

立教大学学術推進特別重点資金(立教SFR)

在外研究

2012年度研究成果報告書

研究代表者	所属・職名		氏名	
	理学部・准教授		原田 知広 印	
研究課題	膨張する宇宙におけるブラックホール			
研修期間	2012年4月23日～2012年7月9日(78日間)			
経費	年度経費	SFR助成額	所属学部からの補助額	合計
	2011年度	0円	0円	0円
	2012年度	967340円	0円	967340円
主な滞在国及び研究機関名	国名	研究機関名		
	イギリス	Astronomy Unit, Queen Mary, University of London		
研究成果の概要(図・グラフは使用しないこと)				
<p>宇宙の初期密度揺らぎのうち非常に振幅の大きなものは、重力崩壊して非常に小さな質量をもつ原始ブラックホールとなる。現在の宇宙に存在する原始ブラックホールの密度の上限は宇宙背景ガンマ線放射などの観測によりつけることができるので、原始ブラックホールは初期宇宙を知る貴重な手掛かりとなる。そこで重要になるのは、密度揺らぎがどのような条件を満たす時にブラックホールとなるのかというブラックホール形成条件である。</p> <p>本研究では、完全に一般相対論的な取り扱いによって、原始ブラックホールの形成条件を明らかにした。とくにその中でも、一般的に密度揺らぎに上限を与えるとされる宇宙隔離条件と呼ばれる条件について、ダスト宇宙の場合、輻射宇宙の場合、そして加速膨張宇宙の場合など、現代宇宙論で重要な局面におけるこの形成条件の具体形を導出した。</p> <p>宇宙隔離条件について最初に言及されたのは Carr & Hawking (MNRAS168:399, 1974) によってであり、その後 Carr (ApJ201:1, 1975) によってより具体的な形で導出された。その後、Harada & Carr (PRD71, 104009, 2005) によって、圧力がエネルギー密度に比例するような状態方程式の場合に拡張された。しかしこの拡張においては宇宙が加速膨張する場合は扱われておらず、その点で不満足であった。特に初期宇宙のインフレーション期における原始ブラックホールを考える上で加速膨張宇宙を考えることは重要であると考えられる。</p> <p>また、最近 Kopp, Hofmann & Weller (PRD83:124025, 2011) によってこの宇宙隔離条件はブラックホール形成条件として初期密度揺らぎに実質的な制限を与えないとする主張がなされた。この主張について、これまでの Carr らの研究と整合性が取れるのか、とれるとしたらどのようにして整合性が取れるのか、が重要である。このようなことを明らかにするためにも、宇宙隔離条件に関してもう一度深い考察を行った。</p> <p>本研究は、一般相対論に基づく計算によって原始ブラックホール形成条件を与えるものである。原始ブラックホールは初期宇宙を知る上で貴重な手掛かりを提供するものであり、そこで最も重要な役割を果たすのがブラックホール形成条件である。したがって、本研究は直接的には初期宇宙論研究に大きなインパクトを与えるものである。さらに、原始ブラックホールは宇宙背景ガンマ線放射やその他陽子・反陽子・電子・陽電子など宇宙線の発生源となることから高エネルギー宇宙物理学へのインパクトも期待できる。また原始ブラックホールがこうした高エネルギー粒子を放射する機構は、曲がった時空上の場の量子論的効果による Hawking 放射である。Hawking 放射は現代物理学において古典重力理論と量子重力理論を結び付ける重要な役割を果たしており、その実験的および観測的な検証は物理学全体に対して大きなインパクトを与える。しかし、Hawking 放射が観測可能になるのは事実上ブラックホールの質量が非常に小さい場合のみであり、原始ブラックホールは Hawking 放射の貴重な実験場を提供する。</p> <p>この研究については、受け入れ研究者である Bernard Carr 教授と共同で行い、その成果をまとめ現在論文を執筆中である。すでに原稿はかなり出来上がっており、学術雑誌への投稿へ向けて最終的な確認の段階になっている。</p>				

研究成果の概要 (つづき)

一方、本在外研究期間中に、Bernard Carr 教授や同じグループの Reza Tavakol 教授や Tim Clifton 講師らとともに議論する機会を得、これによってそれまで宗像裕也氏(立教大理)および宮本雲平博士(立教大先端研)とやってきた回転ブラックホールの地平線付近における高エネルギー粒子衝突での生成粒子の放射に対する上限の研究が大いに促進された。

また、本在外研究期間中に、同じグループの Alexander Polnarev Reader や中間智弘氏(東大ビッグバン)と原始ブラックホールに関する議論を行い、原始ブラックホールの数値シミュレーションの初期データとして線形摂動のレベルでは成長モードのみを与えそれを解析的に非線形発展させた初期データ(「自己無矛盾な初期データ」)を与える手法とその後の数値的な時間発展に関する共同研究を開始する契機となった。

キーワード (研究内容を適確に表しているものを5項目で記入)

[宇宙物理学] [原始ブラックホール] [宇宙膨張] [一般相対論] [密度揺らぎ]

研究発表 (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①~④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ①雑誌論文(著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ②図書(著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③シンポジウム・公開講演会等の開催(会名、開催日、開催場所)
- ④その他(学会発表、研究報告書の印刷等)

① Tomohiro Harada, Hiroya Nemoto and Umpei Miyamoto, ``Upper limits of particle emission from high-energy collision and reaction near a maximally rotating Kerr black hole'', Phys. Rev. D86(2), 024027 (7/2012) (10 pp)

原田知広、木村匡志、「ブラックホールは天然の粒子加速器になるか?」、日本物理学会誌第 68 巻第 2 号 102 頁

② なし。

③ Tomohiro Harada, ``High-velocity collision of particles around a Kerr black hole'', 2 May 2012, London Relativity and Cosmology Seminar, Queen Mary, University of London, London, UK

④ Tomohiro Harada and Masashi Kimura, ``High-velocity collision of two general geodesic particles around a Kerr black hole'', the 13th Marcel Grossmann Meeting on recent developments in theoretical and experimental general relativity, gravitation, relativistic field theories, 1-7 Jul 2012, Stockholm University, Stockholm, Sweden.

Tomohiro Harada, ``High-velocity collision of particles around a Kerr black hole and its implication'', Nishinomiya Yukawa Symposium: New Waves in Gravity and Cosmology, 4-6 Dec 2012, Kyoto University, Kyoto, Japan (poster and short talk).

Tomohiro Harada, ``High-velocity collision of particles around a Kerr black hole and its implication'', Gravity and Cosmology 2012, 18 Nov-21 Dec 2012, Kyoto University, Kyoto, Japan.

Tomohiro Harada, ``Upper limits of particle emission from high-energy collision and reaction near a maximally rotating Kerr black hole'', the RESCEU SYMPOSIUM ON GENERAL RELATIVITY AND GRAVITATION ``JGRG22'', 12-16 Nov 2012, University of Tokyo, Tokyo, Japan.

原田知広(立教大理・准教授)、宗像裕也(立教大理 D3)、宮本雲平(立教大・先端科学計測センターPD)、「高速回転ブラックホール付近の高エネルギー粒子衝突による粒子放射に対する上限について」、日本物理学会 2012 年秋季大会、京都産業大学、2012 年 9 月

※この(様式 2)に記入の、成果の公表を見合わせる必要がある場合は、その理由及び差し控え期間等を記入した調書(A4 縦型横書き 1 枚・自由様式)を添付すること。