アインシュタイン＝ローゼン橋の喉は周 $4\pi GM/c^2$ まで開いて $2\pi GM/c^3$ で閉じ、光も向こう側へ渡れない

— 時刻一定の切り口では喉が二つの外側をつなぐが、光の向きの座標 V が減らないので、外側を出た道は向こう側に着く前にブラックホールに入る — 分離子は、空間の切り口でつながるか、時間を含めた因果の道でつながるか — [論文1006]

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

シュワルツシルト解を最大まで延ばすと、二つの外側が喉でつながる（アインシュタイン＝ローゼン 1935・クルスカル 1960）。本稿は、その喉の形と一生と、そこを渡れるかを、G＝c＝M＝1 の単位の数値で数える。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、時刻一定の切り口では、喉は二つの外側を対称につなぐ——等方座標の半径 ρ を $M^2/(4\rho)$ に替えても r は同じで（乱数の 1000 点で相対差 7.077×10^{-16}）、r の最小は ρ＝M/2 の 2M だった。喉から両側の同じ r までの固有距離は等しく、ρ＝5 で **7.252585093** である（第2節）。 第二に、フラムの放物面は喉の形の絵で、曲率は計量だけから同じに出る——喉から r＝10M までの固有距離は積分・閉じた式・放物面の弧長で **11.831542860** と一致した。曲率 $-M/r^3$ は埋め込みの形からも計量だけからも同じで、喉では −0.125000 である（第3節）。 第三に、これが本稿の芯である。喉は開いて閉じ、その一生は $2\pi GM/c^3$ である——クルスカル座標で喉の真ん中にとどまる世界線をたどると、喉の半径は 2M から 0 へ縮み、その固有時間は **3.141592654**（πM）だった。サイクロイドの形の媒介変数 $r=M(1+\cos\eta)$・$\tau=M(\eta+\sin\eta)$ と四点で 8.882×10^{-16} 以内で一致し、0 から開いて 0 に閉じるまでは 2πM である（第4節）。 第四に、光も向こう側へ渡れない——光の向きの座標 V＝T＋X は未来向きの因果的な道で減らない。乱数の道 20000 本は、速さを光以下にすると左へだけ進ませても向こうの外側に 0 本しか着かず、全部ブラックホールに入った。光より速い道を許すと 11657 本が着いたので、0 は判定の見落としではない（第5節）。 第五に、太陽質量なら、喉の周は **18555.817** m、一生は 3.094777×10^{-5} 秒である——GM/c^2 は **1476.625** m で、喉の周の 4π は円周の 2π と半径 $2GM/c^2$ の 2 の積、一生の 2π は開いて閉じる往復の π の 2 倍である（第6節）。 第六に、分離子は、空間の切り口でつながるか、時間を含めた因果の道でつながるかである——時刻一定の切り口では喉が二つの外側をつなぐが、時間を含めると V が減らないために、外側を出た道は向こう側に着く前にブラックホールに入る（第7節）。 キーワード：アインシュタイン＝ローゼン橋、クルスカル座標、フラムの放物面、因果構造、シュワルツシルト解、サイクロイド。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——シュワルツシルト解、等方座標、フラム（1916）の放物面、アインシュタイン＝ローゼン（1935）の橋、クルスカル（1960）の延長、橋が渡れないこと（フラー＝ウィーラー 1962）、自由落下の固有時間がサイクロイドの形で書けることは、いずれも既知である。通れるワームホールを扱わない——負のエネルギーを持つ物質で喉を支える構成は入れない。回るもの・電荷を持つものを扱わない——内部の構造が違うカー解やライスナー＝ノルドシュトロム解の橋は数えない。量子論を扱わない——橋と量子もつれを結ぶ議論には立ち入らない。乱数の道を限る——動径方向だけを見て、時刻 0 の外側から出る道を刻み 0.002 で 4000 歩だけ進めた。既刊との関係：論文485 の射程注記は、事象の地平線を論じないと書き、因果構造、座標特異性と真の特異性の区別、内部解は主題ではないとした——本稿はその席に座り、内部解と因果構造のうち、喉が開いて閉じることと渡れないことを数える（先客なし）。論文485 は、ミッチェルの暗い星の半径が $2GM/c^2$ と当たっていたが、当たっていた理由は違うことを示した——ここでは、同じ半径の球面が、時刻一定の切り口で最も細い喉になることを数える。論文91 は、曲率が曲面の中だけで測れる内在的な量であることを示した——ここでは、フラムの放物面の曲率を、埋め込みの形からと計量だけからの二通りで数えて一致させる。論文488 は、落下時間が高さによらないという要求からサイクロイドが一つに決まることを示した——ここでは、喉の半径と固有時間がサイクロイドの形の媒介変数で書けることを数える。同じ形というだけで、等時の要求から来たとは言わない。加えたのは、等方座標の対称と喉から両側の固有距離を数値で確かめたこと、放物面の弧長と曲率を埋め込みと計量の二通りで一致させたこと、クルスカル座標の世界線で喉の一生を積分し、サイクロイドの媒介変数と突き合わせたこと、乱数の因果的な道で向こう側に着く道が 0 本であることを、光より速い対照とともに数えたこと、太陽質量での喉の周と一生を出したことである。

1. 記法と問い

設定：質量 M のシュワルツシルト解を $G=c=M=1$ の単位で書く。等方座標 ρ では $r=\rho(1+M/2\rho)^2$、クルスカル座標 $T\cdot X$ では $(1-r/2M)e^{r/2M}=T^2-X^2$ で、

$$ds^2=\frac{32M^3}{r}\,e^{-r/2M}\left(-dT^2+dX^2\right)+r^2d\Omega^2$$

である。$U=T-X$・$V=T+X$ とすると、外側 I は $U<0<V$、向こうの外側 III は $V<0<U$、ブラックホール II は $U>0$ かつ $V>0$、特異点は $T^2-X^2=1$ である。

問い：二つの外側をつなぐ喉は、どんな形で、どれだけの時間あり、そこを通って向こう側へ行けるか。

2. 等方座標の対称と喉

計算 2.1：ρ を 0.01〜50 の乱数で 1000 点取り、$r(\rho)$ と $r(M^2/4\rho)$ を比べた。相対差の最大は 7.077×10^{-16}。r の最小は $\rho=M/2$ で $r=2.000000000$ だった。喉 $\rho=M/2$ から $\rho=5$（$r=6.050000$）までの固有距離と、鏡の側 $\rho=0.050$ までの固有距離は、どちらも 7.252585093 だった。

> **観察 2.2**
>
> 時刻一定の切り口では、喉は二つの外側を対称につなぐ。$\rho \to M^2/4\rho$ は $\rho > M/2$ の外側と $\rho < M/2$ のもう一つの外側を入れ替え、r も固有距離も変えない——r の最小 $2M$ の球面が、二つの外側の境の喉である。

3. フラムの放物面と曲率

計算 3.1：$z = \sqrt{8M(r-2M)}$ の $1 + (dz/dr)^2$ は、乱数の 1000 点で $1/(1-2M/r)$ と相対差 5.806×10^{-16} 以内で一致した。喉から $r = 10M$ までの固有距離を三通りで出した。

出し方	固有距離
積分 $\int dr/\sqrt{1-2M/r}$	11.831542860
閉じた式	11.831542860
放物面の折れ線の弧長	11.831542860

計算 3.2：曲率を、埋め込みの形 $z'z''/(r(1+z'^2)^2)$ と、計量だけの $A'/(2rA^2)$（$A = 1/(1-2M/r)$）の二通りで出した。

r	埋め込みから	計量だけから	$-M/r^3$
2.5	−0.064000000	−0.064000000	−0.064000000
3.0	−0.037037037	−0.037037037	−0.037037037
6.0	−0.004629630	−0.004629630	−0.004629630
20.0	−0.000125000	−0.000125000	−0.000125000

> **観察 3.3**
>
> フラムの放物面は喉の形の絵で、曲率は計量だけから同じに出る。放物面の弧長は固有距離 **11.831542860** と一致し、曲率は二通りとも $-M/r^3$、喉では -0.125000 だった——放物面は外の三次元に置いた絵だが、曲率の値は絵に頼らない。

4. 喉の一生

計算 4.1：クルスカル座標で $X = 0$ にとどまる世界線をたどった。$T = 0$ で $r = 2M$、$T \to 1$ で $r \to 0$ になり、その固有時間は $\int_0^{2M} \sqrt{r/(2M - r)}\,dr = 3.141592654$（$\pi M = 3.141592654$）だった。

η	サイクロイドの r	サイクロイドの τ	クルスカルの T	T までの固有時間
0.5	1.877582562	0.979425539	0.395605738	0.979425539
1.0	1.540302306	1.841470985	0.704623889	1.841470985
2.0	0.583853163	2.909297427	0.973711271	2.909297427
2.8	0.057777659	3.134988150	0.999787274	3.134988150

> **観察 4.2**
>
> これが本稿の芯である。喉は開いて閉じ、その一生は 2πGM/c³ である。喉の半径は $r = M(1 + \cos\eta)$、固有時間は $\tau = M(\eta + \sin\eta)$ で書け、クルスカルの世界線と四点で差 8.882×10^{-16} 以内だった。$r = 2M$ から 0 までが πM、0 から開いて 0 に閉じるまでが **6.283185307**（$2\pi M$）である——時刻一定の切り口の喉は、ずっとそこにある通路ではなく、開いて閉じる形である。

5. 渡れない

計算 5.1：動径方向の未来向きの因果的な道は $dT \geq |dX|$ なので、$dU \geq 0$ かつ $dV \geq 0$ である。時刻 0 の外側（X は 0.01〜3 の乱数）から、刻みごとに速さ dX/dT を乱数で選ぶ道を 20000 本ずつ進めた。

速さの範囲	III に着いた	II に入った	V の最小
-1〜1	0	20000	0.010316
-1〜0（左へだけ）	0	20000	0.010237
-3〜-1（光より速い）	11657		

計算 5.2：$X_0 = 0.5$ から左へ光の速さで進む道は、特異点に $T = 1.250000 \cdot X = -0.750000$ で着き、$T - |X| = 0.500000$ でブラックホールの中だった。

観察 5.3

光も向こう側へ渡れない。光以下の速さの道は、左へだけ進ませても向こうの外側に 0 本しか着かず、V は正のまま全部ブラックホールに入った。光より速い道では 11657 本が着いた——外側 I では $V > 0$、向こうの外側 III では $V < 0$ で、因果的な道の V は減らないので、I から III へは行けない。一回目は対照を速さ -3〜3 の平均 0 の乱数にして、左へ流れず着く道が 0 本になった。対照を左へ流す形に直して、判定が 0 を返すだけでないことを確かめた。

6. 太陽質量での値

計算 6.1：$GM_\odot = 1.3271244 \times 10^{20}$ m³/s² と c の定義値で出した。

量	値
GM/c^2	1476.625 m
喉の半径 $2GM/c^2$	2953.250 m
喉の周 $4\pi GM/c^2$	18555.817 m
喉の面積 $16\pi G^2M^2/c^4$	1.095999×10^8 m²
GM/c^3	4.925491×10^{-6} s
喉の一生 $2\pi GM/c^3$	3.094777×10^{-5} s
半分 $\pi GM/c^3$	1.547389×10^{-5} s

観察 6.2

太陽質量なら、喉の周は 18555.817 m、一生は 3.094777×10^{-5} 秒である。喉の周の 4π は円周の 2π と半径 $2GM/c^2$ の 2 の積で、立体角ではない——一生の 2π は、$2M$ から 0 までの π を開くときと閉じるときの二回ぶん足したものである。

7. 分離子と、言わないこと

> **観察 7.1**
>
> 分離子は、空間の切り口でつながるか、時間を含めた因果の道でつながるかである。時刻一定の切り口では、喉は二つの外側を対称につなぎ、固有距離も曲率も有限である——時間を含めると、喉は $2\pi GM/c^3$ のうちに開いて閉じ、因果的な道の V が減らないので、外側を出た道は向こう側に着く前にブラックホールに入る。

> **観察 7.2**
>
> 言わないこと。負のエネルギーで支える通れるワームホール、回る・電荷を持つブラックホールの内部、量子論の議論は扱わない——喉の周の 4π を立体角とは言わず、サイクロイドの形が等時曲線と同じ根だとも言わない。乱数の道は動径方向だけである。

8. 点呼と結び

1. $r(\rho) = r(M^2/4\rho)$、最小 $2M$（計算 2.1）：時刻一定の切り口の喉。
2. 両側の固有距離 $\mathbf{7.252585093}$（計算 2.1）：対称。
3. 放物面の弧長 $\mathbf{11.831542860}$ と曲率 $-M/r^3$（計算 3.1・3.2）：曲率は計量だけから同じ。
4. 喉の半分の一生 $\mathbf{3.141592654}$（πM）（計算 4.1）：本稿の芯。
5. サイクロイドと四点で 8.882×10^{-16}（観察 4.2）：一生は $\mathbf{6.283185307}$（$2\pi M$）。
6. 光以下の道 20000 本で III に 0 本、光より速い道で 11657 本（計算 5.1）：渡れない。
7. 左へ光で進んでも $T - |X| = 0.500000$（計算 5.2）：ブラックホールの中で特異点に着く。
8. 太陽質量で喉の周 $\mathbf{18555.817}$ m、一生 3.094777×10^{-5} s（計算 6.1）：$GM/c^2 = \mathbf{1476.625}$ m。
9. 空間の切り口か、因果の道か（観察 7.1）：分離子・論文485・91・488。

結び：アインシュタイン＝ローゼン橋の喉は周 4πGM/c² まで開いて 2πGM/c³ で閉じ、光も向こう側へ渡れない。時刻一定の切り口では、等方座標の対称が二つの外側を喉でつなぎ、喉から両側の固有距離は等しく、フラムの放物面の弧長も曲率も計量だけから同じに出た——クルスカル座標で喉の真ん中をたどると、半径は 2M から 0 へ 3.141592654（πM）で縮み、サイクロイドの形の媒介変数と一致して、一生は 2πM だった。光の向きの座標 V は因果的な道で減らず、乱数の道 20000 本は光以下の速さでは向こう側に 0 本しか着かなかった。太陽質量なら喉の周は 18555.817 m、一生は 3.094777×10⁻⁵ 秒である——喉の周の 4π は円周の 2π と半径の 2 の積

で、立体角ではない。分離子は、空間の切り口でつながるか、時間を含めた因果の道でつながるかである。既刊との位置——論文485 はミッチェルの半径 $2GM/c^2$ が当たっていた理由の違いを示し、事象の地平線と内部解を扱わないとした。論文91 は曲率が内在的であることを、論文488 は等時の要求からサイクロイドが一つに決まることを示した。ここでは、485 が扱わなかった内部と因果構造で、喉が開いて閉じることと渡れないことを数えた。正直に言えば——通れるワームホール、回る・電荷を持つブラックホールの内部、量子論には立ち入っておらず、乱数の道は動径方向だけである。

参考文献

1. Einstein, A., & Rosen, N. (1935). The particle problem in the general theory of relativity. *Physical Review*.
2. Flamm, L. (1916). Beiträge zur Einsteinschen Gravitationstheorie. *Physikalische Zeitschrift*.
3. Fuller, R. W., & Wheeler, J. A. (1962). Causality and multiply connected space-time. *Physical Review*.
4. Kruskal, M. D. (1960). Maximal extension of Schwarzschild metric. *Physical Review*.
5. 山岸勇輝 (2026). 『曲率は内在的である』[論文91]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21758406
6. 山岸勇輝 (2026). 『ミッチェルの半径は当たっていたが、当たっていた理由は違う』[論文485]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22759928
7. 山岸勇輝 (2026). 『等時であることから曲線を逆に決めると、残るのは一つだけである』[論文488]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22760000

— 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)