輪で読む年齢の上限は、時計ではなく、輪の幅が見えるかで決まる

— 分解能 $1\,\mu$m で、日輪は 3.0060 年、年輪は 22.1871 年まで読め、差は 19.1811 年 — 分離子は、輪を作るのが日の周期か年の周期か、そして輪が見えるかである — [論文656]

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

魚の耳の中の小さな石（耳石）には、木の年輪のように輪が刻まれる。若い魚では一日に一本の輪（日輪）が、成長した魚では一年に一本の輪（年輪）が数えられ、それで年齢を読む。だが成長が遅くなるほど輪は細くなり、ついには顕微鏡で見分けられなくなる。輪の時計がどこで止まるかを、成長曲線と分解能から数える。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、日輪は年輪よりずっと細い——半径の上限 3.0 mm・成長の速さ 0.3 /年の前提で、生まれた直後の日輪の幅は $2.4641\,\mu$m、1 年目の年輪の幅は $777.5453\,\mu$m だった（第2節）。 第二に、これが本稿の芯である。輪の時計の上限は、時計の周期ではなく、輪の幅が分解能を下回るところで決まる——分解能 $1\,\mu$m で、日輪は 3.0060 年、年輪は 22.1871 年まで読めた。分解能を $0.1\,\mu$m にすると 10.6813 年と 29.8624 年で、どちらも 7.6753 年延びた（第3節）。 第三に、日輪は年輪より、決まった年数だけ早く尽きる——上限の差は、分解能 $1\,\mu$m でも $0.1\,\mu$m でも 19.1811 年で、閉じた式 $\ln\{365.25(1-e^{-k})/k\}/k$ と一致した。分解能にも耳石の大きさにもよらない（第3節）。 第四に、上限を越えた魚は、若く読まれる——分解能 $1\,\mu$m で、本当の年齢 20 年までは読み違えないが、40 年の魚は 23 年と読まれた。数えた輪は、年齢を下から押さえるだけになる。分離子は、輪を作るのが日の周期か年の周期か、そして輪が見えるかである（第4節・第5節）。 キーワード：年齢査定、耳石、日輪と年輪、ベルタランフィの成長曲線、顕微鏡の分解能。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——ベルタランフィの成長曲線（1938）、耳石の日輪（パネラ 1971）、長生きの魚で年齢が若く読まれやすく検証が要ること（ビーミッシュ・マクファーレン 1983）は、いずれも既知である。前提の例である——耳石の半径の上限 3.0 mm、成長の速さ 0.3 /年、分解能 1 μm と 0.1 μm は例として置いた。読み違えは一つだけ入れた——輪の幅が分解能を下回ると数えられない、だけを入れた。輪の読み誤り、偽の輪、成長の季節変化は入れていない。年齢の検証法は扱わない——放射性炭素や標識放流による検証、耳石の形成の生理は論じない。既刊との関係：論文581 は、森が炭素を吸う速さの頂点と、ためる量の頂点が別の林齢にあることを示した——ここでは、成長の速さそのものが輪の幅になり、それが分解能を下回ると年齢の時計が止まる。加えたのは、日輪と年輪の上限を閉じた式で出したこと、二つの上限の差が分解能にも大きさにもよらないことを示したこと、本当の年齢ごとに読んだ年齢を並べたこと、分離子を輪の周期と見えるかどうかに置いたことである。

1. 記法と問い

設定：耳石の半径がベルタランフィの成長曲線 $R(t) = R_\infty(1 - e^{-kt})$ で育つとする（t は年）。一日に一本の日輪の幅は、成長の速さに一日を掛けた $R_\infty k e^{-kt}/365.25$、一年に一本の年輪の幅は $R(t+1) - R(t) = R_\infty e^{-kt}(1 - e^{-k})$ である。輪は、幅が顕微鏡の分解能 δ 以上なら見分けられるとする。見分けられる年齢の上限は

$$t_{\mathrm{d}} = \frac{1}{k}\ln\frac{R_\infty k}{365.25\,\delta}, \qquad t_{\mathrm{a}} = \frac{1}{k}\ln\frac{R_\infty(1 - e^{-k})}{\delta}$$

である（前者が日輪、後者が年輪）。前提は $R_\infty = 3.0$ mm、$k = 0.3$ /年である。

問い：輪で読む年齢の時計は、どこで止まり、それは何で決まるか。

2. 輪の幅

計算 2.1：生まれた直後の日輪の幅は 2.4641 μm、1 年目の年輪の幅は 777.5453 μm だった。

> **観察 2.2**
>
> 日輪は、同じ成長を一日ずつに刻むので、年輪よりずっと細い。そして成長の速さは年齢とともに指数で落ちるので、どちらの輪も年齢とともに同じ割合で細くなる——細くなる割合が同じなら、細い日輪のほうが先に見えなくなる。

3. 上限

計算 3.1：見分けられる年齢の上限を出した。

分解能	日輪の上限	年輪の上限	差
$1\ \mu$m	3.0060 年	22.1871 年	19.1811 年
$0.1\ \mu$m	10.6813 年	29.8624 年	19.1811 年

差は閉じた式 $\ln\{365.25(1-e^{-k})/k\}/k = 19.1811$ 年と 10^{-9} 以内で一致した。分解能を 10 倍細かくすると、どちらの上限も $\ln 10/k = 7.6753$ 年延びた。

> **観察 3.2**
>
> これが本稿の芯である。輪の時計の上限は、時計の周期ではなく、輪の幅が分解能を下回るところで決まる。日も年も、刻む周期は魚が死ぬまで続いている。止まるのは時計ではなく、刻まれた輪を見分ける目のほうである。分解能を 10 倍よくしても、延びるのは 7.6753 年だけで、指数で細くなる輪には対数でしか追いつけない——そして日輪が年輪より 19.1811 年早く尽きることは、分解能をどれだけよくしても変わらない。

4. 読み違え

計算 4.1：分解能 $1\ \mu$m で、本当の年齢ごとに、幅が $1\ \mu$m 以上の年輪を数えた。

本当の年齢	読んだ年齢
2 年	2 年
5 年	5 年
10 年	10 年
20 年	20 年
40 年	23 年

観察 4.2

上限を越えた魚は、若く読まれる。上限までは輪の数が年齢そのものだが、それを越えると外側の輪が見分けられずに重なり、数えた輪は増えなくなる——数えた輪は、年齢を下から押さえるだけになる。長生きの魚ほど、読んだ年齢は本当より若い。

5. 分離子

観察 5.1

分離子は、輪を作るのが日の周期か年の周期か、そして輪が見えるかである。日輪は細かく刻めるので若い魚の日齢を読めるが、早く尽きる。年輪は粗いが長く読める。どちらの上限も、刻む周期が止まるからではなく、輪の幅が見分けられなくなるから来る——年齢の時計の窓を決めているのは、時計の側ではなく、読む目の側である。

観察 5.2

論文**581** と並べる。**581** は、森が炭素を吸う速さの頂点と、ためる量の頂点が別の林齢にあることを示した——ここでは、落ちていく成長の速さそのものが輪の幅になり、それが分解能を下回った年齢で、年齢の時計が止まる。

観察 5.3

言わないこと。実際の耳石の成長、偽の輪、季節による幅の変化、年齢の検証法は扱わない。読み違えは「細すぎて見えない」だけを入れた——示したのは、輪で読む年齢の上限が何で決まるかである。

6. 点呼と結び

1. 日輪の幅 **2.4641** μm・年輪 **777.5453** μm（計算 2.1）：日輪はずっと細い。
2. 日輪の上限 **3.0060** 年（計算 3.1）：分解能 **1** μm。
3. 年輪の上限 **22.1871** 年（計算 3.1）：長く読める。
4. 差 **19.1811** 年（計算 3.1）：分解能によらない。

5. 分解能 10 倍で **7.6753** 年延びる（計算 3.1）：対数でしか追いつけない。
6. 止まるのは時計ではなく目（観察 3.2）：本稿の芯。
7. **20** 年までは読み違えない（計算 4.1）：上限の内側。
8. **40** 年の魚は **23** 年（計算 4.1）：若く読まれる。
9. 輪は年齢を下から押さえる（観察 4.2）：長生きほど若く。
10. 輪の周期と見えるか（観察 5.1）：分離子・論文**581**。

結び：耳石の輪で読む年齢の時計は、刻む周期が止まるから止まるのではない。成長が遅くなって輪の幅が分解能を下回ると見分けられなくなり、分解能 $1\,\mu\mathrm{m}$ で日輪は **3.0060** 年、年輪は **22.1871** 年で尽きた。二つの上限の差 **19.1811** 年は分解能にも大きさにもよらず、分解能を 10 倍よくしても上限は **7.6753** 年しか延びなかった。上限を越えた **40** 年の魚は **23** 年と読まれた——年齢の時計の窓を決めているのは、時計ではなく、読む目である。分離子は、輪を作るのが日の周期か年の周期か、そして輪が見えるかである。既刊との位置——論文 **581** の落ちていく成長の速さが、ここでは輪の幅として時計を止める。正直に言えば——前提の例の成長曲線で、読み違えは「細すぎて見えない」だけを入れた。

参考文献

1. Beamish, R. J., & McFarlane, G. A. (1983). The forgotten requirement for age validation in fisheries biology. *Transactions of the American Fisheries Society*.
2. Pannella, G. (1971). Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science*.
3. von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Human Biology*.
4. 山岸勇輝 (2026).『森が炭素を吸う速さの頂点と、ためる量の頂点は、別の林齢にある』[論文581]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23014343

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)