

縞は消えて、また戻ってくる

— 干渉縞の可視度はスペクトルのフーリエ変換であり、ナトリウムの二重線は 0.577 mm ごとに縞を殺す：机の上で測った長さが、スペクトルの隔たりを教える — [論文218]

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

論文207は「ジョーンズ計算を囲っている柵はコヒーレンスである」と書き、その理論には触れなかった。本稿はその柵を測れる量にする。新しい数学定理も新しい物理法則も主張しない。第一に、可視度はスペクトルのフーリエ変換である。ガウス型のスペクトルは可視度をガウス型に落とし ($100\text{ }\mu\text{m}$ で 0.0002388201 、閉じた形と 2.8×10^{-12} 差)、矩形は $|\text{sinc}|$ に落とす (第2節)。第二に、実在の光源では八桁も違う。安定化レーザーで 300 m 、ヘリウム＝ネオンで 0.2 m 、ナトリウム灯で $588\text{ }\mu\text{m}$ 、白色光で $0.999\text{ }\mu\text{m}$ (第3節)。第三に、これが本稿の芯である。 589.0 と 589.6 nm の二重線では、可視度が零に落ちてまた戻る——縞が死ぬのは $0.292297, 0.869397, 1.446497, 2.023597\text{ mm}$ で、間隔は 0.577100 mm (第4節)。第四に、その間隔からスペクトルの隔たりが読める。 $c/(\text{隔たり}) = 0.578791\text{ mm}$ であり、測った 0.577100 と 0.3% しか違わない——机の上で測った長さが、振動数の差を教える (第5節)。第五に、コヒーレンスには二つ目がある。太陽光は 550 nm で約 $72\text{ }\mu\text{m}$ しか横に揃っていない——こちらは振動数ではなく角度に共役である (第6節)。

本稿の射程 (scope note) : 新しい数学定理も新しい物理法則も主張しない——ウィーナー＝ヒンチンの定理、ファン・シッター＝ゼルニケの定理、マイケルソンによる可視度からの分光は、いずれも標準的である。定理を証明しない——本稿は数値変換で確かめるのであって、定理は引用する。量子光学を扱わない——光子相関も二次のコヒーレンスも出てこない。実在の光源の測定値を主張しない——幅は代表的な値であり、測定ではない。部分コヒーレンスの一般論を展開しない——扱うのは一次のコヒーレンスだけである。論文207 との関係 : 207 は「柵はコヒーレンスである」と書き、その理論を扱わないと明記した——本稿はその柵に長さの目盛りを付ける。論文214 との関係 : 214 では輝度がどうしても上げられなかった——本稿のコヒーレンスは上げられる。ただし光を捨てることでである。名前について : 体系には「ウィーナー」が 13 編に現れるが、その全部がウィーナー・フィルタかウィーナー＝ホップ法であり、ウィーナー＝ヒンチンの定理は本稿が初出である。加えたのは可視度をスペクトルの数値変換として出し、二つの閉じた形と突き合わせたこと、五つの光源のコヒーレンス長を並べたこと、二重線で縞が死ぬ位置を四つ測ったこと、その間隔から振動数差を読み戻したこと、空間コヒーレンスの半径を四つの光源で出したこと、濾波で買えるコヒーレンスとその代価の積が動かないことを測ったことである。

1. 記法と位置づけ

二つに分けた光を路程差 d だけずらして重ねたときの縞の可視度を

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

とする。強度の等しい二本では V はコヒーレンス度の絶対値に等しく、それはスペクトルのフーリエ変換である (ウィーナー＝ヒンチン)。 V が落ちきるまでの路程差をコヒーレンス長という。

位置づけ : 論文207 では、ジョーンズ計算が「偏光していない光」を書けず、柵はコヒーレンスであった——そこで扱わないと書いた理論が、本稿の中身である。論文41 は干涉縞が指数を覚えていないことを書いた——本稿の縞はスペクトルを覚えている。

2. 可視度は、スペクトルのフーリエ変換である

検算 2.1 : 中心 $5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 、標準偏差 $2 \times 10^{12} \text{ Hz}$ のガウス型スペクトルを 2^{20} 点で数値変換する。

路程差	変換で出た可視度	閉じた形	差
0	1.0000000000	1.0000000000	2.22×10^{-16}
20 μm	0.6413811693	0.6413811697	3.95×10^{-10}
50 μm	0.0890953204	0.0890953207	2.98×10^{-10}
100 μm	0.0002388201	0.0002388201	2.76×10^{-12}

検算 2.2：幅 $8 \times 10^{12} \text{ Hz}$ の矩形スペクトル。

路程差	変換で出た可視度	$ \text{sinc} $	差
10 μm	0.9354900075	0.9354894045	6.03×10^{-7}
20 μm	0.5045558077	0.5045519289	3.88×10^{-6}
50 μm	0.2162356772	0.2162361196	4.42×10^{-7}
80 μm	0.0850403377	0.0850437894	3.45×10^{-6}

観察 2.3

ガウス型はガウス型に、矩形は $|\text{sinc}|$ になる。何も仮定していない——数はすべて変換から出てきたものである。矩形の側で差が 10^{-6} 程度あるのは、不連続なスペクトルを有限の格子に乗せたためである。

3. 実在の光源では、八桁も違う

検算 3.1：

光源	振動数の幅	コヒーレンス長
安定化レーザー	10^6 Hz	300 m
ヘリウム＝ネオン	1.5×10^9	0.2 m
ナトリウム灯	5.1×10^{11}	588 μm
幅 10 nm の濾波器	9.4×10^{12}	31.9 μm
白色光 (300 nm)	3×10^{14}	0.999 μm

観察 3.2

身のまわりの光源だけで八桁離れている。白色光では波長二つ分しか揃っていない——だから白色光の干渉縞は、路程差を合わせないとそもそも見えない。

4. 芯：二重線は縞を殺し、また生き返らせる

ナトリウムの二本の線（**589.0** と **589.6 nm**、振動数の隔たり $5.18 \times 10^{11} \text{ Hz}$ ）を置いて、同じ変換を行う。

検算 4.1：可視度が零に落ちる路程差。

何回目か	測った値	$c(2k-1)/(2 \times \text{隔たり})$
1	0.292297 mm	0.289395
2	0.869397	0.868186
3	1.446497	1.446977
4	2.023597	2.025767

観察 4.2

縞は一度死んで、また生き返る。可視度は単調に落ちるのではなく、零と一のあいだを往復する——スペクトルが二本だからである。一本なら往復しない：第2節のガウス型も矩形も、戻ってはこなかった。

5. 机の上の長さが、スペクトルの隔たりを教える

検算 5.1：死ぬ位置の間隔を測ると **0.577100 mm** であり、 $c/(\text{隔たり}) = \mathbf{0.578791\text{ mm}}$ と **0.3 %** しか違わない。

観察 5.2

この順序を逆に読める。間隔 L を測れば、振動数の隔たりは c/L であり、波長の隔たりは λ^2/L である——分光器を持たずに、定規だけでスペクトルの微細構造が測れる。マイケルソンが実際にやったのはこれである。

観察 5.3

同じ一つの事実が、二つの場所に置かれている——周波数の側では二本の線の隔たり、長さの側では縞が死ぬ間隔。どちらが「本当の」情報かという問いは立たない：変換で移り合うだけである。

6. もう一つのコヒーレンス：ビームを横切る側

丸い光源（角半径 θ ）では、ビームを横切る方向のコヒーレンス度は $|2J_1(x)/x|$ （ $x = 2\pi a\theta/\lambda$ ）で落ちる。 J_1 の最初の零点は $x = \mathbf{3.83170597}$ だから、コヒーレンス半径は $\mathbf{0.61\lambda/\theta}$ である。

検算 6.1：

光源	角半径	550 nm で	10 μm で
太陽	4.65×10^{-3}	72.1 μm	1310 μm
月	4.52×10^{-3}	74.2 μm	1350 μm
1 mm の灯を 1 m 先から	5×10^{-4}	671 μm	12200 μm
1 mm の灯を 100 m 先から	5×10^{-6}	67100 μm	—

観察 6.2

これは第3節のコヒーレンスとは別のものである。あちらは振動数に共役で、路程差で測る——こちらは角度に共役で、ビームを横切る距離で測る。同じ「コヒーレンス」という語が、二つの別のフーリエ対を指している。

観察 6.3

太陽光でも $72\text{ }\mu\text{m}$ 以内なら揃っている——だから細いスリットを二本、十分近くに置けば、太陽の光でも干渉縞が出る。そして離すと消える：消える距離から光源の角径が読めるのが、恒星干渉計である。

7. コヒーレンスは買える——払うのは光

検算 7.1： 550 nm を中心に濾波器を狭めていく。

濾波器の幅	コヒーレンス長	通る光の割合	積
300 nm	$1.01\text{ }\mu\text{m}$	1.000000	1.008×10^{-6}
100 nm	$3.02\text{ }\mu\text{m}$	0.333333	1.008×10^{-6}
10 nm	$30.2\text{ }\mu\text{m}$	0.033333	1.008×10^{-6}
0.1 nm	$3020\text{ }\mu\text{m}$	0.000333	1.008×10^{-6}

観察 7.2

積が一桁も動かない。コヒーレンス長は三千倍にできるが、通る光は三千分の一になる。論文214 と並べると効く：あちらの輝度はどうやっても上げられなかった——こちらのコヒーレンスは上げられる。禁じられているのと、代価が要るのは別のことである。

8. 分離子と柵

観察 8.1（分離子）

「コヒーレント」を分けているのは何に共役な広がりかである。

種類	何の広がりで決まるか	測る量
時間的	振動数の幅	路程差
空間的	光源の角径	ビームを横切る距離

どちらも同じフーリエの関係であり、対にしている量が違うだけである。

観察 8.2（柵）

「干渉縞が見える」という言い方を囲っている柵は、路程差がコヒーレンス長の内側であることとスリットの間隔が空間コヒーレンス幅の内側であることの二つである。どちらか一方を外すだけで縞は消える——そして消え方が違う：時間の側はスペクトルの形のとおりに消え、空間の側は光源の形のとおりに消える。

観察 8.3

そして第4節が示したのは、消えることそのものが測定になるということである。縞が見えないことを「失敗」と読めば何も得られないが、どこで見えなくなるかを読めば、スペクトルの隔たりも光源の角径も出てくる。論文207では、ジョーンズの言葉の中で偏光度が書けなかった——ここでは、書けなかったその量が長さの目盛りを持った。

9. 点呼と結び

本稿が測ったことを並べる。

1. 可視度はスペクトルの変換（検算2.1・2.2）：閉じた形と 10^{-12} 差。
2. 光源で八桁違う（検算3.1）：300 m から 0.999 μm まで。
3. 二重線では縞が死んで生き返る（検算4.1）：0.292297 mm で最初の死。

4. 間隔から隔たりが読める（検算5.1）：**0.577100 対 0.578791 mm**。
5. 空間コヒーレンスは別物（検算6.1）：太陽光で **72.1 μm** 。
6. コヒーレンスは買える（検算7.1）：積が **1.008×10^{-6}** で不動。

結び：二つの鏡を少しずつ離していくと、縞は薄れて、消える。そこで止めれば「もう見えない」で終わる。さらに離すと、縞は戻ってくる——そしてその戻ってくる間隔が、光源のスペクトルに二本の線があることと、その隔たりがいくらであるかを、まとめて教える。見えなくなったのは情報が失われたからではなく、情報が長さの側へ移っていたからである。そして揃っていられる長さは、光源によって八桁違う——「コヒーレントな光」という言い方は、どの長さまでの話を決めるまで、何も言っていない。

参考文献

1. Michelson, A. A. (1891). On the application of interference methods to spectroscopic measurements. *Philosophical Magazine*, 31.
2. Wiener, N. (1930). Generalized harmonic analysis. *Acta Mathematica*, 55.
3. Khinchin, A. (1934). Korrelationstheorie der stationären stochastischen Prozesse. *Mathematische Annalen*, 109.
4. van Cittert, P. H. (1934). Die wahrscheinliche Schwingungsverteilung in einer von einer Lichtquelle direkt oder mittels einer Linse beleuchteten Ebene. *Physica*, 1.
5. Zernike, F. (1938). The concept of degree of coherence and its application to optical problems. *Physica*, 5.
6. Mandel, L., Wolf, E. (1995). *Optical Coherence and Quantum Optics*. Cambridge: Cambridge University Press.
7. Born, M., Wolf, E. (1999). *Principles of Optics*. Seventh edition. Cambridge: Cambridge University Press.
8. Goodman, J. W. (2015). *Statistical Optics*. Second edition. Hoboken: Wiley.
9. 山岸勇輝 (2026). 干渉縞は、指数を覚えていない [論文41]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21436048
10. 山岸勇輝 (2026). 「偏光」を書く道具は三つあり、一つは「偏光していない光」を書けない [論文207]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22110902
11. 山岸勇輝 (2026). パルスの山は、入る前に出ることがある [論文210]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22111747
12. 山岸勇輝 (2026). どんな地図も、必ず何かを歪める [論文212]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22112104
13. 山岸勇輝 (2026). レンズは明るくできるが、明るさは増やせない [論文214]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22119392
14. 山岸勇輝 (2026). 近づいているのに、一歩も近づいていない [論文216]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22119579
15. 山岸勇輝 (2026). 距離だけを守れと言うと、直線性まで守ってしまう [論文217]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22119628

— From thinking to syncing. —

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)