

ブラックホール、山なし谷なし

白水徹也

(名古屋大学大学院多元数理科学研究科/KMI)

共同研究者: 富川祥宗(松山大学), 泉圭介(名大), 吉野裕高(阪市大)

[阪上さんと私？ (1991~1992, M1~2)]

天体核助手 郷田さん、森川さん

しばしば天体核お茶部屋で目撃 「もうかってまっか？」

デコヒーレンスブーム@天体核

Derivation of master equation for totally quadratic system in quantum Brownian motion
岡村隆 1994

Decoherence on quantum tunneling in the multi-dimensional wave function approach
田中貴浩 1995

Quantum decoherence of subcritical bubble in electroweak phase transition
白水徹也 1996

[初めての東京(D1~2ごろ、1993?)]

森川さん(お茶大)宅で阪上さんと一夜を過ごす

国際会議@早稲田

テレビばかり見てる阪上さん。

「僕はテレビっ子なんだよ。」

ニアミス 数年前



柳馬場六角

阪上さん、還暦おめでとうございます。



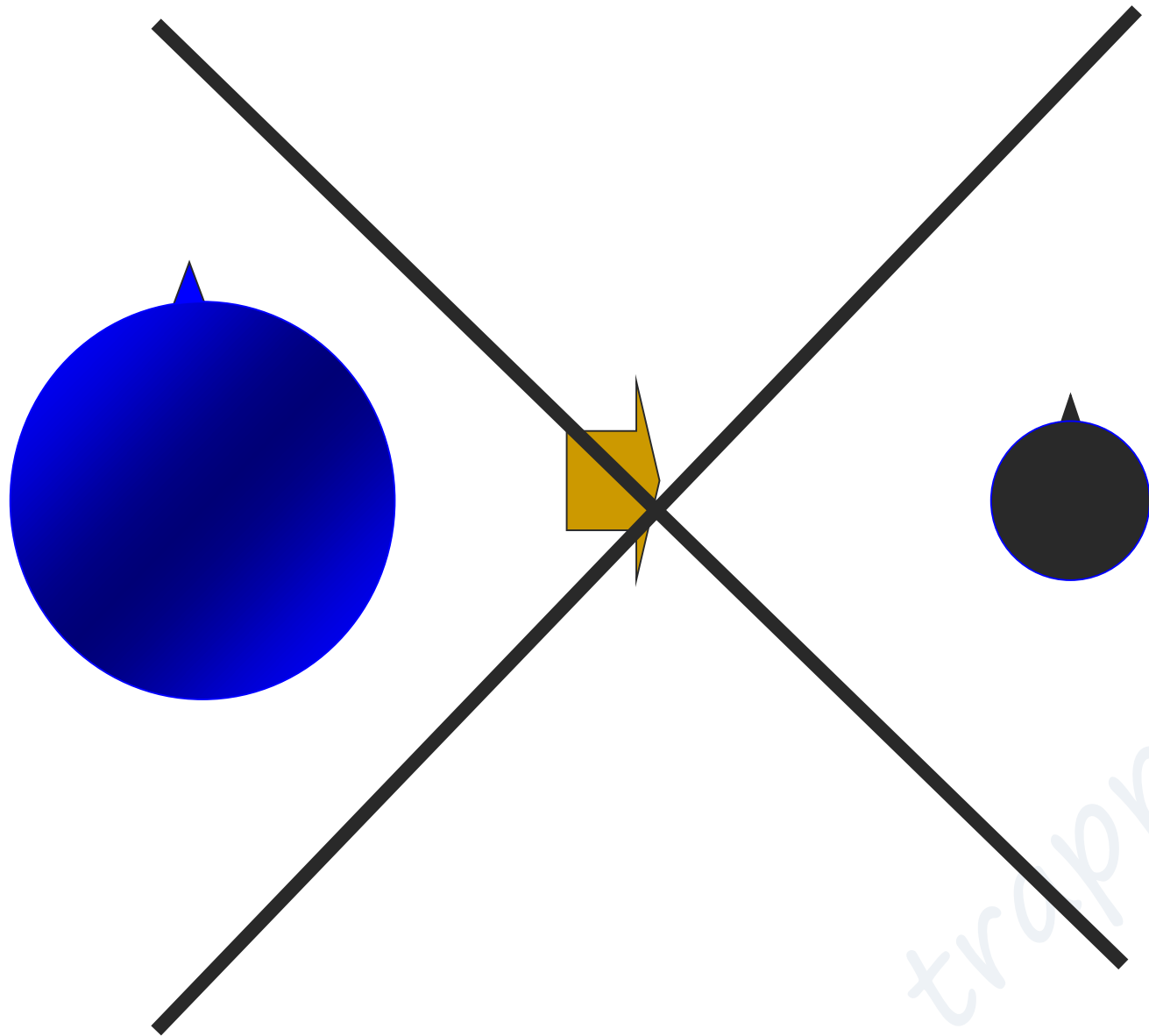
[目次]

1. ブラックホールはつるつる
2. 際捕獲面と緩捕獲面
3. 緩Penrose不等式
4. まとめ

Loosely trapped surface

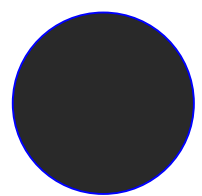
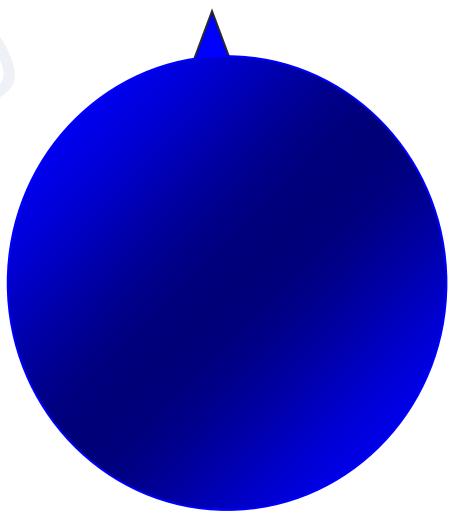
1. ブラックホールはつるつる

ely trapped surface



trapped sun

loosely trapped



[無毛定理 ～唯一性定理～]

一般相対論、真空のEinstein方程式

■ 回転していないブラックホールはSchwarzschild解に限られる(球対称)。

Israel 1967, Bunting & Masood-ul -Alam 1987

■ 回転ブラックホールはKerr解に限られる(軸対称)。

Carter 1971, 73, Hawking 1972,...

熱力学、エントロピー、ホログラフィー

ブラックホール熱力学

- 熱力学との類似性
- Hawking放射

⇒ 面積 \propto エントロピー

ホログラフィー, adS/CFT対応, ...

しかし、

ブラックホール自体は定義から観測はできない。

まあ、消去法でブラックホールだとは思いますが。。。

現在の観測(重力レンズや重力波)対象の現象はブラックホールと
いうよりは、その外側に存在する **photon sphere** の役割が重要

Photon sphere の一般化を行い、その(幾何学的)性質を明らかにする。

緩捕獲面なるものを定義し、その**面積不等式**を示す。

【最近の発展】

回転も時間変動もない Photon sphere の外部領域の唯一性

真空 Einstein Cederbaum 2014, Yoshino 2017

Einstein-共形結合スカラー系 Tomikawa, Shiromizu & Izumi 2017

2. 捕獲面と緩捕獲面

Trapped surface and loosely trapped surface

[ブラックホールとは？]

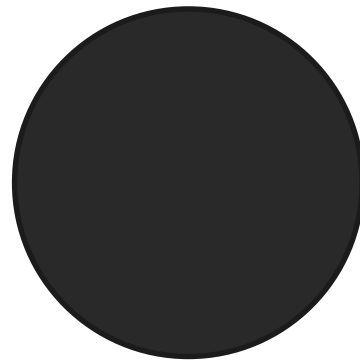
一度入ったら(光すら)出られない。

$$ds_{\text{Schwarzschild}}^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\Omega_2^2$$

c : 光速

G : Newtonの重力定数

M : 質量



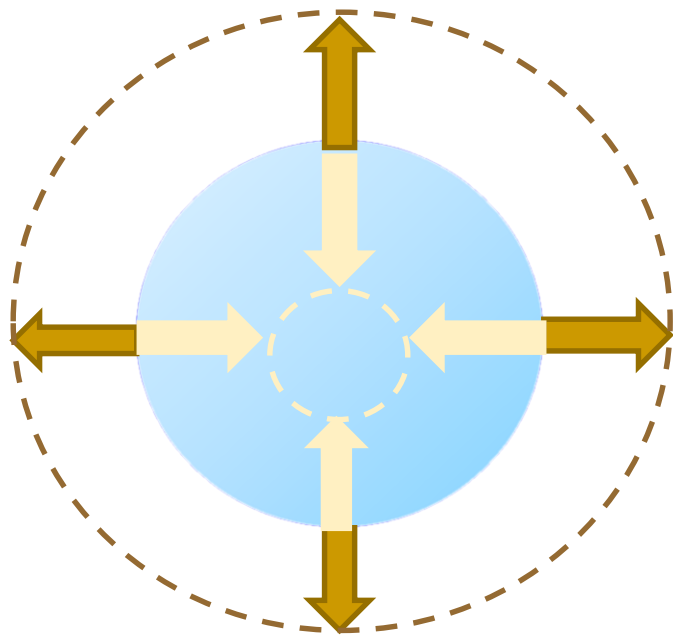
$$r = r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

事象の地平面(ブラックホール表面)

cf) $ds_{\text{flat}}^2 = -c^2 dt^2 + dr^2 + r^2 d\Omega_2^2$

捕獲面(trapped surface)

面積の増減？



ブラックホールの外側

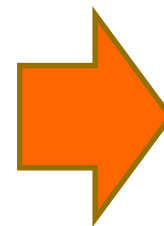
外向き ↑

内向き ↓

ブラックホールの内側

外向き ↓

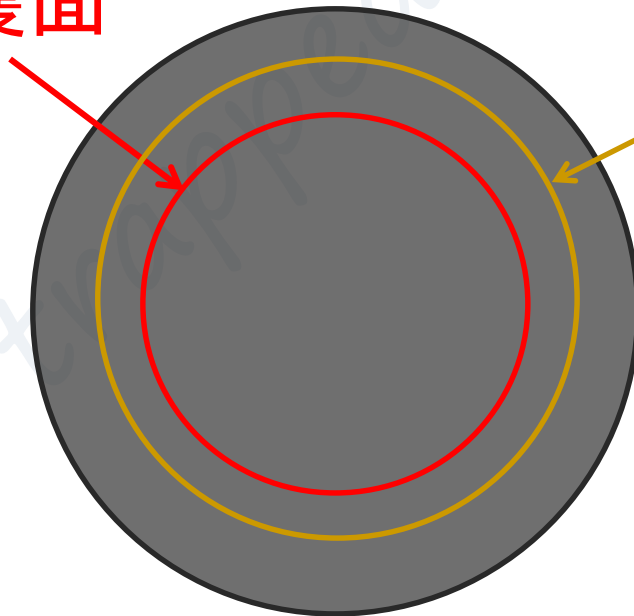
内向き ↓



捕獲面

【際捕獲面 (apparent horizon)】

捕獲面



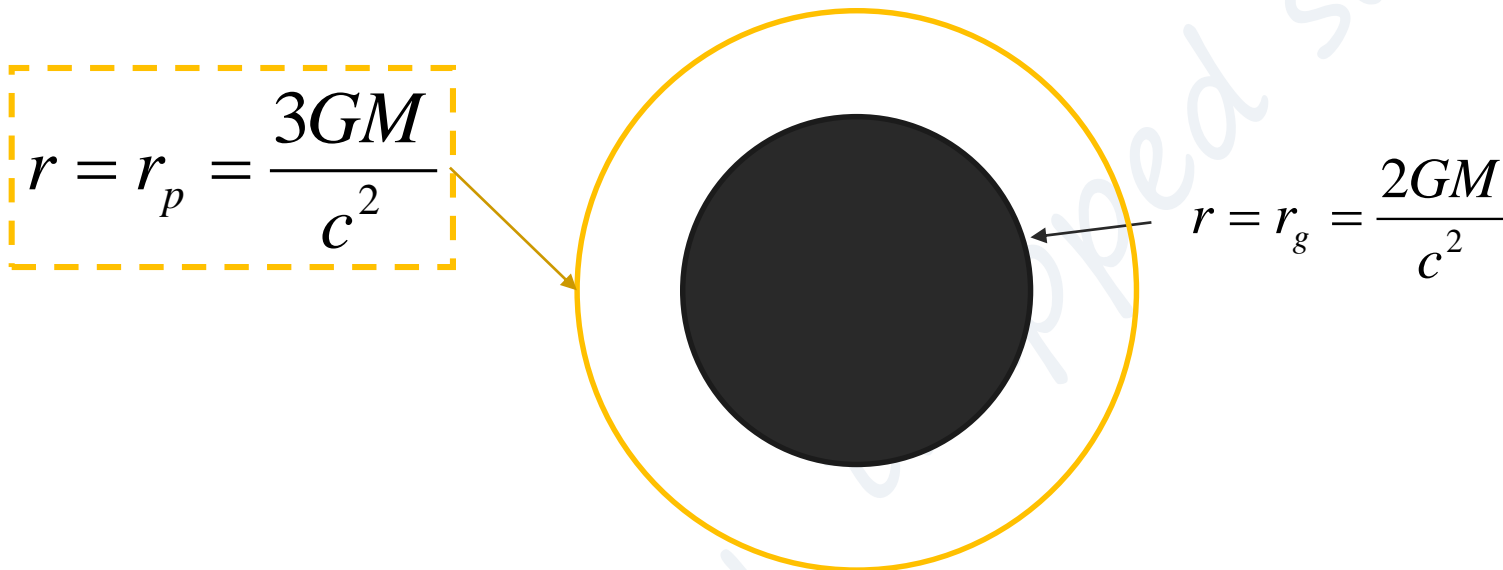
際捕獲面

一番外側の捕獲面
(見かけの地平面)

一般に捕獲面/際捕獲面はブラックホールの内側にあるが、落ち着いた定常なブラックホールの場合には際捕獲面は事象の地平面(ブラックホール表面)と一致する。

[Photon sphere]

$$ds_{\text{Schwarzschild}}^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\Omega_2^2$$

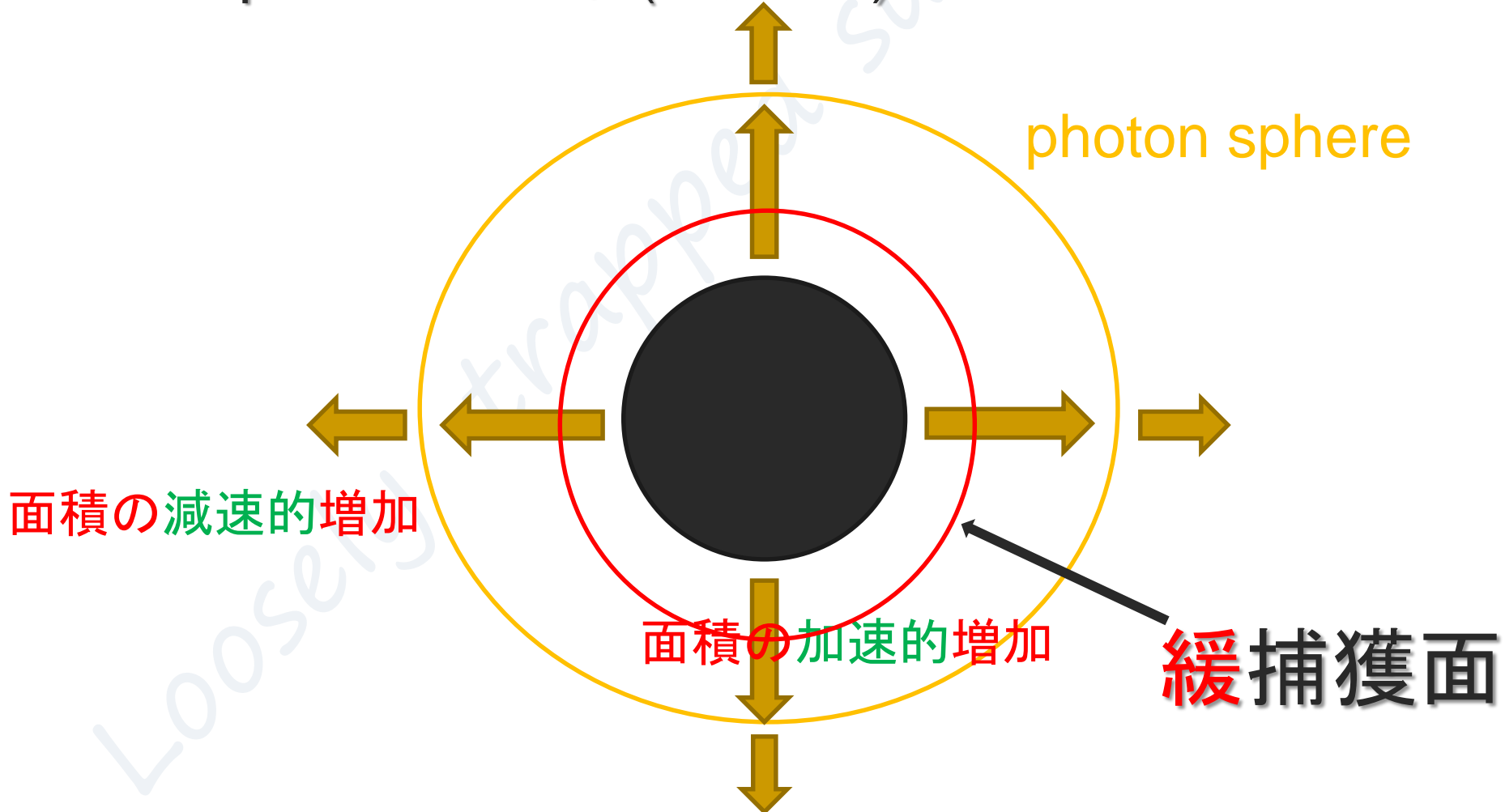


光の閉じた(不安定円)軌道

[緩捕獲面 (loosely trapped surface)]

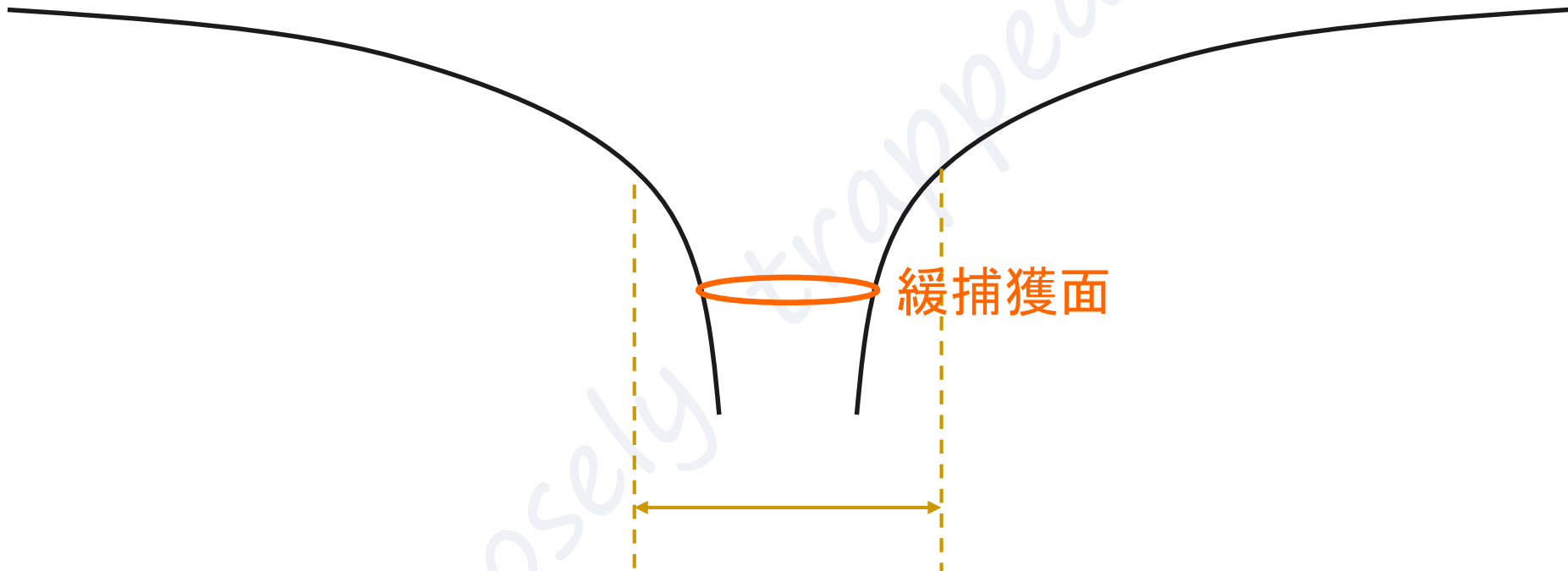
Shiromizu, Tomikawa, Izumi & Yoshino 2017

Photon sphereの代用物(一般化?)



[イメージ図]

”インフレーション領域”



面積の加速的增加領域

2. (緩)Penrose不等式

loosely trapped surface

[Penrose不等式]

ブラックホールは小さい

$$A \leq 4\pi \left(\frac{2GM}{c^2} \right)^2$$

等号はSchwarzschild時空(の時間一定面)に限り成立。

エネルギー密度正で「速度」ゼロの時間一定面上の際捕獲面に対して証明されている。

Jang&Wald 1979, Huisken&Illmanen 2001, Bray 2001

緩ペンローズ不等式

Shiromizu, Tomikawa, Izumi & Yoshino 2017

エネルギー密度正で「速度」ゼロの時間一定面上で

緩捕獲面も(当然)結構小さい

$$A_{\text{緩捕獲面}} \leq 4\pi \left(\frac{3GM}{c^2} \right)^2 \quad \text{cf) } A_{\text{際捕獲面}} \leq 4\pi \left(\frac{2GM}{c^2} \right)^2$$

等号はSchwarzschild時空(の時間一定面)に限り成立。

[証明]

省 田 略

[注意]

球対称性は課していない。

等式成立の場合に限り、球対称性が出現。

【 際緩捕獲面と時空の”形” 】

等号成立時

一番外側の緩捕獲面 = : 際緩捕獲面

=Schwarzschild時空のphoton sphere

3. まとめ

ensely trapped surface

[緩捕獲面の面積不等式]

$$A_{\text{緩捕獲面}} \leq 4\pi \left(\frac{3GM}{c^2} \right)^2$$

Schwarzschildに限り等号成立

観測で破れが検出されることがあれば、一般相対論のほころびを示唆している可能性がある。