

平成21年 3月 31日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号： 18740112

研究課題名 (和文) 銀河・銀河団の多波長データに基づいた遠方宇宙の探究

研究課題名 (英文) Exploring distant universe with multi-band data of galaxies and their clusters

研究代表者 北山 哲 (KITAYAMA TETSU)

東邦大学・理学部・准教授

研究者番号：00339201

研究成果の概要：

多波長における観測データを活用して銀河・銀河団の進化を明らかにするための研究を行い、以下の主要成果を得た。(1) 銀河団高温ガスの非一様性を記述する理論モデルを構築し、銀河団を用いた宇宙論パラメータ測定の精度向上を実現した。(2) 赤外線衛星 Spitzer による観測の結果、銀河団からの広がったダスト放射に対する従来で最も厳しい制限を得ることに成功し、50年以上に渡り続いてきた論争に一定の決着をつけた。(3) X線衛星 Suzaku による観測によって、温度3億度の宇宙で最も高温のガス塊の存在を確証した。(4) 大型電波干渉計による銀河団観測の実現性を評価するためのシミュレーションコードを開発した。(5) 数値シミュレーションによって、原始銀河内における星形成に対する輻射の影響を明らかにした。(6) すばる望遠鏡による可視光データと数値シミュレーションに基づいて、クエーサーによって周囲の銀河形成が直接阻害されていると考えられる領域の存在を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
18年度	2,100,000	0	2,100,000
19年度	500,000	0	500,000
20年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	150,000	3,250,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：銀河、銀河団、X線、赤外線、電波

1. 研究開始当初の背景

本研究課題の申請時は、宇宙マイクロ波

背景放射異方性探査衛星 WMAP の初期成果などにより、宇宙の大局的な進化についての知見が飛躍的に向上した時期であった。その一

方で、銀河・銀河団をはじめとする諸天体の形成・進化には依然として未解決の課題が多く残され、両者の間には大きなギャップが存在していた。折しも、赤外線衛星 Spitzer や AKARI, X線衛星 Suzaku などの観測装置が稼動を始め、多波長において新しいデータが次々と得られ始めた時期でもあった。さらに、大型ミリ波サブミリ波干渉計 ALMA、ハッブル宇宙望遠鏡の後継とも言える JWST をはじめとする次世代観測機器の建設や検討も世界中で積極的に進められていた。これに伴い、新しい観測データから有益な情報を引き出したり、将来の観測への示唆を与えたりするための理論研究を進める必要性が高まっていた。

2. 研究の目的

上で述べた背景のもと、本研究では特に遠方宇宙に存在する銀河・銀河団を研究対象とし、その形成・進化の過程を理論・観測の両面から解明すること、および将来の観測によって新たにどのような情報が得られるかを明らかにすること、を全体目標としている。宇宙は遠方に行けば行くほど過去に遡ることになるので、遠方宇宙における銀河・銀河団の性質を探ることは、同時に宇宙全体の進化と天体形成の間の関連を解き明かす上での意義が極めて大きい。特に銀河団については、バリオン成分の大半を占める高温ガスが初めて生成されたと考えられる宇宙誕生後約20億年以降の進化を解明するための手法を確立することを目的としている。また、銀河に対しては、最初の原始銀河が誕生したと考えられる宇宙誕生後約2億年の時期に何が起こっていたかを明らかにすることを目指している。

3. 研究の方法

銀河団の観測手段として、従来はX線や可視光等が主流であったが、本研究ではこれに加えてミリ波・サブミリ波帯におけるスニヤエフ-ゼルドヴィッチ効果と呼ばれる現象に着目し、同効果を含めた多波長観測によって銀河団形成や宇宙論パラメータについてどのような情報が引き出せるかを詳細に検

討した。具体的には、(1) 銀河団ガス非一様性を記述する解析的モデル構築とその検証、(2) 既存の装置による観測の実施および取得されたデータの解析・考察、(3) 将来の銀河団観測可能性を評価するためのシミュレーションコードの開発、などを行った。また、原始銀河形成に関しては、(4) これまでに開発してきた輻射流体計算コードの更なる拡張、(5) 3次元数値計算の結果との比較、(6) すばる望遠鏡による可視光観測データとの比較、を行った。

4. 研究成果

上で述べた研究方法の(1)～(6)それぞれの項目に対して、下記のような成果が主に得られた。

(1) ① 従来、スニヤエフ-ゼルドヴィッチ効果とX線による銀河団観測データの組み合わせによって測定されたハッブル定数(あるいは銀河団までの距離)の値は、他の方法による結果と比べて系統的に15%程度ずれる傾向があったが、その理由は長らく不明であった。この系統誤差が、高温ガスの温度非一様性等の影響によってごく自然に説明されることを初めて明らかにした。

② 上述①の研究過程において銀河団形成の大規模数値実験のデータを精査したところ、ガス密度・温度の局所的非一様性が近似的に対数正規分布に従うことを新たに発見し、それを解析的に記述する銀河団ガスのモデルを構築した。

③ 上述②で得られた銀河団モデルを実際の観測データと比較するための手法を開発した。この結果をX線衛星 Chandra による銀河団 Abell 3667 の高解像度X線データと比較したところ、非常に良い一致が得られ、モデルの正しさが実証された。

(2) ①赤外線衛星 Spitzer および AKARI を用いた銀河・銀河団の観測を実施した。特に、かみのけ座銀河団からの広がったダスト放射に対しては、従来で最も厳しい制限を得ることに成功し、50年以上に渡り続いてきた論争に一定の決着をつけたばかりでなく、

このような広がったダスト放射の影響が、スニヤエフ - ゼルドヴィッチ効果による銀河団観測においては無視できることを明らかにした。また、楕円銀河に対しては、銀河内におけるダスト放射の空間分布を明らかにするとともに、楕円銀河に付随する高温プラズマとダスト粒子が相互作用している兆候をとらえた。

②遠方銀河団 RX J1347.5-1145 に宇宙で最も高温（3億度）のガス塊が存在することは、研究代表者らによるミリ波帯観測データの解析によって以前から指摘されていたが、今回その発見を日本の X 線衛星 Suzaku を用いて更に確認することにも成功した。この成果は、スニヤエフ - ゼルドヴィッチ効果による銀河団観測が、銀河団プラズマの極めて強力な観測手段となることを改めて裏づけたものと言える。なお、この成果は新聞記事としても取り上げられた。

③ 約 80 個の遠方銀河団について、X 線衛星 ASCA と ROSAT による観測データを用いて、銀河団進化の良い指標として知られている X 線光度—温度の相関関係について詳細に調べた。その結果、銀河団中心部を除いた外層部からの X 線光度とガス温度の間には、分散が小さい相関関係が成立するものの、その相関関係は単純な銀河団進化の理論モデルの予想とは大きく矛盾することが明らかになった。この事実は、従来から問題視されてきた銀河団中心部のみならず、外層部まで含めた銀河団全体の進化についての理解に大きな欠陥が存在していることを示唆しており、今後の更なる研究の必要性を提起している。

(3) 日米欧が協力してチリに建設中のアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) による銀河団観測のシミュレーションコードの開発を進め、銀河団ガスの広がった放射成分と、電波銀河などの点源成分を効率良く分離できるアルゴリズムを考案した。ただし、この分離の際には、実際の観測時に想定されるポインティング誤差が大きな障害となり得ることが判明したので、それを除去する方法について様々な角度から検討を進めた。

(4) 原始銀河の形成過程を調べるためにこ

れまで開発してきた輻射流体計算コードの拡張を行い、水素に加えてヘリウムと重水素を含めた非平衡化学反応と加熱・冷却過程を組み入れたコードを完成させた。

(5) ①研究代表者が開発してきた輻射流体計算コードは、輻射輸送と化学反応の過程を詳細に解くために、空間構造については 1 次元球対称を仮定している。一方、これと相補的となる 3 次元計算では、現在の計算機能力の限界により、輻射輸送の取り扱い等を単純化しなければならない。そこで、双方の妥当性を検証するために、同一の条件のもとでの比較を行った。その結果、両者は良い一致を示すことがわかった。

② またこの計算によって、原始銀河内に初めて形成された第 1 世代星からの輻射によって一時的に電離したガスでは、冷媒となる分子の形成がむしろ促進されるため、次に誕生する第 2 世代星の質量は第 1 世代星よりも小さくなる可能性が高いことが明らかになった。ただし、第 2 世代星の形成には、超新星爆発など様々な過程が影響するので、今後さらなる検証を進める必要がある。

(6) すばる望遠鏡を用いた可視光観測により、原始銀河の有力候補であるライマン α 放射天体がクエーサーの近傍で著しく減少している領域を発見した。この観測データを輻射流体計算の結果と比較することで、クエーサーからの強い輻射の影響によって、周囲の銀河形成が実際に阻害されている現場を捉えた可能性が高いことがわかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 11 件)

(1) “Constraints on the Intracluster Dust Emission in the Coma Cluster of Galaxies”, T.Kitayama, Y. Ito, Y. Okada, H. Kaneda, H. Takahashi, N. Ota, T. Onaka, Y. Y. Tajiri, H. Nagata, K. Yamada, *The Astrophysical Journal*, **695**, 1191-1198 (2009) [査読有](#)

(2) “Extracting Galaxy Cluster Gas Inhomogeneity from X-ray Surface

Brightness: A Statistical Approach and Application to Abell 3667”, H. Kawahara, E. D. Reese, T. Kitayama, S. Sasaki, Y. Suto, *The Astrophysical Journal*, **687**, 936-950 (2008) [査読有](#)

(3) “Suzaku broad-band spectroscopy of RXJ1347.5–1145: constraints on the extremely hot gas and non-thermal emission”, N. Ota, K. Murase, T. Kitayama, E. Komatsu, M. Hattoti, H. Matsuo, T. Oshima, Y. Suto, K. Yoshikawa, *Astronomy and Astrophysics* 491, 363-377 (2008) [査読有](#)

(4) “Properties of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Local Elliptical Galaxies Revealed by the Infrared Spectrograph on Spitzer”, H. Kaneda, T. Onaka, I. Sakon, T. Kitayama, Y. Okada, T. Suzuki, *The Astrophysical Journal*, **684**, 270-281 (2008) [査読有](#)

(5) “Lx–T Relation and Thermal Evolution of Galaxy Clusters”, N. Ota, T. Kitayama, K. Masai, K. Mitsuda, *Chinese Journal of Astronomy & Astrophysics Supplement*, **8**, 84-92 (2008) [査読有](#)

(6) “A bright, dust-obscured, millimetre-selected galaxy beyond the Bullet Cluster (1E0657-56)”, G.W. Wilson, **8名**, T. Kitayama, 他17名, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **390**, 1061-1070 (2008) [査読有](#)

(7) “Systematic Errors in the Hubble Constant Measurement from the Sunyaev-Zel'dovich Effect”, H. Kawahara, T. Kitayama, S. Sasaki, Y. Suto, *The Astrophysical Journal*, **674**, 11-21 (2008) [査読有](#)

(8) “The Habitat Segregation between Lyman Break Galaxies and Ly α Emitters around a QSO at $z\sim 5$ ”, N. Kashikawa, T. Kitayama, M. Doi, T. Misawa, Y. Komiyama, K. Ota, *The Astrophysical Journal*, **663**, 765-773 (2007) [査読有](#)

(9) “Early Cosmological H II/He III Regions and Their Impact on Second-Generation Star Formation”, N. Yoshida, P. S. Oh, T. Kitayama, L. Hernquist, *The Astrophysical Journal*, **663**, 687-707 (2007) [査読有](#)

(10) “Radial Profile and Lognormal Fluctuations of the Intracluster Medium as the Origin of Systematic Bias in Spectroscopic Temperature”, H. Kawahara, Y. Suto, T. Kitayama, S. Sasaki, M. Shimizu, E. Rasia, K. Dolag, *The Astrophysical Journal*, **659**, 257-266 (2007) [査読有](#)

(11) “Dust in Hot Plasma of Nearby Dusty Elliptical Galaxies Observed with the Spitzer Space Telescope”, H. Kaneda, T. Onaka, T. Kitayama, Y. Okada, I. Sakon, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **59**, 107-116 (2007) [査読有](#)

[学会発表] (計5件)

(1) 「X線輝度分布を用いた銀河団ガス内不均一性の探索」河原創, E. Reese, 北山哲, 他2名, 日本天文学会 2008年秋季年会, 岡山理科大学, 2008年9月11日

(2) 「銀河間ダストへの観測的制限」北山哲, 他9名, 日本天文学会 2008年春季年会, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2008年3月24日

(3) 「スニャーエフ・ゼルドビッチ効果によるハッブル定数測定の系統誤差」河原創, 北山哲, 他2名, 日本天文学会 2007年秋季年会, 岐阜大学, 2007年9月26日

(4) 「すざく衛星による高温銀河団RXJ1347.5-1145の観測」村瀬弘一, 太田直美, 北山哲, 他6名, 日本天文学会 2007年春季年会, 東海大学, 2007年3月28日

(5)「銀河団ガス内のゆらぎと温度推定の系統誤差」河原創、須藤靖、北山哲、他4名、日本天文学会2006年秋季年会、九州国際大学、2006年9月21日

〔図書〕(計1件)

(1)「シリーズ現代の天文学3 宇宙論II—宇宙の進化—」二間瀬敏史、他2名〔編〕、須藤靖、北山哲、他8名〔著〕2007年9月刊、日本評論社、

〔その他〕(計1件)

(1) 新聞記事「宇宙一熱い3温度ガス」東京新聞、2008年11月13日朝刊、第1面

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北山 哲 (東邦大学・理学部・准教授)
研究者番号: 00339201

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし