**個体の比熱の測定**

**~目的~**

　多くの場合、物質は熱を吸収することによって、その温度を変化させる。しかし、極端な場合、熱を吸収しなくとも、その温度は変わり得る。すなわち、一定の温度変化をもたらすために、物質が吸収しなければならない熱量は、一義的には定まらない。まず始めに、我々が比熱と呼んでいるものは、どのような場合について、定義されているものかを、明らかにしておかなければならない。本実験では、水熱量計を用いて、金属の比熱を測定する。この熱量計は、ほかの熱量計と較べて、決して精度の高いものではない。しかし、本節の目的は、精度の高い測定値を得ることではなく、この簡単な装置を使って、物質による熱の吸収や放出、熱平衡といった熱力学の基本を、実験を通して理解することである。

**~理論~**

1. 熱容量

ある物質が、*ΔQ[J]*の熱量を吸収し、その温度*T1[K]*から*T2[K]*に変わったとする。このとき、

*C=ΔQ/(T2—T1)　[J･K-1]*･･･(1)

を、その物質の、温度*T1*から*T2*までの、平均の熱容量という。一般的には*T2*を*T1*に近づけた極限を考えて、次のように表す。

*C=δQ/dT [J･K-1]*　･･･(2)

この時*C*を、温度*T1*における、その物質の熱容量という。すなわち、熱容量とは物質がある温度で、その温度1K高めるために吸収しなければならない熱量のことである。

ところで、(2)式において、物質によって吸収される熱量を普通の微分記号のように*ⅾQ*書かないで、*δQ*と表してのは次のような理由による。物質がある*T*で、その温度を*ⅾT*だけ上昇させるために吸収しなければならない熱量は、実験条件によって異なる。例えば、ある物質に一定の圧力を加えながらその温度を*ⅾT*だけ高めた場合と、その物質の体積を一定に保ちながら同じ温度*ⅾT*だけ高めた場合を考える。この時、物質は後者の場合よりも前者の場合においてより多くの熱量を吸収する。極端な場合、物質は熱を吸収することなしに、その温度*ⅾT*だけ高めることができる。この場合、その物質の熱容量は0ということになる。

この様に、**物質によって吸収される熱量は、実験条件によって異なる。**実験条件は無限にあるので、吸収される熱量も無限に異なった値がある―――それゆえに、同じ物質について、無限に異なった熱容量があることになる。このような訳で、吸収される熱量は、実験条件を指定しない限り、一義的には定まらない。このことから「この物質は熱量*Q*をもっている」というような言い方はできないことがわかる。何故ならば、我々はこの物質が、過去にどのような実験条件を経て、今我々の前にあるかを知ることができないからである。したがって、「ある量*ⅹ*があって、それが*ⅾQ*だけ増加する」という数学的表現と同じように、「熱量*Q*がって、それが*ⅾQ*だけ増加する」という表現はできないのである。*δQ*は単に、物質によって吸収される熱量を表しているに過ぎない。

　上に述べたように、実験条件を指定しないと、同じ物質でありながら、無限に多くの異なった熱容量があることになり、大変不便である。そこで、通常、我々は次の2つの場合についてのみ、物質の熱容量を定義する。

(1)外部圧力を一定に保って場合　(2)物質体積を一定に保った場合

1. 定圧比熱と定積比熱

　物質の吸収する熱量は、その物質によっても異なる。したがって、いろいろの物質の熱容量を比較したいときには、同じ質量の熱容量で比較するのが一番良い。

(1)式において*ΔQ*を*M[kg]*の質量の吸収する熱量とすると

*c=1/M ･ ΔQ/(T2—T1) [J･kg-1･K-1]*　･･･(3)

を温度*T1*から*T2*までの、平均の比熱といい、

*c=1/M ･ δQ/ⅾT [J･kg-1･K-1]*･･･(4)

を比熱という。

すなわち、「比熱はある温度にある1kgの物質が、その温度を1K高めるために吸収しなければならない熱量」を表している。

　前節で述べた理由により、我々は次の2つの実験条件のもとで得られる比熱を、物質の比熱として採用する。

(1)定圧比熱　*cp*:外部の圧力*ｐ*を一定に保ちながら1kgの温度を、1K高めるために必要な熱量。この場合、物質は温度の上昇とともにその体積を膨張し、外部の圧力*ｐ*に対して仕事することになる。そのとき物質のする仕事はpΔDである。ここで、*ΔⅤ*は膨張した部分の体積である。

(2)定積比熱　*cv* : 1kgの物質の体積*V*を一定に保ちながら、その物質の温度を1K高めるのに必要な熱量。この場合、物質が膨張しないように、温度が高くなるにつれて、外部からそれだけ大きなある力を加えてやらなければならない。

これら二つの比熱のうち、定圧比熱の測定のほうが容易である。個体の場合、定積比熱を実験的に求めるのは困難である。多くの場合、定積比熱cvは、測定されたcpより理論的に求められる。

1. 個体の比熱の温度による変化

　一般に、個体の定圧比熱は温度と圧力によって変化する。しかし、圧力による変化は極めて小さいので、ここでは温度による変化のみに注目する。

　アルミニウムの定圧比熱の温度変化は、およそ273Kから800K位までの温度範囲で、アルミニウムの定圧比熱は、温度とともに直線的に増加している。したがって、この温度範囲で、定圧比熱は、次のような実験式で表される。

*cp(A1)=765+0.460T [J･kg-1･K-1]*　･･･(5)

　一方、273K以下で、アルミニウムの定圧比熱は急激に減少し、絶対零度では0に近づいている。

　このようにして、*cp*が温度の関数として決定されると、物質の温度が*T1*から*T2*まで変化する間、その物質が吸収する熱量は(4)式を積分することによって求められる。

1. 水熱量計による定圧比熱の測定原理

　水熱量計は、断熱材で囲まれた銅の容器と、温度計、かくはん棒からなる簡単な装置である。いま、質量*Mc*の容器に*Mw*の水が入っていて、温度*Tw*で熱平衡にあるものとする。次にこの中に質量*Ms*、温度*Ts*(>*Tw*)の比熱の測定をしようとする試料を入れたとしよう。試料が熱を放出し、容器と水がこの熱を吸収することにより、最終的には全体が温度*T*で熱平衡になるであろう。外界からの熱の出入りがないとすると、上に述べたことは次式によって表される。

*Mscs(Ts-T)=Mwcw(T-Tw)+Mccc(T-Tw)*　･･･(7)

この式で、*cs*、*cc*、*cw*はそれぞれ試料、容器、水の平均の定圧比熱である。上式で、*Mccc*は容器の熱容量であるが、

これを次のように表しなおしてみる。

*Mccc = cw(Mc×cc/cw) = cwH*･･･(8)

ここで、

*Mc×cc / cw = H　･･･(9)*

と置き換えた。(8)式は、*Mccc*という容器の熱容量が、*H[kg]*の水の熱容量と等価であることをしめしている。すなわち、熱的には、*Mc[kg]*の銅の容器があると考える代わりに*H[kg]*の水があると考えてもよい――ということを表している。この理由から、*H*を熱量計の**水当量**と呼んでいる。この水当量を用いると(7)式は、

*Mscs(Ts-T)=cw(Mw+H)(T-Tw)*･･･(10)

となる。この式は、試料の放出した熱量が、熱容量0の熱量計の中にある*(Mw+H)[kg]*の水によって吸収された――と解釈してもよい。

　実験で測定される*H*には、銅の容器ばかりでなく、温度計やかくはん棒の一部の水分量も含まれている。

**~実験方法~**

Ⅰ.水当量の測定

　乾燥した銅製の容器の質量を*M1*

　容器に四分目くらい水を入れ、全体の質量を*M2*

　これらを熱量計の箱にいれ、しばらくして測定した温度を*T1*

　ビーカーに水を入れ、沸騰した時の温度を*T2*

　沸騰水を加え、撹拌しながら最高温度を*T3*

　容器を取り出し、全体の質量を*M3*とする。

*H={(T2-T3)/(T3-T1)}×(M3-M2)-M2+M1*･･･(11)

より水当量を求める。

Ⅱ.比熱の測定

　試料の質量を*M*

　銅製の容器に半分ほど水を入れ、全体の質量を*M4*

　これらを熱量計の箱にいれ、しばらくして測った温度を*T4*

　試料を沸騰水の中にいれておき、その時の温度を*T5*

　撹拌しながら最高になった温度を*T6*とする。

*cs={cw(M4-M1+H)/M}{(T6-T4)/(T5-T6)}*･･･(12)

　より、試料の平均の定圧比熱csを計算する。

**~実験器具~**

* 水熱量計(温度計とかくはん棒付属)
* 天秤
* ビーカー(500cc)
* ヒーター
* 試料(アルミニウム､銅亜鉛､鉛､鉄､黄銅 etc…)

**~実験日及び気象条件~**

* 7月3日(水曜日)
* 気温　24℃
* 湿度　50%
* 気圧　980hPa

**~計算~**

(11)式により、H≒4.51×10-2kg

以下､(12)式を使用する。

比重②の計算

cs={4.18×10-3(0.2788-0.1272+4.51×10-2)}/0.1008

　　　×　(29.5-26.0)/(98.8-29.5)

　≒411.96　　≒412[J･kg-1･K-1]

　よって、比重の測定②は鉄である。

　同様に、①と③を計算した結果。

　比重の測定①は

　のため、アルミニウムである。

　比重の測定③は　cs≒348[J･kg-1･K-1]

　のため、銅である。

**~検討及び考察~**

理論Ⅰの熱容量より、実験条件を指定しないと熱容量は無限に多くの異なった熱容量があることになるとあったので、同じ条件でほかの個体の熱容量がどうなるのか自分で実験してみたいと思った。

今回の目的の熱力学の基本について実験を通して理解することであった。自分自身理解が身についたかは実感できないが、熱の吸収や放出は人体でも日常的に行われているはずである。たとえば、睡眠時や運動後、真夏日に汗をかくのは体温を調整するために、熱を放出するためであるはずだ。

今回の実験では、それについて物質を使用し、理解を身に着ける。理解を深める。とのことだと個人的に解釈していて、この解釈であっているならば、熱力学の基本は理解できたはずだ。