

X線に対する屈折率は1未満で、位相速度は光速を超える

— シリコンで $n = 0.999992558$ 、位相速度は c より **2231.11** m/s 速い — それでも情報は速くならない — 屈折率が小さいのは真空より疎だからではなく、束縛の共鳴より上にいるからである — [論文 407]

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

屈折率は1より大きく、光は物質の中で遅くなる、と習う。本稿が示すのはX線では逆であることである—— $n < 1$ で、位相速度が c を超える。新しい定理も法則も主張しない。第一に、シリコンに対するCu K α 線で $\delta = 7.442142 \times 10^{-6}$ 、 $n = 0.999992558$ である(第2節)。第二に、これが本稿の芯である。位相速度が c より**2231.11** m/s 速い(第2節)。第三に、それでも情報は速くならない。群速度は c を超えない(第4節)。第四に、臨界角は**0.221048**度で、シリコンの既知値**0.223**度と一致する(第3節)。第五に、 $n < 1$ なので、真空から入射して全反射が起きる。「内側」ではなく「外側」で起きる(第3節)。第六に、分離子は「位相速度か、信号速度か」である(第5節)。

本稿の射程(射程注記): 新しい定理も法則も主張しない——X線領域の屈折率 $n = 1 - \delta$ 、全外部反射、臨界角 $\sqrt{2\delta}$ はすべてX線光学で既知である。分散理論を作らない——なぜ共鳴の上で $n < 1$ になるかの導出には立ち入らない。自由電子近似の式に数を入れる。吸収を扱わない—— $n = 1 - \delta + i\beta$ の虚部は主題ではない。実部だけを見る。相対論を論じない——位相速度が c を超えても因果律に反しないことは既知であり、本稿は群速度に触れるにとどめる。装置を設計しない——X線ミラーや多層膜の設計は主題ではない。吸収端を扱わない——吸収端の近くでは自由電子近似が破れる。本稿は端から離れた波長を使う。既刊との関係: 論文403は温度の大小が熱さの順ではないことを示した——ここでは屈折率の大小が「密さ」の順ではない。論文395は音が曲がるから遠くへ届くことを示した——ここでは屈折率の向きが逆で、全反射が外側で起きる。論文384は自由空間損失が損失でないことを示した——どちらも、名前が実態と食い違っている。論文300は同根か別根かが判定できることを示した——位相速度と信号速度は、その基準で別根である。加えたのは、シリコンの電子密度から δ を計算したこと、臨界角を既知値と突合せたこと、位相速度の超過を**2231.11** m/sと数に出したこと、波長二倍で δ がちょうど四倍になることを確かめたこと、分離子を「位相速度か信号速度か」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：X線領域では、電子を自由と近似して屈折率を次のように書く。

$$n = 1 - \delta, \quad \delta = \frac{r_e \lambda^2 n_e}{2\pi}$$

$r_e = 2.8179 \times 10^{-15} \text{ m}$ は古典電子半径、 n_e は電子密度である。シリコン（密度 2.329 g/cm^3 、 $Z = 14$ ）に Cu K α ($\lambda = 0.15406 \text{ nm}$) を当てる。

観察 1.1

δ は正である。 r_e 、 λ^2 、 n_e がすべて正——だから n は必ず 1 より小さい。

観察 1.2

$n < 1$ なら位相速度 c/n は c より大きい。定義から——例外ではなく、X線では常にそうである。

観察 1.3

δ は λ^2 に比例する。波長が短いほど 1 に近い——可視光の式ではない。

問い：光は物質の中で遅くなるのか。

2. $n = 0.999992558$ 、位相速度は $c + 2231.11 \text{ m/s}$

計算 2.1：シリコンに対する Cu K α （本稿で計算）。

量	値
電子密度 n_e	$6.991434 \times 10^{29} / \text{m}^3$
δ	7.442142×10^{-6}
屈折率 $n = 1 - \delta$	0.999992558
位相速度 c/n	$c + \mathbf{2231.11} \text{ m/s}$
臨界角 $\sqrt{2\delta}$	0.221048 度

観察 2.2

これが本稿の芯である。位相速度が c より **2231.11 m/s** 速い—— $n < 1$ からの直接の帰結で、特別な条件は要らない。

観察 2.3

n は 1 からわずかししか離れていない。 7.4×10^{-6} ——可視光のガラス ($n \approx 1.5$) とは桁が五つ違う。

観察 2.4

波長を二倍にすると δ がちょうど四倍になる。 λ^2 ——式の構造が数で確かめられる。

観察 2.5

臨界角は波長にちょうど比例する。 $\sqrt{2\delta} \propto \lambda$ ——波長二倍で角度も二倍。

観察 2.6

可視光 (600 nm) に同じ式を当てると $\delta > 1$ になる。自由電子近似が破れる——式には適用範囲がある。

3. 全反射が「外側」で起きる

観察 3.1

可視光では、密な媒質から疎な媒質へ出るときに全反射が起きる。ガラスから空気へ—— n の大きいほうから小さいほうへ。

観察 3.2

X線では、真空のほうが n が大きい。 $1 > 0.999992558$ ——だから真空から物質へ入射するときに全反射が起きる。

観察 3.3

これを全外部反射と呼ぶ。名前に「外部」が入っている——可視光の直感と逆だからである。

観察 3.4

臨界角は面すれすれの 0.221048 度である。面から測る——シリコンの既知値 0.223 度と 0.01 度以内で一致する。

観察 3.5

だからX線の鏡は、すれすれに使う。斜入射光学系——X線望遠鏡が筒を重ねた形をしているのは、この一本の角度である。

観察 3.6

論文395 と裏返しの形である。論文395 では音速の最小へ曲がって閉じ込められた——ここでは屈折率の向きが逆で、入れない代わりに反射する。

4. 位相速度が c を超えても、情報は速くならない

観察 4.1

位相速度は、等位相面が進む速さである。無限に続く単色波の性質——そこには印が付いていない。

観察 4.2

情報を運ぶのは、波形の変化である。包絡線や不連続——それが進む速さは群速度・信号速度である。

観察 4.3

δ が λ^2 に比例するので、分散がある。 n が波長に依る——位相速度と群速度が一致しない。

観察 4.4

論文300 の基準で別根である。位相速度は等位相面の運動、信号速度は前面の運動——同じ「速さ」という語が、根の違う二つを指している。

観察 4.5

論文403 と同じ形である。論文403 では温度の大小が熱さの順ではなかった——ここでは速さの大小が情報の速さの順ではない。どちらも、慣れた量が順序を担っていない。

5. 分離子：位相速度か、信号速度か

観察 5.1

分離子——印が付いていない波を見ているか、印の付いた波を見ているか。

量	何の速さ	c を超えるか	因果律
位相速度 c/n	等位相面	超える	関係しない
群速度・信号速度	波形の変化	超えない	関係する

観察 5.2

右端の列が判定になる。因果律に関わるかどうか——関わらない量が c を超えても、何も壊れない。

観察 5.3

「光速を超える」という語が、二つを指している。片方は日常的に起きる——片方は起きない。

観察 5.4

分離子は動かせる。単色波に振幅の変化を付ければ、そこから信号速度が定義できる——印を付けた瞬間に、速さが変わる。

観察 5.5

正直に言えば—— 0.221048 度も 2231.11 m/s も、自由電子近似の値である。吸収端の近くでは破れる——動かないのは、 δ が正であることと、そこから $n < 1$ が出ることである。

観察 5.6

最後に一つ——「屈折率は 1 より大きい」は、可視光についての経験則である。法則ではない——波長を変えれば符号が変わる。

6. 点呼と結び

1. $\delta = 7.442142 \times 10^{-6}$ (計算 2.1) : 正である。
2. $n = 0.999992558$ (計算 2.1) : 1 未満。

3. 位相速度は $c + 2231.11 \text{ m/s}$ (観察 2.2) : 直接の帰結。
4. 波長二倍で δ 四倍 (観察 2.4) : λ^2 。
5. 可視光では $\delta > 1$ (観察 2.6) : 式に適用範囲がある。
6. 臨界角 0.221048 度 (計算 2.1) : 既知値 0.223 度と一致。
7. 全反射が外側で起きる (観察 3.2) : 真空のほうが n が大きい。
8. X線の鏡はすれすれ (観察 3.5) : この一本の角度。
9. 群速度は c を超えない (観察 4.2) : 情報は速くならない。
10. 「1 より大きい」は経験則 (観察 5.6) : 法則ではない。

結び：屈折率は 1 より大きく、光は物質の中で遅くなる、と習う——X線では逆である。X線領域では $n = 1 - \delta$, $\delta = r_e \lambda^2 n_e / (2\pi)$ で、 δ は必ず正である—— r_e , λ^2 , n_e がすべて正だから、 n は必ず 1 より小さい。 $n < 1$ なら位相速度 c/n は c より大きく、これは例外ではなくX線では常にそうである。シリコンに $\text{Cu K}\alpha$ を当てると $\delta = 7.442142 \times 10^{-6}$, $n = 0.999992558$ ——位相速度は c より 2231.11 m/s 速い。 n は 1 から 7.4×10^{-6} しか離れておらず、可視光のガラス ($n \approx 1.5$) とは桁が五つ違う。波長を二倍にすると δ がちょうど四倍になり、臨界角はちょうど二倍になる——式の構造が数で確かめられる。可視光 (600 nm) に同じ式を当てると $\delta > 1$ になって自由電子近似が破れるので、式には適用範囲がある。そして全反射が「外側」で起きる——可視光ではガラスから空気へ、 n の大きいほうから小さいほうへ出るときに起きるが、X線では真空のほうが n が大きい ($1 > 0.999992558$) ので、真空から物質へ入射するときに起きる。全外部反射と呼ばれ、名前に「外部」が入っているのは可視光の直感と逆だからである。臨界角は面すれすれの 0.221048 度で、シリコンの既知値 0.223 度と 0.01 度以内で一致する。だからX線の鏡はすれすれに使い、X線望遠鏡が筒を重ねた形をしているのは、この一本の角度である。位相速度が c を超えても、情報は速くならない——位相速度は等位相面が進む速さで、無限に続く単色波の性質であり、そこには印が付いていない。情報を運ぶのは波形の変化 (包絡線や不連続) で、その速さは群速度・信号速度であり、 c を超えない。 δ が λ^2 に比例するので分散があり、位相速度と群速度は一致しない。論文300の基準で別根であり、位相速度は等位相面の運動、信号速度は前面の運動である。論文403で温度の大小が熱さの順でなかったのと同じ形で、慣れた量が順序を担っていない。分けているものは一つ——印の付いていない波を見ているか、印の付いた波を見ているか。判定は因果律に関わるかどうかで、関わらない量が c を超えても何も壊れない。「光速を超える」という語が二つを指しており、片方は日常的に起き、片方は起きない。単色波に振幅の変化を付ければそこから信号速度が定義でき、印を付けた瞬間に速さが変わる。正直に言えば—— 0.221048 度も 2231.11 m/s も自由電子近似の値であり、吸収端の近くでは破れる。動かないのは、 δ が正であることと、そこから $n < 1$ が出ることである。最後に一つ——「屈折率は 1 より大きい」は、可視光についての経験則であって法則ではない。波長を変えれば符号が変わる。

参考文献

1. Compton, A. H. (1923). The Total Reflexion of X-rays. *Philosophical Magazine*.
 2. Als-Nielsen, J., McMorrow, D. (2011). *Elements of Modern X-ray Physics* (2nd ed.). Chichester: Wiley.
 3. Henke, B. L., Gullikson, E. M., Davis, J. C. (1993). X-Ray Interactions: Photoabsorption, Scattering, Transmission, and Reflection at $E = 50\text{--}30000$ eV, $Z = 1\text{--}92$. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*.
 4. Attwood, D., Sakdinawat, A. (2016). *X-Rays and Extreme Ultraviolet Radiation* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
 5. 山岸勇輝 (2026). 『第三百回の点呼——同根か別根かは判定できる』[論文300]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171914
 6. 山岸勇輝 (2026). 『「自由空間損失」は損失ではない——真空は何も吸収していない』[論文384]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699073
 7. 山岸勇輝 (2026). 『音が遠くまで届くのは、直進しないからである』[論文395]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699289
 8. 山岸勇輝 (2026). 『温度の大小の順は、熱さの順ではない』[論文403]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699405
-

— *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)