

炭素 12 のモル質量は、もう 12 ちょうどではない

— 2019 年の SI 改定で、定義だった等号が経験則の等号に移った — ただし差は 4.2×10^{-9} で、不確かさの 1.17 倍にすぎない — [論文295]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan | 山岸勇輝ラボ

2026年8月

— From thinking to syncing. —

要旨

「炭素 12 を 12 g 集めたものが 1 モル」は、長らく定義だった。2019 年の SI 改定で、それが定義でなくなった。本稿が問うのは、等号の身分がどう変わったかである——答は、定義から経験則へ移ったである。新しい数学定理も新しい法則も主張しない。第一に、定義の向きが入れ替わった。以前は質量が個数を決め、いまは個数が質量を決める（第2節）。第二に、これが本稿の芯である。 $M(^{12}\text{C}) = 11.99999999958 \text{ g/mol}$ であり、もう 12 ちょうどではない（第3節）。第三に、ただし差はまだ有意ではない。差 $4.2 \times 10^{-9} \text{ g/mol}$ は不確かさ 3.6×10^{-9} の 1.17 倍にすぎない（第3節）。第四に、だから「ずれた」ではなく「ずれうるようになった」である。変わったのは値ではなく、等号の身分である（第4節）。第五に、同じことが四つの単位で起きた。キログラム・アンペア・ケルビン・モル——水の三重点ももう 273.16 K ちょうどではない（第5節）。第六に、分離子は「どちらを固定したか」である。固定した側が定義になり、残った側が測定になる（第6節）。

本稿の射程 (scope note) : 新しい数学定理も新しい法則も主張しない——2019 年の SI 改定、アボガドロ定数の定義値、 $M(^{12}\text{C})$ の CODATA 値、モル質量定数は、いずれも標準的である。計量学を作らない——使うのは一つの引き算と、一つの割り算だけである。改定の当否を論じない——なぜこの改定が行われたか、どの定義が良いかは扱わない。等号の身分がどう動いたかだけを見る。実験の詳細に立ち入らない——シリコン球によるアボガドロ定数の決定も、ワットバランスも一切扱わない。12 からのずれを主張しない——差 4.2×10^{-9} は不確かさの 1.17 倍であり、12 と有意に違うとは言えない。本稿は「もう 12 ではない」と主張するのではなく、「12 である保証がなくなった」と述べる。CODATA 値の更新に追随しない——11.9999999958(36) はある時点の推奨値であり、改訂されうる。数値ではなく構造が本稿の主張である。実務への影響を誇張しない——相対 3.5×10^{-10} は分析化学の日常 (相対 10^{-4}) では見えない。見えるのは質量標準の世界だけである。既刊との関係 : 論文16 は「等号にも別根がある」ことを示した——本稿は一つの等号が、歴史の中で根を乗り換えた実例である。定義の等号から経験則の等号へ、2019 年に移った。論文95 は規約と事実を分け、 c の定義値を扱った——本稿の N_A は c と同じ型の「定義された定数」であり、足場の側に移った。論文268 は三重点が「点」であることが実験事実でないと示した——本稿はその三重点の温度もまた、同じ改定で定義でなくなったことを並べる。論文196 は「圧力」が四つの別の量だと示した——本稿は一つの量の等号が二つの身分を持ちうることを扱う。加えたのは $M(^{12}\text{C})$ の 12 からの差を $4.2 \times 10^{-9} \text{ g/mol}$ と計算したこと、それが不確かさの 1.17 倍にすぎないと確かめたこと、四つの単位で同じ乗り換えが起きたと並べたこと、分離子を「どちらを固定したか」に置いたことである。

1. 記法と問い

2019 年 5 月 20 日、SI の基本単位の定義が改められた。モルについては次のように変わった。

時期	定義	向き
2019 年より前	炭素 12 を 12 g 集めたものが 1 mol	質量が個数を決める
2019 年以降	$N_A = 6.02214076 \times 10^{23} / \text{mol}$ ちょうど	個数が質量を決める

問い : $M(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$ という等式は、どうなったか。

観察 1.1

改定前、この等式は定義だった。測る必要も、誤差もない——そう決めたからそうである。

観察 1.2

論文16は「等号にも別根がある」ことを示した。定義の等号、恒等式の等号、経験則の等号は同じ記号で書かれるが身分が違う——本稿は一つの等号が根を乗り換えた実例である。

2. 定義の向きが入れ替わった

観察 2.1

改定前の連鎖はこうだった。

炭素 12 を 12 g 量る（質量が出发点）

↓そこに含まれる原子の個数が 1 mol

↓その個数を測って N_A を得る（誤差がある）

観察 2.2

改定後の連鎖はこうである。

$N_A = 6.02214076 \times 10^{23}$ と決める（個数が出发点・誤差なし）

↓その個数の炭素 12 を集める

↓その質量を測って $M(^{12}\text{C})$ を得る（誤差がある）

観察 2.3

誤差の置き場所が入れ替わっている。以前は N_A に誤差があり $M(^{12}\text{C})$ は厳密だった——いまは N_A が厳密で $M(^{12}\text{C})$ に誤差がある。

観察 2.4

どちらの体系でも、物理的な事実の一つも変わっていない。炭素原子の重さも、一グラムの重さも同じである——変わったのは、どれを規約として固定するかという選び方だけである（論文95）。

3. 芯： $M(^{12}\text{C})$ は 11.9999999958 g/mol である

検算 3.1：

量	値
N_A （定義値）	$6.02214076 \times 10^{23}$ /mol ちょうど
$M(^{12}\text{C})$ （測定値）	11.9999999958 g/mol
その不確かさ	$\pm 3.6 \times 10^{-9}$ g/mol
12 との差	4.2×10^{-9} g/mol
相対では	3.5×10^{-10}

観察 3.2

これが本稿の芯である。 $M(^{12}\text{C})$ はもう 12 ちょうどではない——12 という数は、いまや測定の対象である。

検算 3.3：ただし、差は有意か。

量	値
差 / 不確かさ	1.1667

観察 3.4

差は不確かさの **1.17** 倍にすぎない。12 と有意に違うとは言えない——現在の測定は、12 ちょうどであることとも矛盾しない。

観察 3.5

これが正確な言い方である——「12 からずれた」のではなく、「12 である保証がなくなった」。ずれているかどうかは今後の測定が決める——以前はその問いが立てられなかった。

検算 3.6：モル質量定数 $M_u = M(^{12}\text{C})/12$ を見る。

量	値
M_u	$9.999999996500 \times 10^{-4} \text{ kg/mol}$
10^{-3} kg/mol との相対差	3.5×10^{-10}

観察 3.7

「原子量 $\times \text{g/mol}$ でモル質量が出る」という日常の規則は、 $M_u = 1 \text{ g/mol}$ ちょうどを暗に使っている。それが 3.5×10^{-10} だけ厳密でなくなった——ただし、この桁が見える現場はほとんどない。

4. 「ずれた」ではなく「ずれうるようになった」

検算 4.1：この差がどこで効くかを見る。

現場	相対精度	3.5×10^{-10} は
分析化学の日常	10^{-4}	見えない
高精度質量分析	10^{-6}	見えない
質量標準・原子時計	10^{-9}	ようやく見える

観察 4.2

実務では何も変わらない。改定前と同じ計算をして、同じ答が出る——変わったのは値ではなく、等号の身分である。

観察 4.3

だからこの改定は測定結果ではなく、論理の側の出来事である。新しい実験が 12 を否定したのではない——12 という数を、否定されうる場所に移したのである。

観察 4.4

論文16 の言い方をすれば、等号が根を乗り換えた。

	2019 年より前	2019 年以降
$M(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$	定義の等号	経験則の等号 (1.17σ)
$N_A = 6.02214076 \times 10^{23}$	経験則の等号	定義の等号

観察 4.5

二行がちょうど入れ替わっている。定義と測定の総数は変わらない——どちらを固定するかを選び直しただけである。

5. 同じことが、四つの単位で起きた

検算 5.1 :

単位	旧定義	新定義 (固定した定数)
キログラム	国際キログラム原器	$h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J s}$
アンペア	二本の導線に働く力	$e = 1.602176634 \times 10^{-19} \text{ C}$
ケルビン	水の三重点 273.16 K ちょうど	$k = 1.380649 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
モル	炭素 12 を 12 g	$N_A = 6.02214076 \times 10^{23} \text{ /mol}$

観察 5.2

右の列がすべて「ちょうど」である。左の列は物体や現象であり、右の列は数である——規約は数であって、物ではない。

検算 5.3：ケルビンの行も、モルと同じ入れ替わりを起こした。

水の三重点の温度	
2019 年より前	273.16 K ちょうど（定義）
2019 年以降	273.1600 K ± 0.0001 K（測定値）

観察 5.4

論文268 は、三重点が「点」であること自体が実験事実でないと示した。ここではさらに、その点の温度も、もう定義ではない——同じ一つの三重点について、二つの別々の理由で「事実ではない」ことが重なっている。

観察 5.5

四つの単位で、定義だった等式が測定値になった。そして四つとも、差は現在の不確かさの内側にある——改定は連続的に行われたのであって、数が飛んだのではない。

6. 分離子：どちらを固定したか

観察 6.1

分離子——何を動かすと、等号の身分が変わるか。どちらを規約として固定したかである。

	固定した側	残った側
身分	定義（誤差なし）	測定（誤差あり）
問える問い	なし	「本当にその値か」

観察 6.2

定義された側について「本当にそうか」と問うことはできない。規約だからである——問いが立てられるかどうか、身分の違いの実体である。

観察 6.3

論文95 は c の定義値を扱った。1983 年以降、光速は測定の対象ではない——メートルのほうが c から定義されるからである。 N_A は 2019 年に、 c と同じ側へ移った。

観察 6.4

したがって「アボガドロ定数を精密に測る」という研究は、2019 年に終わった。同じ実験装置はいまも動いているが、測っている対象の名前が変わった——いまはキログラムを実現している。

観察 6.5

正直に書くべき点——本稿はどちらの定義が良いかを論じない。示したのは等号の身分が動いたという構造であって、改定の当否ではない——ただし、身分が動いたことに気づかないまま「12 ちょうど」と書くのは、もう正確ではない。

7. 点呼と結び

1. 向きが入れ替わった（観察2.1--2.2）：質量が個数を決める → 個数が質量を決める。
2. 誤差の置き場所が移った（観察2.3）： N_A から $M(^{12}\text{C})$ へ。
3. $M(^{12}\text{C}) = 11.9999999958 \text{ g/mol}$ （検算3.1）：もう 12 ちょうどではない。
4. 差は $4.2 \times 10^{-9} \text{ g/mol}$ （検算3.1）：相対 3.5×10^{-10} 。

5. 差 / 不確かさ = **1.1667** (検算3.3) : 有意ではない。
6. 「ずれた」ではない (観察3.5) : 「保証がなくなった」。
7. 日常では見えない (検算4.1) : 10^{-9} の現場だけ。
8. 二行がちょうど入れ替わる (観察4.4) : 定義と測定の総数は同じ。
9. 四つの単位で同じ (検算5.1) : 右の列はすべて数。
10. 三重点も **273.16** ちょうどではない (検算5.3) : ± 0.0001 K。

結び : 炭素 **12** のモル質量は、もう **12** ちょうどではない。2019 年の SI 改定で N_A が定義値になり、誤差の置き場所が入れ替わった——以前は質量が個数を決め、いまは個数が質量を決める。測定値は $M(^{12}\text{C}) = 11.9999999958$ g/mol であり、**12** との差は 4.2×10^{-9} g/mol、相対で 3.5×10^{-10} である。ただし正確に言わねばならない——差は不確かさの **1.17** 倍にすぎず、**12** と有意に違うとは言えない。「**12** からずれた」のではなく、「**12** である保証がなくなった」のである。同じ乗り換えが四つの単位で起きた——キログラム、アンペア、ケルビン、モル。水の三重点も、もう **273.16** K ちょうどではない。分けるものは一つ——どちらを規約として固定したか。固定した側は定義になり、「本当にその値か」と問えなくなる。残った側は測定になり、その問いが立てられるようになる。2019 年に動いたのは値ではなく、どの等号にその問いを立てられるかであった。

参考文献

1. Bureau International des Poids et Mesures (2019). *The International System of Units (SI)*, 9th edition. Sevres: BIPM.
2. Tiesinga, E., Mohr, P. J., Newell, D. B. and Taylor, B. N. (2021). CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2018. *Reviews of Modern Physics*, 93(2).
3. Mills, I. M., Mohr, P. J., Quinn, T. J., Taylor, B. N. and Williams, E. R. (2006). Redefinition of the Kilogram, Ampere, Kelvin and Mole: a Proposed Approach to Implementing CIPM Recommendation 1 (CI-2005). *Metrologia*, 43(3).
4. Andreas, B. et al. (2011). Determination of the Avogadro Constant by Counting the Atoms in a ^{28}Si Crystal. *Physical Review Letters*, 106(3).
5. Newell, D. B. et al. (2018). The CODATA 2017 Values of h , e , k , and N_A for the Revision of the SI. *Metrologia*, 55(1).
6. 山岸勇輝 (2026). 等号にも別根がある — 第3版 : 山岸全同期方程式が結んでいたもの [論文16]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21600471
7. 山岸勇輝 (2026). 規約と事実を分ける — ポアンカレの規約主義と、体系の「足場」(c の定義値・単位の約束) [論文 95]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21758621
8. 山岸勇輝 (2026). 「圧力」は四つの別の量であり、単位が同じことは何も保証しない [論文196]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22107518
9. 山岸勇輝 (2026). 三重点が「点」であることは、実験事実ではない [論文268]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22169829

— *From thinking to syncing.* —

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)