

干渉縞は、指数を覚えていない

— 第3版：山岸・二重スリット幾何波束復元理論の流束が強制する $n = d - 1$ と、縞を決める位相
は、別の根である — [論文41]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

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

2026年8月（第3版）

— *From thinking to syncing.* —

要旨

本稿は二つの結果を持っていた。(A) 球面波の流束が r によらず保存する条件が指数を $n = 2$ に一意化すること、(B) 二つの球面波の重ね合わせが標準的な縞間隔 $\Delta y = \lambda D/a$ を再現すること。どちらの代数も正しい。第3版はそれらを変更しない。第3版が示すのは、この二つが同じ根を持たないことである。第一に、縞は指数を覚えていない。(A) が強制する $|\psi| \propto r^{-1}$ を、あえて $|\psi| \propto r^{-m}$ に緩めて縞の極大位置を数値で求めた。 $m = 1$ ((A) が強制する値) と $m = 3$ (まったく別の値) を比べると、第1極大は $5.00004983966 \times 10^{-3} \text{ m}$ と $5.00002450778 \times 10^{-3} \text{ m}$ 。差は $2.53 \times 10^{-8} \text{ m}$ 、すなわち縞一本の5百万分の一である。 m を0から3まで動かしても平均縞間隔の変化は相対で 7.6×10^{-6} にとどまる。指数は包絡線にしか効いておらず、縞間隔には効いていない。縞を決めているのは位相差 $k(r_1 - r_2)$ だけであり、振幅の落ち方ではない。第二に、 4π はどちらにも出てこない。定理3.1の強度分布 $I = \frac{2|A|^2}{R^2} [1 + \cos(kay/R)]$ に 4π は現れない。振幅 A を1、 $1/\sqrt{4\pi}$ 、17と変えても第1極大は $1.000045 \times 10^{-2} \text{ m}$ のまま動かない。 4π は流束の規格化にしか入らず、模様の形からは消える(論文11第3版の全体因子検査)。第三に、(A) は3次元を選んでいない。 d 次元空間で $|\psi|^2 \propto r^{-n}$ とすると流束は r^{d-1-n} に比例し、保存条件は $n = d - 1$ である ($d = 2, 3, 4, 5$ で数値確認)。 $n = 2$ はその $d = 3$ の場合にすぎず、条件自体はどの次元でも同じ形で成り立つ(論文114・116)。ゆえに本稿はフラットランドの導入を、次元の数を説明するものとして読ませない。第四に、体系内部の接続を二つ更新する。(i) 第2版の第4節は検出器の描像を「論文11の遅延評価プロトコルに基づき」と書いていた。論文11の第3版はこの比喻を機械の移送テストで落としている。遅延評価の芯は値が確定していて計算だけが先送りされている構造であり、それこそコッヘン＝シュペッカーの定理が禁じるものである(ペレス＝マーミンの魔方陣で確認済)。よって本稿は「論文11に基づく」という根拠づけを外す。残るのは次元差を述べる語彙だけであり、それは第2版の注記4.2が既に「記法上の便宜であって導出ではない」と限定していた。その限定は正しく、第3版でも保たれる。(ii) 第2版の注記4.1はボルン則の指数2を論文53のみに委ねていたが、論文11第3版は住所が三つあると点呼している。グリーソンの定理(論文71・要請ではなく定理)、ユニタリ性(論文53・バナッハ＝ランペルティ・確率密度が $|\psi|$ の冪であることを仮定するぶんグリーソンより弱い)、ホップ写像の2(論文68・同根か韻か未決)。本稿は最も弱い一つだけを指していた。射程：確立された初等的事実の構造的解釈と自己点検(第2層)。量子力学の予言を一切変更しない。測定問題を解かず、 $\mathcal{P}_{2D}$ を射影演算子と呼ばず、「波と粒子の二重性」を否定しない。

本稿の位置づけ（規律）：本稿の物理はすべて標準的である。球面波、フラウンホーファー極限の二重スリット干渉、流束保存。新しい定理も予言も無い。第3版の寄与は仕分けと接続の更新である。(i) 本稿の二つの結果が別の根であることを摂動で示し、(ii) $n = 2$ を $n = d - 1$ に一般化して次元を選ばないことを明示し、(iii) 4π がどちらにも効かないことを確認し、(iv) 論文11 の第3版を受けて第4節の根拠づけを外し、(v) ボルン則の 2 の住所を三つ書く。最重要の禁欲：測定問題を解いたと述べない ($\mathcal{P}_{2D}$ は記法・第2版の注記4.2)。遅延評価を機構として使わない（論文11 第3版で落ちている）。 $n = d - 1$ を「空間が3次元である理由」と読まない（どの次元でも成り立つ・論文114）。 4π を機構としない（球面上の積分では常に出る恒等式）。既知の予言を再現するだけであり、新しい予言はしない。第3層のレンズは非科学の札つきで隔離する。

1. 序：本稿は二つの結果を持ち、題名がそれを一本に溶接していた

本稿の第2版は、二つの正しい結果を持っていた。

(A) 第2節	流束保存が指数を $n = 2$ に一意化する
(B) 定理3.1	二つの球面波が縞間隔 $\Delta y = \lambda D/a$ を再現する

どちらの代数も正しい。第3版はどちらも変更しない。

変更するのは、二つの関係についての暗黙の前提である。第2版の題名「3D球形立体角 4π 波動場と2D境界観測による強制ダウンスケール崩壊」は、 4π の波動場と干渉の像を一つの機構として名乗っていた。

本稿はそれを検査する。結果は「別である」であった。

2. (A) 流束保存が強制するもの

球面波を $\Psi(\vec{r}) = Ae^{ik|\vec{r}|}/|\vec{r}|$ と置く。面積要素 $dS = r^2 d\Omega$ で積分した流束は

$$\Phi(r) = \int_{S^2} |\Psi|^2 dS = \int_{S^2} \frac{|A|^2}{r^2} r^2 d\Omega = 4\pi |A|^2$$

であり r によらない。より一般に $|\Psi|^2 \propto r^{-n}$ とすれば $\Phi(r) = 4\pi |A|^2 r^{2-n}$ となり、保存する実数値は $n = 2$ に限られる。

定理 2.1 (d 次元への一般化)

d 次元空間で $|\psi|^2 \propto r^{-n}$ とすると、半径 r の球面 S^{d-1} の面積は r^{d-1} に比例するから

$$\Phi(r) \propto r^{d-1-n}.$$

Φ が r に依らない条件は $n = d - 1$ である。

数値確認： $d = 2, 3, 4, 5$ のそれぞれで $n = d - 1$ と置き、 $r = 0.5, 1, 2, 5, 100$ について Φ を計算したところ、いずれも散らばり 0（厳密に一定）であった。

観察 2.1 (この条件は次元を選んでいる)

$n = 2$ は $n = d - 1$ の $d = 3$ の場合にすぎない。条件そのものはどの次元でも同じ形で成り立つのだから、「流束が保存するから空間は3次元である」とは言えない。これは論文114が「 $n = d - 1$ は次元を選ばない側にいる」と分類したとおりであり、論文116が「 d は分母 $n = d - 1$ にのみ入る」と住所づけしたものと同じ量である。

したがって本稿の序論に置いたフラットランドの比喻は、次元の数を説明するものとして読むではない。それは観測面が場より低い次元であるという事実を述べるための絵であって、なぜ空間が3次元かという問いには触れていない。

観察 2.2 (4π について (第2版の判定を保つ))

4π は球面の全立体角であり、球面上で積分すれば常に現れる。この出現は恒等式であって機構ではない。第2節の実質は指数 $n = d - 1$ の側にある。第2版がこの判定を下しており、第3版もそれを保つ。

3. (B) 縞間隔（定理は第2版から変わらない）

定理 3.1（干渉項）

スリット間隔を a （位置 $y = \pm a/2$ ）、スクリーンを $z = D$ に置き、 $R \equiv \sqrt{D^2 + x^2 + y^2}$ とする。 $R \gg a$ のとき

$$I(x, y) = |\Psi_{\text{total}}|^2 \simeq \frac{2|A|^2}{R^2} \left[1 + \cos \left(\frac{kay}{R} \right) \right],$$

小角近似 $R \simeq D$ の下で $\cos$ 項の位相 kay/D が縞間隔 $\Delta y = 2\pi D/(ka) = \lambda D/a$ を与える。

証明

各スリットからの球面波を $\psi_{1,2} = Ae^{ikr_{1,2}}/r_{1,2}$ 、 $r_{1,2} = \sqrt{D^2 + x^2 + (y \mp a/2)^2}$ とする。 $R \gg a$ の下で $r_{1,2} \simeq R \mp ay/(2R)$ 、ゆえに $r_1 - r_2 \simeq -ay/R$ 。振幅の分母を共通に R で近似すれば

$$|\psi_1 + \psi_2|^2 = \frac{|A|^2}{R^2} |e^{ikr_1} + e^{ikr_2}|^2 = \frac{2|A|^2}{R^2} [1 + \cos(k(r_1 - r_2))]$$

であり、 $\cos$ が偶関数であることから主張の形を得る。

数値検証（第2版から据え置き）： $a = 10^{-4}$ m、 $D = 1$ m、 $\lambda = 5 \times 10^{-7}$ m として、近似を用いない厳密な重ね合わせと比較したところ、 $y = 0, 0.002, 0.005, 0.01$ のいずれでも相対誤差 10^{-5} 以下で一致した。極大点間隔は 4.99999×10^{-3} m（理論値 5×10^{-3} m）。

この一致は本稿の妥当性の確認であって、新しい予言ではない。

4. 第3版の芯：(A) と (B) は別の根である

(A) が強制する指数を、(B) は使っているのか。

検査の方法は単純である。(A) の結論をあえて破り、(B) が動くかを見る。振幅を $\psi = Ae^{ikr}/r^m$ と置き、 m を変えて極大位置を数値で求めた（近似なし、 4×10^6 点の稠密走査＋放物線頂点補間）。

極大	$m = 1$ ((A) が強制)	$m = 3$ (別の値)	差
第1	$5.00004983966 \times 10^{-3}$	$5.00002450778 \times 10^{-3}$	2.53×10^{-8}
第2	$1.0000474715 \times 10^{-2}$	$1.00004240467 \times 10^{-2}$	5.07×10^{-8}
第3	$1.50016497876 \times 10^{-2}$	$1.50015737497 \times 10^{-2}$	7.60×10^{-8}

差は縞一本 ($5 \times 10^{-3} \text{ m}$) の 5 百万分の一である。 m を 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3 と動かしたときの平均縞間隔の変化も相対で 7.6×10^{-6} にとどまった。

観察 4.1 (縞は指数を覚えていない)

(A) が強制する指数を $|\psi|^2 \propto r^{-2}$ から r^{-6} まで変えても、縞は動かない。理由は式が言っている。縞を決めているのは位相差 $k(r_1 - r_2)$ だけであり、そこに振幅の落ち方は入らない。指数が効いているのは包絡線 $2|A|^2/R^{2m}$ 、すなわち縞の明るさが外側でどう落ちるかだけである。

残った 10^{-8} の差も位相由来ではない。二つのスリットからの距離 $r_1 \neq r_2$ に伴う振幅のわずかな不均衡であり、 m が大きいほど不均衡が増すことから来る。

ゆえに (A) と (B) は、同じ機構の二つの現れではない。
一方は明るさの落ち方を決め、他方は縞の間隔を決める。

観察 4.2 (4π はどちらにも効かない)

定理3.1 の強度分布に 4π は一箇所も現れない。振幅 A を 1, $1/\sqrt{4\pi} = 0.2820947918$ 、17 と変えて極大位置を求めたところ、三つとも $1.000045 \times 10^{-2} \text{ m}$ で一致した。

4π は流束の規格化にしか入らず、模様の方からは約分で消える。これは論文11 第3版が一般の検査項目として書いた形（正規化される確率に全体因子としてしか入らない量は、定義上、観測から消える）のこの場での実例である。

したがって第2版の題名にあった「 4π 波動場」は、干渉の記述には寄与していない。

5. 測定の記述について（第4節の根拠づけを外す）

第2版の第4節は、検出器の設置を3次元の場合から2次元面への射影として読み、 $\mathcal{P}_{2D}$ と言いたうえて、こう述べていた。「論文11の遅延評価（Lazy Evaluation）プロトコルに基づき」。

確立された事実 5.1（論文11 第3版：比喻はエンジンで落ちる）

計算機科学の遅延評価とは値は確定していて計算だけが先送りされている構造（サンク）である。その芯にあるものこそ、コッヘン＝シュペッカーの定理が禁じるものである。非文脈的な値の割り当ては、状態によらず不可能である。論文11 第3版はペレス＝マーミンの魔方陣を自前で計算し、行の積と列の積が $+1$ と -1 に分かれることを確認した。比喻は絵として渡るが、機械は渡らない。

よって本稿は「論文11に基づく」という根拠づけを外す。遅延評価は本稿の第4節を支えない。

残るものと、残らないものを分ける。

残る	次元差を述べる語彙（3次元の場合、2次元の観測面）
残らない	遅延評価による機構づけ（論文11 第3版で落ちている）

観察 5.1（第2版の注記4.2 の限定は正しかった）

第2版は既に「 $\mathcal{P}_{2D}$ は数学的な意味での射影演算子ではない」と書いていた。冪等性 $\mathcal{P}^2 = \mathcal{P}$ を満たさず、 δ 関数は状態空間の元ですらないから、定理でも導出でもなく記法上の便宜である、と。

この限定は正しく、第3版でもそのまま保つ。第3版が外したのはその外側にあった根拠づけ（「論文11のプロトコルに基づく」という一句）だけである。

本稿は測定問題を解かない。測定によって何が起きるかという問いは未解決のまま残る。本稿が与えるのは描写する語彙に限られる。

6. ボルン則の 2 には、住所が三つある

第2版の注記4.1 は、射影先の確率分布を論文53 に委ね、「使用可能な指数がユニタリ性により 2 に一意化される」と書いていた。これは正しいが、三つのうち最も弱い一つである。

住所	根拠	強さ
グリーソンの定理（論文71）	次元3以上で確率測度は $\text{tr}(\rho P)$ に限られる	要請ではなく定理
ユニタリ性（論文53）	ℓ^p の等長写像は $p \neq 2$ で位相と置換に限る	$ \psi $ の冪を仮定するぶん弱い
ホップ写像の 2 （論文68）	同じ 2 が現れる	同根か韻か未決

論文53 自身が「グリーソンの定理より弱い」と明記している（注記2.3）。本稿はそちらだけを指していた。第3版は三つとも書く。

7. 射程の書き直し

項目	何であるか
流束保存が $n = d - 1$ を強制する	事実（第2節・定理2.1）
$n = 2$ が3次元を意味すること	示していない（どの次元でも成立・論文114）
$\Delta y = \lambda D/a$ の再現	事実（定理3.1・数値検証済）
(A) と (B) が同じ機構であること	示していない（摂動で分離・第5節）
4π	恒等式（球面積分に常に現れ、模様からは消える）
$\mathcal{P}_{2D}$	記法（射影演算子ではない・第2版の注記4.2）
測定問題の解決	示していない
量子力学の予言の変更	無い（既知の予言を再現するのみ）

八行のうち、本稿に固有の事実は二行である。第2節の流束条件と、定理3.1 の縞間隔。そして第3版が加えたのは、その二行が互いに独立だという一行である。

8. 結び

本稿は33年前の違和感から始まり、二つの正しい代数にたどり着いた。その代数は正しいままである。

変わったのは二つの間にあると思っていた線である。流束保存は明るさの落ち方を決め、位相差は縞の間隔を決める。指数を三倍にしても、縞は縞一本の 5 百万分の一しか動かなかった。

干渉縞は、指数を覚えていない。

示さないこと（禁欲）：測定問題を解いたと述べない（ $\mathcal{P}_{2D}$ は記法・第2版の注記4.2）／遅延評価を機構として使わない（論文11 第3版で落ちている）／ $n = d - 1$ を「空間が3次元である理由」と読まない（どの次元でも成り立つ・論文114・116）／ 4π を機構としない（球面積分の恒等式であり、模様からは消える・論文11 第3版の全体因子検査）／(A) と (B) を一つの機構に統合しない（摂動が分離する）／「波と粒子の二重性」を否定しない（用語法は実験事実の要約として有効に機能している）／量子力学の予言を変更しない／ボルン則を導出したと述べない（住所は三つあり、最も強いのはグリーソンの定理）／新しい数学も予言もない（第2層）。

謝辞

本研究の出発点は、著者が高校時代に二重スリット実験の説明に対して抱いた違和感にある。以来33年にわたり保持されたこの問いが、本稿の着想に至った。専門的な訓練を経ずに物理学の基礎的問題に触れる機会を与えてくれた、教科書と一般向け解説書の著者諸氏に感謝する。

改訂記録

第3版（2026年8月）：代数は変更していない。第2節の流束条件と定理3.1 はそのまま有効である。加えたのは分離と、体系内部の接続の更新である。(i) 本稿の二つの結果が別の根であることを摂動で示した。振幅を r^{-m} に緩めて $m = 1$ と $m = 3$ を比べると、極大位置の差は $2.53 \times 10^{-8} \text{ m}$ （縞一本の 5 百万分の一）にとどまり、 m を 0 から 3 まで動かしても平均縞間隔の変化は相対 7.6×10^{-6} であった。縞を決めるのは位相差だけであり、指数は包絡線にしか効かない。(ii) $n = 2$ を $n = d - 1$ に一般化し（ $d = 2, 3, 4, 5$ で数値確認）、この条件が次元を選ばないことを明示した（論文114・116）。あわせて序論のフラットランドの比喩を次元の数の説明として読ませないように限定した。(iii) 4π が干渉の記述に一切効かないことを確認した（ A を 1、 $1/\sqrt{4\pi}$ 、17 と変えても極大位置は不変）。第2版の「 4π は恒等式であって機構ではない」という判定を、模様の側でも確認したことになる。(iv) 第4節から「論文11の遅延評価プロトコルに基づき」という根拠づけを外した。論文11 第3版が、遅延評価の芯（値は確定していて計算だけが先送りされている構造）がコッヘン＝シュペッカーの定理が禁じるものであることをペレス＝マーミンの魔方陣で確認しているためである。残したのは次元差を述べる語彙のみであり、第2版の注記4.2 の限定（ $\mathcal{P}_{2D}$ は射影演算子ではなく記法である）は正しかったのでそのまま保つ。(v) 第2版の注記4.1 のボルン則の指数 2 について、住所が三つあることを書いた（グリーソンの定理・論文71／ユニタリ性・論文53／ホップ写像・論文68）。第2版は最も弱い一つだけを指していた。第2版で撤回済の項目（初版の $\int_{S^2} |\Psi|^2 d\Omega = 4\pi |A|^2$ 、積分要素の取り違い）は本版でも復活しない。

本文の区切りに使っていた横棒を、句読点に改めた（2026年10月）。主張・数・参考文献は変えていない。

参考文献

1. Abbott, E. A. (1884). *Flatland: A Romance of Many Dimensions*. Seeley & Co.
2. Born, M. (1926). *Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge*. Zeitschrift für Physik 37, 863–867.
3. Feynman, R. P., Leighton, R. B. & Sands, M. (1965). *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. III, Ch. 1. Addison-Wesley.
4. Gleason, A. M. (1957). *Measures on the Closed Subspaces of a Hilbert Space*. Journal of Mathematics and Mechanics 6, 885–893.
5. Kochen, S. & Specker, E. P. (1967). *The Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics*. Journal of Mathematics and Mechanics 17, 59–87.
6. Mermin, N. D. (1990). *Simple Unified Form for the Major No-Hidden-Variables Theorems*. Physical Review Letters 65, 3373–3376.
7. Yamagishi, Y. (2026). *The Factor that Vanishes in Normalisation, and the Exponent 2 of the Born Rule* [論文11]、第3版. Zenodo. 10.5281/zenodo.21404636（遅延評価の比喩が機械の移送テストに落ちること／全体因子検査）
8. Yamagishi, Y. (2026). *The Uniqueness Theorem of $n = 2$* [論文01]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21403186
9. Yamagishi, Y. (2026). *Debugging the Anthropic Principle* [論文10]、第3版. Zenodo. 10.5281/zenodo.21404556
10. Yamagishi, Y. (2026). *Geometrical Derivation of the Born Rule* [論文53]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21603193（ユニタリ性による一意化・グリーソンより弱いことを自ら明記）
11. Yamagishi, Y. (2026). *Gleason's Theorem* [論文71]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21650577 / *The Qubit is the Hopf Map* [論文68]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21642238
12. Yamagishi, Y. (2026). *Who Knows They Are in Four Dimensions* [論文114]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21963544（ $n = d - 1$ は次元を選ばない側）
13. Yamagishi, Y. (2026). *What Does the Exponent of c Count?* [論文116]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22003794（ d は分母 $n = d - 1$ にのみ入る）

— *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)