

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2008～2012

課題番号：20224002

研究課題名（和文） 第一世代天体から原始銀河に至る宇宙暗黒時代の解明

研究課題名（英文） Probing the Dark Age: From First Generation Objects to Primordial Galaxies

研究代表者

梅村 雅之 (UMEMURA MASAYUKI)

筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授

研究者番号：70183754

研究分野：数物系科学（理論天文学）

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：宇宙物理，第一世代天体，銀河形成，宇宙暗黒時代，並列計算機

1. 研究計画の概要

本計画は、特別推進研究（H14-H19）により開発・製作した融合型並列計算機“宇宙シミュレータ FIRST”を用い、輻射輸送過程、非平衡原子・分子反応過程などの物理過程を忠実に採り入れた大規模流体シミュレーションによって、宇宙第一世代天体形成に引き続いて起こる原始銀河形成までの物理過程を明らかにし、いまだ解明されていない宇宙暗黒時代の宇宙史の物理的解明を目指すものである。計算手法として、ダークマター、バリオンガス、星を含めた自己重力系における、粒子法流体力学、粒子法輻射流体力学、格子法流体力学、格子法輻射流体力学を用い、冷たいダークマターが誘起する第一世代天体形成、第一世代天体中の連続的星形成、電離宇宙における原始銀河形成、銀河中心の巨大ブラックホール形成過程、超新星爆発による原始銀河の進化、天体形成による宇宙再電離史、を探索する。

2. 研究の進捗状況

これまで、(1) 第一世代天体形成と連続的星形成、(2) 宇宙論的ライマンアルファ輝線天体モデルの構築、(3) 原始銀河における巨大ブラックホールの合体成長、で重要な進展があった。

課題(1)では、ダークマター・カスプの重力ポテンシャルが、ビリアル温度を上昇させ、その結果水素分子冷却の熱的不安定を引き起こすことで従来の計算で求められていた質量より2桁近く小質量の天体形成が可能になることを明らかにした。また、第一世代天体中の連続的星形成を調べるために、初代星からの紫外線輻射を入れた輻射流体シミュレーションを行った。この計算によって、初

代星質量が25-40太陽質量以上では、連続的星形成が可能になり、これ以下では、解離光子による星形成阻害が起こることを明らかにした。また、電離波面の伝播によって、ガス雲がはぎ取られると、第二世代の星質量は20太陽質量近くまで減少することを見出した。

さらに、これまでの粒子法流体力学（SPH）をベースにした輻射流体力学コードをツリー構造で加速することに成功し、新たな輻射流体コード START (SPH with Tree-based Accelerated Radiative Transfer) を開発した。このコードによって、これまで正確に扱えなかった散乱光子を近似なく扱えるようになった。このコードは、今後の原始銀河形成、宇宙再電離の研究に大きな進展をもたらすことが期待できる。

課題(2)については、宇宙論的計算と化学進化モデルを組み合わせ、ライマン・アルファ輝線天体のモデルを構築した。特に、銀河内の各サブストラクチャーの星形成史・化学進化を独立な事象として扱い、SEDの計算を行った。結果として、ライマンアルファ輝線天体には、比較的質量が軽く（ $\sim 10^{10} M_{\odot}$ 程度）、銀河進化の極初期の星形成フェーズにある天体（Type 1）と、質量が重く（ $\sim 10^{10-12} M_{\odot}$ ）初期の星形成期を終了した後、ガスが降着して星形成を誘起する天体（Type 2）の2種類があることが分かった。また、これら2つのタイプで空間相関や予想される色光度を計算した結果、Type 2は近赤外の波長で観測される天体と空間相関がよく一致する事がわかった。

課題(3)については、銀河中心の超巨大ブラックホールの起源を明らかにする一つのステップとして、より小さな銀河の合体によ

て取り込まれた複数の巨大ブラックホールを想定し、それらがどのように進化するかを、FIRST に搭載された重力計算加速装置 Blade-GRAPE の高精度計算機能を利用し、これまでにない高い精度のN体計算を行った。その結果、星との力学的摩擦によって巨大ブラックホールが銀河中心に沈み込み、ブラックホール3体相互作用の効率が増すことによってブラックホールの連続的合体成長が可能となり、中心に一つの超巨大ブラックホールが形成されることを明らかにした。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

宇宙シミュレータ FIRST を用い、宇宙第一世代天体形成から原始銀河形成に至る宇宙暗黒時代の宇宙史の研究は着実に進んでいる。本年度は、(1) 第一世代天体形成と連続的星形成、(2) 宇宙論的ライマンアルファ輝線天体モデルの構築、(3) 原始銀河における巨大ブラックホールの合体成長、の研究について進展があり、その成果は学術論文として取りまとめられた。また、高速輻射流体力学コード START の開発は、これまで正確に扱うことのできなかつた散乱光子を近似なく扱うことを可能にするばかりでなく、光源の数を SPH 粒子数と同等にすることができ、これにより原始銀河形成、宇宙再電離の研究に革新的な進展をもたらすことが期待できる。さらに、原始銀河における巨大ブラックホールの合体成長の研究は、これまでの原始銀河形成の研究と融合させることで、銀河と超巨大ブラックホールの共進化についても、先駆的な研究が展開できるようになる。

4. 今後の研究の推進方策

第一世代天体形成とその中での連続的星形成過程、およびその後の原始銀河形成の輻射流体力学計算については、新たに開発した輻射流体力学コード START を用いる。これらの研究を進めることによって、宇宙初期天体形成と宇宙再電離の関係や、高赤方偏移ガンマ線バーストの発生率についても新たな知見を得ることができるようになる。また、現在行っている原始銀河における巨大ブラックホールの合体成長の研究は、宇宙シミュレータ FIRST に搭載された、Blade-GRAPE の高精度重力計算機能を利用し、ブラックホールと星の多体系を高精度で解き上げる先駆的な研究である。今後、銀河質量や赤方偏移の依存性を調べることで、宇宙初期の初代銀河形成から始まり、階層的銀河形成の枠組みの中で、銀河と超巨大ブラックホールの共進化がどのように進行するのかについて新たな理論の構築ができるようになる。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 19 件)

- 1) Tanikawa,A., Umamura,M., Successive Mergers of Multiple Massive Black Holes in a Primordial Galaxy, 査読有, ApJ, 728, L31-L35 (2011)
- 2) Hasegawa,K., Umamura,M., START: Smoothed particle hydrodynamics with tree-based accelerated radiative transfer, 査読有, MNRAS, 407, 2632-2644 (2010)
- 3) Shimizu,I., Umamura,M., Two types of Lyman-alpha emitters envisaged from hierarchical galaxy formation, 査読有, MNRAS, 406, 913-921 (2010)
- 4) Akahori,T.,Yoshikawa,K., Hydrodynamic Simulations of Merging Galaxy Clusters: Non-Equilibrium Ionization State and Two-Temperature Structure, 査読有, PASJ, 62, 335-345, (2010)
- 5) Umamura, M., Suwa, T., Susa, H., The Collapse of First Objects driven by Dark Matter Cusps, 査読無, AIP Conference Series, 1238, 101-106 (2010)

[学会発表] (計 11 件)

- 1) 谷川衝, 梅村雅之, 「大質量ブラックホール多体系におけるブラックホールの成長と銀河の進化」, 日本天文学会春季年会予稿集 (2011年3月15日~19日, 筑波大学, つくば市)
- 2) 岡本崇, 吉川耕司, 「スーパーメッシュを用いた輻射輸送計算の加速法」, 日本天文学会春季年会予稿集 (2011年3月15日~19日, 筑波大学, つくば市)
- 3) 森正夫, 「アンドロメダ銀河と矮小銀河の衝突シミュレーション」, 日本天文学会春季年会予稿集 (2011年3月15日~19日, 筑波大学, つくば市)
- 4) 吉川耕司, 吉田直紀, 梅村雅之, 「6次元位相空間上でのVlasov方程式の直接計算による自己重力系の数値シミュレーション」, 日本天文学会秋季年会 (2010年9月22日~24日, 金沢大学, 金沢市)
- 5) 扇谷豪, 森正夫, 「断熱的重力場変動に対するダークマターハローの力学応答」, 日本天文学会秋季年会 (2010年9月22日~24日, 金沢大学, 金沢市)