

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 3月 31日現在

機関番号：32661

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21740139

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（和文）：

現在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イメージングシミュレーションを完成させるとともに、次世代 X 線衛星 ASTRO-H の詳細な性能評価を行うことで、近未来における銀河団観測に対する定量的な予言を行った。また、既存の赤外線衛星 Spitzer や AKARI を用いて楕円銀河や銀河群におけるダストの空間分布を明らかにすることに成功した。X 線衛星 Chandra による銀河団温度の観測データについても、新たな系統誤差要因を発見した。さらに、輻射流体シミュレーションを用いて、宇宙初期における球状星団形成や低質量星形成の新しいシナリオを構築した。

研究成果の概要（英文）：

We have made quantitative predictions for near-future observations of galaxy clusters by means of detailed simulations for ALMA and ASTRO-H. We have succeeded in clarifying the spatial distributions of dust in an elliptical galaxy and a galaxy group by Spitzer and AKARI, respectively. We have also found a new source of systematic errors in the temperature data of clusters by Chandra. Furthermore, we have developed new scenarios on the early formation of globular clusters and low-metallicity stars by means of radiation-hydrodynamic simulations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

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、ミリ波サブミリ波、X線、可視光、赤外線

1. 研究開始当初の背景

本研究を開始した当初は、宇宙マイクロ波

背景放射異方性探査衛星 WMAP によって取得された5年分のデータが公開され、主要な宇

宇宙論パラメータの測定結果がほぼ確立した時期であった。しかしその一方で、宇宙の「中身」とも言うべき星や銀河、銀河団といった多様な天体階層がいかに形成されてきたか、それらが宇宙全体の進化とどのように結びついているか、といった本質的な点には未解決の課題が多く残されていた。また、日米欧が協力しつづりに建設を進めてきたアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) が 2011 年からの初期運用を目前に控えるとともに、2015 年打ち上げ予定の次世代 X 線衛星 ASTRO-H の開発も日本を中心に進められており、それらへの具体的準備が急務となっていた時期でもあった。

2. 研究の目的

本研究では、特に宇宙の大局的性質との関わりが深い天体である銀河・銀河団を対象として、観測に密着した理論研究を行うとともに、必要に応じて実際の観測にも携わる。それによって、理論と観測の両面から、宇宙全体の進化と個々の天体階層の形成過程の間の相互関係を明らかにし、次世代観測計画に対する指針を与えることを目的としている。より具体的には、(i) 銀河・銀河団の多波長観測を用いて銀河間物質の起源を明らかにすること、(ii) 原始銀河の形成過程を理論的に解明し、それ観測的に検証するための手段を考案すること、を目指す。

3. 研究の方法

上記の目的(i)に対しては、ミリ波サブミリ波における ALMA、赤外線における Spitzer や AKARI、X 線における Chandra や ASTRO-H といった多波長における観測装置を用いて、銀河の内外に存在する物質の性質を多角的に探るための最善の方法を検討し、可能なものから順次実施する。例えば、同じ銀河団高温プラズマからの放射であっても、ミリ波サブミリ波と X 線ではその機構が全く異なる（前者は逆コンプトン散乱、後者は制動放射）ため、両者の組み合わせからは、プラズマの密度や温度などについての情報を引き出せることなどを最大限に活用する。

また、目的(ii)に対しては、原始銀河形成において本質的な役割を果たす輻射輸送過程を組み込んだ流体シミュレーションを用いて、遠方宇宙での超新星爆発による周辺領域へのフィードバック効果や球状星団形成などを調べる。

4. 研究成果

(1) 2011 年から初期運用が開始され、2013 年から本格運用が予定されている大型ミリ波サブミリ波干渉計 ALMA による銀河団観測のイメージングシミュレーションを完成させた。その結果、銀河団プラズマからのミリ波放射を、かつてない高空間分解能（5 秒角程度）で観測できることが明らかになった。これは特に遠方宇宙における銀河団の形成過程を解明する上で、ALMA が極めて有力な観測装置となることを定量的に示した成果であり、国際的にも注目されている。そこで、この成果をもとに、初期運用段階の ALMA に最適なターゲット天体を選定するとともに、最も効率的な観測戦略を立案し、観測提案を行った。今後も ALMA の運用状況に合わせて、順次最適化された観測提案を行う予定である。

(2) 米国の赤外線衛星 Spitzer 宇宙望遠鏡を用いた楕円銀河 NGC4589 における多環芳香族炭化水素 (PAH) の空間分布に関する研究を行った。この研究では、複数の輝線強度の空間分布を比較することで、楕円銀河 NGC4589 内に少なくとも二つの異なる起源をもつ多環芳香族炭化水素が存在すること、それらの起源にはこの銀河が経てきた衝突活動が関与している可能性が高いことなどを明らかにした。

(3) 日本の赤外線衛星 AKARI を使い、銀河間空間からのダスト放射を観測した。その結果、銀河群 HCG92 の銀河間空間から強い遠赤外線放射を発見することに成功し、この領域のダストが周辺の銀河よりも低温であること、ダストとガスの質量比は天の川銀河とほぼ同等であることなどを明らかにした。

(4) X 線望遠鏡および検出器のキャリブレーション誤差が宇宙論パラメータ決定に及ぼす影響について研究した。この研究では、米国の X 線衛星 Chandra によって得られたスペクトルを用いて測定されたプラズマ電子温度の値に対しては約 10%、それをもとにしたハッブル定数の測定値に対しては約 15% の系統誤差が内在することを明らかにした。この結果は、銀河団質量関数や宇宙の平均物質密度、密度ゆらぎパワースペクトルの測定など、銀河団を用いた宇宙論研究の広い範囲に大きなインパクトを与えると考えられる。

(5) 日本が平成 25 年度に打ち上げを予定している次世代 X 線衛星 ASTRO-H に対し、X 線観測の専門家との連携のもと、検出器の応答関数を考慮した詳細なシミュレーション

を用いて、銀河団に付随する高温ガスの乱流速度や電子温度に対して予想される測定精度を調べた。特に、Perseus, Abell 1795, Abell 2199, Abell 3667 といった代表的な近傍銀河団に対して、ガスの速度・温度分布などがどの程度測定できるのか、その結果が望遠鏡や検出器のキャリブレーション精度にどのように依存するのかなどを調べた。この結果、プラズマの運動速度を約 100 km/s の精度で初めて検出できることや、銀河団の非熱的電子からの硬 X 線放射を初めて検出できること、冷たいダークマターの欠点を補う暖かいダークマター候補粒子を探索できることなどが明らかになった。今後はさらにこれらの評価を精密化し、最も効率的な観測計画を作成していくことを計画している。

(6) 原始銀河形成に関して、宇宙再電離時に自然に形成されると考えられる高密度星団が、今日観測される球状星団の諸性質を良く説明できることを、輻射流体シミュレーションによって示すことに成功した。この結果をもとに、長年の謎とされてきた球状星団の起源に関する新たなシナリオを提唱した。

(7) 従来知られていたよりも金属量の少ない低質量星の発見が報告されたことを受けて、その形成過程を理論的に説明するシナリオの構築を進めた。その結果、宇宙初期に起きた超新星爆発に伴う衝撃派によって圧縮されたガスから、金属量の少ない低質量星が形成され得ることがわかった。これによって、金属量の少ない低質量星の存在が理論的にも不自然でないことが明らかになった。

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) “Low mass star formation triggered by early supernova explosions”, Chiaki, G., Yoshida, N., Kitayama, T., The Astrophysical Journal, 762, 50, pp.1-8 (2013) 査読有
DOI:10.1088/0004-637X/762/1/50

(2) “Imaging Simulations of the Sunyaev-Zel’dovich Effect for ALMA”, Yamada, K., Kitayama, T., Takakuwa, S., Iono, D., Tsutsumi, T., Kohno, K., Takizawa, M., Yoshikawa, K., Akahori, T., Komatsu, E., Suto, Y., Matsuo, H., Kawabe,

R., Publications of the Astronomical Society of Japan, 64, 102, pp.1-16 (2012) 査読有
<http://pasj.asj.or.jp/v64/n5/640102/640102-frame.html>

(3) “ORIGIN: metal creation and evolution from the cosmic dawn”, den Herder, J.-W., Piro, L., Ohashi, T., 156 名省略 (79 番目に Kitayama, T.), Experimental Astronomy, 34, pp.519-549 (2012) 査読有
DOI:10.1007/s10686-011-9224-7

(4) “The ASTRO-H X-ray Observatory”, Takahashi, T., Mitsuda, K., Kelley, R., 221 名省略 (81 番目に Kitayama, T.), Proceedings of the SPIE, 8443, 84431Z, pp.1-22 (2012) 査読無
DOI:10.1117/12.926190

(5) “Far-infrared Emission from the Intergalactic Medium in Stephan’s Quintet Revealed by AKARI”, Suzuki, T., Kaneda, H., Onaka, T., Kitayama, T., The Astrophysical Journal Letters, 731, pp.L12-L16 (2011) 査読有
DOI:10.1088/2041-8205/731/1/L12

(6) “Impact of Chandra Calibration Uncertainties on Galaxy Cluster Temperatures: Application to the Hubble Constant”, Reese, E., D., Kawahara, H., Kitayama, T., Ota, N., Sasaki, S., Suto, Y., The Astrophysical Journal, 721, pp.653-669, (2010) 査読有
DOI:10.1088/0004-637X/721/1/653

(7) “DIOS: the diffuse intergalactic oxygen surveyor: status and prospects”, Ohashi, T., Ishisaki, Y., Ezoe, Y., Sasaki, S., Kawahara, H., Mitsuda, K., Yamasaki, N. Y., Takei, Y., Ishida, M., Tawara, Y., Sakurai, I., Furuzawa, A., Suto, Y., Yoshikawa, K., Kawai, N., Fujimoto, R., Tsuru, T. G., Matsushita, K., Kitayama, T., Proceedings of the SPIE, 7732, 77321S, pp.1-9 (2010) 査読無
DOI:10.1117/12.856916

(8) “The ASTRO-H Mission”, Takahashi, T., Mitsuda, K., Kelley, R., 174 名省略 (67 番目に Kitayama, T.), Proceedings of the SPIE, 7732, 77320Z, pp.1-18 (2010) 査読無
DOI:10.1117/12.857875

(9) “Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Emission from the Dust Lane of an

Elliptical Galaxy with the Spitzer Infrared Spectrograph”, Kaneda, H., Onaka, T., Sakon, I., Kitayama, T., Okada, Y., Suzuki, T., Ishihara, D., Yamagishi, M., The Astrophysical Journal Letters, 716, pp. L161-L165 (2010) 査読有
DOI:10.1088/2041-8205/716/2/L161

(10) “Formation of globular clusters induced by external ultraviolet radiation”, Hasegawa, K., Umemura, M., Kitayama, T., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 397, pp. 1338-1347 (2009) 査読有
DOI:10.1111/j.1365-2966.2009.15103.x

[学会発表] (計8件)

(1) 「シミュレーションによる銀河団静水圧平衡の検証と質量推定の系統誤差II」, 須藤大地, 河原創, 北山哲, 佐々木伸, 須藤靖, Renyue Cen, Klaus Dolag, 日本天文学会 2013 年春季年会, 2013 年 3 月 20 日, 埼玉大学

(2) 「シミュレーションによる銀河団静水圧平衡の検証と質量推定の系統誤差」, 須藤大地, 河原創, 北山哲, 佐々木伸, 須藤靖, Renyue Cen, 日本天文学会 2012 年秋季年会, 2012 年 9 月 21 日, 大分大学

(3) 「ALMAとASTRO-Hの連携で探る宇宙の構造形成」, 北山哲, 日本天文学会 2012 年春季年会, 2012 年 3 月 21 日, 龍谷大学

(4) 「ASTRO-Hで探る衝突銀河団の動的な姿と高エネルギー現象」, 滝沢 元和, 中澤 知洋, 北山哲, 日本天文学会 2012 年春季年会, 2012 年 3 月 21 日, 龍谷大学

(5) 「「あかり」が捉えたStephan's Quintetの銀河間空間からの遠赤外線放射」, 鈴木仁研, 金田 英宏, 尾中 敬, 北山哲, 日本天文学会 2011 年秋季年会, 2011 年 9 月 21 日, 鹿児島大学

(6) 「すざく衛星による高温銀河団A2163からの硬X線放射の検出」太田 直美, G. W. Pratt, 北山哲, 大島 泰, 松尾 宏, 坪井昌人, T. H. Reiprich, 日本天文学会 2010 年秋季年会, 2010 年 9 月 24 日, 金沢大学

(7) 「SZ効果から導かれるハッブル定数の系統誤差の発見: Chandraデータの再解析」, 河原創, Erik Reese, 北山哲, 太田 直美, 佐々木伸, 須藤靖, 日本天文学会 2010 年春季年会, 2010 年 3 月 25 日, 広島大学

(8) 「宇宙の構造形成とダークマター/ダークエネルギー」, 北山哲, 日本物理学会第65回年次大会, 2010年3月23日, 岡山大学

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし