ブラッグの式の 2 は、次元でも指数でもなく、往復の 2 である

— 隣り合う面で反射した二本の光路差を幾何から直に組むと、降りる分と戻る分がそれぞれ $d\sin\theta$ で、和が $2d\sin\theta$ に 12 桁一致する — 面間隔を 2 倍にしても式の中の 2 は動かない — [論文545]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)
Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan｜山岸勇輝ラボ
2026年9月

— From thinking to syncing. —

要旨

ブラッグの条件 $2d\sin\theta = n\lambda$ には 2 が入っている。本稿が示すのは、その 2 が往復から来る数であり、次元にも指数にも由来しないこと、そして落とすと面間隔がちょうど 2 倍に出ることである。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、光路差を幾何から直に組むと、二つの等しい寄与に分かれる——降りる分と戻る分がそれぞれ $d\sin\theta$ であり、和が $2d\sin\theta$ に 12 桁一致する（第2節）。 第二に、これが本稿の芯である。2 を落とすと、面間隔がちょうど 2 倍に出る——銅の (111) で 2.0879 オングストロームが 4.1758 になり、比は 2.000000 である（第3節）。 第三に、正しい側は既知の値と合う——2.0879 は文献の約 2.087 オングストロームと 0.01 以内で一致する（第3節）。 第四に、落とした側は合わない——4.1758 は既知の値と 1 オングストローム以上ずれる。境目の反対側である（第3節）。 第五に、この 2 は動かない——面間隔を 2.087 から 4.174 オングストロームへ 2 倍にすると角は 21.6598 度から 10.6347 度へ変わるが、式の中の 2 は変わらない（第4節）。 第六に、分離子は、その 2 が何を数えているかである——往復の回数であって、次元の数でも冪の指数でもない（第4節）。 キーワード：ブラッグの条件、X 線回折、結晶、往復の光路差、格子面。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——ブラッグの条件も、その幾何も標準的である。回折の動力学理論に立ち入らない——吸収も消衰も多重散乱も扱わず、運動学的な光路差だけを見る。結晶構造を決定しない——一つの面と一つのピークだけを扱い、構造解析の手続きは述べない。実験の誤差を扱わない——ピーク位置の読み取り誤差や装置定数の較正は主題ではない。屈折の補正を入れない——結晶内部の屈折率がわずかに 1 と違うことによる補正は無視した。他の 2 と束ねない——体系にある他の 2 と同根だとは書かない。往復から来るという一点だけを言う。既刊との関係：論文157 は二乗を点呼した——本稿はその点呼に一つ足す。ただし本稿の 2 は二乗の 2 ではなく、往復の 2 である。論文335 は往復すると冪が変わると示した——あちらの往復は冪を動かした。こちらの往復は係数に出る。同じ「往復」でも出方が違う。論文269 は結晶が禁じているのが対称性ではなく周期性だと示した——ブラッグの条件が使えるのは周期性があるときであり、あちらの主題がここでの前提になっている。論文300 は同根か別根かが判定できると示した——本稿の 2 と二乗の 2 は「量の持ち物」の基準で別根である。加えたのは、光路差を幾何から組み立てて $2d\sin\theta$ に 12 桁一致させたこと、二つの寄与が等しいことを確かめたこと、2 を落とすと面間隔がちょうど 2.000000 倍に出ると示したこと、正しい側が既知の値と合い、落とした側が合わないことを両側で見たこと、分離子を「その 2 が何を数えているか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：間隔 d で平行に並んだ面に、面から測った角 θ で波長 λ の波が入る。隣り合う面で反射した二本が強め合う条件が

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

である。

> **観察 1.1**
>
> 2 の出所は書かれていない。式だけを見ると、次元から来たのか、二乗から来たのか、係数なのかが分からない——同じ 2 でも、何を数えているかで振る舞いが違う。

> **観察 1.2**
>
> 見分ける方法がある。光路差を幾何から直に組み立てて、どこで 2 が現れるかを見ればよい——式を信じずに、図から数えることができる。

問い：この 2 は何を数えているか。

2. 光路差を幾何から組む

計算 2.1：下の面で反射する波が余分に進む距離を、二つに分けて足した。一つは下の面へ降りる分、もう一つは戻る分で、どちらも $d \sin\theta$ である。

d	θ（度）	幾何から組んだ和	$2d\sin\theta$
2.00	10.00	0.694592710668	0.694592710668
2.00	21.65	1.475743181838	1.475743181838
2.00	45.00	2.828427124746	2.828427124746
3.50	21.65	2.582550568217	2.582550568217

> **観察 2.2**
>
> どの場合も 12 桁で一致する。差はちょうど零——式が幾何から出ていることの検査であって、主張ではない。

> **観察 2.3**
>
> 二つの寄与が等しい。降りる分も戻る分も $d\sin\theta$——だから和が 2 倍になる。2 は「二回」を数えている。

> **観察 2.4**
>
> 入射角と反射角が等しいことが効いている。等しくなければ二つの寄与は違う値になり、2 は出ない——2 の背後にあるのは鏡面反射という仮定である。

3. 2 を落とすとどうなるか

計算 3.1：銅の K アルファ線（波長 1.5406 オングストローム）で、(111) 面の第一ピークが $2\theta = 43.30$ 度に出るとして、面間隔を二通りで求めた。

式	出る面間隔
$d = \lambda / (2 \sin\theta)$	**2.0879** オングストローム
$d = \lambda / \sin\theta$（2 を落とす）	**4.1758** オングストローム
比	**2.000000**
文献の値（銅 (111)）	約 2.087 オングストローム

> **観察 3.2**
>
> これが本稿の芯である。2 を落とすと、面間隔がちょうど **2.000000** 倍に出る——誤差ではなく、係数がそのまま答に移る。

> **観察 3.3**
>
> 正しい側は既知の値と合う。**2.0879** と約 2.087 が 0.01 オングストローム以内——独立に知られた値との突合せであり、落ちうる形の検査である。

> **観察 3.4**
>
> 落とした側は合わない。**4.1758** は既知の値と 1 オングストローム以上ずれる——境目の反対側。両側を見たので、検査が素通しでないことが分かる。

> **観察 3.5**
>
> 間違いが目立たない形で起きる。4.1758 という値そのものは、結晶の面間隔として不自然ではない——既知の値と照らさなければ、そのまま通ってしまう。

4. 分離子

計算 4.1：面間隔を 2 倍にしたときの角を出した。$d = 2.087$ で 21.6598 度、$d = 4.174$ で 10.6347 度である。

観察 4.2

d を 2 倍にすると $\sin\theta$ が半分になる。式の中の 2 は動かない——2 は d にも λ にも θ にも依らない。定数である。

観察 4.3

分離子は、その 2 が何を数えているかである。往復の回数を数えている——次元の数でも冪の指数でもないので、次元を変えても指数を変えても動かない。

観察 4.4

論文157 の点呼に一つ足す。ただし二乗の 2 ではない——同じ表に並べるときは、往復の 2 として別の欄に置かなければならない。

観察 4.5

論文335 とは出方が違う。あちらは往復すると冪が変わると示した——こちらの往復は係数に出る。同じ往復でも、指数に出るか係数に出るかで別根である。

観察 4.6

論文269 の主題が前提になっている。あちらは結晶が禁じているのが対称性ではなく周期性だと示した——ブラッグの条件が使えるのは周期性があるときで、面が等間隔に並んでいなければ d が定まらない。

観察 4.7

言わないこと。回折の動力学理論には立ち入らない——吸収も消衰も多重散乱も扱わず、結晶内部の屈折の補正も無視した。

5. 点呼と結び

1. 幾何と式が 12 桁一致（計算 2.1）：差はちょうど零。
2. 二つの寄与が等しい（観察 2.3）：どちらも $d\sin\theta$。
3. 鏡面反射が効いている（観察 2.4）：等しくなければ 2 は出ない。
4. 正しい式で 2.0879 オングストローム（計算 3.1）：文献値と一致。
5. 落とすと 4.1758（計算 3.1）：本稿の芯。
6. 比はちょうど 2.000000（観察 3.2）：係数が答に移る。
7. 落とした側は合わない（観察 3.4）：境目の反対側。
8. 間違いが目立たない（観察 3.5）：照らさなければ通る。
9. d を 2 倍で $\sin\theta$ が半分（計算 4.1）：式の 2 は動かない。
10. 分離子は何を数えているか（観察 4.3）：往復の回数。
11. 論文335 とは出方が違う（観察 4.5）：指数か係数か。

結び：ブラッグの条件 $2d\sin\theta = n\lambda$ には 2 が入っている。その 2 は往復から来る——光路差を幾何から直に組み立てると、下の面へ降りる分と戻る分がそれぞれ $d\sin\theta$ になり、和が $2d\sin\theta$ に 12 桁一致する。一致は式が幾何から出ていることの検査であって、主張ではない。二つの寄与が等しいのは入射角と反射角が等しいからで、等しくなければ 2 は出ない。2 の背後にあるのは鏡面反射という仮定である。落とすと、面間隔がちょうど 2 倍に出る——銅の K アルファ線で (111) 面の第一ピークが $2\theta = 43.30$ 度に出るとすると、正しい式では 2.0879 オングストローム、2 を落とすと 4.1758 で、比はちょうど 2.000000 である。正しい側は文献の約 2.087 オングストロームと 0.01 以内で合い、落とした側は 1 オングストローム以上ずれる。両側を見たので、検査が素通しでないことが分かる。しかも間違いは目立たない形で起きる。4.1758 という値そのものは結晶の面間隔として不自然ではないので、既知の値と照らさなければそのまま通ってしまう。分離子は、その 2 が何を数えているかである——面間隔を 2.087 から 4.174 オングストロームへ 2 倍にすると角は 21.6598 度から 10.6347 度へ変わるが、式の中の 2 は動かない。d にも λ にも θ にも依らない定数である。数えているのは往復の回数で、次元の数でも冪の指数でもないので、次元を変えても指数を変えても動かない。論文157 の二乗の点呼に一つ足せるが、二乗の 2 ではないので、同じ表に並べるときは往復の 2 として別の欄に置かなければならない。論文335 は往復すると冪が変わると示した。こちらの往復は係数に出るので、同じ往復でも指数に出るか係数に出るかで別根である。論文269 が示した周期性が前提になっている。面が等間隔に並んでいなければ d が定まらない。正直に言えば——回折の動力学理論には立ち入っていない。吸収も消衰も多重散乱も扱わず、運動学的な光路差だけを見た。結晶構造も決定しておらず、一つの面と一つのピークだけを扱った。ピーク位置の読み取り誤差も装置定数の較正も主題ではなく、結晶内部の屈折率がわずかに 1 と違うことによる補正も無視した。体系にある他の 2 と同根だとも書かない。言えるのは、この 2 が往復から来ており、落とすと答がちょうど 2 倍になる、そこまでである。

参考文献

1. Als-Nielsen, J., & McMorrow, D. (2011). *Elements of Modern X-ray Physics* (2nd ed.). Wiley.
2. Bragg, W. H., & Bragg, W. L. (1913). *The Reflection of X-rays by Crystals*. Proceedings of the Royal Society A.
3. Cullity, B. D., & Stock, S. R. (2001). *Elements of X-Ray Diffraction* (3rd ed.). Prentice Hall.
4. Warren, B. E. (1990). *X-Ray Diffraction*. Dover.
5. 山岸勇輝 (2026). 『二乗の点呼』[論文157]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22091931
6. 山岸勇輝 (2026). 『結晶が禁じているのは対称性ではなく、周期性である』[論文269]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22169855
7. 山岸勇輝 (2026). 『三百本目の点呼 ── 同根か別根かは、判定できる』[論文300]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171914
8. 山岸勇輝 (2026). 『往復すると、冪が変わる』[論文335]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22681851

— *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)