

Research Center for the Early Universe
Graduate School of Science
University of Tokyo

Annual Report

2004

平成16年度 年次研究報告



東京大学大学院理学系研究科附属
ビッグバン宇宙国際研究センター

目次

| | | |
|----------|---|-----------|
| I | プロジェクト別 2004 年度 研究活動報告 | iv |
| 1 | 初期宇宙進化論 | 1 |
| 1.1 | 初期宇宙・相対論 | 1 |
| 1.2 | 観測的宇宙論 | 4 |
| 1.3 | 天体核・素粒子物理 | 6 |
| 1.4 | その他 | 8 |
| 1.5 | 高エネルギー現象論 | 17 |
| 2 | 銀河進化理論 | 19 |
| 2.1 | 近傍矮小銀河の進化 | 19 |
| 2.2 | 銀河系 | 19 |
| 2.3 | 超新星の観測 | 20 |
| 2.4 | 超新星爆発での元素合成 | 20 |
| 2.5 | Ia 型超新星 | 21 |
| 2.6 | 極超新星 | 21 |
| 2.7 | 大質量星の進化 | 22 |
| 3 | 可視光近赤外観測 | 28 |
| 3.1 | 低光度セイファート銀河 NGC4395 の可視赤外線日内変光の観測 | 28 |
| 3.2 | 超新星やガンマ線バースト可視赤外線残光の多波長モニター観測 | 28 |
| 3.3 | 1 型活動銀河核の可視赤外線長域における変動成分解析 | 29 |
| 3.4 | RXJ2138.2+0112 における可視赤外変動時間遅延の検出 | 29 |
| 3.5 | 北黄極領域における遠方 ($z \geq 1$) 活動銀河核のモニター観測 | 29 |
| 3.6 | MAGNUM 望遠鏡による Ia 型超新星 SN2004bd の観測 | 30 |
| 3.7 | 超金属欠乏星 HE1327-2326 の有効温度の決定 | 30 |
| 3.8 | 四重像重力レンズクエーサの中間赤外線撮像とダークマター | 30 |
| 3.9 | 低質量ダークハローの質量関数 | 30 |
| 3.10 | 銀河形成の準解析的手法に基づく「数値銀河カタログ」の構築 | 31 |
| 3.11 | Loh & Spilar test に関する理論的考察 | 31 |
| 3.12 | 銀河のナンバーカウントで期待される双極成分についての研究 | 32 |
| 3.13 | すばる補償光学 (AO) による高赤方偏移銀河の近赤外深撮像 | 32 |
| 3.14 | 非一様化学進化を考慮した銀河系ハローモデル | 32 |
| 4 | サブミリ波観測 | 36 |
| 4.1 | はじめに | 36 |
| 4.2 | 富士山頂サブミリ波望遠鏡 | 36 |
| 4.3 | 可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡 | 38 |
| 4.4 | テラヘルツ帯における観測技術の開拓 | 39 |
| 4.5 | 星間物質の観測的研究 | 40 |
| 5 | 暗黒物質観測 | 42 |
| 5.1 | 暗黒物質実験 | 42 |
| 5.2 | アクシオンヘリオスコープ実験 | 42 |
| 5.3 | 共鳴イオン化質量分析によるニュートリノ検出 | 43 |

| | | |
|-----------|--|---------------|
| 6 | 銀河と宇宙構造の研究 | 45 |
| 6.1 | すばる望遠鏡による高赤方偏移銀河と大構造の研究 | 45 |
| 6.2 | 銀河進化と環境効果 | 46 |
| 6.3 | 銀河に属さない惑星状星雲 | 48 |
| 6.4 | 遠方超新星と宇宙膨張および変光天体 | 48 |
| 6.5 | スローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS) | 49 |
| 7 | 気球観測による反物質探査, 衛星による X 線・γ 線観測 | 54 |
| 7.1 | 太陽と星のフレアの研究 | 54 |
| 7.2 | コンパクト天体の観測的研究 | 54 |
| 7.3 | 星間・銀河間での高エネルギー現象 | 55 |
| 7.4 | <i>Astro-E2</i> 衛星 硬 X 線検出器 (HXD-II) の開発製作 | 56 |
| 7.5 | 将来に向けての技術開発 | 57 |
| 7.6 | BESS-Polar: 南極周回気球飛翔による宇宙線反陽子観測 | .VII-63 |
| II | 2004 年度 ビッグバン宇宙国際研究センター全般に関する報告 | VII-67 |
| 1 | 教官, 職員, および研究員 | 69 |
| 2 | シンポジウム・研究会 | 70 |
| 2.1 | 第 2 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会 | 70 |
| 2.2 | 第 3 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会 | 71 |
| 3 | プレプリント・リスト | 73 |

I

プロジェクト別 2004年度 研究活動報告

1 初期宇宙進化論

——基本法則に基づいた宇宙の創生進化の理論的研究——（横山・川崎・佐藤・須藤・柳田・樽家・向山・小林）

宇宙物理学は取り扱う対象が極めて多岐に渡っているのみならず、その方法論も多様であり非常に学際的な体系をなしている。実際、素粒子物理学、原子核物理学、プラズマ物理学、流体力学、一般相対性理論、などの基礎物理学を駆使して宇宙の諸階層の現象の本質的な理解にせまろうという点では、応用物理学的な色彩の濃い学問分野である。当教室の宇宙理論研究室では、佐藤教授、須藤助教授、樽家助手、向山助手、および二十数名の大学院学生、研究員が様々な宇宙物理の問題に取り組んでいる。研究室の活動は、「初期宇宙・相対論」、「観測的宇宙論」、「超新星・高密度天体」の3つの中心テーマを軸として行なわれており、研究室全体でのセミナーに加えて、それぞれのテーマごとのグループでのセミナーや論文紹介等、より研究に密着した活動も定期的に行なわれている。

我々の住むこの宇宙は今から150億年の昔、熱い火の玉として生まれた。膨張にともなう温度の降下によってハドロン、原子核、原子が形成され、さらにガスがかたまり銀河や星などの天体が形成され豊かな構造を持つ現在の宇宙が創られた。これが物理学に基づいて描きだされてきた現在の宇宙進化像である。しかし宇宙の進化には多くの謎が残されている。またさらに近年の技術革新の粋を用いた宇宙論的観測の爆発的進歩によって新たな謎も生じている。宇宙論のもっとも根源的謎はこの3次元の空間と1次元の時間を持った宇宙がいかに始まったかという問題である。「初期宇宙・相対論」は、1980年代に急速な発展を遂げたインフレーション理論に代表される、素粒子的宇宙論の進歩を基礎とし、さらにより根源的な問題として残されている宇宙の誕生・創生の研究を目的としている。当研究室では、最近の超紐理論の進展で中心的役割を担っているブレインを基礎とした相対論的宇宙論に取り組んでいる。重力の深い理解によって真の宇宙創生像を明かにすることを目標としている。

宇宙の誕生の瞬間を出発として宇宙の進化を説明しようとするのが素粒子的宇宙論の立場であるとするれば、「観測的宇宙論」は、逆に現在の宇宙の観測データを出発点として過去の宇宙を探ろうとする研究分野である。現在そして近い将来において大量に提供される宇宙論的観測データを理論を用いて正しく解釈する、さらにコンピュータシミュレーションを通じて、ダークマター、宇宙初期の密度揺らぎのスペクトル、宇宙の質量密度、膨張率、宇宙定数など宇宙の基本パラメータを決定することで現在の宇宙像を確立するとともに宇宙の進化の描像を構築すること

が「観測的宇宙論」の目的である。このテーマに関して現在我々が具体的に取り組んでいる課題は、日米独国際共同観測プロジェクトであるスローンデジタルスカイサーベイを用いた宇宙論パラメータの決定、銀河・銀河団の空間分布の定量化、赤方偏移空間での銀河・キューサー分布2体相関関数の探求である。また宇宙のバリオンの半分以上を占める“ダークバリオン”を酸素輝線によってサーベイする軟X線精密分光観測ミッションDIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor) を首都大学東京、名古屋大学、宇宙科学研究所、のグループとともに共同で推進しつつある。特に、数値シミュレーションを用いてその検出可能性とそれらの科学的意義を理論的に探求することが我々の担当である。このミッションが成功すれば、可視光での銀河の赤方偏移サーベイ、およびX線による銀河団観測とは相補的な新しい宇宙の窓が開かれることが期待できる。これらと同時に、国立天文台、プリンストン大学の共同研究者とともに、すばる望遠鏡を用いた太陽系外惑星の観測的研究を行っている。現時点で、系外惑星の分光観測を行っている国内では唯一のグループであり、食を起こしているトランジット惑星の大気と反射光の検出を目指している。(http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/を参照)

質量の大きい星は進化の最終段階で中心にブラックホールもしくは中性子星を形成し超新星爆発を起こす。「超新星・高密度天体」を解明するにはニュートリノを中心とする素粒子の反応、中性子過剰原子核がいかに合体しながら核子物質へ移行するのか、さらに密度の上昇によりクオーク物質へと相転移を起こすかという基礎過程の研究が必要である。さらにこれらを組合せ一般相対論的な流体力学計算、爆発のシミュレーションを行なわなければならない。1987年、大マゼラン星雲中に起こった超新星1987Aからのニュートリノバーストが神岡の観測装置で観測された。これはニュートリノ天文学の始まりを告げる歴史的出来事であった。我々の研究室では爆発のエンジンとなる星のコアの重力崩壊、中性子星形成の2次元3次元流体シミュレーションを中心に研究を進めている。従来中性子星形成の研究は球対称を仮定した研究が中心であったが実際の星は自転しており、遠心力の効果、対流、非等方な衝撃波の発生などが爆発に大きな寄与をしている。これらのシミュレーションとともに、実際の超新星ニュートリノの将来観測から得られる、超新星モデルあるいは素粒子モデルへの示唆・予言に関する研究も行なっている。また近年、超新星爆発との関連が示唆されているガンマ線バーストや、ガンマ線バーストが一つの候補天体となっている超高エネルギー宇宙線についての研究を進めている。

1.1 初期宇宙・相対論

ゴースト場凝縮と重力のヒッグス機構

ダークエネルギーは、現代宇宙論における最も興味深い謎の1つである。現在の宇宙の大分部を占め

ていると考えられているにも関わらず、我々はその正体を知らない。この状況は、宇宙規模の長距離における重力に、新しい物理を紐解くヒントが隠されているかもしれないと予感させる。そこで、一般相対性理論を宇宙規模の長距離において変更する、ゴースト場凝縮という新しいシナリオを提唱した [15, 55, 128, 204, 185, 205, 146, 234, 235]。このシナリオは、重力におけるヒッグス機構に対応するものである。素粒子論においてヒッグス機構が果たしている役割を思い起こせば、これが重力法則を長距離で変更する恐らく唯一の方法であると予想される。実際、このシナリオは、他の理論 (massive gravity や Dvali-Gabadadze-Porrati ブレーンモデル等) が抱えていた問題 (巨視的スケールで生じる強結合) を回避する方法を初めて与えた。また、このシナリオに基づくインフレーションのモデルを提唱した [16, 218, 236, 237, 238, 239]。

非 BPS D ブレーンとその時空構造

BPS D ブレーン (超対称性を持つ D ブレーン) 周囲の時空構造は、極限ブラックブレーン解と呼ばれる高次元ブラックホール的一种になることが知られているが、一方で、非 BPS D ブレーンがその周囲に作る時空構造はほとんど知られていない。そこで本研究では、D ブレーンの境界状態を使い、そこから放出される閉弦のゼロモードと、超重力理論の古典解から計算される重力子とを比較する方法を用い、非 BPS D ブレーンの代表である、D-反 D ブレーン系が作る時空が、3 パラメータ解と呼ばれる超重力理論の古典解であることを証明した [17]-[149], [182],[240], [241]。さらに、高次元 D ブレーンに開弦のタキオンが励起し、低次元 D ブレーンへと変化する際の、過渡状態にあたる時空構造も特定した [186]。また、これを応用した宇宙モデルについても解析した [150]。

高次元ブラックホール (BH) と時空コンパクト化

高次元 BH は数多く知られており、その殆どは漸近的平坦のものである。一方、我々の宇宙である 4 次元時空との関係付けを行うには時空コンパクト化が不可欠であり、こうした時空では BH に興味深い現象が見られる [18]。この種の BH を取り扱うには、現在のところ、本研究 [19] で開発された数値的アプローチ以外には知られていない。本研究 [20] では、コンパクト化された時空における BH を具体的に構成しその性質を解明した。とりわけ、ブラックストリングと呼ばれるクラスのブラック「オブジェクト」が持つ不安定性 - Gregory-Laflamme 不安定性 - との関係性を相空間上で導き、異なるトポロジーを持つ 2 つのブラックオブジェクトが相空間上でどのように (経路) 変化していき、合体するかを解明した。

宇宙再加熱と PBH 生成について

インフレーション後の再加熱時に起こるパラメトリック共鳴 (preheating) は、指数関数的な揺らぎの

成長を引き起こすことが知られている。本研究では、この急激な揺らぎの成長のために引き起こされる (初期宇宙起源) ブラックホール (PBH) の生成について議論した。PBH の存在量は観測から上限が得られており、大量な PBH 生成は preheating モデルに制限を与えることになる。この研究では 3 次元シュミレーションを行い、揺らぎの進化等を非摂動的な領域まで追うことに成功した。その結果、揺らぎの急激な成長にもかかわらず、PBH の生成量は観測値を超えることがないことが分かり、preheating モデルの妥当性を評価した。

ブレーンワールドにおける宇宙論的摂動

ブレーンワールドにおける初期密度揺らぎの生成、宇宙論的摂動の進化を調べた。特に余剰次元が無限に広がっているモデルに注目し、宇宙のホライズン半径が、余剰次元の有効的な大きさよりも大きいときは、四次元 Einstein 理論が再現されることを解析的、数値的に示した。一方、インフレーション中の宇宙のホライズン半径が余剰次元の有効的な大きさよりも小さいときは初期密度揺らぎに余剰次元の重力場の影響が大きく効く可能性を示唆した [22, 23, 108, 109, 110]。

self-accelerating 宇宙

現在の宇宙の加速度膨張を、宇宙定数を仮定することなく説明するモデルがブレーン宇宙のモデルに基づいて提唱されている。このモデルが、非対称なワープ・コンパクト化によって実現できることを示した。また de Sitter 時空における重力場の摂動を調べ、self-accelerating 宇宙にはゴーストが存在しないことを示した。しかしブレーンに宇宙定数を導入すると、ゴーストが存在し、ブレーンが量子論的に不安定になることを見つけた [247, 248]。

RS D-braneworld

D ブレーンの性質を考慮に入れた、より現実的なブレーンワールドモデルの構築を行った [34, 35, 36]。D ブレーン上にはゲージ場が存在し、これは我々が知っている電磁場と解釈されるが、このゲージ場と重力の結合を解析した。その結果ブレーン上のゲージ場は重力の源としては機能しないことがわかった。これは D ブレーンを我々の世界としてモデル化する際に深刻な問題となる可能性があり、何らかのメカニズムを導入する必要があることを指摘した。

ブレーンワールドインフレーションでのスカラー摂動の量子化

ブレーンワールドインフレーションで生成される密度揺らぎを計算することは、このモデルに観測的

制限をつける上で重要である。しかし、ブレーン上のインフラトンの揺らぎはバルクの重力場と相互作用するため、量子論的に密度揺らぎを求めるためにはインフラトンのみならずバルクの重力についても量子論を展開する必要がある。そこで、我々はランドール・サンドラムが提唱したブレーンモデルにおいて、この問題を考えた。このモデルでは、バルク重力場のスカラー成分の自由度は一つであり、それはあるマスター変数を用いて表される。我々はまずブレーンに物質がない場合でそのマスター変数の二次作用を導出した。次に、ブレーン上にインフラトンがある場合を考え、それとバルク重力の結合した作用を計算した。この作用は、ブレーンインフレーションでの密度揺らぎを定量的に計算する際に有用である。[43, 118]

ブレーンワールドにおけるバルクの重力場と暗黒輻射

バルクの重力場によって励起される暗黒輻射は宇宙論的摂動を考える際に重要な役割を果たす。暗黒輻射はバルクに存在するブラックホールによってもたらされることが知られている。しかし暗黒輻射の摂動とバルクの重力場の摂動の関係は明確になっていなかった。そこで、我々は宇宙論的摂動が解析的に解ける唯一のブレーンワールドモデルにおいて、両者の関係を調べた。結果として、暗黒輻射の摂動はバルク摂動の規格化不可能モードに対応し、長波長極限でバルク中の微小な質量を持つブラックホールと関連していることを明らかにした。さらに、このモードによるブレーン上での非等方ストレスを決定し、宇宙背景放射の非等方性観測への影響について議論した。[44, 100, 138]

膜宇宙での始原的ブラックホールの生成と蒸発

始原的ブラックホールの生成と蒸発に着目し、Randall と Sundrum の提案したブレーン宇宙モデルの検証を進める研究を行なった。

まず、始原的ブラックホールが蒸発し放出される反陽子の流束量をブレーン宇宙の性質を取り込んで計算し、BESS 実験による地球大気上層での反陽子流束の測定結果と比較した。成果として、ブラックホールの存在量およびブレーン宇宙を特徴付けるパラメーターへの制限が得られた [46]。

また、初期宇宙における宇宙の膨張速度が膜宇宙と通常とで異なることに着目し、始原的ブラックホール生成量がブレーン宇宙におけるインフレーション起源密度揺らぎスペクトルにどのように依存するかを示す表式を得た [139]。

スライシングによる 4 次元膜上のブラックホールの構成

Dvali と Gabadadze と Porrati によって提案された高次元膜宇宙における 4 次元ブラックホール解を

構成するために、バルクを「切る」スライシングの手法を用いて解析を行なった。結果として、5 次元ブラックストリング解におけるスライスが存在と唯一性、および 5 次元 Schwarzschild 解におけるスライスの非存在を見出した [152]。

ブレーンワールドにおける背景重力波

インフレーション中の時空の量子論的揺らぎを起源とする背景重力波には、宇宙自体が極めて小さいスケールだったころの情報を保持していると考えられており、コンパクトな余剰次元空間に対する唯一の直接的なプローブとなる。本研究では、ランドールとサンドラムによる 5 次元ブレーン宇宙モデルを用いて、そこでの背景重力波の発展方程式を数値的に解くことで、その振る舞いを調べた。昨年度は Gaussian normal 座標系を用いたが [265]、より高エネルギー宇宙のシミュレーションを可能にするために、Poincare 座標系を用いた数値計算コードを開発した。このような高次元宇宙では、通常とは異なる宇宙膨張則による効果と、Kaluza-Klein モードの励起による効果で、背景重力波のスペクトルが変更を受けると考えられる。しかし、輻射優勢期に宇宙の地平線に再突入してくる比較的短波長 (mHz 以上) の背景重力波については、これらの効果がちょうど打ち消しあって、スペクトルが 4 次元の標準的な理論から予言されるものと同じになることが分かった。[47, 67, 68, 94, 98, 140] 一方、極めて初期の宇宙において状態方程式が輻射的でない場合は、このような打ち消し合いが見られず、スペクトルが変わる可能性があることを示した。[153, 196]

ブレーンワールドにおける動的現象からの重力波

ブレーン宇宙をはじめとする高次元宇宙で重力崩壊などの動的な天体現象が起こった場合、4 次元一般相対論の予言する通常の重力波 (ゼロモード) に加えてバルク方向へ伝播する重力波 (Kaluza-Klein (KK) モード) が生成される。そこで Randall-Sundrum 5 次元ブレーンモデルにおいて動的な重力波源により生成される KK モードに対する四重極公式を導出し、KK モードの励起によりブレーン上に誘導される暗黒輻射のエネルギー変化率を求めた。それにより、通常の重力波とは異なり、重力波源の球対称成分が KK モードを励起させ、暗黒輻射のエネルギー変化率もその球対称成分のみに依存することを示した。[84, 141, 154, 184, 187]

ビッグバン元素合成

最近の観測から物質の進化がこれまで知られていたより早くから始まっている事が明らかになって来た。これをうけバリオン密度が非常に高い領域でのビッグバン元素合成を研究した [51]。その結果、ビッグバン元素合成は反応経路が非常に特殊である事がわかった [87]。

1.2 観測的宇宙論

宇宙背景重力波の非等方性の検出

現在、地上でレーザー干渉計を主とする重力波の検出装置が建設・稼働中だが、近い将来、スペース干渉計の打ち上げにより、幅広い周波数帯での重力波観測が可能となる。そのスペース干渉計のターゲットの1つが、背景重力波と呼ばれる、位相がランダムな重力波である。背景重力波は、天体起源と宇宙論的起源のものに大別され、最近の研究によると、幅広い周波数帯にわたって、様々な種類の背景重力波が重なりあって存在していると考えられている。本研究では、種類と起源の特定に貴重な手がかりを与え、かつ、宇宙論的情報としても有用な、背景重力波の全天マップの構築方法について考察し、将来のスペース干渉計の検出特性に応じて、どのくらいの角度分解能のマップが構築できるか、アンテナパターンの解析を行った[12]。その結果、LISAのような場合、多重極モーメントで $\ell \sim 8-10$ 程度まで感度を持ち、銀河系内・系外から来る背景重力波の区別が十分可能であることがわかった。[133, 145, 171]

銀河団の非重力的加熱

銀河団から放射されている X 線はダークマターハロー中に閉じ込められている高温ガスに由来すると考えられている。これまでの研究により、銀河団内の高温ガスは、断熱圧縮などのダークマターハロー形成に由来する重力的な加熱だけでなく、星形成などに由来する非重力的な加熱を受けているとの示唆が得られている。

我々は、非重力的加熱機構を探るために、ダークマターハローの合体史、星形成に伴うガスの重元素汚染、重元素量に依存したガスの冷却、そして、超新星爆発と電波銀河のジェットによる加熱を考慮したモデルを構築した。それを用いて、近傍銀河団におけるガスの重元素量および光度・温度関係を再現するために必要な加熱効率を求めた結果、二通りの可能性が考えられることが分かった。一つは「標準」的な量の超新星爆発からの加熱に加えて、「標準」的な量の電波銀河のジェットによる加熱を行なうものであり、もう一つは「標準」値の数倍の量の超新星爆発からのみの加熱を行なうものである。後者に関しては、加熱の強さが高赤方偏移に偏っている場合でも観測されている相関関係が再現できることを示した。[159]

近傍宇宙からの WHIM 酸素輝線の検出可能性

我々の宇宙に存在するバリオンで、これまでに実際に観測されているバリオンの量は、宇宙マイクロ波背景放射の観測やビッグバン元素合成理論から推定される量の半分以下であることが分かっている。このように存在することが分かっているにも関わらずこれまでに検出できていないバリオンは、ミッシングバリ

オンまたはダークバリオンとよばれており、観測的宇宙論の重要な問題の一つである。理論的研究からは、現在のバリオンの約 40%は Warm-Hot Intergalactic Medium (WHIM) と呼ばれる温度が $10^5 - 10^7$ K の希薄な銀河間プラズマであることが予想されており、WHIM がミッシングバリオンの有力な候補となっている。この為、我々は東京都立大学や宇宙航空研究開発機構の研究者と共同で Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor (DIOS) という WHIM を検出するための専用 X 線観測衛星を計画している。

我々は、宇宙論的流体シミュレーションを用いて我々の銀河系から約 100Mpc 以内の近傍宇宙での WHIM の分布を求め、DIOS 衛星を用いた場合の検出可能性を調べた。その結果、近傍宇宙に存在するフィラメント構造や超銀河団に付随する WHIM が DIOS で観測可能であることが分かった。また、昨年の XMM-Newton 衛星による観測で、髪の毛座銀河団と我々の銀河系の間に大量の WHIM が存在する可能性が指摘されたが、我々のシミュレーションでも同様の結果が示唆され、DIOS 衛星を用いればより明確に WHIM の存在を証明することができることも示した。[8]

WHIM の電離状態の非平衡進化

WHIM の典型的な密度は水素原子数密度に換算して $10^{-6} - 10^{-5} \text{ cm}^{-3}$ であり、銀河団ガスの密度と比較して遥かに小さいものである。その為、WHIM 中の水素やヘリウムはもちろん、その他の重元素イオンは電離平衡状態からずれている可能性がある。これは、WHIM のような物理状態では、一般的に電離のタイムスケールに比べて再結合のタイムスケールが遥かに長く、宇宙年齢に匹敵するからである。

WHIM を観測的に検出する際には、酸素やネオンなどの重元素の輝線や吸収線を手掛かりにするため、これらのイオンの電離状態を調べるのは極めて重要である。これまでの研究では暗黙の内に電離平衡状態にあると仮定されてきたが、電離平衡に無い場合は観測結果の解釈に重要な変更を迫ることになる。我々は宇宙論的流体シミュレーションで得られたバリオンの温度・密度の時間発展を使って、現在の宇宙におけるバリオンの電離状態を計算した。その結果、温度が $10^{6.5}$ K 以下のバリオンは電離平衡から有意にずれていることが分かった。

ガンマ線バーストを背景光とした WHIM 吸収線系の検出可能性

我々は WHIM (Warm/Hot Intergalactic Medium) を検出する新たな試みとして、ガンマ線バースト (GRB) の X 線残光 (GRB 残光) を背景光源とした場合の金属吸収線に着目した。これは QSO 吸収線による WHIM 検出の QSO を GRB 残光に置き換えたものである。この方法の利点のひとつは、GRB が宇宙論的距離 (例えば $z=1$ 程度) で起こるので、長い距離を稼ぐことができ、そのた

め間に WHIM が存在する確率が高くなることである。一方、明るいクエーサーは比較的近く ($M_{\text{kn}} 421$ の場合、 $z=0.03$) に存在するので短い距離しか稼げない。また、もう一つの利点は、残光が充分暗くなった後に WHIM 自身からの輝線観測が可能になる点であり、これは常時輝き続けているクエーサーでは不可能である。もし、吸収線と輝線が同じ赤方偏移に見つかれば、WHIM 検出の信頼性が片方のみの検出より大きく上がることになる。この GRB 残光による WHIM 探査は 2000 年に Fiore らによって最初に提案されたが、あくまで定性的な議論であり、その後、あまり研究が進んでいなかった。そのため、我々は次世代衛星 (例えば XEUS) の性能を仮定し、宇宙流体シミュレーションを用いて、GRB 残光中の金属吸収線の模擬スペクトルを衝突、光電離平衡を仮定して作成し、GRB 残光中の WHIM による吸収線が検出可能であることを示した。また、DIOS の性能を仮定した輝線の模擬観測も同時に行った。この結果、WHIM 内部の不均一性のため、輝線と吸収線を同時に用いて、物理量を求めることは難しいことがわかった。[180, 190]

重力レンズ統計におけるレンズ天体の非対称性

大分離角重力レンズクエーサーの確率分布は、ダークハローの質量分布と密度から計算されるが、その密度分布として球対称のものが仮定されてきた。我々は 3 軸不等楕円体ハローモデルを用いて、初めて非球対称性を系統的に取り込んだ解析計算を行い、重力レンズ確率が非球対称性により数倍増えることを指摘した。また、新たな統計として、像の個数の統計を提案した [24]。

大分離角重力レンズクエーサー SDSS J1004+4112

これまでで最大の分離角をもつ重力レンズクエーサー SDSS J1004+4112 の追観測をおこなった。まずスペクトルのモニタリング観測により、広輝線領域のマイクロレンズ効果を発見した [25]。また、ハッブル望遠鏡の撮像から中心の 5 番目の重力レンズ像を発見し、銀河団中心の密度分布に対する新しい制限を得た [28]。

SDSS のデータを用いた重力レンズクエーサーの探索

現在進行中の日米独の共同プロジェクトであるスローン・デジタル・スカイ・サーベイ (SDSS) を用いて大規模の重力レンズクエーサー探索を行い、新たに二つの重力レンズクエーサーをみつけることに成功した [27]。

SDSS クエーサー 2 点相関関数とバリオン密度パラメータ

典型的なクエーサーは銀河よりも数百倍も明るく、スローンデジタルスカイサーベイ (SDSS) によって得られたクエーサーの分布は赤方偏移にして 2.3 といった深宇宙にまで及んでいる。このようなクエーサーサンプルを用いると銀河よりも遥かに大きなスケールの宇宙の大規模構造を探る事が可能となる。我々は SDSS によって得られた過去最大のクエーサーサンプルを用い、赤方偏移空間のクエーサー 2 点相関関数を求め、バリオン密度パラメータ及び宇宙定数に対して制限を与えた。[122, 169]

SDSS 銀河を用いた銀河系ダストマップの検証

我々の銀河によるダスト吸収はあらゆる天文学的観測に重要な影響を及ぼす最も基本的なデータである。現在広く利用されている銀河吸収のマップは Schlegel, Finkbeiner & Davis(1998) によるものであるが、これはダストの放射量にいくつかの仮定を与えて推測された値である。これらの仮定は、光学的に厚い領域が存在する場合、視線方向に様々な温度のダストが重なり合っていた場合等で、観測的に重要となる真の吸収量との間に系統的な誤差が生じている可能性がある。我々は SDSS によって得られた銀河の光度分布と計数からダスト吸収量を見積もり、Schlegel らのダスト吸収マップの検証を行っている。[179]

暗黒物質ハローサブストラクチャの解析的モデル

暗黒物質ハローサブストラクチャが暗黒物質ハロー内で受ける二つの主要な物理プロセス (潮汐力、力学的摩擦) を考慮したサブストラクチャの質量関数を初めて構築した。また、同時にサブストラクチャの空間分布も計算した。さらに、この解析計算の結果を数値シミュレーションの結果と比較したところ、両者が良く一致することがわかった [26]。

崩壊する暗黒物質

崩壊する暗黒物質は現在の冷たい暗黒物質の諸問題を解決する可能性のある重要なテーマである。特に宇宙年齢程度の寿命を持つ暗黒物質をターゲットにし、将来のスニャエフ-ゼルドビッチ効果の観測によってどの程度情報を得られるかを調べ [32]、また WMAP による宇宙背景放射によってどの程度の制限が与えられるかを調べた [33]。その結果、暗黒物質の寿命に宇宙年齢の 10 倍程度という強い制限を与え、暗黒物質の崩壊によって諸問題を解決することは難しいという結論を得た。

太陽系外トランジット惑星のロシター効果

トランジットを起こす太陽系外惑星系は、トランジットの最中に Rossiter 効果と呼ばれる現象を起こす。そのため、恒星の視線方向速度をドップラー効果を用いて測定すると、トランジット中は、本当の速度からずれて見える。この現象は、恒星同士の連星の場合については、古くから知られ、研究されてきた。Rossiter 効果を観測すると、恒星の自転軸の向きと惑星の公転軸の向きのずれを測定できる。これは、惑星系の角運動量の起源や進化を考える上で、重要な情報である。

これまでは、Rossiter 効果による見かけの速度変化を見積もるためには、数値積分を含む複雑な式を用いて計算する必要があった。この計算方法は恒星同士の連星の場合にも使える一般的なものである。しかし、惑星は恒星に比べて遥かに小さく暗いので、様々な近似を用いれば、より単純でわかりやすい式を得ることができる。そこで我々は、この速度変化を計算する解析的な近似式を求めた [10]。また、この解析的公式によって、Rossiter 効果のパラメータ依存性を理解しやすくなった。

太陽系外惑星 HD209458b の大気組成への観測的制限

本研究の観測対象である系外惑星系 HD209458 では、惑星による「食」が起こることが知られており、そのため食の内外でのスペクトルを比較することで惑星の外層大気元素に由来する吸収を探ることができる。この方法により、ハッブル宇宙望遠鏡による観測では既にこの惑星大気中にナトリウムなどの元素が存在することが明らかになっている。我々はすばる望遠鏡 HDS(High Dispersion Spectrograph) を用いて、この HD209458 の食の時間を含む分光観測を行い、そのスペクトル解析を行った。この結果、我々は外層大気元素によるものと思われる吸収量の変化は検出することができなかった。しかしその吸収量の変化への制限については、これまで他の地上大型望遠鏡で行われた同様の研究に比べ、著しく強めることができた。この非常に強い観測的制限は、現在の地上観測機器による系外惑星大気検出の困難さを顕著に表している。我々は引き続きすばる望遠鏡によるデータから、系外惑星大気検出への試みとして残された方法を網羅して解析を行い、今回の成果を超えるより強い制限、あるいはハッブル宇宙望遠鏡での検出の確認を目指している。 [7, 168, 192, 177, 50, 86]

1.3 天体核・素粒子物理

強磁場超新星における非対称ニュートリノ放射

昨今、中性子星の持つ典型的な磁場の3桁ほど大きな磁場をもつ強磁場中性子星が観測され、その生メカニズム、物理的性質を巡り大きな話題を呼ん

でいる。一方、QED によれば、 10^{15} ガウスを越えるような強磁場中では、ニュートリノの反応断面積が磁場の影響を受けることが知られている。これを適応して、自転による非球対称なニュートリノ放射と磁場の相互作用により、強磁場中性子星が爆発後に北極方向に飛ばされやすいことを示した [29, 31, 82, 62, 114, 162, 255, 257]。

強磁場超新星からの重力波

強磁場中性子星の生成に伴う重力波については、従来大きな問題であった。その為に鍵となっていた磁場を取り込んだ重力波の四重極式を導出して、強磁場下での重力波波形を求めた。その結果、コアのエネルギー密度と等分配になるぐらいの超強磁場 ($\sim 10^{17}$ G) 下では、重力波の振幅が最大で 10 % ぐらいの変更を受けることが分かった [30, 82, 61, 62, 114, 115, 173, 194, 207, 183, 222, 213, 256, 257]。

質量・自転・磁場で決定される星の最期

大質量星が重力崩壊したすえにおこる超新星爆発は非常に明るく、古来から観測されてきた現象であるが、様々な物理と結びつき、その重要性は高まるばかりである。たとえばその中で元素合成は宇宙の組成比を決定し、地上では達成できない高温高密度が達成されるので高エネルギー物理の実験場としても優れ、またその強重力場は重力波などを通して一般相対論の理解、検証にも深く結びついている。

近年の観測で超新星とは別の現象だと考えられてきたガンマ線バーストもある種の超新星の結果とわかってきた。超新星爆発の後には中性子星からブラックホールなどのコンパクトオブジェクトが残されるが、その自転や磁場によっていろいろな天体現象と結びつく。

我々は超新星爆発のメカニズムの解明を通してそのような様々な天体現象を統一的に理解しようと考えている。具体的には元の星の質量、自転、磁場というパラメータが超新星という非常に複雑で非線形な過程を通して多様性に結びつくと思っている。

我々は昨年詳細なシミュレーションをしガンマ線バーストに関連するジェットとマグネターの生成に関する新たなシナリオを提案したが、シミュレーションの結果には何点か不満足な点があった。今年度はその不満点を解決しより信頼できる結果を提供できたと考えている。最大の改善点としては流体コードを完全に特殊相対論化して発生するジェットの特性をより精密に追うことができたようになったことが挙げられる。

さまざまな質量、自転、磁場の初期条件化をこの計算コードを使って発展させることにより、高エネルギー天体現象の理解はより深まると考えられる。

このとき我々はこのジェット時に発生する重力波にも注目して計算しており、各国で建築、改善が急がれる重力波検出器が重力波を観測すれば、その結

果との比較からいままで直接観測できなかった強重力系での物理の理解に貢献できると考えている。

[49, 85, 119, 167, 143, 208, 176]

流体不安定性と超新星

超新星爆発は核密度になったコアからのバウンスを用いた即時爆発機構のほかにニュートリノ加熱を考慮した遅延爆発機構なども考えられてきたが、近年の球対称を仮定した詳細なシミュレーションの結果、そのままでは爆発は難しいと考えられている。

このような現状を打破するためには球対称の仮定をやめより低い対称性の中での計算をする必要があると考えられる。

中でも流体不安定性の解析は球対称なモデルでは十分に解析することができない。このような機構の中でも磁気流体不安定性や定常降着衝撃波に関する不安定性、対流によるニュートリノ加熱の増幅などは爆発を促進させる効果として着目されている。

このような研究は始まったばかりで、まだまだ手探りでさまざまな状況設定でどのようなことが起こるのか明らかにする必要がある。

我々は今回対流による元素合成の不均一性から生じる密度揺らぎを系統的に初期条件として与え、その結果を解析した。

その結果このような不均一性は重力崩壊時にはそれほど影響を与えないがバウンス後の衝撃波の伝播には大きく影響を与えることがわかった。また、自転をさせたときには衝撃波が非常に不安定で複雑な振る舞いを見せることも明らかにした。

このような過程における重力波波形も計算した。重力波の位相は自転をさせているときにはこのような摂動に対しても安定で、むしろ自転をしていないときには複雑な振る舞いになることを明らかにした。[101, 69, 85, 188, 195]

超新星背景ニュートリノ

過去の全ての超新星爆発から放出されたニュートリノは、diffuseなバックグラウンドを形成していると考えられている。この超新星背景ニュートリノ (Supernova Relic Neutrinos; 以下 SRN) の検出可能性を、現実的なニュートリノ振動モデル、超新星モデルを適用して考察した [64, 65, 66]。超新星爆発は、短寿命の大質量星の死に伴う現象であるため、SRN は銀河進化および星形成史の良いプローブとして用いることが期待できる。さらにニュートリノは途中の星間空間中にある塵からの吸収を受けないという特徴がある。我々は、将来観測からどの程度まで星形成率の情報を引き出せるかという議論をモンテカルロシミュレーションを用いて行った。この結果、Super-Kamiokande くらいの大さの検出器で 5 年程度観測を行えば、30%程度の精度で星形成率のモデル化が可能であることを示した。現在計画中の Hyper-Kamiokande や UNO といったさらに大型の検出器

を用いれば、より精度の良い情報が得られることが期待できる [37, 116]。

さらに我々は、SRN に関する、理論観測両面からの包括的なレビュー論文の執筆を行なっている [40, 131, 132, 260, 262, 263, 264]。なお、この論文 [40] は、出版元 Institute of Physics の selected paper として選出されたことを付記しておく。

崩壊する超新星ニュートリノ

ニュートリノが、Majoron などの非常に軽いスカラー粒子と相互作用をする場合、超新星からの伝搬中にある質量固有状態から、より軽い質量固有状態へと崩壊するという現象が起こり得る。これにより、銀河内で起こった超新星爆発からのニュートリノバーストの信号が、通常期待されるものから大きくことなる可能性がある。とくに、電子ニュートリノに固有の、中性子化バーストと呼ばれる鋭い時間変動が、崩壊の効果によって電子反ニュートリノに見られることが考えられ、これを実際にとらえれば、ニュートリノの崩壊という標準模型を超える新たな性質の動かし難い証拠となるであろう。我々は、そのための定式化を新たに提示し、それを用いることで、地上で期待されるシグナルの評価を行ない、それが十分に検出可能であることを示した [39, 151]。

連星中性子星衝突とガンマ線バースト

ガンマ線バーストのうち継続時間が 2 秒以下と短いもの (short GRB) に関してはその起源が明らかになっていない。我々はその有力な候補と考えられている、中性子星-中性子星、あるいは中性子星-ブラックホールの衝突現象が short GRB と相関していると仮定して、BATSE のデータ解析を行なった。この結果、GRB の生成率の時間進化は連星コンパクト天体の衝突を仮定することにより、非常にコンシステントに説明可能であることを示した [38, 165]。さらに、ジェットの開き角に関して平均でおよそ 10 度程度であるという示唆を得たが、これは long GRB の残光観測から示唆されているものと良く一致していることも示した。

ガンマ線バースト残光からの TeV 光子と銀河間吸収

ガンマ線バースト残光の機構は、磁場で加速された電子によるシンクロトロン放射でうまく説明でき、また観測されている GeV 領域のガンマ線は、逆コンプトン散乱によるものであると考えられている。さらに、いまだ観測はされていないものの、同じ機構で TeV 領域にも放射があることが理論的に示唆されている。我々は TeV 領域の光子が、銀河間空間で赤外光子と相互作用し、電子・反電子ペアをつくるということに着目した。これらのペアは、非常に高エネルギーでつくられるため、宇宙マイクロ波背景放射と逆コンプトン散乱を通じて相互作用し、GeV 領

域の光子を生成する。我々は、これらの仮定でつくられた GeV 光子は、もともと残光から直接我々の元に到達する GeV 光子に比べて、いかなる条件の元でも、無視できる程度の寄与しか与えないということを示した。このため、将来の GLAST 衛星による観測から、ガンマ線バーストの情報を、途中の伝搬過程に邪魔されることなく、直接引き出せるということが出来る [40]。

宇宙背景ガンマ線に於ける暗黒物質対消滅の寄与

観測されている宇宙背景ガンマ線のうち、多くの部分はブレーザーなどの天体起源と考えられているが、そのうち一部のエネルギー領域では、暗黒物質対消滅の兆候が見えているという可能性が、以前から指摘されてきた。今回我々は、暗黒物質ハローの密度プロファイルが、シミュレーションから指摘されているように普遍的であるという仮定の元、いかなるエネルギー領域においても暗黒物質対消滅は、背景ガンマ線の主要構成要素となることはできないということを示した。これは、仮に背景ガンマ線の多くが暗黒物質起源であると仮定すると、銀河中心の暗黒物質対消滅起源のガンマ線のフラックスが、実際の観測よりも大幅に大きくなってしまおうという理由による [42]。

相対論的アウトフローにおける因果律

近年、ガンマ線バーストの観測により大角度の偏光の存在が報告され議論を呼んでいる。これのためには領域内の磁場のコヒーレンスが必要であり因果律が保たれていなければならない。ガンマ線バーストをはじめとする相対論的アウトフローを伴うような天体現象においては、圧力などの物理的情報は音速で伝わるため音速が系の因果律を定める特徴的なスピードとなる。そこで、このような流体中を伝播する音波は effective に曲がった時空上の波動として記述されるという effective geometry の手法を用い、Lorentz factor が半径の power law となる場合の球対称アウトフローについて、音速による因果律を解析した。この結果、加速膨張の場合は因果律の保たれる領域が Lorentz factor の逆数に比例した角度で制限され、減速膨張の場合はこのような制限がないことを示した。[48, 142]

超高エネルギー宇宙線到来方向分布における二点相関の統計的有意性

最近の HiRes 観測により、超高エネルギー宇宙線到来方向分布に有意な二点相関がみられないとの結果が報告された。しかし、この結果は AGASA 観測によるものと相反している。そこで、我々はこの違いが統計的に有意なものかどうかを調べた。具体的には、ORS 銀河サンプルを用いて宇宙線のソースモデルを構築して宇宙線の到来方向分布を計算し、HiRes

と AGASA それぞれの観測からソースの個数密度に制限をつけた。結果としては、 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ Mpc}^{-3}$ 程度の個数密度で両観測を統計揺らぎの範囲内で説明できることがわかった。したがって、現時点ではまだデータ数が少なく、両観測の違いは有意ではないと結論された。[45, 137]

超高エネルギー宇宙線の伝搬シミュレーションを用いたソース数密度の決定

近年、観測の発達により超高エネルギー宇宙線の性質が徐々に明らかになりつつある。しかし、その源となる天体（現象）が何なのかは未だに理解されていない。それはこの宇宙線が電荷を持っており、磁場のある銀河内及び銀河間空間を曲がりながら伝搬してくるためである。そこで我々は IRAS 銀河カタログを用いて宇宙線のソースモデルとともに、観測を再現するような現実的な銀河間磁場のモデルを構築し、さらに銀河内磁場のモデルを作成して宇宙線の伝搬過程を計算することで到来方向分布を計算し、AGASA の観測結果と比較することによりソースの個数密度について制限をつけた。この結果 $5 \times 10^{-6} \text{ Mpc}^{-3}$ 程度の個数密度が最も観測をよく説明することを示した。また、このソースモデルを用いて現在稼働中の Auger 観測でどのような到来方向が観測されるかについて予言した。[158, 181]

「パスタ相」の相図および動的転移

超新星や中性子星などの高密度天体の内部は地上の実験室よりも遥かに高密度であり、核物質は我々の想像を絶するような構造を取っている可能性がある。特に標準核密度以下の密度領域では原子核が球形から一様な核物質に相転移していく過程において、特異な形状の原子核の相（パスタ相）が現れるということが静的なモデルによって提唱されていた。我々は量子分子動力学（QMD）という動的な手法を用いてパスタ相が動的に形成されるか否かという問題に取り組んでいる。以前の研究で高温の一様核物質を冷却することによって動的にパスタ相が再現されることは確認された。我々はそこからさらに原子核パラメータに付随する様々な不定性を考慮し、その不定性の範囲内でパスタ相が再現されるか否か、不定性の相図に与える影響は如何なるものかについて研究した。[156] また同時に、超新星を意識したパスタ相の圧縮を行ない、パスタ相間の動的転移を再現した。これによって超新星爆発のコアの崩壊の過程でパスタ相が形成されていく可能性に強い示唆を与えた。[4, 52, 157]

1.4 その他

向山信治が 2004 年 10 月 1 日付けで助手に着任した。

<受賞>

- [1] 大栗真宗: 平成 16 年度第 2 回 東京大学総長賞、東京大学、2005 年 3 月 24 日
- [2] 須藤靖、第 9 回日本天文学会 林忠四郎賞、2005 年 3 月 29 日

<報文>

<原著論文>

- [3] Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka, Toshikazu Ebisuzaki, Phases of hot nuclear matter at subnuclear densities, *Phys. Rev. C* **69** (2004) 055805.
- [4] Gentaro Watanabe, Toshiki Maruyama, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka, Toshikazu Ebisuzaki, Simulation of Transitions between “ Pasta ” Phases in Dense Matter, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 031101 (2005).
- [5] Issha Kayo, Yasushi Suto, Robert C. Nichol, Jun Pan, István Szapudi, Andy Connolly, Jeff Gardner, Bhuvnesh Jain, Gauri Kulkarni, Takahiko Matsubara, Ravi Sheth, Alex Szalay, and Jon Brinkmann: Three-point correlation functions of SDSS galaxies in redshift space: morphology, color and luminosity dependence; *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **56**(2004) 415-423 (astro-ph/0403638)
- [6] Ofer Lahav and Yasushi Suto: Measuring our universe with redshift surveys; *Living Reviews in Relativity* (invited review article), **7** (2004) 8(1-81) (astro-ph/0310642)
- [7] Joshua N. Winn, Yasushi Suto, Edwin L. Turner, Norio Narita, Brenda L. Frye, Wako Aoki, Bun’ei Sato, and Toru Yamada: A Search for H α Absorption in the Exosphere of the Transiting Extrasolar Planet HD 209458b; *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **56**(2004) 655-662 (astro-ph/0404469)
- [8] Kohji Yoshikawa, Klaus Dolag, Yasushi Suto, Shin Sasaki, Noriko Y. Yamasaki, Takaya Ohashi, Kazuhisa Mitsuda, Yuzuru Tawara, Ryuichi Fujimoto, Tae Furusho, Akihiro Furuzawa Manabu Ishida, Yoshitaka Ishisaki, and Yoh Takei: Locating the Warm-Hot Intergalactic Medium in the Simulated Local Universe; *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **56**(2004) 939–957 (astro-ph/0408140)
- [9] Akihito Shirata, Tetsuya Shiromizu, Naoki Yoshida and Yasushi Suto: Galaxy clustering constraints on deviations from Newtonian gravity at cosmological scale, *Physical Review D* **71**(2005)064030 (astro-ph/0501366)
- [10] Yasuhiro Ohta, Atsushi Taruya and Yasushi Suto: The Rossiter – McLaughlin effect and analytic radial velocity curves for transiting extrasolar planetary systems; *The Astrophysical Journal*, **622**(2005)1118-1135(astro-ph/0410499)
- [11] Tadayuki Kodama, Masayuki Tanaka, Hideki Yahagi, Masahiro Nagashima, Ichi Tanaka, Nobuo Arimoto, Toshifumi Futamase, Masanori Iye, Yoshikazu Karasawa, Nobunari Kashikawa, Wataru Kawasaki, Tetsu Kitayama, Hideo Matsuhara, Fumiaki Nakata, Takaya Ohashi, Kouji Ohta, Takashi Okamoto, Sadanori Okamura, Kazuhiro Shimasaku, Yasushi Suto, Naoyuki Tamura, Keiichi Umetsu & Toru Yamada: Panoramic Views of Cluster-Scale Assembly Provided by Subaru Wide-Field Imaging; *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **57**(2005)309-323 (astro-ph/0502444)
- [12] Hideaki Kudoh, Atsushi Taruya; Probing anisotropies of gravitational-wave backgrounds with a space-based interferometer: Geometric properties of antenna patterns and their angular power; *Physical Review D* **71**(2005)024025 (gr-qc/0411017)
- [13] Atsushi Taruya, Masa-aki Sakagami; Fokker-Planck study of stellar self-gravitating system away from the thermal equilibrium: connection with non-extensive statistics; *Physica A* **340** (2004) 453-458.
- [14] Masa-aki Sakagami, Atsushi Taruya; Description of quasi-equilibrium states of self-gravitating systems based on non-extensive thermostatics; *Physica A* **340** (2004) 444-452.
- [15] Nima Arkani-Hamed, Hsin-Chia Cheng, Markus A. Luty and Shinji Mukohyama, Ghost Condensation and a Consistent Infrared Modification of Gravity, *JHEP* **0405**, 074 (2004)
- [16] Nima Arkani-Hamed, Paolo Creminelli, Shinji Mukohyama and Matias Zaldarriaga, Ghost Inflation, *JCAP* **0404**, 001 (2004)
- [17] S. Kobayashi, T. Asakawa and S. Matsuura, “Open String Tachyon in Supergravity Solution” *Mod. Phys. Lett. A* **15** (2005) 1119-1134.
- [18] H. Kudoh and Y. Kurita, *Phys. Rev. D* **70**, 084029 (2004)
- [19] H. Kudoh, *Phys. Rev. D* **69**, 104019 (2004)
- [20] H. Kudoh and T. Wiseman, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 161102 (2005)
- [21] T. Suyama, T. Tanaka, B. Bassett and H. Kudoh, *Phys. Rev. D* **71**, 063507 (2005)
- [22] K. Koyama, “Late time behavior of cosmological perturbations in a single brane model,” *JCAP* **0409**, 010 (2004).
- [23] K. Koyama, D. Langlois, R. Maartens and D. Wands, “Scalar perturbations from brane-world inflation,” *JCAP* **0411**, 002 (2004).
- [24] Masamune Oguri and Charles R. Keeton: Effects of Triaxiality on the Statistics of Large-Separation Gravitational Lenses; *The Astrophysical Journal*, **610**, 663-672 (2004) (astro-ph/0403633)

- [25] Gordon T. Richards, Charles R. Keeton, Bartosz Pindor, Joseph F. Hennawi, Patrick B. Hall, Edwin L. Turner, Naohisa Inada, Masamune Oguri, Shin-Ichi Ichikawa, Robert H. Becker, Michael D. Gregg, Richard L. White, Stuart Wyithe, Donald P. Schneider, David E. Johnston, Joshua A. Frieman and J. Brinkmann: Microlensing of the Broad Emission Line Region in the Quadruple Lens SDSS J1004+4112; *The Astrophysical Journal*, **610**, 679-685 (2004) (astro-ph/0402345)
- [26] Masamune Oguri and Jounghun Lee: Realistic Model for Spatial and Mass Distributions of Dark Halo Substructures: An Analytic Approach; *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **355**, 120-128 (2004) (astro-ph/0401628)
- [27] Masamune Oguri, Naohisa Inada, Joseph F. Hennawi, Gordon T. Richards, David E. Johnston, Joshua A. Frieman, Bartosz Pindor, Michael A. Strauss, Robert J. Brunner, Robert H. Becker, Francisco J. Castander, Michael D. Gregg, Patrick B. Hall, Hans-Walter Rix, Donald P. Schneider, Neta A. Bahcall, Jonathan Brinkmann and Donald G. York: Discovery of Two Gravitationally Lensed Quasars with Image Separations of 3" from the Sloan Digital Sky Survey; *The Astrophysical Journal*, **622**, 106-115 (2005) (astro-ph/0411250)
- [28] Naohisa Inada, Masamune Oguri, Charles R. Keeton, Daniel J. Eisenstein, Francisco J. Castander, Kuenley Chiu, Joshua A. Frieman, Joseph F. Hennawi, David E. Johnston, Bartosz Pindor, Gordon T. Richards, Hans-Walter Rix, Donald P. Schneider and Wei Zheng: Discovery of a Fifth Image of the Large Separation Gravitationally Lensed Quasar SDSS J1004+4112; *Publications of the Astronomical Society of Japan*, in press (astro-ph/0503310)
- [29] Kei Kotake, Shoichi Yamada and Katsuhiko Sato: North-South Neutrino Heating Asymmetry in Strongly Magnetized and Rotating Stellar Cores, *Astrophysical Journal* 618 (2005) 474.
- [30] Kei Kotake, Shoichi Yamada, Katsuhiko Sato, Kohsuke Sumiyoshi, Hiroyuki Ono, and Hideyuki Suzuki: Gravitational Radiation from Rotational Core Collapse: Effects of Magnetic Fields and Realistic Equation of States, *Physical Rev D* 69 (2004) 124004.
- [31] Shoichi Yamada, Kei Kotake and Tatsuya Yamasaki: The Role of Neutrinos, Rotations, and Magnetic Fields in Collapse-Driven Supernovae, *New Journal of Physics*, 6 (2004) 79.
- [32] "Sunyaev-Zel'dovich power spectrum with decaying cold dark matter" K. Takahashi, M. Oguri and K. Ichiki, *MNRAS* 352 (2004) 311, astro-ph/0312358.
- [33] "WMAP Constraints on Decaying Cold Dark Matter" K. Ichiki, M. Oguri and K. Takahashi, *Phys. Rev. Lett.* 93 (2004) 071302.
- [34] "Randall-Sundrum two D-brane model" T. Shiromizu, Y. Himemoto and K. Takahashi, *Phys. Rev. D* 70 (2004) 107303, hep-th/0405071.
- [35] "Gravity in Randall-Sundrum two D-brane model" T. Shiromizu, K. Takahashi, Y. Himemoto and S. Yamamoto *Phys. Rev. D* 70 (2004) 123524, hep-th/0407268.
- [36] "Asymmetric D-braneworld" K. Takahashi and T. Shiromizu, *Phys. Rev. D* 70 (2004) 103507, hep-th/0408043.
- [37] Shin'ichiro Ando: "Cosmic Star Formation History and the Future Observation of Supernova Relic Neutrinos"; *Astrophys. J.* **607** (2004) 20-31
- [38] Shin'ichiro Ando: "Short gamma-ray bursts as a possible probe of binary neutron star mergers"; *J. Cosmol. Astropart. Phys.* **0406** (2004) 007
- [39] Shin'ichiro Ando: "Appearance of neutronization peak and decaying supernova neutrinos"; *Phys. Rev. D* **70** (2004) 033004
- [40] Shin'ichiro Ando: "Does regenerated emission change the high-energy signal from gamma-ray burst afterglows?"; *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **354** (2004) 414-418
- [41] Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato: "Relic neutrino background from cosmological supernovae"; *New J. Phys.* **6** (2004) 170
- [42] Shin'ichiro Ando: "Can Dark Matter Annihilation Dominate the Extragalactic Gamma-Ray Background?"; *Phys. Rev. Lett.* **94** (2005) 171303
- [43] H. Yoshiguchi and K. Koyama; Bulk gravitational field and dark radiation on the brane in dilatonic brane world; *Physical Review D*, **70**, 043513, 2004.
- [44] H. Yoshiguchi and K. Koyama; Quantization of scalar perturbations in brane-world inflation; *Physical Review D*, **71**, 043519, 2005.
- [45] H. Yoshiguchi, S. Nagataki and K. Sato; Statistical significance of small scale anisotropy in arrival directions of ultra-high energy cosmic rays; *Astrophysical Journal*, 614, 43, 2004.
- [46] Yuuiti Sendouda, Kazunori Kohri, Shigehiro Nagataki, Katsuhiko Sato: Sub-GeV galactic cosmic-ray antiprotons from primordial black holes in the Randall-Sundrum braneworld, *Phys. Rev. D* 71 (2005) 063512.
- [47] Takashi Hiramatsu, Kazuya Koyama and Atsushi Taruya: "Evolution of gravitational waves in the high-energy regime of brane-world cosmology", *Phys. Lett. B* **609**(2005)133
- [48] Shunichiro Kinoshita, Yuuiti Sendouda, and Keitaro Takahashi: Acoustic causality in relativistic shells and its implication for gamma-ray bursts, *Phys. Rev. D* 70 (2004) 123006.

- [49] Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, Shigehiro Nagataki and Katsuhiko Sato: Magneto-driven Shock Waves in Core-Collapse Supernova; *Astrophysical Journal* Vol.616 pp. 1086-1094(astro-ph/0408388)
- [50] Norio Narita, Yasushi Suto, Joshua N. Winn, Edwin L. Turner, Wako Aoki, Christopher J. Leigh, Bun'ei Sato, Motohide Tamura, and Toru Yamada: Subaru HDS Transmission Spectroscopy of the Transiting Extrasolar Planet HD 209458b (PASJ in press:astro-ph/0504540)
- [51] S. Matsuura, A. D. Dolgov, S. Nagataki, K. Sato: Affleck-Dine Baryogenesis and heavy elements production from Inhomogeneous Big Bang Nucleosynthesis, *Prog. Theor. Phys.* **112** (2004) 971.
- [52] Gentaro Watanabe and Hidetaka Sonoda: Dynamical simulation of nuclear "pasta": soft condensed matter in dense stars; to appear in "Soft Condensed Matter: New Research", edited by F. Columbus (Nova Science Publishers, New York, 2005)
- <会議抄録>
- [53] Yasushi Suto, Kohji Yoshikawa, Noriko Y. Yamasaki, Kazuhisa Mitsuda, Ryuichi Fujimoto, Tae Furusho, Takaya Ohashi, Manabu Ishida, Shin Sasaki, Yoshitaka Ishisaki, Yuzuru Tawara, and Akihiro Furuzawa: Searching for cosmic missing baryons with DIOS – Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor –; *Journal of the Korean Physical Society (Proceedings of the VI International Conference on Gravitation and Astrophysics of Asian-Pacific Countries)*, **45**(2004) S110-S117 (astro-ph/0402389)
- [54] Yasushi Suto, Kohji Yoshikawa, Klaus Dolag, Shin Sasaki, Noriko Y. Yamasaki, Takaya Ohashi, Kazuhisa Mitsuda, Yuzuru Tawara, Ryuichi Fujimoto, Tae Furusho, Akihiro Furuzawa Manabu Ishida, Yoshitaka Ishisaki, and Yoh Takei: Tracing the bright and dark sides of the universe with X-ray observations; *Journal of The Korean Astronomical Society (Proceedings of the 3rd Korean astrophysics workshop "Cosmic rays and magnetic fields in large scale structure")* **37**(2004) 387-392
- [55] Shinji Mukohyama: Ghost Condensation and Gravity in Higgs Phase; *Proceedings of the 14th Workshop on General Relativity and Gravitation*
- [56] Shinpei Kobayashi, "Supergravity Description of the open string tachyon in the D/anti-Dbrane system" ;*Proceedings of 14th workshop on General Relativity and Gravitation in Japan.*
- [57] H. Kudoh and A. Taruya, "Probing gravitational-wave backgrounds with a space-based interferometer I" ;*Proceedings of 14th workshop on General Relativity and Gravitation in Japan.*
- [58] H. Kudoh, "Black holes with and without wrapped compactification" ; *Proceedings of The 9th Asia Pacific Physics Conference (2004年10月25, ベトナム (ハノイ))*, in press.
- [59] Masamune Oguri, Naohisa Inada, and the SDSS collaboration: "Discovery of a Gravitationally Lensed Quasar System with 14.6 Arcsec Splitting" *Proceedings of the 6th RESCEU symposium "Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology"* eds. K. Sato and S. Nagataki, p.343 (2004)
- [60] Masamune Oguri, Keitaro Takahashi, Kei Kotake, Kiyotomo Ichiki, and Hiroshi Ohno "Decaying Cold Dark Matter and the High Redshift Cluster Abundance" *Proceedings of the 13th Workshop of General Relativity and Gravitation*, eds., H. Ishihara and K. Nakao, p.194 (2004)
- [61] Kei Kotake, Shoichi Yamada, and Katsuhiko Sato, "Gravitational Radiation from Magnetorotational Core-Collapse of Massive Stars", *The 14th Workshop on General Relativity and Gravitation*, (Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Nov, 2004) in press
- [62] Kei Kotake, Shoichi Yamada, and Katsuhiko Sato, "Rotation and Magnetic Field in Core-Collapse Supernovae", *Twelfth Workshop on 'Nuclear Astrophysics'*, (Rindberg castle, Germany, March, 2004) in press
- [63] Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato: "Supernova Neutrino Oscillations and the Neutrino Magnetic Moment"; *Proceedings of the 6th RESCEU International Symposium on Frontiers in Astroparticle Physics and Cosmology*, ed. by K. Sato and S. Nagataki, Universal Academy Press, 2004, pp.95–98
- [64] Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato: "Supernova Relic Neutrinos and Implications for the Neutrino Properties"; *Proceedings of the 6th RESCEU International Symposium on Frontiers in Astroparticle Physics and Cosmology*, ed. by K. Sato and S. Nagataki, Universal Academy Press, 2004, pp.355–356
- [65] Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato: "Supernova Relic Neutrinos and Observational Implications for Neutrino Oscillation"; *Proceedings of the Fourth International Conference on Particle Physics Beyond the Standard Model (BEYOND 2003)*, ed. by H.-V. Klapdor-Kleingrothaus, Springer, 2004, pp.717–728
- [66] Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato: "Supernova Relic Neutrinos and Neutrino Oscillation"; *Proceedings of the Fourth International Workshop on Neutrino Oscillation and their Origin (NOON 2003)*, ed. by Y. Suzuki, M. Nakahata, Y. Itow, M. Shiozawa and Y. Obayashi, World Scientific, 2004, pp.57–64

- [67] Takashi Hiramatsu, Kazuya Koyama and Atsushi Taruya: “Evolution of Gravitational Waves from Inflationary Braneworld”, GR17, July 2004, Ireland
- [68] Takashi Hiramatsu, Kazuya Koyama and Atsushi Taruya: “Evolution of gravitational waves in the high-energy regime of brane-world cosmology”, The 14th Workshop on General Relativity and Gravitation, November 2004, Kyoto
- [69] Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, Shoichi Yamada and Katsuhiko Sato: Gravitational Radiation From Inhomogeneous Core-Collapse; JGRG, Kyoto (December 2004)
- < 国内雑誌 >
- (・日経サイエンス)
- [70] 佐藤勝彦: 新たな物理学の扉を開く、日経サイエンス (2004) 5月号
- [71] 須藤 靖: “背景放射に聴く宇宙の響き” (監訳)、(W.Hu and M.White “The Cosmic Symphony”, Scientific American, February 2004) 日経サイエンス (2004) 5月号, pp.30-41.
- [72] 須藤 靖: “大規模構造の進化をたどる” (監訳)、(M.A.Strauss “Reading the Blueprints of Creation”, Scientific American, February 2004) 日経サイエンス (2004) 5月号, pp.42-50.
- [73] 須藤 靖: “残された謎 宇宙定数の正体を追え” (監訳) (L.M.Krauss and M.S. Turner “A Cosmic Conundrum”, Scientific American, September 2004) 日経サイエンス (2004) 12月号, pp.48-56.
- (・その他)
- [74] 佐藤勝彦: 最新宇宙論、ゼットクラブ (増進会出版) 2004年12月号6頁
- [75] 佐藤勝彦: アインシュタイン人生最大の不覚とインフレーション、科学 (岩波書店) 2005年75巻2号205
- [76] 佐藤勝彦: インフレーションがもたらす宇宙像、月刊天文ガイド、2005年1月号14頁
- [77] 佐藤勝彦: 一般相対性理論が描き出した宇宙像、月刊天文ガイド、2005年3月号8頁
- [78] 伊藤直紀、須藤 靖、北山哲: “銀河団をスニャーエフ・ゼルドビッチ効果で見る”、日本物理学会誌 59 (2004) 6月号 pp.349-357.
- [79] 須藤 靖: “夜空の向こう - 銀河宇宙から宇宙背景放射へ -”、第18回「大学と科学」公開シンポジウム講演収録集 (2004) , pp.50-59.
- [80] 稲田直久、大栗真宗: “大分離角重力レンズクエーサーの発見” 天文月報 7月号 (2004) 415-424
- < 学位論文 >
- [81] Masamune Oguri: Strong Gravitational Lenses in a Cold Dark Matter Universe (博士論文)
- [82] Kei Kotake: Effect of Rotation and Magnetic Field on the Explosion Mechanism and Gravitational Wave in Core-Collapse Supernovae (博士論文)
- [83] 高橋慶太郎: “Bulk Fields in Braneworld” (博士論文)
- [84] 木下俊一郎: “Gravitational collapse and gravitational wave in the brane-world” (修士論文)
- [85] Tomoya Takiwaki: Magnetohydrodynamical Simulation of Core-Collapse Supernovae (修士論文)
- [86] Norio Narita: A Search for the Atmospheric Absorption in the Transiting Extrasolar Planet HD209458b with Subaru HDS (修士論文)
- [87] S. Matsuura: Baryogenesis and Inhomogeneous Big Bang Nucleosynthesis (修士論文)
- [88] Kazuhiro Yahata: The large-scale structure of SDSS quasars and its cosmological implication (修士論文)
- < 著書 >
- [89] 佐藤勝彦: 宇宙はこうして誕生した (編著) ウエッジ選書、(株)ウエッジ、2004年9月
- [90] 佐藤勝彦: 宇宙の誕生と未来、第18回「大学と科学」公開シンポジウム「ビッグバン宇宙の誕生と未来」講演収録集、佐藤勝彦編著、クバプロ、2005年1月
- [91] 須藤 靖: 一般相対論入門、日本評論社 (2005年3月刊行)
- [92] 米原厚憲: 「最新 宇宙学 - 研究者たちの夢と戦い - 」9章 宇宙に漂う望遠鏡 - もう一つのレンズと宇宙の屋気楼、(福江 純、栗野 論美 共編)、裳華房 (2004年5月出版)
- < 学術講演 >
- < 国際会議 >
- (一般講演)
- (・17th International Conference on General Relativity and Gravitation (July 18-24, 2004, RDS convention centre in Dublin, Ireland))
- [93] Atsushi Taruya, Masa-aki Sakagami: Two-body relaxation and quasi-equilibrium state in N-body systems
- [94] Takashi Hiramatsu, Kazuya Koyama and Atsushi Taruya: “Evolution of Gravitational Waves from Inflationary Braneworld”
- (・The IAU Symposium 225 “Impact of Gravitational Lensing on Cosmology”, (Lausanne, 2004年7月))
- [95] Atsunori Yonehara: “Quasar Mesolensing as a probe to substructures around galaxies”,
- [96] Masamune Oguri: “Large-Separation Lensed Quasars in the SDSS”,

- (・ The 14th Workshop on General Relativity and Gravitation (京大, 2004 年 11 月))
- [97] 工藤秀明: "Probing gravitational-wave backgrounds with a space-based interferometer 研究会"
- [98] Takashi Hiramatsu, Kazuya Koyama and Atsushi Taruya: "Evolution of gravitational waves in the high-energy regime of brane-world cosmology"
- (・ 14th JGRG (Kyoto, December 2004))
- [99] Shinpei Kobayashi, Tsuguhiko Asakawa and So Matsuura: Supergravity Description fo the Open String Tachyon in the D/anti D-brane System
- [100] H. Yoshiguchi and K. Koyama: Quantization of scalar perturbations in brane-world inflation
- [101] Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, Shoichi Yamada and Katsuhiko Sato: Gravitational Radiation From Inhomogeneous Core-Collapse;
- (・ その他)
- [102] Katsuhiko Sato, Hiroyuki Yoshiguchi, Sigehiro Nagataki: Small Scale Anisotropy in Arrival Directions of UHECRs above 1019eV with Modifications by the Galactic Magnetic Field, Cosmic Ray International Seminar "GZK and Surroundings" Catania, June 2005
- [103] Yasushi Suto: Searching for cosmic missing baryons with DIOS, Cosmology lunch seminar on July 13, 2004 at University of Durham
- [104] Yasushi Suto: Locating missing baryons from oxygen line emissions with DIOS, Cosmology seminar on July 19, 2004 at University College London
- [105] Yasushi Suto: Searching for the atmospheric signature of transiting extrasolar planets, Planetary science seminar on July 23, 2004 at University College London
- [106] Yasushi Suto: Searching for the atmospheric signature of transiting extrasolar planets, Institute of Theoretical Astronomy colloquium on July 28, 2004 at University of Heidelberg
- [107] 工藤秀明: "Black holes with and without wrapped compactification" 研究会: The 9th Asia Pacific Physics Conference -9 th APPC (2004 年 10 月 25, ベトナム (ハノイ))
- [108] K. Koyama: Cosmological perturbations in Randall-Sundrum brane worlds, Workshop on string cosmology, France, 2004 年 6 月
- [109] K. Koyama: The primordial density perturbations in the Randall-Sundrum brane world, UK cosmology workshop, 2004 年 9 月
- [110] K. Koyama: The primordial density perturbations in the Randall-Sundrum brane world, COSMO-04 International Workshop on Particle Physics and the Early Universe, 2004 年 9 月
- [111] Atsunori Yonehara: "On the origin of color anomaly between multiple images of lensed quasars," 25 Years After the Discovery: Some Current Topics on Lensed QSOs, Santander (2004 年 12 月)
- [112] Masamune Oguri: "Lensed Quasars in the SDSS", IAS Workshop on Gravitational Lensing, Princeton (2004 年 11 月)
- [113] Masamune Oguri: "SDSS J1004+4112: The Largest Separation Gravitationally Lensed Quasar", 3rd Oxford-Princeton Workshop on Astrophysics and Cosmology, Princeton (2005 年 3 月)
- [114] Kei Kotake: "Magnetic Fields and Jets in Core-Collapse Supernovae": International Workshop on Magnetohydrodynamic (MHD) Accretion Flows and Jets, Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP), Kyoto 2005, January
- [115] Kei Kotake: "Gravitational Radiation from Magnetorotational Core-Collapse of Massive Stars" General Relativity and Gravity, YITP, Kyoto, 2004, October
- [116] Shin'ichiro Ando: "Cosmic star formation history and supernova relic neutrinos"; DESY Theory Workshop on Particle Cosmology (DESY, Hamburg, Germany; September 2004)
- [117] Yasuhiro Ohta: The Rossiter effect and analytic radial velocity curves for transiting extrasolar planetary systems, Post-Nishinomiya-Yukawa Symposium, Yukawa Institute for Theoretical Physics, November, 2004
- [118] H. Yoshiguchi and K. Koyama: Bulk gravitational field and dark radiation on the brane in dilatonic brane world; String and Brane Cosmology, Paris (June 2004)
- [119] Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, Shoichi Yamada and Katsuhiko Sato: Magneto-driven Shock Waves in Core-Collapse Supernova; MHD workshop 2005, Kyoto (January 2005)
- (招待講演)
- (・ The 1st KIAS international workshop on cosmology and structure formation, (October, 2004, Korea Institute for Advanced Study))
- [120] Yasushi Suto: Highlights of Recent SDSS Sciences by JPG,
- [121] Yasushi Suto: Pursuing signatures of the cosmological light-cone effect or something else
- [122] Kazuhiro Yahata: Baryonic Signature in the Large-scale Clustering of SDSS Quasars
- (・ その他)
- [123] Katsuhiko Sato : BasicScience Research in The University of Tokyo, UT Forum 2004: Basic Science Session (August, 2004)

- [124] Katsuhiko Sato : Exploring the Early Universe through Particle Physics, UT Forum 2004: Basic Science Session, August, 2004, UT Forum 2004: Basic Science Session (August, 2004)
- [125] Yasushi Suto: Tracing the bright and dark sides of the universe with X-ray observations, International conference on cosmic rays and magnetic fields in large scale structure on August 17, 2004 at Pusan National University
- [126] Yasushi Suto: Spectroscopic search for atmospheric signature of transiting extrasolar planets, post Nishinomiya-Yukawa symposium “Origins: from first objects to extra-solar planets” on November 5, 2004 at Yukawa Institute for Theoretical Physics
- [127] Atsushi Taruya: Quasi-equilibrium evolution in self-gravitating N-body systems, International workshop on Complexity and Nonextensivity, on March 14-18, 2005 at Yukawa Institute for Theoretical Physics in Kyoto, Japan
- [128] Shinji Mukohyama: “Ghost condensation”, Tamura Symposium on Particle and Astrophysical Cosmology, Austin, TX, USA, November, 2004
- [129] Hideaki Kudoh ; Black holes with extra dimensions: the black-hole black- string transition; Grand Challenge Problems in Computational Astrophysics : Relativistic Astrophysics (USA,UCLA;May,2005)
- [130] Masamune Oguri: “Strong Lenses in the SDSS” SDSS collaboration Meeting 2004 fall, Pittsburgh (2004年10月)
- [131] Shin'ichiro Ando: “Relic supernova neutrino background: Current status and prospects of future detectors”; 3rd BNL/UCLA Workshop on Multipurpose Detectors for Proton Decay and VLBL Neutrino Physics (UCLA; February, 2005)
- [132] Shin'ichiro Ando: “Relic supernova neutrino background: Current status and prospects of future detectors”; Next Generation of Nucleon and Neutrino Detectors (Centre Paul Langevin, Aussois, Savoie, France; April, 2005)
- < 国内会議 >
- (一般講演)
- (・日本物理学会 2004 年秋季大会 (高知大学、2004 年 9 月))
- [133] 樽家 篤史, 工藤秀明, 姫本宣朗, 平松尚志: Probing the anisotropy of gravitational-wave background with space interferometer
- [134] 工藤秀明, 栗田泰生: Thermodynamics, uniqueness of slicings and stability of brane-black objects
- [135] 固武 慶, 山田章一, 佐藤勝彦: 自転超新星におけるニュートリノ起源の重力波
- [136] 小林晋平, 浅川嗣彦, 松浦壮: Three-parameter Solution and Boundary State
- [137] 吉口 寛之, 長滝 重博, 佐藤 勝彦: 超高エネルギー宇宙線到来方向分布における二点相関の統計的有意性
- [138] 吉口 寛之, 小山和哉: プレーンワールドにおける宇宙論的摂動の量子化
- [139] 仙洞田雄一, 長瀧重博, 佐藤勝彦: Randall-Sundrum 宇宙論における密度揺らぎ起源の始原的ブラックホール質量関数
- [140] 平松尚志, 小山和哉, 樽家篤史: “Cosmic Gravitational Wave Background from Inflationary Braneworld”
- [141] 木下俊一郎, 工藤秀明, 仙洞田雄一, 佐藤勝彦: 高次元時空における重力波生成
- [142] 木下俊一郎, 仙洞田雄一, 高橋慶太郎: 相対論的アウトフローにおける因果律
- [143] 滝脇知也, 固武慶, 長滝重博, 佐藤勝彦: 強磁場超新星からの重力波
- [144] 松浦俊司, 藤本信一郎, 橋本正章, 佐藤勝彦: 非一様バリオン数生成とビッグバン重元素合成
(・日本物理学会第 60 回年次大会 (東京理科大学野田キャンパス、2005 年 3 月))
- [145] 樽家 篤史, 工藤秀明, 姫本宣朗, 平松尚志: Probing anisotropies of gravitational-wave backgrounds with a space interferometer 2
- [146] 向山信治: “Ghost Condensation and Gravity in Higgs Phase”
- [147] 工藤秀明, Toby Wiseman: Connecting black holes and black strings
- [148] 浅川嗣彦, 松浦壮, 小林晋平: Non-BPS D-brane 系のタキオンと古典解の関係
- [149] 小林晋平, 浅川嗣彦, 松浦壮: Supergravity Description of the Open String Tachyon
- [150] 高橋慶太郎, 小林晋平: “不安定 D プレーンと 3 パラメータ解”
- [151] 安藤 真一郎: 「崩壊する超新星ニュートリノ」
- [152] 仙洞田雄一, 木下俊一郎, 工藤秀明: DGP モデルにおけるプレーン上のブラックホール解構成へのアプローチ
- [153] 平松尚志, 小山和哉, 樽家篤史: “Evolution of gravitational waves in the high-energy regime of braneworld”
- [154] 木下俊一郎, 工藤秀明, 仙洞田雄一, 佐藤勝彦: プレーンワールドにおける動的プロセスによる Kaluza-Klein モード
- [155] 松浦俊司, 藤本信一郎, 西村直, 橋本正章, 佐藤勝彦: 非一様バリオン数生成と重元素合成
- [156] 園田英貴, 渡邊元太郎, 佐藤勝彦, 泰岡顕治, 戎崎俊一: QMD シミュレーションによる原子核パスタの相図のモデル依存性
- [157] 渡邊元太郎, 丸山敏毅, 園田英貴, 佐藤勝彦, 泰岡顕治, 戎崎俊一: 原子核パスタ相の動的移り変わり

- [158] 高見 一、吉口寛之、長滝重博、佐藤勝彦：大規模構造中における超高エネルギー宇宙線の伝搬
(・日本天文学会 2005 年秋季年会 (岩手大学、2004 年 9 月))
- [159] 清水 守、北山 哲、佐々木 伸、須藤 靖：階層的宇宙における銀河団ガスの非重力的加熱
- [160] 吉川 耕司：宇宙の大規模構造形成におけるクーリングフロー問題
- [161] 米原厚憲：”重力レンズ方程式の妥当性”
- [162] 固武 慶、山田章一、佐藤勝彦：強磁場超新星における非対称ニュートリノ放射とパルサーキック
- [163] 高橋慶太郎：”An analytic model of superclusters”
- [164] 安藤 真一郎：「強磁場中での弱い相互作用とパルサーの固有速度」
- [165] 安藤 真一郎：「連成中性子星合体に対するガンマ線バースト観測からの示唆」
- [166] 太田泰弘：Rossiter 効果を考慮した太陽系外惑星系の視線速度曲線の解析的表式
- [167] 滝脇知也、固武慶、長滝重博、佐藤勝彦：強磁場超新星における衝撃波
- [168] 成田 憲保： “すばる /HDS による系外惑星 HD209458b の精密分光観測 II”
- [169] 矢幡 和浩：SDSS クエーサーで探る宇宙の大規模構造
(・日本天文学会 2005 年春季年会 (明星大学、2005 年 3 月))
- [170] 佐藤勝彦：宇宙の誕生、宇宙の未来、天文学会公開講演会
- [171] 樽家 篤史、工藤秀明：スペース干涉計による宇宙背景重力波の全天マッピング
- [172] 米原厚憲：”狭輝線アークから探る放射領域のサイズと銀河密度のプロファイル”
- [173] 固武 慶、山田 章一、佐藤勝彦：“非対称超新星爆発と相対論”
- [174] 高橋慶太郎：”Seed magnetic field generation by Biermann mechanism in primordial supernova remnant”
- [175] 安藤 真一郎、John F. Beacom：「超新星からの高エネルギーニュートリノ」
- [176] 滝脇知也、固武慶、山田章一、佐藤勝彦：強磁場超新星の非対称爆発とパルサーキック
- [177] 成田 憲保：“系外惑星系 TrES-1 における Rossiter 効果の検出可能性とその観測意義 “
- [178] 松浦俊司、藤本信一郎、西村直、橋本正章、佐藤勝彦：非一様バリオン数生成と重元素合成
- [179] 矢幡 和浩：及びクエーサーから探るダスト吸収の空間分布
- [180] 河原 創：GRB を背景光源としたダークバリオン吸収線系：DIOS による観測可能性
- [181] 高見 一、吉口寛之、長滝重博、佐藤勝彦：大規模構造中における超高エネルギー宇宙線の伝搬
(・RESCEU 研究会 (油壺、2004 年 8 月))
- [182] 小林晋平： Three-parameter Solution, Tachyon Condensation
- [183] 固武 慶：自転、磁場超新星からのニュートリノ及び重力波
- [184] 木下俊一郎、工藤秀明、仙洞田雄一、佐藤勝彦：高次元時空における重力波生成
(・RESCEU 研究会 (館山、2005 年 2 月))
- [185] 向山信治：“Ghost Condensation and Gravity in Higgs Phase”
- [186] 小林晋平： Gaussian Brane and Open String Tachyon Condensation
- [187] 木下俊一郎、工藤秀明、仙洞田雄一、佐藤勝彦：ブレーンワールドにおける動的プロセスによる Kaluza-Klein モード、
- [188] 滝脇知也、固武慶、山田章一、佐藤勝彦：非一様重力崩壊の系統的シミュレーション；宇宙における時空、物質、構造の進化
(・DIOS 研究会 (強羅静雲荘、2004 年 11 月))
- [189] 須藤 靖：宇宙論的ダークバリオン探査の意義
- [190] 河原 創：Photoionization and WHIM
(・特定領域研究「太陽系外惑星科学の展開」研究会「太陽系外惑星の新展開」(国立天文台、2005 年 1 月))
- [191] 太田泰弘：太陽系外惑星系における Rossiter 効果の解析的表式
- [192] 成田 憲保：“系外惑星系 TrES-1 における Rossiter 効果の検出可能性とその観測意義 “
(・研究会「重力崩壊型超新星を舞台とする様々な高エネルギー物理現象」(東京大学、2005 年 2 月 2-4 日))
- [193] 佐藤勝彦：超新星ニュートリノとニュートリノ振動
- [194] 固武 慶：”Asymmetric Supernovae”
- [195] 滝脇知也、固武慶、山田章一、佐藤勝彦：非一様重力崩壊における重力波
(・第 4 回 TAMA シンポジウム・重力波物理冬の学校 (大阪市立大学、2005 年 2 月 16-19 日))
- [196] 平松尚志：“Evolution of gravitational waves in the high-energy regime of brane-world cosmology”
- [197] 平松尚志：“ガンマ線バースト起源の背景重力波”
(・その他)
- [198] 佐藤勝彦：宇宙はいかにはじまったか？、日本大学理工学部物理学科講演、軽井沢 5 月 17 日
- [199] 佐藤勝彦：重力崩壊型超新星爆発：一素粒子・原子核課程と流体の統合シミュレーション、筑波大学計算科学センター：素粒子過程と流体の統合シミュレーション研究会、2004 年 6 月 11 日

- [200] 佐藤勝彦：宇宙は我々の宇宙だけではなかった、異能の会、東京大学情報学環、6月14日
- [201] 佐藤勝彦：宇宙の誕生、栃木県立石橋高等学校創立記念講演、2004年11月18日
- [202] 佐藤勝彦：宇宙の誕生と未来、理学部公開講演会 2004年12月3日
- [203] 須藤 靖：広視野 X 線分光小型衛星計画 DIOS - Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor -, 第5回宇宙科学シンポジウム、宇宙科学研究所 (2005年1月7日)
- [204] Shinji Mukohyama: “Ghost Condensation and Gravity in Higgs Phase”; The 14th Workshop on General Relativity and Gravitation, November 29 - December 3, 2004, Kyoto
- [205] 向山信治：“Ghost Condensation and Gravity in Higgs Phase”, 京都大学基礎物理学研究所 研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」(2004年12月19日~21日)
- [206] 吉川耕司：小型専用 X 線ミッションによるダークバリオン探査：「次世代天文学 - 大型装置とサイエンス -」シンポジウム 東京大学
- [207] 固武 慶：”Gravitational Waves from Core-Collapse Supernovae : Views on Recent Research Trends in 2004” 「次世代天文学 - 大型観測装置とサイエンス -」シンポジウム 国立天文台研究会 (東京大学 2004年12月)
- [208] 滝脇知也, 固武慶, 山田章一, 佐藤勝彦: MHD Simulations of Collapsar; GRB 2004 Kyoto (December 2004)
- (招待講演)
- (・天文・天体物理 若手の会 夏の学校 (国立オリンピック記念青少年総合センター、2004年8月14-18日))
- [209] 佐藤勝彦：研究者として成功するには？、天文学の舞台裏分科会
- [210] 須藤 靖：天文学と宇宙物理学は違うのか？、事務局企画「天文学と物理学の接点」
- [211] 樽家 篤史：“宇宙背景重力波 ~ Beyond the Dawn of the Universe ~”, 相対論・宇宙論分科会
- (・第4回 TAMA シンポジウム (大阪市立大学 学術情報センター、2005年2月16-19日))
- [212] 樽家 篤史：“TDI 入門”
- [213] 固武 慶：“重力波で探る超新星の物理”
- (・その他)
- [214] 須藤 靖：宇宙の果てから太陽系外惑星へ、日本物理学会高知市民科学講演会 (2004年9月27日)
- [215] 須藤 靖：宇宙のダークエネルギー、高エネルギー天文学研究会、東京都立大学 (2004年10月1日)
- [216] 須藤 靖：観測的宇宙論の進化論、第5回森羅万象学校 (2005年3月9日~10日)
- [217] 須藤 靖：銀河および銀河団を用いた観測的宇宙論の研究第9回 日本天文学会林忠四郎賞 受賞講演、明星大学 (2005年3月29日)
- [218] Shinji Mukohyama, “Cosmology and Black Holes with the Ghost Condensate”, Windows to new paradigm in particle physics, Sendai, February, 2005
- [219] 米原厚憲：“重力レンズ現象による構造診断” 日本物理学会 2004年 秋季大会 宇宙線分科会 特別講演
- [220] 高橋慶太郎：“見えてきた宇宙の始まり”, 天塾@国立天文台
- [221] 高橋慶太郎：“見えてきた宇宙の始まり”, ユニバーズライブショー@科学技術館
- [222] 固武 慶：“超新星からの重力波 - 爆発メカニズムの謎に迫りながら” 文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究 “重力波研究の新しい展開” 「技術検討会」(東京大学 坪野研 2004年4月)
- < 集中講義 >
- [223] 佐藤勝彦：明星大学理工学部 7月13 - 15日
- < セミナー >
- [224] 佐藤勝彦：Explosion Mechanism of Collapse-Driven Supernovae -Effects of rotation and magnetic Field-, Nordita, Copenhagen, June, 2004.
- [225] 佐藤勝彦：Explosion Mechanism of Collapse-Driven Supernovae -Effects of rotation and magnetic Field-, Stockholm University, June, 2004,
- [226] 須藤 靖：もの大きさ ~ 素粒子と宇宙 ~、春日部共栄中学校 講演会 (2004年5月29日)
- [227] 須藤 靖：太陽系外惑星の分光観測と transiting planet HD209458b, 国立天文台 HDS セミナー (2004年6月17日)
- [228] 須藤 靖：太陽系外惑星大気の分光観測、東京大学天文センター談話会 (2004年9月30日)
- [229] 須藤 靖：太陽系外惑星探査：過去の10年 今後の10年、東京大学物理学教室談話会 (2004年11月19日)
- [230] 須藤 靖：多重宇宙と人間原理、KEK 加速器系セミナー 新聞記者勉強会 (2005年2月16日)
- [231] 樽家 篤史：“Antonov problem and quasi-equilibrium state in self-gravitating N-body systems”, 東京大学工学部物理工学科 宮下・藤堂・伊藤研合同セミナー (2004年5月17日)
- [232] 樽家 篤史：“Probing anisotropies of gravitational-wave backgrounds with a space-based interferometer”, 東京工業大学 理学部物理学科細谷・白水研セミナー (2004年11月26日)
- [233] 樽家 篤史：“宇宙背景重力波 ~ sources & detection ~”, 京都大学人間環境学研究科宇宙論グループセミナー (2005年3月5日)
- [234] 向山信治：“Ghost Condensation and Gravity in Higgs Phase”, 京都大学基礎物理学研究所 セミナー (2004年11月26日)

- [235] 向山信治: “Ghost Condensation and Gravity in Higgs Phase”, 理研 Theory Seminar (2005 年 1 月 14 日)
- [236] 向山信治: “Cosmology and Black Holes with the Ghost Condensate”, University of Victoria, Departmental Seminar (2005 年 1 月 20 日)
- [237] 向山信治: “Cosmology and Black Holes with the Ghost Condensate”, University of Alberta, Gravity Seminar (2005 年 1 月 21 日)
- [238] 向山信治: “Cosmology and Black Holes with the Ghost Condensate”, 大阪大学素粒子理論研究室 セミナー (2005 年 2 月 22 日)
- [239] 向山信治: “Cosmology and Black Holes with the Ghost Condensate”, 東京大学宇宙線研究所 セミナー (2005 年 3 月 1 日)
- [240] 小林晋平 “弦の場の理論による動的 D-brane 系の記述” 早稲田大学理論宇宙物理学研究室セミナー (2004 年 6 月)
- [241] 小林晋平 “Open String Tachyon in Supergravity Solution” 高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所理論研究系セミナー (2005 年 1 月)
- [242] 工藤秀明; Blackholes with extra dimension, KIAS セミナ (2004 年 6 月 1 日, KIAS, 韓国)
- [243] 工藤秀明; Kaluza-Klein black holes, 東大 駒場 GR セミナー (2004 年 7 月)
- [244] 工藤秀明; Kaluza-Klein black holes, 大阪市大 コロキウム (2004 年 6 月)
- [245] 工藤秀明; Probing anisotropies of GW backgrounds with a space-based interferometer, 早稲田大学 コロキウム (2004 年 11 月)
- [246] 工藤秀明; “Connecting black holes and black strings” パルセロナ大学セミナ (2005 年 2 月 17 日, スペイン)
- [247] 小山和哉: “Self-accelerating universe from brane worlds”, Institut d’Astrophysique de Paris セミナー (2005 年 2 月 17 日)
- [248] 小山和哉: “Self-accelerating universe from brane worlds”, 東京工業大学 コロキウム (2005 年 3 月 17 日)
- [249] 吉川耕司: Hunt for the cosmic missing baryon through its soft X-ray emission: 京都大学 基礎物理学研究所 2004 年 10 月 21 日
- [250] 米原厚憲: “Gravitational lens studies of galactic structures through multiple quasars” 東京大学 天文学教室 セミナー (2004 年 7 月)
- [251] 米原厚憲: “多重像を持つクェーサーを利用した重力レンズ現象による銀河の構造の研究”, 京都大学 基礎物理学研究所 セミナー (2005 年 2 月)
- [252] 大栗真宗: “Strong Gravitational Lenses in a Cold Dark Matter Universe” 東京大学教養学部地球宇宙部会 セミナー (2004 年 6 月)
- [253] 大栗真宗: “大分離角重力レンズクェーサー: 理論と観測” 東京工業大学宇宙物理学理論グループ コロキウム (2004 年 9 月)
- [254] 大栗真宗: “Substructures of Dark Matter Halos” Wunch, Department of Astrophysical Sciences, Princeton University (2004 年 11 月)
- [255] 固武 慶: “Asymmetric Supernovae and Their Astrophysical Relevance”, 東大宇宙線研究所セミナー (2005 年 2 月)
- [256] 固武 慶: 超新星からの重力波、東工大宇宙物理学理論グループコロキウム (2004 年 10 月)
- [257] 固武 慶: 自転、磁場超新星におけるニュートリノ及び重力波、慶應義塾大学日吉物理学教室談話会 (2004 年 7 月)
- [258] 高橋慶太郎, “Bulk Fields in Braneworld”, @東京大学駒場キャンパス
- [259] 高橋慶太郎, “Origins of Cosmic Magnetic Fields”, @東京工業大学
- [260] 安藤 真一郎: “Relic Neutrino Background from Cosmological Supernovae”; 早稲田大学 前田・山田研究室 (2004 年 10 月 29 日)
- [261] 安藤 真一郎: “Revealing the Supernova Gamma-Ray Burst Connection with TeV Neutrinos”; Theoretical Astrophysics Group, Ohio State University (2005 年 2 月 22 日)
- [262] 安藤 真一郎: “Neutrino Probes of Extragalactic Supernovae”; Astrophysics Seminar, University of California, Irvine (2005 年 3 月 8 日)
- [263] 安藤 真一郎: “Neutrino Probes of Extragalactic Supernovae”; Theoretical Astrophysics Group, Fermi National Accelerator Laboratory (2005 年 3 月 14 日)
- [264] 安藤 真一郎: “Neutrino Probes of Extragalactic Supernovae”; Astroparticle Physics Group, Max-Planck-Institut für Physik (2005 年 4 月 4 日)
- [265] 平松尚志: “インフレーション起源の背景重力波による余剰次元の探求”, 東京大学, 重力波グループ技術討論会 (2004 年 4 月 22 日)

1.5 高エネルギー現象論

素粒子の超対称模型、素粒子論的宇宙論

現在、標準理論を超える理論の有力な候補の一つとして、超対称性を持つように拡張された標準理論(超対称標準理論)が考えられている。この理論は、階層性問題が解消される可能性があること、標準理論の三つのゲージ理論の結合定数が高いエネルギースケールでよく一致することなどから支持されている。しかしながら、超対称性の破れの現れ方についてはまだ多くの疑問が残されている。特に、レプトンやクォークの超対称対として存在すると考えられているスレプトン、スクォークの二乗質量行列は超対称性の破れを示す重要なパラメータであるが、フレーバー対称性を破る中性カレント相互作用が非常に小さいという観測結果から、その大きさや形が厳しく制限されている(SUSY-FCNC 問題)。

この SUSY-FCNC 問題の解決法の一つのとして、ミニマルな超重力理論が考えられている。ミニマルな超重力理論では、スレプトンやスクォークが高エネルギーで普遍的な質量を持つため FCNC 問題を起こさない。しかしながら、そのようなミニマルな超重力理論は対称性によって実現することは困難である。そこで、伊部・井沢・柳田は、インフレーションと関連して大きな cutoff スケールが選ばれて、ミニマルな超重力理論が実現する可能性を考察し、その場合に得られる超対称性の破れの様相が自然に観測的に望ましいものになることを示した [5]。

超対称性の破れがゲージ相互作用を通じて現れる模型 (GMSB) でも FCNC は解決され得る。この模型では、グラヴィティーノが最も軽い超対称粒子であり、安定であるという特徴を持っている。伊部・柳田は [2] において、宇宙初期のエネルギー密度が右巻きニュートリノの超対称対 (\tilde{N}) のコヒーレントな振動によって満たされていた場合の宇宙論について議論した。この場合、 \tilde{N} の崩壊によって宇宙のバリオン非対称性とグラヴィティーノから成る暗黒物質を同時に説明出来ることを示した。特に、観測されているバリオン・暗黒物質比から、グラヴィティーノの質量が $\mathcal{O}(10)$ MeV であることが予言されることを示した。また、伊部・戸部・柳田は [7] において、GMSB における非常に軽いグラヴィティーノ ($\mathcal{O} \lesssim 16$ eV) の可能性について議論した。この場合、超対称性の破れを伝える伝達粒子のなかに $\mathcal{O}(10)$ TeV 程度の安定なものが含まれることを予言した。その $\mathcal{O}(10)$ TeV 程度の安定粒子は、現在観測されている銀河中心からの高エネルギー γ 線を説明する可能性がある。

また、SUSY-FCNC 問題の他の解決法として、スケールアノマリーを通して超対称性の破れが現れる模型 (AMSB) が考えられている。しかしながら、AMSB ではスレプトンの二乗質量が負になってしまうという問題がある。この問題の一つの解決策として、AMSB による超対称性の破れの現れ以外に超対称の破れを持つ超対称ゲージ多重項との相互作用を導入することで解決されることが分かっている。伊部・北野・村山・柳田は、この模型ではニュートリノの質量を説明するのに重要な右巻きニュートリノを導入したときに生じるレプトンフレーバーの破れが他の超重力理論などに比べて小さくなることを示した [1]。また、伊部・北野・村山は [6] において、この模型における電弱対称性の破れを詳細に調べた。その結果、ヒッグスセクターを拡張することで、現象論と矛盾しない電弱対称性の破れを実現することが可能であることを示した。

新原は、修士論文において AMSB におけるスレプトン問題についてまとめた。さらに、100TeV 程度の重さの粒子を加えることでこの問題が解決され得るという新しい可能性についても考察した [8]。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] M. Ibe, R. Kitano, H. Murayama and T. Yanagida, “Viable supersymmetry and leptogenesis with anomaly mediation,” *Phys. Rev. D* **70**, 075012 (2004).

- [2] M. Ibe and T. Yanagida, “A solution to the baryon and dark-matter coincidence puzzle in a \tilde{N} -tilde dominated early universe,” *Phys. Lett. B* **597**, 47 (2004).
- [3] G. Bertoldi, S. Bolognesi, M. Matone, L. Mazzucato and Y. Nakayama, “The Liouville geometry of $N = 2$ instantons and the moduli of punctured spheres,” *JHEP* **0405**, 075 (2004).
- [4] N. Ikeda and Izawa K.-I., “Dimensional Reduction of Nonlinear Gauge Theories,” *JHEP* **0409**, 030 (2004).
- [5] M. Ibe, Izawa K.-I. and T. Yanagida, “Realization of Minimal Supergravity,” *Phys. Rev. D* **71**, 035005 (2005).
- [6] M. Ibe, R. Kitano and H. Murayama, “A viable supersymmetric model with UV insensitive anomaly mediation,” *Phys. Rev. D* **71**, 075003 (2005).
- [7] M. Ibe, K. Tobe and T. Yanagida, “A gauge-mediation model with a light gravitino of mass $\mathcal{O}(10)$ -eV and the messenger dark matter,” to appear in *Phys. Lett. B*.

(修士論文)

- [8] 新原 祐喜, 「アノマリーによる超対称性の破れの伝播」

< 学術講演 >

(国内会議)

一般講演

- [9] 伊部 昌宏, “A solution to the baryon and dark-matter coincidence puzzle in a \tilde{N} dominated early universe,” 素粒子物理学の進展, 京都大学基礎物理学研究所, 2004 年 6 月.

2 銀河進化理論

——観測データ解析に基づいた宇宙の創成進化の理論的研究——（茂山・野本・鈴木・Deng）

「初期宇宙で形成された天体がどのような化学的力学的進化を遂げてきたのか？」をシミュレーションによって追跡することにより、「リチウム・ベリリウム・ホウ素などの軽元素および炭素・酸素・ケイ素・鉄から超ウラン元素に至る重元素が、宇宙進化のどの段階でどのような天体において合成され放出されたのか」という宇宙における物質の創成史を明らかにしていく。

近年の観測技術の進歩により、より遠くの天体、より暗い天体についての詳細な観測データが大量に得られるようになってきた。遠くの天体を観測するという事は宇宙初期の天体を観測していることになる。また暗い天体には宇宙初期に生まれて現在まで生き残っている我々の銀河ハローに属する古い星も含まれる。これらの古い星は形成当時の銀河初期の情報を未だに保持していると考えられる。つまり、宇宙初期に存在した天体の進化は、現在、近傍に存在する天体の進化同様に観測によって検証可能な科学的な研究対象となってきた。

遠方のクエーサーから発せられる光のスペクトルには重元素によって作られた吸収線が検出されている。スペクトルの解析から得られる元素組成比と赤方偏移の関係を理論的に解釈することによって、宇宙初期における重元素の創成史を探ることができる。最近では、遠方の超新星が数多く見つかっている。超新星を標準光源として仮定することによって宇宙の幾何学的な性質を導こうという試みもある。この研究には遠方の超新星と近傍の超新星の性質の差異を知ることが重要である。遠方の天体として着目されている γ 線バーストについてもその起源と超新星の関連について研究している。特に、近年注目されている極超新星と呼ばれる非常に爆発エネルギーの大きな超新星の爆発モデルを計算し、観測と比較することでその特徴を明らかにしつつある。極超新星は非常に大量の重元素を放出するので銀河の化学進化における役割も究明する必要がある。極超新星の1つSN 1998bwは γ 線バーストと同時期に空のほぼ同じ方角で起こった。また、SN 2003dhはGRB030329の残光の中に見え始めそのスペクトルはSN 1998bwと良く似ていた。そこで、これら2つの現象がどのように結びつくのかという観点で研究を進める。

近傍の古い星のスペクトルにも重元素によって作られる吸収線が検出されている。これらの星の中には太陽に比べて10,000分の1の量の重元素しか持っていない星も存在している。このことは、おそらく我々の銀河で最初に生まれた星の幾つかが超新星爆発をした時の状況さえ推測できる手がかりを含んで

いることを示唆している。

このプロジェクトでは以上のような観測と比較する理論的なモデルの構築を目指している。そのために、宇宙初期に形成されたと考えられるほとんど重元素を含まないガスから形成された星の進化モデルを構築し、現在超新星爆発を起している星との違いを研究する。さらに、これらの星がどのように形成されるのか、超新星爆発を起した後に、重元素がどのように星間ガスにばらまかれ、次の世代の星に受け継がれて行くのかを3次元数値流体計算によって調べる。軽元素については、超新星爆発時の衝撃波が星表面を通過する直後の加速を詳しく調べ、その星間空間での輸送過程を解析し、軽元素合成への寄与を定量的に調べる。このようにして、宇宙に存在する元素の創成史を明らかにしていく。このような研究によって得られた知見をもとに銀河よりも大きなスケールの銀河団中に存在する高温ガスに含まれる重元素の起源についても研究する。

2.1 近傍矮小銀河の進化

dSph 銀河

我々が発展させて来た超新星が星形成を駆動するというシナリオをもとにした銀河系ハローの化学進化モデルを応用して、近年、大型望遠鏡で個々の星の元素組成が測られるようになった近傍の矮小銀河の化学進化モデルを構築した。星の重元素量にたいする分布を説明するためには、初期には現在よりも重力ポテンシャルが深かったことが分かり、これらの矮小銀河は銀河系の潮汐力によって質量を失いながら現在の姿になったという力学的な進化の描像も得られた。[25, 27]

2.2 銀河系

極端な金属欠乏星の形成

岩本（日本原子力研究所）、前田（総合文化）との共同研究。すばる望遠鏡によって $[\text{Fe}/\text{H}] < -5$ という極端な金属欠乏星 HE1327-2326 が最近新たに発見された。その星と以前に発見されていた HE0107-5240 が第一世代星であるかどうかということについて議論が存在していたが、この星が極めて特異な元素組成を示していることに着目し、宇宙の第一世代の大質量の星の進化を計算し、それらが超新星爆発を起こして放出するガスの重元素の組成を推定したところ、この星で観測された特異な元素組成と見事に合致することを明らかにし、重元素をごくわずかだけ含むガスから生まれた第二世代星であることを示した。[19, 20, 55, 78, 84]

超新星が駆動する星形成を取り込んだ銀河系形成シミュレーション

CDM シナリオに基づく構造形成の計算から銀河系の様な銀河ができそうな領域を抜き出して初期条件とし、SPH 法コードを用いて銀河初期の化学力学進化を調べる。CDM に支配されたガス中ではいわゆる Schmidt law に基づく星形成の他に、超新星爆発によって駆動される星形成があることを仮定し、ハローに属する星の重元素量に対する分布を調べ、観測を再現できるかを試験している。また、2つの星形成モードがどのように働くと、銀河系の各部分に属する星の重元素量に関する分布が観測と合うのかも調べる。[26, 88]

球状星団形成と化学進化

銀河系の星が生まれる元になったガス雲同士の衝突によって球状星団が形成されるというシナリオと、衝撃波によって圧縮されたガスから星ができるという銀河系ハローで成功した仮定を用いて、一つの球状星団中の星がほぼ同じ鉄の濃度を持つための条件を調べた。その結果、質量が $10^6 M_{\odot}$ ほどのガス雲同士では、相対速度が 33 km s^{-1} 以上で衝突すれば、星形成は1世代だけで終了し、観測を説明できる。銀河系の重力場内では 200 km s^{-1} でガス雲は動いていると考えられるので都合が良い。しかし、ガス雲の質量が $3 \times 10^7 M_{\odot}$ だと星形成を1世代で終わらせる相対速度は $\sim 700 \text{ km s}^{-1}$ となり、ほとんどのガス雲は何世代もの星を持った星団となると期待され、 ω Centauri の様な大きな球状星団の起源と考えられる。我々はこのシナリオに基づいた球状星団の重元素量の分布を求め、観測と比較し良い一致を見た。また、 ω Centauri の化学力学進化モデルを構築した。[25, 28, 29]

2.3 超新星の観測

変種 Ia 型超新星 2002ic の「すばる IRCS」による赤外スペクトル観測 (野本、Deng)

本原 (天文センター)、Kotak (Imperial College, London) 等との共同研究。変種 Ia 型超新星 2002ic の後期の近赤外スペクトル観測を実施。解析中。[4, 17, 41, 46]

SN2003jd

Mazzali (Trieste 天文台)、川端 (広島大学)、前田 (総合文化)、家 (国立天文台) との共同研究。すばる望遠鏡と微光天体分光撮像装置 (FOCAS) を用いてガンマ線バーストを伴わない極超新星 (極端に爆発の規模の大きい超新星) SN2003jd のスペクトル撮影を行い、これが高速ジェットを激しく噴出して

る爆発を横からみた場合の理論予測 (同グループが 2002 年に発表) と極めて良く一致することを発見した。この結果から、極超新星の大部分は高速ジェットを伴うガンマ線バースト母天体であり、ジェットが我々に向いている場合にのみガンマ線バーストとして観測されるという関係が明らかになった。[13]

2.4 超新星爆発での元素合成

相対論的速度に加速された超新星爆発物質が軽元素合成に果たす役割

Ic 型に分類される超新星の外層は炭素と酸素からできていて爆発直後に相対論的な速度までに加速され、星間物質中の水素やヘリウムと破碎反応を起こし、Li、Be、B を生成する。本研究では相対論的流体力学コードを構築し、現実的な星のモデルを用いた爆発の計算を行い表面付近での加速の様子を調べた。また、状態方程式には黒体放射と理想気体の寄与を両方とも取り入れた。その結果、 $10^{-5} M_{\odot}$ ほどの炭素・酸素層が破碎反応に必要なエネルギーを超える場合があることが分かった。また、単位質量あたりの爆発エネルギーが $\sim 10^{51} \text{ erg}/M_{\odot}$ のときには、破碎反応を起こすことができる質量が断熱指数一定と仮定して計算した場合よりも桁近く大きくなることが分かった。現在、これらの爆発物質の星間空間での輸送を計算し、どれくらい軽元素合成に寄与するのかを銀河系ハローに属する金属欠乏星の表面で観測された組成などと比較し、SN 1998bw の様にコンパクトな星での大きなエネルギーの超新星はその頻度が現在の 700 倍ほどだった場合に限り、銀河初期での軽元素合成にかなり寄与したことが分かり、The Astrophysical Journal に発表した。[2]

星の表面を通過する超相対論的衝撃波に対する自己相似解

これまで、星の表面を通過する衝撃波を記述する自己相似解は非相対論的で平行平板近似が成り立つ星表面ごく近傍に関してのみ得られていたが、我々は平行平板ではあるが、衝撃波が超相対論的に進む場合の自己相似解を見いだして、The Astrophysical Journal に発表した。この現象の結果として加速された外層のエネルギー分布も導き、非相対論的な場合と比較した。[1]

種族 III 超新星の相対論的ジェットと金属欠乏星の元素組成

前田 (総合文化) との共同研究。相対論的多次元流体力学コードを用いて、大質量星の中心から高速なジェットを放出する計算を行った。注入する全エネルギーを一定にして、最終的に星間空間に放出され

る超新星の yield のエネルギー注入率に対する依存性を調べた。その結果、yield はエネルギー注入率の大きい場合が Extremely Metal-Poor Stars の元素組成に、小さい場合が Hyper Metal-Poor Stars に、その中間の場合が C-rich Extremely Metal-Poor Stars に対応していると考えることが可能であることを示した。[59, 64, 72, 94, 107, 109]

2.5 Ia 型超新星

Ia 型超新星 SN 2002ic の光度曲線のモデル

蜂巢 (総合文化) との共同研究。スペクトル中に水素を示す Ia 型超新星 SN 2002ic の光度曲線を、周囲に星周物質が存在している白色矮星の爆発というモデルによって説明した。質量放出率が約 10^{-2} ($v_w/1000$ km/s) M_\odot/yr の星風によって作られた星周物質が約 $5M_\odot$ 存在すれば観測をうまく説明できる光度が得られる。さらに星周物質が極方向に低密度、赤道方向に高密度に分布するモデルを考えることで、スペクトルの高速度成分も説明できるようになる。[93]

超新星 2002ic の星周物質相互作用モデル

Hamuy らにより Ia 型超新星 2002ic が水素輝線を持つことが報告された。Ia 型超新星はこれまで水素輝線を持たないと考えられており、この報告は非常に大きな衝撃であった。2002ic は II 型超新星と星周物質の相互作用によりよく説明される、IIIn 型超新星 1997cy と非常に類似した性質を示しており Ia 型超新星と星周物質の相互作用により説明できるのではないかと考え研究を行った。相互作用と、その結果得られる光度曲線を計算することにより、球対称で一様に分布する星周物質では観測される光度曲線を説明することは出来ず、非球対称分布を考えなければならぬことを示した。我々はこのような Ia 型超新星と星周物質の相互作用によって説明できるタイプの超新星を IIa 型と呼ぶことを提唱する。[93]

Ia 型超新星残骸の中心にある伴星を同定する方法

爆発から数 100 年経った Ia 型超新星残骸は自由膨張している大量の鉄を含んでいる。その幾らかは中性で基底状態にあると期待される。もし、残骸の中に取り残された伴星のスペクトルを観測すると、そのスペクトルには星の手前にある中性の鉄による吸収線が可視光領域にも見えるはずであることを見出した。鉄は $\sim 10,000$ km s^{-1} ほどで膨張しているので吸収線は中心波長から青い方にだけ広がる非対称な形に見える。もし、星が残骸の後ろ側にあれば吸収線は中心波長に関して対称になる。従って、吸収線の携帯によって星と残骸の相対的な位置関係が推測できる。我々は、若い超新星が星間物質と衝突

して出す X 線によって鉄がイオン化される過程を定量的に計算し、どれくらいの中性の鉄が残骸中に残っているかを調べ、吸収線の観測可能性や星と残骸の位置関係を調べられるかを実際にある Ia 型と考えられている超新星の残骸について検討している。[65, 87, 99]

軸対称回転白色矮星の角運動量分布と質量

Yoon らが一次元の球対称モデルによって回転白色矮星の進化を角運動量輸送、熱的進化を含めて研究し、論文として出版された。そこで回転の効果を含めた軸対称の白色矮星モデルの構造計算において Yoon らの球対称モデルによる角運動量輸送の計算結果を再現するような回転則を用いた計算を行い、剛体回転とは異なり二次元の計算においても Ia 型超新星の母天体としての白色矮星の質量に有意な差が得られるという結果を得た。[73, 74, 116]

Ia 型超新星の元素合成における金属量依存性

チャンドラセカール質量モデルにもとづいた元素合成計算を、各金属量の progenitor (進化計算の結果ヘリウム燃焼終了時の化学組成) を用いて元素合成計算を行い、各元素の金属量依存性を調べている。これにより、Ia 型超新星の明るさのばらつきの原因追求や、銀河の化学進化の再検討などへの応用が可能になる。金属量の違いは星中の物質の陽子・中性子数の違いとして表れ、金属量が多いほど中性子の割合が多くなる。解析中のデータから、Mn や Ni といった中性子過剰な安定核を主たる同位体にもつ元素は金属量依存性が大きい傾向にある。[114]

2.6 極超新星

Studies on the light curve and spectra of the hypernova SN 2003dh associated with GRB 030329

Maeda (総合文化), Mazzali (Trieste) 他との共同研究。We obtained the net optical light curves and spectra of the hypernova SN 2003dh by subtracting the bulk of the U-band flux from the published spectra of GRB 030329 using early-time afterglow templates. We found that the derived SN 2003dh light curves are narrower than those of SN 1998bw, rising as fast before maximum, reaching a possibly fainter maximum, and then declining about 1.2-1.4 times faster. We built UVOIR bolometric SN light curve and modelled it using a spherical ejecta model of $7+/-3$ Msun, $3.5+/-1.5E52$ ergs and $0.3-0.55$ Msun ^{56}Ni . This suggests a progenitor main-sequence mass of 25-40 Msun, lower than SN 1998bw. [18, 44, 45, 48, 57, 58]

Modelling the late-time spectra of the hypernova SN 1997ef and SN 1997dq

Maeda (総合文化), Mazzali (Trieste) 他との共同研究. We showed that the two hypernovae SNe 1997ef and 1997dq have very similar photometric and spectral evolution and extent the studies of this type of event well into the nebular phase. The spectra of these two SNe did not become fully nebular until 1 year after the explosion. During a long transition phase the SNe developed nebular [O I] and [Ca II] emission, but at the same time they retained an underlying, photospheric-type spectrum. Through modelling the late-time spectrum of SN 1997dq, we found that it produced about 0.16 Msun ^{56}Ni and that a significant fraction this is located in a dense, low-velocity inner region.[15]

Ic 型超新星外層でのジェット形成

Ic 型超新星による爆発直後の外層の加速を球対称を仮定して研究している際、ある速度以上を持った物質の質量がエネルギーのおよそ 3.3 乗に比例することから、爆発エネルギーを非球対称に分布させるとエネルギーが大きい立体角では加速が周囲より、より効率的に起こりジェットの形成にも繋がるのではないかと考え、2次元軸対称の相対論的流体力学コードを構築し調べ、エネルギー分布がベキ乗則からずれ、より高いエネルギーを持った物質の質量が増えることを見いだした。[86, 89]

XRF030723 と関係のある超新星の光度曲線

P. Mazzali (Trieste 天文台), J. Deng (NAOC), 前田 (総合文化) との共同研究. XRF030723 の afterglow 中に超新星によると思われる 'bump' が見つかった。XRF030723 はスペクトル観測を行えず、redshift が分かっていないような X 線フラッシュであったが、同一起源と思われる超新星の光度曲線をさまざまなモデル、redshift を用いて計算し、超新星の特徴をこれまでの超新星と比較することで、redshift、モデルにより制限を与えた。[16, 70, 71, 103]

2.7 大質量星の進化

種族 III の巨大質量星の進化、爆発、元素合成

第一世代の星がどのような質量をもち、どのような進化をたどって、最期を迎えたかということは、銀河初期の元素の起源を探るうえで非常に重要である。銀河ハローの極端な低金属星や、銀河団ガスの重元素比を見ると、太陽組成比とは大きく異なるパターンが見られるものが数多くある。これは、従来の II 型超新星のイールドをベースにした化学進化

モデルでは説明できない。第一世代の星は、金属のないガスの質量降着により、 $300M_{\odot}$ 以上の非常に重い星に成長しうることが示されている。また、放射圧や脈動による質量放出も少ない。もし、このような星が実際に存在して、超新星爆発を起こし、重元素を周りの空間に放出したとすれば、その質量の大きさゆえに銀河初期の化学進化に多大な寄与をしたと考えられる。爆発エネルギーや、爆発により合成される各重元素量も、現在見られるような超新星のものとは異なる可能性がある。そこで、今回は、 $500M_{\odot}$ と $1000M_{\odot}$ の金属のない星について、進化、爆発、元素合成の計算を行った。 $140M_{\odot}$ から $300M_{\odot}$ の星は、酸素燃焼の段階で中心の密度・温度の組合せが電子・陽電子対生成の不安定領域に入り、核反響が暴走して星全体が爆発する Pair Instability Supernovae (PISN) となることが示されている。それに対して、今回の $500M_{\odot}$ と $1000M_{\odot}$ の計算では、電子・陽電子対生成の不安定領域に入っても PISN とはならず、進化が加速されて鉄のコアが形成され、重力崩壊を起こした。また、2次元ジェット状爆発モデル (Maeda et al. 2003) による爆発・元素合成計算の結果、爆発により放出される各重元素質量比が、 $[\text{O}/\text{Fe}] < 0$ 、 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 、 $[\text{Si}/\text{Fe}]$ 、 $[\text{S}/\text{Fe}] > 0$ となり、銀河団ガスの組成を説明できることを示した。銀河ハローの低金属星については、観測値として、 $[\text{O}/\text{Fe}] > 0$ という傾向が報告されているが、これは観測の不定性が大きいため、巨大質量星が化学進化に寄与しているかを結論づけるには、更なる観測データと理論計算が必要である。[42, 56, 68, 69, 115]

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Nakayama, K., & Shigeyama, T., "Self-similar Evolution of Relativistic Shock Waves Emerging from Plane-parallel Atmospheres", 2005, *The Astrophysical Journal*, 627, 310
- [2] Nakamura, K., & Shigeyama, T., "Roles of Supernova Ejecta in Nucleosynthesis of the Light Elements Li, Be, and B", 2004, *The Astrophysical Journal*, 610, 888
- [3] Branch, D., Thomas, R. C., Baron, E., Kasen, D., Hatano, K., Nomoto, K., Filippenko, A. V., Li, W., & Rudy, R. J. 2004, "Direct Analysis of Spectra of the Peculiar Type Ia Supernova 2000cx", *The Astrophysical Journal*, 606, 413-423.
- [4] Deng, J., Kawabata, K. S., Ohya, Y., Nomoto, K., Mazzali, P. A., Wang, L., Jeffery, D.J., Iye, M., Tomita, H., & Yoshii, Y. 2004, "Subaru Spectroscopy of the Interacting Type Ia Supernova SN 2002ic: Evidence of a Hydrogen-rich, Asymmetric Circumstellar Medium", *The Astrophysical Journal*, 605, L37-L40.
- [5] Gal-Yam, A., Moon, D.-S., Fox, D. B., Soderberg, A. M., Kulkarni, S. R., Berger, E., Cenko, S. B., Yost, S., Frail, D. A., Sako, M., Freedman, W. L., Persson, S. E., Wyatt, P., Murphy, D. C., Phillips, M. M., Suntzeff, N. B., Mazzali, P. A.,

- & Nomoto, K. 2004, “The J-band Light Curve of SN 2003lw, Associated with GRB 031203”, *The Astrophysical Journal*, **609**, L59–L62.
- [6] Podsiadlowski, Ph., Mazzali, P. A., Nomoto, K., Lazzati, D., & Cappellaro, E. 2004, “The Rates of Hypernovae and Gamma-Ray Bursts: Implications for their Progenitors”, *The Astrophysical Journal*, **607**, L17–L20.
- [7] Saio, H., & Nomoto, K. 2004, “Off-Center Carbon Ignition in Rapidly Rotating, Accreting Carbon-Oxygen White Dwarfs”, *The Astrophysical Journal*, **615**, 444–449.
- [8] Thielemann, F.-K., Branchwitz, F., Höflich, P., Martinez-Pinedo, G., & Nomoto, K. 2004, “The physics of type Ia supernovae”, *New Astronomy Reviews*, **48**, 605–610.
- [9] Thomas, R. C., Branch, D., Baron, E., Nomoto, K., Li, W., & Filippenko, A. V. 2004, “On the Geometry of the High-Velocity Ejecta of the Peculiar Type Ia Supernova 2000cx”, *The Astrophysical Journal*, **601**, 1019–1030.
- [10] Gerardy, C. L., Höflich, P., Fesen, R. A., Marion, G. H., Nomoto, K., Quimby, R., Schaefer, B. E., Wang, L., & Wheeler J. C. 2004, “SN 2003du: Signatures of the Circumstellar Environment in a Normal Type Ia Supernova?”, *The Astrophysical Journal*, **607**, 391–405.
- [11] Hayakawa, T., Iwamoto, N., Shizuma, T., Kajino, T., Umeda, H., & Nomoto, K. 2004, “Evidence for Nucleosynthesis in the Supernova γ Process: Universal Scaling for p Nuclei”, *Physical Review Letters*, **93**, 161102.
- [12] Höflich, P., Gerardy, C. L., Nomoto, K., Motohara, K., Fesen, R. A., Maeda, K., Ohkubo, T., & Tominaga, N. 2004, “Signature of Electron Capture in Iron-rich Ejecta of SN 2003du”, *The Astrophysical Journal*, **617**, 1258–1266.
- [13] Kawabata, K. S., Maeda, K., Deng, J., Nomoto, K., Mazzali, P. A., Pian, E., Wang, L., Ohyama, Y., & Iye, M. 2004, “Supernova 2003jd”, *IAU Circ.* 8410, 2.
- [14] Malesani, D., Tagliaferri, G., Chincarini, G., Covino, S., Della Valle, M., Fugazza, D., Mazzali, P. A., Zerbi, F. M., D’Avanzo, P., Kalogerakos, S., Simoncelli, A., Antonelli, L. A., Burderi, L., Campana, S., Cucchiara, A., Fiore, F., Ghirlanda, G., Goldoni, P., Götz, D., Mereghetti, S., Mirabel, I. F., Romano, P., Stella, L., Minezaki, T., Yoshii, Y., & Nomoto, K. 2004, “SN 2003lw and GRB 031203: A Bright Supernova for a Faint Gamma-Ray Burst”, *The Astrophysical Journal*, **609**, L5–L8.
- [15] Mazzali, P. A., Deng, J., Maeda, K., Nomoto, K., Filippenko, A. V., & Matheson, T. 2004, “Properties of Two Hypernovae Entering the Nebular Phase: SN 1997ef and SN 1997dq”, *The Astrophysical Journal*, **614**, 858–863.
- [16] Tominaga, N., Deng, J., Mazzali, P. A., Maeda, K., Nomoto, K., Pian, E., Hjorth, J., & Fynbo, J. P. U. 2004, “Supernova light curve models for the bump in the Optical Counterpart of X-Ray Flash 030723”, *The Astrophysical Journal*, **612**, L105–L108.
- [17] Wang, L., Baade, D., Höflich, Peter., Wheeler, J. C., Kawabata, K., & Nomoto, K. 2004, “On the Hydrogen Emission from the Type Ia Supernova SN 2002ic”, *The Astrophysical Journal*, **604**, L53–L56.
- [18] Deng, J., Tominaga, N., Mazzali, P. A., Maeda, K., & Nomoto, K. 2005, “On the Light Curve and Spectrum of SN 2003dh Separated from the Optical Afterglow of GRB 030329”, *The Astrophysical Journal*, **624**, 898–905.
- [19] Frebel, A., Aoki, W., Christlieb, N., Ando, H., Asplund, M., Barklem, P. S., Beers, T. C., Eriksson, K., Fechner, C., Fujimoto, M. Y., Honda, S., Kajino, T., Minezaki, T., Nomoto, K., Norris, J. E., Ryan, S. G., Takada-Hidai, M., Tsangarides, S., & Yoshii, Y. 2005, “Nucleosynthetic signatures of the first stars”, *Nature*, **434**, 871–873.
- [20] Iwamoto, N., Umeda, H., Tominaga, N., Nomoto, K., & Maeda, K. 2005, “The First Chemical Enrichment in the Universe and the Formation of Hyper Metal-Poor Stars”, *Science*, in press.
- [21] Mazzali, P. A., Benetti, S., Stehle, M., Branch, D., Deng, J., Maeda, K., Nomoto, K., & Hamuy, M. 2005, “High-velocity features in the spectra of the Type Ia supernova SN 1999ee: a property of the explosion or evidence of circumstellar interaction?”, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, **357**, 200–206.
- [22] Mazzali, P. A., Kawabata, K. S., Maeda, K., Nomoto, K., Filippenko, A. V., Ramirez-Ruiz, E., Benetti, S., Pian, E., Deng, J., Tominaga, N., Ohyama, Y., Iye, M., Foley, R. J., Matheson, T., Wang, L., & Gal-Yam, A. 2005, “An Asymmetric, Energetic Type Ic Supernova Viewed Off-axis, and a Link to Gamma-Ray Bursts”, *Science*, **308**, 1284–1287.
- [23] Terasawa, T., Tanaka, Y. T., Takei, Y., Kawai, N., Yoshida, A., Nomoto, K., Yoshikawa, I., Saito, Y., Kasaba, Y., Takashima, T., Mukai, T., Noda, H., Murakami, T., Watanabe, K., Muraki, Y., Yokoyama, T., & Hoshino, M. 2005, “Repeated injections of energy in the first 600ms of the giant flare of SGR1806–20”, *Nature* **434**, 1110–1111.
- [24] Umeda, H. & Nomoto, K. 2005, “Variations in the Abundance Pattern of Extremely Metal-poor Stars and Nucleosynthesis in Population III Supernovae”, *The Astrophysical Journal*, **619**, 427–445.

(会議抄録)

- [25] Tsujimoto, T., & Shigeyama, T., "Mass Stripping in Dwarf Spheroidal Galaxies and omega Cen", 2004, IAU Symposium, 217, 384
- [26] Tsujimoto, T., & Shigeyama, T., "Observed Abundance Features and their Implications for Chemical Evolution", 2004, Publications of the Astronomical Society of Australia, 21, 242
- [27] Tsujimoto, T., & Shigeyama, T., "Histories of the Milky Way Dwarf Spheroidal Galaxies and omega Centauri", 2004, Origin and Evolution of the Elements, <http://www.ociw.edu/ociw/symposia/series/symposium4/proceedings.html>
- [28] Tsujimoto, T., & Shigeyama, T., "Star Formation History of Omega Centauri", 2004, Memorie della Societa Astronomica Italiana, 75, 402
- [29] Shigeyama, T., & Tsujimoto, T., "Globular cluster formation from cloud-cloud collisions", 2004, Memorie della Societa Astronomica Italiana, 75, 366
- [30] Nakamura, K., & Shigeyama, T., "Light Elements Produced by Type Ic Supernovae", in *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2003*, eds. M. Terasawa, et al. (Singapore: World Scientific), 446–455.
- [31] Nakamura, K., & Shigeyama, T., "Acceleration of Supernova Ejecta and Light Elements Nucleosynthesis", in *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, eds. K. Sato & S. Nagataki (Tokyo: Universal Academy Press), 457–458.
- [32] Gerardy, C. L., Fesen, R. A., Marion, G. H., Höflich, P., Wheeler, J. C., Nomoto, K., Motohara, K. 2004, "Near-Infrared Spectroscopy of Stripped-Envelope Supernovae", in *Cosmic Explosions in Three Dimensions: Asymmetries in Supernovae and Gamma-Ray Bursts*, eds. P. Höflich, P. Kumar, & J. C. Wheeler (Cambridge: Cambridge University Press), 57–63.
- [33] Gerardy, C. L., Höflich, P., Fesen, R. A., Marion, G. H., Nomoto, K., Quimby, R., Schaefer, B. E., Wang, L., & Wheeler J. C. 2004, "SN 2003du: Signatures of the Circumstellar Environment in a Normal Type Ia Supernova?", American Astronomical Society Meeting 204, #63.08.
- [34] Maeda, K., & Nomoto, K. 2004, "Nucleosynthesis in Aspherical Supernovae and Implications for the Early Galactic Chemical Evolution", in *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, eds. K. Sato & S. Nagataki (Tokyo: Universal Academy Press), 435–436.
- [35] Maeda, K., Nomoto, K., Deng, J., & Mazzali, P.A. 2004, "Asymmetry Effects in Hypernovae", in *Cosmic Explosions in Three Dimensions: Asymmetries in Supernovae and Gamma-Ray Bursts*, eds. P. Höflich, P. Kumar, & J. C. Wheeler (Cambridge: Cambridge University Press), 244–254.
- [36] Mazzali, P. A., Nomoto, K., Deng, J., Maeda, K., & Tominaga, N. 2004, "Evidence for Asphericity in Hypernova Explosions", *Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplement*, 5, 172–177.
- [37] Nomoto, K., Maeda, K., Mazzali, P. A., Umeda, H., Deng, J., & Iwamoto, K. 2004, "Hypernovae and Other Black-Hole-Forming Supernovae", in *Stellar Collapse*, ed. C. L. Fryer (Dordrecht: Kluwer), 277–325.
- [38] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Tominaga, N., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2004, "Population III Supernovae and their Nucleosynthesis", *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 75, 312–321.
- [39] Nomoto, K., Maeda, K., Tominaga, N., Ohkubo, T., Umeda, H., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2004, "Hypernovae: Their Properties and Gamma-Ray Burst Connections", *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 155, 299–302.
- [40] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Tominaga, N., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2004, "Nucleosynthesis in Black Hole-forming Supernovae and Abundance Patterns of Extremely Metal-poor Stars", in *Carnegie Observatories Astrophysics Series, Vol. 4: Origin and Evolution of the Elements*, eds. A. McWilliam & M. Rauch (Pasadena: Carnegie Observatories, <http://www.ociw.edu/ociw/symposia/series/symposium4/proceedings.html>)
- [41] Nomoto, K., Suzuki, T., Deng, J., Uenishi, T., Hachisu, I., & Mazzali, P.A. 2004, "Circumstellar Interaction of Type Ia Supernova SN 2002ic", in *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, eds. K. Sato & S. Nagataki (Tokyo: Universal Academy Press), 323–330.
- [42] Ohkubo, T., Umeda, H., Maeda, K., & Nomoto, K. 2004, "Evolution and Explosion of Pop III Super-Massive Stars", in *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, eds. K. Sato & S. Nagataki (Tokyo: Universal Academy Press), 463–464.
- [43] Nomoto, K., Umeda, H., Maeda, K., Ohkubo, T., & Tominaga, N. 2004, "Nucleosynthesis in Black-Hole-Forming Supernovae at High z ", American Astronomical Society Meeting 204, #34.02.
- [44] Tominaga, N., Deng, J., Maeda, K. 2004, "The energetic explosion model of SN2003dh/GRB030329", in *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, eds. K. Sato & S. Nagataki (Tokyo: Universal Academy Press), 509–510.
- [45] Tominaga, N., Deng, J., Maeda, K., Umeda, H., Nomoto, K., Mazzali, P. A., & Kawabata, K. 2004, "Properties of Hypernova SN2003dh associated with GRB 030329", *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 155, 433–434.

- [46] Uenishi, T., Suzuki, T., Nomoto, K., & Hachisu, I. 2004, “A circumstellar interaction model for SN 2002ic”, in *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (Serie de Conferencias) Vol. 20. IAU Colloquium 194, Compact Binaries in the Galaxy and Beyond*, eds. G. Tovmassian & E. Sion (Mexico City: Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México), 219.
- [47] Wang, L., Wheeler, J. C., Baade, D., Hoefflich, P., Kawabata, K., & Nomoto, K. 2004, “Spectroplrimetry and 3-D structures of Supernovae”, American Astronomical Society Meeting 205, #71.17.
- [48] Deng, J., Mazzali, P.A., Tominaga, N., Maeda, K., Nomoto, K., Matheson, T., Kawabata, K. S., Stanek, K. Z., & Garnavich, P. M. 2005, “Properties of Hypernova SN 2003dh/GRB 030329”, in *New Horizon of Gamma-Ray Burst Astronomy*, eds. N. Kawai & T. Nakamura (Tokyo: Riken), in press.
- [49] Hoefflich, P., Baade, D., Fesen, R., Gerardy, C., Kawabata, K., Khokhlov, A., Maeda, K., Motohara, K., Nomoto, K., Patat, F., Tominaga, N., Wang, L., & Wheeler, J. C. 2005, “3D Signatures of off-center Delayed-Detonation Models”, American Astronomical Society Meeting 206, #27.07.
- [50] Kusakabe, M., Iwamoto, N. & Nomoto, K. 2005, “p-Process Nucleosynthesis in the Carbon Deflagration Model for Type Ia Supernovae”, Nuclear Physics A, in press.
- [51] Mazzali, P. A., Nomoto, K., Deng, J., Maeda, K., Iwamoto, K., Filippenko, A. V., & Foley, R. T. 2005, “SN 1998bw and Other Hyperenergetic Type Ic Supernovae”, in *IAU Colloquium 192: Cosmic Explosions: On the 10th Anniversary of SN1993J*, eds. J. M. Marcaide, & K. W. Weiler (Berlin: Springer), 391–402.
- [52] Mazzali, P. A., Nomoto, K., Deng, J., Maeda, K., & Tominaga, N. 2005, “Hypernovae and Gamma-Ray Bursts”, in *The Fate of the Most Massive Stars*, eds. R. Humphreys & K. Stanek (San Francisco: Astronomical Society of the Pacific), 396.
- [53] Nomoto, K., Maeda, K., Tominaga, N., Ohkubo, T., Umeda, H., Deng, J., & Mazzali, P.A. 2005, “Aspherical Explosions of Hypernovae-Light Curves and Nucleosynthesis”, in *New Horizon of Gamma-Ray Burst Astronomy*, eds. N. Kawai & T. Nakamura (Tokyo: Riken), in press.
- [54] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Tominaga, N., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2005, “Nucleosynthesis in Black-Hole-Forming Supernovae”, in *IAU Colloquium 192: Cosmic Explosions: On the 10th Anniversary of SN1993J*, eds. J. M. Marcaide, & K. W. Weiler (Berlin: Springer), 287–296.
- [55] Nomoto, K., Tominaga, N., Umeda, H., Maeda, K., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2005, “Hypernovae, Black-Hole-Forming Supernovae, and First Stars”, in *The Fate of the Most Massive Stars*, eds. R. Humphreys & K. Stanek (San Francisco: Astronomical Society of the Pacific), 384.
- [56] Ohkubo, T., Umeda, H., Nomoto, K., & Yoshida, T. 2005, “Evolution, Explosion and Nucleosynthesis of Pop III Super-Massive Stars”, in *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2003*, eds. M. Terasawa, et al. (Singapore: World Scientific), 175–184.
- [57] Tominaga, N., Deng, J., Maeda, K., Umeda, H., Nomoto, K., Mazzali, P. A., & Kawabata, K. 2005, “A Hypernova Model for SN2003dh/GRB030329”, in *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2003*, eds. M. Terasawa, et al. (Singapore: World Scientific), 326–335.
- [58] Tominaga, N., Deng, J., Maeda, K., Umeda, H., Nomoto, K., Mazzali, P. A., & Kawabata, K. 2005, “A light curve model for SN2003dh associated with GRB030329”, in *New Horizon of Gamma-Ray Burst Astronomy*, eds. N. Kawai & T. Nakamura (Tokyo: Riken), in press.
- [59] Tominaga, N., Umeda, H., Iwamoto, N., Maeda, K., & Nomoto, K. 2005, “Nucleosynthesis in Population III Supernovae and Abundance Patterns of Extremely Metal-Poor Stars”, in *Recent Advances in Astrophysics and Planetary Science — from the early universe to the Solar system —*, eds. A. Habe, T. Kozasa, & K. Kuramoto (Sapporo: Hokkaido University), 16–17.
- [60] Yoshida, T., Umeda, H., & Nomoto, K. 2005, “Silicon Isotopic Ratios of Presolar Grains from Supernovae”, *Lunar and Planetary Science XXXVI*, 1556–1557.

(国内雑誌)

- [61] 上西達大, 野本憲一: 「ティコの超新星の正体 400年の時を超えた出会い」, 科学, 75, 4, 405–407 (2005)
- [62] 野本憲一: 「超新星で探るダークエネルギー」, 第18回「大学と科学」公開シンポジウム「ビッグバン宇宙の誕生と未来」収録, クパブプロ, 96–107 (2005)
- [63] 野本憲一: 「白色矮星と特殊相対性理論」(世界物理年 2005: 私にとってアインシュタインとは), 科学, 75, 3, 348–349 (2005)

(学位論文)

- [64] 富永 望: Relativistic Jets in Population III Supernovae and Nucleosynthesis Signature in Hyper Metal-Poor Stars (修士論文)
- [65] 尾崎 仁: Ion Distributions in Young Type Ia Supernova Remnants (修士論文)

< 学術講演 >

(国際会議)

一般講演

- [66] Chan, S. T., Nakasato, N., & Nomoto, K.: “Dynamical Modeling of NGC 4038/39 (The Antennae)”, East-Asia Numerical Astrophysics Meeting, Mitaka, Japan, 2004/11/30–12/02.
- [67] Kusakabe, M., Iwamoto, N., & Nomoto, K.: “p-Process Nucleosynthesis in the Carbon Deflagration Model for Type Ia Supernovae”, The 8th international symposium on Nuclei in the Cosmos, Vancouver, B. C., Canada, 2004/07/19–23.
- [68] Ohkubo, T., Umeda, H., Maeda, K., & Nomoto, K.: “Explosion and Nucleosynthesis of Very-Massive Stars and Origin of Intermediate-Mass Black Hole”, Post-Nishinomiya-Yukawa Symposium, Kyoto, Japan, 2004/11/04–06.
- [69] Ohkubo, T., Umeda, H., Maeda, K., & Nomoto, K.: “Explosion and Nucleosynthesis of Very-Massive Stars and Origin of Intermediate-Mass Black Hole”, East-Asia Numerical Astrophysics Meeting, Mitaka, Japan, 2004/11/30–12/02.
- [70] Tominaga, N., Deng, J., Mazzali, P. A., Maeda, K., & Nomoto, K.: “Supernova light curve models for the bump in the afterglow of X-Ray Flash 030723”, Post-Nishinomiya-Yukawa Symposium, Kyoto, Japan, 2004/11/04–06.
- [71] Tominaga, N., Deng, J., Mazzali, P. A., Maeda, K., & Nomoto, K.: “Calculation of Supernova Light Curves: Application to a supernova bump in X-Ray Flash 030723”, East-Asia Numerical Astrophysics Meeting, Mitaka, Japan, 2004/11/30–12/02.
- [72] Tominaga, N., Umeda, H., Iwamoto, N., Maeda, K., & Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in Population III Supernovae and Abundance Patterns of Extremely Metal-Poor Stars”, Recent Advances in Astrophysics and Planetary Science — from the early universe to the Solar system —, Sapporo, Japan, 2005/03/01–02.
- [73] Uenishi, T.: “Axisymmetric Models of Presupernova Rotating White Dwarfs”, 1604-2004 Supernovae As Cosmological Lighthouses, Padua, Italy, 2004/06/16–19.
- [74] Uenishi, T.: “Rotation of Accreting White Dwarfs in Axisymmetric Models”, Type Ia Supernovae and Cosmology, Seattle, USA, 2004/08/04–06.
- [75] Umeda, H.: “Stellar yields from massive stars”, ESO/Arcetri Conference on Chemical Abundances and Mixing in Stars in the Milky Way and its Satellites, Castiglione della Pescaia, Italy, 2004/09/13–17.
- [76] Yoshida, T., Umeda, H., & Nomoto, K.: “Silicon Isotopic Ratios of Presolar Grains from Supernovae”, 36th Annual Lunar and Planetary Science Conference, Texas, USA, 2005/03/14–18.

招待講演

- [77] Nomoto, K.: “Very Energetic Supernovae (Hypernovae)”, The Fate of the Most Massive Stars, Wyoming, USA, 2004/5/23–28.
- [78] Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in Black-Hole-Forming Supernovae at High z ”, special session: Detecting the First Stars and AGN, 204th American Astronomical Society, Colorado, USA, 2004/5/30–6/2.
- [79] Nomoto, K.: “Progenitors of Type Ia Supernovae”, 1604-2004 Supernovae As Cosmological Lighthouses, Padua, Italy, 2004/06/16–19.
- [80] Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in Hypernovae”, The Supernova and Gamma-Ray Burst Connection, Institute for Nuclear Theory, Univ. of Washington, Seattle, USA, 2004/07/12–14.
- [81] Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in Hypernovae and Abundance Patterns of Extremely Metal-Poor Stars”, The 8th International Symposium on Nuclei in the Cosmos, Vancouver, Canada, 2004/07/18–23.
- [82] Nomoto, K.: “The Progenitors of Type Ia Supernovae” Type Ia Supernovae and Cosmology, Institute for Nuclear Theory, Univ. of Washington, Seattle, USA, 2004/08/04–06.
- [83] Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in Hypernovae”, Chemical Enrichment of the Early Universe, Santa Fe, USA, 2004/08/09–13.
- [84] Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in the First Supernovae and the Abundance Patterns of Extremely Metal-Poor Stars”, Post-Nishinomiya-Yukawa Symposium, Kyoto, Japan, 2004/11/04–06.
- [85] Nomoto, K.: “Properties of Hypernovae and the GRB-SN Connection”, International Workshop on Particles and Radiation from Cosmic Accelerators, Chiba Univ., Chiba, Japan, 2005/03/02–04.

(国内会議)

一般講演

- [86] 中村 航; 「軽元素合成における Ic 型超新星の役割」, 第 16 回理論天文学懇談会シンポジウム「Origin – 起源– ビッグバンから生命へ」, 2004/01/06–08
- [87] 中村航; 「Ic 型超新星爆発による星の外層の加速と軽元素合成」, ビッグバン宇宙国際研究センター第 2 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会, 油壺観光ホテル, 神奈川県三浦市三崎町, 2004/08/06–08.
- [88] 尾崎仁; 「爆発後数百年の Ia 型超新星残骸に含まれる Fe I による吸収」, ビッグバン宇宙国際研究センター第 2 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会, 油壺観光ホテル, 神奈川県三浦市三崎町, 2004/08/06–08.

- [89] 中村 航; 「非球対称な Ic 型超新星爆発による外層の加速」, ビッグバン宇宙国際研究センター第 3 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会, 国民休暇村 館山, 千葉県館山市見物 725, 2005/02/17-19.
- [90] 上西達大; 「Ia 型超新星の母天体としての回転白色矮星の進化」, 恒星物理学の新展開, 京都大学基礎物理学研究所, 2005/03/07-08.
- [91] 上西達大; 「星の回転・超新星の明るさ・宇宙の膨張」, 理学系研究科 21 世紀 COE 合同シンポジウム, 東京大学理学部, 2005/03/07-08.
- [92] 梅田秀之; 「超新星および極新星での元素合成と原子核反応」, 日本物理学会第 60 回年次大会, シンポジウム; 宇宙核物理学の新展開, 東京理科大学野田キャンパス, 2005/03/24.
- [93] 鈴木知治; 「Ia 型超新星 SN2002ic の光度曲線の理論モデル」, ビッグバン宇宙国際研究センター第 2 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会, 油壺観光ホテル, 神奈川県三浦市三崎町, 2004/08/06-08.
- [94] 富永望; 「種族 III 超新星の相対論的ジェットと超低金属星の元素合成的特徴」, 「重力崩壊型超新星を舞台とする様々な高エネルギー物理現象」研究会, 東京大学理学部, 2005/02/02-04.
- [95] 野本憲一; 「Explosive Nucleosynthesis and Hyper Metal-Poor Stars」, 「重力崩壊型超新星を舞台とする様々な高エネルギー物理現象」研究会, 東京大学理学部, 2005/02/02-04.
- [96] 吉田敬, 梅田秀之, 野本憲一; 「超新星における Si 合成と Si 同位体比」, 日本惑星科学会 2004 年秋期講演会 札幌市青少年科学館, 2004/10/14-16.
- [97] 吉田敬, 梅田秀之, 野本憲一; 「超新星における Si 合成と超新星起源グレインの Si 同位体比」, 「地球外起源固体微粒子に関する総合研究」に関する小研究会, 東京大学宇宙線研究所, 2004/09/03.
- [98] 吉田敬, 梅田秀之, 野本憲一; 「超新星元素合成から得られる Si 同位体比」, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会, 幕張メッセ国際会議場, 2004/05/09.
- ・日本天文学会 2004 年秋季年会、岩手大学、2004/9/21-23
- [99] 中村 航, 茂山 俊和; 「非球対称な Ic 型超新星爆発における外層の加速」, H26a
- [100] 尾崎 仁, 茂山俊和; 「爆発後数百年の Ia 型超新星残骸に含まれる Fe I による吸収」, H27a
- [101] 中里直人, 茂山俊和, 辻本拓司, 吉井謙; 「非一様化学進化を考慮した SPH 法による銀河進化モデル」, R27a
- [102] 大久保琢也, 梅田秀之, 前田啓一, 野本憲一; 巨大質量星の爆発・元素合成と中間質量ブラックホールの起源, H34a
- [103] 富永望, J. Deng, 野本憲一, 前田啓一, P. A. Mazzali; X 線フラッシュ 030723 の残光中に発見された増光の超新星モデル, H19a
- [104] 吉田敬, 梅田秀之, 野本憲一; 超新星における Si 同位体比, H33a.
- ・日本天文学会 2005 年春季年会、明星大学、2004/3/28-30
- [105] 中村 航, 茂山 俊和; 「相対論的 2 次元 PPM コードを用いた非球対称な Ic 型超新星爆発の解析」, H26a
- [106] 尾崎 仁, 茂山 俊和; 「球対称モデルでの Ia 型超新星残骸中のイオンの分布と Fe I による吸収」, H28a
- [107] 岩本信之, 梅田秀之, 富永望, 野本憲一, 前田啓一; 種族 III 大質量星における Na・Al の合成と金属欠乏星の元素組成, H32a.
- [108] 上西達大, 斉尾秀行, 野本憲一; 回転を加味した Steady-Burning による Ia 型超新星の母天体モデル, H20b
- [109] 富永望, 梅田秀之, 野本憲一; 極端な金属欠乏星の元素組成と種族 III 超新星の爆発エネルギー, H31a
- (セミナー)
- [110] 中村 航; 「Ic 型超新星爆発による星の外層の加速と軽元素合成」, 早稲田大学理論宇宙物理研究室セミナー, 2004/10/08
- [111] 茂山俊和; 「星の元素組成から見た銀河進化と元素合成の現場」, 東大天文学教育センター談話会, 2004/11/04
- [112] Nomoto, K.: “Diversities of Type Ia Supernovae”, Seminar, Stockholm Observatory, Sweden, 2004/08/24.
- [113] Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in Supernovae and the Origin of Elements”, UT Forum 2004, Lund/Stockholm/Uppsala, Sweden, 2004/08/21-28.
- [114] Ohkubo, T.: “Nucleosynthesis by SNe Ia for Different Metallicities”, UT Forum 2004, Lund/Stockholm/Uppsala, Sweden, 2004/08/21-28.
- [115] Ohkubo, T.: “Very-Massive Stars over $300M_{\odot}$ as First Generation Stars”, UT Forum 2004, Lund/Stockholm/Uppsala, Sweden, 2004/08/21-28.
- [116] Uenishi, T.: “Rotation of White Dwarf and Diversity of Type Ia Supernovae”, UT Forum 2004, Lund/Stockholm/Uppsala, Sweden, 2004/08/21-28.

3 可視光近赤外観測

——活動銀河核の多波長モニター観測
(MAGNUM) プロジェクト——(吉井・
峰崎)

自動観測および遠隔観測監視システムの信頼性の向上に力を入れ、とくに老朽化したドームによるトラブルが増えて来たため大規模な改修を行なった。さらに観測効率を向上させるための作業に着手した。

MAGNUM 望遠鏡が設置されているドームは設置後四半世紀を経過して老朽化が問題となっていた。強い風雨のときには雨漏りがひどく望遠鏡主鏡に水滴がかかることもあり、突然の故障とその修理のため長期の観測中断を余儀なくされることが増えていた。こういった事情を鑑みドームの大規模な改修を決断した。改修は大規模であったため中断した観測の復旧までに多少手間取ったものの、雨漏りは完全になくなりドームの動作も明らかにスムーズになった。ドーム故障による観測中断回数も今後は激減すると期待している。

山頂までのネットワーク回線が細いため MAGNUM で実現している遠隔観測システムは現地で独立して動作する無人自動観測システムと、それらの動作を監視し必要であれば観測監視担当者に警告を知らせる遠隔観測監視システムより成り立っている。遠隔観測監視システムの目的は観測監視担当者の労力を削減しつつ観測の重要な不調を見逃さないようにすることにある。長期間の観測遂行においては当初想定していなかったようなトラブルも生じたが、それらにひとつひとつ対応していくことで遠隔観測監視システムの精密化をすすめてきた。また遠隔対応不可能なトラブルについてはメンテナンス作業によって修理または予防措置を施して信頼性の向上に努めている。この結果、現在では二ヶ月間の連続した期間にわたって現地完全無人・自動観測遠隔監視による観測遂行に成功している。また観測システムの安定化に伴って観測システムの細かい部分に手を入れ、観測効率を向上させるための作業に着手した。観測シークエンスを見直すことで CCD 画像撮像ごとのデッドタイムを 2/3 に減少させることに成功した。

その他、解析ソフトウェアの開発や通常の活動銀河核の長期モニター観測とは異なる観測に対応するため観測システムの改良なども行なった。

3.1 低光度セイファート銀河 NGC4395 の可視赤外線日内 変光の観測

近傍活動銀河核 NGC4395 は絶対光度 $M_B \approx -10.7$ mag とたいへん暗いが、Seyfert 1 的な広幅輝線をもち、最も光度が小さいセイファート 1 型活動銀河核とされるユニークな天体である。いくつかの方法によって見積もられたブラックホール質量は $M_{BH} \sim 10^{4-5} M_\odot$ と活動銀河核としてはかなり小さく、さらに X 線、可視光、近赤外線において速い変光現象が観測されており、とくに X 線においては 2000 sec という短いタイムスケールの変光現象が報告されている。

われわれは 2004 年 5 月 1 日に NGC4395 活動銀河核の集中的なモニター観測を行ない、約 6 時間の観測で可視 V バンド 60 点、近赤外線 J, H, K バンドそれぞれ 20 点の測光データを取得し、V, J, H バンドにおいて増光 減光 増光という数時間スケールでの変光現象を検出した。変光は各バンド間でほぼ同期しており、変動幅は V バンドでは約 0.07 mag、J, H バンドで約 0.03 mag であった。ただし測光アパーチャ内の母銀河による放射を差し引いていないため活動銀河核の変光幅としてはこれは下限値となる。この短いタイムスケールの変光現象は、降着円盤が近赤外線を放射する低温まで広がっており、かつ中心の狭い領域からの X 線放射の変動が標準的な降着円盤を照らして可視近赤外線変光を引き起こしていると解釈できる。

いっぽうで K バンドで変光は検出できなかった。これは NGC4395 活動銀河核の K バンド放射がダストオーラスからの熱放射であり、それが空間的に広がった構造をもつため短いタイムスケールの変光は平均化されて検出できないと解釈できる。

3.2 超新星やガンマ線バースト可 視赤外線残光の多波長モニ ター観測

MAGNUM 望遠鏡を用いて活動銀河核のモニター観測以外にもいくつかの観測を行なっている。ここに超新星およびガンマ線バースト残光の観測についてまとめて報告する。

超新星 SN2002ic の多波長モニター観測を継続するとともに、あらたに SN2004dj の多波長モニター観測を開始した。SN2004dj は日本人の板垣公一氏が発見したもの (IAUC8377) でここ数年で見かけの明るさがもっとも明るい超新星である。

Hete-2 衛星によって検出されたガンマ線バースト天体 GRB041006 の可視 (R バンド) および近赤外線 (H, K バンド) の残光観測をおよそ一日後に行ない、残光現象の検出に成功した。このガンマ線バースト

について近赤外線波長域において残光検出に成功したのは我々のグループのみである。

Swift 衛星が 2004 年 11 月に打ち上がり、ガンマ線バースト天体の検出数が飛躍的に増大することが期待されている。そこでハワイ大学と共同で Swift 衛星によって検出されたガンマ線バースト天体の残光の可視近赤外線多波長観測するプロジェクトを立ち上げた。ガンマ線バースト天体発見の報告ののち速やかに自動的に観測を開始するために観測プログラムの改良を行なった。

3.3 1型活動銀河核の可視赤外波長域における変動成分解析

活動銀河核の中心には降着円盤があり、その周りをダストオーラスがとりまいていて中心降着円盤によって暖められていると考えられている。降着円盤の放射は可視/UV 光のほとんどを占め、またダストオーラスからの放射は赤外線波長域において最も強い。しかし、赤外波長域には他にも降着円盤からの放射が存在する可能性がある。さらに、ダストオーラスの温度には半径依存性があると期待されており、即ちダストオーラスからの放射変動には波長依存性があると考えられている。そのため、正確なダストオーラスからの放射変動を得るためには、降着円盤の赤外線放射と、ダストオーラスの温度構造に起因する赤外バンド間時間遅延の影響を考慮に入れる必要がある。

この問題に対する有効な解析方法はこれまで知られていなかったが、今回重回帰分析の手法を用いて、赤外波長域の変動成分を、降着円盤とダストオーラスの各成分に分離する方法を新たに考案した。この解析では、降着円盤の可視赤外カラーとダストオーラスの赤外カラー、そしてダストオーラスからの放射変動の赤外バンド間時間遅延を得ることができる。

MAGNUM プロジェクトから得られた高精度多波長光度曲線のデータから、この方法が有効であることを確認し、解析の結果、降着円盤とダストオーラスの正確なスペクトルを得ることができた。それぞれのスペクトルは円盤が赤外線を放射する領域まで広がって存在していることを示し、ダストオーラスはダストが昇華する温度以上では存在しない事が分かった。今回考案した解析方法や、得られた活動銀河核の放射変動の情報により、MAGNUM プロジェクトが観測的目標としている中心降着円盤とダストオーラスからの放射の変動時間遅延をより正確に得ることが可能になった。

3.4 RXJ2138.2+0112 における可視赤外変動時間遅延の検出

MAGNUM プロジェクトが目指す宇宙論パラメータの決定のためには、宇宙論的遠方にある活動銀河

核について降着円盤からの放射変動とダストオーラスからの放射変動を長期間観測する必要がある。遠方におけるこのような観測は天体が遠方にあるため非常に暗く見える事と、赤方偏移による時間遅延効果のため膨大な観測時間を必要とする事から大変困難で、唯一 $z=0.165$ にある GQ Comae を除いて、これまで観測されてきた活動銀河核の赤方偏移は 0.05 程度以下に留まっていた。

MAGNUM プロジェクトでは、専用の望遠鏡、観測装置を用いることによって、この困難な観測を可能にした。これまで観測を行ってきた中から今回、これまでの可視赤外変動時間遅延観測の最遠方記録を大幅に更新する $z=0.35$ にある RXJ2138.2+0112 において 200 日の可視と赤外線の変動時間遅延を発見した。3.3 の研究から得られた降着円盤のスペクトルを赤外波長域の観測 flux から差し引いたところ、赤外 JHK バンドでのスペクトルは、ダストの昇華温度に相当する黒体放射スペクトルに一致した。この事から、観測した可視-赤外変動時間遅延は、中心降着円盤とダストオーラス内縁の間の距離に相当したものと考えることができる。観測した可視赤外時間遅延と中心光度の関係は、近傍活動銀河核についての関係と一致することがわかった。この事は、ダスト反響モデルが宇宙論的距離にある天体においても成立することを示した事になる。

3.5 北黄極領域における遠方 ($z \geq 1$) 活動銀河核のモニター観測

活動銀河核までの距離を測定し、 Ω_0 , Λ_0 などの宇宙論パラメーター、暗黒エネルギーを精査することは、MAGNUM 計画のもっとも重要な目標の一つである。MAGNUM 計画における距離決定は、活動銀河核から放射される可視光および近赤外線の変動の時間差を測定することによって行う。活動銀河核までの距離から宇宙論パラメーターなどを決めるさいには、遠方 ($z \geq 1$) の天体を利用できれば非常に有利である。しかし遠方活動銀河核から放射された近赤外線は、中間赤外域に赤方偏移して観測されるため、地上からの精密な変光観測はたいへん困難である。

そこで我々は MAGNUM 望遠鏡と、2006 年初頭の打ち上げにむけて準備が進められている赤外線天文衛星 ASTRO-F を併用することで、遠方活動銀河核をも距離決定の対象とする研究を開始した。本研究では、可視光放射成分を MAGNUM 望遠鏡で観測し、近赤外線放射成分を ASTRO-F が担当する構想となっている。

サーベイヤーである ASTRO-F でモニター観測を行うため、観測天体は周回軌道の極にあたる北黄極領域に分布する、X 線観測衛星 ROSAT によって見つかったものから選んだ。本研究では MAGNUM 望遠鏡を用いて、これまでに計 15 天体について、可視波長域で先行モニター観測した。その結果、大半の活動銀河核において、これまで知られていた弱電波活動銀河核における変光の特徴と整合する (MAGNUM による距離決定に適している)、有意な変光を検出す

ることができた。この先行モニター観測は、観測天体の追加を含む取舍選択や観測条件の調整を行いながら、現在も継続している。

本研究をもとに、MAGNUM と ASTRO-F を併用した活動銀河核の多波長モニター観測を ASTRO-F Mission Program として提案中である。

3.6 MAGNUM 望遠鏡による Ia 型超新星 SN2004bd の観測

2004 年 4 月、活動銀河核 Markarian744 (NGC3786) に、Ia 型超新星 SN2004bd が出現した。Markarian744 は、MAGNUM プロジェクトで行なわれている活動銀河核測光モニター観測の対象天体であり、同時期のモニター観測データから SN2004bd の可視および赤外波長域の変光曲線を得ることができた。

Ia 型超新星に関しては、可視変光曲線の形状から絶対光度を精度よくきめられることが知られており、このことを用いて超新星の距離を推定することができる。この手法は、信頼度の高い距離推定法として認知されている。MAGNUM プロジェクトでは、活動銀河核の可視赤外変光遅延時間と可視絶対光度の相関から独自の距離指標を得ることを目的としているが、観測対象となっている活動銀河核の距離を Ia 型超新星から独立に決めることができれば、変光遅延と絶対光度の相関の正しさを確認することができる。また、超新星による距離の推定が十分な精度をみたしていれば、変光遅延と絶対光度の相関のキャリブレーションを行なうことも可能である。以上のような目的で、SN2004bd の距離の推定を行なった。

超新星の距離推定は、Multicolor Light Curve Shape method (MLCS, e.g. Riess et al. 1996) に従って行なった。これは、可視 B,V,R,I の測光帯域で得られた変光曲線とカラー曲線を、最小 2 乗法によってテンプレートとなる曲線にフィットし、超新星の絶対光度を求めるものである。今回の観測では、B,V,I の 3 バンドにおいて、のべ 16 個の測光データが得られた。この 16 個からなる可視変光曲線に、MLCS 法によるフィットを適用したところ、SN2004bd の距離指数は 33.3 ± 0.1 等であるという結果が得られた。これは、これまでの MAGNUM プロジェクトによる観測によって示される、変光遅延と絶対光度の相関に基づいた Markarian744 の距離指数の推定とほぼ一致するものであった。このことにより、活動銀河核の可視赤外変光遅延と可視絶対光度の相関関係を支持するひとつの根拠を示すことができた。

3.7 超金属欠乏星 HE1327-2326 の有効温度の決定

金属量の少ない星は宇宙初期に生まれた星であり、宇宙で最初の星形成プロセスや元素の起源の研究の

ために重要である。

国立天文台などの研究者によるグループの観測により非常に鉄組成の少ない星 HE1327-2326 が発見された。さらにすばる望遠鏡などを用いた観測により、この星の鉄組成はこれまで知られているなかでもっとも少ない可能性がでてきた。この星の金属量を精確に求めるためには星の有効温度を決定する必要となり、そのためには高精度の多波長測光が必要不可欠である。

そこで MAGNUM 望遠鏡を用いて可視 5 バンド (U,B,V,R,I) の高精度の多波長測光観測を行ない、この結果有効温度の誤差を 100 K 以下に抑えることができた。これを利用して鉄組成を求めた結果、この星の鉄組成は太陽の 25 万分の一と、これまで知られている星のなかで最も少ないことが判明した。

3.8 四重像重力レンズクエーサの中間赤外線撮像とダークマター

冷たい暗黒物質 (コールドダークマター) に基づく構造形成のシナリオは宇宙の大きな空間スケールの構造を良く説明できる一方で、個々の銀河にわたる小空間スケールの構造においては未だ不明な点が存在する。その一つにコールドダークマター理論から期待される小質量のハローに比べて銀河系周囲に観測される伴銀河の数が圧倒的に少ないという問題がある。この問題を解明する糸口として重力レンズクエーサーの多重像間のフラックス比に着目する研究がある。すなわち重力レンズ像の視線上のレンズ銀河になんらかの質量が存在すれば多重像間のフラックス比を変化させるため、小質量ダークマターハローが検出可能になる。

そこで我々はすばる望遠鏡の中間赤外線観測装置 COMICS を用いて、重力レンズクエーサー PG1115+080 と B1422+231 の中間赤外線 (11.7 μ m) 撮像観測を行なった。中間赤外線によるフラックス比の研究はレンズ銀河による視線上の減光の影響を受けない、放射源が空間的にやや広がったダストौरラスであるためレンズ銀河中の星による影響はうけずダークマターハロースケールの質量を検出するのに適しているなどの長所がある。これまでの可視および近赤外線での観測を合わせた結果、PG1115+080 においては星ないし非常に小さいダークマターハローの影響を示唆するのに対し、B1422+231 においては小質量ダークマターハローが存在すると考えられる。

3.9 低質量ダークハローの質量関数

質量関数はダークハローの統計量のなかでも最も重要なものの一つである。そのため、幾つかの理論

モデルが提案されたが、なかでも Press & Schechter 等によって提案されたモデルは、宇宙論的シミュレーションの結果を定性的に再現することができたため、広く受け入れられてきた。そして、個々のハローの合体系譜を計算できるように拡張された拡張 Press & Schechter モデルは、いわゆる準解析的銀河モデルとして広く用いられている。一方、定量的にシミュレーションの結果を再現できるような Press & Schechter モデルの拡張も多くの人達によって試みられてきた。そのなかでも、Sheth & Tormen によって提案されたモデルは、計算結果を定量的に良く再現できている。しかし、Jenkins 等は Sheth & Tormen とは異なるシミュレーション結果を出してきた。そこで、我々は、両者の違いが顕著にあらわれていた低質量ハローの質量関数を詳細に調べることとした。まず、我々は、今迄開発してきた Adaptive Mesh Refinement 法を用いた並列 N 体シミュレーションコードを使い、35 から $140h^{-1}\text{Mpc}$ 立方の領域における 512^3 体計算を五回行なった。次に、その 529 に上る出力ファイルを Friends-of-friends 法で計算した。その結果、我々のシミュレーションは Sheth & Tormen のモデルを支持するものであったが、シミュレーション結果をよりよく再現できるモデルを提案した。

3.10 銀河形成の準解析的手法に基づく「数値銀河カタログ」の構築

多くの理論、観測に基づき、冷たいダークマター (CDM) に基づく宇宙モデルがほぼ確立した。それに伴い、銀河などの宇宙に於ける構造の形成過程を議論するためには、CDM モデルが予言する階層的な構造形成過程、即ち大きい天体は既に形成されている小さい天体同士の合体により形成されるというシナリオを考慮することが必須となりつつある。そこで、これまでの現象論的な銀河形成シナリオに代わり、CDM 構造形成に基づきより本質的なレベルからの銀河形成過程を調べるのが重要になってきている。

我々は、CDM 宇宙モデルに基づき、いわゆる準解析的アプローチに基づく銀河形成モデル(「三鷹モデル」)を開発してきた。このモデルは海外のグループによるモデルでは今まで考慮されていなかったプロセスを取り入れており(例えば爆発的星形成に伴う大量の超新星爆発が誘発するガスの銀河からの放出に対する銀河の星の分布への力学的応答など)、初めて矮小銀河の性質を説明するのに成功するなど多くの成果を上げてきた。今回、このモデルを、矢作らによる世界最高精度の N 体シミュレーションと合体させ、より良いダークマターハローの形成史を考慮し、かつ銀河の空間分布も計算可能にするモデル、「数値銀河カタログ (νGC)」を構築した。

νGC はいわば理論的に構築された銀河の擬カタログ

であり、観測的に得られた銀河カタログと同様の解析をすることで、ダイレクトに観測結果と比較することが可能である。我々は、まず銀河の基本的な性質、即ち光学的・力学的性質やサイズなどの構造の統計的な分布を調べた。その結果、 νGC は銀河の光度関数や渦巻き銀河におけるガスの割合などを良く説明できることがわかった。また、 νGC がベースにしている N 体シミュレーションの分解能は、現在 public にされている他の同様なカタログに比べて質量にして 30-60 倍程度良いが、この分解能の違いは結果に重大な違いをもたらすことも示した。さらに近年重要視されつつある銀河ガスの質量関数、HI mass function (HIMF) もよく再現することを示した。「三鷹モデル」の場合と同様に、矮小銀河の性質も再現できていることもわかった。これは世界最高精度の N 体シミュレーションが実現可能になったことに大きく依っている。近傍銀河の性質だけでなく、深宇宙での銀河についても良く説明していることもわかった。 νGC が導き出した銀河のナンバーカウントは、最新の「すばる望遠鏡」の SuprimeCam による今までにない大量のデータに基づく銀河のカウントと実に良く一致し、 νGC の持つ潜在的能力を見せつけた。また近赤外での銀河の赤方偏移分布は、過去のモデルでは、暗い銀河に対しては典型的な形成時期が観測が示唆する高赤方偏移にはならず、低赤方偏移にずれていたが、 νGC ではそれがかなり改善されていることもわかった。これも、高精度 N 体シミュレーションが実現可能になったためであると言える。

3.11 Loh & Spillar test に関する理論的考察

Loh & Spillar test とは、銀河計数を用いた幾何学テストを応用したものであるが、宇宙論パラメータと銀河の光度進化の度合を共に決定出来るという利点を持つ。又、抑も銀河の進化が無視出来ると考えられる比較的近傍 $z \leq 0.5$ で宇宙論パラメータを決定出来、大規模な銀河のサーベイカタログが利用出来る現在では、高精度で宇宙論パラメータが決定出来るものと期待している。

我々は、Loh & Spillar test を銀河の観測データに適用した時、光度進化等の銀河特有の特性や観測精度等の観測データの特性が、宇宙論パラメータの決定精度に与える影響について考察している。又、これらの特性による本テストへの影響を軽減する為の理論的な方法論の確立を検討している。

この為に、我々はこれらの特性等に対して現実的な値を仮定した数値シミュレーションを行った。前年の研究より、近傍宇宙の観測からは最も良く制限を課す事が出来る宇宙論パラメータは q_0 である事が分かっているが、シミュレーションの結果、現在観測されている程度の規模のデータを本テストに適用すれば、銀河の光度進化があった場合にも、減速定数 q_0 に対する決定精度に与える影響は無視できる事が分かった。又、光度関数に誤差が存在する場合においても、本テストを適用する観測データの範囲を

選択する事によりその影響を押える事が出来る事が分かり、本テストの有用性が理論的に裏付けられた。一方、銀河の数密度に進化があった場合は、減速定数に対して系統的な誤差を与える事が分かった。具体的には、銀河の数密度が $(1+z)$ のべきで起こると仮定すると、減速定数に対してそのべき指数程度誤差が生じる事が分かった。

3.12 銀河のナンバーカウントで期待される双極成分についての研究

宇宙論の大きな仮定の一つに宇宙の一樣等方性があり、この仮定はマイクロ波宇宙背景放射 CMB の等方的分布の観測によって正当化されている。しかし実際は地球が局所的な相対運動をしているために、それは僅かに非等方な双極成分を持つ分布として観測される。最近、WMAP によって CMB の温度ゆらぎの双極成分が詳細に観測され、地球の CMB に対する相対速度 (369km/s) と方向 $(l,b)=(263.85,48.25)$ が算出されている。もし等方性の仮定が $Z \sim 1000$ の時期だけでなく、その後の天体形成期のいかなる時期についても一般的に成立しているならば、そのような天体の全天分布は CMB と同じ方向に僅かに非等方な双極成分を持つ分布として観測されるはずである。この双極分布の予想は最近になって、電波銀河の大規模な全天データから裏付けられた (Blake & Wall 2002)。しかしながら、電波銀河は特別なカテゴリーに属するため、この予想を銀河全体の分布から検証することが、宇宙観測の重要課題として浮上している。

そこで、銀河の双極分布の予想を、銀河エネルギー分布 (SED) と銀河光度関数を仮定し、地球の CMB に対する相対運動の速度と方向を使って評価した。特に、どの波長でどの範囲の天域をどの深さまで観測すればその予想を確認できるかについて詳細に検討した。その結果、可視光での観測では、電波での観測よりも大きな非等方性を見込めること、SDSS でも双極分布を有意に観測できる可能性があることが分かった。

3.13 すばる補償光学 (AO) による高赤方偏移銀河の近赤外深撮像

すばる望遠鏡の補償光学 (AO) を用いて、北銀極方向にある視野 1 平方分角のブランクフィールド (Subaru Super Deep Field; SSDF) における K' バンド ($2.12\mu\text{m}$) の深撮像を行った。補償光学とは、地球大気による波面の擾乱をリアルタイムに補正する技術であり、通常地上望遠鏡での観測に比べて非常に高い空間分解能を実現することができる。ま

た、その結果として暗い銀河の検出感度が大幅に増加する。

すばる望遠鏡において、補償光学と近赤外撮像光装置 IRCS を用いて 26.8 時間に及び長時間積分を行ったことで、 $K' \sim 24.7$ 等 (5σ) というこれまでで最も深い限界等級を星像の半値幅が約 0.18 秒角というハッブル宇宙望遠鏡を超える非常に高い空間分解能で達成した。我々は、このデータを用い、これまでよりも約 0.5 等深い $K' < 25$ 等までの銀河計数を、高い信頼性で見積った。その結果、 $K' > 22$ 等での見かけの明るさに対する銀河計数の傾き ($\alpha \equiv d(\log N)/dm$) は、 $\alpha \sim 0.15$ であり、 $K' < 22$ 等での傾き $\alpha \sim 0.2$ と比べて低くなる事を明らかにした (図 3.13 a)。これまで、いくつかの理論モデルでは、非常に暗い矮小銀河の存在や (Babul & Ferguson 1996, ApJ, 458, 100)、高赤方偏移での銀河の数密度の増加 (Tomita 1995, ApJ, 451, 1) が示唆され、 $K > 23$ 等で銀河計数の傾きが増加すると考えられていたが、我々の観測結果により、これらのモデルは棄却されると考えられる。また、我々は同データの高い空間分解能を生かし、これまで到達できなかった 0.1 平方秒角以下のスケールで遠方銀河のサイズと光度の関係を表した。その関係を銀河の進化モデルと比較した結果、遠方銀河のサイズ-光度関係は現在みられる銀河での関係とほぼ変わらない事を明らかにした。

我々は、さらに、検出された高赤方偏移銀河の光度プロファイルのフィッティングを行い、それらの形態の分類を行った。この解析手法は高赤方偏移銀河への適用は、見かけのサイズが非常に小さいため高い空間分解能を必要とする。また、銀河の表面輝度は赤方偏移が大きくなるにつれて暗くなるため、遠方銀河の外縁部までを検出するためには非常に高い感度も必要となる。我々の観測データは、AO により、高空間分解能、高感度の両方を達成しており、このような光度プロファイルフィッティングによる解析に非常に適しているといえる。我々は、この解析により、赤方偏移が 1.5 以上の遠方宇宙では、近傍の楕円銀河のような中心集中度の高い光度プロファイルを持った銀河の個数密度が激減するという傾向を明らかにした。この結果は、中心集中度を高くする銀河の衝突・合体といったプロセスが、 $z > 1.5$ の高赤方偏移ではまだ頻繁に行われていないことを示唆しており、銀河の進化過程に対し大きな制約を与えると考えられる。

3.14 非一樣化学進化を考慮した銀河系ハローモデル

昨今の様々な観測機器による大量の観測結果を使って銀河進化を解釈する際には、星間物質の化学進化と恒星等の力学進化を同時に扱うモデルが必要不可欠になりつつある。これまで中里が使用してきた SPH 法による化学力学銀河進化モデルでは、超新星爆発を精密にモデル化するのに必要な解像度を得ることができなかったため、星間物質の化学進化の取り扱いが単純な手法にとどまっていた。本研究では、こ

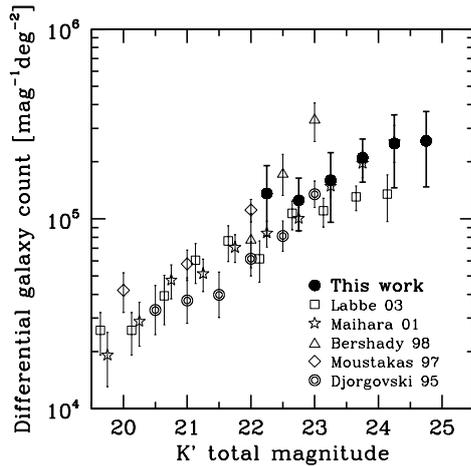


図 3.13 a: 補償光学による深撮像領域 (SSDF) において見積もった、 K' バンドの銀河計数。比較のために、これまでの K バンド深撮像により見積もられた銀河計数も同時に示している。我々の観測により、初めて $K' < 25$ までの銀河計数が、高い信頼性で明らかになった。

の従来の手法を改善するために、SPH 法では解像できないスケールにサブグリッドモデルとして、「超新星爆発による星形成の連鎖」を導入することで、化学進化の精密化をおこなった。「超新星爆発による星形成の連鎖」とは、超新星爆発によって形成された殻状構造が力学的に不安定になり次の世代の星を形成し、それが連鎖反応のように続いていくことである (Tsujiimoto, Shigeyama & Yoshii(1999))。SPH 法による銀河モデルでは、星間物質を百万太陽質量程度の粒子の集まりとして表現している。我々は、上記の連鎖反応がこのガス粒子内部で起こっていると仮定して、ガス粒子内部の星形成と化学進化をモデル化した。この新しい化学力学進化モデルを使って、宇宙初期における星間物質の化学進化を計算した。これは、丁度、銀河系におけるハロー星の形成時期に相当しているので、我々の結果をハロー星の観測事実と比較検討することで、いままでのモデルでは難しかったハロー星の精密化学力学モデルが構築ができた。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Iwamuro, F., Kimura, M., Eto, S., Maihara, T., Motohara, K., Yoshii, Y. and Doi, M.: FeII/MgII Emission Line Ratios of QSOs. II. $z > 6$ Objects; *ApJ*, **614**, 69-74, (2004)
- [2] Deng, J., Kawabata, K. S., Ohyama, Y., Nomoto, K., Mazzali, P.A., Wang, L., Jeffery, D.J., Iye,

M., Tomita, H. and Yoshii, Y.: Subaru Spectroscopy of the Interacting Type Ia Supernova SN 2002ic: Evidence of a Hydrogen-rich, Asymmetric Circumstellar Medium; *ApJL*, **605**, 37-40, (2004)

- [3] Malesani, D., Tagliaferri, G., Chincarini, G., Covino, S., Della Valle, M., Fugazza, D., Mazzali, P.A., Zerbi, F.M., D'Avanzo, P., Kalogerakos, S., Simoncelli, A., Antonelli, L.A., Burderi, L., Campana, S., Cucchiara, A., Fiore, F., Ghirlanda, G., Goldoni, P., Götz, D., Mereghetti, S., Mirabel, I.F., Romano, P., Stella, L., Minezaki, T., Yoshii, Y. and Nomoto, K.: SN 2003lw and GRB 031203: A Bright Supernova for a Faint Gamma-Ray Burst; *ApJL*, **609**, 5-8, (2004)
- [4] Minezaki, T., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Enya, K., Suganuma, M., Tomita, H., Aoki, T. and Peterson, B.A.: Inner Size of a Dust Torus in the Seyfert 1 Galaxy NGC 4151; *ApJL*, **600**, 35-38, (2004)
- [5] Nagashima, M. and Yoshii, Y.: Hierarchical Formation of Galaxies with Dynamical Response to Supernova-Induced Gas Removal; *ApJ*, **610**, 23-44, (2004)
- [6] Suganuma, M., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Minezaki, T., Enya, K., Tomita, H., Aoki, T., Kishida, S. and Peterson, B.A.: The Reverberation Radius of the Central Dust Hole in NGC 5548; *ApJL*, **612**, 113-116, (2004)
- [7] Yahagi, H., Nagashima, M. and Yoshii, Y.: Mass Function of Low Mass Dark Halos; *ApJ*, **605**, 709-713, (2004)
- [8] Frebel, A., Aoki, W., Christlieb, N., Ando, H., Asplund, M., Barklem, P.S., Beers, T.C., Eriksson, K., Fechner, C., Fujimoto, M.Y., Honda, S., Kajino, T., Minezaki, T., Nomoto, K., Norris, J.E., Ryan, S.G., Takada-Hidai, M., Tsangarides, S. and Yoshii, Y.: Nucleosynthetic signatures of the first stars; *Nature*, **434**, 871-873, (2005)
- [9] Price, P.A., Minezaki, T., Cowie, L. and Yoshii, Y.: GRB 050416: Optical/NIR observations; *GRB Coordinates Network, Circular Service*, 3312, 1, (2005)
- [10] Price, P.A., Minezaki, T., Cowie, L. and Yoshii, Y.: GRB 050421: NIR observations; *GRB Coordinates Network, Circular Service*, 3313, 1, (2005)
- [11] Minowa, Y., Kobayashi, N., Yoshii, Y., Totani, T., Maihara, T., Iwamuro, F., Takami, H., Takato, N., Hayano, Y., Terada, H., Oya, S., Iye, M. and Tokunaga, A.T.: Subaru Super Deep Field with Adaptive Optics I. Observations and First Implications; *ApJ*, (2005) in press
- [12] Chiba, M., Minezaki, T., Kashikawa, N., Katata, H. and Inoue, K. T.: Subaru Mid-infrared Imaging of the Quadruple Lenses PG1115+080 and B1422+231: Limits on Substructure Lensing; astro-ph/0503487 (accepted for publication in *ApJ*), (2005)

(会議抄録)

- [13] Kobayashi, Y., Yoshii, Y. and Minezaki, T.: MAGNUM project: four years of operation of the fully automated observatory; AN, **325**, 537-539, (2004)
- [14] Minezaki, T., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Enya, K., Suganuma, M., Tomita, H., Aoki, T. and Peterson, B.A.: Lag between the optical and NIR variabilities of NGC 4151; AN, **325**, 256, (2004)
- [15] Yoshii, Y., Kobayashi, Y. and Minezaki, T.: The dust distribution in the central region of AGNs: New results from the MAGNUM telescope; AN, **325**, 540-542, (2004)

(学位論文)

- [16] 富田浩行, “A study of the variable continuum component of type I AGNs in the optical and near-infrared wavelength regions (I 型活動銀河核の可視、近赤外領域における連続光変動成分の研究)”, 学位論文 (博士 (理学))

< 学術講演 >

(国際会議)

一般講演

- [17] Enya, K., Nakagawa, T., Matsuhara, H., Wada, T., Yoshii, Y., Minezaki, T., Aoki, T., Kobayashi, Y., Suganuma, M., Tomita, H., Koshida, S., Yamauchi, M. and Peterson, B.A.: Infrared Monitor of $z \sim 1$ Active Galactic Nuclei to Measure the Cosmological Parameters; ASTRO-F Mission Program Meeting #5, (Japan, Sep. 2004)
- [18] Minezaki, T., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Enya, K., Suganuma, M., Tomita, H., Aoki, T. and Peterson, B.A.: Inner Size of a Dust Torus in the Seyfert 1 Galaxy NGC 4151; Conference “AGN Variability from X-ray to Radio”, (Ukraine, Jun, 2004)
- [19] Kobayashi, Y., Yoshii, Y. and Minezaki, T.: MAGNUM project: four years of operation of the fully automated observatory; 3rd Potsdam Thinkshop “Robotic Astronomy”, (Germany, Jul, 2004)
- [20] Yoshii, Y., Kobayashi, Y. and Minezaki, T.: The dust distribution in the central region of AGNs: New results from the MAGNUM telescope; 3rd Potsdam Thinkshop “Robotic Astronomy”, (Germany, Jul, 2004)

(国内会議)

学会発表

- [21] 小林 行泰 (国立天文台), 吉井 謙, 峰崎 岳夫, 青木 勉 (東大天文センター), 菅沼 正洋 (国立天文台), 塩谷 圭吾 (JAXA/ISAS), 富田 浩行, 越田 進太郎, 山内 雅浩 (東大理天文/国立天文台), B.A. Peterson (ANU): 「MAGNUM プロジェクト 1. 現状報告」日本天文学会 2004 年秋季年会, (岩手大学, 2004 年 9 月)

- [22] 峰崎 岳夫, 吉井 謙, 青木 勉 (東大天文センター), 小林 行泰, 菅沼 正洋 (国立天文台), 塩谷 圭吾 (JAXA/ISAS), 富田 浩行, 越田 進太郎, 山内 雅浩 (東大理天文/国立天文台), B.A.Peterson (ANU): 「MAGNUM プロジェクト 2. NGC4395 の数時間スケールの変光現象」日本天文学会 2004 年秋季年会, (岩手大学, 2004 年 9 月)
- [23] 越田 進太郎 (東大理天文/国立天文台), 吉井 謙 (東大天文センター), 小林 行泰 (国立天文台), 峰崎 岳夫, 青木 勉 (東大天文センター), 塩谷 圭吾 (宇宙機構), 菅沼 正洋 (国立天文台), 富田 浩行 (東大理天文/国立天文台), B.A.Peterson (ANU), 土居 守, 本原 顕太郎 (東大天文センター): 「MAGNUM プロジェクト 3. ダスト反響法と Ia 型超新星を用いた Mrk744 の距離指標の比較」日本天文学会 2004 年秋季年会, (岩手大学, 2004 年 9 月)
- [24] 美濃和 陽典, 小林 尚人, 吉井 謙 (東大理), 戸谷 友則 (京大理), 高見 英樹, 高遠 徳尚, 早野 裕, 家 正則 (国立天文台): 「Subaru Super Deep Field における初期成果: $K' < 25$ での銀河計数、サイズ光度関係」日本天文学会 2004 年秋季年会, (岩手大学, 2004 年 9 月)
- [25] 千葉 柁司 (東北大理), 峰崎 岳夫 (東京大理), 柏川伸成 (国立天文台), 片ざ宏一 (宇宙航空研究開発機構), 井上太郎 (近畿大理工): 「多重像クエーサーの中間赤外撮像に基づく冷たい暗黒物質の性質」日本天文学会 2004 年秋季年会, (岩手大学, 2004 年 9 月)
- [26] 田坂 守, 吉井 謙, 峰崎 岳夫 (東大理): 「Loh & Spillar test による宇宙論パラメータの決定に関する理論的考察」日本天文学会 2004 年秋季年会, (岩手大学, 2004 年 9 月)
- [27] 富田 浩行 (東大理), 吉井 謙, 峰崎 岳夫, 青木 勉 (東大天文センター), 小林 行泰, 菅沼正洋 (国立天文台), 塩谷 圭吾 (JAXA), 越田 進太郎, 山内 雅浩 (東大理), B.A.Peterson(ANU): 「MAGNUM プロジェクト (1) 赤外波長域における AGN の降着円盤とダストトーラスの変動成分分解」日本天文学会 2005 年春季年会, (明星大学, 2005 年 3 月)
- [28] 越田 進太郎 (東大理), 吉井 謙, 峰崎 岳夫, 青木 勉 (東大天文センター), 小林 行泰, 菅沼正洋 (国立天文台), 塩谷 圭吾 (JAXA), 富田 浩行, 山内 雅浩 (東大理), B.A.Peterson(ANU): 「MAGNUM プロジェクト (2) Ia 型超新星を用いたセイファート銀河 Markarian 744 の距離指数測定と dust reverberation」日本天文学会 2005 年春季年会, (明星大学, 2005 年 3 月)
- [29] 塩谷圭吾, 中川貴雄, 松原英雄, 和田武彦 (宇宙研), 吉井謙, 峰崎岳夫, 青木勉 (東大天文センター), 小林行泰, 菅沼正洋 (国立天文台), 富田浩行, 越田進太郎, 山内雅浩 (東大理): 「MAGNUM プロジェクト (3) 遠方活動銀河核の可視域における変光」日本天文学会 2005 年春季年会, (明星大学, 2005 年 3 月)
- [30] 木戸英治, 田坂守, 岡島礼奈, 峰崎岳夫, 吉井謙 (東大理): 「銀河のナンバーカウントで期待される非等方性について」日本天文学会 2005 年春季年会, (明星大学, 2005 年 3 月)

一般講演

- [31] 美濃和陽典, 小林尚人, 吉井讓 (東大天文センター), 戸谷友則 (京大宇宙), 高見英樹, 高遠徳尚, 早野裕 (ハワイ観測所), 家正則 (国立天文台): 「補償光学による高赤方偏移銀河の近赤外高分解深撮像」, 研究会「新世紀における銀河宇宙観測の方向: その4」(主催: 吉井), (マホロバ・マインズ三浦, 2004年4月21日-23日)
- [32] 小林尚人, 辻本拓司 (国立天文台), 美濃和陽典, 吉井讓 (東大天文センター): 「高赤方偏移レーザー吸収線研究の現在と今後」, 研究会「新世紀における銀河宇宙観測の方向: その4」(主催: 吉井), (マホロバ・マインズ三浦, 2004年4月21日-23日)
- [33] 峰崎岳夫, 吉井讓, 青木勉 (天文センター), 小林行泰 (国立天文台), 塩谷圭吾 (JAXA/ISAS), 菅沼正洋 (国立天文台), 富田浩行, 越田進太郎 (東京大学天文), Bruce A. Peterson (MSO, ANU), 土居守, 本原顕太郎, 大藪進喜 (天文センター): 「MAGNUMによるセイファート銀河 NGC4151 のモニター観測」, 研究会「新世紀における銀河宇宙観測の方向: その4」(主催: 吉井), (マホロバ・マインズ三浦, 2004年4月21日-23日)
- [34] 菅沼正洋 (国立天文台), 吉井讓, 峰崎岳夫, 青木勉 (東大理), 小林行泰 (国立天文台), 塩谷圭吾 (宇宙機構), 富田浩行, 越田進太郎 (東大理/国立天文台), B.A. Peterson (ANU), 土居守, 本原顕太郎 (東大理): 「MAGNUM プロジェクト (その2): セイファート銀河核のダスト・トラス内縁半径と BLR 半径の関係」, 研究会「新世紀における銀河宇宙観測の方向: その4」(主催: 吉井), (マホロバ・マインズ三浦, 2004年4月21日-23日)
- [35] 岡島礼奈, 吉井讓 (東大理): 「コンパクト電波源をサンプルとするジェット統計の可能性について」, 研究会「新世紀における銀河宇宙観測の方向: その4」(主催: 吉井), (マホロバ・マインズ三浦, 2004年4月21日-23日)

4 サブミリ波観測

——優れた観測サイト「富士山山頂」から
分子雲の形成を探究——（山本（智）・岡）

4.1 はじめに

星と星の間にはガスと塵からなる希薄な雲（星間雲）が漂っている。星間雲の中でも比較的密度が高いものが星間分子雲で、恒星が形成される場所として銀河系における物質循環の主要経路にあたっている。本研究室では、星間分子雲に存在する原子・分子に着目して、電波望遠鏡による観測的研究を行っている。これらを通して、星間分子雲の構造、形成、進化を物質的視点から研究している。

サブミリ波、テラヘルツ領域（波長 1 mm から 0.1 mm）は、天文学における未開拓の波長域である。本研究室では、わが国ではじめてのサブミリ波望遠鏡（口径 1.2 m）を富士山頂に設置して観測を行っている。中性炭素原子の放つ $^3P_1 - ^3P_0$ （周波数 492 GHz; 波長 0.6 mm）と $^3P_2 - ^3P_1$ （周波数 809 GHz; 波長 0.4 mm）の微細構造スペクトル線について、星間分子雲スケールでの広域観測を展開しており、その分布を一酸化炭素の分布などと比較することで、星間分子雲の形成・進化を解明しつつある。また、このような研究を銀河系スケールで展開するために、口径 18 cm 可搬型サブミリ波望遠鏡を開発し、チリ・アタカマ砂漠の高地で運用している。さらに、天文学教育研究センターと国立天文台が中心となって推進している ASTE (Atacama Submillimeter Telescope Experiment) プロジェクトにも参加するとともに、わが国が米欧とともに建設を行っている ALMA (Atacama Large Millimeter and submillimeter Array) プロジェクトにも加わっている。

一方、テラヘルツ帯での観測を実行するために、超伝導ホットエレクトロン・ポロメーター・ミクサ素子の開発を行っている。昨年度から、研究室内に素子製造装置を順次導入してミクサ素子の開発研究を進めている。この素子を用いて 1.47 THz の窒素イオンのスペクトル線の広域観測を実現することで、銀河系における星間プラズマの分布と運動を明らかにし、プラズマ相から原子相、分子相に至る星間雲の「相変化」を解明する。この研究を通して、テラヘルツ天文学を創生したい。

4.2 富士山頂サブミリ波望遠鏡

富士山頂サブミリ波望遠鏡（口径 1.2 m）は、わが国初めてのサブミリ波望遠鏡である。冬季の富士山頂はサブミリ波帯での天体観測を妨げる水蒸気が少なく、絶好の観測サイトである。その優れた観測

条件を生かして、中性炭素原子のサブミリ波微細構造スペクトル線を観測し、星間分子雲の構造、形成、およびそこでの星形成を研究している。

富士山頂サブミリ波望遠鏡は 1995 年度より製作を開始し、1998 年 7 月に富士山頂に設置された。その後、衛星通信回線を利用した遠隔制御によって観測運用を行っている。昨年までに 6 回の観測シーズンで 492 GHz のスペクトル線については約 50 平方度の領域を観測できた。これは、他のグループと比べて観測領域の広さで 1 桁以上も上回るものであり、近傍星間分子雲における中性炭素原子の分布の全貌を描き出しつつある。また、809 GHz のスペクトル線についても、代表的星間分子雲でのマッピング観測を世界ではじめて実現した。

2004 年 10 月から気象庁富士山測候所の非常駐化がスタートし、富士山測候所への送電が冬季には行われないことになった。富士山頂サブミリ波望遠鏡は富士山測候所から電気の供給を受けて運用してきたので、そのままでは運用が続けられないことになる。そこで、気象庁から送電線および受電設備を借り受けて、遠隔制御による望遠鏡への送電を行った。しかし、10 月から 11 月にかけての台風と秋雨前線による度重なる落雷で、遠隔制御設備や送電線に被害を受け、送電不能となった。その結果、2004 年から 2005 年にかけての観測シーズンにおいては、残念ながら観測を行うことができなかった。そのため、本年度についてはこれまでに取得した観測データの解析を進めることに専念した。

本研究はビッグバン宇宙研究センターの研究プロジェクトの 1 つとして推進しており、国立天文台の立松健一氏、関本裕太郎氏、野口卓氏、前澤裕之氏、大石雅壽氏、福井大学の斎藤修二氏、宇宙開発事業部の尾関博之氏、稲谷順司氏、理化学研究所の池田正史らとの共同研究である。

星間分子雲における中性炭素原子の分布

富士山頂サブミリ波望遠鏡を用いて 5 年にわたって、「おうし座分子雲複合体」、「オリオン座 A 分子雲」の一部である OMC-1 領域および「ふたご座分子雲複合体」の一部である S252 領域における中性炭素原子の分布をこれまでにないスケールで明らかにしてきた。

おうし座分子雲複合体については、未観測領域である L1495 と B18 の 2 つの分子雲の対して CI(492 GHz) 輝線のマッピング観測を遂行した。L1495 において HCL2 に匹敵する C^0/CO 比を見いだした。その一方で、B18 では平均の比が有意に低い (0.1-0.2) ことが確認された。この結果と時間依存性 PDR モデルのシミュレーション結果の比較とから、HCL2 や L1495 では化学的進化段階が早い時期にあり、B18 はより進化の進んだ状態もしくは定常状態にあると考えられる。このような違いは、 C^0/CO 比と M_{VIR}/M_{LTE} 比や星形成率との間に見いだされた相関関係と矛盾しない。以上の結果から、分子雲は必ずしも化学平衡には達していないこと、また、複合体中に存在する分子雲の化学進化段階にはバリエー

ションがあることがわかった。

OMC-1 においては、初めて CI(809 GHz) 輝線の広域分布を描き出し、温度分布と柱密度分布を明らかにすることができた。導出された C^0 の柱密度の値とモデル計算結果との比較から、OMC-1 でも化学的平衡状態に達していないことが確認された。また、 C^0 と CO の分布の様子を調べた結果、紫外線源に対して CO/C^0 という平行平板構造を仮定した PDR モデルの予測とは矛盾していることも確認された。このような結果は S252 での CI 観測でも見いだされたことから、強い紫外線源をともなった分子雲の基本的性質(化学進化、密度分布)が関与していると考えられる。CI と高密度トレーサの分布を比較したところ、高密度領域が HII 領域に隣接する場所に存在し、その後方に CI が分布するより希薄な領域が広がっていることがわかった。このような密度分布を仮定してモデルシミュレーションした結果、妥当な年齢(紫外線源の推定年齢)において観測結果を再現することができた。

一方、 C^0 と CO の柱密度が紫外線強度や密度分布に対してどう影響されるかを定量的に解釈するために、3次元時間依存性 PDR モデルの構築・シミュレーションを行なった。分子雲の典型的な大きさを仮定し、一様密度、Gaussian 密度分布、クランプ状構造を持つ場合について考えた。その結果、いずれの場合についても、定常状態では C^0 の柱密度に大差はなかった。また、紫外線強度を変えても顕著な違いは見られなかった。むしろ、化学進化の途中段階で C^0 の柱密度および C^0/CO 比は大きく変化し、観測値を十分満足することがわかった。

本観測により、分子雲が必ずしも化学的に平衡状態に達してはいないことを分子雲スケールで初めて明らかにすることができた。また、 C^0/CO 比を分子雲進化の良いトレーサにできうることを観測的・理論的に示すことができた。

Bright-Rimmed Globule 中の中性炭素原子の分布

2002-2004 年にかけて行った観測の結果をもとに、Bright Rimmed Globule における中性炭素原子(C^0)の分布について総合的に考察を行った。Bright Rimmed Globule は大質量星の近傍に位置する小分子雲であり、典型的に 1 pc 程度の大きさ、1-100 M_\odot の質量を持つ。表面には、可視光のリムとして観測される電離領域の層が形成され、その内側には光解離領域(PDR)の層が存在する。このような単純な構造を持つグロービュールの観測によって、 C^0 の分布と PDR の分布とを比較し、 C^0 の性質を検証することが可能になる。

観測対象としたのは、IC1396 領域と λ -Orionis 領域に属する合計 18 のグロービュールである。行った観測は、富士山頂サブミリ波望遠鏡による $[CI] \ ^3P_1 - ^3P_0$ 輝線のマッピング観測、野辺山 45m ミリ波望遠鏡による CO 、 ^{13}CO 、 $C^{18}O$ ($J=1-0$) 輝線のマッピング観測と N_2H^+ $J=1-0$ 、 SO $J_N=3_2-2_1$ 輝線の観測である。観測対象のうち、IC1396 領域に存在する

グロービュールについては C^0 は分子雲の表面領域だけでなく、 CO 柱密度のピーク方向の分子雲内部領域にまで分布していた。一方、 λ -Orionis に属する 2 つのグロービュール(B30、B35)については、 $[CI]$ 輝線の強い領域が可視光のリムに沿った分子雲の表面領域に分布している様子が観測された。これは化学的な定常状態で理論的に予想される C^0 の分布の特徴に近い。また、内部に赤外線点源や N_2H^+ によってトレースされる高密度コアを含み、すでに星形成活動を行っていると考えられるグロービュール(type 2)と、星形成活動の観測されていないグロービュール(type 1)との間には、分子雲全体の C^0/CO 比に違いが見られた。前者における典型的な C^0/CO 比が 0.1-0.2 程度であるのに対して、後者のグループは 0.4-1.0 という高い比を持っていることがわかった。さらに、化学的な定常状態に近い C^0 分布を示した B30、B35 分子雲は、観測されたグロービュール中で最も低い C^0/CO 比を持つ。

以上の結果は、分子雲内部の C^0 が分子雲形成直後に C^+ イオンの再結合によって形成され、その後 10^6 年オーダーの時間の間に化学反応によって CO に変化するという描像によってよく説明される。 C^0/CO 比の高いグロービュールほど、ピリアル質量/質量比が高いという傾向が見られることも、この描像と一致する結果である。B30、B35 分子雲はすでに化学平衡に近く、分子雲表面の PDR 層にのみ CO の光解離によって生成された C^0 が豊富に存在すると解釈できる。これらは、 C^0 の分布の特徴や、 C^0/CO 比が分子雲の進化段階を反映していることを裏付ける結果であるといえる。

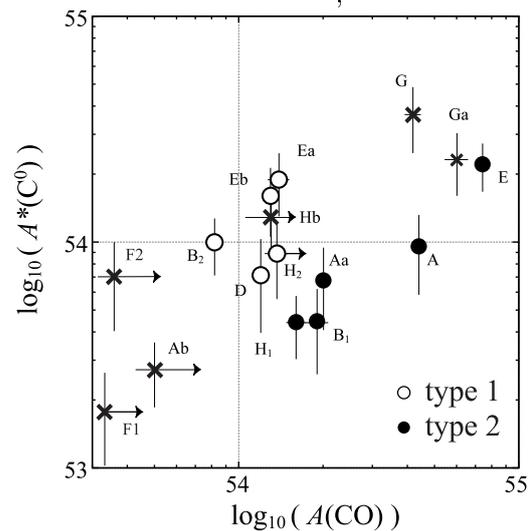


図 4.2 a: 観測したグロービュールの C^0 および CO の総量。黒丸は type 1(星形成なし)、type 2(星形成あり)のグロービュールを表す。

M17 領域の高速度成分

活発な大質量星形成領域である M17 において、 $\Delta V \approx 40 \text{ km s}^{-1}$ もの線幅を持つ [CI] 輝線の wing 成分を、可搬型 18cm 望遠鏡によって 2002 年度に検出した。この高速度成分について、富士山頂サブミリ波望遠鏡による観測で $30' \times 30'$ に及ぶ分布を明らかにしていた。本年度はこの [CI] 輝線のデータを、富士山頂サブミリ波望遠鏡による CO $J=3-2$ のデータ、さらになんてんグループの提供により、なんてん望遠鏡による CO $J=1-0$ のデータと共に解析した。この結果、高速度成分のガス雲は、密度 10^3 cm^{-3} 程度、柱密度 $N(\text{C}^0) \sim 2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 、 $N(\text{CO}) \sim 8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ とわかった。C⁰/CO 比は 3-4 と高く、translucent cloud のような化学状態にある。また、原始星からの双極分子流や、超新星残骸との相互作用によって形成されたとは考えられず、速度幅の起源は観測的に知られていない現象によるものである可能性がある。そのひとつとして、M17 巨大分子雲を含むスーパーシェルに伴う形成が考えられる。

4.3 可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡

本研究室では、小型（口径 18cm）で可搬型のサブミリ波望遠鏡を開発した。この望遠鏡は、中性炭素原子が放射する二本のサブミリ波スペクトル線（CI $^3P_1-^3P_0$: 492GHz, $^3P_2-^3P_1$: 809GHz）による広域サーベイ観測を行うことによって、銀河系スケールにおける原子ガスの大局的分布・運動・物理状態を調べることが目的としている。この望遠鏡の特長は、可搬型のため世界中のあらゆる優良観測サイトに持ち込むことが出来、しかも主鏡口径が 18cm と小さい（HPBW = $13' @ 492\text{GHz}$ ）ので広い領域をサーベイするのに適しているところにある。

2003 年 9 月、この望遠鏡を南米チリのパンパラボラ ALMA-J サイトに設置し、CI 492GHz 輝線による銀河面サーベイを開始した。サーベイの初期成果として、以下のような結果を得た。

- 銀河系内域における炭素原子 (C⁰) の大局的な分布・運動は、一酸化炭素分子 (CO) のそれに酷似している。
- CI $^3P_1-^3P_0$ スペクトル輝線放射は、熱化が不十分かつ光学的に薄い雲、いわゆる “translucent clouds” と呼ばれる雲が支配的である。
- C⁰/CO 存在比が、銀河半径に対して単調に増加していく傾向がある。つまり、銀河系中心に近くなるほど分子の割合が高い。
- CI/CO 輝線放射強度比が高い領域は、銀河系回転に対して渦状腕の上流に位置する。これは、渦状腕上での星間分子雲形成の過程を見ているものと解釈できる。

以上の成果は一本のジャーナル論文として出版された [5]。また、論文の公表に合わせて東大において記者発表を行い、複数の一般紙に掲載された。また本望遠鏡は、観測の効率化を図ると同時に、テラヘルツ帯での観測を実現するために、以下の改良を行っている。

駆動系の更新

望遠鏡の指向精度を向上する為に、仰角駆動モータを更新する。新モータは、ドライバユニット及び制御ソフトウェアとのコンパチビリティを考慮して、旧モータと同じハーモニックドライブ (株) 社製の新型のものを採用した。新モータの採用により、かねてより問題であった仰角方向の指向精度に 3 倍程度の向上が見込まれる。これと併せて、方位角駆動ウォームギア取付部分の改良を進めている。方位角駆動ウォームギアは、運搬時の破損を避けるために本体梱包前に取り外す必要があり、そのためレーザー光を使用したバックラッシュ調整を現地でやり直す必要があった。この現地作業を軽減するために、板バネを使用した無調整加圧機構を考案した。

制御系の改善

高地作業は危険であると同時に人体に深いダメージを与えるリスクがあるので、長時間にわたる高地滞在は出来るだけ避けることが望ましい。そのため、低高度地域からの遠隔操作に対応するよう望遠鏡制御系の改造を進めている。具体的には、制御計算機を従来の Windows 駆動の DOS/V 計算機から UNIX 駆動の VME バス計算機へと変更した。これにより望遠鏡の長時間安定な運用と、信頼性の高い遠隔制御システムの構築が可能になった。また高地での配線作業を容易にするために、メイン・ホストと被制御機器とのコミュニケーションは全て GPIB 回線に統一した。各被制御機器には小型の PC/104 規格ボード計算機 (MS-DOS で駆動) を組み込み、各々の動作に対応する GPIB コマンドを受け付ける 16bit アプリケーションを Turbo C コンパイラによって作成した。

THz 帯受信機デューワーの開発

可搬型 18 cm サブミリ波望遠鏡によって窒素イオンのスペクトル線 ([NII]: 1.46 THz) を観測するため、受信機デューワーを開発した。この受信機デューワーは当研究室で製作した HEB ミクサ素子を搭載するもので、小型 GM 2 段式の機械式冷凍機を用いた冷却により、長期的な安定運用を目指すものである。これを用いて HEB ミクサ素子の性能測定に向け実験を進めている。本年度は 809 GHz 試験用光学系を製作し、これに 809 GHz 用の Nb 拡散冷却型 HEB ミクサ素子を載せ冷却を行なった。この結果、HEB ミクサ素子の理想的な I-V 特性を得ることができ、超

伝導特性が現れる素子の転移点付近において I-V 特性の温度依存性が測定できた。これにより、従来 SIS ミクサ素子を搭載する時に用いていた機械式冷凍機による冷却方法が、HEB ミクサ素子を搭載するときにも利用可能なことが示された。

4.4 テラヘルツ帯における観測技術の開拓

可搬型 18 cm サブミリ波望遠鏡などを用いて、テラヘルツ帯に存在する窒素イオンの微細構造スペクトル線 ($^3P_1 - ^3P_0$, 1.47 THz) の観測を行う目的で、Nb を用いた拡散冷却型ホットエレクトロン・ポロメータ (HEB) ミクサ素子、および NbTiN を用いた格子冷却型 HEB ミクサ素子を開発している。テラヘルツ帯における高感度ヘテロダイン検出技術は世界的にもまだ未確立であり、素子レベルからの開発研究が重要かつ不可欠である。そこで、実験室にクリーンブースを設置し、素子製造装置一式を整備しつつある。昨年度、微細構造の描画のための電子ビーム描画装置を導入したのに引き続き、本年度は複合成膜装置を導入した。この装置はスパッタ装置、蒸着装置、逆スパッタ装置を真空バルブを介して組合わせたもので、HEB 素子の製作に最適化した配置になっている。そのため、素子を大気圧に暴露することなく複数の成膜プロセスを行うことができるので、高品質の HEB 素子の製作が可能になることが期待される。

装置立ち上げ

これまで HEB ミクサ素子の製作は国立天文台三鷹・野辺山のクリーンルームにある露光装置や成膜装置を用いて行っていた。しかしこれらの装置の多くは天文台の諸業務に最適化されており、HEB ミクサ素子の製作には必ずしも十分なものではなかった。さらに、三鷹・野辺山間で複数回の搬送が必須であることなどの問題もあった。そこで昨年度末から本郷キャンパス内に新たにクリーンブースを設置して、HEB ミクサ素子に必要な装置を導入した。今年度は電子ビーム露光装置、複合成膜装置などについて、デバイス製作の大部分の工程を集約して進めるための環境整備を集中して行った。

電子ビーム露光装置として用いる電子顕微鏡には、従来不可能であった 100 nm スケールの微細描画を実現するために従来国立天文台で用いていたものより高分解能の装置を選定した。試料を装填、移動させるステージは、試料表面の反りによるフォーカスのずれを補償するために X-Y 方向に加えて Z 方向の駆動機構を実装した。現在これらの新機構を用いて描画作業を行うためのソフトウェアの開発を進めている。あわせて、従来ミクサ素子 1 本ごとに手作業で行っていた描画位置合わせの作業を自動で行うためのソフトウェア改良も行った。これにより描画図形の高精度化および描画作業の大幅な軽減が期待さ

れる。複合成膜装置は Nb、Al、NbTiN のスパッタ、Au などの蒸着、および Ar 逆スパッタの工程を共通の真空槽で実現可能な設計となっている。今年度は NbTiN スパッタを除く各項目について成膜工程の確立、および製作した薄膜の物性測定を進め、Nb 拡散冷却型 HEB ミクサの製作に必要な成膜条件を揃えることができた。これらの成果から、HEB ミクサの製作工程において Nb 細線部を含む主要部分の製作にかかる全工程を実験室内で一貫して行う環境が整備された。

Nb 拡散冷却型 HEB

前年度に引き続き Nb 拡散冷却型 HEB ミクサの製作試験を続けた。目標とする IF 周波数帯域および細線部のインピーダンスを実現するために、電子ビーム描画の条件整備が進んだことを踏まえて製作するミクサの設計を 0.2-0.5 μm スケールまで縮小した。その結果インピーダンスが理想値である 27 Ω を上回りかつ良好な超伝導特性を示すミクサを製作でき、ミクサに要求される電気特性をクリアするデバイスの製作に目処が立った。一方で本郷キャンパスで整備を進めた諸装置を順次ミクサ製作に運用開始し、製作工程の改善を図った。特に従来三鷹の蒸着装置で悩まされていた Au 薄膜の剥離を、複合成膜装置で蒸着速度を厳しく管理しながら成膜することによって著しく改善させることができ、ミクサ製作の歩留まりが大きく向上した。我々はミクサ製作の目標を可搬型 18 cm 望遠鏡への搭載に置いており、従ってミクサの性能評価は最終的には望遠鏡の受信機システムに組み込んで実行する必要がある。そこで従来野辺山観測所にある Joule-Thomson 型機械式冷凍機で行っていた試験に代えて、可搬型 18 cm 望遠鏡の冷凍機デューワーを用いての試験を開始した。今後 HEB ミクサの性能評価を繰り返し行っていくに当たり、専用の受信機システムを用いての実験が可能であることは大きなメリットとなる。これまでに HEB ミクサの超伝導特性が Joule-Thomson 型冷凍機と同等に測定可能であることが確認された。

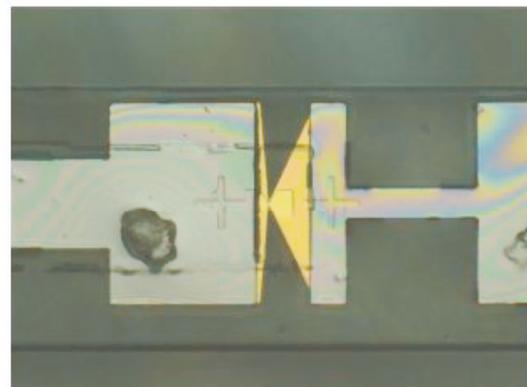


図 4.4 b: 製作した HEB 素子の拡大図。

NbTiN 格子冷却型 HEB

HEB ミクサに用いるもうひとつの素材として、NbTiN に着目している。今年度は昨年度に引き続き、国立天文台三鷹の NbTiN 成膜装置を用いて NbTiN 薄膜の成膜条件の検討、そして 1.5 THz 帯の NbTiN 格子冷却型 HEB ミクサの製作を行った。NbTiN 薄膜のスパッタ雰囲気を使用する Ar と N₂ の混合気体の全圧、および N₂ ガスの有無によるカソード電圧の変分量をパラメータとして、N₂ 流量を微調整する手法によってターゲットのエロージョンによる成膜条件の変動に対応しながら再現性良い成膜を行うことが可能となった。これを踏まえて、従来の Nb 拡散冷却型 HEB ミクサ製作の手法を踏襲して NbTiN 格子冷却型 HEB ミクサの試作を行った。ただし細線部には厚さ 5 nm の NbTiN 薄膜を成膜、アンテナ構造は新規に製作した 1.5 THz HEB ミクサ用のレチクルを用いて三鷹の g 線ステッパーによりパターンニングした。このミクサ素子は液体ヘリウムによる冷却試験で HEB ミクサに特徴的な超伝導特性を示すことが確認された。

4.5 星間物質の観測的研究

複雑な有機分子による星形成領域の診断

大質量星の形成領域において、HCOOCH₃ や、CH₃OCH₃、C₂H₅CN などの複雑な有機分子は、ホットコアを特徴づける分子として知られてきた。ところが近年、中小質量星形成領域である IRAS16293-2422 においても、これらの複雑な有機分子が初めて検出された (Cazaux et al. 2003)。これにより、中小質量星形成領域にも大質量星形成領域と同様にホットコアが存在し、複雑な有機分子が形成されることがわかった。そこで、これらの分子が、その他の中小質量星形成領域においても存在するのかわかるため、NGC1333IRS4B 領域を観測した。その結果、HCOOCH₃ の検出に成功した。NGC1333IRS4A においても検出されているため (Bottinelli et al. 2004)、わずか 3 天体ではあるが、形成される星の質量にかかわらずこれらの分子が一般的に形成され得るという可能性が高まった。中小質量星形成領域では一般に惑星系が作られることを考えると、これは、形成された有機分子が惑星系にもたらされる可能性を意味しており、惑星系形成における化学進化の理解に重要な意義がある。

遠方原始銀河候補天体の CI 輝線探査

銀河・銀河団形成初期の原初ガス雲がどのような物理的・化学的状態を有し、それがどのような状況下で如何にして集積し、その中でいかなる星が生まれるのかわかることは、宇宙の構造形成を論じる上で避けて通る事のできない重要なステップである。今回、野辺山宇宙電波観測所 45m 望遠鏡を用いて、電波銀河 TN J1338-1942 周辺の原始銀河候

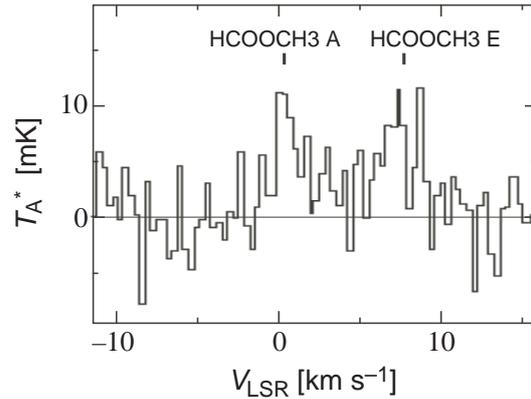


図 4.5 c: 中小質量星形成領域 NGC1333IRS4B において検出した有機分子 HCOOCH₃ E(89.3146GHz) の輝線。

補天体の [CI] ³P₁-³P₀ 輝線 (96.5 GHz@ z=4.1) を探査する事を計画した。観測は 17 夜にわたって行われ、 $\Delta T_{MB} = 3$ mK の良質なスペクトルを得たが、[CI] 輝線の有意な検出には至らなかった。予測したスペクトル線強度は $T_{MB} \leq 1-2$ mK であった為、この結果は想定されたものであり、この原始銀河候補天体のガス総量および物理状態に粗い制限を加える事ができた。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] P.G. Ananthasubramanian, Satoshi Yamamoto, T.P. Prabhu, and Dorje Angchuk, "Measurement of 220 GHz Atmospheric Transparency at IAO, Hanle, during 2000-2003", *Bull. Astr. Soc. India*, **32**, 99-111 (2004).
- [2] Tomoya Hirota, Hiroyuki Maezawa, and Satoshi Yamamoto, "Molecular Line Observations of Carbon-chain-producing Regions L1495B and L1521B", *Astrophys. J.*, **617**, 399-405 (2004).
- [3] H. Ozeki, T. Hirao, S. Saito and S. Yamamoto, "Laboratory Microwave Spectroscopy of the Cyanomethyl Radical, CH₂CN", *Astrophys. J.*, **617**, 680-684 (2004).
- [4] Eunsook Kim and Satoshi Yamamoto, "Rotational Spectra of the Deuterated Carbon Chain Molecules: C₃D, C₄D, C₃HD, C₄HD", *J. Mol. Spectrosc.*, in press.
- [5] T. Oka, K. Kamegai, M. Hayashida, M. Nagai, M. Ikeda, N. Kuboi, K. Tanaka, L. Bronfman, & S. Yamamoto, "Atomic Carbon in the Milky Way", *The Astrophysical Journal*, **623**, 889-896 (2005)
- [6] H. Maezawa, T. Sato & T. Noguchi, "Process Simulation of Reactive DC Magnetron Sputtering for Thin Film Deposition of Niobium-Titanium Nitride", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, in press

(国内雑誌)

- [7] 山本 智: 「化学の眼でみる宇宙 - 星間分子雲の形成と進化」、現代化学、2004年7月、p. 46-49.

(学位論文)

- [8] 久保井信行: “Structure and Evolution of Interstellar Molecular Clouds as Studied by [CI] Line Observations and Chemical Model Calculations”、博士論文、2005年3月
- [9] 田中邦彦: “Distribution of Neutral Carbon Atom in Bright Rimmed Globules”、博士論文、2005年3月
- [10] 佐藤高之: 「NbTiN 薄膜を用いたテラヘルツ帯 HEB ミクサの開発とおうし座 L1521 領域における [CI] 輝線広域観測」、修士論文、2005年1月
- [11] 永井 誠: 「M17 領域における中性炭素原子輝線の高速成分」、修士論文、2005年1月

(著書)

- [12] 山本 智: 「電波望遠鏡による星間分子の探索」、化学測定辞典(梅澤喜夫編)、朝倉書店(2005)、p.207-235.

(国際会議)

一般講演

- [13] K. Tanaka, T. Oka & S. Yamamoto, “Observation of the [CI] $^3P_1 - ^3P_0$ Emission toward the IC136 Region”, American Astronomical Society 204th meeting, Denver, CO (May 30 – June 3, 2004)
- [14] K. Tanaka, T. Oka, and S. Yamamoto, “Observation of the [CI] $^3P_1 - ^3P_0$ Emission toward the IC136 Region”, American Astronomical Society 204th meeting Denver, USA (May, 2004).
- [15] Takeshi Sakai, Tomoharu Oka, and Satoshi Yamamoto, “Atomic Carbon in the W 3 Giant Molecular Cloud”, The 6th East-Asian Meeting on Astronomy, Seoul, Korea, (Oct. 2004).

招待講演

- [16] Takeshi Sakai, Satoshi Yamamoto, and Mount Fuji Submillimeter-wave Telescope Group, “Mount Fuji [CI] survey”, The 6th East-Asian Meeting on Astronomy, Seoul, Korea, (Oct. 2004).

(国内会議)

一般講演

- [17] 岡 朋治、亀谷和久、林田将明、永井 誠、池田正史、久保井信行、田中邦彦、Leonard Bronfman、山本 智: 「可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡による [CI] 輝線銀河面サーベイ」、第 22 回 NRO ユーザーズミーティング(野辺山宇宙電波観測所、2004年7月27-29日)
- [18] 久保井 信行、岡 朋治、山本 智、相川祐理: 「多輝線マッピング観測で探るふたご座 S252 領域の物理・化学状態」、日本天文学会(岩手大学、2004年9月)

- [19] 田中邦彦、岡朋治、山本智: 「 λ -Orionis 領域に対する [CI] $^3P_1 - ^3P_0$ 輝線の観測」、日本天文学会(岩手大学、2004年9月21日-23日)

- [20] 永井 誠、岡 朋治、山本 智: 「山本研究室近況報告」、第 22 回 NRO ユーザーズミーティング(野辺山宇宙電波観測所、2004年7月27-29日)

- [21] 永井 誠、富士山頂サブミリ波望遠鏡グループ: 「2003年度富士山頂サブミリ波望遠鏡による観測の現状」、第 22 回 NRO ユーザーズミーティング(野辺山宇宙電波観測所、2004年7月27-29日)

- [22] 永井 誠、岡 朋治、山本 智: 「HEB ミクサ素子の受信機デューワーによる冷却実験」、日本天文学会(岩手大学、2004年9月21-23日)

招待講演

- [23] 山本 智: 「星間分子雲の化学組成とその進化」、AMO 研究会、東京、(2004年7月)

- [24] 岡 朋治: 「超新星残骸と分子雲の相互作用」、宇宙線研究所共同利用研究会(宇宙線研究所、2005年2月24日)

(セミナー)

- [25] 山本 智: 「星間分子雲の化学組成とその進化」、コンボン研究所セミナー、(東京、2005年2月)

5 暗黒物質観測

——神岡鉱山における暗黒物質探査——
(蓑輪・井上)

蓑輪 研究室では、大型加速器を使わずに新しい工夫により素粒子のさまざまな実験的研究を行なっている。

5.1 暗黒物質実験

さまざまな観測結果から我々の宇宙を構成する物質の大部分は非バリオンの冷たい暗黒物質であることが確実と考えられている。この暗黒物質は Weakly Interacting Massive Particle (WIMP) として存在する可能性が高く、その候補として超対称性理論から予言される未発見の粒子 neutralino が有力である。暗黒物質を発見しその正体を明らかにすることは宇宙物理学、素粒子物理学両方の観点から重要である。我々のグループはこの暗黒物質を直接発見することを目的とした研究を行なっている。

我々はこれまで極低温熱量計型検出器 (ポロメータ)、指向性のある有機結晶シンチレータを用いた暗黒物質直接観測を神岡の宇宙線研究所宇宙素粒子研究施設で行なってきた。これらの実験はそれぞれ検出器のターゲットを自由に選べること、銀河中の太陽運動による暗黒物質の到来方向の非等方性の観測が可能という利点があり、それぞれの実験結果から暗黒物質と核子の相互作用に対する上限値を得てきた。しかし、これらの実験では電気的なノイズや検出器に含まれる放射性不純物などによるバックグラウンドイベントを十分除去することができなかった。暗黒物質と原子核の散乱断面積は極めて小さいことが予想されるため、より厳しい上限値を与えるためにはバックグラウンドイベントを減らすことが重要である。

本年度はこれらの実験に代わる試みとして $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ シンチレータを用いた検出器による暗黒物質直接観測実験を行なった。 CaF_2 は原子核中核子のスピン期待値が大きいとされる ^{19}F を含むため、原子核のスピンに依存した相互作用を通して暗黒物質を検出するのに有利である。また、 $\text{NaI}(\text{Tl})$ シンチレータの 50% 程度の発光量があるため、比較的エネルギー閾値を下げるができる。放射性不純物の少ない $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ 結晶を得るため、大阪大学を中心とした CANDLES 実験で使用している CaF_2 原料と純度の高い EuF_3 粉末を使って結晶を製造した。シンチレーション光を読み出す光検出器として、宇宙線研究所の XMASS 実験で開発された低バックグラウンド仕様光電子増倍管を利用した。さらに、環境放射線を防ぐためのシールド中にも放射性不純物が少ないことが要求されるため、最も内側のシール

ドとして 99.9999% の高純度銅を使用した。以前の実験と同様に宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設に検出器を設置した。この検出器を用いて暗黒物質直接観測実験を行なった結果、エネルギー閾値は約 2 k.e.e. (keV electron equivalent)、イベントレートは 10 counts/k.e.e./day/kg 以下となった。測定されたスペクトルの解析からスピンに依存した相互作用での暗黒物質と陽子、暗黒物質と中性子のカップリングを表わす a_p と a_n に対する制限を導出した (図 5.1 a)。この制限は以前に行なった LiF 及び NaF ポロメータの実験から導出された上限値に比べて断面積にして約一桁よい結果であり、暗黒物質を発見したと主張するイタリア DAMA グループの結果から許されるパラメータ領域の多くの部分を制限することができた。

一方、神岡の宇宙線研究所宇宙素粒子研究施設での暗黒物質探索実験を東大本郷キャンパスからネットワーク経由で監視・制御するための簡便な装置を開発した。Lantronix 社製の TCP/UDP とシリアル通信変換が可能なデバイスサーバー XPortTM を用いることによって、遠方に設置した装置のアラームを受け取ったりその装置をリセットする機能、現地実験室内の温度や放射性ラドンモニタを計数して監視する機能などを持たせている。

5.2 アクシオンヘリオスコープ実験

強い相互作用の理論である量子色力学 (QCD) には実験事実と反して CP 対称性を破ってしまう問題、強い CP 問題があることが知られている。アクシオン (axion) 模型はこの問題を解決するものとして期待されているが、それには模型が予言する擬南部ゴールドストーンボソンであるアクシオンの発見が不可欠である。アクシオンは小さい質量を持った中性擬スカラーボソンであり、物質や電磁場とはほとんど相互作用しないと考えられている。予想される質量範囲はまだ広いが、このうち 1eV 近辺では太陽がよいアクシオン源となることが知られている。

我々は太陽由来の太陽アクシオンを捕えるために、高エネルギー加速器研究機構の山本明教授と共同で中心磁場 4T、長さ 2.3m の超伝導電磁石と PIN フォトダイオード X 線検出器を備え、仰角 $\pm 28^\circ$ 、方位角はほぼ全域において天体を追尾することのできるアクシオンヘリオスコープ (Tokyo Axion Helioscope) を開発した。これまでの観測ではアクシオン由来と考えられる有意な事象は捕えられていないが、 0.27eV 以下のアクシオンと光子の結合定数に対して $g_{a\gamma\gamma} < (6.8 - 10.9) \times 10^{-10} \text{GeV}^{-1}$ という上限値を得ることに成功している。

我々はまた、X 線検出器として利用している PIN フォトダイオード (S3590-06-SPL, Hamamatsu) の表面に存在する不感層の厚みを正確に測定することによって、アクシオンの検出効率の精度向上を試みた。その結果、表面不感層の厚みを $0.31 \pm 0.02 \mu\text{m}$ 、太陽アクシオンを変換して得られる X 線の主なエネ

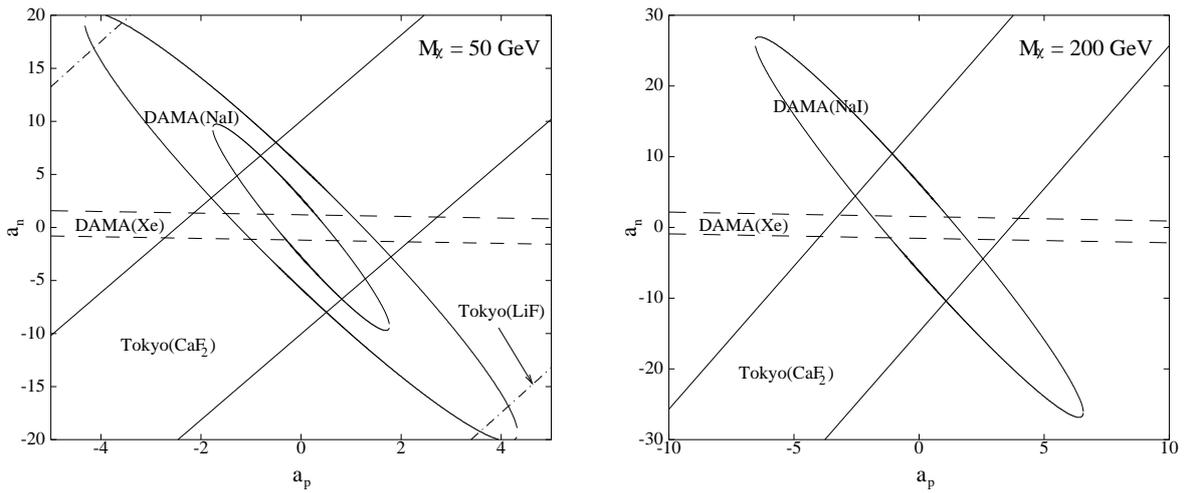


図 5.1 a: 暗黒物質と原子核のスピンの依存した相互作用に対する制限。 a_p 、 a_n はそれぞれ暗黒物質と陽子、暗黒物質と中性子のカップリングを表わす。左が暗黒物質の質量 $50\text{GeV}/c^2$ 、右が $200\text{GeV}/c^2$ のとき。

ルギー領域 (4 – 10keV) におけるピーク検出効率を 95%以上であることが確認された。

現在は装置を理学部 1 号館地下に移設して組み立て・再立ち上げを行っている。それと並行して、運転に人手を要するために長時間観測に向いていなかったという欠点の解消のために運転の全自動化を進めている。また、1eV までの重い太陽アクシオン探索のために必要とされる高密度低温ヘリウムガスを制御するための装置開発を進めている。

のように原子番号が ± 1 だけ異なる元素に転換される。この原子を LASER を用いて選択的に共鳴イオン化する。そこで、図 5.3 b に示すように、まず原子の基底状態から中間の励起状態まで LASER 光により励起し、次に別のまたは同じ LASER 光により原子をイオン化させる。最初のエネルギーレベル差は元素に特有なものであるため、LASER 光の波長をその元素のエネルギーレベル差に合わせてやることによりその元素のみを選択的にイオン化することができる。イオン化された元素は、Q-mass spectrometer (四重極質量分析器) または Time of Flight Spectrometer (TOF 式質量分析器) によりさらに同位体分析し不純物とより分ける。

5.3 共鳴イオン化質量分析によるニュートリノ検出

これまで、低エネルギー (MeV 程度あるいはそれ以下) の電子ニュートリノ・反電子ニュートリノの検出手段は実質的には有機液体シンチレータと放射化学的方法に限られていた。塩素やガリウムをターゲットとした従来の放射化学的手法ではニュートリノ捕獲による生成核が適当な半減期の放射性である必要があった。閾値の低い、あるいは断面積の大きい多様な検出ターゲットが使用可能な新しいニュートリノ検出法が開発できれば、原子炉からの反電子ニュートリノ、あるいは低エネルギー太陽ニュートリノの精密観測が可能になる。とくに、原子炉実験では、KamLAND 実験が成功した事を受けてさらに精密なニュートリノ振動の検証ができる意義は大きい。

特定元素が電子ニュートリノまたは反電子ニュートリノと荷電カレント反応をした場合、

$$\nu_e + (A, Z) \rightarrow e^- + (A, Z + 1)$$

$$\bar{\nu}_e + (A, Z) \rightarrow e^+ + (A, Z - 1)$$

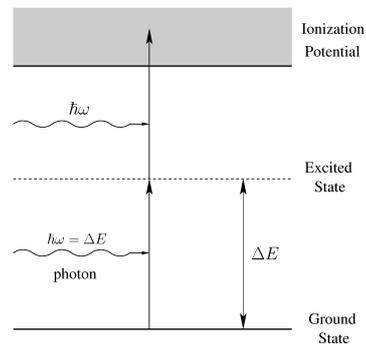


図 5.3 b: 共鳴イオン化の方法

この方法で電子ニュートリノ・反電子ニュートリノの検出を行うための基礎研究を始めた。TOF Spectrometer の最適化や、Q-mass spectrometer による微量元素検出の検討などを始めている。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Y. Akimoto, Y. Inoue, M. Minowa: Measurement of the thickness of an insensitive surface layer of a PIN photodiode, physics/0504147.

(会議抄録)

- [2] Y. Inoue, H. Sekiya, M. Minowa, Y. Shimizu, W. Sukanuma, K. Miuchi, A. Takeda: Current status of Tokyo dark matter experiment, Proc.: Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2003, Eds: M. Terasawa, S. Kubono, T. Kishida, T. Kajino, T. Motobayashi, K. Nomoto (World Scientific, 2005) pp.123–132.

(学位論文)

- [3] 清水雄輝: Dark matter search experiment in a low radioactive environment with europium-doped calcium fluoride scintillators、平成 17 年 3 月博士 (理学)、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻。
- [4] 堀内貴史: 物理実験装置を TCP / IP を用いて簡単に操作する試み、平成 17 年 3 月修士 (理学)、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻。
- [5] 秋本祐介: 太陽アクシオン探索実験の結果改善と新規観測にむけての研究、平成 17 年 3 月修士 (理学)、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻。

< 学術講演 >

(国際会議)

- [6] H. Sekiya, M. Minowa, Y. Shimizu, Y. Inoue, W. Sukanuma: Dark Matter Search with Direction Sensitive Scintillators, invited talk given at the 5th International Workshop on the Identification of Dark Matter (IDM2004), Edinburgh, Scotland, 6–10 September 2004.

(国内会議)

一般講演

- [7] 秋本祐介: 太陽アクシオン探索実験に用いる PIN フォトダイオードの不感層について、日本物理学会 2004 年秋季大会、高知大学朝倉キャンパス、2004 年 9 月 29 日。
- [8] 清水雄輝: Dark matter search experiment with calcium fluoride scintillator、第 3 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会、国民休暇村 館山、2005 年 2 月 18 日。
- [9] 清水雄輝: CaF₂(Eu) シンチレーターによる暗黒物質直接観測実験、第 11 回東京大学素粒子物理国際研究センターシンポジウム、長野県白馬村、2005 年 2 月 21 日。
- [10] 岩田圭弘: 電子ニュートリノ検出のための 2 段階加速 TOF 質量分析法、日本物理学会第 60 回年次大会、東京理科大学野田キャンパス、2005 年 3 月 25 日。

- [11] 清水雄輝: CaF₂(Eu) シンチレーターを用いた暗黒物質探索実験、日本物理学会第 60 回年次大会、東京理科大学野田キャンパス、2005 年 3 月 27 日。

(セミナー)

- [12] 蓑輪 眞: 加速器を使わない素粒子実験、集中講義、京都大学大学院理学研究科、2004 年 12 月 15–17 日。
- [13] 蓑輪 眞: 暗黒物質 (ダークマター) の探し方、京都大学大学院理学研究科談話会、2004 年 12 月 17 日。

6 銀河と宇宙構造の研究

——銀河と宇宙構造の研究——（岡村・土居・嶋作ら）

6.1 すばる望遠鏡による高赤方偏移銀河と大構造の研究

Subaru Deep Survey (SDS) 及び Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS) の推進

柏川伸成、関口和寛（国立天文台）、大内正己（STScI）他、国立天文台、東北大、京都大グループなどの共同研究。宇宙初期の銀河の性質を調べるために、すばる望遠鏡の3つの観測装置（Suprime-Cam, FOCAS, CISCO）を使って、二つのブランクフィールド（Subaru Deep Field: SDF と Subaru/XMM-Newton Deep Field: SXDF）を集中的に撮像・分光観測する計画が、2002年度から行われている。これらはともにハワイ観測所が立ち上げた「観測所プロジェクト」であるが、全国の関連研究者が参加する大プロジェクトである。これらのプロジェクトの観測、データ解析、成果のまとめと論文発表のいずれにおいても我々は大きな貢献をしている。SDFの撮像部分は論文にまとめられ、データは一般に公開された。2004年度は、観測においては撮像から分光へと次第に比重が移ってきた。[11], [31], [42], [50]

赤方偏移 $z \sim 4-5$ にある Lyman Break 銀河 (LBGs) の性質

大内正己 (STScI) ら Suprime-Cam チーム, SDS, SXDS チームとの共同研究。すばる主焦点カメラ (Suprime-Cam) で取られた Subaru Deep Field および Subaru/XMM-Newton Deep Field の広視野の多色撮像データを元に、赤方偏移 $z \sim 4-5$ における Lyman Break 銀河 (LBGs) の性質の解析を行っている。2004年までに $z \sim 4$ の LBGs 約 4500 個 ($M(UV)_{\text{lim}} = -19 \text{ mag}$), $z \sim 5$ の LBGs 約 800 個 ($M(UV)_{\text{lim}} = -20 \text{ mag}$) のサンプルを得た。視野、個数、深さの点でこれは過去に例のない大規模サンプルである。解析の結果次のことがわかった。第1に、明るい LBGs ($M(UV) < -21 \text{ mag}$) の個数密度は、 $z \sim 3-4$ ではほぼ一定であるが、 $z \sim 4-5$ にかけて減少している。第2に、暗い LBGs ($M(UV) > -20 \text{ mag}$) の個数密度は $z \sim 5$ においても $z \sim 3-4$ と同じくらい多い。このことは、過去から時間が下るにつれて小さな銀河の集合合体によって大きな銀河が

形成されて来たことを示唆する。第3に、 L^* より明るい LBGs のクラスタリング強度は、 $z \sim 3-5$ でほぼ一定になっている。これは遠方では銀河形成に強い空間依存性があることを意味している。これらの結果は、Cold Dark Matter モデルによる銀河形成理論と同じ傾向である。[15], [16], [33], [45]

赤方偏移 $z \simeq 3.1$ にある Lyman α 輝線銀河 (LAEs) が作る大規模構造

大内 (STScI), 太田耕司 (京都大), 山田亨 (国立天文台), 林野友紀ら東北大学グループとの共同研究。Steidel らによって $z \simeq 3.1$ に原始銀河団候補が発見されている SSA22a 領域を含む $32' \times 24'$ の広い領域を、すばる主焦点カメラ (Suprime-Cam) で狭帯域 (NB497) 撮像し、LAEs の大局的な空間分布を調べた。その結果、分布は極めて非一様であり、60 Mpc もの長さを持つ細長い高密度領域があることがわかった。また、点源にしか見えない LAEs に比べて広がりが見える LAEs も見つかった。逆に、Lyman α の辺りが吸収になっている天体も見つかった。[9], [13]

赤方偏移 $z \sim 5$ にある Lyman α 輝線銀河 (LAEs) の空間分布

大内 (STScI), 太田 (京都大), 山田 (国立天文台), 東北大学チームとの共同研究。Subaru Deep Field を Suprime-Cam で狭帯域 (NB704) 撮像し、 $z = 4.79 \pm 0.04$ のスライスにある LAEs の大局的な空間分布を調べた。それを、既に調べていた、同じ視野で僅かに向う側の $z = 4.86 \pm 0.03$ のスライスにある LAEs の分布と比較した結果、両者は大きく異なっており、この時代の大規模構造は場所毎にかなり違う様相を見せていることがわかった。この結果は、100 Mpc を遙かに越える大規模な探査を行わなければ、LAEs の形成・進化の理論の詳しい検証が出来ないことを意味する。[18], [40], [41]

$z \simeq 5.7$ の Lyman α 輝線銀河 (LAEs) の空間分布

大内正己 (STScI), SXDS チームとの共同研究。Subaru/XMM-Newton Deep Field の 1.3 平方度の領域を NB816 という狭帯域フィルターで観測し、 $z = 5.7 \pm 0.05$ の LAEs の候補を 515 個検出した。これらの銀河の天球分布を調べたところ、現在の銀河と同様の大規模構造が存在することが分かった。また、原始銀河団と思われる高密度領域も 2 個見つかった。これらの結果は、 $z = 5.7$ という初期宇宙において、LAEs が暗黒物質よりもずっと非一様に分布していること、そして、その非一様の度合いが空間のスケールに依存していることを示唆する。[30]

Subaru Deep Survey プロジェクトで見つかった高赤方偏移銀河の分光観測

柏川伸成 (国立天文台), M. A. Malkan (UCLA) らとの共同研究. Subaru Deep Survey プロジェクトの撮像データの中に見つかった高赤方偏移銀河の候補を, 米国 Keck 望遠鏡で分光観測し, 50 個を超える銀河を分光同定した. 現在データを解析中である.

新しい探査法による赤方偏移 $z \sim 6$ の銀河の検出

大内 (STScI), 古澤, 柏川 (国立天文台) との共同研究. すばる望遠鏡の主焦点カメラに z_B (中心波長 8842Å) と z_R (9841Å) という新しいフィルターを装着して Subaru Deep Field を撮像観測し, それを既存の撮像データと組み合わせると, $z = 5.7 \pm 0.3$ にある Lyman-break 銀河の候補を 12 個検出した. この観測は, 過去の同様の $z \sim 6$ の銀河探査に比べて, 銀河選択の信頼性と探査領域の広さの点で優れている. $z \sim 6$ の銀河の光度関数を求めた結果, 明るい星形成銀河の数密度が $z \sim 3$ から 6 にかけて 1 桁程度減少していることが分かった. 明るい銀河の数密度の進化は暗い銀河よりもずっと激しく, むしろサブミリ波で見つかったより大質量星形成銀河や QSOs の進化に似ている.

Subaru/XMM-Newton Deep Field における $z \sim 3 - 5$ の広がった Lyman α 輝線天体の探査

大内 (STScI), 国立天文台グループらとの共同研究. Subaru/XMM-Newton Deep Field において, すばる/Suprime-Cam および 7 枚の中間帯域フィルターを用いて深い撮像を行い, $3.24 \leq z \leq 4.95$ にある空間的に広がった Lyman α 輝線天体を探査した. これまで $z \sim 3.1$ 付近にしか知られていなかったこの種の天体を 900 平方分の広視野で広い赤方偏移範囲にわたって探査することで, 41 個の候補天体を同定した. この結果, これらは (数は多くないものの) 初期宇宙においてごく一般的に存在すること, また典型的なサイズが 10 - 30 kpc 程度であることが分かった. さらに, 光度関数を既存の観測と比較することで, これらの天体は高密度領域に偏在していることが示唆された. うち 7 天体について分光フォローアップ観測を行ったところ, 通常の星形成では説明できない, 大きな輝線等価幅が見られた. これらは形成途中の非常に若い銀河である可能性がある. より精密なデータを得るため, VLT/VIMOS による高分散分光観測も行った.

Lyman α 輝線銀河 (LAEs) の光度関数

大内 (STScI), SXDS チームなどとの共同研究. すばる主焦点カメラ (Suprime-Cam) を用いて, $z = 3.1, 3.7, 5.7$ の Lyman α 輝線に対応する狭帯域フィルター (NB503, NB570, NB816) で Subaru/XMM-Newton Deep Field を撮像した. 観測視野は 1.3 平方度, 限界等級は 25.5 mag から 26.5 mag である. このデータを用いて, LAEs の光度関数が z ととも

にどのように変わって行くかを調べる研究を進めている.

赤方偏移 $z = 6.33$ にある星生成銀河の発見

大内 (STScI), 長尾透ら東北大学グループ, 国立天文台グループとの共同研究. $z \sim 6$ より遠い Lyman-break 銀河 (LBGs) を探す方法として広く使われている i -dropout 法によって見つけた銀河の確認分光観測を行っているうちに, それらの中に強い Lyman α 輝線を放射する星生成銀河 (つまり Lyman α 輝線銀河) があることがわかった. この銀河の z' バンドの明るさには連続光ばかりでなく Lyman α 輝線がかなり寄与している. i' -dropout 銀河の星形成率は紫外連続光と見なされる z' バンドの明るさから推定されることが多いので, このような銀河が i' -dropout 銀河のサンプルに多数混入していれば, 宇宙の星形成率の過大評価につながる可能性があるので注意が必要である. [14]

ハッブル・ディープ・フィールド領域の深い多色撮像データカタログの作成

Capak (ハワイ大学) らとの共同研究. ハッブル・ディープ・フィールドを含む 0.2 平方度の広領域 (Hawaii HDF-N) を可視・近赤外の多色で観測した. 可視光は, すばる望遠鏡の Suprime-Cam (B, V, R, I, z') と キットピーク天文台の 4m 望遠鏡 (U) を用いて全領域を, 近赤外 (HK' バンド) はハワイ大学 2.2m 望遠鏡を用いて Chandra Deep Field North を含む狭い領域を撮影した. このデータをもとに 48,858 天体のカタログを作成し, 銀河計数データと色 - 等級図を示した. 色による選択法を用いて, 赤方偏移が $3 < z < 7$ にある銀河の密度を評価した. $z > 5.5$ になると, 色による選択では z の小さい銀河の混入が増加することを示した. [4]

6.2 銀河進化と環境効果

やまねこ座超銀河団の周りの大規模な構造の発見

仲田史明 (ダラム大学), 児玉忠恭 (国立天文台) らとの共同研究. やまねこ座の領域には, 赤方偏移 $z \simeq 1.26$ と $z \simeq 1.27$ の 2 つの銀河団が発見されており最遠方の超銀河団の可能性が示唆されていた. Suprime-Cam による広視野 ($26' \times 24'$) の多色画像 (V, R, i', z' バンド) のデータを測光的赤方偏移法を用いて解析した結果, この 2 つの既知の銀河団の周辺に新たに 7 つの銀河の高密度領域 (銀河団や銀河群) があり, この領域には超銀河団を中心とした大規模構造が存在していることがわかった. [29], [38], [39]

$z \sim 0$ における銀河の性質の環境依存性

後藤友嗣 (STScI) らとの共同研究. スローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS) のデータから、赤方偏移 $0.030 < z < 0.065$ でかつ等級が $M_r < M_r^* + 2$ にある 19,714 個の銀河からなる完全サンプルを作り、それらの銀河の星形成率と形態が、銀河の明るさとその環境 (局所数密度と銀河が属する系の規模) によってどのように異なるかを調べた. 局所数密度の高いところにある銀河は低いところ (フィールド) にある銀河に比べて星形成率が低く形態は早期型である. その変化の様子は、局所数密度のある閾値を境にして、それより高密度になると急速に変化する. しかしそのような閾値を伴う変化は暗い銀河 ($M_r^* + 1 < M_r < M_r^* + 2$) にしか見られず、明るい銀河 ($M_r < M_r^* + 1$) では閾値はなく、なめらかに変化する. すなわち銀河の性質と環境の関わり合い方は銀河の明るさによって異なる. 系の規模との関係を見ると、速度分散が 200 km s^{-1} より大きな系にある銀河は大部分が星形成を行っていない早期型銀河であり、系の規模が変わっても銀河の性質は変わらない. しかしそれより小さな規模の系に属する銀河の性質は系の規模によって変わり、速度分散が 100 km s^{-1} という小さな系に属する銀河でもその星形成率はフィールド銀河より小さい. 以上より、明るい銀河は系の規模とはあまり無関係にその性質が決まっているが、暗い銀河の性質は系の規模によって変成を受けると考えられる. また、銀河の性質を変える「環境効果」のメカニズムとして、ラム圧による渦巻き銀河からのガスのはぎ取りのような大きな銀河団の中心部だけで動くようなものは考えにくいことが示唆される. [19], [46]

 $z < 1$ における銀河進化

児玉 (国立天文台) らとの共同研究. 我々はすばる主焦点カメラを用いた遠方銀河団サーベイ、PISCES を推進している. このサーベイの一環で、CL0016 ($z = 0.55$) と RXJ0153 ($z = 0.83$) を多色観測した. 測光的赤方偏移を用いて銀河団の距離にある銀河を抽出したところ、銀河団を取り巻く大規模構造を抽出した. さらに銀河の色を注意深く調べると、近傍宇宙で見られているような環境依存性が $z = 0.83$ においても見られることがわかった. また、銀河の色等級関係に注目すると、色等級関係はまず明るい銀河においてできあがり、時間とともに暗い銀河が色等級関係に乗ってくることが示唆された. この色等級関係のできる時期は環境に依っていて、高密度環境で最も早く、低密度環境で遅くなっている. これらの結果は、銀河が “down-sizing” 的に進化することを示唆している. つまり、銀河の星形成は重い銀河から止まり、時間とともにそれが軽い銀河へ移っていく、ということである. この “down-sizing” の進化段階は環境に依存しており、高密度環境ほどより早く進むようである. [12], [27], [36], [47]

銀河団における色 - 半径および形態 - 半径関係の進化

後藤 (STScI), 八木雅文 (国立天文台) との共同研究. スローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS) のデータから同定された 736 個の銀河団を赤方偏移 z で $0.02 \leq z \leq 0.14$, $0.14 < z \leq 0.20$, $0.20 < z \leq 0.30$ の 3 つの範囲に仕分けし、それぞれの範囲で、銀河団中の全銀河に占める青い銀河の割合 f_B を銀河団中心からの距離の関数として表した「色 - 半径関係」、および銀河団中の全銀河に占める晩期型銀河の割合 f_{late} を銀河団中心からの距離の関数として表した「形態 - 半径関係」がどのようにになっているかを調べた. どの赤方偏移の範囲においても 2 つの関係は銀河団毎の分散は大きいものの良く成り立っていた. 各赤方偏移の範囲で平均的な関係を作ってみると、どの半径の位置で見ても、 f_B , f_{late} ともに赤方偏移が小さくなるほど小さくなる傾向が見られた. さらに、 f_B の進化は $z \sim 0.2$ で完了するが、 f_{late} の進化は現在まで継続しているように見えることもわかった. このことは、銀河の色が変化する (星生成活動が止まってから次第に赤くなる) タイムスケールは、銀河の形態が進化する (ディスクが支配的な晩期型から楕円体成分が卓越する早期型に変わる) タイムスケールより短いことを示唆する. 形態は晩期型だが星形成活動の極めて弱い passive spirals (anemic spirals) は、星形成が止まったあとの形態進化の途上にある天体であることが示唆される. [7]

A521 銀河団の $H\alpha$ 光度関数

梅田 (東北大), 八木 (国立天文台) らとの共同研究. すばる望遠鏡の Suprime-Cam による広帯域 (B , V , R_c , z') 及び狭帯域 (NB816) 画像から、 $z = 0.25$ にある A521 銀河団中に 165 個の $H\alpha$ 輝線銀河を検出した. これらの銀河のうち、銀河団中心から半径 2Mpc 以内にあるものの光度関数を求めシェヒター関数でフィットしてそのパラメータを求めた. 暗い側の傾きは $\alpha = -0.75 \pm 0.23$ で近傍 ($z \sim 0$) の銀河団の値とほぼ同じであるが、典型的な銀河の明るさを示す L^* は近傍の銀河団に比べて 6 倍 ($\sim 2 \text{ mag}$) 明るい. これは遠方に行くほど銀河団中の青い銀河の割合が増えるとするいわゆるブッチャー・エムラー効果と合致する観測結果である. [22]

かみのけ座銀河団と遠方銀河団の銀河の性質の比較研究

Poggianti (パドヴァ天文台), Bridges (アングロオーストラリア天文台), 柏川, 八木, 小宮山 (国立天文台) らとの共同研究. 銀河団中の銀河の星形成史を調べるために、かみのけ座銀河団 ($z \sim 0.02$) 中の銀河の分光的性質を $z \sim 0.5$ の同様な銀河団 (rich clusters) 中の銀河のものと比較した. 遠方の銀河団では、(k+a) 型のスペクトルを示すいわゆるポストスターバースト銀河が明るい ($M_V \leq -20 \text{ mag}$) 銀河のかなりの割合を占めるが、かみのけ座銀河団ではこのような明るい銀河はなく、(k+a) 型のスペクトルを示すのは $M_V \geq -18.5 \text{ mag}$ の矮小銀河であった. このようなポストスターバースト矮小銀河はかみの

け座銀河団の矮小銀河のかなりの割合にのぼる。このことはいわゆる down sizing 現象、「銀河団領域に落ち込んでくる銀河における星形成活動は質量の大きな銀河から停止を始め次第に質量の小さな銀河に波及する」を裏付けるものと考えられる。一方、これらのポストスターバースト矮小銀河の空間分布は全体としてはとくに特徴がないが、その中で最も色が青く吸収線の強い「若いポストスターバースト矮小銀河」は銀河団中心の 1.4 Mpc 以内にあり、銀河団の平均速度より有意に大きな視線速度を有している。さらに、それらは、XMM-Newton 衛星で観測された高温ガスの分布に見られる 2 つの落ち込んでくる集団のまさに縁に位置している。このことは、銀河間物質との相互作用が星形成活動を停止させる原因であることを示唆する。[17], [37], [43], [44]

6.3 銀河に属さない惑星状星雲

おとめ座銀河団中の銀河に属さない惑星状星雲 (ICPNe) の速度分散

Arnaboldi (トリノ天文台), Freeman (オーストラリア国立大学), Gerhard (パーゼル大学), 安田直樹 (東大宇宙線研) らとの共同研究。ESO VLT の多天体分光器 (FLAMES) を用いて、おとめ座銀河団中の銀河に属さない惑星状星雲 (Intracluster Planetary Nebulae: ICPNe) 40 個の視線速度を観測した。狭帯域フィルターによる観測で選んだ候補天体のほとんどが ICPNe であることが分光的に確認された。分光した天体は、M87 から 1.2 度離れた「CORE フィールド」、0.25 度離れた「M87 フィールド」、M84/M86 近くの「M84/M86 フィールド」の 3 つのフィールドにある。ICPNe の速度分散はフィールド毎に大きく異なっていることがわかった。CORE フィールドではおとめ座銀河団銀河の速度分散に似ており、M87 フィールドでは M87 の大きく広がったハローのような速度分散、M84/M86 フィールドではこの 2 つの銀河の速度を中心とする速度分散を示す。このことは、おとめ座銀河団ではまだ銀河間空間にある星々が力学的に充分混じり合っていない、すなわちおとめ座銀河団はまだ活発な形成活動の過程にあることを示唆する。[2]

かみのけ座銀河団中の銀河に属さない惑星状星雲 (ICPNe) の検出

Arnaboldi (トリノ天文台), Freeman (オーストラリア国立大学), Gerhard (パーゼル大学), 安田 (東大宇宙線研) らとの共同研究。かみのけ座銀河団中の銀河に属さない惑星状星雲 (Intracluster Planetary Nebulae: ICPNe) を検出するために、多スリット分光撮像法という新しい手法を考案し、すばる望遠鏡の FOCAS を用いて初めての観測を行った。その結果、[O III] の $\lambda 5007 \text{ \AA}$ 輝線を示す ICPNe 候補を 16 個検出することに成功した。これらが本当に ICPNe

であると考えられる理由は、(1) 空間的に点源で輝線の幅も狭い (分解能以下)、(2) 1 つの候補から [O III] の $\lambda 5007 \text{ \AA}$ に加えてダブレットをなす $\lambda 4959 \text{ \AA}$ 輝線が検出された (他の候補のこの輝線は、観測可能なバンド幅の外にある)、(3) 100 Mpc の距離にある惑星状星雲と考えてフラックス強度に矛盾がない、(4) 16 個の速度分散が $\sim 760 \text{ km s}^{-1}$ と小さいこと、の 4 つである。この観測により新しい手法の有効性が示された (これは超新星を除けば、1 つの星ないしは 1 つの星に付随する現象を検出した最遠方記録と考えられる)。今後観測をさらに進める計画である。[26]

6.4 遠方超新星と宇宙膨張および変光天体

すばる望遠鏡による遠方超新星探索と宇宙膨張の測定

本原顕太郎 (東大理天文センター), 安田 (東大宇宙線研), 柏川 (国立天文台), Supernova Cosmology Project team, Subaru Big Projects team らとの共同研究。Ia 型超新星を標準光源として宇宙膨張の測定を行うため、すばる望遠鏡 Suprime-Cam を用いて得られた候補について、画像解析を進め、また母銀河の分光を行った。2002 年秋に多数の光度曲線の得られた SXDS 領域においては、精度良い photometry の方法を詳しく調べて最終測定を行った他、明るさの原点を決めるため、SDSS の primary standard の観測を行った USNO の 1m 望遠鏡へ安田、諸隈が観測に行った。現在米国の共同研究者とハッブル宇宙望遠鏡の測光結果と比較を行っている。また VLT による追加分光観測の結果を Lidman et al.2004 としてまとめた。[28], [34]

すばる望遠鏡による遠方 AGN の変光の研究

安田 (東大宇宙線研), 柏川, 秋山 (国立天文台), M.Malkan (UCLA), Supernova Cosmology Project team, Subaru Big Projects team らとの共同研究。すばる望遠鏡 Suprime-Cam で同じ領域を繰り返し撮像したデータ (Subaru Deep Field, Subaru/XMM-Newton Deep Survey, 最大時間間隔 2 年) を用いて変光天体を探索し、Suprime-Cam1 視野あたり約 400 個の変光天体を発見した。過去の研究の延長などから大部分は赤方偏移 1 から 4 の比較的低光度な AGN であると推定され、一部の天体について行った分光観測でそれを確認できた。今後、これらの暗い変光天体の分類をまとめるとともに、新たな Suprime-Cam データや近赤外線分光観測データを加えることにより、遠方低光度 AGN の光度関数やその進化を探る。[32]

6.5 スローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS)

スローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS) の推進

SDSS Collaboration (日本グループは Japan Participation Group: JPG として参加) と共同で進めている。2003 年 4 月に第 1 次データ公開を行って以来、2004 年 3 月に第 2 次、2004 年 10 月に第 3 次のデータ公開を行った。第 3 次データ公開には 5282 平方度の撮像データと 4188 平方度中の 528,640 天体のスペクトルが含まれている。[1], [3], [5], [20], [21], [25]

スローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS) の銀河サンプルのスペクトル分類

Yip (ピッツバーグ大学) ら SDSS Collaboration との共同研究。SDSS で得られた 17 万個の銀河のスペクトルから Karhunen-Loeve (KL) 変換法により、10 個の固有スペクトルを抽出した。個々の銀河のスペクトルをこの 10 個の固有スペクトルの線形結合で表現したとき、固有値の大きい 3 個の固有スペクトルの係数 (重み) によって銀河は大きく分けて 3 個のスペクトル型に分類されることを示した。[23]

スローンデジタルスカイサーベイのカラーバンドの精密測定

福来正孝 (東大宇宙線研), J.Gunn (プリンストン大), SDSS collaboration) との共同研究。スローンデジタルスカイサーベイの 2.5m 望遠鏡のバンド特性の精密測定を行った。モノクロメーターの人工光源を用いてフィルターの透過特性と CCD の量子効率を合わせた特性を測定した。今回は波長較正のためファイバー分光器 (朝日分光 HSU-100S) を用いて約 0.3nm の精度で測定することができた。その結果、g, r, i, z の 4 つのバンドについては季節による温度変化と思われる特性のわずかな変化がある他は、過去安定していたと思われる結果が得られた。u バンドについては変化があったかもしれないという結果が得られ、また red leak が予定していたよりも大きいかもしれないという結果を得た。詳細は調査中である。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Abazajian, K. et al. (the SDSS Collaboration: 153 authors including S.Okamura, M.Do, and K.Shimasaku) 2004, "The Second Data Release of the Sloan Digital Sky Survey", *A. J.*, **128**, 502-512.
- [2] Arnaboldi, M., Gerhard, O., Aguerri, J.A.L., Freeman, K.C., Napolitano, N.R., Okamura, S., & Yasuda, N. 2004, "The Line-of-Sight Velocity Distributions of Intracluster Planetary Nebulae in the Virgo Cluster Core", *Ap. J.*, **614**, L33-L36.
- [3] Ball, N. M., Loveday, J., Fukugita, M., Nakamura, O., Okamura, S., Brinkmann, J., & Brunner, R. J. 2004, "Galaxy types in the Sloan Digital Sky Survey using supervised artificial neural networks", *M. N. R. A. S.*, **348**, 1038-1046.
- [4] Capak, P., Cowie, L.L., Hu, E.M., Barger, A.J., Dickinson, M., Fernandez, E., Giavalisco, M., Komiyama, Y., Krechmer, C., McNally, C., Miyazaki, S., Okamura, S., & Stern, D. 2004, "A Deep, Wide Field, Optical, and Near Infrared Catalog of a Large Area around the Hubble Deep Field North", *A. J.*, **127**, 180-198.
- [5] Finkbeiner, D. P. et al. (89 authors including M.Do and K.Shimasaku) 2004, "Sloan Digital Sky Survey Imaging of Low Galactic Latitude Fields: Technical Summary and Data Release", *A. J.*, **128**, 2577-2592.
- [6] Fukugita, M., Nakamura, O., Schneider, D. P., Doi, M., and Kashikawa, N. 2004, "The Search for Galaxy Clustering around a Quasar Pair at $z = 4.25$ Found in the Sloan Digital Sky Survey", *Ap. J. (Letters)***603**, L65-L68
- [7] Goto, T., Yagi, M., Tanaka, M., & Okamura, S. 2004, " Evolution of the colour-radius and morphology-radius relations in SDSS galaxy clusters", *M. N. R. A. S.*, **348**, 515-518.
- [8] Hamana, T., Ouchi, M., Shimasaku, K., Kayo, I., & Suto, Y. 2004, "Properties of host haloes of Lyman-break galaxies and Lyman alpha emitters from their number densities and angular clustering", *M. N. R. A. S.*, **347**, 813-823.
- [9] Hayashino, T. et al. (15 authors including S.Okamura and K.Shimasaku) 2004, "Large-Scale Structure of Emission-Line Galaxies at $z = 3.1$ ", *A. J.*, **1287**, 2073-2079.
- [10] Iwamuro, F., Kimura, M., Eto, S., Maihara, T., Motohara, K., Yoshii, Y., & Doi, M. 2004, "Fe II/Mg II Emission-Line Ratios of QSOs. II. $z > 6$ Objects", *Ap. J.***614**, 69-74
- [11] Kashikawa, N. et al. (38 authors including S.Okamura, M.Do, and K.Shimasaku) 2004, "The Subaru Deep Field: The Optical Imaging Data", *Publ. Astr. Soc. Japan*, **56**, 1011-1023.
- [12] Kodama, T. et al. (32 authors including M.Do, and K.Shimasaku) 2004, "Down-sizing in galaxy formation at $z \sim 1$ in the Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS)", *M. N. R. A. S.*, **350**, 1005-1014.
- [13] Matsuda, Y. et al. (15 authors including S.Okamura, and K.Shimasaku) 2004, "A Subaru

- Search for Ly α Blobs in and around the Proto-cluster Region At Redshift $z = 3.1$ ”, *A. J.*, **128**, 569-584.
- [14] Nagao, T. et al. (40 authors including S.Okamura, M.Do, and K.Shimasaku) 2004, “A Strong Ly-alpha Emitter at $z = 6.33$ in the Subaru Deep Field Selected as an i'-Dropout”, *Ap. J.*, **613**, L9-L12.
- [15] Ouchi, M. et al. (16 authors including S.Okamura, M.Do, and K.Shimasaku) 2004, “Subaru Deep Survey. V. A Census of Lyman Break Galaxies at $z \sim 4$ and 5 in the Subaru Deep Fields: Photometric Properties”, *Ap. J.*, **611**, 660-684.
- [16] Ouchi, M. et al. (16 authors including S.Okamura, M.Do, and K.Shimasaku) 2004, “Subaru Deep Survey. VI. A Census of Lyman Break Galaxies at $z \sim 4$ and 5 in the Subaru Deep Fields: Clustering Properties”, *Ap. J.*, **611**, 685-702.
- [17] Poggianti, B.M., Bridges, T.J., Komiyama, Y., Yagi, M., Carter, D., Mobasher, B., Okamura, S., & Kashikawa, N. 2004, “A Comparison of the Galaxy Populations in the Coma and Distant Clusters: The Evolution of k+a Galaxies and the Role of the Intracluster Medium”, *Ap. J.*, **601**, 197-213.
- [18] Shimasaku, K., Hayashino, T., Matsuda, Y., Ouchi, M., Ohta, K., Okamura, S., Tamura, H., Yamada, T., & Yamauchi, R. 2004, “Large Cosmic Variance in the Clustering Properties of Ly α Emitters at $z \simeq 5$ ”, *Ap. J.*, **605**, L93-L96.
- [19] Tanaka, M., Goto, T., Okamura, S., Shimasaku, K., & Brinkmann, J. 2004, “The Environmental Dependence of Galaxy Properties in the Local Universe: Dependences on Luminosity, Local Density, and System Richness”, *A. J.*, **128**, 2677-2695.
- [20] Tegmark, M. et al. (65 authors including M.Do) 2004, “The Three-Dimensional Power Spectrum of Galaxies from the Sloan Digital Sky Survey”, *Ap. J.* **606**, 702-740
- [21] Tegmark, M. et al. (67 authors including M.Do) 2004, “Cosmological parameters from SDSS and WMAP”, *Physical Review D* **69**, 103501-
- [22] Umeda, K., Yagi, M., Yamada, S. F., Taniguchi, Y., Shioya, Y., Murayama, T., Nagao, T., Ajiki, M., Fujita, S. S., Komiyama, Y., Okamura, S., & Shimasaku, K. 2004, “The H α Luminosity Function of the Galaxy Cluster A521 at $z = 0.25$ ”, *Ap. J.*, **601**, 805-812.
- [23] Yip, C. et al. (15 authors including S.Okamura) 2004, “Distributions of Galaxy Spectral Types in the Sloan Digital Sky Survey”, *A. J.*, **128**, 585-609.
- [24] Yoshida, M. et al. (20 authors including S.Okamura, M.Do and K.Shimasaku) 2004, “Subaru Deep Spectroscopy of the Very Extended Emission-Line Region of NGC 4388: Ram Pressure Stripped Gas Ionized by Nuclear Radiation”, *A. J.*, **127**, 90-104.
- “Erratum: “Subaru Deep Spectroscopy of the Very Extended Emission-Line Region of NGC 4388: Ram Pressure Stripped Gas Ionized by Nuclear Radiation” [Astron. J. 127, 90 (2004)] ”, *A. J.*, **127**, 3653-3653.
- [25] Abazajian, K. et al. (154 authors including S.Okamura, M.Do, and K.Shimasaku) 2005, “The Third Data Release of the Sloan Digital Sky Survey”, *A. J.*, **129**, 1755-1759.
- [26] Gerhard, O., Arnaboldi, M., Freeman, K. C., Kashikawa, N., Okamura, S., & Yasuda, N. 2005, “Detection of Intracluster Planetary Nebulae in the Coma Cluster”, *Ap. J.*, **621**, L93-L96.
- [27] Kodama, T. et al. (24 authors including M.Tanaka, S.Okamura, and K.Shimasaku) 2005, “Panoramic Views of Cluster-Scale Assemblies Explored by Subaru Wide-Field Imaging” *Publ. Astr. Soc. Japan*, 2005, **57**, 309-323.
- [28] Lidman, C. (47 authors including M.Do) 2005, “Spectroscopic confirmation of high-redshift supernovae with the ESO VLT.”, *Astr. Ap.*, **430**, 843-851
- [29] Nakata, F. et al. (15 authors including S.Okamura, M.Do, and K.Shimasaku) 2005, “Discovery of a large-scale clumpy structure around the Lynx supercluster at $z \sim 1.27$ ”, *M. N. R. A. S.*, **357**, 1357-1362.
- [30] Ouchi, M. et al. (17 authors including S.Okamura, K.Shimasaku, M.Yoshida, and T.Saito) 2005, “The Discovery of Primeval Large-Scale Structures with Forming Clusters at Redshift 6”, *Ap. J.*, **620**, L1-L4.
- [31] Taniguchi, Y. et al. (40 authors including S.Okamura, M.Do, and K.Shimasaku) 2005, “The SUBARU Deep Field Project: Lymanalpha Emitters at a Redshift of 6.6”, *Publ. Astr. Soc. Japan*, **57**, 165-182.
- [32] Totani, T., Sumi, T., Kosugi, G., Yasuda, N., Doi, M., and Oda, T. 2005, “A Discovery of Rapid Optical Flares from Low-Luminosity Active Nuclei in Massive Galaxies”, *Ap. J. (Letters)*, **621**, L9-L12
- (学位論文)
- [33] 吉田真希子, “Properties of Galaxies at $z > 4$ in the Subaru Deep Field” (修士論文)
- [34] 高梨直紘, 「多波長光度曲線で探る近傍 Ia 型超新星の諸性質」(修士論文)
- (会議抄録)
- [35] Iye, M. et al. (13 authors including S.Okamura, and K.Shimasaku) 2004, “ERO R1 in the field of CL0939+4713 – Evidence for an S0-like galaxy at $z \sim 1.5$ ”, *IAU Symp.*, **217**, 181.

- [36] Kodama, T. Smail, Ian, Nakata, F., Okamura, S., & Bower, R. G. 2004, “History of Mass Assembly and Star Formation in Galaxy Cluster”, *Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescope*, Proc Japan-German Seminar, eds. N. Arimoto and W. Duschl, pp. 23-31.
- [37] Komiyama, Y., Okamura, S., Yagi, M., Kashikawa, N., Poggianti, B.M., Bridges, T.J., Mobasher, B., & Carter, D. 2004, “Photometric properties of dwarf galaxies in the Coma cluster: radial dependence”, *Outskirts of Galaxy Clusters: Intense Life in the Suburbs*, ed. A. Diaferio, IAU Colloquium, **195**, 429-431.
- [38] Nakata, F. et al. (19 authors including S.Okamura, and K.Shimasaku) 2004, “Probing Distant Clusters of Galaxies at $z > 1$ ”, *Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescope*, Proc Japan-German Seminar, eds. N. Arimoto and W. Duschl, pp. 57-60.
- [39] Nakata, F. et al. (14 authors including S.Okamura, M.Doi, and K.Shimasaku) 2004, “Discovery of a large-scale clumpy structure of the Lynx supercluster at $z \sim 1.27$ ”, *Outskirts of Galaxy Clusters: Intense Life in the Suburbs*, ed. A. Diaferio, IAU Colloquium, **195**, 29-33.
- [40] Ouchi, M. et al. (13 authors including S.Okamura, M.Doi, and K.Shimasaku) 2004, “Unveiling Proto-clusters and Proto-large-scale Structures at $z > 3$ with the Subaru Prime Focus Camera”, *Clusters of Galaxies: Probes of Cosmological Structure and Galaxy Evolution*, Carnegie Observatories Centennial Symposia, Carnegie Observatories Astrophysics Series, eds. J.S. Mulchaey et al. (Pasadena: Carnegie Observatories), p. 41.
- [41] Ouchi, M. et al. (15 authors including S.Okamura, M.Doi, and K.Shimasaku) 2004, “Clustering of Galaxies at Redshift 4 and 5 in the Subaru Deep Fields”, *Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescope*, Proc Japan-German Seminar, eds. N. Arimoto and W. Duschl, pp. 47-50.
- [42] Ouchi, M., Shimasaku, K., Okamura, S., & SDS Team, 2004 “Subaru Deep Survey”, Proc. conference on *Multiwavelength Cosmology*, STROPHYSICS AND SPACE SCIENCE LIBRARY, Vol. 301. (Dordrecht: Kluwer), p.63.
- [43] Poggianti, B. M., Kashikawa, N., Bridges, T., Mobasher, B., Komiyama, Y., Carter, D., Okamura, S., & Yagi, M. 2004, “Two Formation Paths for Cluster Dwarf Galaxies?”, IAU Symp., **217**, 562.
- [44] Poggianti, B.M., Bridges, T.J., Yagi, M., Komiyama, Y., Carter, D., Mobasher, B., Okamura, S., & Kashikawa, N. 2004, “Newcomers meet the intracluster medium in the Coma cluster”, *Outskirts of Galaxy Clusters: Intense Life in the Suburbs*, ed. A. Diaferio, IAU Colloquium, **195**, 362-366.
- [45] Shimasaku, K. et al. (14 authors including S.Okamura, and M.Doi) 2004, “Photometric Properties of Lyman Break Galaxies at $z = 4$ and 5 in Wide Field Imaging Data Taken with the Subaru Suprime-Cam”, *Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescope*, Proc Japan-German Seminar, eds. N. Arimoto and W. Duschl, pp. 39-46.
- [46] Tanaka, M., Goto, T., Okamura, S., Shimasaku, K., & Brinkman, J. 2004 “The environmental dependence of galaxy properties in the local universe: effects of local and global environment”, *Outskirts of Galaxy Clusters: Intense Life in the Suburbs*, ed. A. Diaferio, IAU Colloquium, **195**, 444-446.
- [47] Tanaka, M. & Kodama. T. 2004, “PISCES: Galaxy Properties as Functions of Environment and time”, Proc. of *Baryons in Dark Matter Halos*, eds. R. Dettmar, U. Klein, P. Salucci, Published by SISSA, Proceedings of Science, pp.48-51 (<http://pos.sissa.it>)
- [48] Uruguchi, F., Motohara, K., Doi, M., Takato, N., Miyashita, A., Tanabe, T., Oyabu, S., and Soyano, T., “Simultaneous seeing measurements at Atacama”, 2004, Proceedings of the SPIE, **5489**, 218-226
- [49] Yoshida, M., Yagi, M., Okamura, S., Ohya, Y., Kashikawa, N., Sasaki, T., Aoki, K., & Iye, M. 2004, “Deep Spectroscopy of the Very Extended Ionized Gas of NGC 4388”, IAU Symp., **217**, 386.
- [50] Okamura, S. 2005, “Probing the Era of Galaxy Formation by Subaru Telescope”, *Origins: From Early Universe to Extrasolar Planets*, Proc. 19th Nishinomiya-Yukawa Memorial Symp., ed. S.Mineshige, in press.
- [51] 本原顕太郎, 土居守, 小林尚人, 他: 「2010年代の光赤外天文学 将来計画検討報告書」光赤外将来計画検討会検討報告書編集委員会, 2005年3月20日発行 (国内雑誌)
- [52] 岡村定矩 2005: 「大規模銀河探索—スローン・デジタル・スカイサーベイ—が描き出した宇宙の姿」, 「ビッグバン: 宇宙の誕生と未来」, 第18回「大学と科学」公開シンポジウム講演収録集(クバプロ), 60-70.
- [53] 嶋作一大, 大内正己 2004 “早期宇宙の銀河地図を読み解く”, 天文月報, **97**, 646-654.
- [54] 嶋作一大 2005: “遠方銀河探索の最前線”, 物理科学, この1年, 「バリティ」, 2005年1月号, 49-50.
- [55] 本原顕太郎, 宮田隆志, 土居守 2004, 「TAOサイト調査(1)」, 天文月報, 2004年9月号 (著書)
- [56] 岡村定矩, 柴橋博資 2004, 「理科年表2005」, (天文部, 分担執筆), 丸善.

- [57] 嶋作一大 2004, 「理科年表 2005」, (天文部, 分担執筆, “遠方銀河の探査”), 丸善, p.165.

< 学術講演 >

(国際会議)

一般講演

- [58] Morokuma, T., Doi, M., Yasuda, N., Ueda, Y., Akiyama, M., Kashikawa, N., Subaru Deep Field Project Team, Subaru/XMM-Newton Deep Survey Project Team: “Variable AGN from Subaru/Suprime-Cam data”, Multiwavelength SXDF Workshop, Kyoto University, Japan, 2004/06/03–05,
- [59] Saito, T.: “Systematic Survey of Extended Ly α Sources at $z \sim 3-5$ ”, in *Multiwavelength Observations of the Subaru/XMM-Newton Deep Survey Field*, Kyoto, Japan, 2004/06/03–05.
- [60] Tanaka, M.: “The Environmental Dependence of Galaxy Properties” in *UT-FORUM*, Sweden, 2004/08/22–27
- [61] Tanaka, M., Kodama, T., : “Galaxy Properties as Functions of Environment and Time” in *Baryons in Dark Matter Halos*, Novigrad, Croatia, 2004/10/05–09
- [62] Saito, T.: “Systematic Survey of Extended Ly α Sources at $z \sim 3-5$ ”, ESO (Santiago) lunch talk, ESO, Santiago, Chile, 2004/11/10.
- [63] Tanaka, M., Kodama, T., : “Watch Me Grow – The build-up of the Color-Magnitude Relation” in *Future of Cosmology with Clusters of Galaxies*, Kona, USA, 2005/02/26–03/02

招待講演

- [64] Okamura, S., 2004, “Probing the Era of Galaxy Formation by Subaru Telescope”, *Origins: From Early Universe to Extrasolar Planets*, 19th Nishinomiya-Yukawa Memorial Symp., Nishinomiya, Japan, 2004/11/1–2.
- [65] Okamura, S., 2004, “Probing the Era of Galaxy Formation”, *The Universe: Origin, Evolution, Future*, 3rd JSPS Forum in France, Strasbourg, France, 2004/11/19.
- [66] Okamura, S., 2005, “Discovery of Primeval Large-Scale Structures with Forming Clusters at Redshift $z=5.7$ ”, *Cosmology with SZ and X-Ray Observatories*, Sofia University, Tokyo, Japan, 2005/03/5–6.

(国内会議)

一般講演

- [67] 田中賢幸、児玉忠恭 (国立天文台): “PISCES: Galaxy Properties as Functions of Environment and Time”, すばるデータ解析講習会, 国立天文台, 2004/07/15.

- [68] 岡村定矩: “SDSS の進捗状況とすばるを用いた遠方銀河団サーベイの初期結果”, 第 2 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」, ビックバンセンター研究会, 油壺観光ホテル, 2004/08/06–08.

- [69] 田中賢幸: “近傍宇宙の銀河の性質とその環境依存性”, 第 2 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」, ビックバンセンター研究会, 油壺観光ホテル, 2004/08/06–08.

- [70] 田中賢幸、児玉忠恭 (国立天文台): “PISCES: Galaxy Properties as Functions of Environment and Time”, 2004 年 天文・天体物理若手の会夏の学校, 東京, 2004/08/14–18.

- [71] 斎藤智樹: “Systematic Survey of Extended Ly α Sources at $z \sim 3-5$ ”, SPDS 会合, 総研大, 葉山, 2004/08/26.

- [72] 斎藤智樹: “Systematic Survey of Extended Ly α Sources at $z \sim 3-5$ ”, SXDS ミーティング, 蕁温泉, 2004/09/24.

- [73] 嶋作一大: “空間分布から探る高赤方偏移銀河の性質”, 「すばるによる銀河形成進化ワークショップ」, 国立天文台, 2005/01/19–21.

- [74] 田中賢幸、児玉忠恭 (国立天文台): “銀河進化の質量と環境依存性 II”, すばるによる銀河形成進化ワークショップ, 国立天文台, 2005/01/19–21

- [75] 岡村定矩: “SDSS の現状と銀河間空間の惑星状星雲探査のその後”, 第 3 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」, ビックバンセンター研究会, 国民休暇村 館山, 2005/02/17–19.

- [76] 斎藤智樹: “Systematic Survey of Extended Ly α Sources over $z \sim 3-5$ ”, 第 3 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」, ビックバンセンター研究会, 国民休暇村 館山, 2005/02/17–19.

- [77] 田中賢幸、児玉忠恭 (国立天文台): “Watch Me Grow – The build-up of the Color-Magnitude Relation”, 第 3 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」, ビックバンセンター研究会, 国民休暇村 館山, 2005/02/17–19.

- [78] 斎藤智樹: “Systematic Survey of Extended Ly α Sources over $z \sim 3-5$ ”, すばるユーザーズミーティング, 国立天文台, 三鷹, 2005/02/22–23.

- [79] 田中賢幸、児玉忠恭 (国立天文台): “Watch Me Grow – The build-up of the Color-Magnitude Relation”, すばるユーザーズミーティング, 国立天文台, 三鷹, 2005/02/22–23.

(学会発表)

日本天文学会 2004 年秋季年会, 岩手大学
(2004/09/21–23)

- [80] 児玉忠恭 (国立天文台), 田中賢幸: PISCES プロジェクトから探る宇宙大規模構造の発展と銀河進化の連携, B16a

- [81] 吉田真希子, 嶋作一大, 岡村定矩: Subaru Deep Field における $z \sim 4-5$ の Lyman-break 銀河の測光的性質, B13b

- [82] 本原顕太郎, 嶋作一大: $z = 6.6$ Ly α 輝線銀河の近赤外線撮像, R40b
- [83] 田中賢幸, 児玉忠恭 (国立天文台): すばる PISCES プロジェクト: $z < 1$ における銀河色-等級関係の進化とその環境依存性, R53a
- [84] 高梨 直紘, 土居 守, 諸隈 智貴 (東大天文センター), 安田 直樹 (東大宇宙線研), SCP: 「多色 Stretch 法を用いた遠方 Ia 型超新星の距離決定法」, H32b
- [85] 諸隈 智貴, 土居 守, 安田 直樹 (東京大学), 秋山 正幸 (NAOJ), 上田 佳宏 (JAXA/ISAS), SXDS Team: 「Subaru/XMM-Newton Deep Field(SXDF) における AGN の可視変光と X 線の関係」, S10b
- [86] 家 正則, 高見 英樹, 臼田 知史 (国立天文台.), 土居 守, 本原 顕太郎 (東大理), 千葉 柁司 (東北大理), 栗田 光樹夫, 木野 勝, 福村 香織 (名大理), 舞原 俊憲, 岩室 英史 (京大理), 成相 恭二 (明星大), 光赤外天文学将来計画検討会地上班: 「次世代超大型光赤外望遠鏡 I: 30m JELT 構想」, V40b
- [87] 高梨 直紘 (東大天文センター), 平松 正顕 (東大理, 国立天文台): 「学生と科学系教育施設の協力による天文学普及活動の報告」, Y06b,
- 日本天文学会 2005 年春季年会, 明星大学
(2005/03/28-30)
- [88] 大内正己 (STScI), 嶋作一大: $z = 3.5 - 6.2$ における 20,000 個の遠方銀河に基づく高精度クラスタリング解析, R24b
- [89] 斎藤智樹, 嶋作一大, 岡村定矩 (東大), 大内正己 (STScI), 松田有一 (東北大): 赤方偏移 3-5 における広がった Ly α 輝線天体の系統的探査, R46a.

< 一般講演など >

(一般講演)

- [90] 岡村定矩: 「宇宙における天体と大構造の始まり」, 東京大学公開講座, 安田講堂, 2004/4/3.
- [91] 岡村定矩: 「現在から過去へ: 宇宙を振り返る」, SSH 特別授業, 高崎女子高校, 2004/5/21.
- [92] 岡村定矩: 「銀河形成期の宇宙に迫る」, 東京大学大学院理学系研究科技術シンポジウム, 2004/9/3.
- [93] 岡村定矩: 「史上最大の宇宙地図! 宇宙はどんな構造を形作っているのか」, 木曾観測所 30 周年記念式典, 上松町勤労者福祉会館, 2004/10/14.
- [94] 岡村定矩: 「大学院理学系研究科の現状」, 東京大学ホームカミングデイ講演, 化学講堂, 2004/11/13.
- [95] 岡村定矩: 「すばる望遠鏡で形成期の銀河と大構造を探る」, 大学院理学研究科談話会, 東北大学, 2004/10/08.
- [96] 土居 守: 「銀河天文学」, 朝日カルチャーセンター横浜, 2004/6/12
- [97] 土居 守: 「銀河天体物理学 加速する宇宙膨張」, 朝日カルチャーセンター横浜, 2004/6/26
- [98] 土居 守: 「超新星で測る宇宙膨張」, 東京自由大学, 2004/7/30

- [99] 土居 守: 「超新星で測る宇宙膨張」, 天文学教育研究センター特別公開日, 2004/10/23

(解説記事・論評など)

- [100] 岡村定矩 2005: “国立大学授業料一値上げは再考すべきだ”, 「私の視点」(朝日新聞), 2005 年 1 月 19 日.
- [101] 岡村定矩 2005: “大学の授業料問題を考える”, 「世界」(岩波書店), 2005 年 4 月号, 20-24.

7 気球観測による反物質探査, 衛星による X 線・ γ 線観測

——飛翔体による観測データを用いた宇宙の研究—— (牧島・山本(明)・国分・佐貫)

7.1 太陽と星のフレアの研究

○ 太陽フレアにおける粒子加速

昨年に続き、「ようこう」衛星のデータを用い、太陽フレアにおける粒子加速の研究を続けた。その結果、フレアに伴うガンマ線の強度は、必ずしも硬 X 線のスペクトルの延長に乗らないことを見出した [5]。これには、降下する相対論的電子の発する制動放射ガンマ線が、太陽光球でコンプトン散乱され、エネルギーを失う効果 [56] などが関与しているらしい。

○ 惑星状星雲からの X 線放射

惑星状星雲とは、小質量の星が赤色巨星を経て進化の最終段階に達し、外層部を宇宙空間に放出し、中心部は白色矮星に近づいた天体である。中心星からの星風が、放出物質に衝突するなどして、X 線が放射される場合がある。村島らは、*Chandra* など観測された、数個の惑星状天体の X 線データ解析し、輝線スペクトルから酸素、ネオン、マグネシウムなどの元素組成を推定できることを示した [67] [96]。

○ 若い大質量星からの X 線放射

昨年度の星形成領域 NGC 2068 [3] に続き、柳田らは Cygnus OB2 アソシエーションの *Chandra* データを用い、若い星からの X 線放射を研究している。多数の点源のうち、温度 3 keV を超える天体や、非熱的な硬いスペクトルを示すものが発見された。

7.2 コンパクト天体の観測的研究

○ 弱磁場の中性子星への質量降着 [36] [78] [94] [107] [115] [117] [118] [120]

高橋(弘)は博士論文で、*RXTE* 衛星による弱磁場中性子星連星の公開データを統一的に解析した。天体数は約 20、総観測時間は 150 日に及ぶ。質量降着率 \dot{M} が Eddington 限界値 \dot{M}_c より低いとき、X 線スペクトルは、標準降着円盤からの多温度黒体放射と中性子星の表面からの温度 ~ 2.5 keV の黒体放射の和で表わされ、日本が 20 年かけて築いてきた描像を強化した。 \dot{M} が \dot{M}_c に近づくと、黒体成分は飽和し、円盤内縁からアウトフローが始まる。 \dot{M} がさらに増えると、円盤の内縁は放射圧で膨れ、物質の一

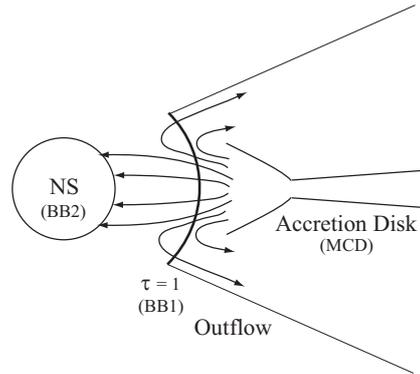


図 7.1 a: A schematic view of accretion flows onto a weakly magnetized neutron star, based on the analysis of a large amount of *RXTE* data [36].

部はほぼ球対称に中性子星の表面に降着し、残りは図 7.1 a のように、低緯度方向へ飛び出す。このアウトフローは光学的に厚くなるため、そこからの低温 (~ 1.5 keV) の黒体放射がスペクトルに加わり、角度によっては、それが中性子星表面からの放射を隠すことを突き止めた。これは、質量降着する弱磁場中性子星からの放射を、 \dot{M} と観測する緯度という 2 つのパラメータのみで記述する快挙である。

○ 降着率の高いブラックホール [100] [40] [114]

広島大、理研などと協力し、降着率が高い銀河系内ブラックホール連星を研究している。降着率が上がるにつれ、まず標準降着円盤ができていく状態、ついで円盤がコンプトン雲に包まれた状態、そして「スリム円盤」と呼ばれる状態が実現することを確認した [19] [65] [95]。スリム円盤では、物質の降着率は臨界値を大きく超えるが、放射効率が低いため、光度はほぼ Eddington 限界で飽和する。

伊藤は、ブラックホール連星 XTE J1650–500 がアウトバーストを起こした直後の *RXTE* データを用い、標準降着円盤の発達を探っている [52] [62]。

村島らは昨年に続き、狭輝線 1 型セイファート銀河の X 線スペクトルを解析した結果、その軟 X 線側の超過成分は、降着率の高い銀河系内のブラックホール天体のスペクトルと、共通した特徴をもつことを突き止めた [6] [20] [50]。

○ 超大光度コンパクト X 線源 (ULX) [100] [40]

近傍の銀河に見られる超大光度コンパクト X 線源 (ULX) は、中質量ブラックホールの有力な候補天体である [2] [19] [21] [41] [44] [45] [64] [100]。理研の久保田らと協力し、代表的な ULX である M81 X-6 の光学対応天体 (たぶん大質量星) を「すばる」望遠鏡で観測した結果、対応天体の変光している徴候がえられた。これは、X-6 と大質量星とが連星をなしているという、有力な証拠である。

諸外国では対立する説として、ULX は通常のブラックホールの放射が強くピーミングしたものとする考えが提唱されている。しかし可視光では ULX の

周辺に、しばしば巨大な星雲が観測され、その励起には、ULX がほぼ等方的に放射している必要があるため、ピーミング説は可能性が低い。それを補強するため宮脇らは、*Chandra* の公開データを用いて、可視星雲からの蛍光 X 線を探索した [81] [93]。まだ検出に至ってはいないが、*Astro-E2* に期待される。

SS433 と呼ばれる天体は、物質を速度 $v = 0.26c$ (c は光速) で、細いジェットとして噴出している。平栗らは「あすか」などによる SS433 の X 線データを再解析した。ジェットの歳差運動に伴い、X 線強度は速度 v のドップラーブーストは検出できたが、放射が異方性をもつという徴候は、得られなかった [63]。これは ULX のピーミング説に対する反証である。

○ X 線パルサーのサイクロトロン共鳴

昨年度に続き理研と協力して、*RXTE* 衛星で観測したトランジェント X 線パルサー X0115+63 のデータを解析し、X 線光度が下がると電子サイクロトロン吸収線のエネルギーが、11 keV から 17 keV に上昇すること、よって磁場が双極子型とすると、降着率が高いときは降着円筒の高さが約 1 km に達することを明らかにした [7][83]。2004 年 11 月にアウトバーストした別のトランジェント X 線パルサー X0331+53 でも、同様な傾向が見られる。岡田らは、*INTEGRAL* 衛星 (欧) で獲得したマシンタイム [9] を用い、X 線パルサー GX301-2 のサイクロトロン吸収線を研究した [32]。*Astro-E2* による観測で、さらなる進展が期待される。

7.3 星間・銀河間での高エネルギー現象

○ 球状星団と銀河系ハローの相互作用 [35] [69] [97] [101] [105] [108] [116] [119] [121] [122] [123]

岡田は博士論文で、*Chandra* 衛星による 12 個の球状星団の公開データを解析した結果、4 天体から広がった X 線放射を検出することに成功した。うち 2 例では、X 線は温度 ~ 0.05 keV の熱的スペクトルを示した。残る 2 例 (47 Tuc および NGC 6752) では、X 線は図 7.3 b に示すように硬い非熱的なスペクトルを示し、同じ位置に 840 MHz の電波源もカタログされていることが判明した。これらの球状星団は、いずれも銀河ハローに対して大きな速度をもち、かつ銀河面を通過してから長時間を経ている (よって十分なガスを蓄積している) ものであるので、X 線放射は、星団ガスと銀河ハローの相互作用によるものと考えられる。熱的な X 線は衝撃波により、ハロープラズマが加熱される結果であろう。相互作用に伴う電場により生成される超熱的な電子が、制動放射により硬 X 線を、また逃走電子がシンクロトロン電波を発生している可能性がある [79]。

○ アンドロメダ大星雲の高エネルギー現象

高橋 (弘) らは昨年引き続き、M31 (アンドロメダ大星雲) や M33 の中心部に、複数の熱的なディフューズ X 線放射と、より硬い放射 (高温の熱的成

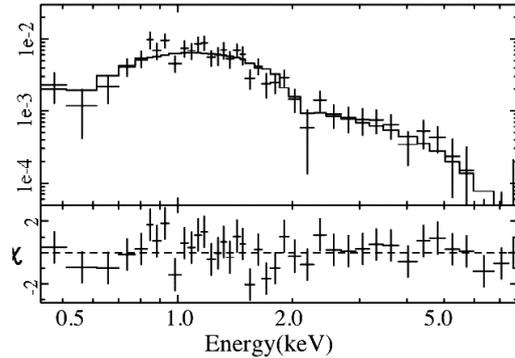


図 7.3 b: An X-ray spectrum of the diffuse X-ray emission associated with the globular cluster 4t Tucanae, acquired with *Chandra* [35].

分、もしくは非熱的成分) の存在を確立した [8] [48]。より詳しい知見は、*Astro-E2* で得られるだろう。

○ 銀河の合体と落下の証拠

昨年引き続き川原田らは、*XMM-Newton* のデータを用い、銀河群 NGC 1550 および NGC 5044 の研究を続けた。その結果どちらの天体でも、星はプラズマよりずっと中心に集中し、またプラズマ中では、酸素が鉄より外側まで分布することを突き止めた。これは銀河群の形成初期には銀河が現在より外側まで分布し、その状態で II 型超新星を起源とする酸素がばらまかれたこと、銀河は濃いプラズマ中を運動することで、次第に重力ポテンシャルの底に落下し、その過程で長い年月をかけ、Ia 型超新星が鉄を生産したことを示唆する。落下した銀河は合体し、中心の巨大楕円銀河になったのであろう [51] [84] [106]。

銀河がプラズマから抵抗を受けて銀河団ポテンシャルの底に沈むという仮説を検証するには、X 線分布に対する可視光 (銀河分布) の広がり比が、遠方銀河団から近傍銀河団にかけ、減少していることを実証すれば良い。北口らは、X 線の公開データと論文中の可視光データを用い、近傍 ($z=0.0183$) のペルセウス銀河団と、 $z=0.328$ の CL1358 銀河団を選び、それらの可視光と X 線の広がり比を比較した [70]。両者の間で、X 線と可視光の広がり比は良く一致し、進化の形跡は見られなかった。今後は遠方銀河団の可視光データを解析する必要がある。

○ 銀河団プラズマの温度構造

昨年引き続き高橋 (勲) らは、*XMM-Newton* 衛星によるケンタウルス銀河団および A1795 の観測を用い、これらの銀河団の中心部の 100 kpc 以内に、高温と低温 (温度にして $\sim 1/3$) のプラズマが共存し、2 温度構造を作っていることを示した [43] [53] [61] [111]。これは「あすか」で得られた描像を、より高い精度で追認する。

○ 新しい銀河団進化のシナリオ

牧島らは前 2 項の成果などを踏まえ、銀河とプラ

ズマの相互作用を考慮した、銀河団進化の新しいシナリオを提唱している [34] [60] [79] [80] [82] [92]。これは cD 銀河が太陽コロナと同様、閉じた磁気ループ群と開いた磁場部分をもつと考え、前者の中に低温プラズマが閉じ込められ、高温成分がその外側を満たすと仮定する。後者の中を他の銀河が遷音速で運動するさい、磁気乱流、音波、過渡電場、磁気リコネクションなどの電磁相作用を起こすことで、プラズマを加熱し、粒子を加速する。銀河はその反作用で運動エネルギーを失い、宇宙年齢かけてポテンシャルの底へ落下する。我々は *Astro-E2* に搭載される装置群をフルに用い、この仮説の検証を目ざす。

こうしたテーマに、研究者の間で関心が高まりつつある。2005 年春の物理学年会では、天文学会および地球電磁気学会との共催で、プラズマ宇宙物理に関する大々的な共催セッションが行われた。

7.4 *Astro-E2* 衛星 硬 X 線検出器 (HXD-II) の開発製作

○ *Astro-E2* 衛星と HXD-II 装置 [11] [31] [47] [104]

我々は、JAXA、広島大、埼玉大、理研、金沢大、阪大、青学大、Stanford 大などと協力し、日本 5 機目の宇宙 X 線衛星 *Astro-E2* に搭載される、硬 X 線検出器 (HXD-II) の開発を続けて来た。HXD-II は 10–600 keV の広いエネルギー域と極低バックグラウンドを特徴とし、硬 X 線領域での宇宙観測に革新的な威力をもつ。

2005 年 2 月に予定されていた *Astro-E2* の打上げは、HII-A ロケットによる多目的衛星 (MTSAT) の打上げ (2005 年 2 月 26 日に成功) との干渉を避けるため、延期された。2006 年初夏に、三段固体式の M 5 ロケットを用い、鹿児島県内之浦から打ち上げ予定。

○ HXD-II の単体試験 [57] [58] [71] [72] [75] [76]

HXD-II は、検出器部 (HXD-S)、アナログ電子回路部 (HXD-AE)、デジタル処理部 (HXD-DE) などのコンポーネントから成る。これらは、個別の実証試験や振動試験を経て、2004 年 4 月末の時点でほぼ完全に漕ぎ着けていた。

本年度も国分を中心に、打ち上げに向けた作業に取り組み、5 月初旬には、HXD-S の振動試験 (フォトチューブ破損に伴い組み直したため再試験) および HXD-AE の温度試験を行った。低温で HXD-AE に電源投入するさい、FPGA の引き込み電流が過大になるため、急ぎヒーターを追加した。ついで宇宙研にて全コンポーネントを組み合わせた end-to-end 試験や HXD-S アラインメント測定を行い、6 月前半には、HXD-S の熱真空試験を実施した。

6 月後半には大型恒温槽を用い、HXD-S を大気中で -20 に冷却した状態で、さまざまなアイソトープを照射し、詳しい較正データを取得した。この低温

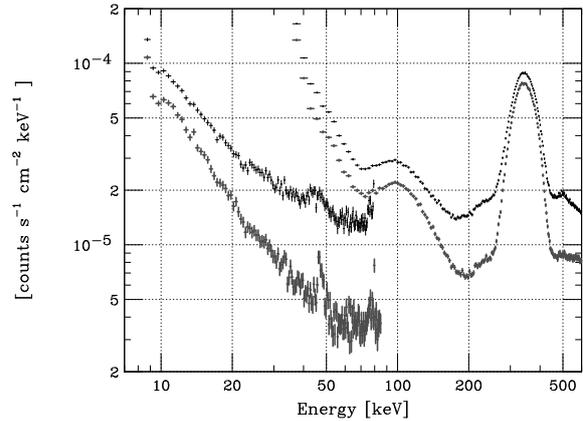


図 7.4 c: The final room background of the HXD-II, measured in 2004 June at -20 °C. The lower-energy sector is from PIN diodes, while that in higher energies refer to GSO scintillators. The upper and lower traces differ in the anti-coincidence condition. Except the intrinsic ^{152}Gd peak at ~ 340 keV, the background level and the GSO lower energy limit are both low enough to meet the design goal.

での較正試験で得られた HXD-II の地上バックグラウンド (村島、国分ら) を、図 7.4 c に示す。

○ 衛星総合試験 [75] [76]

7 月初め、HXD の全コンポーネントは衛星に搭載され、衛星総合試験に供された。8 月前半までは衛星上での電気試験、8 月後半には山場である、衛星全体の熱真空試験が行われた。衛星電源部から HXD-S への電氣的干渉が発覚したため、電源部のシールドを強化し、また HXD-S と HXD-AE のグラウンド配線を強化した。10 月下旬から 11 月初旬にかけて、第 2 の山場である、衛星全体の振動・衝撃試験が無事に行われた。

総合試験の間に、HXD-DE のデータ受信部に微妙なタイミングの不備が発覚した。ハードウェア改修はせず、11–12 月に搭載ソフトウェアの書き換えと検証を行うことで、対処した。

ほぼ 1 年に及ぶ試験の間、ゲイン履歴の追跡 (村島ら) を行うとともに、大量の試験データを用いて、ADC 微分リアリテイの評価 (平栗ら)、時刻づけの検証 (宮脇ら) などを続けた。北口、川原田らは [87]、HXD-AE に誤動作がないか、10 億イベントに達する試験データを精査し、AE の地上残置モデルを用いて確認実験を繰り返した。二河らは HXD-S フォトチューブの雑音の履歴を追跡し、地上で確認実験を行った [38] [86]。こうした作業の結果、HXD-II を含め、衛星は打ち上げ前の試験をすべて完了し、まもなく陸路で鹿児島県内之浦町へ搬送される。

○ ソフトウェアの開発 [13] [77] [98]

寺田 (理研) の主導で、HXD-II 関連のソフトウェ

ア開発を行っている。その第1群は、イベント選別、ゲイン履歴の作成、デッドタイム補正など、基本的なデータ処理を行うソフトウェアである。宮脇らは、イベント時刻づけを責任担当している。第2群のソフトウェアは、装置のエネルギー応答や角度応答を記述する応答関数である。

HXD-IIはオフセット視野をもたないため、そのバックグラウンドは、衛星の場所、反同時計数のカウント数などをもとに、推定して差し引く必要がある。このため第3群のソフトとして、ビーム照射試験や原子核反応の計算結果を参照しつつ [27] [28]、荷電粒子による即発および遅発（放射化）バックグラウンドをモデル化しつつある [89]。これを補強するため第4群として、軌道上での荷電粒子の分布と、衛星全体やHXD-IIの質量分布を数値化し、GEANT4などのツールを用い、モンテカルロ法でHXD-IIのバックグラウンドを推定する [49] [102]。

○ 観測の立案と提案

Astro-E2 打ち上げから半年間は、較正観測および性能実証 (Performance Verification; PV) 観測を行う。打ち上げ延期に伴い、打ち上げ直後に観測できる天球上の領域（太陽から $90^\circ \pm 25^\circ$ ）が変わったため、較正観測の計画を練り直した。また第1回の公募観測（半年後から開始）に応募し、Aランク3件、Bランク1件、Cランク2件が採択された。

7.5 将来に向けての技術開発

○ 観測装置の放射化と放射線耐性

HXD-II 開発と併せて、X線・ガンマ線検出器の放射化、軌道上での荷電粒子の分布、電子部品の放射線耐性などの知見を深めた [15] [27] [28] [46] [49] [89] [102]。

○ 多結晶シンチレータの開発

柳田、高橋（弘）らは企業と共同し、単結晶の微粒子を焼結した、多結晶シンチレータの開発を続けた。昨年引き続き、CeをドープしたYAG ($Y_3Al_5O_{12}$) 多結晶の、シンチレータとしての特性を評価した [25] [26] [54] [99]。今年度は新たに、CeとNdを共ドープしたYAG [103]、Yの一部をGdに置き換えた製品 [109] などを評価している。

○ *Swift* 衛星 BAT 検出器

ガンマ線バーストの即時位置決めと、可視光・X線での追跡観測を目的とした *Swift* 衛星は、*HETE-2* (理研などが運用中) の後継機として、アメリカを中心に開発された。*Swift* は2004年11月20日、デルタロケットにより無事に打ち上げられ、順調に観測を開始している。日本からは、宇宙研、埼玉大、および東大が参加している。岡田、高橋（弘）らはBAT検出器の較正データ解析に貢献した [17] [18]。

○ 撮像型の硬X線検出器の開発

将来の硬X線～軟ガンマ線検出器として、1次元あるいは2次元の撮像型装置を開発している。宮脇

らは昨年引き続き、フーリエ合成撮像系で用いる検出器として、 $150\mu\text{m}$ の細かいピッチをもつ、CdTeストリップ素子を開発した [12] [55]。

より高いエネルギーまで撮像するため、伊藤らは10 mm角で厚み0.3 mmの極薄CsI結晶を、30枚ほど重ねたものを開発した。その発光を、JAXAなどと共同で開発した、15 mm角で厚さ0.3 mmとピッチ0.4 mmをもつ片面シリコンストリップ検出器で読むことにより、図7.5 dに示すように、 ~ 0.5 mmの位置分解能を達成した [37] [88]。

平栗らは、3 mm角のCsI結晶を2次元に並べ、それらの発光を2次元の位置感度をもつフラットパッケージ型フォトチューブで読み出す方式の、2次元の硬X線検出器を開発し、良好な結果を得つつある [85]。これをHXDと同様なシールド結晶井戸の中に置き、2次元アクティブコーデッドマスクと組み合わせることで、HXDに撮像機能をもたせた装置が実現できると期待される。

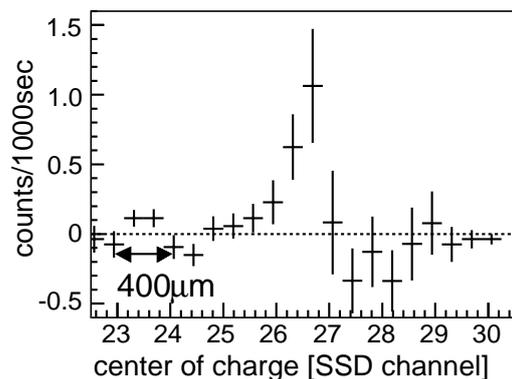


図 7.5 d: A position distribution of 662 keV gamma-rays from ^{137}Cs , measured with stacked thin CsI plates of which the scintillation is read out by a single-sided silicon strip detector [37].

○ *NeXT* 衛星計画 [16] [22] [29] [33] [73] [74]

Astro-E2 に続く X線・ガンマ線ミッションとして、2010年頃の打ち上げを旨とし、全日本の協力体制の下、*NeXT* (New X-ray Telescope) 計画が立ち上がった (昨年度の年次報告を参照)。今年度は、JAXA に対し全日本の体制で提案を行い、宇宙理学委員会において、次期の理学ミッションとして最高位の評価を受けることができた。また JAXA、Stanford 大、東工大、広島大などと協力して、搭載装置の1つである軟ガンマ線検出器 (SGD) の基礎開発を続行した。

< 報文 >

(原著論文 (査読つき))

- [1] Terada, Y., Ishida, M. & Makishima, K.: "The Anisotropic Transfer of Resonance Photons in Hot

- Plasmas on Magnetized White Dwarfs”, *Publ. Astr. Soc. Japan* **56**, 533–546 (2004)
- [2] Miyawaki, R., Sugiho, M., Kokubun, M. & Makishima, K.: “Chandra Observation of Luminous Sources in the Nearby Irregular Galaxy NGC 4449”, *Publ. Astr. Soc. Japan* **56** 591–595 (2004)
- [3] Yanagida, T., Ezoe, Y. & Makishima, K.: “X-ray Flares from a B-Type Star HD38563S in NGC 2068 Observed with Chandra” *Publ. Astr. Soc. Japan* **56**, 813–818 (2004)
- [4] Fukazawa, Y., Makishima, K. & Ohashi, T.: “ASCA Compilation of X-Ray Properties of Hot Gas in Elliptical Galaxies and Galaxy Clusters: Two Breaks in the Temperature Dependences”, *Publ. Astr. Soc. Japan* **56**, 965–1009 (2004)
- [5] Matsumoto, Y., Makishima, K., Kotoku, J., Yoshimori, M., Suga, K., Kosugi, T., Masuda, S. & Morimoto, K.: “A Statistical Study of Gamma-Ray Emitting Solar Flares Observed with Yohkoh”, *Publ. Astr. Soc. Japan* **57**, 211–210 (2005)
- [6] Murashima, M., Kubota, A., Makishima, K., Kokubun, M., Hong, S. & Negoro, H.: “X-Ray Spectra of the Narrow-Line Seyfert 1 Galaxy Ton S180 in Comparison with Galactic Black Holes”, *Publ. Astr. Soc. Japan* **57**, 279–285 (2005)
- [7] Mihara, T., Makishima, K. & Nagase, F.: “Luminosity-Related Changes in the Cyclotron Resonance Structure of the Binary X-Ray Pulsar 4U 0115+63”, *Astrophys. J.* **610**, 390–401 (2004).
- [8] Takahashi, H., Okada, Y., Kokubun, M. & Makishima, K.: “XMM-Newton and Chandra Observations of the Central Region of M31”, *Astrophys. J.* **615**, 242–252 (2005)
- [9] Teegarden, J.B., (18 authors), Makishima, K. *et al.*: “INTEGRAL SPI Limits on Electron-Positron Annihilation Radiation from the Galactic Plane”, *Astrophys. J.* **621**, 296–300 (2005)
- [10] Young, A., Rudnick, L., Katz, D., DeLaney, T., Kassim, N.E. & Makishima, K.: “Canonical Particle Acceleration in FRI Radio Galaxies”, *Astrophys. J.*, in press (astro-ph/0502557)
- [11] Kokubun, M., Abe, K., Ezoe, Y., Fukazawa, Y., Hong, S., Inoue, H., Itoh, T., Kamae, T., Kasama, D., Kawaharada, M. *et al.*: “Improvements of the Astro-E2 Hard X-ray Detector (HXD-II)”, *IEEE Trans. Nuc. Sci.* **51**, 1991–1996 (2005)
- [12] Miyawaki, R., Niko, H., Okada, Y., Kokubun, M., Makishima, K. *al.*: “High Resolution Fourier Synthesis Hard X-Ray Imaging Based on CdTe Strip Detectors”, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, in press (2005)
- [13] Terada Y., Ohno, M., Murashima, M. *et al.*: “Development of a Monte Carlo Simulator for the Astro-E2 Hard X-ray Detector (HXD-II)”, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, in press (2005)
- [14] Ikagawa, T., Kataoka, J., Yatsu, Y., Saito, T., Kuramoto Y., Kawai N., Kokubun, M., Kamae T., Ishikawa Y. & Kawabata, N.: “Study of Large Area Hamamatsu Avalanche Photodiode in a γ -ray Scintillation Detector”, *Nucl. Instr. Meth. A* **538**, 640–650 (2005)
- [15] Itoh, T., Niko, H., Kokubun, M., Makishima, K., Kawaharada, M., Takahashi, I. & Miyasaka, H.: “Evaluation of Radiation Tolerance of FETs Used for Astro-E2 Hard X-ray Detector (HXD-II)” *Nucl. Instr. Meth. A* **541**, 241–247 (2005)
- [16] Takahashi, T., Nakazawa, K., Watanabe, S., Sato, G., Mitani, T., Tanaka, T., Oonuki, K., Tamura, K., Tajima, H., Kamae, T., Madejski, G., Nomachi, M., Fukazawa, Y., Makishima, K., Kokubun, M., Terada, Y., Kataoka, J. & Tashiro, M.: “Application of CdTe for the NeXT Mission”, *Nucl. Instr. Meth. A* **541**, 332–341 (2005)
- [17] Sato, G., Parsons, A., Hullinger, D., Suzuki, M., Takahashi, T., Tashiro, M., Nakazawa, K., Okada, Y., Takahashi, H., Watanabe, S. *et al.*: “Development of a Spectral Model Based on Charge Transport for the Swift/BAT 32K CdZnTe Detector Array” *Nucl. Instr. Meth. A* **541**, 372 (2005)
- [18] Suzuki, M., Tashiro, M., Sato, G., Watanabe, S., Nakazawa, K., Takahashi, T., Okada, Y., Takahashi, H. *et al.*: “Hard X-ray Response of CdZnTe Detectors in the Swift Burst Alert Telescope” *Nucl. Instr. Meth. A*, in press (2005)
- [19] Kubota, A., Makishima, K. & Done, C.: “Understanding of X-Ray Spectra of Black Hole Binaries and Its Application to ULXs”, *Prog. Theor. Phys. Suppl.* **155**, 19–26 (2004)
- [20] Murashima, M.M., Kubota, A. & Makishima, K.: “X-Ray Spectra of Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies in Comparison with Galactic Black Holes”, *Prog. Theor. Phys. Suppl.* **155**, 389–390 (2004)
- [21] Tanaka, T., Sugiho, M., Kubota, A., Makishima, K. & Takahashi, T.: “Spectral Evolution of an Ultraluminous Compact X-Ray Source in NGC 253”, *Prog. Theor. Phys. Suppl.* **155**, 427–428 (2004)
- [22] Takahashi, T., Makishima, K., Fukazawa, Y., Kokubun, M., Nakazawa, K., Nomachi, M., Tajima H., Tashiro, M. & Terada, Y.: “Hard X-ray and Gamma-Ray Detectors for the NeXT Mission”, *New Astronomy Reviews*, **48**, 269–273 (2004)
- [23] Parmar, A., Hasinger, G., (14 authors), Kawai, N., Koyama, K., Makishima, K. *et al.*: “Studying the Evolution of the Hot Universe with the X-ray Evolving Universe Spectroscopy Mission — XEUS”, *Adv. Space Res.* **34**, 2623–2627 (2004)
- [24] Urata, Y., (10 authors), Tamagawa, T. & Makishima, K.: “Multiband Optical Follow-Up Observations of GRB 020813 at KISO and Bisei Observatories”, *Baltic Astronomy* **13**, 261–265 (2004)

- [25] Takahashi, H., Yanagida, T., Kasama, D., Itoh, T., Niko, H., Kokubun, M., Makishima, K., Yanagitani, T., Yagi, H., Shigeta, T., Ito, T.: “Comparative Studies of YAG:Ce Single/Poly-Crystal Scintillators”, *KEK Proc.* **2004-4**, 105 (2004)
- [26] Yanagida, T., Takahashi, H., Kasama, D., Ito, T., Niko, H., Kokubun, M., Makishima, K., Yanagitani, T., Yagi, H., Shigeta, T. & Ito, T.: “Evaluation of properties of YAG (Ce) Poly-Crystal Scintillator with APD”, *KEK Proc.* **2004-4**, 111 (2004)
- [27] Kawaharada, M., Kokubun, M., Makishima, K., Hong, S., Terada, Y. *et al.*, “Response of the HXD-II Detector to Cosmic Heavy Ions”, *RIKEN Accel. Prog. Rep.* **37**, 88 (2004)
- [28] 村島未生、川原田円、国分紀秀、岡田祐、牧島一夫、井上北斗、小林謙仁、三谷烈史、中澤和洋、高橋忠幸、洪秀徴、寺田幸功、宮坂浩正、山岡和貴、川添哲志、他 HXD チーム : 「Astro-E2 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) の放射化バックグラウンド特性」、宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR-04-004 (2004)
- (会議抄録)
- [29] Takahashi, T., Awaki, A., Dotani, T., Fukazawa, Y., Hayashida, K., Kamae, T., Kataoka, J., Kawai, N., Kitamoto, S., Kohmura, T., Kokubun, M., Koyama, K., Makishima, K. *et al.*: “Wide band X-ray Imager (WXI) and Soft Gamma-ray Detector (SGD) for the *NeXT* Mission”, *Proc. SPIE* **5488**, 549–560 (2004)
- [30] Tajima, H., Madejski, G., Mitani, T., Tanaka, T., Nakamura, H., Nakazawa, K., Takahashi, T., Fukazawa, Y., Kamae, T., Kokubun, M., Marlow, D., Nomachi, M. & Silva, E. C.: “Gamma-ray Polarimetry with Compton Telescope”, *Proc. SPIE* **5488**, 561–571 (2004)
- [31] Kawaharada, M., Hong, S., Murashima, M., Kokubun, M., Itoh, T., Makishima, K., Miyawaki, R., Niko, H., Yanagida, T. *et al.*: “Development and Qualification of the HXD-II onboard *Astro-E2*”, *Proc. SPIE* **5501**, 286–295 (2004)
- [32] Okada, Y., Niko, H., Kokubun, M., Makishima, K. *et al.*: “A search for Cyclotron Resonance Features with *INTEGRAL*”, *Proc. 5th INTEGRAL Workshop: “The INTEGRAL Universe”*, in press
- [33] 五十川知子、片岡 淳、谷津陽一、倉本祐輔、斉藤孝男、河合誠之、深沢泰司、三谷烈史、高橋忠幸、国分紀秀、柳田健之「宇宙用アバランシェフォトダイオードの開発と *NeXT* 衛星への応用」第 4 回宇宙科学シンポジウム (宇宙科学研究所)、p.81 (2004)
- (国内雑誌)
- [34] 牧島一夫 : 「銀河団のガスは冷えていなかった」、*パリティ* 2005 年 1 月号 (丸善)
- (学位論文)
- [35] Okada, Yuu: “Observational Study of Diffuse X-ray Emission from Globular Clusters and their Interaction with the Galactic Halo”, 博士論文
- [36] Takahashi, Hiromitsu: “X-ray Study of Mass-Accretion Flows onto Weakly-Magnetized Neutron Stars”, 博士論文
- [37] 伊藤健 : 「結晶シンチレータと Si 半導体を用いた宇宙線位置検出器の基礎開発」、修士論文
- [38] 二河久子 : 「*Astro-E2* 搭載硬 X 線検出器フォトチューブの信頼性評価」、修士論文
- (著書)
- [39] 牧島一夫 : 「電磁波と粒子線の観測から探る宇宙の進化」、第 18 回「大学と科学」公開シンポジウム『ビッグバン宇宙と未来』より (佐藤勝彦編、クパプロ; 2005 年 1 月)
- [40] 牧島一夫 : 「ブラックホールを見る」、『アインシュタインと 21 世紀の物理学』第 8 章 (日本物理学会編、日本評論者; 2005 年 3 月)
- < 学術講演 >
- (国際会議)
- 招待講演
- [41] Makishima, K., Ebisuzaki, S., Kubota, A., Miyawaki, R., Mizuno, T., Namiki, M., Sugiho, M., Tanaka, T. & Tsunoda, N.: “Spectral Classifications and Transitions of ULXs in Comparison with Galactic Black-Hole Binaries”, *The 204th Amer. Astr. Soc. Meeting* (Denver), May 30–June 3 (2004)
- [42] Makishima, K.: “The Physics of Particle Acceleration Probed with Hard X-rays– Importance of the Energy Band above 10 keV”, *Constellation-X/XEUS Scientific Meeting* (Cambridge, Massachusetts), Feb. 23–25 (2005)
- 一般講演 (含ポスター)
- [43] Takahashi, I., Makishima, K., Kawaharada, M., Ikebe, Y. & Tamura, T.: “Two-Phase Nature of the ICM of the Centaurus Cluster”, *X-ray Studies of Galaxy Clusters and Deep X-ray Surveys* (Rinberg, Germany), May 2–5, (2005); <http://www.mpe.mpg.de/ringberg04/> → Program and Proceedings
- [44] Miyawaki, R., Sugiho, M., Kubota, A., Makishima, K., Namiki, M., Tanaka, T. & Tsunoda, N.: “*Chandra* and *XMM-Newton* Survey of Luminous X-ray Point Sources in Nearby Galaxies” (poster), *The 204th Amer. Astr. Soc. Meeting* (Denver), May 30–June 3 (2004)
- [45] Ebisuzaki, T., Makino, J., Yamazaki, R., Baumgardt, H., Matsubayashi, T. & Makishima, K.: “Runaway Merger in a Dense Stellar Cluster as a Progenitor of Gamma-ray Burst”, *ibid.*

- [46] Itoh, T., Niko, H., Kokubun, M., Makishima, K., Kawaharada, M., Takahashi, I. & Miyasaka, H.: "Evaluation of Radiation Tolerance of FETs Used for *Astro-E2* Hard X-ray Detector (HXD-II)" (poster), *5th Int'l Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors* (Hiroshima), June 14–17 (2004)
- [47] Kawaharada, M., Murashima, M., Itoh, T., Niko, H., Miyawaki, R., Yanagida, T., Makishima, K., Kokubun, M. *et al.*, "Development and Calibration of HXD-II Onboard *Astro-E2*", *SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation* (Glasgow), June 21–25 (2004)
- [48] Takahashi, H., Okada, Y., Kokubun, M. & Makishima, K.: "Diffuse X-ray Emission in the Central Regions of M31 and M33" (poster), *Galaxies Viewed with Chandra* (Boston), July 7–9 (2004)
- [49] Kokubun, M., Murashima, M., Kawaharada, M., Takahashi, I., & Makishima, K.: "Measurement and Estimation of Activation Effect onto Hard X-ray Detector at LEO", *the 35th COSPAR Scientific Assembly* (Paris), July 18–25 (2004)
- [50] Murashima, M. M., Kubota, A., & Makishima, K.: "X-ray Spectra of Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies: Black Holes under High Accretion Rates" (poster), *ibid.*
- [51] Kawaharada, M., Takahashi, I., Shimasaku, K., Makishima, K., Nakazawa, K., Fukazawa, Y. & Matsushita, K.: "The Merged Group of Galaxies RX J0419+0225" (poster), *ibid.*
- [52] Itoh, T., Kokubun, M., Makishima, K. & Kubota, A.: "Spectral Analysis of a Transition from the Low/Hard State Into the High/Soft State of the Galactic BHC, XTE J1650-500", *ibid.*
- [53] Takahashi, I., Makishima, K., Kawaharada, M., Ikebe, Y. & Tamura, T.: "Two-phase Nature of the ICM of the Centaurus Cluster" (poster), *ibid.*
- [54] Yanagida, T., Takahashi, H., Ito, T., Kasama, D., Kokubun, M., Makishima, K., Yanagitani, T., Yagi, H., Shigeta, T. & Ito, T.: "Evaluation of Properties of YAG (Ce) Ceramic Crystal Scintillators", *IEEE Nuclear Science Symposium* (Rome), October 18–22 (2004)
- [55] Miyawaki, R., Niko, H., Okada, Y., Kokubun, M., Makishima, K., Negoro, H., Kotoku, J. *et al.*: "High Resolution Fourier Synthesis Hard X-Ray Imaging Based on CdTe Strip Detectors", *ibid.*
- (国内会議)
- 日本物理学会・秋の分科会 (高知大学, 2004年9月17~30日)
- [56] 古徳純一, 牧島一夫, 小浜光洋, 寺田幸功, 玉川徹: 「太陽フレアのガンマ線スペクトルに与えるコンプトン散乱の効果」, 27aSD-11
- [57] 大野雅功, 深沢泰司, 山岡和貴, 牧島一夫, 国分紀秀, 寺田幸功, 古徳純一, 田代信, 洪秀徴, 森正統, 村上敏夫, 高橋忠幸, 中澤知洋: 「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線全天モニタの地上較正試験」, 28aSD-8
- [58] 川原田円, 村島未生, 伊藤健, 二河久子, 宮脇良平, 柳田健之, 北口貴雄, 平栗慎也, 高橋勲, 国分紀秀, 牧島一夫ほか: 「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) 主検出部の打ち上げ前較正試験」, 28aSD-9
- [59] 歳藤利行, 丹羽公雄, (15名), 尾崎正伸, 国分紀秀ほか: 「エマルション技術を使った医療用重イオンビームの核破碎反応の研究-核破碎粒子の電荷決定の信頼性について-」, 29pSA-9
- 日本天文学会・秋の年会 (岩手大学, 2004年9月21~23日)
- [60] 牧島一夫: 「クーリングフロー問題とその磁気流体的な意味」, C01a
- [61] 高橋勲, 牧島一夫, 川原田円, 池辺靖: 「『クーリングフロー』銀河団のプラズマの温度構造」, C03a
- [62] 伊藤健, 牧島一夫, 久保田あや: 「XTE J1650-500 アウトバースト初期の標準降着円盤の発達」, H02a
- [63] 平栗慎也, 国分紀秀, 牧島一夫: 「SS433 による放射の異方性についての検証」, H03a
- [64] 久保田あや, 牧島一夫, 水野恒史, 田中孝明, 高橋弘充, C. Done, M.C.Urry: 「近傍渦巻銀河 IC342 中の超光度天体の *XMM-Newton* による観測」, H04a
- [65] 阿部由紀子, 永江修, 深沢泰司, 久保田あや, 笠間太介, 牧島一夫: 「4U1630-47 の high state における降着円盤の3状態と QPO」, H06a
- [66] 浦田裕次, 玉川徹, 牧島一夫, 中田好一ほか: 「ガンマ線バースト統一モデルの観測からの検証」, H67a
- [67] 村島未生, 国分紀秀, 牧島一夫, 古徳純一: 「*Chandra* 衛星による惑星状星雲からの X 線放射の観測」, N10b
- [68] 江副祐一郎, 内山泰伸, 大島泰, 関本裕太郎, 辻本匡弘, 牧島一夫, 松崎恵一: 「星形成領域 Cepheus B における広がった X 線放射の検証」, P29a
- [69] 岡田 祐, 国分紀秀, 牧島一夫: 「球状星団に付随する広がった X 線放射の検出 (2) ~ 銀河ハローとの相互作用による加熱/加速現象の検出 ~」, Q21a
- [70] 北口 貴雄, 川原田 円, 高橋 勲, 国分紀秀, 牧島一夫: 「銀河団ガスとメンバー銀河の相対的な空間分布の進化」, T17a
- [71] 村島未生, 川原田円, 二河久子, 宮脇良平, 高橋勲, 国分紀秀, 牧島一夫, 三谷烈史, 渡辺伸ほか: 「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) 主検出部の打ち上げ前較正試験」, W01a
- [72] 洪秀徴, 寺田幸功, 筒井章仁, 山岡和貴, 大野雅功, 深沢泰司, 森正統, 田代信, 牧島一夫ほか: 「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) シールド部の打ち上げ前較正試験」, W02a
- 第5回宇宙科学シンポジウム (JAXA 宇宙科学研究本部, 2005年1月6~7日)

- [73] 寺田幸功、玉川徹、望月優子、馬場彩、牧島一夫、高橋忠幸、中澤知洋ほか：「*NeXT*で探る元素合成の起源」_J、P1-09
- [74] 田島宏康、G. Madejski、三谷烈史、田中孝明、中村秀仁、中澤知洋、高橋忠幸、深沢泰司、釜江常好、国分紀秀、能町正治ほか：「*NeXT*・軟ガンマ線検出器の偏光観測性能」_J、P1-14
- [75] 国分紀秀ほか：「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) の現状；(1) 主検出部」_J、P4-7
- [76] 山岡和貴ほか：「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) の現状；(2) 全天モニター部」_J、P4-8
- [77] 寺田幸功ほか：「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) の現状；(3) ソフトウェア部」_J、P4-9
- Astro-E2* でひらく X 線分光天文学 (京都テルサ、2004 年 3 月 18-19 日)
- [78] 高橋弘充：「*Astro-E2* による弱磁場中性子星への質量降着流の研究」
- [79] 牧島一夫：「宇宙における長距離相互作用の果たす役割」
- [80] 川原田 円：「*Astro-E2* で探る銀河に引きずられた銀河団プラズマの運動」
- [81] 宮脇良平：「*Astro-E2* による大光度 X 線源に附随する星雲からの蛍光輝線の探査」(ポスター)
- 日本物理学会・春の年会 (理科大野田、2004 年 3 月 24 ~ 27 日)
- [82] 牧島一夫、国分紀秀、高橋勲、川原田円、北口貴雄、大橋隆哉、深沢泰司、松下恭子、田村隆幸、中澤知洋、太田直美、池辺靖：「X 線診断で探る銀河団プラズマの熱的および力学的な進化」_J、24pXA-1
- [83] 中島基樹、三原建弘、牧島一夫、二河久子：「X 線連星パルサー 4U0115+63 の X 線光度とサイクロトロン共鳴エネルギーの変化」_J、24pXA-2
- [84] 川原田円、高橋勲、牧島一夫、中澤知洋、松下恭子、深沢泰司：「重元素の輝線をプローブとした銀河団の進化」_J、24pXG-12
- [85] 平栗慎也、国分紀秀、高橋勲、宮脇良平、伊藤健、牧島一夫：「井戸型アクティブシールドとアクティブマスクを用いた低バックグラウンド撮像型硬 X 線検出器の開発」_J、24pXK-1
- [86] 二河久子、川原田円、高橋勲、国分紀秀、牧島一夫、洪秀徴、阿部圭一、寺田幸功ほか：「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) フォトチューブ部の信頼性評価」_J、24pXK-10
- [87] 北口貴雄、牧島一夫、国分紀秀、高橋勲、川原田円、村島未生、宮脇良平、柳田健之、伊藤健、二河久子、平栗慎也、高橋忠幸、中澤知洋、深沢泰司、寺田幸功ほか：「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) のデータ取得系の地上最終検証」_J、25pWJ-12
- [88] 伊藤健、宮脇良平、高橋勲、国分紀秀、牧島一夫、高島健、田中孝明、高橋忠幸：「結晶シンチレータと半導体ストリップ検出器を用いた宇宙線位置検出器の開発」_J、27aWH-4
- [89] 国分紀秀、村島未生、高橋勲、寺田幸功、渡辺伸、高橋忠幸、牧島一夫：「宇宙線陽子によるガンマ線検出器素子の放射化バックグラウンドの検証」_J、27aWH-5
- [90] 柴崎昌紀、渋谷寛、(16 名)、尾崎正伸、国分紀秀ほか：「エマルジョン技術を使った医療用重イオンビームの核破砕反応の研究 - エマルジョンスペクトロメータ用超薄型エマルジョンフィルムの製作 -」_J、27aWH-6
- [91] 歳藤利行、丹羽公雄、(17 名)、尾崎正伸、国分紀秀ほか：「医療用炭素ビームの入射核破砕反応」_J、27aWH-9
- 日本天文学会・春の年会 (明星大学、2005 年 3 月 28 ~ 30 日)
- [92] 牧島一夫：「宇宙大規模プラズマと太陽コロナの比較研究」_J、B05r
- [93] 宮脇良平、久保田あや、牧島一夫、田中孝明、角田奈緒子：「近傍銀河の大光度 X 線源に附随する星雲からの蛍光輝線の探査」_J、H36b
- [94] 高橋 O 充、牧島一夫：「X 線を用いた弱磁場中性子星への質量降着流の研究」_J、H68a
- [95] 阿部由紀子、永江修、深沢泰司、久保田あや、牧島一夫：「ブラックホール Very High State に対するコンプトン散乱を考慮した解釈の普遍性」_J、H34b
- [96] 村島未生、国分紀秀、牧島一夫、古徳純一：「*Chandra* 衛星による惑星状星雲からの X 線放射の観測 (2)」_J、N20a
- [97] 岡田祐、国分紀秀、牧島一夫：「球状星団と銀河ハローの相互作用による広がった X 線放射の検出」_J、Q33a
- [98] 寺田幸功、渡辺伸、(3 名)、伊藤健、(3 名)、川原田円、高橋勲、村島未生、宮脇良平、柳田健之、国分紀秀、牧島一夫ほか：「*Astro-E2* 衛星硬 X 線検出器 (HXD-II) のソフトウェア開発の現状」_J、W54a
- その他
- [99] 柳田健之、国分紀秀、高橋弘充、伊藤健、牧島一夫、柳谷高公、八木秀喜、繁田岳志、伊東孝之：「多結晶 $Y_3Al_5O_{12}$ シンチレータの基礎特性評価」_J、応用物理学会 年次大会 (東北学院大学、2004 年 9 月 3 日)
- [100] 牧島一夫：「ブラックホール観測の現状」高宇連 第 5 回研究会『高エネルギー天体物理学の新展開』(東京都立大学、2004 年 10 月 1~2 日)
- [101] 岡田 祐：「球状星団で見えてきた粒子加速現象」、同上
- [102] 国分紀秀：「HXD on *Astro-E2* バックグラウンドとの戦い」_J、高エネルギー宇宙・原子核交流促進 線検出器ワークショップ (埼玉大学、2004 年 12 月 27 日)
- [103] 柳田健之、高橋弘充、伊藤健、国分紀秀、牧島一夫、柳谷高公、八木秀喜、繁田岳志、伊東孝之：「線検出器用 Ce-Nd 共ドーブ多結晶 YAG シンチレータの基礎特性評価」(ポスター)、第 19 回「放射線検出器とその応用」研究会 (KEK、2005 年 2 月 2 日)
- [104] 国分紀秀：「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線検出器の現状」_J、東大 RESCEU 主催・第 3 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会 (館山市、2005 年 2 月 17 日)

- [105] 岡田 祐:「球状星団での粒子加速現象」, CANGAROO 研究会 (東大宇宙線研、2005 年 2 月 24 日)
- [106] 川原田 円:「宇宙に広がる元素～誕生と拡散～」, 理学系 21 世紀 COE 合同シンポジウム『萌芽-理学の森へ』(理学部 1 号館小柴ホール、2005 年 3 月 7 日)
- [107] 高橋弘充:「X 線を用いた弱磁場中性子星への質量降着流の研究」, 高宇連第 3 回博士論文発表会 (JAXA 宇宙科学研究本部、2004 年 3 月 22 日)
- [108] 岡田祐:「球状星団からの広がった X 線放射および銀河ハローとの相互作用の観測的研究」, 同上
- [109] 柳田 健之、高橋弘充、伊藤健、国分紀秀、牧島一夫、柳谷高公、八木秀喜、繁田岳志、伊東孝之:「多結晶 (YGd)₃Al₅O₁₂ シンチレータの基礎特性評価」, 応用物理学会 年次大会 (埼玉大学、2005 年 3 月 31 日)
- (セミナー、講演会、談話会)
- [110] 牧島一夫:「宇宙における物理現象」, 文科省サイエンス・パートナーシップ・プログラム『物理学最前線』(埼玉県立川越高校、2004 年 7 月 10 日)
- [111] 高橋 勲:“X-ray Diagnostics of Thermal Condition of the Hot Plasmas in Clusters of Galaxies”, 宇宙研談話会 (JAXA 宇宙科学研究本部、2004 年 7 月 16 日)
- [112] 牧島一夫:「X 線・ガンマ線で探る高エネルギー宇宙」, 集中講義 (大阪大学理学研究科宇宙地球科学専攻、2004 年 7 月 13~15 日)
- [113] 牧島一夫:「ブラックホールを見る」, 日本物理学会 2004 年度科学セミナー - 『アインシュタインと 21 世紀の物理学』(新宿区牛込笹筒公民ホール、2004 年 8 月 6 日)
- [114] 牧島一夫:「ロケット、人工衛星、ブラックホール」, 理学系研究科第 6 回公開講演会『宇宙への情熱～基礎科学と宇宙開発のハーモニー』(安田講堂、2004 年 12 月 3 日)
- [115] 高橋弘充:「X 線を用いた弱磁場中性子星への質量降着流の研究」, 宇宙研談話会 (JAXA 宇宙科学研究本部、2005 年 2 月 10 日)
- [116] 岡田 祐:“Observational Study of Diffuse X-ray Emission from Globular Clusters and their Interaction with the Galactic Halo”, GSFC Colloquium (Goddard Space Flight Center, USA, 2005 年 2 月 16 日)
- [117] 高橋弘充:“X-ray Study of Mass-Accretion Flows onto Weakly-Magnetized Neutron Stars”, 同上
- [118] 高橋弘充:“X-ray Study of Mass-Accretion Flows onto Weakly-Magnetized Neutron Stars”, SLAC Colloquium (Stanford University, 2005 年 2 月 18 日)
- [119] 岡田 祐:“Observational Study of Diffuse X-ray Emission from Globular Clusters and their Interaction with the Galactic Halo”, 同上
- [120] 高橋弘充:「X 線を用いた弱磁場中性子星への質量降着流の研究」, 談話会 (広島大学理学研究科、2005 年 2 月 28 日)
- [121] 岡田 祐:「球状星団からの広がった X 線放射および銀河ハローとの相互作用の観測的研究」, 談話会 (広島大学理学研究科、2005 年 2 月 28 日)
- [122] 岡田 祐:「球状星団からの広がった X 線放射および銀河ハローとの相互作用の観測的研究」, 談話会 (大阪大学理学研究科、2005 年 3 月 2 日)
- [123] 岡田 祐:「球状星団からの広がった X 線放射および銀河ハローとの相互作用の観測的研究」, 談話会 (京都大学理学研究科、2005 年 3 月 7 日)

7.6 BESS-Polar: 南極周回気球飛翔による宇宙線反陽子観測

宇宙初期における素粒子現象の探索を目的として進められている日米共同宇宙線観測実験 (BESS-Polar) では、昨年 12 月 13 日 (ニュージーランド夏時間、18:56) に南極マクマード基地近くのウイリアムズフィールドより、大型観測気球による気球搭載型超伝導スペクトロメータの南極周回軌道への打ち上げに成功した。ペイロードの上昇とともに観測を開始し、予定飛翔高度 37km に達した。以後 37~39km の高度を保ちつつ南緯 80~85 度の南極周回軌道に沿って 8 日 17 時間の宇宙線観測を行い、観測された宇宙線は約 9 億イベントに達した。実験の目的や測定器の詳細は物理会誌 2003 年 2 月号に紹介されている。

2001 年からの BESS-Polar 実験の準備においては、新しい超薄肉超伝導ソレノイドや粒子検出器の開発・製作と並行して、太陽電池電源システムの開発や、白夜と氷からの照り返しによる太陽熱対策など新たな技術開発を必要とした。2002 年 5 月には、太陽電池発電システムの試作機を宇宙科学研究所 (当時) 三陸大気球観測所より技術検証気球実験として打ち上げ技術検証し、2003 年の秋には超伝導ソレノイド、太陽電池パネル等の技術飛翔試験が米国ニューメキシコ州フォートサムナーにおいて行われた。米国立科学観測気球施設 (NSBF) が提供する通信システムとの整合性や、大型ペイロードの磁場環境下での打ち上げ手順の確認などが行われた。また測定器着地時に太陽電池構造体が衝撃緩衝材としての役割を果たして、超伝導ソレノイドなどのスペクトロメータ本体に大きな損傷が及ばないことが実証された。



図 7.6 e: BESS-Polar 測定器打ち上げ直前の様子。

今年度は、超伝導スペクトロメータとして完成させる総合組立作業が、米国側の中核共同研究機関である米国メリーランド州の NASA ゴダード宇宙飛行センターで行われ、2004 年 8 月に完了した。すぐに米国テキサス州の NSBF 本部に全ての機材を移動、超伝導ソレノイドを含む全ての測定器を動作させた状態での噛合せ試験や最終レビューを経て、9 月初めに南極での実験の準備が完了した。2004 年 10 月 27 日に実験メンバーが南極の米マクマード基地に到着、同基地を拠点として近くのウイリアムズフィールドにて準備がはじまった。ロス棚氷上に設置された大型テント内での準備中には、夜間空調が故障し

零下 16 度まで冷え込む事故や地吹雪等の厳しい自然環境など、これまでの気球実験では経験したことのないトラブルもあった。零下の外気をボイラで加温して行われている暖房のためテント内は常に非常に乾燥した状態で、静電気によるコンピュータや測定器の電子回路の破壊を防ぐことにも常に留意が必要だった。約 1 ヶ月の測定器調整チェックの後の総合試験、気球打上げ装置との最終噛合せ試験を経て 12 月 3 日には打ち上げ準備を整えることができた。一方、NASA の TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System) により中継されたペイロードからのデータを受信する準備も、BESS グループの実験メンバーが NSBF 本部 (アメリカ・テキサス州) の主制御センターにて、マクマード基地のメンバーと連絡を取り合いながら、準備を整えた。

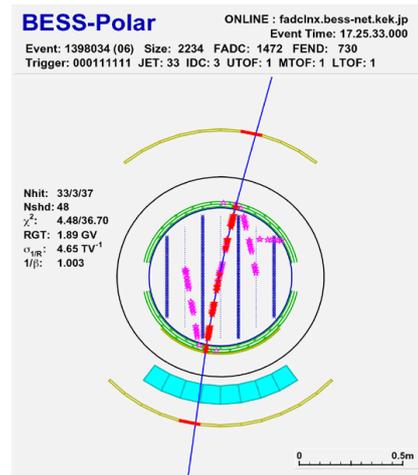


図 7.6 f: フライト中のイベント例。

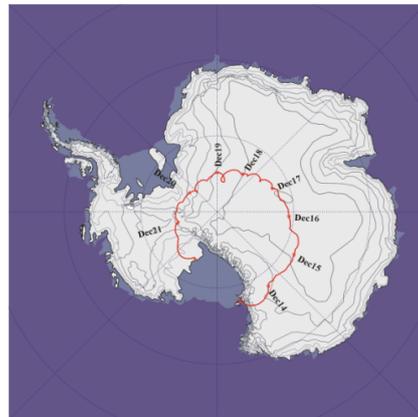


図 7.6 g: BESS-Polar 気球実験の航跡図。

10 日間の天候待ちの後、現地時間の 12 月 13 日午後 6 時 58 分、快晴、地上風微風の好条件で気球の打ち上げに成功した (図 7.6 e)。打上げ直後より宇宙線

の観測を開始したところ、TOF シンチレーションカウンタの光電子増倍管の一部にトラブルが発生したが、低エネルギー反陽子の観測感度を最大限に保つよう測定条件を調整することによって観測を継続できた（イベント例：図 7.6 f）。その他の測定器要素はほぼ正常に動作し観測は順調に進んだ。一方、南極周回飛翔の経過とともに気球の軌道が当初予測よりも高緯度側にずれて南緯 85 度近辺にまで達してしまったため、赤道上空の静止衛星である TDRSS の視野から気球が外れてしまい、地上との通信が不安定になり、時には半日にわたってペイロードの状態をほとんどモニタができなくなるなど、想定外の苦労もあった。8 日間をすぎた段階で、気球の軌道が南緯 82~83 度まで下がり、回収に適切なロス棚氷への着地が可能となったため、安全かつ確実な回収を優先して科学観測を終了した。現地時間 22 日午前 11 時 14 分にペイロードは主制御センターから発せられた衛星経由の無線コマンドにより気球から切り離され、パラシュートにより緩降下し、11 時 56 分に着地した。着地点は、ロス氷棚東端で、マクマード基地から約 870 km 南東であった（図 7.6 g）。着地後の氷上滑走による測定器損傷が心配されたが、自動パラシュート切り離し装置が正常に作動しペイロードへのダメージを最小に抑えることができた（図 7.6 h）。



図 7.6 h: 測定器の着地後の様子。

着地点が遠方となったため、まず大型輸送機 (LC-130 ヘラクレス) でマクマード基地から約 900 km 離れたサイプルドームという米国のリモートキャンプまで実験メンバー 3 名を含む回収班 5 名が移り、そこをベースキャンプとして小型機 (DHC-6 ツインオッター) で約 200km 離れたペイロード着地点までを往復して回収を行った。第 1 回のアクセスでは、写真による記録、測定器の安全確認後、直ちにデータ記録装置の回収を行った。その後、ペイロードを小型機に積み込むために、超伝導ソレノイドを 3 分割するなどの作業が 5 日間にわたって続けられた。着地点とベースキャンプの間を小型機 7 往復による輸送を行い、全ての測定器要素およびパラシュートを回収することができた。12 月 29 日にはベースキャンプに集結したペイロード部品をまとめて大型輸送機によってマクマード基地まで輸送し回収作業を完了した。この合計 7 日間を要する回収作業の後、マクマード基地での実験機器の返送作業や作業場所の片

付けをすませ、1 月 4 日に 2004 年 BESS-Polar 南極周回宇宙線観測実験を終了した。

今回の気球実験で収集された約 2 テラバイトのデータ解析は着実に進捗しており、TOF カウンタのトラブルの影響を最小限に抑えて、低エネルギー反陽子識別に必要な測定器性能が達成された。今後さらにデータの解析を進め、来年度には、低エネルギー反陽子スペクトルを決定したい。

今回の南極マクマード基地での活動は、米国科学財団 (NSF) による米国南極科学プログラムの一環として実施された。南極の自然の厳しい環境の中での NSF および Raytheon Polar Service Company (RPSC) による極めてレベルの高い実験サポートには感銘を受けた。BESS-Polar 実験をサポートくださった NSF および RPSC の諸氏に心より感謝申し上げたい。

BESS-Polar 実験は、高エネルギー加速器研究機構 (KEK)、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 (ISAS/JAXA)、東京大学、神戸大学、米国航空宇宙局 (NASA) ゴダード宇宙飛行センター、メリーランド大学の日米共同実験として進められている。本研究は、日本では文部科学省科学研究費補助金 (特別推進研究)、米国では NASA の研究費を得ている。実験実施に至るまでご尽力くださった関係諸機関の皆様にご礼申し上げます。

< 報文 >

(原著論文 (査読つき))

- [1] S. Haino, K. Abe, K. Anraku, H. Fuke, T. Hams, N. Ikeda, A. Itasaki, K. Izumi, T. Kumazawa, M. H. Lee, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, H. Matsumoto, K. Matsumoto, J. W. Mitchell, A. A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, H. Omiya, S. Orito, J. F. Ormes, T. Sanuki, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, S. Takeuchi, K. Tanaka, T. Taniguchi, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura: "Progress of the BESS Superconducting Spectrometer", Nucl. Instr. and Methods A 518 (2004) 167-171
- [2] T. Yoshida, A. Yamamoto, J. Mitchell, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, N. Ikeda, A. Itasaki, K. Izumi, M. H. Lee, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, H. Matsumoto, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, H. Omiya, J. F. Ormes, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, A. Stephens, R. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, Y. Yamamoto, K. Yamato and K. Yoshimura: "BESS-Polar Experiment", Adv. Space Res. 33 (2004) (10)1755-(10)1762.
- [3] M. Nozaki for the BESS Collaboration: "BESS Polar", Nucl. Instr. and Methods B 214 (2004) 110-115
- [4] S. Haino, T. Sanuki, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, H. Fuke, M. Imori, A. Itasaki, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, H. Matsumoto, J. W. Mitchell, A. A. Moiseev, J. Nishimura, M.

- Nozaki, S. Orito, J. F. Ormes, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida, K. Yoshimura: “Measurements of Primary and Atmospheric Cosmic-Ray Spectra with the BESS-TeV Spectrometer”, *Phys. Lett. B* 594 (2004) 35-46.
- [5] J. W. Mitchell, K. Abe, K. Anraku, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, M. Imori, A. Itazaki, K. Izumi, T. Kumazawa, M. H. Lee, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, H. Matsumoto, K. Matsumoto, A. Moiseev, Z. D. Myers, J. Nishimura, M. Nozaki, H. Omiya, S. Orito, J. F. Ormes, T. Sanuki, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida, K. Yoshimura: “The BESS Program”, *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* 134 (2004) 31-38.
- [6] J. W. Mitchell, S. Orito, A. Yamamoto, T. Yoshida, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, M. Fujikawa, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, N. Ikeda, M. Imori, A. Itazaki, K. Izumi, M. H. Lee, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, T. Matsukawa, H. Matsumoto, H. Matsunaga, T. Mitsui, A. Moiseev, M. Motoki, J. Nishimura, M. Nozaki, H. Omiya, J. F. Ormes, T. Saeki, T. Sanuki, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, T. Sonoda, A. Stephens, R. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, I. Ueda, J. Z. Wang, Y. Yajima, T. Yamagami, Y. Yamamoto, K. Yamato and K. Yoshimura: “Precise Measurements of the Cosmic Ray Antiproton Spectrum with BESS Including the Effects of Solar Modulation”, *Adv. Space Res.* 35 (2005) (1)135-(1)141.
- [7] Z. D. Myers, E. S. Seo, J. Z. Wang, R. W. Alford, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, M. Fujikawa, M. Imori, T. Maeno, Y. Makida, H. Matsumoto, H. Matsunaga, J. Mitchell, T. Mitsui, A. Moiseev, M. Motoki, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J. Ormes, T. Saeki, T. Sanuki, M. Sasaki, Y. Shikaze, T. Sonoda, R. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, I. Ueda, N. Yajima, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida and K. Yoshimura: “Cosmic Ray 1H and 2H Spectra from BESS 98”, *Adv. Space Res.* 35 (2005) (1)151-(1)155.
- [8] Y. Makida, T. Kumazawa, K. Tanaka, A. Yamamoto, T. Yoshida, S. Mizumaki, S. Kurita: “Performance of an Ultra-Thin Superconducting Solenoid for Particle Astrophysics”, to be published in *IEEE Trans. Applied Superconductivity* 15 (2005).
- (会議抄録)
- [9] 熊澤 輝之 他: 「BESS-Polar 2003 Technical Flight 報告」, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部大気球シンポジウム (2004) 113-116.
- [10] 竹内 一真 他: 「BESS-Polar 実験のための Flash ADC の開発」, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部大気球シンポジウム (2004) 117-120.
- [11] A. Yamamoto for the BESS Collaboration: “Search for Primordial Antiparticles in Cosmic Rays”, *Proceedings of the 6th RESCEU International Symposium on Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, Universal Adademy Press Inc. Tokyo, Japan (2004) 249-259.
- [12] A. Yamamoto for the BESS Collaboration: “Latest Results from BESS and Future Prospects”, *Frontiers of Cosmic Ray Science*, Vol. 8 of the Proceedings of the 28th Intl. Cosmic Ray Conf., Universal Adademy Press Inc. Tokyo, Japan (2004) 347-360.
- [13] 吉田 哲也、山本 明、福家 英之: 「南極における BESS-Polar 宇宙線観測実験の実施経過」, *高エネルギーニューズ* 23 (2005) 210-214.
- [14] 横田 康博他: 「BESS-Polar 実験 南極周回気球観測に向けて」, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部大気球シンポジウム (2005) 170?173
- (国内雑誌)
- [15] 吉田 哲也、山本 明: 「反陽子観測のための南極周回気球飛翔の成功」, *日本物理学会誌* 60 (2005) 653?654
- < 学術講演 >
- (国際会議)
- 招待講演
- [16] J.F.Ormes: “BESS: Present Results and the BESS-Polar Program”, APS meeting, (April 2004) Denver
- [17] T.Yoshida: “BESS-Polar – A Search for Cosmic Antiprotons and Antimatter by a Long Duration Balloon Flight in Antarctica”, JSPS 9th Science in Japan Forum, (June 2004) Washington D.C.
- [18] M.Nozaki: “Antiprotons in the cosmic radiation Recent results from BESS”, 35th COSPAR Scientific Assembly (July 2004) Paris
- [19] T.Sanuki: “BESS”, Neutrino Oscillation Workshop (Sept. 2004) Conca Specchiulla
- 一般講演 (含ポスター)
- [20] S.Matsuda: “Status of the BESS-Polar Experiment”, 24th Intl. Symposium Space Tech. and Sci. (Jun. 2004) Miyazaki
- [21] R.E.Streitmatter: “The BESS-Polar experiment program”, 35th COSPAR Scientific Assembly (July 2004) Paris
- [22] Y.Makida: “Performance of an ultra-thin superconducting solenoid for particle astrophysics”, Applied Superconductivity Conference (ASC) 2004 (Oct. 2004) Jacksonville, Florida
- [23] S.Matsuda: “BESS-Polar Flight Report”, 10th Accelerator and Particle Physics Institute (Mar. 2005) Appi

(国内会議)

日本物理学会・秋の分科会 (高知大学、2004 年 9 月 17
~ 30 日)

- [24] 吉田 哲也 : 「BESS Polar 実験」、宇宙線分科シンポジウム「気球による宇宙線観測の成果と展望 極地実験を中心に」
- [25] 安部 航 : 「BESS?Polar 測定器の性能評価」
日本物理学会・春の年会 (理科大野田、2004 年 3 月 24
~ 27 日)
- [26] 福家 英之 : 「BESS-Polar2004 フライト報告 (I)」
- [27] 松田 晋弥 : 「BESS-Polar2004 フライト報告 (II)」

その他

- [28] 野崎 光昭 : 「宇宙の反陽子探索」、シンポジウム物質の創生と発展 (2004 年 11 月) 日光霧降高原
- [29] 横田 康博 : 「BESS-Polar 実験 南極周回気球観測に向けて」、大気球シンポジウム (2004 年 12 月) 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
- [30] 山本 明 : 「BESS-Polar 気球実験」、第 3 回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会 (2005 年 2 月) 館山市

II

2004年度 ビッグバン宇宙国際研究センター全般に関する報告

1 教官，職員，および研究員

ビッグバン宇宙国際研究センター

佐藤 勝彦（センター長 / 教授）
 川崎 雅裕（教授, 2004/5 転出）
 横山 順一（教授, 2005/3 着任）
 茂山 俊和（助教授）
 樽家 篤史（助手）
 向山 信治（助手, 2005/2 着任）
 G. Börner（外国人客員教授）
 小林 晋平（機関研究員）
 清水 守（教務補佐員）
 永野 早百合（時間雇用職員）
 岡田 志帆（時間雇用職員）

研究プロジェクト及び協力研究者

| プロジェクト | 研究室 | 助手 |
|---|-------|-------|
| 1. 初期宇宙進化論 | 佐藤 勝彦 | 向山信治 |
| | 須藤 靖 | 樽家 篤史 |
| | 柳田 勉 | 井澤 健一 |
| 2. 銀河進化理論 | 野本 憲一 | 鈴木 知治 |
| 3. 可視光近赤外観測 | 吉井 謙 | 峰崎 岳夫 |
| 4. サブミリ波観測 | 山本 智 | 岡 朋治 |
| 5. 暗黒物質観測 | 蓑輪 眞 | 井上 慶純 |
| 6. 銀河と宇宙構造の研究 | 岡村 定矩 | 嶋作 一大 |
| 7. 気球観測による反物質 探査, 衛星による X 線・ γ 線観測 | 牧島一夫 | 国分 紀秀 |
| | 山本 明 | 佐貴 智行 |

(1) 学振外国人招聘受託研究員も含む。

2 シンポジウム・研究会

2.1 第2回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会

日時：8月6日（午後）- 8月9日（午前）

場所：油壺観光ホテル（神奈川県三浦市三崎町）<http://www.aburatsubo-h.com/>

プログラム

8月6日（金）

14:00 - 16:00 afternoon session I （座長 小林）

佐藤勝彦 Opening (30分)

高橋慶太郎 特異点のないサイクリック宇宙モデル (30分)

木下俊一郎 高次元時空での重力波生成 (30分)

樽家篤史 Probing the anisotropy of gravitational-wave background (30分)

16:00 - 16:30 break 16:30 - 18:30 afternoon session II （座長 樽家）

吉口寛之 Bulk gravitational field and dark radiation on the brane in dilatonic brane world (30分)

工藤秀明 On the possibility of primordial BH formation due to preheating (30分)

姫本宣朗 Gravity in D-brane world (30分)

小林晋平 Three-parameter solution, tachyon condensation and boundary state (30分)

18:30 - 20:00 dinner

8月7日（土）

9:00 - 10:30 morning session I （座長 鈴木）

岡村定矩 SDSS プロジェクト報告 (30分)

田中賢幸 近傍宇宙の銀河の性質とその環境依存性 (30分)

大栗真宗 暗黒物質ハローサブストラクチャの解析的モデル (30分)

10:30 - 11:00 break 11:00 - 12:50 morning session II （座長 茂山）

清水守 階層的宇宙における銀河団ガスの非重力的加熱 (30分)

山本智 富士山サブミリ波望遠鏡プロジェクトとその後 (30分)

犬塚修一郎 星間ガスの物理: 最近の進展 (50分)

12:40 - 13:30 lunch

13:30 - 15:00 自由討論

15:00 - 15:30 break

15:30 - 18:00 自由討論

8月8日(日)

9:00 - 10:30 morning session I (座長 清水)

尾崎仁 爆発後数百年の Ia 型超新星残骸に含まれる Fe I による吸収 (30 分)

固武慶 自転、磁場超新星からの重力波およびニュートリノ (30 分)

中村航 Ic 型超新星爆発による星の外層の加速と軽元素合成 (30 分)

10:30 - 10:50 break

10:50 - 12:40 morning session II (座長 高橋)

鈴木知治 Ia 型超新星 2002ic の光度曲線のモデル (30 分)

政井邦昭 X-ray emission from the Galactic Ridge (50 分)

太田泰弘 Rossiter 効果を考慮した系外惑星系の視線速度曲線解析 (30 分)

2.2 第3回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会

日時：2月17日(午後) - 2月19日(午前)

場所：国民休暇村 館山 (千葉県館山市見物 725)

<http://www.j-yado.com/pub/fdetail.php?vfaccd=1200051&nagentcode=90>

プログラム

2月17日(木)

14:00 - 15:30 afternoon session I (座長：高橋)

佐藤勝彦 Opening (10 分)

国分紀秀 Astro-E2 衛星搭載硬 X 線検出器の現状 (40 分)

滝脇知也 非一様重力崩壊の系統的シミュレーション (20 分)

中村航 非球対称な Ic 型超新星爆発による外層の加速 (20 分)

15:30 - 16:00 休憩 16:00 - 17:30 afternoon session II (座長：茂山)

須田 拓馬 超金属欠乏星内部における重元素合成 (40 分)

児玉 忠恭 銀河大構造の形成と銀河進化との連携 (40 分)

18:00 - 19:30 夕食

2月18日(金)

9:00 - 10:20 morning session I (座長：米原)

岡村定矩 SDSS の現況と銀河間空間の惑星状星雲探査その後 (30 分)

田中賢幸 Watch Me Grow - The Build-up of the Color-Magnitude Relation (25 分)

斎藤智樹 $z \sim 3-5$ における空間的に広がった Lyman-alpha 輝線天体の系統的探査 (25 分)

10:20 - 10:50 休憩 10:50 - 12:30 morning session II (座長：清水)

- 山本 明 BESS-Polar 気球実験 (40 分)
清水雄輝 Dark matter search experiment with calcium fluoride scintillator (20 分)
米原厚憲 活動銀河核の輝線放射領域と重力レンズ現象 (20 分)

12:30 - 13:30 昼食
13:30 - 15:00 自由討論
15:00 - 15:30 休憩
15:30 - 18:00 自由討論
18:00 - 19:30 夕食

2月19日(土)

9:00 - 10:30 morning session I (座長：姫本)

- 白水徹也 プレーン宇宙 (30 分)
木下俊一郎 プレーンワールドにおける動的プロセスによる Kaluza-Klein モード (20 分)
小林晋平 Gaussian brane and Open String Tachyon Condensation (20 分)
高橋慶太郎 不安定 D-brane と宇宙論 (20 分)

10:30 - 11:00 休憩 11:00 - 12:20 morning session II (座長：小林)

- 吉田直紀 Some unresolved, remaining issues in observational cosmology (20 分)
市川和秀 ニュートリノ振動と MeV スケールの再加熱 (20 分)
姫本宣朗 Detecting a stochastic wave in the presence of non-Gaussian noise (20 分)
向山信治 Ghost Condensation and Gravity in Higgs Phase (20 分)

3 プレプリント・リスト

RESCEU-80/04

Does regenerated emission change the high-energy signal from gamma-ray burst afterglows?

Shin'ichiro Ando

MNRAS 354, 414 (2004)

RESCEU-79/04

Appearance of neutronization peak and decaying supernova neutrinos

Shin'ichiro Ando

Phys. Rev. D 70, 033004 (2004)

RESCEU-78/04 **Short gamma-ray bursts as a possible probe of binary neutron star mergers**

Shin'ichiro Ando

JCAP 0406, 007 (2004)

RESCEU-77/04

Cosmic Star Formation History and the Future Observation of Supernova Relic Neutrinos

Shin'ichiro Ando

Astrophys. J. 607, 20 (2004)

RESCEU-76/04

Affleck-Dine Baryogenesis and heavy elements production from Inhomogeneous Big Bang Nucleosynthesis

Shunji Matsuura, Alexander.D.Dolgov, Shigehiro Nagataki, and Katsuhiko Sato

Prog.Theor.Phys. 112 (2004) 971-981

RESCEU-75/04

Locating the Warm-Hot Intergalactic Medium in the Simulated Local Universe

Kohji Yoshikawa et al.

PASJ 56(2004)939-957

RESCEU-74/04

A Realistic Model for Spatial and Mass Distributions of Dark Halo Substructures: An Analytic Approach

Masamune Oguri and Jounghun Lee

MNRAS 355(2004)120-128

RESCEU-73/04

A Search for H-alpha Absorption in the Exosphere of the Transiting Extrasolar Planet HD 209458b

Joshua N. Winn, Yasushi Suto, Edwin L. Turner, Norio Narita, Brenda L. Frye, Wako Aoki, Bunei Sato, Toru Yamada

PASJ 56(2004)655-662

RESCEU-72/04

Constraints from the Wilkinson Microwave Anisotropy Probe on Decaying Cold Dark Matter

Kiyotomo Ichiki, Masamune Oguri and Keitaro Takahashi

PRL 93(2004)071302

RESCEU-71/04

Microlensing of the Broad Emission Line Region in the Quadruple Lens SDSS J1004+4112

Gordon T. Richards, Charles R. Keeton, Bartosz Pindor, Joseph F. Hennawi, Patrick B. Hall, Edwin L. Turner, Naohisa Inada, Masamune Oguri, Shin-Ichi Ichikawa, Robert H. Becker, Michael D. Gregg, Richard L. White, J. Stuart B. Wyithe, Donald P. Schneider, David E. Johnston, Joshua A. Frieman, J. Brinkmann

ApJ 610(2004)679-685

RESCEU-70/04

Effects of Triaxiality on the Statistics of Large-Separation Gravitational Lenses

Masamune Oguri and Charles R. Keeton

ApJ 610(2004)663-672

RESCEU-69/04

Sunyaev-Zel'dovich power spectrum with decaying cold dark matter

Keitaro Takahashi, Masamune Oguri and Kiyotomo Ichiki

MNRAS 352(2004)311-317

RESCEU-68/04

Measuring our Universe from Galaxy Redshift Surveys

Ofer Lahav and Yasushi Suto

LRR 7(2004)1-81

RESCEU-67/04

Three-Point Correlation Functions of SDSS Galaxies in Redshift Space: Morphology, Color, and Luminosity Dependence

Issha Kayo et al.

PASJ 56(2004)415-423

RESCEU-66/04

SDSS J1335+0118: A New Two-Image Gravitational Lens

Masamune Oguri et al.

PASJ 56(2004)399-405

RESCEU-65/04

Galaxy Structures and External Perturbations in Gravitational Lenses

Yozo Kawano, Masamune Oguri, Takahiko Matsubara and Satoru Ikeuchi

PASJ 56(2004)253-260

RESCEU-64/04

Observations and Theoretical Implications of the Large-Separation Lensed Quasar SDSS J1004+4112

Masamune Oguri et al.

ApJ 605(2004)78-97

RESCEU-63/04

The Formalism for the Subhalo Mass Function in the Tidal-Limit Approximation

Jounghun Lee

ApJ 604(2004)L73-L76

RESCEU-62/04

Exploring Cluster Physics with High-Resolution Sunyaev-Zel'dovich Effect Images and X-Ray Data: The Case of the Most X-Ray-Luminous Galaxy Cluster RX J1347-1145

T. Kitayama, E. Komatsu, N. Ota, T. Kuwabara, Y. Suto, K. Yoshikawa, M. Hattori, H. Matsuo

PASJ 56(2004)17-28

RESCEU-61/04

Reconstructing the Three-dimensional Structure of Underlying Triaxial Dark Halos from X-Ray and Sunyaev-Zel'dovich Effect Observations of Galaxy Clusters

Jounghun Lee and Yasushi Suto

ApJ 601(2004)599-609

RESCEU-60/04

Properties of Host Haloes of Lyman-Break Galaxies and Lyman Alpha Emitters from Their Number Densities and Angular Clustering

Takashi Hamana, Masami Ouchi, Kazuhiro Shimasaku, Issha Kayo and Yasushi Suto
MNRAS 347(2004)813-823

RESCEU-59/04

The Distribution Function of the Phase Sum as a Signature of Phase Correlations Induced by Nonlinear Gravitational Clustering

Chiaki Hikage, Takahiko Matsubara and Yasushi Suto
ApJ 600(2004)553-563

RESCEU-58/04

Histories of the Milky Way Dwarf Spheroidal Galaxies and omega Centauri

Tsujimoto, T. and Shigeyama, T.

Origin and Evolution of the Elements, from the Carnegie Observatories Centennial Symposia. Carnegie Observatories Astrophysics Series. Edited by A. McWilliam and M. Rauch, 2004. Pasadena: Carnegie Observatories, <http://www.ociw.edu/ociw/symposia/series/symposium4/proceedings.html>

RESCEU-57/04

Observed Abundance Features and their Implications for Chemical Evolution

Tsujimoto, T. and Shigeyama, T.

Publications of the Astronomical Society of Australia, Volume 21, Issue 2, pp. 242-247

RESCEU-56/04

Star Formation History of Omega Centauri

Tsujimoto, T. and Shigeyama, T.

Memorie della Societa Astronomica Italiana, v.75, p.402

RESCEU-55/04

Globular cluster formation from cloud-cloud collisions

Shigeyama, T. and Tsujimoto, T.

Memorie della Societa Astronomica Italiana, v.75, p.366

RESCEU-54/04

ERO R1 in the field of CL0939+4713 – Evidence for an S0-like galaxy at z 1.5

Iye, M., Kashikawa, N., Imanishi, M., Kodama, T., Chiba, M., Shimasaku, K., Okamura, S., Miyazaki, S., Simpson, C., Kobayashi, N., and 3 coauthors

IAU Symp., 220,181

RESCEU-53/04

Newcomers meet the intracluster medium in the Coma cluster

Poggianti, B.M., Bridges, T.J., Yagi, M., Komiyama, Y., Carter, D., Mobasher, B., Okamura, S., and Kashikawa, N.

IAU Colloquium, 195, 362-366.

RESCEU-52/04

Photometric properties of dwarf galaxies in the Coma cluster: radial dependence

Komiyama, Y., Okamura, S., Yagi, M., Kashikawa, N., Poggianti, B.M., Bridges, T.J., Mobasher, B., and Carter, D.

IAU Colloquium, 195, 429-431.

RESCEU-51/04

Two Formation Paths for Cluster Dwarf Galaxies?

Poggianti, B. M., Kashikawa, N., Bridges, T., Mobasher, B., Komiyama, Y., Carter, D., Okamura, S., Yagi, M.

IAU Symp., 217, 562

RESCEU-50/04

Deep Spectroscopy of the Very Extended Ionized Gas of NGC 4388

Yoshida, M.; Yagi, M., Okamura, S., Ohyama, Y., Kashikawa, N., Sasaki, T.; Aoki, K., Iya, M.

IAU Symp., 217, 386

RESCEU-49/04

The Subaru Deep Field: The Optical Imaging Data

Kashikawa, N., Shimasaku, K., Yasuda, N., Ajiki, M., Akiyama, M., Ando, H., Aoki, K., Doi, M., Fujita, Shinobu S., Furusawa, H., and 28 coauthors
PASJ, 56, 1011-1023.

RESCEU-48/04

The Environmental Dependence of Galaxy Properties in the Local Universe: Dependences on Luminosity, Local Density, and System Richness

Tanaka, M., Goto, T., Okamura, S., Shimasaku, K., Brinkmann, J.
AJ, 128, 2677-2695.

RESCEU-47/04

Large-Scale Structure of Emission-Line Galaxies at $z=3.1$

Hayashino, T., Matsuda, Y., Tamura, H., Yamauchi, R., Yamada, T., Ajiki, M., Fujita, Shinobu S., Murayama, T., Nagao, T., Ohta, K., and 5 coauthors
AJ, 1287, 2073-2079.

RESCEU-46/04

The Line-of-Sight Velocity Distributions of Intracluster Planetary Nebulae in the Virgo Cluster Core

Arnaboldi, M., Gerhard, O., Aguerri, J. Alfonso L., Freeman, Kenneth C., Napolitano, Nicola R., Okamura, S., Yasuda, N.
ApJ, 614, L33-L36.

RESCEU-45/04

A Strong Ly α Emitter at $z = 6.33$ in the Subaru Deep Field Selected as an i' -Dropout

Nagao, T., Taniguchi, Y., Kashikawa, N., Kodaira, K., Kaifu, N., Ando, H., Karoji, H., Ajiki, M., Akiyama, M., Aoki, K., and 30 coauthors
ApJ, 613, L9-L12.

RESCEU-44/04

Subaru Deep Survey. VI. A Census of Lyman Break Galaxies at $z = 4$ and 5 in the Subaru Deep Fields: Clustering Properties

Ouchi, M., Shimasaku, K., Okamura, S., Furusawa, H., Kashikawa, N., Ota, K., Doi, M., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., and 6 coauthors
ApJ, 611, 685-702.

RESCEU-43/04

Subaru Deep Survey. V. A Census of Lyman Break Galaxies at $z = 4$ and 5 in the Subaru Deep Fields: Photometric Properties

Ouchi, M., Shimasaku, K., Okamura, S., Furusawa, H., Kashikawa, N., Ota, K., Doi, M., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., and 6 coauthors
ApJ, 611, 660.

RESCEU-42/04

Distributions of Galaxy Spectral Types in the Sloan Digital Sky Survey

Yip, C. W., Connolly, A. J., Szalay, A. S., Budavari, T., SubbaRao, M., Frieman, J. A., Nichol, R. C., Hopkins, A. M., York, D. G., Okamura, S., and 5 coauthors
AJ, 128, 585-609.

RESCEU-41/04

A Subaru Search for Ly α Blobs in and around the Protocluster Region At Redshift $z = 3.1$

Matsuda, Y., Yamada, T., Hayashino, T., Tamura, H., Yamauchi, R., Ajiki, M., Fujita, Shinobu S., Murayama, T., Nagao, T., Ohta, K., and 5 coauthors
AJ, 128, 569-584.

RESCEU-40/04

The Second Data Release of the Sloan Digital Sky Survey

Abazajian, K. et al(the SDSS Collaboration:153 authors including S. Okamura)
AJ, 128, 502-512.

RESCEU-39/04

Magneto-driven Shock Waves in Core-Collapse Supernova

Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, Shigehiro Nagataki and Katsuhiko Sato

The Astrophysical Journal 616, 1086

RESCEU-38/04

Fokker-Planck study of stellar self-gravitating system away from the thermal equilibrium: connection with non-extensive statistics

Atsushi Taruya and Masa-aki Sakagami

Physica A 340 (2004) 453

RESCEU-37/04

Description of quasi-equilibrium states of self-gravitating systems based on non-extensive thermostatics

Masa-aki Sakagami and Atsushi Taruya

Physica A 340 (2004) 444

RESCEU-36/04

Relic neutrino background from cosmological supernovae

S. Ando and K. Sato

New J. Phys. 6 (2004) 170

RESCEU-35/04

Probing anisotropies of gravitational-wave backgrounds with a space-based interferometer: geometric properties of antenna patterns and their angular power

Atsushi Taruya and Hideaki Kudoh

RESCEU-34/04

Evolution of gravitational waves in the high-energy regime of the brane-world cosmology

Takashi Hiramatsu, Kazuya Koyama and Atsushi Taruya

RESCEU-33/04

The Rossiter-McLaughlin effect and analytic radial velocity curves for transiting extra-solar planet systems

Yasuhiro Ohta, Atsushi Taruya, Yasushi Suto

ApJ 622 (2005) 1118

RESCEU-32/04

Open String Tachyon in Supergravity Solution

Shinpei Kobayashi, Tsuguhiko Asakawa and So Matsuura

Mod. Phys. Lett. A15 (2005) 1119

RESCEU-31/04

Simulation of Transitions between “Pasta” Phases in Dense Matter

Gentaro Watanabe, Toshiki Maruyama, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka, Toshikazu Ebisuzaki

Phys. Rev. Lett. 94 (2005) 031101

RESCEU-30/04

Sub-GeV Galactic cosmic-ray antiprotons from PBHs in the Randall-Sundrum braneworld

Yuuiti Sendouda, Kazunori Kohri, Shigehiro Nagataki, and Katsuhiko Sato

Phys. Rev. D 71, 063512 (2005)

RESCEU-29/04

Observational Attempts to Disprove the Cooling Flow Hypothesis

K. Makishima et al.

Proc. Riddle of Cooling Flows in Galaxies and Clusters of Galaxies (Charlottesville, May 51-Jun4, 2003)

RESCEU-28/04

Contributions to the KEK-RCNP International School and Mini-Workshop for Scintillation Crystals and Their Applications in Particle and Nuclear Physics

H. Takahashi, T. Yanagida et al.

Proceedings of the KEK-RCNP International School

RESCEU-27/04

Dark Matter Search with Direction Sensitive Scintillator

H. Sekiya, M. Minowa, Y. Shimizu, W. Suganuma, Y. Inoue
astro-ph/0405598

RESCEU-26/04

Probing Distant Clusters of Galaxies at $z \sim 1$

Nakata, F., Kajisawa, M., Yamada, T., Kodama, T., Shimasaku, K., Tanaka, I., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Iye, M., Okamura, S., and 9 coauthors
sgyu.conf. 57-60.

RESCEU-25/04

Clustering of Galaxies at Redshift 4 and 5 in the Subaru Deep Fields

Ouchi, M., Shimasaku, K., Furusawa, H., Miyazaki, M., Okamura, S., Doi, M., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, S., and 5 coauthors
sgyu.conf. 470-50.

RESCEU-24/04

Photometric Properties of Lyman Break Galaxies at $z=4$ and 5 in Wide Field Imaging Data Taken with the Subaru Suprime-Cam

Shimasaku, K., Ouchi, M., Okamura, S., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, M., Miyazaki, S., and 4 coauthors
sgyu.conf. 39-46.

RESCEU-23/04

History of Mass Assembly and Star Formation in Galaxy Cluster

Kodama, T., Smail, Ian, Nakata, F., Okamura, S., Bower, R. G.
sgyu.conf. 23-31.

RESCEU-22/04

Unveiling Proto-clusters and Proto-large-scale Structures at $z \sim 3$ with the Subaru Prime Focus Camera

Ouchi, M., Shimasaku, K., Furusawa, H., Okamura, S., Doi, M., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, S., Nakata, F., and 3 coauthors
cgpc.sympE. 410

RESCEU-21/04

A performance characterization system for Suprime-Cam filters

Hayashino, T., Tamura, H., Matsuda, Y., Shimasaku, K., Okamura, S., Ouchi, M., Takami, H., Komiyama, Y., Ando, M.
PNAOJ, 7, 33-36.

RESCEU-20/04

Large Cosmic Variance in the Clustering Properties of Lyman Emitters at $z = 5$

Shimasaku, K., Hayashino, T., Matsuda, Y., Ouchi, M., Ohta, K., Okamura, S., Tamura, H., Yamada, T., Yamauchi, R.
ApJ,605,L93-L96.

RESCEU-19/04

Galaxy types in the Sloan Digital Sky Survey using supervised artificial neural networks

Ball, N. M., Loveday, J., Fukugita, M., Nakamura, O., Okamura, S., Brinkmann, J., Brunner, R. J.
MNRAS,348,1038-1046.

RESCEU-18/04

Evolution of the colour-radius and morphology-radius relations in SDSS galaxy clusters

Goto, T., Yagi, M., Tanaka, M., Okamura, S.
MNRAS,348, 515-518.

RESCEU-17/04

The H α Luminosity Function of the Galaxy Cluster A521 at $z = 0.25$

Umeda, K., Yagi, M., Yamada, Sanae F., Taniguchi, Y., Shioya, Y., Murayama, T., Nagao, T., Ajiki, M., Fujita, Shinobu S., Komiyama, Y., Okamura, S., Shimasaku, K.
ApJ,601,805-812.

RESCEU-16/04

A Comparison of the Galaxy Populations in the Coma and Distant Clusters: The Evolution of k+a Galaxies and the Role of the Intracluster Medium

Poggianti, Bianca M., Bridges, Terry J., Komiyama, Y., Yagi, M., Carter, Dave, Mobasher, Bahram, Okamura, S., Kashikawa, N.

ApJ,601,197-213.

RESCEU-15/04

Subaru Deep Spectroscopy of the Very Extended Emission-Line Region of NGC 4388: Ram Pressure Stripped Gas Ionized by Nuclear Radiation

Yoshida, M., Ohyama, Y., Iye, M., Aoki, K., Kashikawa, N., Sasaki, T., Shimasaku, K., Yagi, M., Okamura, S., Doi, M., and 10 coauthors

AJ, 127,90-104. Erratum:AJ,127,3653-3653

RESCEU-14/04

A Deep, Wide Field, Optical, and Near Infrared Catalog of a Large Area around the Hubble Deep Field North

Capak, P., Cowie, L.L., Hu, E.M., Barger, A.J., Dickinson, M., Fernandez, E., Giavalisco, M., Komiyama, Y., Krechmer, C., McNally, C., Miyazaki, S., Okamura, S., and Stern, D.

AJ,127, 180-198.

RESCEU-13/04

SUPERGRAVITY AT COLLIDERS

Wilfried Buchmuller, Koichi Hamaguchi, Michael Ratz, Tsutomu Yanagida

Phys.Lett.B588:90-98,2004

RESCEU-12/04

PRODUCT GROUP UNIFICATION IN TYPE IIB STRING THEORY.

T. Watari and T. Yanagida

RESCEU-11/04

Monte-Carlo Modeling of Non-Gravitational Heating Processes in Galaxy Clusters

Mamoru Shimizu, Tetsu Kitayama, Shin Sasaki and Yasushi Suto

PASJ 56(1) 1 (2004)

RESCEU-10/04

Roles of Supernova Ejecta in Nucleosynthesis of Light Elements, Li, Be, and B

Ko Nakamura and Toshikazu Shigeyama

The Astrophysical Journal, in press (astro-ph/0404293)

RESCEU-9/04

Light Elements Produced by Type Ic Supernovae

Ko Nakamura and Toshikazu Shigeyama

RESCEU-8/04

Acceleration of Supernova Ejecta and Light Element Nucleosynthesis

Ko Nakamura and Toshikazu Shigeyama

RESCEU-7/04

Q-ball Metamorphosis

Masahiro Kawasaki, Fuminiobu Takahashi

RESCEU-6/04

Big bang nucleosynthesis with a varying fine structure constant and non-standard expansion rate

Kazuhide Ichikawa, Masahiro Kawasaki

hep-ph/0401231

RESCEU-5/04

Solving the discrepancy among the light elements abundances and WMAP

Kazuhide Ichikawa, Masahiro Kawasaki, Fuminobu Takahashi
astro-ph/0402522

RESCEU-4/04

Hadronic Decay of Late-Decaying Particles and Big-Bang Nucleosynthesis

M. Kawasaki, K. Kohri, T. Moroi

RESCEU-3/04

Product-Group Unification in Type IIB String Theory

T. Watari and T. Yanagida

RESCEU-02/04

Landau Levels and the Thomas-Fermi Structure of Rapidly Rotating Bose-Einstein Condensates

Gentaro Watanabe, Gordon Baym and C. J. Pethick
Phys. Rev. Lett. 93 (2004) 190401

RESCEU-01/04

Do neutrino flavor oscillations forbid large lepton asymmetry of the universe ?

A.D. Dolgov and Fuminobu Takahashi
hep-ph/0402066