

現在の定義である水の三重点は安定で、再現性も良好です。ところがその定点を少しでも離れると同じ精度では温度を測れない、という問題があります。これは水の三重点という、唯一の定点を出発点とする以上避けられない問題です。ボルツマン定数は熱運動する粒子のエネルギーと熱力学温度の関係を表す定数なので、1ケルビンが何ジュールのエネルギーに相当するかを直接得ることが出来ます。適当な1次温度計が得られれば（これが難しいのですが）、どの温度域でも正確な温度測定を期待出来ます。

そのための第一歩が、前報で示した各種の1次温度計による、ボルツマン定数の測定なのです。質量でプランク定数が十分小さい不確かさで確定された後、矢印が逆になってプランク定数で質量が定義されるのと同様、ボルツマン定数が十分小さい不確かさで求められて後、ボルツマン定数で温度が定義され、現示されることとなります。

定義改定前後でのボルツマン定数と水の三重点の関係は下記のようになります。

表1. 定義改定前後の水の三重点とボルツマン定数の関係

	ボルツマン定数	水の三重点温度
現状	$1.380\ 648\ 52\ (79) \times 10^{-23}\ \text{J/K}$	273.16 K (0.01 °C)
	相対不確かさ 5.7×10^{-7}	相対不確かさ 0
再定義後	$1.380\ 6\cdots \times 10^{-23}\ \text{J/K}$ (定義値)	273.16 K (将来は測定により決定)
	相対不確かさ 0	不確かさは定義改定時に決定 相対不確かさ 5.7×10^{-7} の場合 0.16 mKに相当

これも質量の場合と同様、ボルツマン定数は定義の改定に際し、定義値となって不確かさがゼロとなります。その分、現在の定義を担っている水の三重点に不確かさが委ねられます。

このような定義改定に伴うメリットには次のような点が上げられます。

- ① 物質に依存しない単位の普遍性が得られる
- ② 特定の温度域・温度計を優遇しない
- ③ 熱力学温度測定活用の促進となる
- ④ 水の三重点の実現不確かさに制約されない熱力学温度測定精度向上
- ⑤ 水の三重点から離れた温度域での熱力学温度測定精度向上

一方で定義が判りにくい、という懸念はあります。ただ、高校の物理でも気体分子の運動エネルギー平均値を与える定数としてボルツマン定数が解説されているので、質量に比べればさほど難解とは言えません。何よりボルツマン定数がエネルギーと熱力学温度の関係を表す定数であることを考えれば、理に合った定義です。では実際定義の改定によって、

(熱力学) 温度計測はどのような影響を受けるでしょうか。

質量の再定義同様、定義の改定前後では物理定数が確定されて不確かさがゼロになる代わりに、現在の定義現示の手段である、キログラム原器・水の三重点にそれぞれ不確かさが委ねられます。キログラム原器については、時間の経過による質量変動がどうやら事実らしいということで、ある時点で手打ちしてプランク定数を定め、キログラム原器には引退してもらう必要がありました。これに対して水の三重点セルは、いくらでも製作可能です。また、水の純度（同位体比も含め）に影響されるものの、物性値である三重点自体が変化するとは考えられません。

ボルツマン定数によって熱力学温度とエネルギーとが関係づけられる、すなわち真の意味でSIが整合化する、という利点はあるものの、今この時点での熱力学温度定義改定には慎重な声もありました。また、温度はマクロな系における物理量であるから、量子論的な定数に基づいて定義するのは望ましくないのではないかと主張する計量学者もいます。さらに利点②に述べた利点「特定の温度域を優遇しない」は、逆に言うと現在非常に再現性が優れている温度域での測定で目盛にズレが生じる可能性をはらんでいます。仮にこのようなズレが生じた場合、最も影響する事例のひとつは寸法計測です。例えば鉄の膨張係数は 10^{-5} 1/K レベルなので、1m 当たり 1°C 温度上昇によって 10 マイクロメートル変動することになりますが、精密計測の現場ではミリケルビンレベルの温度差が問題とされています。仮にサブミリケルビンレベルでも定義の改定によって温度がずれたり、不確かさが増えたら、無視できない影響となります。もちろんボルツマン定数の測定は現在も進行中で、十分な精度で定義改定に進むことが見込まれます。それでもハイテクの世界では温度計測の都合だけ考えて済むわけではありません。温度計測結果がどのような影響を与えるか、慎重に見極める必要があります。

そこで、熱力学温度の定義が改定されても温度目盛は変えないことになっています。ここまでさんざん定義改定の話をしていながら恐縮ですが、定義改定は温度目盛に影響せず、定義改定後も相変わらず水の三重点は 0.01°C で、Vol.79 で紹介した「国際温度目盛」も変わらないことになっています。従って定義改定前後であっても、皆さんが使う温度計はそのまま使えます。但し、将来的には温度目盛を改定し、より熱力学温度に近づけようという活動が既に始まっています。

我々は体温が 0.5°C 変わればどれだけ体調に影響するか、風呂の温度が 1°C 違うとどれだけ湯加減が変わるか、肌身に染みんでいます。改めて温度目盛が定められてきた経緯を振り返ると、生命に不可欠な水の状態（氷点・沸点）を百等分して表したのは実に巧妙なものだったと思います。そしてこのような常温での私たちの暮らしを快適にするために、温度計測の精度向上が図られてきた訳です。もし私たちが金星のように鉛も溶けるような灼熱の世界で生きている生物だったら、鉛を温度の定点に選んでいたかも知れません。定義改定はそんな灼熱の世界とも測定の一貫性をもたらしますが、当面はその利点よりも現在の温度目盛に安住する便宜を選ぶという訳です。

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。