

速度空間-時空 曲率双対性

— $E = 4\pi/|K|$ と $G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$ を繋ぐヒンジとしてのエネルギー —

Thomas歳差と重力ホロノミー

著者: 山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

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

投稿区分: 論文63 (Paper 63) | Zenodo: 10.5281/zenodo.21606250

Category: 物理学 / 幾何学 / 構造的解釈

キーワード: 速度空間, 双曲幾何, 曲率双対性, Thomas歳差, 測地線歳差, 接線束, 構造的解釈

— From thinking to syncing. —

本稿の位置づけ

本稿は既存の物理法則・数学的定理に対する構造的解釈を提示するものであり、新たな物理法則の発見や未解決問題の証明を主張しない。示される代数的関係はいずれも既知の式からの変形であり、その幾何学的な読み替えを提案することを目的とする。既存理論と矛盾する主張は含まない。

概要

論文60は、 $m = 4\pi$ 表現のもとで静止エネルギーが $E = 4\pi/|K_v|$ ($K_v = -1/c^2$: 速度空間の曲率, Varičák 1910) と書けることを示した。アインシュタイン方程式 $G_{\mu\nu} = (8\pi G/c^4) T_{\mu\nu}$ は、時空の曲率がエネルギー運動量に比例することを述べる。本稿は、この二つの関係が逆方向に動作することを観察する: 速度空間の曲率がエネルギーを決定し ($E \propto 1/|K_v|$)、エネルギーが時空の曲率を決定する ($R \propto T$)。エネルギー E は二つの曲率を繋ぐヒンジ (蝶番) の役割を果たす。三つの構造的観察を報告する: (1) 合成すると中間パラメータ c が消える (命題3.1)、(2) 両方の曲率がホロノミー (Thomas歳差 / 測地線歳差) として測定される同一の数学的構造である (命題4.1)、(3) 両方の曲率が時空の接線束 TM の水平方向 (Riemann曲率) と垂直方向 (双曲曲率) に住む (命題5.1)。新しい予言は行わない。この双対性が再編成を超えた内容を持つかどうかは、明示的な未解決問題として提示する。

§1. 序論

論文60は、 $E = mc^2$ において m を 4π (Yamagishi 立体角パッチ) に置き換えた $E = 4\pi c^2$ が、速度空間の双曲幾何の言葉で

$$E = \frac{4\pi}{|K_v|}$$

と書けることを示した。ここで $4\pi = \int_{S^2} d\Omega$ は全立体角（論文01）、 $|K_v| = 1/c^2$ は速度空間の曲率の絶対値、 $1/|K_v| = c^2$ は曲率半径の2乗である。この曲率はThomas歳差として物理的に測定される。

一方、アインシュタイン方程式（1915）

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

は、時空の曲率（左辺）がエネルギー運動量（右辺）に比例することを述べる。

本稿の目的は、これら二つの関係が構造的に双対であることを観察することにある。一方は「曲率がエネルギーを決める」、他方は「エネルギーが曲率を決める」。この観察は初等的だが、エネルギーがヒンジであること、ホロノミーが共通の測定手段であること、接線束が共通の棲息地であること、というパターンを浮かび上がらせる。

本稿が行わないこと。既知の事実を超える導出・証明・予言は行わない。ヒンジ構造は再編成であり、それが深い内容を持つかどうかは未解決問題である。

§2. 二つの曲率関係の復習

2.1 速度空間の曲率がエネルギーを決定する（論文60）

特殊相対論において、物理的に許される速度の全体 $\{|v| < c\}$ は、ローレンツ群が誘導する自然な計量のもとで、断面曲率 $K_v = -1/c^2$ の3次元双曲空間 $\mathbb{H}^3$ をなす（Varičák 1910; Ungar 2001; Rhodes & Semon 2004）。曲率半径は c 。

$m = 4\pi$ パッチのもとで：

$$E = 4\pi c^2 = \frac{4\pi}{|K_v|}$$

方向：曲率 $\rightarrow$ エネルギー。 K_v が与えられ（ c の値によって）、 E が従う。

2.2 エネルギーが時空の曲率を決定する (Einstein 1915)

アインシュタイン方程式は、アインシュタインテンソル $G_{\mu\nu}$ (時空曲率の尺度) がエネルギー運動量テンソル $T_{\mu\nu}$ に比例することを述べる。 $G = 4\pi$ (Yamagishi パッチ、論文35) のもとで：

$$G_{\mu\nu} = \frac{32\pi^2}{c^4} T_{\mu\nu}$$

方向：エネルギー → 曲率。 $T_{\mu\nu}$ が与えられ、時空の曲率が従う。

§3. ヒンジ構造

命題 3.1 (ヒンジとしてのエネルギー)

二つの曲率関係は逆方向に動作する：

領域	関係	方向
速度空間	$E = 4\pi/ K_v $	曲率 → エネルギー
時空	$G_{\mu\nu} \propto T_{\mu\nu}$	エネルギー → 曲率

エネルギー E はヒンジである：速度空間の曲率によって決定され、時空の曲率を決定する。合成すると：

$$K_v \xrightarrow{E=4\pi/|K_v|} E \xrightarrow{G_{\mu\nu} \propto T} R_{\text{spacetime}}$$

合成において、パラメータ c は消える： $|K_v| = 1/c^2$ だから、 $E/c^2 = 4\pi/(|K_v| \cdot c^2) = 4\pi/1 = 4\pi$ 。中間変数 c は脱落し、立体角 4π だけが残る。

自己限定 (Caveat)。 $|K_v| \cdot c^2 = 1$ という消去はトートロジーである ($|K_v| \equiv 1/c^2$ だから)。双対関係を合成したとき中間パラメータが消えるのは一般的な代数的性質であり、物理に固有ではない。構造的な

容があるとするば、それは「なぜ同じ $\mathbf{c}$ が、速度空間の曲率パラメータとアインシュタイン方程式の変換因子の両方に現れるのか？」という問いにある。この問いには本稿では答えない。

§4. 二つのホロノミー

命題 4.1 (両曲率はホロノミーとして測定される)

微分幾何学において、曲率はホロノミー（閉じたループに沿った平行移動が恒等変換に戻らないズレ）である。本稿の二つの曲率は、いずれもホロノミーとして測定される：

領域	ホロノミー	測定
速度空間	Thomas歳差（Wigner回転）	スピン軌道結合の $1/2$ 因子（Thomas 1926）。原子の微細構造で測定。
時空	測地線歳差（de Sitter歳差）	Gravity Probe B： 6606 ± 18 mas/yr（Everitt et al. 2011）
時空	Lense–Thirring歳差（慣性系の引きずり）	Gravity Probe B： 37.2 ± 7.2 mas/yr

Thomas歳差と測地線/Lense–Thirring歳差は、同じ数学的構造（閉じた経路に沿った平行移動のズレ）の、異なる空間における実現である。

系 4.2 (歳差の双対性)

$E = 4\pi/|K_v|$ の $|K_v|$ はThomas歳差で測定され、 $R_{\mu\nu}$ は測地線歳差で測定される。したがって、ヒンジ（命題3.1）の両側は、いずれも歳差現象として独立に測定可能である。「速度空間の曲率 $\leftrightarrow$ 時空の曲率」双対性は、実験的には「Thomas歳差 $\leftrightarrow$ 測地線歳差」双対性として現れる。

§5. 接線束

命題 5.1 (両曲率は TM に住む)

時空 M の接線束 TM は、すべての組 (x, v) ($x \in M$ は時空の点、 $v \in T_x M$ はその点での速度) の空間である。各点 x において、ファイバー $T_x M$ は速度空間 $\{|v| < c\}$ を含む。したがって：

- ベース M はRiemann曲率 $R_{\mu\nu\rho\sigma}$ を担う (水平曲率)。
- 各ファイバーは双曲曲率 $K_v = -1/c^2$ を担う (垂直曲率)。

アインシュタイン方程式はベースの曲率を支配する。 $E = 4\pi/|K_v|$ はファイバーの曲率を特徴づける。両方の曲率は同じ幾何学的対象 TM の、相補的 (水平/垂直) な方向に住んでいる。

系 5.2 (等価原理はファイバー曲率の一様性)

等価原理は、 M のすべての点 x で接空間 $T_x M$ がミンコフスキー空間であることを保証する。したがって $K_v = -1/c^2$ はすべての点で同じ (局所的に測定される光速は常に c)。ベースの曲率 $R_{\mu\nu\rho\sigma}$ は点ごとに変わる (重力は場所によって違う) が、ファイバーの曲率 K_v は一様。等価原理の垂直方向の表現。

可変 c 理論に関する注記。 c が位置に依存する理論 (Moffat 1993; Albrecht & Magueijo 1999) では、ファイバー曲率 $K_v(x) = -1/c(x)^2$ がベース上で変動する。その場合、本稿の双対性は再編成を超えた内容を獲得する：ファイバー曲率がベース曲率に結合した動的量となる。本稿は可変 c 理論を支持しない。観察を記録するにとどめる。

§6. 射程の明示

確立されたこと

1. $E = 4\pi/|K_v|$ (論文60) とアインシュタイン方程式 $G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$ は逆方向に動作し、エネルギーがヒンジとなる (命題3.1)。
2. 両方の曲率は同じ数学的構造 (ホロノミー) として測定される (命題4.1、系4.2)。
3. 両方の曲率は接線束 TM の相補的な部分に住む (命題5.1、系5.2)。

確立されていないこと

- ・この双対性が新しい物理法則を構成すること、または新しい予言を生むこと。
- ・ $|K_v| \cdot c^2 = 1$ の消去がトートロジーを超えた内容を持つこと。
- ・接線束の読みが運動方程式を修正すること。

未解決問題

- ・位相空間 T^*M のシンプレクティック幾何のもとで、この双対性は非自明な内容を獲得するか？ ADM 形式のハミルトン拘束は空間曲率とエネルギー密度を関係づける。 $E = 4\pi/|K_v|$ が ADM 拘束に埋め込めるなら、運動学的 (速度空間) 曲率と力学的 (時空) 曲率が単一のハミルトン枠組みの中で接続される可能性がある。
- ・シュワルツシルト時空では、座標光速 $c_{\text{coord}} = c\sqrt{1 - r_s/r}$ が位置に依存する。 $K_{\text{eff}}(r) = -1/c_{\text{coord}}^2$ と定義すると、 $E_{\text{eff}} = 4\pi/|K_{\text{eff}}|$ は重力赤方偏移を再現するか？ もしそうなら、それは再導出か、幾何学的洞察か？

§7. 結論

1. $E = 4\pi/|K_v|$ (速度空間の曲率がエネルギーを決定する) と $G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$ (エネルギーが時空の曲率を決定する) は構造的に双対であり、エネルギーがヒンジとなる。合成すると c は消える。
2. 両方の曲率はホロノミーとして測定される：Thomas歳差 (速度空間) と測地線歳差 (時空)。
3. 両方の曲率は接線束 TM に住む：時空曲率は水平方向、速度空間曲率は垂直方向。等価原理はファイバー曲率の一様性として表現される。

本稿は新しい物理法則を主張しない。二つの根本的な曲率関係が、エネルギーをヒンジとして接続され、同じ数学的構造（ホロノミー）で測定され、接線束の相補的な部分に住んでいることを観察した。この構造的双対性が再編成を超えた内容を持つかどうかは、未解決問題として開かれている。

参考文献

1. Varičak, V. (1910). *Anwendung der Lobatschefsikischen Geometrie in der Relativtheorie*. Phys. Z., 11, 93–96.
2. Einstein, A. (1915). *Die Feldgleichungen der Gravitation*. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss., 844–847.
3. Thomas, L. H. (1926). *The motion of the spinning electron*. Nature, 117, 514.
4. de Sitter, W. (1916). *On Einstein's theory of gravitation*. Mon. Not. R. Astron. Soc., 77, 155–184.
5. Everitt, C. W. F. et al. (2011). *Gravity Probe B: Final results*. Phys. Rev. Lett., 106, 221101.
6. Rhodes, J. A. & Semon, M. D. (2004). *Relativistic velocity space, Wigner rotation, and Thomas precession*. Am. J. Phys., 72, 943–960.
7. Ungar, A. A. (2001). *Beyond the Einstein Addition Law and its Gyroscopic Thomas Precession*. Kluwer.
8. Moffat, J. W. (1993). *Superluminary universe*. Int. J. Mod. Phys. D, 2, 351–365.
9. [Yamagishi 2026, Paper 01] Y. Yamagishi, *The Uniqueness Theorem of $n=2$* . Zenodo. [10.5281/zenodo.21403186](https://zenodo.org/record/105281/10.5281/zenodo.21403186)
10. [Yamagishi 2026, Paper 35] Y. Yamagishi, *$G = 4\pi$ Defrosting*. Zenodo. [10.5281/zenodo.21430118](https://zenodo.org/record/105281/10.5281/zenodo.21430118)
11. [Yamagishi 2026, Paper 44] Y. Yamagishi, *The c^1 – c^6 Dimensional Hierarchy*. Zenodo. [10.5281/zenodo.21602231](https://zenodo.org/record/105281/10.5281/zenodo.21602231)
12. [Yamagishi 2026, Paper 60] Y. Yamagishi, *c as the Radius of Velocity Space*. Zenodo. [10.5281/zenodo.21598012](https://zenodo.org/record/105281/10.5281/zenodo.21598012)
13. [Yamagishi 2026, Paper 61] Y. Yamagishi, *The Light Sphere $r = ct$* . Zenodo. [10.5281/zenodo.21598127](https://zenodo.org/record/105281/10.5281/zenodo.21598127)

— 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)