

現在の定義は「熱力学温度の単位、ケルビン、は、水の三重点の熱力学温度の $1/273.16$ である」でした。絶対零度から水の三重点という二つの定点の間を 273.16 等分（切りが悪いですが）して目盛を振った、その一目盛が 1 ケルビン、と言う事になります。

新しい定義は前報までに報告したとおりボルツマン定数で示されます。その案は

「ケルビン、 K 、は熱力学温度の単位である； その大きさは、単位 $m^2 kg s^{-2} K^{-1}$ （それは $J K^{-1}$ に等しい）で表したときのボルツマン定数 k_B の数値が正確に $1.3806 \cdots \times 10^{-23}$ に等しくなるように設定される。」とされています。（ \cdots は今後の研究報告によって正確に決定されます）単位は $J K^{-1}$ とも等価であることから、ボルツマン定数は熱力学温度 T を、熱エネルギー E_{thermal} に変換する係数であることになります。

$$\text{すなわち } E_{\text{thermal}} = k_B T$$

ボルツマン定数で表すこと自体は気体分子の熱運動という、古典力学でも理解できる理屈です。ただし 1 ケルビンあたりのエネルギーはマイナス 23 乗という、べらぼうに微小な量になってしまいます。前報で触れた理想気体の状態方程式 $PV = nRT$ は、この微小なエネルギーをアボガドロ定数（逆にプラス 23 乗レベル）という人間のスケールで扱いやすい集団にスケールアップしたもの、と見ることも出来ます。また、質量の再定義でプランク定数が 34 乗という、これまたべらぼうに微小な量になってしまうのと同様、微小な量となるのは量子というそれ以上小さく出来ないレベルを単位とする宿命とも言えましょう。

ボルツマン定数自体は気体の熱力学的な状態を表す係数ですから、定義を現示する装置（直接熱力学温度を測定出来るという意味で 1 次温度計）は、これまでの気体温度計（例えば定積気体温度計）がそのまま使えます。また、ボルツマン定数は微粒子が液体や気体分子の影響を受けてランダムに振動する現象（ブラウン運動）、電子が熱によって運動し、その揺らぎが雑音となって電流に現れる現象（熱雑音）、など、熱による粒子の振る舞いに必ず関わっていることが判っています。このような事から複数の原理からボルツマン定数を元にした 1 次温度計が提案されています。具体的には表 1 のような温度計が開発されています。

表 1. 主な 1 次温度計（現示手段）

熱エネルギーの影響を受ける粒子	熱力学温度との関係 (但し単純化している)	温度計の名称
気体分子	圧力・体積が熱力学温度に比例	定積気体温度計
気体分子	音速の二乗が熱力学温度に比例	音響気体温度計
気体分子	比誘電率を測定し、気体密度を介して状態方程式に帰着	誘電率気体温度計
電子	雑音相当の電力値が熱力学温度に比例	ジョンソン雑音温度計
光子	熱による光放射の波長分布が熱力学温度に依存する	絶対放射温度計

またそれぞれの温度計による測温範囲は図1のようになります。

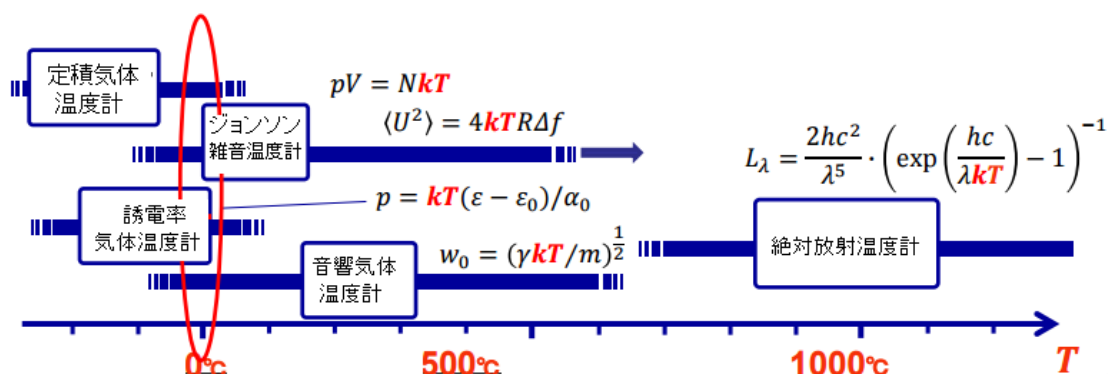


図1. 1次温度計の種類と測温範囲

(2016年2月17日・国際計量標準シンポジウム山田善郎氏の発表資料を元に作成)

複数の原理を用いることで広い範囲で熱力学温度の測定が可能になることが判ります。逆に言うと、ボルツマン定数を定義とすることで様々な現象を熱力学温度に結びつけられるのです。質量で表れたプランク定数同様、ボルツマン定数も様々な物理現象というドラマに顔を出す、いわば売れっ子、より基本的な定数という事が出来ます。

さて、定義の改定によって熱力学温度の定義現示精度が悪化しては元も子もありません。現在の定義定点である水の三重点は、再現性がマイナス6乗を少し切るレベルとされています(1ppmより小さい)。従って、ボルツマン定数はそれより良い精度(小さい不確かさ)で決定される必要があります。現在ボルツマン定数の値はVol.77でも触れたCODATA(科学技術データ委員会)という国際委員会がとりまとめたところでは、不確かさは 5.7×10^{-7} と推定されています。すなわち1ppmを切っており、この点では十分小さい不確かさを達成していると言えます。

定義の改定という重要な判断を前にして、Vol.76で触れたようにメートル条約傘下での温度計測に関わる技術委員会(測温諮問委員会: Consultative Committee for Thermometry: CCT)ではより慎重に、改定の条件を下記のとおりとしました。

- ・ボルツマン定数の相対標準不確かさが1ppm未満であること(現状達成済み)
- ・根本的に異なる少なくとも2つの方法の結果が整合し、かつそれぞれ少なくとも1つの結果の相対標準不確かさが3ppm未満であること

つまり表1で示したいくつかの測定方法によるボルツマン定数の測定結果が整合し、そのうちのひとつは3ppm未満の不確かさで計測できていれば良いことになります。

現在日本を含む、世界複数の計量標準機関(NMI)の元で、ボルツマン定数の測定が進んでいます。その結果がCODATAで統計的に処理された結果、上記2つの条件が整った時、定義が改定され、ボルツマン定数は確定値となり、ケルビンはボルツマン定数を元に現示されることになります。それが予定されるのが、質量などと同様2018年なのです。

文責: 臼田孝 本文章は個人の見解であり筆者が属する如何なる組織を代弁するものでもありません。引用明記のない写真・図版は筆者または産業技術総合研究所に帰属します。