

「いかん…魔法周波数が低すぎる…っ !!」

坂口 裕靖

先日は日本学術会議公開シンポジウム「新しい国際単位系 (SI) 重さ、電気、温度、そして時間の計測と私たちの暮らし」という講演を聴きに行ってきました。日本学術会議講堂で行われたわけですが、そのトイレがアフォードブルではなかった (押戸なのに取手がついてる) のはご愛嬌。

会場は講演開始時にはほぼ満員で、壁の方には立ち見の方もいるほどの大盛況でした。実際にはぼつぼつと席が空いていたため、頑張れば空孔なしの満席だったのではないのでしょうか。空席が満たせなかったのは、何人もの方々にすみませんすみませんとしない奥の方に入れない座席の構造が原因かもしれません。あちらこちらに twitter の有名人が座っているのに対し、プレス用に確保されていた座席が割とガランとしていたのは残念。

今回のシンポジウムは、2018年11月

に開催された国際度量衡総会 (CGPM) にて、キログラム・アンペア・ケルビン・モルの新しい定義が承認され、今年の5月20日から発効する●見込み●になったことを記念して開催されたものです。実際には番狂わせも発生せず、2018年11月16日の総会にて、無事満場一致で承認されたため、予定通り開催の運びとなりました。まあ、承認されなかったときにどうなったかは知るよしもありませんが、幸いそちらの世界線は選ばれなかったようです。

この改定により、国際単位系で最後まで残っていた原器を必要とする単位であったキログラムを原器から開放することができた一方、筆者らが高校の頃習ったような状況がごっそり入れ替わることにもなったわけです。なんというか、国際単位系においてやっと21世紀が到来した、ということかもしれません。

まず、必要となる物理定数関係が、全て測定値ではなく定義値となりました。具体的には (1) セシウム 133 の超微細構造準位の遷移周波数 $\Delta \nu_{Cs}$ を $9\,192\,631\,770\text{Hz}$ とする (2) 真空中の光速 c を $299\,792\,458\text{m/s}$ とする (3) プランク定数 h を $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}\text{Js}$ とする (4) 電気素量 e を $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}\text{C}$ とする (5) ボルツマン定数 k を $1.380\,649 \times 10^{-23}\text{J/K}$ とする (6) アボガドロ定数 N_A を $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ とする (7) 発光効率 K_{cd} を 683lm/W とする、の7項目。今回の改定で (3) プランク定数 h 、(4) 電気素量 e 、(5) ボルツマン定数 k 、(6) アボガドロ定数 N_A の4つが測定値から定義値ということになりました。

一方単位の定義は (a) 時間の単位秒 s の定義は変わらず、(b) 長さの単位メー

One Point BUZZ WORD

チームドライブ

会社で NAS とか使ってるわけですが、一方で G Suite Business も使ってます。Business だとチームドライブが使えるわけですが、それが果たして NAS の代替になるのかどうか、「調べなきゃねー」とか言いつつずっと放置していたわけです。

そんな状況で RAID6 のドライブが 1 台エラーを吐き出します。こりゃいかんというわけで、まずはチームドライブにコピーできるかどうかやってみたわけですね。

最初はブラウザのインターフェースからコピーしてみたのですが、これは大変不安定で全く信用できません。1つ2つならともかく、大量のファイルをコピーすると言った用途には向かないことがわかりました。

次に専用アプリをインストールし、オンライン仮想ドライブとして見えるようにしてコピーしてみたところ、大量のファイルをドロップすると「容量不足です」とか出てきます。調べると、一旦ローカルのディスクにキャッシュしてからチームドライブに転

送する仕組みのようで、ローカルドライブの空き容量を超えたコピーが出来ないようでした。これはキャッシュ先を変更することで華麗にスルー。なお、専用アプリで一旦ドロップすると基本的に「中断」できるものの、UIからは「中止」できません。強制的に中止するには、インストールしなおす必要ありなので慎重にすべきです。

こうして 30GB ぐらいをコピーしてみたところ、大量のエラーメッセージが。調べると、チームドライブあたり最大 40 万ファイル、ディレクトリ階層は 20 段しか使えないという制限があったのでした。さらに 1 日あたりアップロード量が 750GB 以下、メンバーまたはグループの上限 600、人数上限 5 万人もあるようです。とりあえずファイル数の上限にすぐ引っかかり、バックアップすらできず。結論、NAS の代替にはならないと判明。とほほ。

ル m の定義は変わらず、(c) 質量の単位キログラム kg の定義はプランク定数が $J_s = [kg][m^2][s^{-1}]$ の定義値であることと、メートル、秒の定義に關係する定数である Δv Cs、c から計算されるものに変更、(d) 電流の単位アンペア A は電気素量が $[A][s]$ での定義値であることと、秒の定義に關係する Δv Cs から計算されるものに変更、(e) 温度の単位ケルビン K はボルツマン定数が $J/K = [kg][m^2][s^{-2}][K^{-1}]$ の定義値であることと、h、c、 Δv Cs から計算されるものに変更、(f) 物質量の単位であるモル mol はアボガドロ定数個であるという定義に変更、(g) 光度の単位カンデラ cd の定義は変わらず、という感じ。

この定義によると、1 キログラムは約 $1.475\ 5214 \times 10^{(40)} h \Delta v Cs / (c^2)$ ということとなります。なんじゃこりゃという感じですが、特殊相対論の $E=mc^2$ を思い出すと、 $m=E / (c^2)$ 、プランク定数 h は J_s であることを考えると、E は h/s であり、 $1/s$ は Δv Cs だから、結局こうなるよね、という話です。エネルギーの単位ジュールは $[kg][m^2][s^{-2}]$ なので、実用上質量は大変重要な量ではあるのですが、この定義から言うと、光子仮説由来の $E=hv$ の方がしっくりくるかもしれません。地球の重力場に捉えられていると、重量に關係する質量は、山を崩したり建物を歪ませたりと大きな影響を及ぼします。しかし光速の自乗である $8,987,551,787,368,176,400 \approx 8.9876 \times 10^{(16)}$ を単位とすれば、kg 単位の質量を簡単にジュール (J) 表示 = エネルギー表示できることとなります。なんかもうエネルギーでいいじゃんとか思うのは勝手でしょうか。そりゃ 16 桁違うと大変だけでも。

今回温度の単位であるケルビンが、水の

三重点の温度を $0.01^\circ C = 273.16K$ と定めたものから、ボルツマン定数ベースに変更されました。世界各国のいろんな場所ですべて実際に三重点を測定してみたところ、なんかまとまらないことがわかったのだそうです。いろいろ原因を追求していった結果、水を構成する元素の同位体比 (重水素、酸素 17、酸素 18) が場所によりことなり、その影響により三重点の温度が微妙に異なっていることが判明。こうなってくると、厳密な測定を行うためには同位体比を制御しなければならなくなるわけですが、かといってその組成が未来永劫一緒であることは保証できないわけで、結局測定による定義を諦め、ボルツマン定数ベースになったとのこと。なんかこう、精度があがってくるといろんなものが見えるようになってくるという話ですね。

その最たるものが光格子時計でしょう。現在の測定では宇宙年齢が 137 億年ぐらいということがわかってますが、もう 137 億年、宇宙年齢の二倍の間動かしただとしても、1 秒以内の誤差しか無いのが光格子時計。あまりに精度が高いため、もはや Δv Cs の有効桁数が足かせになっているとのこと。

実際に二台の光格子時計を、設置する高さを 1m ほど変えて並走させてみたところ、一般相対論的な重力ポテンシャルの差に起因する時間の流れの速さの違いを余裕で検出できたとのこと。これは先の水の三重点問題と一緒に、本来場所に依存しないはずの物理現象が場所にバッチリ依存することになります。重力場の意味において、地球は丸くありませんし、地球の形と重力場の形が一致するとも限りません。密度の違いは中身の違いを意味し、重力というルーペで地球の内部を覗いていることになるでしょう。それを直接測定できるようになりつ

つあるというわけです。

時計をきっちり合わせるためには、重力ポテンシャルの違いに起因する時間の流れ方の違いを差し引いて置かなければなりません。逆に言えば、時間の流れ方の違いを比較することで、重力ポテンシャルの詳細なマップを作ることができるようになります。ジョン・ハリソンのクロノメータが経度の測定を可能としましたが、高精度な時計は重力場を測定するモノサシとなります。今後小型化・高性能化・高感度化が進んでいくと、重力波を直接測定できるようになるかも。そこまでくると、「ブラックホールが邪魔で時計が狂ってやんなっちゃう」という状況があらわれるかもしれません。これはまるで、地球の自転がフラフラしていることが原子時計により炙り出された状況のようですね。精度が上がると見える世界が変わってくるというわけです。

光格子時計のキモは、香取教授が発見した「魔法周波数」です。原子は小さく軽いので、光によりじゃぶじゃぶ揺さぶられ、さらに電場や磁場によって準位が変わってくるわけですが、今測定したい準位の上側と下側で、電場による影響が同じになるようにうまく周波数を選ぶことで、原子をがっちり掴んで高精度に測定できるようになりました。それが「魔法周波数」です。厨二心がちり掴む命名じゃないですか。作家の皆様には置かれましては、ぜひとも「魔法周波数」というワードを中心に据えて世界観を創成していただきたいと思います。それにより、検索してきたファンが光格子時計の存在にサイドヒットするとしたら痛快じゃないですか。まあ、本家からすりゃ邪魔だろうけど。

Hiroyasu Sakaguchi
株式会社 IMAGICA Lab.