

平成28年度  
ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～KAKENHI  
(研究成果の社会還元・普及事業)  
実施報告書

HT28175 ブラックホールの歪んだ世界：時間と空間が曲がる？



開催日：平成28年8月6日(土)

実施機関：愛知教育大学

(実施場所) (自然科学棟5階 第二学生実験室)

実施代表者：高橋 真聡

(所属・職名) (教育学部・教授)

受講生：高校生 27名, 中学生 5名

関連URL:

【実施内容】

<当日のスケジュールおよび実施の様子>



【9:30-10:00】挨拶・オリエンテーション、科研費と本事業の説明

- ・朝の受付開始とともに参加生徒が集まり、定刻に開始する事ができた。
- ・科学研究費助成事業による研究成果の社会還元・普及事業についての説明を行った。日本学術振興会作成のパンフレットに沿って(プロジェクター投影)、科研費事業と「研究者への道」について紹介および解説をした。

【10:00-11:10】講義「ブラックホールの基礎知識」(途中10分休憩)

- ・講師(齊田浩見氏)によるブラックホールの講義(1)  
『ブラックホールの基礎知識』をテーマとして、一般相対論の基礎と高校で学習する範疇の物理学(力学)との関連を解説した。講義のおもなトピックスとしては、
  - \* 人類はブラックホールを見たのか?
  - \* ブラックホールとは? \* 重力と曲がった時空の関連。講義の所々に簡単な実演実験や演習(工作)作業を盛り込み、参加生徒達に飽きさせない工夫があった。

【11:20-12:30】講義「近赤外線でのブラックホール探査」(10分休憩含む)

- ・講師(西山正吾氏)によるブラックホールの講義(2)  
タイトルは、『近赤外線でのブラックホール探査』。すばる観測所&望遠鏡に関する動画を効果的に使用し、臨場感のある楽しい演出を行った。おもなトピックスは、
  - \* 銀河系中心ブラックホールの周りを周回する恒星の観測について
  - \* 近赤外線天文学の話(すばる望遠鏡と南アフリカ望遠鏡)
  - \* 近赤外線でのブラックホールを観測するには?最先端の観測研究の場で、どのような工夫や努力がなされているか、また研究者同士の研究上のバトルなど、通常の学習ではうかがい知れない内容についても紹介があった。研究者とはどのような人たちなのかが伝わったのではないかと思う(高校生達への良い刺激になると思う)。

【12:30-13:30】昼食(お弁当:講師・学生と食事)

- ・講師・アルバイト学生が参加生徒の席に同席し、歓談しながら昼食をとった。打ち解けた雰囲気の中で、ブラックホールに関する話題以外にも、部活や進路の話などの話がはずんだ。意欲的な生徒やまだ模索中の生徒たちなど様々な段階の生徒が居る中で、とにかく(大学から高校への)情報が不足していると感じた。生徒達もそれを感じている様子で、まずは大学の雰囲気を吸収しようとしていた。

【13:30-14:30】体験タイム(1)「太陽黒点の観測実習・昼間でも見える星の観察」

- ・快晴で太陽黒点の観測(スケッチ)実習には良い条件であった。今年は、太陽活動が例年に比べておとなしい(黒点の出現数が少ない)時期があったため、当日に黒点のスケッチが可能か(黒点が見えているか)不安であった。しかしながら、幸いにも小さな黒点ではあるが複数個の出現を確認できた。

これを口径8cmの小型の望遠鏡による投影法にて観測することができた。生徒の中には初めて黒点を見る者もいて、興味深く観察していた。この黒点の観測と並行して、本学設置の口径60cm反射望遠鏡による「昼間でも見える星(明るい星)」も観望してもらった。肉眼で見ると青空なのに、望遠鏡で見ると(冬の季節の)の恒星がざらりと見えることに、皆感激していた。そもそも「なぜ空は青いのか」などの話題にも及び、天文学以外の身近なサイエンスとの関連についても触れる機会となった。この日は晴天で太陽観測には都合が良かったものの、真夏日でもあったため長時間の観測は熱中症などの危険があると判断して、屋上での行動は1時間程で切り上げ、残りの観測データ解析演習は水分補給の後(クッキータイムの後)とした。

【14:30-15:00】クッキータイム(学生による大学授業紹介,天文学および物理学に関する教科書,啓蒙書などを紹介)

- ・炎天下での黒点観測の後の水分補給をかねて、(予定を繰り上げて)冷たいお茶とお菓子で参加生徒と大学生・教員との懇親会を行った。

やはり受験や大学での生活についての関心が大きいようだ。また、講義の時間内に質問できなかった生徒が、この時間を利用して質問してきた。このような自由時間的な時間枠は、情報収集や大学の雰囲気体験として重要な役割を果たしている。菓子は別室にて提供したが、その部屋の一角に天文学・物理学・地学に関する教科書や啓蒙書を並べておき、自由に閲覧できるようにしておいた。これについては、今年も例年のように関心が高く、手に取ってじっくりと読み込んでいた。

【15:00-15:50】体験タイム(2)「太陽黒点データ解析演習(太陽の自転周期を求める)」

- ・体験タイムの後半として、黒点データの解析の演習を行った。黒点データは、今年の4月以降の観測データを事前に収集しておいたものを用いた。観測時期によりいくつかの種類のデータのセットを用意しておき、各自ごとに異なるデータを取り扱うように工夫した(必ずしも臨席の友達とは同じ結果が得られないようにし、自分の力で解決できることを期待している)。太陽の自転周期を作図により求める演習については、大学生の補助もあり、どの生徒も一通りは結果を導けていたようである。難しい演習では無いものの、やはり自己で手を動かして計算してみようとする予想通りの数値・結果が導けた際には、達成感が得られたようで、嬉しそうだった。

【15:50-17:00】講義「ブラックホールへのガス雲降着」(途中10分休憩)

- ・講師(高橋真聡)によるブラックホールの講義(3)

タイトルは『もしもブラックホールに旅行できたらどう見える?』であり、齊田氏とは異なる切り口での天体ブラックホールについての解説が行われた。おもなトピックスは、

- \* ブラックホール候補天体の分類と最有力候補について
- \* ブラックホール近くでの時間の進み方(時計の遅れ)と強重力による潮汐力について
- \* ブラックホール探査計画(ブラックホール影の観測計画)について

時間に余裕があれば、昨年度初検出された「重力波」の話題にも触れる予定であったが、上記の内容で時間が一杯になってしまった。今後の機会に取り込んでいきたいと考えている。

【17:00-17:15】質問タイム

- ・参加生徒からは、ブラックホール以外にも、宇宙や物理学に関する質問があった。ただし、今年の場合、講義直後の休憩時間やクッキータイムなどの時間に個別に担当講師に質問を済ませた生徒が多く、特にこの時間帯を利用した質問としては例年に比べて少なかった。全体的に、疑問に対して積極的に解決しようと、忌憚なく質問してくる生徒が目立った。

【17:15-17:30】修了式未来博士号授与、  
(アンケート記入,講師からの挨拶)

【17:30-】解散



### <事務局との協体制>

研究代表者と事務担当とは主に広報活動方法についてメール・電話等で頻りに連絡を取り合い事業に取り組んだ。ポスター・チラシ等の作成や愛知県教育委員会等への配付などについても、連絡を密にした協体制のもとで行った。また参加者の出欠状況についても連絡を取り合い当日に向け準備した。

### <安全体制>

安全対策としては、教室内での講義が中心のために特に危険はないと考えたが、一部に屋上での観測実習があるため、安全体制には十分に配慮した。協力学生に対しても、安全性確保のため、突発事項が生じた場合には速やかに連絡し指示を仰ぐように徹底した。参加生徒については、傷害保険に加入して備えた。今回はとくに、真夏日での太陽観測実習ということもあって、熱中症の危険が無いかに注意を払った。実習時には、水分補給や帽子の着用をアナウンスし、もしも気持ちが悪くなったらエアコン稼働中の部屋に移動するように注意をした。また実習時間を短縮し、クッキータイムを利用して十分に休養できるように配慮した(冷たい飲み物は、酷暑日を想定して事前に十分な量を用意しておいた)。幸いにも、講習終了後まで暑さのために体調を崩す生徒はいなかった。

### <プログラムの工夫>

参加生徒にわかりやすく研究成果を伝えるために、また生徒に自ら活発な活動をさせるためにプログラムを留意、工夫した点としては、

- ブラックホールの不思議さの本質は、時間と空間が渾然とした4次元時空としての扱いにある。この難しい(不慣れな)概念を参加生徒に伝えるため、身近な物理現象を例に挙げての解説を試みた。今回

は特に質問が想定される内容について彼らが納得できるレベルの回答を準備し講義の中に盛り込んだ。  
●参加者は高校1年生、2年生が大半であったので、高校の「物理II」「地学II」の教科書(10冊ぐらい)、および大学での授業で用いる教科書や参考書、啓蒙書などを(十数冊)講義の部屋の一角に展示した。これが意外と好評で、休憩時間や昼休みを利用して、各自本を手にして、記述内容を確認していた。自分の疑問が高校の教科書でいずれ習う内容であること、本講習の内容のある部分が、高等学校で履修する基礎的な内容になっていることなど、理解してもらう良い機会となった。特に、大学の教科書を手に取り、大学での勉強の雰囲気を楽しんでいるようだった。これは準備に手間がかからないサービスだが、情報提供としての教育的効果は大きいようだ。

●従来の「ブラックホール」に関する講座においては、数学的な正確さよりも、イメージの伝達を重視しての説明に心がけてきた傾向がある。しかしながら、その内容が正しく伝わったかの確認は難しく、後から確認すると、勘違いや誤解が存在することも間々あるようだ(なんとなくわかったというレベルでの理解は得られているが、もっと理解を深めてほしい)。そこで、あえて高校数学で学習する範疇の数学を用いて、定量的な説明にも取り組んでみた。高校1年生には難しかったようだが、高校2年生3年生に対しては、かえってわかりやすいとの感想をもらった。

●実習・実演的内容を含めた方が効果的と考え、生徒が主体的に参加できる方策を検討してみた。校舎の屋上での太陽観測実習を準備し、安全面と指導面でアルバイト学生の協力も得て実施した。実際に体験することで、文書や口頭では伝わらない大きな刺激を与えることが出来た。大学生が実際に観測してみせながら説明する機会は、高校生のみならず、大学生にとっても(他人にものを伝えるという意味で)良い勉強になったようだ。本学の60cm反射望遠鏡で昼までも見える恒星の観察も行ったが、屋間には絶対に見えないと思いついていた恒星が望遠鏡で集光すると見えることに大きな感動を得ていた。本来は冬に見える恒星が、いま見えていると説明すると、チョット考えた後に「なるほど」と納得していたようだ。このような意外性を提供できたことは、主催者としても嬉しい。

●観測したデータからは、分析してサイエンスを導きたい。この体験として、事前に用意しておいた黒点観測データの解析作業に使った。今年は時間的に余裕が十分には無かったが、大学生の補助協力により円滑に終了することが出来た。自然現象を観測した結果から「こうやっているいろいろなことが定量的に理解できるのだ」という研究の流れを体験してもらえたと思う(単に観ただけではなく、サイエンスとして体系化する所にまで高める作業の一端に触れることが出来たと思う)。

#### <今後の発展性・課題>

●昨年度と同様に、『ブラックホール』に関する内容に高い人気のあることが確認できた。この人気のあるブラックホールを切り口として、物理学や天文学全般への興味が広げられると感じた。それというのも、(この興味深い)ブラックホールについて少しでも深いレベルで理解しようと思うのであれば、あと少しの物理学や天文学の知識が不可欠であると説得できそうだからである。ブラックホールについて調べているうちに、物理学や天文学の基本的なところは(いつのまにか)身に付いている、という教育は可能である。実際、参加生徒達からは、もっと詳しく理解したいので、いまは物理や数学を勉強しなければならぬことが実感できたという声も聞く。これを意識して「ブラックホール」に関するテキストを執筆・改訂している。今後は、この内容を整理・精選し、今後の講習等に活用していく。「ブラックホール」についての探求活動を、単なるお話レベルに留めず、定量的理解の実践的レベルにまで引き上げようと考えている。例えば、SSH(スーパーサイエンス高校)とも連携して、教材化できないか検討している。

●課題としては、あまり身近とは言えない「曲がった時空の概念」をいかに伝えるがある。高等学校の自然科学の知識や体系を出発点として、かなりのレベルにまで引き上げることは可能と考えている。関連分野の研究者や教育者との連携をはかる事で、優れた理科教材の開発を試みたい。

●「ブラックホール」の話題に関しては、中学生向け、小学生向けの講座を依頼される事もあるのだが、抽象的な概念をイメージできない段階の子供達に対して、どのように答えを提供するか難しいものがある。言葉だけの説明では到底伝わらないし、図や動画の利用にしても、現状の教材では不正確さや曖昧さが多分に含まれがちで、誤った認識を与えてしまう可能性がある。ブラックホールや時空に関して、もっとも重要となる基本概念とは何か整理し、噛み砕き、身の回りの現象との関わりを探ることで正しいイメージを伝える教育研究が必要だろう。これについては、今後とも工夫や検討をしたい課題と考えている(今回の外部講師の方々も独自の工夫をなされているので、多いに参考になった)。

●今回の講習会においては、手伝いたいと申し出る大学生が多数いた。実施してみると、参加者側からも「大学生や大学院生とたくさん話ができて良かった」という声か聞こえてくる。「もっと人数を増やして欲しかった」と、大学生とのふれ合いの輪からあふれてしまった生徒からの残念がる声も聞こえてきた(こちらの配慮不足もあるが)。一方で、高校生相手にアドバイスしたり教えたりするのが楽しいと感じるようになった大学生からは、「ぼくらでも(僕らが主体となって)高校生に教えることはできると思うし、例えば、小学校や中学校への訪問教室など興味あるけど、旅費とか消耗品の援助があると良いのになー」という声も聞こえてくる。今後の『ひらめき☆ときめきサイエンス』事業の発展的あり方として、なにかヒントになるのかもしれないと思った。

【実施分担者】なし

【実施協力者】 11 名

【事務担当者】 研究推進部研究連携課・外部資金担当 松川祐次