がゼロから仮説の設定をするのはあきらめ、教師が、ある程度の助言を与える。1時間目は実験まで行い、この分析を次時までの課題としておく(議論、分析、考察の準備)。2時間目に、先の実験データを利用して分析し、考察する授業とする。その後、これを実験報告書として提出させる。私が過去に実践してきた授業は、これに近い。先に示したⅡ 1 ②、③に相当する。なお、私の授業では、分析に使うデータは私自身が生徒と同じ条件で行った実験から得たものを活用した。これにより、生徒は自分たちのデータとの比較ができ、教員は複数のクラスにも同じデータで授業ができる。このデータに基づく分析をひな型として、生徒自身が得たデータを分析させるのである。

(2) 3時間の場合

課題の気づきと設定、仮説の設定と検証計画の立案に1時間を使い、あとの2時間は上と同様とする。この場合、多様な検証計画の立案により、多様な実験が必要となってしまう。もはや課題研究に近い。探究の過程のトレーニングとして重要なことは、その授業で育てたい探究の過程の項目に関しての生徒の活動をクラスで共有しながら、磨き上げていく活動が必要である。

表現・伝達の場面は、多くの場合は報告書(Web上への発表をさせていたこともある)となるであろうが、データに基づいた議論のできる発表の機会も必要である。この場合には、さらに1時間以上の授業が必要となる。

物理基礎で学習指導要領の内容が「観察・実験から・・・見出して、理解する・・・」に相当する単元は6ある。これに2時間の授業を当てるとしても、月に1～2回程度で実施可能であり、現実的と言える。

3 探究の過程の扱い

授業のねらいは、少なくとも常に二つ必要である。一つは従来の知識・理解に関わるもの、もう一つは探究の過程のどれをどのように学ばせようとしているのか、である。毎回の授業で、探究の過程のすべてを扱うことはできず、年間授業全体で網羅する。その授業で重点を置く探究の過程に関わる協働学習だけでなく、それ

をクラスで共有・磨き上げる。さらに、学習の責任を教師から生徒個人に移行させて終わることが理想である。協働学習だけでは主体的な学びは完成しない。最終的な考察を含めて、個人で報告書をまとめる作業は欠かせない。これにより、学習の最終責任が生徒個人にあることが明確となる。

4 探究の過程を意識した授業構築の方法

汎用的な探究の過程の授業評価表を作る。三観点に対応する観点別評価の基準(規準に基づいて各校に合わせたものとする)を作る。この評価ができる授業を構築する。最終的なねらいから逆算して授業作りをする。授業を構成しやすい。

5 残された課題

- ・一般市民に必要とされ、全国で実現可能で物理基礎なりの探究の過程として教えるべきことは何か。
- ・探究の過程の授業評価の汎用的な項目と方法を作る。
- ・科学的に探究するために必要な資質・能力の成長を評価する具体策を示す。
- ・上記のために、評価のための基礎データの収集が必要である。
- ・物理基礎「観察・実験から・・・見出して、理解する・・・」に相当する6単元の授業実践をし、これを評価と共に公開する。



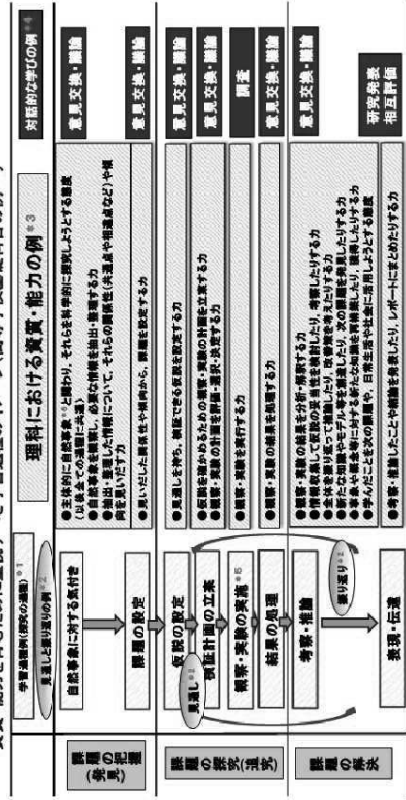
図3 授業風景と研究協議の様子

《参考資料》

- 1) 報告「理科ワーキンググループにおける審議の取りまとめ」P. 1、P. 8 (平成28年8月26日中央教育審議会 初等中等教育分科会 教育課程部会 理科ワーキンググループ)
- 2) 平成20年度高等学校理科教員実態調査集計結果(速報) [第I部 調査と結果の概要] P. 41 およびP. 44、P. 51 およびP. 58 (平成21年3月 (独) 科学技術振興機構理科教育支援センター 国立教育政策研究所教育課程研究センター)
- 3) 現職研修と中等理科教育法から見た物理教員養成の問題点
- 4) 生徒が自ら調べ、考える理科教育の推進(平成10年1月 理科の教育 東洋館出版)
- 5) 生徒実験を分析しながらすすめる物理の学習(平成18年8月 理科教育全国大会 研究集録、平成19年8月日本理化学協会賞)
- 6) NHKTV 物理基礎で目指したもの(平成30年3月 東京都理化教育研究会 研究集録)

謝辞 この授業公開にあたり、福井県立科学技術高等学校 理科(物理)教諭 服部先生、福井県教育総合研究所 主任 橋本先生らの一方ならぬ協力を頂きました。皆様に感謝いたします。

図1 資質・能力を育むために重視する探究の過程のイメージ（中央教育審議会答申（1）一部修正）



*1 探究の過程は、必ずしも一方の道筋ではない。また、授業では、その過程の一部を省略することも多い。
 *2 「気づき」と「振り返り」は、学習過程全体を通してのみならず、必要に応じて、それぞれの学習過程で行うことも可能である。
 *3 全ての学習過程において、学びの場に行けた質・能力（課題の知識及び技能など）を高めることが求められる。
 *4 探究活動や学習活動においては、あらかじめ計画を立てることが重要である。また、進捗のかわりや予定のずれをより適切に修正し、計画通りに実行を行うなど、状況に応じて柔軟に対応することが重要である。
 *5 探究活動には、日常生活で見られる現象や身近な現象から始めることも多い。
 *6 探究活動には、日常生活や身近な現象から始めることも多い。
 *7 小学校及び中学校においては、課外活動には高等学校の例と同様の探究活動を促すことが必要である。

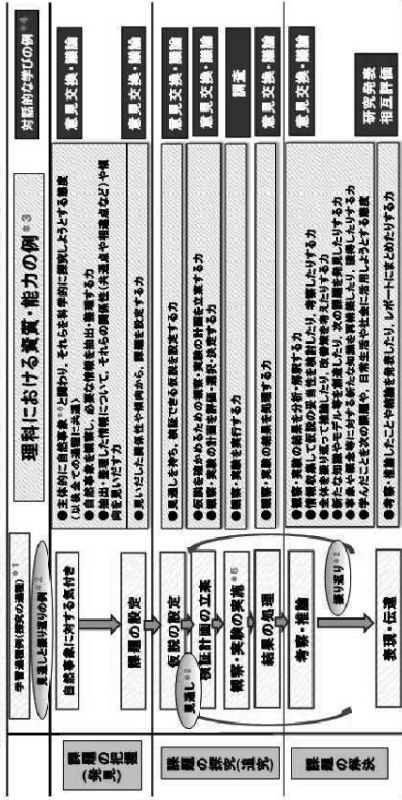
資料1

新学習指導要領（抜粋）

(1) 熱
 ⑦ 熱と温度
 熱と温度について、原子や分子の熱運動の観点から理解すること。
 ⑧ 熱の利用
 熱に関する実験などを行い、熱の移動及び熱と仕事の変換について理解すること。
 (内容の取扱い)
 (1)の⑦については、熱現象を微視的に捉え、原子や分子の熱運動と温度との関係とを定性的に扱うこと。また、内部エネルギーや物質の三態にも触れること。⑧については、熱現象における不可逆性にも触れること。

探究の過程イメージ

資質・能力を育むために重視すべき学習過程のイメージ（高等学校基礎科目の例*7）



*1 探究の過程は、必ずしも一方の道筋ではない。また、授業では、その過程の一部を省略することも多い。
 *2 「気づき」と「振り返り」は、学習過程全体を通してのみならず、必要に応じて、それぞれの学習過程で行うことも可能である。
 *3 全ての学習過程において、学びの場に行けた質・能力（課題の知識及び技能など）を高めることが求められる。
 *4 探究活動や学習活動においては、あらかじめ計画を立てることが重要である。また、進捗のかわりや予定のずれをより適切に修正し、計画通りに実行を行うなど、状況に応じて柔軟に対応することが重要である。
 *5 探究活動には、日常生活で見られる現象や身近な現象から始めることも多い。
 *6 探究活動には、日常生活や身近な現象から始めることも多い。
 *7 小学校及び中学校においては、課外活動には高等学校の例と同様の探究活動を促すことが必要である。

資料1

授業者： 授業分野： (専門科目：) 年 月 日

授業者：氏名

評価者：氏名

評価者：氏名

日

授業計画	評価の観点	
	授業計画	評価：理由等 生徒の様子
授業計画 ✓：授業計画されていた項目にチェック 生徒の様子 授業計画されていたものに対して評価 A：生徒の成長が見られる、生徒が探究的に活動している B：生徒が指示通り活動している C：生徒活動がない		
1 発見（知らないことがあることに気づく）		
(ア) 生徒が、わかっていることに対して 気づきの場面がある。 (身近な現象からの気づきなど)	A B C:	
(イ) (ア)を生かした必然性のある課題 の設定がなされている。 (内発、外発、どちらでもよい)	A B C:	
2 追究（問題を科学的に解決する）		
(ウ) 観察、実験等で比較、関係 づけ、条件制御、多面的思 考等の科学の方法を学ばせ ようとする場面がある。	A B C: A B C: A B C:	
(エ) 実験結果をまとめて、課題につな がるように整理させている。	A B C:	
3 課題の解決		
(オ) 分析として比較、関係づけ、妥 当性、多面的思考等をさせている。	A B C:	
(カ) 新たな知識を獲得したり、再構築 したり、次の課題を発見させている。	A B C:	
(キ) 結論を自己評価、相互評価、レポ ート等で確認させている。	A B C:	

研究協議記録（感想・意見・メモ等）：裏面に続ける

資料 2

実験 全ての物質に共通する温度とは何か ～金属が放出・吸収する熱から考える～

調べたいこと 温度を物質が持っているエネルギーの平均値と仮定して、体積当り、質量当り、原子数当り、のいずれであるかを探究したい。

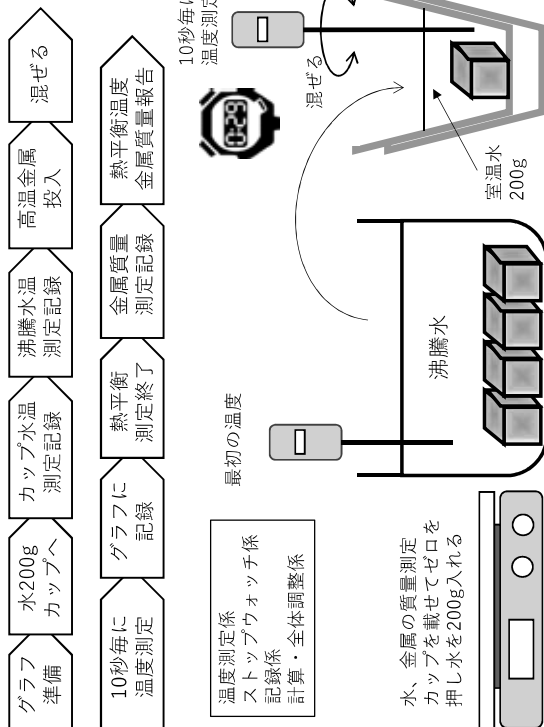
準備 温度が一定(水の沸点または液体窒素の温度)となった金属資料 (3 cm立方体の金属ブロック Al, Fe, Cu, Pb)、ポリスチレンカップ2個、デジタル温度計、液体窒素、湯せん鍋、電子天秤、水、トング、方眼紙

【参考：実験の方法など】

【実験の考え方】A 高温資料で調べる

水がもらった熱量 $Q = \text{金属が放出した熱量(熱量保存の法則)}$

【実験方法】



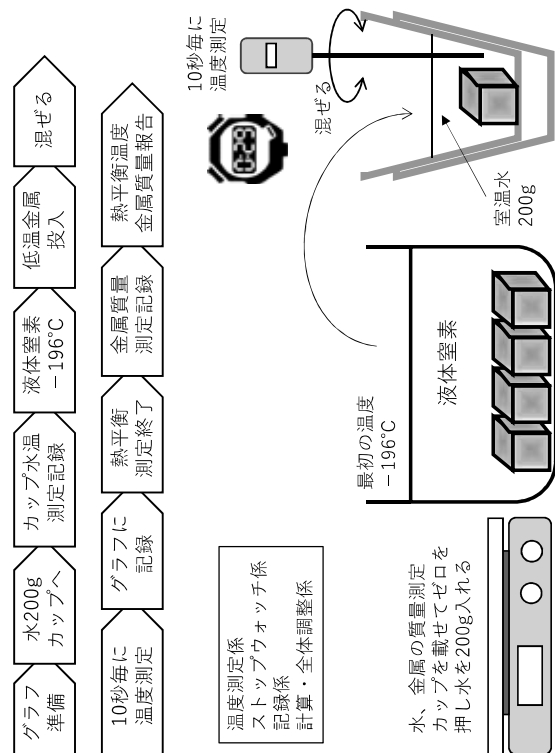
【結果の処理】

測定が終わったら、以下のように、一緒に計算しよう。

- (1) 金属が放出した熱量 Q を求める
水 200g の温度が 1 K 上がったら約 840J ($= 4.2 \times 200 \times 1$) の熱量をもらった。つまり、水は $Q = 840J \times \text{上昇温度}$ のエネルギーをもらった。金属は熱量 Q を水に与えた。
- (2) 金属が放出した 1 K あたりの熱量 q を求める
放出した熱量 Q を金属の下降温度で割ればよい。 $q = Q / \text{下降温度}$
- (3) ○○当りのエネルギーにする
①体積当り ⇒ 体積は同じだから、そのまま q を比較 ②質量当り = $q / \text{金属質量}$ ③原子数当り = ② × 原子量

資料 2

【実験方法】B 極低温資料で調べる 実験方法・考え方は、高温資料と同じである。熱湯の代わりに液体窒素を使っているので、金属が水から熱を受け取る。



極低温からの実験結果は、一緒に分析しよう。

【結果の分析・判断】(【考察・推論】)

各班から報告された実験結果を集約し、計算処理する。実験結果全体から、物質が持っているエネルギーを ①体積当り ②質量当り ③原子の個数当り のどれが温度と深い関係があるかと判断できるかを考える。

授業後に、ワークシートを完成させてグラフ・データ表と共に閉じて提出(提出期限は別途指示)

【使用教材】

実験プリント、実験データ記入表、ワークシート、周期表、回答用色紙、1円玉27個、釘56g、銅線61g、一合瓶、3cm立方体の金属ブロック (Al, Fe, Cu, Pb)、ポリスチレンカップ2個、デジタル温度計、液体窒素、湯せん鍋、電子天秤、水、トンダ、方眼紙、サーモグラフィ、圧縮発火器

【本時の学習内容に対する評価の観点と評価方法】

- ① 「何を知っているか、何ができるか (個別の知識・技能)」
熱、熱量、熱量保存の法則の知識を活用して目的をもって熱の移動についての実験を計画的に実施し、実験の基本操作を習得する。結果の記録や整理など、事象を科学的に探究する技能の基礎を身に付ける。
・課題を把握できた。
・実験のねらいを理解し、このための実験を推進できる。
- ② (行動観察) (提出WS・グラフ) (まとめの授業での発言など)
「知っていること、できることをどう使うか (思考力・判断力・表現力等)」
温度と体積、質量、数の関係に問題を見だし、温度に関する生活経験と既習の熱、熱量、熱量保存の法則を活用して仮説を立て、実験方法の検討、結果の分析と解釈ができる。実験結果から得られた自らの考えを表現している。
・実験データの記録をグラフに取り、データ間の関係を見出すことができている。
・実験結果から、それが表す意味を捉え説明できる。
(行動観察) (提出WS・グラフ) (まとめの授業での発言など) (考査)
③ 「どのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか (学びに向かう力、人間性等)」
温度について進んで調べようとし、それらを科学的に探究するとともに、事象を日常生活とのかわりで見ようとする。さらに、発展的な課題の存在にも気づくことができる。
・積極的に班内役割分担に参加し、意欲的に実験に取り組んだ。
・目的意識を持って実験を実施できた。
・法則性を探ろうとする工夫や自らの疑問を解決するための実験や分析の工夫が見られた。
・温度や比熱についての奥深さに気づけた。
(行動観察) (提出WS・グラフ) (発言)

4 指導観

- (1) 授業観 二期での温度と熱の学習を継続・発展させ、実感を持って温度の理解をさせる。温度と平均値との関係を調べる必然性を意識しながら、実験に取り組み、実験データの解釈から、二期の学習のまとめとして温度とは何かの定性的な理解に至る。
- (2) 生徒観 以前10分ほど授業参観をしただけで、生徒についても学校についてもほとんど情報は無い。元気のよい生徒が多いと思われる。担当先生によると、これまで生徒実験をあまりやらせておらず、実験や分析には慣れていないとのこと。
- (3) 教材観 温度は日常用語として使っており、しかも二期の既習事項でもあるが、生徒にとって温度の物理的なイメージは不明確である。生活経験でとらえている温度の特徴と熱量保存の法則を手掛かりに、物質が持つ熱に関するエネルギー・分子の個数平均であることに気づかせる流れとした。ただし、実験は従来の方法をできるだけ踏襲し、多くの学校で活用が可能なものを目指している。その一方で、液体窒素レベルでの実験も行い、熱、温度と物質との関係(比熱等)には、高校では理解しきれない深い理解がさらに必要であることもおわせている。

温度とは何か 学習指導案
～金属が放出・吸収する熱量から探究の過程を通して考える～

【日 時】 平成30年12月12日(水) 第2校時 9:50~10:40
【対象生徒】 福井県立科学技術高等学校 情報工学科 第1学年 35名(女子3名)
【授業者】 福井県教育総合研究所 先端教育研究センター 特別研究員 川角 博
【授業支援者】 福井県教育総合研究所 橋本先生、科学技術高等学校 服部先生
【場所】 福井県立科学技術高等学校 物理実験室
【使用教科書】 物理基礎 改訂新編 物理基礎 (東京書籍)

1 単元等

【授業趣向】 次期学習指導要領探究の過程を踏まえた福井県教育総合研究所からの派遣授業
【本時の授業題目】 「温度とは何か ～探究の過程を通して考える～」
【単元】 第2編 第1章 熱(1節 熱と温度 第3節 熱の移動と保存)を総合して「温度」
【学習指導要領上の位置づけ】 高等学校物理基礎
(2) 様々な物理現象とエネルギーの利用 (4) 熱 ⑦熱と温度 および ⑧熱の利用
【学習指導要領における単元のねらい】 関連学習指導要領抜粋
「様々な物理現象とエネルギーの利用を日常生活や社会と関連付けながら、理解するとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付ける。⑦熱と温度について、原子や分子の熱運動の観点から理解する。⑧熱に関する実験などを行い、熱の移動及び熱と仕事の変換について理解する。」

2 学習指導計画

- (1) 熱平衡
- (2) 温度と熱
- (3) 状態変化
- (4) 熱と体積変化
- (5) 比熱
- (6) 比熱演習
- (6) 熱力学第一法則
- (7) 熱機関
- (8) 温度とは何か・・・本時

二期期末考査後の特別授業として、

3 本時について

【中学校での既習事項】 中学校では、第1分野「(2)身の回りの物質」で、状態変化を粒子モデルと関連付けて学習している。
【前時までの既習事項】 二期の授業にて、熱と温度については、原子や分子の運動との関係を定性的に扱って内部エネルギー、物質の三態及び関連して絶対温度(熱力学温度)に触れている。比熱についても扱っているが、実験を通して金属の比熱を調べてはいない。なお、本時の実験に必要な熱平衡、熱容量、熱量保存、比熱については、二期の既習事項である。熱と温度についても2学期既習事項ではあるが、特に温度の概念については疎とした理解と判断している。

【本時のねらい】

- ① 温度が原子分子の平均的な(運動)エネルギーを表すことを実験を通して定性的に理解を深める。
- ② 熱の移動に関する実験を通して探究し、条件制御や関係づけ、規則性を考える過程で、思考力、判断力、実験に関する技能を身に付ける。
- ③ 自分の考えをまとめたり、他者に伝えたりする表現力を育てる機会とする。

<p>説明を聞く</p>	<p>クラス平均点；個人の点数はばらばら 金の値段 円/質量 ガソリン代 円/体積 リンゴの単価 円/個 単位をそろえて比較する必要あり この円をエネルギーとみると、 温度は、エネルギーの平均みたいなも のと考えたかどうか？ すると体積当り？質量当り？ 個数当り？ この三つのどれかだとして仮説を立 てよう(山勘でもよい)。意見交換と記 入・・・3分</p> <p>どうやったら確認できるか？ これ(金属ブロック)を使う。 これが持っているエネルギーは見えな いし、分からない。温度が高いほどた くさん持っているだろう。さてどうや ったら熱い金属のエネルギーが分か る？計算のことは気にしないでよい。 (意見交換と記入・・・3分)</p>	<p>→WS1 記入 色紙で回答 【学びに向かう力・思考 力・判断力】WS 記入内 容から</p> <p>発問に答える (→WS2 記入) 省略 手順を示す前に主体的に イメージさせたい 【知識・思考力】 WS 記入内容から</p> <p>解決したい課題を解決す るために必要な内容を教 師・生徒で確認していく 発問に答える 発問に答える</p>
<p>プレゼン：温度みたい な足し算にはどんな 例がある？</p>	<p>実験の提案 実験プリントとデー タ記入表を配布・説明</p>	<p>発問に答える 発問に答える</p>
<p>プレゼン or 板書</p>	<p>発問に答える</p>	<p>発問に答える</p>

5 本時の展開

時間	展開項目	指導上の留意点・配慮事項	生徒の活動・留意点 評価の観点 (評価方法)
<p>導入 5分</p>	<p>出席確認 本日授業者の自己紹 介(山角) 興味を引く 発問 動機付け</p>	<p>WS・周期表は授業前に配布しておく 一円玉 27個、釘 56g、銅線 64g、水 1合・・・金属は同じ量、水は 10 倍。 何の量だろう。 周期表の原子量を見る。実は原子の 数が同じ、水の分子数はこれらの 10 倍。 他の見方をするとこれら全部同じ物理 量がある。・・・温度が同じ</p>	<p>mol 概念は未修、原子分 子の個数が質量から分か ることを確認 発問に答える</p>
<p>展開 1 14分 /19分</p>	<p>温度ってなんだ。 動機付けにつなげる</p> <p>温度は不思議だ 物質に共通な量</p>	<p>熱って何だっけ エネルギーの一種らしい 温度って何だっけ このエネルギーと関係があるらし い。 (後習：温度とは、エネルギーが自然に 流れる向きを表すパラメータ、このと きのエネルギーの流れを熱という。温 度は、原子や分子の熱運動の激しさと もいえる。(2 学期授業プリントより)。)</p> <p>一円玉も、釘も水も共通に温度という 物理量がある。・・・ということ、 物質に共通な何かがあるはず。共通な のは何だろう。・・・分かっているこ とをまず分析していくというやり方</p>	<p>(発問に答える) (発問に答える) 温度や熱については、二 学期に学習済み。しかし 熱・温度って何だと言わ れると?? 湯の混合実験などはして いる。比熱も学習済みの はずだが、定着していな いと思っ進める。</p>
<p>展開 1 14分 /19分</p>	<p>40℃の水を分割して いくと? 大量の分子がみんな 同じという方が不自 然では?</p> <p>プレゼン：足し算が変</p>	<p>温度って不思議だ 半分にするって何度? また半分にするって どんどん分けていくと?? 水分子 1 個の温度になる? そりゃないだろう。</p> <p>40℃ + 40℃ = 40℃、40℃ + 60℃ = 50℃だったりする。</p>	<p>発問に答える</p>

資料 3

<p>生体実験 混合法による金属の比熱 実験 数滴から室温の水へ Al, Fe, Cu 各2班ずつ 液体窒素から室温の水へ Al, Fe, Cu 各1班ずつ 実験開始</p>	<p>のと同じ温度上昇にそろえる必要がある。1K あたりの放出エネルギーで比較するべき) て、どれだけ水を冷やすかでも調べてみよう。 注意：高温・低温金属に直接触らない 生徒とのやり取りをしながらか、実験プリントを活用 グラフの概形を予想する</p>	<p>省略 液体窒素で実験したい班は？ 実験は、準備されたものを実施する →WS 3 記入 発問に答える</p>
<p>各 班 からの 実験 結果 (熱平衡温度) 報告を受 けて、EXCEL シート に入力する</p>	<p>熱湯および液体窒素中の実験試料は、 教員が生徒の容器に入れる。 実験中は、机間巡視し、安全、測定方 法の助言など、全体に目配りをする。 結果をデータ表に記入・報告させる</p>	<p>自分の結果と照合、他班 のデータを記入 表中の開始水温と最終水 温の実験結果を記入 計算は、授業後ゆつくり やればよい。</p>
<p>実験結果の分析と発表</p>	<p>データに基づいて、仮説の妥当性を判 断する。温度は、 (意見交換と記入・・・2分) ①物質の体積当りのエネルギーと言 えるか ②物質の質量当りのエネルギーと言 えるか ③原子の個数当りのエネルギーと言 えるか 液体窒素の実験では、違う結果が出て いる。金属の温度を上げるのに必要な 熱量は、温度によって違うらしい。な ぜか？それは高校の物理では分から ない。</p>	<p>→WS 7 記入 色紙で回答 実験データから〇〇だか ら△△と言え 【判断力・表現力】 WS よ り 液体窒素のデータ処理 は、生徒にもやってほし いが、教師中心で行う(自 動計算)。</p>

資料 3

<p>まとめと 発展 5分 /30分</p>	<p>器具の片付けとWS・グラ フの回収</p>	<p>温度や熱については、まだまだ興が 深い。 結論 温度とは、原子・分子1個が持つて いるエネルギーの平均値 あるエネルギーとは、運動エネルギーであ る。空気を圧縮すると発火する。油柱上を 木つちでたたいても温度が上がる。摩擦で も温度が上がる。いずれも原子や分子の運 動エネルギーが増えている。熱い物体に手 が触れると、手の神経が高温物体の原子が 激しく衝突して「熱い！」 なる。なぜか？原子や分子はそれぞれいろ いろな運動エネルギーを持っていて、だか ら、沸点に達してはくても、蒸発が起こ り、洗剤物も乾く。氷点下の北極圏でも、 洗剤物も乾く。冷車の氷がいつの間にか 小さくなっていくことがあるだろう。 3 種類の金属を調べただけで温度が 原子・分子の平均的な運動エネルギー を表しているとは分からない。多くの 実験事実と思考を積み重ねて、物理学 者はこれを信じている。 実は、19 世紀のはじめには、同数(原子 量に等しい質量)の金属の温度を1K 上昇 させるのに必要なエネルギーは、金属の種 類に寄らずほぼ同じことが実験から知ら れていた。これを解釈していく過程など で、温度の本質が分かってきた。 もともと科学者も温度、熱についてよく 分からなまま、様々な観測を個別して きて、やっと現在のよう理解につながっ た。 最初は誰も、何もわかってはいない！ WSに自己評価・感想の記入を指示 器具を片付け、後日WS・グラフ・表を提出</p>	<p>まだまだ(自分が)分かっ ていないと認識すればよ い 【学びに向かう力】 WS より</p>
----------------------------	--------------------------	---	---

6 生徒自身の自己評価の観点

- ①解決すべき課題に気付いた A B C
- ②仮説について議論できた A B C
- ③実験の目的と内容を理解できた A B C
- ④実験ができた A B C
- ⑤結論を結果のデータから判断できた A B C
- ⑥まだまだ分からないことがあることに新たに気づいた A B C
- ⑦新たに出てきた分からないことを解決したいと思えた A B C