

『不惑BZ77研究会』観戦記

上記題名の合宿型の研究会が9月28-30日に琵琶湖を望む宿泊施設で開催された。ブランドフォード (Blandford) とナエク (Znajeck) が磁場によりブラックホール回転エネルギーを引き抜き、遠方離れた領域に輸送するしくみ (BZ機構) を1977年に提唱して40年の節目に、その理解がどの程度進んだかを検討する会合を企画した。参加者は大学院生から名誉教授までの幅広い年齢層 (年齢差約60歳) の約30名だった。研究会の内容はやや専門的すぎるが、それを平易に解説するとともに、そのスタイルや雰囲気は他分野でも参考になると思えるのでここにとりまとめた。

学会はもとより、近年の研究会では時間厳守が浸透している。数十年前のある会議のこと。座長が「あと (発表時間は) 5分です」と言うので「それではそろそろ本題に入ります」と老練な教授がやっと時間を認識されたことを覚えている。このような例は極端で昨今では皆無だとしても、割り当てられた時間がくると議論の途中でも次の講演に移り、周りの者も置き去りにされ、未消化に終わることがしばしばである。この研究会では合宿型の特長を活かし、時間に拘束されることなく議論できる会を目指した。登壇者 (レビュアー) には論点をあらかじめまとめ、簡単な原稿の提出も依頼し、プレゼンファイルを参加者が共有できるようにした。レビュー講演には討論時間を含めて2時間を用意したが、それでも途中の白熱した議論により不足ぎみとなった。その多数の質問と議論により発表内容の理解が深まったのは確かである。日頃授業をしていて質問もなく終わってみると学生はあまり理解していないことに気づくことがあり、質問と議論の必要性を再度認識した。

さて、この会議の主題に移ろう。ブランドフォードとナエクは回転するブラックホール時空ではある条件が満たされると定常的に電磁場ポインティ

ング・フラックスとして外向きに輸送されることを示した。原論文では磁気優勢な場合でフォースフリー (FF) 極限を扱い、具体的にそのようなことが起きることを示した。その後、このBZ機構は天体現象への適用も数多く試みられ、特に銀河中心核 (AGN) やガンマ線バースト (GRB) のジェットのエネルギー源として有望視されている。しかし、その根本的なところを考えると不思議と思えるところがある。BZ機構が働くとき外向きのエネルギー流が発生するが、その起源はどこか。定常なFF磁気圏では磁力線の回転速度は磁力線に沿って一定であり、電流も磁力線に沿って流れる。したがって、電磁場ポインティング・フラックスは一定である。フラックスの源となりそのような特別な点を遠方から逐一内側へ探すと、地平面にその起源 (起電力) を求めたくなる。しかし、地平面を起源とすれば、何の情報も出さないブラックホールの地平面から外向きのエネルギー流を作り出すことになり因果的に許されない。その起源を理解するのが主題である。

これまで問題解決法や精密化など世界的にも多数の論文が出ており、本研究会でもいくつか論じられた。その代表的な解決策 (以下a-d) を眺めてみよう。

(a) 記述した式であるFFの近似が破れる場所を物理的に探す。この近似は電磁場が優勢な場合に妥当性があるが、あらゆる場所で常に電磁気的な力で決まっているのだろうか。近似が破綻した場所が源となる。ペアプラズマの生成などある種の物理過程を付加して、いくつかのモデルが提唱されている。

(b) FF近似を超えた取り扱いから問題に迫る。定常を仮定するが、プラズマの慣性の効果を取り入れて議論する。ブラックホールの地平面よりも外側にできるアルフヴェン面の重要性が論じられた。

(c) 時間発展による数値計算. ブラックホールと円盤を含む系のMHDシミュレーションが進んでいる. その多くは現実的な状況で行われ, 外向きのエネルギーフラックスも計算されている. ただし, 定常になるまで推移や起源は読み取りにくい. 本研究会では単純化された系のFF方程式の時間発展の結果が示された.

(d) 異なる視点から「ブラックホールの回転エネルギーを引抜く過程」と地平面の意義や外向きのエネルギー流の起源を再考する. 回転エネルギーを引抜く過程として知られる「ペンローズ過程」や「波の増幅反射」の問題をBZ機構と関係づけて論じられた. 波と粒子など内容が異なるけれど, 共通の概念形成で理解が深まる印象を受けた. また, 天文学ではなじみが薄いコズミック・ストリングを考え, それとFF磁気圏の磁力線を対比することで地平面の条件は適合するように後から定まることを示された.

読者の皆様, 以上の(a-d)のどれが問題解決に有効的だったと想像しますか. それぞれ相補的であるが, 最重要のキーワードは「慣性系の引きずり」であり, 特に時間発展の要素を考慮することが有効だと感じた. FF磁気圏での磁力線の角速度の決まり方はほぼ理解が得られたと思うが, 天文学的なさまざまな外的要因の下での具体的な



研究会風景

値の決まり方および電磁場ポインティング・エネルギー流の大きさの程度が興味ある課題として残った.

本研究会で議論した内容は発表スライドとともに収録として公開予定である. 初学者が学びやすくすること目指している. 興味をもたれた方は高橋まで連絡をください*1. 「四十にして惑わず」(論語)の教えに従い, 「時間」がこの混乱を解消しつつある.

終わり

小嶋康史 (広島大学)
高橋真聡 (愛知教育大学)
南部保貞 (名古屋大学)
野田宗佑 (名古屋大学)

*1 「不惑BZ77研究会」: http://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/BZ77_WS2017/
連絡先 (高橋): mtakahas@auecc.aichi-edu.ac.jp