

# 銀河団中の高温プラズマにおける熱制動輻射過程の研究

課題番号 15540293

平成15年度～平成17年度科学研究費補助金

(基盤研究(C)) 研究成果報告書

平成18年3月

研究代表者 野 澤 智

城西短期大学教授

# 銀河団中の高温プラズマにおける熱制動輻射過程の研究

課題番号 15540293

平成15年度～平成17年度科学研究費補助金

(基盤研究(C)) 研究成果報告書

平成18年3月

研究代表者 野澤 智

城西短期大学教授

## はしがき

本書は平成15年度～平成17年度の3ヵ年にわたり、科学研究費補助金（基盤研究(C) 課題番号 15540293）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熱制動輻射過程の研究」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、文部科学省、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 （城西短期大学教授）  
研究分担者： 伊藤 直紀 （上智大学理工学部教授）

### 交付決定額（配分額）

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成15年度	1,300,000	0	1,300,000
平成16年度	700,000	0	700,000
平成17年度	800,000	0	800,000
総計	2,800,000	0	2,800,000

---

目 次

---

1. 研 究 発 表

(1) 学会誌等 .....	3
(2) 口頭発表 .....	4

2. 研 究 成 果

(1) 研究成果の概要 .....	6
(2) 論文再録 .....	7

## 1. 研究発表

### (1) 学会誌等

- [1] Relativistic corrections to the Sunyaev-Zeldovich effect for clusters of galaxies: effect of the motion of the observer  
S. Nozawa, N. Itoh, and Y. Kohyama  
Astronomy & Astrophysics 440, 39–44 (2005)
  
- [2] Relativistic corrections to the Sunyaev-Zeldovich effect for extremely hot clusters of galaxies  
N. Itoh and S. Nozawa  
Astronomy & Astrophysics 417, 827–832 (2004)
  
- [3] Ion-Ion correlation effect on the neutrino-nucleus scattering in supernova cores  
N. Itoh, R. Asahara, N. Tomizawa, S. Wanajo and S. Nozawa  
The Astrophysical Journal 611, 1041–1044 (2004)
  
- [4] The r-process in supernova explosions from the collapse of O-Ne-Mg cores  
S. Wanajo, M. Tamamura, N. Itoh, K. Nomoto, Y. Ishimaru, T. C. Beers and S. Nozawa  
The Astrophysical Journal 593, 968–979 (2003)
  
- [5] Enhancement of resonant thermonuclear reaction rates in extremely dense stellar plasmas  
N. Itoh, N. Tomizawa, S. Wanajo and S. Nozawa  
The Astrophysical Journal 586, 1436–1440 (2003)
  
- [6] The r-process in the neutrino wind and U-Th cosmochronology  
S. Wanajo, N. Itoh, Y. Ishimaru, S. Nozawa and T. C. Beers  
Nuclear Physics A718, 333c–336c (2003)
  
- [7] The possibility of r-process in the core-collapse supernova of an ONeMg core  
M. Tamamura, S. Wanajo, N. Itoh, K. Nomoto and S. Nozawa  
Nuclear Physics A718, 638c–640c (2003)

(2) 口頭発表

(a) 国際シンポジウム等

[1] 2005年3月、於 上智大学

International Workshop on Cosmology with SZ and X-ray Observatory  
Relativistic corrections to the Sunyaev-Zeldovich effect for clusters of galaxies  
S. Nozawa, N. Itoh and Y. Kohyama

[2] 2004年3月、於 University of South Carolina (USA)

Carolina Neutrino Workshop 2004  
Relativistic corrections to the Sunyaev-Zeldovich effect for clusters of galaxies  
S. Nozawa, N. Itoh and Y. Kohyama

[3] 2003年6月、於 清泉寮 (山梨県)

日米科学セミナー「Cosmology with the Sunyaev-Zeldovich Effect」  
Relativistic thermal bremsstrahlung gaunt factor for the intracluster plasma  
S. Nozawa, N. Itoh and Y. Kohyama

[4] 2003年6月、於 清泉寮 (山梨県)

日米科学セミナー「Cosmology with the Sunyaev-Zeldovich Effect」  
Relativistic corrections to the Sunyaev-Zeldovich effect  
N. Itoh, S. Nozawa, and Y. Kohyama

(b) 学会発表

[1] 2006年3月、日本天文学会春季年会 (於 和歌山大学)

展開計算による運動学的スニャエフ・ゼルドビッチ効果の解析式の導出  
須田康彦、大畑洋一、伊藤直紀、野澤智

[2] 2006年3月、日本天文学会春季年会 (於 和歌山大学)

厳密数値積分法による運動学的スニャエフ・ゼルドビッチ効果の計算  
大畑洋一、須田康彦、伊藤直紀、野澤智

[3] 2005年3月、日本天文学会春季年会 (於 明星大学)

銀河団におけるスニャエフ・ゼルドビッチ効果に対する相対論的補正 (観測者の  
運動による効果)  
野澤智、伊藤直紀、神山泰治

[4] 2005年3月、日本天文学会春季年会 (於 明星大学)

超新星ニュートリノ風における低質量数  $r$  過程および  $p$  過程元素合成  
和南城伸也、富沢奈美、浅原亮介、伊藤直紀、石丸友里、野澤智

[5] 2005年3月、日本物理学会第60回年次大会 (於 東京理科大学野田キャンパス)

銀河団におけるスニャエフ・ゼルドビッチ効果に対する相対論的補正 (観測者の  
運動による効果)  
野澤智、伊藤直紀、神山泰治

- [6] 2005年3月、日本物理学会第60回年次大会（於 東京理科大学野田キャンパス）  
超新星ニュートリノ風における低質量数  $r$  過程および  $p$  過程元素合成  
和南城伸也、富沢奈美、浅原亮介、伊藤直紀、石丸友里、野澤智
- [7] 2004年9月、日本天文学会秋季年会（於 岩手大学）  
銀河団における相対論的電子・電子熱制動放射  
渡辺勇亮、伊藤直紀、野澤智
- [8] 2004年9月、日本天文学会秋季年会（於 岩手大学）  
超新星  $r$  過程元素合成における中性子過剰率の効果  
和南城伸也、富沢奈美、伊藤直紀、石丸友里、野澤智
- [9] 2004年9月、日本天文学会秋季年会（於 岩手大学）  
Neutrino driven winds での軽い  $r$ -process 元素合成  
富沢奈美、和南城伸也、浅原亮介、伊藤直紀、野澤智
- [10] 2004年9月、日本天文学会秋季年会（於 岩手大学）  
Neutrino driven winds での  $r$ -process 元素合成における  $\alpha$ -effect  
浅原亮介、和南城伸也、富沢奈美、伊藤直紀、野澤智
- [11] 2004年9月、日本物理学会秋季大会（於 高知大学朝倉キャンパス）  
超新星  $r$  過程元素合成における中性子過剰率の効果  
和南城伸也、富沢奈美、伊藤直紀、石丸友里、野澤智
- [12] 2004年9月、日本物理学会秋季大会（於 高知大学朝倉キャンパス）  
Neutrino driven winds による軽い  $r$ -process 元素合成  
富沢奈美、和南城伸也、浅原亮介、伊藤直紀、野澤智
- [13] 2004年3月、日本天文学会春季年会（於 名古屋大学）  
超新星  $r$  過程における核分裂の効果  
和南城伸也、伊藤直紀、青木和光、石丸友里、S. Goriely、野澤智
- [14] 2004年3月、日本物理学会第59回年次大会（於 九州大学箱崎キャンパス）  
超新星  $r$  過程における核分裂の効果  
和南城伸也、伊藤直紀、青木和光、石丸友里、S. Goriely、野澤智
- [15] 2003年9月、日本天文学会秋季年会（於 愛媛大学）  
超新星  $r$  過程元素合成における原子核質量モデルの影響  
和南城伸也、伊藤直紀、S. Goriely、野澤智、石丸友里
- [16] 2004年3月、日本物理学会秋季大会（於 宮崎ワールドコンベンションセンター・サミット）  
超新星  $r$  過程元素合成における原子核質量モデルの影響  
和南城伸也、伊藤直紀、S. Goriely、野澤智、石丸友里

## 2. 研究発表

### (1) 研究成果の概要

銀河団中には非常に多くの電子およびイオンがプラズマ状態として存在している。銀河団から放出される X 線の発生メカニズムとして、これらの高温プラズマ中における電子-イオンによる熱制動輻射過程および電子-電子による熱制動輻射過程が知られている。本研究では、銀河団中における高温プラズマの諸性質を理論的に考察することが目的であった。本研究では当科学研究費補助金交付中に上記テーマを含む様々なテーマに対する研究を行い、非常に大きな成果をあげることができた。

平成 15 年度は、はじめに銀河団中の電子プラズマが宇宙背景放射 (CMB) と逆コンプトン散乱を起こすことによって銀河団方向の CMB の温度が変化する効果 (Sunyaev-Zeldovich 効果と呼ばれる) に対する研究を行った。最近の観測結果によると、非常に高温の銀河団が見つかっており、そこでは相対論的な効果が大きいことが予想される。我々は、前回の研究を発展させ、非常に高温の銀河団に適用可能な Sunyaev-Zeldovich 効果の理論的表式を与えた。また、この結果をまとめ、欧州学会誌 (Astronomy & Astrophysics) に掲載された。また、銀河団中の高温プラズマにおける熱制動輻射過程に対する研究も推進した。特に、電子-電子による熱制動輻射過程に対する相対論的熱制動輻射率の定式化を行った。この過程に対する散乱断面積の表式は量子電磁力学の 2 次の摂動計算によって解析的に求めることができる。しかしながら、この散乱断面積を具体的に計算するには、寄与するダイアグラム数および項数が非常に多いため、高速なコンピュータによる数式処理が必要不可欠となる。主要設備として購入した PC を用いてこの散乱断面積に対する数式処理計算を行った。平成 15 年度中にファイマンダイアグラムのトレース計算を終了し、散乱断面積に対する解析的表式を導出した。

平成 16 年度は、銀河団中の高温プラズマにおける熱制動輻射過程に対する研究を引き続き行った。はじめに、電子-電子による熱制動輻射過程に対する相対論的熱制動輻射率の定式化を行った。この過程に対する散乱断面積の表式は量子電磁力学の 2 次の摂動計算によって解析的に求めることができる。我々は散乱断面積の数式処理計算を行い、輻射率に関する表式を求めた。さらに、この輻射率の表式に対する数値計算を行い、これまでに他のグループによって求められている数値結果との比較を行い、両者が完全に一致することを確かめた。

平成 17 年度は、これまでおこなってきた Sunyaev-Zeldovich 効果に対する研究をさらに発展させた。特に、観測者 (地球) が CMB 系に対して運動していることが分かっており、この観測者の運動の効果を取り入れた Sunyaev-Zeldovich 効果に対する理論式を求めた。この結果を欧州学会誌 (Astronomy & Astrophysics) に投稿し、論文は掲載された。また、銀河団が運動している場合の運動学的 Sunyaev-Zeldovich 効果に対するより高精度の計算も行った。この結果は現在、欧州学会誌に投稿中である。



