

ゲージという原理 — ワイルの二つの「ゲージ」（スケールと位相）を混同しないために — [論文96]

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

現代物理の最深部には、「局所対称性が相互作用を強制する」という原理がある——ゲージ原理。その源流は、ヘルマン・ワイルが1918年に重力と電磁気を統一しようとして持ち込んだ「ゲージ（Eichung＝物差しが目盛り）」だ。ワイルの原初の着想は、長さのスケールを場所ごとに自由に選べる（局所スケール対称性）とし、その"ずれ"を補正する接続として電磁ポテンシャルを導く、というものだった。だがこの原初理論は自然の理論としては挫折した——アインシュタインの反論（いわゆる第二時計問題：スケールが経路に依存するなら、原子スペクトル線が歴史に依存してしまう）。ところが着想は生まれ変わる：量子力学の登場後（1929）、ワイル自身が「ゲージ」を長さのスケールではなく、波動関数の位相 $e^{i\theta(x)}$ に読み替えた。局所位相対称性＋共変性の要請が、接続として電磁ポテンシャル A を強制する——これが現代のゲージ原理であり、ヤン–ミルズ理論と標準模型の背骨となった。本稿の要点は別根の峻別（論文58/48）だ：「ゲージ」という一語は二つの異なるものを指す——(1) ワイル原初のスケールゲージ（実数の伸縮 $\mathbb{R}^+$ ・非コンパクト＝自然の理論としては挫折）と、(2) 現代の位相ゲージ（円 $U(1)$ ・コンパクト＝標準模型の基盤）。同じ語だが別根であり、「ワイル1918＝標準模型」と混同してはならない（着想の祖先であって、同じ理論ではない）。射程：確立されたゲージ理論の構造的解釈（第2層）で、新しい数学も予言も生まない。宇宙OSは第3層・非科学のレンズ。

本稿の位置づけ（規律）：本稿は確立された物理（ワイルのゲージ理論、量子力学の位相ゲージ、ヤン–ミルズ／標準模型）の構造的解釈である。新しい数学も新しい予言も含まない。要点は、「ゲージ」という一語が指す二つの別根（原初のスケール・ゲージ／現代の位相・ゲージ）を峻別することであり、ワイル1918を現代の標準模型と同一視しない。「局所対称性が相互作用を強制する」という原理は、体系の「弱い仮定が構造を強制する」（論文90）と響き合うが、これは断定ではなく構造の類似の観察である。「宇宙OS」は第3層の非科学レンズであり、機構の主張ではない。

1. 序：局所対称性という原理

現代物理の最深部には、驚くほど単純で強力な原理がある——局所対称性（場所ごとに独立な対称性）を要請すると、それを保つために相互作用（力）が自動的に強制される。電磁気も、弱い力も、強い力も、この一つの原理から出る。標準模型はこの原理の上に建っている。その源流にいたのが、体系の幾何学的本流の一人、ヘルマン・ワイル（1885–1955）である。

だがこの原理には、しばしば見落とされる二重性がある。「ゲージ」という語は、ワイルが最初に持ち込んだ意味（長さのスケール）と、現代が使う意味（波動関数の位相）で別のものを指す。本稿はこの二つを峻別し、体系の「別根の規律」（論文58/48）でゲージ原理を正しく位置づける。新しい定理は作らない。

2. ワイル1918：長さのゲージ（統一の夢）

標準的事実（ワイルの原初のゲージ理論, 1918）

一般相対論では、ベクトルを閉じた経路に沿って平行移動すると向きが変わりうる（曲率）。ワイルはさらに、長さ（スケール）も場所ごとに自由に選べるはずだと考えた——各点で物差しを目盛り（独: *Eichung*、英: *gauge*）を独立に取り替える局所スケール対称性。この目盛りの"ずれ"を補正する接続（1-形式） A_μ を導入すると、その曲率 $F = dA$ が現れる。ワイルは、この A_μ こそ電磁ポテンシャルだと見て、重力と電磁気の幾何学的統一を夢見た。

着想は美しかった。曲率が「向きのずれ」を測るように、新しい接続が「スケールのずれ」を測り、それが電磁場になる——幾何一つで二つの力を語る。ワイルは体系の幾何学的系譜（リーマン→クリフォード→アインシュタイン→ワイル→カルタン→ホップ）に、この壮大な一步を刻んだ。

3. 挫折：アインシュタインの「第二時計問題」

だがアインシュタインは、ただちに致命的な反論を返した。もし長さのスケールが場所（と経路）に依存するなら、二つの時計（あるいは原子）を別々の経路で運んで再会させたとき、進み方（あるいはスペクトル線の波長）が経路の歴史に依存してしまう。これを第二時計問題と呼ぶ。現実には、水素原子のスペクトル線はどこでも同じ——原子は自分の歴史を"覚えていない"。ゆえに、長さの局所スケール対称性を自然がもつという原初理論は、経験に反して挫折した。

ここは正直に記すべき点だ。ワイル1918は、自然を記述する理論としては失敗した。ただし、スケール（共形）不変性という着想そのものは死んでいない——現代でも共形場理論やワイル重力として、別の文脈で研究が続く。失敗したのは「重力+電磁気の統一」という当時の目標であって、「スケール対称性」という数学的対象がすべて無効になったわけではない（これも別根の話だ）。

4. 生まれ変わり：スケールから位相へ（現代のゲージ原理）

標準的事実（位相のゲージ原理, ワイル 1929／ロンドン）

量子力学の登場後、ワイル自身が着想を読み替えた。局所化するのは長さのスケール（実数の伸縮 $e^{\lambda(x)}$ ）ではなく、波動関数の位相（円の回転 $e^{i\theta(x)}$ ）である。 $\psi \rightarrow e^{i\theta(x)}\psi$ という局所位相対称性を要請すると、微分 ∂_μ をそのままでは共変にできない。共変性を回復するために接続 A_μ を導入し、 $\partial_\mu \rightarrow \partial_\mu - ieA_\mu$ （共変微分）とすると、 A_μ はちょうど電磁ポテンシャルとして振る舞い、その曲率 $F = dA$ が電磁場になる。

こうしてワイルの夢は、正しい場所で実現した。相互作用は「局所対称性を保つために強制される接続」として現れる。この原理を非可換群 $SU(2) \times U(1)$ 、 $SU(3)$ に拡張したのがヤン＝ミルズ理論であり、弱い力・強い力・電磁気を束ねる標準模型の背骨になった。局所対称性が力を生む——ワイルの着想は、スケールから位相へと器を替えて、現代物理の中心に座った。

5. 二つの「ゲージ」は別根（スケール vs 位相）

観察 5.1（一語「ゲージ」、二つの別根）

「ゲージ」という語は、体系の別根の規律（論文58/48）で峻別すべき二つの異なる対称性を指す。

- ・ (1) 原初のスケール・ゲージ（ワイル1918）：局所的な長さの伸縮。群は実数の乗法 $\mathbb{R}^+$ （非コンパクト）。自然の理論としては挫折（第二時計問題）。
- ・ (2) 現代の位相・ゲージ（ワイル1929以降）：局所的な位相の回転。群は円 $U(1)$ （コンパクト）、非可換化して $SU(N)$ 。標準模型の基盤。

同じ「ゲージ」でも、スケール（ $\mathbb{R}^+$ ・非コンパクト）と位相（ $U(1)$ ・コンパクト）は別の群・別の対象＝別根である。したがって「ワイル1918＝標準模型」と言ってはならない。1918は着想（局所対称性→接続）の祖先であって、成功した1929以降の理論と同じものではない。

この峻別が要点だ。ゲージ原理の"勝利"を語るとき、ワイルの最初の理論が正しかったかのように圧縮するのは誤りである。正しくは——着想（局所対称性が接続を強制する）は生き残り、その最初の器（長さのスケール）は退けられ、正しい器（位相の円）で花開いた。語を共有するだけの別根を混ぜない、という体系の規律が、ここでも効く。

6. 体系への接続

ゲージ原理は、体系のいくつもの糸と交わる。(a) 弱い仮定が構造を強制する：「局所対称性を課すと相互作用が強制される」は、「弱い仮定が連続対称性（リー群）を強制する」（論文90＝山辺・ヒルベルト第5問題）と構造が似る——ただし別の定理・別の機構であり、同一視はしない（観察であって断定ではない）。(b) 対称性の系譜：ゲージ対称性はネーターの定理（論文80/85）で保存電荷（電荷）と結びつくが、大域的対称性→保存則（ネーター）と局所対称性→相互作用（ゲージ）は別の役割＝別根（論文86の必然性の根の仕分け）。(c) 共通のアルファベット：ゲージ接続 A は1-形式、場の強さは $F = dA$ （論文92/93/87）——ゲージ場は体系の共通の文字で書ける。(d) 曲率のセンサス： $F = dA$ は接続の曲率であり、体系の他の曲率（時空・速度空間・球面＝論文91/60/67）と一つの内在的概念の別インスタンスとして並ぶ。(e) 円のファイバー： $U(1)$ の円は、ホップ・ファイバー束（論文67/68）と同じ「円のファイバー」の幾何につながる。ワイルは体系の幾何学的本流（リーマン→...→ワイル→カルタン→ホップ）の一員である。

■ 著者の私感（第3層・非科学の札つき／機構の主張ではない）

体系のレンズ（比喻）では、ゲージ原理は「宇宙OSが局所的な自由（各点で位相の目盛りを勝手に選べることを）を許すと、その自由を辻褄合わせするために力の場（接続）が自動的に湧く」という絵に見える——自由の代償として相互作用が生まれる、と。だがこれは非科学の札つきである。「自由の代償」は直観を運ぶ比喻であって、機構でも予言でもない。ここで確かなのは、局所対称性の要請が接続（ポテンシャル）を数学的に強制する、という王道の事実だけ。そしてワイルの物語は、体系の三層の humility そのものを教える——美しい着想（1918）が経験に反して挫折し、しかし着想の芯だけが正しい器（1929）で甦った。直観は種であり、王道の数学と経験の検証を経て科学になる。体系の英雄ワイルに、静かな敬意を記す。

7. 射程（何を示し、何を示さないか）

示すこと（記述的・構造的）：

- ・ ワイル1918の原初ゲージ（局所スケール対称性）と、その挫折（アインシュタインの第二時計問題）（2・3節）。
- ・ スケールから位相への読み替え（1929）＝現代のゲージ原理（局所位相対称性→接続 A 、 $F = dA$ ）と標準模型（4節）。
- ・ 「ゲージ」の二つの別根（スケール $\mathbb{R}^+$ ／位相 $U(1)$ ）の峻別。ワイル1918≠標準模型（5節）。

示さないこと（禁欲）：

- ・ ワイル1918を成功理論と混同しない。原初のスケール・ゲージは自然の理論としては挫折した。生き残ったのは着想（局所対称性→接続）である。

- ・局所対称性→相互作用と、大域的対称性→保存則（ネーター）、弱仮定→リー群（90）を同一視しない。響き合うが別の定理・別根。
- ・新しい数学・予言ではない。ゲージ理論・標準模型は標準。ゆえに第2層（構造的解釈）。OSは第3層・非科学。

8. 結論

「局所対称性が相互作用を強制する」——現代物理の背骨であるゲージ原理は、ヘルマン・ワイルの二つの着想の物語だ。1918年、彼は長さのスケールを局所化して重力と電磁気を統一しようとし、アインシュタインの第二時計問題によって挫折した。だが1929年、着想の器を波動関数の位相に替えたとき、局所対称性は電磁ポテンシャルを正しく強制し、ヤン–ミルズと標準模型へと花開いた。

要点は、「ゲージ」という一語が二つの別根——スケール（ $\mathbb{R}^+$ ・挫折）と位相（ $U(1)$ ・成功）——を指すことを混同しない、という体系の規律である。ワイル1918は着想の祖先であって、標準模型と同じものではない。本稿がしたのは、新しい主張ではなく、ゲージ原理を体系の別根の規律で正しく仕分け、 $\mathbf{F} = d\mathbf{A}$ (92)・曲率 (91)・円のファイバー (67/68)・弱仮定→構造 (90) という体系の糸に、正確に接いだことである。美しい失敗と、正しい器での再生——体系の幾何学的英雄ワイルに、一つの番地を返す。

参考文献

1. Weyl, H. (1918). *Gravitation und Elektrizität*. Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. (原初のスケール・ゲージ)
 2. Weyl, H. (1929). *Elektron und Gravitation*. Z. Phys. 56, 330. (位相のゲージ原理)
 3. Yang, C. N. & Mills, R. L. (1954). *Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance*. Phys. Rev. 96, 191.
 4. O’Raifeartaigh, L. (1997). *The Dawning of Gauge Theory*. Princeton University Press.
 5. Yamagishi, Y. (2026). *Distinct Roots (Census of Necessity)* [論文58/86]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21597747; 10.5281/zenodo.21744839
 6. Yamagishi, Y. (2026). *The Shared Alphabet (Cartan)* [論文92]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21758486
 7. Yamagishi, Y. (2026). *Continuous Symmetry from Weak Assumptions (Yamabe)* [論文90]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21758361
-

— 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)