分解能を決めるのは開口の大きさではなく、波長との比である

— $\theta = 1.22\lambda/D$ で、550 nm・2.4 m の望遠鏡は 5.766820×10^{-2} 秒角、21 cm の電波で 36 km に広げた干渉計は 1.467918 秒角 — 分離子は、波長が長いぶんを、開口を伸ばして取り返せるか — [論文775]

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

望遠鏡は大きいほど細かく見える、と言われる。けれど細かさを決める式には、開口と一緒に波長が入っている。可視光と電波で、開口を伸ばしたときに細かさがどれだけ取り返せるかを数える。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、可視光の 2.4 m は細かい——550 nm で 5.766820×10^{-2} 秒角（第2節）。 第二に、36 km に広げた電波の干渉計でも、それに届かない——21 cm で 1.467918 秒角（第2節）。 第三に、これが本稿の芯である。開口を 15000 倍にしても、波長の 381818 倍は取り返せない——分解能の比は 25.454545 で、波長の比を開口の比で割った値に一致する（第2節）。 第四に、並ぶのに要る開口は、波長に比例して伸びる——21 cm で 9.163636×10^{5} m、地球の直径の 0.071917 倍（第3節）。 第五に、短い電波と地球規模の開口で、ようやく越える——1.3 mm で地球の直径に広げると 2.567383×10^{-5} 秒角（第3節）。 第六に、分離子は、波長が長いぶんを、開口を伸ばして取り返せるかである——「大きな望遠鏡ほどよく見える」は、波長との比を言うまで真偽が決まらない（第4節）。 キーワード：分解能、回折限界、開口、電波干渉計、波長と開口の比、地球規模の干渉計。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——円形の開口の回折限界 $1.22\lambda/D$、干渉計の分解能が基線の長さで決まること、電波が長い基線を必要とすることは、いずれも既知である（ボルン＆ウォルフ 1999、トンプソンほか 2017）。回折限界だけを見る——大気のゆらぎ、感度、受信の雑音、干渉計の像に空く穴は扱わない。組は置いた値である——波長と開口の四つの組は比べるために置いた値で、実在の装置の性能は主張しない。明るさを扱わない——開口が集める光の量や、暗い天体の見えやすさは扱わない。観測の結果を主張しない——個別の天体の像は扱わない。既刊との関係：論文757 は、解像を三つの量のどれで買うかで、焦点深度の払いが違うことを示した——そこでは露光の解像を波長・開口数・係数の積に分けた。ここでは望遠鏡の分解能を波長と開口の比に分け、電波は波長で細かさを買えないので、開口で買うしかない。どの量で細かさを買うかの、露光と望遠鏡の場合になる。加えたのは、四つの組の分解能を同じ式で並べたこと、分解能の比が波長の比を開口の比で割った 25.454545 になることを示したこと、ハッブルに並ぶのに要る開口を三つの波長で出したこと、分離子を「波長の長さを開口で取り返せるか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：円形の開口 D で波長 λ の光を集めると、見分けられる最小の角 θ は次になる。干渉計では D を基線の長さに置き換える。

$$\theta = 1.22\,\frac{\lambda}{D}, \qquad \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{\lambda_2/\lambda_1}{D_2/D_1}, \qquad D_{\text{要}} = D_1\,\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

角は秒角で表し、地球の直径を $12742\ \text{km}$ と置く。

問い：開口を大きくすれば、どの波長でも細かく見えるのか。

2. 開口の倍率と、波長の倍率

計算 2.1：四つの組で分解能を出した。

組	波長	開口	分解能
可視の望遠鏡	550 nm	2.4 m	5.766820×10^{-2} 秒角
電波の干渉計	21 cm	36 km	1.467918 秒角
地球規模の干渉計	21 cm	12742 km	4.147312×10^{-3} 秒角
地球規模の干渉計	1.3 mm	12742 km	2.567383×10^{-5} 秒角

> **観察 2.2**
>
> これが本稿の芯である。開口を 15000 倍にしても、波長の 381818 倍は取り返せない。36 km の電波の干渉計は 2.4 m の望遠鏡の 15000.000000 倍の開口を持つが、波長が 381818.181818 倍長く、分解能は 25.454545 倍悪い——分解能の比は、波長の比を開口の比で割った値に差 3.553×10^{-15} で一致した。

3. 並ぶのに要る開口

計算 3.1：2.4 m の可視の望遠鏡と同じ分解能に要る開口を、三つの波長で出した。

波長	要る開口	地球の直径に対する倍率
21 cm	9.163636×10^{5} m	0.071917
1 m	4.363636×10^{6} m	0.342461
1.3 mm	5.672727×10^{3} m	0.000445

> **観察 3.2**
>
> 並ぶのに要る開口は、波長に比例して伸びる。21 cm では 9.163636×10^{5} m、1 m では地球の直径の 0.342461 倍が要る——波長が長いほど、開口を地球の大きさに近づけなければならない。

> **観察 3.3**
>
> 短い電波と地球規模の開口で、ようやく越える。1.3 mm で地球の直径に広げると 2.567383×10^{-5} 秒角になり、可視の 5.766820×10^{-2} 秒角を越える。21 cm のままでは地球規模でも 4.147312×10^{-3} 秒角にとどまる——電波が勝つには、開口を伸ばすだけでなく、波長を縮めることも要る。

4. 分離子

> **観察 4.1**
>
> 分離子は、波長が長いぶんを、開口を伸ばして取り返せるかである。可視光では **2.4 m** で足り、電波では地球の大きさまで伸ばしてやっと並ぶ——「大きな望遠鏡ほどよく見える」は、波長との比を言うまで真偽が決まらない。

> **観察 4.2**
>
> 論文757 と並べる。757 は、露光の解像を波長・開口数・係数の積に分け、どれで買うかで焦点深度の払いが違うことを示した——望遠鏡でも細かさは波長と開口の比で決まり、電波は波長で買えないので開口で買うしかない。

> **観察 4.3**
>
> 言わないこと。大気のゆらぎも、感度も、干渉計の像の穴も、実在の装置の性能も扱わない——示したのは、分解能を決めるのが開口そのものではなく波長との比であることである。

5. 点呼と結び

1. 可視 $\mathbf{5.766820 \times 10^{-2}}$ 秒角（計算 2.1）：**2.4 m**。
2. 電波 **1.467918** 秒角（計算 2.1）：**36 km**。
3. 開口の比 **15000.000000**（観察 2.2）：大きく伸ばした。
4. 波長の比 **381818.181818**（観察 2.2）：もっと長い。
5. 分解能の比 **25.454545**（観察 2.2）：本稿の芯。
6. **21 cm** で地球の **0.071917** 倍（計算 3.1）：並ぶのに要る開口。
7. **1 m** で **0.342461** 倍（観察 3.2）：さらに伸びる。
8. **21 cm** の地球規模 $\mathbf{4.147312 \times 10^{-3}}$ 秒角（観察 3.3）：まだ越えない。
9. **1.3 mm** の地球規模 $\mathbf{2.567383 \times 10^{-5}}$ 秒角（観察 3.3）：越える。
10. 波長を開口で取り返せるか（観察 4.1）：分離子・論文757。

結び：分解能を決めるのは開口の大きさではなく、波長との比である。**550 nm**・**2.4 m** の望遠鏡は **5.766820×10^{-2}** 秒角を見分けるが、**21 cm** の電波で **36 km** に広げた干渉計は **1.467918** 秒角にとどまる——開口は **15000.000000** 倍なのに、波長が **381818.181818** 倍長いので、分解能は **25.454545** 倍悪い。**21 cm** で並ぶには地球の直径の **0.071917** 倍の開口が要り、**21 cm** のままでは地球規模でも **4.147312×10^{-3}** 秒角にとどまって、**1.3 mm** で地球規模に広げてやっと **2.567383×10^{-5}** 秒角で越える——電波が勝つには、開口を伸ばすだけでなく波長を縮めることも要る。分離子は、波長が長いぶんを、開口を伸ばして取り返せるかである——「大きな望遠鏡ほどよく見える」は、波長との比を言うまで真偽が決まらない。既刊との位置——論文757 は露光で解像をどの量で買うかを数えた。ここは望遠鏡で、電波が波長で買えず開口で買うしかないことを数えた。正直に言えば——回折限界だけを見て、大気も感度も像の穴も実在の装置も扱っていない。

参考文献

1. Born, M., & Wolf, E. (1999). *Principles of Optics* (7th ed.). Cambridge University Press.
2. Thompson, A. R., Moran, J. M., & Swenson, G. W. (2017). *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy* (3rd ed.). Springer.
3. 山岸勇輝 (2026). 『解像を三つの量のどれで買うかで、焦点深度の払いが違う』[論文757]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23015169

— 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)