

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800102

研究課題名(和文) 宇宙全史にわたる大質量星形成過程の解明

研究課題名(英文) Massive star formation across the cosmic time

研究代表者

細川 隆史 (Hosokawa, Takashi)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30413967

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：初期宇宙に誕生する重元素を含まない所謂"宇宙初代星"の典型的質量、質量分布についての理論的研究を行った。ダークマターの大規模構造形成から始原ガス雲の形成と重力崩壊、さらにそれに引き続く原始星への質量降着過程の進化を数値シミュレーションによって追跡した。初めて初代星の質量分布が議論できるほど多数の始原ガス雲を取り扱い、それぞれについて最終的に星質量が決まるまでの一連のシミュレーションを実行した。我々の結果は、初代星の質量分布が数十から数百太陽質量に渡る広い分布を持つことを示唆している。

研究成果の概要(英文)：We have investigated the mass distribution of the first stars with no heavy elements forming in the early universe. In our theoretical study, we have numerically followed a long-term evolution through the early large-scale structure formation, formation and gravitational collapse of primordial gas clouds, until the first stars finally appears after the stellar mass greatly rises via the mass accretion onto tiny embryo protostars. We have dealt with a number of (> 1000 finally) primordial gas clouds, which allows us to examine the statistical properties of the first stars such as their mass distribution. We have also followed the evolution in the late accretion stage where the stellar UV feedback halts the mass accretion to determine the final stellar mass for more than 100 cases. According to our results, the first stars should have had a great diversity in their masses, covering from ~ a few x 10 Msun to ~ 1000 Msun.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：宇宙初代星 大質量星 銀河形成 原始星 宇宙初期天体 星間物理 超巨大ブラックホール

様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初は、初期宇宙に誕生する星の典型質量、質量分布、さらに最大質量を定量的に決めるための現実的な数値シミュレーションが求められていた。すでに先駆的な研究は行われつつあったが、例えば星質量が決まるまでの長期進化を追った事例が少なく質量分布などの統計的な議論はできなかった。

2. 研究の目的

初期宇宙に誕生する星の典型質量、質量分布を明らかにすることが研究の第一の目的である。さらに、近年の観測により、宇宙年齢 10 億年以下の段階ですでに $10^6 M_{\odot}$ を上回る超巨大ブラックホールが存在していることが明らかになっており、この文脈では初代星の最大質量を明らかにすることが重要である。

以上で述べたのは金属量ゼロの星形成を対象にしているが、時代が下った銀河系の星形成モードとは明らかに様相が異なると予想されている。銀河系での大質量星形成の研究も並行して進め、両者をつなぐ低金属量環境での大質量星形成研究に繋げることも目的の一つである。

3. 研究の方法

(1) 宇宙論的構造形成シミュレーション、(2) ローカルの輻射流体シミュレーション、さらに (3) 星の進化計算など異なる計算技法を組み合わせ、初期宇宙の星形成過程を追跡する。これによってダークマターの大規模構造から星の内部構造までを同時に空間分解する計算が可能になる。

(1) では N 体/粒子法を用いてダークハロー中の始原ガス雲の形成とその重力崩壊までを計算し、(2) では極座標下のメッシュ法を用いて原始星フィードバック下の質量降着過程の進化を計算する。このときフィードバックは原始星がどのような構造を持つかに依存しているため、同時に(3)の星の進化計算を行って星の光度や有効温度を決める。

4. 研究成果

(1) 初代星の質量分布

星質量分布を求めるため、宇宙論的シミュレーションから星形成ガス雲を多数抽出し、軸対称 2 次元下で輻射流体シミュレーションを実行して星質量が決まるまでの質量降着段階の進化まで追跡した。その結果、星質量は数十～数百 M_{\odot} に渡り広く分布することを初めて示した。

(2) 初代星形成質量降着過程の 3 次元輻射流体シミュレーション

質量降着段階のこれまでの 2 次元計算を拡張して、3 次元でも追跡できるようになった。これにより、自己重力円盤での重

力トルクによる角運動量輸送、円盤の重力不安定による分裂、激しく時間変動するバースト的降着現象などを新たに取り扱えるようになった。特にバースト降着が現れると非常に大きな降着率が短時間ながら実現するため、原始星がこれに応じて巨星化し、紫外光フィードバックが間欠的にしか働かなくなる現象が見られた。

(3) 超大質量星形成の可能性

初代星形成の特別な場合では非常に高い降着率が質量星の寿命である Myr 程度持続する可能性があるため、この場合での質量降着段階の進化を研究した。

特に、このときの原始星進化を星内部構造を数値的に解いて求め、原始星の巨星化によって星の紫外光フィードバックが回避できる可能性を示した。現実的な自己重力円盤を通じた質量降着では降着率が激しく時間変動するが、そのような状況下でも同様の進化が現れることも確認した。

(4) 銀河系の大質量星形成と低金属量下での大質量星形成

上の(2)の 3 次元計算はもともと銀河系の大質量星形成用に開発されてきたコードを拡張して用いた。これを更に拡張して低金属量の化学反応ネットワーク実装を済ませた。現在、このコードを用いて低金属量環境下での原始惑星系円盤の光蒸発過程の研究に取り組んでいる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 10 件)

(1) Formation of Massive Primordial Stars: Intermittent UV Feedback with Episodic Accretion, Hosokawa, T., Hirano, S., Kuiper, R., Yorke, H. W., Omukai, K., & Yoshida, N., 2016, ApJ, in press (2015arXiv151001407H)、査読有

(2) Supermassive star formation via episodic accretion: protostellar disk instability and radiative feedback efficiency, Sakurai, Y., Vorobyov, E., Hosokawa, T., Yoshida, N., Omukai, K., & Yorke, H. W., 2016, MNRAS, 459, 1137

(doi: 10.1093/mnras/stw637)、査読有

(3) Formation of primordial supermassive stars by burst accretion, Sakurai, Y., Hosokawa, T., Yoshida, N., & Yorke, H. W., 2015, MNRAS, 452, 755 (doi:10.1093/mnras/stv1346)、査読有

(4) The formation and destruction of molecular clouds and galactic star formation. An origin for the cloud mass function and star formation efficiency, Inutsuka, S., Inoue, T., Iwasaki, K., & Hosokawa, T., 2015, A&A, 580, 49, (doi: 10.1051/0004-6361/201425584), 査読有

(5) Primordial star formation under the influence of far ultraviolet radiation: 1540 cosmological halos and the stellar mass distribution, Hirano, S., Hosokawa, T., Yoshida, N., Omukai, K., & Yorke, H. W., 2015, MNRAS, 448, 568 (doi: 10.1093/mnras/stv044)、査読有

(6) Radiation Transfer of Models of Massive Star Formation III. The Evolutionary Sequence, Zhang, Y., Tan, J., & Hosokawa, T., 2014, ApJ, 788, 166 (doi: 10.1088/0004-637X/788/2/166)、査読有

(7) Generation of Magnetic Field on the Accretion Disk around a Proto-first-star, Shiromoto, Y., Susa, H., & Hosokawa, T., 2014, ApJ, 782, 108 (doi: 10.1088/0004-637X/782/2/108)、査読有

(8) One Hundred First Stars: Protostellar Evolution and the Final Masses, Hirano, S., Hosokawa, T., Yoshida, N., Umeda, H., Omukai, K., Chiaki, G., & Yorke, H. W., 2014, ApJ, 781, 60 (doi: 10.1088/0004-637X/781/2/60)、査読有

(9) Formation of Primordial Supermassive Stars by Rapid Mass Accretion, Hosokawa, T., Yorke, H. W., Inayoshi, K., Omukai, K., & Yoshida, N., 2013, ApJ, 778, 178 (doi: 10.1088/0004-637X/778/2/178)、査読有

(10) Pulsational Instability of supergiant protostars: do they grow supermassive by mass accretion?, Inayoshi, K., Hosokawa, T., & Omukai, K., 2013, MNRAS, 431, 3036 (10.1093/mnras/stt362)、査読有

〔学会発表〕(計 14 件)

(1) 細川隆史、「初代星形成におけるバースト降着と間欠的 UV フィードバック」、日本天文学会秋季年会、2015 年 9 月 9 日~同 11 日、甲南大学(兵庫県神戸市)

(2) Takashi Hosokawa、「The First Star Formation: towards understanding the mass spectrum」, First Stars, galaxies, and black holes; Now and Then, 2015 年 6 月 15 日~同 19 日、Groningen (Netherlands)

(3) 細川隆史、「超急速ガス降着による超大質量原始星の進化」、日本天文学会秋季年会、2013 年 9 月 10 日~同 13 日、東北大学 (宮城県仙台市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~takashi.hosokawa/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

細川 隆史 (HOSOKAWA, TAKASHI)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：30413967

- (2)研究分担者
該当なし
- (3)連携研究者
該当なし