

銀河団中の高温プラズマにおける輻射過程の研究

課題番号 10640289

平成10年度～平成12年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))研究成果報告書

平成13年3月



研究代表者 野澤 智

(城西大学女子短期大学部教授)

城西大学
水田記念図書館

5200214132

は し が き

本書は平成10～12年度の3年にわたり、文部省科学研究費補助金（基盤研究(C)(2) 課題番号10640289）の交付を受けて行われた「銀河団中の高温プラズマにおける輻射過程の研究」の研究成果報告書である。幸いにも、本研究は順調に進行し、この分野の研究の発展に貢献することが出来た。ここに、文部省、および本研究に関して貴重な協力とコメントをいただいた研究協力者、そして国内外の研究者の方々に厚くお礼を申し上げる。

研究組織

研究代表者：野澤 智 (城西大学女子短期大学部教授)
研究分担者：伊藤直紀 (上智大学理工学部教授)

研究経費

平成10年度	1,400 千円
平成11年度	700 千円
平成12年度	700 千円
計	2,800 千円

1. 研究発表

(a) 学会誌等	3
(b) 口頭発表	5

2. 研究成果

(a) 研究の概要	7
(b) 論文再録	
(1) Relativistic Corrections to the Sunyaev-Zel'dovich Effect for Clusters of Galaxies N. Itoh, Y. Kohyama and S. Nozawa	9
(2) Relativistic Corrections to the Sunyaev-Zel'dovic Effect for Clusters of Galaxies. II. Inclusion of Peculiar Velocities S. Nozawa, N. Itoh and Y. Kohyama	18
(3) Relativistic Corrections to the Sunyaev-Zel'dovich Effect for Clusters of Galaxies. III. Polarization N. Itoh, S. Nozawa and Y. Kohyama	26
(4) Relativistic Corrections to the Sunyaev-Zel'dovich Effect for Clusters of Galaxies. IV. Analytic Fitting Formula for the Numerical Results S. Nozawa, N. Itoh, Y. Kawana and Y. Kohyama	32
(5) Relativistic Thermal Bremsstrahlung Gaunt Factor for the Intracluster Plasma S. Nozawa, N. Itoh and Y. Kohyama	37
(6) Relativistic Thermal Bremsstrahlung Gaunt Factor for the Intracluster Plasma. II. Analytic Fitting Formulae N. Itoh, T. Sakamoto, S. Kusano, S. Nozawa and Y. Kohyama	65

1. 研究発表

(a) 学会誌等

- (1) N. Itoh, Y. Kohyama and S. Nozawa
Relativistic Corrections to the Sunyaev-Zel'dovich Effect for Clusters of Galaxies
The Astrophysical Journal, Vol. 502, Page 7–15, 1998.
- (2) S. Nozawa, N. Itoh and Y. Kohyama
Relativistic Thermal Bremsstrahlung Gaunt Factor for the Intracluster Plasma
The Astrophysical Journal, Vol. 507, Page 530–557, 1998.
- (3) S. Nozawa, N. Itoh and Y. Kohyama
Relativistic Corrections to the Sunyaev-Zel'dovich Effect for Clusters of Galaxies.
II. Inclusion of Peculiar Velocities
The Astrophysical Journal, Vol. 508, Page 17–24, 1998.
- (4) N. Itoh, Y. Kohyama and S. Nozawa
High-temperature Plasmas in Clusters of Galaxies
Journal of Physics: Condensed Matters, Vol. 10, Page 11273–11283, 1998.
- (5) N. Itoh, S. Nozawa and Y. Kohyama
Relativistic Corrections to the Sunyaev-Zel'dovich Effect for Clusters of Galaxies
3K Cosmology, Vol. CP476, Page 332–342, 1999. (The American Institute of Physics)

- (6) N. Itoh, S. Nozawa and Y. Kohyama
Relativistic Corrections to the Sunyaev-Zel'dovich Effect for Clusters of Galaxies.
III. Polarization
The Astrophysical Journal, Vol. 533, Page 588–593, 2000.
- (7) S. Nozawa, N. Itoh, Y. Kawana and Y. Kohyama
Relativistic Corrections to the Sunyaev-Zel'dovich Effect for Clusters of Galaxies.
IV. Analytic Fitting Formula for the Numerical Results
The Astrophysical Journal, Vol. 536, Page 31–35, 2000.
- (8) N. Itoh, T. Sakamoto, S. Kusano, S. Nozawa and Y. Kohyama
Relativistic Thermal Bremsstrahlung Gaunt Factor for the Intracluster Plasma.
II. Analytic Fitting Formulae
The Astrophysical Journal Supplement, Vol. 128, Page 125–138, 2000.
- (9) N. Itoh, Y. Kawana, S. Nozawa and Y. Kohyama
Relativistic Corrections to the Multiple Scattering Effect on the Sunyaev-Zel'dovich
Effect for Clusters of Galaxies
The Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 投稿中
- (10) N. Itoh, T. Sakamoto, S. Kusano, Y. Kawana and S. Nozawa
Radiative Processes in the Intercluster Plasma
The Astrophysical Journal Supplement, 投稿中

(b) 口頭発表

- (1) 1998 年 3 月、日本天文学会春季年会（於：都立大学）
銀河団に対する Sunyaev-Zel'dovich 効果の相対論的補正
野澤智、伊藤直紀、神山泰治

- (2) 1998 年 10 月、日本物理学会 1998 年秋の分科会（於：秋田大学）
銀河団に対する Sunyaev-Zel'dovich 効果の相対論的補正 II 運動学的効果
野澤智、伊藤直紀、神山泰治

- (3) 1998 年 10 月、日本天文学会秋季年会（於：山形大学）
銀河団に対する Sunyaev-Zel'dovich 効果の相対論的補正 II 運動学的効果
野澤智、伊藤直紀、神山泰治

- (4) 1999 年 3 月、日本物理学会第 54 回年会（於：広島大学）
銀河団プラズマに対する熱制動輻射過程
野澤智、伊藤直紀、神山泰治

- (5) 1999 年 3 月、日本天文学会春季年会（於：京都大学）
銀河団プラズマに対する熱制動輻射過程
野澤智、伊藤直紀、神山泰治

- (6) 1999 年 10 月、日本物理学会 1999 年秋の分科会（於：島根大学）
銀河団中の高温プラズマにおける制動放射過程の断面積の計算
坂本強、草野秀剛、伊藤直紀、野澤智、神山泰治

- (7) 1999 年 10 月、日本天文学会秋季年会（於：九州大学）
銀河団中の高温プラズマにおける制動放射過程の断面積の計算に対する解析的近似式
草野秀剛、坂本強、伊藤直紀、野澤智、神山泰治
- (8) 2000 年 3 月、日本物理学会 2000 年春の分科会（於：近畿大学）
銀河団に対する Sunyaev-Zel'dovich 効果の相対論的補正 III 偏極効果
野澤智、伊藤直紀、神山泰治
- (9) 2000 年 3 月、日本天文学会春季年会（於：東京大学）
銀河団に対する Sunyaev-Zel'dovich 効果の相対論的補正 III 偏極効果
野澤智、伊藤直紀、神山泰治
- (10) 2000 年 9 月、日本物理学会第 55 回年会（於：新潟大学）
多重散乱を考慮した相対論的 Sunyaev-Zel'dovich 効果
川名洋平、伊藤直紀、野澤智、神山泰治
- (11) 2000 年 10 月、日本天文学会 2000 年秋季年会（於：群馬総合教育センター）
多重散乱を考慮した相対論的 Sunyaev-Zel'dovich 効果
川名洋平、伊藤直紀、野澤智、神山泰治

2. 研究成果

(a) 研究の概要

本研究では、銀河団中の高温プラズマにおける輻射過程として下記の2つテーマについて詳しい研究を行った。(1) 銀河団における Sunyaev-Zel'dovich 効果、(2) 銀河団プラズマにおける熱制動輻射 Gaunt 因子。本研究は、当科学研究補助金交付期間中に上記の2テーマについて下記に示すように非常に大きな成果をあげることが出来た。

(1) 銀河団における Sunyaev-Zel'dovich 効果

2.7K の宇宙マイクロ波背景輻射 (CMB) が銀河団中の電子ガスによって散乱されることにより、そのスペクトラムが歪められることが知られている。これが Thermal Sunyaev-Zel'dovich (SZ) 効果と呼ばれている。本研究のねらいは、Fokker-Planck 近似を用いて SZ 効果に対する相対論的效果を取り入れた解析的な表式を導くことにあった。平成 10 年度には、Thermal SZ 効果に対する相対論的な寄与を定量的に評価した。その結果は米国の天文学会誌 *Astrophysical Journal* に掲載された (詳細は論文再録 (1) を参照)。さらに、銀河団が固有運動をしている為に起こる Kinematic SZ 効果の相対論的解析式を導くことに成功した。その結果は米国の天文学会誌 *Astrophysical Journal* に掲載された (詳細は論文再録 (2) を参照)。平成 11 年度は、さらにこの研究を進め、偏極した CMB 光子の偏極率の精密計算をおこなった。特に電子の相対論的運動学を考慮した解析的表式を導くことに成功した。これにより、将来の偏極率の精密観測に重要な寄与をすると考えられる。その結果は米国天文学会誌 *Astrophysical Journal* に掲載された (詳細は論文再録 (3) を参照)。これらの研究によって、SZ 効果を統一的に取り扱う手法が示された。平成 12 年度は、Thermal SZ 効果に対するフィッティング式を導いた。その結果は米国の天文学会誌 *Astrophysical Journal* に掲載された (詳細は論文再録 (4) を参照)。さらに、多重散乱による Thermal SZ 効果の研究を行い、相対論的解析式を導くことに成功した。その結果を英国の天文学会誌 *Mon. Not. R. Astro. Soc.* に投稿中である。

(2) 銀河団プラズマにおける熱制動輻射 Gaunt 因子

銀河団の内部から放出される X 線が観測されており、そのメカニズムとして高温状態のプラズマ中における電子-イオンによる熱的制動輻射および電子-電子による熱的制動輻射がよく知られている。本研究では、これらの熱的制動輻射過程を相対論的な寄与を取り入れて精度の良い計算を行った。平成 10 年度は、電子-イオンによる熱制動輻射率の相対論的な精密計算を行った。その結果は米国天文学会誌 *Astrophysical Journal* に掲載された（詳細は論文再録 (5) を参照）。平成 11 年度は、この熱制動輻射率に対する解析的フィッティング式を導いた。その結果は米国天文学会誌 *Astrophysical Journal* に掲載された（詳細は論文再録 (6) を参照）。平成 12 年度は、電子-電子による熱的制動輻射率の計算を進めており、現在も進行中である。

