

双子が違うのは時計の遅れではなく、世界線の長さである

— 山岸ゼロテンションで読む時間の遅れ：装置の遅延という帰無仮説はミューオンが棄却する — [論文123]

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

「動いている時計は遅れる」という通俗の一行は、聞いた者に自然な疑問を招く——何に対して遅いのか。それは時計が狂っているだけではないのか。本稿はこの疑問を破れうる帰無仮説として立て（論文89）、どのデータがそれを棄却するかを書き、そのうえで疑問を招いたのは物理ではなく言い方であることを示す。帰無仮説 H_0 ：時間の遅れは装置の遅延である。すなわち、動く時計の機構が運動によって鈍り、静止に戻れば元に戻る。第一に、 H_0 は棄却される。最も決定的なのはミューオンである——ミューオンは時計ではない。振動子も歯車も入っていない不安定粒子であり、遅れる機構がそもそも無い。それでも CERN 蓄積リング (Bailey ら 1977) では、静止時の寿命 $\tau_0 = 2.1948 \pm 0.0010 \mu\text{s}$ が $\gamma = 29.33$ の飛行中に $\tau_+ = 64.419 \pm 0.058 \mu\text{s}$ へ伸びた。相対論の予言 $\gamma\tau_0 = 64.373 \mu\text{s}$ との差は 0.71×10^{-3} である（本稿で再計算）。第二に、 H_0 は二重に棄却される。(i) 機構をまったく共有しない時計——セシウム、水素メーザー、光格子、スペクトル線、そして崩壊——が同じ量だけずれる。共有しているのは世界線だけである。(ii) 遅延ならば静止に戻れば回復するはずだが、回復しない。Hafele-Keating (1971) の時計は持ち帰って静止状態で比較されてなお差を保ち、GPS は毎日 $+38.6 \mu\text{s}$ の補正を必要とし続けている（本稿で軌道要素から計算：SR -7.2 、GR $+45.9$ ）。第三に、では通俗の言い方の何が疑問を招いたか。「遅れる」という語は比較の相手を要求するが、普遍的な時計は存在しない。これは論文118 が診断した圏の誤りである——曲線の汎関数 $d\tau$ を、座標 dt のように扱っている。正しい言い方では疑問は生じない：双子が違うのは時計の遅れではなく、世界線の長さである。固有時とはその長さのことであり、二点を結ぶ二本の道の長さが違うのと同じである（論文108）。第四に、正直に置くブレーキ。試された過程——振動子・崩壊・スペクトル線——はすべて固有時に従い、従わない過程は一つも知られていない。しかし相対論的速度で運ばれた人間はいない。「人は歳をとらない」は過程についての帰納であって観測そのものではない。強い帰納だが、観測とは別の論理的な一歩である。

本稿の位置づけ：相対性理論を疑う論文ではない。時間の遅れは実在し、本稿はそれを支持するデータを整理する。新しい物理法則も新しい定理もない——用いる実験はすべて確立している（Bailey ら 1977、Hafele--Keating 1971、Ives--Stilwell 1938、GPS）。本稿が行うのは、(i) よくある反論を破れうる形に書き直して棄却の所在を示すことと、(ii) その反論を招いた通俗の言い方を体系の道具で診断することである。第6節（感じる時間）は第3層（非科学）として隔離する。

1. 序論：招かれた疑問

「光速に近い速さで飛んだら時間が遅れる」——この一行は広く語られている。そして聞いた者の多くが、同じ疑問を持つ。

原子時計を積んで飛ばして戻ってきたとして、それは単に時計がずれているだけではないのか。実際には浦島のようなことは起きていないのではないか。

この疑問は素朴ではない。それは検証可能な仮説であり、実際に検証され、棄却されている。本稿の前半はその棄却を書く。

しかし後半のほうが重要である。この疑問が繰り返し湧くのにには理由がある——「時計が遅れる」という言い方そのものが、この疑問を招く形をしている。正しく言い直せば疑問は湧かない。物理は正しく、言い方が誤っているというのが本稿の見立てである。

2. 帰無仮説を立てる

体系は、主張を検査するときにまず破れうる帰無仮説を置く（論文89・ゼロテンション）。冒頭の疑問を、その形に書き直す。

帰無仮説 H_0 ：時間の遅れは装置の遅延である。運動する時計はその機構が鈍って表示が遅れ、静止に戻れば表示は正しさを取り戻す。

この H_0 は空虚ではない——三つの検査可能な帰結を持つ。

H_0 が正しければ	検査
(a) 機構ごとに遅れ方が違うはず	別種の時計を比べる
(b) 時計でないものは遅れないはず	時計でない過程を見る
(c) 静止に戻れば差は消えるはず	持ち帰って静止で比べる

三つとも、実験が存在する。以下順に見る。

3. 棄却(b)：ミューオンは時計ではない

事実 3.1 (CERN ミューオン蓄積リング): Bailey ら (1977) は、蓄積リング中の $\gamma = 29.33$ のミューオンの寿命を測った。静止時の固有寿命 $\tau_0 = 2.1948 \pm 0.0010 \mu\text{s}$ に対し、飛行中の寿命は

$$\tau_+ = 64.419 \pm 0.058 \mu\text{s}, \quad \tau_- = 64.368 \pm 0.029 \mu\text{s}$$

であった。特殊相対論の予言は $\gamma\tau_0 = 64.373 \mu\text{s}$ であり、 μ^+ との差は 0.71×10^{-3} である (本稿で再計算)。論文自身の評価では、時間変換は $(0.8 \pm 0.7) \times 10^{-3}$ の精度で成立している。

観察 3.2 (これが $H_0(b)$ を棄却する): ミューオンは時計ではない。振動子も、ばねも、歯車も入っていない。遅れうる機構が存在しない。それは不安定な素粒子であり、崩壊するというだけの存在である。

それでもその崩壊が、ちょうど γ 倍だけ遅くなった。遅れる装置が無いのだから、「装置の遅延」ではこの事実を説明できない。 H_0 はここで棄却される。

観察 3.3 (効果の大きさ)

宇宙線ミューオンではこの効果は劇的である。固有寿命 $\tau_0 = 2.1970 \mu\text{s}$ に対し $c\tau_0 = 658.6 \text{ m}$ であるから、時間の遅れが無ければ大気の厚み 15 km を生き延びる割合は $e^{-15000/658.6} = 1.29 \times 10^{-10}$ にすぎない。 $\gamma = 20$ では崩壊長が 13156 m へ伸び、生存率は 0.32 —— 2.5×10^9 倍である (本稿で計算)。

地表でミューオンが観測されること自体が、時間の遅れの直接の帰結である。これは装置の問題ではなく、そこに粒子が在るか無いかの問題である。

4. 棄却(a)(c)：機構は無関係で、差は戻らない

観察 4.1 ($H_0(a)$ の棄却：機構を共有しない時計が一致する): 時間の遅れは、互いに原理を共有しない測定器で確認されている。

測定器	何で時を刻むか
セシウム原子時計（Hafele--Keating 1971）	超微細遷移
水素レーザー（Gravity Probe A 1976）	別の原子の別の遷移
光格子時計（2010年代以降）	光学遷移・けた違いの周波数
スペクトル線（Ives--Stilwell 1938）	そもそも時計ではない
ミューオン崩壊（Bailey ら 1977）	振動子が無い

もし遅れが機構の鈍化ならば、機構ごとに違う量だけ鈍るはずである。実際には同じ量である。これらが共有しているのは機構ではなく世界線だけであり、一致しているのは世界線の側の量であることを意味する。

観察 4.2 ($H_0(c)$ の棄却：差は静止に戻しても消えない): Hafele と Keating（1971）はセシウム時計を旅客機で東回り・西回りに一周させ、持ち帰って静止状態で海軍天文台の時計と比較した。

向き	予言 (ns)	観測 (ns)
東回り	-40 ± 23	-59 ± 10
西回り	$+275 \pm 21$	$+273 \pm 7$

差は回復しなかった。遅延であれば運動をやめた時点では正しさを取り戻すはずだが、そうならない。残るのは表示の誤りではなく、経過した時間そのものの差である。

観察 4.3 (常時稼働する反証装置：GPS)

GPS 衛星（軌道半径 2.656×10^7 m、速さ 3874 m/s）に対し、特殊相対論は $-7.2 \mu\text{s}/\text{日}$ 、一般相対論は $+45.9 \mu\text{s}/\text{日}$ を与え、正味 $+38.6 \mu\text{s}/\text{日}$ となる（本稿で軌道要素から計算）。補正しなければ測距誤差は一日あたり 11.6 km 増大する。

この補正は数十年にわたり毎日適用され続けている。 H_0 が正しければこの補正は不要であり、GPS は初日から使い物にならなくなる。

5. では、何が疑問を招いたのか

前節までで H_0 は三通りに棄却された。しかし冒頭の疑問が何度も湧くという事実は、それだけでは説明されない。本節が本稿の後半の芯である。

観察 5.1 (「遅れる」は比較の相手を要求する)

「動いている時計は遅れる」という文は、遅れる相手を暗に立てている。しかし普遍的な時計は存在しない。相手として立てられるのは、たかだか別の観測者の座標時であり、それは相手側から見れば逆向きに「遅れて」いる。

したがって「どちらが本当に遅いのか」という問いは、答えを持たない。そして答えを持たない問いを立てさせるのは、文の形である。疑問を持った者が誤ったのではない——文が誤った問いを招いている。

観察 5.2 (これは論文118 が診断した圏の誤りである)

論文118 は「時間」という一語が複数の論理型を覆っていることを示した——座標 dt は多様体に貼られたラベルであり、固有時 $d\tau$ は曲線の汎関数である。

「時計が遅れる」という言い方は、 $d\tau$ を dt のように扱っている。すなわち曲線ごとに違ってよい量を、全員が共有する目盛りであるかのように語っている。だから「何に対して」という問いが出てくるし、出てきてしまえば答えようがない。通俗の説明が疑問を再生産し続けるのは、物理が未解決だからではなく、圏を取り違えた文を使い続けているからである。

系 5.3 (正しい言い方)

ミンコフスキー (1908、論文108) 以来、正しい言明はこうである：

$$d\tau^2 = dt^2 - \frac{dx^2 + dy^2 + dz^2}{c^2}, \quad \tau[\text{世界線}] = \int_{\text{世界線}} d\tau \quad (2)$$

固有時は世界線の長さである。二人の双子は、二本の異なる道を通して同じ二点を結んだ。道の長さが違うだけである。

どちらの時計も狂っていない。両者とも自分の世界線の長さを正しく最後まで測った。違うのは測られた対象であって、測る道具ではない。

v/c	γ	座標時 10 年に対する固有時
0.5	1.1547	8.66 年
0.8	1.6667	6.00 年
0.9	2.2942	4.36 年
0.99	7.0888	1.41 年
0.99995	100.0	0.10 年

観察 5.4 (対称性はなぜ破れるか)

「運動が相対的なら、状況は対称ではないのか」という問いにも、同じ言い換えが答える。対称ではない。片方だけが慣性系を乗り換えるからである。これは記述の問題ではない——それぞれが加速度計を持てば、読みが違う。

幾何の言葉ではこうなる：旅する側の世界線は折れており、留まる側は直線である。そしてミンコフスキー幾何では直線の道が固有時を最大にする——ユークリッド幾何で直線が最短であるのと向きが逆である。折れた道は短い。それだけである。

6. 感じる時間について — 第3層（非科学）

以下は解釈であり、定理ではない。第3層（非科学）として隔離する。前節までの内容は、以下をまったく用いない。浦島太郎の物語が語っているのは、経過した時間の差だけではない。本人にとってその時間がどう感じられたかも語っている。そして後者は、本稿が扱った量ではない。論文118 は感じる時間を物理の点呼に入れることを明示的に拒んだ——「番号は物理の側の型に属している」。論文119 が第四の型（流れの径数）を同定し、論文122 がその四つを次元の道具に通したが、感じる時間はそのどれでもない。したがって「浦島効果」という語は二つの主張を束ねている——(i) 固有時が短いこと（本稿が扱った、確立した内容）と、(ii) 本人にとって短く感じられること（本稿が扱っていない、物理の外の内容）。両者を分けずに語ると、(i) への疑問と (ii) への疑問が混ざる。

7. 未測定の一線

観察 7.1 (何が測られ、何が測られていないか)

時間の遅れに従うことが確認された過程は多岐にわたる——セシウムの超微細遷移、水素メーザー、光格子の光学遷移、原子スペクトル線、そしてミューオンの崩壊。従わない過程は一つも知られていない。

しかし相対論的速度で運ばれた人間はいない。Hafele--Keating の飛行機は音速以下であり、そこで生じた差は 10^{-7} 秒の桁である。「人は歳をとらない」という言明は、過程についての帰納である。

この帰納はきわめて強い。生体を構成するのは化学反応であり、化学反応は電磁相互作用であり、電磁相互作用が固有時に従うことは Ives--Stilwell 以来繰り返し確認されている。固有時に従わない物理過程を仮定することは、既知の物理を捨てることに等しい。

それでも、帰納は観測ではない。体系の作法に従い、ここはそう書く——確立しているのは「試されたすべての過程が固有時に従う」であり、「人が歳をとらない」はそこからの一步である。この一步を観測と同じ強さで書かないことが、疑問を持った側に対する誠実な応答でもある。

8. 射程の明示

- 本稿が示すもの：「時間の遅れは装置の遅延である」という帰無仮説が三通りに棄却されること——時計でないミューオンが γ 倍だけ長く生きること（事実3.1）、機構を共有しない測定器が同じ量だけずれること（観察4.1）、静止に戻しても差が消えないこと（観察4.2・4.3）。および通俗の言い方が招く疑問の出所——「遅れる」が存在しない比較相手を要求しており、これは $d\tau$ を dt として語る圏の誤りであること（観察5.1・5.2）。正しい言明は世界線の長さである（系5.3）。
- 本稿が示さないもの：(i) 新しい物理法則——一つもない、(ii) 相対性理論への疑義——本稿は時間の遅れを支持する側である、(iii) 人間が歳をとらないことの観測——これは過程についての帰納である（観察7.1）、(iv) 感じる時間についての何か——物理の点呼の外にある（第6節）、(v) 加速度が「原因」であること——加速度は対称性を破るが、固有時の差を与えるのは世界線の形である。
- 残るもの：疑問が繰り返し湧くとき、疑うべきは物理より先に文である。

9. 結論

- 「時間の遅れは装置の遅延にすぎない」という疑問を、破れうる帰無仮説として定式化した（論文89）。三つの検査可能な帰結を持つ、空虚でない仮説である。

2. 棄却(b)：ミューオンは時計ではない。Bailey ら（1977）は $\gamma = 29.33$ で $\tau_+ = 64.419 \pm 0.058 \mu\text{s}$ を測り、予言 $\gamma\tau_0 = 64.373 \mu\text{s}$ との差は 0.71×10^{-3} （本稿で再計算）。遅れる機構が無い対象で、崩壊そのものが遅くなった。
3. 棄却(a)：機構は無関係。セシウム・水素メーザー・光格子・スペクトル線・崩壊——共有するのは世界線だけであり、ずれは同じである。
4. 棄却(c)：差は戻らない。Hafele--Keating の時計は静止状態で比較してなお差を保った（東回り -59 ± 10 ns、西回り $+273 \pm 7$ ns）。GPS は $+38.6 \mu\text{s}/\text{日}$ の補正を要し、無補正なら測距誤差は一日 **11.6 km** 増える（本稿で計算）。
5. 疑問を招いたのは言い方である——「遅れる」は存在しない比較相手を要求する。これは論文118 が診断した圏の誤りであり、 $d\tau$ （曲線の汎関数）を dt （座標）として語っている（観察5.1・5.2）。
6. 正しい言明：双子が違うのは時計の遅れではなく、世界線の長さである（系5.3）。どちらの時計も狂っていない。両者とも自分の道の長さを正しく測った。対称性が破れるのは片方だけが慣性系を乗り換えるからであり、ミンコフスキー幾何では直線が固有時を最大にする（観察5.4）。
7. 未測定の一線：試された過程はすべて固有時に従い、従わない過程は知られていない。しかし相対論的速度で運ばれた人間はいない。「人は歳をとらない」は過程についての帰納であって観測ではない（観察7.1）。
8. 「浦島効果」は二つの主張を束ねている——固有時が短いこと（確立）と、本人にそう感じられること（物理の外・第6節）。分けずに語ると、二つへの疑問が混ざる。

結語：「それは時計がずれているだけではないのか」という疑問は、素朴でも不当でもない。検証可能な仮説であり、実際に検証され、棄却されている。そしてその疑問が繰り返し湧くのは、物理が未解決だからではなく、「遅れる」という語が、存在しない基準を暗に立てるからである。疑問が繰り返し湧くとき、疑うべきは物理より先に文である。

参考文献

1. Einstein, A. (1905). *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. Annalen der Physik, 322(10), 891--921.
2. Minkowski, H. (1909). *Raum und Zeit*. Physikalische Zeitschrift, 10, 104--111.
3. Ives, H. E., & Stilwell, G. R. (1938). *An experimental study of the rate of a moving atomic clock*. Journal of the Optical Society of America, 28(7), 215--226.
4. Hafele, J. C., & Keating, R. E. (1972). *Around-the-world atomic clocks: predicted relativistic time gains*. Science, 177(4044), 166--168.
5. Hafele, J. C., & Keating, R. E. (1972). *Around-the-world atomic clocks: observed relativistic time gains*. Science, 177(4044), 168--170.

6. Bailey, J., Borer, K., Combley, F., Drumm, H., Krienien, F., Lange, F., Picasso, E., von Ruden, W., Farley, F. J. M., Field, J. H., Flegel, W., & Hattersley, P. M. (1977). *Measurements of relativistic time dilatation for positive and negative muons in a circular orbit*. Nature, 268, 301--305.
7. Bailey, J. et al. (1979). *Final report on the CERN muon storage ring including the anomalous magnetic moment and the electric dipole moment of the muon, and a direct test of relativistic time dilation*. Nuclear Physics B, 150, 1--75.
8. Vessot, R. F. C., Levine, M. W., Mattison, E. M., Blomberg, E. L., Hoffman, T. E., Nystrom, G. U., Farrel, B. F., Decher, R., Eby, P. B., Baugher, C. R., Watts, J. W., Teuber, D. L., & Wills, F. D. (1980). *Test of relativistic gravitation with a space-borne hydrogen maser*. Physical Review Letters, 45(26), 2081--2084.
9. Ashby, N. (2003). *Relativity in the Global Positioning System*. Living Reviews in Relativity, 6, 1.
10. 山岸勇輝 (2026). ゼロテンションと逆問題 [論文89]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21748664
11. 山岸勇輝 (2026). ミンコフスキーの不変間隔 [論文108]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21837313
12. 山岸勇輝 (2026). 二つの時計、一つの尺度 [論文118]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22036237
13. 山岸勇輝 (2026). 第四の時計 [論文119]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22036353
14. 山岸勇輝 (2026). 四つの時計は、自分が何次元にいるかをどれだけ知っているか [論文122]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22054748

— *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)