

Sgr.A* の基礎的な相対論 1 : 相対論屋に何ができるか

斉田浩見 saida@daido-it.ac.jp

概要

Sgr.A* が本当に BH なのかを検証する『ほらいずん望遠鏡』計画に理論屋として関わるときに、何が出来るかをまとめる。特に、相対論屋の視点から Fringe Visibility を描くことを目指す。

1 ほらいずん望遠鏡計画の意義

僕（斉田）の視点から、ほらいずん望遠鏡計画はどんな意義があるか？

- ブラックホール存在の観測的な直接証拠は未だなく、ブラックホール候補天体が知られているだけである。それが本当にブラックホールだと信じるには、ブラックホール地平面の存在を示すことが最も直接的である。ほらいずん望遠鏡は Fringe Visibility の測定で、その存在を直接検証する。
- 因果律を保つ古典重力理論（一般相対論）は未だ検証されていない。その検証の最有力候補の重力波検出計画は、重力波という誰も見たことのないものを見る計画である。未知のもの検出は、それだけを見ようとしても（本当に見えたという確証を得るのが）難しいだろう。ほらいずん望遠鏡計画は、重力波検出実験のパートナーとしての電磁波観測システムの雛型になり得る。
- ほらいずん望遠鏡で Fringe Visibility 曲線のある程度詳細に得られれば、その曲線から重力理論の検証に繋がれると期待できる。それが出来れば、実験的な詳細が未だ不明な基本相互作用（重力）を解明する、という基礎物理学の新たな展開への糸口を切り拓くことができる。
- （近い）将来、観測的ブラックホール物理学・天文学が展開されるとする。個々の現象から詳細なデータを得るための本格的な観測システムとしては、人工衛星や電磁波観測機器、重力波干渉計などが必要となり、莫大な予算・人材・時間が必要となるだろう。その巨大な資源を投入するには、観測ターゲットが（候補天体でなく）本当にブラックホールだという証拠が必要である。ところが、ほらいずん望遠鏡計画は、予算・人員・時間の規模において、本格的観測システムに比べて桁違いにシンプルである。ほらいずん望遠鏡計画は、将来の観測的ブラックホール研究において、観測ターゲットの確定のための「偵察部隊」という役割を担うシステムの雛型になり得る。

以上の意義から、是非ほらいずん望遠鏡計画を実現したい。そのための、理論的課題、技術的課題、予算・人員的課題、を具体的に明らかにし、それらの課題を解決する具体的な戦略・戦術を作っていけると楽しい。できれば、一般相対論 100 周年の 2016 年を \times 切に。

この『ブラックホール地平面の検出に向けて』勉強会で僕が担当する話しでは、

{ 相対論屋としてどんな問題設定をして、それにどう取り組もうと考えているのか
{ そのイメージを天文理論系、観測系の皆さんに掴んでもらうための基礎 minimum (+ α ?)

をまとめたい。

2 この勉強会で解説していこうと思うこと

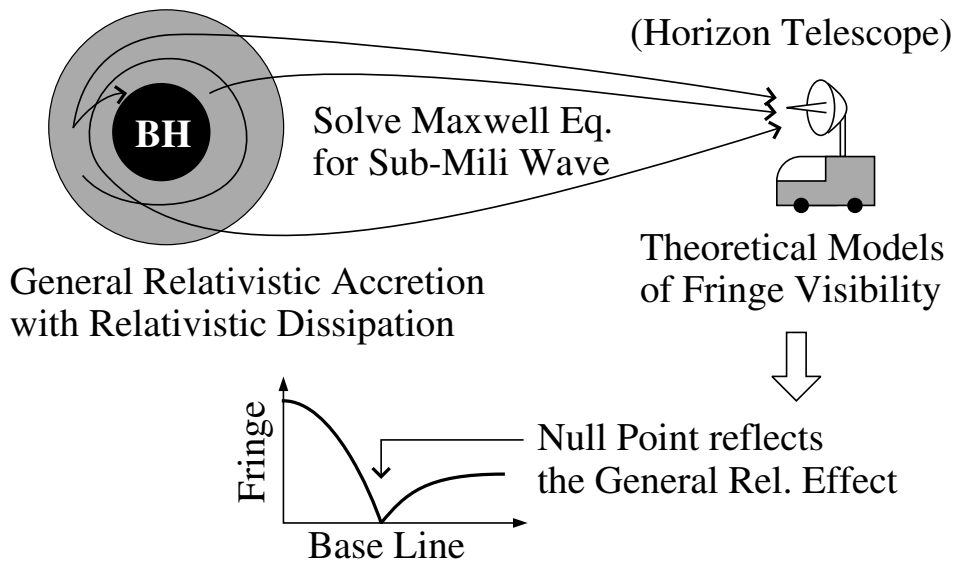
『ブラックホール地平面の検出に向けて』勉強会で解説するつもり項目は次を予定している。順番は状況によって変わると思う：

- 『ほらいずん望遠鏡』計画に対して、相対論屋に何ができるか
→ 相対論屋として（僕が）考えているプランの概要をまとめる。… 次の §3 にて
 - 特殊相対論
→ 例えば、運動論的ドップラー効果と重力ドップラー効果の違いを認識するには、まず特殊相対論を知る必要がある。
 - 一般相対論の基本的な考え方とブラックホール時空
→ 曲がった時空とブラックホールと呼ばれる時空構造の基礎、特にニュートン力学ではマズイ点をまとめる。
 - BH Shadow の相対論的に正確な「定性的理解」
→ ほらいずん望遠鏡で Fringe Visibility を得たら、イメージを得ることが次の目標の一つになる。
 - 曲がった時空上での Maxwell 理論の基礎
→ $\left\{ \begin{array}{l} \text{ブラックホール磁気圏の前提となる事柄のまとめ。} \\ \text{古典論的な電磁散乱は、原理的には Maxwell 方程式を解けばよいはず。} \\ \text{（量子論的な電磁輻射は、曲がった時空上の場の量子論か？）} \end{array} \right.$
 - §3 の課題の進捗状況の報告
（あと、BH 地平面近傍で起こるかもしれない量子重力効果 !? ）
 - その他、リクエストがあれば、それに応じて
- * プラズマ物理的な効果、ブラックホール周辺の磁気圏の効果、の話はその専門家がまとめるでしょう。

↓

この勉強会を通して、ほらいずん望遠鏡計画に関わる天文系と物理系の間相互理解を深めて、計画の完成度を高められたら良いと思う。

3 相対論系の理論屋として何が出来るか：Fringe Visibility の計算までやりたい



List the theoretical variations of the Fringe Curves based on General Relativity strictly !

(A) 降着流が地平面を通過する状況まで扱える一般相対論的な降着理論

課題： { A-1) 因果的な散逸理論 → 相対論的なエネルギー，運動量，角運動量輸送
 A-2) 降着流からの放射スペクトル → 古典論的放射と量子論的放射をどう扱うか

ただし， { ほらいずん望遠鏡で得る Sgr.A* の観測データは数か月オーダーの時間平均 より，
 Sgr.A* は，大まかに球対称降着系とみなせそう(らしい)

Kerr BH 周りで，降着流に定常性と(初期条件の)球対称性を仮定してよさそう。

→ 一般相対論に基づき，かつ可能な限りパラメータの数が少ない理論モデルを提示したい。

(B) ブラックホール時空上で Maxwell 方程式を解く → 特にサブミリ波に注目

課題：きつと数値計算が必要になる → Teukolsky 方程式を解く数値コード

→ 真空中で解くなら，“shock wave” が立たないので，特性曲線を繋ぐ方法が数値的に良い。

(C) Fringe Visibility の理論曲線 → パラメータの値による曲線の違いのリスト

課題：ほらいずん望遠鏡の u-v plane を反映した Fringe Visibility の計算方法

補足：課題 A-2) について

第1アプローチ：電荷を持たない散逸流体で，流体上の局所温度で決まる熱輻射の重ね合わせのスペクトル。

第2アプローチ(野心的?)：散逸プラズマ流体を扱う。散逸流体と電磁場をまとめて解きたい。

→ プラズマ(の電磁誘導)起源の輻射と流体の局所温度による熱輻射の重ね合わせのスペクトルか!?

* 降着流のプラズマ的效果やブラックホール磁気圏の効果で，Fringe Visibility のゼロ点が見えない場合もあるはず。それも含めて計算できるモデルが欲しい。