

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

Annual Report

2007

平成19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 2007 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	7
1.4	その他	8
2	銀河進化理論	18
2.1	銀河系	18
2.2	元素の起源	19
2.3	超新星爆発 ejecta の流体力学	20
2.4	Ia 型超新星	20
2.5	超新星の観測とモデル	21
2.6	極超新星	22
2.7	大質量星の進化	22
3	可視光近赤外観測	26
4	サブミリ波観測	31
4.1	テラヘルツ帯観測技術の開拓	31
4.2	星間分子雲、星形成領域の観測的研究	33
5	暗黒物質観測	37
5.1	アクシオンヘリオスコープ実験	37
5.2	新たなアクシオン探索実験の検討	37
5.3	暗黒物質検出器開発	38
5.4	レーザー共鳴イオン化質量分析法による半導体ウエハ表面汚染評価技術の開発	38
5.5	原子炉ニュートリノモニター	38
6	銀河と宇宙構造の研究	42
6.1	高赤方偏移銀河と大構造の研究	42
6.2	銀河進化と環境効果	44
6.3	銀河に属さない惑星状星雲	45
6.4	スローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS)	45
6.5	機器開発	45
7	気球観測による反物質探査, 衛星による X 線・γ 線観測	49
7.1	気球による反物質探査	49
7.1.1	BESS-Polar-II 実験経過	49
7.1.2	BESS-Polar I のデータ解析結果	49
7.1.3	まとめ	50
7.2	衛星による X 線・ γ 線観測	51
7.2.1	「すざく」衛星の運用と稼働状況	51
7.2.2	銀河系内の X 線天体の観測的研究	52
7.2.3	銀河系外の X 線天体の観測的研究	54
7.2.4	雷雲からのガンマ線の観測	55
7.2.5	NeXT 衛星計画	56
7.2.6	小型衛星計画への参加	57

II	2007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	65
1	教員，職員，および研究員	67
2	シンポジウム・研究会	68
2.1	ビッグバン宇宙国際研究センター第二回公開講演会 「宇宙の進化とダークエネルギー」	68
2.2	第7回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会：'Dark Energy in the Universe' サマースクール	68
3	プレプリント・リスト	71

I

プロジェクト別 2007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・佐藤・須藤・柳田・向山・樽家・渡利)

宇宙物理学はその対象が極めて多岐に亘っているのみならず、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る研究を本プロジェクトでは遂行している。

われわれの住むこの宇宙は今から 137 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つ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プ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われわれ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・クエーサー分布 2 体相関関数の探求である。また宇宙のパリオンの半分以上を占める“ダークパリオン”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われわれの担当である。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・理論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、さらには系外惑星のリングと衛星の検出を目指している。

質量の大きい星は進化の最終段階で超新星爆発を起こし、中心にブラックホールもしくは中性子星を形成する。超新星爆発の物理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つに合体しながら核物質へ移行するのが、という基礎過程の研究とともに、それらの効果を取り込んだ一般相対論的な流体力学計算によって爆発のシミュレーションを行わなければならない。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と考えられ、われわれ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。爆発のシミュレーションだけでなく、超新星コアにおける原子核から核物質への相転移が爆発に与える影響にも注目し、分子動力学シミュレーションを用いた核物質の微視的研究も行なっている。また近年、重力崩壊型超新星爆発とガンマ線バーストが関連していることが観測的に確立したが、これは、全ての超新星に相対論的ジェットが存在するのかという疑問を投げかけている。光では見えない隠されたジェットのプローブとして、高エネルギーニュートリノを中心とした研究も行っている。さらに、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も進めている。

1.1 初期宇宙・相対論

超弦理論における宇宙論

最近、超弦理論における加速膨張宇宙の理解が目覚しく進展し、その枠内でインフレーションを議論することが可能になりつつある。本研究では、超弦理論におけるワープしたコンパクト化 (KKLT シナリオ) で、インフレーションのモデルを考察した。具体的には、DBI インフレーションと呼ばれる超弦理論に基づくインフレーション模型に対して、観測からの制限を求めた [7, 74, 124, 136, 137, 152, 163, 204, 206, 222, 242]。また、今までインフレーションを起こさないと考えられていた conformal coupling

を持つスカラー場が、実際にはインフレーションを起こし得ることを示した [8, 136, 137, 145, 176, 204, 205, 206, 215, 216, 218, 219, 221, 222]。

6次元ブレーン宇宙モデルにおける de Sitter ブレーンの安定性

6次元 Warped Flux Compactification ブレーンモデルは、フラックスによるワープしたコンパクト2次元余剰空間の安定化の機構を含んだモデルである。このモデルではブレーン上の4次元宇宙を正の宇宙定数をもった de Sitter 時空にすることが可能であり、そのような場合についての時空の安定性を動的小よび熱力学的な面から調べた。動的安定性については、背景時空の線形摂動を考えスカラー・ベクトル・テンソル型に分離して解析した。この結果、4次元上の Hubble パラメータが大きくなり過ぎるとスカラーモードに不安定性が生じ、この不安定性が生じる領域では4次元の重力法則が再現されないことがわかった。また他方、時空の熱力学的な性質を cosmological horizon に付随するエントロピーを用いて調べた。この結果、先の動的に不安定なパラメータ領域では時空は熱力学的にも不安定であることを示し、今の6次元ブレーンモデルにおいて時空の動的安定性と熱力学的安定性の間に対応があることを解析的に示した [11, 69, 231]。

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。現在の宇宙の大部分を占めていると考えられているにも関わらず、われわれ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可能性を探るため、重力にヒッグス機構を応用することを提唱し、その性質についての研究を行なった。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、このシナリオでは、他の理論 (massive gravity や Dvali-Gabadadze-Porrati ブレーンモデル等) が抱える問題 (巨視的スケールでの強結合によって生じる、制御不能な量子補正) を回避できることが分かっている。

具体的には、重力のヒッグス機構の最も簡単な例である「ゴースト場凝縮」について、非線形ダイナミクス膨張宇宙での線形摂動を詳細に調べた [45, 67, 202, 217] また、また、この理論の持つシフト対称性をゲージ化することで理論を拡張した。その性質を調べ、超弦理論の枠内で実現するシナリオを考察した [6, 45, 135]

Freund-Rubin コンパクト化における新しい解の系列

Freund-Rubin コンパクト化は、フラックスにより内部空間を球面状にコンパクト化するモデルである。特に外部空間が de Sitter 時空となる場合、このモデルには二つの動的不安定性を引き起こすモードが存在する。一つは内部空間の半径の様な変化に対応するモード、もう一つは非一様な変化に対応する多重極モーメントをもつモードである。本研究では、この多重極モーメントをもつモードの不安定性が示唆する、内部空間の形が変形した非自明な新しい系列の解を構成し、この解の系列と自明な Freund-Rubin 解の二つの系列がパラメータ空間上で交わる点に対応する解が、動的不安定性が生じ始める解であることを示した [12, 69, 148, 157, 231]。また新しい解の系列の動的安定性を解析し、Freund-Rubin 解が不安定化するパラメータにおいて、変形した解の系列の方は安定であることを示した [173]。

Ekpyrotic シナリオにおける原始密度揺らぎ

超弦理論の影響を受け、ブレーンの特質を用いて提案された初期宇宙モデルとして、Ekpyrotic (ブレーン衝突) シナリオというものがある。これは、インフレーションにかかわって、初期宇宙における様々な問題点を統一的に説明できる自然な宇宙モデルになる可能性もあるものの、現状では課題が多い。われわれは、このモデルにおける宇宙の収縮期に観測されているような宇宙の大規模構造の種となる曲率揺らぎが生成されるかを調べた。その結果、有効的に複数の正準形のスカラー場を含む4次元理論で記述できるモデルにおいては、スケール不変に近いエントロピー揺らぎが生成され、ある条件を満たせば、それが自然に観測と直結するスケール不変に近い曲率揺らぎに変換され、現在の観測を説明できることを示した [25, 105, 154, 184, 226]。

また、最近初期宇宙モデルを観測結果から識別するために盛んに研究されている揺らぎの非ガウス性についても考察を行った。その結果、このモデルでは揺らぎの生成期にスカラー場の slow-roll 条件が破れているため、観測による制限内ではあるものの、通常のインフレーションモデルから予言されるよりも大きな非ガウス性が得られることがわかった。これは Planck 衛星などによって、今後数年のうちに検知できる可能性のある興味深い結果である [26, 47, 106, 147, 170, 227, 228]。

グラビティーノと宇宙論

グラビティーノが Lightest SUSY Particle (LSP) で安定な場合、その次に軽い Next-to-LSP (NLSP) が長寿命となり、その崩壊が宇宙論的に問題を引き起こす場合がある。浜口、柳田は、初田氏 (東大理・物理学科)、上村氏 (九州大)、木野氏 (東北大) と共に、長寿命荷電粒子 (スタウ) がある場合に初期

宇宙元素合成時に触媒反応を起こし、 ${}^6\text{Li}$ が作られすぎてしまう事を詳細な計算によって示し、制限を与えた [13]。

$\mathcal{O}(1)$ eV のグラビティーノではグラビティーノ問題は生じないが、冷たい暗黒物質の候補が超対称性標準模型には存在しないという欠点があった。浜口、柳田、白井は超対称性の破れがゲージ媒介型である場合において、その媒介粒子の複合状態が $\mathcal{O}(100)$ TeV の冷たい暗黒物質になり得ることを指摘した [15]。

浜口、柳田、白井、はスカラーレプトンが第二最軽量超対称性粒子 (NLSP) の場合、その崩壊分岐を測ることで LHC においても $\mathcal{O}(1)$ eV のグラビティーノの質量が測れることを示した [14]。

D-term による超対称性の破れ

中山 (東大総合文化研究科/UC Berkeley)、瀧、渡利、柳田は、超対称性を破るモデルで、主に D-term で超対称性の破れを担うものを提唱した [16]。このモデルには、4次元時空上で定式化できるものとしては非常に軽い重力微子 (gravitino) の質量を実現できる、超対称スカラー粒子が超対称ゲージ粒子よりも重くなる状況を実現できる、などの現象論的特徴を持っている。

基本パラメタの統計的生成

Hall (UC Berkeley)、Salem (Caltech/Tufts)、渡利は、湯川結合定数やそこから従う混合角にみられる階層性、世代構造などといった特徴が、じつはランダムな統計分布から生成されうる、という見方を提唱した [17, 18]。

物質反物質非対称生成

Affleck-Dine 機構は現在の宇宙の物質反物質非対称の起源として有望なシナリオのひとつである。われわれは、Affleck-Dine 機構が複数の平坦方向によって引き起こされる場合に付いて考察を行い、ひとつの平坦方向のみによって引き起こされる可能性より複数のそれによって引き起こされる可能性の方が高いことを示した。また、その場合、宇宙の再加熱前に宇宙に熱的プラズマが存在する効果が生成される物質反物質非対称の量に影響を与えないことを示した。[24, 46, 73, 94, 151, 156, 196]

インフレーション宇宙における中間質量ブラックホール形成

3年目までの WMAP データの示しているように、初期揺らぎのスペクトル指数が大きな負の微分を持つと、インフレーションを十分続けることができないため、複数回のインフレーションが起こったこと

が結論される。われわれは超重力理論のもとでそのような複数回のインフレーションを実現する機構を提案したが、1回目と2回目のインフレーションの間の場の振動期に、1回目のインフレーションの最終段階で生成した揺らぎがパラメータ共鳴によって増幅されるため、そのスケールに揺らぎのピークができる。その後の宇宙でこれはブラックホールに崩壊するが、われわれはこれを X 線で観測されている中間質量ブラックホールと同定できることを示した。[22]

DECIGO によるインフレーション後の再加熱温度の測定

DECIGO 計画は、宇宙空間に衛星を打ち上げ、0.1-1Hz 帯の重力波を高感度に測定しようというものである。これによってインフレーション中に生成した量子的重力波が直接検出できると期待されている。一方、この重力波の極長波長成分はテンソル揺らぎとして宇宙背景放射の B モード偏光によっても観測可能である。われわれは、将来双方の観測が可能になった暁には、インフレーション後の宇宙の熱史に対し重要な情報が得られ、特に再加熱温度がグラビティーノ問題から得られる制限を満たしている場合には、これを直接測定できることを示した。[23, 127, 128]

Single field inflation における原始ブラックホール生成

宇宙初期に振幅の大きな密度揺らぎが存在した場合、その密度揺らぎによって密度が過剰になった領域はブラックホールへと崩壊する。このブラックホールは原始ブラックホールと呼ばれ、暗黒物質や中質量ブラックホールの起源のひとつの候補であると考えられている。われわれは、chaotic new inflation と呼ばれるモデルにおいては特定のスケールにおいて揺らぎの振幅の増幅が起き、宇宙背景放射を用いた大スケールの観測と矛盾することなく、暗黒物質などの起源となる質量を持つ原始ブラックホールを十分な量だけ生み出すことが可能であることを示した。また、密度揺らぎの持つ非線形性による原始ブラックホールの生成量の変化を評価し、chaotic new inflation モデルにおいては生成量の有意な変化は得られないことを示した。[150, 155, 75]

インフレーション宇宙における原始磁場の生成

宇宙では銀河以上の大スケールでも磁場の存在が観測的に確認されている。このスケールの大きな磁場の相関長を説明するには、初期宇宙のインフレーション期に磁場生成が起こったと考えるのが自然である。このような観点から、われわれは超重力理論の一般的な枠組みのもとで、gauge kinetic function のスカラー場依存性を用いることによって、観測を

説明できるような原始磁場を、量子ゆらぎによって生成するモデルを構築し、さまざまな宇宙論的制限をみだす条件を求めた。[19]

宇宙背景磁場が宇宙の線形揺らぎに与える影響の考察

磁場が初期宇宙から存在していた場合、その磁場が宇宙誕生38万年までに存在した宇宙プラズマに与える影響を考察した。確立している宇宙線形密度揺らぎの理論に磁場の効果を加えて一般化し、数値的に計算を実行することにより、光子、バリオン物質の密度揺らぎの時間発展に対し、磁場がどのように影響したはずであるかを定量的に調べた。それにより、磁場により生成される回転型の揺らぎが宇宙背景輻射の小角度スケールの揺らぎに大きく寄与する一方、磁場により生成される密度型の揺らぎが大角度スケールの揺らぎに寄与することを明らかにした。また、初期磁場と初期密度ゆらぎの間の相関に対して大角度スケールの背景輻射温度揺らぎの観測から制限与えられることを示唆した。[29]

宇宙密度揺らぎから生成される背景重力波

宇宙の構造の種であると考えられている宇宙論的な密度揺らぎについての摂動理論を摂動の2次まで拡張し、そうすることで初めて取り入れることのできる宇宙論的密度ゆらぎからの重力波の生成について考察した。この研究の特徴は、既に理論的にも観測的にも確立された宇宙論的摂動論に基づいており、定量的なあいまいさが非常に小さいことが挙げられる。実際に数値計算を実行し、結果として現在の宇宙では、インフレーション起源の重力波を上回る振幅の重力波が生成されていることを明らかにした。[28, 139, 229, 230]

レプトン非対称性と背景重力波

レプトン物質の非対称性については、その非対称性を予言するさまざまな理論があるものの、観測的には全く確認されていない。そこでわれわれはレプトン非対称性の新しい検証可能性を提案した[21]。宇宙に満ちているニュートリノ・反ニュートリノに非対称性が存在すると、ニュートリノが空間を自由に伝搬する際に作られる分布関数の4重極にその非対称性の効果が現れる。私たちは、その非対称性の効果は宇宙に存在する背景重力波の伝搬に作用することに着目し、重力波の伝搬とニュートリノの伝搬を同時に数値的に解くことによりその影響を定量的に求めた。結果、ニュートリノの非対称性は、対称的な場合と比較して背景重力波の振幅の増幅となって現れること、非対称性のパラメータ ξ が $\mathcal{O}(1)$ 程度であれば、将来の宇宙背景輻射の偏光観測を通じた背景重力波観測を通じた観測の可能性を示唆した。

1.2 観測的宇宙論

レーザー干渉計を用いた宇宙初期のパリティ非対称性の検出方法

超弦理論にもとづく低エネルギー有効理論のもとでは、重力理論自体がパリティ対称性の破れを自然に含むことが予想されており、宇宙初期のインフレーションで生成される背景重力波は、対称性の破れに伴う特有の偏極(円偏極)を持つことが期待されている。本研究では、複数台あるレーザー干渉計のネットワークを用いて、位相がランダムな背景重力波の偏極成分を分離・検出する一般的手法を考案した。その手法に基づき、Advanced LIGO, LCGTなどの地上の次世代干渉計を用いて円偏極した背景重力波の検出可能性について定量的な議論を行った。[9]

バリオン音響振動の非線形重力進化に対する非摂動論的取り扱い

銀河分布のパワースペクトルに現れるバリオン音響振動は、「宇宙標準ものさし」として銀河分布の赤方偏移・距離関係の決定に有効で、次世代分光サーベイにもとづくダークエネルギー探査のきわめて重要な手段と考えられている。近年、N体シミュレーションなどによる系統的な研究から、非線形重力進化によってバリオン音響振動スケールが時間変化することが明らかになり、精密観測にもとづき赤方偏移・距離関係を精度よく決定する上で、バリオン音響振動の時間進化を定量的に記述する理論テンプレートが不可欠と考えられている。本研究では、乱流などの分野で知られる完結近似と呼ばれる手法を応用し、従来の摂動論を改良する定式化を行った。質量分布のパワースペクトルを解析的に評価し、弱非線形領域においてN体シミュレーションと比較したところ、完結近似は従来の摂動論の適用範囲を越えて、N体シミュレーションの結果を再現しうることがわかった。[10, 103, 104, 146, 164, 171, 172, 182, 223, 224, 225]

トランジット惑星系での Rossiter-McLaughlin 効果の観測

トランジットを起こす太陽系外惑星系では、惑星が公転周期ごとに主星の前面を通過する。この時、惑星が主星の自転による吸収線の広がりや隠してしまいうため、トランジット中の主星の視線速度は見かけ上ケプラー運動によるものからずれて観測される。この効果は古くから食連星の観測によって知られており、発見者の名前にちなんで Rossiter-McLaughlin 効果(以下、RM 効果: Rossiter 1924, McLaughlin 1924)と呼ばれている。この RM 効果による視線速度のずれは、主星の自転軸と惑星の公転軸のなす角 λ などのパラメータを用いて記述することができる(Ohta, Taruya, & Suto 2005)。この λ という量は惑

星の形成と進化の過程を反映しており、hot Jupiter がどのように形成されたのかについて手がかりを与えてくれる貴重な観測量である。

われわれのグループでは、多くのトランジット惑星系での RM 効果の測定を目指し、ハワイ島・マウナケアにあるすばる望遠鏡/HDS またはケック望遠鏡/HIRES と、マウイ島・ハレアカラにあるマグナム望遠鏡/MIP を用いて 2007 年夏に 5 つのトランジット惑星系の観測を実施した。また、岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡/HIDES を用いて、2007 年秋に 1 つのトランジット惑星系の観測を実施した。このうち TrES-1, HAT-P-2, HD17156 の 3 つのトランジット惑星系での RM 効果の測定に成功し、その結果が 2007 年度に出版されている。[31, 32, 33, 71, 91, 108, 177, 233, 234]。

宇宙論スケールでの重力法則のずれに対する制限

重力法則が変更された場合の質量密度ゆらぎの摂動論を議論し、線形成長、さらにはその上のオーダーである非線形成長に対する表式を与えた。さらに、非線形成長を含めたゆらぎの統計量を議論するため、N 体シミュレーションのコードを重力法則が変更した場合に拡張し、シミュレーションを行った。また SDSS の観測と比較するために、モックデータをシミュレーションから作成した。

準解析的方法によって得られるパワースペクトル、また摂動論を用いたパワースペクトルが、シミュレーションの結果とよく一致していることを確認し、理論的手法が有効であることを示した。更に、モックデータと SDSS の観測結果とを比較し、銀河バイアスに対し線形を仮定した場合は、パワースペクトルを用いたほうが重力法則の変更に対してよく制限できることを示した。また銀河バイアスに非線形項を含めて考えた場合は、バイアスパラメータに対する制限を与えることができた。重力法則が変更された場合におけるバイアスに対する制限はこれが初めてであり、今後の様々な宇宙論的観測で得られるであろうバイアスの情報と組み合わせることで、重力法則の変更に対し更に厳しく制限できる可能性があることを示した。[34, 109, 235]

銀河団ガス温度、密度揺らぎの宇宙論的応用

銀河団の総質量はビリアル平衡により温度と結びついている。観測的にはこの温度は銀河団内部に閉じ込められた高温プラズマ（銀河団ガス）が発する X 線スペクトルから得られる。一方、理論、シミュレーションサイドでは放射重み付け温度が代用として長い間用いられてきた。ところが、近年、前者の方が後者に比べ 1-3 割程度低いことが分かった。銀河団の温度は、様々な宇宙論パラメータの推定に用いられるので、この違いは重要である。宇宙流体シミュレーションと解析モデルを用いて、この大きな原因が銀河団内部の局所的な温度揺らぎと動径分布であることを発見した。同時に、温度密度揺らぎの確率

密度関数が良く対数正規分布で近似されることを発見した [37]。さらに上記の温度推定バイアスと揺らぎの対数正規分布モデルを用い、SZ 効果+X 線からのハッブル定数推定の系統誤差に取り組んだ。この推定法は単純な方法であるのに、観測においては、他の推定法に比べ 1, 2 割低い値を与える報告がなされ、解明が課題であった。この推定法の系統誤差が大きく三つの要素で表される解析モデルを立てることに成功し、観測からの示唆と同程度の過小評価を与えることを示した [38, 166]。

CMB の非等方性による初期宇宙モデルの制限

超弦理論などの高エネルギー物理学の枠内では、パリティを破るような相互作用項が許される。宇宙初期のインフレーション期に、このようなパリティを破るような項が支配的であるとすると、量子揺らぎのテンソル成分である背景重力波が円偏極成分をもつ。実はインフレーション起源の背景重力波の円偏極成分により、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background, CMB) の温度ゆらぎと偏光の間に特徴的な相関を生む。そこで、TB/EB モードと呼ばれる CMB 角度相関パワースペクトルを計算した。特に宇宙の再イオン化により、シグナルが大角度スケールで数桁大きくなることを示した。さらに、WMAP の 3 年目のデータを用いた現在での円偏極成分の観測的制限と、将来の観測で予想される検出可能性について議論した。WMAP では有用な制限は得られなかったが、将来の CMB 観測では、背景重力波のもつ円偏極成分を表すパラメータが $\epsilon > 0.35(r/0.05)^{-0.6}$ 程度で制限できることを示した [41, 167, 187]。

有質量ニュートリノの重力非線形進化への影響

ニュートリノが質量をもつことは素粒子標準模型の限界を示す最初の証拠であり、ニュートリノがどの程度の質量を持つかは重要な問題である。非常に興味深いのは、ニュートリノ質量の総和の上限である、 $\sum m_\nu < 0.2 - 0.6 \text{eV}$ という制限が宇宙論的観測から得られていることである。

宇宙論的観測からニュートリノの質量を制限できる一つの理由として、有質量ニュートリノは宇宙の構造形成の成長を均すという効果がある。ニュートリノは大きな速度分散をもつので、ある特徴的なスケール以下ではニュートリノの密度ゆらぎは存在できず、重力を弱めるからである。

将来の大規模構造観測を念頭に置くと、重力による非線形進化の影響が無視できないが、ニュートリノの影響を考慮した取扱いはなされていなかった。そこでわれわれは、摂動論に基づき、有質量ニュートリノの効果を非線形パワースペクトルの計算に組み込むことに成功した。さらに、ニュートリノが成長を均す効果は重力の非線形進化により増幅され、この効果によりニュートリノ質量の制限が非常に強くなりうることを示した [116, 117, 118, 119, 120, 141, 149, 161, 179, 188, 189, 238]。

摂動論、N 体シミュレーションを用いたバリオン音響振動の研究

脱結合前の宇宙におけるバリオン-光子混合流体は、音響振動（バリオン音響振動, BAO）を起こし、この音波が脱結合までの間に進む距離はバリオン、光子双方の密度（温度）ゆらぎに特徴的距離（BAO スケール）として痕跡を残す。その後、バリオンの密度ゆらぎは CDM と共に重力的に成長していき、結果的にできる大規模構造は BAO スケールを引き継いでいる。

遠方の宇宙マイクロ波背景放射の温度非等方性、及び近傍の銀河分布の観測により、BAO スケールを精密に測定し、これを標準ものさしとして用いることで、宇宙膨張の履歴を調べることができる。これを利用して暗黒エネルギーの性質を制限するという方法論が確立しつつあるが、このためには銀河分布に見られる BAO スケールを非常に精密に予言することが求められる。近傍では密度揺らぎは線形理論では正しく記述できないため、より高次の影響を取り入れた摂動論や N 体シミュレーションが力を発揮する。

われわれは、まず摂動論に基づいた予言を行い、高次の補正の影響で BAO スケールがどの程度変更を受けるかを調べた。[44, 122, 123, 193, 240, 241] さらに、摂動論の破綻するスケール、及び N 体シミュレーション自身の持つ系統誤差の可能性を調査した。[142, 169, 180, 194]

N 体計算における初期条件の構築

宇宙論パラメータをより厳しく制限するための 1 つのアプローチとして、宇宙の大規模構造の統計性を調べるというものがある。この解析は構造が出来る領域では重力の非線形性が強くなるので、通常は N 体計算を用いるのであるが、数値計算結果を現在の精密な観測結果と比較するためには数パーセントのレベルでの精度が要求され、どのような初期条件を設定するのが妥当かという点も重要な問題となりうる。われわれは Zel'dovich 近似、Lagrangian 2 次摂動論、Lagrangian 3 次摂動論から初期条件を構成した N 体計算の結果を比較し、通常の N 体計算が行われているような状況においては、Lagrangian 2 次摂動論から初期条件を与えるのが一番実用的であることを示した [27]。

初期揺らぎのスペクトル再構築

インフレーション理論に基づいた構造形成シナリオの主張に依れば、物質分布の統計的性質は宇宙膨張の履歴を詳細に記録しており、初期宇宙研究における観測と理論の重要な接点となっている。そこでは理論的な偏見を排して、可能な限り多くの情報を抽出することが望ましい。マイクロ波背景放射の温度非等方性は、degree スケールにまで渡って極めて精密に測定されており、構造進化の初期状態を再構

築するに足る情報を有しているため、あとは情報を適切に抽出するための解析手法の問題である。私たちは、従来のパラメータフィッティングでは原理的に見つけられない初期スペクトルの微細構造を調べる方法として、マイクロ波背景放射の非等方性を揺らぎの初期スペクトルへ逆写像する手法を開発してきた。WMAP ミッションの最新データにそれらの再構築法を適用して初期スペクトルの計算結果を更新した。とりわけ、再構築した初期スペクトルにバンドパワー分解を適用して誤差評価を行った結果、これまでに報告されていない卓越した構造を 700Mpc スケール近辺に発見した。[48, 129, 93, 165, 213]。

スカラー・テンソル理論に基づくダークエネルギーモデル

現在のような低エネルギーで観測されているような加速膨張する宇宙を実現するのは理論的には大きな困難をとまなう。これに対するアプローチとして、重力理論が今の宇宙論的なスケールでは一般相対性理論から変更されるとするものがあり、それらの中で最も単純な理論は、重力と結合したスカラー場を導入したスカラー・テンソル理論である。しかし、この理論は太陽系内の実験などによって、一般相対性理論からのずれはかなり厳しく制限されている。これに対し、われわれはこの理論にスカラー場のポテンシャルを導入し、スカラー場の質量が周りの物質の密度に応じて変化すること（Chameleon 機構）を用いて、宇宙論的なスケールではスカラー場の効果で加速膨張が実現し、太陽系のような小スケールではそのスカラー場の値が固定されて一般相対性理論を再現できるという、現在の観測結果と矛盾しないモデルを構築できることを示した [20]。

一般化したダークエネルギーモデルと観測的制限

現在の宇宙は、負の圧力を持ったダークエネルギーにより、加速的に膨張しているということが、観測的に示唆されている。しかしそのダークエネルギーの性質・正体は全く解明されていない宇宙論に残された問題のひとつである。ダークエネルギーを観測的に制限する方法は大きく分けて 2 つある。ひとつは宇宙の膨張の歴史を調べるもので、これはダークエネルギーの圧力をエネルギーで割った状態方程式 w で完全に特徴づけられるものである。もうひとつはダークエネルギーの密度揺らぎの性質を調べるといふものであり、この性質を現象論的に考察するため、ダークエネルギーを理想流体として近似し、その等方的な圧力を音速 c_s^2 で表すモデルがよく用いられている。

私たちはその現象論的なモデルをさらに一般化し、ダークエネルギーの非等方圧力まで許した場合の密度揺らぎの発展に対する影響を調べた。実際に現在の宇宙背景放射、および銀河の分布統計観測と比較することにより、非等方圧力の大きさに対しては有意な制限は得られないながら、状態方程式 w の観測

的な信頼領域が仮定する非等方圧力の大きさに依存していることを明らかにした。[30]

暗黒エネルギー研究国際ネットワーク

平成 19 年度より 2 年間、ビッグバンセンターを拠点とした日本学術振興会先端拠点形成事業「暗黒エネルギー研究国際ネットワーク」が採択された。これは、宇宙論及び素粒子論における未解決の大問題である宇宙の暗黒エネルギーの正体を解明することを目的として、国内の主要 6 研究機関、さらにアメリカのプリンストン大学とカリフォルニア工科大学、イギリスのエジンバラ大学を国外主要拠点とした国際共同研究である。暗黒エネルギーの理論モデル、一般相対論の修正の可能性、数値シミュレーションといった理論的研究のみならず、すばる主焦点に多天体分光器 WFMOS を設置して暗黒エネルギー探究のための銀河サーベイを行う観測プロジェクトの推進など、日本が主導的な立場で多角的な研究を行うための基盤を形成しつつある。

1.3 天体核・素粒子物理

マグネターとガンマ線バースト

昨年度発見された GRB 060218 SN2006A] は観測結果と理論予測をつき合わせると、中心天体は中性子星になると考えられている。通常の超新星よりも激しい爆発を起こすためには直感的には強磁場中性子星であるマグネターがこの爆発現象のセントラルエンジンと考えるのが自然である。われわれのシミュレーションによりこの現象の解明に挑んだ。われわれが新たに開発した特殊相対論的計算コードにより計算の適用範囲が広がり、今まで行われていたものより自然な磁場の強さを仮定して研究を進めることができた。その結果、磁場による超新星爆発の一般的な条件を抽出でき、この機構に対する理解が一步進んだ。[70, 95, 158, 232]

暗黒物質対消滅による放射

宇宙を満たす暗黒物質の有力な候補として、超対称性理論から予言されるニュートラリーノ粒子が挙げられる。この粒子は対消滅することが予言されており、対消滅生成物の観測による検出が可能である。とくにニュートラリーノの絶対的なシグナルとして、ラインが注目されている。われわれは、暗黒物質の密度分布の細部構造を考慮し、暗黒物質が宇宙ガンマ線背景放射にどの程度の寄与を与え得るかを定量的に評価した。その結果、暗黒物質のラインが 2008 年に打ち上げが予定されている GLAST 衛星によって検出可能であることを明らかにした [110, 185]。また、ごく最近、ニュートラリーノ起源の背景ニュートラリーノを用いて、ニュートラリーノの対消滅断面積

に普遍的な上限値を与える”neutrino bound”が提唱された。われわれはこの上限値の改善を目的に、銀河内の暗黒物質を系統的に解析し、以前より 2 桁厳しい $2 \times 10^{-23} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ 以下という断面積の上限値を発表した [35, 111, 159, 185]。

重力崩壊型超新星と高エネルギーニュートリノ放射

近年、ガンマ線バーストと重力崩壊型超新星爆発に相関があることが観測的に確立した。しかし、これは新たな疑問を投げかけることとなった。つまり、「どの程度の超新星に GRB にみられるような相対論的ジェットが伴っているのか?」ということである。相対論的ジェットが地球を向いていない場合や、ジェットが星の中で詰まってしまう場合は、光では十分に観測できない。この疑問に対する完全な答えは、星やジェットの中から出られるニュートリノ観測が不可欠なのである。われわれは、ジェットが星の内部を移動している際に作られるニュートリノ放射を評価し、検出可能性および幾つかの物理的示唆が得られる事を示した [36, 96, 178]。

超新星コア内部の pasta 相の相図の不定性

超新星コアの内部においては、原子核が融解して一様核物質へと相転移する。その過程においては、原子核が球状から棒状、板状、それらのバブルへと形状を変化させることが示唆されており、これらの変形した原子核を pasta 相と呼ぶ。pasta 相が存在することによる影響はこれまでの研究で議論してきたものの、では核力の不定性を考慮した時に、pasta 相自体がどれほど存在するのかという問題は未解決であった。われわれは量子分子動力学法を用いて超新星内部のような高温高密度での核物質のシミュレーションを行ない、核力の不定性を考慮した場合相図がどのように変化し、pasta 相がどの程度存在しているかを調べ、結果として対称エネルギーの密度依存性が重要であること、そして標準的な超新星爆発のモデルを考えると、コアの質量の 20%、もしくはそれ以上が pasta 相に変化している可能性があることを指摘した [39, 92, 112, 97, 174, 236]。

最高エネルギー宇宙線ソース数密度とそのエラーの見積り

近年の観測の進展にもかかわらず、最高エネルギー宇宙線のソースは未だによくわかっていない。これは宇宙線が荷電粒子であり、宇宙空間の磁場によりその軌跡を曲げられて地球に到達することに起因する。われわれは銀河系近傍 100 Mpc の実際観測されている大規模構造を再現するような銀河間磁場および宇宙線ソースモデルを作成し、地球で見えるであろう宇宙線到来方向分布をシミュレートした。この結果から、AGASA 観測により観測されている到来方向分布の非等方性を再現するためにはソースは

$10^{-5}\sim 10^{-6} \text{ Mpc}^{-3}$ 程度の個数密度を持つという制限をつけた。また、この制限は現在の観測イベント数が少ないことに起因する大きな不定性を持っており、この不定性は 10^{-5} Mpc^{-3} が正しければ Auger 観測所の 5 年程度の観測で排除されることを示した [40, 113]。

荷電粒子天文学の可能性の探究

AGASA 観測が最高エネルギー宇宙線の到来方向分布に小スケールの非等方性を発見して以来、最高エネルギー宇宙線の到来方向からそのソースが決定する「荷電粒子天文学」が可能かという疑問は多くの研究者の興味を引きつけてきた。われわれはこの可能性を探るため、銀河系近傍構造を反映する銀河間磁場モデルを用いて、将来観測イベントが増えた場合に最高エネルギー宇宙線到来方向分布から近傍ソースの空間分布が見えてくるかを議論し、ソースの個数密度が 10^{-5} Mpc^{-3} 程度であった場合、Auger 観測所の 5 年程度の観測で $2-4^\circ$ スケールで近傍ソースが見えてくることを示した [51, 114, 115, 140, 186, 210, 211, 237]。宇宙線で近傍ソースの分布が見えるという予言は論文投稿後の Auger 観測所の観測結果により実証された。

最高エネルギー宇宙線到来方向に対する銀河内磁場の影響

最高エネルギー宇宙線は銀河間磁場だけではなく、銀河内の磁場によってもその軌跡を曲げられる。われわれはこの磁場による曲がりや宇宙線到来方向とソースの方向のズレにどの程度効いてくるかを見積もった。銀河磁場の構造を反映して、宇宙線の曲がり角はその到来方向に依存する。この結果、銀河反中心方向が最も曲がりやが小さいことを見つけ、位置相関を観測するのであれば、銀河反中心を含む北半球での観測が重要であることを示した [51, 114, 140, 175, 210, 211, 237]。

超高エネルギー宇宙線起源のニュートリノによる宇宙線起源の探査

Ankle と呼ばれる 10^{19} eV 付近の宇宙線スペクトルの折れ曲がりや、銀河系内宇宙線と系外宇宙線の転移点であるという解釈と系外宇宙線が宇宙背景放射と反応することで形成されるという 2 つの解釈があり、直接的な証拠は得られていない。どちらの解釈が正しいかを理解することは、超高エネルギー宇宙線の生成機構を理解する上で重要である。われわれは超高エネルギーの系外宇宙線が放射する超高エネルギーニュートリノに着目し、このスペクトルを測定することによってこの 2 つのシナリオの区別をつけられるということを示した。同時に観測可能性の議論を行い、Auger 観測所や ANITA 観測で宇宙線ソースの宇宙論的進化シナリオによってはこのニュートリノが観測可能であることを示した [160, 210, 237]。

第一世代星の自転磁場重力崩壊

宇宙で最初にできた星のことを第一世代と呼ぶ。このような天体は現在の星と異なり非常に重かったことが示唆されている。これまで第一世代星の形成についてはよく調べられてきたが、その進化の最終段階である崩壊についてはほとんど調べられてこなかった。そこでわれわれは、どのような星が最終的にどのような現象を引き起こすのかを詳細なシミュレーションを行って明らかにした。その結果、初期に十分強い磁場 (10^{12} G) を持つような天体は、重力崩壊の際にジェット状の爆発を起こすことを示した。また、最終的に残るブラックホールの大きさや放出されるニュートリノの量と、初期の回転則・強さの相関関係も明らかにした [42, 239]。

第一世代星の背景放射への寄与

第一世代星の重力崩壊のシミュレーション結果を用いて、重力波やニュートリノの背景放射の成分にどのような影響を及ぼすのかを調べた。その結果、重力波については、次世代の重力波検出器である DECIGO や BBO といったもので観測可能性が高いことを示した [43, 52, 98, 121, 168, 190, 191, 239]。ニュートリノに関してはこれまで観測可能性は低いとされていたが、今まで考慮されていなかった回転の効果を入れた計算を行うと、観測の窓となる周波数帯が存在する可能性を示唆した [98, 162, 168, 192, 239]。

1.4 その他

向山信治助教はこれまでの研究成果を受け、日本物理学会より第一回若手奨励賞を受賞し [1]、また、今年度発足した東京大学数物連携宇宙研究機構に特任准教授として転出した。

<受賞>

- [1] 向山信治:第 1 回若手奨励賞、「ブレーン宇宙の厳密解と摂動論の研究」; 日本物理学会、2007 年 9 月 21 日
- [2] 横山順一: 第 58 回論文賞佳作 “Space laser interferometer can determine the thermal history of the early Universe” Gravity Research Foundation.

<報文>

(原著論文)

- [3] Kazuhiro Yamamoto, David Parkinson, Takashi Hamana, Robert C. Nichol, and Yasushi Suto: “Optimizing future imaging surveys of galaxies to confront dark energy and modified gravity models,” *Phys. Rev. D* **76**, 023504-1-10 (2007) (astro-ph/0704.2949)
- [4] Jennifer K. Adelman-McCarthy et al.: “The Fifth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey,” *The Astrophysical Journal Supplement* **172**, 634-644 (2007) (astro-ph/0708.3380)

- [5] Jennifer K. Adelman-McCarthy et al.: “The Sixth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey,” *The Astrophysical Journal Supplement* **175**, 297-313 (2007) [astro-ph/0707.3413]
- [6] S. Mukohyama: “Towards a Higgs phase of gravity in string theory,” *JHEP* **0705**, 048 (2007).
- [7] T. Kobayashi, S. Mukohyama and S. Kinoshita: “Constraints on Wrapped DBI Inflation in a Warped Throat,” *JCAP* **0801**, 028 (2008).
- [8] L. Kofman and S. Mukohyama: “Rapid roll Inflation with Conformal Coupling,” *Phys. Rev. D* **77**, 043519 (2008).
- [9] Naoki Seto, Atsushi Taruya: “Measuring a Parity-Violation Signature in the Early Universe via Ground-Based Laser Interferometers,” *Phys. Rev. Lett.* **99**, 121101 (2007)
- [10] Atsushi Taruya, Takashi Hiramatsu: “A Closure Theory for Nonlinear Evolution of Cosmological Power Spectra,” *The Astrophysical Journal* **674**, 617–635 (2008)
- [11] Shunichiro Kinoshita, Yuuiti Sendouda and Shinji Mukohyama: “Instability of de Sitter brane and horizon entropy in a 6D braneworld,” *JCAP* **0705**, 018 (2007)
- [12] Shunichiro Kinoshita: “New branch of Kaluza-Klein compactification,” *Phys. Rev. D* **76**, 124003 (2007)
- [13] K. Hamaguchi, T. Hatsuda, M. Kamimura, Y. Kino, T. T. Yanagida, “Stau-catalyzed 6Li production in big-bang nucleosynthesis,” *Phys. Lett. B* **650** (2007) 268-274.
- [14] K. Hamaguchi, S. Shirai and T. T. Yanagida, “Determining the mass for a light gravitino,” *Phys. Lett. B* **651** (2007) 44.
- [15] K. Hamaguchi, S. Shirai and T. T. Yanagida, “Composite Messenger Baryon as a Cold Dark Matter,” *Phys. Lett. B* **654** (2007) 110.
- [16] Y. Nakayama, M. Taki, T. Watari and T. T. Yanagida, *Phys. Lett. B* **655**, 58 (2007) [arXiv:0705.0865 [hep-ph]].
- [17] L. J. Hall, M. P. Salem and T. Watari, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 141801 (2008) [arXiv:0707.3444 [hep-ph]].
- [18] L. J. Hall, M. P. Salem and T. Watari, *Phys. Rev. D* **76**, 093001 (2007) [arXiv:0707.3446 [hep-ph]].
- [19] J. Martin and J. Yokoyama: “Generation of Large-Scale Magnetic Fields in Single-Field Inflation,” *JCAP* **0801**, 025 (2008)
- [20] S. Tsujikawa, K. Uddin, S. Mizuno, R. Tavakol and J. Yokoyama: “Constraints on scalar-tensor models of dark energy from observational and local gravity tests,” *Phys. Rev. D* **77** (2008) 103009
- [21] Kiyotomo Ichiki, Masahide Yamaguchi, Jun’ichi Yokoyama: “Lepton asymmetry in the primordial gravitational wave spectrum”; *Physical Review D* **75**, 084017 (2007)
- [22] T. Kawaguchi, M. Kawasaki, T. Takayama, M. Yamaguchi, and J. Yokoyama: “Formation of intermediate-mass black holes as primordial black holes in the inflationary cosmology with running spectral index,” arXiv:0711.3886 [astro-ph]. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* in press.
- [23] K. Nakayama, S. Saito, Y. Suwa, and J. Yokoyama: “Space-based laser interferometers can determine the thermal history of the early Universe,” *Physical Review D* **77** (2008) 124001.
- [24] Kohei Kamada and Jun’ichi Yokoyama: “Affleck Dine leptogenesis via multiple flat directions,” arXiv:0803.3146 [hep-ph]. *Phys. Rev. D* in press.
- [25] K. Koyama, S. Mizuno and D. Wands: “Curvature perturbations from ekpyrotic collapse with multiple fields,” *Class. Quant. Grav.* **24** (2007) 3919
- [26] K. Koyama, S. Mizuno, F. Vernizzi and D. Wands: “Non-Gaussianities from ekpyrotic collapse with multiple fields,” *JCAP* **0711** (2007) 024
- [27] T. Tatekawa and S. Mizuno: “Transients from initial conditions based on Lagrangian perturbation theory in N -body simulations,” *JCAP* **0712** (2007) 014
- [28] D. Baumann, P. J. Steinhardt, K. Takahashi, K. Ichiki: “Gravitational Wave Spectrum Induced by Primordial Scalar Perturbations”; *Physical Review D* **76**, 084019 (2007)
- [29] D. G. Yamazaki, K. Ichiki, T. Kajino, and G. J. Mathews: “Effects of a Primordial Magnetic Field on Low and High Multipoles of the CMB”; *Physical Review D* **77**, 043005, (2008)
- [30] Kiyotomo Ichiki, Tomo Takahashi: “Constraints on Generalized Dark Energy from Recent Observations”; *Physical Review D*, in press
- [31] Norio Narita, Keigo Enya, Bun’ei Sato, Yasuhiro Ohta, Joshua N. Winn, Yasushi Suto, Atsushi Taruya, Edwin L. Turner, Wako Aoki, Motohide Tamura, Toru Yamada, and Yuzuru Yoshii: “Measurement of the Rossiter–McLaughlin Effect in the Transiting Exoplanetary System TrES-1,” *Publications of the Astronomical Society of Japan* **59**, 763-770 (2007)
- [32] Joshua N. Winn, John Asher Johnson, Kathryn M. G. Peek, Geoffrey W. Marcy, Gaspar A. Bakos, Keigo Enya, Norio Narita, Yasushi Suto, Edwin L. Turner, and Steven S. Vogt: “Spin-Orbit Alignment for the Eccentric Exoplanet HD 147506b,” *The Astrophysical Journal* **665**, L167-L170 (2007)
- [33] Norio Narita, Bun’ei Sato, Osamu Ohshima, and Joshua N. Winn: “A Possible Spin-Orbit Misalignment in the Transiting Eccentric Planet HD 17156b,” *Publications of the Astronomical Society of Japan Letters* **60**, L1-L5 (2007)

- [34] Akihito Shirata, Yasushi Suto, Chiaki Hikage, Tetsuya Shiromizu, Naoki Yoshida: "Galaxy clustering constraints on deviations from Newtonian gravity at cosmological scales II: Perturbative and numerical analyses of power spectrum and bispectrum," *Phys. Rev. D* **76**, 044026 (2007)
- [35] Hasan Yuksel, Shunsaku Horiuchi, John Beacom, and Shin'ichiro Ando: "Neutrino Constraints on the Dark Matter Total Annihilation Cross Section," *Phys. Rev. D* **76**, 123506 (2007)
- [36] Shunsaku Horiuchi and Shin'ichiro Ando: "High-energy neutrinos from reverse shocks in choked and successful relativistic jets," *Phys. Rev. D* **77**, 063007 (2008)
- [37] Hajime Kawahara, Yasushi Suto, Tetsu Kitayama, Shin Sasaki, Mamoru Shimizu, Elena Rasia, and Klaus Dolag, "Radial Profile and Lognormal Fluctuations of the Intracluster Medium as the Origin of Systematic Bias in Spectroscopic Temperature", *Astrophysical Journal*, Vol. **659**, pp.257-266 (2007)
- [38] Hajime Kawahara, Tetsu Kitayama, Shin Sasaki, and Yasushi Suto, "Systematic Errors in the Hubble Constant Measurement from the Sunyaev-Zel'dovich Effect" *Astrophysical Journal*, Chicago Journals, Vol. **674**, pp.11-21 (2008)
- [39] Hidetaka Sonoda, Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka, and Toshikazu Ebisuzaki: 'Phase diagram of nuclear "pasta" and its uncertainties in supernova cores', *Phys. Rev. C* **77**, 035806 (2008)
- [40] Hajime Takami and Katsuhiko Sato: "Estimation Prospects of the Source Number Density of Ultra-high-energy Cosmic Rays," *Astroparticle Physics* **28**, 529 (2007)
- [41] Shun Saito, Kiyotomo Ichiki, and Atsushi Taruya: "Probing polarization states of primordial gravitational waves with CMB anisotropies," *JCAP* **09**, 002 (2007)
- [42] Yudai Suwa, Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, and Katsuhiko Sato: "Magnetorotational Collapse of Population III Stars," *Publ. Astron. Soc. Japan* **59**, 771-785 (2007)
- [43] Yudai Suwa, Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, and Katsuhiko Sato: "Gravitational Wave Background from Population III Stars," *Astrophys. J.* **665**, L43-L46 (2007)
- [44] T. Nishimichi, H. Ohmuro, M. Nakamichi, A. Taruya, K. Yahata, A. Shirata, S. Saito, H. Nomura, K. Yamamoto and Y. Suto: "Characteristic Scales of the Baryon Acoustic Oscillations from Perturbation Theory: Non-linearity and Redshift-Space Distortion Effects," *Publications of the Astronomical Society of Japan* **59**, 1049-1060 (2007)
- [45] S. Mukohyama: "Ghost condensation and gravity in Higgs phase," in *Proceedings of the 17th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan*.
- [46] Kohei Kamada and Jun'ichi Yokoyama: "Leptogenesis from two flat directions," in *Proceedings of the 17th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan*.
- [47] S. Mizuno, K. Koyama, F. Vernizzi, and D. Wands: "Non-Gaussianities from ekpyrotic collapse with multiple fields," in *Proceedings of the 17th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan*.
- [48] R. Nagata and J. Yokoyama: "Reconstruction of primordial fluctuation spectrum from WMAP3yr data," in *Proceedings of the 17th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan*.
- [49] Hajime Takami and Katsuhiko Sato: "Propagation of Ultra-high-energy Cosmic Rays above 10^{19} eV in a Structured Extragalactic Magnetic Field and Galactic Magnetic Field," in *Proceedings of International Workshop on Energy Budget in the High Energy Universe*, World Scientific, pp.307-310
- [50] Hajime Takami and Katsuhiko Sato: "Propagation of Ultra-high-energy Protons in Cosmic Magnetic Field," in *Proceedings of International Workshop on Cosmic-rays and High Energy Universe*, Universal Academy Press, Inc., pp.207-210
- [51] 高見一、佐藤勝彦: 「荷電粒子天文学—UHECR Astronomy—」, 地文台によるサイエンス, Universal Academy Press, Inc., pp.75-80
- [52] Yudai Suwa, Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, and Katsuhiko Sato: "Gravitational Wave Background from Population III Stars," in *Proceedings of International Conference of "First Stars III"*, 142-144 (2007)
- (国内雑誌)
- [53] 佐藤勝彦: 「宇宙誕生の謎解きに挑む」, 日経サイエンス 9月号 35-38頁, 2007.
- [54] 佐藤勝彦、安藤真一郎、高橋慶太郎: 「超新星からのニュートリノバーストとニュートリノの物理」, 日本物理学会誌 9月号 668-676頁, 2007.
- [55] 横山順一: 「神様が振ったサイコロ・人間が振ったサイコロ—最新宇宙論への招待」, 岩波書店 科学 2007年7月号
- [56] 横山順一: 「100年後の宇宙論」, 岩波書店 科学 2007年8月号
- [57] 須藤 靖: 「東大教師が新入生にすすめる本」, 東京大学出版会 UP 414(2007)4月号, pp.3-4
- [58] 須藤 靖: 「ドトールとローソンの先」, 岩波 科学 77 (2007) 5月号, pp.512-513
- [59] 須藤 靖: 「海底人の世界観・反論・言い分」, 東京大学出版会 UP 416 (2007) 6月号, pp.16-22

(会議集録)

- [60] 須藤 靖: 「宇宙のダークエネルギー」、イリウム 19 (2007) No.1 第 37 号, pp.4-21
- [61] 須藤 靖: 「宇宙物理学」、学術の動向 12 (2007) 7 月号, pp.62-63
- [62] 須藤 靖: 「闇社会撲滅を目指す宇宙論にかかる二つの暗雲」、岩波 科学 77 (2007) 9 月号, pp.945-950
- [63] 須藤 靖: 「書評: 宇宙のランドスケープ」、日本物理学会誌 62 (2007) 12 月号 pp.957-958
- [64] 須藤 靖: 「注目の多い雑文 その二: 外耳炎が誘う宇宙観の変遷」、東京大学出版会 UP 42 (2008) 1 月号, pp.45-49
- [65] 須藤 靖: 「科学者からの手紙 第一回」、真夜中 1 (2008) pp.106-107
- [66] 須藤 靖: 「宇宙の大構造における日本の先駆的研究」、日本天文学会百年史編纂委員会編 「日本の天文学の百年」 恒星社厚生閣 (2008 年 3 月刊行) pp.61-62.
- [67] 向山信治: 「宇宙の暗黒成分は本当に必要か? - 長距離・長時間での重力の変更 -」、物理学会誌 2007 年 7 月号
- (学位論文)
- [68] 太田泰弘: 「太陽系外トランジット惑星系のロシター効果 - 摂動論的アプローチと惑星リング検出への応用」 (The Rossiter effect of extrasolar transiting planetary systems - perturbative approach and application to the detection of planetary rings) (博士論文)
- [69] Shunichiro Kinoshita: “Stability of flux compactifications and de Sitter thermodynamics” (フラックスコンパクト化の安定性とドジッター時空の熱力学) (博士論文)
- [70] Tomoya Takiwaki: ”Study of core-collapse supernovae in special relativistic magnetohydrodynamics” (博士論文)
- [71] Norio Narita: “Spectroscopic Studies of Transiting Planetary Systems” (分光観測に基づいたトランジット惑星系の研究) (博士論文)
- [72] Kazuhiro Yahata: “The relation of the Galactic extinction map to the surface number density of galaxies” (銀河系ダスト減光地図と銀河個数密度) (博士論文)
- [73] 鎌田耕平: “複数の平坦方向を用いたアフレック・グイン機構によるバリオン非対称生成” (修士論文)
- [74] 小林 洸: ”Brane Inflation in String Theory” (修士論文)
- [75] 齊藤 遼: ”Single-field inflation model における原始ブラックホールの生成” (修士論文)
- (著書)
- [76] 佐藤勝彦: 「宇宙論の飽くなき野望」、技術評論社 (2007 年 12 月)
- [77] 佐藤勝彦: 「宇宙に知的生命体は存在するのか (編著)」、ウエッジ選書 (株) ウエッジ (2008 年 1 月)
- [78] 佐藤勝彦: 「宇宙論入門」(分担執筆)、シリーズ 現代の天文学 II 「宇宙論 I」 - 宇宙の始まり - 佐藤勝彦、二間瀬敏史編, 日本評論社 (2008 年 1 月)
- [79] 佐藤勝彦: 「超ひも理論と宇宙の次元、量子宇宙論と多世界宇宙」 (分担執筆) 「未解決の天文学」、ニュートンプレス (2008 年 4 月) 海部宣男編
- [80] 佐藤勝彦: 「宇宙はいかに始まったか?」(分担執筆) 学問の扉-東京大学は挑戦する-, 286 頁、講談社 (2007 年 7 月)
- [81] 佐藤勝彦: 「すべての学説は仮説であるか?」(分担執筆) ACADEMIC GROOVE、東京大学出版会、82 頁 (2008 年 3 月)
- [82] 横山順一: シリーズ 現代の天文学 II 「宇宙論 I」 - 宇宙の始まり - 佐藤勝彦、二間瀬敏史編、第 3 章、第 5 章 4 節、第 6 章、日本評論社 (2008 年 1 月)
- [83] 須藤 靖・北山哲: 『宇宙論 II - 宇宙の進化』、日本天文学会 100 周年記念出版委員会 編シリーズ 現代の天文学 第 3 巻日本評論社 (2007 年 9 月刊行、第一章 pp.1-60)
- [84] 井田茂・田村元秀・佐藤文衛・須藤靖: 『宇宙は「地球」であふれている - 見えてきた系外惑星の素顔-』、技術評論社 知りたい!サイエンス シリーズ (2008 年 2 月刊行)
- [85] リサ・ランドール: 「異次元は存在する (NHK 未来への提言)」 解説部分担当、NHK 出版 (2007 年 5 月)
- [86] リサ・ランドール著、向山信治 監訳、塩原通緒 訳: 「ワープする宇宙 ~ 5 次元時空の謎を解く」、NHK 出版 (2007 年 6 月)
- [87] C. J. コンセリス (監訳: 樽家 篤史): 「神がつくった見えない手 ~ 暗黒エネルギー ~」、日経サイエンス 5 月号 2007 年
- [88] 永井智哉・市来浄興・花山秀和: 「星と原子」、朝倉書店, 2007 年 5 月
- [89] 成田憲保: 「太陽系外惑星の大気に初めて「水」が見つかった!?」、アストロアーツ 月刊星ナビ 2007 年 7 月号 p.50
- [90] 成田憲保: 「次々と発見されるトランジット惑星たち」、アストロアーツ 月刊星ナビ 2007 年 8 月号 p.70
- [91] 成田憲保: 「すばる望遠鏡、太陽系外惑星の公転軸の向きの測定に成功」、東京大学理学系研究科・理学部 ニュース 2007 年 11 月号 p.7
- [92] 渡邊元太郎、園田英貴: 「分子動力学が予言する原子核の pasta 相」、日本物理学会誌 vol. 62 No.5 (2007), p.350
- < 学術講演 >
- (国際会議)
- 一般講演
- The 17th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (Nagoya, December 3-7, 2007)

- [93] R. Nagata and J. Yokoyama: “Reconstruction of primordial fluctuation spectrum from WMAP3yr data”
- [94] K. Kamada and J. Yokoyama: “Affleck Dine leptogenesis via multi flat directions”
- 14th Workshop on Nuclear Astrophysics (Ringberg Castle at Lake Tegernsee, March 10 - March 15, 2008)
- [95] Tomoya Takiwaki: ”Magnetic explosion mechanism of supernovae”
- [96] Shunsaku Horiuchi: “High-energy neutrinos from reverse shocks in choked and successful relativistic jets”
- [97] Hidetaka Sonoda: ’Nuclear ”pasta” in supernova cores’
- [98] Yudai Suwa: “Gravitational Collapse of Population III Stars”
- その他
- [99] K.Sato, H.Sonoda, G.Watanabe: ’Nuclear “ pasta ” phases by Quantum Molecular Dynamics,’ Institute for Nuclear Theory Workshop on The Neutron Star Crust and Surface (Seattle, June 25 - 29, 2007)
- [100] Yasushi Suto: “Unveiling the nature of transiting extrasolar planets with the Rossiter effect,” Max-Planck Institute for Astrophysics cosmology seminar (Garching, Germany, July 3, 2007)
- [101] Yasushi Suto: “Galaxy clustering and Galactic extinction map, Cosmology seminar at Physics and Astronomy Department,” University of Nottingham (UK, October 29, 2007)
- [102] S. Mukohyama: “Reheating a multi-throat universe by brane motion,” KIAS-YITP joint workshop on String Phenomenology and Cosmology, (Kyoto University, September 24, 2007).
- [103] Atsushi Taruya: “A Closure Theory for Non-linear Evolution of Power Spectrum,” Workshop on Large-scale Structure of the Universe and Its Recent Progress (Univ.Tokyo, March 21, 2008)
- [104] Atsushi Taruya: “A Closure Theory for Non-linear Evolution of Power Spectrum,” ROE - JSPS Workshop on Decrypting the Universe –Large Surveys for Cosmology– (Royal Astronomical Observatory, Edinburgh, UK, Oct.26, 2007)
- [105] Shuntaro Mizuno, Kazuya Koyama, and David Wands: “Curvature perturbation from Ekpyrotic collapse with multiple fields,” COSMO07 (University of Sussex, UK, August 21-25 2007)
- [106] Shuntaro Mizuno, Kazuya Koyama, Filippo Vernizzi, David Wands : “Primordial non-Gaussianities in new ekpyrotic cosmology,” Accelerators in the Universe 2008 (KEK, Tsukuba, Japan, March 12-14, 2008)
- [107] K. Ichiki, M. Takada, T. Takahashi: “Constraints on Neutrino Masses from WMAP5 and CFHTLS”; (Focus week : Neutrino Mass, Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, March, 2008)
- [108] Norio Narita: “Measuring the Spin-Orbit Alignments of Transiting Exoplanetary Systems: The Case for TrES-1,” Extreme Solar Systems, Greece, June 25 2007
- [109] Akihito Shirata, Yasushi Suto, Chiaki Hikage, Tetsuya Shiromizu, Naoki Yoshida: ”Galaxy clustering constraints on deviations from Newtonian gravity at cosmological scales,” ROE-JSPS workshop Decrypting the Universe (Royal Observatory Edinburgh, Edinburgh, Scotland, October 24-26, 2007)
- [110] Shunsaku Horiuchi: “Dark matter annihilation from intermediate-mass black holes: Contribution to the extragalactic gamma-ray background,” TeV Particle Astrophysics 2007 (Venice, Italy, 28-31st August, 2007)
- [111] Shunsaku Horiuchi: “Neutrino Constraints on the Dark Matter Total Annihilation Cross Section,” Topics in Astroparticle and Underground Physics (Sendai, Japan, 10-15th September, 2007)
- [112] Hidetaka Sonoda: ’Nuclear ”pasta” in collapsing stellar cores investigated by quantum molecular dynamics,’ Clusters’07 (9/3-7, 2007, Stratford upon Avon, UK)
- [113] Hajime Takami and Katsuhiko Sato: “Propagation of Ultra-high-energy Cosmic Rays in Cosmic Magnetic Fields,” The 30th International Cosmic Ray Conference (Merida, Mexico, Jul. 2007)
- [114] Hajime Takami, Susumu Inoue, Tokonatsu Yamamoto, and Katsuhiko Sato: “Towards Unravelling the Structural Distribution of Ultra-high-energy Cosmic Ray Sources,” International Workshop on Accelerators in the Universe (KEK, Japan, Mar. 2008)
- [115] Hajime Takami and Katsuhiko Sato: “Towards Unravelling the Structural Distribution of Ultra-high-energy Cosmic Ray Sources,” International Workshop on Advances in Cosmic Ray Science (Waseda university, Japan, Mar. 2008)
- [116] Shun Saito, Masahiro Takada, and Atsushi Taruya: “The impact of non-linear evolution of cosmological matter power spectrum on the measurement of neutrino masses,” International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP) 2007 (Sendai Civic Auditorium, Japan, September 11-15, 2007)
- [117] Shun Saito, Masahiro Takada, and Atsushi Taruya: “The impact of non-linear evolution of cosmological matter power spectrum on the measurement of neutrino masses,” ROE-JSPS workshop Decrypting the Universe (Royal Observatory

- Edinburgh, Edinburgh, Scotland, October 24-26, 2007)
- [118] Shun Saito, Masahiro Takada, and Atsushi Taruya: “The impact of non-linear evolution of cosmological matter power spectrum on the measurement of neutrino masses,” Cosmic Cartography (Chicago Greecher Center, Chicago, USA, December 3-6, 2007)
- [119] Shun Saito, Masahiro Takada, and Atsushi Taruya: “Impact of massive neutrinos on nonlinear matter power spectrum,” Accelerators in the Universe 2008 (KEK, Tsukuba, Japan, March 12-14, 2008)
- [120] Shun Saito, Masahiro Takada, and Atsushi Taruya: “Impact of massive neutrinos on nonlinear matter power spectrum,” Focus Week: Neutrino Mass (IPMU, Kashiwa, Japan, March 17-20, 2008)
- [121] Yudai Suwa, Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, and Katsuhiko Sato: “Gravitational Wave Background from Population III Stars,” First Stars III (Santa Fe, US, July 2007)
- [122] Takahiro Nishimichi: “Systematic Effects on BAO: Perturbation Theory and N-body Simulations,” ROE-JSPS Joint Workshop 2007 “Decrypting the Universe,” (Royal Observatory Edinburgh, UK, October 24-26, 2007)
- [123] Takahiro Nishimichi: “Systematic Effects on BAO: Perturbation Theory and N-body Simulations,” Cosmic Cartography 07 Chicago (Gleacher Center, University of Chicago, USA, December 3-6, 2007)
- [124] Takeshi Kobayashi: “Constraints on Wrapped DBI Inflation in a Warped Throat,” KIAS-YITP joint workshop on ‘String Phenomenology and Cosmology,’ (Kyoto University, September 25, 2007).
- 招待講演**
- [125] K. Sato: “Inflation before Inflation: From Supernovae to Multiproduction of Universes,” The Very Early Universe 25 Years (Cambridge, 17-20 December 2007)
- [126] K. Sato: “How did the Universe begin? - the scenario described by modern physics-,” The public lecture on ICGA8 (Nara, Aug.29-Sept.1, 2007)
- [127] J. Yokoyama: “Probing the early Universe with a space laser interferometer,” APCTP mini workshop on dark energy and gravitational waves (Pohang, July 2007)
- [128] J. Yokoyama: “Probing the early Universe with multichannel cosmological observations,” Accelerators in the Universe 2008 (KEK, Tsukuba, Japan, March 12-14, 2008)
- [129] J. Yokoyama: “Reconstruction of primordial power spectrum from CMB anisotropy,” COSPA 2007 National Taiwan University, (Taipei, November 2007)
- [130] Yasushi Suto: “Systematic errors of the Hubble constant measurement from the Sunyaev-Zel’dovich effect,” International conference on Galaxy clustering and Galactic Tracing cosmic evolution with clusters of galaxies (Sesto, Italy, June 25-29, 2007)
- [131] Yasushi Suto: “Summary talk: theory,” ROE and DENET joint workshop on Decrypting the Universe: Large Surveys for Cosmology (Edinburgh, UK, October 24-26, 2007)
- [132] Yasushi Suto: “Dark energy in the universe,” APCTP-YITP workshop on Accretion and outflow in astrophysics 2008, (Kyoto, January 8-11, 2008)
- [133] T. Yanagida “Dark energy and dark matter” BCTP opening symposium, Oct.19-20, 2007, Berkeley, University of California
- [134] S. Mukohyama: “Cosmology with warped flux compactification,” APCTP Black Hole Focus Program, (APCTP, Korea, June 6, 2007).
- [135] S. Mukohyama: “Black brane and Higgs phase of gravity,” APCTP Black Hole workshop, (APCTP, Korea, June 9, 2007).
- [136] S. Mukohyama: “Cosmology with Warped Flux Compactification,” Workshop on String theory, Gravity and Cosmology (KITPC, China, Nov 6, 2007).
- [137] S. Mukohyama: “Ghost condensation and gravity in Higgs phase,” The 17th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (Nagoya, December 3-7, 2007)
- [138] T. Watari: “Multiverse from a particle physicist’s perspective.” KEKPH07, 2007/3/3 at KEK.
- [139] K. Ichiki: “Unavoidable Generation of Gravitational Waves and Magnetic Fields from Primordial Density Fluctuations”; (Miniworkshop on Dark-Energy and Gravitational Waves, APCTP, Pohang, Korea, July, 2007)
- [140] Hajime Takami, and Katsuhiko Sato: “Towards Unravelling the Structural Distribution of Ultra-high-energy Cosmic Ray Sources,” The 2nd international JEM-EUSO meeting (RIKEN, Japan, Nov. 2007)
- [141] Shun Saito, Masahiro Takada, and Atsushi Taruya: “Modeling of nonlinear matter power spectrum with massive neutrinos,” Focused Workshop: The Theoretical Modeling of Cosmic Structure Formation and its Recent Progress (The University of Tokyo, Tokyo, Japan, March 21, 2008)
- [142] Takahiro Nishimichi: “Reliability of N-body simulations at the Sub-percent Level,” The Theoretical Modeling of Cosmic Structure Formation and

its Recent Progress (University of Tokyo, Japan, March 21-22, 2008)

(国内会議)

一般講演

- ・ RESCEU 研究会 (箱根、2007 年 9 月)
- [143] 須藤靖: 「SDSS の現状と今後」
- [144] J. Yokoyama: “Bayesian reconstruction of primordial power spectrum”
- [145] S. Mukohyama: “Conformal Inflation”
- [146] 樽家篤史, 平松尚志: “Closure Theory for Non-linear Gravitational Evolution of Power Spectrum”
- [147] 水野俊太郎, 小山和哉, Filippo Vernizzi ‘Primordial perturbations in new ekpyrotic cosmology’”
- [148] 木下俊一郎, 向山信治: “de Sitter compactifications with warped geometry”
- [149] 斎藤 俊, 高田昌広, 樽家篤史: “The impact of non-linear evolution of cosmological matter power spectrum on the measurement of neutrino masses”
- [150] 齊藤 遼, 永田 竜, 横山順一: “single filed inflation の生み出す非線形性の解析”
- [151] 鎌田耕平, 横山順一: “複数のフラットディレクションを用いたアフレック=ダイン=バリオン数生成”
- [152] 小林洸: “Constraints on Wrapped DBI Inflation in a Warped Throat”
- ・ 日本物理学会 2007 年秋季大会 (北大、2007 年 9 月)
- [153] 須藤靖: 「ダークエネルギー研究の現状と展望」、宇宙線・宇宙物理領域シンポジウム宇宙のダークエネルギー (2007 年 9 月 22 日)
- [154] 水野俊太郎, 小山和哉, David Wands: “Curvature perturbations from ekpyrotic collapse with multiple fields”
- [155] 齊藤 遼, 永田 竜, 横山順一: “single filed inflation の生み出す非線形性の解析”
- [156] 鎌田耕平, 横山順一: “複数のフラットディレクションを用いたアフレック=ダイン=バリオン数生成”
- [157] 木下俊一郎, 向山信治: “de Sitter compactifications with warped geometry”
- [158] 滝脇知也: 「磁気駆動超新星の力学的考察」
- [159] 堀内俊作, 安藤真一郎, Hasan Yuksel, John Beacom: 「暗黒物質対消滅ニュートリノを用いた暗黒物質の制限」
- [160] 高見一, 村瀬孔大, 長滝重博, 佐藤勝彦: “Cosmogenic Neutrinos as a Probe of the Transition from Galactic to Extragalactic Cosmic Rays”
- [161] 斎藤 俊, 高田昌広, 樽家篤史: “The impact of non-linear evolution of cosmological matter power spectrum on the measurement of neutrino masses”
- [162] 諏訪雄大, 滝脇知也, 固武慶, 佐藤勝彦: 「第一世代星のニュートリノ放射における回転の効果」
- [163] 小林洸, 向山信治, 木下俊一郎: “Inflation in a Warped Throat”
- ・ 日本天文学会 2007 年秋季大会 (岐阜大学、2007 年 9 月)
- [164] 樽家篤史: 「完結近似にもとづく質量密度ゆらぎの非線形重力進化の取り扱い」
- [165] 永田 竜, 横山順一: 「WMAP-3year data による初期スペクトルの再構築」
- [166] 河原創: 「スニャーエフ・ゼルドビッチ効果によるハッブル定数測定の系統誤差」
- [167] 斎藤 俊, 市来浄與, 樽家篤史: 「CMB 非等方性を用いた背景重力波の円偏極成分の検出法」
- [168] 諏訪雄大, 滝脇知也, 固武慶, 佐藤勝彦: 「第一世代星の重力崩壊と重力波、ニュートリノ放射」
- [169] 西道啓博, 白田晶人, 大室裕史, 斎藤 俊, 矢幡和浩, 平松尚志, 樽家篤史, 須藤 靖: 「サブパーセントレベルでの宇宙論的 N 体計算の信頼性」
- ・ 日本物理学会 2008 年春季大会 (近畿大学、2008 年 3 月)
- [170] 水野俊太郎, 小山和哉, Filippo Vernizzi, David Wands: “Primordial non-Gaussianities in new ekpyrotic cosmology”
- [171] 樽家篤史, 平松尚志: 「バリオン音響振動の非線形進化・その 1」
- [172] 平松尚志, 樽家篤史: 「バリオン音響振動の非線形進化・その 2」
- [173] 木下俊一郎, 向山信治: “Stability of deformed Freund-Rubin compactifications”
- [174] 園田英貴, 渡邊元太郎, 佐藤勝彦, 泰岡顕治, 戎崎俊一: 「超新星コアにおける原子核パスタの相図の不定性」
- [175] 高見一, 佐藤勝彦: 「最高エネルギー宇宙線到来方向分布における銀河内磁場の影響」
- [176] 小林洸, 向山信治, 木下俊一郎: “D-Brane Cosmology in a Warped Throat”
- ・ 日本天文学会 2008 年春季大会 (国立オリンピック記念青少年総合センター、2008 年 3 月)
- [177] 成田憲保, 他: 「大離心率トランジット惑星 HD17156b のロシター効果の観測結果」
- [178] 堀内俊作, 安藤真一郎: “High-energy neutrinos from reverse shocks in choked and successful relativistic jets”
- [179] 斎藤 俊, 高田昌広, 樽家篤史: 「物質ゆらぎの非線形パワースペクトルに対する有質量ニュートリノの効果」
- [180] 西道啓博, 白田晶人, 樽家篤史, 矢幡和浩, 斎藤 俊, 須藤 靖, 高橋龍一, 吉田直紀: 「サブパーセントレベルでの宇宙論的 N 体計算の信頼性 II」
- ・ その他

- [181] Yasushi Suto: “Introducing DENET, HSC & WFMOS,” RESCEU & DENET Summer School on Dark energy in the universe (Goura, Japan, September 2-4, 2007)
- [182] 樽家篤史:「ダークマター分布の非線形進化の新しい様相」,「宇宙初期における時空と物質の進化」研究会(東京大学, 2007年5月28日)
- [183] 樽家篤史:「東大グループ 研究成果報告」, Hyper Suprime-Cam をめぐるサイエンス検討会(志摩市, ホテル近鉄アクアヴィラ伊勢志摩, 2008年3月7日)
- [184] 水野俊太郎, 小山和哉, David Wands: “Curvature perturbation from ekpyrotic collapse with multiple fields” 研究会「宇宙初期における時空と物質の進化」(東京大学, 2007年5月29日)
- [185] 堀内俊作:「暗黒物質対消滅ガンマ線・ニュートリノを用いた暗黒物質の制限」, 平成19年COEシンポジウム(東京大学, 2007年11月15日)
- [186] 高見一, 佐藤勝彦:”Towards Unravelling the Structural Distribution of Ultra-high-energy Cosmic Ray Sources,” 第20回理論懇シンポジウム(京都大学, 2007年12月26日)
- [187] 斎藤 俊, 市来浄興, 樽家篤史:「CMB 非等方性を用いた背景重力波の円偏極成分の検出法」, 宇宙初期における時空と物質の進化(東京大学, 2007年5月29日)
- [188] 斎藤 俊:「ニュートリノ質量の宇宙論的な制限」, 21世紀COEシンポジウム2007(東京大学, 2007年11月13日)
- [189] 斎藤 俊, 高田昌広, 樽家篤史: “Impact of massive neutrinos on nonlinear matter power spectrum,” HSC をめぐるサイエンス検討会(アクアヴィラ伊勢志摩, 2008年3月6日)
- [190] 諏訪雄大:「第一世代星の重力崩壊と背景重力波への寄与」, 第5回DECIGOワークショップ(国立天文台, 2007年4月18日)
- [191] 諏訪雄大:「背景重力波で探る第一世代星」, 研究会「宇宙初期における時空と物質の進化」(東京大学, 2007年5月28日)
- [192] 諏訪雄大:「第一世代星の重力崩壊とニュートリノ放射」, 理論懇シンポジウム「宇宙物理学の未解決問題」(京都大学, 2007年12月25日)
- [193] 西道 啓博:「バリオン音響振動で探るダークエネルギー: 非線形成長と赤方偏移歪みの影響」, 宇宙初期における時空と物質の進化(東京大学, 2007年5月28-30日)
- [194] 西道 啓博, 白田 晶人, 矢幡 和浩, 斎藤 俊, 樽家篤史, 須藤 靖, 高橋龍一, 吉田直紀, 松原隆彦, 杉山直, 加用一者, Yipeng Jing, 吉川耕司:「サブパーセントレベルでの宇宙論的N体シミュレーションの信頼性」, HSC をめぐるサイエンス検討会(ホテル近鉄アクアヴィラ伊勢志摩, 2008年3月5-7日)
- [195] 研究会 “Particle physics in the era of LHC,” 2007/07/21 at KEK, “Yukawa couplings in Landscape.”
- [196] 鎌田耕平, 横山順一: “Affleck Dine leptogenesis via multi flat directions”, 宇宙線研究所理論研究会「初期宇宙と素粒子標準模型を超える物理」(東大宇宙線研, 2007年12月)
- 招待講演
- [197] 佐藤勝彦:「宇宙論の新展開」, 21世紀COEプログラム「極限量子系とその対称性」シンポジウム(東京大学理学部小柴ホール, 2008年11月13~15日)
- [198] 佐藤勝彦:「宇宙論の現状と展望」, 日本天文学会公開講演会 学会創立百周年を記念して(有楽町朝日ホール, 2008年3月29日)
- [199] 須藤靖: “Dark energy in the universe, Extrasolar planets,” KEK 理論グループ 夏の学校(白馬, 2007年7月30日, 31日)
- [200] 須藤靖:「宇宙のダークエネルギー」, 基礎研究会於近畿大学 弦理論と場の理論—量子と時空の最前線(2007年8月8日)
- [201] 須藤靖:「宇宙・銀河団・惑星に関する3つの小ネタ」, 階層の科学研究会(2008年3月28日)
- [202] 向山信治:「ゴースト場凝縮と宇宙論」, 研究会「宇宙初期における時空と物質の進化」(東京大学, 2007年5月29日)
- [203] 向山信治:「宇宙論で探る高次元時空」, 日本物理学会若手賞受賞記念講演, 日本物理学会2007年秋季大会(北大, 2007年9月21日)
- [204] 向山信治: “Brane inflation in string cosmology,” 宇宙線研究所理論研究会(宇宙線研究所, 2007年12月1日)
- [205] 向山信治:「超弦理論とインフレーション」, 第1回「超弦理論と宇宙」研究会(尾道, 2008年2月12日)
- [206] 向山信治: “Inflationary models in string cosmology,” 日本物理学会2008年春季大会(近畿大学, 2008年3月23日)
- [207] 樽家篤史:「バリオン音響振動とダークエネルギー」, 物理学会 宇宙線・宇宙物理領域シンポジウム(北海道大学, 2007年9月22日)
- [208] 樽家篤史:「観測的宇宙論: 宇宙のダークエネルギー」, 「高エネルギー天体現象と重力波」研究会(東京大学, 2007年11月17日)
- [209] 渡利泰山:「Landscape の確率分布の定式化方法のoverview」宇宙線研究所理論研究会「初期宇宙と素粒子標準模型を超える物理」(東大宇宙線研, 2007年12月)
- [210] 高見一, 村瀬孔大, 長滝重博, 井上進, 山本常夏, 佐藤勝彦:「荷電粒子天文学—UHECR Astronomy—」, 第2回「地文台によるサイエンス」シンポジウム(甲南大学, 2007年12月9日)
- [211] 高見一, 村瀬孔大, 長滝重博, 井上進, 山本常夏, 佐藤勝彦:「最高エネルギー宇宙線の起源の解明に向けて」, 「高エネルギーガンマ線天体研究会: 将来への展望」(東京大学宇宙線研究所, 2008年3月18日)
- (セミナー)

- [212] 須藤靖: 「太陽系外惑星: そのさきにあるもの」, 東京大学理学部物理学教室コロキウム (2007年10月12日)
- [213] J. Yokoyama: “Reconstruction of primordial power spectrum from CMB anisotropy,” Lancaster University, (2007年10月23日)
- [214] 横山順一: “Probing the early Universe with a space laser interferometer,” 東京大学素粒子論研究室 (2007年10月15日)
- [215] S. Mukohyama: “Cosmology with warped flux compactification,” University of Victoria, Canada, July 31, 2007.
- [216] 向山信治: “Fast-roll Inflation with Conformal Coupling,” 名古屋大学 (2007年10月9日)
- [217] 向山信治: 「ゴースト場凝縮と宇宙論」, 新潟大学 (2007年11月1日)
- [218] S. Mukohyama: “Brane Inflation in a Warped Throat,” University of California at Davis, November 26, 2007.
- [219] 向山信治: “Rapid roll Inflation with Conformal Coupling,” 東北大学 (2008年1月17日)
- [220] 向山信治: 「4次元を超える世界と宇宙論」, 中央大学 (2008年12月5日)
- [221] 向山信治: “Rapid roll Inflation with Conformal Coupling,” 九州大学 (2008年2月22日)
- [222] 向山信治: “Gravity and Cosmology with Warped Flux Compactification,” 京都大学 (2008年3月3日)
- [223] Atsushi Taruya: “On Non-linear Evolution of Power Spectrum,” University of College London, UK (2007年10月30日)
- [224] 樽家篤史: “A New Approach to the Gravitational Clustering of Large-scale Structure and Baryon Acoustic Oscillations,” 基礎物理学研究所 (2007年7月24日)
- [225] 樽家篤史: “A Closure Theory for Non-linear Evolution of Power Spectrum,” 東工大宇宙理論コロキウム (2007年11月6日)
- [226] 水野俊太郎: “Curvature perturbation from Ekpyrotic collapse with multiple fields,” 京都大学基礎物理学研究所 (2007年7月3日)
- [227] 水野俊太郎: “Curvature perturbations from new ekpyrotic cosmology,” 立教大学理論物理学研究室 (2007年11月8日)
- [228] 水野俊太郎: “Primordial density perturbations from new ekpyrotic cosmology,” 名古屋大学素粒子論研究室 (2008年2月26日)
- [229] 市来 淨與: 「宇宙論的密度揺らぎからの磁場・重力波生成およびガンマ線バーストを用いた宇宙論的磁場の観測について」; 宇宙線研セミナー (2007年11月)
- [230] 市来 淨與: 「宇宙論的密度揺らぎからの磁場・重力波生成およびガンマ線バーストを用いた宇宙論的磁場の観測について」; 東大駒場 ASTRO SEMINAR (2007年11月)
- [231] 木下俊一郎: “Instability of de Sitter brane and horizon entropy in a 6D braneworld,” 早稲田大学理論宇宙物理学研究室セミナー (2007年6月1日)
- [232] 滝脇知也: 「特殊相対論的磁気流体計算に基づく重力崩壊型超新星からの磁気優勢ジェット」, 千葉大 (2008年2月13日)
- [233] 成田憲保: 「トランジット惑星系 TrES-1 での Rossiter-McLaughlin 効果の観測結果」, 国立天文台 HDS ゼミ (2007年4月19日)
- [234] Norio Narita: “Testing Planet Migration Theories by Observations of Transiting Exoplanetary Systems,” Subaru Telescope, Subaru seminar (July 11 2007)
- [235] 白田晶人: 「宇宙論スケールでの Newton 重力の破れに対する SDSS からの観測的制限」, 立教大学原子核・放射線物理学研究室 (村田研) セミナー (2007年11月8日)
- [236] 園田英貴: 「高密度天体の原子核パスタ」, 早稲田大学山田研究室 (June 6, 2007)
- [237] 高見一、村瀬孔大、長滝重博、井上進、山本常夏、佐藤勝彦: “Towards Unravelling the Origin of Ultra-high-energy Cosmic Ray Sources,” 東京工業大学 (2008年1月9日)
- [238] Shun Saito, Masahiro Takada, and Atsushi Taruya: “The impact of non-linear evolution of cosmological matter power spectrum on the measurement of neutrino masses,” University College of London (2007年10月30日)
- [239] 諏訪雄大: 「第一世代星の重力崩壊と重力波、ニュートリノ放出」, 筑波大学 (2007年10月3日)
- [240] 西道啓博: 「バリオン音響振動を用いた暗黒エネルギーの制限」, 国立天文台 (2007年6月14日)
- [241] Takahiro Nishimichi: “Systematic Effects on BAO: Perturbation Theory and N-body Simulations,” ICG, University of Portsmouth (October 30, 2007)
- [242] 小林洸: “Constraints on Wrapped DBI Inflation in a Warped Throat,” 東京大学 (2007年9月12日)

アウトリーチ活動・その他

- [243] 須藤靖: 「星空の向こう側」, 日本大学春季公開講座「新しい宇宙像を求めて」第4回 (2007年6月2日)
- [244] 須藤靖: 「宇宙のダークエネルギーとは何か」, 東邦大学 理学部物理学科公開講座 ミクロの物質とマクロの宇宙 (2007年7月7日)
- [245] 須藤靖: 「太陽系外惑星の光と影: 今日までそして明日から」, 第6回 国立天文台公開講演会 みんなで探そう第二の地球、サイエンスアゴラ 2007 (2007年11月24日)
- [246] 須藤靖: 「夜空の向こう」, 相馬高校 SSH 講演会 於 代々木オリンピックセンター (2007年12月19日)
- [247] 須藤靖: 「天文学者・宇宙物理学者のお仕事」, JAXA: 科学技術に関する座談会 (2008年2月3日)

- [248] 横山順一: 「宇宙の創生とインフレーション」日本大学公開講座 (2007年5月19日)
- [249] 横山順一: 「宇宙論入門」スーパーサイエンスハイスクール講演会日比谷高校 (2007年2月7日)
- [250] 向山信治: 「4次元を超える世界と宇宙論」、信州大学理学部 サイエンス・ラウンジ招待講演 (2008年2月1日)
- [251] 向山信治: 浜松市空手道連盟 OB 講演「宇宙への夢」、浜松科学館大ホール (2008年2月10日)
- [252] 成田憲保: 「すばる望遠鏡で太陽系外惑星を観測しよう!」、科学技術館 ユニバースゲスト (2007年10月13日)
- [253] 成田憲保: 「ハビタブル: 太陽系の中の地球」、埼玉県草加市八幡小学校 アストロバイオロジー教室第5回 (2008年1月25日)
- [254] 成田憲保: 「アナザーアース: 太陽系外惑星の研究」、埼玉県草加市八幡小学校 アストロバイオロジー教室第6回 (2008年2月15日)

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）

「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、「ヘリウム・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。また、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、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。

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200,000分の1以下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しう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 銀河系

銀河初期における炭素過剰星の起源

銀河系ハローに属する星で $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$ となる重元素含有量が少ない星に炭素含有量が多い星が多く見られ、その中にs-process元素の増大が見られる星と見られない星が存在する。これらの星は宇宙初期において中質量星との連星をなしており、中質量星内部での物質混合と連星間の物質輸送を反映したものであると考えることができる。超低金属量の恒星進化と銀河ハロー内の組成分布から宇宙初期の初期質量関数を推定し、 $[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$ では、太陽質量の10倍程度にピークを持つような質量関数であったという結論が導かれた。[6]

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的進化を調べる。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。[54]

球状星団 ω Centauriにおける二重主系列の起源

球状星団は銀河系の階層的構造形成において何らかの役割を果たしたと考えられ、銀河初期の重要な情報を握っている可能性がある。その中で特異な性質を持つ ω Centauriは、近年Hubble宇宙望遠鏡によって2つの主系列を持つことがわかった。この発見は、 ω Centauriの星は極端にヘリウムの多い組成を持つことを示唆するが、従来提唱されてきた特異組成の星形成起源ではなく、AGB星からの質量降着に

よって説明可能であることを示した。さらに、AGB星の中でも比較的低質量な $2 M_{\odot}$ 以下の質量の星が他の星と近接遭遇をした際の衝撃で物質混合が起こるとするとヘリウムの質量比が $Y \geq 0.4$ になることを示す一方で、従来ヘリウムが濃いガスの供給源と考えられていた $7-8 M_{\odot}$ の AGB 星では $Y = 0.35$ 程度にしかならないことも示した。[2]

銀河の化学進化のモデル

小林 (Max-Planck-Institute) との共同研究。Massive Star の Supernova による Nucleosynthesis Yields を Mass と Metallicity の関数として新たに計算して table として提供し、銀河の化学進化の新たなモデル計算に適用した。[43]

銀河の化学進化における Ia 型超新星の役割

小林 (国立天文台) との共同研究。蜂巢らによる新たな progenitor model を化学進化のモデルに適用して、Metallicity effect の重要性がより大きいことを示した。

2.2 元素の起源

銀河初期における軽元素の起源

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砕反応を起こし、Li、Be、B を生成する。最近、 $[Fe/H] \sim -3$ といった低金属量の星に ${}^6\text{Li}$ が検出され、その量はビッグバン元素合成で予想されるよりも何桁も多かった。そこで、その起源として Ic 型超新星での ${}^6\text{Li}$ 合成を考えた。重元素をほとんど持たない高速で自転している大質量星の進化に関する最近の理論計算によると、自転に伴う物質混合の影響で外層が炭素過剰になり質量放出が激しく起こることが示唆されている。超新星爆発直前には He 層をもほとんど失い Ic 型超新星として爆発すると期待される。また、このような星の外層では酸素や炭素の他に窒素も過剰に存在する。すると、星の周りには大量の He が存在するので、 $N+He$ や $C+He$ 、 $O+He$ の破砕反応の他に $He+He$ の核融合反応も起き Li、Be を合成すると考えられる。そのような過程を計算した結果、観測された ${}^6\text{Li}/\text{O}$ 、 Be/O を再現できることがわかった。[44, 45, 47, 61, 33]

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)、岩本 (JAERI) 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。[9, 26, 39, 58]

ONeMg 超新星爆発における元素合成

H. -Th. Janka, F. S. Kitaura, B. Müller (MPA) (MSU) との共同研究。8-10 M_{\odot} 星の進化の終焉である ONeMg コアの重力崩壊型超新星における元素合成の研究を行った。1 次元数値流体計算による、詳細なニュートリノ輸送を考慮した結果 (パラメーターを用いずに爆発した、これまでに唯一の例) を用いた。放出物質の大部分が中性子過剰であるために、通常の鉄コアの重力崩壊の場合とは著しく異なる結果が得られた。(i) ${}^{56}\text{Ni}$ の質量が 0.002-0.004 太陽質量程度であり、通常の超新星 (0.1 太陽質量程度) に比べて極端に少ない。これより、ONeMg 超新星は、暗い超新星 (SN1997D など) やかに超新星 (SN1054) などの起源である可能性がある。(ii) 亜鉛 (${}^{64}\text{Zn}$) やジルコニウム (${}^{90}\text{Zr}$)、そして、軽い p プロセス核 (${}^{92}\text{Mo}$ など) の生成量が際立っている。これより、ONeMg 超新星は、今までに起源が明らかでない、 ${}^{64}\text{Zn}$ や ${}^{92}\text{Mo}$ の主要な生成源である可能性がある。さらに、 ${}^{64}\text{Zn}$ の生成量から、ONeMg 超新星の出現頻度は、全ての重力崩壊型超新星爆発の 20% 以下に制限されることを示した。

超新星ニュートリノ風のターミネーション・ショック

超新星ニュートリノ風の遷音速解が外層により減速される効果 (ターミネーション・ショック) を、ランキン-ユゴニオ関係式を用いて調べた。ターミネーション・ショックには 2 つの効果、(i) エントロピーを著しく増大させる、(ii) 温度の急激な減少を止める、があることを示した。詳しい元素合成の計算により、(i) の効果はほとんど r プロセスには影響はなく、(ii) の効果により、太陽系の r プロセス元素組成がよりよく再現されることを明らかにした。[28]

隕石中の短寿命放射性核種の異常な存在度の起源

橘、瀧川、三木 (地球惑星) との共同研究。隕石中に発見された、 ${}^{26}\text{Al}$ 、 ${}^{60}\text{Fe}$ などの短寿命核種の存在度の異常が、ある種の超新星 ejecta を太陽系物質に混合することで説明しようとする研究。20 M_{\odot} 程度の core collapse 型超新星における、mixing-fallback process を適用することによって、実際に説明できることを示し、論文を投稿した。

重力崩壊型超新星におけるニュートリノ過程元素合成

吉田 (国立天文台) との共同研究. 重力崩壊型超新星においてニュートリノ過程の影響で元素合成のパターンがどのように変わるか調べた. ニュートリノ過程の効果は特に奇数元素の量に影響が大きい. そのため、金属の少ない星、特に種族 III の超新星においてその効果は顕著であることがわかった.[32]

2.3 超新星爆発 ejecta の流体力学

星の表面を通過する相対論的衝撃波による加速

2005 年度に我々は平行平板ではあるが、衝撃波が星の大気を超相対論的に進む場合の自己相似解を見だして、The Astrophysical Journal に発表した。この解に星の大気が球対称である効果を逐次近似によって取り入れた解と、衝撃波が表面を通過後、熱エネルギーに対して粒子の静止エネルギーが無視できなくなった場合の加速の様子を特殊相対論的流体力学の数値計算によって調べ、The Astrophysical Journal に発表した。[3]

超新星 ejecta と星周物質の衝突によるエネルギー損失

超新星爆発によって高速度で膨張する ejecta は、星周物質と衝突し、様々な現象をもたらす。赤色超巨星段階での速度の遅い星風と青色超巨星段階での速度の速い星風の衝突によって星周物質が高い密度を持つ場合に、強い放射によって運動エネルギーのかなりの部分が失われることを数値計算によって示した。この過程による超新星の明るさの変化や宇宙再電離のイオン化光子への寄与などの環境への影響を調べる。[42, 48]

波面でエネルギーが付加されたり抜き取られる衝撃波が星の表面を通過する自己相似解

例えば超新星爆発によって星の内部に発生した衝撃波が表面に近づいたとき衝撃波によって加熱されたガスが放射する光子によってエネルギーが抜き取られる。また、Ia 型超新星では表面近くでは爆轟波になっていて衝撃波で加熱されたガスによって核融合反応が起こりエネルギーが付与される。このような衝撃波の伝播を近似的に記述する自己相似解を非相対論的流体力学の範囲で求めた。The Astrophysical Journal に発表済み。[4]

無衝突衝撃波の研究

2つのプラズマが交差する状況でのプラズマの変化を空間二次元、運動量空間3次元の Vlasov-Maxwell 方程式系を mesh 法で数値計算することで調べている。その際、磁場が増幅され、電子がフィラメント状に集まって準定常的な状態になることを見いだした。この定常状態を解析的に記述する解を発見し、Physics of Plasmas に発表した。また、その相対論的な拡張も行えることがわかったので同雑誌に発表した。[1, 8]

2.4 Ia 型超新星

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 $\sim 10,000 \text{ km s}^{-1}$ 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、吸収線の形態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た。この原理に基づいて、Tycho の超新星残骸で「すばる」FOCAS による分光観測を行い、 5σ レベルの ejecta によると考えられる吸収線を Tycho E と呼ばれる超新星残骸の中心付近に位置する星のスペクトルに検出した。結果は Publication of Astronomical Society of Japan に受理された。[5]

Ia 型超新星の多様性の起源の研究

Ia 型超新星は明るい標準光源として使用されている。しかし、その明るさの変化には多様性も見られる。この多様性の起源のひとつとして、近年白色矮星で観測されてきた強い磁場 (表面で $\sim 10^9 \text{ G}$) が白色矮星の中心付近で燃え始める核燃焼波の伝播にどのような影響を与えるかを研究し始めた。まず、定常燃焼波に関する磁場の影響を簡単化した燃焼反応と状態方程式のもと計算した結果、爆発直前の白色矮星の中心の密度では 10^{11} G 以上の磁場があると磁場に垂直な方向には燃焼波が伝播しにくくなることがわかった。

Ia 型超新星の Young Progenitor とその星周物質

蜂巢 (総合文化)、加藤 (慶大) との共同研究. Ia 型超新星の Progenitor の中で、Young Population を

構成している massive binary とその星周物質の起源の解明。Accreting white dwarf からの wind によって、massive companion star の外層の質量が減っていく効果による。[22]

Ia 型超新星の Delay Time Distribution

蜂巢（総合文化）、加藤（慶大）との共同研究。Ia 型超新星の Delay Time Distribution が、Delay Time の power law になっているという観測結果を、single degenerate model で、companion star の mass range が広いということによって、説明した。single degenerate scenario を補強する結果である。

二重白色矮星の合体過程

中里（会津大）との共同研究。二重白色矮星の合体過程の SPH simulation を実行し、白色矮星の表面で炭素燃焼が起きる条件を求めた。

Ia 型超新星の最外層

P.A. Mazzali (Trieste 天文台), S. Benetti (Padova 天文台) らとの共同研究。Ia 型超新星の最大光度以前のスペクトルは、超新星爆発の際に最も外側に放出された物質の様子を知るための有効なプローブとなる。観測されたスペクトルと爆発モデルから理論的に計算したスペクトルとを比較することで、超新星最外層の元素組成や温度分布を調べた結果、膨張速度が遅い超新星には核燃焼を経験していない炭素が存在するものの、その量は微量であり、白色矮星がほとんど燃焼していることが明らかになった。また最外層にも鉄などの重元素が存在していることがわかり、最も白色矮星の外側における元素合成に制限を与えた。[24, 31]

特異な Ia 型超新星 SN 2005hk の観測とモデル

学術振興会の日印共同事業に基づく Anupama & Sahu (Bangalore, India) との共同研究。極めて特異な Ia 型超新星 SN 2005hk をすばる望遠鏡を用いて観測し、観測データの解析とモデル構築を行なった。ライン速度が遅いこと、明るさの変化が遅いことは、運動エネルギーが小さい pure deflagration モデルで良く再現されることが分かった。そのエネルギーは通常の Ia 型超新星の 4 分の 1 ほどしかなく、Ia 型超新星に明らかな多様性が存在することが明確となった。[51]

2.5 超新星の観測とモデル

Swift 衛星による超新星の X-ray, UV, Optical 観測

Swift Supernova team led by S. Immler (NASA/GSFC) との共同研究。超新星の早期の X-ray, UV, Optical 観測を Swift 衛星によって観測し、超新星の circumstellar interaction の研究を行なっている。[12]

超新星の親星の進化計算

超新星やガンマ線バーストの爆発メカニズムとそれらによる元素合成を解明する研究に応用するために、様々な超新星の親星、主として重力崩壊やベア生成不安定を起こすような重量星の進化計算を行い、爆発直前モデルの構築を行っている。

重力崩壊型超新星で最大どれだけの ^{56}Ni が作られるか

近年 SN1999as や SN2006gy など非常に明るい重力崩壊型超新星が見つかった。これらの星が ^{56}Ni の崩壊によって光っているとすると数 M_{\odot} 以上の ^{56}Ni が必要となる。そこで、この研究では重力崩壊型超新星では原理的に最大どれだけの ^{56}Ni が作られるか調べた。[30]

種族 III 超新星における weak r-過程元素合成

超金属欠乏星において Sr, Y, Zr などのいわゆる weak r-過程元素の多い星があるが、これらの元素の起源は明らかになっていない。そこで超金属欠乏星における他の重元素の主要な供給源である極超新星がこれらの元素を合成することができるのか調べている。

超新星 ejecta と星周物質の衝突

超新星爆発によって高速度で膨張する ejecta は、星周物質と衝突し、様々な現象をもたらす。衝突により発生する X 線が観測されるだけでなく、星周物質が高い密度を持つ場合、その X 線を吸収し、可視光を再放射することが考えられる。このモデルは、最近になり発見が相次ぐ特異な光度曲線のモデルとして有力であり、ejecta と星周物質の衝突のシミュレーションを行なって、光度曲線への影響を調べている。

すばる望遠鏡による Ib/Ic 型超新星の観測

前田 (IPMU), 川端 (広島大), 服部 (国立天文台), J. Deng (NAOC), P. Mazzali, E. Pian (Trieste 天文台) らとの共同研究. Ib/Ic 型超新星の後期スペクトルをこれまでにないほど多数観測し, 爆発の非球対称の度合を推定した. 3 年以上に渡る観測の結果, 通常の Ib/Ic 型超新星の爆発の非球対称の度合はガンマ線バーストに付随する極超新星のものよりも小さいことが分かった. また, 統計的に Ib/Ic 型超新星はすべて球対称ではないと考えて矛盾がないことが明らかになった.

かに星雲を作った超新星 SN 1054 の爆発と光度曲線のモデル

Blinnikov (Moscow) との共同研究. $9 M_{\odot}$ star の ONeMg core の電子捕獲型 "weak" explosion model を計算し, 光度曲線モデルを構築. かに星雲を作った超新星 SN1054 の観測と比較している.

特異な Ib 型 超新星 2006jc の観測とモデル

学術振興会の日印共同事業に基づく Anupama & Sahu (Bangalore, India), 川端 (広島大), および, Limongi (Rome) との共同研究. 極めて特異な Ib 型超新星 SN 2006jc の観測データの解析とその Wolf-Rayet explosion model の構築を行なっている. 近赤外で増光がみられたことから「あかり」衛星による近赤外・中間赤外での観測を行った. これにより, ダストの温度に二成分あることが明らかとなり, このことから SN2006jc は $40 M_{\odot}$ を超える大質量星が激しい質量放出を経て起こした超新星爆発であったことを明らかにした. [52]

特異な SN2005bf の後期光度曲線の Magnetar-Driven モデル

前田 (総合文化), 川端 (広島大), 服部 (国立天文台), P. Mazzali (Trieste 天文台) との共同研究. 超新星 SN2005bf の光度曲線は爆発後 10 日程度で最初のピークを持ち, 少し減光したが再び増光し始め, 爆発後 40 日間に絶対等級で -18 等程度という非常に遅く明るい第二のピークを示した. ピーク後の減光は非常に早く通常のモデルでは説明ができなかった. 我々は, 最初のピークは ^{56}Ni の崩壊, 第二のピークは中性子星 (マグネター) からのエネルギーとするモデルで再現した. [15, 38]

極端な金属欠乏星の元素組成と種族 III 超新星における元素合成

種族 III 超新星における元素合成計算を太陽質量の 13–50 倍の質量を持つ星について行い, 観測され

ている極端な金属欠乏星の元素組成, トレンドと比較した. 私たちのモデルでその元素組成, トレンドがうまく再現できることを示し, その yield を提出した.

XRF060218 に付随した超新星 2006aj の後期のすばる観測と爆発モデル

前田 (総合文化), 川端 (広島大), 服部 (国立天文台), 峯崎 (天文センター), J. Deng (NAOC), P. Mazzali, E. Pian (Trieste 天文台) との共同研究. X-Ray Flash(XRF)060218 に付随した超新星 2006aj の後期スペクトルをすばるで観測し, 親星の質量が $20 M_{\odot}$ 程度であること, ^{58}Ni の過剰とから, 中性子星 (マグネター) を形成した爆発であるというアイデアを補強する結果を得た. [14, 16]

「あかり」衛星による超新星 2006jc の赤外線観測

天文センター, 宇宙研, 北海道大学, 広島大学らのグループと共同で, 「あかり」衛星により超新星 2006jc を爆発後 200 日に赤外線分光・撮像観測を行った. 詳しいモデル解析の結果, 超新星爆発により生成されたダストは炭素系であり, 核生成モデルから予測される量より大幅に少ないことが示された. 一方, 超新星の前に質量放出中にも同程度のダストが生成されていたことが得られ, 星間空間への超新星からのダスト供給について新しいデータを得た. [52, 53]

2.6 極超新星

極超新星における多次元輻射輸送計算

前田啓一 (IPMU) との共同研究. ガンマ線バーストに付随する極超新星は, ジェット状に爆発することが示唆されてきたが, このような非球対称な超新星がどのような放射を行うかは不明であった. 我々は多次元輻射輸送計算コードを開発し, 極超新星が爆発初期 (爆発後 30 日間程度) にどのような放射をするかを詳細に計算した. その結果, ジェット状の爆発ではイオン化の状態に非球対称な構造が現れることを発見した. また, ジェットを真正面から見ない場合でも, スペクトルは極超新星の特徴を持つことが分かった. [18, 19, 20, 25, 26, 29, 31, 35, 50, 57, 63]

2.7 大質量星の進化

種族 III の巨大質量星の質量降着による進化

吉田直紀 (名古屋大), 鶴田幸子 (モンタナ州立大) との共同研究. 宇宙の初期に水素とヘリウムからなるガスから形成された第一世代星 (種族 III 星) が, accretion によって太陽以下の質量から数百太陽質量

の巨大質量星に成長する進化を、吉田の simulation による accretion rate を適用して計算した。星の最終的な質量は、Pair Instability Supernova を避けるのに十分大きくなり、Core-Collapse を起こす。[56]

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Suzuki, A., & Shigeyama, T. "A novel method to construct stationary solutions of the Vlasov-Maxwell system", 2008, *Physics of Plasmas*, 15, 042107-042107-5
- [2] Suda, T., Tsujimoto, T., Shigeyama, T., & Fujimoto, M. Y. "Highly He-rich Matter Dredged Up by Extra Mixing through Stellar Encounters in Globular Clusters", 2007, *ApJ*, 671, L129-L132
- [3] Kikuchi, R., & Shigeyama, T., "Relativistic Flows after Shock Emergence", 2007, *ApJ*, 657, 860-869
- [4] Suzuki, A., & Shigeyama, T., "Self-similar Solutions for the Emergence of Energy-varying Shock Waves from Plane-parallel Atmospheres", 2007, *ApJ*, 661, 385-393
- [5] Ihara, Y., Ozaki, J., Doi, M., Shigeyama, T., Kashikawa, N., Komiyama, Y., & Hattori, T., "Searching for a companion star of Tycho 's type Ia supernova with optical spectroscopic observations", 2007, *PASJ*, 59, 811-826
- [6] Komiya, Y., Suda, T., Minaguchi, H., Shigeyama, T., Aoki, W., & Fujimoto, M. Y., "The Origin of Carbon-Enhancement and Initial Mass Function of Extremely Metal-Poor Stars in the Galactic Halo", 2007, *ApJ*, 658, 367-390
- [7] Tsujimoto, T., & Shigeyama, T., & Suda, T., "Surface pollution of main-sequence stars through encounters with AGB ejecta in ω Centauri", 2007, *ApJ*, 654, L139-L142
- [8] Suzuki, A. "A novel method to construct stationary solutions of the Vlasov-Maxwell system : the relativistic case", 2008, *Physics of Plasmas*, in press
- [9] Aoki, W., Honda, S., Beers, T. C., Takada-Hidai, M., Iwamoto, N., Tominaga, N., Umeda, H., Nomoto, K., Norris, J. E., and Ryan, S. G. 2007, "Spectroscopic Studies of Extremely Metal-poor Stars with the Subaru High-Dispersion Spectrograph. IV. The α -Element-Enhanced Metal-poor Star BS 16934-002", *ApJ*, 660, 747-761.
- [10] Branch, D. and Nomoto, K. 2007, "Supernovae: Answers and questions", *Nature*, 447, 393-394.
- [11] Fryer, C. L., Mazzali, P. A., Prochaska, J., Cappellaro, E., Panaitescu, A., Berger, E., van Putten, M., van den Heuvel, E. P. J., Young, P., Hungerford, A., Rockefeller, G., Yoon, S.-C., Podsiadlowski, P., Nomoto, K., Chevalier, R., Schmidt, B., and Kulkarni, S. 2007, "Constraints on Type Ib/c Supernovae and Gamma-Ray Burst Progenitors", *PASP*, 119, 1211-1232.
- [12] Immler, S., Brown, P. J., Milne, P., Dessart, L., Mazzali, P. A., Landsman, W., Gehrels, N., Petre, R., Burrows, D. N., Nousek, J. A., Chevalier, R. A., Williams, C. L., Koss, M., Stockdale, C. J., Kelley, M. T., Weiler, K. W., Holland, S. T., Pian, E., Roming, P. W. A., Pooley, D., Nomoto, K., Greiner, J., Campana, S., and Soderberg, A. M. 2007, "X-Ray, UV, and Optical Observations of Supernova 2006bp with Swift: Detection of Early X-Ray Emission", *ApJ*, 664, 435-442.
- [13] Kawabata, K. S., Maeda, K., Tanaka, M., Tominaga, N., Nomoto, K., and Hattori, T. 2007, "Supernova 2006jc in UGC 4904", *IAU Circulars*, 8833, 3.
- [14] Maeda, K., Kawabata, K., Tanaka, M., Nomoto, K., Tominaga, N., Hattori, T., Minezaki, T., Kuroda, T., Suzuki, T., Deng, J., Mazzali, P. A., and Pian, E. 2007, "SN 2006aj Associated with XRF 060218 at Late Phases: Nucleosynthesis Signature of a Neutron Star-driven Explosion", *ApJ*, 658, L5-L8.
- [15] Maeda, K., Tanaka, M., Nomoto, K., Tominaga, N., Kawabata, K., Mazzali, P. A., Umeda, H., Suzuki, T., and Hattori, T. 2007, "The Unique Type Ib Supernova 2005bf at Nebular Phases: A Possible Birth Event of a Strongly Magnetized Neutron Star", *ApJ*, 666, 1069-1082.
- [16] Mazzali, P. A., Foley, R. J., Deng, J., Patat, F., Pian, E., Baade, D., Bloom, J. S., Filippenko, A. V., Perley, D. A., Valenti, S., Wang, L., Kawabata, K., Maeda, K., and Nomoto, K. 2007, "Keck and European Southern Observatory Very Large Telescope View of the Symmetry of the Ejecta of the XRF/SN 2006aj", *ApJ*, 661, 892-898.
- [17] Mazzali, P. A., Kawabata, K. S., Maeda, K., Foley, R. J., Nomoto, K., Deng, J., Suzuki, T., Iye, M., Kashikawa, N., Ohya, Y., Filippenko, A. V., Qiu, Y., and Wei, J. 2007, "The Aspherical Properties of the Energetic Type Ic SN 2002ap as Inferred from Its Nebular Spectra", *ApJ*, 670, 592-599.
- [18] Mazzali, P. A., Nomoto, K., Deng, J., Maeda, K., Tominaga, N., Kawabata, K., and Filippenko, A. V. 2007, "Outflows from Supernovae and GRBs", *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*, 27, 251.
- [19] Mazzali, P. A., Nomoto, K., Maeda, K., and Deng, J. 2007, "Supernovae and Gamma-ray Bursts", *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*, 30, 23-28.
- [20] Mazzali, P. A., Nomoto, K., Maeda, K., and Deng, J. 2007, "Supernovae and Gamma-ray Bursts", *AIP Conference Proceedings 937: SUPERNOVA 1987A: 20 YEARS AFTER: Supernovae and Gamma-Ray Bursters*, eds. S. Immler and K. Weiler (New York: American Institute of Physics), 443-450.

- [21] Minezaki, T., Yoshii, Y., and Nomoto, K. 2007, “Supernova 2006jc in UGC 4904”, IAU Circulars, **8833**, 2.
- [22] Nomoto, K., Saio, H., Kato, M., and Hachisu, I. 2007, “Thermal Stability of White Dwarfs Accreting Hydrogen-rich Matter and Progenitors of Type Ia Supernovae”, ApJ, **663**, 1269–1276.
- [23] Nozawa, T., Kozasa, T., Habe, A., Dwek, E., Umeda, H., Tominaga, N., Maeda, K., and Nomoto, K. 2007, “Evolution of Dust in Primordial Supernova Remnants: Can Dust Grains Formed in the Ejecta Survive and Be Injected into the Early Interstellar Medium?”, ApJ, **666**, 955–966.
- [24] Patat, F., Chandra, P., Chevalier, R., Justham, S., Podsiadlowski, P., Wolf, C., Gal-Yam, A., Pasquini, L., Crawford, I. A., Mazzali, P. A., Pauldrach, A. W. A., Nomoto, K., Benetti, S., Cappellaro, E., Elias-Rosa, N., Hillebrandt, W., Leonard, D. C., Pastorello, A., Renzini, A., Sabbadin, F., Simon, J. D., and Turatto, M. 2007, “Detection of Circumstellar Material in a Normal Type Ia Supernova”, Science, **317**, 924–926.
- [25] Tanaka, M., Maeda, K., Mazzali, P. A., and Nomoto, K. 2007, “Multidimensional Simulations for Early-Phase Spectra of Aspherical Hypernovae: SN 1998bw and Off-Axis Hypernovae”, ApJ, **668**, L19–L22.
- [26] Tominaga, N., Maeda, K., Umeda, H., Nomoto, K., Tanaka, M., Iwamoto, N., Suzuki, T., and Mazzali, P. A. 2007, “The Connection between Gamma-Ray Bursts and Extremely Metal-poor Stars: Black Hole-forming Supernovae with Relativistic Jets”, ApJ, **657**, L77–L80.
- [27] Tominaga, N., Umeda, H., and Nomoto, K. 2007, “Supernova Nucleosynthesis in Population III 13–50 M_{\odot} Stars and Abundance Patterns of Extremely Metal-poor Stars”, ApJ, **660**, 516–540.
- [28] Kuroda, T., Wanajo, S., and Nomoto, K. 2008, “The r-Process in Supersonic Neutrino-driven Winds: The Role of the Wind Termination Shock”, ApJ, **672**, 1068–1078.
- [29] Maeda, K., Kawabata, K., Mazzali, P. A., Tanaka, M., Valenti, S., Nomoto, K., Hattori, T., Deng, J., Pian, E., Taubenberger, S., Iye, M., Matheson, T., Filippenko, A. V., Aoki, K., Kosugi, G., Ohyama, Y., Sasaki, T., and Takata, T. 2008, “Asphericity in Supernova Explosions from Late-Time Spectroscopy”, Science, **319**, 1220–1223.
- [30] Umeda, H. and Nomoto, K. 2008, “How Much ^{56}Ni Can Be Produced in Core-Collapse Supernovae? Evolution and Explosions of 30–100 M_{\odot} Stars”, ApJ, **673**, 1014–1022.
- [31] Valenti, S., Benetti, S., Cappellaro, E., Patat, F., Mazzali, P., Turatto, M., Hurley, K., Maeda, K., Gal-Yam, A., Foley, R. J., Filippenko, A. V., Pastorello, A., Challis, P., Frontera, F., Harutyunyan, A., Iye, M., Kawabata, K., Kirshner, R. P., Li, W., Lipkin, Y. M., Matheson, T., Nomoto, K., Ofek, E. O., Ohyama, Y., Pian, E., Poznanski, D., Salvo, M., Sauer, D. N., Schmidt, B. P., Soderberg, A., and Zampieri, L. 2008, “The broad-lined Type Ic supernova 2003jd”, MNRAS, **383**, 1485–1500.
- [32] Yoshida, T., Umeda, H., and Nomoto, K. 2008, “ ν -Process Nucleosynthesis in Population III Core-Collapse Supernovae”, ApJ, **672**, 1043–1053.

(会議集録)

- [33] Nakamura, K., “Light Element Production in Type Ib/c Supernovae,” Proceedings of Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2007 (American Institute of Physics) in press
- [34] Nomoto, K., Tanaka, M., Kawabata, K. S., Sahu, D. K., and Anupama, G. C. 2007, “Type Ia Supernovae: Progenitors and Peculiarity”, *AIP Conference Proceedings 924: The Multicolored Landscape of Compact Objects and Their Explosive Origins: Cefalu 2006*, eds. L. A. Antonelli, et al. (New York: American Institute of Physics), 194–202.
- [35] Nomoto, K., Tominaga, N., Tanaka, M., and Maeda, K. 2007, “Diversity of the GRB-Supernova Connection: X-Ray Flashes and Dark Hypernovae”, *AIP Conference Proceedings 924: The Multicolored Landscape of Compact Objects and Their Explosive Origins: Cefalu 2006*, eds. L. A. Antonelli, et al. (New York: American Institute of Physics), 108–119.
- [36] Nomoto, K., Tominaga, N., Tanaka, M., Maeda, K., and Umeda, H. 2007, “Nucleosynthesis in Core-Collapse Supernovae and GRB-Metal-Poor Star Connection”, *AIP Conference Proceedings 937: SUPERNOVA 1987A: 20 YEARS AFTER: Supernovae and Gamma-Ray Bursters*, eds. S. Immler and K. Weiler (New York: American Institute of Physics), 412–426.
- [37] Nomoto, K., Tominaga, N., Tanaka, M., Maeda, K., Suzuki, T., Deng, J. S., and Mazzali, P. A. 2007, “Diversity of the Supernova - Gamma-Ray Burst Connection”, *Nuovo Cimento B*, **121**, 1207–1217
- [38] Tanaka, M., Tominaga, N., Nomoto, K., Maeda, K., Mazzali, P. A., and Deng, J. 2007, “The Properties of the Unique Type Ib Supernova 2005bf and Implications for the difference between Type Ib/c Supernovae”, *Energy Budget in the High Energy Universe*, eds. K. Sato and J. Hisano (Singapore: World Scientific), 369.
- [39] Tominaga, N., Umeda, H., Nomoto, K., Maeda, K., and Iwamoto, N. 2007, “Relativistic Jets in

Population III Supernova and Extremely Metal-Poor Stars”, *Energy Budget in the High Energy Universe*, eds. K. Sato and J. Hisano (Singapore: World Scientific), 361.

- [40] Tsuruta, S., Ohkubo, T., Umeda, H., Maeda, K., Nomoto, K., Suzuki, T., and Rees, M. J. 2007, “Explosion of very massive stars and the origin of intermediate mass black holes”, *IAU Symposium 238: Black Holes From Stars to Galaxies: Across the Range of Masses*, eds. V. Karas and G. Matt (Cambridge: Cambridge Univ. Press), 241–246.

(国内雑誌)

- [41] 茂山俊和 訳, “超新星の新しい爆発のメカニズム?” B. シュワルツシルド, 丸善, パリティ, 2008 年 1 月号 (Vol. 23, No. 1), 84-87

(学位論文)

修士

- [42] 菊地礼奈; How Circumstellar Matter Affects on Spectra and Light Curves of Early Evolution of Supernovae

(著書)

- [43] 野本憲一, 前田啓一, 富永望, 大久保琢也, 田中雅臣, 和南城伸也, 小林千晶, 2007, 「元素はいかにつくられたか」, 野本憲一編, 岩波書店

< 学術講演 >

(国際会議)

一般講演

- [44] Nakamura, K., “Light Element Nucleosynthesis in Type Ib/c Supernovae”, From Massive Stars to Supernova Remnants, Lorentz Center/Leiden/the Netherlands, 2007 年 8 月 6-18 日
- [45] Nakamura, K., “Light Element Production in Type Ib/c Supernovae”, Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2007, 北海道大学, 2007 年 12 月 4-7 日
- [46] Suzuki, A., “Detailed analysis of filamentary structures in a collisionless shock transition region”, International Workshop on Plasma Shocks and Particle Acceleration

(国内会議)

一般講演

- [47] 中村 航; “Ib/c 型超新星の星周物質領域における軽元素合成”, 第 20 回 理論天文学宇宙物理学懇談会シンポジウム, 京都大学, 2007 年 12 月 25-27 日
- [48] 菊地 礼奈; “星周物質が超新星爆発のスペクトルに与える影響について” 第 20 回 理論天文学宇宙物理学懇談会シンポジウム, 京都大学, 2007 年 12 月 25-27 日

- [49] 野本憲一: “元素の起源と極超新星爆発”, 東大 21 世紀 COE シンポジウム「極限量子系とその対称性」, 東京大学理学部, 2007/11/13-15.

日本天文学会 2008 年春季年会、国立オリンピック記念青少年総合センター 2007/3/28-30

- [50] 田中雅臣, 前田啓一, P. A. Mazzali, 野本憲一: ジェット状に爆発する超新星の観測的性質, K03a
- [51] 田中雅臣, D. K. Sahu, G. C. Anupama, 川端弘治, 前田啓一, 富永望, 野本憲一, P.A. Mazzali: 特異な Ia 型超新星 SN 2005hk: 爆発後 400 日までの可視光観測と理論モデル, K12b
- [52] 富永望, M. Limongi, 鈴木知治, 田中雅臣, 野本憲一, 峰崎岳夫, 吉井謙, 左近樹, 尾中敬, 田邊俊彦, 前田啓一, 和田武彦, 大山陽一, 金田英宏, 野沢貴也, 小笹隆司, 川端弘治: WC Wolf-Rayet 星の超新星爆発: Ib 型超新星 SN 2006jc, K07a.
- [53] 左近 樹, 尾中 敬, 富永望, 田中雅臣, 野本憲一, 峰崎岳夫, 吉井謙, 石原大助, 梅田秀之, 鈴木知治, 田邊俊彦, 他: 「あかり」衛星の捉えた Type Ib 超新星 2006jc によるダスト形成, K06a

日本天文学会 2007 年秋季年会、岐阜大学 2007/9/26-28

- [54] 中里直人, 茂山俊和, 辻本拓司, 吉井謙: “銀河系ハロー星の化学力学進化”, X02a
- [55] 梅田秀之, 野本憲一, 富永望: 重力崩壊型超新星が放出する ^{56}Ni の最大量と SN2006 の正体, K02a.
- [56] 大久保琢也, 梅田秀之, 野本憲一, 吉田直紀: Accretion により質量が増加する巨大質量星の進化, C26a
- [57] 田中雅臣, 前田啓一, 野本憲一: 超新星爆発における多次元モンテカルロ輻射輸送, A252a
- [58] 富永望, 梅田秀之, 野本憲一, 岩本信之 (原子力機構), 前田啓一 (MPA): 種族 III 超新星における元素合成と金属欠乏星, C12a
- [59] 野本憲一: 宇宙初期における超新星爆発, 企画セッション・基調講演

(セミナー)

- [60] 杉本 香菜子; 「大質量星形成における輻射圧障壁からの降着条件」, 東大天文学教室談話会, 2007/9/11
- [61] 中村 航; 「Ib/c 型超新星爆発にともなう軽元素合成」, 東大天文学教室談話会, 2007/7/3

(新聞記者発表)

- [62] 左近樹, 富永望 他: 「大質量星の終焉と塵の誕生の現場 - 「あかり」衛星と「すばる」望遠鏡などによる観測と理論モデルが解き明かす超新星爆発の素性 - 」2008/3/23 日本天文学会 2008 年春季年会 記者会見 毎日新聞、東京新聞、フジサンケイビジネスアイ、共同通信、時事通信にて記事掲載
- [63] 前田啓一, 田中雅臣, 野本憲一 他: 「超新星は丸くない: すばる望遠鏡で爆発する星の内部を探る」2008/1/31 東京大学数物連携宇宙研究機構 記者会見 (9 社出席) 朝日新聞, 日経新聞, 毎日新聞, 時事通信, 科学新聞, 日刊工業新聞, 東京大学新聞にて記事掲載
- [64] 野本憲一: 「ガリレオチャンネル・超新星ハンター」, M X テレビ、放送 2007/11/25 (再放送 12/02)

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)

MAGNUM プロジェクトでは活動銀河核の多波長モニター観測をはじめとして、複数の観測プロジェクトを継続して進めている。観測成果についてはそれぞれについて項目をあらためて報告する。

観測を遂行するためには不断の保守作業が必要である。本年度は望遠鏡、カメラなどの定期的な保守作業のほかとくに観測システムの安定化を目的としたソフトウェア、ハードウェアの改良に注力した。この結果～4ヶ月の長期にわたって、現地無人での遠隔観測を安定して遂行できるようになった。また2006年末にはMAGNUM望遠鏡が設置されているハワイ大学ハレアカラ観測所にて～1週間の長期にわたる停電が生じたが、MAGNUM望遠鏡・カメラを無停電電源装置と発電機が支えているあいだに遠隔操作でシステムをシャットダウンし、大きなダメージを受けることなくその後観測を再開することができた。このようにMAGNUM観測所のシステムは優れた安定性、耐障害性を示している。

近傍1型セイファート銀河核のダストトラス内縁の観測的研究

MAGNUM プロジェクトで観測している近傍セイファート銀河の中から新たに6天体について可視近赤外変光曲線の変光遅延時間を定量した。変光遅延時間は、可視紫外線放射源である降着円盤から赤外線放射源であるダストトラス内縁までの距離を表すものとして解釈でき、銀河核中心の構造を知る上で重要な情報である。新たな6天体は Markarian 79, 110, 335, 509, 590, 817 で、いずれも赤方偏移 $0.02 < z < 0.04$ に存在し、Vバンド絶対等級で -18.5 等から -22.5 等の明るさをもつ。これらのセイファート銀河の変光遅延を決定することにより、これまでにMAGNUMプロジェクトで変光遅延が求められた近傍セイファート銀河の数は約2倍、10天体を越えることとなった。また、これまでより明るいセイファート銀河がサンプルに加わることになる。

MAGNUM 望遠鏡による撮像データから V, K バンド変光曲線を求めたところ、Vバンドで0.1～1.5等、Kバンドで0.2～1.2等の変光が見られ、さらに赤外変光が可視変光に追従する様子が見られ、Cross Correlation Function 解析を用いてこれらの変光曲線から変光遅延を求めると、それぞれ 57.9(Mrk 79), 57.3(Mrk 110), 117.8(Mrk 335), 106.5(Mrk 509), 32.1(Mrk 590), 72.7(Mrk 817)

日という結果が得られた。本研究で求めた変光遅延時間とVバンド絶対等級との相関を調べたところ、これまでに比較的低位光度 ($M_V > -20$ mag) なセイファート銀河に対して報告されていた相関 (Minezaki et al. 2004, Suganuma et al. 2006) とよく一致する領域に分布することがわかった。このことから、 $M_V = -20 \sim -22$ mag の明るいセイファート銀河でも可視光度とダストトラス内径の間に相関があることが示された。

Ia型超新星 SN2004bd による Markarian 744 の距離指数の再評価

MAGNUM プロジェクトのターゲットのひとつである Markarian 744 の母銀河には、2004年4月にIa型超新星 SN2004bd が出現した。SN2004bd の変光曲線を用いた Mrk744 の距離指数の推定に関しては2006年の年次報告において報告したが、そこで採用した2つの手法の結果は概ね consistent であったものの十分には一致していなかった。そこで、超新星による距離指数推定の手法のひとつである Multicolor Light Curve Shape method の改良版が2007年に出版された (Jha et al. 2007) ことを受け、これを用いて SN2004bd の距離を再評価した。

MLCS method の改良版では、テンプレート変光曲線をより詳細にフィットするため、フィッティングパラメータ Δ に関する2次の項がモデルに加えられている。また、テンプレートの元となる近傍 Ia 型超新星のサンプル数も増加し、より信頼できるテンプレートが採用された。再評価した SN2004bd の距離指数は $\mu = 33.53 \pm 0.08$ であった。これはもうひとつの手法 stretch factor method による距離指数 33.51 ± 0.19 と十分に一致する結果である。また、MAGNUM プロジェクトによって報告されている活動銀河核の変光遅延と絶対光度の相関から求めた距離指数 33.57 ± 0.30 と一致する結果であることが確かめられた。現在これらの内容を投稿論文として執筆中である。

MAGNUM による遠方1型AGNの観測

MAGNUM が解明を目指している宇宙膨張の制限のためには、より遠方の活動銀河核の観測が必要になってくる。MAGNUM では、宇宙論的遠方を含む多数の活動銀河核の可視赤外モニター観測を継続して行っており、順次解析を進めている。これまでに PG0844+349 ($z = 0.064$), PG0953+414 ($z = 0.234$), RXJ 2138.2+0112 ($z = 0.344$) について有意なダスト放射の遅延時間の測定に成功し、PG1613+658 ($z = 0.129$) についても遅延時間の有意な下限値を評価した。

これらの天体はMAGNUM望遠鏡で観測している近傍セイファート銀河より光度が大きい傾向にある。これらの変光遅延時間と可視光度は近傍セイファート銀河に対して確認された相関と一致した。さらにH γ 輝線の反響観測による広幅輝線領域の大きさよ

りダストトラス内径が大きいことが確認され、近傍セイファート銀河と同様に AGN 統一モデルと強く支持する結果となった。

遠方活動銀河核に対しては、可視変光に対する赤外変光の遅延時間からダストトラス内径を評価するに際して特別な注意が必要になる。赤方偏移効果により、観測している近赤外線バンドにおいてダスト放射が減少するのに対し降着円盤からの近赤外線放射が増加し、このためダストトラス放射変動への降着円盤成分の混入がより大きくなる。また観測しているダスト放射の波長がシフトするため、より高温のダストにウェイトを置いて観測してしまう。今後、これらを系統的な影響を評価して遠方活動銀河核のダストトラス内径および距離測定の精度向上をはかる。

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

本研究の目標は、 $z = 0.4 \sim 1.6$ という広範にわたる活動銀河核について可視赤外変光遅延を検出し、ダスト反響というユニークな手法により、活動銀河核の構造・放射機構を調べ、またその結果を利用して距離・宇宙論パラメーターの決定に挑むことである。本研究の今年度の主な成果は、1) MAGNUM 望遠鏡による可視域先行モニターによる光度曲線の獲得、2) それにもとづく赤外線天文衛星「あかり」へのモニター観測の提案・採択の 2 点である。本研究の対象となる遠方天体から放射された近赤外線は、赤方偏移のため地上からは観測が困難な中間赤外域にシフトするため、赤方偏移のためスペース望遠鏡を使うことがたいへん重要である。そこで我々は MAGNUM 望遠鏡と、2006 年 2 月に打ち上げられた赤外線天文衛星「あかり」を併用することを構想・推進してきた。

今年度の成果としては、まず、可視域での先行モニター観測をさらにすすめ、光度曲線のスパンを大幅に拡大できたことが挙げられる。赤外域での変光は、可視域での変光より年単位の遅れをもって追隨することが期待される。そのため先行観測によるデータは、単なる試験的観測として意義があるだけでなく、今後観測する赤外域での光度曲線と比較することで可視変光に対する赤外変光の遅延時間を検出できるという点で本質的な意義を持つものである。観測天体は、サーベイヤーである「あかり」でモニター観測を行えるよう、周回軌道の極にあたる北黄極領域に分布するものから選んだ。データを解析した結果、大半の天体 (~ 10 天体) において有望な変光を検出することができた。

「あかり」は既に液体ヘリウムが尽き、遠赤外線の観測が出来ない phase-3 に突入する。MAGNUM による可視域での先行モニターの結果を踏まえた phase-3 期の mission proposal 募集にたいして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を提案し、採択された (100 ポインティングの獲得)。phase-3 は機械式冷凍機の寿命の続くかぎり長期的に継続可能であるため、MAGNUM と組み合わせる活動銀河核のモニター観測にたいへん適している。これらの

結果・状況を受け、今後は「あかり」の phase-3 において活動銀河核のモニターを開始、遂行していく。

近傍 1 型活動銀河核の可視光度変動に伴う可視カラー変化の有無の検証

1 型活動銀河核 (1 型 AGN) の紫外可視連続放射の変光に伴うスペクトル形状の変化については、2 つの対立する主張が存在する。Winkler et al. (1992) や Suganuma et al. (2006) では、セイファート銀河の可視多色変光データが異なる 2 バンドの flux-flux 図上でほぼ直線上に分布することから、可視連続放射成分は変光に伴いカラーは一定であることを主張しているが、一方で多くの 1 型 AGN モニター観測の結果 (Giveon et al. 1999, Webb & Malkan 2000, Vanden Berk et al. 2004 など) からは増光に伴い紫外可視カラーは青くなるという前述の主張とは対立する結果がでている。

我々はこの対立の原因は観測フラックス中に含まれる母銀河成分などの非変動放射成分の影響であると考え、非変動成分を正確に評価することで 1 型 AGN の可視連続放射の変光に伴うカラー変化の有無を検証した。AGN の可視光度変動データは、MAGNUM プロジェクトでこれまでに最大約 7 年に渡り観測されてきた天体の中から HST アーカイブデータの存在する近傍 1 型 AGN 11 天体 (セイファート銀河 9 天体, radio-quiet QSO 1 天体, radio-loud QSO 1 天体) の高精度可視多色モニター観測データ (B, V, I バンド) を解析した。そして同日に撮られた (B,V), (V,I) 変光データを flux-flux 図上にプロットすると、全ての天体において直線上に分布した。非変動成分として母銀河からの放射成分と狭輝線成分を考慮した。母銀河からの放射は HST 高空間分解画像の表面輝度分布フィットから決めた母銀河形状パラメータを利用して MAGNUM データの表面輝度分布フィットを行うことで多波長での母銀河成分を決定した。狭輝線成分は過去の分光観測論文の結果を利用して精確に見積もった。そして見積もられた非変動成分を (B,V), (V,I) 変光データの flux-flux 図上にプロットすると、ほぼ全ての天体・バンドペアで変光データのフィット直線の延長上に存在することが示された。このことから近傍 1 型 AGN の可視連続放射成分は光度変動に伴いそのスペクトル形状が系統的には変化しないことがわかった。また非変動成分の正確な差し引きにより、一部の天体では数年のタイムスケールの間に最大 10 倍以上の変光をカラーを系統的に変化させずに示していることもわかった。

近傍セイファート銀河の $H\beta$ 輝線 reverberation mapping 観測との共同観測

活動銀河核の広幅輝線の reverberation mapping 観測は広幅輝線領域の大きさを測定する直接的な方法であるだけでなく、広幅輝線の線幅と広幅輝線領域の大きさから活動銀河核中心のブラックホール質量を観測的に測定することができ、活動銀河核の内

部構造を調べるうえで極めて重要な観測手法となっている。

2006年度末から2007年度始めにかけてオハイオ州立大学の Peterson 教授を中心として近傍セイファート銀河の H β 広幅輝線の reverberation mapping 観測を行なった。この観測では広幅輝線領域の大きさとブラックホール質量の測定精度を大きく向上させる目的で、3ヶ月以上の連続した期間について毎日の集中的な観測を行なった。MAGNUM 望遠鏡では共同観測により広幅輝線の reverberation mapping 観測の精度向上に貢献するとともに、広幅輝線領域とダストトラスの構造を精密に比較するため、同時期に可視赤外線モニター観測を行なった。データは現在解析中である。また一昨年(2006)の共同観測に基づく NGC 5548 の結果については Bentz et al. (2007) にまとめた。

また通常のセイファート銀河に比べて小質量のブラックホールをもつと予想される活動銀河核が近年発見されつつある。これらの天体は活動銀河核およびブラックホールの成長の観点から興味深い。そこで Greene & Ho (2004) によって発見された候補天体 SDSS J143450.62+033842.5 について、ミシガン大学の Cackett 博士を中心に約1週間の広幅輝線の reverberation mapping 観測を行い、MAGNUM 望遠鏡では共同観測として同時期に可視赤外線モニター観測を行なった。残念ながら天候に恵まれず、有意な光度曲線を得ることはできなかった。

さらにカリフォルニア大学アーバイン校の Barth 教授、Bentz 博士を中心に近傍の中小質量ブラックホールを持つと予想される活動銀河核について、約2ヶ月間の毎日の集中的な reverberation mapping 観測を遂行中であり、MAGNUM 望遠鏡でも共同観測として同時に集中的な可視赤外線モニター観測を遂行中である。

近傍セイファート銀河の X 線変光観測との共同観測

活動銀河核は強い X 線放射を示し、その光度が短いタイムスケールで変動することから一次的な X 線放射領域はブラックホールのごく近傍であるとされている。いっぽうでブラックホール周囲の活動銀河核の構造に影響され複数の二次的な X 線放射成分が複雑に重なりあっていると考えられている。したがって X 線放射の変動およびそれと可視・近赤外線変動との相関は X 線放射機構を解明するうえで重要な手がかりとなる。

そこでハーバードスミソニアン天文学研究所の Elvis 教授らとの共同研究として近傍セイファート銀河 NGC 5548 のすざくによる X 線モニター観測と同時期に可視近赤外線モニター観測を行った。すざくによる観測は1週間おきに約2ヶ月間にわたって行われ、二次的な X 線放射成分と活動銀河核の内部構造との関係の解明に重点をおいた観測となっている。データは現在解析中である。

またサウスハンプトン大の McHardy 教授らとの共同研究として RXTE 衛星による近傍セイファート銀河の長期 X 線モニターデータと可視・近赤外線変

光曲線との比較を行っている。例えば NGC5548 については X 線光度変動に数日遅れて可視変光が追従する様子が観測されており可視変光(の一部)は X 線放射変動によって引き起こされるとするメカニズムが支持されている (Suganuma et al. 2006) が、いっぽうで X 線光度変動と可視光度変動との相関は活動銀河核によってまちまちであることが知られている。したがって多数の活動銀河核について系統的に調査することが重要である。

超新星の可視赤外線多波長モニター観測

東京大学野本教授らとの共同研究として、MAGNUM 望遠鏡による超新星の可視赤外線多波長モニター観測を行なっている。超新星の可視から近赤外線までの広い波長範囲での観測は、理論的なモデル光度曲線を観測データと比較するにあたり、観測的な輻射光度曲線をより正確に求めるために重要であり、MAGNUM 望遠鏡による超新星の可視赤外線多波長光度曲線は、高精度の輻射光度曲線の評価に貢献している。また超新星におけるダスト生成に関連する現象について赤外線での観測が重要になる。ここでは超新星に関連する成果についてまとめて報告する。

2006年に出現した Ib 型超新星 SN 2006jc は爆発後 ~ 50 日経過して可視光度が急減し赤外線光度が増加し、超新星からの放出物質内でダスト生成が始まった様子が観測された。赤外線衛星あかりと同時に MAGNUM 望遠鏡により近赤外線測光観測を行ない波長 1.5 ~ 5 μm のスペクトルを得ることに成功し、それから超新星周囲に存在するダストの温度と生成量を求めるのに貢献した。輻射光度曲線などのデータにもとづく超新星モデルの計算によれば、SN 2006jc は WC 型ウォルフレイエ星が超新星爆発したものであると考えられる (Sakon et al. 2008; Tominaga et al. 2008)。

そのほかにもガンマ線バーストや極超新星に注目して可視近赤外線測光観測を行ってきた (SN 2006aj/XRF 060218 Maeda et al. 2007)。また 2008 年始めに出現した超新星 SN2008D は可視観測ではなく X 線バーストによって発見された初めての超新星である。現在可視近赤外線多波長モニター観測を遂行中であり、増光から減光まで高精度の光度曲線が得られている。

その他に SN2007sr, SN2008A の観測を行った。

トランジット惑星系における高精度モニター観測による Rossiter-McLaughlin 効果の観測

東京大学須藤教授らとの共同研究としてトランジット現象を起こす太陽系外惑星系について、すばる望遠鏡/HDSまたはケック望遠鏡/HIRES による分光観測と同時の、MAGNUM 望遠鏡による測光モニター観測を行なっている。惑星が主星の前面をよぎるとき主星の自転による吸収線の広がりを隠してしまうため、トランジット中の主星の視線速度は見かけ上ケプラー

運動によるものからずれて観測される。この効果は Rossiter-McLaughlin 効果 (以下 RM 効果: Rossiter 1924; McLaughlin 1924) と呼ばれており、主星の自転軸と惑星の公転軸のなす角 λ などのパラメータを用いて記述することができる (Ohta, Taruya, & Suto 2005)。MAGNUM 望遠鏡による測光モニター観測は RM 効果による λ 測定のために必要なトランジット現象の位相の決定に貢献している。一昨年度に観測を行なった TrES-1 と HD 189733 について、初めて検出できた RM 効果について投稿論文で報告を行なったほか、今年度は HD189733, TrES-1, TrES-3, TrES-4, WASP-1, WASP-2, HAT-P-1, HAT-P-2 についての観測を行なった。

ガンマ線バースト残光の可視赤外線多波長観測

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プロジェクトを遂行している。ここではハワイ大学との共同研究であるガンマ線バースト残光の可視赤外線多波長観測について報告する。

ガンマ線バースト現象は現在確認されているもっとも遠方の銀河・クエーサに匹敵する、あるいはそれ以上の遠方の宇宙でも発生していると考えられており、宇宙初期の状態を探るための重要な手段として認識されてつつある。そこでそのような遠方のガンマ線バーストを検出するために、ガンマ線バースト残光の可視赤外線多波長観測を行なっている。遠方ガンマ線バーストの場合には赤外線波長域において短波長側のフラックスの急減(「ドロップアウト」)が存在することが期待される。MAGNUM 望遠鏡は常に可視・近赤外線撮像装置が運用状態にあるのでガンマ線バースト残光が明るいうちに観測が可能のため、この種の観測に有利であり、実際に $z = 6.29$ のガンマ線バースト GRB050904 の残光の観測に成功した (Price et al. 2006, ApJ, 645, 851)。

多数のガンマ線バースト残光の観測を継続しており the gamma ray bursts coordinates network に報告している (GRB070518, GRB070520B, GRB070521, GRB071021, GRB071025, GRB071112C, GRB080229, GRB080307)。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Bentz, M. C., Denney, K. D., Cackett, E. M., Dietrich, M., Fogel, J. K. J., Ghosh, H., Horne, K. D., Kuehn, C., Minezaki, T., Onken, C. A., Peterson, B. M., Pogge, R. W., Pronik, V. I., Richstone, D. O., Sergeev, S. G., Vestergaard, M., Walker, M. G., Yoshii, Y.: NGC 5548 in a Low-Luminosity State: Implications for the Broad-Line Region; ApJ, **662**, 205–212, (2007)
- [2] Maeda, K., Kawabata, K., Tanaka, M., Nomoto, K., Tominaga, N., Hattori, T., Minezaki, T., Kuroda, T., Suzuki, T., Deng, J., Mazzali, P. A., Pian, E.: SN 2006aj Associated with XRF 060218 at Late Phases: Nucleosynthesis Signature of a Neutron Star-driven Explosion; ApJL, **658**, L5–L8, (2007)
- [3] Suganuma, M., Kobayashi, Y., Okada, N., Yoshii, Y., Minezaki, T., Aoki, T., Enya, K., Tomita, H., Koshida, S.: The Infrared Cloud Monitor for the MAGNUM Robotic Telescope at Haleakala; PASP, **119**, 567–582, (2007)
- [4] Winn, J. N., Holman, M. J., Henry, G. W., Rousanova, A., Enya, K., Yoshii, Y., Shporer, A., Mazeh, T., Johnson, J. A., Narita, N., Suto, Y.: The Transit Light Curve Project. V. System Parameters and Stellar Rotation Period of HD 189733; AJ, **133**, 1828–1835, (2007)
- [5] Narita, N., Enya, K., Sato, B., Ohta, Y., Winn, J. N., Suto, Y., Taruya, A., Turner, E. L., Aoki, W., Yoshii, M., Yamada, T., Tamura, Y.: Measurement of the Rossiter Laughlin Effect in the Transiting Exoplanetary System TrES-1; PASJ, **59**, 763–770, (2007)
- [6] Sakon, I., Wada, T., Ohyama, Y., Ishihara, D., Tanabe, T., Kaneda, H., Onaka, T., Tominaga, N., Tanaka, M., Suzuki, T., Umeda, H., Nomoto, K., Nozawa, T., Kozasa, T., Minezaki, T., Yoshii, Y., Ohyabu, S., Usui, F., Matsuhara, H., Nakagawa, T., Murakami, H.: Properties of newly formed dust by SN2006jc based on near-to-mid infrared observation with AKARI; ApJ, submitted, (2007)
- [7] Tominaga, N., Limongi, M., Suzuki, T., Tanaka, M., Nomoto, K., Maeda, K., Chieffi, A., Tornambe, A., Minezaki, T., Yoshii, Y., Sakon, I., Wada, T., Ohyama, Y., Tanabe, T., Kaneda, H., Onaka, T., Nozawa, T., Kozasa, T., Kawabata, K. S., Anupama, G. C., Sahu, D. K., Gurugubelli, U. K., Prabhu, T. P., Deng, J.: The Peculiar Type Ib Supernova 2006jc: A WC Star Explosion; ApJ, submitted, (2007)

(会議集録)

- [8] Suganuma, M.; Kobayashi, Y.; Yoshii, Y.; Minezaki, T.; Tomita, H.; Aoki, T.; Enya, K.; Koshida, S.; Peterson, B. A.: Reverberation Measurements of the Inner Radius of the Dust Torus in Nearby Seyfert 1 Galaxies; Proc. of Conference “The Central Engine of Active Galactic Nuclei”, ASP Conference Series, **373**, 462, (2007)

(サーキュラー)

- [9] Minezaki, T., Yoshii, Y., Nomoto, K.: Supernova 2006jc in UGC 4904; IAU Circulars, **8833**, 2, (2007)
- [10] Price, P. A. and Minezaki, T.: GRB070518: Optical/NIR observation.; GRB Coordinates Network, Circular Service, **6443**, (2007)
- [11] Minezaki, T. and Price, P. A.: GRB070520B: NIR observations.; GRB Coordinates Network, Circular Service, **6455**, (2007)

- [12] Minezaki, T. and Price, P. A.: GRB070521: NIR observations.; GRB Coordinates Network, Circular Service, **6456**, (2007)
- [13] Price, P. A., Minezaki, T., Cowie, L., Yoshii, Y., Kakazu, Y.: GRB071021: Optical+NIR observations.; GRB Coordinates Network, Circular Service, **6983**, (2007)
- [14] Minezaki, T., Price, P. A., Cowie, L., Yoshii, Y., Kakazu, Y.: GRB071025: Optical+NIR observations.; GRB Coordinates Network, Circular Service, **7018**, (2007)
- [15] Minezaki, T., Price, P. A., Yoshii, Y., Cowie, L.: GRB 071112C: Optical/NIR observations.; GRB Coordinates Network, Circular Service, **7135**, (2007)

< 学術講演 >

(国際会議)

一般講演

- [16] Minezaki, T., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Enya, K., Suganuma, M., Tomita, H., Koshida, S., Yamauchi, M., Aoki, T.: First Detection of Near-Infrared Intraday Variations in the Seyfert 1 Nucleus NGC 4395; Quasi-Periodic Oscillations and Time Variabilities of Accretion Flows, Kyoto, Japan, 2007/11/20–22.

(学位論文)

- [17] 坂田 悠: 「可視多色モニター観測による近傍 1 型活動銀河核の可視光度変動の性質」東京大学大学院理学系研究科天文学専攻修士論文

(国内会議)

学会発表

- [18] 越田 進太郎 (東大理), 吉井 讓, 峰崎 岳夫, 青木 勉, 富田 浩行, 内一・勝野 由夏 (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), 坂田 悠 (東大理), B. A. Peterson (ANU): 「MAGNUM プロジェクト: 低中光度の近傍セイファート銀河における可視変光遅延」日本天文学会 2007 年秋季年会, (岐阜大学 2007 年 9 月)
- [19] 左近 樹, 尾中 敬 (東大理), 和田 武彦, 大山 陽一, 金田 英宏 (宇宙研), 富永 望, 田中 雅臣 (東大理), 野本 憲一 (東大理/東大数理宇宙), 峰崎 岳夫, 吉井 讓 (東大理), 野沢 貴也, 小笹 隆司 (北大), 石原 大助, 梅田 秀之, 鈴木 知治, 田邊 俊彦 (東大理), 臼井 文彦, 大藪 進喜, 中川 貴雄, 松原 英雄, 村上 浩 (宇宙研): 「「あかり」衛星の捉えた Type Ib 超新星 2006jc によるダスト形成」日本天文学会 2008 年春季年会, (国立オリンピック記念青少年総合センター 2008 年 3 月)
- [20] 富永 望 (東大理), M.Limongi (INAF), 鈴木 知治, 田中 雅臣 (東大理), 野本 憲一 (東大理, 東大数物宇宙機構), 峰崎 岳夫, 吉井 讓, 左近 樹, 尾中 敬, 田邊 俊彦 (東大理), 前田 啓一 (東大数物宇宙機構), 和田 武彦,

大山 陽一, 金田 英宏 (宇宙研), 野沢 貴也, 小笹 隆司 (北大), 川端 弘治 (広島大理): 「WC Wolf-Rayet 星の超新星爆発: Ib 型超新星 SN 2006jc」日本天文学会 2008 年春季年会, (国立オリンピック記念青少年総合センター 2008 年 3 月)

- [21] 菅原 章太 (東大天文), 峰崎 岳夫, 吉井 讓, 青木 勉, 内一・勝野 由夏 (東大天文センター), 小林 行泰 (国立天文台), 越田 進太郎, 坂田 悠 (東大天文), 塩谷 圭吾 (JAXA/ISAS), 菅沼 正洋 (国立天文台), 富田 浩之 (スズキ自動車): 「MAGNUM プロジェクト (1) Palomar-Green クエーサーの可視近赤外線モニター観測と変光遅延」日本天文学会 2008 年春季年会, (国立オリンピック記念青少年総合センター 2008 年 3 月)
- [22] 坂田 悠, 峰崎 岳夫, 吉井 讓, 青木 勉, 内一・勝野 由夏, 富田 浩之 (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), 越田 進太郎, 菅原 章太 (東大理天文): 「MAGNUM プロジェクト (2) 近傍 1 型セイファート銀河の光度変動に伴う可視カラー変化の有無の検証」日本天文学会 2008 年春季年会, (国立オリンピック記念青少年総合センター 2008 年 3 月)

一般講演

- [23] 峰崎 岳夫: 「MAGNUM プロジェクト現状報告」第 7 回宇宙における時空・物質・構造の進化研究会, (箱根, 2007 年 9 月 1–4 日)

4 サブミリ波観測

——ミリ波・サブミリ波による分子雲の形成・進化の探究——（山本（智）・岡）

【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）が存在している。その中でも密度が比較的高いものが星間分子雲で、新しい恒星と惑星系が形成される場所として世界的に活発な研究が行われている。星間分子雲の主成分は水素分子であるが、その中には様々な原子・分子が僅かに存在している。これらの微量分子の組成は、星間分子雲の形成、進化、及びそこでの星形成・惑星系形成過程を克明に記憶している。即ち、微量分子の組成を調べることにより、どのようにして星が生まれてきたかという「過去」を見ることが出来る。本研究室では、このような物質的な視点から、宇宙における最も基本的な構造形成過程である星形成・惑星系形成を総合的に理解することを目指している。

【電波で物質を見る】星間分子雲の温度はおよそ 10 K 程度と非常に低い。この「宇宙の中でも最も低温の天体」に存在する原子・分子を観測するには、最もエネルギーの低い電磁波である「電波」を利用する。電波領域は波長によってセンチ波帯、ミリ波帯、サブミリ波帯、テラヘルツ帯に分けられるが、これらの領域にはいずれも特徴的な原子・分子のスペクトル線が存在する。それらの高感度観測により、星形成・惑星系形成における物質進化を詳細に捉えることができる。

【星形成・惑星系形成の観測研究】近年、センチ波、ミリ波、サブミリ波観測の進展は著しい。超伝導技術を用いた低雑音ヘテロダイン受信機の実現、広帯域かつ高分解能のデジタル電波分光計の普及がその技術的背景にある。なかでも、ミリ波帯からサブミリ波帯における最終兵器とも言うべきものが ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) である。南米チリの標高 5000 m の高原に 12 m アンテナ 54 台と 7 m アンテナ 12 台からなる巨大電波望遠鏡（電波干渉計）を建設するもので、日本、北米、欧州の共同プロジェクトとして建設が進んでいる。ALMA は 2012 年に本格稼働を始める。ALMA はその桁外れの感度と解像度により、星・惑星系形成の理解を一挙に進展させるであろう。現在、ALMA を意識した観測研究が激しい競争的環境下で進んでいる。本研究室では、上記の独自の視点を生かして、既存望遠鏡を用いた観測研究を活発に展開している。

【テラヘルツ帯観測技術の開拓】一方、テラヘルツ帯は電波と赤外線との中間にあたり、まだ、観測的研究が十分に行われていない波長域である。この領域には C^+ , N^+ などのよく知られた原子スペクトル線

の他、 CH , H_2D^+ , HD_2^+ などの基本的分子のスペクトル線が存在する。それらの観測により、上で述べた星形成・惑星系形成における物質進化の根源を掴むことができるかと期待されている。世界的には Herschel 宇宙赤外線望遠鏡が近い未来に打ち上げられる予定で、これによりテラヘルツ帯観測のフロンティアが開かれるであろう。本研究室では、それとは相補的な地上大口径望遠鏡による高分解能観測を目指して、テラヘルツ帯における独自の観測技術の開拓を重点的に進めている。本研究室には、1998 年から 2005 年までの間、富士山頂に口径 1.2 m のサブミリ波望遠鏡を設置し、中性炭素原子輝線 (492 GHz, 809 GHz) の広域観測により星間分子雲形成の研究を展開した実績がある。この経験を発展させて、テラヘルツ天文学の創生に寄与したいと考えている。

4.1 テラヘルツ帯観測技術の開拓

天体観測においては、観測感度が命である。テラヘルツ帯における観測を行うためには、テラヘルツ帯で動作する低雑音の周波数混合器（ヘテロダインミキサ）の開発が不可欠である。サブミリ波帯においては、SIS (Superconductor Insulator Superconductor) ミキサ素子が広く用いられてきた。ジョセフソン接合の非線形性を利用したもので、Nb (ニオブ) を超伝導物質に用いたものは、750 GHz 以下では量子雑音限界に迫る性能を発揮している。しかし、750 GHz 以上の周波数では、超伝導キャップ間の吸収による損失が増大するため、急激に性能が低下する。テラヘルツ帯観測のためには、新しいミキサ素子の開発が求められる。

本研究室では、超伝導ホットエレクトロン・ポロメータ (HEB) ミキサ素子の開発を進めている。HEB ミキサ素子は電磁波の吸収による超伝導状態の破壊を利用し、受信信号と局部発振信号の「うなり」中間周波信号に伴う電力変化をバイアス電流の変化として鋭敏に検知するものである。そのためには、超伝導体をサブミクロンサイズの大きさにすること、そして、素子内に生じた熱電子を「うなり」の周期よりも早く冷却し、超伝導状態を回復させる必要がある。この冷却メカニズムには、(1) 熱電子の拡散によって電極に逃がす方法（拡散冷却）と、(2) フォノンとの相互作用を介して基板に逃がす方法（格子冷却）の 2 つがある。本研究室では、Nb を用いた拡散冷却型 HEB ミキサ素子と、NbTiN (窒化ニオブチタン) を用いた格子冷却型 HEB ミキサ素子の開発研究を進めている。[10][12][18][25][26]

NbTiN を用いた HEB ミキサ素子の開発

本研究室では、2004 年度から研究室内のクリーンブースに HEB ミキサ素子製作に必要な装置群の導入を行い、独自の技術で HEB ミキサの製作方法の確立を目指してきた。試行錯誤の後、昨年度、Nb を用いた拡散冷却型の HEB ミキサの製作、および、NbTiN を用いた格子冷却型の HEB ミキサの製作に成功し

た。導波管マウントに装着して 800 GHz 帯で雑音温度の測定を行ったところ、Nb HEB ミクサでは 3000 K、NbTiN HEB ミクサでは 1200 K 程度の性能が得られた。これらは世界レベルから見るとまだやや劣るが、素子製作方法の確立という点で第一のハードルを越えることができた。[10][12]

本年度は、NbTiN ミクサの製作を数度にわたって行い、製作毎の性能変化を調べた。その結果、雑音温度は 1200 - 1500 K と安定しており、製造プロセスの再現性が確認された。この段階の素子を用いて、後述するように雑音温度の動作温度依存性を調べた。

本年度より、Ling Jiang 氏が PD として本研究室に加わった。Jiang 氏は HEB ミクサ素子と導波管マウントのインピーダンスマッチングの最適化を電磁界シミュレーションを用いて行い、新しい素子アンテナパターンを設計した。それを用いて NbTiN を用いた HEB ミクサを製作し、導波管マウントに装着して 800 GHz 帯で性能試験を行ったところ、最高で 500 K まで雑音温度を低減することに成功した(図 1)。この性能は世界水準に並ぶものである。現在の HEB ミクサ素子は 12 nm の膜厚の NbTiN 薄膜を用いているが、これは格子冷却を考えると最適値よりもまだかなり厚い。それにもかかわらず上記の性能が達成されたことは、一層の薄膜化により格段の性能向上が見込まれることを意味しており、相当な将来性が期待される結果と言える。

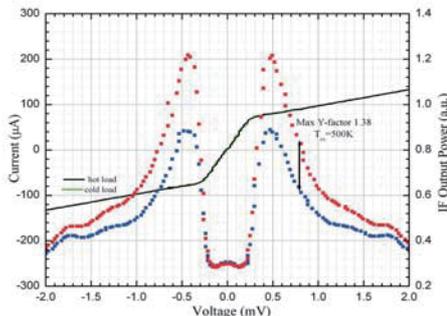


図 4.1: I-V curve and hot-cold response of the fabricated HEB mixer

NbTiN を用いた HEB ミクサ素子の動作温度依存性

本研究室における HEB ミクサの性能評価においては、HEB ミクサの冷却方法として 4 K GM 2 段冷凍機を用いている。そのため、冷却ステージに取り付けたヒーターへの供給電力を適当に調整することにより、HEB ミクサの動作温度を 4 K から 10 K 程度の間で自由に変えることができる。このメリットを生かして、製作した NbTiN HEB ミクサのミクサ性能の動作温度依存性を詳しく調べた。このような温度変化の実験はこれまで系統的には行われてこなかった。

図 2 に雑音温度の動作温度依存性を示す。雑音温度は 4 K から 7 K 程度まではほぼ平坦であるが、7 K を超えて臨界温度に近くなると急激に上昇することがわかった。4 K 近傍では温度上昇に伴う雑音温度の上昇は非常に緩やかであり、これは、NbTiN を用いた格子冷却型 HEB ミクサーが動作温度の変動に強いことを示している。この結果は、実際の観測運用における性能安定化の観点からも重要な知見と言える。

図 2 の動作温度依存性を HEB ミクサの古典理論に基づいて解析した。動作温度を T 、素子の超伝導転移温度を T_c とすると、雑音温度は近似的に $T^n - T_c^n$ に反比例する。ここで n は素子の冷却メカニズムによって決まる指数であり、拡散冷却の場合 $n = 2$ 、格子冷却の場合は $n = 4$ 程度の値をとる。図 2 のフィッティングの結果からわかるように、製作した NbTiN HEB ミクサの場合、 $n = 4$ 程度の値でもっともよく実験結果を再現することから、格子冷却によって動作していることが確認された。これまで、HEB 素子の冷却メカニズムは、素子サイズや中間周波帯域幅をもとに議論されてきたが、動作温度依存性の実験はそれらよりもはるかに容易で再現性が高いので、非常に有効であることが示された。[10][28]

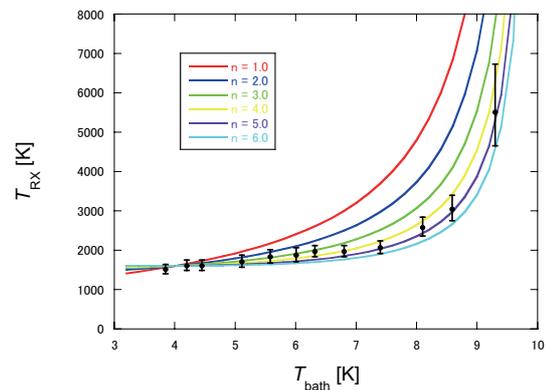


図 4.2: Bath temperature dependence of the receiver noise temperature. Solid lines represent expected dependences for various values of n

NbTiN を用いた準光学 HEB ミクサの開発

導波管を用いたミクサではビームパターンを正確に決めることができるという利点があるが、周波数が高くなるにつれ導波管の微細な加工技術が必要となる。また、それにともないミクサ素子の大きさも小さくなり、薄く研磨する必要も出てくる。そのような困難を回避し、高周波ミクサ素子を開発するため、準光学型のミクサ素子を開発を進めている。これまではリフトオフプロセスを用いた作成法を用いてきたが、アスペクト比が高く、パターン形成、リフトオフが困難となってくるため、ICPを用いたエッチングによって、細線を形成するプロセスを構築し、素子の作成を行った。その結果、リフトオフプロセスよりも冷却時に壊れてしまうトラブルが減り、素子の歩留まりを上げることができた。現在、リフト

オフプロセスで作成した素子と、エッチングプロセスで作成した素子とで、周波数特性に違いが現れるかを国立天文台にあるフーリエ変換型分光器を用いて調べている。なお、この研究は筑波大学の山倉鉄矢氏、中井直正氏、名古屋大学の前澤裕之氏との共同研究である。

性能評価システムの改良

HEB ミクス素子の性能評価実験を進めるにあたって、今年度はその測定系周辺の改良にも取り組んだ。昨年度まで、素子の電流-電圧特性や IF 出力などはアナログのペンレコーダーもしくは写真によって記録していたが、実験の精密化に伴いデジタルデータとして取り込む必要性が出てきた。そこで、ADC を介して PC ヘデータを取り込むよう性能評価実験に特化したソフトウェアを開発した。実験データをデジタルで扱うことにより、データ解析の効率化が進んだ。この改良は 4 年生の特別実験 II として行った (黒田氏、下川邊氏)。

HEB ミクス素子は非常に壊れやすく、昨年度は性能評価以前に静電気によるサージ電流で素子が破壊されてしまうことが相次いでいた。そこで、素子保護のための安全回路を作製し、液体ヘリウム冷却による DC 測定系と受信機デューワーの双方に取り付けた。これにより、静電気由来と見られる素子の破壊はほとんど無くなり、着実に実験を進めることができるようになった。

本研究では、機械式冷凍機を用いた冷却を行っているため、機械的振動が避けられない。HEB ミクスの性能は光学系の振動に対して非常に敏感であるため、性能評価実験を行う上ではこの振動の抑制が重要である。これまでは受信機デューワーを台の上に載せているだけだったが、固定台を新規に製作して振動の抑制を図った。また、ビームスプリッターを固定するフレームも製作し、安定的に局部発振信号を導入できるようになった。

4.2 星間分子雲、星形成領域の観測的研究

国内外の様々なミリ波、サブミリ波望遠鏡 (国立天文台 45 m 望遠鏡、IRAM 30 m 望遠鏡、米国立電波天文台 100 m 望遠鏡など) を用いて広範な観測研究を展開している。特に、化学組成が天体の現在の物理状態のみならず過去の履歴の情報をもつことに着目し、独自の視点から星形成過程を探究している。

Warm Carbon Chain Chemistry の発見

昨年度、小質量星形成領域における大型飽和有機分子探査の過程で、おうし座の L1527 原始星におい

て、不飽和有機分子の 1 つである炭素鎖分子 C_4H_2 が非常に豊富に存在することを発見した。野辺山 45 m 望遠鏡、GBT 100 m 望遠鏡、IRAM 30 m 望遠鏡などを用いた観測の結果、この天体では、 C_4H_2 をはじめとする様々な炭素鎖分子の存在量が非常に多いことがわかった。これまで、炭素鎖分子は、TMC-1 など星形成が起こっていない分子雲コアで豊富に存在し、星形成領域では少ないと考えられてきた。このことは、CCS など理論的にも観測的にも示されており、炭素原子が徐々に CO 分子に固定されていく化学進化と星間塵への吸着の複合効果として理解されている。事実、「典型的」原始星 IRAS 16293-2422 や NGC1333 IRAS4B では、ほとんどの炭素鎖分子は検出されていない。しかし、L1527 では様々な炭素鎖分子が原始星近傍の高密度で暖かい領域に豊富に存在していた。一方、 $HCOOCH_3$ などの大型飽和有機分子は検出されない。

これらの原因としては、母体となるコアの速やかな収縮と原始星近傍の暖かい領域における炭素鎖分子の再生成が複合的に関与しているものと考えられる。特に、後者はダストからの CH_4 の蒸発に起因する新しいプロセスで、Warm Carbon Chain Chemistry (WCCC) と命名した。本研究による発見を契機として、WCCC は新しい炭素鎖分子の化学として現在非常に注目されており、モデル計算をはじめとした活発な研究がはじまっている (e.g. Millar et al. 2007; Aikawa et al. 2008; Hassel et al. 2008)。

これまで、小質量星形成領域の化学組成は一樣と考えられてきたが、上記の結果は、物理的には同じに見える天体でも化学組成にはパラエティーがあるということを示した。また、様々な領域にある 16 個の原始星に対してサーベイ観測を行った結果、第二の WCCC 天体を発見した。さらに、WCCC は程度の差はあれ、どの星形成領域でも起こっている可能性があることがわかった。この事実は、化学組成の違いから星形成過程や収縮過程の違いを調べることができることを意味し、これまでの星形成の理解を大きく変える可能性を持つ。[5][9][13][15] [21]

L1527 における C_4H^- の検出

また、上記の観測の過程で大きな展開があった。星形成領域で初めて C_6H^- という負イオンを L1527 原始星で発見した。さらに、IRAM 30 m 望遠鏡では、 C_4H^- も検出した。 C_4H^- については TMC-1 でも検出されておらず、分子雲としても初めての検出例である。これらの結果は、星形成領域における負イオンの振舞いを明らかにしたという点だけでなく、電子と炭素鎖分子の放射性結合反応などについても重要な知見を与えた。また、L1527 原始星は、新しい星間分子の探査という観点でも大変興味深い天体であることがわかった。[3][6][9][22] [23]

L1527 における HCO_2^+ の検出

さらに最近、気相中の CO_2 をトレースする重要なイオン HCO_2^+ を L1527 において検出した。この検出

は、小質量星形成領域で初めて気相の CO_2 を捉えたもので、惑星系における CO_2 の起源を考える上で点で非常に大きな意義がある。また、その存在量の考察から、L1527 における気相 CO_2 の主な起源は、原始星のごく近傍におけるダストからの蒸発ではなく、2000 AU 程度の領域における気相反応で作られた可能性が高いことがわかった (図 3)。 HCO_2^+ は第二の WCCC 天体 IRAS15398-3359 でも検出され、気相における CO_2 の生成に WCCC が大きく関与している可能性が高まった。[7][16][24]

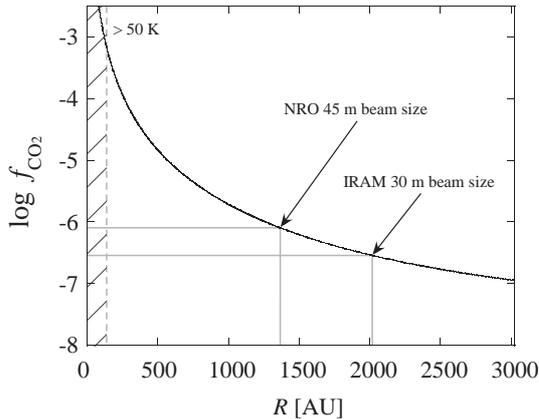


図 4.3: Abundance of HCO_2^+ as a function of the assumed source radius

大質量星形成領域における重水素濃縮

星間分子雲中の分子には、重水素原子が多く含まれることが知られており、重水素濃縮と呼ばれる。本研究では、大質量星形成領域における重水素濃縮度を系統的に調べる目的で、野辺山 45m 望遠鏡により DNC ($J = 1 - 0$) および HN^{13}C ($J = 1 - 0$) のサーベイ観測を行った。廣田らによって行われた低質量星形成コアにおける結果と比較したところ、低質量星形成コアでは DNC/HNC の柱密度比が 0.05 程度またはそれ以上であるのに対し、大質量星形成コアでは 0.01 以下のものが多く存在した (図 4)。

低質量星形成領域では、母体となるコアの温度が低く、Depletion も進んでいるため、重水素濃縮度が高くなる。重水素を含む分子 (特に中性分子) は星形成後も 10^5 yr 程度は壊されずに残るので、現在はずでに星が生まれているコアであっても重水素濃縮度に関しては星形成が起こる前の情報を保持している可能性が高い。したがって、大質量星形成領域で重水素濃縮度が低い傾向にあることは、母体となるコアの温度が高く、重水素濃縮が進まなかったためと考えられる。今回の結果は、重水素濃縮度を指標として星形成コアの過去の物理状態を知ることができる可能性を示している。なお、HDCS/ H_2CS に関して観測を行ったところ、同様の結果が得られた。

[27]

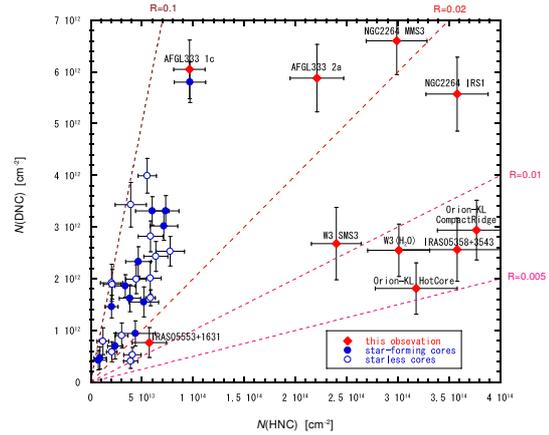


図 4.4: Plot of the HN^{13}C and DNC column densities for various star forming regions. For massive star forming regions (diamond marks), DNC tends to be deficient in comparison with HNC.

星形成領域のラインサーベイ

中小質量星形成領域の化学組成を先入観なく理解するためには、ある周波数領域のスペクトル線を網羅的に観測するラインサーベイが非常に有効である。そのような観測は、IRAS16293-2422 ではすでに行われているが、先に述べた中小質量星形成領域の化学組成の多様性に鑑み、特に典型的 WCCC 天体である L1527 のラインサーベイ観測は非常に重要である。さらに、原始星からの双極分子流による衝撃波が化学組成に与える影響を理解するために、双極分子流と分子雲が衝突して衝撃波を形成している L1157 (B1) 領域を調べることが有効である。本研究室では、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の所内プロジェクトとして、L1527 と L1157 のラインサーベイを行っている。なお、この研究は、高野秀路氏、Sheng-Yuan Liu 氏をはじめ ALMA 星間物質サブワーキンググループを中心とするメンバーとの国際共同研究である。

本年度はラインサーベイの初年度として、その戦略を確立するための観測を行った。それらのデータの解析は現在進行中であるが、いくつかの重要な成果が得られた。L1527 については、 HC_5N の超高励起スペクトル線を複数検出した。さらに、 HC_3N の ^{13}C 同位体種のスペクトル線も検出した。一方、L1157 については、 HCOOCH_3 , HCOOH , CH_3CHO などの有機分子のスペクトル線を検出し、衝撃波領域における複雑な有機分子の存在を示した (図 5)。これらはいずれも星間塵の氷マントルから蒸発してきたものと思われる。

^{13}C 同位体種を用いた星間化学反応の追跡

炭素鎖分子 CCS は、分子雲進化のよい指標として星なしコアの進化段階の診断に広く用いられてきた。しかし、CCS の生成メカニズム自体は必ずしも確立されているとは言えない。いくつかのイオン分子反応や中性分子反応が提案されているが、それらの相対的重要性については未解明のままであった。

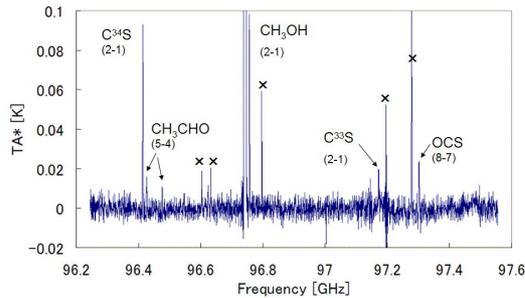


図 4.5: A portion of the line survey toward L1157. Cross marks represent artificial singals

この問題に切り込むために CCS の ^{13}C 同位体種の相対比に着目し、 ^{13}CCS と C^{13}CS を TMC-1 で探索した。その結果、 ^{13}CCS と C^{13}CS でその存在量には大きく差があることがわかった。これは、CCS の生成過程において、2 つの炭素原子が非等価であることを意味する。また、 ^{13}CCS の存在量が星間空間における $[\text{C}^{13}]/[\text{C}^{12}]$ 比よりも低いことがわかり、CCS において ^{13}C 同位体の「希釈」が起こっていることがわかった。このような現象はこれまでに CO 以外では認識されてこなかった。

これらの観測結果から、これまで提案されている様々な生成ルートの中で、 ^{13}C 同位体種の存在量の非対称性を説明できる $\text{CH} + \text{CS} \rightarrow \text{CCS} + \text{H}$ 反応が最も有力な主要生成経路として絞り込まれた。また、CCH においても同様の観測を行い、 ^{13}CCH と C^{13}CH でそれらの存在量にも差があることがわかった (図 6)。このことから、 $\text{C} + \text{CH}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H} + \text{H}$ 反応の寄与が重要であることがわかった。このような同位体を用いた星間分子の生成過程の探求は、どの分子がおもにどの分子から形成されているかを、観測から具体的に調べることができるという点で非常に強力な手法であり、宇宙の化学を理解する方法として画期的な展開である。今後観測装置の高感度化で同位体を使った化学反応の追跡が非常に容易になれば、星間分子雲における化学進化の理解を大きく促進すると期待される。[2][9][14][17]

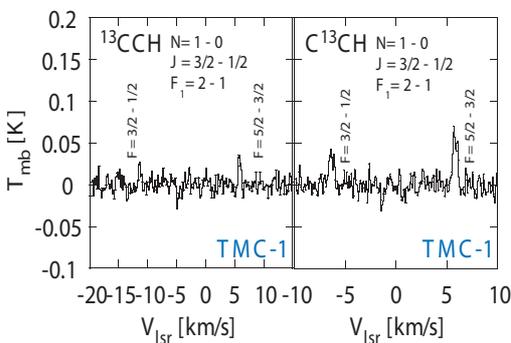


図 4.6: Spectra of ^{13}CCH and C^{13}CH toward TMC-1

銀河系中心領域における高速度分子ガス

高速度コンパクト雲 (HVCC) は銀河系中心分子層に存在する、極めて広い速度幅 ($\sim 100 \text{ km s}^{-1}$) を持つ小さな (5 pc 以下) 分子雲群である。我々はこれまでに CO $J=3-2$ と CO $J=1-0$ の広域サーベイによって 122 個の HVCC を同定している。これらに対し、CO 輝線のデータを用いて物理量 (大きさ、速度幅、質量、運動エネルギー) の分布を明らかにした。運動エネルギーは 10^{49} から 10^{51} erg と膨大かつ広範囲にわたる。また、LVG モデルを使って各 HVCC の温度・密度を推定し、HVCC 内のガスが様々な励起状態にあることを示した。HVCC は複数の超新星爆発からの衝撃波によって局所的に加速されたガス雲であると考えられる。多くの HVCC 内部には多数の超新星爆発を供給した大質量星団が埋もれていると予想される。こうした状況はスターバースト銀河におけるスーパーバブルの縮小版と理解することができ、スターバースト研究の重要な知見を与えることが期待される。[20]

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Sakai, N., Sakai, T., & Yamamoto, S. "Methyl Formate in the NGC2264 IRS1 Region", ApJ, 660, 363 (2007)
- [2] Sakai, N., Ikeda, M., Morita, M., Sakai, T., Takano, S., Osamura, Y., & Yamamoto, S. "Production Pathways of CCS and CCCS Inferred from their ^{13}C Isotopic Species", ApJ, 663, 1174 (2007)
- [3] Sakai, N., Sakai, T., Osamura, Y., & Yamamoto, S. "Detection of C_6H^- toward the Low-Mass Protostar IRAS04368+2557 in L1527", ApJ, 667, L65 (2007)
- [4] Sakai, N., Sakai, T., & Yamamoto, S. "Complex Organic Molecules in an Early Stage of Protostellar Evolution", Ap&SS, 313, 153 (2008)
- [5] Sakai, N., Sakai, T., Hirota, T. & Yamamoto, S. "Abundant Carbon-Chain Molecules toward the Low-Mass Protostar IRAS04368+2557 in L1527", ApJ, 672, 371 (2008)
- [6] Sakai, N., Sakai, T., & Yamamoto, S. "Tentative Detection of C_4H^- toward the Low-Mass Protostar IRAS04368+2557 in L1527", ApJ, 673, L71 (2008)
- [7] Sakai, N., Sakai, T., Aikawa, Y. & Yamamoto, S. "Detection of HCO_2^+ toward the Low-Mass Protostar IRAS04368+2557 in L1527", ApJ, 675, L89 (2008)
- [8] Sakai, T., Sakai, N., Kamegai, K., Hirota, T., Yamaguchi, N., Shiba, S., & Yamamoto, S. "A Molecular Line Observation toward Massive Clumps Associated with Infrared Dark Clouds", ApJ, in press (2008)

(国内雑誌)

- [9] 坂井 南美、山本 智、高感度宇宙観測が拓く極限環境下での化学、化学と工業、2008年2月、Vol.61-2、119-121
- (学位論文)
- [10] 新保 謙、"Developmental Study on an NbTiN HEB Mixer for Astronomical Applications," 博士論文、2008年3月
- [11] 永井 誠、"High-velocity Gas in the Central Molecular Zone of our Galaxy", 博士論文、2008年3月
- [12] 芝 祥一、テラヘルツ帯観測を目指した超伝導 HEB ミクサ受信機の開発、修士論文
- < 学術講演 >
- (国際会議)
- 一般講演
- [13] Sakai, N., Sakai, T., Hirota, T. & Yamamoto, S. "Extremely Rich Carbon-Chain Molecules in Low-Mass Protostar L1527", The Third ALMA J-T Science Meeting (13-14, Apr 2007, Jhongli in Taiwan)
- [14] Sakai, N., Ikeda, M., Morita, M., Sakai, T., Takano, S., Osamura, Y., & Yamamoto, S. "Production Pathways of CCS and CCCS Inferred from their ^{13}C Isotopic Species", The Third ALMA J-T Science Meeting (13-14, Apr 2007, NCU, Jhongli, Taiwan)
- [15] Sakai, N., Sakai, T., Hirota, T., & Yamamoto, S. "Warm Carbon-Chain Chemistry in L1527", NRO WS on Carbon-Chain Chemistry (7-8, December 2007, Tokyo Univ., Japan)
- [16] Sakai, N., Sakai, T., & Yamamoto, S. "Carbon Dioxide in L1527", NRO WS on Carbon-Chain Chemistry (7-8, December 2007, Tokyo Univ., Japan)
- [17] Yamamoto, S., Sakai, N., Ikeda, M., Morita, M., Sakai, T., T. Takano, S., & Osamura, Y. "Observational Study on the Formation Pathways of CCS and CCCS", NRO WS on Carbon-Chain Chemistry (7-8, December 2007, Tokyo Univ., Japan)
- 招待講演
- [18] Yamamoto, S., Shimbo, K., Shiba, S., Sakai, N., Sugimura, M., & Maezawa, H.: "Hot Electron Bolometer Mixer and its Application to Astrochemistry," The 3rd CREST Nano-Virtual-Labs Joint Workshop on Superconductivity 2007 -Superconducting Sensors- (NVLS2007-SS), S-Cube (Sakai, Osaka), October 21-22, 2007
- [19] Yamamoto, S., "Carbon Chains in Molecular Clouds", Star Formation Workshop, ASIAA (Taipei, Taiwan), December 3-7, 2007
- (国内会議)
- 一般講演
- [20] 永井 誠、岡 朋治、亀谷和久、田中邦彦、銀河系中心領域内の高速度コンパクト雲の励起状態、日本天文学会、秋季年会 (岐阜大学、2007年9月26-28日)、Q19a
- [21] 坂井 南美、酒井 剛、廣田朋也、山本 智、Preliminary Line Survey toward Low-Mass Protostar in L1527、日本天文学会、秋季年会 (岐阜大学、2007年9月26-28日)、Q13a
- [22] 坂井 南美、酒井 剛、長村吉洋、山本 智、Detection of Molecular Anion, C_6H^- , toward Low-Mass Protostar L1527、日本天文学会、秋季年会 (岐阜大学、2007年9月26-28日)、Q14b
- [23] 坂井 南美、酒井 剛、山本 智、Molecular Anions in the Low-Mass Star-Forming Region, L1527、日本天文学会 春季年会 (国立オリンピック記念青少年総合センター、2008年3月24-27日)、P46b
- [24] 坂井 南美、酒井 剛、相川 祐理、山本 智、Detection of HCO_2^+ toward the Low-Mass Protostar IRAS 04368+2557 in L1527、日本天文学会 春季年会 (国立オリンピック記念青少年総合センター、2008年3月24-27日)、P54a
- [25] 芝 祥一、新保 謙、前澤 裕之、山本 智、Nb を用いた HEB ミクサ素子の開発と性能評価、2007年秋季第68回応用物理学会学術講演会 (北海道工業大学、2007年9月4-8日)、5p-ZH-4
- [26] 新保 謙、芝 祥一、坂井 南美、前澤 裕之、山本 智、NbTiN 薄膜を用いた格子冷却型 HEB ミクサの製作と評価、2007年秋季第68回応用物理学会学術講演会 (北海道工業大学、2007年9月4-8日)、5p-ZH-6
- [27] 芝 祥一、坂井 南美、酒井 剛、廣田 朋也、山本 智、大質量星形成領域における重水素濃縮、日本天文学会 春季年会 (国立オリンピック記念青少年総合センター、2008年3月24-27日)、P62a
- [28] 新保 謙、芝 祥一、蔣 玲、前澤 裕之、P. G. Ananthasubramanian 山本 智、NbTiN HEB ミクサ性能の動作温度依存性の評価、2008年春季第55回応用物理学関係連合講演会 (日本大学理工学部 船橋キャンパス、2008年3月27-30日)、28a-ZA-6
- 招待講演
- [29] 山本 智、Chemical Evolution of Molecular Clouds; Recent Progress、日本分光学会シンポジウム (東京工業大学大岡山キャンパス、2007年11月13日)
- [30] 山本 智、スペクトル分析でみる星の形成、スペクトル化学研究センターシンポジウム (東京大学本郷キャンパス、2007年12月21日)
- [31] 山本 智、星空に巡らす化学の夢、分子科学フォーラム講演会 (分子科学研究所、2008年2月13日)
- (セミナー)
- [32] Sakai, N. "Chemistry in low-mass star-forming regions" (19, July 2007, Leiden Univ., Holland)

5 暗黒物質観測

——太陽アクシオン観測と暗黒物質探索実験——（蓑輪・井上）

蓑輪研究室では、「宇宙」「非加速器」「低エネルギー」という切り口で、大型加速器を使わずに新しい工夫により素粒子物理学を実験的に研究している。

5.1 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、もし 1 eV オーダーであれば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捉えるために、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 4 T、長さ 2.3 m の超伝導コイルと 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。この装置は、太陽起源のアクシオンを磁場領域で光子へと変換 (逆プリマコフ変換) し、その光子を PIN フォトダイオードで捉えるものである。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捉えられていないが、質量 0.27 eV 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。

昨年はより大きい質量のアクシオン探索の為に低温高密度ヘリウムガスを利用した装置のアップグレードを行った。このアップグレードは超伝導磁石がクエンチした時の安全対策とガスの圧力を様々な値に設定するための自動制御を可能にしたものである。これによりアクシオンの質量 1 eV 強までの実験が可能になり、現在 1 eV 付近及びそれ以下での探索実験を行っている。今のところアクシオン由来と考えられる事象は捉えられていないが、質量範囲 $0.96 \text{ eV} < m_a < 1.00 \text{ eV}$ において $g_{a\gamma\gamma} < (5.0 - 10.4) \times 10^{-10} \text{ GeV}^{-1}$ という上限値を得ている (図 5.1)。これは現在この質量領域において直接検出実験で得られる上限値としては最も小さく、また大統一理論 (GUT) などのさまざまな仮定の下に予想されているアクシオン模型の

一部に対して世界で初めて制限をつけたものとなっている。

なお、欧州原子核研究機構 (CERN) において同じ仕組みで大規模な装置を用いた CAST グループも 2002 年より探索実験を始めており、アクシオン模型が予想する領域にせまろうとしている。

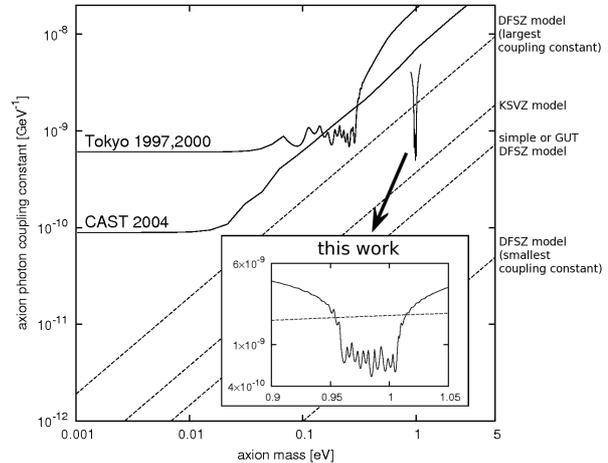


図 5.1: 太陽アクシオンに対する制限

5.2 新たなアクシオン探索実験の検討

我々はアクシオンの探索を研究テーマの一つとしており、前節で述べたように、アクシオンヘリオスコープ (Tokyo Axion Helioscope) を用いた太陽アクシオン探索実験を行ってきた。一方、現在用いている測定装置において感度をもたないアクシオン探索領域に感度をもつような検出器を開発して、新たなアクシオン探索実験を行うことも検討している。

アクシオン模型が Peccei と Quinn によって提案されてから 30 年ほど経つが、これまで世界中で様々な手法によりアクシオン探索が行われてきた。アクシオンは相互作用が極めて小さく、検出するのは困難である。そのため、アクシオンを探索するためには工夫が必要であり、アクシオンと光子の結合を利用し強磁場でアクシオンを光子へと変換する手法 (逆プリマコフ変換) が広く用いられている。探索するアクシオン源としては、宇宙初期に大量に生成され現在宇宙に大量に存在するアクシオン、太陽をはじめとする天体の内部で生成されるアクシオン、さらに実験室で光子をアクシオンに変換するというものがあり、これらのアクシオンを探索する数多くの実験が行われてきた。その結果、現在のところアクシオンは発見されていないが、測定結果からアクシオンの諸性質に対して種々の制限がつけられてきた。最近では、高感度なアクシオン探索実験を行うために実験装置が大規模化してきている。

現在までに、新たなアクシオン探索実験を行うために先行研究の調査を行ってきた。今後は実験の大枠を決め、計画、検出器の開発、及び測定を行っていく予定である。

5.3 暗黒物質検出器開発

以前我々は、 CaF_2 シンチレータを用いたニュートラリーノ探索実験を行っていた。このシンチレータは、ニュートラリーノと相互作用する核子として、原子核中最大のスピンを持つ ^{19}F を含んでおり、スピんに依存した (SD, spin dependent) 相互作用に大きな感度を持つ。我々が 2005 年に出した散乱断面積に対する制限は、当時において世界最高水準にあった。今後の性能向上の結果次第で、さらに高感度の探索を行える可能性を持っている。

現在研究しているのは、検出器の識別によるバックグラウンド除去である。ニュートラリーノ由来のシグナルの見えない現状では、バックグラウンドを一桁下げることが、制限を一桁きつくすることを意味している。我々は、2005 年の実験のバックグラウンドは、検出器内外からの γ 線であると推測し、 γ 線による電子反跳現象と、ニュートラリーノなどによる原子核反跳現象を識別する方法を、模索している。

識別方法として考えているのは、波形識別と波長識別の二つである。波形識別は、シンチレーション光の減衰時間を用いて識別する方法であり、他のグループでも、さかに行われている手法である。これまでは、 CaF_2 では波形識別は難しいと考えられていた。しかし、我々は、波形から減衰時間を求めるアルゴリズムを改良し、数百 keV の高エネルギー領域に関しては、識別が可能であることを示すことができた。実際のニュートラリーノ探索実験では、数十 keV の領域が重要になるため、この識別を低エネルギー領域でも実現することが今後の課題である。

もう一つ別の方法として、波長識別という方法も考えている。これは、文字通り、シンチレーション光の波長によって識別する方法である。他のグループでは、まだほとんど研究されておらず、この手法の有効性は未知数である。我々は、30~70keV の領域で、電子反跳と原子核反跳とは違いがあることを確認した。今後は、この違いでどれだけバックグラウンドの除去が可能かを、見積もる予定である。

5.4 レーザー共鳴イオン化質量分析法による半導体ウエハ表面汚染評価技術の開発

近年の産業技術の発展と並行して、生体・材料分析や環境科学など幅広い分野で微量物質の評価技術の重要性が目立ってきている。この中で、半導体デバイスの高密度化・微細化とともに必要性が増してきている半導体ウエハ表面の極微量な不純物に対する汚

染評価に着目し、レーザー共鳴イオン化質量分析法 (RIMS: Resonance Ionization Mass Spectrometry) を用いた新しい汚染評価手法の開発を試みている。RIMS はレーザー共鳴イオン化による元素の選択性と質量分析による同位体識別をセットにした微量元素分析手法であり、原子番号 Z と質量数 A を決定することで特定の原子のみを検出するものである。

ウエハ表面の既存の汚染評価手法には主に全反射蛍光 X 線分析と誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS) があり、微量物質の検出限界という点では ICP-MS が優れている。しかし、ICP-MS では質量分析しか行わないため、同量体や等質量の分子による干渉が検出限界に大きな影響を与えていると考えられる。

RIMS による汚染評価はウエハ表面から汚染物質を回収する前処理、得られた試料の真空中への導入、RIMS による検出という流れで行う。前処理及び質量分析を行う点で ICP-MS と共通点も多いが、試料のイオン化にレーザーを用いて元素の選択を行うとともに測定系の真空度を低く抑えることでバックグラウンドを大幅に減らし、検出限界改善につながるかと考えている。

本年度は、共鳴イオン化を行いやすく、また ICP-MS での検出限界が他元素に比べて相対的に劣っているカリウム元素について、(図 5.2) のセットアップで RIMS による微量分析を行った。用いたレーザーは波長 404nm 共鳴励起用の波長可変 CW 外部共振器型半導体レーザーとイオン化用の 808nm 高出力 (3W 程度) 半導体レーザーの 2 本で、試料の炭酸カリウム粉末をるつぼで 900 度程度まで加熱して解離した気体のカリウム原子を RIMS により検出した。検出効率は熱電子によるイオン化と比較することで、 $\sim 10^{-7}$ と得られた。また、共鳴励起用の 404nm レーザーは線幅が狭く $^{39}\text{K}/^{41}\text{K}$ 同位体間の僅かな共鳴励起波長の違いも観測した。

今後は、808nm レーザーとして産業用の 100W 程度のハイパワーレーザーを用いることで測定セットアップを殆ど変えずに効率を 1-2 桁改善させ、前処理からの一連の流れにより RIMS による汚染評価の有効性を検証していく予定である。

この開発研究は、将来的には元素・質量分析によるニュートラリーノ検出器としての使用を目指したものである。

5.5 原子炉ニュートラリーノモニター

原子炉格納容器の外側に置いて、原子炉の熱出力あるいは核燃料の燃焼状況などの運転状況をモニターする装置を開発している。核分裂反応に伴って放出される反電子ニュートラリーノをプラスチックシンチレータにより検出し、その検出率とエネルギースペクトルにより原子炉の運転状況をモニターする。ニュートラリーノは炉心から格納容器の外側までほとんど素通りするので、通常の放射線のほとんどない人間の作業する場所でもモニター可能である。

一般に原子炉ニュートラリーノを検出するには、ガドリニウムをとかし込んだ有機液体シンチレータを使

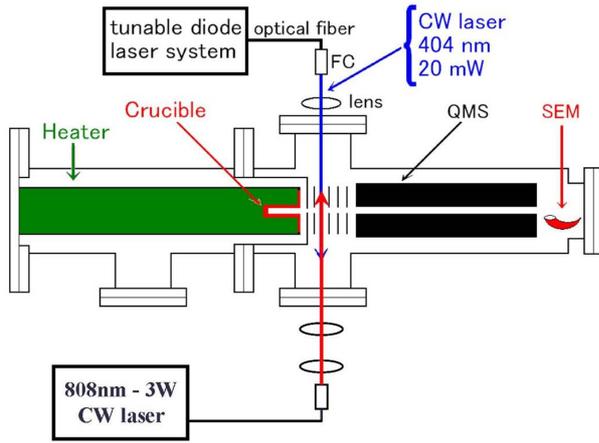


図 5.2: 2本のレーザーを用いた微量カリウム原子検出

う。図 5.3 に示すように、入射してきた反電子ニュートリノ ($\bar{\nu}$) は、シンチレータ中に含まれる陽子 (p) と逆ベータ反応を起こし、陽電子 (e^+) と中性子 (n) が生成される。陽電子は短距離を走った後にシンチレータ中の電子と対消滅して2本の γ 線となり、中性子はシンチレータ中を徘徊しながら減速してガドリニウム (Gd) に吸収されて複数の γ 線を放出する。最終的にこれらの γ 線は、コンプトン散乱等によりシンチレータで遅延同時計数法により検出される。また、ニュートリノは反応断面積が小さいため、統計を貯めるためには大型の検出器を必要とする。統計の少なさを補うためには、検出器を原子炉近傍に設置すればよい。そこで、われわれは1トン程度の、小型のニュートリノ検出器の開発に取り組んでいる。

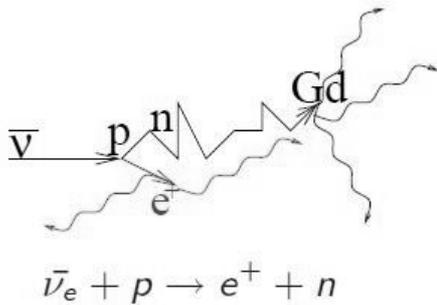


図 5.3: 反電子ニュートリノ検出の仕組み

原子炉近傍に検出器を持ち込むに当たっての問題点の一つは、有機液体が可燃性液体であることである。このことは、とくに商業用原子炉 (原子力発電所) に設置するとき問題となりうる。

これに対して、われわれは有機液体シンチレータのかわりにプラスチックシンチレータを使用して回避しようとしている。プラスチックシンチレータは確立した技術により、性能が均質で寸法の大きなものが市販されている。ガドリニウムは中性子を吸収して、環境放射能と区別可能な γ 線を放出するため、ニュートリノ検出には重要な役割を果たす。このガドリニウムの組み込み方が問題となるが、図 5.4 に示すようなセグメント化したプラスチックシンチレータの間にガドリニウム層をはさむ構造でも、液体シンチレータにガドリニウムをとかし込んだものと同様な性能が得られることが、コンピュータシミュレーションから判明している。検出効率は、大雑把な計算ではあるが1.5~3割程度と見積もっている。また検出率は、熱出力3GWの原子炉から30メートル程度に配置した場合で、一日あたり200~400個を検出することができる。

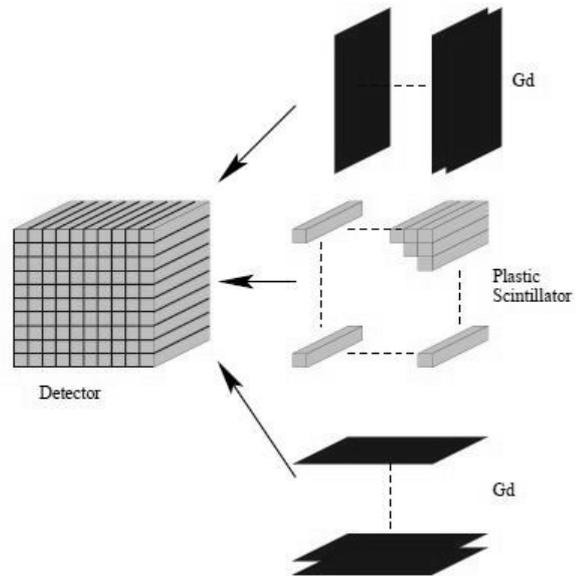


図 5.4: セグメント化したプラスチックシンチレータによる原子炉ニュートリノモニター

プラスチックシンチレータを用いる場合、セグメント化は必ずではあるが、いくつかの従来の大型検出器にはない利点がある。本年度は1セグメントにあたる10cm×10cm×100cmのプラスチックシンチレータの性能調査もおこない、長手方向には5cm程度の位置分解能が得られることがわかった。この位置分解能は一般的な検出器に比べてかなりよく、SN比を上げられると考えている。

また、プラスチックシンチレータを用いることにより、可搬性が向上し、前述の様に設置出来る場所がひろがる。期待される応用の一つは、IAEA (国際原子力機関) によるNPT (核兵器不拡散条約) 締約

国の原子力活動の監視に用いることである。たとえば原子炉の運転によりプルトニウムができるが、プルトニウムは核兵器の原料となる。ウラン 235 の燃焼とプルトニウム 239 の燃焼によるニュートリノのスペクトルは異なるため、プルトニウムの生成量をニュートリノスペクトルから見積もることが出来る。原子炉以外の代用のニュートリノ源を用意することは困難であり、また原子炉からのニュートリノを遮蔽することも出来ないため、小型反電子ニュートリノ検出器は、新しい原子力活動の監視の方法となりうると考えている。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Y. Iwata, Y. Inoue, M. Minowa: A new method of alpha ray measurement using a Quadrupole Mass Spectrometer, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 577 (2007) 619–622.

(会議集録)

- [2] 岩田圭弘: レーザー共鳴イオン化質量分析法を用いた半導体ウエハ表面汚染評価技術の開発、東京大学 21 世紀 COE プログラム拠点「極限量子系とその対称性」シンポジウム 2007 概要集 p.27.
- [3] 太田良介: 第三期太陽アクシオン探索、東京大学 21 世紀 COE プログラム拠点「極限量子系とその対称性」シンポジウム 2007 概要集 p.52.

(国内雑誌)

- [4] 蓑輪 眞: 暗黒物質の直接探索、パリティ Vol.22 No.11 (2007) 33–37.

(学位論文)

- [5] 秋本祐希: Search for solar axions with mass around 1eV using coherent conversion of axions into photons、平成 20 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。
- [6] 中田量子: 小型反電子ニュートリノ検出器の開発、平成 20 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。
- [7] 水本哲矢: アクシオン探索実験について、平成 20 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)

一般講演

- [8] Y. Inoue, M. Minowa, Y. Akimoto, R. Ota, T. Mizumoto, A. Yamamoto: Status report of the Tokyo axion helioscope, International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP) 2007, 11 September 2007, Sendai, Japan.

(国内会議)

一般講演

- [9] 井上慶純: みのわ研報告、RESCEU-DENET 共催「第 7 回 宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会・‘Dark Energy in the Universe’ サマースクール、箱根、2007 年 9 月 1 日。
- [10] 水本哲矢: 第三期太陽アクシオン探索実験 1、日本物理学会第 62 回年次大会、北海道大学 2007 年 9 月 23 日。
- [11] 太田良介: 第三期太陽アクシオン実験 2、日本物理学会第 62 回年次大会、北海道大学 2007 年 9 月 23 日。
- [12] 秋本祐希: 第三期太陽アクシオン探索実験 3、日本物理学会第 62 回年次大会、北海道大学 2007 年 9 月 23 日。
- [13] 岩田圭弘: レーザー共鳴イオン化質量分析法を用いた半導体ウエハ表面汚染評価技術の開発、日本物理学会第 62 回年次大会、北海道大学 2007 年 9 月 22 日。
- [14] 中田量子: 小型反電子ニュートリノ検出器のための棒状プラスチックシンチレータの性能評価、日本物理学会第 62 回年次大会、北海道大学 2007 年 9 月 21 日。
- [15] 小栗秀悟: 無機結晶シンチレータによる暗黒物質とバックグラウンドの識別、日本物理学会第 62 回年次大会、北海道大学 2007 年 9 月 23 日。
- [16] 岩田圭弘: レーザー共鳴イオン化質量分析法を用いた半導体ウエハ表面汚染評価技術の開発、東京大学 21 世紀 COE プログラム拠点「極限量子系とその対称性」シンポジウム 2007、東京大学小柴ホール 2007 年 11 月 15 日。
- [17] 太田良介: 第三期太陽アクシオン探索、東京大学 21 世紀 COE プログラム拠点「極限量子系とその対称性」シンポジウム 2007、東京大学小柴ホール 2007 年 11 月 13–15 日。
- [18] 小栗秀悟: CaF₂ や NaI などの PSD やその他の識別方法について、第 14 回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 2008 年 2 月 19 日。
- [19] 岩田圭弘: レーザー共鳴イオン化質量分析法を用いた半導体ウエハ表面の金属汚染評価手法の開発、日本物理学会第 63 回年次大会、近畿大学 2008 年 3 月 26 日。
- [20] 太田良介: 第三期太陽アクシオン探索におけるヘリウム密度について、日本物理学会第 63 回年次大会、近畿大学 2008 年 3 月 23 日。
- [21] 秋本祐希: 第三期太陽アクシオン探索実験、日本物理学会第 63 回年次大会、近畿大学 2008 年 3 月 23 日。
- [22] 水本哲矢: アクシオン探索実験について、日本物理学会第 63 回年次大会、近畿大学 2008 年 3 月 26 日。
- [23] 中田量子: 小型反電子ニュートリノ検出器のためのシミュレーションおよび棒状プラスチックシンチレータの性能評価、日本物理学会第 63 回年次大会、近畿大学 2008 年 3 月 24 日。
- [24] 小栗秀悟: CaF₂ と NaI による暗黒物質とバックグラウンドの識別、日本物理学会第 63 回年次大会プログラム、近畿大学 2008 年 3 月 23 日。

(セミナー)

- [25] 袁輪 眞：暗黒物質探索実験、2007 年度 原子核三者若手夏の学校、パノラマランド木島平、2007 年 8 月 20 日.

6 銀河と宇宙構造の研究

——銀河と宇宙構造の研究—— (岡村)

6.1 高赤方偏移銀河と大構造の研究

多色の深いデータに基づく遠方の重い銀河の探査

里見滋の課題研究. 宇宙の星質量密度は $z = 6$ 程度まではかなり調べられているが, $z > 6$ にはほとんどデータがない. そこで本研究では Subaru Deep Field の可視から中間赤外の広くて深い撮像データを使って, 静止系可視での $z > 6$ の銀河探査を行ない, 星質量密度の見積りを試みた. 星質量の推定には静止系可視のデータが欠かせない. まず, 540 平方分の天域にある $[3.6] < 23.8$ の全天体から $z' - [3.6]$ vs $K - [3.6]$ という二色図を使って $z > 6$ の銀河候補を選び出した ($[3.6]$ は Spitzer/IRAC の $3.6\mu\text{m}$ バンドの等級). しかし, こうして選んだ候補には $z \sim 1-2$ 付近のダスト吸収の強い星形成銀河も混じっている可能性があるため, Spitzer/MIPS $24\mu\text{m}$ のデータも援用し, $24\mu\text{m}$ で受かっているものは $z \sim 1-2$ のダスト吸収の強い星形成銀河と見なして候補から除いた. その結果 3 個の候補天体が残った. これら 3 個を用いて $z \sim 6$ の静止系 B バンド光度関数を求めたところ, $z = 0, 3$ のものと誤差の範囲で同じであった. 最後に $z \sim 6$ の星質量密度を求めたところ, $\sim 1 \times 10^6$ ($\text{Mpc}^3 M_\odot$) が得られた. これは現在の宇宙の値の 1% 以下である. ただし, 3 個の候補天体も $z \sim 1-2$ のダスト吸収の強い星形成銀河である可能性は捨てきれないので, ここで求めた光度関数と星質量密度は上限値と見なすべきである.

赤方偏移 $z \sim 4-5$ の Lyman-break 銀河 (LBGs) のクラスタリングの性質

M. A. Malkan, C. Ly (UCLA), Subaru Deep Field プロジェクトとの共同研究. Subaru Deep Field で見つかった $z \sim 4$ と $z \sim 5$ の LBGs のクラスタリングの性質を調べた. この領域における Spitzer/IRAC による中間赤外観測データを基に, クラスタリング強度を中間赤外光度 (銀河の星質量に対応) の関数として求めた結果, $z \sim 4, z \sim 5$ の双方とも中間赤外光度が大きい銀河ほど強くクラスタリングしていることが分かった. この結果は, 星質量の大きい銀河ほど重いダークハローに属していることを示唆している. この研究と Subaru/XMM-Newton Deep Field

における同様の研究は, ダークハローの中での星形成の過程を解明する重要な手掛かりとなる. [9]

赤方偏移 $z \sim 3$ の Lyman-break 銀河 (LBGs) のクラスタリングの性質

関口和寛, 古澤久徳 (国立天文台), 大内正己 (Carnegie Institution) らとの共同研究. Subaru/XMM-Newton Deep Field で見つかった $z \sim 3$ の LBGs のクラスタリングの性質を詳細に調べ, 銀河の性質と銀河が属するダークハローの質量との関係を考察した. クラスタリング強度について, 近赤外光度 (銀河の星質量に対応) と可視光光度 (銀河の星形成率に対応) への依存性を調べた結果, どちらか一方の光度が明るい場合はもう一方の光度に依らずクラスタリング強度は大きいものに対し, どちらか一方の光度が暗い場合はもう一方の光度が暗くなるにつれてクラスタリング強度が小さくなることが分かった. これらの結果は, 銀河の星質量と星形成率の上限には銀河が属するダークハローの質量との相関があり, 重いダークハローでは上限が大きいことを示唆している. [19],[21]

$z = 3.1$ と 3.7 のライマン・アルファ輝線銀河 (LAEs) の星の種族の研究

大内正己 (OCIW), 秋山正幸 (国立天文台) らとの共同研究. LAEs は高赤方偏移宇宙に数多く発見されている銀河種族である. 静止系紫外光の波長帯での性質から, 若くてダストや金属量が少なく, 質量も小さい星形成銀河であると考えられているが, その基本的な性質はまだよくわかっていない. そこで我々はまず, UKIDSS/Ultra Deep Survey (UDS) によって取得された Subaru/XMM-Newton Deep Field (SXDF) における広視野の近赤外撮像データ (J, H, K) を用いて, $z = 3.1$ と 3.7 の LAEs の近赤外測光を行なった. 観測領域に見つかった LAEs のうち, $z = 3.1$ で 7 個 (/224 個中), $z = 3.7$ で 6 個 (/78 個中) の LAEs が K バンドで検出された. そして, これら 13 個の LAEs と残りの LAEs のメジアンスタック天体について, 可視撮像データ (R, i', z') を加えて spectral energy distribution のモデルフィッティングを行ない, 星の種族 (星質量や年齢, ダスト量) を調べた. その結果, 大部分の LAEs は星質量が $108-109M_\odot$ 程度と小さく, 年齢は極めて若く, ダスト量は LBGs と同程度であるが, 中には, $10^{11}M_\odot$ を越えており, 年齢が高く, 極めてダスト量の多い銀河も存在していることがわかった. [10],[20]

すばるの MOIRCS を用いた BzK 銀河の近赤外分光観測

本原顕太郎, 内一・勝野由夏 (天文学教育研究センター), 小野寺仁人 (Yonsei Univ.), 柏川伸成 (国

立天文台)らとの共同研究. BzK 銀河は $B - z$ vs $z - K$ を利用して選出される赤方偏移 $z \sim 2$ の銀河である. この選出法の特長は, K バンド等級がある限界値より明るいほぼ全ての $z \sim 2$ の銀河について, 上記の 2 色に基づいて, 星形成しているものと星形成していない赤いものとに分離して選出可能なことである. 我々は, すばる望遠鏡の近赤外多天体撮像分光装置 (MOIRCS) を使って, Subaru Deep Field (SDF) の BzK 銀河サンプルの中から, 44 個の BzK 銀河の $0.9 - 2.3 \mu\text{m}$ のスペクトルを取得した. そのうち 15 個の星形成 BzK 銀河で輝線を検出し, その輝線を用いて, 正確な赤方偏移や星形成率や金属量を調べた. 得られた赤方偏移分布は, 予想とは異なり $z \sim 2$ にピークを持たず, より近傍の星形成銀河もわずかに選出されていることがわかった. 単位星質量あたりの星形成率と銀河の星質量は負の相関を示し, 星質量の小さい BzK 銀河ほど質量成長が大きいことがわかった. また, 星質量の大きな BzK 銀河ほど, 金属量が大きい傾向がありそうである.

SDF における K -detected 天体の中間赤外カタログ

本原顕太郎 (天文学教育研究センター), C. Ly, M.A. Malkan (UCLA) らとの共同研究. Spitzer 宇宙望遠鏡に搭載されている赤外線カメラ IRAC を使って, Subaru Deep Field (SDF) の深い赤外撮像観測を行った (PI: M. A. Malkan). この IRAC データの Point Spread Function は可視や K 画像に比べてかなり広がっているため, 隣接する天体どうしが重なり合ってしまう場合が多々ある. 我々は, 重なり合った銀河どうしをきちんと分離し, 精度よく測光した. これまでの IRAC データを使った研究では, 重なりあった天体は使われないことが多かったのて, 我々の中間赤外カタログは非常に有用である.

SDF における BzK 銀河のクラスタリングの性質

本原顕太郎 (天文学教育研究センター), 柏川伸成 (国立天文台) らとの共同研究. 2007 年 3 月に, イギリス赤外望遠鏡の近赤外広視野カメラ (WFCAM) を使って, SDF の K バンド撮像追観測を行った (次項も見よ). この観測により, SDF 全面の K バンドデータが得られた. そして, SDF の BzK 銀河サンプルを K バンド光度ごとに分け, BzK 銀河の角度二体相関関数の K バンド光度依存性について調べた. 我々の測定した星形成 BzK 銀河のクラスタリング強度は, 先行研究である Kong et al. (2006) や Hayashi et al. (2007) とあまり一致しない. BzK 銀河のクラスタリング強度の K バンド光度依存性は強くなさそうである. しかし, 我々の結果は先行研究と比べて広視野のデータを使っているため信頼度は高いが, 明るい BzK 銀河のクラスタリング強度は不確実性がまだ大きいので, 結果の解釈には注意が必要である.

[5]

UKIRT/WFCAM によるすばるディープフィールドにおける $z = 1 - 2$ での銀河進化の観測的研究

本原顕太郎 (天文学教育研究センター), 柏川伸成, 児玉忠恭 (国立天文台) らとの共同研究. 2007 年 3 月に得られたデータにより, K 画像と可視画像とのオーバーラップは 700 平方分を越えた. 各場所での K 画像の積分時間は 300 分で, 限界等級は 22 mag 近くにまで到達している ($S/N = 5$, $2''$ アパーチャー). K バンドで検出された天体数は 22937 個だった. このカタログを用いて $z = 1 - 2$ での銀河形成の様子を探るため, star-forming BzK (sBzK) 6908 個, passive BzK (pBzK) 278 個を検出し, 次の解析を進めている.

BzK の赤方偏移分布

Hyper- z を用いて photometric redshift による赤方偏移分布を調べたところ, sBzK, pBzK はそれぞれ $z = 1.4 - 2.6$, $1.0 - 2.2$ の銀河を良くサンプルしていることが明らかになった. 特に, sBzK は上記範囲にあるほぼすべての銀河を含むことから, この赤方偏移レンジの銀河の良いトレーサであると考えられる. また, sBzK, pBzK ともに赤方偏移分布に強い等級依存性は見られなかった.

sBzK のスペクトルのモデルフィッティング

sBzK は $z = 1.5 - 2.5$ の starburst 的な銀河の良いトレーサであると考えられている. 特にその選出条件はダスト吸収の影響を受けにくいのが特徴である. その性質を探るため, sBzK の spectral energy distribution (SED) のモデルフィッティングを行った. その結果, 星質量は $10^9 - 10^{12} M_{\odot}$, ダスト吸収量は $E(B - V) = 0.2 - 0.6$, 年齢も 100 Myr - a few Gyr と大きくばらつくことが明らかになった.

pBzK のスペクトルのモデルフィッティングと光度関数

pBzK は $z = 1 - 2$ の passive な銀河の良いトレーサであると考えられている. そこで, pBzK の SED モデルフィッティングを行った. その結果, continuous burst モデルよりも single burst モデルで良く再現されるとともに, ダスト吸収は少なく, 年齢も 1 Gyr を越えることがわかった. さらに, このモデルフィットの結果から静止波長で $2 \mu\text{m}$ での光度関数を描いたところ, $K = -23$ mag 付近で折れ曲りが生じ, 同じ赤方偏移で $U - B$ の赤い銀河に比べて大幅に少なくなっていることが示唆されている. この等級はおよそ $10^{11} M_{\odot}$ 以下の星質量に対応しており, passive な銀河の形成は重いものから進んでいくという downsizing 形成シナリオを強く示唆するものである.

最後に蛇足ではあるが, 2005 年, 2007 年に引き続き, 2008 年 3 月に UKIRT/WFCAM による K バンドの撮像観測を試みたものの, 悪天候のためにデータを新しく得ることはできなかった.

NRO 45m 鏡による SDF-26821 ($z = 2.044$) の CO(3-2) 輝線観測

伊王野, 本原, 田村, 廿日出, 河野 (天文学教育研究センター), 長尾 (国立天文台), M. A. Malkan, C.

Ly (UCLA) らとの共同研究. $z = 2 - 3$ は宇宙の星形成率がほぼピークを迎える時期であり, 銀河形成を研究する上で非常に重要である. そこで我々は, BzK の手法によって選定された銀河, SDF-26821 ($z = 2.044$) に着目し, NRO 45m を使って同銀河における CO(3-2) 輝線の観測を行った. SDF-26821 はこの時代における典型的な星形成銀河であり, H α 輝線強度から推定される星形成率が $550 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ と非常に高く, 星形成の材料である分子ガスも周囲に大量に存在していると期待される. 今回は天候の都合上オンソースで 3 時間弱の短い観測であったため, 有意な検出には至らなかった (10 km s^{-1} 分解能で $\text{rms} = 2.3 \text{ mK}$). これは, CO-H $_2$ 変換係数 $= 0.8 M_{\odot} (\text{K km s}^{-1} \text{ pc}^2)^{-1}$ を使い, FWHM $= 200 \text{ km s}^{-1}$ を仮定すると, 2σ 上限値が $M_{\text{H}_2} = 5 \times 10^{10} M_{\odot}$ となる. 今後は 45m や干渉計を使った同様の観測を行うことによって, 宇宙初期の典型的な星形成銀河の分子ガスについての理解を深めていく予定である.

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

斉藤 (愛媛大学), 大内 (カーネギー天文台), 秋山 (国立天文台), 上田 (JAXA) との共同研究. Subaru/XMM-Newton Deep Field において発見された, $3.24 \leq z \leq 4.95$ にある空間的に広がった Lyman α 輝線天体 41 個のうち 18 天体について, VLT/VIMOS を用いた深い高分散分光観測を行った. この結果, 18 天体すべてが非常に大きな Ly α 輝線等価幅を示すことが分かった. このうち特に 6 天体は, 通常の星形成では説明のつかない, 200 \AA (静止系) を越える等価幅を持っていた. 6 天体のうち 1 天体では, 70 kpc にわたって広がる輝線成分があり, 銀河風的な速度構造を顕著に示していた. 残り 5 天体は, 明らかな速度構造は持っておらず, また Ly α 輝線光度と輝線速度幅の間に正の相関を示していた. こうした相関関係は, これらの天体が, 銀河形成最初期におけるガス降着の段階にある可能性を示唆している. [17]

6.2 銀河進化と環境効果

「あかり」による RXJ1716 銀河団 ($z = 0.81$) の重点観測

我々は「あかり」衛星搭載の赤外線広視野カメラ (IRC) を用いて, 近赤外線から中間赤外線での遠方銀河団とその周辺環境の調査を行っている. 我々は特に, 北黄極付近に位置する銀河団 RXJ1716 ($z = 0.81$) が「あかり」から観測しやすいことに注目し, この銀河団を 3 ミクロン, 7 ミクロン, 15 ミクロン帯で広く深い撮像を行うことに成功した. すばる望遠鏡によってすでに取得している可視光多色バンドのデータと合わせて, これらのデータを詳細に解析したところ, 15 ミクロン帯で検出されるようなダストを伴う星形

成銀河が, 銀河団コアの周縁部や銀河群といった中間的な密度の環境に好んで存在していることを発見した. また, 可視光では赤い色を示す銀河にも 15 ミクロンで輝くものが複数あることを発見した. これらはダストの影響を強く受けた星形成銀河である可能性が高く, 注目される. さらに興味深いことに, これらのダスティーな星形成銀河の候補は, ほぼ例外なく銀河団周囲のフィラメントに沿った領域に存在していることも分かった. これらの結果は銀河群/フィラメント環境において何らかの物理プロセスがはたらき, 銀河の星形成活動が止まる前に一度活動が活発化していることを示唆する. 銀河群やフィラメント内のような環境は, これまでの可視光での観測からも赤い銀河の割合が急激に上昇しはじめる環境であると注目されていた. 銀河進化を考える上でこれらの環境は今後ますます重要になるだろう. [7]

局部銀河群の矮小楕円体銀河 Leo II の星形成史の研究

小宮山裕 (国立天文台), 八木雅文 (国立天文台) らとの共同研究. すばる望遠鏡の広視野カメラ Suprime-Cam を用いて Leo II 銀河の撮像観測を行い, 銀河内の色々な場所での星の年齢を推定した. その結果, この銀河では, 約 80 億年前に銀河全域で星生成活動が起こったが, 外側から次第にその活動が止まって星生成領域は中心に向かって縮小し, 約 40 億年前までにはほとんど星生成活動がやみ, 現在ではごく狭い中心領域のみで星が生まれていることが示唆された. [6]

赤方偏移 $z = 0.24$ における宇宙の中性水素 (HI) ガス含有量の測定

Lah, P (オーストラリア国立大学) らとの共同研究. すばる望遠鏡による H α 輝線銀河探査で検出された $z = 0.24$ (約 30 億年昔) の銀河の HI ガスを Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT) を用いて観測し, 宇宙のこの時点での HI ガスの平均密度を求めた. 求めた値, $\Omega_{\text{gas}} = (0.91 \pm 0.42) \times 10^{-3}$ は damped Ly α system からの推定値とほぼ合致する. この値は, HI ガスの直接観測から求められたものとしては最遠方のものである. [8]

COSMOS プロジェクトの推進

谷口義明 (愛媛大), Scoville (Caltech) らとの共同研究. COSMOS (The Cosmic Evolution Survey) プロジェクトは, 赤方偏移 $z > 0.5 - 6$ にわたって, 大規模構造との関連で, 星生成活動, 活動銀河核, ダークマター分布など銀河の進化がどのように起こったのかを解明するプロジェクトである. 2 平方度をハッブル宇宙望遠鏡 (HST) の ACS (Advanced Camera for Surveys) で撮影し, すばる, VLA, VLT, XMM-Newton, UKIRT など多くの地上望遠鏡が協力して,

多波長のデータを取得する。10ヶ国以上の国から100人を越える研究者が参加する国際共同研究であり、全体のPIはNick Scoville、日本グループのPIは谷口義明である。HSTのACSによる撮像はIバンド一色であるため、すばるのSuprime-Camによる可視光域の多色撮像データは研究遂行に必須のものとなっている。[11],[14]

銀河に附随する巨大な直線上フィラメントの発見

八木雅文(国立天文台)らとの共同研究。かみのけ座銀河団をH α 狭帯域撮像した画像中に、偶然巨大な直線状フィラメントを発見した。それは、ポストスターバースト銀河D100から長さ約60 kpc(幅は僅か2 kpc)にわたって直線状に伸びるH α で光っているフィラメントで、極めてまれな現象である。マージングの途上で銀河から引き出されたガス、あるいはram pressureでD100から剥ぎ取られたガスの可能性を検討したが、いずれも難点があり、その成因は不明である。[15]

6.3 銀河に属さない惑星状星雲

銀河団中の銀河間空間にある惑星状星雲の研究

安田直樹(宇宙線研究所)、柏川伸成(国立天文台)、Gerhard, O.(マックスプランク研究所)、Arnaboldi, M.(トリノ天文台)、Freeman, K.C.(ストロムロ山天文台)との共同研究。銀河団中で、特定の銀河に属さず銀河間空間に存在する星の種族がある。この銀河間空間種族の星の性質と起源を明らかにするためには、銀河間空間にある惑星状星雲を利用するのが極めて有効である。我々は現在、かみのけ座銀河団を対象として研究を進めている。今年度は、これまでの観測で検出された惑星状星雲の全てをカタログにまとめた。それらの運動学的な解析から、かみのけ座銀河団が現在二つのサブクラスターが合体している最中であることの示唆を得た。また、木曾観測所のシュミット望遠鏡の広視野カメラを用いて、銀河間空間種族の淡い光を直接検出するための深い撮像観測を開始した。[2],[4]

6.4 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)赤道帯の銀河形態分類カタログの作成

福来正孝(宇宙線研究所)らとの共同研究。SDSSの赤道帯にある明るい($r < 16$ mag)銀河2253個について、伝統的な眼視検査により形態分類を行いカタログにまとめた。このカタログは、今後SDSSの大

規模な銀河サンプルに対して、形態の頻度分布、形態と色や輝度分布の中心集中度などの物理量との相関を調べる上で基準となるものである。[1],[3],[18]

6.5 機器開発

すばる望遠鏡 Suprime-Cam 用グリズム分光装置の開発

土居守(天文学教育研究センター)、小宮山裕、古澤久徳(国立天文台)、谷口義明(愛媛大)、山室智康(オプトクラフト)らとの共同研究。我々はすばる望遠鏡 Suprime-Cam のほぼ全視野をカバーする低分散グリズムを開発している(詳細は2006年度の年次報告を参照)。今年度は長波長用グリズム(6250Å – 8250Å)を完成させ、2007年4, 6, 8月に試験観測、11月に共同利用による本観測を行なった。本観測で観測した天域はSubaru/XMM-Newton Deep Fieldである。これらのデータを使って性能評価を行ない、設計通りの性能が出ていることを確認した(大野の課題研究)。本観測データの科学的解析は現在進行中である。また、短波長用グリズムは完成間近であり、2008年の試験観測を予定している。

すばる望遠鏡 Suprime-Cam 用長波長グリズムの性能評価

大野貴博の課題研究。上記の長波長用グリズムの性能評価を、2007年8月に行なわれたSXDFにおける試験観測データなどを用いて行なった。評価項目は、1次光に対する他次光の強度(本観測では1次光を用いるので、他次光がどの程度強いかは、周囲の天体からの他次光のcontaminationの評価に重要である)、波長決定精度(波長を0次光からの位置の関数で表したときの精度)、結像性能、分光透過率の4点である。詳細な解析の結果、これら4点の性能はすべて仕様通りであり、本観測に問題なく使用できることが確認された。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Adelman-McCarthy, J. K., Agueros, M. A., Allam, S. S., Anderson, K. S. J., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., Bailer-Jones, C. A. L., Baldry, I. K., Barentine, J. C. & 144 coauthors including Okamura, S. & Shimasaku, K. 2007, "The Fifth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey", *Ap. J. Suppl.*, **172**, 634-644.
- [2] Arnaboldi, M., Gerhard, O., Okamura, S., Kashikawa, N., Yasuda, N., Freeman, K. C. 2007, "Multi-Slit Imaging Spectroscopy Technique: Catalog of Intracluster Planetary Nebulae in the Coma Cluster" *Publ. Astr. Soc. Japan*, **59**, 419-425.

- [3] Fukugita, M., Nakamura, O., Okamura, S., Yasuda, N., Barentine, J. C., Brinkmann, J., Gunn, J. E., Harvanek, M., Ichikawa, T., Lupton, R. H., Schneider, D.P., Strauss, M., York, D.G. 2007, "A Catalog of Morphologically Classified Galaxies from the Sloan Digital Sky Survey: North Equatorial Region" *A. J.*, **134**, 579-593.
- [4] Gerhard, O., Arnaboldi, M., Freeman, K. C., Okamura, S., Kashikawa, N., Yasuda, N. 2007, "The kinematics of intracluster planetary nebulae and the on-going subcluster merger in the Coma cluster core" *Astr. Ap.*, **468**, 815-822.
- [5] Hayashi, M., Shimasaku, K., Motohara, K., Yoshida, M., Okamura, S., Kashikawa, N. 2007, "Luminosity-Dependent Clustering of Star-forming BzK Galaxies at Redshift 2", *Ap. J.*, **660**, 72-80.
- [6] Komiyama, Y., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Imi, K., Kimura, M., Miyazaki, S., Nakata, F., Okada, N., Okamura, S., Ouchi, M., Sekiguchi, M., Shimasaku, K., Yagi, M., Yasuda, N. 2007, "Wide-Field Survey around Local Group Dwarf Spheroidal Galaxy Leo II: Spatial Distribution of Stellar Content", *A. J.*, **134**, 835-845.
- [7] Koyama, Y., Kodama, T., Tanaka, M., Shimasaku, K., Okamura, S. 2007, "Dependence of the build-up of the colour-magnitude relation on cluster richness at $z \sim 0.8$ ", *M. N. R. A. S.*, **382**, 1719-1728.
- [8] Lah, P., Chengalur, J. N., Briggs, F. H., Colless, M., de Propriis, R., Pracy, M. B., de Blok, W. J. G., Fujita, S. S., Ajiki, M., Shioya, Y., Nagao, T., Murayama, T., Taniguchi, Y., Yagi, M., Okamura, S. 2007, "The HI content of star-forming galaxies at $z = 0.24$ " *M. N. R. A. S.*, **376**, 1357-1366.
- [9] Ly, C., Malkan, M. A., Kashikawa, N., Shimasaku, K., Doi, M., Nagao, T., Iye, M., Kodama, T., Morokuma, T., Motohara, K. 2007, "The Luminosity Function and Star Formation Rate between Redshifts of 0.07 and 1.47 for Narrowband Emitters in the Subaru Deep Field", *Ap. J.*, **657**, 738-759.
- [10] Ouchi, M., Tokoku, C., Shimasaku, K., Ichikawa, T. 2007, "Exploring the Cosmic Dawn with Subaru Telescope", in ASP Conference Series, Vol. 379, *Cosmic Frontiers*, 47-56.
- [11] Sasaki, S. S., Taniguchi, Y., Scoville, N., Mobasher, B., Aussel, H., Sanders, D. B., Koekoer, A., Ajiki, M., Komiyama, Y., Miyazaki, S. & 19 coauthors including Okamura, S. 2007, "A Potential Galaxy Threshing System in the COSMOS Field" *Ap. J. Suppl.*, **172**, 511-517.
- [12] Takagi, T., Mortier, A. M. J., Shimasaku, K., Coppin, K., Pope, A., Ivison, R. J., Hanami, H., Serjeant, S., Clements, D. L., Priddey, R. S., Dunlop, J. S., Takata, T., Aretxaga, I., Chapman, S. C., Eales, S. A., Farrah, D., Granato, G. L., Halpern, M., Hughes, D. H., van Kampen, E., Scott, D., Sekiguchi, K., Smail, I., Vaccari, M. 2007, "The SCUBA HALF Degree Extragalactic Survey (SHADES) - V. Submillimetre properties of near-infrared-selected galaxies in the Subaru/XMM-Newton deep field", *M. N. R. A. S.*, **381**, 1154-1168.
- [13] Takagi, T., Mortier, A. M. J., Shimasaku, K., Coppin, K., Pope, A., Ivison, R. J., Hanami, H., Serjeant, S., Dunlop, J. S. 2007, "Sub-millimetre properties of massive star-forming galaxies at $z \sim 2$ in SHADES/SXDF", in IAU Symp, 235, *Galaxy Evolution Across the Hubble Time*, 429-429.
- [14] Taniguchi, Y., Scoville, N., Murayama, T., Sanders, D. B., Mobasher, B., Aussel, H., Capak, P., Ajiki, M., Miyazaki, S., Komiyama, Y., & 20 coauthors including Okamura, S. 2007, "The Cosmic Evolution Survey (COSMOS): Subaru Observations of the HST Cosmos Field" *Ap. J. Suppl.*, **172**, 9-28.
- [15] Yagi, M., Komiyama, Y., Yoshida, M., Furusawa, H., Kashikawa, N., Koyama, Y., & Okamura, S. 2007, "The Remarkable 60×2 kpc Optical Filament Associated with a Poststarburst Galaxy in Coma Cluster", *Ap. J.*, **660**, 1209-1214.
- [16] Yamanoi, H., Tanaka, M., Hamabe, M., Yagi, M., Okamura, S., Iye, M., Shimasaku, K., Doi, M., Komiyama, Y., Furusawa, H. 2007, "The Galaxy Luminosity Functions down to $M \sim -10$ in the Hydra I Cluster", *A. J.*, **134**, 56-63.
- [17] Saito, T., Shimasaku, K., Okamura, S., Ouchi, M., Akiyama, M., Yoshida, M., Ueda, Y. 2008, "Deep Spectroscopy of Systematically Surveyed Extended Ly α Sources at $z \sim 3 - 5$ ", *Ap. J.*, **675**, 1076-1094.
- [18] Adelman-McCarthy, J. K., Agueros, M. A., Allam, S. S., Allende Prieto, C., Anderson, K. S. J., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., Bailer-Jones, C. A. L., Baldry, I. K. & 153 coauthors including Okamura, S. & Shimasaku, K. 2008, "The Sixth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey" *Ap. J. Suppl.*, in press.
- [19] Furusawa, H., Kosugi, G., Akiyama, M., Takata, T., Sekiguchi, K., Tanaka, I., Iwata, I., Kajisawa, M., Yasuda, N., Doi, M., Ouchi, M., Simpson, C., Shimasaku, K., Yamada, T., Furusawa, J., Morokuma, T., Ishida, C. M., Aoki, K., Fuse, T., Imanishi, M., Iye, M., Karoji, H., Kobayashi, N., Kodama, T., Komiyama, Y., Maeda, Y., Miyazaki, S., Mizumoto, Y., Nakata, F., Noumaru, J., Ogasawara, R., Okamura, S., Saito, T., Sasaki, T., Ueda, Y., Yoshida, M. 2008, "The Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS) - II. Optical Imaging and Photometric Catalogs", *Ap. J. Suppl.*, in press.

- [20] Ouchi, M., Shimasaku, K., Akiyama, M., Simpson, C., Saito, T., Ueda, Y., Furusawa, H., Sekiguchi, K., Yamada, T., Kodama, T., Kashikawa, N., Okamura, S., Iye, M., Takata, T., Yoshida, M., Yoshida, M. 2008, “Evolution of Ly α Emitters from $z = 3.1$ to 5.7 in the 1 deg² SXDS Field: Luminosity Functions and AGN”, *Ap. J. Suppl.*, in press.
- [21] Yoshida, M., Shimasaku, K., Ouchi, M., Sekiguchi, K., Furusawa, H., Okamura, S. 2008, “The Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS) – VII. Clustering Segregation with Ultraviolet and Optical Luminosities of Lyman-Break Galaxies at $z \sim 3$ ”, *Ap. J.*, in press.
- (学位論文)
- [22] 吉田真希子, “Properties of Galaxies in the Early Universe from Multiwavelength Observation” (博士論文)
- [23] 小山佑世, “Panoramic and Multi-wavelength Study of Distant Galaxy Cluster RXJ1716($z = 0.81$) with Subaru and AKARI” (修士論文)
- (会議集録)
- (著書)
- [24] 岡村定矩 (分担執筆), 2008, 中村 士「宇宙観の歴史と科学」(10, 11 章), 放送大学印刷教材, 放送大学教育振興会.
- [25] 谷口義明, 岡村定矩, 祖父江義明編, 2007, 「銀河 I」(「シリーズ 現代の天文学」第 4 巻), 日本評論社.
- [26] 嶋作一大, 2007, 「銀河 I」(分担執筆)(「シリーズ 現代の天文学」第 4 巻), 日本評論社.
- [27] 嶋作一大, 2008, 「銀河進化の謎」(「UT Physics シリーズ」第 4 巻), 東京大学出版会.
- [28] 嶋作一大 訳, 丸善, パリテイ, 2007 年 6 月号 (vol. 22, No. 06) 「暗黒エネルギーは 100 億年前から宇宙に」 B. Schwarzschild
- [29] 岡村定矩, 柴橋博資 2006, 「理科年表」(天文部, 分担執筆), 丸善.
- < 学術講演 >
- (国際会議)
- 一般講演
- [30] Hayashi, M., Shimasaku, K., Motohara, K., Yoshida, M. Okamura, S. & Kashikawa, N.: “Luminosity-Dependent Clustering of Star-forming BzK Galaxies at Redshift 2”, *Galaxy growth in a dark Universe*, Heidelberg, Germany, 2007/7/16-20.
- [31] Hayashi, M., Motohara, K., Shimasaku, K., Onodera, M., Uchimoto, K. Y., Kashikawa, N. & Yoshida, M.: “Near infrared spectroscopy of BzK galaxies with Subaru/MOIRCS”, *The 1st Subaru International Conference: Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution*, Hayama, Japan, 2007/12/11-16.
- [32] Hayashi, M., Shimasaku, K., Motohara, K., Yoshida, M., Okamura, S., Onodera, M., Uchimoto, K. Y., Kashikawa, N. & Kodama, T.: “Properties of BzK Galaxies in the Subaru Deep Field”, *Korea-Japan galaxy evolution workshop*, Souel, Korea, 2008/2/21-23.
- [33] Hayashi, M., Shimasaku, K., Motohara, K., Yoshida, M., Okamura, S., Onodera, M., Uchimoto, K. Y., Kashikawa, N. & Kodama, T.: “Properties of BzK Galaxies in the Subaru Deep Field”, *Subaru-ASIAA Miniworkshop on Galaxies and Clusters of Galaxies*, Taipei, Taiwan, 2008/3/5-6.
- [34] Koyama, Y., Kodama, T., Tanaka, M., Shimasaku, K., & Okamura, S.: “Dependence on Cluster Richness of Building-up of the Colour-Magnitude Relation at $z = 0.8$ ”, *Galaxy Growth in a Dark Universe*, Heidelberg, Germany, 2007/7/16-20.
- [35] Koyama, Y., Kodama, T., & Shimasaku, K.: “Current Status of CLEVL Mid- z Clusters”, *AKARI Extragalactic MP Team Meeting*, Seoul, Korea, 2007/11/1-2.
- [36] Koyama, Y., Kodama, T., Tanaka, M., Shimasaku, K., Okamura, S., & AKARI CLEVL Team: “Panoramic and Multi-wavelength Study of the Distant Cluster RXJ1716 at $z = 0.81$ ”, *The 1st Subaru International Conference: Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution*, Hayama, Japan, 2007/12/11-16.
- [37] Koyama, Y., Kodama, T., Shimasaku, K., Okamura, S., & Tanaka, M.: “Environmental Dependence of Dusty Star Formation Activity in Galaxies at $z \sim 1$ ”, *Subaru-ASIAA Mini Workshop on Galaxies and Clusters of Galaxies*, Taipei, Taiwan, 2008/3/5-6.
- [38] Ono, Y., Shimasaku, K., Yoshida, M., & Okamura, S.: “Near Infrared Photometry of Lyman Alpha Emitters at $z = 3.1$ and 3.7 in the Subaru/XMM-Newton Deep Field”, *The 1st Subaru International Conference: Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution*, Hayama, Japan, 2007/12/11-16.
- [39] Shimasaku, K.: “Surveys of high- z galaxies with HSC”, *Cosmology with wide-field imaging surveys of galaxies*, Tokyo, Japan, 2007/6/7,8.
- [40] Yoshida, M., Shimasaku, K., Ouchi, M., Sekiguchi, K., Furusawa, H., & Okamura, S.: “Dependence of clustering strength on stellar mass and SFR for LBGs at $z \sim 3$ ”, *Galaxy growth in a dark Universe*, Heidelberg, Germany, 2007/7/16-20.
- [41] Yoshida, M., Shimasaku, K., Ouchi, M., Sekiguchi, K., Furusawa, H., & Okamura, S.: “Dependence of clustering strength on stellar mass and SFR for LBGs at $z \sim 3$ ”, *The 1st Subaru International Conference: Panoramic Views*

of Galaxy Formation and Evolution, Hayama, Japan, 2007/12/11-16.

招待講演

- [42] Okamura, S.: “Probing the History of Cluster Assembly by Intracluster Planetary Nebulae”, *The 1st Subaru International Conference: Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution*, Hayama, Japan, 2007/12/11-16.
- [43] Shimasaku, K., Hayashi, M., Motohara, K., Okamura, S., Yoshida, M. et al.: “Clustering of high-redshift galaxies from Subaru deep surveys”, *The 1st Subaru International Conference: Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution*, Hayama, Japan, 2007/12/11-16.

(国内会議)

一般講演

- [44] 岡村定矩: “アストロメトリ: 歴史と展望”, 「高精度アストロメトリ観測の時代を迎えた 21 世紀の天文学」, 国立天文台, 2007/9/19-20.
- [45] 小山佑世: “ $z \sim 0.8$ の時代に見る, 銀河進化と銀河団リッチネスの関係”, 2007 年度天文・天体物理若手の会夏の学校, レイクフォレストリゾート, 京都府相楽郡, 2007/8/1.
- [46] 小山佑世: “「あかり」による RXJ1716 銀河団 ($z = 0.81$) の中間赤外線深撮像”, 「ALMA 時代の銀河研究に向けた光赤外 ~ 電波の多波長共同戦略」研究会, 国立天文台野辺山宇宙電波観測所, 2007/10/11.
- [47] 小山佑世: “赤外線で見える $z \sim 1$ の宇宙の星形成活動”, 「銀河形成研究の最前線: 自称若手研究者のビジョン」研究会, 国立天文台三鷹, 2008/2/13.
- [48] 林将央: “Luminosity Dependent Clustering of Star-forming BzK Galaxies at Redshift 2”, 21 世紀 COE ‘極限量子系とその対称性’ シンポジウム 2007, 東京大学, 2007/11/13-15.
- [49] 林将央: “Properties of BzK Galaxies in the Subaru Deep Field”, NAOJ/IoA/PU workshop, 天文学教育研究センター, 2007/2/4.

(学会発表)

日本天文学会 2007 年秋季年会, 岐阜大学
(2007/09/26-28)

- [50] 小野宜昭, 嶋作一大, 吉田真希子, 岡村定矩: $z = 3.1, 3.7$ の Lyman α 輝線銀河の近赤外測光, X23b.
- [51] 小山佑世, 児玉忠恭 (国立天文台), 田中賢幸 (ESO), 嶋作一大, 岡村定矩: 「あかり」による RXJ1716 銀河団 ($z = 0.81$) の中間赤外線深撮像, X10b.
- [52] 林将央, 嶋作一大, 吉田真希子, 岡村定矩: MOIRCS を用いた BzK 銀河の近赤外分光観測, X15b.

日本天文学会 2008 年春季年会, 国立オリンピック記念
青少年総合センター (2008/03/24-28)

- [53] 小山佑世, 児玉忠恭 (国立天文台), 田中賢幸 (ESO), 嶋作一大, 岡村定矩, あかり CLEVL チーム (Hyung Mok Lee et al.): Mapping Dusty Star Formation in the Cluster Outskirts at $z = 0.8$ with AKARI, A15a.

< 一般講演など >

(一般講演)

- [54] 岡村定矩: 「宇宙の果てはどこまで見えたか」, 第 54 回全国中学校理科教育研究会岐阜大会, 長良川国際会議場, 2007/10/12.
- [55] 岡村定矩: 「東大における学際理工学」, 東大-JAXA 学際理工学 20 周年記念公開シンポジウム「宇宙科学と大学」, 東大安田講堂 2007/11/26.
- [56] 岡村定矩: 「東京大学の安全衛生管理体制」, 「広がった太陽系-冥王星問題を巡って」, 東大環境安全研究センターシンポジウム, 東大弥生講堂, 2007/12/25.
- [57] 岡村定矩: 「宇宙ってなんだか知っていますか」, 熊本県立大学第 11 回環境共生フォーラム, 2008/2/9.

(解説記事・論評など)

- [58] 柏川伸成, 嶋作一大, “すばるで探る遠方宇宙/初期宇宙”, 日本物理学会誌, 2008 年 2 月号 (第 63 巻), 106-112.

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)・佐貴)

7.1 気球による反物質探査

はじめに

BESS 気球実験は、大立体角、高精度超伝導マグネットスペクトロメータによる反粒子、反物質の探索を通して初期宇宙における素粒子像を探るとともに、一次宇宙線、大気宇宙線等の精密観測を太陽活動の変化による変動効果に着目しつつ、継続的に推進している。東京大学、KEK、神戸大学、ISAS/JAXA、NASA、メリーランド大、デンバー大が協力し、研究を推進している。2007年度は、太陽活動極小期にあたる昨年度、南極周回気球による長時間宇宙線観測実験を実現し(図7.1,7.2)、南極周回軌道、高度3438 kmにおいて、24.5日間に亘る観測に成功した。南極周回軌道、一周半の飛翔後、南極点から約1,000 kmの高氷原に着地した。観測データは無事に回収され、解析が進められている。宇宙線観測、実データサイズは、第一回観測(2004年)の6.2倍となる13.5 TBに達し、宇宙線観測イベントは、5倍を上回る47億イベントに達した。

7.1.1 BESS-Polar-II 実験経過

BESS-Polar II 実験は、2007年1月7月の期間、NASA-GSFCでの観測器のインテグレーションを実施し、8月には、NASA Columbia Scientific Balloon Facilityでの噛み合わせ試験を経て、10月末より、南極現地での実験準備を進められた。11月28日には、現地での最終噛み合わせ試験(打ち上げリハーサル)を終え、11月30日までに打ち上げ準備を整えた。打ち上げ気象条件が整うためには、さらに3週間を要した。12月23日、天候に恵まれ、無事、打ち上げに成功した。観測器のチューニングを経て2日後に、高度3438 kmでの定常観測状態に入り、周回軌道を1周半、24.5日間の連続観測に成功した(図7.3,7.4)。観測時間として、前回の約3倍に達した。観測データサイズでは、6.2倍にあたる13.5 TBの実データ(16 x 1TBハードディスクへの全書き込み)、5倍強に相当する、約47億事象の宇宙線観測に成功した。この間、超伝導磁石は地上試験性能を上回る液体ヘリウム寿命(>26日)を示して磁場

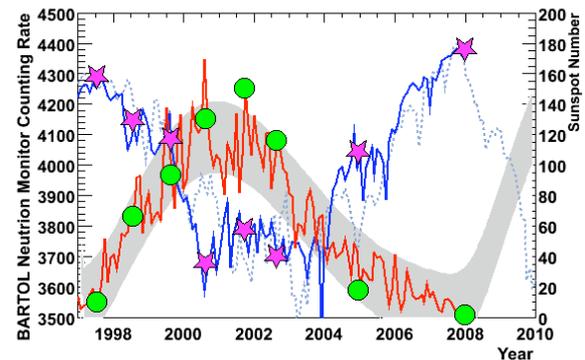


図 7.1: The sun spot numbers (red curve, scale to the right) and a neutron monitor count rate (blue curve, scale to the left), on which the BESS flights are indicated by green circles and magenta stars, respectively.



図 7.2: The launch of BESS-Posar-II, from William Fields, at the MacMurdo base, on 2007 December 23.

を保持し、目標を上回る24.5日間の長時間観測に貢献した。観測装置は、第一回観測でのTOF-PMT過電流問題をほぼ克服し、観測立体角を損なうこととなる、観測を継続することができた。

現在データ解析がすすめられている。全てのハードディスクに、正常なデータの書き込みを確認し、全期間に亘る宇宙線流束の確認からは、地上における中性子線流束観測を非常に相関のある、流束変化(日々変化)が確認されている。長時間観測を活かした、興味深い、宇宙線流束の短期変動データの提供が可能となった(図7.1.1)。反陽子流束の解析を進めるため、測定器のキャリブレーション作業が進んでいる。BESS-Polar II 実験のまとめを表1に示す。

7.1.2 BESS-Polar I のデータ解析結果

BESS-Polar 実験では、1 GeV以下の低エネルギー領域で、前回の太陽活動極小期(1995-1997)に

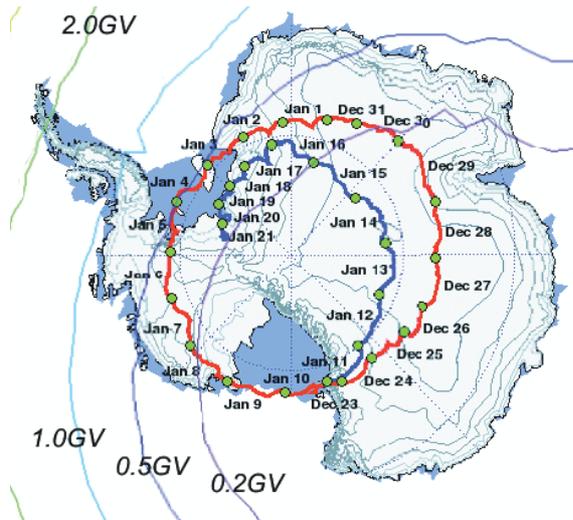


図 7.3: The locus of BESS-Polar-II around the Antarctic.

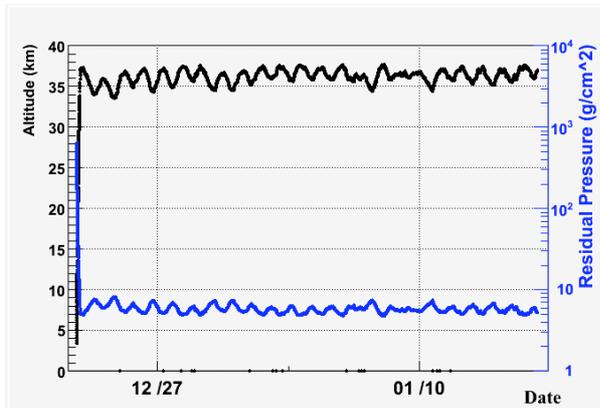


図 7.4: The altitude (black) and residual atmosphere (blue) during the BESS-Polar-II flight.

観測された平坦なスペクトルが、高い統計精度で再現されるか、が大きな焦点である。

BESS-Polar 第一回観測 (BESS-Polar-I, 2004) では、一部の TOF カウンタ・光電子増倍管の高電圧部の放電によって、立体角が $2/3$ に減少したこと、周回軌道が極点寄りになり観測時間が予定よりも短かった (8.5 日) もの、9 億の観測イベントのなかから、大気頂上での運動エネルギーとして $0.1\text{--}1.28\text{ GeV}$ の範囲で 432 イベント、最終的には $0.1\text{--}4.2\text{ GeV}$ の範囲で 1520 イベントの反陽子流束を検出した。従来の BESS 実験 1 フライトデータの約 4 倍に相当し、統計精度が大幅に向上した。また中間 TOF (MTOF) を用いた解析によって、エネルギースペクトル範囲を 0.1 GeV まで広げることができた。図 7.6 に BESS-Polar 実験によって得られた反陽子スペクトルを示し、前回の太陽活動極小期 (BESS95+97) の観測値、理論計算との比較を示す。BESS-Polar-I における観測値は、

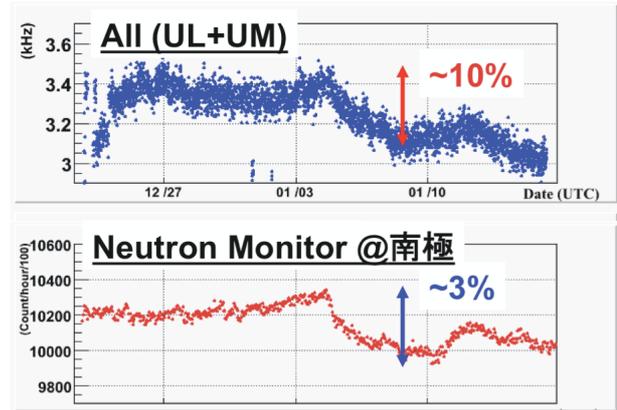


図 7.5: The cosmic-ray flux observed with BESS-Polar-II (top), compared with a neutron monitor count rate on ground (bottom).

この太陽活動変動を考慮した二次起源モデルとよく整合し、原始ブラックホール等の一次起源反陽子の明らかな兆候は観測されていない。BESS-Polar-I は太陽活動の極大から極小期への過渡期であり、一次起源反陽子が存在しても、二次起源反陽子スペクトルに隠れるレベルとの予想と整合する。結果は、太陽活動極小期に実施した BESS-Polar-II (2007-2008 年) における観測結果と比較される重要な基盤データとなる。BESS-Polar-I 実験結果は、“Measurement of cosmic-ray low-energy antiproton spectrum with the first BESS-Polar Antarctic flight” として、*Phys. Letter B* に論文として投稿された。

7.1.3 まとめ

BESS 実験は、日米国際協力により、1987 年に実験準備を開始し、1993 年に第一回観測を実現して以来、15 年にわたり、合計 11 回の気球飛行実験を成功させ、観測を積み重ねてきた。宇宙起源反粒子の探索を続けるとともに、宇宙線の絶対流束の精密観測データの提供、そして太陽活動による宇宙線流束が受ける変動を継続的に観測し続けてきた。2007 年度には、第二回南極周回気球実験を実現し、南極周回軌道、高度 $34\text{--}38\text{ km}$ において、24.5 日間に亘る観測に成功した。宇宙線観測総数は 47 億イベントに達した。BESS 超伝導スペクトロメータによる大立体角・精密観測、南極における長時間観測、太陽活動極小期における観測を重ね合わせることで、かつてない統計精度で、宇宙起源反粒子の存在を探るべく解析を進めている。

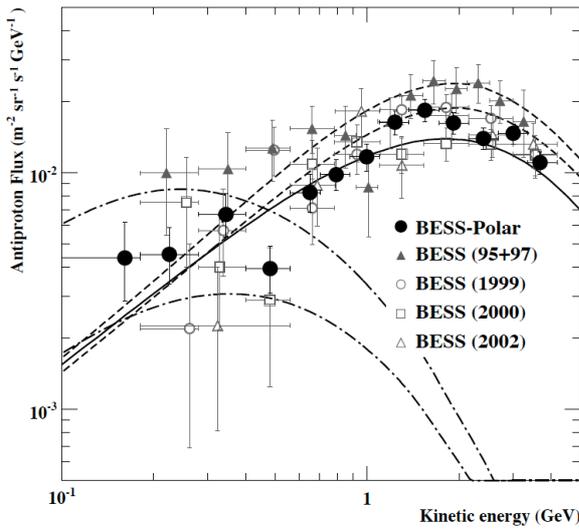


図 7.6: Preliminary anti-proton spectrum from BESS-Polar-I, compared with the previous BESS results.

表 7.1 a: BESS-Polar II 気球飛翔実験のまとめ

	Polar I	Polar II
観測時間 (日)	8.5	24.5
飛翔高度 (km)	37 ~ 39	34 ~ 38
残留大気 (g/cm ²)	4 ~ 5	4.5 ~ 8
データサイズ (TB)	2.1	13.5
観測事象数 (10 ⁹)	0.9	4.7
トリガー頻度 (kHz)	1.4	3.4
Live-Time Fraction	0.8	0.77

7.2 衛星によるX線・線観測

7.2.1 「すざく」衛星の運用と稼働状況

○ 宇宙X線衛星「すざく」と硬X線検出器 (HXD)

2005年7月10日に打ち上げられた日本5機目の宇宙X線衛星「すざく」は、搭載されたX線CCDカメラ (XIS; X-ray Imaging Spectrometer) および硬X線検出器 (HXD, Hard X-ray Detector) とともに、順調に観測を続けている [89, 117, 134]。HXDは我々が JAXA、広島大、埼玉大、理研、金沢大、阪大、青学大、Stanford 大などと協力して開発した装置で、撮像機能は持たないが、10–600 keV の広い帯域で世界最高レベルの感度を実現している。本年度も引き続き衛星の運用を支援するとともに、HXD装置の運用とその軌道上較正に貢献し [35, 90]、また初期試験観測データ、競争的公募で獲得したデータ、公開データなどの解析を続けた。

○ HXD-PIN のバックグラウンド

HXD は 10–70 keV の検出素子として 2 mm 厚のシリコン PIN ダイオードを用いる。PIN は BGO シンチレータで堅くシールドされているため、優れた低バックグラウンド特性をもつが、そのカウント数は地磁気緯度に相関して約 2 倍の変動を示す。北口からは昨年引き続き、UC Berkeley、JAXA などと協力し、モンテカルロツール MGGPOD を用いて解析を進めた結果、宇宙線が大気突入して作る中性子が衛星高度まで逆流し、PIN バックグラウンドの主因となっている可能性を強めた [69, 80]。これまでの検出器では、荷電粒子やガンマ線によるバックグラウンドが高いため、中性子の信号はそれに隠されていたものと考えられる。

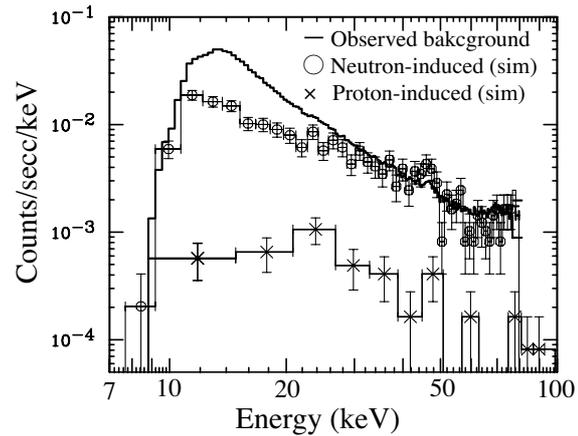


図 7.7: Actually measured *Suzaku* HXD-PIN background (solid line), compared with monte-Carlo simulated events induced by protons (crosses) and by neutrons (open circles) [80].

○ HXD-GSO のエネルギースケール

HXD の PIN 検出器の背後には、GSO 結晶シンチレータが置かれ、PIN を透過した 50–600 keV の硬X線を検出する。そのゲインはフォトチューブの特性変化のため、数分～数年の時間スケールで複雑に変動する。そこで我々は、バックグラウンドデータの中の電子陽電子対消滅線 (511 keV) や、結晶が軌道上で宇宙陽子を浴びて生じた不安定同位体 (放射化同位体) が崩壊する際のガンマ線を用い、時々刻々の検出器ゲインを較正している。ところが打ち上げ以来、得られるパルスハイトとエネルギーの関係が、地上測定と 10% ほど食い違い、問題となっていた。山田は修士論文でこの課題に取り組んだ結果、放射化同位体の崩壊信号は一般に、複数の過程によるエネルギーデポジットの複合であり、各過程ごとにシンチレータの発光損失があるため、総計のパルスハイトは単純な予想より低くなることを突き止めた [56, 118]。この効果を考慮すると、軌道上での較正は地上較正と良く一致し、図 7.8 に示すように、標準天体である「かに星雲」のシンクロトロン放射スペクトルも、標準的なベキ関数で良く再現できる。

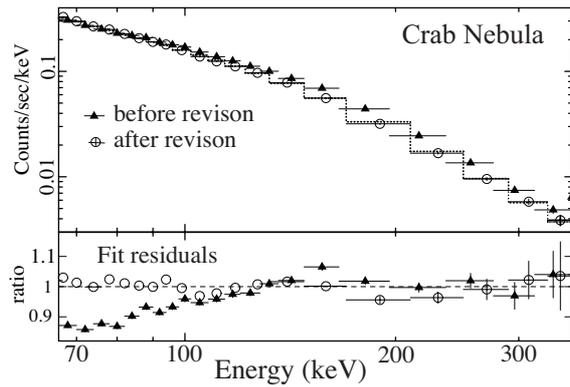


図 7.8: A count-rate spectrum of the Crab Nebula obtained with HXD-GSO onboard *Suzaku*, fitted with a single power-law model using older (filled triangles) and revised (open circles) calibrations [56]. The lower panel shows fit residuals.

7.2.2 銀河系内の X 線天体の観測的研究

○ 太陽フレア

太陽フレアは惑星間空間と並んで、最も身近な粒子加速の現場である。我々は天文台の古徳と協力し、フレアで加速された電子からの制動放射ガンマ線のスペクトルが、コンプトン散乱で変形される様子を、モンテカルロ計算により明らかにした [10]。

北口らは、2006 年 12 月 5 日に起きたクラス X9.0 の強い太陽フレアのさい、太陽ガンマ線を完全にシールドできるはずの HXD-PIN 検出器が、強く反応したことを発見した。これは太陽フレアで加速された陽子が、ハドロン相互作用で > 500 MeV の中性子を作り、それらがシールドをすり抜けて HXD 内部に飛び込み、シリコン中で反跳信号を作り出したものである可能性が高い [88, 123]。

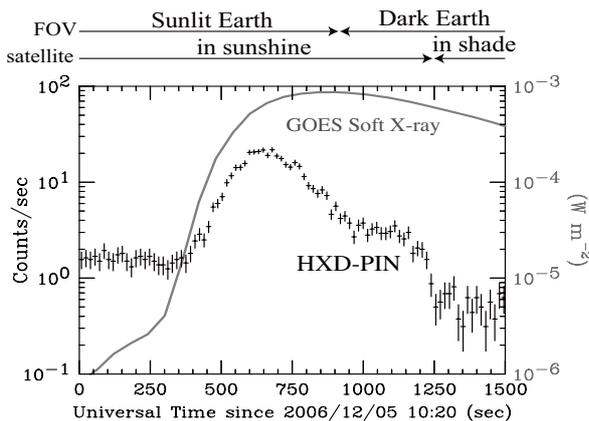


図 7.9: Light curves of the X9.0 flare on 2006 December 5, detected in soft X-rays with *GOES* (gray curve) and with HXD-PIN onboard *Suzaku* [123]. Arrows at the top shows day/night information of the spacecraft, and that of the Earth in the HXD field of view.

○ 白色わい星での加速現象

昨年度は埼玉大の寺田らと協力し、「すざく」で観測した白色わい星 AE Aqr のデータ解析を行ない、HXD-PIN により 10 keV 以上で非熱的な硬 X 線パルスの検出に成功した。今年度はその理論的な解釈を行なった結果、強磁場 ($\sim 10^5$ G) と高速自転 (周期 33 sec) による誘導電場で、粒子が数十 GeV 以上にまで加速され、シンクロトロン過程で硬 X 線パルスを放射している可能性が高いことを突き止めた [9, 18, 72, 104]。結果は 2008 年 1 月 17 日、埼玉大学にて記者発表された。図 7.2.2 は、宇宙の加速現場で推定された電子の最高エネルギーを、系の典型的な速度 v 、磁場 B 、サイズ L の三重積に対しプロットしたものである。AE Aqr、太陽フレア、かに星雲 (図 7.8) を含め、美しいスケーリング則が成り立つ。

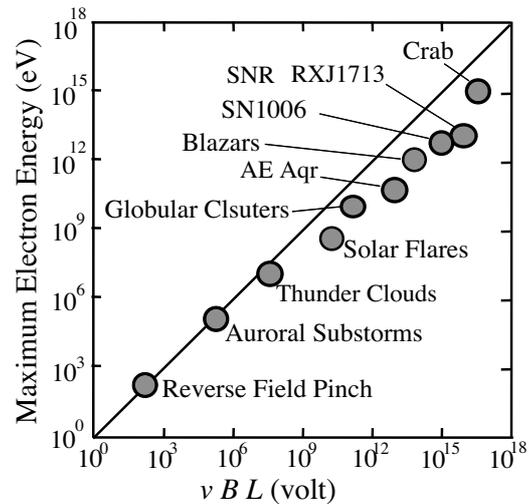


図 7.10: An empirical scaling law (by Makishima) for various particle acceleration sites. Observed or estimated maximum electron energies are plotted against vBL , where v , B , and L are a typical velocity, magnetic field, and size of each accelerator.

○ X 線パルサー

降着型パルサーは、中性子星に相手の星からガスが降着することで X 線を放射し、それらの X 線スペクトル中に現れる電子サイクロトロン共鳴吸収線は、中性子星の磁場計測の切り札となる。榎戸、牧島らは降着型パルサー Her X-1 の「すざく」データから、既知の ~ 38 keV のサイクロトロン基本共鳴に加え、その 2 倍波の幅広い吸収構造を検出した [34, 40, 92, 105, 132]。スペクトルを図 7.11 に示す。表面磁場は、 3×10^{12} G と計算される。さらに複数の天体で、吸収構造が同じプロファイルをもつこと、それが Gaussian では記述できず、古典的サイクロトロン共鳴の微分断面積 (Lorentzian $\times E^2$) で現れること、したがって共鳴幅は熱的ドップラーでは説明しづらいことを指摘し、誘導放射の可能性を論じた [34, 66, 67, 119]。HXD 装置の特徴が活かされた成果といえる。

上田らは、2006年のHer X-1の観測中に、X線が数十分～数時間にわたり繰り返し不規則に弱まる、dip現象を検出した。この現象は既知だが、「すざく」の広帯域(0.3～50 keV)データにより、これが降着円盤の周辺部にある光電離物質による、X線の吸収・散乱に起因することを明らかにし、その柱密度や電離状態を推定することができた[106, 121]。

トランジェントX線パルサーGRO J1008-57が明るくなったとの報告を受け、理研の三原らの主導で2007年11月30日、「すざく」によるToO観測を行った。その結果、従来から示唆されていた、～80 keVのサイクロトロン吸収構造の徴候を得た。

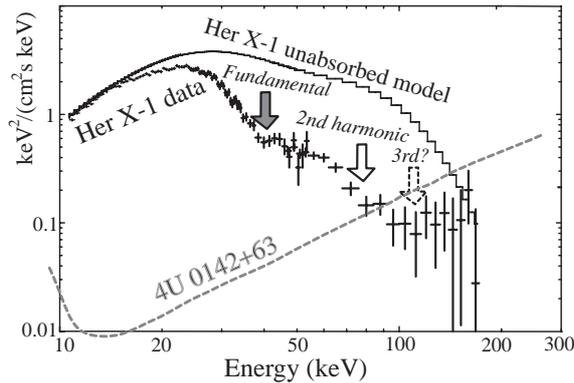


図 7.11: A *Suzaku* HXD spectrum of the accreting pulsar Her X-1, shown in the $\nu F\nu$ form [67]. The solid curve shows the estimated continuum, before attenuated/absorbed by cyclotron resonances (arrows). For comparison, an HXD spectrum of the magnetar 4U 0142+63 is shown in the dashed line [68].

○ マグネター天体

銀河系内にある10個ほどのX線源は、様々な理由から、 10^{14-15} Gの超強磁場をもつ特殊な中性子星、すなわちマグネターと考えられているが、その正体は謎に包まれている。榎戸らはその1つ4U 0142+63を「すざく」で観測し、HXD-GSOデータを駆使した結果、図7.11に灰色の破線でスケッチするように、< 10 keVで卓越する柔らかいスペクトル成分に加え、～300 keVまで光子指数～1で延びる、異常に硬いパルスした硬X線を検出することに成功した[68]。そうした成分の存在はすでに数年前、INTEGRALにより報告されていたが、測定は～150 keVまでに限られていた。この成分の起源は不明だが、超強磁場中で発生した電子陽電子対が、中性子星の表面に突入する際の非熱的制動放射かもしれない。スペクトルはHer X-1のものとは大きく異なるので、この天体の物理状態が通常の中性子星のものとは大きく異なることは、疑いない。

○ ブラックホール連星

山田、牧島らは、広島大の高橋[弘]らとの協力し、「すざく」で観測したブラックホール連星Cyg X-1の解析を進めた。スペクトルは0.6～350 keV (XIS、HXD-PIN、HXD-GSO)の広帯域にわたり、温度～100 keVの熱的電子による2つのコンプトン成分(光

学厚み0.4と1.5)、それらが円盤で反射した成分、そのさい発生する鉄輝線、およびコンプトン過程の種光子となる温度0.2 keVの円盤の熱放射、という5成分の和でみごとに再現できた[8, 33, 38, 66, 73, 91]。得られたモデルを図7.12に、星間吸収を除いて示す。

速い時間変動にともなうCyg X-1の広帯域スペクトルの変化を調べたところ、～1秒の時間スケールでX線が強くなるさいは、種光子の注入数が増える一方で、逆コンプトン連続成分は柔らかくなることを発見した。よって冷たい円盤を覆う熱いコロナに、多数の穴が開き、円盤の一部が直接に見えており、その開口率が変化していると解釈できる。開口率が減ると、コンプトン信号の強度は増加するが、コロナは冷却により低温になり、硬X線スペクトルが軟かくなると想像される[8, 73, 91]。

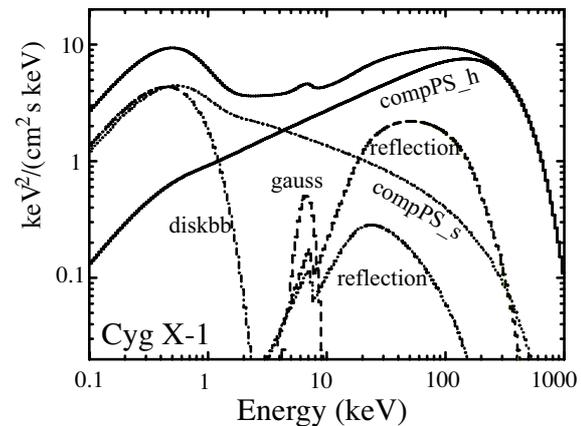


図 7.12: A double-Compton spectral model for the accreting black hole Cyg X-1, specified by the *Suzaku* data [8]. It is presented in the $\nu F\nu$ form, after removing interstellar absorption. Individual components are specified in the figure.

○ 銀河系に付随するディフューズX線放射

湯浅らは昨年度に続き「すざく」を用いた銀河系ディフューズX線の研究を進め、銀河中心を含む銀経 $\pm 1.5^\circ$ 銀緯 $\pm 0.5^\circ$ の領域から、高温の熱的放射に加え、HXD-PIN検出器により、光子指数2～3の非熱的な広がった放射を検出した[31, 41, 81, 93]。そのスペクトルは10～40 keVの帯域で緩く折れ曲がるので、白色わい星など、高温の熱的放射の集合という解釈は捨て切れない。しかし銀河中心付近にある濃い星間ガスによるX線の部分吸収を考えると、加速された電子からのディフューズな非熱的放射という可能性も許される。図7.13に示すように、銀経方向の硬X線の表面輝度分布は、「あすか」で測定した電離鉄輝線の輝度分布とほぼ一致する[31]。より詳細な情報を得るため、今年度も「すざく」チーム内の広い協力により、銀河面に沿ったマッピング観測が進んでいる[81]。

2005年に岡田らが着手した、球状星団に付随する広がったX線放射の研究は、論文に掲載された[11]。これは球状星団が銀河系ハロー内を運動するさい、衝撃波で電子が加速され、おもに非熱的制動放射で

硬 X 線が放射される現象と考えられ、測定結果は図 7.2.2 のスケールに良く乗る。代表的な天体である 47 Tuc は、湯浅を PI として「すざく」により観測され、データ解析を進めている。

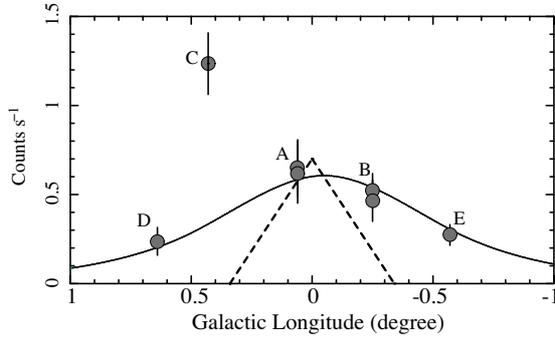


図 7.13: The galactic longitude distributions of the 12–40 keV PIN count rates, obtained after subtracting backgrounds and the contributions from bright point sources [31]. The solid curve shows the 6.7 keV Fe line intensity distribution measured with ASCA GIS, convolved with the PIN angular response which is shown by a dashed triangle

7.2.3 銀河系外の X 線天体の観測的研究

○ ULX 天体

今年度も、近傍銀河には見られる超大光度 X 線天体 (ULX) の研究に取り組んだ [30, 36, 38, 53, 66, 94]。宮脇は博士論文として、「すざく」、*XMM Newton* などで観測された、約 10 個の ULX 天体を統一的に解析した結果、図 7.14 に示す「カラー・カラー図」をえた [54]。天体ごとに、観測された (もしくは適当に推定された) 最大光度 L_c を定義し、それで各時期での光度を規格化すると、天体によらず、共通の軌跡 (図の灰色矢印) に沿ってスペクトルが変化する。

宮脇による詳しいスペクトル解析から、ULX の光度が $(0.6 \sim 1)L_c$ では、ブラックホール連星でいう「スリム円盤状態」、 $(0.2 \sim 0.4)L_c$ の時はブラックホール連星の「Very High 状態」、そして $< 0.1L_c$ ではブラックホール連星の High/Soft 状態に、それぞれ良く似たスペクトルを示すことも明らかになった [54]。したがって L_c は近似的に Eddington 光度と見なせ、ULX は Eddington 限界を大きく超えてはいないと結論される。これにより、ULX は数十～数百 M_\odot の質量をもつ「中質量ブラックホール」である可能性が、一段と強まった。以上の結果は < 10 keV のバンドで得たものであるが、M82 X-1 と呼ばれる ULX (図の灰色四角) からは、HXD-PIN で ~ 25 keV まで硬 X 線を検出することに成功した。

○ 活動銀河核 (AGN)

銀河の中心にある巨大 ($10^6\text{--}9 M_\odot$) ブラックホールにガスが降着すると、活動銀河核 (AGN) となる。セイファート銀河と呼ばれる天体たちはその代表で、その中でも降着円盤に沿った角度から観測している

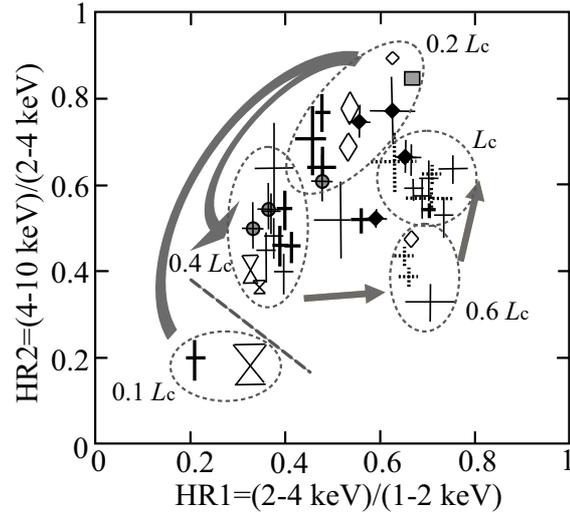


図 7.14: A color-color plot for 8 ULXs, observed with *Suzaku* and *XMM-Newton*. Count rate ratios between the 4–10 keV to 2–4 keV bands are plotted against those between 2–4 keV to 1–2 keV [54]. On this plot, the data points can be grouped according to the luminosity, normalized to L_c , that is the observed or estimated maximum luminosity of each source. Thick gray arrows indicate a common luminosity evolution locus.

ため、AGN の X 線が降着物質で強い吸収を受けるものを、2 型セイファート銀河と呼ぶ [28]。

伊藤は博士論文の課題として、「すざく」で観測した 5 つの 2 型セイファート銀河 (自ら観測提案したものを含む) の、XIS、HXD-PIN、HXD-GSO データを統一的に解析した。スペクトルと時間変動を合わせて考えた結果、どの天体でも図 7.15 のように、検出された X 線スペクトルを複数の成分に分解することに成功した [55]。それらは；(i) AGN からの直接 X 線が吸収体で光電吸収を受け、低エネルギー側で減衰しつつ突き抜けてきた直接成分 (図の D)；(ii) X 線が周囲の物質に当たってトムソン散乱などを受けた「反射」成分 (図の R)；(iii) 高電離ガスにより、スペクトルの形を変えず散乱された成分 (図の S)；(iv) 反射や散乱に伴う輝線、などである。

この研究の結果、NGC 4945 など X 線光度が低めの 2 天体では、Mkn 3 など他の 3 天体に比べ、(ii) の割合がひじょうに小さく、したがって降着物質は AGN から見て、大きな立体角を持ちえないことがわかった [29, 55]。これは、「AGN に降着する物質は厚いトラスの形状をもつ」という通念に、大きな変更を迫る結果である。さらに伊藤は、吸収体がひじょうに厚くなった場合、その内部で散乱を繰り返して観測者に到達する、「scatter-in」成分を考える必要があることを見出した。

上原らは、「すざく」で長期観測した 1 型セイファート銀河 MCG-6-30-15 のデータで、反射成分が連続成分の変動にどう追従するか調べている。1 日弱の時間スケールでは、連続成分が変動しても反射成分は追従した変動を示さないが、数日以上時間スケール

では、反射成分も変動し始めることがわかった [108, 120]。よって反射体はAGNから見て、Schwarzschild半径の $\sim 10^3$ 倍の距離にあると推測される。

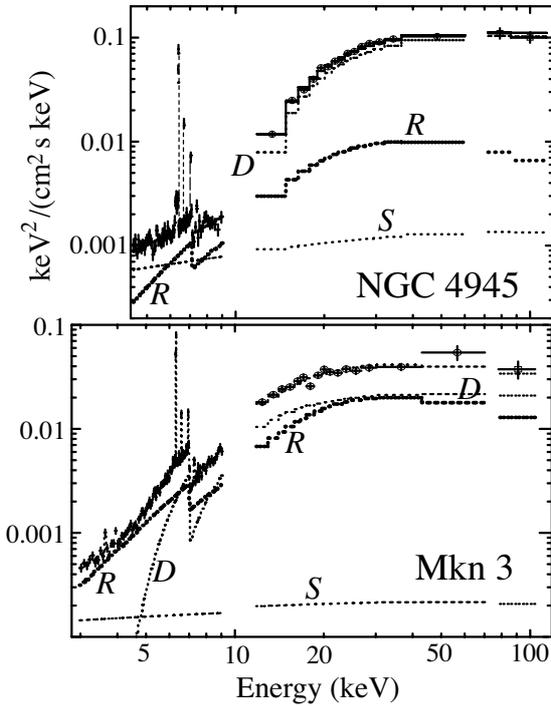


図 7.15: *Suzaku* spectra (in the $\nu F\nu$ form) of the two Seyfert 2 galaxies, fitted with an absorbed direct component (denoted D), that reflected by cold materials (denoted R), and that scattered by highly ionized media (denoted S) [55].

○ 銀河群および銀河団からの硬X線

銀河団や銀河群の銀河間空間には、大量の高温プラズマ (Intra-cluster matter: ICM) が重力的に閉じ込められ、強いディフューズX線を放射している。今年度は中澤、北口、奥山らを中心に、理研や広島大などと協力し、「すざく」を用いて銀河団からの硬X線を探索した。我々はすでに「あすか」を用い、銀河群から非熱的放射を検出しており [13]、銀河間空間での粒子加速が、大きな興味の対象である。「すざく」のデータ解析を通じ、以下の3つの重要な結果を得た。

まずケンタウルス座銀河団、Abell 1060 [12, 51] などの緩和した銀河団では、HXD-PINで検出される10–30 keVの信号は、10 keV以下で卓越する熱的放射の裾として理解でき、それを有意に超過する硬X線は検出されなかった [77, 111]。またICMには、音速を大きく超えるようなパルク運動はない [43]。よってこれらの銀河団では、プラズマの温度低下が顕著な中心部を除けば、ほぼ等温のプラズマが、重力場の中で静水圧平衡にあると見なしてよい。

次に、かみのけ座銀河団、Abell 3376 など、非熱的放射が期待されるいくつかの銀河団や銀河群を観測したが、どれからも有意な非熱的な硬X線成分は

検出されず、従来 *BeppoSAX* 衛星が主張していた信号レベルと同程度か、やや厳し目の上限値が得られた [42, 49, 52, 71]。電波ハローをもつ銀河団の場合、シンクロトロン電波の強度と、この逆コンプトン硬X線の上限值とから、磁場は典型的に $0.2 \sim 1 \mu\text{G}$ 以上と求まる。これはファラデー回転などの測定値と矛盾せず、*BeppoSAX* の「検出」から言われていた、異常に弱い磁場の問題は、解消したと言える。

最後に、強い電波ハローをもつ合体型銀河団 Abell 3667 からは図 7.16 のように、硬X線で明らかな超過信号が検出された [70, 110, 112, 122]。それはスペクトルの形から、非熱的放射ではなく、温度 $15 \sim 30$ keV の「超高温」な熱的放射と考えられ、10 keV以下で検出される通常の熱的成分に匹敵する大きなX線光度をもつ。銀河団の合体に伴い、磁場増幅などを通じて一部のプラズマが選択的に加熱され、さらに磁場により熱伝導が抑制されることで、生成された超高温プラズマが長時間にわたり高温を保っているのかもしれない。とすれば我々は、銀河団プラズマ中で、大規模な磁気流体的なエネルギーの非等分配、構造形成などを目撃し始めた可能性がある [95, 100]。

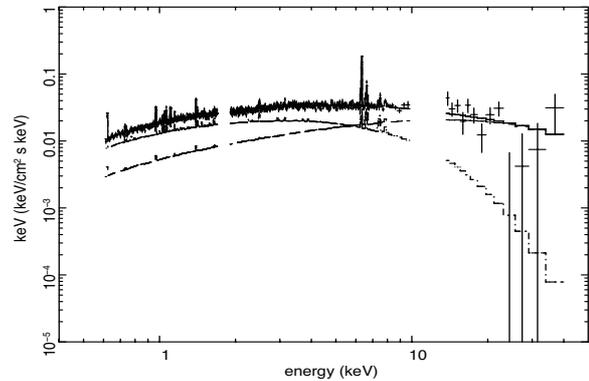


図 7.16: A *Suzaku* $\nu F\nu$ spectrum of the clusters of galaxies Abell 3667 [70, 122]. In addition to the ~ 7 keV thermal emission dominating the energies below 10 keV, a very hot component has been newly discovered with the *Suzaku* HXD.

7.2.4 雷雲からのガンマ線の観測

我々は昨年度、宇宙での電場加速の手掛かりを得るため、榎戸らを中心に理研と協力し、また新潟県柏崎刈羽原子力発電所の協力も得て、冬期雷雲からのガンマ線を探索する実験を開始した。その結果、みごと2007年1月7日に、約40秒にわたるガンマ線放射を検出することに成功した [14, 78, 96, 101, 127]。結果は予想を大きく上回る反響を呼び、関連分野で講演を行ったほか [78, 131, 133]、結果は2007年10月5日、文科省記者クラブにて、東大と理研の共催で記者発表を行なった。

今年度も、昨年度とほぼ同様な形で、12月より刈羽原発の構内にて、自動運転による観測を行なって

いたところ、2007年12月14日の日本時間01:00ごろ、ふたたびガンマ線の増大イベントを捉えることに成功した。今回は前回よりやや長い約60秒の継続時間をもつ。さらに図7.17に示すように、増大前後の環境放射線バックグラウンドのスペクトル(点線)が典型的に3 MeV以下に限られ、またライン構造があるのに対し、雷雲ガンマ線のスペクトル(黒点)には顕著なラインは見られず、10 MeV近くまで伸びる。また今回は前回と異なり、この増大の前後に落雷は検知されなかった。したがってこうしたガンマ線放射は、落雷に伴うものではなく、雷雲の中で準静的に、もしくは過渡的に、電子が静電場により加速されていることを示唆する。

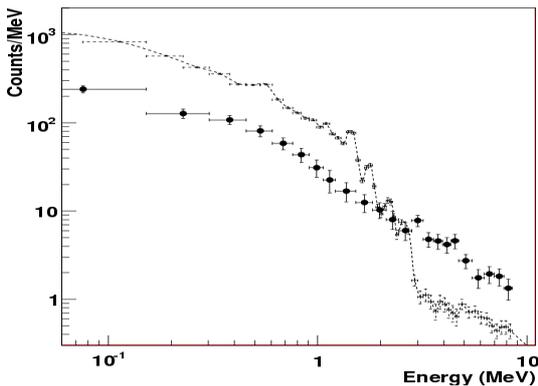


図 7.17: A second event of gamma-ray detection from thunderclouds, recorded on 2007 December 14 at the Kashiwazaki-Kariwa nuclear plant. Data points in solid lines represent background-subtracted signals during the enhancement event, whereas those with dashed lines illustrate the background.

7.2.5 NeXT 衛星計画

○ NeXT 衛星とその搭載装置

NeXT (New Exploration X-ray Telescope) は、「すざく」の後継機として、2013年の打ち上げを目指し、日本の宇宙X線研究グループが総力を挙げて計画中のJAXA科学衛星である。日本のX線衛星は「はくちょう」から「すざく」まで、従来すべて固体ミューロケットで内之浦より打ち上げられたが、同ロケットシリーズの終焉に伴い、NeXTはHIIAロケットで種子島から打ち上げられる。

NeXTは、名古屋大学を中心に開発中の「多層膜スーパーミラー」により、80 keVまでの集光撮像観測を行なうとともに、「すざく」で不具合のため実現できなかった、極低温カロリメータ検出器による、高分解能の分光観測を行なうもので、2010年代の高エネルギー宇宙観測を、世界的にリードする野心的な計画である。我々は、「すざく」HXD装置の開発体制の流れを汲んで、JAXA、広島大、埼玉大、スタンフォード大などと協力し、スーパーミラーの焦点面に置かれる硬X線撮像検出器HXI、およびコンプ

トン運動学を用いた軟ガンマ線検出器SGDの開発を担当するほか、衛星機内バスとして、スペースワイヤの開発なども支援する。

今年度、NeXTはJAXAの内部措置により、「前プロジェクト」(あるいはphase A)として認定され、日米の多数の参加機関を糾合して、多様な角度から、衛星と搭載装置の概念設計、リスク検討、開発体制の整備、内部審査、外部評価などを行なった。牧島は京大・小山教授とともに、ミッションアドバイザーの役を務めた。NeXTは2008年6月、JAXAの内部審査を経て、国家予算の裏付けをもつ制式プロジェクト(phase B)としての発足を目指している。

○ HXI 装置と SGD 装置

HXIは、7分四方の視野を持ち、80 keVまでの硬X線を1分精度で撮像し、同時に1.5 keV精度で分光する検出器である。3.2 cm四方のDSSDとCdTeイメージャを重ね、厚さ4 cmのBGOシンチレータシールドで囲んでおり、10-80 keVの帯域でこれまでよりも2桁近く優れた検出感度を実現する。

SGDは、8-9台の半導体コンプトンカメラを、同じく4 cm厚さのBGOシールドで囲む、「狭視野の半導体コンプトンカメラ」という新しい概念の検出器であり、600 keV程度までの帯域で、1桁優れた感度の実現を図る。1台のコンプトンカメラは、5 cm四方のシリコンイメージャを24-32層重ね、CdTeイメージャで囲むもので、コンプトン運動学により数度の精度でガンマ線の入射方向を知る。これにより、視野方向以外の信号をバックグラウンドと判定することができる。多層半導体検出器を用いることで、1回ずつの散乱と吸収の場合だけでなく、3回以上散乱を起こした場合でも、入射方向と元のエネルギーを導出できるというアイデアは、1980年代に釜江教授らが世界で初めて提唱した概念であり、は当センターにも関係が深い。

2007年度は、概念設計を進める(phase-A)期間であり、検出器の基礎設計を進めた。具体的にはシールドの厚さや視野サイズと、構造や重量のトレードオフ検証をし、衛星設計に取り込んだ。要素技術の開発を進めるとともに、宇宙線による放射化など、バックグラウンドレベルを推定し、硬X線、ガンマ線に対する検出効率を計算するライブラリを構築し、デザイン変更にあたって、感度を決定づけるパラメータの検証を進めている。今後は、2008年中に、大まかなデザインを決定して重量、電力を確定し、2009年中にプロトタイプを制作する。2010年からは、衛星搭載実機制作を開始する予定である。

牧島グループでは、中澤、奥山、湯浅らが、JAXA、広島大、スタンフォードなどのグループとともに、これらの装置のための両面シリコンストリップ検出器(DSSD)や、テルル化カドミウム(CdTe)イメージャ検出器の開発を続けている[20, 21, 22, 26]。

○ スペースワイヤ (SpaceWire) の開発

SpaceWireとは、人工衛星の機内情報網を、柔軟性を保ちつつ統一規格化するため開発されたデータ通信I/F規格であり、NeXT衛星へも全面的な採用が決まっている。いまや日本(と欧州)の科学衛星の搭載機器は、SpaceWireで通信することが標準となって

いる。インテリジェントなノードとして、TRON を OS とした、Space Cube と呼ばれる規格の小型コンピュータを用い、Remote Memory Access Protocol にもとづきデータ転送を行う。すでに日、米、欧の衛星内部バスとして採用されつつあり、*NeXT* もこれを用いる。日本では、JAXA 高橋教授や阪大・能町教授の主導の下、業を糾合した「スペースワイヤユーザー会」を組織し、開発と普及を進めている。

湯浅は修士論文で、SpaceWire バスと各機器との接続を受け持つ、標準インタフェース基板の開発体制を整備し、各ユーザーが自分の用途に合ったインタフェース基板を開発するさいに利用できるよう、各種の支援ファームウェアや支援ソフトウェアを開発した。またその一例として、8チャンネル入力の、デジタル波形取得型 AD 変換ボードを企業と共同開発し、市販 ADC と同等の性能を達成するとともに、サンプリングレートが遅く波形情報が間引かれた場合も、テンプレート波形との相互相関により、パルス高や到着時間の情報を再生できることを示した [57, 79, 126, 136]。図 7.18 に、このボードの写真を示す。

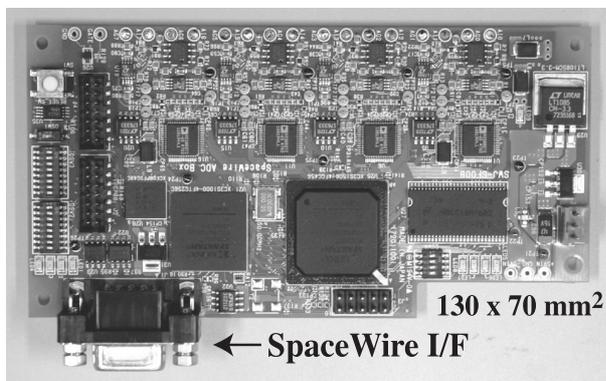


図 7.18: A photograph of an 8-channel ADC board, which exemplifies “standard SpaceWire interface boards” [57]. Two square objects are FPGAs (Xilinx Spartan-3); one handles the standard SpaceWire I/F, while the other is user-alterable. The connector at the bottom left provides connection to the SpaceWire bus.

○両面シリコンストリップ検出器 (DSSD) の開発

奥山らは、JAXA と協力して *NeXT* HXI 検出器への搭載に向けた、DSSD の開発を進めている。2007 年度は、DSSD の p 面と n 面を、130 V 以上の電位差をつけてフローティングで読み出す試験を進めている。具体的には、各面の読み出しシステム全体のグラウンドレベルを浮かせ、フローティングの DCDC コンバータを使って給電し、電磁カプラを用いてデータ通信するが、とくに、4 層の DSSD 検出器を制作し、各層の接続の安定性を評価した。評価の結果、4 層の DSSD を正しく動作できること、ただし、温度を変えたときに接続不良になるピンが現れる場合があることが分かった。ピンを 1 層に制限すれば、問題なく読み出せることも確認され、検出器システム全体ではなく、ピンの改良を進めることが鍵を握ると確認された。[22, 109, 124]。

この装置を、CdTe ピクセル検出器システムと組み合わせ、Si/CdTe コンプトンカメラを構成し、放射性同位体を注入したサンプルに対して撮像分光実験を行った。詳しくは 2008 年度出版予定の論文発表を待ってから報告するが、高い位置分解能とエネルギー分解能を示し、次世代イメージャとして有望なシステムであることを示した。

○BGO 結晶シンチレータの開発 HXI、SGD とともに、シールド部には BGO シンチレータを用いる。2007 年度は、上原らがこの評価用結晶を用いて、候補となる低コストの BGO について内在放射能を評価した。「すざく」衛星 HXD 検出器で用いられていた BGO 結晶と比較して、内在放射能がやや多いことが示唆されたが、結晶の外へ放射されるガンマ線は非常に少ないことが分かった。このため、5-80 keV 帯域を担当する HXI のシールドとしては問題ない。600 keV までのより高いエネルギー帯域で、より低いバックグラウンドが要求される SGD のシールドとして有効かどうかについては、今後の評価の結果を待つ必要がある。

7.2.6 小型衛星計画への参加

○雷観測衛星 *Sprite* における雷雲ガンマ線検出器 *Sprite-SAT* は、東北大学が中心となって開発を進めているミニ衛星であり、H2-A ロケット搭載のビジーバック衛星として、2008 年度の打ち上げが予定されている。本衛星は、雷雲から電離層に向かって走るスプライト発光現象と、軌道上で *CGRO* 衛星 BAT 検出器や、*RHESSI* 衛星で確認された、ミリ秒という短時間のガンマ線放射の関係を探るためのものである。牧島 / 中澤研究室では、榎戸、上田、中澤らが、JAXA のグループとともに、この衛星の主検出器の一つである、地球ガンマ線カウンタ (TGC) の開発、評価を行っている。

装置は、合計 8 つの小さな CsI 結晶を APD で読み、4 段階のコンパレータを用いて、ライトカーブを得るもので、全体で 2.4 kg、0.7 W と非常にコンパクトなものである。装置は 500 μ s 刻みでライトカーブを得て、ガンマ線フラッシュの信号を受けると、前後あわせて 0.5 s のデータを保存する。またこれとは別に、30 秒刻みで積分ライトカーブを得ており、簡単な宇宙ガンマ線モニターとして使用する。APD とプリアンプ、高圧電源などは、*NeXT* などの次世代衛星で使用する予定のもののブレッドボードモデルの宇宙実証を兼ねており、技術的にも重要なシステムである。また、*NeXT* という本格的な衛星ミッションを実行する前に、スタッフおよび学生の経験を積む上でも非常に貴重な機会である。

2007 年度は、部品の手配から始まり、単体評価、組上げ、ゲイン調整、環境試験を実施した。特に衛星側の設計の特性から、打ち上げ時の振動条件が非常に厳しく、多くの開発努力が払われている。また、ミニ衛星では温度環境の変化もある程度予想されるため、 -15°C から $+25^{\circ}\text{C}$ までの広い範囲で、特性評

価をしている。2008 年度の打ち上げへ向けて、いくつかの課題を解決しつつ、順調に開発を進めている。

○ 技術実証衛星 1 号機 *SDS-1* における重力波検出器

東大坪野研と企業によって開発が進められてきた、「SpaceWire 試験モジュール (SpaceWire Interface demonstration Module; SWIM)」は、日本初の SpaceWire の宇宙実証試験品であり、技術実証衛星 1 号機 (SDS-1) に搭載され、HIIA ロケットによる実用衛星のピギーバックとして、2008 年度内に打ち上げが予定されている。SWIM 内には、インテリジェントなノードとして宇宙仕様の SpaceCube が、また科学ミッション機器ノードとして SWIM $\mu\nu$ が搭載されている。後者は、磁気浮上させたテストマスの振動を、LED と光センサで測定する、ねじれ型の重力波検出器で、測定データを SpaceWire 経由で転送する。中澤、湯浅らは坪野研と協力し、SWIM および SWIM $\mu\nu$ の開発・試験に参加し、機上で SpaceWire/RMAP によるデータ通信を行うための SpaceCube 用ソフトウェアの開発、環境試験 (振動・熱真空) などに貢献した [97, 129]。この開発で蓄積された SpaceWire の技術やソフトウェアは、*NeXT* を含めた将来衛星の開発にも、資するところが大きい。

< 報文 >

(原著論文)

BESS 実験関連

- [1] A. Yamamoto, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, K. Kim, T. Kumazawa, M.H. Lee, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, R. Orito, S. Orito, J.F. Ormes, T. Sanuki, K. Sakai, M. Sasaki, E.S. Seo, Y. Shikaze, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, T. Yoshida, & K. Yoshimura: "The BESS Program", *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* **116**, 62 (2007)
 - [2] Y. Shikaze, S. Haino, K. Abe, H. Fuke, T. Hams, K.C. Kim, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A.A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J.F. Ormes, T. Sanuki, M. Sasaki, E.S. Seo, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida, & K. Yoshimura: "Measurements of 0.2 to 20 GeV/n cosmic-ray proton and helium spectra from 1997 through 2002 with the BESS spectrometer", *Astroparticle Phys.* **28**, 154 (2007)
 - [3] A. Yamamoto, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, M. Hasegawa, A. Horikoshi, K. Kim, M.H. Lee, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, R. Orito, S. Orito, J.F. Ormes, T. Sanuki, K. Sakai, M. Sasaki, E.S. Seo, Y. Shikaze, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, N. Thakur, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, T. Yoshida, & K. Yoshimura: "Search for Primordial Antiparticle with BESS", *Adv. Space Res.* **42**, 442 (2008)
 - [4] K. Yoshimura, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, M. Hasegawa, A. Horikoshi, K. Kim, M.H. Lee, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, R. Orito, S. Orito, J.F. Ormes, K. Sakai, M. Sasaki, E.S. Seo, Y. Shikaze, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, N. Thakur, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida, & K. Yoshimura: "BESS-Polar Experiment", *Adv. Space Res.*, in press (2008) doi: 10.1016/j.asr.2007.05.043.
 - [5] M. Sasaki, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, M. Hasegawa, A. Horikoshi, K. Kim, M.H. Lee, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, R. Orito, S. Orito, J.F. Ormes, T. Sanuki, K. Sakai, M. Sasaki, E.S. Seo, Y. Shikaze, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida, & K. Yoshimura: "Search for Antihelium with BESS", *Adv. Space Res.*, in press (2008)
 - [6] H. Fuke, Y. Takasaki, K. Abe, S. Haino, Y. Makida, S. Matsuda, 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, K. Tanaka, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida, & K. Yoshimura: "Search for fractionally charged particles in cosmic rays with BESS spectrometer", *Adv. Space Res.* **41**, 2050 (2008)
 - [7] Y. Makida, R. Shinoda, J. Suzuki, A. Yamamoto, & S. Mizumaki: "Cryogenics performance of ultrathin superconducting solenoids for cosmic ray observation with ballooning", *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **17**, 1205 (2007).
- 宇宙 X 線関連 (PASJ 第 2 特集号は別項)
- [8] Makishima, K., Takahashi, H., Yamada, S., Done, C., Kubota, A., Dotani, T., Ebisawa, K., Itoh, T., Kitamoto, S., Negoro, H., Ueda, Y., & Yamaoka, K.: "Suzaku Results on Cygnus X-1 in the Low/Hard State", *Publ. Astr. Soc. Japan* **60**, in press (2008)
 - [9] Terada, Y., Hayashi, T., Ishida, M., Mukai, K., Dotani, T., Okada, S., Nakamura, R., Naik, S., Bamba, A., & Makishima, K.: "Suzaku Discovery of Hard X-ray Pulsations from AE Aquarii", *Publ. Astr. Soc. Japan* **60**, in press (2008)
 - [10] Kotoku, J., Makishima, K., Matsumoto, Y., Kohama, M., Terada, Y., & Tamagawa, T.: "Effects of Compton scattering on the Gamma Ray Spectra of Solar flares", *Publ. Astr. Soc. Japan* **59**, 1161-1174 (2007)
 - [11] Okada, Y., Kokubun, M., Yuasa, T., & Makishima, K.: "Chandra Detections of Diffuse X-ray Emission From Globular Clusters", *Publ. Astr. Soc. Japan* **59**, 727-742 (2007)
 - [12] Sato, K., (5 名), Kitaguchi, T., Kawaharada, M., Kokubun, M., Makishima, K., Ota, N., Nakazawa, K., (6 名): "X-Ray Study of Temperature and

- Abundance Profiles of the Cluster of Galaxies Abell 1060 with Suzaku”, *Publ. Astr. Soc. Japan* **59**, 299-317 (2007)
- [13] Nakazawa, K., Makishima, K., & Fukazawa, Y.: “Hard X-Ray Properties of Groups of Galaxies as Observed with ASCA”, *Publ. Astr. Soc. Japan* **59**, 167-183 (2007)
- [14] Tsuchiya, H., Enoto, T., Yamada, S., Yuasa, T., Kawaharada, M., Kitaguchi, T., Kokubun, M., Kato, H., Okano, M., Nakamura, S., & Makishima, K.: “Detection of High-Energy Gamma Rays from Winter Thunderclouds”, *Phys. Rev. Lett.* **99**, id. 165002 (2007)
- [15] Naik, S., Dotani, T., Terada, Y., Nakajima, M., Mihara, T., Suzuki, M., Makishima, K., Sudoh, K., Kitamoto, S., Nagase, F., Enoto, T., & Takahashi, H.: “Broadband X-Ray Spectroscopy of A0535+262 with Suzaku”, *Astrophys. J.* **672**, 516-523 (2008)
- [16] Markowitz, A., Takahashi, T., Watanabe, S., Nakazawa, K., Fukazawa, Y., Kokubun, M., Makishima, K., (12 名): “The Suzaku Observation of the Nucleus of the Radio-loud Active Galaxy Centaurus A”, *Astrophys. J.* **672**, 209-224 (2008)
- [17] Tsuchiya, H., Miyasaka, H., Takahashi, E., Shimoda, S., Yamada, Y., Kondo, I., Makishima, K., Zhu, F., Tan, Y., (5 名): “Upper Limits on the Solar-Neutron Flux at the Yangbajing Neutron Monitor from BATSE-Detected Solar Flares”, *Astron. Astrophys.* **468**, 1089-1097(2007)
- [18] Terada, Y., Ishida, M., Mukai, K., Dotani, T., Makishima, K., Naik, S., Hayashi, T., Okada, S., Nakamura, R., & Enoto, T.: “Possible Suzaku detection of non-thermal X-ray signals from a rotating magnetized white dwarf”, *Adv. Space Res.* **41**, 512-517 (2008)
- [19] Kishishita, T., Ikeda, H., Kiyuna, T., Tamura, K., Nakazawa, K., & Takahashi, T.: “Development of a Low-Noise Analog Front-End ASIC for CdTe Detectors”, *Nucl. Inst. Meth. A.* **580**, 1363-1371 (2007)
- [20] Odaka, H., Takeda, S., Watanabe, S., Ishikawa, S., Ushio, M., Tanaka, T., Nakazawa, K., Takahashi, T., Tajima, H., & Fukazawa, Y.: “Performance Study of Si/CdTe Semiconductor Compton Telescopes with Monte Carlo Simulation”, *Nucl. Inst. Meth. A.* **579**, 878-885 (2007)
- [21] Watanabe, S., Takeda, S., Ishikawa, S., Odaka, H., Ushio, M., Tanaka, T., Nakazawa, K., (4 名): “Development of Semiconductor Imaging Detectors for a Si/CdTe Compton Camera”, *Nucl. Inst. Meth. A.* **579**, 871-877 (2007)
- [22] Takeda, S., Watanabe, S., Tanaka, T., Nakazawa, K., Takahashi, T., Fukazawa, Y., Yasuda, H., Tajima, H., Kuroda, Y., Onishi, M., & Genba, K.: “Development of Double-Sided Silicon Strip Detectors (DSSD) for a Compton Telescope”, *Nucl. Inst. Meth. A.* **579**, 859-865 (2007)
- [23] Itoh, T., Yanagida, T., Kokubun, M., Sato, M., Miyawaki, R., Makishima, K., Takashima, T., Tanaka, T., Nakazawa, K., Takahashi, T., Shimura, N., & Ishibashi, H.: “A 1-Dimensional γ -ray Position Sensor based on GSO:Ce Scintillators Coupled to a Si Strip Detector”, *Nucl. Inst. Meth. A.* **579**, 239-242 (2007)
- [24] Yanagida, T., Itoh, T., Takahashi, H., Hirakuri, S., Kokubun, M., Makishima, K., Sato, M., Enoto, T., Nakazawa, K., Takahashi, T., (2 名): “Improvement of Ceramic YAG(Ce) Scintillators to (Y₂Gd)₃Al₅O₁₂(Ce) for Gamma-Ray Detectors”, *Nuc. Instr. Meth. A.* **579**, 23-26 (2007)
- [25] Kishishita, T., Ikeda, Hirokazu, Tamura, K., Hiruta, T., Nakazawa, K., Takashima, T., & Takahashi, T.: “Initial Performance of the Two-Dimensional 1024-Channel Amplifier Array”, *Nucl. Inst. Meth. A.* **578**, 218-225 (2007)
- [26] Watanabe, S., Ishikawa, S., Takeda, S., Odaka, H., Tanaka, T., Takahashi, T., Nakazawa, K., Yamazato, Masaaki, Higa, Akira, Kaneku, Sakari New CdTe Pixel Gamma-Ray Detector with Pixelated Al Schottky Anodes *Jpn J. Appl. Phys.*, **46**, 6043 (2007)
- Publ. Astr. Soc. Japan* **60**, 「すざく」第2特集号
- [27] Tokoi, K., Sato, K., Ishisaki, Y., Ohashi, T., Yamasaki, N. Y., Nakazawa, K., Matsushita, K., Fukazawa, Y., Hoshino, A., Tamura, T., Egawa, C., Kawano, N., (5 名): “Suzaku Observation of HCG 62: Temperature, Abundance, and Extended Hard X-Ray Emission Profiles”, S317-S332
- [28] Awaki, H., Anabuki, N., Fukazawa, Y., Gallo, L. C., Ikeda, S., Isobe, N., Itoh, T., Kunieda, H., Makishima, K., Markowitz, A., (8 名): “Wide-Band Spectroscopy of the Compton Thick Seyfert2 Galaxy Markarian 3 with Suzaku”, S293-S306
- [29] Itoh, T., Done, C., Makishima, K., Madejski, G., Awaki, H., Gandhi, P., Isobe, N., Dewangan, G. C., Griffiths, R. E., Anabuki, N., Okajima, T., (5 名): “Suzaku Wide-Band X-Ray Spectroscopy of the Seyfert2 AGN in NGC 4945”, S251-S262
- [30] Isobe, N., Kubota, A., Makishima, K., Ghi, P., Griffiths, R. E., Dewangan, G. C., Itoh, T., & Mizuno, T.: “Discovery of a Bright Transient Ultraluminous X-Ray Source, Suzaku J1305-4931 in NGC 4945”, S241-S250
- [31] Yuasa, T., Tamura, K., Nakazawa, K., Kokubun, M., Makishima, K., Bamba, A., Maeda, Y., Takahashi, T., Ebisawa, K., Senda, A., Hyodo, Y., Tsuru, T. G., Koyama, K., Yamauchi, S., & Takahashi, H.: “Suzaku Detection of Extended/Diffuse Hard X-Ray Emission from the Galactic Center”, S207-S222

- [32] Takahashi, T., Tanaka, T., Uchiyama, Y., Hiraga, J. S., Nakazawa, K., Watanabe, S., Bamba, A., Hughes, J. P., Katagiri, H., (7 名): “Measuring the Broad-Band X-Ray Spectrum from 400eV to 40keV in the Southwest Part of the Supernova Remnant RXJ1713.773946”, S131–S140
- [33] Takahashi, H., Fukazawa, Y., Mizuno, T., Hirasawa, A., Kitamoto, S., Sudoh, K., Ogita, T., Kubota, A., Makishima, K., Itoh, T., Parmar, A., (15 名): “Low/Hard State Spectra of GRO J1655?40 Observed with Suzaku”, S69–S84
- [34] Enoto, T., Makishima, K., Terada, Y., Mihara, T., Nakazawa, K., Ueda, T., Dotani, T., Kokubun, M., Nagase, F., Naik, S., Suzuki, M., Nakajima, M., & Takahashi, H.: “Suzaku Observations of Hercules X-1: Measurements of the Two Cyclotron Harmonics”, S57–S68
- [35] Terada, Y., Enoto, T., Miyawaki, R., (7 名), Kamae, T., Kawaharada, M., Kokubun, M., Kuroda, Y., Makishima, K., Masukawa, K., Mizuno, T., Murakami, T., Nakazawa, K., (11 名): “In-Orbit Timing Calibration of the Hard X-Ray Detector on Board Suzaku”, S25–S34
- (会議集録)
- The Extreme Universe in the Suzaku Era, Prog. Theor. Phys. Suppl.* No. 169, ed. K. Hayashida, T. Tsuru, & K. Koyama (Nov. 2007)
- [36] Mizuno, T., Miyawaki, R., Ebisawa, K., Kubota, A., Miyamoto, M., Winter, L., Ueda, Y., Isobe, N., Makishima, K.: “Suzaku Observation of Two Ultraluminous X-Ray Sources in NGC1313”, pp. 229-233
- [37] Kubota, A., Dotani, T., Cottam, J., Kotani, T., Done, C., Ueda, Y., Fabian, A. C., Yasuda, T., Takahashi, H., Fukazawa, Y., Yamaoka, K., Makishima, K., Yamada, S., (2 名): “Suzaku Discovery of Absorption Lines from the Black Hole Transient 4U1630-472”, pp. 225-228
- [38] Makishima, K.: “X-ray Study on Stellar/ Intermediate Mass Black Holes”, pp.214-220
- [39] Takahashi, T., Tanaka, T., Uchiyama, Y., Hiraga, J. S., Nakazawa, K., Watanabe, S., Bamba, A., (9 名): “Suzaku Observation of TeV SNR RX J1713.7-3946”, pp. 157-161
- [40] Mihara, T., Terada, Y., Nakajima, M., Suzuki, M., Enoto, T., Makishima, K., Nagase, F., & Sudoh, K., “Cyclotron Observations of Binary X-Ray Pulsars”, pp. 191-195
- [41] Kokubun, M., Yuasa, T., Tamura, K., Makishima, K., Takahashi, T., Nakazawa, K., Yamasaki, N. Y., (12 名): “Hard X-Ray Investigation of the Galactic Center Region with Suzaku”, pp.109-112
- [42] Nakazawa, K., Kawano, N., Fukazawa, Y., Egawa, C., Kitaguchi, T., Kawaharada, M., Makishima, K., Ota, N., Tokoi, K., (4 名): “Suzaku Survey for Non-Thermal Hard X-Ray Emission from Clusters of Galaxies”, pp. 45-48
- [43] Ota, N., Fukazawa, Y., Fabian, A. C., Kanemaru, T., Kawaharada, M., Kawano, N., Kelley, R. L., Kitaguchi, T., Makishima, K., Matsushita, K., Murase, K., Nakazawa, K., (4 名): “Absence of Bulk Motions of the Intracluster Medium in the Centaurus Cluster”, pp. 25-28
- [44] Bautz, M., Miller, E., Arnaud, K., Porter, S., Hayashida, K., Henry, P., Hughes, J. P., Kawaharada, M., Makishima, K., Sato, K., Sanders, J., & Tamura, T.: “Suzaku Observations of Abell 1795: Cluster Emission to r_{200} ”, pp. 20-24
- 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 (2007) 集録
- [45] 長谷川雅也、鈴木純一、田中賢一、堀越 篤、野崎光昭、松田晋弥、槇田康博、山本 明、吉村浩司、篠田遼子、坂井賢一、西村 純、福家英之、山上隆正、吉田哲也、 T. Hams, J.W. Mitchell, A.A. Moiseev, M. Sasaki, R.E. Streitmatter, K.C. Kim, M-H. Lee, Z.D. Myers, E.S. Seo, J.F. Ormes, & N. Thakur: 「BESS-Polar-II : 実験計画と準備状況」, p. 158.
- [46] 松川庸介、折戸玲子、楠本?, 長谷川雅也、鈴木純一、田中賢一、堀越篤、野崎光昭、松田晋弥、槇田康博、山本 明、吉村浩司、篠田遼子、坂井賢一、西村 純、福家英之、山上隆正、吉田哲也、 T. Hams, J.W. Mitchell, A.A. Moiseev, M. Sasaki, R.E. Streitmatter, K.C. Kim, M-H. Lee, Z.D. Myers, E.S. Seo, J.F. Ormes, & N. Thakur: 「BESS-Polar-II : TOF 用 PMT 気密容器の開発 低温低圧動作試験結果」, p. 162.
- [47] 篠田遼子、坂井賢一、西村 純、鈴木純一、田中賢一、野崎光昭、長谷川雅也、松田晋弥、槇田康博、山本 明、吉村浩司、福家英之、山上隆正、吉田哲也、折戸玲子、楠本 ?, 松川庸介、堀越 篤、 T. Hams, J.W. Mitchell, A.A. Moiseev, M. Sasaki, R.E. Streitmatter, K.C. Kim, M-H. Lee, Z.D. Myers, E.S. Seo, J.F. Ormes, & N. Thakur: 「BESS-Polar-II: マグネットの開発」, p. 166.
- その他の会議集録
- [48] “Suzaku Observations of Low-Mass X-ray Binaries at High Mass-Accretion Rates”, *International Conference on Astrophysics of Compact Objects* (AIP Conf. Proc. 968), pp. 322-324 (2008)
- [49] Kawano, N., Fukazawa, Y., & Nakazawa, K.: “Suzaku Observations of Non-thermal X-ray Emission from Galaxy Clusters”, *The First GLAST Symp.* (AIP Conf. Proc. 921), pp. 488-489 (2007)
- [50] Fukazawa, Y., Ohno, M., Takahashi, T., Asano, T., Uehara, T., Yamaoka, K., Sugita, S., Terada, Y., Tamagawa, T., Suzuki, M., Sonoda, E., Sato, G., Enoto, T., Makishima, K., Takahashi, T., Kokubun, M., & Nakazawa, K.: “Suzaku HXD-WAM observations of Gamma-ray Prompt Emission and Collaboration with GLAST”, *ibid.*, pp. 106-108

- [51] Sato, K., Yamasaki, N. Y., Ishida, M., Ishisaki, Y., Ohashi, T., Kitaguchi, T., Kawaharada, M., Kokubun, M., Makishima, K., Ota, N., Nakazawa, K., (5名): “A Suzaku Observation of the Cluster of Galaxies A1060”, *Heating versus Cooling in Galaxies and Clusters of Galaxies* (Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007), pp. 398 (November 2007)
- [52] Nakazawa, K., Kawano, N., Fukazawa, Y., & Kitaguchi, T.: “Initial Results from Suzaku Hard X-ray Observations of Abell 3376”, *ibid.*, pp.401
- [53] Makishima, K.: “Observational Evidence for Intermediate-Mass Black Holes: Ultra-Luminous X-ray Sources”, *Black Holes from Stars to Galaxies –Across the Range of Masses* (Proc. IAU Symp. No.238: Cambridge University Press), ed. V. Karas and G. Matt., pp.209-218 (April 2007)
- (学位論文)
- [54] Miyawaki, Ryouhei: “X-ray Spectral Studies of Ultra-Luminous Compact X-ray Sources in Nearby Galaxies”, 博士学位論文
- [55] Itoh, Takeshi: “Suzaku Studies of Time Variable X-ray Spectra of Edge-On Active Galactic Nuclei”, 博士学位論文
- [56] Yamada, Shin'ya: “Improving the Calibration of Inorganic Scintillators Comprising the Suzaku Hard X-ray Detector”, 修士学位論文
- [57] Yuasa, Takayuki: “Development of SpaceWire-based Waveform-Sampling Pulse-Height Analyzer and its Application to a Hard X-Ray Detector”, 修士学位論文
- (国内雑誌)
- [58] 村島未生、牧島一夫、藤本正行、国分紀秀、松本宏典: 「X線で見える炭素合成の現場—高速星風をもつ惑星状星雲」、天文月報 (日本天文学会)、2007年9月号
- [59] 牧島一夫: 「公開シンポジウム『宇宙科学と大学』開催される」、ISAS ニュース (JAXA 宇宙科学研究本部)、2007年12月号
- [60] 村島未生: 「できたての炭素をとらえる惑星状星雲からのX線」、ISAS ニュース (JAXA 宇宙科学研究本部)、2008年3月号
- [61] 榎戸輝揚: 「宇宙X線で強磁場の世界へ: 中性子星の電子サイクロトロン共鳴」、*ibid*
- (著書)
- [62] 牧島一夫 (共著): 「ブラックホールと高エネルギー現象」、シリーズ現代の天文学 vol.8 (小山勝二、嶺重慎編; 現代評論社)
- < 【学術講演】 >
- (国際会議)
- 招待講演
- [63] T.Hams, K. Yoshimura, A. Yamamoto et al.: “BESS-Polar II experiment”, *30th Intl. Cosmic Ray Conf.* (July 2007, Merida)
- [64] K. Yoshimura & A. Yamamoto: “BESS experiment: Progress and Future Prospects”, *Advances in Cosmic Ray Science*, (2008, Waseda University, Tokyo)
- [65] Makishima, K.: “X-ray Missions: *Suzaku* and beyond”, *United Nations Basic Space Science Workshop* (2007年6月19日、国立天文台)
- [66] K. Makishima “Suzaku Results on Stellar-Mass Black Holes, ULXs, and Other Compact Objects”, *Astrophysics of Compact Objects* (2007年7月5日、中華人民共和国 黄山市)
The Suzaku X-ray Universe (2007年12月10-12日、San Diego)
- [67] Makishima, K.: “Neutron Star X-ray Binaries” (invited),
- [68] Enoto, T.: “Suzaku Observation of Anomalous X-ray Pulsar 4U 0142+61” (oral)
- [69] Kitaguchi, T.: “Effects of neutrons on HXD-PIN onboard Suzaku: residual background and solar flare signals” (poster)
- [70] Nakazawa, K.: “Hard X-ray Properties of a Merging Cluster Abell 3667 as Observed with Suzaku” (poster)
American Astronomical Society HEAD Meeting (2008年3月28~4月3日、Los Angeles)
- [71] Wik, D.R., Sarazin, C., Nakazawa, K., Finoguenov, A., Kawaharada, M., Kitaguchi, T., Okuyama, S., Matsushita, K., & Clarke, T. “The Continued Search for Non-thermal Hard X-ray Emission in the Coma and Abell 3667 Galaxy Clusters”
- [72] Terada, Y., Hayashi, T., Ishida, M., Makishima, K., Mukai, K., Dotani, T., Okada, S., Nakamura, R., Naik, S., Bamba, A., Morigami, K.: “Suzaku Discovery of Hard X-ray Pulsations from the Rotating Magnetized White Dwarf, AE Aquarii”
- [73] Takahashi, H., Makishima, K., Yamada, S., Done, C., Kubota, A., Dotani, T., Ebisawa, K., Itoh, T., Kitamoto, S., Negoro, H., Ueda, Y., & Yamaoka, K.: “Suzaku Broad-band Results On Cygnus X-1 In The Low/hard State”
- [74] Gandhi, P., Makishima, K., Fabian, A., Durant, M., Shahbaz, T., Dhillon, V., Marsh, T., Miller, J., & Spruit, H.: “Simultaneous Optical And X-ray Flickering Observations Of GX 339-4: Correlations On Sub-Second Timescales”
- その他の一般講演
- [75] J. Mitchell, A. Yamamoto et al., “Solar modulation of low-energy antiproton and proton spectra, measured by BESS”, *30th Intl. Cosmic Ray Conf.* (July 2007, Merida)

- [76] Yamada, S., Itoh, T., & Makishima, K: "Hard X-ray Observation of the M81 Nucleus with *Suzaku*", *XMM-Newton Workshop: The Next Decade* (2007 年 6 月 4~6 日, Madrid)
- [77] Kitaguchi, T: "Suzaku Study of Hard X-ray Emission from Neaby Galaxy Clusters", *XMM-Newton Workshop: The Next Decade* (2007 年 6 月 4~6 日, Madrid)
- [78] Enoto, T., Tsuchiya, H., Yamada, S., Yuasa, T., Kawaharada, M., Kitaguchi, T., Kokubun, M., Kato, H., Okano, M., Nakamura, S., & Makishima, K.: "Detection of gamma-rays from winter thunderclouds along the coast of Japan Sea", *30th International Cosmic Ray Conference* (2007 年 7 月 3~11 日, Merida, Yucatan, Mexico)
- [79] Yuasa, T., Nakazawa, K. Makishima, K., Odaka, H., Kokubun, M., Takashima, T., Takahashi, T., Nomachi, M., Fujishiro, I., & Hodoshima, F.: "Development of a SpaceWire/RMAP-based Data Acquisition Framework for Scientific Detector Applications", *International SpaceWire Conference* (2007 年 9 月 17~19 日, Dundee, Scotland)
- [80] Kitaguchi, T.: "Effects of Neutrons on HXD-PIN Background onboard *Suzaku*", *5th Geant4 Space Users' Workshop* (2007 年 2 月 13~15 日, 山上会館)
- [81] Yuasa, T.: "*Suzaku* HXD observation of the Galactic center", *Swiss-Japan/ INTEGRAL-Suzaku meeting* (2008 年 4 月 15~17 日, JAXA 相模原)
- (国内会議)
- 日本物理学会・秋季大会 (2007 年 9 月 21~24 日, 札幌・北海道大学)
- [82] 松川陽介ほか: "BESS-Polar II PMT 用気密容器の開発~低温低圧動作試験~", 21pZB-1
- [83] 坂井賢一ほか: "BESS-Polar II 実験 - エアロジェルのチェレンコフカウンターの開発と性能評価", 21pZB-2
- [84] 堀越篤ほか: "BESS-Polar II 実験 - Middle TOF カウンターの開発と性能評価", 21pZB-3
- [85] 灰野禎一ほか: "ESS-Polar I 実験における反陽子流束解析の進展", 21pZB-9
- [86] 長谷川雅也ほか: "BESS Polar-II 実験 - 概要と準備状況 -", 21pZB-10
- [87] 篠田遼子ほか: "BESS-Polar II 実験 - 南極二周回飛翔にむけた超伝導マグネットの開発と性能評価", 21pZB-11
- [88] 北口貴雄, 榎戸輝揚, 中澤知洋, 牧島一夫, 国分紀秀, 川原田円, 寺田幸功, (8 名): "『すざく』衛星による 2006 年 12 月 5 日の X9.0 太陽フレアからの中性子検出の可能性", 22aYJ-2
- [89] 国分紀秀, 高橋忠幸, 渡辺伸, 中澤知洋, 牧島一夫, 寺田幸功, 川原田円, 玉川徹, 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 田代信, 山岡和貴, 村上敏夫, 米徳大輔, 他: "『すざく』衛星硬 X 線検出器 (HXD) 主検出部の現状 (IV)", 22aZJ-2
- [90] 寺田幸功, 榎戸輝揚, 石崎欣尚, 海老沢研, 国分紀秀, 牧島一夫, 他: "X 線パルサーを用いた『すざく』衛星硬 X 線検出器の時刻較正 (II)", 22aZJ-3
- [91] 山田真也, 牧島一夫, 伊藤健, 中澤知洋, 久保田あや, 高橋弘充, 堂谷忠靖, 海老沢研, 北本俊二, 山岡和貴, 根来均, 他: "『すざく』衛星による Low-Hard 状態における CygX-1 の観測", 22aZJ-5
- [92] 榎戸輝揚, 三原建弘, 寺田幸功, 鈴木素子, 長瀬文昭, 上田剛, 中島基樹, 高橋弘充, 国分紀秀, 中澤知洋, 牧島一夫: "『すざく』衛星による Her X-1 のサイクロトロン共鳴線の観測", 22aZJ-6
- [93] 湯浅孝行, 田村健一, 中澤知洋, 国分紀秀, 牧島一夫, 高橋忠幸, 海老沢研, 馬場彩, 千田篤史, 森英之, 乾達也, 兵藤義明, (9 名): "『すざく』衛星による銀河中心拡散 X 線放射の観測", 22aZJ-9
- [94] 磯部直樹, 牧島一夫, 高橋弘充, 水野恒史, 千田篤史, 川原田円, 宮脇良平, 吉田鉄生, Richard Mushotzky: "NGC2403 銀河中の超光度 X 線源 (ULX) の『すざく』衛星による観測", 22aZJ-11
- [95] 牧島一夫: "宇宙におけるプラズマ現象と非熱的過程", 23aEF-2 (レビューセッション)
- [96] 土屋晴文, 榎戸輝揚, 山田真也, 湯浅孝行, 川原田円, 北口貴雄, 国分紀秀, 岡野眞治, 加藤博, 中村聡史, 牧島一夫: "日本海の冬季雷雲に付随した X 線およびガンマ線の観測", 24aZJ-9
- [97] 穀山渉, 安東正樹, 森脇成典, 石徹白晃治, 新谷昌人, 麻生洋一, 高島健, 中澤知洋, 高橋忠幸, 国分紀秀, 吉光徹雄, 小高裕和, 湯浅孝行, 石川毅彦, 榎戸輝揚, (12 名): "宇宙実験実証プラットフォーム (SWIM) を用いた超小型重力波検出器の開発 IV (現状)", 21aZH-11
- [98] 石川真之介, 渡辺伸, 武田伸一郎, 小高裕和, 青野博之, 高橋忠幸, 中澤知洋, 田中孝明: "X 線・ γ 線観測に向けた新しい電極構造による CdTe 半導体撮像検出器", 22pZJ-3
- [99] 青野博之, 石川真之介, 小高裕和, 武田伸一郎, 渡辺伸, 国分紀秀, 高橋忠幸, 中澤知洋: "宇宙ガンマ線観測に向けたショットキー型 CdTe 半導体検出器の評価実験", 22pZJ-4
- 日本天文学会・秋の年会 (2007 年 9 月 26~29 日, 岐阜大学)
- [100] 牧島一夫: "高温で希薄な宇宙磁化プラズマと長距離相互作用", A220a
- [101] 榎戸輝揚, 土屋晴文, 山田真也, 湯浅孝行, 北口貴雄, 国分紀秀, 川原田円, 岡野眞治, 加藤博, 中村聡史, 牧島一夫: "雷雲電場による粒子加速の地上観測", A109b
- [102] 磯部直樹, 千田篤史, 川原田円, 牧島一夫, 高橋弘充, 水野恒史, 宮脇良平, 吉田鉄生, Richard Mushotzky: "NGC 2043 銀河中の超光度 X 線源のスペクトル状態の遷移", J32a
- [103] 高橋弘充, 吉良知恵, 深沢泰司, 牧島一夫, 山田真也, 伊藤健, 久保田あや), Chris Done, 堂谷忠靖, 海老沢研, 北本俊二, 根来均, 上田佳宏, 山岡和貴: "『すざく』衛星による白鳥座 X-1 の Low/Hard 状態の観測", J33a

- [104] 林多佳由、寺田幸功、石田学、岡田俊策、中村良子、馬場彩、向井浩二、堂谷忠靖、S.Naik、L.Gallo、榎戸輝揚、牧島一夫：「『すざく』による強磁場白色矮星連星 AE Aquarii における非熱的放射の探査」_{J35a}
- [105] 榎戸輝揚、牧島一夫、三原建弘、寺田幸功、中澤知洋、上田剛、中島基樹、鈴木素子、長瀬文昭：「『すざく』衛星による Her X-1 サイクロトロン共鳴吸収の観測」_{J36a}
- [106] 上田剛、榎戸輝揚、中澤知洋、鈴木素子、牧島一夫：「『すざく』による Her X-1 のサイクロトロン第二共鳴構造とディップ時の吸収構造の解析」_{J37a}
- [107] 国分紀秀、湯浅孝行、中澤知洋、牧島一夫、田村健一、内山泰伸、村上弘志、馬場彩、前田良知、海老沢研、高橋忠幸、兵藤義明、鶴剛、小山勝二、千田篤史、山内茂雄、高橋弘充：「『すざく』による銀河中心領域からの広がった硬 X 線放射の発見」_{Q20a}
- [108] 上原悠一、中澤知洋、伊藤健、山田真也、牧島一夫：「『すざく』の広帯域スペクトルを用いた MCG-6-30-15 の X 線短期変動の解析」_{S25a}
- [109] 奥山翔、武田伸一郎、安田創、中澤知洋、石川真之介、小高裕和、渡辺伸、高橋忠幸、深沢泰司、田中琢也、田島宏康、田中孝明、牧島一夫：「硬 X 線の精密な撮像分光観測に向けた多層 DSSD システムの開発の現状」_{W75a}
- 「マクロでマイクロな銀河団」(2007年10月24~26日、山形蔵王)
- [110] 中澤知洋：「『すざく』による衝突銀河団 A3667 のマッピング観測
- [111] 北口貴雄：「『すざく』衛星によるリラックスした近傍銀河団の硬 X 線分光観測
- [112] 奥山翔：A3667 銀河団の北西電波源上付近の X 線放射の詳細観測
- 日本物理学会・春の年会 (2008年3月22~26日、東大阪・近畿大学)
- [113] 長谷川雅也ほか：「BESS Polar-II 実験 - 実験実施報告 -」_{J23aZP-7}
- [114] 折戸玲子ほか：「BESS Polar-II 実験 - 宇宙線流束解析経過報告 -」_{J23aZP-8}
- [115] 堀越篤、折戸玲子ほか：「BESS Polar-II 実験-Middle TOF カウンターの性能評価 -」_{J24pZJ-15}
- [116] 坂井賢一ほか：「BESS Polar-II 実験 - エアロジェルチェレンコフカウンターの性能評価 -」_{J24pZJ-16}
- [117] 山岡和貴、中川友進、杉田聡司、田代信、寺田幸功、浦田裕次、恩田香織、遠藤輝、鈴木正信、小高夏来、守上浩市、玉川徹、洪秀徴、国分紀秀、鈴木素子、高橋忠幸、深沢泰司、大野雅功、高橋拓也、上原岳士、吉良知恵、花畑義隆、中澤知洋、榎戸輝揚、牧島一夫、(8名)：「『すざく』衛星搭載硬 X 線検出器広帯域全天モニタ部 (HXD-WAM) の現状 (IV)」_{J23aZX-1}
- [118] 山田真也、北口貴雄、川原田円、国分紀秀、中澤知洋、牧島一夫：「『すざく』搭載 GSO シンチレータのエネルギー応答関数の再考」_{J23aZX-2}
- [119] 牧島一夫、榎戸輝揚、中島基樹、三原建弘、寺田幸功、鈴木素子、岩切渉、上田剛、北口貴雄、中澤知洋、国分紀秀：「『すざく』および RXTE 衛星で探る X 線パルサーのサイクロトロン吸収線」_{J23aZX-3}
- [120] 上原悠一、中澤知洋、伊藤健、山田真也、牧島一夫：「X 線衛星『すざく』を用いた活動銀河核からの放射の時間変動解析」_{J23aZX-4}
- [121] 上田剛、榎戸輝揚、中澤知洋、鈴木素子、牧島一夫：「『すざく』による Her X-1 の軟 X 線吸収構造の解析」_{J23aZX-5}
- [122] 中澤知洋、奥山翔、北口貴雄、深沢泰司、滝沢元和、井上進、牧島一夫：「X 線衛星『すざく』が捉えた衝突銀河団 Abell 3667 銀河団における ICM 加熱と銀河間磁場」_{J23aZX-6}
- [123] 北口貴雄、榎戸輝揚、中澤知洋、牧島一夫、馬場彩、国分紀秀、川原田円、遠藤輝、浦田裕次、寺田幸功、(5名)：「『すざく』衛星による 2006年12月5日の X9 太陽フレアからの中性子検出の可能性 II」_{J23aZX-7}
- [124] 奥山翔、武田伸一郎、安田創、中澤知洋、石川真之介、小高裕和、渡辺伸、高橋忠幸、深沢泰司、田中琢也、田島宏康、田中孝明、牧島一夫：「硬 X 線の精密な撮像分光観測に向けた多層 DSSD システムの開発の現状」_{J23aZX-11}
- [125] 玉川徹、早藤麻美、阿部幸二、岩本慎也、中村聡史、原山淳、岩橋孝典、安田仲宏、北村尚、門叶冬樹、牧島一夫：「Thick-foil GEM のゲイン変動と放電率調査」_{J23pZJ-12}
- [126] 湯浅孝行、中澤知洋、牧島一夫、小高裕和、佐藤理江、国分紀秀、高島健、高橋忠幸、能町正晴、森國城：「SpaceWire を用いた波形サンプル型 8 ch ADC 読み出しボードの開発とコンプトンカメラのシールド部への応用」_{J23pZX-13}
- [127] 榎戸輝揚：「雷雲ガンマ線の発生と素過程」_{J24pQF-4}
- [128] 石川真之介、青野博之、渡辺伸、武田伸一郎、小高裕和、高橋忠幸、中澤知洋、田中孝明、兼久盛、比嘉晃、黒田能克、加藤昌浩、大西光延：「X 線・線観測に向けた新しい電極構造による CdTe 半導体撮像検出器 II」_{J23aZX-13}
- [129] 穀山渉、安東正樹、森脇成典、石徹白晃治、新谷昌人、麻生洋一、高島健、中澤知洋、高橋忠幸、国分紀秀、吉光徹雄、小高裕和、湯浅孝行、石川毅彦、榎戸輝揚、(10名)：「宇宙実験実証プラットフォーム (SWIM) を用いた超小型重力波検出器の開発 V (試験の現状)」_{J25pZW-4}

その他の学会

- [130] 福家英之、長谷川雅也ほか：「Status of the BESS Polar II experiment」, 大気球シンポジウム (2007年12月13~14日、JAXA 相模原)
- [131] 榎戸輝揚、土屋晴文、湯浅孝行、山田真也、北口貴雄、川原田円、国分紀秀、加藤博、牧島一夫：「日本海側の冬期雷雲に伴う X 線/ガンマ線の観測 (1)」(口頭)、地球惑星合同大会 大気電気一般 Z240-011、(2007年5月24日)

- [132] 榎戸輝揚、寺田幸功、三原建弘、高橋弘充、幸村孝由、中島基樹、岩切渉、鈴木素子、堂谷忠靖、長瀬文昭、上田剛、中澤知洋、牧島一夫：「すざく衛星で探る中性子サイクロトロン共鳴」(ポスター)、第8回宇宙科学シンポジウム(2008年1月8~9日、JAXA相模原)
- [133] 榎戸輝揚、土屋晴文、山田真也、湯浅孝行、上田剛、北口貴雄、川原田円、国分紀秀、中村聡史、加藤博、岡野真治、三谷烈史、高島健、牧島一夫：「日本海側の冬季雷雲に伴うガンマ線観測(2007年度)」第9回惑星圏研究会(2008年3月19日、東北大学)

(セミナーなど)

- [134] 牧島一夫：「『すざく』観測結果のハイライト」、ビッグバン宇宙国際センター夏の学校(2007年9月1日、箱根)
- [135] 牧島一夫：「衛星計画の困難とその克服」、東京大学理学系研究科 先端理学コミュニケーション(2008年2月5日)
- [136] 湯浅孝行 & SpaceWire ユーザ会：「宇宙機用データ通信規格『SpaceWire』を用いたデータ取得系の開発」、理研・宇宙放射線研究室・知の共有セミナー(2008年4月17日)

II

2007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 教員，職員，および研究員

ビッグバン宇宙国際研究センター

牧島 一夫（センター長 / 教授）

横山 順一（教授）

茂山 俊和（准教授）

樽家 篤史（助教）

向山 信治（助教）

N. Kaloper（外国人客員教授）

S. I. Blinikov（外国人客員教授）

P. A. Mazzali（外国人客員教授）

杉本 香菜子（機関研究員）

平松 尚志（機関研究員）

永田 竜（教務補佐員）

永野 早百合（時間雇用職員）

南澤 三恵子（時間雇用職員）

研究プロジェクト及び協力研究者

- | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|
| 1 . 初期宇宙進化論 | 佐藤 勝彦 | 須藤 靖 | 柳田 勉 | 渡利 泰山 |
| 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 譲 | 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 | | | |
| 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 | 山本 明 | 佐貫 智行 | |

2 シンポジウム・研究会

2.1 ビッグバン宇宙国際研究センター第二回公開講演会 「宇宙の進化とダークエネルギー」

日時：2007年6月8日(金) 17:30 - 19:00

場所：東京大学本郷キャンパス 理学部1号館中央棟2階 小柴ホール(東京都文京区本郷)

プログラム

須藤 靖 ダークエネルギーの概説と講師紹介 (20分)

David Spergel Taking the Universe's Baby Picture (70分)

2.2 第7回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会：'Dark Energy in the Universe' サマースクール

日時：2007年9月1日(土) - 9月4日(火)

場所：文部科学省共済組合 箱根宿泊所「四季の湯 強羅静雲荘」(神奈川県足柄下郡箱根町強羅 1320)

<http://www9.ocn.ne.jp/seiunsou/>

プログラム

9月1日(土)

13:15 - 15:10 afternoon session I (座長 樽家)

牧島 一夫 センター長挨拶・連絡事項 (10分)

牧島 一夫 「すざく」観測成果のハイライト (35分)

梅田 秀之 野本・梅田研報告(最近の超新星、ガンマ線バースト、元素合成、初期世代星についての話題) (35分)

井上 慶純 蓑輪研報告 (35分)

15:10 - 15:30 休憩

15:30 - 17:15 afternoon session II (座長 向山)

長谷川 雅也 Status of the BESS Polar-II Experiment (35分)

峰崎 岳夫 MAGNUM プロジェクト現況報告 (35分)

須藤 靖 SDSS の現状と今後の予定 (35分)

17:15 - 17:30 poster presentation (1人2分)

2.2. 第7回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会: 'Dark Energy in the Universe' サマースクール69

- 小林 恍 Constraints on Wrapped DBI Inflation in a Warped Throat
齋藤 遼 single field inflation の生み出す非線形性の解析
山中 雅之 Ia 型超新星 2006X、2007af の可視光測光分光観測
中山 和則 X-ray constraints on decaying particles
山内 大介 任意次元における Z_2 対称性を持たないブレンワールド
棚橋 典大 Time-symmetric initial data of brane-localized black hole in RS-II model
鎌田 耕平 複数のフラットディレクションを用いたアフック=ダイン=バリオン数生成

17:30 - 18:00 free discussion & poster session

9月2日(日)

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

- 斎藤 俊 The impact of non-linear evolution of cosmological matter power spectrum on the measurement of neutrino masses (20分)
西澤 淳 non-linear evolution of gravitational potential and Rees-Sciama effect in a LCDM Universe (20分)
奥村 哲平 Large-scale Anisotropic Correlation Function of SDSS Luminous Red Galaxies (20分)
関口 豊和 Structure formation with Decay-produced Dark Matter (20分)

10:20 - 10:35 休憩・ポスター

10:35 - 11:55 morning session II (座長 平松)

- 杉本 香菜子 大質量星への質量降着条件: 輻射圧障壁の再考 (20分)
水野 俊太郎 Primordial perturbations in new ekpyrotic cosmology (20分)
木下 俊一郎 de Sitter compactifications with warped geometry (20分)
日下部 元彦 宇宙初期の超新星宇宙線による軽元素合成 (20分)

11:55 - 13:30 昼食

13:30 - 15:00 summer school I

- Yasushi Suto Introducing DENET, HSC and WFMOS (20分)
Nemanja Kaloper Cosmological Constant and Other Dark Energies (1/3) (70分)

15:00 - 15:20 休憩・ポスター

15:20 - 16:30 summer school II

- David Parkinson The effect of dark energy on large-scale structure/Large structure and baryon acoustic oscillations as cosmological probes (1/3) (70分) 16cmIX

16:30 - 16:50 休憩・ポスター

16:50 - 18:00 summer school III

- Mamoru Doi Supernova observations for dark energy (1/2) (70分)

9月3日(月)

9:00 - 10:10 summer school IV

Nemanja Kaloper Cosmological Constant and Other Dark Energies (2/3) (70 分)

10:10 - 10:30 休憩・ポスター

10:30 - 11:40 summer school V

David Parkinson The effect of dark energy on large-scale structure/Large structure and baryon acoustic oscillations as cosmological probes (2/3) (70 分)

11:40 - 12:00 休憩・ポスター

12:00 - 13:10 summer school VI

Mamoru Doi Supernova observations for dark energy (2/2) (70 分)

13:10 - 18:00 free time

9月4日(火)

9:00 - 10:10 summer school VII

Nemanja Kaloper Cosmological Constant and Other Dark Energies (3/3) (70 分)

10:10 - 10:30 休憩・ポスター

10:30 - 11:40 summer school VIII

David Parkinson The effect of dark energy on large-scale structure/Large structure and baryon acoustic oscillations as cosmological probes (3/3) (70 分)

11:40 - 13:00 昼食

13:00 - 14:00 Talks in English I (座長 茂山)

Shinji Mukohyama Conformal Inflation (20 分)

Takeshi Chiba A comment on p-adic inflation (20 分)

Naoki Seto Geometry of the LIGO-LCGT network (20 分)

14:00 - 14:10 休憩

14:10 - 14:50 Talks in English II (座長 茂山)

Atsushi Taruya Closure theory for non-linear gravitational evolution of power spectrum (20 分)

Jun'ichi Yokoyama Bayesian reconstruction of primordial power spectrum from CMB anisotropy (20 分)

3 プレプリント・リスト

RESCEU-143/07

Formation of intermediate-mass black holes as primordial black holes in the inflationary cosmology with running spectral index *Toshihiro Kawaguchi, Masahiro Kawasaki, Tsutomu Takayama, Masahide Yamaguchi, Jun'ichi Yokoyama* 2007, Mon Not Roy Astron Soc [astro-ph/0711.3886]

RESCEU-142/07

New CdTe Pixel Gamma-Ray Detector with Pixelated Al Schottky Anodes *Watanabe, S., Ishikawa, S., Takeda, S., Odaka, H., Tanaka, T., Takahashi, T., Nakazawa, K., Yamazato, Masaaki, Higa, Akira, Kaneku, Sakari* (2007), Jpan J. Appl. Phys., 46, 6043

RESCEU-141/07

Initial Performance of the Two-Dimensional 1024-Channel Amplifier Array *Kishishita, T., Ikeda, Hirokazu, Tamura, K., Hiruta, T., Nakazawa, K., Takashima, T., & Takahashi, T.* (2007), Nucl. Inst. Meth. A. 578, 218-225

RESCEU-140/07

Improvement of Ceramic YAG(Ce) Scintillators to (YGd)₃Al₅O₁₂(Ce) for Gamma-Ray Detectors *Yanagida, T., Itoh, T., Takahashi, H., Hirakuri, S., Kokubun, M., Makishima, K., Sato, M., Enoto, T., Nakazawa, K., Takahashi, T., (2 coauthors)* (2007), Nuc. Instr. Meth. A. 579, 23-26

RESCEU-139/07

A 1-Dimensional γ -ray Position Sensor based on GSO:Ce Scintillators Coupled to a Si Strip Detector *Itoh, T., Yanagida, T., Kokubun, M., Sato, M., Miyawaki, R., Makishima, K., Takashima, T., Tanaka, T., Nakazawa, K., Takahashi, T., Shimura, N., & Ishibashi, H.* (2007), Nucl. Inst. Meth. A. 579, 239-242

RESCEU-138/07

Development of Double-Sided Silicon Strip Detectors (DSSD) for a Compton Telescope *Takeda, S., Watanabe, S., Tanaka, T., Nakazawa, K., Takahashi, T., Fukazawa, Y., Yasuda, H., Tajima, H., Kuroda, Y., Onishi, M., & Genba, K.* (2007), Nucl. Inst. Meth. A. 579, 859-865

RESCEU-137/07

Development of Semiconductor Imaging Detectors for a Si/CdTe Compton Camera *Watanabe, S., Takeda, S., Ishikawa, S., Odaka, H., Ushio, M., Tanaka, T., Nakazawa, (4 coauthors)* (2007), Nucl. Inst. Meth. A. 579, 871-877

RESCEU-136/07

Performance Study of Si/CdTe Semiconductor Compton Telescopes with Monte Carlo Simulation *Odaka, H., Takeda, S., Watanabe, S., Ishikawa, S., Ushio, M., Tanaka, T., Nakazawa, K., Takahashi, T., Tajima, H., & Fukazawa, Y.* (2007), Nucl. Inst. Meth. A. 579, 878-885

RESCEU-135/07

Development of a Low-Noise Analog Front-End ASIC for CdTe Detectors *Kishishita, T., Ikeda, H., Kiyuna, T., Tamura, K., Nakazawa, K., & Takahashi, T.* (2007), Nucl. Inst. Meth. A. 580, 1363-1371

RESCEU-134/07

Upper Limits on the Solar-Neutron Flux at the Yangbajing Neutron Monitor from BATSE-Detected Solar Flares *Tsuchiya, H., Miyasaka, H., Takahashi, E., Shimoda, S., Yamada, Y., Kondo, I., Makishima, K., Zhu, F., Tan, Y., (5 coauthors)* (2007), Astron. Astrophys. 468, 1089-1097

RESCEU-133/07

Detection of High-Energy Gamma Rays from Winter Thunderclouds *Tsuchiya, H., Enoto, T., Yamada, S., Yuasa, T., Kawaharada, M., Kitaguchi, T., Kokubun, M., Kato, H., Okano, M., Nakamura, S., & Makishima, K.* (2007), *Phys. Rev. Lett.* 99, 165002

RESCEU-132/07

Hard X-Ray Properties of Groups of Galaxies as Observed with ASCA *Nakazawa, K., Makishima, K., & Fukazawa, Y.* (2007), *Publ. Astr. Soc. Japan* 59, 167-183

RESCEU-131/07

X-Ray Study of Temperature and Abundance Profiles of the Cluster of Galaxies Abell 1060 with Suzaku *Sato, K., (5 coauthors), Kitaguchi, T., Kawaharada, M., Kokubun, M., Makishima, K., Ota, N., Nakazawa, K., (6 coauthors)* (2007), *Publ. Astr. Soc. Japan* 59, 299-317

RESCEU-130/07

Chandra Detections of Diffuse X-ray Emission From Globular Clusters *Okada, Y., Kokubun, M., Yuasa, T., & Makishima, K.* (2007), *Publ. Astr. Soc. Japan* 59, 727-742

RESCEU-129/07

Effects of Compton scattering on the Gamma Ray Spectra of Solar flares *Kotoku, J., Makishima, K., Matsumoto, Y., Kohama, M., Terada, Y., & Tamagawa, T.* (2007), *Publ. Astr. Soc. Japan* 59, 1161-1174

RESCEU-128/07

Cryogenics performance of ultra-thin superconducting solenoids for cosmic ray observation with ballooning *Y. Makida, R. Shinoda, J. Suzuki, A. Yamamoto, & S. Mizumaki* (2007), *IEEE Trans. Appl. Superc.* 17, 1205

RESCEU-127/07

Measurements of 0.2 to 20 GeV/n cosmic-ray proton and helium spectra from 1997 through 2002 with the BESS spectrometer *Y. Shikaze, S. Haino, K. Abe, H. Fuke, T. Hams, K.C. Kim, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A.A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J.F. Ormes, T. Sanuki, M. Sasaki, E.S. Seo, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida, & K. Yoshimura* (2007), *Astroparticle Phys.* 28, 154

RESCEU-126/07

The BESS Program *A. Yamamoto, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, K. Kim, T. Kumazawa, M.H. Lee, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, R. Orito, S. Orito, J.F. Ormes, T. Sanuki, K. Sakai, M. Sasaki, E.S. Seo, Y. Shikaze, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, T. Yoshida, & K. Yoshimura* (2007), *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* 116, 62

RESCEU-125/07

The Galaxy Luminosity Functions down to M-10 in the Hydra I Cluster *Yamanoi, H., Tanaka, M., Hamabe, M., Yagi, M., Okamura, S., Iye, M., Shimasaku, K., Doi, M., Komiyama, Y., Furusawa, H.* (2007), *AJ*, 134, 56-63.

RESCEU-124/07

The Remarkable 602 kpc Optical Filament Associated with a Poststarburst Galaxy in Coma Cluster *Yagi, M., Komiyama, Y., Yoshida, M., Furusawa, H., Kashikawa, N., Koyama, Y., & Okamura, S.* (2007), *ApJ*, 660, 1209-1214.

RESCEU-123/07

The Cosmic Evolution Survey (COSMOS): Subaru Observations of the HST Cosmos Field *Taniguchi, Y., Scoville, N., Murayama, T., Sanders, D. B., Mobasher, B., Aussel, H., Capak, P., Ajiki, M., Miyazaki, S., Komiyama, Y., & 20 coauthors including Okamura, S.* (2007), *ApJS*, 172, 9-28.

RESCEU-122/07

Sub-millimetre properties of massive star-forming galaxies at z2 in SHADES/SXDF *Takagi, T., Mortier, A. M. J., Shimasaku, K., Coppin, K., Pope, A., Ivison, R. J., Hanami, H., Serjeant, S., Dunlop, J. S.* (2007), in *IAU Symp*, 235, Galaxy Evolution Across the Hubble Time, 429-429.

RESCEU-121/07

The SCUBA Half Degree Extragalactic Survey (SHADES) - V. Submillimetre properties of near-infrared-selected galaxies in the Subaru/XMM -Newton deep field Takagi, T., Mortier, A. M. J., Shimasaku, K., Coppin, K., Pope, A., Ivison, R. J., Hanami, H., Serjeant, S., Clements, D. L., Priddey, R. S., Dunlop, J. S., Takata, T., Aretxaga, I., Chapman, S. C., Eales, S. A., Farrah, D., Granato, G. L., Halpern, M., Hughes, D. H., van Kampen, E., Scott, D., Sekiguchi, K., Smail, I., Vaccari, M. (2007), MNRAS, 381, 1154-1168.

RESCEU-120/07

A Potential Galaxy Threshing System in the COSMOS Field Sasaki, S. S., Taniguchi, Y., Scoville, N., Mobasher, B., Aussel, H., Sanders, D. B., Koekemoer, A., Ajiki, M., Komiyama, Y., Miyazaki, S. & 19 coauthors including Okamura, S. (2007), ApJS, 172, 511-517.

RESCEU-119/07

Exploring the Cosmic Dawn with Subaru Telescope Ouchi, M., Tokoku, C., Shimasaku, K., Ichikawa, T. (2007), in ASP Conference Series, Vol. 379, Cosmic Frontiers, 47-56.

RESCEU-118/07

The Luminosity Function and Star Formation Rate between Redshifts of 0.07 and 1.47 for Narrowband Emitters in the Subaru Deep Field Ly, C., Malkan, M. A., Kashikawa, N., Shimasaku, K., Doi, M., Nagao, T., Iye, M., Kodama, T., Morokuma, T., Motohara, K. (2007), ApJ, 657, 738-759.

RESCEU-117/07

The HI content of star-forming galaxies at $z = 0.24$ Lah, P., Chengalur, J. N., Briggs, F. H., Colless, M., de Propris, R., Pracy, M. B., de Blok, W. J. G., Fujita, S. S., Ajiki, M., Shioya, Y., Nagao, T., Murayama, T., Taniguchi, Y., Yagi, M., Okamura, S. (2007), MNRAS, 376, 1357-1366.

RESCEU-116/07

Dependence of the build-up of the colour-magnitude relation on cluster richness at $z \approx 0.8$ Koyama, Y., Kodama, T., Tanaka, M., Shimasaku, K., Okamura, S. (2007), MNRAS, 382, 1719-1728.

RESCEU-115/07

Wide-Field Survey around Local Group Dwarf Spheroidal Galaxy Leo II: Spatial Distribution of Stellar Content Komiyama, Y., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Imi, K., Kimura, M., Miyazaki, S., Nakata, F., Okada, N., Okamura, S., Ouchi, M., Sekiguchi, M., Shimasaku, K., Yagi, M., Yasuda, N. (2007), AJ, 134, 835-845.

RESCEU-114/07

Luminosity-Dependent Clustering of Star-forming BzK Galaxies at Redshift 2 Hayashi, M., Shimasaku, K., Motohara, K., Yoshida, M., Okamura, S., Kashikawa, N. (2007), ApJ, 660, 72-80.

RESCEU-113/07

The kinematics of intracluster planetary nebulae and the on-going subcluster merger in the Coma cluster core Gerhard, O., Arnaboldi, M., Freeman, K. C., Okamura, S., Kashikawa, N., Yasuda, N. (2007), AAP, 468, 815-822.

RESCEU-112/07

A Catalog of Morphologically Classified Galaxies from the Sloan Digital Sky Survey: North Equatorial Region Fukugita, M., Nakamura, O., Okamura, S., Yasuda, N., Barentine, J. C., Brinkmann, J., Gunn, J. E., Harvanek, M., Ichikawa, T., Lupton, R. H., Schneider, D.P., Strauss, M., York, D.G. (2007), AJ, 134, 579-593.

RESCEU-111/07

Multi-Slit Imaging Spectroscopy Technique: Catalog of Intracluster Planetary Nebulae in the Coma Cluster Arnaboldi, M., Gerhard, O., Okamura, S., Kashikawa, N., Yasuda, N., Freeman, K. C. (2007), PASJ, 59, 419-425.

RESCEU-110/07

The Fifth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey Adelman-McCarthy, J. K., Agueros, M. A., Allam, S. S., Anderson, K. S. J., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., Bailer-Jones, C. A. L., Baldry, I. K., Barentine, J. C. & 144 coauthors including Okamura, S. & Shimasaku, K. (2007), ApJS, 172, 634-644.

RESCEU-109/07

Statistical Understanding of Quark and Lepton Masses in Gaussian Landscapes *L.J.Hall, M.P.Salem and T.Watari* (2007), Phys.Rev.D76:093001, [hep-ph/0707.3446]

RESCEU-108/07

Quark and Lepton Masses from Gaussian Landscapes *L.J.Hall, M.P.Salem and T.Watari* (2008), Phys.Rev.Lett.100:141801, [hep-ph/0707.3444]

RESCEU-107/07

Gauge Mediation with D-term SUSY Breaking *Y. Nakayama, M. Taki, T. Watari and T.T. Yanagida* (2007), Phys.Lett.B655:58-66, [hep-ph/0705.0865]

RESCEU-106/07

Supernova Nucleosynthesis in Population III 13-50 M_{\odot} Stars and Abundance Patterns of Extremely Metal-poor Stars *Tominaga, N., Umeda, H., and Nomoto, K.* (2007), ApJ 660, 516-540

RESCEU-105/07

The Connection between Gamma-Ray Bursts and Extremely Metal-poor Stars: Black Hole-forming Supernovae with Relativistic Jets *Tominaga, N., Maeda, K., Umeda, H., Nomoto, K., Tanaka, M., Iwamoto, N., Suzuki, T., and Mazzali, P. A.* (2007), ApJ 657, L77-L80

RESCEU-104/07

Multidimensional Simulations for Early-Phase Spectra of Aspherical Hypernovae: SN 1998bw and Off-Axis Hypernovae *Tanaka, M., Maeda, K., Mazzali, P. A., and Nomoto, K.* (2007), ApJ 668, L19-L22

RESCEU-103/07

Detection of Circumstellar Material in a Normal Type Ia Supernova *Patat, F., Chandra, P., Chevalier, R., Justham, S., Podsiadlowski, P., Wolf, C., Gal-Yam, A., Pasquini, L., Crawford, I. A., Mazzali, P. A., Pauldrach, A. W. A., Nomoto, K., Benetti, S., Cappellaro, E., Elias-Rosa, N., Hillebrandt, W., Leonard, D. C., Pastorello, A., Renzini, A., Sabbadin, F., Simon, J. D., and Turatto, M.* (2007), Science 317, 924-926

RESCEU-102/07

Evolution of Dust in Primordial Supernova Remnants: Can Dust Grains Formed in the Ejecta Survive and Be Injected into the Early Interstellar Medium? *Nozawa, T., Kozasa, T., Habe, A., Dwek, E., Umeda, H., Tominaga, N., Maeda, K., and Nomoto, K.* (2007), ApJ 666, 955-966

RESCEU-101/07

Thermal Stability of White Dwarfs Accreting Hydrogen-rich Matter and Progenitors of Type Ia Supernovae *Nomoto, K., Saio, H., Kato, M., and Hachisu, I.* (2007), ApJ 663, 1269-1276

RESCEU-100/07

Supernovae and Gamma-ray Bursts *Mazzali, P. A., Nomoto, K., Maeda, K., and Deng, J.* (2007), Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series 30, 23-28

RESCEU-99/07

Outflows from Supernovae and GRBS *Mazzali, P. A., Nomoto, K., Deng, J., Maeda, K., Tominaga, N., Kawabata, K., and Filippenko, A. V.* (2007), Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica 27, 251

RESCEU-98/07

The Aspherical Properties of the Energetic Type Ic SN 2002ap as Inferred from Its Nebular Spectra *Mazzali, P. A., Kawabata, K. S., Maeda, K., Foley, R. J., Nomoto, K., Deng, J., Suzuki, T., Iye, M., Kashikawa, N., Ohyama, Y., Filippenko, A. V., Qiu, Y., and Wei, J.* (2007), ApJ 670, 592-599

RESCEU-97/07

Keck and European Southern Observatory Very Large Telescope View of the Symmetry of the Ejecta of the XRF/SN 2006aj *Mazzali, P. A., Foley, R. J., Deng, J., Patat, F., Pian, E., Baade, D., Bloom, J. S., Filippenko, A. V., Perley, D. A., Valenti, S., Wang, L., Kawabata, K., Maeda, K., and Nomoto, K.* (2007), ApJ 661, 892-898

RESCEU-96/07

The Unique Type Ib Supernova 2005bf at Nebular Phases: A Possible Birth Event of a Strongly Magnetized Neutron Star *Maeda, K., Tanaka, M., Nomoto, K., Tominaga, N., Kawabata, K., Mazzali, P. A., Umeda, H., Suzuki, T., and Hattori, T.* (2007), ApJ 666, 1069-1082

RESCEU-95/07

SN 2006aj Associated with XRF 060218 at Late Phases: Nucleosynthesis Signature of a Neutron Star-driven Explosion *Maeda, K., Kawabata, K., Tanaka, M., Nomoto, K., Tominaga, N., Hattori, T., Minezaki, T., Kuroda, T., Suzuki, T., Deng, J., Mazzali, P. A., and Pian, E.* (2007), ApJ 658, L5-L8

RESCEU-94/07

X-Ray, UV, and Optical Observations of Supernova 2006bp with Swift: Detection of Early X-Ray Emission *Immler, S., Brown, P. J., Milne, P., Dessart, L., Mazzali, P. A., Landsman, W., Gehrels, N., Petre, R., Burrows, D. N., Nousek, J. A., Chevalier, R. A., Williams, C. L., Koss, M., Stockdale, C. J., Kelley, M. T., Weiler, K. W., Holland, S. T., Pian, E., Roming, P. W. A., Pooley, D., Nomoto, K., Greiner, J., Campana, S., and Soderberg, A. M.* (2007), ApJ 664, 435-442

RESCEU-93/07

Constraints on Type Ib/c Supernovae and Gamma-Ray Burst Progenitors *Fryer, C. L., Mazzali, P. A., Prochaska, J., Cappellaro, E., Panaitescu, A., Berger, E., van Putten, M., van den Heuvel, E. P. J., Young, P., Hungerford, A., Rockefeller, G., Yoon, S.-C., Podsiadlowski, P., Nomoto, K., Chevalier, R., Schmidt, B., and Kulkarni, S.* (2007), PASP 119, 1211-1232

RESCEU-92/07

Supernovae: Answers and questions *Branch, D. and Nomoto, K.* (2007), Nature, 447, 393-394

RESCEU-91/07

Spectroscopic Studies of Extremely Metal-poor Stars with the Subaru High-Dispersion Spectrograph. IV. The α -Element-Enhanced Metal-poor Star BS 16934-002 *Aoki, W., Honda, S., Beers, T. C., Takada-Hidai, M., Iwamoto, N., Tominaga, N., Umeda, H., Nomoto, K., Norris, J. E., and Ryan, S. G.* (2007), Astrophys. J. 660, 747-761

RESCEU-90/07

Highly He-rich Matter Dredged Up by Extra Mixing through Stellar Encounters in Globular Clusters *Suda, Takuma; Tsujimoto, Takuji; Shigeyama, Toshikazu; Fujimoto, Masayuki Y.* (2007), The Astrophysical Journal, Volume 671, Issue 2, pp. L129-L132 [astro-ph/0710.5271]

RESCEU-89/07

Impact of massive neutrinos on nonlinear matter power spectrum *Shun Saito, Masahiro Takada and Atsushi Taruya* submitted to Phys.Rev.Lett.

RESCEU-88/07

Phase diagram of nuclear "pasta" and its uncertainties in supernova cores *Hidetaka Sonoda, Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka, and Toshikazu Ebisuzaki* submitted to PRC

RESCEU-87/07

Band-power analysis of the primordial fluctuation spectrum reconstructed by the cosmic inversion method from the three-year WMAP data *Jerome Martin and Jun'ichi Yokoyama* (2008), JCAP 0801:025 [astro-ph/0711.4307]

RESCEU-86/07

New branch of Kaluza-Klein compactification *Shunichiro Kinoshita* (2007), PRD 76, 124003

RESCEU-85/07

Non-Gaussianities from ekpyrotic collapse with multiple fields *Kazuya Koyama, Shuntaro Mizuno, Filippo Vernizzi and David Wands* (2007), JCAP 0711, 024

RESCEU-84/07

Constraints on Wrapped DBI Inflation in a Warped Throat *Takeshi Kobayashi, Shinji Mukohyama, and Shunichiro Kinoshita* (2008), JCAP 01, 028

RESCEU-83/07

A Closure Theory for Non-linear Evolution of Cosmological Power Spectra *Atsushi Taruya, Takashi Hiramatsu* ApJ submitted (arXiv:0708.1367)

RESCEU-82/07

Fast roll Inflation with Conformal Coupling and Mass Hierarchy *Lev Kofman and Shinji Mukohyama*

RESCEU-81/07

Estimation Prospects of the Source Number Density of Ultra-high-energy Cosmic Rays *Hajime Takami and Katsuhiko Sato*

RESCEU-80/07

Cosmogenic Neutrinos as a Probe of the Transition from Galactic to Extragalactic Cosmic Rays *Hajime Takami, Kohta Murase, Shigehiro Nagataki, and Katsuhiko Sato*

RESCEU-79/07

Gravitational Wave Background from Population III Stars *Yudai Suwa, Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, and Katsuhiko Sato* (2007), ApJ, 665, L43-L46

RESCEU-78/07

Thermal Stability of White Dwarfs Accreting Hydrogen-rich Matter and Progenitors of Type Ia Supernovae *Nomoto, K., Saio, H., Kato, M., Hachisu, I.* (2007), ApJ, 663, 1269

RESCEU-77/07

Keck and ESO-VLT View of the Symmetry of the Ejecta of the XRF/SN 2006aj *Mazzali, P. A., Foley, R. J., Deng, J., Patat, F., Pian, E., Baade, D., Bloom, J. S., Filippenko, A. V., Perley, D. A., Valenti, S., Wang, L., Kawabata, K., Maeda, K., Nomoto, K.* (2007), ApJ, 661, 892

RESCEU-76/07

The Unique Type Ib Supernova 2005bf at Nebular Phases: A Possible Birth Event of a Strongly Magnetized Neutron Star *Maeda, K., Tanaka, M., Nomoto, K., Tominaga, N., Kawabata, K., Mazzali, P. A., Umeda, H., Suzuki, T., Hattori, T.* (2007), ApJ, 666, 1069

RESCEU-75/07

SN 2006aj Associated with XRF 060218 at Late Phases *Maeda, K., Kawabata, K., Tanaka, M., Nomoto, K., Tominaga, N., Hattori, T., Minezaki, T., Kuroda, T., Suzuki, T., Deng, J., Mazzali, P. A., Pian, E.* (2007), ApJ, 658, L5-L8

RESCEU-74/07

X-Ray, UV, and Optical Observations of Supernova 2006bp with Swift *Immler, S., Brown, P. J., Milne, P., Dessart, L., Mazzali, P. A., Landsman, W., Gehrels, N., Petre, R., Burrows, D. N., Nousek, J. A., Chevalier, R. A., Williams, C. L., Koss, M., Stockdale, C. J., Kelley, M. T., Weiler, K. W., Holland, S. T., Pian, E., Roming, P. W. A., Pooley, D., Nomoto, K., Greiner, J., Campana, S., Soderberg, A. M.*

RESCEU-73/07

Spectroscopic Studies of Extremely Metal-poor Stars with the Subaru High-Dispersion Spectrograph. IV. The α -Element-Enhanced Metal-poor Star BS 16934-002 *Aoki, W., Honda, S., Beers, T. C., Takada-Hidai, M., Iwamoto, N., Tominaga, N., Umeda, H., Nomoto, K., Norris, J. E., Ryan, S. G.* (2007), ApJ, 660, 747-761

RESCEU-72/07

Reheating a multi-throat universe by brane motion *Shinji Mukohyama*

RESCEU-71/07

Transients from initial conditions based on Lagrangian perturbation theory in N-body simulations *Takayuki Tatekawa, Shuntaro Mizuno* (2007), JCAP 0712, 014

RESCEU-70/07

Measurement of the Rossiter–McLaughlin Effect in the Transiting Exoplanetary System TrES-1 *Norio Narita, Keigo Enya, Bun'ei Sato, Yasuhiro Ohta, Joshua N. Winn, Yasushi Suto, Atsushi Taruya, Edwin L. Turner, Wako Aoki, Motohide Tamura, Toru Yamada, Yuzuru Yoshii* astro-ph/0702707, PASJ in press

RESCEU-69/07

BESS-Polar Experiment 2007 *K. Yoshimura, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, M. Hasegawa, A. Horikoshi, K. Kim, M.H. Lee, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, R. Orito, .F. Ormes, K. Sakai, M. Sasaki, E.S. Seo, Y. Shikaze, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, N. Thakur, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida, K. Yoshimura* (2007), Adv. Space Res., in press

RESCEU-68/07

A 1-Dimensional gamma-ray Position Sensor based on GSO *Itoh, T., Yanagida, T., Kokubun, M., Sato, M., Miyawaki, R., Makishima, K., Takashima, T., Tanaka, T., Nakazawa, K., Takahashi, T., Shimura, N., Ishibashi, H.* (2007), Nucl. Inst. Meth. A., in press

RESCEU-67/07

Improvement of Ceramic YAG(Ce) Scintillator to $(\text{YGd})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}(\text{Ce})$ for Gamma-ray Detectors *Yanagida, T., Itoh, T., Takahashi, H., Sato, M., Enoto, T., Kokubun, M.* (2007), Nucl. Inst. Meth. A., in press

RESCEU-66/07

A high-Energy Resolution 4 cm-Wide Double-Sided Silicon Strip Detector *Nakazawa, K., Takeda, S., Tanaka, T., Takahashi, T., Watanabe, S., Fukazawa, Y., Sawamoto, N., Tajima, H., Itoh, T., Kokubun, M.* (2007), Nucl. Inst. Meth. A., 573, 44-47

RESCEU-65/07

Cryogenics performance of ultra-thin superconducting solenoids for cosmic-ray observation with ballooning *Y. Makida, R. Shinoda, J. Suzuki, A. Yamamoto, and S. Mizumaki* (2007), IEEE Trans. Appl. Superc., in press

RESCEU-64/07

Search for fractionally charged particles in cosmic rays with BESS spectrometer *H. Fuke, Y. Tasaki, K. Abe, S. Haino, Y. Makida, S. Matsuda, 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, K. Tanaka, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida, K. Yoshimura* (2007), Adv. Space Res., in press

RESCEU-63/07

Search for Antihelium with BESS *M. Sasaki, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, M. Hasegawa, A. Horikoshi, K. Kim, M.H. Lee, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, R. Orito, S. Orito, J.F. Ormes, T. Sanuki, K. Sakai, M. Sasaki, E.S. Seo, Y. Shikaze, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida, K. Yoshimura* (2007), Adv. Space Res., in press

RESCEU-62/07

Search for Primordial Antiparticle with BESS *A. Yamamoto, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, M. Hasegawa, A. Horikoshi, K. Kim, M.H. Lee, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, R. Orito, S. Orito, J.F. Ormes, T. Sanuki, K. Sakai, M. Sasaki, E.S. Seo, Y. Shikaze, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, N. Thakur, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, T. Yoshida, K. Yoshimura* (2007), Adv. Space Res., in press

RESCEU-61/07

Effects of Compton scattering on the Gamma Ray Spectra of Solar flares *Kotoku, J., Makishima, K., Matsumoto, Y., Kohama, M., Terada, Y., Tamagawa, T.* (2007), Publ. Astr. Soc. Jp. 59, in press

RESCEU-60/07

Low/Hard State Spectra of GRO J1655-40 Observed with Suzaku *Takahashi, H., Kitamoto, S., (5 coauthors), Kubota, A., Makishima, K., Itoh, T., Kokubun, M., (16 coauthors)* (2007), Publ. Astr. Soc. Jp. 59, in press

RESCEU-59/07

Chandra Detections of Diffuse X-ray Emission From Globular Clusters *Okada, Y., Kokubun, M., Yuasa, T., & Makishima, K.* (2007), Publ. Astr. Soc. Jp. 59, in press

RESCEU-58/07

X-Ray Study of Temperature and Abundance Profiles of the Cluster of Galaxies Abell 1060 with Suzaku Sato, K., (5 coauthors), Kitaguchi, T., Kawaharada, M., Kokubun, M., Makishima, K., Ota, N., Nakazawa, K., (6 coauthors) (2007), Publ. Astr. Soc. Jp. 59, in press

RESCEU-57/07

Hard X-Ray Properties of Groups of Galaxies as Observed with ASCA Nakazawa, K., Makishima, K., Fukazawa, Y. (2007), Publ. Astr. Soc. Jp. 59, in press

RESCEU-56/07

Suzaku Observations of the Centaurus Cluster Ota, N., Fukazawa, Y., Fabian, C., Kanemaru, T., Kawaharada, M., Kawano, N., Kelley, R., Kita-guchi, T., Makishima, K., (7 coauthors) (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S351-S359

RESCEU-55/07

Suzaku Observation of the Metallicity Distribution in the Intracluster Medium of the Fornax Cluster Matsushita, K., Fukazawa, Y., Hughes, J., Kitaguchi, T., Makishima, K., Nakazawa, K., Ohashi, T., Ota, N., (3 coauthors) (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S327-S338

RESCEU-54/07

Precision Fe $K\alpha$ and Fe $K\beta$ Line Spectroscopy of the Seyfert 1.9 Galaxy NGC 2992 with Suzaku Yaqoob, T., (6 coauthors), Itoh, T., Kelley, R., Kokubun, M., (9 coauthors) (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S283-S299

RESCEU-53/07

Suzaku Observation of Two Ultraluminous X-Ray Sources in NGC 1313 Mizuno, T., Miyawaki, R., Ebisawa, K., Kubota, A., Miyamoto, M., Winter, L., Ueda, Y., Isobe, N., (4 coauthors), Kokubun, M., Kotoku, J., Makishima, K., (5 coauthors), Tamagawa, T., Terashima, Y. (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S257-S267

RESCEU-52/07

Discovery of a New X-Ray Transient Source in the Scutum Region with Suzaku Yamauchi, S., Ebisawa, K., Bamba, A., Ishida, M., Iwasawa, K., Tanaka, Y., Kokubun, M., (4 coauthors) (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S215-S220

RESCEU-51/07

Discovery of a Possible X-Ray Counterpart to HESS J1804-216 Bamba, A., Koyama, K., Hiraga, J. S., Hughes, J. P., Kohmura, T., Kokubun, M., (7), Yuasa, T., Maeda, Y., Matsumoto, H., Senda, A., Takahashi, T., Tsuboi, Y., Yamauchi, S., Yuasa, T. (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S209-S214

RESCEU-50/07

Suzaku Observations of HESS J1616-508 Matsumoto, H., Ueno, M., Bamba, A., (10 coauthors), Hiraga, J., Yamauchi, S., Hughes, J. P., Senda, A., Kokubun, M., Kohmura, T., Porter, S. (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S199-S208

RESCEU-49/07

Suzaku Discovery of Iron Absorption Lines in Outburst Spectra of the X-Ray Transient 4U 1630-472 Kubota, A., (10 coauthors), Makishima, K., Yamada, S., Kohmura, T., & Angelini, L. (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S185-S198

RESCEU-48/07

A Suzaku Observation of the Low-Ionization Fe-Line Emission from RCW 86 Ueno, M., Sato, R., Kataoka, J., Bamba, A., Harrus, I., Hiraga, J., Hughes, J.P., Kilbourne, C., Koyama, K., Kokubun, M., (12 coauthors) (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S171-S176

RESCEU-47/07

Detection of Highly-Ionized Carbon and Nitrogen Emission Lines from the Cygnus Loop Supernova Remnant with the Suzaku Observatory Miyata, E., Katsuda, S., Tsunemi, H., Hughes, J. P., Kokubun, M., Porter, F. S. (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59 S163-S170

RESCEU-46/07

Suzaku Observation of Diffuse X-Ray Emission from the Carina Nebula Hamaguchi, K., Petre, R., (11 coauthors), Kokubun, M. (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S151-S161

RESCEU-45/07

In-Orbit Performance of the Hard X-Ray Detector on Board Suzaku *Kokubun, M., Makishima, K., (in random order) Nakazawa, K., Terada, Y., Tamagawa, T., Kubota, A., Isobe, N., Takahashi, I., Takahashi, H., Hong, S., Kawaharada, M., Murashima, M., Miyawaki, R., Yanagida, T., Itoh, T., Hirakuri, S., Kitaguchi, T., Enoto, T., Sato, M., Yamada, S., Yuasa, T., et al.* (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S53-S76

RESCEU-44/07

Hard X-Ray Detector (HXD) on Board Suzaku *Takahashi, T., (in random order) Ezo, Y., Fukazawa, Y., Hirakuri, S., Isobe, N., Itoh, T., Iyomoto, N., Kasama, D., Kawaharada, M., Kitaguchi, T., Kokubun, M., Kotoku, J., Kubota, A., Makishima, K., Matsumoto, Y., Miyawaki, R., Mizuno, T., Murashima, M., Nakazawa, K., Niko, H., Okada, Y., Ota, N., Sugih, M., Takahashi, H., Takahashi, I., Tamura, T., Tashiro, M., Terada, Y., Yanagida, T., et al.* (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S35-S51

RESCEU-43/07

The X-Ray Observatory Suzaku *Mitsuda, K., (5 coauthors), Makishima, K., (49 coauthors), Kokubun, M., et al.* (2007), Publ. Astr. Soc. Japan 59, S1-S7

RESCEU-42/07

The BESS Program 2007 *A. Yamamoto, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, K. Kim, T. Kumazawa, M.H. Lee, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, R. Orito, S. Orito, J.F. Ormes, T. Sanuki, K. Sakai, M. Sasaki, E.S. Seo, Y. Shikaze, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida, K. Yoshimura* (2007), Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 116, 62

RESCEU-41/07

Possible Signals of Wino LSP at the Large Hadron Collider *M. Ibe, Takeo Moroi, T.T. Yanagida* (2007), Phys.Lett.B 644

RESCEU-40/07

Measurements of 0.2 to 20 GeV/n cosmic-ray proton and helium spectra from 1997 through 2002 with the BESS spectrometer *Y. Shikaze, S. Haino, K. Abe, H. Fuke, T. Hams, K.C. Kim, Y. Makida, S. Matsuda, J.W. Mitchell, A.A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J.F. Ormes, T. Sanuki, M. Sasaki, E.S. Seo, R.E. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida, K. Yoshimura* (2007), Astroparticle Phys., in press, Doi: 10.1016/2007.05.001

RESCEU-39/07

The Decay of the Inflaton in No-scale Supergravity *Motoi Endo, Kenji Kadota, Keith A. Olive, Fuminobu Takahashi, T.T. Yanagida* (2007), JCAP 0702

RESCEU-38/07

Gravitino Dark Matter in R-Parity Breaking Vacua *Wilfried Buchmuller, Laura Covi, Koichi Hamaguchi, Alejandro Ibarra, Tsutomu Yanagida* (2007), JHEP 0703

RESCEU-37/07

Bubbling surface operators and S-duality *Jaume Gomis (Perimeter Inst. Theor. Phys.) , Shunji Matsuura (Tokyo U. & Perimeter Inst. Theor. Phys.)* arXiv

RESCEU-36/07

Holographic phase transitions at finite baryon density *Shinpei Kobayashi, David Mateos, Shunji Matsuura, Robert C. Myers, Rowan M. Thomson* (2007), JHEP 0702

RESCEU-35/07

Reply to 'Comment on 'Heavy element production in inhomogeneous big bang nucleosynthesis'' *Shunji Matsuura (Tokyo U.) , Shin-ichirou Fujimoto (Tokyo U.) , Masa-aki Hashimoto (Tokyo U.) , Katsuhiko Sato (Tokyo U. & Tokyo U., RESCEU)* (2007), Phys.Rev.D 75

RESCEU-34/07

Numerical study of gamma-ray burst jet formation in collapsars *Shigehiro Nagataki, Rohta Takahashi, Akira Mizuta, Tomoya Takiwaki* (2007), ApJ

RESCEU-33/07

Characteristic Scales of the Baryon Acoustic Oscillations from Perturbation Theory *Takahiro Nishimichi, Hiroshi Ohmuro, Masashi Nakamichi, Atsushi Taruya, Kazuhiro Yahata, Aki-hito Shirata, Shun Saito, Hidenori Nomura, Kazuhiro Yamamoto and Yasushi Suto* (2007), submitted to PASJ

RESCEU-32/07

Bispectrum and Nonlinear Biasing of Galaxies *Takahiro Nishimichi, Issha Kayo, Chiaki Hikage, Kazuhiro Yahata, Atsushi Taruya, Y. P. Jing, Ravi K. Sheth and Yasushi Suto* (2007), PASJ, 59, 93

RESCEU-31/07

Probing polarization states of primordial gravitational waves with CMB anisotropies *Shun Saito, Kiyotomo Ichiki and Atsushi Taruya* (2007), JCAP 09, 002

RESCEU-30/07

Systematic Errors in the Hubble Constant Measurement from the Sunyaev-Zel'dovich effect *Hajime Kawahara, Tetsu Kitayama, Shin Sasaki, and Yasushi Suto* (2007), Submitted to ApJ

RESCEU-29/07

Radial Profile and Lognormal Fluctuations of the Intracluster Medium as the Origin of Systematic Bias in Spectroscopic Temperature *Hajime Kawahara, Yasushi Suto, Tetsu Kitayama, Shin Sasaki, Mamoru Shimizu, Elena Rasia, and Klaus Dolag* (2007), The Astrophysical Journal, 659, 257-266

RESCEU-28/07

Gravitational Wave Spectrum Induced by Primordial Scalar Perturbations *Daniel Baumann, Kiyotomo Ichiki, Paul J. Steinhardt, Keitaro Takahashi*

RESCEU-27/07

Magnetic Field Spectrum at Cosmological Recombination *Kiyotomo Ichiki, Keitaro Takahashi, Naoshi Sugiyama, Hidekazu Hanayama, Hiroshi Ohno*

RESCEU-26/07

Constraints on Generalized Dark Energy from Recent Observations *Kiyotomo Ichiki, Tomo Takahashi* (2007), Physical Review D

RESCEU-25/07

The Infrared Cloud Monitor for the MAGNUM Robotic Telescope at Haleakala *Suganuma, M., Kobayashi, Y., Okada, N., Yoshii, Y., Minezaki, T., Aoki, T., Enya, K., Tomita, H., and Koshida, S.* (2007), PASP

RESCEU-24/07

NGC 5548 in a Low-Luminosity State *Bentz, M. C., Denney, K. D., Cackett, E. M., Dietrich, M., Fogel, J. K. J., Ghosh, H., Horne, K. D., Kuehn, C., Minezaki, T., Onken, C. A., Peterson, B. M., Pogge, R. W., Pronik, V. I., Richstone, D. O., Sergeev, S. G., Vestergaard, M., Walker, M. G., and Yoshii, Y.* (2007), ApJ

RESCEU-23/07

Scalar perturbations in braneworld cosmology *Antonio Cardoso, Takashi Hiramatsu, Kazuya Koyama, Sanjeev S. Seahra*

RESCEU-22/07

Primordial perturbations from slow-roll inflation on a brane *Kazuya Koyama, Andrew Mennim, V.A. Rubakov, David Wands, Takashi Hiramatsu* (2007), JCAP, 04, 001

RESCEU-21/07

The Remarkable 60 x 2 kpc Optical Filament Associated with a Poststarburst Galaxy in Coma Cluster *Yagi, M., Komiyama, Y., Yoshida, M., Firisawa, H., Kashikawa, N., Koyama, Y. and Okamura, S.* (2007), ApJ, 660, 1209-1214

RESCEU-20/07

The Galaxy Luminosity Function down to $M_{sim} - 10$ in the Hydra I Cluster *Yamanoi, H., Tanaka, M., Hamabe, M., Yagi, M., Okamura, S., Iye, M., Shimasaku, K., Doi, M., Komiyama, Y., and Furusawa, H.* (2007), *AJ*, 134, 56-63

RESCEU-19/07

The Cosmic Evolution Survey (COSMOS) *Taniguchi et al. (30 coauthors including Okamura, S.)* (2007), *ApJS*

RESCEU-18/07

A Huge Filamentary Structure at $z = 0.55$ and Star Formation Histories of Galaxies at $z < 1$ *Tanaka, M., Hoshi, T., Kodama, T., and Kashikawa, N* (2007), *MNRAS*

RESCEU-17/07

A Deficit of Faint Red Galaxies in the Possible Large-Scale Structures around the RDCS1252.9–2927 cluster at $z = 1.24$ *Tanaka, M., and 7 coauthors* (2007), *MNRAS*, 377, 1206-1214

RESCEU-16/07

A Potential Galaxy Threshing System in the Cosmos Field *Sasaki, S.S. et al. (28 coauthors including Okamura, S.)* (2007), *ApJS*

RESCEU-15/07

The HI content of star-forming galaxies at $z = 0.24$ *Lah, P. et al. (14 coauthors including Okamura, S)* (2007), *MNRAS*, 376, 1357-1366.

RESCEU-14/07

Luminosity dependent clustering of star-forming BzK galaxies at redshift 2 *Hayashi, M., Shimasaku, K., Motohara, K., Yoshida, M., Okamura, S., and Kashikawa, N* (2007), *ApJ*, 660, 72-80

RESCEU-13/07

The Kinematics of Intracluster Planetary Nebulae and the On-Going Subcluster Merger in the Coma Cluster Core *Gerhard, O., Arnaboldi, M., Freeman, K., Okamura, S., Kashikawa, N., and Yasuda, N* (2007), *ApJ*

RESCEU-12/07

A Catalogue of Morphologically Classified Galaxies from the Sloan Digital Sky Survey *Fukugita, M. et al. (12 coauthors including Okamura, S.)* (2007), *AJ*

RESCEU-11/07

Multi Slit Imaging Technique *Arnaboldi, M., Gerhard, O., Okamura, S., Kashikawa, N., Yasuda, N., and Freeman, K.C.* (2007), *PASJ*

RESCEU-10/07

Effective Search Templates for a Primordial Stochastic Gravitational Wave Background *Takeshi Chiba Yoshiaki Himemoto Masahide Yamaguchi Jun'ichi Yokoyama*

RESCEU-9/07

Self-similar solutions for the emergence of energy varying shock waves from plane-parallel atmospheres *Suzuki, Akihiro; Shigeyama, Toshikazu* (2007), *The Astrophysical Journal*

RESCEU-8/07

The Origin of Carbon Enhancement and the Initial Mass Function of Extremely Metal-poor Stars in the Galactic Halo *Komiya, Yutaka; Suda, Takuma; Minaguchi, Hiroki; Shigeyama, Toshikazu; Aoki, Wako; Fujimoto, Masayuki Y* (2007), *The Astrophysical Journal*, 658, 367-390

RESCEU-7/07

Relativistic Flows after Shock Emergence *Kikuchi, Reina; Shigeyama, Toshikazu* (2007), *The Astrophysical Journal*, 657, 860-869

RESCEU-6/07

The Luminosity Function and Star Formation Rate between Redshifts of 0.07 and 1.47 for Narrowband Emitters in the Subaru Deep Field *Ly, C. (10 authors including K. Shimasaku)* (2007), *ApJ*, 657, 738-759

RESCEU-5/07

Curvature perturbations from ekpyrotic collapse with multiple fields *Kazuya Koyama, Shuntaro Mizuno, David Wands* (2007), *Class. Quant. Grav.* 24, 3919

RESCEU-4/07

Magnetorotational Collapse of Population III Stars *Yudai Suwa, Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, and Katsuhiko Sato*

RESCEU-3/07

Measuring a Parity Violation Signature in the Early Universe via Ground-based Laser Interferometers *Naoki Seto, Atsushi Taruya* (2007), *Phys.Rev.Lett.* submitted

RESCEU-2/07

Instability of de Sitter brane and horizon entropy in 6D braneworld *Shunichiro Kinoshita, Yuuiti Sendouda, Shinji Mukohyama* (2007), *JCAP* 0705, 018

RESCEU-1/07

The impact of nuclear "pasta" on neutrino transport in collapsing cores *Hidetaka Sonoda, Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Tomoya Takiwaki, Kenji Yasuoka, Toshikazu Ebisuzaki* (2007), submitted to *PRC(R)*