原始ブラックホールについて

原田知広 *

2025 年 4 月 28 日

概要

このページは

- 令和 6 年度 (2024 年度)〜令和 10 年度（2028 年度）基盤研究 (C)（一般）
  「様々な機構による原始ブラックホール形成の数値相対論研究」
  （課題番号 24K07027）
- 令和元年度 (2019 年度)〜令和 5 年度 (2023 年度)
  基盤研究（C）（一般）
  「原始ブラックホールのスピンの理論的予言」
  （課題番号 19K03876）
- 平成 26 年度（2014 年度）〜平成 29 年度（2017 年度）
  基盤研究（C）（一般）
  「初期宇宙物質優勢期における原始ブラックホール形成」
  （課題番号 26400282）

による助成を受けて行なっている研究に関する解説と情報発信のための文書です。

1　原始ブラックホールとは何か？

原始ブラックホールとは宇宙初期に生成されるブラックホールです。原始ブラックホールの可能性は、1967 年にゼルドビッチとノビコフによって、そして 1971 年にホーキングによって指摘されました。原始ブラックホールはインフレーション期に生成された量子密度揺らぎや相転移・宇宙紐・宇宙泡の衝突などによってできたと考えられています。宇宙の極初期にできた原始ブラックホールは非常に軽いため、ホーキング輻射によって蒸発し、その際電磁波などを放射します。また、比較的後期にできたブラックホールは重いため、重力源となります。そのため原始ブラックホールは暗黒物質の有力な候補にもなって

* harada-at-rikkyo.ac.jp

います。このように、原始ブラックホールの数が多ければ観測によってそれらを見つけることができます。逆に言えば、原始ブラックホールの存在量は現在の観測データによって強い制限を受けるということです。従って、原始ブラックホールは、初期宇宙の姿を我々に伝える貴重なもの、「初期宇宙の化石」としての性格を持っています。このような役割は、宇宙背景マイクロ波放射と相補的であるとして、最近特に注目されています。一方、相転移や宇宙紐・宇宙泡は未知の高エネルギー物理学と関連しており、原始ブラックホールを観測することでこのような未知の物理学に関する情報を得ることができます。

ブラックホールが曲がった時空の場の量子論的な効果によって熱的な輻射を放射して蒸発するというホーキング輻射とホーキング蒸発は 1974 年にホーキングによって理論的に発見されて以来、一つの大きな分野を形成したといって良いくらいの理論的発展を遂げました。しかし、星の終末期に形成される太陽質量程度以上の質量のブラックホールではその効果が小さすぎて、直接にも間接にも観測することは絶望的に困難です。ところが原始ブラックホールの場合には、理論的には１０万分の１グラムというケシツブ（ケシの種）くらいの質量から想定できます。このようなケシツブ程度から１０億トン程度（霞ヶ浦約一杯分の水の質量）の軽いブラックホールではホーキング輻射の効果が著しく、蒸発のあり方は直接・間接に観測可能な現象と結びついてきます。そのため、原始ブラックホールはホーキング輻射を調べることのできるほとんど唯一の実験場でもあります。ちなみにこの１０億トンのブラックホールの直径は原子核一個程度の小ささです。

2016 年ごろから、原始ブラックホールがさらに注目を集めています。その理由のひとつは LIGO によって世界で始めて直接観測された重力波の波源が原始ブラックホール連星である可能性が指摘されていることです。このような原始ブラックホールは太陽の３０倍程度の質量を持っていると推定されています。もうひとつの理由は、最近種々の観測やそれに関連する理論的研究が進んできて、原始ブラックホールが暗黒物質の主要な成分であるためには原始ブラックホールの質量にかなり強い制限がかかってきていることが上げられます。このような背景もあって、原始ブラックホールの生成理論も我々の研究も含めてかなり整備されてきました。さらに今後数年のうちに多くのことがわかってくると思います。

日本語で読める易しい文献としてこちらも参照して下さい。

- ニュートン別冊『ブラックホールとホワイトホール、ワームホール』（ニュートンプレス、東京、2023 年 8 月 5 日）
  https://www.newtonpress.co.jp/separate/back_astronomy/mook_230710_2.html

- ウィキペディア「原始ブラックホール」
  http://ja.wikipedia.org/w/index.php?curid=1807770
- 須山 輝明、田中 貴浩、横山 修一郎、「LIGO で検出された重力波は原始ブラックホールから？」、日本物理学会誌第 72 巻第 10 号 723 頁（日本物理学会、東京、2017 年 10 月）
  https://doi.org/10.11316/butsuri.72.10_723
- 原田知広、「原始ブラックホールの形成と成長」、日本物理学会誌第 62 巻第 1 号 30 頁（日本物理学会、東京、2007 年 1 月）
  http://ci.nii.ac.jp/naid/110006198202

2　本科研費研究の成果となる学術論文

リンクをクリックすると要旨を読むことができます。英語ですので日本語訳が必要な方は適当な翻訳ソフトなどを使って下さい。（科研費の助成を受けていない論文もリストされています。）

https://inspirehep.net/literature?sort=mostrecent&size=25&page=1&q=ea%20Tomohiro%20Harada%20and%20de%20%3E%202013