問題解決能力の育成を目指した理科指導の在り方

－ 熱とエネルギーの分野における一人一人の個性を生かした探究的授業の試み －

羽島北高等学校　　古川　学

１　はじめに

高校での物理の学習形態は、小中学校で行われているような生徒自身が課題を見つけ探究していくという方法をとらず、教師の一方的な講義による授業となっていることが多い。それは学習内容が多いことや複雑であることに加え、大学の入試方法が依然として知識を問う方式のままであり、そのためより効率的な方法で物理の問題を解く力をつけようとしたときこのような形になるのは当然の結果である。

しかしこのような教師主体の授業においては生徒が受動的になり、自然の現象に興味・関心を持ち物事を自分で考えていこうとする力は育ちにくい。そこで各単元の指導目標を達成させるにあたり、「問題解決能力を育成する」という観点から授業を見直し、毎時間の授業においては自然の事物・現象を体験することからはじめ、その中に生徒自身が問題を見いだし、さらに教師による適切な発問・実験を加えることにより、生徒自身が法則･原理を導き出していけるような授業構成とした。このような「問題解決能力の育成」を中心にした毎時間の授業により、生徒に自ら学び自ら考える「生きる力」の育成ができるものと考えた。

実践をするに当たり、授業の流れがつかめるような学習ノートの作成とその学習ノートで指導者が何を目標としてどのように展開しようとしているのかが分かる指導案の作成を行った。

学習ノートは授業の流れにしたがい、その時間の中心テーマについての問いかけから始まり、実験の略図や表、作図用の図やスペース、問題解決のためのいくつかの質問、練習問題等から構成されている。これを授業時にみることにより、生徒がどこでつまずいているかが分かり、個々の生徒の理解度に応じて適切にアドバイスを与えることができる。

学習ノートに対する指導案は、「問題解決能力の育成」をめざした探究的な学習がどのように構築されているか明確にしてくれるとともに、より効果的な授業展開の方法を多くの教師の実践により再構築していくのに役立つものと思う。

２　指導者の意図

第１節　熱と温度　　水を題材として物質の三態変化を扱い熱現象のマクロな変化を分子・原子の運動状態の違いとして起こることを水銀の熱運動の実験やブラウン運動の観察等により順次モデル化してミクロな観点を育てる。また温度計のしくみを温度変化による原子・分子の熱運動の違いとしてとらえモデル化させる。物質の温まりやすさの違いを実験からつかむとともに、比熱や熱容量の考え方を導かせる。また熱平衡のモデル化や時間的変化のグラフ化をさせ熱の本質について考えさせる。

第２節　気体の法則　　化学ＩＢで学習済みである。気体の法則は実験を通して関係式を導かせたい。物理では温度と熱の本質を深く考えていくとともに、圧力を分子・原子の熱運動というミクロな観点でとらえさせる。

第３節　エネルギーの変換と保存　　鉛散弾の実験より仕事が熱に変わることを理解させ、仕事と熱の量的な関係式を導かせる。気体に対する仕事により内部エネルギーが増加することを理解させるとともに、気体の変化をグラフ化させ熱の出入りを定性的に考えさせる。熱エネルギーを仕事に変える熱機関について理解させるとともに、熱効率を上げるための工夫について考えさせる。様々なエネルギーについて理解するとともにエネルギーの総和は一定普遍であることを理解する。

３　問題解決能力に関する単元案　　単元名　熱とエネルギー

節	時間	学　習　目　標	自然の事物・事象を見る （実験・観察・実習）	問　題　を　見　い　だ　す （生徒の意識・思考）
第１節	1	温度・熱・三態変化をマクロな観点とミクロな観点から理解させる。	・金属内での原子の動きをＶＴＲでみる。水銀の熱運動によりガラス玉が浮くことを見る。ブラウン運動を観察する。 ・フラスコに入れた水を温めると体積が増えることを見る。	固体・液体・気体の分子・原子の状態や動きはどうなっているだろうか。 温度計の仕組みを分子運動から考えるとどうなるのだろうか。
	2	比熱、熱容量、熱平衡、熱量の保存について理解させる。	質量が等しい３種類の金属を温めそれぞれ水に入れたときの温度上昇の違いをみる。	金属と水の温度変化をグラフで表すとどうなるだろうか。 金属と水の温度変化は分子・原子の熱運動で表すとどうなるのだろうか。 金属の種類による温度上昇の違いはなぜ起こるのだろうか。これをどのように表したらよいのだろうか。
第２節	3	気体の圧力をミクロな観点から理解させる。 ボイル法則を実験より求める。	ﾄﾘﾁｪﾘｰの真空を観察する。 気体の入っていない注射器を引いたときピストンが強く戻されることを観察する。 水銀で気体をふさいだ細いガラス管を傾け気体の圧力をかえる。このときの体積の変化と気体の圧力について実験する。	水銀柱が高く上がるのはなぜか。上部に空間ができるのはなぜか。 注射器のピストンはなぜ戻されるのか。 体積と圧力の関係はどのようになっているのだろうか。式で表すとどうなるのだろうか。 ボイルの法則を分子運動から説明するとどうなるのだろうか。
	4	シャルルの法則を実験より求める。 ボイル・シャルルの法則	ガラス管内の気体を温め温度上昇とともに体積が大きくなる現象について実験する。	体積と温度の関係はどのようになっているのだろうか。式で表すとどのようになるのだろうか。 シャルルの法則を分子運動から説明するとどうなるのだろうか。
第３節	5	仕事と熱の関係について理解させる。	鉛の散弾を落下させた時の温度変化について調べる。 圧気発火器で綿を燃やす。	落とすことで鉛の温度は上がるだろうか。 落とす回数や距離と温度上昇とはどんな関係があるのだろうか。 摩擦熱は分子運動でどう説明できるか。 気体を圧縮すると温度が上がるのはなぜか。 分子運動ではどのように表すことができるのだろうか。
	6	マクロな観点とミクロな観点から熱力学第一法則について理解させる。	注射器に入れた気体を温めて膨張させ物体を持ち上げる仕事を観察する。	熱が仕事に変わることがあるだろうか。 気体のする仕事をグラフで表すとどうなるだろうか。 気体のもつエネルギーを分子の運動で表すとどのようになるのだろうか。 温めた気体が膨張し仕事をするときこの関係を数量的に表すとどうなるのだろうか。
	7	熱が仕事になる場合として熱機関を理解させる。	蒸気をプロペラにあて物体を持ち上げる現象をみる。 蒸気機関やガソリンエンジンの動くしくみをみる。	熱エネルギーのうち仕事になる割合をどのように表したらよいだろうか。 効率を上げるにはどうしたらいいだろうか。
	8	すべてのエネルギーの和は一定であることを理解させる。 自然界の現象には、変化の向きが一方の向きしかないことに気づかせ、熱力学第２法則について理解する。	ラジオメータを観察する。 ゼネコン・乾電池・モーター・コンデンサー・豆電球でのエネルギーの変換を確かめる。 二つのゼネコンをつないで１０回まわしたとき、他方のゼネコンが何回まわるか調べる。	エネルギーを変換させるものにどんなものがあるだろうか。 エネルギーは保存されるだろうか。 逆向きには起こらない変化があるのだろうか。それはどんな特徴を持った現象なのだろうか。

４　授業の展開と生徒の活動

節	時間	授業の展開（問題解決の手順）	生　徒　の　活　動
第１節	1	３つの現象について分子運動モデルで考える。 水銀を強く温めるとガラス玉がよく上がることから温度の高さと分子の動きとの関係に気づかせる。 ブラウン運動をコンピュータでシュミレーションし、分子の運動によるコロイド粒子のランダムな動きが説明できることを確認させる。	固体である金属の原子が動くことに驚く。 ほとんどの生徒が、温度が高くなると分子が速くなるような図がかける。 コロイド粒子の動きの説明はなかなかできない。コンピュータのシュミレーションによって納得できた。 温度計のモデル化では、液体の温度による膨張は図示しづらいようである。
	2	手順に従い実験を行う。 金属・水の温度変化をグラフ化する。 熱平衡までの分子運動を考える。 何が移動しているのかを考える。 １グラムあたり１ケルビンあたりの量を考えさせ、比熱の考え方を導入する。	 温度変化を直線的にかくものがいる。 振動が伝わる、運動エネルギーが伝わるとの答えはすくない。 ヒントをあたえても比熱の定義を導けない。
第２節	3	水銀柱が高く上がることやピストンが戻されることを気体分子の動きを図示して説明する。 圧力の単位について説明を受ける。 圧力と体積の関係を実験書にしたがい調べる。	ピストンの動きは多くの生徒が図示できたが、トリチェリーの真空の説明はかけない。 気体の圧力を大きくするしくみが理解できない。実験データのグラフ化と、圧力と体積の関係を導くことはできる。
	4	温度と体積の関係について実験にしたがい調べる。 分子の動きでシャルルの法則を定性的に説明する。	データからグラフをかいたとき、データが直線にのってこない班があり、無理矢理直線を引くことになった。また温度軸との交点が-270℃付近にならず、よいデータがとれない。 ボイルの法則、シャルルの法則を分子運動で考えるとき単位時間の衝突回数の増加にはなかなか気づかない。
第３節	5	鉛散弾の実験をおこなう。 摩擦熱のしくみを分子の図をかいて説明する。 ピストンとの衝突による気体の運動の違いを図示する。分子が速くなることを台車で説明する。	重力のした仕事と発熱量については比例関係がつかめる。 誤差が大きい班が多くＱ＝Ｗといいづらい。 分子が速くなることと温度が上昇することが結びつかない。また断熱圧縮における気体の内部エネルギーの増加が理解できない。ミクロな分子運動は分かるがマクロな温度や内部エネルギーの変化と結びつかない。 断熱圧縮のグラフは説明しても理解できない生徒が多い。
	6	気体のする仕事をグラフで表すとともに数式で表す。 気体の分子の運動エネルギーに着目し内部エネルギーの概念を理解する。 気体の内部エネルギーを増やすことを考え、熱力学第１法則を導く。	仕事を面積で表すことは半分程度の生徒ができた。 内部エネルギーについてはよく分からないようである。 Ｕ＝Ｗ＋Ｑの関係もなかなか導けない。
	7	熱機関の例として蒸気機関のモデルを実際に観察したり、ガソリンエンジンのＶＴＲをみる。 熱機関の要素をあげる。 熱効率について適切な表示の仕方を式で考える。 効率を上げるにはどんな工夫をしたらよいか。	 要素をあげるのは難しい。 半分ほどの生徒が式を導くことができる。
	8	ラジオメーターでは、どんなエネルギー変換が行われているか考える。 エネルギー変換の図に、実験で使った機器の名称を入れる。 不可逆変化と可逆変化において熱がどう関わっているか考える。 熱力学第２法則を理解する。	太陽のエネルギーが核エネルギーであることを知らない生徒が多い。光のエネルギー、物体や気体の運動エネルギーに気づかない。 実験からは保存されないとの結論となるが、熱エネルギー等に変換される分を考え、全体ではエネルギーが保存されること理解する。 不可逆変化の例は理解できるが、熱力学の第２法則の言い回しは表現できないしまた理解できない。

5　学習ノートの指導案

ノートＮｏ.１　熱と温度　１／８時間

指導目標

１）経験的に知られている熱、温度、比熱、熱容量、熱量の保存、および熱と仕事の関係についてマクロな観点とミクロな観点から理解させる。

２）温度とか熱の本質をミクロな観点からさらに深く考えるために、気体の性質についてマクロな観点とミクロな観点の両方からさらに深く考えさせる。

授業展開

０　本字のテーマを生徒につかませる

物質の３態については化学で学習済みである。「加熱したときの水の状態変化のグラフ」を説明しながら、熱と温度変化について思い出させながら、固体・液体・気体と変化していくときの熱との関わり合いを気づかせるとともに、そのときの原子・分子の様子を考えさせる。

１　自然の事物・現象をみる

金属内での原子の動き（VTR）、加熱した水銀によってガラス玉が浮かぶこと、花粉やたばこの煙のブラウン運動などの現象をみせる。

２　問　題　を　つ　か　む

『温度が上がるとき原子や分子の動きはどのようになっているのだろうか』

３　解　決　法　を　つ　か　む

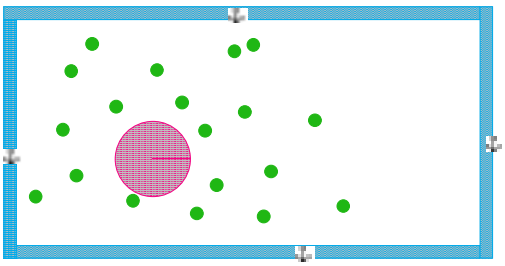
金属原子の運動については、ＶＴＲで見るとおりうごいていることがわかる。

加熱した水銀によってガラス球が浮く現象やブラウン運動の現象を分子運動から説明させる。分子が激しく動き花粉や煙に衝突することによってブラウン運動がおきることや、水銀の原子が加熱され激しく動くことによりガラスの破片やガラス球を動かすといった現象のモデル化をさせる。

これらの分子の動きについては、コンピュータのシュミレーションを見せることにより理解が図れる。分子運動によってコロイド粒子が無秩序に動き回るということがよくわかることと思う。（インタラクティブフィジックスによるシュミレーション）図参照

ノートＮｏ．１

図

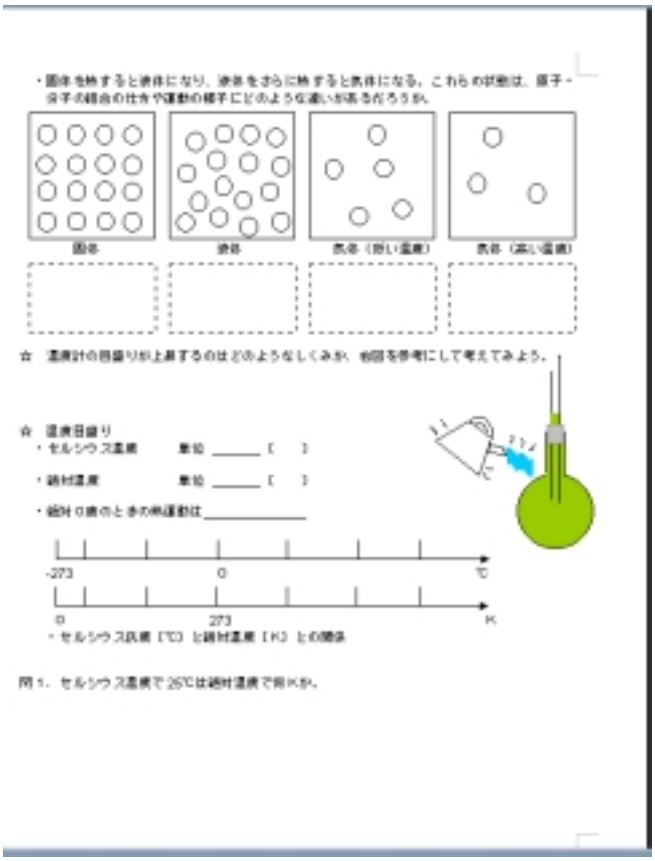


２’問　題　を　つ　か　む

『固体・液体・気体を分子モデルで表すとどのようになるだろうか』

３’解　決　法　を　つ　か　む

☆　３態モデルの作成



すでに中学校や高校での化学で学習済みである。復習しながら、分子・原子のつまり具合や、分子・原子が固体の時にはどうして離ればなれにならないのかなど質問しながら分子間力などもモデル化できるとよい。

気体の高温・低温のちがいについては、水銀を強く加熱したときに激しくガラスの破片が動いたことをヒントとして与え、分子速度の大・小で表せるようにする。

☆　温度計のしくみ

温度が上がることにより液体の熱運動が激しくなり、分子間の距離が大きくなることによる体積膨張を利用していることが書ければよい。

フラスコとガラス管による温度計のモデルは実際に演示し体積膨張によって液体が膨張することを観察させ、ヒントとするとよい。

☆　温度目盛り

温度とは「分子の熱運動の激しさをあらわす目安」という程度の説明をしておく。

温度の２つの表し方について歴史的な話も加えて簡単に説明する。

セルシウス温度と絶対温度との関係

$T=273+t$

は導かせたい。

6　考察

毎時間実験観察から始まることで、生徒はかなり意欲的に取り組んでいた。さらにそれらの現象に対して質問の投げかけは個々の生徒に物理的な現象に対して関心を高めていったことと思う。また個々の生徒がどんな考え方をしているかまたどの程度理解しているかがノートへの書き込みをみることでわかるため生徒一人一人の学習状況に応じて適切な助言ができた。

実験・観察をおこない、その現象を生徒自身が言葉や数式にしていくという過程は、生徒自身に「受験問題を解く」時とは異なる能力を必要とし「自然現象から問題をつかみその本質を見抜き、法則としてまとめる」という「問題解決能力」が身についていくことと思われる。

物理現象は数式で簡単にまとめられていることが多いが、生徒がこのような数式で物理現象を表すにはそれなりの数学的な知識が必要である。熱とエネルギーの分野では定性的な関係式にとどまり、とりわけ難しい数学の知識を必要としなかったが、波動分野では正弦曲線・ラジアン・双曲線のグラフや関係式等を知らなくては法則化が難しく正しい結論に至るのは難しい。そのため、知識の伝達という形を取り、教師の一方的な授業形態になりがちであるが、物理現象を法則化していくという大切な部分ではできるだけ生徒自身に考えさせ、時間をかけて安易に答えを出さないようにしたい。

しかし、熱力学の第２法則のように、いくつかの問いで生徒自身が法則や関係式を導き出すことはかなり難しいことであり、時間をかけることで解決できる内容でもないことと考えられる。したがって生徒の実状に応じて探究的に扱うところと教師による説明だけですましていくところとを区別しておくとよいと思う。

7　おわりに

物理現象を観察しその中から問題点を生徒自身に見つけさせ、さらに解決法を考えさせて正しい結論を得る過程は生徒にとって興味深く、「問題解決能力」の育成という点から考えてもよい学習方法となる。その点から考えると「課題研究」という方法はよいものだと思う。しかし高等学校では受験があることや学習させたいことが多いため、このような学習方法は時間不足となる。また自然界の現象は複雑であり、初めからすべて考えさせることはきわめて効率が悪いことや正しい見方をし損なう危険性もあるため、自然現象を見る視点や解決していく視点を教師側から与える必要がある。

この単元での授業は、このようなことを踏まえ物理の法則を天下り式の教えるのではなく、自然の現象を観察し教師側からいくつかの視点や質問を与えることによって、物理の法則や考え方を生徒自身に身にけさせていこうと試みたものである。

これまで実験・観察をなるべく多く実施するようにしてきたが、授業をはやく進めることが先に立ち、生徒にじっくりと考えさせることはなかなかできなかったし、個々の生徒の状況を見るという余裕もなかった。今回この講座を通して「問題解決能力の育成」をどのように行うとよいのか考え、生徒の将来にわたり必要なものを育成するという観点で自分の授業を再構成できたことは大変有意義なことであった。また、生徒に授業ノートを使って考えさせたり作業させたりするときに、教師自身が黒板を離れ、生徒の間に入っていき、個々の生徒のつまずきを取り除く時間が取れるようになったことは大きな進歩であった。