Osaka University Knowledge Archive

Title	温度測定における思わぬ落とし穴
Author(s)	稲葉, 章
Citation	大阪大学低温センターだより. 1991, 76, p. 23-25
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/9693
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

温度測定における思わぬ落し穴

理学部　稲葉　章（豊中4211）

低温で温度測定をする場合、思わぬ落し穴に陥って間違った結果を出してしまうことがある。問題は多種多様で（必要とする精度にもよるので）一般的に述べることはむずかしいが、熱測定を行ってきた筆者の経験を少し述べてみよう。

(1)　温度計の選び方

実験的な制約でこれしか使えないという場合は別であるが、ふつうは市販の熱電対か抵抗温度計（ゲルマニウム、カーボンなどの半導体、白金、ロジウム・鉄合金などの金属）ということになる。絶対温度を測定するには抵抗温度計がよく、熱電対を使って0.1Kより良い精度で温度を求めようとするのはやめたほうがよい。

抵抗温度計の“感度”を議論するにはdR/dTよりもdR/RdTで比較するのが実際的。そこで、温度計選びのための資料として、代表的なものの感度特性を図1に示しておいた。ただ、“感度”を稼ぐために過大な測定電流を流している例が多いので一言。温度計の“自己加熱”は極力抑えなければならない。したがって、この値に実際の測定電流を掛けた値が使用時の温度計の感度をよく反映していると言えよう。

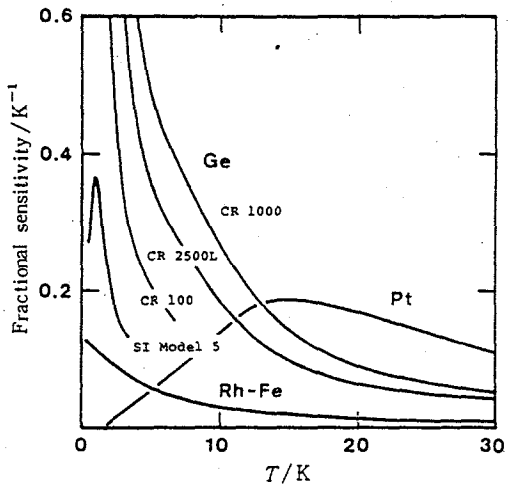

図1　抵抗温度計の感度比較

カーボンガラス温度計については、0.1%より良い安定性を望むのはまだ無理なようだ。この点、ゲルマニウム温度計の方が遙かによい。それでも意外に不安定なものに出会うことがあるので注意が必要。一方、ロジウム・鉄合金温度計は、使い方にもよるが、室温以上に温度を上げないように管理してもなお抵抗値は経時変化し、（−5ppm／年）程度のドリフトがみられるようである。

(2)　温度計の取り付け方

温度測定をする場合、温度計の校正さえ正確に行われていれば、対象物との熱接触が最大の問題である。温度計の温度が知りたいのではなく、対象物の温度が知りたいのだ。低温では、外部からの輻射をシールドしてやること、固体接触の確保に努めることが重要である。ヘリウム温度付近での測定で、温度計が窒素温度を見ているようではいけない。また、周囲がヘリウムガスで満ちている場合でも温度計の宙吊りは禁物。周囲が真空の場合には問題はもっと深刻である。かつて、ニードル弁を有する熱量計で実験していて、弁の締め方が不十分だったためにニードルが熱的に浮き上がり、全体が一向に熱平衡

表1　蒸気圧温度目盛の係数

	^{3}He 0.65K～3.2K	^{4}He 1.25K～2.1768K	^{4}He 2.1768K～5.0K
A_0	1.053 447	1.392 408	3.146 631
A_1	0.980 106	0.527 153	1.357 655
A_2	0.676 380	0.166 756	0.413 923
A_3	0.372 692	0.050 988	0.091 159
A_4	0.151 656	0.026 514	0.016 349
A_5	−0.002 263	0.001 975	0.001 826
A_6	0.006 596	−0.017 976	−0.004 325
A_7	0.088 966	0.005 409	−0.004 973
A_8	−0.004 770	0.013 259	0
A_9	−0.054 943	0	0
B	7.3	5.6	10.3
C	4.3	2.9	1.9

に達しなかった失敗を筆者は経験している。できれば、サンプルに直接、温度計を締め付けたいくらいである。

抵抗温度計の場合には自己加熱の熱を逃がすためにも固体接触は重要。また、ヘリウム温度付近では、金・鉄－クロメルはクロメル－コンスタンタンよりも感度は良いが、金線による熱伝達もすばらしくよいことに注意を払おう。熱電対は、感温部の熱容量がきわめて小さいので、少しの熱流入でも指示温度は影響を受ける。スコッチテープで固定するだけで安心していては、とんでもない温度を測ってしまうことになる。

(3)　温度目盛りと校正の問題

まず、窒素の沸点温度のことを“77K”と呼び、液体窒素にジャブ漬けにすればその温度が得られると思っている人に、深さによって案外大きな温度差があることを認識してもらおう。それは自重による圧力の影響であるが、深さ1mのところで沸点は約0.6 K高い。液体酸素の場合には1Kにも及ぶので馬鹿にはならない。細長いデュワーを使う場合には注意した方がよい。

最近では、校正済みの温度計が比較的手ごろな価格で入手できるので、自分で校正することはあまりなくなった。しかしヘリウム蒸気圧温度計などは簡単に実現できるし、ごく最近、新しい目盛り（ＩＴＳ－90）が制定されたことでもあるので、それをここに示しておこう。蒸気圧目盛りは次式で与えられている（係数は表1に示す）。

$$T/\mathrm{K}=A_0+\sum_{i=1}^{9}A_i\,[(\ln(p/\mathrm{Pa})-B)/C]^i$$

これまでの目盛り（T_{58}、T_{62}）は約0.17%低すぎた。

自分で校正しないと気が済まない人のために、どれだけの校正点をとれば精度が確保できるかの目安を示そう。1.6～27Kでゲルマニウム温度計を校正して結果を多項式

$$\log(T/\mathrm{K}) = \sum_{i=0}^{n} a_i (\log(R/\Omega))^i$$

で最小自乗法によってフィットする場合の例。ふつうは$n=15$くらいまでとり、log$T$にしてほぼ等間隔に、4n個くらいの校正点をとれば最高級の校正ができる。ロジウム・鉄合金温度計の場合、0.2 mK以内でフィットするには温度域が0.5～4 Kなら4次式、0.5～27Kなら11次式が目安。

目盛り付きの温度計が入手できた人のために。いくつかの温度域に分けて校正式が与えられている場合には、その継目に注意が必要。数年前に購入したロジウム・鉄合金温度計は校正付きであったが、27 Kで目盛りが分けてあった。この継目で温度値にして6 mK、微係数にして1％の不連続があるのを確認せず、そのまま使って失敗したことがある。熱容量測定では、目盛りの微係数の不連続も致命的となる。

以上、幾つかの失敗例を含め経験を紹介したが、温度測定は結局のところ、自分の実験にあった気配りをするしかないと言えるくらい問題点は千差万別である。各人が失敗を重ねながら上達していくしかないのかも知れない。

編集委員の異動

低温センターだよりの編集委員が交代します。

（旧）古川久生（基礎工学部・制御）

（新）右手（うて）浩一（基礎工学部・合成化学）