

第24回ブラックホール地平面勉強会」研究会 ～ ブラックホールの存在を観測的に検証する ～

< 質疑討論込みで、○印=60分、無印=30分、*印=20分 >

1日目： BH影・BH周辺天体现象セッション：

- 13:40-14:00 *坂井伸之 ブラックホール疑似天体の影
14:00-15:30 中尾憲一 ブラックホールによる光子の軌道角運動量の生成1
14:30-15:00 西川隆介 ブラックホールによる光子の軌道角運動量の生成2
15:00-15:30 前田恵一 Black Hole Shadow について
15:30-16:00 休憩
16:00-16:30 西山正吾 SMBHを周回する星の視線速度モニター計画
16:30-17:00 川口俊宏 ブラックホール影の新種ターゲットの提案: 漂う巨大ブラックホール
17:00-17:30 川島 朋尚 高温降着流を通過するガス雲の3次元MHDシミュレーション
17:30-18:00 休憩 & 軽食
18:00-18:20 *大神隆幸 エリスワームホール時空におけるダスト流解とそのシャドウ
18:20-18:40 *浅野豪士 Magnetic Penrose Compton scattering process
18:40-19:00 *伊豆丸翔 MHD Wave Propagation in a Black Hole Magnetosphere
19:00-20:30 休憩 & 温泉
20:30- 懇親会@お亀茶屋 (ホテルかめ福)

2日目： 一人時間差干渉実験セッション：

- 09:00-10:00 ○斉田浩見 一人時間差相関 --- BHの直接検出を目指して ---
10:00-11:00 ○藤澤健太 VLBI観測技術の現状
11:00-11:30 休憩
11:30-12:30 ○南部保貞 Signature of shadows in stochastic signals
from black hole candidates
12:30-13:30 昼食
13:30-14:00 幅 良統 X線偏光観測の概要
14:00-14:20 *三好 真 へら絞りアンテナ40マイクロン精度
14:20-14:40 *野田宗佑 波動効果を含む粒子によるBlack Hole撮像
14:40-15:00 *高橋真聡 ホットスポットの時間変動
15:30- 望遠鏡見学

坂井伸之「ブラックホール疑似天体の影」

ブラックホールシャドウとして理論的に予想される特徴的な陰影は、ブラックホール地平面ではなく、光の不安定円軌道によるものである。つまり、光の不安定円軌道を持つコンパクト天体（ブラックホール疑似天体）が存在すれば、それはブラックホールと観測的に区別できない可能性がある。そこで本研究では、ブラックホール疑似天体としてグラバスター（gravitational vacuum star, Mazur & Mottola 2001）を考え、そのシャドウを調べた。

中尾憲一「ブラックホールによる光子の軌道角運動量の生成 1」

位相一定面が螺旋状にねじれている電磁波は、その進行方向に関する軌道角運動量量子数を持ち、その応用を含め量子光学の重要な研究対象の一つとなっている。Tamburini et al や、最近では Yang & Casals により、回転するブラックホール近傍を伝播する電磁波は、軌道角運動量量子数を得ることが示唆されている。この現象は、コヒーレントな電磁波を放出する光源がなければ観測されないと考えられているが、それは誤解である。本講演では、一つの光子がブラックホールなどによる散乱過程で軌道角運動量量子数を持ちうることを、Bogoliubov 変換の観点から解説する。

西川隆介「ブラックホールによる光子の軌道角運動量の生成 2」

最近、光渦とよばれる軌道角運動量をもった光子が回転ブラックホールによる光子の散乱によって生成されることが指摘された。もし光子の軌道角運動量を観測することができれば、ブラックホールの物理を探索する新たな観測量となることが期待される。本講演では、回転ブラックホールによる光渦生成の機構を明らかにするとともに、光の軌道角運動量の観測可能性について議論する。

前田恵一「Black Hole Shadow について」

ブラックホールの直接観測は、観測機器の進歩とともに現実的になってきている。その一つがブラックホールの影観測である。ここでは、影観測からブラックホールのどのような性質がわかるかという原理的な問題について考える。

西山正吾「SMBHを周回する星の視線速度モニター計画」

銀河系の中心には約400万太陽質量の超巨大ブラックホールSgr A*が存在する。Sgr A*までの距離は8kpc、BHのごく近傍で起きる現象を空間的に分解し、詳細に観測できる唯一の場所である。私たちはこの領域の星の観測から、BHによる一般相対論効果の検出を目指している。視線速度測定を通して、BHを周回する星の軌道を決定し、ケプラー軌道からのシフトを検出することで、一般相対論効果の寄与を測定する。すばる望遠鏡を用いたモニター観測を本年5月に開始した。計画と現状について報告する。

川口俊宏「ブラックホール影の新種ターゲットの提案：漂う巨大ブラックホール」

銀河中心ブラックホールの影(シャドウ)や降着円盤を超高空間分解能をもって撮像する際、星間散乱により像がぼやけてしまいます。

我々は、大規模数値シミュレーションと放射スペクトルの理論計算を基に、アンドロメダ銀河に衝突した衛星銀河の元中心ブラックホールを探索する研究を行ってきました(Miki et al. 2014; Kawaguchi et al. 2014)。

銀河が周辺銀河と衝突・合体しながら成長するのにあわせ、巨大ブラックホールも同様に合体成長してきたことが確かであれば、我々が住む天の川銀河の周囲にも衛星銀河の元中心ブラックホールが漂っていることとなります。我々は、これら漂う巨大ブラックホールを、星間散乱の悪影響を受けずにブラックホール影を撮像できる良い観測ターゲットとして提案します。

川島 朋尚「高温降着流を通過するガス雲の3次元MHDシミュレーション」

2012年に銀河系中心ブラックホールSgr A*に向かって約3倍地球質量のガス雲G2が落下していることが報告された(Gillessen et al. 2012)。このガス雲は2014年に巨大ブラックホールまで2400シュバルツシルト半径の距離にある近点を通過すると見積もられ(Gillessen et al. 2013)、現在その一部が通過していると考えられている。G2は潮汐破壊に伴う巨大ブラックホールへの質量供給やフレアのトリガー機構に関する何らかの知見を与えることが期待され、注目を集めてきた。これまでに多くの数値シミュレーションが実施されてきたが、そのほとんどは降着流とガス雲との相互作用を十分に考慮していない。

そこで、われわれは3次元磁気流体シミュレーションを実施し、ガス雲と降着流の相互作用を調べた。ガス雲の軌道面と降着流の赤道面の成す角度にも依存するが、降着率の増加の時期や磁気エネルギー増加の時期は、G2が近点を通過する時期より遅れることがわかった。また、最近われわれは世界で初めて輻射冷却を考慮したガス雲と降着流のシミュレーションを実施したので、その結果についても報告する。

大神隆幸「エリスワームホール時空におけるダスト流解とそのシャドウ」

本研究では無限遠から一様にエリスワームホールに落ち込むダスト流を考え、相対論的オイラー方程式等から流れの速さやダストの密度の定常解を求めた。その結果を用いてダストからの放射の観測される強度分布を数値的に計算したところ、シャドウと呼ばれる強度の低くなっている部分が現れることが分かった。ブラックホールの場合もシャドウは現れるが、ワームホールの場合と比較して特徴に違いが見られた。

浅野豪士「Magnetic Penrose Compton scattering process」

ペンローズ過程は、回転ブラックホール地平面の周りに発生する負のエネルギー領域を利用したエネルギー抽出機構である。銀河中心核への応用がいくつも試みられたが、粒子の分裂速度に関して厳しい制限が存在し、現実的ではないとされてきた。しかしその後の研究で、粒子が電磁場中に存在しているときや散乱による過程の場合では、制限が緩和されると考えられてきた。特に、Williams(1995)はPenrose過程を拡張し、Penrose Compton scattering (PCS) 過程を提案した。本講演では、PCS過程に磁場を適応し新たな天体現象の可能性について議論する。

伊豆丸翔「MHD Wave Propagation in a Black Hole Magnetosphere」

活動銀河核は非常にコンパクトな領域であるにもかかわらず、強力なエネルギーを放出している。特に、中心核からの絞られたビーム流として、宇宙ジェットと呼ばれる現象が多数観測されていて興味深い。本講演では、ブラックホール磁気圏における波によるエネルギー輸送について紹介し、宇宙ジェット形成との関連性を考察する。

波動の伝播を記述する方程式は、二階の偏微分方程式である。しかし幾何音響学において音波の群速度を現す伝播式、すなわち Eikonal 方程式は二階の偏微分方程式の特定曲線に一致するため、一階の偏微分方程式で記述することができる。これをフェルマーの原理により、正準形式に書き換え、波の伝播を解いていく。磁気流体波の伝播については、磁場分布と流体分布を得ることで調べることができる。本講演では Fishbone の流体分布、Blandford の paraboloidal magnetic field を用いて考察した。

齊田浩見「一人時間差相関 --- BH の直接検出を目指して ---」

一つの望遠鏡で可能なBH直接検出の方法として、『BHの強い重力レンズ効果が作り出す時系列データからBHの質量と角運動量を測定する方法』を考案する。今回の発表では、まず『一般相対論が正しいとするとBHは質量と自転角運動量の2つで完全に特徴づけられる』ことを確認した上で、次の2つに注目する：

(1) BH近くで光源が等方的に発光すると、BHの強い重力（のレンズ効果）により、ある光線は空間的に最短距離を通過して（0巡光）、別の光線はBHを一周巡ってから（1巡光）、観測者に届く。

(2) 0巡光と1巡光の『観測者への到達時間の差』と『観測される強度（あるいは電場の振幅）の比』はBHの質量と角運動量に依存して決まり、それが一つの望遠鏡で取得する時系列データの中に記録される。

この『時間差』と『強度比』を時系列データから抽出し、BHの質量と角運動量を測る方法として、『一人時間差相関の方法』を提案する。

藤澤健太「VLBI 観測技術の現状」

VLBIは極めて高い角度分解能を実現できる観測手法だが、観測を行う対象の「輝度温度がきわめて高い」ことが条件となる。この条件がブラックホールなど現実の天体の観測を行う上で具体的にどのような制約となるかを簡単に紹介する。

南部保貞「Signature of shadows in stochastic signals from black hole candidates」

ブラックホール時空における波動光学に基づいて、ブラックホール候補天体からのstochastic signal中からブラックホール時空固有の性質であるphoton sphere (unstable orbit for null rays)の情報を引き出す方法を提案する。まず、ブラックホール時空での波の散乱問題の一般論を紹介した後、ブラックホール時空の場合に期待される信号のパワースペクトルを計算し、photon sphereの存在による干渉効果がその中に現れる事を示す。いくつかの典型的なブラックホール候補天体に対して、どの程度の値が得られるかを評価し観測的検出可能性について検討する。

幅良統「X線偏光観測の概要」

X線観測において、撮像、分光に加え新たな観測軸として「偏光」が注目されている。本講演では、今年度実施予定の硬X線偏光観測気球実験の概要、および将来のX線偏光観測計画について紹介する。合わせて、X線の偏光観測がもたらすブラックホール周辺構造の情報について議論する。

三好真「へら絞りアンテナ 40 ミクロン精度」

安価なサブミリ波受信アンテナを作れないかと検討していた。

へら絞り加工法は熟練者の技巧に金属加工法であるが、加工費自体はそれほどかからない。かつて早稲田20m干渉計(Daishido)で2m口径のへら絞りアンテナを用いて干渉計を作った例があるが、波長1mm以下となるサブミリ波用に精度があるかどうかは誰も知らなかった。

この間の検討から、ついに40ミクロンをきる面精度を達成した。さらに30ミクロン精度を達成する糸口も見つけている。天文学だけではなく、テラヘルツ通信等への応用も可能である。

これまでの検討過程を報告する。

野田宗佑「波動効果を含む粒子による Black Hole 撮像」

Black Hole Shadowとは、Black Holeで散乱された光を遠方で観測する際に得られる像である。この像の計算にはnull測地線を使っており、像の形は粒子の不安定円軌道と関係している。一方、不安定円軌道に関わる波動現象としてはBlack Hole準固有振動と呼ばれるものがあり、この振動は波動として遠方に伝わる。そこで、本研究ではこのBlack Hole自体を波源とした波の像を描くことを目標とする。像を描くアイデアとしては、波を粒子的にとらえて、その粒子をtraceすることを考える。波を粒子的に扱う方法の1つとして、今回は量子流体力学を紹介する予定である。

高橋真聡「ホットスポットの時間変動」

ブラックホールの存在を観測的に検証することを目的に、ブラックホール時空における諸天体現象の“見え方”についての研究を進めている。この目的のためには、ブラックホール時空におけるプラズマの状態や運動、またそこでの輻射機構についての理解が不可欠である。また、ブラックホール近傍からの輻射が地上ではどのような像として、またスペクトルが如何なるものになるかについて調べておく必要がある。

ブラックホール候補天体として活動銀河中心核やブラックホール連星について考察するとき、通常はブラックホール周囲に降着円盤を配置してその活動性を探るが、本講演では我々の銀河系中心ブラックホール(Sgr A*)を対象とし、ガス密度の小さな降着流が存在するものの、光学的に薄くブラックホール近傍が見通せる状況を扱う。このような状況下で「ブラックホール影」を観測することが長期的な研究目標である。現段階としては、ブラックホールの周りを周回する“ホットスポット”が存在するとして、その光度変化について調べている。ブラックホール周りを周回するホットスポットからの輻射は、重力赤方偏移効果、重力レンズ効果、ドップラー効果などの影響を受けて、複雑な時間変動をする。また、光源から直接的に観測者に到達する光線に加えて、ブラックホールを数回周回してから、時間差をもって観測者に届くもの(ブラックホール・エコー)もある。観測される輻射のピークが「エコー」に依るものか否かの判定は、一人時間差干渉(Saida 2014)が有望である。このような観測によって、ブラックホールの時空情報が得られると期待している。