

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

Annual Report
2003

平成15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 2003 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	3
1.3	天体核・素粒子物理	6
1.4	高エネルギー現象論	9
2	銀河進化的理論	21
2.1	近傍矮小銀河の進化	21
2.2	銀河系	22
2.3	超新星の観測	22
2.4	超新星爆発での元素合成	23
2.5	Ia 型超新星	24
2.6	極超新星	24
2.7	大質量星の進化	25
3	可視光近赤外観測	32
3.1	NGC 4151 の高精度多波長光度曲線	32
3.2	近傍 1 型セイファート銀河核のダストトーラス内縁半径と広輝線領域との関係	32
3.3	Markarian 744 のダストトーラス構造	33
3.4	超新星や γ 線バーストの多波長モニター観測	33
3.5	ダスト再輻射モデルによる AGN 近赤外変光曲線	33
3.6	宇宙の大規模構造の数値シミュレーション	33
3.7	銀河形成の準解析的手法に基づく三鷹モデルの構築	34
3.8	コンパクト電波源をサンプルとするジェット統計の可能性について	34
3.9	Loh & Spilar test に関する理論的考察	35
3.10	第一世代星の初期質量関数	35
3.11	すばる補償光学 (AO) による高赤方偏移銀河の近赤外深撮像	35
3.12	$z > 6$ クェーサの鉄/マグネシウム輝線比の観測的研究	35
3.13	Fe/Mg 化学進化モデル	36
4	サブミリ波観測	39
4.1	はじめに	39
4.2	富士山頂サブミリ波望遠鏡	39
4.3	可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡	41
4.4	テラヘルツ帯ミキサ素子の開発	42
4.5	実験室分子分光	43
5	暗黒物質観測	45
5.1	暗黒物質実験	45
5.1.1	神岡地下実験室における暗黒物質探索	45
5.1.2	中性子 flux 測定法の開発	45
5.1.3	有機シンチレーターを用いた新しい暗黒物質検出器開発のための研究	46
5.2	アクションヘリオスコープ実験	46
6	銀河と宇宙構造の研究	49
6.1	銀河・銀河団の観測的研究	49
6.2	教育・広報普及など	51

7	気球観測による反物質探査, 衛星による X 線・γ 線観測	57
7.1	反物質探査 (BESS 実験)	57
7.1.1	一次宇宙線および大気ミューオン流束の精密観測 (BESS-TeV)	57
7.1.2	大気宇宙線反陽子の観測	57
7.1.3	宇宙起源反粒子探索 (BESS-Polar)	58
7.2	X 線・ γ 線観測	62
7.2.1	太陽と星のフレアの研究	62
7.2.2	コンパクト天体の観測的研究	62
7.2.3	星間・銀河間での高エネルギー現象	63
7.2.4	<i>Astro-E2</i> 衛星 硬 X 線検出器 (HXD-II) の開発製作	63
7.2.5	将来に向けての技術開発	64
II	2003 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	70
1	教官, 職員, および研究員	72
2	シンポジウム・研究会	73
2.1	The 6th RESCEU International Symposium: Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology	73
2.2	研究会「宇宙における時空・物質・構造の進化」	80
3	プレプリント・リスト	83

I

プロジェクト別 2003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——（川崎・佐藤・須藤・柳田・長滝・樽家・井澤）

1.1 初期宇宙・相対論

宇宙の加速度膨張と重力理論の変更

現在の宇宙は加速度膨張していることが観測的に確かめられている。通常この加速度膨張は真空のエネルギーによって引き起こされると考えられているが、アインシュタイン重力の作用に $1/R$ の項を付け加えることによって加速度膨張が実現されるという考えが提案された。これに対してこの変更が短距離での重力の不安定性をもたらす、重力理論として深刻な問題があることを指摘した [2]。

超対称性理論におけるカーバトンモデル

宇宙の構造を作る種となった密度揺らぎがインフレーションを引き起こすインフラトン場の揺らぎではなく、別のスカラー場（カーバトン）の揺らぎによって作られるというシナリオがある。これを実現する様々な素粒子モデルを超対称性理論の枠組みで調べた。多くのモデルでバリオンの等曲率揺らぎがつくられそれが宇宙背景輻射の観測と矛盾することが示されたが、いくつかのモデルは現在の観測と矛盾することなくカーバトンシナリオを実現できることが分かった [3, 4]。

平坦方向を用いた自発的バリオン生成機構

超対称性理論の特徴として平坦方向の存在があげられる。特に超対称性標準理論における平坦方向は一般にバリオン数やレプトン数を持つため、その方向にバリオン非対称性を励起することが可能である（アフleckダイン機構）。一方、スファレロンと呼ばれるゲージ場の位相的に非自明な配位によって、電弱スケールより上の温度では $B+L$ が破れる事が知られている。従って、 $B-L=0$ の平坦方向を用いたアフleckダイン機構で作った非対称性はスファレロンによって消されてしまう可能性があった。そこで我々はこのような平坦方向に対して自発的バリオン生成機構を考え、バリオン非対称性がスファレロンから生き残る事を示した。[5, 6]。

WMAP の結果に基づいたインフレーション宇宙モデル

2003 年 2 月に発表された WMAP による宇宙背景輻射の観測結果は宇宙初期の密度揺らぎについてそれ以前では実現できなかった精度の情報をもたらした。観測から導かれた密度揺らぎのスペクトルはインフレーションモデルの予言とほぼ一致するものであったが、スペクトル・インデックスのスケール依存性があることと大きな波長での揺らぎが小さいことが問題となった。そこで、観測された密度揺らぎを説明できるインフレーションモデルを超対称性理論に基づいて構築した [7, 8]。

最小超対称性標準理論におけるインフレーションモデル構築

最小超対称性標準理論の枠組みの中でインフレーションモデルを構築する事ができれば、インフラトンの同定や再加熱過程を観測的に明らかにできる可能性を開くなど大きな利点を持つ。しかしながら、これまで成功したモデルは殆ど知られていなかった。そこで我々は、アップクォークの質量に対する輻射補正が十分大きければ、アップクォークとアップタイプヒッグスを含む平坦方向が十分な指数関数的膨張を引き起こし、かつ揺らぎの大きさを説明する事が可能である事を示した [9]。

元素合成と結合定数の時間変化

電磁相互作用の結合定数が元素合成時において現在の値とずれている場合中性子と陽子の質量や原子核反応におけるクーロン障壁が標準的な元素合成の場合と異なり、生成される軽元素の存在量が変化する。このことから、結合定数が変化していればリチウム 7 の生成量が観測と合っていないという問題を解決できることを示した [10, 11]。

ニュートリノ振動と大きなレプトン非対称性

ビッグバン元素合成理論の予言する各軽元素の初期存在量と実際の観測値との間には統計的に有意な差が存在する。その解決の為に、しばしば大きなレプトン非対称性を導入し元素合成理論を拡張する。一方、レプトン非対称性の大きさはビッグバン元素合成理論、構造形成、宇宙背景輻射の観測などから制限がつけられており、特に電子型ニュートリノの非対称性の制限が最も厳しかった。しかし、近年のニュートリノ振動実験結果である大混合角を仮定すると、ビッグバン元素合成前に全てのフレーバー間で非対称性が均一化されてしまう事が最近明らかになった。そこで我々は、ニュートリノにマヨロンと呼ばれるスカラー場との相互作用を仮定した場合、ニュートリノ振動をビッグバン元素合成前に止める

事が可能であることを示した [12]。

宇宙の再イオン化

最近の WMAP の観測結果によって我々の宇宙が比較的早い時期に ($z \sim 20$) に再イオン化している可能性があることが明らかになった。これを星からの UV 放出によって説明できるかどうかを調べ、最大限効率よく星からの UV フラックスが宇宙に放出されると $z \sim 15$ で宇宙を再イオン化することが可能であることを示した。また、星以外の UV 源として不安定粒子の輻射崩壊を考え、この場合には宇宙を不完全にイオン化することができクエーサーの観測とも矛盾しないことが分かった [13, 14]。

バルクスカラー場によるインフレーションモデル

高次元バルクに存在するスカラー場によって引き起こされるインフレーションモデルを構築し、生成される初期密度揺らぎ、重力波の解析を行った。ブレーンに拘束されているインフラトンによって引き起こされるインフレーションでは、インフレーションのエネルギースケールが高い場合、重力波の振幅と密度揺らぎの振幅の比が、4 次元理論に比べて著しく抑制されることが知られている。しかし、このモデルでは、生成される重力波の振幅が密度揺らぎの振幅に対して抑制されないことを示した。またこのモデルでは 5 次元の宇宙論的摂動の解が解析的に求まることを示した [172]

ブレーンワールドにおける背景重力波

統一理論の候補として考えられている M 理論や超弦理論といった理論は、我々の住む宇宙が 10 次元や 11 次元という高い次元を持った時空であることを示唆している。これを検証するには、0.1mm 以下という極めて小さいスケールの重力の振る舞いを調べる必要があり、地上の実験では非常に困難とされている。一方で、インフレーション中に生成された背景重力波は、宇宙そのものが 0.1mm 以下だったころの情報も保ったまま我々のところにやってくると考えられており、余剰次元空間に対する唯一の直接的なプローブとなる。本研究では、ランドールとサンドラムによる 5 次元ブレーン宇宙モデルを使い、そこでの背景重力波の伝搬方程式を数値的に解くことで、その振る舞いを調べた。その結果、我々の住むブレーン上において、高次元宇宙特有の宇宙膨張則による効果よりも、Kaluza-Klein モードとして余剰次元方向へ逃げていく効果の方が勝ることが確認された。これによって、余剰次元空間のスケールが 0.1 mm であるとき、0.2mHz 以上の背景重力波のスペクトルに大きな変更が加えられることが示唆される。[70, 107, 122, 189, 196, 241]

ブレーンワールドにおける宇宙背景輻射

ランドールとサンドラムによる 5 次元ブレーン宇宙モデルにおける宇宙背景輻射を調べた。ブレーンワールドモデルでは重力だけがバルクを伝搬できるため、ブレーン上の重力場の振舞いは標準的な四次元一般相対論とは異なり、ブレーン上でのアインシュタイン方程式にバルクの重力波の寄与を表す補正項が加わる。この項は、一様等方宇宙を考える際には、光子のような通常の輻射と同様に宇宙膨張に寄与する暗黒輻射と呼ばれる成分を持つ。この暗黒輻射は宇宙背景輻射に大きな影響を与えうる。しかしその効果を定量的に評価するためには、バルクの重力場に起因する非等方ストレスを評価しなければならない。本研究では低エネルギー展開を用いて、バルクの重力場を近似的に解くことで、ブレーン上に励起される非等方ストレスを評価し、暗黒輻射が宇宙背景輻射に与える影響を定量的に評価した。この結果を WMAP による宇宙背景輻射の観測と比較し、バルクに存在するブラックホールの質量に制限をつけた [19, 93, 137, 260, 261]。

ブレーンワールドにおけるバルクの重力場と暗黒輻射

バルクの重力場によって励起される暗黒輻射は宇宙論的摂動を考える際に重要な役割を果たす。暗黒輻射はバルクに存在するブラックホールによってもたらされることが知られている。しかし暗黒輻射の摂動とバルクの重力場の摂動の関係は明確になっていなかった。そこで、我々は宇宙論的摂動が解析的に解ける唯一のブレーンワールドモデルにおいて、両者の関係を調べた。結果として、暗黒輻射の摂動はバルク摂動の規格化不可能モードに対応し、長波長極限でバルク中の微小な質量を持つブラックホールと関連していることを明らかにした。さらに、このモードによるブレーン上での非等方ストレスを決定し、宇宙背景放射の非等方性観測への影響について議論した。[65, 157, 194]

D ブレーン上の重力理論

ブレーンワールドの考えはストリング理論における D ブレーンの発見に基づいている。そこで D ブレーンを記述する有効理論である typeIIB 超重力理論に基づいて、D ブレーン上の重力理論を調べた。その結果、ブレーンの自己重力を考慮すると、ブレーン上に局在するゲージ場は重力場のソースとして寄与しないことが分かった。この結果はブレーン上の宇宙定数に依存しており、もしブレーン上に宇宙定数が存在すると、ゲージ場は重力場のソースになり得ることを示した。これは D ブレーン上の物質と宇宙定数の関係に興味深い示唆を与える。この結果に対する理解を得るために D ブレーン上の重力を記述する有効作用を導いた。その結果、BPS 条件を課し、ブレーン上の宇宙定数を 0 と仮定すると、ブレーンの張力と電荷の作用がちょうど打ち消しあい、ブレーン上に局在するゲージ場が重力場のソースとして寄

与しないことが分かった [20, 21, 22]。

D ブレーン宇宙論

D ブレーンの基本的な性質として、Born-Infeld action や RR field による相互作用などがある。そこで Born-Infeld action 内のゲージ場の宇宙論的影響を近似することなく調べる方法を開発した [56]。また D ブレーンが 2 枚あるシステムにおける、これらの性質の宇宙論的影響を自己重力が無視できるような極限で解析した [56]。その結果、ブレーン上のゲージ場によってブレーンの軌道は変わらないが、ブレーン内の宇宙論的發展は大きく変化し、特にゲージ場が非常に強いときにはインフレーションが自発的に起こることがわかった。

インフレーションするブレーンの安定性

反ド・ジッター時空に反転対称性をもったインフレーションするブレーンを 2 枚埋め込むと、ブレーン間の距離は摂動に対して、不安定なことが知られている。本研究ではバルクにスカラー場を入れることでこの不安定性を安定化できるかを考察した。その結果負の張力をもつブレーンにインフラトンがある場合、安定なモデルを作れることを示した [94]。

高次元膜宇宙における PBH の蒸発

Randall と Sundrum のタイプ 2 膜宇宙モデルに基づき、宇宙初期に形成される始原的ブラックホール (PBH) が質量降着によって成長することに伴う質量分布スペクトルの時間変化の可能性、および、それらから Hawking 輻射を介して放出される粒子スペクトルの特徴について調べた [69, 106, 121, 158, 159, 188, 195, 240, 253]。まず、宇宙に一樣等方的に存在していると考えられる PBH からは、起源がほとんど謎とされている宇宙背景 X 線、 γ 線の一成分を担い得る光子が放出されていることに着目する。観測されている背景光子のスペクトルとの比較から、五次元的な極初期宇宙における PBH の成長がそれほど強くないとき、PBH の残存量は四次元宇宙での上限をはるかに上回り得ることを示した。また、もし実際にそうであるならば、およそ 10 fm 以上の大きさの余次元が存在せねばならないことも分かる [69, 106, 121, 158, 188, 240, 253]。一方、銀河系に分布するダークマターとしての PBH からは、宇宙に極めて少量しか存在しない反陽子が放出されている可能性がある。銀河系を伝搬して地球に到来する反陽子は BESS などて年々観測が重ねられており、十一年太陽周期のトレースが進むにつれ、ブラックホール蒸発などエキゾチックな起源を持つ成分の定量的同定の精度が向上している。この結果を用い、PBH の量が多い場合には、やはり 10 fm 程度より大きな余次元がなければならないことを示した [121, 159, 195, 253]。

非一様宇宙での Affleck-Dine Baryogenesis

最近の観測結果から通常考えられているより初期の段階から天体の形成や再イオン化が起こっていたことが分かって来た。これをうけて、baryogenesis の相転移の際に局所的に baryon 密度の高い領域が生成された可能性について研究を行った。[198]

1.2 観測的宇宙論

N 体自己重力系の準平衡状態の研究

適当な初期条件から出発した N 体自己重力系は、孤立系の場合、自由落下時間で力学的に安定な状態に落ち着き (ビリアル平衡)、その後、2 体緩和により、じわじわと構造が進化していく。こうした準平衡状態の力学構造とその性質を理解するため、我々は、系統的な恒星衝突系の N 体シミュレーションを行った。その結果、じわじわ進化する緩和過程において、系の遷移状態が、恒星ポリティロープと呼ばれる 1-パラメーター系列の分布関数で統一的に記述できることがわかった。さらに、初期条件をいろいろ変えて、系の状態が、恒星ポリティロープ分布に近づく過程を調べたところ、比較的熱平衡状態に近いエネルギー領域で、恒星ポリティロープ分布へ漸近する様子が見られた。こうした数値結果は、自己重力系の熱力学的性質を反映するものであり、一般の長距離系に対する緩和過程を理解する上で、重要な示唆を与える。[16, 89, 133, 179, 190, 224, 225, 226, 258]

銀河団の非重力的加熱

銀河団から放射されている X 線はダークマターハロー中に閉じ込められている高温ガスに由来すると考えられている。我々は、ダークマターハローは Navarro et al. (1996) で示されたようなユニバーサルな密度分布を持つこと、および、高温ガスは等温で、ダークマターハローによる重力と静水圧平衡にあるという仮定の下で、高温ガスからの X 線光度をダークマターハローの質量の関数として求めた。そして、銀河団の X 線光度・温度関係、および、X 線温度関数のそれぞれについて、観測結果を再現するような質量・温度関係を求めた。その結果、銀河団内の高温ガスは、断熱圧縮などのダークマターハロー形成に由来する重力的な加熱のみでなく、星形成などに由来する非重力的な加熱の影響が重要であるとの示唆を得た。

この結果を基に、我々は、非重力的加熱源となる天体の正体を探った。加熱天体の候補として超新星爆発と電波銀河のジェットのを同時に考慮した理論モデルを構築し、観測結果を説明するために必要な加熱効率を求めた。その結果、二通りの可能性が考えられることが分かった。一つは、「標準」的な量の超新星爆発からの加熱に加えて、「標準」的な量の電波銀河のジェットによる加熱を行なうものであり、もう一つは、「標準」値の数倍の量の超新星爆発

からのみの加熱を行なうものである。後者に関しては、加熱の強さが高赤方偏移に偏っている場合でも観測結果が再現できることを示した。[34, 35, 117]

暗黒物質ハローの特異速度場

暗黒物質ハローの速度分散をモデル化するには、大域的な密度を表す密度パラメータ Ω_0 よりも、そのハローの位置での局所的な密度パラメータを用いたほうが的確であることを具体的に示した。[39]

DIOS を用いたダークバリオンの探索

我々の宇宙で現在までに観測できるバリオンの質量密度は、ビッグバン元素合成理論や宇宙背景放射の観測が予言する値のおよそ 20-30%ほどしかない。残りの未だに観測されていないバリオン (暗黒バリオン) の大部分は、銀河団の周縁部や大規模構造のフィラメント部分に存在する温度が 10^5 K から 10^7 K の Warm-Hot Intergalactic Medium (WHIM) と呼ばれるガスであると考えられている。WHIM 自身が出す放射は極めて小さいため遠方のクエーサーのスペクトル中に吸収線として観測される以外には観測方法がなかったが、我々は宇宙論的流体シミュレーションを用いてこれらを酸素の輝線を用いて直接観測する可能性について研究を行った。その結果、数年後に実現される数 eV のエネルギー分解能を持つ X 線分光器と 4 回反射の X 線望遠鏡を用いれば、温度が 10^6 K から 10^7 K の間にある WHIM については直接観測可能であることを示した。また、この結果に基づいて WHIM 専用の X 線観測衛星計画 Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor (DIOS) が東京都立大学、宇宙航空研究開発機構を中心とするグループで提案している。[26, 87, 88, 168, 170, 132, 204, 219, 95, 138, 205]

ミンコフスキー汎関数を用いた SDSS 銀河分布のトポロジー解析

SDSS や 2dF を代表とする大規模な銀河サーベイにより、フィラメンタリー状に広がる銀河分布の 3 次元的な大構造が全天の 4 分の 1 にわたって観測されつつある。そこで今回、ミンコフスキー汎関数と呼ばれる幾何的指標を使って、伝統的な統計手法である 2 点相関関数では記述し得ない大構造のトポロジーの詳細な定量的解析を行った。N 体シミュレーションによる理論予言との比較の結果、観測された宇宙大構造のトポロジーは、標準的な宇宙構造形成モデルである、宇宙項入りの冷たい暗黒物質モデルによって、矛盾なく説明できることがわかった。[43]

崩壊する暗黒物質と銀河団数密度の進化

銀河団数密度の観測から、過去に重い銀河団が予想以上あったことが分かっている。この観測を良く説明モデルとして、我々は崩壊する暗黒物質を考えた。崩壊する暗黒物質宇宙における銀河団数密度を解析的に計算し、観測と比較したところ、宇宙年齢程度の寿命で観測をよりよく説明できることが分かった [45, 233]。また、Sunyaev-Zel'dovich 効果による宇宙背景放射の揺らぎをこの模型の下で計算した [192]。

3 軸不等楕円体ハローに基づく重力レンズモデル

これまで解析的な重力レンズ確率の計算は基本的に球対称を仮定して行われてきた。しかしながら、N 体計算で得られるダークハローは球対称とは程遠く、しかも強い重力レンズ現象は非球対称性に敏感なため、球対称を仮定した計算は正確でない可能性がある。我々は 3 軸不等楕円体ハロー模型を用いて、初めて非球対称性を系統的に取り込んだ解析計算を行い、非球対称性が重力レンズ確率を一桁程度増やすことを指摘した。また、観測との詳細な比較の結果、冷たい暗黒物質模型に基づく理論予言と観測が良く一致することを示した [46, 145, 200]。

高赤方偏移銀河の空間分布とハローモデル

高赤方偏移銀河、そしてそれらの空間分布は銀河進化や構造進化を調べる上で非常に重要であり、直接的である。現在、狭域帯フィルタを用いたすばる望遠鏡の観測により多くの高赤方偏移銀河が見付かっている。そこでそれらの 2 点相関関数から、ハローモデルと呼ばれる現象論的モデルを用いて、これらの銀河がどのような質量の暗黒物質ハローにいくつあるのがもっともらしいかを調べた。その結果、ライマン・ブレイク銀河と呼ばれる種族に関しては従来と無矛盾な結果が得られるのに対して、ライマン α 輝線銀河と呼ばれるものに関しては、小スケールと大スケールの双方を同時に満足するような尤もらしいモデルを得ることが出来なかった。このことはライマン α 輝線銀河の形成過程が普通の銀河とは異なることを示唆しているのかも知れない [40]。

SDSS のデータを用いた重力レンズクエーサーの探索

今や重力レンズクエーサーは単なる一般相対性理論の観測的な証拠にとどまらず、宇宙を探る有用な道具の 1 つとして使われてきている。現在までにおよそ 1 万個のクエーサーを用いた大規模な重力レンズクエーサーの探索が幾つか行われてきたが、現在進行中の日米独の共同プロジェクトであるスローン・ディジタル・スカイ・サーベイ (SDSS) では最終的にその 10 倍となるおよそ 10 万個のクエーサーのデータが得られる予定であり、我々はそれを用いて空前の規模の重力レンズクエーサー探索を行っている [118]。

これまでに得られている 4 万個のクエーサーを解析し、幾つかの候補天体を追加観測した結果、これまでに 13 個の新しい重力レンズクエーサーを発見することに成功した [36, 37, 47, 173, 206, 228, 266]。今後、まだ追加観測されていない候補天体の観測や新しいデータの解析を行っていく予定である。

最大離角のクエーサー重力レンズ多重像の発見

現在標準的に用いられている冷たい暗黒物質モデルは、銀河団スケールの暗黒物質の集中により、これまでに知られている最大のおよそ 7 秒角をはるかに超える大きな分離角をもつ重力レンズクエーサーが存在しうるとを予言していたが、これまで発見されていなかった。我々は SDSS のデータを用いた探索、およびすばる望遠鏡、Keck 望遠鏡を用いた追加観測により、世界初の銀河団による大分離角 (14.62 秒角) の重力レンズクエーサー SDSS J1004+4112 を発見することに成功した [38, 48, 146, 147, 174, 232, 208, 191, 265, 267]。今回の発見で判明した大分離角重力レンズ確率が現在標準的に用いられている冷たい暗黒物質モデルによる理論予言と良く一致したため、そのような暗黒物質モデルを強く支持する結果となっている。

重力レンズ銀河の内部構造と外的剪断

重力レンズクエーサー系の重力レンズ銀河の質量分布のモデル化で複数像間の明るさの比が多く系のにおいて再現できないことから、銀河内の substructure の存在が指摘されてきた。我々は通常無視される銀河の内部構造と外的剪断 (external shear) の高次項を取り入れて再解析を行った結果、いくつかの系で複数像間の明るさの比を再現し、従って substructure がそれほど必要ないことを示した [49]。

非線形重力系の位相相関の統計指標

ボイドやフィラメンタリー状の複雑な構造をなす銀河分布は、ガウス統計では記述しきれない統計的性質を持つ。分布が非ガウスであることは、フーリエ空間でモードの位相が互いに相関をもつことに相当するが、フーリエ位相の値自体に位相相関の情報がどのように含まれているかは、明らかでなかった。最近になってようやく、名古屋大学の松原助教授により、位相値の和の分布関数の非一様性に位相の相関情報が含まれることが発見された。そこで今回、宇宙大構造の N 体シミュレーションを使い、非線型重力進化による位相相関のふるまいの時間発展、スケール依存性、宇宙モデル依存性を詳細に調べた。また、位相和分布の非一様性は、通常のゆらぎの非線型性だけでなく、サンプルの体積に依存する性質を持つ (サンプル体積が大きくなるほど、位相和分布は一様になる) ことがわかった。[44]

スニャーエフゼルドビッチ効果の観測

スニャーエフ・ゼルドビッチ (SZ) 効果とは、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) は銀河団を通過するとき、銀河団中の高温プラズマにより逆コンプトン散乱を受け、スペクトル変形が起こる現象である。SZ 効果から、銀河団や宇宙論に関する重要な帰結を引き出すことが出来るが、SZ 効果の信号は微弱であるため、今までの観測は SZ 効果自体の有無を確認するに留まっていた。しかし近年のミリ波観測技術の進歩により、銀河団を撮像観測出来る段階になり、電波は光学・X 線に続く、銀河団を見る第三の目として確立した。それに合わせて我々は、観測の最前線を切り開くとともに最新の観測と比較しうる理論モデルを提案した。[42, 97, 142]

SDSS 銀河の 2 点相関関数

銀河分布は銀河の種々の性質と関連がある。そのことは 2 点相関関数にも如実に現れており、例えば楕円銀河は渦巻銀河に比べて、明るい銀河は暗い銀河に比べて、相関関数が多いことが知られている。これらの関連は銀河の形成時期との関係と考えればよいと定性的に理解され、さらに定量的議論がなされつつある。この状況のもと、我々は SDSS の銀河サンプルを用いて、さらに詳しく銀河性質と 2 点相関関数の関係を調べた。その結果、銀河形態依存性は明るくなるほど弱くなったり、楕円銀河に関しては光度依存性が不明瞭だったりすることを見出した。これらの発見は、銀河形成時期にのみ原因を求める従来の理解では定性的にすら不十分であることを示しており、新たな銀河、構造進化のシナリオ構築のヒントを与えてくれていると考えられる [119, 207, 229]。

SDSS 銀河の 3 点相関関数

大規模構造を作る最大の要因-重力-は、非線型性、非局所性を大きな特徴とする。これらの性質により、たとえ初期密度ゆらぎがガウシアンランダム統計に従うとしても、時間が経つにつれて非ガウス性が顕著になってくる。つまり非ガウス性には重力による構造進化の本質的情報が含まれているのであって、それを検出するには本質的に 3 点以上の統計量が必要となるのである。そこで SDSS 銀河カタログを用いて 3 点相関解析を行った。これまでの 3 点相関解析から、3 点相関関数が 2 点相関関数の自乗の定数倍になっているのではないかという仮説が提唱されていたが、SDSS のデータにおいてもこれが成り立っていることを確認し、さらにこの比が銀河の形態や絶対光度にあまり依存しないことを新たに見出した。このことによりバイアスの非線型性が重要であることが明らかになった [41, 119, 141, 229, 264]。

楕円体モデルに基づく宇宙論的確率密度分布関数

大規模構造の統計的性質を考える上で、最も基本的な量に、1点確率分布関数 (Probability Distribution Function, PDF) がある。昨年度我々は、密度ゆらぎの PDF を予言するために、密度ゆらぎの進化を多変数の力学的自由度で記述する局所近似モデルを構築した。

今年度は、局所近似モデルの具体例として、球対称モデルと楕円体モデルを用い、初期スペクトルが CDM の場合とべき的な場合について、N 体シミュレーションと比較した。その結果、初期スペクトルが CDM 的な場合、球対称、楕円体モデル共に、ゆらぎ非線形な場合でも、非常に良く N 体シミュレーションを近似できるのに対し、初期スペクトルが非 CDM 的な場合は、モデル依存性が強く、より精密なモデルが必要であることがわかった。また、球対称モデルでは扱えなかった、赤方偏移空間でのゆらぎの分散に現れる Kaiser 効果を、楕円体モデルは導くことができ、赤方偏移空間では非球対称性が重要だということを示した。[64, 104, 203]

SDSS クエーサー 2 点相関関数

クエーサーは非常に明るく、銀河と比較して非常に遠方にあっても発見する事ができる。そのためクエーサーをプローブとすれば銀河では不可能であった $100 h^{-1} \text{ Mpc}$ を超えるスケールの宇宙の大規模構造の有無を調べる事ができる。標準的な ΛCDM モデルによるとダークマターの 2 点相関関数は $100 h^{-1} \text{ Mpc}$ 強のスケールで一度負になる事が予言されている。我々は SDSS クエーサーカタログを用いて 2 点相関関数を解析した。その結果確かに $100 h^{-1} \text{ Mpc}$ を超えるスケールで負になっている事が見いだされた。

さらに我々はクエーサー 2 点相関関数の赤方偏移・光度依存性を調べ、その結果クエーサーの 2 点相関関数には強い赤方偏移・光度依存性は見られない、という結論を得た。今後さらに SDSS の観測が進めば、クエーサーの形成や進化といった問題を扱う事が可能である。[211]

太陽系外惑星 HD209458b の大気モデルへの観測的制限

本研究では、すばる望遠鏡 HDS(High Dispersion Spectrograph) による系外惑星系 HD209458 の分光観測を行い、そのスペクトルを解析した。その結果、水素の H α 線において、主星からの光が惑星大気によって吸収される量は 0.1% 未満であることを明らかにした。これに対し、ハッブル宇宙望遠鏡の観測結果では、Ly α 線において 15% もの追加吸収が報告されており、これらの結果から系外惑星 HD209458b の大気モデルに制限を加えることができた。[247, 218, 128, 210]

1.3 天体核・素粒子物理

ガンマ線バースト天体に於ける爆発的元素合成

謎の天体といわれるガンマ線バーストは、近年の観測によりブラックホール形成を伴う超新星爆発に付随して引き起こされる現象と推測されだしている。しかも fireball を形成するためにその爆発はジェットのなくてはならないとの指摘もされている。そこで我々は上記のシナリオにもとづきながら爆発的元素合成の計算を行ない、通常の超新星爆発とガンマ線バーストを生ずる超新星爆発に於いて、爆発的元素合成に違いがあるのかを定量的に評価した。結果として、元素合成の生成物質の化学組成はガンマ線バーストを引き起こす中心天体の爆発のタイムスケールに非常に敏感であることが明らかとなり、通常の超新星爆発とは生成物に大きな違いが出ると結論された。特に ^{56}Ni などの放射性不安定原子核の量が爆発のタイムスケールに敏感なことから、逆にガンマ線バーストの持続時間と超新星の光度には相関があるであろうとの理論的予言も与えられた。[17]

若い中性子星からの高エネルギーニュートリノ

中性子星は超高エネルギー宇宙線を含めた、高エネルギー粒子のソースとして期待されているが、これら活動的な若い中性子星は、当然超新星残骸に周囲を囲まれている。Kennel and Coroniti (1984) によれば超新星残骸に囲まれた中性子星が相対論的なバルク速度を持つパルサー風を放出している場合、超新星残骸とパルサー風が圧力平衡を実現するため、またバルク速度が等しくなるという要請から中性子星と超新星残骸の間に衝撃波が生じることが結論され、パルサー風の relativistic な運動は熱的な、random な運動に転化されるであろうと結論付けられている。今回、パルサー風に陽子が含まれている場合、衝撃波による散逸によって random 運動している陽子同士が衝突すれば多量のパイオンを生成し、結果として多量のニュートリノ及びガンマ線を放出するのではないかと考え、フラックスの評価を行なった。結果として、ミリ秒程度で回転している寿命 100 年以内の中性子星から生じるニュートリノは IceCube などの次世代ニュートリノ検出器で検出可能であり、ガンマ線は CANGAROO や HESS などのチェレンコフ望遠鏡や GLAST のようなガンマ線衛星によって検出可能であると評価された。[18, 91, 92, 134, 135, 136, 180, 227, 249, 250, 251, 259]

ガンマ線バースト背景ニュートリノ

ガンマ線バーストは、fire ball モデルを仮定すれば観測される多くの現象をうまく説明することが知られているが、その爆発エネルギーがどの程度であるかということについては未だにオーダーの不定性がある。特に、fire ball のエネルギーについては光学的な観測から推定が出来るとしても、fire ball と

なる部分以外の爆発エネルギー、例えば baryon にどの程度のエネルギーが分配されているのかということについては観測的な手掛かりがなく、それが候補天体ならびに爆発メカニズムをあいまいなままにしている一因となっている。今回、ガンマ線バーストに付随して放出されるニュートリノに着目し、それが現在の宇宙をどの程度満たしているのかということを観測することによって、ガンマ線バーストの平均的な爆発エネルギーが推定出来ることを示し、Super-Kamiokande などでの観測可能性について議論を行った。[90]

「パスタ相」の動的側面の研究

中性子星は様々な天体現象のサイトとして極めて重要な天体であるが、それと同時に、内部は地上の実験室よりも遥かに高密度かつ中性子過剰な状況にあるため、地球上の物質とは全く異なった相を示す可能性がある。特に興味深いことに、標準核密度以下の高密度天体内部物質においては、非常にエキゾチックな構造を持った核（パスタ相）の存在が静的かつ巨視的なモデル等から予言されている。この予言は 80 年代に提出されたものであるが、果たしてパスタ相が動的なプロセスによって発現するか否かは、未だ解明されていなかった。この様な状況の中で、我々は、量子分子動力学法（QMD）という核の形状を仮定しない動的かつ核子レベルの微視的なモデルを用いてパスタ相の再現に成功し、上記の問題に対する明確な解答を与えた。さらに我々は、中性子過剰な場合を含めて標準核密度以下の温度ゼロにおける相図を得ると同時に、用いたモデルハミルトニアンを詳細に検討し、その妥当性を確認した。最近では、圧縮、減圧によるパスタ相間の転移の直接観察に成功するなど、動的な枠組みを生かした興味深い成果を挙げている。[31, 140, 262, 263]

有限温度における「パスタ相」

重力崩壊型超新星は、そのメカニズムの理解が積年の課題となっておりと同時に、重元素生成のサイトや様々な天体現象のサイトとして極めて重要な天体であるが、重力崩壊型超新星の理解において、爆発のダイナミクスに直接影響する内部コアの物質（超新星物質）の研究を逸することはできない。我々は、量子分子動力学法（QMD）による研究のターゲットを有限温度の領域にも向けることで、超新星物質を視野に入れた核物質の構造の更なる理解を目指した。殊に、核の表面の揺らぎや核子の蒸発といった有限温度効果の取り込みは、核の形状を仮定せず、かつ粒子的描像に立った微視的な枠組みである QMD の得意とするところであり、これによって、密度 - 温度平面全体にわたる相図の構築が初めて可能となった。得られた相図によると、パスタ相は約 3MeV までは明確な形状を保っており、同時に有限温度の効果によって各相の領域が低密度側にシフトすることが分かった。[33, 96, 139, 181, 262, 263]

「パスタ相」における電子遮蔽効果

パスタ相についての研究の多くが、相対論的縮退電子ガスを一様な背景として扱っており、また、電子密度分布を考慮したものでも、電子遮蔽効果そのものが相図にどのような影響を及ぼすかを議論したものはなかった。このような状況を受けて本研究では、電子遮蔽効果を取り入れた場合とそうでない場合の結果を比較し、遮蔽効果が標準核密度近傍の相図に及ぼす影響を議論した。その結果、電子遮蔽の効果は中性子星物質、超新星物質いずれの場合でも小さく、我々が QMD の研究によって得た結果の大筋は電子遮蔽の効果によって変更を受けないことが分かった。また、完全遮蔽の極限から予想される傾向とは逆に、パスタ相の領域は広がることを示した。[32, 262, 263]

超新星コアに於ける非球対称なニュートリノ放射

重力崩壊型超新星爆発のダイナミクスを明らかにするため、回転を考慮にいたした超新星爆発の数値計算を行った。その結果、neutrino sphere が遠心力の効果で偏平になり、従って、neutinosphere の温度は回転軸方向に近づくにつれて高くなり、極方向の物質を良く温めることが分かった。これらの結果は、爆発がジェット状になることを示唆している。我々の予言したジェット状爆発は観測とも整合性が良い。今後の課題は、現状の単純化された neutrino 輸送を多次元にして、更に詳しく回転の爆発に及ぼす効果に就いて調べることである。[52, 50, 148, 149, 236, 201, 272, 271, 270, 269]

重力崩壊型超新星からの重力波

回転を伴う重力崩壊型超新星爆発は、重力波の放出源として注目されている。我々は、数値計算を行ないこの重力波の波形の特徴について解析した。そこでは、以前の研究ではなおざりにされがちだった入力物理の精密化を行ない、より現実的な計算を実行した。その結果、最大の重力波の振幅が先行研究より一桁程度上がることになり、観測の可能性が高まることが分かった。さらに、二番目に振幅の大きな重力波の特徴から、従来の観測からは知り得ない超新星コアの回転の様子に対して有力な情報が得られる事を指摘した。翻って、これは重力波から従来不定性の非常に大きい回転星の進化モデルに強い制限を与えられることを意味し、今、まさに発展の著しい重力波天文学で調べるべき具体的な課題を提示した。[53, 51, 148, 149, 236, 234, 201, 182, 271, 270, 269]

γ 線バーストの中心天体としての重力崩壊型超新星爆発

最近の観測から、 γ 線バーストの中心天体として大質量星の重力崩壊が最有力視されている。しかし、従来の研究については準備的なものであると言わざ

るをえない。なぜなら過去の研究が示した、“高速回転、強磁場を伴う親星が中心天体として必要であること”は、エネルギー収支を合わせるためのデモンストレーション的なもので、実際にどのような環境で γ 線バーストが生成されているかについて明らかにされていないからである。一方我々は、長年の超新星の研究をすぐさまこの問題に適応して、強磁場、高速回転を持つ鉄のコアの重力収縮を数値計算で追った。その結果、爆発前の鉄のコアが弱回転、強磁場であるほどジェット状の爆発を作るのに最適であることを示した。この一度目のジェット状爆発で開けられた回転軸付近の空洞は過去の研究では全て手で想定していたもので、我々はその起源を明らかにした。[235, 272, 271]

超新星背景ニュートリノ

過去の全ての超新星爆発から放出されたニュートリノは、diffuse なバックグラウンドを形成していると考えられている。この超新星背景ニュートリノ (Supernova Relic Neutrinos; 以下 SRN) の検出可能性を、現実的なニュートリノ振動モデル、超新星モデルを適用して考察した。更に過去の超新星の形成率としては、HST などの観測に基づいたモデルを用い、検出のバックグラウンドとなるイベントについても十分な考察を行なった。また、最近 Super-Kamiokande グループが、SRN のフラックスに対して非常に厳しい上限値を発表した。我々はそれにともない、より精密な計算を inverted mass hierarchy も含んださまざまなニュートリノ振動モデルに適用し、それぞれのモデルに対するフラックスの上限値の再評価を行なった [58, 99, 103, 152, 175]。

超新星爆発は、短寿命の大質量星の死に伴う現象であるため、SRN は銀河進化および星形成史の良いプローブとして用いることが期待できる。さらにニュートリノは途中の星間空間中にある塵からの吸収を受けないという特徴がある。現在星形成率研究の主流となっている、可視・紫外領域の観測はこの塵による吸収の見積もりが、大きな不定性を与えることが知られているため、SRN はこれらの観測と相補的な役割を果たすことができると考えられる。そこでわれわれは、将来観測からどの程度まで星形成率の情報を引き出せるかという議論をモンテカルロシミュレーションを用いて行った。この結果、Super-Kamiokande くらいの大きさの検出器で 5 年程度観測を行えば、30% 程度の精度で星形成率のモデル化が可能であることを示した。現在計画中の Hyper-Kamiokande や UNO といったさらに大型の検出器を用いれば、より精度の良い情報が得られることが期待できる [63, 209, 252]。

ニュートリノ-Majoron 相互作用に対する観測からの制限

ニュートリノが Majoron などの未知の素粒子と相互作用をする場合、伝搬中に重いニュートリノが軽

いニュートリノと質量を持たない（あるいは非常に軽い）粒子 (Majoron など) に崩壊を起こす可能性が考えられる。現在のところ得られている崩壊寿命に対する最も強い制限は、太陽ニュートリノ観測によるもので、 $\tau/m > 10^{-4}$ s/eV 程度である。これに対して我々は、これらの素粒子モデルを SRN に応用して研究を行なった。その理由は、宇宙論的な距離にある超新星からの重ね合わせである SRN の場合、太陽に比較してかなり距離を稼ぐことができ、崩壊寿命に対しても強い制限が期待できると考えたためである。現在のところは、超新星モデルの不定性が大きいため、精密な議論はできないものの、この方法では原理的に、 $\tau/m > 10^{10}$ s/eV 程度の下限値を得られることを示した。この値は、太陽ニュートリノ観測によるものに比べて十数桁大きいということとは特筆すべきことである [61, 103, 152, 238]。

超新星ニュートリノ振動とニュートリノの磁気モーメント

ニュートリノが有限の磁気モーメントを持った場合に、磁場との相互作用で起こる Resonant Spin-Flavor (RSF) Conversion の調査を 3 世代超新星ニュートリノの場合について初めて行なった。RSF 効果は従来良く調べられてきた通常の物質振動 (MSW 効果) とは異なり、ニュートリノと反ニュートリノの間の遷移を引き起こすという特徴がある。我々は、3 世代 6 要素を持つ Schrödinger 方程式を数値的に解くことにより、ニュートリノの遷移確率を求め、Super-Kamiokande や SNO での期待されるスペクトルを求めた。その結果、もしニュートリノが現在観測で得られている上限値に近いくらいの大きな磁気モーメントを持ち、なおかつ超新星中の磁場が十分に大きな場合には、統計的に有意な信号が得られることを定量的に示した [100, 150, 186, 202]。

さらにわれわれは、RSF 効果が超新星の親星モデルに非常に敏感であるという点に着目し、Woosley, Heger & Weaver (2002) によって計算されたいくつかのモデルを用い、依存性の調査・議論を行なった [59, 186]。また、現在のところ良くわかっていない、ニュートリノの質量階層性への依存性に関する包括的な研究も行った。この計算の結果、とくに興味深い現象として、inverted mass hierarchy の場合、非常に鋭いピーク (中性子化バースト) が時間プロファイルに見られる可能性があることを指摘した [62, 101, 102, 151, 153, 154, 193, 252]。

強磁場中でのニュートリノ-核子散乱と pulsar kick

現在の宇宙物理学の問題のひとつとして、パルサーが大きな固有速度を持っているということがあげられる。これは超新星爆発が非対称に起きるためであるという考え方が有力であるが、その詳しいメカニズムはいまだに謎につつまれている。われわれは、ニュートリノが爆発エネルギーのほとんど全てを担っているという事実から、強い磁場を持った、超新星コアでの

ニュートリノ-核子散乱に着目して研究を行った。従来の研究では、電子ニュートリノが非対称ニュートリノ放射に主に寄与するとされ、それ以外のフレーバーはあまり考慮されていなかった。しかしわれわれは、1 次の補正項まで考慮に入れた結果、非電子ニュートリノによる寄与は、場合によっては電子ニュートリノから来る寄与と同じくらいになる可能性があるということを指摘した [60]。

超高エネルギー宇宙線の伝搬

超高エネルギー宇宙線の起源を探る上で、その到来方向分布が重要ながかりとなり得る。我々は、銀河間空間での宇宙線伝搬の Monte Carlo 計算による数値データをもとに、超高エネルギー宇宙線の到来方向を計算し観測との比較を行うことで、ソースの個数密度は 10^{-6}Mpc^{-3} 程度であるとの制限を得た。[105, 155, 239, 278] この AGASA 観測を説明できるソース分布において、Auger 計画などの将来観測で予想される宇宙線到来方向の予言を行ない、データ数の向上により宇宙線のソースを同定できる可能性を示した。[66, 187]

また、比較的低エネルギー ($\sim 10^{19}$ eV) の宇宙線到来方向を計算する際には、銀河磁場の影響が重要となってくる。そこで、我々は銀河磁場による変更を考慮した宇宙線到来方向の新たな計算法を提案した。[67, 156] これにより、過去の他者の研究より短い計算時間で到来方向を計算できるようになった。さらに、宇宙線組成として重元素を想定し、粒子の曲がり方が非常に大きい場合での銀河内宇宙線伝搬についての数値計算も行なった。[68] 正則な銀河磁場の効果で、宇宙線のソースが局所銀河群にのみ局在しているような場合でも、観測の等方的な到来方向が説明できることを示し、宇宙線重元素の新たな可能性を見出した。

強磁場で高速回転する星の重力崩壊

我々はガンマ線バーストやマグネターを説明する手がかりとして強磁場で高速回転している星の重力崩壊に注目している。磁場の強さと回転の強さに関して幅広い初期状態から数値シミュレーションによって進化を追った。その結果変化にとんだ爆発の様子が見てとれ、これらの変化を特徴づけるのはプラズマ β と呼ばれる量や爆発のエネルギーであることがわかった。MRI や場の包み込みによる磁場の増幅が微分回転の結果として得られたが挙動は複雑である。これらの効果のタイムスケールを比較した。[197, 242]

1.4 高エネルギー現象論

素粒子論的宇宙論

超対称標準模型は標準模型を越える理論の最も有力な模型であると考えられている。しかし、宇宙論への適応を考えたとき、宇宙に大量に存在すると考えられるグラヴィティーノの崩壊によって、元素合成がうまく行かなくなるという問題がおこる。特に宇宙のバリオン数の非対称性を説明しようとするとき、この問題はより深刻なものになる。グラヴィティーノの問題から初期宇宙の温度が低いことが要求されるが、低い温度の宇宙でのバリオン数生成は比較的困難である。

藤井、伊部、柳田はこの問題を避けるため、グラヴィティーノが安定な場合（即ち、グラヴィティーノが最も軽い超対称粒子の場合）における熱的レプトン生成を解析した。その場合にも、グラヴィティーノの次に軽い超対称粒子の軽元素への影響からグラヴィティーノの次に軽い超対称粒子の種類に強い制限があることを明らかにした。その結果、グラヴィティーノの次に軽い超対称粒子としては、タウ粒子、ニュートリノの超対称対でなければならず、その際グルーオンの超対称対の質量が 1.8 GeV より軽く、現在建設中の加速器 LHC で検証可能であることを示した [72]。

また、藤井、伊部、柳田は安定な真空を持ち、宇宙に不要な粒子が残らないような gauge-mediation 模型を考察した結果、宇宙のインフレーション後再び小さいインフレーションが起こる模型が可能であることを示した。この 2 度目のインフレーションによって、グラヴィティーノを暗黒物質として適当な量まで薄めることができる。そのため、グラヴィティーノの量の制限からくる宇宙の温度の上限がゆるめられ、熱的レプトン生成が自然に働くことを示した [71]。

超対称高次元模型

井沢、渡利、柳田は、高次元の超対称 QCD を考えて、色つきのフェルミオンが余次元方向に分離した、比較的ありふれた状況が実現されていると自然に、PQ 対称性が帰結として現れ、結果的に CP 問題の解決が内包された 4 次元の QCD が得られることを示した。また、その際、超対称性の為に、MS SM 粒子以外の色つき粒子の存在が一般に超対称性の破れのスケールで予想されることを指摘した [73]。

<受賞>

- [1] 柳田 勉, フンボルト賞, 2003 年 4 月

<報文>

(原著論文)

- [2] A. D. Dolgov and M. Kawasaki: Can modified gravity explain accelerated cosmic expansion? *Phys. Lett. B* **573**, 1 (2003).

- [3] K. Hamaguchi, M. Kawasaki, T. Moroi and F. Takahashi: Curvatons in supersymmetric models, *Phys. Rev. D* **69**, 063504 (2004).
- [4] S. Kasuya, M. Kawasaki and F. Takahashi: MSSM curvaton in the gauge-mediated SUSY breaking, *Phys. Lett. B* **578**, 259 (2004).
- [5] T. Chiba, F. Takahashi and M. Yamaguchi: Baryogenesis in a flat direction with neither baryon nor lepton charge, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 011301 (2004).
- [6] F. Takahashi and M. Yamaguchi: Spontaneous baryogenesis in flat directions, *Phys. Rev. D* **D69**, 083506 (2004).
- [7] M. Kawasaki, M. Yamaguchi and J. Yokoyama: Inflation with a running spectral index in supergravity, *Phys. Rev. D* **68**, 023508 (2003).
- [8] M. Kawasaki and F. Takahashi, Inflation model with lower multipoles of the CMB suppressed, *Phys. Lett. B* **570**, 151 (2003).
- [9] S. Kasuya, T. Moroi and F. Takahashi: Can MSSM particle be the inflaton?, to appear in *Physics Letters B*/
- [10] K. Ichikawa and M. Kawasaki: Big bang nucleosynthesis with a varying fine structure constant and non-standard expansion rate, to appear in *Phys. Rev. D*/
- [11] K. Ichikawa and M. Kawasaki: Comments on the evolution of strongly degenerate neutrinos in the early universe, *Phys. Lett. B* **570**, 154 (2003).
- [12] A. D. Dolgov and F. Takahashi: Do neutrino flavor oscillations forbid large lepton asymmetry of the universe?, *Nucl. Phys. B* **688**, 189 (2004).
- [13] M. Fukugita and M. Kawasaki: The Earliest Epoch of Reionisation in the Standard Λ CDM Model, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **343**, L25 (2003).
- [14] S. Kasuya, M. Kawasaki and N. Sugiyama: Partially ionizing the universe by decaying particles, *Phys. Rev. D* **69**, 023512 (2004).
- [15] Kazunori Kohri, Kei Iida, Katsuhiko Sato: Upper limit on the mass of RX J1856.5–3754 as a possible quark star; *Prog. Theor. Phys.* **109** (2003) 765–780
- [16] Masa-aki Sakagami, and Atsushi Taruya: Self-gravitating Stellar System and Non-extensive Thermostatistics; *Continuum Mechanics and Thermodynamics* **16** (2004) 279-292 (cond-mat/0310082).
- [17] Shigehiro. Nagataki, Akira. Mizuta, Shoichi. Yamada, Hideaki. Takabe and Katsuhiko. Sato: Explosive Nucleosynthesis Associated with Formation of Jet-induced GRBs in Massive Stars; *Astrophysical Journal*, **596** (2003) 401.
- [18] Shigehiro Nagataki: High-Energy Neutrinos Produced by Interactions of Relativistic Protons in Shocked Pulsar Winds; *Astrophysical Journal*, **600** (2004) 883.
- [19] K. Koyama Cosmic microwave radiation anisotropies in brane worlds; *Physical Review Letter* **91**, 221301, 2003.
- [20] T. Shiromizu, K. Koyama, T. Torii and S. Onda; Can we live on a D-brane? – Effective theory on a self-gravitating D-brane –; *Physical Review D* **D68**, 063506, 2003.
- [21] T. Shiromizu, K. Koyama and T. Torii; Cosmological constant and gravitational theory on D-brane; *Physical Review D*, **D68**, 103513, 2003.
- [22] S. Onda, T. Shiromizu, K. Koyama and S. Hayakawa; Low energy effective action on a self-gravitating D-brane; *Physical Review D*, in press
- [23] K. Koyama and K. Takahashi; Primordial fluctuations in bulk inflaton model; *Physical Review D* **67** (2003) 103503
- [24] K. Koyama and K. Takahashi; Exactly solvable model for cosmological perturbations in dilatonic brane worlds; *Physical Review D* **68** (2003) 103512
- [25] Jounghun Lee and Yasushi Suto: Reconstructing Three-dimensional Structure of Underlying Triaxial Dark Halos From X-ray and Sunyaev–Zel’dovich Effect Observations of Galaxy Clusters; *The Astrophysical Journal* **601** (2004) 599–609(astro-ph/0306217)
- [26] Kohji Yoshikawa, Noriko Y. Yamasaki, Yasushi Suto, Takaya Ohashi, Kazuhisa Mitsuda, Yuzuru Tawara, and Akihiro Furuzawa: Detectability of the Warm/Hot Intergalactic Medium Through Emission Lines of OVII and OVIII; *Publications of the Astronomical Society of Japan* **55** (2003) 879–890 (astro-ph/0303281)
- [27] Chen, D.N., Jing, Y.P., Yoshikawa, K.: Angular Momentum Distribution of Hot Gas and Implications for Disk Galaxy Formation; *The Astrophysical Journal* **597** (2003) 35–47
- [28] Tsutomu, T. Takeuchi, Kohji Yoshikawa, Takako, T. Ishii: The Luminosity Function of IRAS Point Source Catalog Redshift Survey Galaxies; *The Astrophysical Journal* **587** (2003) L89
- [29] Suwa, Tamon; Habe, Asao; Yoshikawa, Kohji; Okamoto, Takashi: Cluster Morphology as a Test of Different Cosmological Models; *The Astrophysical Journal*, **588** (2003), 7–17
- [30] Yoshikawa, Kohji; Jing, Y. P.; Börner, Gerhard: Spatial and Dynamical Biases in Velocity Statistics of Galaxies; *The Astrophysical Journal*, **590** (2003), 654-663
- [31] Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki: Structure of cold nuclear matter at subnuclear densities by Quantum Molecular Dynamics, *Phys. Rev. C* **68**, 035806 (2003).
- [32] Gentaro Watanabe and Kei Iida: Electron screening in the liquid-gas mixed phases

- of nuclear matter,
Phys. Rev. C **68**, 045801 (2003).
- [33] Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki:
Phases of hot nuclear matter at subnuclear densities,
accepted for publication in Phys. Rev. C.
 - [34] Mamoru Shimizu, Tetsu Kitayama, Shin Sasaki, and Yasushi Suto: Mass-Temperature Relation of Galaxy Clusters: Implications from the Observed Luminosity-Temperature Relation and X-ray Temperature Function; The Astrophysical Journal **590** (2003) 197–206 (astro-ph/0212284)
 - [35] Mamoru Shimizu, Tetsu Kitayama, Shin Sasaki, and Yasushi Suto: Monte-Carlo Modeling of Non-Gravitational Heating Processes in Galaxy Clusters; Publications of the Astronomical Society of Japan **56** (2004) 1–16 (astro-ph/0310858)
 - [36] Naohisa Inada, Robert H. Becker, Scott Burles, Francisco J. Castander, Daniel Eisenstein, Patrick B. Hall, David E. Johnston, Bartosz Pindor, Gordon T. Richards, Paul L. Schechter, Maki Sekiguchi, Richard L. White, J. Brinkmann, Joshua A. Frieman, S. J. Kleinman, Jurek Krzesinski, Daniel C. Long, Eric H. Neilsen, Jr., Peter R. Newman, Atsuko Nitta, Donald P. Schneider, S. Snedden, Donald G. York: SDSS J092455.87+021924.9: An Interestingly Gravitationally Lensed Quasar from the Sloan Digital Sky Survey; The Astronomical Journal **126** (2003) 666–674 (astro-ph/0304377)
 - [37] Bart Pindor, Daniel J. Eisenstein, Naohisa Inada, Michael D. Gregg, Robert H. Becker, Jon Brinkmann, Scott Burles, Joshua A. Frieman, David E. Johnston, Gordon T. Richards, Donald P. Schneider, Ryan Scranton, Maki Sekiguchi, Edwin L. Turner, Donald G. York: SDSS J115517.35+634622.0: A Newly Discovered Gravitationally Lensed Quasar; The Astronomical Journal **127** (2004) 1318–1324 (astro-ph/0312176)
 - [38] Naohisa Inada, Masamune Oguri, Bartosz Pindor, Joseph F. Hennawi, Kuenley Chiu, Wei Zheng, Shin-Ichi Ichikawa, Michael D. Gregg, Robert H. Becker, Yasushi Suto, Michael A. Strauss, Edwin L. Turner, James Annis, Francisco J. Castander, Daniel J. Eisenstein, Joshua A. Frieman, Masataka Fukugita, James E. Gunn, David E. Johnston, Charles R. Keeton, Stephen M. Kent, Robert C. Nichol, Gordon T. Richards, Hans-Walter Rix, Erin Scott Sheldon, Neta A. Bahcall, J. Brinkmann, Željko Ivezić, Don Q. Lamb, Timothy A. McKay, Donald P. Schneider, and Donald G. York: A gravitationally lensed quasar with quadruple images separated by 14.62 arcseconds; Nature **426** (2003) 810–812 (astro-ph/0312427)
 - [39] Takashi Hamana, Issha Kayo, Naoki Yoshida, Yasushi Suto, and Y.P. Jing: Modeling peculiar velocities of dark matter halos; Monthly Notices of Royal Astronomical Society **343** (2003) 1312–1318 (astro-ph/0305187)
 - [40] Takashi Hamana, Masami Ouchi, Kazuhiro Shimasaku, Issha Kayo and Yasushi Suto: Properties of host haloes of Lyman-break galaxies and Lyman-alpha Emitters from their number densities and angular clustering; Monthly Notices of Royal Astronomical Society **347** (2004) 813–823 (astro-ph/0307207)
 - [41] Issha Kayo, Yasushi Suto, Robert C. Nichol, Jun Pan, István Szapudi, Andy Connolly, Jeff Gardner, Bhuvnesh Jain, Gauri Kulkarni, Takahiko Matsubara, Ravi Sheth, Alex Szalay, and Jon Brinkmann: Three-point correlation functions of SDSS galaxies in redshift space: morphology, color and luminosity dependence; Publications of the Astronomical Society of Japan **56** (2004) June 25 issue, in press (astro-ph/0403638)
 - [42] Tetsu Kitayama, Eiichiro Komatsu, Naomi Ota, Takeshi Kuwabara, Yasushi Suto, Kohji Yoshikawa, Makoto Hattori, and Hiroshi Matsuo: Exploring cluster physics with high-resolution Sunyaev-Zel'dovich effect images and X-ray data: A case of the most X-ray luminous galaxy cluster RX J1347-1145; Publications of the Astronomical Society of Japan **56** (2004) 17–28 (astro-ph/0311574)
 - [43] Chiaki Hikage, Jens Schmalzing, Thomas Buchert, Yasushi Suto, Issha Kayo, Atsushi Taruya, Michael S. Vogeley, Fiona Hoyle, J. Richard Gott III, and J. Brinkmann (for the SDSS collaboration): Minkowski Functionals of SDSS galaxies I: Analysis of Excursion Sets; Publications of the Astronomical Society of Japan **55** (2003) 911–931 (astro-ph/0304455)
 - [44] Chiaki Hikage, Takahiko Matsubara and Yasushi Suto: The Distribution function of the Phase sum as a Signature of Phase Correlations Induced by Nonlinear Gravitational Clustering; The Astrophysical Journal **600** (2004) 553–563 (astro-ph/0308472)
 - [45] Masamune Oguri, Keitaro Takahashi, Hiroshi Ohno and Kei Kotake: Decaying Cold Dark Matter and the Evolution of the Cluster Abundance; The Astrophysical Journal **597** (2003) 645–649 (astro-ph/0306020)
 - [46] Masamune Oguri, Jounghun Lee and Yasushi Suto: Arc Statistics in Triaxial Dark Matter Halos: Testing the Collisionless Cold Dark Matter Paradigm; The Astrophysical Journal **599** (2003) 7–23 (astro-ph/0306102)
 - [47] Masamune Oguri, Naohisa Inada, Francisco J. Castander, Michael D. Gregg, Robert H. Becker, Shin-Ichi Ichikawa, Bartosz Pindor, Jonathan Brinkmann, Daniel J. Eisenstein, Joshua A. Frieman, Patrick B. Hall, David E. Johnston, Gordon

- T. Richards, Paul L. Schechter, Donald P. Schneider and Alexander S. Szalay: SDSS J1335+0118: A New Two-Image Gravitational Lens; Publications of the Astronomical Society of Japan **56** (2004) 399–405 (astro-ph/0311169)
- [48] Masamune Oguri, Naohisa Inada, Charles R. Keeton, Bartosz Pindor, Joseph F. Hennawi, Michael D. Gregg, Robert H. Becker, Kuenley Chiu, Wei Zheng, Shin-Ichi Ichikawa, Yasushi Suto, Edwin L. Turner, James Annis, Neta A. Bahcall, Jonathan Brinkmann, Francisco J. Castander, Daniel J. Eisenstein, Joshua A. Frieman, Tomotsugu Goto, James E. Gunn, David E. Johnston, Stephen M. Kent, Robert C. Nichol, Gordon T. Richards, Hans-Walter Rix, Donald P. Schneider, Erin Scott Sheldon, and Alexander S. Szalay: Observations and Theoretical Implications of the Large Separation Lensed Quasar SDSS J1004+4112; The Astrophysical Journal **605** (2004) 78–97(astro-ph/0312429)
- [49] Yozo Kawano, Masamune Oguri, Takahiko Matsumura and Satoru Ikeuchi: Galaxy Structures and External Perturbations in Gravitational Lenses; Publications of the Astronomical Society of Japan **56** (2004) 253–260 (astro-ph/0404013)
- [50] Kei Kotake, Shoichi Yamada, and Katsuhiko Sato; Anisotropic Neutrino Radiation in Rotational Core Collapse, Astrophys. J, 595, 304, (2003)
- [51] Kei Kotake, Shoichi Yamada, and Katsuhiko Sato; Gravitational Radiation from Axisymmetric Rotational Core Collapse Phys. Rev. D, 68, 044023, (2003)
- [52] Kei Kotake, Hidetomo Sawai, Shoichi Yamada, and Katsuhiko Sato; Magnetorotational Effects on Anisotropic Neutrino Emission and Convection in Core Collapse Supernovae, Astrophys. J. in press
- [53] Kei Kotake, Shoichi Yamada, Katsuhiko Sato, Kohsuke Sumiyoshi, Hiroyuki Ono, and Hideyuki Suzuki; Gravitational Radiation from Rotational Core Collapse: Effects of Magnetic Fields and Realistic Equation of States, Phys. Rev. D. in press
- [54] K. Takahashi, K. Sato, H. E. Dalhed and J. R. Wilson, “Shock propagation and neutrino oscillation in supernova” Astroparticle physics 20 (2003) 189
- [55] K. Takahashi, K. Sato, A. Burrows and T. A. Thompson, “Supernova Neutrinos, Neutrino Oscillations, and the Mass of the Progenitor Star” Physical Review D 68 (2003) 113009
- [56] T. Uesugi, T. Shiromizu, T. Torii and K. Takahashi, “D-braneworld cosmology II: Higher order corrections” Physical Review D 69 (2004) 043511
- [57] K. Takahashi and K. Ichikawa, “Cosmology and two-body problem of D-branes” to be published in Physical Review D
- [58] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “Supernova relic neutrinos and observational implications for neutrino oscillation”; Phys. Lett. B **559** (2003) 113
- [59] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “Resonant spin-flavor conversion of supernova neutrinos: Dependence on presupernova models and future prospects”; Phys. Rev. D **68** (2003) 023003
- [60] Shin’ichiro Ando: “Asymmetric neutrino emission due to neutrino-nucleon scatterings in supernova magnetic fields”; Phys. Rev. D **68** (2003) 063002
- [61] Shin’ichiro Ando: “Decaying neutrinos and implications from the supernova relic neutrino observation”; Phys. Lett. B **570** (2003) 11
- [62] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “A comprehensive study of neutrino spin-flavour conversion in supernovae and the neutrino mass hierarchy”; J. Cosmol. Astropart. Phys. **10** (2003) 001
- [63] Shin’ichiro Ando: “Cosmic Star Formation History and the Future Observation of Supernova Relic Neutrinos”; Astrophys. J. **607** (2004) in press [astro-ph/0401531]
- [64] Yasuhiro Ohta, Issha Kayo, and Atsushi Taruya: Cosmological Density Distribution Function from the Ellipsoidal Collapse Model in Real Space; The Astrophysical Journal (2004), in press (astro-ph/0402618).
- [65] H. Yoshiguchi and K. Koyama; Bulk gravitational field and dark radiation on the brane in dilatonic brane world; Physical Review D, in press
- [66] H.Yoshiguchi, S.Nagataki, K.Sato: Arrival Distribution of UHECRs: Prospects for the Future, ApJ, 592, 311, (2003)
- [67] H.Yoshiguchi, S.Nagataki, K.Sato: A New Method for Calculating Arrival Distribution of Ultra-High Energy Cosmic Rays above 10^{19} eV with Modifications by the Galactic Magnetic Field, ApJ, 596, 1044, (2003)
- [68] H.Yoshiguchi, S.Nagataki, K.Sato: Numerical Study on the Propagation of Ultra-High Energy Cosmic Rays in the Galactic Magnetic Field, to be published in ApJ
- [69] Yuuiti Sendouda, Shigehiro Nagataki, and Katsuhiko Sato: “Constraints on the mass spectrum of primordial black holes and braneworld parameters from the high-energy diffuse photon background,” Phys. Rev. D **68** (2003) 103510.
- [70] Takashi Hiramatsu, Kazuya Koyama, and Atsushi Taruya: Evolution of gravitational waves from inflationary brane-world: numerical study of high-energy effects; Physics Letters B **578** (2004) 269–275 (hep-th/0308072).
- [71] M. Fujii, M. Ibe and T. Yanagida, “Thermal leptogenesis and gauge mediation,” Phys. Rev. D **69**, 015006 (2004).

- [72] M. Fujii, M. Ibe and T. Yanagida, “Upper bound on gluino mass from thermal leptogenesis,” *Phys. Lett. B* **579**, 6 (2004).
 - [73] K.-I. Izawa, T. Watari, and T. Yanagida, “Super- and CP-symmetric QCD in Higher Dimensions,” *Phys. Lett. B*, in press.
 - [74] A. Hebecker, J. March-Russell and T. Yanagida, “Higher-dimensional origin of heavy sneutrino domination and low-scale leptogenesis,” *Phys. Lett. B* **552**, 229 (2003).
 - [75] G. C. Branco, R. Gonzalez Felipe, F. R. Joaquim and T. Yanagida, “Removing ambiguities in the neutrino mass matrix,” *Phys. Lett. B* **562**, 265 (2003).
 - [76] J. R. Ellis, M. Raidal and T. Yanagida, “Sneutrino inflation in the light of WMAP: Reheating, leptogenesis and flavor-violating lepton decays,” *Phys. Lett. B* **581**, 9 (2004).
 - [77] K. Tobe, J. D. Wells and T. Yanagida, “Neutrino induced lepton flavor violation in gauge-mediated supersymmetry breaking,” *Phys. Rev. D* **69**, 035010 (2004).
- (会議抄録)
- [78] Katsuhiko Sato, Keitaro Takahashi and Shin’ichiro Ando: Neutrino Burst from Supernovae and Neutrino Oscillation; Proceedings of the Very High Energy Astronomy, Kashiwa, March, 2003, Universal Academy Press ed M. Sasaki
 - [79] K. Sato, K. Takahashi and S. Ando: The Neutrino Burst from Supernovae and Implication for Neutrino Oscillation parameters; “Quarks, Astrophysics and Space Physics” ed. by T. Hatsuda, M. Mori and K. Sato, *Prog. Theor. Phys. Suppl.* No. 151 (2003) 32–43
 - [80] Katsuhiko Sato, Shin’ichiro Ando, Kei Kotake and Keitaro Takahashi: Neutrino burst and gravitational wave from supernova explosions; Proceedings of the International Conference on Gravitation and Astrophysics, Seoul Sept. 2003
 - [81] Katsuhiko Sato, Shin’ichiro Ando, Kei Kotake and Keitaro Takahashi: Supernova Explosion and Neutrino Burst from Supernovae; Proceedings of the International Symposium in Astro-Hadron Physics, Seoul, November 2003, World Scientific, ed by Deog Ki Hong
 - [82] Katsuhiko Sato, Keitaro Takahashi, Shin’ichiro Ando and Kei Kotake: Neutrino Burst from Supernovae and Implication for Neutrino Oscillation; Proceedings of The 6th RESCEU International Symposium: Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology (4–7 November, 2003), ed K. Sato and S. Nagataki, Universal Academy Press 2004
 - [83] Yasushi Suto: Density profiles and clustering of dark halos and clusters of galaxies; Proceedings of “Matter and Energy in Clusters of Galaxies”, eds. S. Bowyer and C.-Y. Hwang (ASP, San Francisco) 379–393 (astro-ph/0207202)
 - [84] Takashi Hamana, Naoki Yoshida, & Yasushi Suto: Are cosmological N-body simulations reliable on scales below the mean separation length of particles ?; Proceedings of IAU symposium 208 “Astrophysical Supercomputing using particle simulations”; eds. J.Makino and P. Hut (ASP, San Francisco) 399–400
 - [85] Naoki Yoshida, Takashi Hamana, Yasushi Suto & August E. Evrard: Clustering of dark halos on the lightcone; Proceedings of IAU symposium 208 “Astrophysical Supercomputing using particle simulations”; eds. J.Makino and P. Hut (ASP, San Francisco) 467–468
 - [86] Yasushi Suto: Simulations of Large-Scale Structure in the New Millennium; Proceedings of IAU symposium 216 “Maps of Cosmos”; eds. Matthew Colless and Lister Staveley-Smith (ASP, San Francisco) in press (astro-ph/0311575)
 - [87] Yasushi Suto, Kohji Yoshikawa, Noriko Y. Yamasaki, Kazuhisa Mitsuda, Ryuichi Fujimoto, Tae Furusho, Takaya Ohashi, Manabu Ishida, Shin Sasaki, Yoshitaka Ishisaki, Yuzuru Tawara, and Akihiro Furuzawa: Searching for cosmic missing baryons with DIOS – Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor –; Journal of the Korean Physical Society (Proceedings of the VI International Conference on Gravitation and Astrophysics of Asian-Pacific Countries) in press (astro-ph/0402389)
 - [88] T. Ohashi, M. Ishida, S. Sasaki, Y. Ishisaki, K. Mitsuda, N. Y. Yamasaki, R. Fujimoto, T. Furusho, H. Kunieda, Y. Tawara, A. Furuzawa, Y. Suto, and K. Yoshikawa: Future Japanese missions for the study of warm-hot intergalactic medium; Proceedings of “Modelling the Intergalactic and Intracluster Media”, in press (astro-ph/0402546)
 - [89] Atsushi Taruya: Quasi-equilibrium state of stellar self-gravitating system away from thermal equilibrium; Proceedings of the 6th RESCEU symposium “Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology”, eds. K. Sato and S. Nagataki, pp. 503–504.
 - [90] Shigehiro Nagataki, Kazunori Kohri, Shin’ichiro Ando, Katsuhiko Sato: Gamma-ray Burst Neutrino Background and Star Formation History in the Universe; *Nuclear Physics A* **718** (2003) 437c
 - [91] Shigehiro Nagataki: High Energy CRs from Young Neutron Star and Their Interactions with the Ambient Matter; Proceedings of the 28th International Cosmic Ray Conference eds. T. Kajita, Y. Asaoka, A. Kawachi, Y. Matsubara, M. Sasaki, (Universal Academy Press, Tsukuba, 2003) p.703
 - [92] Shigehiro Nagataki: High-Energy Neutrinos Produced by Interactions of Relativistic Protons in Shocked Pulsar Winds; Proceedings of the 6th

- RESCEU International Symposium on ‘Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology’ eds. K. Sato and S. Nagataki (Universal Academy Press, Tokyo, 2004) p.331
- [93] K. Koyama; Cosmic microwave radiation anisotropies in brane worlds; The 6th RESCEU International Symposium, Tokyo (November 2003).
- [94] K. Koyama Inflation in brane models with radion stabilization; JGRG, Osaka (December 2003)
- [95] Kohji Yoshikawa, Noriko Y. Yamasaki, Yasushi Suto, Takaya Ohashi, Kazuhisa Mitsuda, Yuzuru Tawara, and Akihiro Furuzawa: Detectability of the Warm/Hot Intergalactic Medium Through Emission Lines of OVII and OVIII; Proceedings of “Modelling the Intergalactic and Intracluster Media”, in press
- [96] Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki: Nuclear pasta structure in hot neutron stars, to appear in “Young Neutron Stars and Their Environments” (IAU Symposium 218, ASP Conference Proceedings), eds F. Camilo and B. M. Gaensler.
- [97] 桑原 健, 他 SZ チーム: “45m 鏡 S40M 受信機を用いた銀河団のスニャーエフ・ゼルドビッチ効果の観測” 野辺山宇宙電波観測所ユーザーズミーティング (2003 年 8 月 1 日)
- [98] Masamune Oguri and Yozo Kawano: “Accurate Determination of the Hubble Constant from Supernova Lensing” Proceedings of the 12th Workshop of General Relativity and Gravitation, eds. M. Shibata, et al., p.340 (2003)
- [99] Shin’ichiro Ando, Katsuhiko Sato and Tomonori Totani: “Detectability of the Supernova Relic Neutrinos”; Proceedings of the 16th International Conference on Particles and Nuclei (PANIC ’02), eds. H. Toki, K. Imai and T. Kishimoto, Nucl. Phys. A **721** (2003) 541c–544c
- [100] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “Resonant Spin-Flavor Conversion of Supernova Neutrinos”; Proceedings of the 28th International Cosmic Ray Conference (ICRC ’03), eds. T. Kajita, Y. Asaoka, A. Kawachi, Y. Matsubara and M. Sasaki, Universal Academy Press, 2003, pp. 1451–1454
- [101] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “Supernova Neutrino Oscillations and the Neutrino Magnetic Moment”; Proceedings of International Workshop on Astroparticle and High Energy Physics (AHEP-2003), ed. by M. Hirsch, M. Maltoni, S. Pastor and J.W.F. Valle, published as a contribution to JHEP Proceedings: PRHEP-AHEP2003 (001)
- [102] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “Supernova Neutrino Oscillations and the Neutrino Magnetic Moment”; Proceedings of the 6th RESCEU International Symposium on “Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology,” eds. K. Sato and S. Nagataki, Universal Academy Press, pp. 95–98
- [103] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “Supernova Relic Neutrinos and Implications for the Neutrino Properties”; Proceedings of the 6th RESCEU International Symposium on “Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology,” eds. K. Sato and S. Nagataki, Universal Academy Press, pp. 355–356
- [104] Yasuhiro Ohta: The cosmological density distribution function from the local collapse model; Proceedings of the 6th RESCEU symposium “Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology”, eds. K. Sato and S. Nagataki, pp. 467–468.
- [105] 吉口 寛之, 長滝 重博, 椿 信也, 佐藤 勝彦: 超高エネルギー宇宙線到来方向分布と起源への示唆, 研究会「高エネルギー宇宙物理学の理論的研究」 高原編集 (2003), p.104
- [106] Yuuiti Sendouda, Shigehiro Nagataki, and Katsuhiko Sato: “Constraints on the mass spectrum of primordial black holes and braneworld parameters from the high-energy diffuse photon background,” Proceedings of the 6th RESCEU International Symposium “Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology,” eds. K. Sato and S. Nagataki, Universal Academy Press, pp. 481–482
- [107] Takashi Hiramatsu, Kazuya Koyama, and Atsushi Taruya: Evolution of gravitational wave background from inflationary brane-world; Proceedings of the 6th RESCEU symposium “Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology”, eds. K. Sato and S. Nagataki, pp. 389–390.
- (国内雑誌)
- [108] 佐藤勝彦: “アインシュタイン人生最大の不覚” 数理科学 10 月号 (2003) 52–59
- [109] 佐藤勝彦: “理論天文学、特に重力崩壊型超新星研究におけるシミュレーションの役割と今後” 日本天文学会誌 11 月号 (2003) 613–615
- [110] 佐藤勝彦: “宇宙の誕生と宇宙の未来” アキウム (京都コンピュータ学院) 2003 年 12 号、64–69
- [111] 佐藤勝彦: “宇宙に残された 96% の謎 — 瀬名秀明の時空の旅 — (対談)” 日経サイエンス 2004 年 4 月号
- [112] 佐藤勝彦: “新たな物理学の扉を開く” 日経サイエンス 2004 年 5 月号
- [113] 須藤 靖: 進化する宇宙論、日本の科学者 **38**(2003)10 月号 pp.4–9.
- [114] 須藤 靖: 銀河・銀河団形成シミュレーション、日本天文学会 会誌 天文月報 **96**(2003)11 月号 pp.601–607.
- [115] 須藤 靖: WMAP の成果、パリティ **19**(2004) 1 月号, pp.46–48.
- [116] 須藤 靖・川邊 良平・北村 良実: 見えてきた宇宙の新しい姿: 137 億年の時間を旅する、日経サイエンス (2004) 2 月号, pp.69–83.

(学位論文)

- [117] Mamoru Shimizu: Non-Gravitational Heating of Galaxy Clusters in a Hierarchical Universe (博士論文)
- [118] Naohisa Inada: Discoveries of Gravitationally Lensed Quasars from the Sloan Digital Sky Survey (博士論文)
- [119] Issha Kayo: “One, Two, Three – measuring evolved large scale structure of the Universe” (博士論文)
- [120] Chiaki Hikage: “Higher-order Statistics as a probe of Non-Gaussianity in Large Scale Structure” (博士論文)
- [121] 仙洞田雄一: “Primordial black holes as an imprint of the brane Universe” (修士論文).
- [122] 平松 尚志: 宇宙論の起源の背景重力波による余剰次元の探求 (修士論文)

(著書)

- [123] 佐藤勝彦: “宇宙を見る新しい目” (日本物理学会編) 日本評論社 (2003), 第9章、超新星ニュートリノで見る宇宙を分担執筆。
- [124] 佐藤勝彦: “宇宙 96%の謎” 実業の日本社、2003 年 11 月
- [125] 佐藤勝彦: “宇宙はすべてを教えてくれる (共著)” PHP 研究所、2003 年 11 月
- [126] 佐藤勝彦: 天文の事典 (磯部、岡村、佐藤、辻、吉沢、渡辺編) 朝倉書店 (2003 年)、I. 宇宙の誕生、概説、および I-1 ビッグバン宇宙と元素合成 (郡と共著) を分担執筆。
- [127] 須藤 靖: 磯部・岡村・佐藤・辻・吉沢・渡辺 (編) “天文の事典” 朝倉書店 (2003 年 7 月刊行、I-3 章 宇宙の構造進化 執筆)。
- [128] 須藤 靖: 日本物理学会 (須藤 靖・梶田隆章・上羽 牧夫: 編) “宇宙を見る新しい目” 日本評論社 (2004 年 4 月刊行、第 10 章究極の宇宙論 太陽系外惑星探査 執筆)。
- [129] M. Fukugita and T. Yanagida, “Physics of Neutrinos,” Springer Berlin (2003).

<学術講演>

(国際会議)

一般講演

- [130] Yasushi Suto: Confronting the CDM paradigm with observations, seminar at Ludwig-Maximilians-University (2003 年 8 月 6 日)
- [131] Yasushi Suto: Looking into CDM predictions: from large- to small-scale structures, Workshop at Institute of Cosmic Ray Research, University of Tokyo (2003 年 10 月 2-4 日)
- [132] Yasushi Suto: Searching for missing cosmic baryons via Oxygen emission lines, cosmology seminar at at Institute of Astronomy, University of Cambridge (2003 年 8 月 13 日)

- [133] Atsushi Taruya: Numerical study on long-term evolution of stellar self-gravitating system away from the thermal equilibrium, The 2nd Sardinian International Conference on News and Expectations in Thermostatistics, Villasimius, Italy, September, 2003.
- [134] Shigehiro Nagataki: High-Energy Neutrinos Produced by Interactions of Relativistic Protons in Shocked Pulsar Winds; International Workshop on Ultra High Energy Neutrino Telescope, Chiba (2003 年 7 月 29-30 日)
- [135] Shigehiro Nagataki: High Energy CRs from Young Neutron Star and Their Interactions with the Ambient Matter; The 28th International Cosmic Ray Conference, Tsukuba (2003 年 7 月 31 日-8 月 7 日)
- [136] Shigehiro Nagataki: High-Energy Neutrinos Produced by Interactions of Relativistic Protons in Shocked Pulsar Winds; The 6th RESCEU International Symposium on ‘Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology’, Tokyo (2003 年 11 月 4-7 日)
- [137] K. Koyama; Cosmic microwave background radiation anisotropies in brane worlds; COSMO-03 International Workshop on Particle Physics and the Early Universe, August 2003.
- [138] Kohji Yoshikawa: Detectability of the Warm-Hot Intergalactic Medium through Emission Lines of OVII and OVIII, INAF Workshop on “Modelling the Intergalactic and Intracuster Media” (2003 年 10 月 1 日-4 日)
- [139] Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki: Nuclear pasta structure in hot neutron stars, the Twenty-fifth General assembly of the International Astronomical Union (IAUXXV), (Sydney, July 2003).
- [140] Gentaro Watanabe, Toshiki Maruyama: Structural Transitions of Nuclear “Pasta”, the 8th International Conference on Clustering Aspects of Nuclear Structure and Dynamics, (Nara, November 2003).
- [141] Issha Kayo: “3pt correlation function of the SDSS galaxies”, SDSS collaboration meeting in spring 2004 (New Mexico State University, March 2004)
- [142] Takeshi Kuwabara: Mapping observation of Sunyaev-Zel’dovich effects using Nobeyama 45-m telescope, The 6th RESCEU International Symposium, The University of Tokyo (2003, November)
- [143] Chiaki Hikage, Takahiko Matsubara, & Yasushi Suto: “The Distribution Function of the Phase Sum as a Signature of Phase Correlations Induced by Nonlinear Gravitational Clustering” The 6th RESCEU International Symposium, The University of Tokyo (4-7 November 2003)

- [144] Masamune Oguri: “A Problem in the Hubble Cconstant from Gravitational Lensing”, The IAU Symposium 216 “Maps of the Cosmos” Sydney (2003 年 7 月)
 - [145] Masamune Oguri: “Arc Statistics in Galaxy Clusters” The IAU General Assembly Joint Discussion 10 “Evolution in Galaxy Clusters: A Multiwavelength Approach”, Sydney (2003 年 7 月)
 - [146] Masamune Oguri: “Gravitational Lens Statistics as a Probe of Halo Profiles” The IAU Symposium 220 “Dark Matter in Galaxies”, Sydney (2003 年 7 月)
 - [147] Masamune Oguri and the SDSS collaboration: “Discovery of a Gravitationally Lensed Quasar System with 14.6 Arcsec Splitting” The 6th RESCEU symposium “Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology”, Tokyo (2003 年 11 月)
 - [148] K. Kotake, N. Ohnishi, S. Yamada, and K. Sato ; Effects of Rotation in Core Collapse Supernovae, the 6th RESCEU International Symposium on ”Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology”, The University of Tokyo, (Nov 2003)
 - [149] Kei Kotake, Shoichi Yamada, Katsuhiko Sato: Effects of Rotation Core Collapse Supernovae, Twelfth Workshop on “Nuclear Astrophysics” Max-Planck-Institut fuer Astrophysik, Garching, Germany, (March 2004)
 - [150] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “Resonant Spin-Flavor Conversion of Supernova Neutrinos”; The 28th International Cosmic Ray Conference (ICRC 2003) August, 2003, Tsukuba
 - [151] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “Supernova Neutrino Oscillation and the Neutrino Magnetic Moment”; International Workshop on Astroparticle and High Energy Physics (AHEP-2003), October 2003, Valencia
 - [152] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “Supernova Relic Neutrinos and Implications for Neutrino Properties”; The 6th RESCEU International Symposium: Frontiers in Astroparticle Physics and Cosmology, November 2003, Tokyo
 - [153] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “Supernova Neutrino Oscillation and the Neutrino Magnetic Moment”; The 6th RESCEU International Symposium: Frontiers in Astroparticle Physics and Cosmology, November 2003, Tokyo
 - [154] Shin’ichiro Ando and Katsuhiko Sato: “Supernova Neutrino Oscillation with/without Neutrino Magnetic Moment”; The 5th Workshop on “Neutrino Oscillations and their Origin” (NOON2004), February 2004, Tokyo
 - [155] H. Yoshiguchi, S. Nagataki, S. Tsubaki and K. Sato: Small Scale Clustering in the Isotropic Arrival Distribution of Ultra-High Energy Cosmic Rays; The 28th International Cosmic Ray Conference, Tsukuba (August 2003)
 - [156] H. Yoshiguchi, S. Nagataki and K. Sato: A New Method for Calculating Arrival Distribution of Ultra-High Energy Cosmic Rays above 10^{19} eV with Modifications by the Galactic Magnetic Field; The 6th RESCEU International Symposium, Tokyo (November 2003)
 - [157] H. Yoshiguchi and K. Koyama: Bulk geometry and gravity on the brane in a bulk inflaton model; JGRG, Osaka (December 2003)
 - [158] Yuuiti Sendouda, Shigehiro Nagataki, and Katsuhiko Sato: “Constraints on the mass spectrum of primordial black holes and braneworld parameters from the high-energy diffuse photon background,” The 6th RESCEU International Symposium (U. Tokyo, Japan, November, 2003).
 - [159] Yuuiti Sendouda, Kazunori Kohri, Shigehiro Nagataki, and Katsuhiko Sato: “Cosmic-ray antiprotons from primordial black holes in the braneworld,” The 13th Workshop on General Relativity and Gravitation (Osaka City U., Japan, December, 2003).
- 招待講演
- [160] Katsuhiko Sato: Supernova Explosion and Neutrino Burst; The first Yamada symposium on Neutrinos and Dark Matter in Nuclear Physics, Nara, June, 2003
 - [161] Katsuhiko Sato: Neutrino burst and gravitational wave from supernova explosions; International Conference on Gravitation and Astrophysics, Seoul, Sept. 2003
 - [162] Katsuhiko Sato: Supernova Explosion and Neutrino Burst from Supernovae; International Symposium in Astro-Hadron Physics, Seoul, November 2003
 - [163] Katsuhiko. Sato: Neutrino Burst from Supernovae and Implication for Neutrino Oscillation; 8th international conference on clustering aspects of nuclear structure and dynamics, Nara, Nov. 2003
 - [164] Katsuhiko. Sato: Neutrino Burst from Supernovae and Implication for Neutrino Oscillation; The 6th RESCEU International Symposium: Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology, 4–7 November, 2003
 - [165] Katsuhiko Sato: Neutrino Burst from Supernova Explosion; Sweden-Japan Joint Symposium on “Accelerator Science and Accelerator Based Sciences” Tokyo, January, 2004.
 - [166] Katsuhiko Sato: Supernova Explosion and Neutrino Burst; 12th Workshop on Nuclear Astrophysics, Ringberg Castle, March, 2004
 - [167] Katsuhiko Sato: Supernova Explosion and Neutrino Burst; COE Workshop “Prospects on Fundamental Physics in the 21st Century” Tokyo, February, 2004

- [168] Yasushi Suto: Searching for cosmic missing baryons via Oxygen emission lines, Japan-US seminar on Cosmology with the Sunayev-Zel'dovich effect, 清里清泉寮セミナーハウス (2003 年 6 月 15-20 日)
 - [169] Yasushi Suto: Simulations of large-scale structure in the new millennium, The International Astronomical Union Symposium 216, Maps of the Cosmos, Sydney (2003 年 7 月 13-19 日)
 - [170] Yasushi Suto: Searching for cosmic missing baryons with DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor, The 6th International conference of Asian-Pacific; Gravitation and Astrophysics, Seoul (2003 年 10 月 6-9 日)
 - [171] Yasushi Suto: Weighing the universe: baryon, dark matter and dark energy, 21st century COE program of Tohoku University International symposium on bridging particle-matter hierarchy, Sendai (2004 年 3 月 5-7 日)
 - [172] K. Koyama; Exactly solvable model for cosmological perturbations in dilatonic brane worlds; DAMTP Workshop on "Cosmological Perturbations on the Brane", University of Cambridge, UK, July 2003.
 - [173] Naohisa Inada and Masamune Oguri: "The Sloan Digital Sky Survey Strongly Lensed Quasar Survey" SDSS Collaboration Meeting, Chicago (2003 年 10 月)
 - [174] Masamune Oguri and Naohisa Inada: "First Large Separation Lensed Quasar from the SDSS" SDSS collaboration Meeting, Chicago (2003 年 10 月)
 - [175] Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato: "Supernova Relic Neutrinos and Observational Implications for Neutrino Oscillation"; Fourth International Conference on Physics Beyond the Standard Model (BEYOND THE DESERT '03) June, 2003, Castle Ringberg (Germany)
 - [176] T. Yanagida, "Baryo-and Leptogenesis, " DESY Workshop on "GUT and Brane", Hamburg, Sept. 23-25, 2003.
 - [177] T. Yanagida, "Large Lepton Mixing in A String Brane World, " Fujiwara seminar on "Neutrino Mass and Seesaw Mechanism", Tsukuba, Feb. 23-25, 2004.
 - [178] T. Yanagida, "Neutrino Mass and Universe's Baryon Asymmetry, " COE 国際会議「Prospects on Fundamental Physics in the 21st Century」, 山上会館, 東京大学, 2004 年 2 月 16 日-18 日.
- (国内会議)
- 一般講演
- ・日本物理学会 2003 年秋季大会 (宮崎ワールドコンベンションセンター・サミット, 2003 年 9 月)
 - [179] 樽家 篤史, 阪上 雅昭: 自己重力系の長時間進化と非加法的熱・統計力学
 - [180] 長滝重博: パルサー風中の相対論的陽子の衝突と高エネルギーニュートリノ
 - [181] 渡辺 元太郎, 佐藤 勝彦, 泰岡 顕治, 戎崎 俊一: 量子分子動力学法による有限温度下の核物質の研究: 超新星物質の構造
 - [182] 固武 慶, 山田章一, 佐藤勝彦; Gravitational radiation from the collapse of rotating stellar cores
 - [183] 高橋慶太郎, 大栗真宗, 固武慶, 大野博司: "ガンマ線バーストで暗黒エネルギーを探る"
 - [184] 高橋慶太郎, 小山和哉: "Primordial fluctuations in bulk inflaton model II"
 - [185] 高橋慶太郎, 佐藤勝彦, A. Burrows, T. A. Thompson: "超新星ニュートリノのシグナルと親星の質量"
 - [186] 安藤真一郎, 佐藤勝彦: "Resonant Spin-Flavor Conversion of Supernova Neutrinos: Dependence on Presupernova Models"
 - [187] 吉口 寛之, 長滝 重博, 佐藤 勝彦: 超高エネルギー宇宙線到来方向の予言
 - [188] 仙洞田雄一, 長滝重博, 佐藤勝彦: "Constraints on the mass spectrum of primordial black holes and brane world parameters from the high-energy diffuse photon background"
 - [189] 平松尚志, 小山和哉, 樽家 篤史: Numerical study of gravitational wave background in the braneworld scenario
 - ・日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月, 九州大学)
 - [190] 樽家 篤史, 阪上 雅昭: Gravothermal catastrophe and quasi-attractive properties in self-gravitating system
 - [191] 大栗真宗, 他 SDSS collaboration: "大分離角重力レンズクエーサー探索"
 - [192] 高橋慶太郎, 大栗真宗, 市来 浄與 "Sunyaev-Zel'dovich effect with decaying dark matter"
 - [193] 安藤真一郎, 佐藤勝彦: "超新星ニュートリノ振動, ニュートリノの磁気モーメントと質量階層性"
 - [194] 吉口 寛之, 小山 和哉: バルクインフラトンモデルにおけるバルクの幾何とブレーン上の重力の関係
 - [195] 仙洞田雄一, 郡和範, 長滝重博, 佐藤勝彦: "ブレーン宇宙における PBH からの sub-GeV 領域宇宙線反陽子"
 - [196] 平松尚志, 小山和哉, 樽家 篤史: Evolution of gravitational waves from inflationary brane-world
 - [197] 滝脇知也, 固武慶, 長滝重博, 佐藤勝彦: 高速自転星の重力崩壊と Collapsar の形成
 - [198] 松浦俊司, 長滝重博, 佐藤勝彦, A.D. Dolgov: "アフレルクダイナミクス生成と非一様宇宙での重元素合成"
 - ・日本天文学会 2003 年秋季年会 (愛媛大学, 2003 年 9 月)

- [199] 日影 千秋、松原 隆彦、須藤 靖: “位相情報を用いた宇宙の構造解析 II: 大規模構造の N 体シミュレーション”
- [200] 大栗真宗、Jounghun Lee、須藤靖: “三軸不等楕円体モデルを用いた重力レンズアーク統計”
- [201] 固武 慶、大西直文、山田章一、佐藤勝彦; Effects of Rotation on Neutrino Heating in Collapse-Driven Supernovae 日本天文学会秋期年会 (愛媛大学 2003 年 9 月)
- [202] 安藤真一郎、佐藤勝彦: “超新星ニュートリノ振動とニュートリノの磁気モーメント”
- [203] 太田泰弘、加用一者、樽家篤史: 密度ゆらぎ確率分布関数の解析的なモデル
 - ・ 日本天文学会 2004 年春季年会 (名古屋大学, 2004 年 3 月)
- [204] 須藤 靖: “DIOS で探る宇宙の大構造とダークバリオン”
- [205] 吉川 耕司: “近傍宇宙におけるダークバリオン分布とその観測可能性”
- [206] 稲田直久、他 SDSS collaboration: “The SDSS Gravitationally Lensed Quasar Survey I. Lensing by Galaxy”
- [207] 加用一者、須藤靖、福来正孝、中村理、山内千里 “SDSS 銀河 2 点相関関数-形態/光度依存性とバイアスの進化”
- [208] 大栗真宗、他 SDSS collaboration: “The SDSS Gravitationally Lensed Quasar Survey II. Lensing by Cluster”
- [209] 安藤真一郎: “銀河進化・星形成史と超新星ニュートリノ”
- [210] 成田 憲保: “すばる /HDS による系外惑星 HD209458b の精密分光観測”
- [211] 矢幡 和浩、加用一者、須藤 靖、D. Vanden Berk、A. Connolly ”SDSS クエーサー 2 点相関関数の赤方偏移・光度依存性”
 - ・ その他
- [212] 佐藤勝彦: “超新星ニュートリノで見る宇宙” 日本物理学会科学セミナー、東京大学弥生講堂・一条ホール 2003 年 8 月 23 日
- [213] 佐藤勝彦: “宇宙の誕生と宇宙の未来” 京都コンピュータ学院講演会、2003 年 10 月 25 日
- [214] 佐藤勝彦: “宇宙の誕生” 杉並区科学館講演会、2003 年 11 月 1 日
- [215] 佐藤勝彦: “宇宙の誕生と未来” 大学と科学「ビッグバン宇宙の誕生と未来」、2004 年 1 月 31 日
- [216] 佐藤勝彦: “宇宙の誕生、宇宙の未来” 千葉郷土博物館講演会、2004 年 2 月 7 日
- [217] 須藤 靖: “夜空のむこう” 春日部共栄高校 講演会 (2003 年 5 月 21 日)
- [218] 須藤 靖: “究極の宇宙論: 太陽系外惑星探査” 日本物理学会 2003 年度科学セミナー (2003 年 8 月 23 日)
- [219] 須藤 靖: “軟 X 線帯での酸素輝線を用いたダークバリオン探索計画” RESCEU 研究会@鴨川 (2003 年 8 月 31 日)
- [220] 須藤 靖: “星空の向こう側: WMAP と 21 世紀の観測的宇宙論” 葛飾区郷土と天文の博物館: 第 8 回かつしか天文セミナー (2003 年 10 月 11 日)
- [221] 須藤 靖: “宇宙のダークサイド: 暗黒物質と暗黒エネルギー” 東京大学宇宙線研究所 一般講演会 (2003 年 11 月 1 日)
- [222] 須藤 靖: “宇宙の古文書をひもとく~宇宙マイクロ波背景放射温度地図~” サイエнтиフィックライブサピエンス「見えてきた宇宙の新しい姿」(2003 年 11 月 15 日)
- [223] 須藤 靖: “夜空のむこうー銀河宇宙から宇宙背景輻射へー”, 第 18 回「大学と科学」公開シンポジウムビッグバンー宇宙の誕生と未来ー (2004 年 1 月 31 日)
- [224] Atsushi Taruya, and Masa-aki Sakagami: Gravothermal catastrophe and quasi-equilibrium structure in N-body systems, 第 13 回「一般相対論と重力」研究会 (大阪市立大学, 2003 年 12 月 1-4 日)
- [225] 樽家 篤史: Gravothermal catastrophe and quasi-equilibrium structure in N-body systems, 国立天文台データ解析センター ユーザーズミーティング (国立天文台, 2003 年 12 月 3-4 日)
- [226] 樽家 篤史: Antonov problem and quasi-equilibrium state in N-body systems, 箱根天体力学 N 体力学研究会 (箱根, 2004 年 3 月 1-3 日)
- [227] 長滝重博: High-Energy Neutrinos Produced by Interactions of relativistic Protons in Shocked Pulsar Wind; 第 3 回高エネルギー宇宙研究会 (大阪大学豊中キャンパス、2003 年 11 月 26-28 日)
- [228] 稲田直久: “The Sloan Digital Sky Survey Gravitational Lens Survey” RESCEU 研究会 (鴨川、2003 年 9 月)
- [229] 加用一者: “SDSS 銀河相関解析による銀河進化へのヒント” RESCEU 研究会 (鴨川, 2003 年 8 月)
- [230] 日影 千秋、松原 隆彦、須藤 靖: “Phase Correlations in Nonlinear Gravitational Clustering” RESCEU 研究会@鴨川 (2003 年 9 月 1 日)
- [231] 日影 千秋: “位相情報による宇宙大規模構造の非ガウスの統計性質の解析” 理論天文学懇談会シンポジウム@京都大学基礎物理学研究所 (2004 年 1 月 6 日)
- [232] 大栗真宗: “Large image separation lens search in the SDSS” RESCEU 研究会 (鴨川、2003 年 9 月)
- [233] 大栗真宗、高橋 慶太郎、固武 慶、市来 淨與、大野博司: “Decaying Cold Dark Matter and the High Redshift Cluster Abundance” The 13th Workshop of General Relativity and Gravitation (大阪市大、2003 年 12 月)
- [234] 固武 慶、山田章一、佐藤勝彦; Gravitational Radiation from the Collapse of Massive Stars, 研究会「一般相対論と重力」 (大阪市立大学, 2003 年 10 月)

- [235] 固武 慶, 滝脇知也, 長滝重博, 佐藤勝彦; Gravitational Collapse of Massive stars as the Birthplace of GRBs, 研究会「ガンマ線バースト天文学の新たな地平」(理化学研究所 2003 年 12 月)
- [236] 固武 慶; 重力崩壊型超新星爆発の起源, 京都大学基礎物理学研究所研究会, 国立天文台研究会 第 16 回理論天文学懇談会シンポジウム (京大基礎物理学研究所 2004 年 1 月)
- [237] 高橋慶太郎, 市川和秀: “Cosmology and two-body problem of D-branes”; JGRG 2003, 2003 年 12 月 4 日
- [238] 安藤真一郎: “Decay of Supernova Relic Neutrinos”; RESCEU 研究会, 2003 年 9 月, 鴨川
- [239] 吉口 寛之, 長滝 重博, 椿 信也, 佐藤 勝彦: “超高エネルギー宇宙線到来方向と起源への示唆”, 研究会「高エネルギー宇宙物理学の理論的研究」(大阪大学, 2003 年 11 月)
- [240] 仙洞田雄一, 長滝重博, 佐藤勝彦: “背景 X・ガンマ線による PBH と Braneworld への制限,” RESCEU 研究会 “宇宙における時空・物質・構造の進化”(鴨川, 2003 年 9 月).
- [241] Takashi Hiramatsu, Kazuya Koyama, and Atsushi Taruya: Evolution of gravitational waves from inflationary brane-world, 第 13 回「一般相対論と重力」研究会 (大阪市立大学, 2003 年 12 月 1-4 日)
- [242] 滝脇知也, 固武慶, 長滝重博, 佐藤勝彦: Rotational Core-Collapse of Massive Star, 「ガンマ線バースト天文学の新たな地平」, 理化学研究所招待講演
- [243] 佐藤勝彦: “21 世紀宇宙論の方向” 日本物理学会 2003 年秋季大会 (シンポジウム [WMAP と宇宙論])
- [244] 佐藤勝彦: “超新星ニュートリノとニュートリノ振動” 日本物理学会 2003 年秋季大会 (シンポジウム [ニュートリノ天文学])
- [245] 佐藤勝彦: “宇宙の誕生、宇宙の未来”(物理学会公開講演会、宮崎大学)
- [246] 須藤 靖: “宇宙の階層: 大きな構造から小さな構造へ” 京都大学基礎物理学研究所短期研究会 (2003 年 10 月 16 日)
- [247] 須藤 靖: “太陽系外惑星探査: 現状と展望” 日本物理学会春季年会 宇宙線分科会シンポジウム 宇宙と生命 (2004 年 3 月 28 日)
- [248] 樽家 篤史: “WMAP と宇宙論”, 京都大学基礎物理学研究所研究会「素粒子物理学の進展」(京大基研, 2003 年 7 月 22-25 日)
- [249] 長滝重博: Astronomical Jets and High energy cosmic rays; 研究会「高エネルギーニュートリノ・宇宙線・ γ 線研究会 —Ashra 計画を巡って—」(宇宙線研究所, 2003 年 7 月 24 日)
- [250] 長滝重博: High-Energy Neutrinos Produced by Interactions of Relativistic Protons in Shocked Pulsar Winds; 研究会「CANGAROO 望遠鏡によるガンマ線天文学の新展開」(京都大学研究所, 2003 年 12 月 11-12 日)
- [251] 長滝重博: 超高エネルギー宇宙ニュートリノ; 研究会「極限エネルギーガンマ線と宇宙線による宇宙像」(甲南大学, 2004 年 2 月 19-20 日)
- [252] 安藤真一郎: “Future Detection of Supernova Neutrinos and Its Implications for Astroparticle Physics”; 研究会「高エネルギー宇宙の総合的理解」, 2004 年 3 月, 宇宙線研究所
- [253] 仙洞田雄一: “始原的ブラックホールの蒸発に見る膜宇宙の痕跡,” 宇宙線研究所 Workshop “高エネルギー宇宙の総合的理解”(宇宙線研究所, 2004 年 3 月).
- [254] 柳田 勉, 「素粒子で宇宙の進化を解く」, 第 18 回「大学と科学」公開シンポジウム, 「宇宙の誕生と未来」東京, 平成 16 年 1 月 31 日-2 月 1 日.
- (セミナー)
- [255] 佐藤勝彦: Explosion mechanism of Supernovae and Neutrino Burst from Supernovae; Institute of Astrophysics, Paris, March, 2004
- [256] 須藤 靖: “WMAP と 21 世紀の宇宙論”, 中央大学理工学部素粒子論研究室セミナー (2003 年 4 月 15 日)
- [257] 須藤 靖: “宇宙構造形成と冷たいダークマター”, 東京大学宇宙線研究所 談話会 (2003 年 7 月 8 日)
- [258] 樽家 篤史: “自己重力系の準平衡状態と非加法的熱・統計力学”, 国立天文台天体物理セミナー (2003 年 11 月 10 日)
- [259] Shigehiro Nagataki: High-Energy Neutrinos Produced by Interactions of Relativistic Protons in Shocked Pulsar Winds; (RIKEN, 2004 年 1 月 22 日)
- [260] K. Koyama; Brane world CMB anisotropies; The University of Portsmouth, Institute of Cosmology and Gravitation, August 2003.
- [261] 小山和哉; Cosmological tests of brane world models; 東京工業大学, 宇宙論グループコロキウム (2003 年 3 月 16 日)
- [262] 渡辺 元太郎: 高密度天体における nuclear “pasta” とその性質: 高密度天体内部物質が織り成す物質相の世界、上智大学 伊藤研究室セミナー (2003 年 4 月)
- [263] Gentaro Watanabe: Nuclear “pasta” in dense stars and its properties: the world of the exotic phases in dense stellar matter, Astrophysics seminar, NORDITA (December, 2003)
- [264] Issha Kayo: “3PCF of the SDSS Galaxies”, University of Pittsburgh, March 2004
- [265] 大栗真宗: “CDM モデルと大分離角重力レンズクエーサー” 早稲田大学宇宙物理研究室 セミナー (2003 年 10 月)
- [266] 大栗真宗: “SDSS 重力レンズクエーサー探索” 国立天文台理論天文学研究系 宇宙論セミナー (2003 年 10 月)
- [267] 大栗真宗: “大分離角重力レンズクエーサーの発見” 国立天文台野辺山宇宙電波観測所 談話会 (2004 年 2 月)

- [268] 固武 慶 ; 回転を伴う超新星爆発のダイナミクス、立教大学理論物理コロキウム (2003 年 6 月)
- [269] 固武 慶 ; 自転を伴う超新星爆発、早稲田大 前田研究室コロキウム (2003 年 10 月)
- [270] 固武 慶 ; 超新星爆発における多次元の効果 (自転、磁場)、東大駒場 GR セミナー (2003 年 10 月)
- [271] 固武 慶 ; 回転、磁場の重力崩壊型超新星爆発に及ぼす効果、上智大学宇宙物理セミナー (2003 年 11 月)
- [272] 固武 慶 : 超新星爆発のメカニズムの理解へ向けて—回転、磁場の果たす役割、京都大学天体核研究室、天体核コロキウム, (2004 年 2 月)
- [273] 高橋 慶太郎: “Supernova, Neutrino Oscillation and Neutrino Astrophysics” 早稲田大学 2003 年 5 月 9 日
- [274] 高橋 慶太郎: “Probing dark energy with gamma-ray bursts” 東工大 2003 年 5 月 21 日
- [275] 高橋 慶太郎: “Probing dark energy with gamma-ray bursts” 大阪大 2003 年 10 月 22 日
- [276] 安藤 真一郎: “超新星背景ニュートリノとニュートリノ振動”; 東京工業大学 細谷・白水研究室セミナー, 2003 年 4 月
- [277] 安藤 真一郎: “Resonant Spin-Flavor Conversion of Supernova Neutrinos”; 東京都立大学 素粒子理論研究室セミナー, 2003 年 5 月
- [278] 吉口 寛之: 超高エネルギー宇宙線到来方向と起源への示唆, 理化学研究所, 計算宇宙物理研究室セミナー (2003 年 10 月 16 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・出田・Deng）

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

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

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

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

いることを示唆している。

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

2.1 近傍矮小銀河の進化

dSph 銀河

我々が発展させて来た超新星が星形成を駆動するというシナリオをもとにした銀河系ハローの化学進化モデルを応用して、近年、大型望遠鏡で個々の星の元素組成が測られるようになった近傍の矮小銀河の化学進化モデルを構築した。星の重元素量にたいする分布を説明するためには、初期には現在よりも重力ポテンシャルが深かったことが分かり、これらの矮小銀河は銀河系の潮汐力によって質量を失いながら現在の姿になったという力学的な進化の描像も得られた。[44, 45, 47, 48]

Angular momentum distribution of dwarf galaxies

We use numerical simulations of structure formation in a CDM cosmology to investigate the angular momentum distributions of dark matter and baryons at high redshift. Physical processes such as radiative cooling, star formation, feedback and chemical enrichment are included. We show that the two components have very different spin parameters values and that the distributions of specific angular momentum are distinct from each other, disagreeing with the standard assumption of detailed conservation of angular momentum during disc formation. [95]

矮小銀河の力学進化

ω 星団とは、潮汐力と力学的摩擦の効果によって、矮小楕円銀河が徐々に銀河中心に落ちながら外層の

星が引き剥されていったなれの果てである、とするシナリオを力学的に検証するため、天の川銀河モデル中の矮小楕円銀河の力学進化を数値的に検証した。その結果、 ω 星団の固有運動や銀河パラメータの観測誤差に伴う軌道の不定性の範囲内で、 ω 星団の表面密度分布はこのシナリオによってよく再現できることが示された。[84, 133]

2.2 銀河系

バルジの形成過程

SPH 法コードを使って、銀河系 (天の川銀河) の詳細な 3 次元形成進化モデルを構築した。宇宙論的な初期条件をもとに、銀河系の元になったガス雲の進化を SPH 法で調べ、銀河系の様々な観測的事実を説明できることがわかった。この計算結果を解析することにより、銀河系中心部にあるバルジ星が、銀河より小さなガス雲同士の合体によって形成されたとする、化学力学的なバルジ形成モデルを提唱する論文を発表した。[24]

超新星が駆動する星形成を取り込んだ銀河系形成シミュレーション

CDM シナリオに基づく構造形成の計算から銀河系の様な銀河ができそうな領域を抜き出して初期条件とし、SPH 法コードを用いて銀河初期の化学力学進化を調べる。CDM に支配されたガス中ではいわゆる Schmidt law に基づく星形成の他に、超新星爆発によって駆動される星形成があることを仮定し、ハローに属する星の重元素量に対する分布を調べ、観測を再現できるかを試験している。また、2 つの星形成モードがどのように働くと、銀河系の各部分に属する星の重元素量に関する分布が観測と合うのかも調べる。[128]

宇宙初期の星間物質内での重元素の混合と種族 III 星表面の重元素汚染

3 次元並列流体コードを使って、宇宙初期における星間物質の超新星爆発による汚染の過程について調べている。超新星爆発によって放出された重元素が、星間物質と混合し希薄化していく様子をモデル化することで、宇宙初期に形成された恒星の重元素分布の再現を試みている。さらに、このようなガスの中を運動する種族 III 星の表面が Bondi Accretion によって重元素を取り込んで汚染されていく様子を計算し種族 III 星の重元素分布も予想する。[3, 98]

球状星団形成と化学進化

銀河系の星が生まれる元になったガス雲同士の衝突によって球状星団が形成されるというシナリオと、衝撃波によって圧縮されたガスから星ができるという銀河系ハローで成功した仮定を用いて、一つの球状星団中の星がほぼ同じ鉄の濃度を持つための条件を調べた。その結果、質量が $10^6 M_{\odot}$ ほどのガス雲同士では、相対速度が 33 km s^{-1} 以上で衝突すれば、星形成は 1 世代だけで終了し、観測を説明できる。銀河系の重力場内では 200 km s^{-1} でガス雲は動いていると考えられるので都合が良い。しかし、ガス雲の質量が $3 \times 10^7 M_{\odot}$ だと星形成を 1 世代で終わらせる相対速度は $\sim 700 \text{ km s}^{-1}$ となり、ほとんどのガス雲は何世代もの星を持った星団となると期待され、 ω Centauri の様な大きな球状星団の起源と考えられる。我々はこのシナリオに基づいた球状星団の重元素量の分布を求め、観測と比較し良い一致を見た。また、 ω Centauri の化学力学進化モデルを構築した。[2, 43, 46]

low α 星の起源としての系外惑星

銀河系の矮星には重元素量が太陽の 100 分の 1 から 10 分の 1 ($-2 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1$) しかないのに、Mg などの α 元素量と鉄の組成比が太陽と同じくらいあるいはそれ以下になっている星がある。このような特徴は最近の観測から近傍の矮小銀河に属する最も明るい星 (巨星) でも見つかった。我々はこれら 2 種類の星の表面組成が星間空間の固体微粒子の組成の特徴に似ていることを指摘した。そして、これらの星が惑星を持っていて、矮星では原子惑星系円盤の一部が矮星表面に落ちて汚染すれば観測する組成が説明できることと、巨星では半径が大きくなった時に巨大惑星を飲み込んでしまえば同じような組成が得られることを指摘し発表した。このシナリオは、上記の特徴を持った矮星が惑星を持っているかを探索することによって直接テストできる。また、銀河系の巨星でも low α 星は存在することを示唆しているので、このような星を探すという観測を提案している。[1]

2.3 超新星の観測

極超新星 2003dh/GRB 030329 の「すばる FO-CAS」による偏光スペクトル観測

川端弘治 (国立天文台 & 広島大学) を PI として、超新星、極超新星の ToO 観測を実施している。3 月末に出現した GRB 030329 の afterglow である超新星 SN 2003dh を観測し、そのスペクトルが典型的な極超新星に酷似していることを確認した。

変種 Ia 型超新星 2002ic の「すばる FOCAS」によるスペクトル観測

川端弘治 (国立天文台 & 広島大学)、大山陽一 (国立天文台) 等との共同研究。変種 Ia 型超新星 2002ic の後期のスペクトルが大量の H-rich 星周物質を持つ II_n 型超新星 1997cy に酷似していることを確認。IIa 型という名称を提案。[7, 13, 39, 72]

Ia 超新星 2003du の「すばる OHS/CISCO」による近赤外スペクトル観測

本原 (天文センター)、C. Gerardy、(Texas 大学)、R. Fesen (Dartmouth 大学)、等との共同研究。Ia 型超新星の一年後の nebula spectra を観測した。データは解析中。

超新星の光度曲線の MAGNUM による観測

吉井、富田、峯崎 (天文センター)、小林 (国立天文台) 等による超新星 2002ap、2002ic、SN 2003lw/GRB 030329 の測光観測データを解析し、他の超新星、理論モデルとの比較を行なっている。[20]

Ia 型超新星の赤外スペクトル観測

C. Gerardy、P. Hoflich、J. C. Wheeler (Texas 大学)、R. Fesen (Dartmouth 大学) との共同研究。Kitt Peak の望遠鏡を使って、Ia 型超新星 2001el の赤外スペクトル観測を行い、星周物質との相互作用を示唆する特徴を発見した。

CHANDRA による重力崩壊型超新星の X 線観測

W. Lewin (MIT) を PI とする共同研究。CHANDRA の ToO Observation により、II 型超新星 2002hh (IAUC 8024) と Hypernova に似たスペクトルをもつ Ic 型超新星 2003bg の X 線放射の観測を行なった。どちらからも X 線が検出された。詳しい解析は進行中だが、SN 2003bg では Ne、Ni の組成が過剰である可能性がある (IAUC 8110)。

VLT による超新星の高分散スペクトル観測

P. Lundqvist (Stockholm) を PI とする共同研究。VLT の ToO Observation により、Hypernova に類似の Ic 型超新星 2003bg の高分散スペクトル観測を行なった。主たる目的は星周物質の検出であり、現在スペクトルの解析中である。[55, 56]

2.4 超新星爆発での元素合成

相対論的速度に加速された超新星爆発物質が軽元素合成に果たす役割

Ic 型に分類される超新星の外層は炭素と酸素からできていて爆発直後に相対論的な速度までに加速され、星間物質中の水素やヘリウムと破碎反応を起こし、Li、Be、B を生成する。本研究では相対論的流体力学コードを構築し、現実的な星のモデルを用いた爆発の計算を行い表面付近での加速の様子を調べた。また、状態方程式には黒体放射と理想気体の寄与を両方とも取り入れた。その結果、 $10^{-5} M_{\odot}$ ほどの炭素・酸素層が破碎反応に必要なエネルギーを超える場合があることが分かった。また、単位質量あたりの爆発エネルギーが $\sim 10^{51}$ erg/ $M_{\odot}$ のときには、破碎反応を起こすことができる質量が断熱指数一定と仮定して計算した場合よりも一桁近く大きくなることが分かった。現在、これらの爆発物質の星間空間での輸送を計算し、どれくらい軽元素合成に寄与するのかを銀河系ハローに属する金属欠乏星の表面で観測された組成などと比較し、SN 1998bw の様にコンパクトな星での大きなエネルギーの超新星はその頻度が現在の 700 倍ほどだった場合に限り、銀河初期での軽元素合成にかなり寄与したことが分かり、The Astrophysical Journal に発表した (印刷中)。[93, 96, 97, 127, 134]

p 過程元素合成の金属量と爆発エネルギー依存性

大質量星での超新星爆発時に O/Ne 層で p 過程元素合成が起きていることが知られている。この研究では、異なる金属量と超新星での爆発エネルギーの p 過程に及ぼす影響を調べた。その結果、合成量は金属量に強く依存し、金属量が小さくなるにつれて減少することが分かった。また、爆発エネルギーが大きくなると p 過程が起こる領域が広がるために、より効果的に p 過程元素を合成放出できることが分かった。この結果から酸素に比べて、p 過程元素が生成不足であるという以前の研究を改善できる可能性があることを示した。

金属欠乏星に残された暗い超新星の痕跡

金属欠乏星の中でも際立って炭素の含有量が多い星が幾つか見つかった。これらのうち CS 29498-043 と CS 22949-037 は炭素だけではなくマグネシウムも鉄に比べてかなり多いことが分かっている。こういう星は実は爆発時に放射性元素 ^{56}Ni の合成量が非常に少ない超新星の元素合成を受け継いだ星であることを示し、その超新星の質量や爆発エネルギーを推定した。また、鉄族の元素組成からこれらの超新星の爆発は球対称からずれていることが示唆されることを指摘した。[3]

2.5 Ia 型超新星

Ia 型超新星 SN 2002ic の光度曲線のモデル

蜂巢 (総合文化) との共同研究。スペクトル中に水素を示す Ia 型超新星 SN 2002ic の光度曲線を、周囲に星周物質が存在している白色矮星の爆発というモデルによって説明した。質量放出率が約 10^{-2} ($v_w/1000$ km/s) $M_\odot/\text{yr}$ の星風によって作られた星周物質が約 $5M_\odot$ 存在すれば観測をうまく説明できる光度が得られる。さらに星周物質が極方向に低密度、赤道方向に高密度に分布するモデルを考えることで、スペクトルの高速度成分も説明できるようになる。[72, 110]

超新星 2002ic の星周物質相互作用モデル

Hamuy らにより Ia 型超新星 2002ic が水素輝線を持つことが報告された。Ia 型超新星はこれまで水素輝線を持たないと考えられており、この報告は非常に大きな衝撃であった。2002ic は II 型超新星と星周物質の相互作用によりよく説明される、II_n 型超新星 1997cy と非常に類似した性質を示しており Ia 型超新星と星周物質の相互作用により説明できるのではないかと考え研究を行った。相互作用と、その結果得られる光度曲線を計算することにより、球対称で一様に分布する星周物質では観測される光度曲線を説明することは出来ず、非球対称分布を考えなければならぬことを示した。我々はこのような Ia 型超新星と星周物質の相互作用によって説明できるタイプの超新星を IIa 型と呼ぶことを提唱する。[131, 136]

Ia 型超新星残骸の中心にある伴星を同定する方法

爆発から数 100 年経った Ia 型超新星残骸は自由膨張している大量の鉄を含んでいる。その幾らかは中性で基底状態にあると期待される。もし、残骸の中に取り残された伴星のスペクトルを観測すると、そのスペクトルには星の手前にある中性の鉄による吸収線が可視光領域にも見えるはずであることを見出した。鉄は $\sim 10,000$ km s $^{-1}$ ほどで膨張しているので吸収線は中心波長から青い方にだけ広がる非対称な形に見える。もし、星が残骸の後ろ側にあれば吸収線は中心波長に関して対称になる。従って、吸収線の携帯によって星と残骸の相対的な位置関係が推測できる。我々は、若い超新星が星間物質と衝突して出す X 線によって鉄がイオン化される過程を定量的に計算し、どれくらいの中性の鉄が残骸中に残っているかを調べ、吸収線の観測可能性や星と残骸の位置関係を調べられるかを実際にある Ia 型と考えられている超新星の残骸について検討している。[135]

2.6 極超新星

極超新星 (Hypernovae) の発生頻度

P. Podsiadlowski (Oxford U.)、P. Mazzali (Trieste) との共同研究。極超新星の発生頻度を理論的発生要件から推定し、普通の Ic 型超新星よりは桁違いに低く、Gamma-Ray Bursts の発生頻度と consistent なことを見出した。[31]

SN2003dh/GRB030329 の極超新星モデル

P. Mazzali (Trieste 天文台)、川端弘治 (広島大学) 等との共同研究。すばる望遠鏡を用いて後期のスペクトル観測を行い、早期のスペクトル観測、光度曲線の観測と組み合わせて、早期、後期のスペクトル、光度曲線を再現できるようなモデルを構築した。中心に高密度のコアがあるということがわかり、ジェット状の爆発を示唆する結果となった。[11, 12, 22, 35, 49, 61, 77, 78, 106, 108, 109, 138]

ガンマ線バースト、極超新星の相対論的ジェットの計算

相対論的多次元流体力学コードを開発し、大質量星の中心から放出される高速なジェットの計算を行った。C+O コアのみ残っている場合、He 層まで残っている場合、H 層まで残っている場合の 3 種類の親星について、中心からジェットを放出する計算を行い、相対論的ジェットの振る舞いを調べた。より高速なジェットを放出させる計算を行い、ガンマ線バーストを引き起こすようなジェットについて調べている。[139]

XRF030723 と関係のある超新星の光度曲線

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

超新星/極超新星爆発の流体、元素合成の 2 次元計算

超新星/極超新星の非球対称爆発の 2 次元計算を系統的に行なった。この結果、爆発の非球対称の程度、爆発エネルギー等が、爆発に伴い合成される元素や、後に残される中心天体の性質にどう影響するかの詳細の議論が可能になった。例えば、非球対称爆発ではより重い元素 (鉄族元素) が表面付近ま

で飛ばされ、軽い元素(酸素、炭素等)が中心のブラックホールに落ち込むが、この効果は非球対称性が大きい場合、あるいは爆発のエネルギーが中心天体の重力エネルギーと同程度の場合に顕著であることが明らかになった。また、光度曲線、後期スペクトルをよく説明する爆発モデルの予測する元素組成パターンにより、銀河初期に形成された金属欠乏星の元素組成もよく説明できることが明らかになった。これは、銀河初期においては極超新星による星間物質汚染が効いていたことを示唆する。[16, 17, 18, 19, 26, 28, 57, 58, 59, 60, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 94]

Ic 型超新星外層でのジェット形成

Ic 型超新星による爆発直後の外層の加速を球対称を仮定して研究している際、ある速度以上を持った物質の質量がエネルギーのおよそ 3.3 乗に比例することから、爆発エネルギーを非球対称に分布させるとエネルギーが大きい立体角では加速が周囲より、より効率的に起こりジェットの形成にも繋がるのではないかと考え、2次元軸対称の相対論的流体力学コードを構築し調べようとしている。[93]

2.7 大質量星の進化

大質量星の進化の金属量依存性

主系列星から重力崩壊直前までの大質量星($\sim 13 - 1,000 M_{\odot}$)の進化を詳しい元素合成とともに計算し、その初期質量と金属量に対する依存性を調べている。特に Pop III 星の元素合成が Pop I、II 星のものとどのように異なるか調べている。

種族 III の巨大質量星の進化、爆発、元素合成

第一世代の星がどのような質量をもち、どのような進化をたどって、最期を迎えたかということは、銀河初期の元素の起源を探るうえで非常に重要である。銀河ハローの極端な低金属星や、銀河団ガスの重元素比を見ると、太陽組成比とは大きく異なるパターンが見られるものが数多くある。これは、従来の II 超新星のイールドをベースにした化学進化モデルでは説明できない。第一世代の星は、金属のないガスの質量降着により、 $300 M_{\odot}$ 以上の非常に重い星に成長しうることが示されている。また、放射圧や脈動による質量放出も少ない。もし、このような星が実際に存在して、超新星爆発を起こし、重元素を周りの空間に放出したとすれば、その質量の大きさゆえに銀河初期の化学進化に多大な寄与をしたと考えられる。爆発エネルギーや、爆発により合成される各重元素量も、現在見られるような超新星のものとは異なる可能性がある。そこで、今回は、 $500 M_{\odot}$ と $1000 M_{\odot}$ の金属のない星について、進化、爆発、元素合成の計算を行っ

た。 $140 M_{\odot}$ から $300 M_{\odot}$ の星は、酸素燃焼の段階で中心の密度・温度の組合せが電子・陽電子対生成の不安定領域に入り、核反応が暴走して星全体が爆発する Pair Instability Supernovae (PISN) となることが示されている。それに対して、今回の $500 M_{\odot}$ と $1000 M_{\odot}$ の計算では、電子・陽電子対生成の不安定領域に入っても PISN とはならず、進化が加速されて鉄のコアが形成され、重力崩壊を起こした。また、2次元ジェット状爆発モデル (maeda et al 2003) による爆発・元素合成計算の結果、爆発により放出される各重元素質量比が、 $[O/Fe] < 0$ 、 $[Mg/Fe]$ 、 $[Si/Fe]$ 、 $[S/Fe] > 0$ となり、銀河団ガスの組成を説明できることを示した。銀河ハローの低金属星については、観測値として、 $[O/Fe] > 0$ という傾向が報告されているが、これは観測の不定性が大きいため、巨大質量星が化学進化に寄与しているかを結論づけるには、更なる観測データと理論計算が必要である。[27, 30, 69, 74, 75, 83, 94, 104, 105, 112, 130]

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Shigeyama, T. & Tsujimoto, T., "Accretion of Dust Grains as a Possible Origin of Metal-poor Stars with Low α/Fe Ratios", 2003, The Astrophysical Journal, 598, L47-L50
- [2] Tsujimoto, T. & Shigeyama, T., "Star Formation History of ω Centauri Imprinted in Elemental Abundance Patterns", 2003, The Astrophysical Journal, 590, 803-808
- [3] Shigeyama, T., Tsujimoto, T., & Yoshii, Y., "Excavation of the First Stars", 2003, The Astrophysical Journal, 586, L57-L60
- [4] Tsujimoto, T. & Shigeyama, T., "Relics of Subluminous Supernovae in Metal-poor Stars", 2003, The Astrophysical Journal, 584, L87-L90
- [5] Nakamura, K. & Shigeyama, T., "Roles of Supernova Ejecta in Nucleosynthesis of Light Elements, Li, Be, and B", 2004, The Astrophysical Journal, in press.
- [6] Branch, D., Thomas, R. C., Baron, E., Kasen, D., Hatano, K., Nomoto, K., Filippenko, A. V., Li, W., & Rudy, R. J. 2004, "Direct Analysis of Spectra of the Peculiar Type Ia Supernova 2000cx", ApJ, 606, 413-423
- [7] Deng, J., Kawabata, K. S., Ohya, Y., Nomoto, K., Mazzali, P. A., Wang, L., Jeffery, D. J., Iye, M., Tomita, H., & Yoshii, Y. 2004, "Subaru Spectroscopy of the Interacting Type Ia Supernova SN 2002ic: Evidence of a Hydrogen-rich, Asymmetric Circumstellar Medium", ApJ, 605, L37-L40
- [8] Deng, J., Mazzali, P. A., Maeda, K., & Nomoto, K. 2003, "The Type Ic Hypernova SN 2002ap", Nuclear Physics A, 718, 569-571
- [9] Gal-Yam, A., Moon, D.-S., Fox, D. B., Soderberg, A. M., Kulkarni, S. R., Berger, E., Cenko, S. B., Yost, S., Frail, D. A., Sako, M., Freedman, W. L.,

- Persson, S. E., Wyatt, P., Murphy, D. C., Phillips, M. M., Suntzeff, N. B., Mazzali, P. A., & Nomoto, K. 2004, "The J-band Light Curve of SN 2003lw, Associated with GRB 031203", *ApJL*, submitted (astro-ph/0403608)
- [10] Gerardy, C. L., Höflich, P., Fesen, R. A., Marion, G. H., Nomoto, K., Quimby, R., Schaefer, B. E., Wang, L., & Wheeler J. C. 2004, "SN 2003du: Signatures of the Circumstellar Environment in a Normal Type Ia Supernova?", *ApJ*, in press (astro-ph/0309639)
- [11] Kawabata, K. S., Deng, J., Wang, L., Mazzali, P., Nomoto, K., Maeda, K., Tominaga, N., Umeda, H., Iye, M., Kosugi, G., Ohyama, Y., Sasaki, T., Höflich, P., Wheeler, J. C., Jeffery, D. J., Aoki, K., Kashikawa, N., Takata, T., Kawai, N., Sakamoto, T., Urata, Y., Yoshida, A., Tamagawa, T., Torii, K., Aoki, W., Kobayashi, N., Komiyama, Y., Mizumoto, Y., Noumaru, J., Ogasawara, R., Sekiguchi, K., Shirasaki, Y., Totani, T., Watanabe, J., & Yamada, T. 2003, "On the Spectrum and Spectropolarimetry of Type Ic Hypernova SN 2003dh/GRB 030329", *ApJ*, 593, L19–L22
- [12] Kawabata, K. S., Kosugi, G., Iye, M., Sasaki, T., Ohyama, Y., Deng, J., Nomoto, K., & Mazzali, P. A. 2003, "GRB 030329 and Supernova 2003dh", *IAU Circ.*, 8133, 2
- [13] Kawabata, K. S., Ohyama, Y., Nomoto, K., Mazzali, P. A., & Wang, L. 2003, "Supernova 2002ic", *IAU Circ.*, 8161, 3
- [14] Kobayashi, C., & Nomoto, K. 2003, "Lifetime of Type Ia Supernovae and Chemical Evolution of Galaxies", *Nuclear Physics A*, 718, 680–682
- [15] Maeda, K., Mazzali, P. A., Deng, J., Nomoto, K., Yoshii, Y., Tomita, H., & Kobayashi, Y. 2003, "A Two-Component Model for the Light Curves of Hypernovae", *ApJ*, 593, 931–940
- [16] Maeda, K., & Nomoto, K. 2003, "Bipolar Explosion Models for Hypernovae", *Nuclear Physics A*, 718, 167–170
- [17] Maeda, K., & Nomoto, K. 2003, "Jets and Black Holes in Hypernova Explosions", *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 151, 211–215
- [18] Maeda, K., & Nomoto, K. 2003, "Bipolar Supernova Explosions: Nucleosynthesis and Implications for Abundances in Extremely Metal-Poor Stars", *ApJ*, 598, 1163–1200
- [19] Maeda, K., & Nomoto, K. 2003, "Bipolar Explosion Models for Hypernovae", *Nuclear Physics A*, 718, 167–170
- [20] Malesani, D., Tagliaferri, G., Chincarini, G., Covino, S., Della Valle, M., Fugazza, D., Mazzali, P. A., Zerbi, F. M., D'Avanzo, P., Kalogerakos, S., Simoncelli, A., Antonelli, L. A., Burderi, L., Campana, S., Cucchiara, A., Fiore, F., Ghirlanda, G., Goldoni, P., Götz, D., Mereghetti, S., Mirabel, I. F., Romano, P., Stella, L., Minezaki, T., Yoshii, Y., & Nomoto, K. 2004, "SN 2003lw and GRB 031203: A Bright Supernova for a Faint Gamma-ray Burst", *ApJL*, submitted
- [21] Mazzali, P. A., Deng, J., Maeda, K., Nomoto, K., Filippenko, A. V., & Matheson, T. 2004, "Properties of Two Hypernovae Entering the Nebular Phase: SN 1997ef and SN 1997dq", *ApJ*, submitted
- [22] Mazzali, P. A., Deng, J., Tominaga, N., Maeda, K., Nomoto, K., Matheson, T., Kawabata, K. S., Stanek, K. Z., & Garnavich, P. M. 2003, "The Type Ic Hypernova SN 2003dh/GRB 030329", *ApJ*, 599, L95–L98
- [23] Mazzali, P. A., Turatto, M., Annibali, F., Recchi, S., Nomoto, K., Tosi, M., Greggio, L., D'Ercole, A., & Matteucci, F. 2003, "Nucleosynthesis, the late stages of stellar evolution, chemical and dynamical evolution of late-type galaxies", *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 74, 379–390
- [24] Nakasato, N., & Nomoto, K. 2003, "3-D Simulations of the Chemical and Dynamical Evolution of the Galactic Bulge", *ApJ*, 588, 842–851
- [25] Nomoto, K., Maeda, K., Tominaga, N., Ohkubo, T., Umeda, H., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2004, "Hypernovae: Their Properties and Gamma-Ray Burst Connections", *Progress of Theoretical Physics Supplement*, in press
- [26] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2003, "Nucleosynthesis in Black-Hole-Forming Supernovae and Extremely Metal-Poor Stars", *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 151, 44–53
- [27] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Tominaga, N., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2004, "Population III Supernovae and their Nucleosynthesis", *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 75, 312–321
- [28] Nomoto, K., Umeda, H., Maeda, K., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2003, "Nucleosynthesis in Hypernovae and Extremely Metal-Poor Stars", *Nuclear Physics A*, 718, 277–286
- [29] Nozawa, T., Kozasa, T., Umeda, H., Maeda, K., & Nomoto, K. 2003, "Dust in the Early Universe: Dust Formation in the Ejecta of Population III Supernovae", *ApJ*, 598, 785–803
- [30] Ohkubo, T., Umeda, H., & Nomoto, K. 2003, "Pop III Hypernova Nucleosynthesis and Abundance Trends in Extremely Metal-Poor Halo Stars", *Nuclear Physics A*, 718, 632–634
- [31] Podsiadlowski, Ph., Mazzali, P. A., Nomoto, K., Lazzati, D., & Cappellaro, E. 2004, "The Rates of Hypernovae and Gamma-Ray Bursts: Implications for their Progenitors", *ApJ*, 607, L17–L20

- [32] Saio, H., & Nomoto, K. 2004, “Off-Center Carbon Ignition in Rapidly Rotating, Accreting Carbon-Oxygen White Dwarfs”, *ApJ*, submitted (astro-ph/0401141)
- [33] Thielemann, F.-K., Brachwitz, F., Höflich, P., Martinez-Pinedo, G., & Nomoto, K. 2004, “The physics of type Ia supernovae”, *New Astronomy*, 48, 605–610
- [34] Thomas, R. C., Branch, D., Baron, E., Nomoto, K., Li, W., & Filippenko, A. V. 2004, “On the Geometry of the High-Velocity Ejecta of the Peculiar Type Ia Supernova 2000cx”, *ApJ*, 601, 1019–1030
- [35] Tominaga, N., Deng, J., Maeda, K., Umeda, H., Nomoto, K., Mazzali, P. A., & Kawabata, K. 2004, “Properties of Hypernova SN2003dh associated with GRB030329”, *Progress of Theoretical Physics Supplement*, in press
- [36] Uenishi, T., Nomoto, K. & Hachisu, I. 2003, “Evolution of Rotating Accreting White Dwarfs and the Diversity of Type Ia Supernovae”, *ApJ*, 595, 1094–1100
- [37] Umeda, H. & Nomoto, K. 2003, “First-generation black-hole-forming supernovae and the metal abundance pattern of a very iron-poor star”, *Nature*, 422, 871–873
- [38] Wanajo, S., Tamamura, M., Itoh, N., Nomoto, K., Ishimaru, Y., Beers, T. C., & Nozawa, S. 2003, “The r-Process in Supernova Explosions from the Collapse of O-Ne-Mg Cores”, *ApJ*, 593, 968–979
- [39] Wang, L., Baade, D., Höflich, Peter., Wheeler, J. C., Kawabata, K., & Nomoto, K. 2004, “On the Hydrogen Emission from the Type Ia Supernova SN 2002ic”, *ApJ*, 604, L53–L56
- [40] Yoshii, Y., Tomita, H., Kobayashi, Y., Deng, J., Maeda, K., Nomoto, K., Mazzali, P. A., Umeda, H., Aoki, T., Doi, M., Enya, K., Minezaki, T., Suganuma, M., & Peterson, B. A. 2003, “The Optical/Near-Infrared Light Curves of SN 2002ap for the First 140 Days after Discovery”, *ApJ*, 592, 467–474
- (会議抄録)
- [41] Nakamura, K., & Shigeyama, T., 2004, “Acceleration of Supernova Ejecta and Light Element Nucleosynthesis”, *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology* (Universal Academy Press), p.457-458
- [42] Nakamura, K., & Shigeyama, T., 2004, “Light Elements Produced by Type Ic Supernovae”, in the proceedings of Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2003 (World Scientific), in press
- [43] Shigeyama, T., & Tsujimoto, T., 2003, “Globular cluster formation from cloud-cloud collisions”, *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 75, 366–369
- [44] Shigeyama, T., & Tsujimoto, T., 2003, “Star Formation History in Galaxies Inferred from Stellar Elemental Abundance Patterns”, *ASP Conf. Ser. 289: The Proceedings of the IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, Volume I*, 263–266
- [45] Tsujimoto, T., & Shigeyama, T., 2004, “Histories of the Milky Way Dwarf Spheroidal Galaxies and ω Centauri”, *Origin and Evolution of the Elements, from the Carnegie Observatories Centennial Symposia. Carnegie Observatories Astrophysics Series*. ed. A. McWilliam and M. Rauch, Pasadena: Carnegie Observatories, <http://www.ociw.edu/ociw/symposia/series/symposium4/proceedings.html>
- [46] Tsujimoto, T., & Shigeyama, T., 2004, “Star Formation History of Omega Centauri”, *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 75, 402
- [47] Tsujimoto, T., & Shigeyama, T., 2003, “The History of Galactic Dwarf Spheroidal Galaxies”, *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*, 17, 95–95
- [48] Tsujimoto, T., Shigeyama, T., 2003, “Inhomogeneous chemical evolution of dwarf spheroidal galaxies”, *Astrophysics and Space Science*, v. 284, Issue 2, 791–794
- [49] Deng, J., Mazzali, P. A., Tominaga, N., Maeda, K., Nomoto, K., Matheson, T., Kawabata, K. S., Stanek, K. Z., & Garnavich, P. M. 2004, “Properties of Hypernova SN 2003dh/GRB 030329”, in *New Horizon of Gamma-Ray Burst Astronomy*, ed. N. Kawai & T. Nakamura (Saitama: Riken), in press
- [50] Iwamoto, K., Nomoto, K., Mazzali, P. A., Nakamura, T., & Maeda, K. 2003, “SN 1998bw and Hypernovae”, in *Lecture Notes in Physics 598, Supernovae and Gamma-Ray Bursters*, ed. K. Weiler (Berlin: Springer), 243–281
- [51] Kawabata, K. S., Jeffery, D. J., Iye, M., Ohyama, Y., Kosugi, G., Kashikawa, N., Ebizuka, N., Sasaki, T., Sekiguchi, K., Nomoto, K., Mazzali, P., Deng, J., Maeda, K., Aoki, K., Saito, Y., Takata, T., Yoshida, M., Asai, R., Inata, M., Okita, K., Ota, K., Ozawa, T., Shimizu, Y., Taguchi, H., Yadoumaru, Y., Misawa, T., Nakata, F., Yamada, T., & Tanaka, I. 2003, “Optical Spectropolarimetry of SN 2002ap: A High Velocity Asymmetric Explosion”, in *The Proceedings of the IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, Volume II*, ed. S. Ikeuchi et al. (Tokyo: Astronomical Society of Japan), 333–334
- [52] Kinugasa, K., Kawakita, H., Ayani, K., Kawabata, T., Yamaoka, H., Deng, J., Mazzali, P. A., Maeda, K., & Nomoto, K. 2003, “Early-Phase Spectra of ‘Hypernova’ SN 2002ap”, in *The Proceedings of the IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, Volume II*, ed. S. Ikeuchi et al. (Tokyo: Astronomical Society of Japan), 337–338

- [53] Kobayashi, C., Nakasato, N., & Nomoto, K. 2003, “Chemodynamical Evolution of the Milky Way”, in IAU Symp. 208, *Astrophysical Supercomputing using Particle Simulations*, ed. J. Makino & P. Hut (Dordrecht: Kluwer), 419–420
- [54] Kobayashi, C., & Nomoto, K. 2003, “Type Ia Supernova Progenitors, Lifetime, and Cosmic Supernova Rate”, in *From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae*, ed. W. Hillebrandt & B. Leibundgut (Berlin: Springer), 379–383
- [55] Lundqvist, P., Mattila, S., Sollerman, J., Baron, E., Ehrenfreund, P., Fransson, C., Leibundgut, B., & Nomoto, K. 2004, “High-resolution optical studies of nearby Type Ia supernovae”, in IAU Colloq. 192, *Supernovae (10 Years of SN1993J)*, ed. J. M. Marcaide & K. W. Weiler (Berlin: Springer), in press
- [56] Lundqvist, P., Sollerman, J., Leibundgut, B., Baron, E., Fransson, C., & Nomoto, K. 2003, “Constraining Circumstellar Matter in SNe Ia — High-Resolution Optical Studies with VLT/UVES”, in *From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae*, ed. W. Hillebrandt & B. Leibundgut (Berlin: Springer), 309–314
- [57] Maeda, K., Nakamura, T., Nomoto, K., Mazzali, P. A., & Hachisu, I. 2003, “Nucleosynthesis in Aspherical Hypernova Explosions and Late Time Spectra of SN1998bw”, in *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2000*, ed. T. Kajino et al. (Singapore: World Scientific), 347–353
- [58] Maeda, K., & Nomoto, K. 2003, “Bipolar Jets in Hypernova Explosions and Abundance Patterns in Metal-Poor Stars”, in *From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae*, ed. W. Hillebrandt & B. Leibundgut (Berlin: Springer), 373–378
- [59] Maeda, K., & Nomoto, K. 2004, “Nucleosynthesis in Aspherical Supernovae and Implications for the Early Galactic Chemical Evolution”, in *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, ed. K. Sato & S. Nagataki (Tokyo: Universal Academy Press), 435–436
- [60] Maeda, K., Nomoto, K., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2004, “Asymmetry Effects in Hypernovae”, in *3D Signatures in Stellar Explosions*, ed. J. C. Wheeler et al. (Cambridge: Cambridge University Press), in press
- [61] Matheson, T., Garnavich, P. M., Stanek, K. Z., Mazzali, P. A., Deng, J., Tominaga, N., Maeda, K., Nomoto, K., Kawabata, K. S., Bersier, D., & Holland, S. T. 2003, “Spectroscopic Evolution of SN 2003dh associated with GRB 030329”, *Bulletin of the American Astronomical Society*, 35, 1418
- [62] Mazzali, P. A., Nomoto, K., Deng, J., Maeda, K., Iwamoto, K., Filippenko, A. V., & Foley, R. T. 2004, “SN 1998bw and Other Hyperenergetic Type Ic Supernovae”, in IAU Colloq. 192, *Supernovae (10 Years of SN1993J)*, ed. J. M. Marcaide & K. W. Weiler (Berlin: Springer), in press
- [63] Mazzali, P. A., Nomoto, K., Deng, J., Maeda, K., & Qiu, Y. 2003, “The Properties of SN 2002ap and Other Type Ic Hypernovae”, in *From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae*, ed. W. Hillebrandt & B. Leibundgut (Berlin: Springer), 246–252
- [64] Nakatsuru, J., Nakamura, T., Umeda, H., & Nomoto, K. 2003, “Explosive Nucleosynthesis in Pair-Instability Supernovae”, in *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2000*, ed. T. Kajino et al. (Singapore: World Scientific), 362–369
- [65] Nomoto, K., Maeda, K., Mazzali, P. A., Umeda, H., Deng, J., & Iwamoto, K. 2004, “Hypernovae and Other Black-Hole-Forming Supernovae”, in *Stellar Collapse*, ed. C. L. Fryer (Dordrecht: Kluwer), in press (astro-ph/0308136)
- [66] Nomoto, K., Maeda, K., & Nakamura, T. 2003, “Nucleosynthesis in Hypernovae”, in *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2000*, ed. T. Kajino et al. (Singapore: World Scientific), 223–239
- [67] Nomoto, K., Maeda, K., Tominaga, N., Ohkubo, T., Umeda, H., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2004, “Aspherical Explosions of Hypernovae - Light Curves and Nucleosynthesis”, in *New Horizon of Gamma-Ray Burst Astronomy*, ed. N. Kawai & T. Nakamura (Saitama: Riken), in press
- [68] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2003, “Hypernovae and their nucleosynthesis”, in IAU Symp. 212, *A Massive Star Odyssey: From Main Sequence to Supernova*, ed. K. A. van der Hucht et al. (San Francisco: Astronomical Society of the Pacific), 395–403 (astro-ph/0209064)
- [69] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2003, “The First-Generation Supernovae and Extremely Metal-Poor Stars”, in *Proc. of 12th Workshop on General Relativity and Gravitation*, ed. M. Shibata (Tokyo: Univ. Tokyo), in press
- [70] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Tominaga, N., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2004, “Nucleosynthesis in Black Hole-forming Supernovae and Abundance Patterns of Extremely Metal-poor Stars”, in *Carnegie Observatories Astrophysics Series, Vol. 4: Origin and Evolution of the Elements*, ed. A. McWilliam & M. Rauch (Pasadena: Carnegie Observatories), in press
- [71] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Tominaga, N., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. A. 2004, “Nucleosynthesis in Black-Hole-Forming Supernovae”, in IAU Colloq. 192, *Supernovae (10 Years of SN1993J)*, ed. J. M. Marcaide & K. W. Weiler (Berlin: Springer), in press

- [72] Nomoto, K., Suzuki, T., Deng, J., Uenishi, T., Hachisu, I., & Mazzali, P. A. 2004, “Circumstellar Interaction of Type Ia Supernova SN 2002ic”, in *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, ed. K. Sato & S. Nagataki (Tokyo: Universal Academy Press), 323–330
 - [73] Nomoto, K., Uenishi, T., Kobayashi, C., Umeda, H., Ohkubo, T., Hachisu, I., & Kato, M. 2003, “Type Ia Supernovae: Progenitors and Diversities”, in *From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae*, ed. W. Hillebrandt & B. Leibundgut (Berlin: Springer), 115–127
 - [74] Ohkubo, T., Umeda, H., Maeda, K., & Nomoto, K. 2004, “Evolution and Explosion of Pop III Super-Massive Stars”, in *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, ed. K. Sato & S. Nagataki (Tokyo: Universal Academy Press), 463–464
 - [75] Ohkubo, T., Umeda, H., Nomoto, K., & Yoshida, T. 2004, “Evolution, Explosion and Nucleosynthesis of Pop III Super-Massive Stars” in *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2003*, ed. M. Terasawa et al. (Singapore: World Scientific), in press
 - [76] Thielemann, F.-K., Argast, D., Brachwitz, F., Hix, W. R., Höflich, P., Liebendörfer, M., Martinez-Pinedo, G., Mezzacappa, A., Nomoto, K., & Panov, I. 2003, “Supernova Nucleosynthesis and Galactic Evolution”, in *From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae*, ed. W. Hillebrandt & B. Leibundgut (Berlin: Springer), 331–343
 - [77] Tominaga, N., Deng, J., Maeda, K., Umeda, H., Nomoto, K., Mazzali, P. A., & Kawabata, K. 2004, “A Hypernova model for SN2003dh/GRB030329”, in *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2003*, ed. M. Terasawa et al. (Singapore: World Scientific), in press
 - [78] Tominaga, N., Deng, J., Maeda, K., Umeda, H., Nomoto, K., Mazzali, P. A., & Kawabata, K. 2004, “A light curve model for SN2003dh associated with GRB030329”, in *New Horizon of Gamma-Ray Burst Astronomy*, ed. N. Kawai & T. Nakamura (Saitama: Riken), in press
 - [79] Uenishi, T., Nomoto, K., & Hachisu, I. 2003, “Evolution of Rotating White Dwarfs in Close Binaries and Diversity of Type Ia Supernovae”, in *IAU Symp. 208, Astrophysical Supercomputing using Particle Simulations*, ed. J. Makino & P. Hut (Dordrecht: Kluwer), 459–460
 - [80] Umeda, H., Nomoto, K., Tsuru, T. G., & Nakamura, T. 2003, “Abundance Ratios of M82 and Nucleosynthesis of Hypernovae”, in *IAU Symp. 208, Astrophysical Supercomputing using Particle Simulations*, ed. J. Makino & P. Hut (Dordrecht: Kluwer), 461–462
 - [81] Umeda, H., Ohkubo, T., Tominaga, N., & Nomoto, K. 2004, “Nucleosynthesis in Blackhole-forming Supernovae and the Abundances in Extremely Metal-poor Stars”, in *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, ed. K. Sato & S. Nagataki (Tokyo: Universal Academy Press), 347–350
 - [82] Umeda, H., Shirouzu, M., & Nomoto, K. 2003, “Nucleosynthesis in Massive Metal Free Stars”, in *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2000*, ed. T. Kajino et al. (Singapore: World Scientific), 43–51
 - [83] Umeda, H., Tominaga, N., Ohkubo, T., & Nomoto, K. 2004, “Nucleosynthesis in Massive Core-Collapse Supernovae as the Origin of Abundances in Extremely Metal-poor Stars”, in *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2003*, ed. M. Terasawa et al. (Singapore: World Scientific), in press
 - [84] Ideta, M., & Makino, J., 2004, “Dynamical Evolution of Dwarf Elliptical Galaxies”, in “6th RESCEU Symp.: Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology”, in press
- (国内雑誌)
- [85] 梅田秀之, 野本憲一 2003, “ハイパーノバ”, 物理科学この1年, パリティ(丸善), 1月号, 44–46
 - [86] 野本憲一 2003, “超新星で探る宇宙の構造と進化”, 学術月報 (日本学術振興会), 2月号, 31–35
 - [87] 野本憲一 2003, “恒星最期の巨大爆発「極超新星」の正体”, ニュートン, 5月号, 102–107
 - [88] 前田啓一, 梅田秀之, 野本憲一 2003, “第一世代の超新星と極超新星による元素合成”, 科学 (岩波書店), 8月号, 899–907
 - [89] 野本憲一 2003, “超新星で探る宇宙の構造と進化”, 学術月報 (日本学術振興会), 2月号, 31–35
 - [90] 野本憲一 2003, “恒星最期の巨大爆発「極超新星」の正体”, ニュートン, 5月号, 102–107
 - [91] 野本憲一 2003, “星の進化と元素合成”, 天文の事典 (朝倉書店), 210–240
- (学位論文)
- [92] Keiichi Maeda: Aspherical Supernovae: Nucleosynthesis, Light Curves, and Spectra (博士論文)
 - [93] 中村 航: Roles of Relativistic Supernova Ejecta in Nucleosynthesis of Light Elements Li, Be, and B (修士論文)
 - [94] 大久保 琢也: Evolution, Explosion and Nucleosynthesis of Population III Very-Massive Stars (修士論文)
 - [95] Szeting Chan: Angular momentum distribution of dwarf galaxies (修士論文)
- <学術講演>

(国際会議)

一般講演

- [96] Nakamura, K., & Shigeyama, T.: “Acceleration of Supernova Ejecta and Light Element Nucleosynthesis”, 第6回 RESCEU 国際会議、東京大学、2003/11/4-7.
 - [97] Nakamura, K., & Shigeyama, T.: “Light Elements Produced by Type Ic Supernovae”, 国際会議 *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2003*, 理化学研究所、2003/11/17-19.
 - [98] Shigeyama, T., Tsujimoto, T., & Yoshii, Y.: “Bi-modal Metallicity Distribution Function of Old Stars”, *Elemental Abundances in Old Stars and Damped Lyman- α Systems, 25th meeting of the IAU, Joint Discussion 15*, Sydney, Australia, 2003/7/22.
 - [99] Shigeyama, T., & Tsujimoto, T.: “Globular Cluster Formation Through Cloud-Cloud Collisions”, *Astrophysical Impact of Abundances in Globular Cluster Stars, 25th meeting of the IAU, Joint Discussion 4*, Sydney, Australia, 2003/7/16-17.
 - [100] Tsujimoto, T., & Shigeyama, T.: “Mass Stripping in Dwarf Spheroidal Galaxies and Omega CEN”, *Recycling Intergalactic and Interstellar Matter, International Astronomical Union. Symposium no. 217*, Sydney, Australia, 2003/7/14-17.
 - [101] Tsujimoto, T., & Shigeyama, T.: “Star Formation History of Omega Centauri”, *Astrophysical Impact of Abundances in Globular Cluster Stars, 25th meeting of the IAU, Joint Discussion 4*, Sydney, Australia, 2003/7/16-17.
 - [102] Deng, J.: “Properties of Hypernova SN 2003dh/GRB 030329”, in *RIKEN Symposium: New Horizon of Gamma-Ray Burst Astronomy*, RIKEN, Japan, 2003/12/8-10
 - [103] Iwamoto, N., Umeda, H., Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in Pop III, Massive and Low-mass stars”, Miniworkshop on Formation of the First Generation of Galaxies, Niigata, Japan, 2003/09/03-04
 - [104] Ohkubo, T., Umeda, H., Nomoto, K., & Yoshida, T.: “Evolution and Explosion of Pop III Super-Massive Stars”, *The 5th RESCEU International Symposium, New Trends in Theoretical and Observational Cosmology*, Tokyo, Japan, 2003/11/06-09
 - [105] Ohkubo, T., Umeda, H., Nomoto, K., & Yoshida, T.: “Evolution, Explosion and Nucleosynthesis of Pop III Super-Massive Stars”, *Origin of Matter and Evolution of Galaxies 03*, Wako, Japan, 2003/11/17-19
 - [106] Tominaga, N., Deng, J., Maeda, K., Umeda, H., Nomoto, K., Mazzali, P., & Kawabata, K.: “Properties of Hypernova SN2003dh associated with GRB030329”, in *Stellar-Mass, Intermediate-Mass, and Supermassive Black Holes*, Kyoto, Japan, 2003/10/28-31
 - [107] Tominaga, N., Deng, J., Maeda, K.: “The energetic explosion model of SN2003dh/GRB030329”, in *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, Tokyo, Japan, 2003/11/4-7
 - [108] Tominaga, N., Deng, J., Maeda, K., Umeda, H., Nomoto, K., Mazzali, P., & Kawabata, K.: “A Hypernova model for SN2003dh/GRB030329”, in *Origin of Matter and Evolution of the Galaxies*, RIKEN/CNS, Japan, 2003/11/17-19
 - [109] Tominaga, N., Deng, J., Maeda, K., Umeda, H., Nomoto, K., Mazzali, P., & Kawabata, K.: “A light curve model for SN2003dh associated with GRB030329”, in *New Horizon of Gamma-Ray Burst Astronomy*, RIKEN, Wako, Japan, 2003/12/8-10
 - [110] Uenishi, T., Suzuki, T., Nomoto, K. & Hachisu, I.: “A Circumstellar Interaction Model for SN 2002ic”, *IAU Colloquium 194, Compact Binaries in the Galaxy and beyond*, La Paz, Mexico, 2003/11/17-22
 - [111] Umeda, H., Ohkubo, T., Tominaga, N. & Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in Blackhole-forming Supernovae and the Abundances in Extremely Metal-poor Stars”, 6th RESCEU Symposium, *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, Tokyo, Japan, 2003/11/4-7
 - [112] Umeda, H., Tominaga, N., Ohkubo, T., & Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in Massive Core-Collapse Supernovae as the Origin of Abundances in Extremely Metal-poor Stars”, in *Origin of Matter and Evolution of the Galaxies*, RIKEN/CNS, Wako, Japan, 2003/11/17-19
- 招待講演
- [113] Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in Supernovae”, *IAU Colloquium 192, Supernovae (10 Years of SN1993J)*, Valencia, Spain, 2003/4/21-26
 - [114] Nomoto, K.: “Observed abundance patterns and their relation to the first generation of stars”, *The First Stars II*, State College, Penn State, USA, 2003/5/29-31
 - [115] Nomoto, K.: “First generation supernovae”, *IAU XXV General Assembly, Joint Discussion 4 “Astrophysical impact of abundances in Globular Cluster Stars”*, Sydney, Australia, 2003/7/16
 - [116] Nomoto, K.: “Hypernovae and Gamma-Ray Bursts”, *IAU XXV General Assembly, Division VIII Science Meeting “Recent Results on Supernovae and Gamma-Ray Bursts”*, Sydney, Australia, 2003/7/18
 - [117] Nomoto, K.: “Nucleosynthesis in the first stars”, *IAU XXV General Assembly, Joint Discussion 15 “Elemental Abundances in Old Stars and Damped Lyman- α System”*, Sydney, Australia, 2003/7/22

- [118] Nomoto, K.: “Progenitors of Type Ia Supernovae”, *Trento Workshop on Type Ia Supernovae and Cosmology*, Trento, Italy, 2003/9/22-10/3
 - [119] Nomoto, K.: “Hypernovae: Their Properties and Gamma-Ray Burst Connections”, *Stellar-Mass, Intermediate-Mass, and Supermassive Black Holes*, Kyoto, Japan, 2003/10/28-31
 - [120] Nomoto, K.: “Supernovae of the Year”, 6th RESCEU Symposium, *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology*, Tokyo, Japan, 2003/11/4-7
 - [121] Nomoto, K.: “Properties of Hypernovae and Extremely Metal-Poor Stars”, *Japan-Italy Seminar: Formation of the First Generation of Galaxies: Strategy for the Observational Corroboration of Physical Scenarios*, Niigata, Japan, 2003/12/2-5
 - [122] Nomoto, K.: “Hypernovae and GRBs: Progenitors and Nucleosynthesis”, *RIKEN Symposium: New Horizon of Gamma-Ray Burst Astronomy*, RIKEN, Japan, 2003/12/8-10
 - [123] Nomoto, K.: “Hypernovae and their Nucleosynthesis”, *5th International Conference on High Energy Density Laboratory Astrophysics*, Tucson, USA, 2004/3/8-14
 - [124] Nomoto, K.: “Collapse and Explosion of 8-10 Msun Stars”, *12th Workshop on Nuclear Astrophysics (Hillebrand fest)*, Ringberg, Germany, 2004/3/22-26
- (国内会議)
- 一般講演
- ・日本天文学会 2003 年秋季年会、愛媛大学、2003/9/25-27
- [125] 茂山俊和、辻本拓司: “惑星系を持った金属欠乏星の大気汚染”、R56a
 - [126] 出田 誠、牧野 淳一郎: “矮小楕円銀河から ω センタウリへ”、R48a
 - [127] 中村 航、茂山 俊和: “超新星爆発による炭素／酸素層の加速と軽元素合成”、H64a
 - [128] 中里直人、茂山俊和、辻本拓司、吉井譲: “超新星爆発による星形成の連鎖による化学進化を考慮した銀河進化モデル”、R57a
 - [129] 富永望、J.Deng、前田啓一、梅田秀之、野本憲一: “GRB 030329 に付随した SN 2003dh の極超新星モデル”、H61a
 - [130] 大久保 琢也、梅田 秀之、野本 憲一: “種族 III の巨大質量星の進化と爆発”、H62a
 - [131] 上西 達大、鈴木 知治、前田 啓一、中里 直人、野本 憲一: “水素輝線を示す Ia 型超新星 SN2002ic の星周物質相互作用モデル”、H67a
 - [132] 岩本信之、梅田秀之、野本憲一: “第二世代の小質量星の進化”、N18a
 - [133] 出田誠、牧野淳一郎: “矮小楕円銀河から ω センタウリへ”、R48a
- ・日本天文学会 2004 年春季年会、名古屋大学、2004/3/22-24
- [134] 中村 航、茂山 俊和: “Ic 型超新星を起源とする宇宙線の輸送と軽元素合成”、H50a
 - [135] 尾崎 仁、茂山 俊和: “Ia 型超新星の伴星を発見する方法とその可能性”、H51a
 - [136] 鈴木 知治、上西 達大、Jinsong Deng、野本 憲一: “Ia 型超新星 SN2002ic の光度曲線の理論モデル”、H44a
 - [137] 前田 啓一、野本 憲一: “非球対称な超新星爆発の二次元光度曲線計算: 極超新星 1998bw、2002ap との比較”、H46a
 - [138] Jinsong Deng, Nozomu Tominaga, Paolo A.Mazzali, Keiichi Maeda, Ken'ichi Nomoto: “Properties of Hypernova SN 2003dh/GRB030329”、H47a
 - [139] 富永望、梅田秀之、前田啓一、野本憲一: “ガンマ線バースト、極超新星の相対論的ジェットのシミュレーション”、A24a
 - [140] Chan Sze Ting, 中里直人、野本憲一: “Angular momentum distribution of dwarf galaxies”、R61a
 - [141] 上田春彦、Japan Torus Construction Project チーム (含出田): “トーラス構築法による銀河系力学構造の決定 (その 1) ”、R25c
- 集中講義
- [142] 茂山 俊和: 総合研究大学院大学 (国立天文台)、「理論天文学概論」(2003 年 4 月 23 日)
 - [143] 茂山 俊和: 山形大学理学部物理学科、「重元素の起源」(2003 年 6 月 24-25 日)
- (セミナー)
- [144] Nomoto, K.: “The First Stars and Hypernovae”, Colloquium, Oxford University, UK, 2003/8/12
 - [145] Nomoto, K.: “The First Stars and Hypernovae”, Colloquium, Cambridge University, UK, 2003/8/14
 - [146] Nomoto, K.: “Progenitors of Type Ia Supernovae”, Colloquium, Imperial College London, UK, 2003/8/18

3 可視光近赤外観測

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

自動観測システムおよび遠隔観測監視システムの実現に力を入れ、現在では無人自動観測・日本からの遠隔観測監視による観測運用に至っている。運用体制が整備されつつあるため、観測効率を更に向上させるための作業に着手した。

山頂までのネットワーク回線が細いため、MAGNUM で実現している遠隔観測システムは現地で独立して動作する無人自動観測システムとそれらの遠隔からの監視によって成り立っている。自動観測システムについてまずはその安定運用および観測システムの不具合検出と対応の強化に努めた。自動対応しにくい不具合についても各種の装置整備を行なった結果、観測監視者によるネットワーク経由での遠隔操作でほとんど対応できるようになった。また、観測天体選択を自動的にこなすスケジューラについても1年間以上の運用実績に基づいてノウハウを蓄積し、例えば季節欠測期間の影響を最小限にするために明方昇りかけや夕方沈みかけの天体を逃さず観測するようにするなど、より人間に近い判断を行えるようにスケジューラの改良を継続的に行なっている。同時に遠隔観測監視の労力を削減しつつ重要な不調を見逃さないために、遠隔観測監視システムの製作を開始し運用に移している。現在はまず危険度を過大に評価する方向で見積り、システムを実際に運用しながら警告レベルの評価の改良を進めている。これまで遠隔観測監視中に大事故に至ったことは一度もない。

現在では1ヶ月以上の連続した期間にわたって無人自動観測・日本からの遠隔監視による観測遂行を実現した実績があり、さらに現地に開発関係者が出張している場合でも装置改良などの現地作業の効率化のために観測は日本からの遠隔監視で行なうことも多い。そこで今後も同システムの改良を押し進めて行くのと並行して観測効率の向上のための作業を開始することとし、まずは観測デッドタイムの削減に着手している。

観測システムの安定化に伴ってこの一年間で観測天体数を増加させ、現在70個弱の活動銀河核のモニター観測を遂行している。総観測時間はターゲット数だけでなく観測間隔や観測フィルター数、観測天体 S/N などにもよるため、観測効率を考慮しながら観測目的をよく考えて調整を行なっている。

観測データの蓄積にともない、解析ソフトウェアの開発にも力を入れている。現在データの一次整約についてはほぼ完全自動で行なうことができ、quick look 的な測光についても容易に解析できるようになっている。今後は異常データの自動検出や測光精度の向

上などの課題を中心に改良を進めて行く予定である。

3.1 NGC 4151 の高精度多波長光度曲線

MAGNUM 望遠鏡の試験観測期からモニター観測を始めた近傍活動銀河核の幾つかについて、可視変光に対する赤外線変光の明らかな遅延現象を発見した。そのなかで NGC 4151 についての初期成果を発表した。NGC 4151 のモニター観測はこれまでも各波長で精力的に行なわれているが、今回我々は高い測光精度と高い観測頻度で1年近くの長期間にわたって可視と近赤外線モニター観測を行ない、これによって可視変光から赤外線変光の遅延現象を最高精度で測定することに成功した。また可視赤外線遅延時間は活動銀河核中心核光度と顕著に相関することを示し、遅延時間を活動銀河核までの距離指標とする MAGNUM のアイデアを観測的に確認した。

3.2 近傍1型セイファート銀河核のダストトラス内縁半径と広輝線領域との関係

MAGNUM 望遠鏡による複数の近傍1型セイファート銀河核のモニター観測データを解析し、可視-近赤外線時間変動遅延として得られたダスト反響半径を、中心可視光度、質量、そして広輝線領域の反響半径と比較考察した。活動銀河核の中心放射源の時間変動を利用して、再放射領域の大きさを変動の時間遅延として見積もる反響マッピング観測は、通常は直接空間分解出来ないダストトラス以内の構造を探るうえで非常に有効な手段である。しかし広輝線領域の反響半径、およびその運動から中心質量が見積もられている天体の中で、ダスト反響半径においても十分な精度で測定されている天体は過去に僅かしか無かった。

時間遅延を定量する線形相関解析においては、計算手法と誤差評価法を我々のモニター観測データに適するように検討した。特に観測間隔や観測不能期間において見失った活動銀河核本来の時間変動を、その天体の変動特徴を表すストラクチャー関数を用いてシミュレートし、ここから生じる時間遅延の誤差を妥当に評価する新しい手法を導入した。これによって信頼出来る時間遅延の検出を可能にした。

観測されたダスト反響半径は、広輝線領域の運動から見積もられている中心質量よりも中心可視光度に強く依存し、光度の0.5乗に比例することを確認した。これはダストトラス内縁半径が、重力場の影響では無く中心紫外/可視放射によるダストの加熱蒸発によって決定されるメカニズム強く支持する。さらにこのダスト反響半径が広輝線の反響半径の上限付近に位置することを確認し、活動銀河核の統一モ

デルが前提に置いている広輝線放射領域の外側にダストトーラスが存在する描像が、これまでに無い説得力で示された。またサンプル中の NGC 5548 天体においては、観測された可視短時間変動が X 線時間変動に対してわずかな時間遅延をもって相関している様子が発見された。これはこの天体の広輝線領域の最深部に、さらに中心部からの高エネルギー放射を再放射することで時間変動する可視放射領域が存在することを示唆し、中心放射源の構造を探る今後の発展が期待される。

3.3 Markarian 744 のダストトーラス構造

MAGNUM 望遠鏡による可視赤外測光モニターのデータを用い、セイファート銀河 Mrk 744 のダストトーラス構造について研究を行なった。2002 年 4 月から 2003 年 7 月までの Mrk 744 の V と K バンドの変光曲線に対してダスト反響法を用いることによって、両変光曲線の間に 20^{+3}_{-2} 日の変光遅延があることを示した。これはダストトーラスの内縁半径が銀河中心核から約 8.9×10^{-3} pc であることを示していると考えられる。この結果を過去の報告 (Nelson 1996) と比較することにより、可視赤外間の変光遅延に誤差を超えた変化があることがわかった。この変化は他の活動銀河核の間に成り立っている銀河核の可視絶対等級と可視赤外間変光遅延時間の相関に矛盾しないもので、銀河核中心に存在する降着円盤からの紫外可視放射の変光に伴ってダストトーラスの内縁半径が変化したと解釈することもできる。

3.4 超新星や γ 線バーストの多波長モニター観測

MAGNUM では超新星 2002ap の爆発の初期から多波長測光モニター観測を行っているが、今年度も引き続き観測を行った。その結果、減光率が昨年度に比べてさらに減少し 56Co 元素の崩壊による減光率の計算値と一致することがわかった。このことから超新星 2002ap が完全な nebular phase に入ったことが判明した。また、この時の光度から計算される 56Ni 元素量は、Maeda et al. (2003) のモデルなどから予想されたものとよく一致しており、低質量かつ低エネルギーの極超新星であったことが確認された。

また MAGNUM では超新星 2002ic の観測も行った。超新星 2002ic は当初 Ia 型超新星と分類されたが、強い $H\alpha$ 輝線が観測されたため、II_n 型のように H-rich な circumstellar medium (CSM) との相互作用が起きていると考えられている特異な超新星である。観測の結果、超新星 2002ic の輻射光度曲線は II_n 型に分類されている超新星 1997cy や 1999E とほぼ同じ形状と光度を持つことがわかり、これら 3

つの超新星が同じ現象を起こしており、CSM も似たものである可能性を示した。

2003 年 12 月 3 日に比較的近傍 ($z = 0.1$) で γ 線バースト GRB031203 が発生した。この γ 線バーストには超新星的な兆候が見られており、起源を考察する上で興味深い天体である。この残光現象について I と K バンドにてフォローアップ観測を行った。

3.5 ダスト再放射モデルによる AGN 近赤外変光曲線

活動銀河核の可視赤外変光曲線データが高い測光精度と高い観測頻度で蓄積されつつある現状を踏まえ、ダスト反響法に基づいた近赤外再放射モデルの構築に着手した。

中心核からの紫外・可視放射は、円盤構造をもって中心核を取り囲むダスト層に吸収され、温められたダストが近赤外光を再放射する。従って MAGNUM で観測されている近赤外光の可視光に対する遅延は中心核とダスト層までの光路差に対応する。その近赤外応答はダスト円盤の幾何学的構造 (視線に対するダスト円盤の傾斜角や円盤の厚さなど) だけでなく、物理的性質 (ダストの形成・融解の時間尺度など) にも顕著に依存する。

特に V バンドの変光曲線は大きな変動に小さな変動が重なる特徴をもつが、K バンドの変光曲線ではこの小さな変動は見られない。また K バンドの変光曲線には極小期または極大期の前後で V バンドに比べ非対称が増幅している。アウトプットが均されていることからダスト円盤の厚さに制限がつき、非対称からはダスト円盤の傾斜角に制限がつく。極小期と極大期のそれぞれの時点での近赤外遅延時間の測定からはダストの形成・融解の時間尺度に制限がつく。また従来のモデルでは近赤外光度が実際よりも小さくなるという欠陥があったが、これはダストによる紫外光の吸収再放射だけでなく散乱の効果も取り入れることで解決することがわかった。今回開発した輻射輸送計算コードによって、活動銀河中心部のダスト構造や形成過程について広範な考察が可能になると期待される。

3.6 宇宙の大規模構造の数値シミュレーション

質量関数はダークハローの統計量のなかでも最も重要な量の一つである。そのため、幾つかの理論モデルが提案されたが、なかでも Press & Schechter 等によって提案されたモデルは、宇宙論的シミュレーションの結果を定性的に再現することができたため、広く受け入れられてきた。そして、個々のハローの合体系譜を計算できるように拡張された拡張 Press & Schechter モデルは、いわゆる準解析的銀河モデルとして広く用いられている。

一方、定量的にシミュレーションの結果を再現できるような Press & Schechter モデルの拡張も多くの人達によって試みられてきた。そのなかでも、Sheth & Tormen によって提案されたモデルは、計算結果を定量的に良く再現できている。しかし、Jenkins 等は Sheth & Tormen とは異なるシミュレーション結果を出してきた。そこで、我々は、両者の違いが顕著にあらわれていた低質量ハローの質量関数を詳細に調べることにした。まず、我々は今迄開発してきた Adaptive Mesh Refinement 法を用いた並列 N 体シミュレーションコードを使い、35 から $70h^{-1}\text{Mpc}$ 立方の領域における 512^3 体計算を五回行なった。次に、その 529 に上る出力ファイルを Friends-of-friends 法で解析した。その結果、我々のシミュレーションは Sheth & Tormen のモデルを支持するものであった。

3.7 銀河形成の準解析的手法に基づく三鷹モデルの構築

近年冷たいダークマター (CDM) に基づく宇宙モデルが確立し、銀河などの宇宙に於ける構造の形成過程を議論するためには CDM モデルが予言する階層的な構造形成過程を考慮することが必須となりつつある。これは、大きい天体は既に形成されている小さい天体同士の合体により形成されるというシナリオであり、これまでの銀河形成シナリオ、即ち現在の銀河と同程度の質量を持つガス雲が宇宙初期に崩壊し星を形成することで銀河を形成するというシナリオとは矛盾するものである。従って、階層的な形成シナリオに基づいた新しい銀河形成モデルを構築し、観測と比較していくことが重要であるという認識が次第に一般的なものとなってきている。

いわゆる準解析的アプローチに基づく銀河形成モデルは世界的には我々を含む幾つかのグループが取り組んでいるが、我々は今まで考慮されていなかったプロセスを取り入れ新たな銀河形成モデル (三鷹モデル) を構築した。これは爆発的星形成に伴う大量の超新星爆発が誘発するガスの銀河からの放出に対する銀河の星の分布への力学的応答を考慮するものである。特に矮小銀河では重力ポテンシャルが浅いため、超新星爆発により銀河外へ放出されるガスの割合が大きいと考えられるが、それだけ力学的応答の度合も高くなると予想される。従って、矮小銀河、特に局所銀河群内の矮小銀河のような低質量銀河の形成を議論する際には欠かせないプロセスであると考えられる。

この過程を準解析的モデルに取り入れるために、我々はまずバリオンとダークマターの二成分系を考え、ダークマターが作る静的な重力ポテンシャル内でバリオンの質量が変化する際にバリオンの分布がどのように変化するかについて調べた。次に、ここで得られた式を我々の準解析的モデルに取り入れ、矮小銀河の形成について調べた。ここでは超新星爆発による加熱の効率や星形成タイムスケールなどがフリーパラメータとなるが、銀河の光度関数やガス質量の割合などの観測と合わせると、残された最も大き

い自由度は星形成タイムスケールの時間依存性である。今回は、赤方偏移 z に対して定数の場合、銀河の力学的タイムスケールに比例する場合、及びその中間の場合について調べた。なお、銀河の力学的タイムスケールは通常過去に行くに従って短くなる。これらを比較した結果、近傍矮小銀河の表面輝度や速度分散を再現するためには、星形成タイムスケールは z に対しほぼ定数でなければならないことが判明した。爆発的星形成はほぼ等しい質量の銀河同士の合体により誘発されるが、この際どれだけのガスを持ち込むかによりその後の銀河の進化が規定される。ガスの量が多いほど、系への力学的応答も大きくなり、観測をよく再現する。星形成タイムスケールが高赤方偏移で長ければガスの消費率も下がり、各銀河がガスをよく保持するためである。

さらに宇宙星形成率 (cosmic star formation rate) についても調べ、星形成タイムスケールが定数のモデルは観測された星形成率とよく合体することも確かめられた。

3.8 コンパクト電波源をサンプルとするジェット統計の可能性について

コンパクト電波源を標準ロッドとする $\theta-z$ 関係から宇宙モデルを制限する研究が注目を集めるなか、我々は最近までの VLBI データをコンパイルし、従来の角度視直径の評価法を改良してその $\theta-z$ 関係を考察した。この評価法とはコンパクト電波源の電波強度分布からビームの影響を除去 (deconvolution) し、真の分布を elliptical Gaussian で表し、その FWHM 短軸長と FWHM 長軸長と長軸の方向を求め、短軸長を電波源の角度視直径 θ に代表させる方法である。これによって求めた θ の値は $0.2 < z < 4$ の赤方偏移の範囲でほぼ一定に保たれ、低密度宇宙モデルを強く支持するとの結論を得た。これは WMAP の結果と矛盾しないため、短軸長を θ とすることが妥当であると考えられる。

一方、同じ赤方偏移の範囲でも長軸長はばらつきが大きく、短軸長とは明らかに異なる傾向を示すことがわかった。我々がコンパイルしたコンパクト電波源のいくつかについては superluminal motion を示す電波ジェットの固有運動が観測されており、その方向は我々が求めた長軸の方向にほぼ等しい。この長軸長の頻度分布は、相対論的ジェットによる orientation バイアスを考慮した理論的予想と合致する。この長軸とジェットの関連づけをコンパクト電波源のサンプルに一般化すると、今後 $\theta-z$ 関係を使ってジェット統計と宇宙モデル制限を独立に遂行することが可能となる。

3.9 Loh & Spilar test に関する理論的考察

Loh-Spillar test (1986) とは、赤方偏移が比較的小さい ($z < 0.5$) 銀河サンプルから宇宙パラメータを決定する有力な幾何学テストである。銀河の大規模なサンプルである SDSS のデータが公開されたこと、また現在の宇宙観測から宇宙項が復活している情勢を鑑み、Loh-Spillar test を宇宙項 λ_0 を含む形式に拡張した。この拡張したテストを疑似データに適用し、テストからもたらされる結果のパラメータ依存性や光度関数の誤差に対する影響などを詳細に検討した。その結果、実際の SDSS から得られる $0.15 < z < 0.5$ の 30000 個の銀河データを用いると、 Ω_0 , λ_0 の値は宇宙が平坦であるとの仮定の下、 ± 0.05 以下の精度で求まることが予想でき、このテストが宇宙パラメータ決定に極めて有望であることがわかった。

3.10 第一世代星の初期質量関数

原始銀河の初期スターバーストの際に形成される、第一世代のゼロメタル星の初期質量関数 (IMF) を調べた。特にこの研究では、既に形成された星からの紫外線による水素分子光解離が始原ガス雲の分裂スケールに及ぼす影響に着目した。最近の数値実験によると、分裂スケールはガスの温度の極小期に対応する初期の自由落下期の最終段階におけるジーンズ質量で決定されるようである。我々はこの仮説のもと、光解離はこの時期のジーンズ質量を小さくする結果として、始原ガス雲の分裂質量を下げることを見出した。この効果により、最初の星は超大質量 (約 1000 太陽質量) となるものの、これから放出される紫外線輻射により、その次にできる星の質量は小さくなることがわかった。

紫外線輻射場が強くなればなるほど形成される星の質量は小さくなっていくので、形成されるゼロメタル星の質量に分布が生じ、これが IMF を決定する機構となる。一方、紫外線輻射場がさらに強くなり、ある閾値を超えると水素分子は形成されず、星形成クランプは原子冷却のみによって収縮するようになる。それに対応して、分裂スケールも数 10 太陽質量から太陽質量以下に不連続的に減少する。そこで我々は紫外線輻射場がこの閾値を超える条件を調べ、半径の小さな原始雲 (例えば、ガスの質量が 10^8 太陽質量の場合は 1.6kpc 以下) 中でのスターバーストではこうした条件が実現され、ゼロメタル環境であっても太陽質量以下の星が形成されることを示した。このとき、IMF は太陽質量以下と数十太陽質量の二つの値にピークをもつダブルピーク型となる。また大質量側の IMF は非常に急勾配であり、質量の -5 乗に比例して減少する。したがって、一番最初に形成される星の質量は約 1000 太陽質量と超大質量ではあるが、典型的なゼロメタル星の質量はそれよりずっと小さくなる。

さらに、我々は重力収縮する始原ガスクランプ中の熱不安定性を調べ、水素分子三体形成反応が盛

んに起こっている際に生ずる熱不安定性がクランプの分裂を引き起こさない理由を考察し、この不安定性の成長率がクランプの収縮速度に比べて、十分に速くはないことが原因であることを明らかにした。

3.11 すばる補償光学 (AO) による高赤方偏移銀河の近赤外深撮像

すばる望遠鏡の補償光学を用い、視野 1 分角のブランクフィールドにおける近赤外深撮像をすすめている。補償光学は大気による波面の擾乱をリアルタイムに補正する技術で、通常の観測では 0.5 秒角程度の星像しか得られないのに対して、望遠鏡の回折限界である 0.1 秒角にせまる高空間分解能を実現することができる。また補償光学により星像のコアに集中する光量が増えるために、結果として感度の大幅な増加も期待できる。

すばる望遠鏡において補償光学と近赤外撮像分光器 IRCS を用い、26 時間におよぶ長時間積分を K' バンド ($2.1 \mu\text{m}$) で行った。その結果、近赤外波長域の深撮像としての最高感度 (24.7 等級, 5σ) を達成した。これは、ヨーロッパの VLT 望遠鏡において行われた、より長い積分時間 (36 時間) の深撮像を 0.9 等も上回っており、現時点で世界最高感度に達している。これをもとに、現時点でもっとも深い等級までの銀河計数を行い、過去の結果の延長に計数が延びていることを確認した。また回折限界にせまる高空間分解能により、赤方偏移 z が 1 以上の高赤方偏移における銀河の形態が明確にディスク成分とバルジ成分に分けられることがわかった。現在この手法を用いて銀河形態が $z = 3$ から 1 において、どのように変わってきたかをまとめつつある。これにより銀河の「ハッブル系列」がどのように生じたかを明らかにできると期待している。

3.12 $z > 6$ クェーサの鉄/マグネシウム輝線比の観測的研究

重元素のない初期宇宙の星間ガスから超新星爆発により重元素が生成されるが、鉄は主に Ia 型超新星で、マグネシウムは II 型超新星により生成される。後者は星生成後すぐに発生するが、前者は発生までに 1Gyr 程度時間がかかるため、宇宙年齢が 1Gyr よりも若い初期宇宙における QSO の Fe/Mg 存在比は小さくなると考えられる。また、Ia 型超新星により一旦増加した鉄の存在量は、その後の中質量星からの質量放出により再び緩やかに減少する事が予想されているが、QSO 中で活発に星生成が行なわれた時期が宇宙のある特定時期までに限られる場合には、Fe/Mg 比は宇宙史後半において再び減少するものと考えられる。

我々は、すばる望遠鏡の OH 夜光除去分光器を用いて現在知られている全ての $z > 6$ QSO (4 天体) の近赤外分光観測を行ない、LBQS composite spectrum から分離した FeII 輝線の形状を template として、FeII/MgII 輝線強度比を求めた。また、2004 年始めに公開された SDSS の第一次公開データにおける $0.75 < z < 2.2$ QSO (10000 天体以上) に対して同様な解析を行い、2002 年に先に発表したデータと合わせて論文にまとめた。

$z > 6$ QSO のデータは、他の赤方偏移のデータと同様にばらつきが大きい。FeII/MgII 輝線比の大きい天体の分布は、宇宙初期では輝線比が小さくなる方向に収束していく傾向が見えつつあり、また、 $z \sim 1.5$ 付近でも輝線比が再び小さくなっている事が、新たな SDSS データにより再確認された。これらの変化は、上に述べた Fe/Mg の存在比の変化を反映するものと考えられるが、一方で QSO の明るさ等の特性による影響という解釈も可能である。正しい解釈には正確なモデルを構築することが必要であると考えられる。

3.13 Fe/Mg 化学進化モデル

QSO の母銀河の化学進化モデルを構築し、Fe/Mg の進化を明らかにすることで、QSO で観測された Fe/Mg のライン比の低赤方偏移から高赤方偏移にわたる分布を矛盾なく再現できることを示した。また赤方偏移の全範囲にわたって観測される Fe/Mg の分散は、QSO の母銀河の形成期のばらつきでうまく説明できることを示した。さらに、Fe/Mg の重元素量比は、爆発機構とその進化尺度の異なる II 型と Ia 型超新星の発生頻度に大きく依存しているため、銀河に於ける Fe/Mg の重元素量比からその母銀河の年齢を推定することができる。その新たな視点に立ち、高赤方偏移の Fe/Mg のライン比の情報から母銀河の年齢を導出し、これによって導出した赤方偏移と宇宙年齢の相関を説明するためには、宇宙項が卓越した平坦な宇宙モデルが不可欠であることを明らかにした。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Shigeyama, T., Tsujimoto, T., Yoshii, Y.: Excavation of the First Stars; *ApJL*, **586**, 57-60, (2003)
- [2] Nagashima, M., Yoshii, Y.: Dynamical response to supernova-induced gas removal in two-component spherical galaxies; *MNRAS*, **340**, 509-518, (2003)
- [3] Yoshii, Y., Tomita, H., Kobayashi, Y., Deng, J., Maeda, K., Nomoto, K., Mazzali, P. A., Umeda, H., Aoki, T., Doi, M., Enya, K., Minezaki, T., Suganuma, M., Peterson, B. A.: The Optical/Near-Infrared Light Curves of SN 2002ap for the First 140 Days after Discovery; *ApJ*, **592**, 467-474, (2003)
- [4] Maeda, K., Mazzali, P. A., Deng, J., Nomoto, K., Yoshii, Y., Tomita, H., Kobayashi, Y.: A Two-Component Model for the Light Curves of Hypernovae; *ApJ*, **593**, 931-940, (2003)
- [5] Omukai, K., Yoshii, Y.: The Mass Spectrum of Metal-free Stars Resulting from Photodissociation Feedback: A Scenario for the Formation of Low-Mass Population III Stars; *ApJ*, **599**, 746-758, (2003)
- [6] Minezaki, T., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Enya, K., Suganuma, M., Tomita, H., Aoki, T., Peterson, B. A.: Lag between the optical and NIR variabilities of NGC 4151; *AN*, **325**, 256-256, (2004)
- [7] Minezaki, T., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Enya, K., Suganuma, M., Tomita, H., Aoki, T., Peterson, B. A.: Inner Size of a Dust Torus in the Seyfert 1 Galaxy NGC 4151; *ApJ*, **600**, L35-L38, (2004)
- [8] Yahagi, H., Nagashima, M., Yoshii, Y.: Mass Function of Low-Mass Dark Halos; *ApJ*, (2004) in press
- [9] Nagashima, M., Yoshii, Y.: Hierarchical Formation of Galaxies with Dynamical Response to Supernova-Induced Gas Removal; *ApJ*, (2004) in press
- [10] Iwamuro, F., Kimura M., Eto S., Maihara T., Motohara K., Yoshii Y., Doi M.: FeII/MgII Emission Line Ratios of QSOs. II. $z > 6$ Objects; *ApJ*, (2004) in press

(会議抄録)

- [11] Minezaki, T., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Enya, K., Suganuma, M., Tomita, H., Aoki, T., Peterson, B. A.: Lag between the optical and NIR variabilities of NGC 4151; *Proc. of 25th IAU, Joint Discussion 9, "ASTROTOMOGRAPHY"*, (2003)
- [12] Shigeyama, T., Tsujimoto, T., Yoshii, Y.: Bimodal Metallicity Distribution Function of Old Stars; *Proc. of 25th IAU, Joint Discussion 15, "Elemental Abundances in Old Stars and Damped Lyman- α Systems"*, (2003)
- [13] Takuji T., Naoto K., Yuzuru Y., and Masanori I.: Chemical Evolution of MG II Absorption Systems; *Proc. of 25th IAU, Joint Discussion 15, "Elemental Abundances in Old Stars and Damped Lyman- α Systems"*, (2003)
- [14] Yahagi, H.; Yoshii, Y.: N-body Code with Adaptive Mesh Refinement; *Proc. of IAU Symp. 208, "Astrophysical Supercomputing using Particle Simulations"*, Eds. J. Makino and P. Hut, p.465 (2003)
- [15] Yahagi, H., Nagashima, M., Enoki, M., Gouda, N., Yoshii, Y.: Numerical Galaxy Catalog: a High Resolution Galaxy Catalog; *Proc. of IAU Symp. 216, "Maps of the Cosmos"*, (2003)

- [16] Nagashima, M., Yoshii, Y.: Dwarf Galaxies in a Hierarchical Galaxy Formation Model; Proc. of IAU Symp. 220, “Dark Matter in Galaxies”, (2003)
- [17] Kobayashi, Y., Yoshii, Y., Minezaki, T., Enya, K., Aoki, T., Suganuma, M., Tomita, H., Doi, M., Motohara, K., Peterson, B. A., Smith, C. H., Little, J. K., Greene, B.: Automated observatory for multicolor active galactic nuclei monitoring (MAGNUM); Proc. of SPIE **4837**, “Large Ground-based Telescopes”, Eds J. M. Oschmann and L. M. Stepp, 4837, 954–964, (2003)
- [18] Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Minezaki, T.: The MAGNUM (Multicolor Active Galactic Nuclei Monitoring) Project; Proc. of American Astronomical Society Meeting **202**, 38.03, (2003)
- [19] Totani, T., Yoshii, Y., Maihara, T., Iwamuro, F., Motohara, K.: Near-Infrared Faint Galaxies in the Subaru Deep Field: Implications for EBL and EROs; Proc. of Galaxy Evolution: Theory & Observations, Eds. V. Avila-Reese, C. Firmani, C. S. Frenk and C. Allen, Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica, **17**, 235–236, (2003)
- [20] Verner, E., Bruhweiler, F., Tsuzuki, Y., Kawara, K., Yoshii, Y., Oyabu, S.: Fe+ Emission in PG1626+554: Model Predictions and HST/FOS Observations ; Proc. of American Astronomical Society Meeting **203**, 78.15, (2003)

<学術講演>

(国際会議)

一般講演

- [21] Okajima, L., Yoshii, Y.: Angular Size Versus Redshift Relation for Compact Radio Sources; Trend of Researches on Galaxies and the Universe in the New Millennium, (Australia, Jul. 2003)
- [22] Minezaki, T., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Enya, K., Suganuma, M., Tomita, H., Aoki, T., Peterson, B.A.: Inner Size Of A Dust Tours In The Seyfert 1 Galaxy NGC 4151; Trend of Researches on Galaxies and the Universe in the New Millennium, (Australia, Jul. 2003)
- [23] Yahagi, H., Nagashima, M., Gouda, N., Yoshii, Y.: ν GC: The Numerical Galaxy Catalog; Trend of Researches on Galaxies and the Universe in the New Millennium, (Australia, Jul. 2003)
- [24] Yoshii, Y.: Tokyo-Atakama Observatory Project; Trend of Researches on Galaxies and the Universe in the New Millennium, (Australia, Jul. 2003)
- [25] Minowa, Y., Kobayashi, N., Yoshii, Y., Totani, T., Takami, H., Takato, N., Hayano, Y., Iye, M.: Subaru Deep Field with Adaptive Optics; ESO AO Science Workshop, (Germany, Sep. 2003)

招待講演

- [26] Yoshii, Y.: The MAGNUM Project; The 202nd Meeting of the American Astronomical Society, (U.S.A., May. 2003)

(国内会議)

学会発表

- [27] 吉井 譲, 小林 行泰 (国立天文台), 峰崎 岳夫, 青木 勉, 菅沼 正洋, 富田 浩行, 越田 進太郎 (東大理/国立天文台), 塩谷 圭吾 (宇宙研), B. A. Peterson (ANU): 「MAGNUM プロジェクト (2) ダスト反響法に基づく活動銀河の近赤外変光曲線のモデル解析」 日本天文学会 2003 年秋季年会, (愛媛大学, 2003 年 9 月)
- [28] 岩室史英 (京大理), 本原顕太郎 (東大天文センター), 舞原俊憲 (京大理), 木村仁彦 (京大理), 吉井譲 (東大天文センター), 土居守 (東大天文センター): 「 $z_{\text{d}}6$ クェーサーの FeII/MgII 輝線比」 日本天文学会 2003 年秋季年会, (愛媛大学, 2003 年 9 月)
- [29] 菅沼 正洋 (東大理/国立天文台), 吉井 譲, 峰崎 岳夫, 青木 勉, (東大理), 小林 行泰 (国立天文台), 塩谷 圭吾 (宇宙研), 富田 浩行, 越田 進太郎 (東大理/国立天文台), B. A. Peterson (ANU), 土居 守, 本原 顕太郎, 大藪 進喜 (東大理): 「MAGNUM プロジェクト (4) NGC 5548 中心核のダストオーラス内縁と広輝線放射領域の関係」 日本天文学会 2003 年秋季年会, (愛媛大学, 2003 年 9 月)
- [30] 峰崎 岳夫, 吉井 譲, 青木 勉, (東大理), 小林 行泰 (国立天文台), 塩谷 圭吾 (宇宙研), 菅沼 正洋, 富田 浩行, 越田 進太郎 (東大理/国立天文台), B. A. Peterson (ANU), 土居 守, 本原 顕太郎 (東大理): 「MAGNUM プロジェクト (3) NGC 4151 – 1000 日間の変光」 日本天文学会 2003 年秋季年会, (愛媛大学, 2003 年 9 月)
- [31] 矢作 日出樹 (国立天文台), 長島 雅裕 (Durham 大学), 吉井 譲 (東京大学): 「低質量ダークハローの質量関数」 日本天文学会 2003 年秋季年会, (愛媛大学, 2003 年 9 月)
- [32] 小林 尚人, 辻本 拓司 (国立天文台), 美濃和 陽典, 吉井譲, 家正則 (国立天文台), 他すばる IRCS/AO チーム: 「赤外線高分散観測による高赤方偏移クェーサー吸収線系の研究 (II) B1422+231」 日本天文学会 2004 年春季年会, (名古屋大学, 2004 年 3 月)
- [33] 越田 進太郎 (東大理天文/国立天文台), 吉井 譲, 峰崎 岳夫, 青木 勉, (東大天文センター), 小林 行泰 (国立天文台), 塩谷 圭吾 (宇宙機構), 菅沼 正洋, 富田 浩行 (東大理天文国立天文台), B. A. Peterson (ANU), 土居 守, 本原 顕太郎, 大藪 進喜 (東大天文センター): 「MAGNUM プロジェクト (1) Mrk 744 の可視・赤外モニター結果と変光遅延」, 日本天文学会 2004 年春季年会, (名古屋大学, 2004 年 3 月)
- [34] 富田 浩行, 吉井 譲, 峰崎 岳夫, 菅沼 正洋, 青木 勉, 越田 進太郎 (東大理), 小林 行泰 (国立天文台), 塩谷 圭吾 (宇宙機構), B.A. Peterson (ANU), 土居 守, 本原 顕太郎 (東大理): 「MAGNUM プロジェクト (2) RXJ2138.2 + 0112 の可視赤外変光遅延」 日本天文学会 2004 年春季年会, (名古屋大学, 2004 年 3 月)

- [35] 菅沼 正洋 (東大理/国立天文台), 吉井 譲, 峰崎 岳夫, 青木 勉 (東大理), 小林 行泰 (国立天文台), 塩谷 圭吾 (宇宙機構), 富田浩行, 越田 進太郎 (東大理/国立天文台), B. A. Peterson (ANU), 土居 守, 本原 顕太郎 (東大理): 「MAGNUM プロジェクト (3) セイファート銀河核のダストトーラス内縁半径と BLR 半径の関係」 日本天文学会 2004 年春季年会, (名古屋大学, 2004 年 3 月)
- [36] 菅沼 正洋 (東大理/国立天文台), 吉井 譲, 峰崎 岳夫, 青木 勉 (東大理), 小林 行泰 (国立天文台), 塩谷 圭吾 (宇宙機構), 富田浩行, 越田 進太郎 (東大理/国立天文台), B. A. Peterson (ANU), 土居 守, 本原 顕太郎 (東大理): 「MAGNUM プロジェクト (4) NGC 4051 3 年間の可視-近赤外線変動」 日本天文学会 2004 年春季年会, (名古屋大学, 2004 年 3 月)

一般講演

- [37] 美濃和陽典, 小林尚人, 吉井 譲, 戸谷 友則 (京大理), 高見 英樹, 高遠 徳尚, 早野 裕, 家 正則, AO/IRCS グループ, 他すばる望遠鏡メンバー (国立天文台): 「高赤方偏移銀河の深撮像と形態研究」, AO サイエンスワークショップ, (箱根静雲荘, 2003 年 8 月)
- [38] 美濃和陽典, 小林尚人, 吉井 譲, 戸谷 友則 (京大理), 高見 英樹, 高遠 徳尚, 早野 裕, 家 正則, AO/IRCS グループ, 他すばる望遠鏡メンバー (国立天文台): 「Subaru Super Deep Field」, MOIRCS サイエンスワークショップ, (東北大学, 2004 年 2 月)
- [39] 吉井譲: 「クェーサーの内部はどうなっているのか? マグナム望遠鏡の威力」, 第 18 回「大学と科学」公開シンポジウム, (有楽町朝日ホール, 2004 年 1 月 31 日)

セミナー

- [40] 吉井譲: 宇宙物理学特論、集中講義、千葉大学理学系研究科, 2004 年 1 月 26 - 28 日

4 サブミリ波観測

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

4.1 はじめに

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

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

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

4.2 富士山頂サブミリ波望遠鏡

富士山頂サブミリ波望遠鏡（口径 1.2 m）は、わが国初めてのサブミリ波望遠鏡である。冬季の富士山頂はサブミリ波天体観測を妨げる水蒸気が少なく、絶好の観測サイトである。その優れた観測条件を生かして、中性炭素原子のサブミリ波微細構造スペクトル線を観測し、星間分子雲の構造、形成、およびそこでの星形成を研究している。

富士山頂サブミリ波望遠鏡は 1995 年度より製作を開始し、1998 年 7 月に富士山頂に設置された。その後、衛星通信回線を利用した遠隔制御によって観測運用を行っている。これまでに 6 回の観測シーズンで、492 GHz のスペクトル線については約 50 平方度の領域を観測できた。これは、他のグループと比べて観測領域の広さで 1 桁以上も上回るものであり、近傍星間分子雲における中性炭素原子の分布の全貌を描き出しつつある。また、809 GHz のスペクトル線についても、代表的星間分子雲でのマッピング観測を世界ではじめて実現した。2003 年から 2004 年の観測シーズンにおいては、後で個々の報告で述べるように、492 GHz のスペクトル線の広域観測、詳細観測を推進した。

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

ρ Oph 分子雲 ヘびつかい座 (ρ Oph) 領域には、活発な星形成領域とフィラメント状分子雲が隣接するという特徴的な構造を持つ分子雲（距離 145 pc）が広がっており、その分子雲形成過程と南西に付随する Sco OB2 アソシエーションの関係が指摘されている。我々は富士山頂サブミリ波望遠鏡を用いた 5 シーズンにわたる観測により、この領域全体（約 6 平方度）の [CI] 492 GHz 輝線の分布を初めて捉えることに成功した。その結果、[CI] 輝線の大局的な分布は ^{13}CO のそれによく似ており、分子雲の内部にも豊富に C^0 が存在することが示された。個々の分子雲に注目すると、L1688 内には紫外線源から [CII]/CO/[CI] と並ぶ配列が存在し、その [CI] のピーク位置では、 A_V が非常に大きい (81 mag) にもかかわらず C^0/CO 柱密度比が定常状態 PDR モデルによる予測より 1 桁近く大きい (0.076) ことが見出された。これは領域内の $\text{C}^0 \rightarrow \text{CO}$ の化学的進化が十分に進行していない可能性を示唆している。一方、フィラメント状分子雲 L1709 は、全体的に他の 2 つの星形成領域よりも小さい C^0/CO 柱密度比を示すことから、化学的な進化がより進んだ領域であると考えられる。以上の結果は、Sco OB2 内で起きた超新星爆発の影響で、元々存在していた長大なフィラメント状分子雲の一部が圧縮されることにより星形成領域が形成されたとする説で矛盾なく説明できる。

B18 おうし座分子雲複合体に属する B18 分子雲のほぼ全領域にわたって、[CI] (492 GHz) 輝線によるマッピング観測を行った。その結果、4 つのコアにおいて、 $M_{\text{VIR}}/M_{\text{LTE}}$ 比や $N(\text{C})/N(\text{CO})$ 比がほぼ等しことが分かった。このことから、各コアは同じ化学進化段階にあると考えられる。一方、領域全体で平均された $N(\text{C})/N(\text{CO})$ 比は、これまで我々が観測を行ってきた HCL2 (0.41)、L1495 (0.37)、B213 (0.31) と比べて有意に低いこと (0.16)、そして、これらの分子雲中で、Class II までの YSO を考慮して $N(\text{C})$ および $N(\text{CO})$ から導かれる星形成率 ($M_{\text{star}}/M_{\text{gas}}$) が最

も高いことも分かった。これらのことは、B18 分子雲は、複合体中で進化の進んだ段階にあることを示唆している。時間依存性 PDR モデルによる計算結果との比較においても、同様の進化段階の違いを示す結果が得られた。

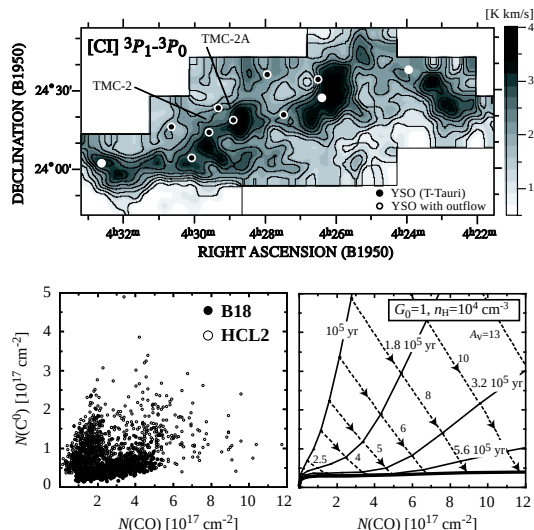


図 4.2 a: [CI] 輝線による B18 分子雲の積分強度マップ。Lowest コントアは 4σ (1 K km s^{-1}) で、 1.5σ きざみ。黒丸は T-tauri 型星 (Class II)、白丸はアウトフローが附随しているとされる YSO (Class 0 or I)。

W3/W4/W5 W3/W4/W5 領域 (距離 2.3 kpc) は Perseus arm に位置する大質量星形成領域である。昨年度までに行った富士山頂サブミリ波望遠鏡による W3 領域の [CI] マッピングに加え、W4/W5 領域にも観測を広げた。その結果、[CI] の分布は W3/W4/W5 全領域において、大局的には CO の分布と似ていることがわかった。また、W3 領域において [CI] の強かった AFGL 333 領域と、その他、W3 領域内にある大質量分子雲コアに対し、野辺山 45 m 望遠鏡を用いて、様々な分子輝線の観測を行った。その結果、AFGL 333 領域でのみ CCS 輝線を検出できた。CCS 分子は化学進化の初期の段階をトレースすると考えられており、AFGL 333 領域が化学的に若い可能性を示唆している。さらに、AFGL 333 領域では、コアの質量が $1 - 3 \times 10^3$ と大質量であるにもかかわらず、活発な星形成が起きていない。これらのことは、AFGL 333 領域が分子雲進化の初期の段階にあり、[CI] が分子雲形成の初期に豊富に存在することを強く示唆している。

おうし座 L1521 領域 おうし座 L1521 領域については ^{13}CO 輝線、 C^{18}O 輝線の観測により複数の分子雲コアが発見されており、また T Tauri 型星の存在も知られている。我々は富士山頂サブミリ波望遠鏡を用いて、同領域の CI ($^3P_1 - ^3P_0$: 492 GHz) 輝線マッピング観測を行い、3 分角グリッドにて約 500 点を観測した。CI 輝線強度のピーク位置は ^{13}CO 輝線のそ

れとほぼ一致し、その方向での C 柱密度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ であった。一方で大局的な分布は CI と CO で大きく異なっており、北東の部分で C/CO 存在量が特に高い領域が見出された。この領域は可視減光も高く、光解離起源の C とは考え難い。むしろこれは、化学進化の若い段階にあり、 $\text{C} \rightarrow \text{CO}$ の変換が進行中の領域であると考えられる。

IC1396 領域 HII 領域内にある孤立した小分子雲には、表面の電離領域が可視光のリム構造として観測されるものがあり、これらは Bright-Rimmed Globule として知られている。本年度は、昨年度までに行なわれていた IC1396 領域の Bright-Rimmed Globule の [CI] $^3P_1 - ^3P_0$ 輝線のマッピング領域を拡大し、同領域中のグロービュール C, F, H における C^0 の分布を明らかにした。また野辺山 45m 望遠鏡を用いて IC1396 領域を観測し、 $\text{C}^{18}\text{O } J=1-0$ の分布、およびグロービュール中心での $\text{SO } J_N=3_2-2_1$, $\text{N}_2\text{H}^+ J=1-0$ 輝線強度を測定した。以上の観測から、次の結果を得た。1) 全てのグロービュールに対して、古典的な PDR モデルの描像が予想する [CI] のリム状構造は確認されなかった。[CI] 輝線のピークは CO ピークと同位置か、あるいは紫外線源に対して CO ピークの後方に見られた。2) C^0/CO 比は、IRAS ポイントソースが附随する、あるいは N_2H^+ 輝線の検出されるグロービュールにおいて系統的に低い値を示した。ピリアル解析からは、これらのグロービュールは、他のグロービュールに比べて重力束縛に近い状態にあることが分かっている。この結果は、 C^0/CO 比が分子雲の力学的進化段階と関連していることを示す。3) グロービュールの SO/CO の輝線強度比は、 C^0/CO 比の低いグロービュールにおいて低いことがわかった。一般に SO は分子雲の化学的な進化の後期で主に生成される分子であるため、この観測結果は、化学的に若い分子雲において C^0/CO 比が高くなるとする非定常化学モデルの結果と矛盾しない結果である。

λ -Orionis 領域 λ -Orionis に附随する分子雲リングに対して、[CI] $^3P_1 - ^3P_0$ 輝線のマッピング観測を行い、本年度までに、B30, B35, B228 分子雲を含む約 3500 点、2.2 平方度の領域のマッピングを完了した。B30, B35 分子雲に対しては、野辺山 45m 望遠鏡を用いて CO , ^{13}CO および C^{18}O の $J=1-0$ 輝線のマッピングも行った。B30, B35 分子雲はともに Bright-Rimmed Globule として知られているが、両分子雲内での CO , C^0 の柱密度分布は大きく異なることが分かった。B35 は、 C^0 と CO は空間的な拡がり、ピーク位置ともに略ぼ一致する構造を持つ。一方 B30 では、 CO は IRAS のデータ解析から得られた可視減光度 (A_V) マップと同位置に柱密度ピークが現われるが、一方、 C^0 は分子雲の中心にはピークを持たず、分子雲と HII 領域の境界領域に沿って多く分布していることが分かった。B35 における CO と C^0 分布の相関は、オリオン分子雲や IC1396 領域など HII 領域に隣接した分子雲に多く見られる特徴であるのに対し、B30 は非常に特異な C^0 の分布を示しており、PDR に起源をもつ [CI] 輝線が観測されている可能性がある。

S252 S252 は、距離 2.0 pc にあるふたご座分子雲複合体中に存在し、励起星 (O6V) からの強烈な紫外線にさらされた分子雲である。[CI] 輝線による観測の結果、[CI] は分子雲内部にまで存在していることが分かった。また、[CI] ピークにおいて OMC-1 と同程度の高い C^0 の柱密度 (10^{18} cm^{-2}) が得られた。最近の [CI] 輝線観測から、OMC-1 や ρ -Oph、NGC1333 などにおいて、平衡平板構造を仮定した“標準 PDR モデル”が予想する C^0 /CO 配列と矛盾するような CO/ C^0 配列が報告されているが、S252 でもそのような CO/ C^0 配列が確認された。さらに、野辺山 45m 鏡による C_2H と N_2H^+ 輝線のマッピング観測から、高密度領域が分子雲表層付近に存在し、[CI] はその後方に分布していることも分かった。以上の観測結果から、分子雲の密度構造がモデルと矛盾する配列を引き起こしている一つの要因である可能性があると考えられる。

M16/M17 領域 M16/M17 はともに銀河面近傍に位置する HII 領域であり、それぞれ質量 $10^5 M_\odot$ 以上の巨大分子雲が付随した活発な大質量星形成領域である。我々のグループでは一昨年、可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡を用いた観測により、M17 方向の CI 輝線スペクトルに速度幅 40 km s^{-1} に達する高速度成分を検出した。これは M16/M17 領域をエッジとする巨大なスーパーシェルの構造に起因する分子雲形成初期の中性原子ガス成分の名残を見ていると考えられる。今回我々は、この M17 方向の高速度成分の空間分布を明らかにし、また同じ環境にある M16 領域に同様の高速度成分の有無を確認するため、富士山頂サブミリ波望遠鏡を用いて CI 492GHz 輝線による 3'グリッドのマッピング観測を行った。その結果、M17 分子雲に付随する高速度成分は分子雲コアの西側 $30' \times 30' (15 \text{ pc} \times 15 \text{ pc})$ にわたって広域に分布していることが分かった。一方で M16 分子雲については、 $15'$ 四方の領域を平均したスペクトルに高速度成分の気配が 3σ レベルで見出されている。

銀河系中心領域 銀河系の中心数百パーセクの領域は、星の強い集中と大量の星間物質で特徴づけられる銀河系内で最も特異な領域である。この領域にある星間分子雲は、銀河系円盤部のそれに比べて高温・高密度であり速度幅が非常に広いことが知られているが、そのエネルギー供給メカニズムは重要かつ未解明の問題である。我々は、この領域においても特に速度幅の広い特異分子雲 “Clump 2” に対して、富士山頂サブミリ波望遠鏡を用いた CI 492GHz スペクトル輝線のマッピング観測を行った。その結果、Clump 2 方向から $T_A^* = 1 \text{ K}$ 程度、速度幅 200 km s^{-1} の極めて広い輝線スペクトルを得た。その輝線プロファイルは、一酸化炭素分子 (CO) のそれと大きく異なり、この分子雲が大規模な衝撃波によって加速・解離された可能性を示唆している。

4.3 可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡

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

2003 年 9 月、この望遠鏡を南米チリのパンパラボラ ASTE サイトに設置し、CI 492GHz 輝線による銀河面サーベイを開始した。観測は 11 月末の望遠鏡撤収まで行われ、銀経 300° から 355° の銀河面上を 1° おきに $\Delta T_A^* = 0.1 \text{ K} (1\sigma)$ を下回る高質なスペクトルを得た。今シーズンのサーベイ結果と、その解析結果について以下にまとめる (カラーページ参照)。

中性炭素原子の大局的分布 銀河系内域における炭素原子 (C^0) の大局的な分布・運動は一酸化炭素分子 (CO) のそれに酷似しており、銀河系回転に沿う運動をしていることが分かった。サーベイ領域に含まれる 3 つの銀河系の渦状腕のうち、 C^0 、CO ともに Scutum-Crux 腕と Norma 腕に付随する成分が特に顕著である。また励起モデル計算の結果から、銀河系円盤部の $CI^3P_1-^3P_0$ スペクトル輝線放射は、熱化が不十分かつ光学的に薄い雲、いわゆる “translucent clouds” と呼ばれる雲が支配的であることが分かった。

銀河半径依存性の検出 銀河系の回転曲線を仮定して、CI、CO 輝線放射強度の銀河半径分布を導出した。両輝線ともに銀河系中心から 4–6kpc の間に広い分布ピークを示し、CI/CO 輝線放射強度比はその分布ピーク両側で低くなる傾向が見られる。この結果に励起モデル計算を適用すると、 C^0 /CO 存在比が銀河半径に対して単調に増加していく傾向が見出された。これは言い換えれば、銀河系内域の中性ガスは銀河中心に近いほど分子の形態をとる割合が高い事を示している。

渦状腕上での相変化の発見 位置-速度図の解析から、CI/CO 輝線放射強度比が高い領域は、銀河系回転に対して渦状腕の上流に位置する事が見出された。一般に重力ポテンシャルの極小点である渦状腕をガスが通過する際、主に原子相であった拡散ガス雲が集結し、星形成の母胎である星間分子雲という形態に数百万年の時間をかけて進化すると考えられている。我々の結果は、その渦状腕通過に伴う原子→分子相変化の過程、つまり渦状腕上での星間分子雲形成の過程を、初めて観測によって捉えたものである。

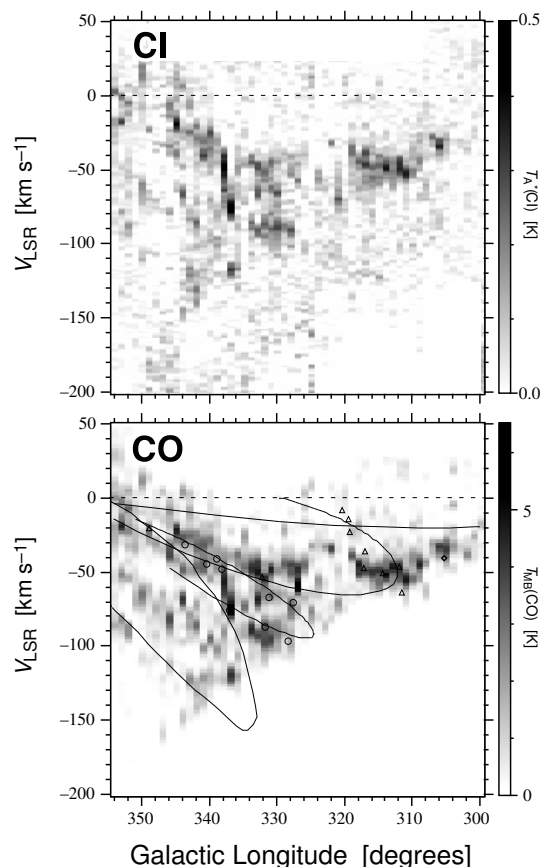


図 4.3 b: 銀河面上の CI $3P_1-3P_0$ 輝線および CO $J=1-0$ 輝線位置-速度図。

4.4 テラヘルツ帯ミキサ素子の開発

18 cm 可搬型サブミリ波望遠鏡などのサブミリ波望遠鏡を用いてテラヘルツ波帯域にある窒素イオンのスペクトル線 (NII:1.47 THz) の観測を行う目的で、国立天文台のグループ (野口卓氏、前澤裕之氏) と共同で Nb を用いた拡散冷却型 Hot-Electron Bolometer (HEB) ミキサ、および NbTiN を用いた格子冷却型 HEB ミキサを開発している。この目的のため、実験室にクリーンブースを設置し、素子製造装置一式を順次導入する。本年度は、100 nm サイズのブリッジ構造をもつ HEB 素子を製作するために、電子ビーム描画装置を導入した。

Nb 拡散冷却型 HEB ミキサの製作 本年度は国立天文台野辺山・三鷹のクリーンルームの露光装置・製膜装置などを用いて、前年度に引き続き 850 GHz 帯 HEB ミキサの製作試験を行った。超伝導体に Nb を用いた拡散冷却型 HEB ミキサの場合、望遠鏡に搭載する実用的なミキサ素子のスペックとして、超伝導細線の長さを 0.2 μm 程度、細線部のインピーダ

ンスを 27 Ω 程度とする必要がある。そこで電子ビーム描画装置による描画工程や描画図形の形状などの改善を行い、また製作した素子の超伝導特性を良好に保つ観点から、製作プロセスにおける酸化膜除去エッチングなどの各工程で条件を変えての素子の試作を重ねた。その結果、目標とする設計のミキサ素子を歩留まり良く製作することが可能となった。そのミキサ素子は液体ヘリウムによる冷却において良好な超伝導特性を示している。

また、製作した HEB ミキサについて、野辺山の Joule-Thomson 型機械式冷凍機を用いて冷却を繰り返し行ったら、液体ヘリウムによる冷却と同様の超伝導特性が得られ、それは数度の冷却サイクルに対して再現性を持つことが確認された。そして冷却状態の HEB ミキサに 800 GHz のサブミリ波を入射したところミキサの電気特性に変化が見られた。更に常温および液体窒素温度の黒体輻射とのミキシングを試みたところ、IF 出力応答に明らかな変化があり、ミキシングの挙動が見られた。その差分スペクトルにはミキサの IF 帯域幅に対応する減衰が見出された。

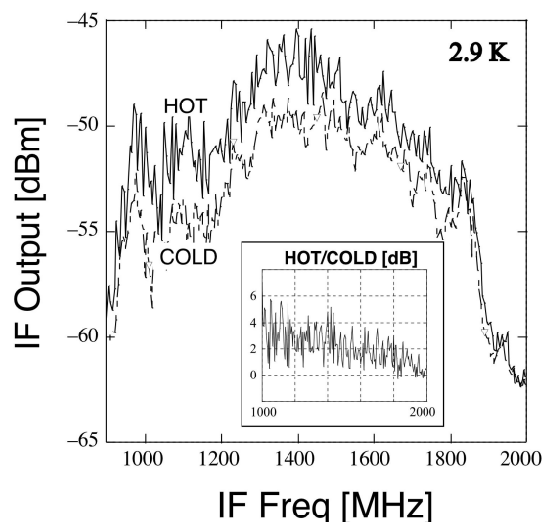


図 4.4 c: 850 GHz 帯 HEB ミキサ、常温 (Hot)・液体窒素 (Cold) を用いたミキシング試験で得られた IF 出力。内側は Hot-Cold の出力差。IF 周波数 1.5 GHz 付近で減衰が見られる。

NbTiN 格子冷却型 HEB ミキサの製作 我々は HEB ミキサに用いるもう一つの素材として NbTiN に着目している。NbTiN は、 SiO_2 基板に製膜が可能で、Nb に比べて酸化しにくくかつ臨界温度が高いなどの利点を持っている。NbTiN 薄膜は、Ar と N_2 の混合気体のもとで NbTi の合金ターゲットを使用して DC マグネトロンスパッタにより生成されるが、ターゲットのエロージョンなどの影響でスパッタ条件が一定せず、これが膜質の再現性を低下させている。我々は、Ar と N_2 の混合気体の全圧を 0.65 Pa に固定して圧縮応力が小さくかつ抵抗率が低い薄膜を得ている。さらに、 N_2 の流量を 0.5% (~ 0.01 sccm) の精度で、Ar と N_2 の混合気体の全圧を 0.15%

(~ 0.001 Pa) の精度で測定できるようにスパッタ装置を改良して詳細な測定を可能にするともに、エロージョンの効果を考慮したシミュレーションを構築している。これまでに、厚さ 300 nm の膜においては臨界温度 14.8 K、抵抗率 $140 \mu\Omega\text{cm}$ 、厚さ 3 nm の膜においても臨界温度 4.9 K、抵抗率 $280 \mu\Omega\text{cm}$ の良質な薄膜が得られている。これらの NbTiN 薄膜を用いて、850 GHz 用、1.5 THz 用の HEB ミキサの製作を始めている。

4.5 実験室分子分光

星間分子雲には微量ではあるが様々な分子が存在している。それらの中には、実験室の環境では寿命が短いフリーラジカルなどの「短寿命分子」が多数含まれている。そのような分子の回転スペクトルは実験室での測定が容易でないで、星間分子雲に存在することが予想されていても、スペクトル線の周波数がわからないために探査できていないものが多い。そこで、本研究室では「短寿命分子」の回転スペクトルを測定するためのフーリエ変換ミリ波分光計を開発してきた。本研究室のフーリエ変換分光器は、この種の分光器としては世界で唯一、85 GHz までの周波数をカバーし、それを生かして星間分子として予想される基本的な炭化水素ラジカルの回転スペクトルの研究を行ってきた。その結果、HCS, HSC, ビニルラジカル (C_2D_3), エチルラジカル (C_2H_5), シクロプロピルラジカル (C_3H_5) など重要な分子のスペクトルを明らかにする成果を挙げた。

なお、本研究室におけるテラヘルツ帯ミキサの開発実験の本格的開始に伴い、この実験は 2004 年 1 月をもって終了した。

エチルラジカル (C_2H_5) 基本的な炭化水素ラジカルであるエチルラジカル (C_2H_5) はメチル基の内部回転自由度を持つ。本研究では C_2H_5 の $1_{01}-0_{00}$ 遷移を探索し、電子スピンおよび核スピンによって分裂した 28 本のスペクトル群を測定した。ゼーマン効果を手がかりに、そのうち 22 本の遷移を内部回転量子数 $m=0$ の状態 (A_2'') に帰属することができた。それを元に、回転定数や微細・超微細構造相互作用定数をはじめ決定することができた。さらに微細・超微細構造の強度パターンに対して、状態間の混合効果を厳密に考慮したシミュレーションを行い、測定した強度パターンを再現するとともに、数本の帰属できないスペクトル線も拾い出すことができた。これらは内部回転量子数 $m=1$ の状態の回転スペクトルであると考えられる。

シクロプロピルラジカル (C_3H_5) シクロプロピルラジカルは、 α 位の水素原子 (H_α) が三員環面に対してトンネル効果によって反転運動を行う事が知られている。その分光学的な重要性にも関わらず、これまで回転遷移スペクトルの分光測定は行われていなかった。今回、我々は *ab initio* 計算で得られたシ

クロプロピルラジカルの分子定数に基づいて純回転遷移の周波数を予測し、フーリエ変換ミリ波分光計を用いて回転遷移スペクトルの検出を試みた。その結果、 $1_{11}-0_{00}$ 、そして $1_{10}-1_{01}$ 純回転遷移スペクトルを、それぞれ 37.4 GHz、10.6 GHz 領域で検出することに成功した。得られたスペクトルは微細や超微細構造分裂により極めて複雑なスペクトルパターンを示しており、現在のところ完全にはスペクトルの帰属はついていないが、類似分子のスペクトルパターンを手がかりに解析を行っている。

<報文>

(原著論文)

- [1] T. Hirota, M. Ikeda, & S. Yamamoto, “Mapping Observations of DNC and HN^{13}C in Dark Cloud Cores”, *The Astrophysical Journal*, **594**, 859 (2003)
- [2] T. Hirota, H. Maezawa, & S. Yamamoto, “Molecular Line Observations of Carbon-Chain-Producing Regions L1495B and L1521B”, *The Astrophysical Journal*, (submitted)
- [3] P.G. Ananthasubramanian, S. Yamamoto, T.P. Prabhu, and D. Angchuk, “Measurements of 220 GHz Atmospheric Transparency at IAO, Hanle, during 2000 – 2003”, *Bull. Astr. Soc. India* (submitted).
- [4] T. Oka, M. Iwata, H. Maezawa, M. Ikeda, T. Ito, K. Kamegai, T. Sakai, & S. Yamamoto, “Submillimeter-wave CI Spectral Lines from the NGC 1333 Region”, *The Astrophysical Journal*, **602**, 803 (2004)
- [5] K. Kamegai, M. Ikeda, H. Maezawa, T. Ito, M. Iwata, T. Sakai, T. Oka, S. Yamamoto, Y. Sekimoto, K. Tatematsu, T. Noguchi, S. Saito, H. Fujiwara, H. Ozeki, J. Inatani, & M. Ohishi, “Distribution of the [CI] emission in the ρ Ophiuchi Dark Cloud”, *The Astrophysical Journal*, **589**, 378 (2003)
- [6] E. Kim & S. Yamamoto, “Fourier transform millimeter-wave spectroscopy of $\text{CS}(X^1\text{igma}^+)$ and $\text{SO}(b^1\text{igma}^+)$ in highly excited vibrational states”, *J. Mol. Spectrosc.*, **f 219**, 296 (2003)
- [7] E. Kim & S. Yamamoto, “Fourier transform millimeter-wave spectroscopy of the ethyl radical in the electronic ground state”, *J. Chem. Phys.* **f 120**, 3265 (2004)
- [8] N. Kuboi, T. Oka, Y. Aikawa, M. Ikeda, and S. Yamamoto, “The [CI] $^3P_2 - ^3P_1$ Line Distribution in the Orion Molecular Cloud 1 Region”, *The Astrophysical Journal* (submitted).

(学位論文)

- [9] 亀谷和久, “Neutral Atomic Carbon Distribution in the ρ Ophiuchi Dark Cloud (へびつかい座暗黒星雲における中性炭素原子の広域分布)”, 学位論文 (博士 (理学))

- [10] 金 銀淑, “Molecular Structure and Internal Motion of Hydrocarbon Radicals by Fourier Transform Millimeter-wave Spectroscopy (フーリエ変換ミリ波分光による炭化水素ラジカルの分子構造と分子内運動)”, 学位論文 (博士 (理学))
- [11] 平松雄司, “冷凍機冷却ステージの温度安定化とへびつかい座北部領域における CI 輝線の観測”, 修士論文
- [12] 酒井 剛, “Atomic Carbon in Molecular Clouds Interacting with Expanding HII Regions (膨張する HII 領域と相互作用した分子雲における中性炭素原子)”, 学位論文 (博士 (理学))

<学術講演>

(国際会議)

一般講演

- [13] S. Yamamoto, “CI results from Mt. Fuji Telescope”, Nagoya Workshop on Sub-mm Astronomy with NANTEN2, Nagoya, Japan (May 8–10, 2003)
- [14] T. Oka, S. Yamamoto, & Mt. Fuji Submillimeter-wave Telescope Group, “Atomic Carbon in the Galaxy”, Japan-UK Collaboration in Astronomy N+N meeting, Tokyo, Japan (December 11–12, 2003)
- [15] K. Shimbo, T. Sato, T. Oka, S. Yamamoto, H. Maezawa, & T. Noguchi, “Recent progress on THz HEB mixer”, “The 4th Workshop on Submillimeter-wave Receiver Technologies in Eastern Asia”, Korea Astronomy Observatory, Daejeon, Korea (November 27–28, 2003)

(国内会議)

一般講演

- [16] 岡 朋治, 山本 智, 亀谷和久, 林田将明, 永井 誠, 池田正史: 可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡 (POST18) による CI $^3P_1-^3P_0$ 輝線銀河面サーベイ (I), 日本天文学会 (名古屋大学, 2004 年 3 月 22-24 日)
- [17] 亀谷和久, 岡 朋治, 山本 智: ρ Oph 領域における中性炭素原子の広域分布とその起源, 日本天文学会 (名古屋大学, 2004 年 3 月)
- [18] 金 銀淑, 山本 智: シクロプロピルラジカルのフーリエ変換ミリ波分光, 分子構造総合討論会, 4Pp045 (神戸大学, 2003 年 9 月)
- [19] 酒井剛, 岡朋治, 山本智: AFGL 333 領域にある活発な星形成を伴わない大質量分子雲コアの性質, 日本天文学会 (愛媛大学, 2003 年 9 月)
- [20] 酒井 剛, 岡 朋治, 山口伸行, ASTE チーム: ASTE によるふたご座 S254-S257 領域の $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 観測, 日本天文学会
- [21] 久保井信行, 岡 朋治, 山本 智, 相川祐理: 光解離領域の CI 存在量に対する時間依存の効果, 日本天文学会 (愛媛大学, 2003 年 9 月)
- [22] 久保井信行, 岡 朋治, 山本 智: [CI] $^3P_1-^3P_0$ 輝線による暗黒星雲 B18 のマッピング観測, 日本天文学会 (名古屋大学, 2004 年 3 月)

- [23] 田中邦彦, 岡 朋治, 山本 智: IC1396 領域の Bright Rimmed Globule における中性炭素原子の分布, 日本天文学会 (名古屋大学, 2004 年 3 月)
- [24] 新保 謙, 富士山頂サブミリ波望遠鏡グループ: 2002 年度富士山頂サブミリ波望遠鏡活動報告, NRO ユーザーズミーティング (野辺山宇宙電波観測所, 2003 年 7 月)
- [25] 新保 謙: Nb 拡散冷却型 HEB ミクサの開発, ミリ波・サブミリ波受信技術に関するワークショップ (名古屋大学, 2004 年 3 月)
- [26] 新保 謙, 佐藤高之, 山本 智, 岡 朋治, 前澤裕之, 野口 卓: Nb 拡散冷却型 HEB ミクサの開発, 日本天文学会 (名古屋大学, 2004 年 3 月)
- [27] 佐藤高之, 新保謙, 岡朋治, 山本智, 前澤裕之, 野口 卓: NbTiN 薄膜を用いた HEB ミクサの開発, 日本天文学会 (名古屋大学, 2004 年 3 月)
- [28] 永井 誠: HEB ミクサ (1.5THz) 搭載用デュワーの製作, ミリ波・サブミリ波受信技術に関するワークショップ (名古屋大学, 2004 年 3 月)
- [29] 永井 誠, 岡 朋治, 山本 智: [CI] 輝線による M16 分子雲の構造, 日本天文学会 (名古屋大学, 2004 年 3 月)
- [30] 伊藤哲也, 岡 朋治, 山本 智: 富士山頂サブミリ波望遠鏡による暗黒星雲 B335 の CI マッピング, 日本天文学会 (愛媛大学, 2003 年 9 月) (愛媛大学, 2003 年 9 月)

招待講演

- [31] 山本 智: 宇宙で星はどのように生まれるのか?—富士山サブミリ波望遠鏡で探る星のゆりかご、第 18 回「大学と科学」公開シンポジウム、ビッグバン—宇宙の誕生と未来— (有楽町マリオン, 2004 年 2 月)
- [32] 山本 智: テラヘルツ・ヘテロダインセンシングの開拓による銀河系星間雲の形成と進化の研究, 大研究会「サブミリ波でみる宇宙」(国立天文台, 2003 年 12 月)
- [33] 岡 朋治: 銀河系中心領域の分子ガス, 21 世紀 COE ワークショップ「 H_3^+ をめぐる星間化学」(名古屋大学, 2003 年 11 月 13 日)
- [34] 岡 朋治: 可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡, 大研究会「サブミリ波でみる宇宙」(国立天文台, 2003 年 12 月 26-27 日)

5 暗黒物質観測

——神岡鉱山における暗黒物質探索—— (蓑輪・井上)

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

5.1 暗黒物質実験

数多くの観測結果から、我々の宇宙、銀河に存在する物質の大部分を暗黒物質が占めることが確実になっている。Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) として分類される neutralino という素粒子は、超対称性理論から予言され、宇宙物理学及び素粒子物理学両方の観点から、暗黒物質の候補として最も有力であり、我々の研究室ではこの粒子の直接検出を目的とした検出器の開発を行い、それを用いて実際に neutralino 暗黒物質探索を行っている。

5.1.1 神岡地下実験室における暗黒物質探索

これまで、我々が開発した極低温検出器（ボロメータ）を使って、宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設で暗黒物質観測を行ってきた。検出には、スピンの依存した相互作用に大きな断面積をもつとされている ^{19}F を含む結晶であるフッ化リチウム (LiF) 及びフッ化ナトリウム (NaF) をボロメータの吸収体として使用している。この測定から、ニュートラリーノと陽子および中性子とのスピンの依存したカップリング (a_p, a_n) に対して、強い制限を与えている。この結果は、スピンの依存した散乱断面積に対して最も厳しい制限をつけている NaI 検出器を用いた英国の UKDMC 実験 から許されていた a_p - a_n 平面の領域の一部を新しく排除するものである。この UKDMC 実験は、同じく NaI 検出器を用いてスピンの依存しない相互作用をする暗黒物質の直接検出に成功したという報告を行った イタリアの DAMA 実験とほぼ同程度の感度を有している。

我々はまた、暗黒物質発見に向けた新たな検出技術として、方向感度を有する暗黒物質検出器の開発を始めている。暗黒物質は銀河ハローにも付随していると考えられているが、地球は銀河の回転運動として 220km/s で動いている。このことに起因した地球上での“暗黒物質の風”に感度を持った検出器の開発を行っている。暗黒物質は検出器中の原子核の反跳によってとらえられる。我々は原子核反跳によって発光量が変化する有機単結晶シンチレーターに着

目し、これまでに、スチルベンシンチレーターの原子核反跳に対する応答を詳細に測定してきた。

本年度は実際に地下 2700m.w.e. の低バックグラウンド環境である神岡地下実験室で、スチルベンシンチレーター 116g を用いてパイロット実験を行った。

セットアップの最適化

スチルベンによる暗黒物質探索用に低バックグラウンド仕様の光電子増倍管を開発してきたが、現状ではダイノード構造部のセラミックや、ブリーダー回路とのフィードスルーに依然放射性不純物が多く含まれることが分かった。そこでスチルベン結晶と光電子増倍管の間に低バックグラウンド仕様の NaI(Tl) シンチレーターを導入し Active Shield として動作させ、実際にバックグラウンドの減少を確認した。また、光電子増倍管の暗パルスが問題になることが判明したため、光電子増倍管を冷却しその影響を抑えるためのシステムを導入した。その他、神岡鉱山特有の高濃度ラドンガスを通さない特殊シートで検出器全体をを密封するなどの対策を行った。

暗黒物質探索実験

暗黒物質の風は地軸から約 42 度の方から吹いている。したがって、北緯 36 度の神岡では結晶軸を南北に向け水平に置けば、地球の自転により結晶軸と風向きの角度が一日で約 78 度変化し、スチルベンの発光量もそれに合わせて変化するはずである。上記のように現状で最適化した検出器を厳重に遮蔽した放射線シールドの中に設置し、 2003 年 11 月より 12 月までスチルベンの発光量の観測を行った。

この観測によって、発光量の変化をとらえることはできなかったが、陽子と neutralino のスピンの依存しない相互作用に対する断面積 $\sigma_{\chi-p}^{\text{SI}}$ に対する上限値を得た (図 5.1 a)。 50GeV の質量をもつ neutralino に対して $\sigma_{\chi-p}^{\text{SI}} = 7.4\text{pb}$ という上限値である。この結果は、暗黒物質の方向に関する特徴から求められた最初の制限である。 116g という小質量で、バックグラウンドレートがまだ高いため、これまで行われた実験から得られている制限には及ばないものの、方向感度が暗黒物質を探索する上で有効であることを実証することができた。

5.1.2 中性子 flux 測定法の開発

暗黒物質探索の上でのバックグラウンドのうち、特に原子核反跳をおこす中性子は非常に問題になる。しかし、神岡地下暗黒物質実験室の環境中性子はこれまでに詳細に測定されていない。スチルベンはシンチレーション発光の時定数が dE/dx の大きい粒子ほど大きく、非常に優れた中性子- γ 弁別能力を持っている。中性子によるスチルベン発光効率の詳細に測定してあるので、環境中性子のエネルギーを再構成できると期待される。そこで暗黒物質探索実験とともにスチルベンを用いて環境中性子を測定する手法の評価を行っている。

今回初めてスチルベンシンチレーターを用いて、

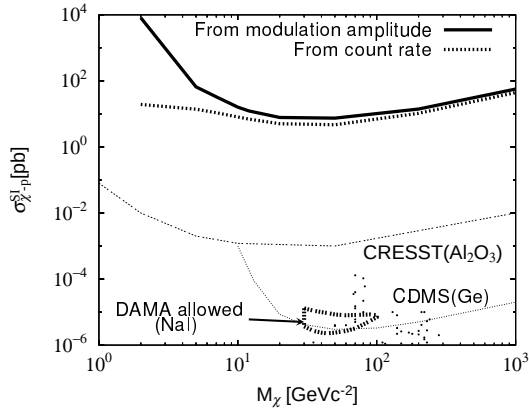


図 5.1 a: 陽子と neutralino のスピンの依存しない相互作用に対する断面積 $\sigma_{\chi-p}^{SI}$ に対する上限値。太線が本実験により暗黒物質の方向に関する特徴から求められた制限。

神岡地下暗黒物質実験室の中性子バックグラウンドを測定した。中性子のエネルギースペクトルを $1/E$ とする近似を用い、測定した反跳エネルギースペクトルに対して簡易 unfolding を行ない、中性子 flux として $(6.159 \pm 0.835) \times 10^{-6} [\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}]$ が得られた。同じ神岡鉱山内ではあるが、暗黒物質実験室からはかなり離れた現在のカムランド実験装置のある地点で、われわれは 1994 年に ^3He カウンターにより中性子 flux を測定している。今回得られた値は、この過去の測定値と consistent であった。

5.1.3 有機シンチレーターを用いた新しい暗黒物質検出器開発のための研究

暗黒物質の検出には「暗黒物質の風」を捕らえるための方向感度のある検出器が有効である。スチルベンシンチレーターに変わる検出器として、プラスチックシンチレーターの磁場中でシンチレーション効率が上昇するという性質に着目した方向感度のある暗黒物質検出器の可能性を探った。およそ 1T の磁場をプラスチックシンチレーターにかけると γ 線に対するシンチレーション効率が約 3 % 上昇することが確認された。同様の測定をスチルベンシンチレーターについて行ったところ約 4 % の上昇が見られ、プラスチックシンチレーターよりも大きな変化が見られた。

また、暗黒物質とのスピンの依存する相互作用で大きな断面積を持つとされる ^{19}F を含む検出器として、フッ素化合物を混合した液体シンチレーターの利用可能性を確かめた。フッ素化合物として有機溶媒と混合可能な液体であるハイドロフルオロエーテル $\text{C}_4\text{F}_9\text{OC}_2\text{H}_5$ を用いた。これを液体シンチレーターに用いられる一般的な溶媒 pseudocumene 及び溶質 DPO と混合し、混合する割合を変えながらガンマ線

を当てて発光量を観測した (図 5.1 b)。 $\text{C}_4\text{F}_9\text{OC}_2\text{H}_5$ の割合を増やすにしたがって発光量の低下が見られ、暗黒物質検出実験で必要と考えられるアントラセンの 50 % 程度の発光量を得るためには $\text{C}_4\text{F}_9\text{OC}_2\text{H}_5$ の割合を 20 % 以下にする必要があることが分かった。

現在、スチルベンよりも方向依存性が強いとされるナフタレンシンチレーター及び、 ^{19}F を含むオクタフルオロナフタレンシンチレーターの研究を進めている。

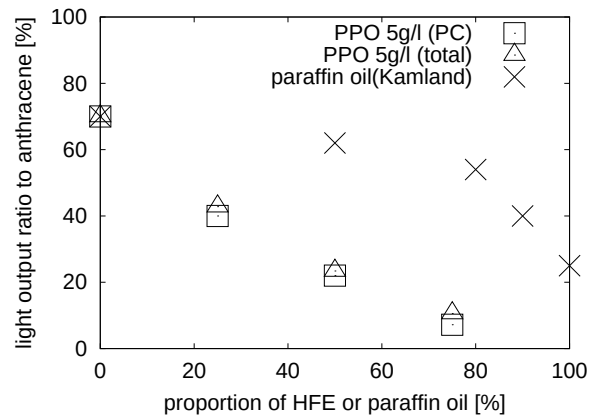


図 5.1 b: $\text{C}_4\text{F}_9\text{OC}_2\text{H}_5$ の割合を変えたときの液体シンチレーターの発光量。アントラセンの発光量に対する割合で表した。比較としてカムランド実験で用いられている paraffin oil を混合した場合の発光量を併記。

5.2 アクシオンヘリオスコープ実験

強い相互作用の理論である量子色力学 (QCD) には実験事実と反し CP 対称性を破ってしまう問題があることが知られている。アクシオン (axion) 模型はこの矛盾を解消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もった中性擬スカラーボソンであり、物質や電磁場とはほとんど相互作用しないと考えられている。予想される質量範囲はまだ広いが、このうち 1eV 近辺では太陽がよいアクシオン源となることが知られている。

我々は太陽由来の太陽アクシオンを捕らえるため、高エネルギー加速器研究機構の山本明教授と共同で中心磁場 4T、長さ 2.3m の超伝導磁石と PIN フォトダイオード X 線検出器をそなえ、仰角 $\pm 28^\circ$ でほぼ全方位角について自由に天体を追尾可能なアクシオンヘリオスコープを開発した。これまでの観測ではアクシオンによると考えられる有意な事象は捕らえられていないが、これからアクシオンと光子の結

合定数に制限がついて、0.27 eV 以下のアクシオンに対して $g_{a\gamma\gamma} < 6.8\text{--}10.9 \times 10^{-10} \text{GeV}^{-1}$ (質量依存) という上限値を得た。

2002 年度末からは装置を理学部 1 号館地下に移設して組立て・再立上げを行っている。並行して、運転に人手を要するため長時間観測に向かなかった問題を解決するため全自動化の開発を進めている。また、さらに重い 1eV までの太陽アクシオンを探すために必要となる高密度の低温ヘリウムガスを制御するための開発を進めている。

<報文>

(原著論文)

- [1] T. Namba, Y. Inoue, S. Moriyama, M. Minowa: An x-ray detector using PIN photodiodes for the axion helioscope, astro-ph/0109041, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 489 (2002) 224-229.
- [2] Hiroyuki Sekiya, Makoto Minowa, Yuki Shimizu, Yoshizumi Inoue, Wataru Suganuma: Measurement of Anisotropic Scintillation Efficiency for Carbon Recoils in a Stilbene Crystal for Dark Matter Detection, Physics Letters B571 (2003) 132-138.
- [3] A. Takeda, M. Minowa, K. Miuchi, H. Sekiya, Y. Shimizu, Y. Inoue, W. Ootani, Y. Ootuka: Limits on the WIMP-Nucleon Coupling Coefficients from Dark Matter Search Experiment with NaF Bolometer, astro-ph/0306365, Physics Letters B 572 (2003) 145-151.

(会議抄録)

- [4] M. Minowa: Axion Telescope Experiment, Proceedings of the 5th RESCEU International Symposium, New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, 2002, 87-96.
- [5] H. Sekiya, M. Minowa, K. Miuchi, A. Takeda, Y. Shimizu, W. Suganuma, Y. Inoue: The Tokyo dark matter experiment, Proceedings of the 1st Yamada Symposium on Neutrinos and Dark Matter in Nuclear Physics, (Yamada Science Foundation, 2003) XIII-3-10.

(学位論文)

- [6] 関谷洋之: 原子核反跳に対するスチルベン結晶の非等方的発光応答の実験的研究および方向有感型暗黒物質探索への応用、Experimental Study on Anisotropic Scintillation Response of a Stilbene Crystal to Nuclear Recoils and its Application to the Direction Sensitive Dark Matter Search、平成 16 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。
- [7] 菅沼 亘: 神岡地下暗黒物質実験室における中性子バックグラウンドの測定、平成 16 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)

- [8] H. Sekiya, M. Minowa, K. Miuchi, A. Takeda, Y. Shimizu, W. Suganuma, Y. Inoue: The Tokyo dark matter experiment, The 1st Yamada Symposium on Neutrinos and Dark Matter in Nuclear Physics (NDM03), Nara, Japan, June 9-14, 2003.
- [9] Y. Inoue, H. Sekiya, M. Minowa, K. Miuchi, A. Takeda, Y. Shimizu, W. Suganuma: Current status of Tokyo dark matter experiment, International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2003 (OMEG-03), Wako, Saitama, Japan, 17 November 2003.
- [10] H. Sekiya, M. Minowa, Y. Shimizu, W. Suganuma, Y. Inoue: Dark Matter search with Direction Sensitive Scintillators, The 5th Workshop on Neutrino Oscillations and their Origin (NOON2004), Tokyo, Japan, February 11-15, 2004.

(国内会議)

一般講演

- [11] 関谷洋之: 神岡地下実験室における暗黒物質探索実験、RESCEU 研究会 宇宙における時空・物質・構造の進化、千葉県鴨川市、2003 年 9 月 2 日。
- [12] 関谷洋之: スチルベンシンチレーターによる暗黒物質探索実験、日本物理学会 2003 年秋季大会、宮崎ワールドコンベンションセンター 2003 年 9 月 11 日。
- [13] 清水雄輝: 磁場中でのシンチレーション検出器の特性変化、日本物理学会 2003 年秋季大会、宮崎ワールドコンベンションセンター 2003 年 9 月 11 日。
- [14] 菅沼 亘: 神岡暗黒物質実験室におけるバックグラウンド、日本物理学会 2003 年秋季大会、宮崎ワールドコンベンションセンター 2003 年 9 月 11 日。
- [15] 清水雄輝: 暗黒物質の探索、平成 15 年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究成果発表会、東京大学宇宙線研究所 柏キャンパス 2003 年 12 月 19 日。
- [16] 蓑輪 眞: ダークマターの正体は何か、第 18 回「大学と科学」公開シンポジウム『ビッグバン宇宙の誕生と未来』、有楽町朝日ホール 2004 年 2 月 1 日。
- [17] 関谷洋之: Dark Matter Search with Stilbene Scintillators、第 10 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 2004 年 2 月 16 日。
- [18] 清水雄輝: 磁場によるシンチレーターの発光効率の変化、第 10 回粒子物理国際センターシンポジウム、長野県白馬村 2004 年 2 月 19 日。
- [19] 関谷洋之: スチルベンシンチレーターによる暗黒物質探索、日本物理学会第 59 回年次大会、九州大学 2004 年 3 月 29 日。
- [20] 清水雄輝: 有機フッ素化合物を含むシンチレーターを用いた暗黒物質検出器の開発、日本物理学会 第 59 回年次大会、九州大学箱崎キャンパス 2004 年 3 月 29 日。

(セミナー)

- [21] 蓑輪 眞: 未発見素粒子を宇宙で探すための検出器、2003年度 天文・天体物理若手の会 夏の学校、岩手県雫石町 2003 年 7 月 30 日.
- [22] 蓑輪 眞: 暗黒物質の探し方、第 5 回「高エネルギー物理学と宇宙像」セミナー、KEK 国際交流センター 2004 年 4 月 6 日.

6 銀河と宇宙構造の研究

——銀河と宇宙構造の研究—— (岡村・土居・嶋作ら)

6.1 銀河・銀河団の観測的研究

スローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS) に基づく研究 (岡村, 嶋作, 田中)

SDSS Collaboration (日本グループは Japan Participation Group: JPG) 及び後藤友嗣 (物理) との共同研究. 2003 年 7 月に第一次データ公開を行った. 大規模なサンプルを用いた銀河の系統的性質の研究, 近傍銀河の光度関数, 遠方のクエーサー探査, 環境が銀河の性質に及ぼす影響などの研究を行った.

- 銀河団銀河の色・形態進化 (田中, 岡村, 後藤友嗣 (物理), 八木雅文 (国立天文台) らとの共同研究. SDSS のデータから, Cut & Enhance 法によって検出された 204 個の銀河団 ($0.02 < z < 0.30$) に属する銀河の色と形態の時間変化を, 銀河団中心からの距離の関数として調べた. その結果, 銀河の色進化は $z \sim 0.2$ で終わっているが, 形態の進化は $z \sim 0$ まで続いていることがわかった. この結果は, 色進化のタイムスケールは形態進化のタイムスケールよりも短いと解釈することができる.
- 銀河団銀河の色・形態進化 (田中, 岡村, 嶋作, 後藤友嗣 (物理) との共同研究. SDSS のデータから $0.030 < z < 0.065$ にある $M_r^* + 2$ よりも明るい銀河の volume-limited サンプルを構築し, 銀河の星形成と形態の環境依存性を銀河の明るさに注目して調べた. その結果, $M_r^* + 1$ よりも明るい銀河は局所銀河密度に対してスムーズな依存性を示すが, $M_r^* + 1 < M_r < M_r^* + 2$ の銀河は $2.5 \text{ galaxies } h_{75}^2 \text{ Mpc}^{-2}$ の局所銀河密度を境に, 星形成と形態のいずれもが顕著な変化を示すことがわかった. これにより, 銀河の環境依存性とその明るさによって大きく異なることが初めて示された. また, 銀河の性質が銀河団のリッチネスにどう依存するかも調べた. その結果, 非常に小さな銀河群 (速度分散が 200 km/s 程度) でも星形成・形態ともにフィールド銀河と大きく異なることがわかった. これらの結果によって, 銀河の性質を変えるとされる環境効果メカニズムや銀河進化に大きな制限を付けることができた.

すばる望遠鏡を用いた高赤方偏移宇宙の観測 (岡村, 嶋作, 大内, 斎藤, 田中, 吉田)

- 赤方偏移 4–5 における Lyman Break 銀河の統計解析 (大内, 嶋作, 岡村)
Suprime-Cam チームとの共同研究. すばる主焦点カメラ (Suprime-Cam) で取られた Subaru Deep Field および Subaru/XMM-Newton Deep Field の広視野 (計 1200 平方分) の多色撮像データを元に, 赤方偏移 4–5 における Lyman Break 銀河 (LBGs) の統計解析を行った. 主な結果を 2 つ挙げる. 1 つは, 明るい LBGs の個数密度が赤方偏移が 4 から 5 に向かって減少していることである. もう 1 つは, L^* より明るい LBGs のクラスタリング強度が, 赤方偏移が 3 から 5 の間ではほぼ一定の高い値をとることである. 前者は, 巨大な銀河が $z \sim 5$ 辺りから次第に形成されて来たことを意味し, 後者は, 早期宇宙では銀河の空間分布が暗黒物質に対して強くバイアスしていることを意味する. これらの結果は, Cold Dark Matter モデルによる銀河形成理論と定性的に合っている. これらの結果を含め, 解析結果は, 現在投稿中の論文 (Subaru Deep Survey V と VI) にまとめられている.
- Subaru/XMM-Newton Deep Field における $z = 3-6$ の大規模構造探査 (大内, 嶋作, 岡村, 吉田)
国立天文台との共同研究. Subaru/XMM-Newton Deep Field において, すばる主焦点カメラ (Suprime-Cam) で狭帯域撮像を行い, $z = 3.1 \pm 0.03, 3.7 \pm 0.03$, および 5.7 ± 0.05 の Lyman α 輝線銀河 (LAEs) が作る大規模構造を調べた. $1 \text{ 平方度の領域 (差し渡し } 100 \text{ Mpc} \times 100 \text{ Mpc 以上に相当) に, 各赤方偏移において } 333 \text{ 個, } 176 \text{ 個, および } 236 \text{ 個の LAEs を検出し, 密度分布図を描いた. その結果, LAEs の密度分布にはムラが多く, } 50 \text{ Mpc を超えるようなウォール構造がある一方で, } 数十 \text{ Mpc 程度のボイドも見つかった. } z = 5.7 \pm 0.05 \text{ の LAEs の } 3 \text{ つの高密度領域に対して分光フォローアップ観測を行ったところ, このうち } 2 \text{ つの領域で } \delta\rho/\langle\rho\rangle \sim 40 \text{ と } 50 \text{ の密度超過 (3 次元) が見られた. これら } 2 \text{ 領域は } z = 5.7 \text{ の原始銀河団の可能性がある.}$
- Subaru Deep Field における $z = 4.79$ 銀河の空間分布 (嶋作, 大内, 岡村)
国立天文台, 東北大, 京都大チームとの共同研究. すばる主焦点カメラ (Suprime-Cam) を用いて Subaru Deep Field の $25' \times 45'$ の領域を NB704 という狭帯域フィルターで撮像し, $z = 4.79 \pm 0.04$ にある Lyman α 輝線銀河 (LAEs) の候補を 51 個検出した. この天域は, $z = 4.86 \pm 0.03$ に LAEs の大規模構造が見つかっている (2002 年度の年次報告を参照). 今回探査した $z = 4.79 \pm 0.04$ は, $z = 4.86 \pm 0.03$ の大規模構造の約 40 Mpc 手前側に当たる. $z = 4.79 \pm 0.04$ の LAEs の天球分布を調べたとこ

ろ、大規模構造は存在せず、全体的なクラスターリングもごく弱いことがわかった。この結果は、LAEs の空間分布が 50 Mpc のスケールで大きく揺らいでいることを示すものである。

- 宇宙初期における銀河とダークハローとの関係 (大内, 嶋作)
浜名 (IAP, France), 加用, 須藤 (物理) との共同研究。現在最も有力な銀河形成モデルである Cold Dark Matter モデルにおいては、銀河とダークハローの対応関係を明らかにすることは、ダークマターの中で銀河がどのように形成・進化したかを解明するための重要な課題である。我々は、Subaru Deep Field で見つかった 2 つの星形成銀河、すなわち Lyman Break 銀河 (LBGs) と Lyman α 輝線銀河 (LAEs) の空間分布を、理論の予想するダークハローの空間分布と比較した。LBGs と LAEs は宇宙初期に見られる代表的な銀河だが、お互いの関係はよく分かっていない。解析の結果、LBGs はダークハローとほぼ一対一の対応があり、LBGs の属するダークハローは $10^{11} M_{\odot}$ 程度の質量であること、一方で、LAEs はダークハローとは単純な対応関係にないらしいことが分かった。この結果は、LBGs と LAEs が別の種族であることを示唆する。
- $z \sim 3-5$ の広がった Lyman α 輝線天体の探査 (斎藤, 嶋作, 大内, 岡村)
Subaru/XMM-Newton Deep Survey プロジェクト (PI: ハワイ観測所の関口), 中間帯域バンドサーベイプロジェクト (PI: 総研大の小平) との共同研究。2002 年に撮られた Subaru/XMM-Newton Deep Field の 7 枚の中間帯域バンドのデータを解析して、広がった Lyman α 輝線を持つ $z \sim 3-5$ の天体の候補を 43 個発見した。そのうち 13 天体を 2003 年 11 月にすばる望遠鏡の FOCAS で分光観測した結果、12 個は確かに $z \sim 3-5$ の Lyman α 輝線天体であることを確認した。これらの天体は、十分な星形成が始まっていない原始的な銀河である可能性がある。その場合は、Lyman α 輝線は、原始銀河のガスが冷却する過程で放射されていることになる。
- Subaru Deep Field プロジェクトの推進 (嶋作, 大内, 岡村, 吉田)
柏川伸成 (国立天文台) 他, 国立天文台, 東北大, 京都大チームとの共同研究。宇宙初期の銀河の性質を調べるために、我々はすばる望遠鏡の 3 つの観測装置 (Suprime-Cam, FOCAS, CISCO) を使って、Subaru Deep Field を 2002 年度から集中的に観測している。これはハワイ観測所が立ち上げた「観測所プロジェクト」の一つである。2003 年度は、Suprime-Cam による画像の撮り足し、FOCAS による新たな天体の分光観測、および、CISCO による近赤外撮像観測を行なった。2003 年度で可視の撮像観測は完了し、5 つの広帯域フィルター (B, V, R, i, z) と 2 つの狭帯域フィルター (NB816, NB921)

の画像が揃った。この撮像データは、観測天域の広さ、データの深さ、および観測バンドの多さの三者がいずれも優れているという点で他に類を見ない。分光観測では、 $z \simeq 6.5$ の Lyman α 輝線銀河を新たに 7 個同定するなど、大きな成果を上げた。これらのデータを用いて、赤方偏移が 4 以上の銀河の性質を詳細に調べる予定である。

- Subaru/XMM-Newton Deep Field プロジェクトの推進 (嶋作, 大内, 斎藤)
関口和寛 (ハワイ観測所) 他との共同研究。このプロジェクトも、ハワイ観測所が立ち上げた「観測所プロジェクト」の一つであり、国立天文台などから多数の研究者が参加している。2003 年度は、Suprime-Cam による画像の撮り足し、FOCAS による分光観測などを行なった。Suprime-Cam のデータは 5 視野分、合計 1.3 平方度に及ぶ。他の望遠鏡を用いた X 線から電波までの多波長での観測も進行中である。近傍から宇宙初期までのさまざまな天体の研究が計画されている。
- 銀河団銀河の進化 (田中, 岡村, 嶋作)
児玉忠恭 (国立天文台) ほか PISCES group との共同研究。すばる望遠鏡を用いて $0.4 < z < 1.3$ の銀河団を広視野・深撮像で調べるプロジェクト (PISCES) で、CL1324 ($z = 0.76$), MS1054 ($z = 0.83$), CL1604 ($z = 0.90$), CL0016 ($z = 0.54$), MS2054 ($z = 0.58$) と RXJ0153 ($z = 0.83$) を観測した。最後の 3 つの銀河団は非常によい条件で観測できた。CL0016 と RXJ0153 については詳細な解析をし、銀河団を取り巻く大規模構造を発見した。特に RXJ0153 については、銀河の色の環境依存性、環境別光度関数、弱い重力レンズ効果を詳細に調べた。その結果、 $z = 0.83$ でも、我々の SDSS による近傍宇宙での解析結果と同様に、銀河の星形成が大きく変わる critical density があることが確かめられた。特に、 $M^* + 1$ よりも暗い銀河で顕著である点は興味深い。また、光度関数を赤い銀河と青い銀河に分けて調べたところ、光度関数の形そのものは環境にあまり強く依存していないことがわかった。環境に一番敏感に反応するのは明るい銀河と青い銀河の割合である。また、弱い重力レンズ効果を使って銀河団の質量分布を調べたところ、エラーの範囲内で銀河団領域では M/L が一定であることがわかった。

おとめ座銀河団中の銀河に属さない惑星状星雲 (PNe) の探査 (岡村, 嶋作, 大内)

安田直樹 (宇宙線研究所) ら Suprime-Cam チーム, K. C. Freeman, M. Arnaboldi, O. Gerhard らとの共同研究。すばるの主焦点カメラ (Suprime-Cam) を用いて、かつてない広視野で、おとめ座銀河団中で銀河に属さない PNe を探査し、銀河間空間に散在する星

の起源を明らかにすると同時に、そのバリオン密度への寄与を求めようとする研究である。昨年度に、銀河団の中心付近の視野を対象にした観測からいくつかの興味ある結果が得られた。今年度は中心から離れた二つの視野に対して観測を完了した。現在データを解析中である。

かみのけ座銀河団の研究 (岡村)

小宮山, 柏川, 八木 (国立天文台) らとの共同研究。スペクトルにいわゆるポストスターバーストといわれる特徴を持つ銀河が、かみのけ座銀河団では暗い銀河に割合が多く見られることがわかった。さらに、X線による銀河間物質の観測との比較から、その特徴を最も強く示す銀河は銀河団に落ち込んでいる二つのサブグループの縁にあることもわかった。これらの発見は、高温の銀河間物質との相互作用が星生成活動を止める原因となっていることを示唆する。

局部銀河群中の矮小銀河における微かな星生成活動の検出 (岡村, 嶋作, 大内)

小宮山, 八木 (国立天文台) らとの共同研究。すばる望遠鏡の Suprime-Cam で、矮小銀河 NGC6822 の2色 (B , R) 撮像を行った。青い星の空間分布は、可視光で見る銀河本体の外側に広く広がっており、中性水素ガスの分布にきれいに重なっていることがわかった。この銀河の北西に接する中性水素ガス雲との相互作用によってこの広がった星々が形成されたと推測される。NGC 6822 はいわゆる低表面輝度銀河の中で我々に最も近いものかもしれない。

6.2 教育・広報普及など

SDSS Skyserver の整備 (岡村)

安田直樹 (宇宙線研究所), Alex Szalay (JHU) ら SDSS Collaboration との共同研究。Sloan Digital Sky Survey (SDSS) は銀河およびクエーサーの撮像分光サーベイであり、1998年9月から観測が行われている。SkyServer は SDSS のデータを公開するサーバー群のひとつであり、研究者に対するサービスと同時に科学的な教育にも利用できるような内容になっている。我々はこの SkyServer のミラーサイトを国立天文台に構築し、日本語でも利用できるようにコンテンツを翻訳整備する作業を継続している。

SkyServer では、単に星空を楽しみたい人から、天文学の研究をしたい人まで幅広い動機とバックグラウンドを持つ多くの方に使ってもらえるよう、さまざまな道具が用意されている。とくに、学校教育のために、色々なテーマについての演習が SDSS のデータを使って行えるよう工夫されている。一昔前は専門の研究者でも入手できなかったようなデータを使って授業やセミナーができるのが、他の公開データに

見られない特長である。

(原著論文)

- [1] Abazajian, K. et al. (189 authors including Doi, M., Okamura, S., Shimasaku, K.) 2003, “The First Data Release of the Sloan Digital Sky Survey”, *A. J.*, **126**, 2081–2086.
- [2] Arnaboldi, M. et al. (20 authors including Okamura, S., Doi, M., Ouchi, M., Shimasaku, K.) 2003, “Narrowband Imaging in [O III] and $H\alpha$ to Search for Intracluster Planetary Nebulae in the Virgo Cluster”, *A. J.*, **125**, 514–524.
- [3] Bahcall, N. A. et al. (20 authors including Goto, T.) 2003, “The Cluster Mass Function from Early Sloan Digital Sky Survey Data: Cosmological Implications”, 2003, *Ap. J.*, **585**, 182–190.
- [4] Bahcall, N. A. et al. (16 authors including Goto, T.) 2003, “A Merged Catalog of Clusters of Galaxies from Early Sloan Digital Sky Survey Data”, 2003, *Ap. J. Suppl.*, **148**, 243–274.
- [5] Bahcall, N. A. et al. (16 authors including Goto, T.) 2003, “Catalog of clusters of galaxies from SDSS (Bahcall+, 2003)”, in *VizieR Online Data Catalog: J/ApJS/148/243*, (originally published in 2003, *Ap. J. Suppl.*, **148**, 243).
- [6] Ball, N. M., Loveday, J., Fukugita, M., Nakamura, O., Okamura, S., Brinkmann, J., & Brunner, R. J. 2004, “Galaxy types in the Sloan Digital Sky Survey using supervised artificial neural networks”, *M. N. R. A. S.*, **348**, 1038–1046.
- [7] Bernardi, M. et al. (31 authors including Doi, M., Okamura, S.) 2003, “Early-Type Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey. I. The Sample”, *A. J.*, **125**, 1817–1848.
- [8] Bernardi, M. et al. (31 authors including Doi, M., Okamura, S.) 2003, “Early-Type Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey. II. Correlations between Observables”, *A. J.*, **125**, 1849–1865.
- [9] Bernardi, M. et al. (31 authors including Doi, M., Okamura, S.) 2003, “Early-Type Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey. III. The Fundamental Plane”, *A. J.*, **125**, 1866–1881.
- [10] Bernardi, M. et al. (29 authors including Doi, M., Okamura, S.) 2003, “Early-Type Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey. IV. Colors and Chemical Evolution”, *A. J.*, **125**, 1882–1896.
- [11] Blanton, M. R., et al. (20 authors including Okamura, S., Shimasaku, K.) 2003, “The Galaxy Luminosity Function and Luminosity Density at Redshift $z = 0.1$ ”, *Ap. J.*, **592**, 819–838.
- [12] Blanton, M. R., et al. (21 authors including Okamura, S., Shimasaku, K.) 2003, “The Broadband Optical Properties of Galaxies with Redshifts $0.02 < z < 0.22$ ”, *Ap. J.*, **594**, 186–207.

- [13] Capak, et al. (13 authors including Okamura, S.) 2004, “A Deep Wide-Field, Optical, and Near-Infrared Catalog of a Large Area around the Hubble Deep Field North”, *A. J.*, **127**, 180–198.
- [14] Castander, F. J. et al. (14 authors including Goto, T.) 2003, “Galaxy Star Formation as a function of Environment”, in *Science with the GTC* (eds. Jose Miguel Rodriguez Espinosa, Francisco Garzon Lopez, and Veronica Melo Martinn) Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica (Serie de Conferencias) Vol. 16, 229–232.
- [15] Fan, X. et al. (31 authors including Okamura, S.) 2003, “A Survey of $z > 5.7$ Quasars in the Sloan Digital Sky Survey. II. Discovery of Three Additional Quasars at $z > 6$ ”, *A. J.*, **125**, 1649–1659.
- [16] Fujita, S. S. et al. (28 authors including Okamura, S., Ouchi, M., Shimasaku, K., Doi, M.) 2003, “A Search for Ly α Emitters at Redshift 3.7”, *A. J.*, **125**, 13–31.
- [17] Fujita, S. S. et al. (11 authors including Okamura, S.) 2003, “The H α Luminosity Function and Star Formation Rate at $z \sim 0.24$ Based on Subaru Deep Imaging Data”, *Ap. J.*, **586**, L115–L118.
- [18] Gerhard, O., Arnaboldi, M., Freeman, K. C., & Okamura, S. 2003, “Isolated Star Formation in the Virgo Cluster”, in *Star Formation at High Angular Resolution*, International Astronomical Union. Symposium 221, 65.
- [19] Gomez, P. L. et al. (17 authors including Goto, T.) 2003, “Galaxy Star Formation as a Function of Environment in the Early Data Release of the Sloan Digital Sky Survey”, *Ap. J.*, **584**, 210–227.
- [20] Goto, T., Yamauchi, C., Fujita, Y., Okamura, S., Sekiguchi, M., Smail, I., Bernardi, M., & Gomez, P. L. 2003, “The morphology-density relation in the Sloan Digital Sky Survey”, *M. N. R. A. S.*, **346**, 601–614.
- [21] Goto, T. et al. (17 authors including Okamura, S.) 2003, “Morphological Butcher–Oemler Effect in the SDSS “Cut and Enhance” Galaxy Cluster Catalog”, *Publ. Astr. Soc. Japan*, **55**, 739–755.
- [22] Goto, T. et al. (18 authors including Okamura, S.) 2003, “The Environment of Passive Spiral Galaxies in the SDSS”, *Publ. Astr. Soc. Japan*, **55**, 757–770.
- [23] Goto, T. et al. (23 authors including Okamura, S.) 2003, “H δ -Strong Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey: I. The Catalog”, *Publ. Astr. Soc. Japan*, **55**, 771–787.
- [24] Goto, T., Yagi, M., Tanaka, M., & Okamura, S. 2004, “Evolution of the colour-radius and morphology-radius relations in SDSS galaxy clusters”, *M. N. R. A. S.*, **348**, 515–518.
- [25] Goto, T. et al. 2004, “The Environmental Effects on Galaxy Evolution Based on the SDSS Data”, in *Clusters of Galaxies: Probes of Cosmological Structure and Galaxy Evolution*, the Carnegie Observatories Centennial Symposia, Carnegie Observatories Astrophysics Series, eds. Mulchaey, J. S., Dressler, A., Oemler, A. (Pasadena: Carnegie Observatories), <http://www.ociw.edu/ociw/symposia/series/symposium3/proceedings3.html>
- [26] Hamana, T. et al. (16 authors including Shimasaku, K., Doi, M., Okamura, S., Ouchi, M.) 2003, “Cosmic Shear Statistics in the Suprime-Cam 2.1 Square Degree Field: Constraints on Ω_m and σ_8 ”, *Ap. J.*, **597**, 98–110.
- [27] Hamana, T., Ouchi, M., Shimasaku, K., Kayo, I., & Suto, Y. 2004, “Properties of host haloes of Lyman-break galaxies and Lyman α emitters from their number densities and angular clustering”, *M. N. R. A. S.*, **347**, 813–823.
- [28] Hopkins, A. M. et al. (10 authors including Goto, T.) 2003, “Star Formation Rate Indicators in the Sloan Digital Sky Survey”, *Ap. J.*, **599**, 971–991.
- [29] Iye, M. et al. (14 authors including Shimasaku, K., Okamura, S.) 2003, “ERO R1 in the Field of CL 0939 + 4713: Evidence for an S0-like Galaxy at $z \sim 1.5$ ”, *Ap. J.*, **590**, 770–777.
- [30] Iye, M., Shimasaku, K., Miyazaki, S., Imanishi, M., Kashikawa, N., Kodama, T., Chiba, M., & Saito, Y. 2003, “Evidence for an S0-Like Galaxy at $z = 1.5$ ”, in *IAU Symp. 220, Dark Matter in Galaxies*, 105.
- [31] Kashikawa, N. et al. (19 authors including Shimasaku, K., Ouchi, M., Okamura, S.) 2003, “Subaru Deep Survey. III. Evolution of Rest-Frame Luminosity Functions Based on the Photometric Redshifts for a K' -Band-Selected Galaxy Sample”, *A. J.*, **125**, 53–65.
- [32] Kawaharada, M., Makishima, K., Takahashi, I., Nakazawa, K., Matsushita, K., Shimasaku, K., Fukazawa, Y., & Xu, H. 2003, “A New Candidate for the Dark Group of Galaxies, RXJ 0419 + 0225”, *Publ. Astr. Soc. Japan*, **55**, 573–577.
- [33] Kawaharada, M., Takahashi, I., Nakazawa, K., Matsushita, K., Fukazawa, Y., Shimasaku, K., & Makishima, K. 2003, “The Dark Group Candidate, RXJ 0419+0225”, in Workshop on Galaxies and Clusters of Galaxies, Proceedings of the workshop held at Shuzenji, Japan Society for the Promotion of Science, 87–90.
- [34] Kodaira, K. et al. (45 authors including Doi, M., Okamura, S., Ouchi, M., Shimasaku, K.) 2003, “The Discovery of Two Lyman α Emitters beyond Redshift 6 in the Subaru Deep Field”, *Publ. Astr. Soc. Japan*, **55**, L17–L21.

- [35] Kodama, T., Smail, I., Nakata, F., Okamura, S., & Bower, R. G. 2003, “Erratum: The Transformation of Galaxies within the Large-Scale Structure around a $z = 0.41$ Cluster”, *Ap. J.*, **591**, L169–L169.
- [36] Kodama, T., Smail, I., Nakata, F., Okamura, S., & Bower, R. G. 2004, “History of Mass Assembly and Star Formation in Galaxy Cluster”, in *Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescope*, Proceedings of Japan-German Seminar, eds., Arimoto, N. & Duschl, W., 23–31.
- [37] Komiyama, Y. et al. (17 authors including Okamura, S., Doi, M., Ouchi, M., Shimasaku, K.) 2003, “Discovery of Latent Star Formation in the Extended H I Gas around the Local Group Dwarf Irregular Galaxy NGC 6822”, *Ap. J.*, **590**, L17–L20.
- [38] Komiyama, Y. et al. (14 authors including Okamura, S., Doi, M., Shimasaku, K., Ouchi, M.) 2003, “Suprime-Cam: Subaru prime focus camera”, in *Proc. of SPIE*, **4841**, 152–159.
- [39] Miyazaki, M. et al. (26 authors including Shimasaku, K., Okamura, S., Ouchi, M., Doi, M.) 2003, “Evolution of Elliptical Galaxies at $z \gtrsim 1$ Revealed from a Large, Multicolor Sample of Extremely Red Objects”, *Publ. Astr. Soc. Japan*, **55**, 1079–1103.
- [40] Mobasher, B., Colless, M., Carter, D., Poggianti, B. M., Bridges, T. J., Kranz, K., Komiyama, Y., Kashikawa, N., Yagi, M., & Okamura, S. 2003, “A Photometric and Spectroscopic Study of Dwarf and Giant Galaxies in the Coma Cluster. IV. The Luminosity Function”, *Ap. J.*, **587**, 605–618.
- [41] Nakamura, O., Fukugita, M., Yasuda, N., Loveday, J., Brinkmann, J., Schneider, D. P., Shimasaku, K., SubbaRao, M. 2003, “The Luminosity Function of Morphologically Classified Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey”, *A. J.*, **125**, 1682–1688.
- [42] Nakata, F. et al. (19 authors including Ouchi, M., Okamura, S., Doi, M.) 2004, “Probing Distant Clusters of Galaxies at $z \gtrsim 1$ ”, in *Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescope*, Proceedings of Japan-German Seminar, eds., Arimoto, N. & Duschl, W., 57–60.
- [43] Nichol, R. C., Miller, C. J., & Goto, T. 2003, “The Interplay of Cluster and Galaxy Evolution”, *Astrophysics and Space Science*, **285**, 157–165.
- [44] Ouchi, M. et al. (20 authors including Shimasaku, K., Doi, M., Okamura, S.) 2003, “Subaru Deep Survey. II. Luminosity Functions and Clustering Properties of Ly α Emitters at $z = 4.86$ in the Subaru Deep Field”, *Ap. J.*, **582**, 60–68.
- [45] Ouchi, M. et al. (14 authors including Shimasaku, K., Doi, M., Okamura, S.) 2003, “Statistical Properties of Galaxies at $z = 4$ and 5 in the Subaru Deep Fields”, in *Galaxy Evolution: Theory & Observations*, (eds. Avila-Reese, V., Firmani, C., Frenk, C. S., & Allen, C.), Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica (Serie de Conferencias) Vol. 17, 224–225.
- [46] Ouchi, M. (13 authors including Shimasaku, K., Okamura, S., Doi, M.) 2004, “Unveiling Proto-clusters and Proto-large-scale Structures at $z > 3$ with the Subaru Prime Focus Camera”, in *Clusters of Galaxies: Probes of Cosmological Structure and Galaxy Evolution*, the Carnegie Observatories Centennial Symposia, Carnegie Observatories Astrophysics Series, eds. Mulchaey, J. S., Dressler, A., Oemler, A. (Pasadena: Carnegie Observatories), <http://www.ociw.edu/ociw/symposia/series/symposium3/proceedings3.html>
- [47] Ouchi, M. et al. (15 authors including Shimasaku, K., Okamura, S., Doi, M.) 2004, “Clustering of Galaxies at Redshift 4 and 5 in the Subaru Deep Fields”, in *Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescope*, Proceedings of Japan-German Seminar, eds., Arimoto, N. & Duschl, W., 47–50.
- [48] Poggianti, B., Kashikawa, N., Bridges, T., Mobasher, B., Komiyama, Y., Carter, D., Okamura, S., & Yagi, M. 2003, “Two Formation Paths for Cluster Dwarf Galaxies?”, in *Recycling Intergalactic and Interstellar Matter*, International Astronomical Union. Symposium 217, p.206.
- [49] Quintero, A. D. et al. (10 authors including Goto, T.) 2004, “Selection and Photometric Properties of K+A Galaxies”, *Ap. J.*, **602**, 190–199.
- [50] Sheth, R. K. et al. (14 authors including Shimasaku, K.) 2003, “The Velocity Dispersion Function of Early-Type Galaxies”, *Ap. J.*, **594**, 225–231.
- [51] Shimasaku, K. et al. (25 authors including Ouchi, M., Okamura, S., Doi, M.) 2003, “Subaru Deep Survey. IV. Discovery of a Large-Scale Structure at Redshift $\simeq 5$ ”, *Ap. J.*, **586**, L111–L114.
- [52] Shimasaku, K. et al. (14 authors including Ouchi, M., Okamura, S., Doi, M.) 2004, “Photometric Properties of Lyman Break Galaxies at $z = 4$ and 5 in Wide Field Imaging Data Taken with the Subaru Suprime-Cam”, in *Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescope*, Proceedings of Japan-German Seminar, eds., Arimoto, N. & Duschl, W., 39–46.
- [53] Shimasaku, K., Hayashino, T., Matsuda, Y., Ouchi, M., Ohta, K., Okamura, S., Tamura, H.,

- Yamada, T., & Yamauchi, R. 2004, “Large Cosmic Variance in the Clustering Properties of Ly α Emitters at $z \simeq 5$ ”, *Ap. J.*, **605**, L93–L96.
- [54] Taniguchi, Y. et al. (16 authors including Okamura, S.) 2003, “The Discovery of a Very Narrow Line Star-forming Object at a Redshift of 5.66”, *Ap. J.*, **585**, L97–L100.
- [55] Yoshida, M. et al. (20 authors including Okamura, S., Doi, M., Ouchi, M., Shimasaku, K.) 2003, “Very Extended Emission-Line Region around the Seyfert 2 Galaxy NGC 4388”, in *IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, Volume I*, ASP Conference Proceedings, Vol. 289., eds. Ikeuchi, S., Hearnshaw, J., & Hanawa, T. (San Francisco: Astronomical Society of the Pacific), 337–340.
- [56] Yoshida, M., Yagi, M., Okamura, S., Ohyama, Y., Miyazaki, S., Yasuda, N., Aoki, K., & Iye, M. 2003, “Deep Spectroscopy of Very Extended Ionized Gas of NGC 4388”, in *IAU Symp. 217, Recycling Intergalactic & Interstellar Matter*, 142.
- [57] Yoshida, M. et al. (20 authors including Shimasaku, K., Okamura, S., Doi, M., Ouchi, M.) 2004, “Subaru Deep Spectroscopy of the Very Extended Emission-Line Region of NGC 4388: Ram Pressure Stripped Gas Ionized by Nuclear Radiation”, *A. J.*, **127**, 90–104.
- [58] Yoshiguchi, H., Nagataki, S., Sato, K., Ohama, N., & Okamura, S. 2003, “Revision of the Selection Function of the Optical Redshift Survey Using the Sloan Digital Sky Survey Early Data Release: Toward an Accurate Estimate of the Source Number Density of Ultra-High Energy Cosmic Rays”, *Publ. Astr. Soc. Japan*, **55**, 121–131.
- (会議抄録)
- [59] Ouchi, M.: “Unveiling Proto-clusters and Large-Scale Structures at $z > 3$ with the Subaru Prime Focus Camera”, in *Carnegie Observatories Centennial Symposium III Clusters of Galaxies: Probes of Cosmological Structure and Galaxy Evolution*, Pasadena, USA, 2003/01/29.
- [60] Ouchi, M.: “Structure Formation and Galaxy Evolution at $z = 3 - 7$ Probed by 2700 Galaxies in the Subaru Deep Fields”, in *MULTI-WAVELENGTH COSMOLOGY*, Mykonos Island, Greece, 2003/06/17–20.
- [61] Ouchi, M.: “Formation History of Galaxies and Large-Scale Structures at $z = 3 - 7$ in the Subaru Deep Fields”, in *East Asian Young Astronomers Meeting 2003*, Taipei, Taiwan, 2003/11/09–12.
- [62] Ouchi, M.: “Formation History of Galaxies in the Subaru Deep Fields”, in *UK Japan N+N Meeting*, Mitaka, Japan, 2003/12/11–13.
- [63] Shimasaku, K.: “Subaru Observations of $z = 4 - 5$ Galaxies”, in *Cosmology with the Sunyaev-Zel’dovich Effect* (US-Japan Seminar), Kiyosato, Japan, 2003/06/15–19.
- [64] Shimasaku, K.: “Photometric and clustering properties of star-forming galaxies at $z = 4 - 5$ in the Subaru Deep Fields”, in *The Formation and Early Evolution of Galaxies*, Irsee, Germany, 2003/06/30–07/04.
- [65] Shimasaku, K.: “A Large Variance in the Sky Distribution of Lyman α Emitters at $z \sim 5$ ”, in *The 6th RESCEU International Symposium*, Tokyo, Japan, 2003/11/04–07.
- [66] Shimasaku, K.: “Large-Scale Clustering of Lyman α Emitters at $z \sim 5$ ”, in *UK Japan N+N Meeting*, Mitaka, Japan, 2003/12/11–13.
- [67] Tanaka, M., Goto, T., Okamura, S., & Shimasaku, K.: “The Environmental Dependence of Galaxy Properties in the SDSS: The Effect of Local and Global Environment”, in *The 6th RESCEU International Symposium*, Tokyo, Japan, 2003/11/04–07. (poster)
- [68] Tanaka, M., Goto, T., Okamura, S., Shimasaku, K., & Brinkman, J.: “The Environmental Dependence of Galaxy Properties in the Local Universe: Effects of Local and Global Environment”, in *IAU Colloquium No. 195*, Torino, Italy, 2004/03/12–16. (poster)
- (国内雑誌)
- [69] 嶋作一大 2003: “宇宙の地図を作る”, 『日本の科学者』, 2003 年 10 月号, 22–27.
- [70] 嶋作一大 2003: “初期宇宙に銀河分布の大構造を発見”, 『パリティ』, 2003 年 11 月号, 36–38.
- (著書)
- [71] 「理科年表」, 2004, 岡村定矩 (天文部, 分担執筆), 丸善.
- [72] 「オックスフォード天文学辞典」, 2003, 岡村定矩 (監訳), 朝倉書店.
- [73] 「天文の事典」, 2003, 磯部, 岡村, 佐藤, 辻, 吉澤, 渡邊 (編著), 朝倉書店, 1–676.
- [74] 「天文の事典」, 2003, 岡村定矩他 (編集), 嶋作一大 (分担執筆, 宇宙論パラメータの観測的決定), 朝倉書店, 67–79.
- <学術講演>
- (国際会議)
- 一般講演
- [75] Ouchi, M.: “Unveiling Proto-clusters and Large-Scale Structures at $z > 3$ with the Subaru Prime Focus Camera”, in *Carnegie Observatories Centennial Symposium III Clusters of Galaxies: Probes of Cosmological Structure and Galaxy Evolution*, Pasadena, USA, 2003/01/29.

- [76] Ouchi, M.: “Structure Formation and Galaxy Evolution at $z = 3 - 7$ Probed by 2700 Galaxies in the Subaru Deep Fields”, in *MULTI-WAVELENGTH COSMOLOGY*, Mykonos Island, Greece, 2003/06/17–20.
- [77] Ouchi, M.: “Formation History of Galaxies and Large-Scale Structures at $z = 3 - 7$ in the Subaru Deep Fields”, in *East Asian Young Astronomers Meeting 2003*, Taipei, Taiwan, 2003/11/09–12.
- [78] Ouchi, M.: “Formation History of Galaxies in the Subaru Deep Fields”, in *UK Japan N+N Meeting*, Mitaka, Japan, 2003/12/11–13.
- [79] Shimasaku, K.: “Subaru Observations of $z = 4 - 5$ Galaxies”, in *Cosmology with the Sunyaev-Zel’dovich Effect* (US-Japan Seminar), Kiyosato, Japan, 2003/06/15–19.
- [80] Shimasaku, K.: “Photometric and clustering properties of star-forming galaxies at $z = 4 - 5$ in the Subaru Deep Fields”, in *The Formation and Early Evolution of Galaxies*, Irsee, Germany, 2003/06/30–07/04.
- [81] Shimasaku, K.: “A Large Variance in the Sky Distribution of Lyman α Emitters at $z \sim 5$ ”, in *The 6th RESCEU International Symposium*, Tokyo, Japan, 2003/11/04–07.
- [82] Shimasaku, K.: “Large-Scale Clustering of Lyman α Emitters at $z \sim 5$ ”, in *UK Japan N+N Meeting*, Mitaka, Japan, 2003/12/11–13.
- [83] Tanaka, M., Goto, T., Okamura, S., & Shimasaku, K.: “The Environmental Dependence of Galaxy Properties in the SDSS: The Effect of Local and Global Environment”, in *The 6th RESCEU International Symposium*, Tokyo, Japan, 2003/11/04–07. (poster)
- [84] Tanaka, M., Goto, T., Okamura, S., Shimasaku, K., & Brinkman, J.: “The Environmental Dependence of Galaxy Properties in the Local Universe: Effects of Local and Global Environment”, in *IAU Colloquium No. 195*, Torino, Italy, 2004/03/12–16. (poster)
- (国内会議)
- 一般講演
- [85] 岡村定矩: “円盤銀河の形態はバルジが決めるかディスクが決めるか?”, RESCEU 研究会, ロシュフォート鴨川, 鴨川, 2003/8/31–9/2.
- [86] 岡村定矩: “宇宙の過去はどこまで見えたか”, 山口大学公開講演会, 山口市, 2003/08/04.
- [87] 岡村定矩: “国立大学の法人化”, 東大大学院理学系研究科技術シンポジウム, 東大理化学館講堂, 2003/09/05.
- [88] 岡村定矩: “宇宙の過去はどこまで見えたか”, 北海道大学物理学教室コロキウム, 札幌市, 2003/10/02.
- [89] 岡村定矩: “木曾シュミットから世界へ”, 木曾天文台協力会, 長野県合同庁舎, 木曾福島町, 2003/10/10.
- [90] 岡村定矩: “東大理学部は基礎科学の面白さをどう伝えてきたか?”, 東大大学院理学系研究科公開講演会, 法文系講義室, 本郷, 2003/11/06.
- [91] 岡村定矩: “大規模銀河探索—スローンデジタルスカイサーベイ—が描き出した宇宙の姿”, ビッグバン宇宙の誕生と未来—第 18 回「大学と科学」公開シンポジウム—, 朝日ホール, 有楽町, 2004/01/31–02/01.
- [92] 岡村定矩: “宇宙の過去はどこまで見えたか”, 新宿大学, 厚生年金会館, 新宿区, 2004/02/20.
- [93] 嶋作一大: “‘すばる深探査’で探る銀河の形成と進化”, 天文学教育研究センター談話会, 三鷹市, 2003/05/08.
- [94] 嶋作一大: “すばるで探る遠方の銀河の性質”, 上智大学談話会, 千代田区, 2003/05/09.
- [95] 大内正己: “Cosmic reionization and descendants of high- z galaxies probed by 2600 galaxies at $z = 3.5 - 5.2$ ”, 2003 年 First-Generation Objects in the Universe, 筑波大学, 筑波, 2003/03/05.
- [96] 大内正己: “Systematic Survey for Large-Scale Structures and Proto-Clusters”, 2003 年度すばるユーザーズミーティング, 国立天文台, 2004/01/20–21.
- [97] 大内正己: “宇宙の時を旅して—宇宙の今と昔, そして未来—”, 親子天体観望会, 日本女子大学付属中学校, 川崎市, 2003/12/20.
- [98] Ouchi, M.: “Progress of the Subaru Deep Survey”, Space Telescope Science Institute, Baltimore, USA, 2004/01/12.
- [99] 大内正己: “すばる望遠鏡で探る宇宙の天地創造”, 天文学普及講演会, 国立科学博物館, 上野, 2004/01/17.
- [100] 大内正己: “宇宙の時を旅して—宇宙の今と昔, そして未来—”, 1-2 年生向け講演会, 日本女子大学付属中学校, 川崎市, 2004/02/17.
- 招待講演
- (学会発表)
- 日本天文学会 2003 年秋季年会, 愛媛大学 (2003/09/25–27)
- [101] 内正己, 嶋作一大, 岡村定矩, 土居守 (東大): すばるディープフィールドで検出された 2600 個の銀河に基づく遠方銀河の統一的理解, R15b.
- [102] 中賢幸, 岡村定矩, 嶋作一大: SDSS データを用いた近傍宇宙の銀河の性質とその環境依存性, T06a.
- [103] 原田円 (物理), 嶋作一大: X 線観測による暗黒銀河群候補天体 RX J0419+0225 の進化に関する研究, T04a.
- [104] 藤友嗣 (物理), 田中賢幸, 岡村定矩, 嶋作一大: The Origin of E+A Galaxies, R42a.

- [105] 田有一 (東北大学), 岡村定矩, 嶋作一大, 大内正己: SSA22 $z = 3.1$ 原始銀河団とその周辺領域のひろがった Ly α 輝線天体, R01a.
- [106] 田道利 (国立天文台), 嶋作一大, 岡村定矩: Deep Spectroscopy of the Very Extended Emission-Line Region around NGC4388 in Virgo Cluster, T01a.
- 日本天文学会 2004 年春季年会, 名古屋大学 (2004/03/22-24)
- [107] 内正己, 嶋作一大, 斎藤智樹, 吉田真希子, 岡村定矩: すばる XMM ディープフィールドにおける $z=3-6$ の大規模構造探索, R05b.
- [108] 中賢幸, 岡村定矩, 嶋作一大: SDSS データを用いた銀河の性質とその環境依存性: 2 種類の銀河進化, R12b.
- [109] 中賢幸, 岡村定矩, 嶋作一大: RXJ0152.7-1357 銀河団 ($z = 0.83$) の大規模構造と銀河の測光特性, T04a.
- [110] 田有一 (東北大), 岡村定矩, 嶋作一大, 大内正己: SSA22 $z = 3.1$ Ly α 輝線天体高密度領域の三次元構造, R39a.
- [111] 内良亮 (東北大), 嶋作一大, 大内正己, 斎藤智樹: すばる/FOCAS による Cosmic String 2 重像候補天体の分光観測, U19a.

7 気球観測による反物質探査, 衛星によるX線・ γ 線観測

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

7.1 反物質探査 (BESS 実験)

BESS 気球実験は、大立体角、高精度薄肉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、メリーランド大が協力し、実験が推進されている。

今年度は、BESS-TeV 実験における 2002 年の観測データから、高エネルギー陽子およびヘリウム流束の (BESS-TeV) の解析が進み、磁場を用いた精密観測実験として初めて、540 GeV までの陽子スペクトラムを得ることに成功した。また同様に地上における 400GeV/c までの大気ミュオンのスペクトルを得た。また低エネルギー反陽子の観測では、大気中での反陽子生成の観測結果の解析、および南極周回長時間気球飛翔による精密探査実験 (BESS-Polar) の準備が進捗した。

7.1.1 一次宇宙線および大気ミュオン流束の精密観測 (BESS-TeV)

一次宇宙線流束は、宇宙線物理学における基本的な基盤情報である。BESS 実験では、これまでに 1998 年の観測において 100GeV までの一次陽子宇宙線の観測結果を報告しているが、ニュートリノ振動のより精度を高めた研究には、より高いエネルギー領域での一次宇宙線流束の観測値が求められていた。BESS-TeV 実験では、新たにアウトードリフトチェンバー (ODC) を加え、最大観測可能運動量 (MDR) を、これまでより 7 倍高い 1.4TeV/c にまで引き上げた [3]。2002 年には、10 時間を超える気球観測に成功した。データの解析の結果、図 7.1 a に示すように 540GeV までの陽子スペクトラムを 15% の精度で決定すると共に 250GeV/n までのヘリウムのスペクトルを 20% の精度で決定した [9]。1998 年の観測結果と、5 パーセントの範囲内で一致する結果を得た。磁場を用いたスペクトロメータでの観測としてはこれまでで最も高いエネルギーのスペクトルを得た。このフライト後、同じスペクトロメータを用いて地上 (つくば) に

おける大気ミュオン流束の観測結果について、運動量領域として 3 桁をカバーする精密観測結果を得た。以上の一次宇宙線流束および地上ミュオンの測定から、一次宇宙線の大気との相互作用についての知見が深まるとともに、大気ニュートリノの流束計算の基盤データとしてこれまでにない精密な情報を提供した。

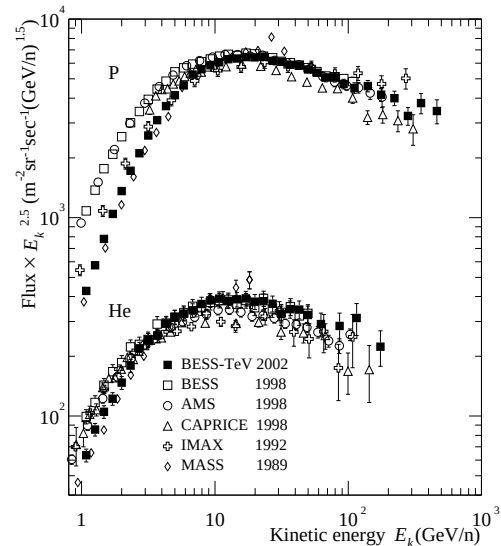


図 7.1 a: BESS-TeV(02) で観測された 1 次陽子及びヘリウムスペクトラム [9]。

7.1.2 大気宇宙線反陽子の観測

一次宇宙線が大気との相互作用によって生成する反陽子について、2001 年には、上空 ($4\sim 26 \text{ g/cm}^2$)、また地上 (984 g/cm^2) での純粋な大気宇宙線反陽子の観測に成功した [10]。1999 年に実施された乗鞍山頂 (743 g/cm^2) での観測における解析結果 [2] とあわせ、上空、山頂、地上における大気反陽子流束を得た。図 7.1 c に観測結果を示す。これまでのモデル計算との比較において、上空では一次宇宙線と大気による反陽子の生成が主要なプロセスである。これまで BESS 実験における大気バックグラウンドの評価に用いていた Stephen らのモデル計算 (Box モデル) と一致する結果を得た。一方、山頂、地上での観測では、低エネルギー領域ではより急峻に流束が減少する観測結果を得た。Huang らのモデル計算結果からは、反陽子が大気中での非弾性散乱を起こしたとき、エネルギーを失わないことを示唆しており、大気宇宙線反陽子の生成とさらなる大気との相互作用について理解が深まった [2]。

7.1.3 宇宙起源反粒子探索 (BESS-Polar)

低エネルギー宇宙線反陽子、反重陽子探索を観測目的として、気球による南極周回長時間観測実験の準備が進められている [22, 36]。0.1 GeV までの低エネルギー反陽子に感度をもち、約 2 週間に及ぶ南極周回長時間フライトが可能なスペクトロメータが新たに開発された。主要パラメータを従来の BESS との比較とともに表 7.1.3 に示す。

	BESS	BESS-Polar
Acceptance	0.3 m ² .sr	0.3 m ² .sr
Magnetic field	1.0 T	0.8 T
Tracker diam.	0.83 m	0.76 m
Spatial resolute.	150 μ m	130 μ m
Sampl. Points	24	48
MDR	200 GeV	200 GeV
Min. material	18 g/cm ²	5 g/cm ²
Energy range	0.18–4.2 GeV	0.1– 4.2 GeV
Power consump.	900 W	600 W
Power source	Li batteries	Solar power
Payload weight	2400 kg	1800 kg
Duration	1 day	> 10 days

図 7.1 b: BESS-TeV(-02) フライト後に観測された地上ミューオンスペクトル [9]。

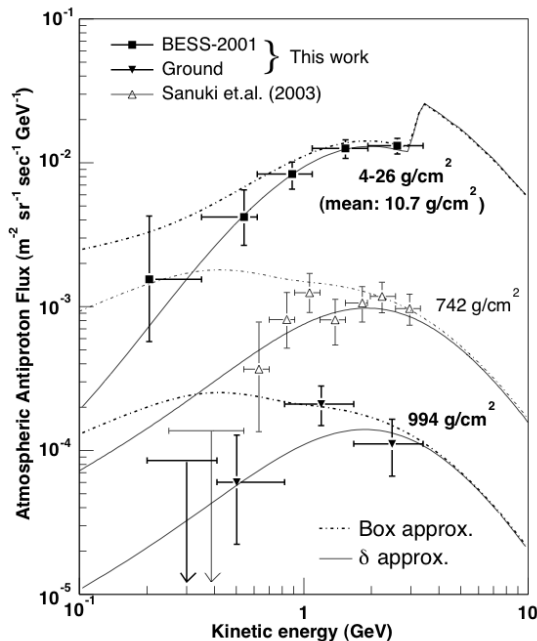


図 7.1 c: 上空 (5~28 g/cm²)、山頂 (742 g/cm²) 及び地上 (984 g/cm²) における大気宇宙線反陽子の観測。実線および鎖線はモデル計算結果 [10]。

表 7.1 a: BESS および BESS-Polar スペクトロメータの主要パラメータの比較。

昨年 10 月には、NASA/NSBF(国立科学気球施設)においてスペクトロメータ基幹部分(超伝導電磁石、ソーラパワースystem、地上とのコミュニケーションシステム)の技術試験飛翔実験に成功した(図 7.1 d)。現在、粒子検出器の要素開発が完了し、総合組み立てを進めている(図 7.1 e)。2004 年 12 月の第一回南極周回観測を目指している。

<報文>

(原著論文)

- [1] Measurements of Proton, Helium and Muon Spectra at Small Atmospheric Depths with the BESS Spectrometer.

K. Abe, T. Sanuki, K. Anraku, Y. Asaoka, H. Fuke, S. Haino, N. Ikeda, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, T. Matsukawa, H. Matsumoto, J. W. Mitchell, A. A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J. F. Ormes, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, T. Sonoda, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida



図 7.1 d: 技術試験飛行実験における BESS-Polar スペクトロメータ全景。

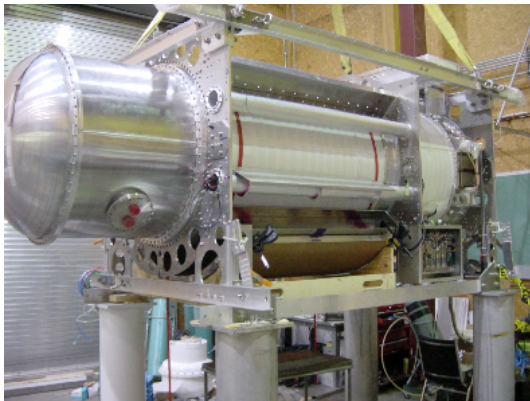


図 7.1 e: 総合組み立て中の BESS-Polar スペクトロメータ本体。

and K. Yoshimura
Phys. Lett. B564 (2003) 8–20.

- [2] Measurement of Cosmic-Ray Proton and Antiproton Spectra at Mountain Altitude
T. Sanuki, M. Fujikawa, H. Matsunaga, K. Abe, K. Anraku, H. Fuke, S. Haino, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, N. Matsui, H. Matsumoto, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, M. Sasaki, Y. Shikaze, J. Suzuki, K. Tanaka, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura
Phys. Lett. B577 (2003) 10–17.
- [3] Progress of the BESS Superconducting Spectrometer
S. Haino, K. Abe, K. Anraku, H. Fuke, T. Hams, N. Ikeda, A. Itasaki, K. Izumi, T. Kumazawa, M. H. Lee, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, H. Matsumoto, K. Matsumoto, J. W. Mitchell, A. A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, H. Omiya, S. Orito, J. F. Ormes, T. Sanuki, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, S. Takeuchi, K. Tanaka, T. Taniguchi, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura
Nucl. Instr. and Methods **A518** (2004) 167–171.
- [4] BESS-Polar Experiment
T. Yoshida, A. Yamamoto, J. Mitchell, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, N. Ikeda, A. Itasaki, K. Izumi, M. H. Lee, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, H. Matsumoto, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, H. Omiya, J. F. Ormes, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, A. Stephens, R. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, Y. Yamamoto, K. Yamato and K. Yoshimura
Adv. Space Res. **33** (2004) (10)1755–(10)1762.
- [5] Cosmic Ray ^1H and ^2H Spectra from BESS 98
Z. D. Myers, E. S. Seo, J. Z. Wang, R. W. Alford, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, M. Fujikawa, M. Imori, T. Maeno, Y. Makida, H. Matsumoto, H. Matsunaga, J. Mitchell, T. Mitsui, A. Moiseev, M. Motoki, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J. Ormes, T. Saeki, T. Sanuki, M. Sasaki, Y. Shikaze, T. Sonoda, R. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, I. Ueda, N. Yajima, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida and K. Yoshimura
To be appeared in Adv. Space Res.
- [6] Precise Measurements of the Cosmic Ray Antiproton Spectrum with BESS Including the Effects of Solar Modulation
J. W. Mitchell, S. Orito, A. Yamamoto, T. Yoshida, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, M. Fujikawa, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, N. Ikeda, M. Imori, A. Itasaki, K. Izumi, M. H. Lee, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, T. Matsukawa, H. Matsumoto, H. Matsunaga, T. Mitsui, A. Moiseev, M. Motoki, J. Nishimura,

M. Nozaki, H. Omiya, J. F. Ormes, T. Saeki, T. Sanuki, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, T. Sonoda, A. Stephens, R. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, I. Ueda, J. Z. Wang, Y. Yajima, T. Yamagami, Y. Yamamoto, K. Yamato and K. Yoshimura
To be appeared in Adv. Space Res.

(博士論文)

- [7] H. Fuke, Search for Antideuterons 博士 (理学) (2003 年 9 月) 東京大学
- [8] Y. Yamamoto: Measurement of Atmospheric Muon Flux at Various Altitudes 博士 (理学) (2004 年 3 月) 東京大学
- [9] S. Haino: Measurements of Galactic and Atmospheric Cosmic-ray Absolute Fluxes 博士 (理学) (2004 年 3 月) 東京大学
- [10] K. Yamato: Measurement of Atmospheric Antiproton Spectrum 博士 (理学) (2004 年 3 月) 神戸大学
- [11] K. Tanizaki: The Geomagnetic Latitude Effect on Atmospheric Muons at Ground Level Altitude 博士 (理学) (2004 年 3 月) 神戸大学

<学術講演>

(国際会議)

招待講演

- [12] Latest result from BESS and Future prospect A. Yamamoto An invited talk at Int. Cosmic Ray Conf (Tsukuba), (2003). To be published in post conference proceedings.

一般講演

- [13] Mesurement of Cosmic-Ray Proton, Antiproton and Muon Spectra at Mountain Altitude
T. Sanuki, M. Fujikawa, K. Abe, K. Anraku, H. Fuke, S. Haino, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, N. Matsui, H. Matsumoto, H. Matsunaga, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, M. Sasaki, Y. Shikaze, J. Suzuki, K. Tanaka, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura
Proc. 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba) (2003) 1127–1132.
- [14] Geomagnetic Cutoff Effect on Atmospheric Muon Spectra at Ground Level
K. Tanizaki, K. Abe, T. Sanuki, K. Anraku, H. Fuke, S. Haino, N. Ikeda, A. Itasaki, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, M. Motoki, J. Nishimura, M. Nozaki, H. Omiya, S. Orito, M. Sasaki, Y. Shikaze, J. Suzuki, K. Tanaka, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura
Proc. 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba) (2003) 1163–1166.

- [15] Measurements of the Absolute Flux of Atmospheric Muons with BESS
Y. Yamamoto, K. Abe, T. Sanuki, K. Anraku, H. Fuke, S. Haino, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, H. Matsumoto, J. Mitchell, 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, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura
Proc. 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba) (2003) 1167–1170.
- [16] Observation of Atmospheric Antiproton with BESS
K. Yamato, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, H. Fuke, S. Haino, N. Ikeda, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, T. Matsukawa, H. Matsumoto, J. W. Mitchell, A. A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J. F. Ormes, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, T. Yoshida and K. Yoshimura
Proc. 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba) (2003) 1785–1788.
- [17] Detecting ^3H with the BESS Spectrometer
Z. D. Myers, E. S. Seo, K. Abe, K. Anraku, M. Imori, T. Maeno, Y. Makida, H. Matsumoto, J. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, J. F. Ormes, S. Orito, T. Sanuki, M. Sasaki, Y. Shikaze, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida and K. Yoshimura
Proc. 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba) (2003) 1793–1796.
- [18] Search for Cosmic-Ray Antideuteron with the BESS Spectrometer
H. Fuke, T. Maeno, S. Orito, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, S. Haino, M. Imori, K. Izumi, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, H. Matsumoto, H. Matsunaga, J. W. Mitchell, A. A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, J. F. Ormes, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura
Proc. 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba) (2003) 1797–1800.
- [19] Cosmic Ray ^3He and ^4He Spectra from BESS 98
Z. D. Myers, E. S. Seo, K. Abe, K. Anraku, M. Imori, T. Maeno, Y. Makida, H. Matsumoto, J. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, J. F. Ormes, S. Orito, T. Sanuki, M. Sasaki, Y. Shikaze, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, T. Yamagami, A. Yamamoto, T. Yoshida and K. Yoshimura
Proc. 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba) (2003) 1805–1808.

- [20] Measurement of electron spectrum to high energies with the BESS-1999 experiment
T. Hams, K. Abe, K. Anraku, H. Fuke, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, N. Matsui, H. Matsumoto, J. W. Mitchell, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J. F. Ormes, T. Sanuki, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, A. S. Stephens, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura
Proc. 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba) (2003) 1813–1816.
- [21] Cosmic-Ray Proton and Helium Spectra Measured in BESS-TeV
S. Haino, K. Abe, K. Anraku, H. Fuke, N. Ikeda, M. Imori, A. Itasaki, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, H. Matsumoto, J. W. Mitchell, A. A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J. F. Ormes, T. Sanuki, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, T. Taniguchi, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura
Proc. 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba) (2003) 1825–1828.
- [22] BESS-Polar Experiment
T. Yoshida, A. Yamamoto, J. W. Mitchell, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, N. Ikeda, A. Itasaki, K. Izumi, T. Kumazawa, M. H. Lee, Y. Makida, S. Matsuda, H. Matsumoto, K. Matsumoto, A. A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, H. Omiya, J. F. Ormes, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Takeuchi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, Y. Yamamoto, K. Yamato and K. Yoshimura
Proc. 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba) (2003) 2081–2084.
- [23] Solar modulation effect on the cosmic-ray proton spectra measured by BESS
Y. Shikaze, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, H. Fuke, S. Haino, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, H. Matsumoto, J. W. Mitchell, A. A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J. F. Ormes, T. Sanuki, M. Sasaki, E. S. Seo, R. E. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura
Proc. 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba) (2003) 4027–4032.
- [24] S. Haino: Progress of the BESS Superconducting Spectrometer and its Future
9th Pisa Meeting on Advanced Detectors (May 2003) La Biodola
- [25] T. Sanuki: Mesurement of Cosmic-Ray Proton, Antiproton and Muon Spectra at Mountain Altitude
28th Intl. Cosmic Ray Conf. , (Jul. 2003) Tsukuba
- [26] K. Yamato: Observation of Atmospheric Antiproton with BESS
28th Intl. Cosmic Ray Conf. , (Jul. 2003) Tsukuba
- [27] Z. D. Myers: Detecting ^3H with the BESS Spectrometer
28th Intl. Cosmic Ray Conf. , (Jul. 2003) Tsukuba
- [28] H. Fuke: Search for Cosmic-Ray Antideuteron with the BESS Spectrometer
28th Intl. Cosmic Ray Conf. , (Jul. 2003) Tsukuba
- [29] K. Tanizaki: Geomagnetic Cutoff Effect on Atmospheric Muon Spectra at Ground Level
28th Intl. Cosmic Ray Conf. , (Aug. 2003) Tsukuba
- [30] Y. Yamamoto: Measurements of the Absolute Flux of Atmospheric Muons with BESS
28th Intl. Cosmic Ray Conf. , (Aug. 2003) Tsukuba
- [31] Z. D. Myers: Cosmic Ray ^3He and ^4He Spectra from BESS 98
28th Intl. Cosmic Ray Conf. , (Aug. 2003) Tsukuba
- [32] T. Hams: Measurement of electron spectrum to high energies with the BESS-1999 experiment
28th Intl. Cosmic Ray Conf. , (Aug. 2003) Tsukuba
- [33] S. Haino: Cosmic-Ray Proton and Helium Spectra Measured in BESS-TeV
28th Intl. Cosmic Ray Conf. , (Aug. 2003) Tsukuba
- [34] T. Yoshida: BESS-Polar Experiment
28th Intl. Cosmic Ray Conf. , (Aug. 2003) Tsukuba
- [35] Y. Shikaze: Solar modulation effect on the cosmic-ray proton spectra measured by BESS 28th Intl. Cosmic Ray Conf. (Aug. 2003) Tsukuba
- [36] Search for Primordial Antiparticles in Cosmic Rays, A. Yamamoto for the BESS Collaboration, Frontiner in Astroparticle Physics and Cosmology, University Academy Press. , Inc. Tokyo. Japan (2004) 249-259. , Proceedings of RESCEU-2003.
- [37] J. W. Mitchell: The BESS Program
2nd Intl. Conf. on Particle and Fundamental Physics in Space (SpacePart) (Dec. 2003) Washington D. C.
- [38] S. Haino: Precise Measurement of cosmic-ray proton spectrum up to 500 GeV
5th Workshop on “Neutrino Oscillations and Their Origin” (Feb. 2004) Tokyo
- [39] T. Sanuki: Atmospheric cosmic-ray muons, protons, and antiprotons
5th Workshop on “Neutrino Oscillations and Their Origin” (Feb. 2004) Tokyo
- (国内会議)
- [40] BESS-Polar 2003 Technical Flight 報告
熊澤 輝之 他
宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部大気球シンポジウム (2004) 113–116.

- [41] BESS-Polar 実験のための Flash ADC の開発
竹内 一真 他
宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部大気球シンポジウム (2004) 117-120.
 - [42] 志風 義明: BESS-Polar 用 Middle TOF カウンターの
ビームテストによる性能評価
日本物理学会 (2003 年 9 月) 宮崎ワールドコンベン
ションセンター・サミット
 - [43] 福家 英之: Search for Cosmic-ray Antideuterons
宇宙線研究所セミナー (2003 年 10 月) 東京大学宇宙
線研究所
 - [44] A. Yamamoto for the BESS Collaboration,
RESCEU symposium, (2003, Nov.) The Univer-
sity of Tokyo.
 - [45] 熊澤 輝之: BESS-Polar 2003 Technical Flight 報告
大気球シンポジウム (2003 年 11 月) 宇宙航空研究開
発機構宇宙科学研究本部
 - [46] 竹内 一真: BESS-Polar 実験のための Flash ADC の
開発
大気球シンポジウム (2003 年 11 月) 宇宙航空研究開
発機構宇宙科学研究本部
 - [47] 福家 英之: BESS-Polar 実験
宇宙線将来計画シンポジウム (2003 年 6 月) 東京大
学宇宙線研究所
 - [48] 熊澤 輝之: 飛翔体による宇宙線観測用超伝導マグネッ
トの開発 (8) — マグネットシステム構築及び実証飛
翔試験
低温工学・超伝導学会 (2003 年 12 月) 島根県民会館
 - [49] 野崎 光昭: BESS 実験の最近の話題
「極限エネルギーガンマ線と宇宙線による宇宙像」研
究会 (2004 年 2 月) 甲南大学
 - [50] 吉田 哲也: 反粒子宇宙線観測の現状と将来
京都大学大学院理学研究科物理学教室セミナー (2004
年 2 月) 京都大学
 - [51] 灰野 禎一: 銀河および大気宇宙線の絶対流束の測定
宇宙線研究所セミナー (2004 年 3 月) 東京大学宇宙
線研究所
 - [52] 山本 康史: 大気ミューオン流束の高度依存性の測定
宇宙線研究所セミナー (2004 年 3 月) 東京大学宇宙
線研究所
 - [53] 灰野 禎一: BESS-TeV による一次宇宙線絶対流束の
測定
日本物理学会 (2004 年 3 月) 九州大学
 - [54] 福家 英之: BESS-Polar 2003 テクニカルフライト報
告
日本物理学会 (2004 年 3 月) 九州大学
 - [55] 松田 晋弥: BESS-Polar 実験用中央粒子飛跡検出器
及び読み出し系の開発
日本物理学会 (2004 年 3 月) 九州大学
- その他
- [56] 山本 明: 「ビッグバン宇宙とミニブラックホール蒸発
の痕跡を探る—気球・超伝導スペクトロメータによる
宇宙起源反粒子の探索—」
第 18 回「大学と科学」公開シンポジウム「ビッグバ
ン—宇宙の誕生と未来—」 (2004 年 2 月) 有楽町朝
日ホール

7.2 X 線・ γ 線観測

7.2.1 太陽と星のフレアの研究

○ 太陽フレアにおける粒子加速

古徳らは、太陽フレアで生成された高速電子が、太陽光球めがけて降下するさいの制動放射を、GEANT4 を用いてシミュレーションした。その結果、下方に放射されたガンマ線が、光球でコンプトン散乱して我々に到達するさい、スペクトルは劇的に軟化することを発見した。従来はこの効果を考えていなかったため、電子スペクトルの推定には大きな誤差があったことになる。ガンマ線の強いフレアでは、電子は広いピッチ角分布をもつ必要がある [25] [68] [85] [95]。

○ 星形成領域からの広がった X 線放射

江副らは、*Chandra* 衛星による星形成領域 NGC 6334 や NGC 2024 のデータを解析した。点源を慎重に取り除いたのち、どちらの天体からもディフューズな X 線放射を検出することに成功した。放射は、温度が数 keV の熱的成分と、硬い非熱的放射が混在したものと考えられる。若い大質量星からの星風が衝撃波を形成し、プラズマ加熱や粒子加速が起きている結果であろう [18] [24] [40] [69] [86] [93]。

○ X 線を放射する若い連星の候補

昨年度に引き続き柳田らは、星形成領域 M78 の *Chandra* 公開データを解析し、最も明るい X 線の点源が、B4 型の主系列星と暗い伴星との連星系であるという解釈を進めた [19] [41]。

7.2.2 コンパクト天体の観測的研究

○ 特定領域「ブラックホール天文学の新展開」[22]

牧島が領域代表者となって昨年度に発足した科研費特定領域「ブラックホール天文学の新展開」([www-utheal.phys.s.u-tokyo.ac.jp/tokuteiBH](http://www.utheal.phys.s.u-tokyo.ac.jp/tokuteiBH)) では、京都大学と共催で、10 月 28-31 日に京都で国際ワークショップ *Stellar-Mass, Intermediate-Mass, and Supermassive Black Holes* を開いた。80 人を越す外国人を含め、約 200 名が参加する大盛会となった [33] [34] [45] [46]。他にも、一般向け成果公開に努めた [110] [112] [113]。

○ ブラックホールへの質量降着 [4] [33]

XTEJ1650-500 は、典型的なトランジェント型ブラックホール連星である。伊藤らは、ハード状態にあったこの天体のデータを、コンプトン化の影響を考慮して解析したところ、光学的に厚い降着円盤が 2 週間かけて徐々に内向きに成長し、その内縁が Schwarzschild 半径の約 3 倍 (最終安定軌道) に達した時点で、ソフト状態への遷移が完了することを発見した [63]。

村島らは、「あすか」のデータに *XMM-Newton* のデータを加えて、いくつかの狭帯域 1 型セイファート銀河の X 線スペクトルを研究した。どの天体も ~ 2 keV 以下で軟 X 線の超過を示し、超過成分は多くの

場合、光子指数およそ2のべき関数に、温度 ~ 0.5 keVのボルツマン因子を掛けたモデルで再現できた。よって円盤からの放射は、低温で濃いプラズマにコンプトン散乱されている可能性がある[42][45][72]。

○ 超大光度コンパクト X線源 (ULX)

近傍の銀河に見られる超大光度コンパクト X線源 (ULX) の研究も続行した[13][43][83][109]。宮脇らは、NGC 4449 銀河にある2つの明るいX線源が、一方は power-law 状態の ULX、他方は通常のブラックホール連星であると結論した[2]。同様なブラックホール連星は、NGC 253 でも確認された[46][64]。

久保田 (宇宙研 PD) らと協力し、「すばる」望遠鏡 FOCAS 装置を用い、代表的な ULX である M81 X-6 の光学対応天体を3夜にわたり観測し、良質のデータを得た。データ解析を続けている。

○ X線パルサーのサイクロトロン線

理研などと共同で、*RXTE* 衛星で観測したX線パルサー X0115+63 のデータを解析した。二河らは、X線光度が下がると、11 keV に見られる電子サイクロトロン吸収線のエネルギーが、17 keV 付近に移動することを明らかにした[65][66]。これはパルサーの磁極で、降着円筒の高さが変わるためと考えられる。

我々は *INTEGRAL* 衛星 (欧) にマシンタイムを獲得し、岡田らはその観測により、X線パルサー GX301-2 から、45 keV 付近にサイクロトロン吸収線の検出に成功した[54][84][96]。これは「ぎんが」衛星で得られていた徴候を強めるものである。

7.2.3 星間・銀河間での高エネルギー現象

○ 星間空間でのプラズマ加熱と粒子加速

Chandra や *XMM-Newton* の公開データを用い、星間空間における高エネルギー現象を追求した。高橋 (弘) らは M31 や M33 の中心部を[32][70][88]、また岡田らは銀河系バルジ領域をターゲットとし[15][44][59][71]、点源を取り除いた解析を行った。その結果いずれにおいても、異なる温度 (0.9 keV、0.3 keV、0.1 keV など) をもつ複数の熱的なディフューズ X線放射と、より硬い放射 (高温の熱的成分、もしくは非熱的成分) の存在が確認された。銀河系バルジに関しては、国分らが「あすか」や *RXTE* 衛星で得た結果[14]と、また M31 では高橋 (弘) らが「あすか」で導いた結果と、よく合致する。渦巻き銀河の星間空間で、プラズマ加熱や粒子加速が、普遍的に起きていることが明らかになりつつある。

○ 球状星団からの広がった X線

岡田らは、*Chandra* で観測した球状星団 47 Tuc のデータを解析し、点源を除いたのち、ここでもディフューズな X線放射を検出した[87]。熱的放射とすると温度は ~ 1 keV だが、重イオンの輝線が見られないため、放射の正体は不明である。前項の成果とあわせ、星の回転運動やランダム運動が、加熱や加速を引き起こしている可能性が考えられる。

○ 銀河の合体の証拠

川原田らは、楕円銀河 NGC 1550 の研究を続けた。*XMM-Newton* のデータでは、プラズマ中に重イオンが広がって分布することから、この天体は過去には銀河群だったと推測される。濃いプラズマ中を運動することで、銀河は抵抗を受けエネルギーを失い、巨大楕円銀河 NGC 1550 へと合体した可能性が考えられる[1][17][39][73]。

○ 銀河団プラズマの熱的進化 [20][23]

ケンタウルス銀河団では、中心部で X線放射プラズマの温度が著しく低下する。高橋 (勲) らは *XMM-Newton* 衛星による観測を通じ、これは中心部の 100 kpc 以内に、温度 ~ 1.8 keV と ~ 4 keV の2成分が共存し、中心ほど低温成分の占める割合が増えるためであることを立証した[16][21][26][31][38][90][94]。これは「あすか」で得られた描像を一致し、低温成分は中心銀河に根をもつ磁気ループの内部に閉じ込められ、高温成分がその外側を満たすという、我々の「磁気コロナモデル」をサポートする[20][29][23][35][36][37][58][74][91]。

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

○ *Astro-E2* 衛星と硬 X線検出器 HXD-II

宇宙 X線衛星 *Astro-E2* は、2005 年 2 月の打ち上げ目ざし、日米協力で、準備の最終段階に入った。搭載される4つの観測装置のうち1つが硬 X線検出器 (HDX-II) で、10–600 keV のエネルギー域で、きわめて低いバックグラウンドをもち、硬 X線領域での宇宙観測を刷新する威力をもつ。今年度も 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、国分を中心に、HDX-II の製作に総力を挙げた[9][47][60][82][114]。

○ 検出器部 (HDX-S)

HDX-II 装置の検出器部 (HDX-S) は、16 本の井戸型フォスウィッチ検出器 (Well 検出器) と、その周辺を囲む 20 本の BGO アンチ検出器の複眼配置をもち、重量は 186 kg に達する。昨年度から研究室の総員で、Well 検出器を製作した[104]。岡田、古徳らは、理研でアンチ検出器の製作に参加したが、低温で BGO 結晶にクラックが入るトラブルがあり、対処に追われた[105]。7 月には半ば完成した HDX-S を、いったん衛星の1次噛み合わせ試験に供出し、その終了を待って、11 月から完成に向けた残り作業を続行した。

1 月には JAXA 相模原キャンパスにて、フライト品の HDX-AE と結合して低温 (-20°C) での性能確認を行い、並行して Well 検出器の準スペア品 1 本を用い、熱真空試験の条件出しを行った。その後、アンチ検出器のフォトチューブが破損する事故などが生じ、予備ユニットとの交換を行い、2004 年 5 月半ばの時点でほぼ完成に漕ぎ着けた。HDX-S は今後、単体振動試験、衛星上での機械・電気噛み合わせ、単体での熱真空試験および低温校正などを経て、7 月に

は最終的に衛星に搭載され、各種の試験を経て 2005 年 2 月の打ち上げに臨む。

○ アナログ電子回路部 (HXD-AE)

アナログ電子回路部 (HXD-AE) は、HXD-S からの 100 チャンネルを越す信号を、わずか 32W の消費電力で高速に並列処理する。今年度は、国分、川原田、村島らを中心に、JAXA、広島大、理研、青学大、明星電気 (株)、クリアパルス (株) などと共同し、回路パラメータを決め、消費電力を推定し、グラウンドの取り回しに注意し、さまざまな確認試験を行いつつ、HXD-AE フライト品を製作した。HXD-S と同様、半ば完成したものを衛星の 1 次噛み合わせ試験に供出し、その後さまざまな作業を経て、ほぼ完成に漕ぎ着けた。

この間、1 品種の FET が十分な放射線耐性をもたないことが発覚し、 ^{60}Co 照射試験で選んだ代替品種に交換したほか、高圧コンデンサにリークが生じたり、8K ゲート FPGA (Actel RT1280) の書き込み不良が発生するなど、トラブルの対処が続いた。FPGA は低温でオンした際に、異常に高い電流を引き込むことがわかり、急ぎ HXD-AE にヒーターを付けることになった。今後の予定は、HXD-S に準じる。

○ デジタル電子回路部 (HXD-DE) とソフトウェア

観測データの CPU 処理を行う、HXD-II デジタル電子回路部 (HXD-DE) のフライト品は、東大、理研、埼玉大、宇宙研、三菱重工 (株) などの協力で開発された B 高橋 (弘) らがその試験を行なった結果、多チャンネルから同時に入力があると、稀に誤動作することがわかり、改修を行った [57]。それを除けば順調に製作が進み、HXD-DE はまもなく衛星に搭載される。あわせて DE 搭載ソフトウェアの開発や、衛星運用およびデータ解析のための、地上ソフトウェアの開発が進められた。

○ 加速器ビーム実験

昨年度の実績を踏まえ、村島、川原田、国分らは、12 月 17 日に放射線医学総合研究所にて、100 MeV 陽子を Well 検出器のプロトタイプに照射し、検出器の放射化を実測した。ビーム停止直後から、速く減衰する放射化成分を追った結果、BGO シールド結晶の放射化が及ぼす影響は少ないことが確認された [8] [12] [92]。

○ *Astro-E2* 観測の立案

Astro-E2 打ち上げから半年間は、衛星チームが優先的に性能実証 (Performance Verification; PV) 観測を行う。今年度は数回にわたり国際 Science Working Group 会議を開き、軌道上での較正観測に用いる天体 (かに星雲など)、および PV 観測のターゲットを選定した。

7.2.5 将来に向けての技術開発

○ *Swift* 衛星 BAT 検出器の開発

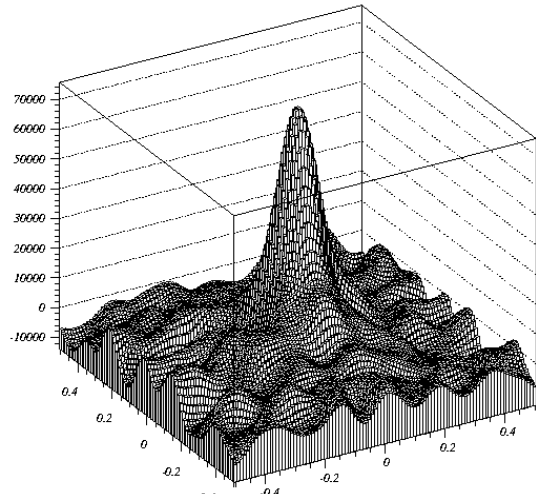


図 7.2 f: A two-dimensional map ($25 \times 25 \text{ mm}^2$) of a collimated ^{241}Am source, obtained with the prototype Fourier-synthesis hard X-ray imager which utilizes 64-channel CdTe strip detectors [27].

ガンマ線バーストの即時位置決めと、可視光・X線での追跡観測を目的とした *Swift* 衛星は、*HETE-2* (理研などが運用中) の後継機として、アメリカを中心に開発され、2004 年秋に打ち上げられる。日本からは、宇宙研、埼玉大、および東大が、バースト監視の主役 BAT (Burst Alert Telescope) 装置の開発に参加している。岡田、高橋 (弘) らは昨年に引き続き、BAT 検出器の較正データ解析に貢献した [50] [51] [75] [76]。

○ *NeXT* 衛星計画

Astro-E2 に続くミッションとして、2010 年頃の打ち上げを目ざし、全日本の協力体制の下、*NeXT* (New X-ray Telescope) 計画が立ち上がった。~ 70 keV まではスーパーミラー (名大などが開発) で撮像し、より高いエネルギーは、我々が JAXA、広島大、理研などと協同で開発する、SGD (Soft Gamma-Ray Detector) 装置が受け持つ [10] [11] [48] [49] [77] [111]。SGD は、HXD-II のアクティブシールドと複眼構成を踏襲し、シールドの底に、シリコン両面ストリップ検出器や、CdTe ピクセル検出器を段重ねに積む。高エネルギー (200–1000 keV) では多重コンプトン散乱を用いてバックグラウンドを極限まで下げつつ撮像する。低エネルギー (50–300 keV) では、次項で述べるフーリエ合成光学系などを用いた、光電吸収モードを併用することを検討している。

SGD の科学観測目的は、ジェットのスペクトル [78] や偏光の検出 [52] [53]、R-プロセス元素からの核ガンマ線 [79]、電子陽電子の対消滅線、さまざまなブラックホール天体、広がった天体での粒子加速 [36] [37] など、多岐にわたる。

○ フーリエ合成型の硬 X 線望遠鏡・顕微鏡の開発

理研と協力し、「ようこう」HXT 装置のフーリエ合

成撮像法を改良し、宇宙用/医療用の硬X線望遠鏡/顕微鏡を開発している [7]。宮脇、岡田、二河らは、JAXA、ACRORAD(株)、三菱重工(株)などと協力し、150 μm ピッチのCdTe ストリップ検出器を開発し、64 チャンネルの同時読み出しや、隣接チャンネル間のキャリヤ分割の評価を行った [27] [62] [101]。宮脇はこの検出器を、理研や東レ・プレジジョン(株)と協同で開発した、タンゲステンの微細加工の「すだれ」と組み合わせ、図 7.2 f のように硬X線の像合成を実証した [27] [107]。このシステムは、*NeXT* SGD の低エネルギー側 (50–300 keV) を受け持つものとして検討を進めている。

○多結晶シンチレータの開発

単結晶の無機シンチレータより安価で機械的に強く、ドーピングが容易なものとして、単結晶の微粒子を焼結した「多結晶シンチレータ」が登場している。柳田、高橋(弘)、国分、伊藤らは、バイコウスキージャパン(株)や神島化学(株)と協力し、Ce をドープしたYAG ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) 多結晶の、可視光スペクトル、ガンマ線や α 線に対する応答などを調べた。単結晶と遜色ない優れたシンチレーション特性を示すこと、Ce の最適濃度が 0.5–0.8% であることが確認された [28] [55] [56] [61] [100] [102] [103]。

○アバランシェフォトダイオードの利用

フォトチューブに替る受光素子として、東工大などと協力し、アバランシェフォトダイオード (APD; 浜松ホトニクス S8664-55) の利用を進めた。とくに前項のYAG(Ce) 結晶は、530 nm 付近に発光ピークがあるため、APD で読み出すと図 2 のように、フォトチューブを用いた場合より優れた分解能が得られた [28] [80] [100] [106]。大型の結晶を端面から APD で読み出す方法も開発した [28]。

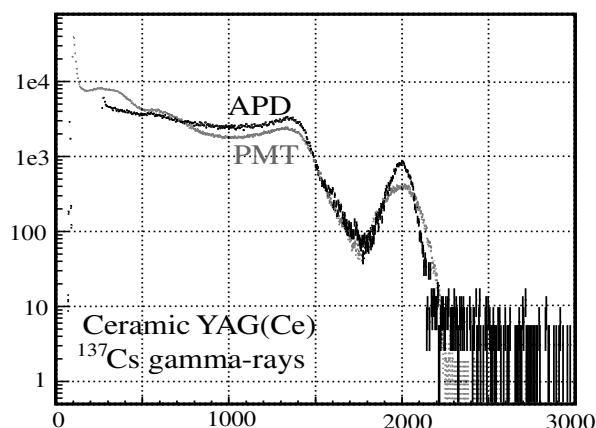


図 7.2 g: Typical spectra of the Ce-doped ceramic YAG scintillator, in response to the 661 keV gamma-rays from ^{137}Am [28]. Black and gray indicate readouts by an APD and a phototube, respectively.

<報文>

(原著論文)

- [1] Kawaharada, M., Makishima, K., Takahashi, I., Nakazawa, K., Matsushita, K., Shimasaku, K., Fukazawa, Y. & Xu, H.: “A New Candidate for a Dark Group of Galaxies, RXJ 0419+0225”, *Publ. Astr. Soc. Japan* **55**, 573 (2003)
- [2] Miyawaki, R., Sugiho, M., Kokubun, M., & Makishima, K.: “*Chandra* Observation of Luminous Sources in the Nearby Irregular Galaxy NGC 4449”, *Publ. Astr. Soc. Japan*, in press (2004)
- [3] Urata, Y., Nishiura, S., Miyata, T., Mito, H., Kawabata, T., Nakada, Y., Aoki, T., Soyano, T., Tarusawa, K., Yoshida, A., Tamagawa, T., & Makishima, K.: “Multiband Optical Follow-up Observations of GRB 020813 at the Kiso and Bisei Observatories”, *Astrophys. J. Lett.* **595**, L21 (2003)
- [4] Kubota, A., Makishima, K.: “The Three Spectral Regimes Found in the Stellar Black Hole XTE J1550-564 in Its High/Soft State”, *Astrophys. J.* **601**, 428 (2004)
- [5] Urata, Y., Miyata, T., Nishiura, S., Tamagawa, T., Burenin, R. A., Sekiguchi, T., Miyasaka, S., Yoshizumi, C., Suzuki, J., Mito, H., Nakada, Y., Aoki, T., Soyano, T., Tarusawa, K., Shiki, S., & Makishima, K.: “Early (< 0.3 Days) R-Band Light Curve of the Optical Afterglow of GRB 030 329”, *Astrophys. J. Lett.* **601**, L17 (2004)
- [6] Katayama, H., Takahashi, I., Ikebe, Y., Matsushita, K., & Freyberg, M.J.: “Properties of the background of EPIC-pn onboard XMM-Newton”, *Astron. Astrophys.* **414**, 767 (2004)
- [7] Kotoku, J., Makishima, K., Okada, Y., Negoro, H., Terada, Y., Kaneda, H., & Oda, M.: “Fourier Synthesis Image Reconstruction using One-Dimensional Position Sensitive Detectors”, *Applied Optics* **42**, 4176 (2003)
- [8] Murakami, M.M., Kobayashi, Y., Kokubun, M., Takahashi, I., Okada, Y., Kawaharada, M., Nakazawa, K. *et al.*: “Activation Properties of Schottky CdTe Diodes Irradiated by 150 MeV Protons”, *IEEE Trans. Nuc. Sci.*, **1013**, 50 (2003)
- [9] Kokubun, M., Abe, K., Ezoe, Y., Fukazawa, Y., Hong, S., Inoue, H., Itoh, K., Itoh, T., Kasama, D., Kawaharada, M., *et al.*: “Improvements of the *ASTRO-E2* Hard X-ray Detector (HXD-II)”, *IEEE Trans. Nuc. Sci.*, in press (2004)
- [10] Takahashi, T., Nakazawa, K., Kamae, T., Tajima, H., Fukazawa, Y., Nomachi, M., & Kokubun, M.: “High resolution CdTe detectors for the Next-Generation Multi-Compton Gamma-Ray Telescope”, *SPIE* **4851**, 1228 (2003)
- [11] Takahashi, T., Makishima, K., Fukazawa, Y., Kokubun, M., Nakazawa, K., Nomachi, M.,

- Tajima, H., Tashiro, M., & Terada, Y.: “Hard X-ray and Gamma-ray Detectors for the *NeXT* Mission”, *New Astronomy Reviews*, **48**, 269 (2004)
- [12] Kawaharada, M., Kokubun, M., Makishima, K., Hong, S., Terada, Y., *et al.*, “Response of the HXD-II Detector to Cosmic Heavy Ions”, *RIKEN Accel. Prog. Rep.* **37**, in press (2004)
- (Proceedings [printed or electronic])
- [13] Makishima, K., Murakami, M. M., Sugiho, M., Takahashi, H., Kubota, A., & Kobayashi, Y.: “Intermediate mass Black Holes, and their Relation with AGN”, *Active Galactic Nuclei: from Central Engine to Host Galaxy*, Eds.: S. Collin, F. Combes and I. Shlosman, ASP Conference Series Vol. 290, p. 383 (2003)
- [14] Kokubun, M. & Makishima, K.: “Diffuse X-Ray Emission from the Galactic Bulge”, *Japan-Germany Workshop on Galaxies and Clusters of Galaxies*, J. Soc. Prom. Science, p.1 (2003)
- [15] Okada, Y., Kokubun, M., & Makishima, K.: “Observation of the Galactic Diffuse X-Ray Emission with *XMM-Newton*”, *ibid*, p.21
- [16] Takahashi, I., Ikebe, Y., Kawaharada, M., & Makishima, K.: “*XMM-Newton* Observation of the Central Region of the Centaurus Cluster”, *ibid*, p.61
- [17] Kawaharada, M., Takahashi, I., Nakazawa, K., Matsushita, K., Fukazawa, Y., Shimasaku, K., & Makishima, K.: “The Dark Group Candidate, RXJ 0419+0225”, *ibid*, p.87
- [18] Ezoe, Y., Kokubun, M., Makishima, K., Sekimoto, Y., & Matsuzaki, K.: “*Chandra* Observations of the Massive Star-Forming Region NGC 6334”, *X-ray and Radio Emission of Young Stars*, ed. S. Kitamoto, p.15 (2003)
- [19] Yanagida, T., Ezoe, Y., & Makishima, K.: “The X-ray Flaring from a Possible Algol Type Binary HD38563S in NGC 2068”, *ibid*, p.108
- [20] Makishima, K.: “The *ASCA* View On Cooling Flows and Its Implications”, *The Riddle of Cooling Flows in Galaxies and Clusters of Galaxies*, eds. T. Reiprich, J. Kempner, and N. Soker (2004) <http://www.astro.virginia.edu/coolflow/>
- [21] Takahashi, I., Kawaharada, M., Makishima, K., Ikebe, Y., & Tamura, T.: “*XMM-Newton* Observation of the Centaurus Cluster”, *ibid*
- (解説, 和文報告)
- [22] 牧島一夫:「ブラックホールの観測的研究の進展」, 日本物理学会誌 **58**, No.12, 888 (2003)
- [23] 牧島一夫, 池辺靖:「クーリングフロー学説の終焉」, 天文月報 **97**, No.1, 9 (2004)
- 烈史, チーム,
- (学位論文)
- [24] Ezoe, Yuichiro: “Investigation of Diffuse Hard X-ray Emission Associated with the Formation of Massive Stars”, 博士論文
- [25] Kotoku, Jun'ichi: “Numerical Studies of the Electron Transport and Gamma-ray Emission in Solar Flares”, 博士論文
- [26] Takahashi, Isao: “X-ray Diagnostics of Thermal Condition of the Hot Plasmas in Clusters of Galaxies”, 博士論文
- [27] 宮脇良平, 「フーリエ合成光学系と1次元半導体検出器を用いた宇宙硬X線撮像装置の基礎開発実験」, 修士論文
- [28] 柳田健之, 「多結晶シンチレータとアバランシェフォトダイオードを用いた宇宙ガンマ線検出器の基礎実験」, 修士論文
- <学術講演>
- (国際会議)
- 招待講演
- [29] Makishima, K.: “The *ASCA* View On Cooling Flows and Its Implications”, *The Riddle of Cooling Flows in Galaxies and Clusters of Galaxies* (Charlottesville, May 31 - June 4)
- [30] Makishima, K.: “High Energy Astrophysics in Japan”, *Beyond the Milky Way: Progress in Extragalactic X-Ray Astronomy* (Shanghai Jiaotong University; September 21-24)
- [31] Takahashi, I.: “X-Ray Emission from Clusters of Galaxies”, *ibid*.
- [32] Takahashi, H.: “Diffuse X-ray Emission from the Galaxy and M31”, *ibid*.
- [33] Kubota, A., Makishima, K., & Done, C.: “Understanding of X-ray Spectra of Black Hole Binaries in the High State”, *Stellar-Mass, Intermediate-Mass, and Supermassive Black Holes* (Kyoto International Community House; October 28-31)
- [34] Makishima, K.: “Conference Summary”, *ibid*.
- [35] Makishima, K.: “Thermal Evolution of the Hot Gas in Galaxy Clusters”, *Frontiers in Astrophysics and Cosmology: the 6th RESCEU Int'l Symposium* (University of Tokyo; November 4-7)
- [36] Makishima, K.: “Large-Scale Electromagnetic Interactions in the Universe”, *Prospects on Fundamental Physics in the 21st Century* (University of Tokyo; February 16-18)
- [37] Makishima, K.: “Are the Largest-Scale Cosmic Hot Plasmas Heated by Reconnection?”, *Explosive Phenomena in Magnetized Plasmas: New Development in Reconnection Research* (Kyoto University; March 17 - 19)
- 一般講演 (口頭, ポスター)

- [38] Takahashi, I., Kawaharada, M., Makishima, K., Ikebe, Y., & Tamura, T.: “XMM-Newton Observation of the Centaurus Cluster”, *The Riddle of Cooling Flows in Galaxies and Clusters of Galaxies* (Charlottesville; May 31 - June 4)
- [39] Kawaharada, Takahashi, I., Shimasaku, K., Makishima, K., Nakazawa, K., Matsushita, K., & Fukazawa, Y.: “The Dark Group Candidate, RXJ 0419+0225”, *ibid*
- [40] Ezoe, Y., Kokubun, M., Makishima, K., Sekimoto, Y., & Matsuzaki, K.: “Chandra Observations of the Massive Star-Forming Region NGC 6334”, *X-ray and Radio Emission of Young Stars* (Rikkyo University; July 28-29)
- [41] Yanagida, T., Ezoe, Y., & Makishima, K.: “The X-ray Flaring from a Possible Algol Type Binary HD38563S in NGC 2068”, *ibid*.
- [42] Murakami, Mio M., Makishima, K., & Kubota, A.: “X-Ray Spectra of Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies in Comparison with Galactic Black Holes”, *Germany-Japan Workshop on X-rays from Galaxies to AGN* (Garching, Germany; August 20-22)
- [43] Makishima, K.: “The ULX phenomenon, as a Possible Manifestation of Intermediate-Mass Black Holes”, *ibid*.
- [44] Okada, Y., Kokubun, M., Takahashi, H., & Makishima, K.: “ASCA and XMM-Newton Observation of the Diffuse X-ray Emission in the Galactic Bulge”, *ibid*.
- [45] Murashima, Mio M., Kubota, A., & Makishima, K.: “X-ray Spectra of Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies in Comparison with Galactic Black Holes”, *Stellar-Mass, Intermediate-Mass, and Supermassive Black Holes* (Kyoto International Community House; October 28-31)
- [46] Tanaka, T., Kubota, A., & Makishima, K.: “Spectral Evolution of an Ultraluminous Compact X-ray source in NGC 253”, *ibid*.
- [47] Kokubun, M., Abe, K., Ezoe, Y., Fukazawa, Y., Hong, S., Inoue, H., Itoh, K., Itoh, T., Kasama, D., Kawaharada, M., *et al.*: “Improvements of the ASTRO-E2 Hard X-ray Detector (HXD-II)”, *IEEE Nuclear Science Symposium* (Portland, Oregon; October 19-25)
- [48] Makishima, K. & the NeXT WG: “Scientific Objectives of NeXT- Exploring the Non-Thermal Universe”, *Workshop on the NeXT Mission* (JASA/ISAS; November 13)
- [49] Kokubun, M. & the NeXT WG: “Concept of the Soft Gamma-ray Detector (SGD)”, *ibid*
- [50] Okada, Y.: “Ground calibration of the Burst Alert Telescope (BAT) aboard the Swift Satellite”, *Symposium on the New Frontier of Gamma-Ray Burst Astronomy* (RIKEN; December 8-10)
- [51] Takahashi, H.: “Data Processing of Burst Alert Telescope onboard the Swift Satellite”, *ibid*.
- [52] Tajima, H., Madejski G., Takahashi T., Fukazawa Y., Kokubun M., *et al.*: “EGS4 MC Simulation Results for NeXT/SGD Polarization Performance”, *X-ray Polarimetry* (SLAC, Stanford; Feb 9-11)
- [53] Takahashi, T., Fukazawa Y., Kamae T., Kataoka J., Makishima K., *et al.*: “Development of Gamma-ray Polarimeters in Japan and the Soft Gamma-ray Detector (SGD) for the NeXT mission”, *ibid*.
- [54] Okada, Y., Mihara, T., Terada, Y., Nagase, F., Niko, H., Nakajima, M., Kokubun, M., & Makishima, K.: “A Search for Cyclotron Resonance Features with the INTEGRAL Observatory”, *The INTEGRAL Universe* (Munich; February 16-20)
- [55] Takahashi, H., Yanagida, T., *et al.*: “Comparative Studies of YAG:Ce Single/Poly-Crystal Scintillators”, *KEK-RCNP International School and Mini-Workshop for Scintillation Crystals and Their Applications in Particle and Nuclear Physics* (KEK, Tsukuba; November 17-18)
- [56] Yanagida, T., Takahashi, H., *et al.*: “Evaluation of Properties of YAG(Ce) Poly-Crystal Scintillator with APD”, *ibid*.
- (国内会議)
- 日本物理学会・秋の分科会 (2003 年 9 月 9~12 日, 宮崎シーガイア)
- [57] 高橋弘充, 国分紀秀, 牧島一夫, 田代信, 鈴木雅也, 寺田幸功ほか: 「Astro-E2 衛星搭載 HXD-II 検出器のデジタルエレクトロニクス部の現状とその性能」, 9pSK-5
- [58] 牧島一夫, 池辺靖, 川原田円, 高橋勲, 田村隆幸, 中澤知洋, 深沢泰司, 松下恭子: 「新しい描像にもとづく銀河団プラズマの熱的進化」, 10aSB2
- [59] 岡田祐, 国分紀秀, 牧島一夫: 「X 線観測による銀河系付随の拡散プラズマの温度・空間構造」, 10aSB3
- [60] 国分紀秀, 牧島一夫, 中澤知洋, 高橋忠幸, 深沢泰司, 田代信, 山岡和貴ほか, 「Astro-E2 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) の現状報告 (2)」, 10aSB10
- [61] 柳田健之, 国分紀秀, 高橋弘充, 岡田祐, 伊藤健, 牧島一夫, 柳谷高公, 八木秀喜, 繁田岳志, 伊東孝之: 「 γ 線検出用多結晶シンチレータの特性評価」, 10pSF7
- [62] 宮脇良平, 岡田祐, 二河久子, 国分紀秀, 牧島一夫, 田中孝明, 三谷烈史ほか: 「1 次元半導体検出器を用いた硬 X 線ガンマ線撮像検出器の開発」, 10pSF8
-
- 日本天文学会・秋の年会 (2003 年 9 月 25~27 日, 愛媛大学)
-
- [63] 伊藤健, 牧島一夫, 久保田あや: 「RXTE 衛星による XTE J1650-500 の X 線スペクトル解析」, H02a
- [64] 田中孝明, 久保田あや, 高橋忠幸, 杉保昌彦, 牧島一夫: 「NGC 253 銀河中の ULX のスペクトル」, H04a

- [65] 中島基樹, 三原建弘, 牧島一夫, 二河久子:「X線連星パルサー 4U0115+63 の X 線光度とサイクロトロン共鳴エネルギーの変化 (1)」, H20a
- [66] 二河久子, 牧島一夫, 中島基樹, 三原建弘:「X線連星パルサー 4U0115+63 の X 線光度とサイクロトロン共鳴エネルギーの変化 (2)」, H21a
- [67] 浦田裕次, 山田亨, 吉田篤正, 戸谷友則, 小杉城治, 小林尚人, 河合誠之, 水本好彦, 高田唯史, 玉川徹, 牧島一夫:「すばる望遠鏡による暗黒 GRB (GRB980329) の起源」, H39b
- [68] 古徳純一, 玉川徹, 小浜光洋, 寺田幸功, 牧島一夫:「太陽フレアで加速された粒子のエネルギースペクトルの推定」, M40a
- [69] 江副祐一郎, 松崎恵一, 関本裕太郎, 国分紀秀, 牧島一夫, 大島泰:「*Chandra* 衛星による NGC6334 における広がった X 線放射の検証」, P28a
- [70] 高橋弘充, 岡田祐, 国分紀秀, 牧島一夫:「*XMM-Newton* 衛星による M33 中心領域のディフューズ X 線放射の観測」, R62a
- [71] 岡田祐, 国分紀秀, 牧島一夫:「*Newton* 衛星による銀河系バルジ領域の広がった熱的 X 線放射の観測」, R63a
- [72] 村上未生, 久保田あや, 牧島一夫:「*XMM-Newton* 衛星を用いた 1 型狭輝線セイファート銀河における逆コンプトン散乱過程の観測的研究」, S19a
- [73] 川原田円, 嶋作一大, 高橋勲, 牧島一夫, 中澤知洋, 松下恭子, 深沢泰司:「X 線観測による暗黒銀河群候補天体 RX J0419+0225 の進化に関する研究」, T04a
- [74] 牧島一夫, 高橋勲, 川原田円, 池辺靖, 深沢泰司, 田村隆幸, 松下恭子:「何が銀河団プラズマの放射冷却を止めているか?」, T12a
- [75] 佐藤悟朗, 高橋忠幸, 中澤知洋, 渡辺伸, 鈴木雅也, 田代信, 岡田祐, 高橋弘充ほか:「ガンマ線バースト観測用 *Swift* 衛星」, W01a
- [76] 鈴木雅也, 田代信, 佐藤悟朗, 高橋忠幸, 中澤知洋, 渡辺伸, 岡田祐, 高橋弘充ほか:「ガンマ線バースト観測衛星 *Swift* 搭載 BAT 検出器の有効面積の見積もり」, W02a
- 第 4 回宇宙科学シンポジウム (2004 年 1 月 8~9 日, JAXA 宇宙科学研究本部)
- [77] 国分紀秀:「軟ガンマ線検出器の開発」
- [78] 片岡淳, 田代信, 深沢泰司, 磯部直樹, 高橋忠幸, 牧島一夫ほか *NeXT* チーム:「*NeXT* 衛星が目指すサイエンス: 活動銀河ジェットの物理」
- [79] 寺田幸功, 望月優子, 玉川徹, 牧島一夫, 高橋忠幸, 山岡和貴, 岡田祐, 洪秀微:「*NeXT* による核 γ 線観測でひらく新しい物理」
- [80] 五十川知子, 片岡淳, 谷津陽一, 倉本祐輔, 斉藤孝男, 河合誠之, 深沢泰司, 三谷烈史, 高橋忠幸, 国分紀秀, 柳田健之:「宇宙用アバランシフ フォトダイオードの開発と *NeXT* 衛星への応用」
- [81] 深沢泰司, 大杉節, 吉田勝一, 河合誠之, 片岡淳, 高橋忠幸, 尾崎正伸, 寺田幸功, 牧島一夫, 釜江常好:「次世代ガンマ線観測衛星 GLAST」
- [82] 牧島一夫, 国分紀秀, 山岡和貴, 高橋忠幸, 中澤知洋, 能町正治, 村上敏夫, 米徳大輔ほか:「*Astro-E2* 衛星に搭載する硬 X 線検出器 (HXD-II) の開発と製作状況
- 日本天文学会・春の年会 (2004 年 3 月 22~24 日, 名古屋大学)
- [83] 角田奈緒子, 川端潔, 並木雅章, 牧島一夫, 三原建弘:「*Chandra*, *XMM-Newton* 衛星による ULX の X 線スペクトル解析」, H14b
- [84] 岡田祐, 二河久子, 国分紀秀, 牧島一夫, 三原建弘, 中島基樹, 寺田幸功, 長瀬文昭, 田中靖郎:「ガンマ線衛星 *INTEGRAL* による銀河面パルサーの撮像分光観測」, H25b
- [85] 古徳純一, 牧島一夫, 小浜光洋, 寺田幸功, 玉川徹:「太陽フレアにおける磁気ループ根元からのガンマ線放射」, M25a
- [86] 江副祐一郎, 国分紀秀, 牧島一夫, 内山泰伸, 関本裕太郎, 松崎 恵一:「星形成領域 NGC 2024 からの広がった X 線放射の検出」, P05a
- [87] 岡田祐, 高橋弘充, 国分紀秀, 牧島一夫:「球状星団に付随する広がった X 線放射の検出」, Q48a
- [88] 高橋弘充, 岡田祐, 国分紀秀, 牧島一夫:「*Chandra* 衛星による M33 中心領域のディフューズ X 線放射の観測」, R50a
- [89] 磯部直樹, 金田英宏, 田代信, 阿部圭一, 伊藤光一, 牧島一夫, 伊代本直子:「*XMM-Newton* 衛星による電波銀河 Fornax A の東ローブの観測」, S13b
- [90] 高橋勲, 牧島一夫, 川原田円, 池辺靖, 田村隆幸:「*XMM-Newton* 衛星による Centaurus 銀河団の観測 III」, T17a
- [91] 牧島一夫, 高橋勲, 川原田円, 常田佐久:「太陽コロナとの類推にもとづく銀河団プラズマ低温成分の解釈」, T18a
- [92] 村島未生, 川原田円, 国分紀秀, 牧島一夫, 川添哲志ほか:「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) の放射化バックグラウンドの評価」, W53a
- 高宇連第 2 回博士論文発表会 (2004 年 3 月 26 日, JAXA 宇宙科学研究本部)
- [93] 江副祐一郎:「Investigation of Diffuse Hard X-ray Emission Associated with the Formation of Massive Stars」
- [94] 高橋勲:「X-ray Diagnostics of Thermal Condition of the Hot Plasmas in Clusters of Galaxies」
- [95] 古徳純一:「Numerical Studies of the Electron Transport and Gamma-ray Emission in Solar Flares」
- 日本物理学会・春の年会 (2004 年 3 月 27~30 日, 九州大学)
- [96] 岡田祐, 牧島一夫, 二河久子, 国分紀秀, 三原建弘ほか:「ガンマ線衛星 *INTEGRAL* を用いた銀河面パルサーのサイクロトロン共鳴線探査」, 27aZE2
- [97] 寺田幸功, 牧島一夫:「白色矮星の磁極にたつ降着円筒のプラズマ診断」, 27aZE3

- [98] 浦田裕次, 山田亨, 吉田篤正, 戸谷友則, 小杉城治, 小林尚人, 河合誠之, 水本好彦, 高田唯史, 玉川徹, 牧島一夫:「すばる望遠鏡による暗黒 GRB(GRB980329)の起源」, 27aZE12
- [99] 玉川徹, 牧島一夫, 桜井郁也, 宮坂浩正, 門叶冬樹, 浜垣秀樹, 犬塚将英, 角田奈緒子「レーザー加工を用いたガス電子増幅 (GEM) フォイルの開発」, 27pZB9
- [100] 柳田健之, 高橋弘充, 伊藤 健, 国分紀秀, 牧島一夫, 柳谷高公, 八木秀喜ほか:「単/多結晶シンチレータと APD を用いた宇宙 γ 線検出器の基礎実験」, 27pZB10
- [101] 二河久子, 宮脇良平, 岡田 祐, 古徳純一, 国分紀秀, 牧島一夫ほか:「 γ 線イメージャーへ向けた一次元テラル化カドミウム潔沛 o 器の開発」, 27pZB11
- [102] 伊藤健, 柳田健之, 高橋弘充, 国分紀秀, 牧島一夫, 柳谷高公ほか:「硬 X・ γ 線検出用多結晶シンチレータの基礎特性評価 (1)」, 27pZB12
- [103] 高橋弘充, 柳田健之, 伊藤 健, 国分紀秀, 牧島一夫, 柳谷高公ほか:「硬 X・ γ 線検出用多結晶シンチレータの基礎特性評価 (2)」, 27pZB13
- [104] 川原田円, 村島未生, 伊藤 健, 二河久子, 宮脇良平, 柳田健之, 国分紀秀, 牧島一夫, 三谷烈史ほか:「*Astro-E2* 衛星搭載 HXD-II 検出器 WELL 検出部の組み上げとキャリブレーション」, 28aZK6
- [105] 洪秀徴, 森正統, 寺田幸功, 川原田円, 岡田祐, 国分紀秀, 牧島一夫ほか:「*Astro-E2* 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) シールド部開発の現状」, 28aZK7
- [106] 片岡淳, 河合誠之, 五十川 知子, 谷津陽一, 倉本祐輔, 斎藤孝男, 松永三郎, 宮下直己, 宮澤航, 占部智之, 岸本俊二, 三谷烈史, 高橋忠幸, 柳田健之, 国分紀秀, 深沢泰司:「アバランシェフォトダイオードを用いた宇宙 X 線・ガンマ線検出器の開発 (II)」, 28aZK8
- [107] 宮脇良平, 二河久子, 岡田祐, 古徳純一, 国分紀秀, 牧島一夫ほか:「1 次元 CdTe 検出器を用いたフーリエ合成型硬 X 線イメージャー の性能実証」, 28aZK10
- その他
- [108] 牧島一夫:「最近の X 線観測から」, 京都大学宇宙物理学教室集中講義 (7 日 15~17 日)
- [109] 牧島一夫:「中質量ブラックホールの候補天体の X 線観測」, 京都大学理学研究科談話会 (7 月 16 日)
- [110] 牧島一夫:「ガスを吸い込むブラックホールと X 線の放射」, 天文学会公開講演会 (松山, 9 月 28 日)
- [111] 国分紀秀:「*NeXT* 衛星搭載用軟ガンマ線検出器」, 第 4 回・高エネルギー宇宙物理連絡会研究会 (名大 21 世紀 COE プログラム共催)「高エネルギー宇宙観測装置の現在と未来」(名古屋大学, 10 月 2 日)
- [112] 牧島一夫:「電磁波と粒子線の観測から探る宇宙の進化」, 第 18 回「大学と科学」公開シンポジウム「ビッグバン宇宙の誕生と未来」(朝日マリオン, 2 月 1 日)
- [113] 牧島一夫:「ブラックホール天文学の最前線」, JAXA 天文講演イベント「ブラックホールの謎に挑む: リカルド・ジャッコーニ博士を迎えて」(東京国際交流館, 2 月 27 日), http://www.jaxa.jp/news_topics/column/no7/index_j.html
- [114] 高橋弘充:「*Astro-E2* 衛星搭載の硬 X 線検出器 (HXD) で狙うサイエンス」, 「超高エネルギーガンマ線天体研究会」(宇宙線研究所, 3 月 20 日)

II

2003年度 ビッグバン宇宙国際研究センター全般に関する報告

1 教官，職員，および研究員

ビッグバン宇宙国際研究センター

佐藤 勝彦（センター長／教授）

川崎 雅裕（教授）

茂山 俊和（助教授）

樽家 篤史（助手）

長瀧 重博（助手）

A. Dolgov（外国人客員教授）

姫本 宣朗（機関研究員）

出田 誠（教務補佐員）

D. Jinsong（教務補佐員）

永野 早百合（時間雇用職員）

岡田 志帆（時間雇用職員）

研究プロジェクト及び協力研究者

プロジェクト	研究室	助手
1. 初期宇宙進化論	佐藤 勝彦	長瀧 重博
	須藤 靖	樽家 篤史
	柳田 勉	井澤 健一
2. 銀河進化理論	野本 憲一	鈴木 知治
3. 可視光近赤外観測	吉井 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	嶋作 一大
7. 気球観測による反物質 探査，衛星による X 線・ γ 線観測	牧島一夫	国分 紀秀
	山本 明	佐貫 智行

(1) 学振外国人招聘受託研究員も含む。

2 シンポジウム・研究会

2.1 The 6th RESCEU International Symposium: Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology

Date: 4 - 7 November 2003

Place: Sanjo Conference Hall, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Host Institute: Research Center for the Early Universe (RESCEU)

International Advisory Committee

J. Arafune, W-Y. Hwang, E. Kolb, C. Lee, R. Ruffini, H. Sato, J. Silk, Y. Totsuka

Organizing Committee(Chair K. Sato, The University of Tokyo):

M. Fukugita, T. Futamase, A. Hosoya, S. Ikeuchi, M. Kawasaki, H. Kodama,
K. Maeda, K. Makishima, S. Nagataki, K. Nomoto, S.Okamura, M. Sasaki,
K. Sato, T. Shigeyama, T. Shiromizu, N. Sugiyama, Y. Suto, Y. Suzuki,
F. Takahara, T. Tanaka, A. Taruya, T. Yanagida, J. Yokoyama,
M. Yoshimura, Y. Yoshii

Topics

Inflation

Extra Dimensions

Cosmic Microwave Background

Structure Formation

Formation and Evolution of Galaxy

Cosmological Parameters

Neutrino Astrophysics

High Energy Particle Astrophysics

Invited Speakers

Masaki Ando	(Tokyo)	Recent results from gravitational wave detectors
Venya Berezhinsky	(Gran Sasso)	Cosmological Origin of Small-scale Clumps and DM annihilation signal
Gerhard Boerner	(MPA)	The 3 point correlation function of the 2dF survey
Mamoru Doi	(Tokyo)	Distant supernova searches with Subaru Suprime-Cam
Nobuyuki Kawai	(TTT)	Observations of Gamma-Ray Bursts by HETE-2

Masahiro Kawasaki	(Tokyo)	Constraint on reheating temperature of (supersymmetric) inflation models
Justin Khoury	(Columbia)	Ekpyrotic/Cyclic Cosmology
Lev Kofman	(CITA)	Cosmology with Extra Dimensions
Edward Kolb	(Chicago)	Thoughts on Dark Matter, Dark Energy and Inflation
David Koo	(California)	DEEP: A New Major Redshift Survey of Distant Galaxies
Ofer Lahav	(Cambridge)	The 2dF Galaxy Redshift Survey as a Cosmological Laboratory
David Langlois	(IAP)	Cosmology of braneworlds
Chul Lee	(Hanyang)	Phase Transition of a Scalar Field with Gravity
Roy Maartens	(Portsmouth)	Brane-world cosmological perturbations
Kazuo Makishima	(Tokyo)	Thermal Evolution of the Hot Gas in Galaxy Clusters
Yannick Mellier	(IAP)	Measuring cosmological parameters with cosmic shear surveys
Masaki Mori	(ICRR)	Recent Topics from Very High Energy Gamma-ray Astrophysics
Ramesh Narayan	(Harvard)	The Role of Conduction and Turbulent Mixing in Galaxy Clusters
Mihoko Nojiri	(YITP)	Impact of dark matter searches on particles physics (tentative)
Ken'ichi Nomoto	(Tokyo)	The First Stars and the Abundance Patterns of Extremely Metal-Poor Stars
Peter Nugent	(LBNL)	Recent Studies on the Diversity of Type Ia Supernova and Their Utility as Cosmological Probes
Hiranya Peiris	(Princeton)	WMAP First Year Results: Implications for Cosmology and Inflation
Remo Ruffini	(ICRA)	Extracting energy from Black Holes: the Gamma Ray Bursts
Katsuhiko Sato	(Tokyo)	Neutrino Burst from Supernova and Neutrino Oscillation
Junpei Shirai	(Tohoku)	KamLAND experiment: Reactor neutrinos and more
Joseph Silk	(Oxford)	GALAXY FORMATION AND DARK MATTER
Jiro Soda	(Kyoto)	Inflationary Braneworld driven by Bulk Scalar Field
Todor Stanev	(Delaware)	Ultra High Energy Cosmic Rays in the Universe
Takahiro Tanaka	(Kyoto)	Gravity in braneworld and AdS/CFT correspondence
Mark Vagins	(California)	Super-Kamiokande Looks To The Cosmos
Akira Yamamoto	(KEK)	Search for Primordial Antiparticles in Cosmic Rays
Naoki Yoshida	(NAO)	Structure formation in the early universe
Shigeru Yoshida	(Chiba)	Ultra-high Energy Neutrino Astronomy

Oral Presentation

Monday, November 3

16:00 - 18:00 Open of the registration desk

18:00 - 20:00 Welcome Party

Tuesday, November 4

Opening Ceremony

9:15 - 9:20 Opening address K. Sato

Morning Session

Chair J. Yokoyama (9:20 - 12:40)

9:20 - 10:00 H. Peiris (35+5)

WMAP First Year Results: Implications for Cosmology and Inflation

10:00 - 10:40 M. Kawasaki (35+5)

Constraint on reheating temperature of (supersymmetric) inflation models

10:40 - 11:20 L. Kofman (35+5)

Cosmology with Extra Dimensions

11:20 - 12:00 J. Khoury (35+5)

Ekyrotic/Cyclic Cosmology

12:00 - 12:40 M. Vagins (35+5)

Super-Kamiokande Looks To The Cosmos

12:40 - 14:00 Lunch and Poster Session

Afternoon Session

Chair J. Arafune (14:00 - 16:00)

14:00 - 14:40 J. Shirai (35+5)

KamLAND experiment: Reactor neutrinos and more

14:40 - 15:20 K. Sato (35+5)

Neutrino Burst from Supernova and Neutrino Oscillation

15:20 - 16:00 S. Yoshida (35+5)

Ultra-high Energy Neutrino Astronomy

coffee break

Chair T. Shiromizu (16:20 - 18:54)

16:20 - 17:00 C. Lee (35+5)

Phase Transition of a Scalar Field with Gravity

17:00 - 17:15 J. Yokoyama (12+3)

Chaotic hybrid new inflation and WMAP

17:15 - 17:30 N. Ohta (12+3)

Inflation from M-theory

17:30 - 17:45 J. Lara (12+3)

Deuterium and Li7 Concordance in Inhomogeneous Big Bang Nucleosynthesis Models

17:45 - 18:00 A. Kusenko (12+3)

Pulsar kicks and dark matter from sterile neutrinos

18:00 - 18:15 S. Ando (12+3)

Supernova Neutrino Oscillation and the Neutrino Magnetic Moment

Short Oral Presentation of Posters (3min x 11) : No Time for Questions

18:15 - 18:18 M. Melek

An Approach To Constrain The Cosmic Time Scale Variations Of The Fine Structure "Constant"

18:18 - 18:21 K. Kohri

Hadronic decay of SUSY particle and destruction of light elements

18:21 - 18:24 F. Takahashi

WMAP constraint on SUSY curvaton models

18:24 - 18:27 N. Sakurai

Telescope Array experiment

18:27 - 18:30 H. Miyamoto

IceCube Project

18:30 - 18:33 Y. Fujita

Tsunamis in Galaxy Clusters: Heating of Cool Cores by Acoustic Waves

18:33 - 18:36 K. Ioka

Cosmic Dispersion Measure from Gamma-Ray Burst Afterglows: Probing the Reionization History and the Burst Environment

18:36 - 18:39 K. Kotake

Effects of Rotation in Core Collapse Supernovae

18:39 - 18:42 T. Fukushige

Inner Structure of Dark Matter Halo

18:42 - 18:45 J. Lee

Global Substructure Mass Functions in the Tidal Approximation

18:45 - 18:48 T. Goto

The Origin of E+A Galaxies

Wednesday, November 5

Morning Session

Chair H. Kodama (9:10 - 12:40)

9:10 - 10:00 J. Silk (40+10)

GALAXY FORMATION AND DARK MATTER

10:00 - 10:40 D. Langlois (35+5)

Cosmology of braneworlds

10:40 - 11:20 R. Maartens (35+5)

Brane-world cosmological perturbations

11:20 - 12:00 T. Tanaka (35+5)

Gravity in braneworld and AdS/CFT correspondence

12:00 - 12:40 J. Soda (35+5)

Inflationary Braneworld driven by Bulk Scalar Field

12:40 - 14:00 Lunch and Poster Session

We take a photograph in front of the Gotenshita Memorial Arena at 12:50

Afternoon Session

Chair T. Terasawa (14:00 - 17:20)

14:00 - 14:40 T. Stanev (35+5)

Ultra High Energy Cosmic Rays in the Universe

14:40 - 15:20 M. Mori (35+5)

Recent Topics from Very High Energy Gamma-ray Astrophysics

15:20 - 16:00 K. Makishima (35+5)

Thermal Evolution of the Hot Gas in Galaxy Clusters

16:00 - 16:40 R. Narayan (35+5)

The Role of Conduction and Turbulent Mixing in Galaxy Clusters

16:40 - 17:20 N. Kawai (35+5)

Observations of Gamma-Ray Bursts by HETE-2

17:20 - 18:00 Poster Session

Bunquet 18:00 - 20:00

Thursday, November 6

Morning Session

Chair M. Fukugita (9:10 - 12:40)

9:10 - 9:50 O. Lahav (35+5)

The 2dF Galaxy Redshift Survey as a Cosmological Laboratory

9:50 - 10:30 G. Boerner (35+5)

The 3 point correlation function of the 2dF survey

10:30 - 11:10 D. Koo (35+5)

DEEP: A New Major Redshift Survey of Distant Galaxies

11:10 - 11:40 N. Yoshida (25+5)

Structure formation in the early universe

11:40 - 11:55 M. Meneghetti (12+3)

Arc statistics as a cosmological tool

11:55 - 12:10 T. Kitayama (12+3)

Exploring cluster physics with high-resolution Sunyaev-Zel'dovich effect images and X-ray data

12:10 - 12:25 R. Holman (12+3)

Effective Field Theories, the alpha-vacua and Inflatons

12:25 - 12:40 A. Frolov (12+3)

Stability and dynamics of braneworlds

12:40 - 14:00 Lunch and Poster Session

Afternoon Session

Chair M. Kawasaki (14:00 - 16:00)

14:00 - 14:40 V. Berezhinsky (35+5)

Cosmological Origin of Small-scale Clumps and DM annihilation signal

14:40 - 15:20 A. Yamamoto (35+5)

Search for Primordial Antiparticles in Cosmic Rays

15:20 - 16:00 M. Nojiri (35+5)

Implication of dark matter searches on particles physics

coffee break

Chair T. Shigeyama (16:20 - 19:00)

16:20 - 17:00 R. Ruffini (35+5)

Extracting energy from Black Holes: the Gamma Ray Bursts

17:00 - 17:30 M. Ando (25+5)

Recent results from gravitational wave detectors

17:30 - 17:45 K. Dolag (12+3)

Constrained Simulations of the Magnetic Field in the Local Supercluster

17:45 - 18:00 W-Y.Hwang (12+3)

An Anatomy of the Electroweak Phase Transition in the Early Universe

18:00 - 18:15 E. Reese (12+3)

Determining the Cosmic Distance Scale with Galaxy Clusters

18:15 - 18:30 K. Ichiki (12+3)

Observational Evidence for Disappearing Dark Matter in Brane World Cosmology

18:30 - 18:45 S. Park (12+3)

Rotating Black Holes at Colliders

Friday, November 7

Morning Session

Chair S. Okamura (9:10 - 12:55)

9:10 - 9:50 P. Nugent (35+5)

Recent Studies on the Diversity of Type Ia Supernova and Their Utility as Cosmological Probes.

9:50 - 10:30 M. Doi (35+5)

Distant supernova searches with Subaru Suprime-Cam

10:30 - 11:10 K. Nomoto (35+5)

The First Stars and the Abundance Patterns of Extremely Metal-Poor Stars

11:10 - 11:25 S. Nagataki (12+3)

High-Energy Neutrinos Produced by Interactions of Relativistic Protons in Shocked Pulsar Winds

11:25 - 11:40 K. Shimasaku (12+3)

A Large Field-to-field Variance in the Sky Distribution of Lyman Alpha Emitters at $z = 5$

11:40 - 11:55 Y. Wang (12+3)

Cosmic star formation history associated with QSO activity

11:55 - 12:10 M. Oguri (12+3)

Discovery of a Gravitationally Lensed Quasar System with 14.6 Arcsec Splitting

12:10 - 12:25 H. Umeda (12+3)

First-generation black-hole-forming supernovae and the metal abundance pattern of a very iron-poor star

12:25 - 12:40 M. Kino (12+3)

What are AGN jets made of?: The case of Cygnus A

12:40 - 14:00 Lunch

Afternoon Session

Chair M. Sasaki (14:00 - 15:30)

14:00 - 14:40 Y. Mellier (35+5)

Measuring cosmological parameters with cosmic shear surveys

14:40 - 15:30 R. Kolb (40+10)

Thoughts on Dark Matter, Dark Energy and Inflation

Poster Presentation

ID	Name	Title
1.	S. Ando	Supernova Relic Neutrinos and Implications for Neutrino Properties
2.	K. Aoyanagi	Creation of a brane world
3.		cancelled
4.	K. Bamba	Large-scale magnetic fields from inflation in dilaton electromagnetism
5.		cancelled
6.		cancelled
7.		cancelled
8.	Y. Fujita	Tsunamis in Galaxy Clusters: Heating of Cool Cores by Acoustic Waves
9.	T. Fukui	Lambda Term from Correction of Metric Tensor Field and m-z Relation
10.	T. Fukushima	Inner Structure of Dark Matter Halo
11.	Y. Furihata	Discrete time evolution of Bianchi cosmological models
12.	T. Goto	The Origin of E+A Galaxies
13.	N. Gouda	Exploration of Near-Field Cosmology by the Infrared Space Astrometry(JASMINE)
14.	T. Hamana	Subaru Suprime-cam weak lensing survey over 33 square deg
15.	T. Hara	On the Entropy of Black Hole, de Sitter Space and Rindler Space
16.	T. Hayashino	Large Scale Structure Discovered at Redshift 3.1
17.	C. Hikage	The Distribution Function of the Phase Sum as a Signature of Phase Correlations Induced by Nonlinear Gravitational Clustering
18.	W. Hikida	A new analytical method for self-force regularization
19.	S. Hirai	Effect of Pre-inflation Conditions on Scalar and Tensor Perturbations in Inflation
20.	T. Hiramatsu	Evolution of gravitational wave background from inflationary brane-world
21.	H. Ichikawa	Nyquist Rate Sampling Observation and Detection Limit in Nasu Pulsar Observatory
22.	K. Ichikawa	Constraining neutrino mass by CMB
23.	S. Ichinose	Casimir Effect in the Brane World
24.	M. Ideta	Dynamical Evolution of Dwarf Elliptical Galaxies
25.	K. Inoue	Gravitational Waves from Sub-lunar Mass Primordial Black Hole Binaries - A New Probe of Extradimensions -
26.	K. Ioka	Cosmic Dispersion Measure from Gamma-Ray Burst Afterglows: Probing the Reionization History and the Burst Environment
27.		cancelled
28.	S. Kanno	Gregory-Laflamme Instability: View from the Brane
29.	S. Kasuya	Early reionization by particle decay
30.		cancelled
31.	T. Kobayashi	Brane cosmological perturbations and bulk scalars from a new perspective
32.	N. Kogo	Reconstructing the primordial spectrum from WMAP data

33. K. Kohri Hadronic decay of SUSY particle and destruction of light elements
34. Z. Komiya Clasical tests for decaying lambda cosmology
35. K. Kotake Effects of Rotation in Core Collapse Supernovae
36. H. Koyama The relation between the two-point and the three-point correlation functions in the non-linear gravitational clustering regime
37. K. Koyama Cosmic microwave background radiation anisotropies in brane worlds
38. H. Kozaki Distance-redshift relation in a Swiss-cheese universe
39. H. Kudoh Brane-world black hole - small and large localized black hole -
40. T. Kuwabara Mapping observation of Sunyaev-Zel'dovich effects using Nobeyama 45-m telescope
41. cancelled
42. J. Lee Global Substructure Mass Functions in the Tidal Approximation
43. W. Lee Self-interaction effects on the inflationary perturbations: the $O(N)$ model
44. H. Maeda Stability criterion for self-similar solutions with a scalar field and those with a stiff fluid in general relativity
45. K. Maeda Nucleosynthesis in bipolar supernovae and implication on the early Galactic chemical evolution
46. Y. Matsuda Extended Ly α Emitters in and around a proto-cluster region at Redshift $z = 3.1$
47. M. Matsumiya Circular Polarization from Gamma-Ray Burst Afterglows
48. M. Melek An Approach To Constrain The Cosmic Time Scale Variations Of The Fine Structure Constant
49. M. Minamitsuji Energy conservation and dark radiation in the braneworld models
50. H. Miyamoto IceCube Project
51. U. Miyamoto Explosive Radiation from Naked Singularity
52. S. Mizuno Brane-Cosmology with induced gravity
53. M. Nagasawa Superconductivity of Stabilized Embedded Dedecks
54. R. Nagata Scalar-tensor theory after WMAP
55. K. Nakamura Roles of relativistic supernova ejecta in nucleosynthesis of light elements Li, Be, B
56. K. Nakamura Gravitational Waves in the Brane Universe : – Causal Structure and Boundary Conditions –
57. cancelled
58. S. Ogushi Conservation laws in Einstein Gauss-Bonnet theory
59. T. Ohkubo Evolution and Explosion of Pop III Super-Massive Stars
60. Y. Ohkuwa WKB Time of Brans-Dicke Cosmology
61. Y. Ohta The cosmological density distribution function from the local collapse model
62. N. Okuyama Dynamics of Brane in 5-dimensional Bulk and Non-singular Brane Cosmology
63. N. Orr A Theoretical Paradigm of Accounting for Space-time in Cosmological Modeling
64. cancelled
65. cancelled
66. O. Pujolas Stabilization of the hierarchy in brane world scenarios
67. N. Sakurai Telescope Array Experiment
68. Y. Sendouda Constraints on the mass spectrum of primordial black holes and braneworld parameters from the high-energy diffuse photon background
69. O. Seto Dilaton evolution in D-term inflation
70. N. Shiiki Regular and Black Hole Solutions in the Skyrme Model with axisymmetry

71. H. Sotani Restricting quark matter models by gravitational wave observation
72. R. Susukita Cosmological simulations using hardware
73. T. Suwa Study of Proto-clusters in LCDM Universe with Large N-body Simulation
74. F. Takahashi WMAP constraint on SUSY curvaton models
75. K. Takahashi Cosmology and two-body problem of D-branes
76. R. Takahashi Quasi-geometrical Optics Approximation in Gravitational Lensing
77. M. Takizawa Particle Acceleration in Clusters of Galaxies
78. T. Tamaki Radionic Non-uniform Black Strings
79. M. Tanaka Environmental Dependence of Galaxy Properties in the SDSS: The Effect of Local and Global Environment
80. A. Taruya Quasiequilibrium state of stellar self-gravitating system away from thermal equilibrium
81. H. Tashiro Reheating After Quintessential Inflation and Gravitational Waves
82. T. Tatekawa The density field in extended Lagrangian perturbation theory
83. cancelled
84. N. Tominaga The energetic explosion model of SN2003dh/GRB030329
85. T. Torii Covariant Gravitational Equations on Brane World with Gauss-Bonnet term
86. H. Watabe Stability of self-gravitating global monopoles
87. K. Yamamoto Formulation of redshift-space power spectrum analysis and a cosmological constraint from the 2dF QSO sample
88. R. Yamazaki An Off-Axis Jet Model For GRB980425 and Low Energy Gamma-Ray Bursts
89. T. Yano Distribution of caustics in the expanding Universe
90. J. Yoshida Chaos of Yang-Mills field in Bianchi Spacetimes
91. T. Yoshida ${}^7\text{Li}$ and ${}^{11}\text{B}$ Synthesis through the neutrino-process in Type II Supernova Explosions
92. H. Yoshiguchi A New Method for Calculating Arrival Distribution of UHECRs above 10^{19} eV with Modifications by the Galactic Magnetic Field
93. cancelled
94. cancelled
95. cancelled
96. Y. Kawasaki EUSO mission
97. C. Chin Hypertranscendental Superuniverse

2.2 研究会「宇宙における時空・物質・構造の進化」

日時：8月31日（午後）－9月2日（午前）

場所：ロシュフォート鴨川（千葉県）<http://www.the-home.com/rochefort.htm>

プログラム

8月31日（日）

14:00 – 15:30 afternoon session I（座長 川崎）

佐藤勝彦

Opening (30 分)
吉井 譲
マグナム計画の現状と最近の成果 (30 分)
山本 明
BESS 実験・最近の成果と Polar 実験 (30 分)
15:30 – 15:50 break
15:50 – 18:00 afternoon session II (座長 長 滝)
山本 智
富士山頂サブミリ波望遠鏡の 5 年間 (30 分)
服部 誠
銀河団高温プラズマの非平衡、非熱的現象 (40 分)
岡村 定矩
円盤銀河の形態はバルジが決めるかディスクが決めるか? (30 分)
須藤 靖
軟 X 線帯での酸素輝線を用いたダークバリオン探索計画 (30 分)
18:00 – 20:00 dinner

9 月 1 日 (月)

9:00 – 10:00 morning session I (座長 姫 本)
鳥居 隆
Induced gravity に基づくブレイン宇宙論 (20 分)
平松 尚志
Evolution of gravitational waves from inflationary brane world (20 分)
仙洞 雄一
背景 X・ガンマ線による PBH と Braneworld への制限 (20 分)
10:00 – 10:20 break
10:20 – 12:20 morning session II (座長 須藤)
A. Dolgov
Generation of large scale magnetic fields in cosmology (30 分)
茂山 俊和
Relics of old supernovae in metal-poor stars (30 分)
郷田 直輝
JASMINE 計画と銀河系の力学構造の構築 (40 分)
日影 千秋
Phase Correlations in Nonlinear Gravitational Clustering (20 分)
12:20 – 13:00 lunch
13:00 – 15:00 自由討論
15:00 – 15:30 break
15:30 – 18:00 自由討論

9 月 2 日 (火)

9:00 – 10:40 morning session I (高橋 慶)
樽家 篤史
自己重力系の長時間進化と準定常状態 (20 分)
加用 一者
SDSS 銀河相関解析による銀河進化へのヒント (20 分)
稲田 直久
The Sloan Digital Sky Survey Gravitational Lens Survey (20 分)
大栗 真宗
Large image separation lens search in the SDSS (20 分)
安藤 真一郎
Decay of Supernova Relic Neutrinos (20 分)

10:40 – 11:00 break

11:00 – 12:30 morning session II (蓑輪)

関谷洋之

神岡地下実験室における暗黒物質探索実験 (30 分)

長滝重博

High-Energy Neutrinos Produced by Interactions of Relativistic Protons in Shocked Pulsar Winds(20 分)

小久保英一郎

TBA (40 分)

3 プレプリント・リスト

1. RESCEU-1/03
Long-term Evolution of Stellar Self-Gravitating System away from the Thermal Equilibrium : connection with non-extensive statistics
Atsushi Taruya and Masa-aki Sakagami
Phys.Rev.Lett.90 (2003) 181101
2. RESCEU-2/03
Affleck-Dine Mechanism with negative thermal logarithmic potential
S.Kasuya, M. Kawasaki, Fuminobu Takahashi
hep-ph/0302154
3. RESCEU-3/03
Supernova relic neutrinos and observational implications for neutrino oscillation
Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato
Phys. Lett. B 559 (2003) 113
4. RESCEU-4/03
Supernova cosmology and fine structure constant
T. Chiba and K. Kohri
to appear in Prog. Theor. Phys. (2003)
5. RESCEU-5/03
Geometry and cosmological perturbations in the bulk inflaton model
Masato Minamitsuji, Yoshiaki Himemoto, Misao Sasaki
6. RESCEU-6/03
Baryogenesis in a flat direction with neither baryon nor lepton charge
Takeshi Chiba, Fuminobu Takahashi, Masahide Yamaguchi
hep-ph/0304102
7. RESCEU-7/03
Remarks on the Cosmic Density of Degenerate Neutrinos
K. Ichikawa, M. Kawasaki
Physical Review D in press
8. RESCEU-8/03
The Earliest Epoch of Reionisation in the Standard Lambda CDM Model
M. Fukugita, M. Kawasaki
MNRAS
9. RESCEU-9/03
Cosmic String from D-term Inflation and Curvaton
M. Endo, M. Kawasaki, T. Moroi
10. RESCEU-10/03
Inflation with a running spectral index in supergravity
M. Kawasaki, M. Yamaguchi, J. Yokoyama
11. RESCEU-11/03
Arc Statistics in Triaxial Dark Matter Halos: Testing the Collisionless Cold Dark Matter Paradigm

Masamune Oguri, Jounghun Lee and Yasushi Suto

12. RESCEU-12/03
Resonant spin-flavor conversion of supernova neutrinos: Dependence on presupernova models and future prospects
Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato
Phys. Rev. D 68 (2003) 023003
13. RESCEU-13/03
Fourier synthesis image reconstruction by use of one-dimensional position-sensitive detectors
J. Kotoku, K. Makishima, Y. Okada, H. Negoro, Y. Terada, H. Kaneda and M. Oda
Applied Optics:Information Processing (IP), in press
14. RESCEU-14/03
A New Candidate for the Dark Group of Galaxies, RX J0419+0225
M.Kawaharada, K.Makishima, I.Takahashi, K.Nakazawa, K.Matsushita, K.Shimasaku, Y.Fukazawa, H.Xu
PASJ Vol. 55, No. 3
15. RESCEU-15/03
Excavation of the First Stars
Shigeyama, Toshikazu; Tsujimoto, Takuji; Yoshii, Yuzuru
The Astrophysical Journal, Volume 586, Issue 1, pp. L57-L60.
16. RESCEU-16/03
Relics of Subluminous Supernovae in Metal-poor Stars
Tsujimoto, Takuji; Shigeyama, Toshikazu
The Astrophysical Journal, Volume 584, Issue 2, pp. L87-L90.
17. RESCEU-17/03
Star Formation History of Omega Centauri Imprinted in Elemental Abundance Patterns
Tsujimoto, Takuji; Shigeyama, Toshikazu
The Astrophysical Journal 590, 803-808, 2003
18. RESCEU-18/03
Inflation model with lower multipoles of the CMB suppressed
Masahiro Kawasaki and Fuminobu Takahashi
hep-ph/0305319
19. RESCEU-19/03
MSSM curvaton in the gauge-mediated SUSY breaking
S. Kasuya, M. Kawasaki, Fuminobu Takahashi
hep-ph/0305134
20. RESCEU-20/03
Constraints on Mass Spectrum of Primordial Black Holes and Braneworld Parameters from High-Energy Diffuse Photon Background
Yuuiti Sendouda, Shigehiro Nagataki, and Katsuhiko Sato
Phys. Rev. D 68, 103510 (2003)
21. RESCEU-21/03
Predictions from the Fritzsch Type Lepton Mass Matrices
M. Fukugita, M. Tanimoto and T. Yanagida
Phys.Lett.B562 (2003) 273-278 [hep-ph/0303177]
22. RESCEU-22/03
Sneutrino Inflation in the Light of WMAP: Reheating, Leptogenesis and Flavor Violating Lepton Decays
John R. Ellis, Martti Raidal and T. Yanagida

[hep-ph/0303242]

23. RESCEU-23/03
Structure of cold nuclear matter at subnuclear densities by Quantum Molecular Dynamics
Gentaro Watanabe Katsuhiko Sato Kenji Yasuoka Toshikazu Ebisuzaki
24. RESCEU-24/03
Narrow band imaging in O[III] and H α to search for ICPNe in the Virgo cluster
Arnaboldi, M., Freeman, K.C., Okamura, S., Yasuda, N., Gerhard, O., Napolitano, N.R., Pannella, M., Ando, H., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Kimura, M., Kajino, T., Komiyama, Y., Miyazaki, S., Nakata, F., Ouchi, M., Sekiguchi, M., Shimasaku, K., Yagi, M.
A.J., 125, 514-524.
25. RESCEU-25/03
Subaru Deep Survey. III. Evolution of Rest-Frame Luminosity Functions Based on the Photometric Redshifts for K'-band Selected Galaxy Sample
Kashikawa, N., Takata, T., Ohyama, Y., Yoshida, M., Maihara, T., Iwamuro, F., Motohara, K., Totani, T., Nagashima, M., Shimasaku, K., Furusawa, H., Ouchi, M., Yagi, M., Okamura, S., Iye, M., Sasaki, T., Kosugi, G., Aoki, K., Nakata, F.
A.J., 125, 53-69.
26. RESCEU-26/03
Subaru Deep Survey. II. Luminosity Functions and Clustering Properties of Lyman α Emitters at $z=4.86$ in the Subaru Deep Field
Ouchi, M., Shimasaku, K., Furusawa, H., Miyazaki, M., Okamura, S., Tamura, H., Hayashino, T., Doi, M., Hamabe, M., Kimura, M., Kodaira, K., Komiyama, Y., Miyazaki, S., Nakata, F., Sekiguchi, M., Shioya, Y., Taniguchi, Y., Yagi, M., and Yasuda, Y.
Ap.J., 582, 60-68.
27. RESCEU-27/03
A Search for Lyman α Emitters at Redshift 3.7
Fujita, S., Ajiki, M., Shioya, Nagao, T., Murayama, T., Taniguchi, Y., Okamura, S., Ouchi, M., Shimasaku, K., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, M., Miyazaki, S., Nakata, F., Sekiguchi, M., Yagi, M., Yasuda, N., Matsuda, Y., Tamura, H., Hayashino, T., Kodaira, K., Karoji, H., Yamada, T., Ohta, K., and Umemura, M.
Ap.J., 125, 13-31.
28. RESCEU-28/03
Revision of the Selection Function of the Optical Redshift Survey using the Sloan Digital Sky Survey Early Data Release: Toward an Accurate Estimate of the Source Number Density of Ultra-High Energy Cosmic Rays
Yoshiguchi, H., Nagataki, S., Sato, K., Ohama, N., and Okamura, S.
Publ. Astr. Soc. Japan, 55, 121-131.
29. RESCEU-29/03
The Discovery of a Very Narrow-Line Star Forming Object at a Redshift of 5.66
Taniguchi, Y., Ajiki, M., Murayama, T., Nagao, T., Veilleux, S., Sanders, D.B., Komiyama, Y., Shioya, Y., Fujita, S.S., Kakazu, Y., Okamura, S., Ando, H., Nishimura, T., Hayashi, M., Ogasawara, R., and Ichikawa, S
Ap.J. (Letters), 585, L97-L100
30. RESCEU-30/03
Subaru Deep Survey. IV. Discovery of a Large-Scale Structure of Galaxies at Redshift 5
Shimasaku, K., Ouchi, M., Okamura, S., Kashikawa, N., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Hayashino, T., Kawabata, K., Kimura, M., Kodaira, K., Komiyama, Y., Matsuda, Y., Miyazaki, M., Miyazaki, S., Nakata, F., Ohta, K., Ohyama, Y., Sekiguchi, K., Shioya, Y., Tamura, Y., Taniguchi, Y., Yagi, M., Yamada, T., Yasuda, Y.
Ap.J. (Letters), 586, L111-L114

31. RESCEU-31/03
The H α Luminosity Function and Star Formation Rate at $z \sim 0.24$ Based on Subaru Deep Imaging Data
Fujita, Shinobu S.; Ajiki, M., Shioya, Y., Nagao, T., Murayama, T., Taniguchi, Y., Umeda, K., Yamada, S., Yagi, M., Okamura, S., Komiyama, Y.,
Ap.J. (Letters), 586, L115-L118.
32. RESCEU-32/03
A Photometric and Spectroscopic Study of Dwarf and Giant Galaxies in the Coma Cluster. IV. The Luminosity Function'
Mobasher, B., Colless, M., Carter, D., Poggianti, B.M., Bridges, T.J., Kranz, K., Komiyama, Y., Kashikawa, N., Yagi, M., Okamura, S.
Ap.J., 587, 605-618.
33. RESCEU-33/03
Early-type Galaxies in the SDSS. I. The sample
Bernardi, M. et al. (31 authors including S.Okamura; the SDSS Collaboration)
A.J., 125, 1817-1848.
34. RESCEU-34/03
Early-type Galaxies in the SDSS. II. Correlations between Observables
Bernardi, M. et al. (31 authors including S.Okamura; the SDSS Collaboration)
A.J., 125, 1849-1865.
35. RESCEU-35/03
Early-type Galaxies in the SDSS. III. The Fundamental Plane
Bernardi, M. et al. (31 authors including S.Okamura; the SDSS Collaboration)
A.J., 125, 1866-1881.
36. RESCEU-36/03
Early-type Galaxies in the SDSS. IV. Colors and Chemical Evolution
Bernardi, M. et al. (31 authors including S.Okamura; the SDSS Collaboration)
A.J., 125, 1882-1896.
37. RESCEU-37/03
Discovery of Latent Star Formation in the Extended H I Gas around the Local Group Dwarf Irregular Galaxy NGC 6822
Komiyama, Y. et al. (17 authors including S.Okamura; the SDSS Collaboration)
Ap.J, 590, L17-L20.
38. RESCEU-38/03
A Survey of $z \sim 5.7$ Quasars in the Sloan Digital Sky Survey. II. Discovery of Three Additional Quasars at $z \sim 6$
Fan, X. et al. (31 authors including S.Okamura; the SDSS Collaboration)
A.J., 125, 1649-1659.
39. RESCEU-39/03
Biasing and Genus Statistics of Dark Matter Halos in the Hubble Volume Simulations
Chiaki Hikage, Atsushi Taruya, and Yasushi Suto
Publ.Astron.Soc.Jap, 55, 335-344
40. RESCEU-40/03
Minkowski Functionals of SDSS galaxies I: Analysis of Excursion Sets
C. Hikage, J. Schmalzing, T. Buchert, Y. Suto, I. Kayo, A. Taruya, M. Vogeley, F. Hoyle, J. R. Gott III, and J. Brinkmann
41. RESCEU-41/03
Self-gravitating Stellar Systems and Non-extensive Thermostatistics
Masa-aki Sakagami and Atsushi Taruya

Continuum Mech. Thermodyn.16 (2004) 279

42. RESCEU-42/03
Electron screening in the liquid-gas mixed phases of nuclear matter
Gentaro Watanabe and Kei Iida
43. RESCEU-43/03
Evolution of gravitational waves from inflationary brane-world : numerical study of high-energy effects
Takashi Hiramatsu, Kazuya Koyama and Atsushi Taruya
Phys.Lett.B 578 (2004) 269
44. RESCEU-44/03
High-Energy Neutrinos Produced by Interactions of Relativistic Protons in Shocked Pulsar Winds
Shigehiro Nagataki
45. RESCEU-45/03
Explosive Nucleosynthesis Associated with Formation of Jet-induced Gamma-ray Bursts in Massive Stars
S. Nagataki, A. Mizuta, S. Yamada, H. Takabe, K. Sato
Astrophysics Journal, in press
46. RESCEU-46/03
Curvatons in Supersymmetric Models
Koichi Hamaguchi, Masahiro Kawasaki, Takeo Moroi and Fuminobu Takahashi
47. RESCEU-47/03
Spontaneous Baryogenesis in Flat Directions
Fuminobu Takahashi and Masahide Yamaguchi
48. RESCEU-48/03
A comprehensive study of neutrino spin-flavour conversion in supernovae and the neutrino mass hierarchy
Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato
JCAP10(2003)001
49. RESCEU-49/03
Nuclear pasta structure in hot neutron stars
Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki
IAU Symposium 218, ASP Conference Proceedings
50. RESCEU-50/03
Cosmological Density Distribution Function from the Ellipsoidal Collapse Model in Real Space
Yasuhiro Ohta, Issha Kayo, Atsushi Taruya
51. RESCEU-51/03
Supergravity Analysis of Hybrid Inflation Model from D3-D7 System
Fumikazu Koyama, Yuji Tachikawa and Taizan Watari
52. RESCEU-52/03
Phases of hot nuclear matter at subnuclear densities
Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki
53. RESCEU-53/03
Can MSSM Particle be the Inflaton ?
Shinta Kasuya, Takeo Moroi and Fuminobu Takahashi
54. RESCEU-54/03
Mass-temperature relation of galaxy clusters: implications from the observed luminosity-temperature relation and X-ray temperature function

Mamoru Shimizu, Tetsu Kitayama, Shin Sasaki and Yasushi Suto
ApJ 590(1) 197 (2003)

55. RESCEU-55/03

ERO R1 in CL0939+4713 field - Evidence for an S0-like galaxy at $z \sim 1.5$
Iye, M., Shimasaku, K., Miyazaki, S., Simpson, C., Imanishi, M., Kashikawa, N., Kodama, T., Chiba, M., Saito, Y., Goto, M., Iwamuro, F., Kobayashi, N., Okamura, S., and Terada, H.
ApJ, 590, 770-777.

56. RESCEU-56/03

Morphological Butcher-Oemler Effect in the SDSS Cut & Enhance Galaxy Cluster Catalog
Goto, T., Okamura, S., Yagi, M., Zabel, A.Z., Crouch, M.S., Annis, J., Bahcall, N.A., Bernardi, M., Chong, S.-S., Gomez, P.L., Hansen, S., Kim, R.S., Knudson, A., McKay, T.A., Miller, C.J., Sekiguchi, M., Sheth, R.K.
PASJ, 55, 739-755.

57. RESCEU-57/03

The Galaxy Luminosity Function and Luminosity Density at Redshift $z=0.1$
Blanton, M.R., Hogg, D.W., Bahcall, N.A., Baldry, I.K., Brinkmann, J., Csabai, I., Fukugita, M., Gunn, J.E., Ivezić, Z., Lamb, D.Q., Lupton, R.H., Loveday, J., Munn, J.A., Nichol, R.C., Okamura, S., Schlegel, D.J., Shimasaku, K., Strauss, M.A., Vogeley, M.S., Weinberg, D.H. (The SDSS Collaboration)
ApJ, 592, 819-838.

58. RESCEU-58/03

The Broad-band Optical Properties of Galaxies with Redshifts 0.02
Blanton, M.R., Hogg, D.W., Bahcall, N.A., Baldry, I.K., Brinkmann, J., Csabai, I., Eisenstein, D.J., Fukugita, M., Gunn, J.E., Ivezić, Z., Lamb, D.Q., Lupton, R.H., Loveday, J., Munn, J.A., Nichol, R.C., Okamura, S., Schlegel, D.J., Shimasaku, K., Strauss, M.A., Vogeley, M.S., Weinberg, D.H.
ApJ, 594, 186-207

59. RESCEU-59/03

The Discovery of Two Lyman α Emitters beyond Redshift 6 in the Subaru Deep Field
Kodaira, K., Taniguchi, Y., Kashikawa, N., Kaifu, N., Ando, H., Karoji, H., Ajiki, M., Akiyama, M., Aoki, K., Doi, M., and 35 coauthors
PASJ, 55, L17-L21

60. RESCEU-60/03

H and dgr,-Strong Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey:I. The Catalog
Goto, T., Nichol, R.C., Miller, C.J., Bernardi, M., Hopkins, A., Tremonti, C., Connolly, A., Castander, F.J., Brinkmann, J., Fukugita, M., Harvanek, M., Ivezić, Kleinman, S.J., Krzesinski, J., Long, D., Loveday, J., Neilsen, E.H., Newman, P.R., Nitta, A., Okamura, S., Sekiguchi, M., Snedden, S., SubbaRao, M.
PASJ, 55, 771-787.

61. RESCEU-61/03

The Environment of Passive Spiral Galaxies in the SDSS
Goto, T., Bernardi, M., Gómez, P.L., Miller, C.J., Okamura, S., Sekiguchi, M., Sheth, R.K., Yamauchi, C.
PASJ, 55, 757-770.

62. RESCEU-62/03

Cosmic Shear Statistics in the Suprime-Cam 2.1 SQ Deg Field: Constraints on Ω_m and σ_8
Hamana, T., Miyazaki, S., Shimasaku, K., Furusawa, H., Doi, M., Hamabe, M., Imi, K., Kimura, M., Komiyama, Y., Nakata, F., Okada, N., Okamura, S., Ouchi, M., Sekiguchi, M., Yagi, M., Yasuda, N.
ApJ, 597, 98-110

63. RESCEU-63/03

The morphology-density relation in the Sloan Digital Sky Survey
Goto, T., Yamauchi, C., Fujita, Y., Okamura, S., Sekiguchi, M., Smail, I., Bernardi, M., Gomez, P.L.

MNRAS, 346, 601–614

64. RESCEU-64/03

The First Data Release of the Sloan Digital Sky Survey

Abazajian, K., Adelman-McCarthy, J. K., Agüeros, M. A., Allam, S. S., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., Baldry, I. K., Bastian, S., Berlind, A., and 179 coauthors
AJ, 126, 2081–2086.

65. RESCEU-65/03

Evolution of Elliptical Galaxies at $z \geq 1$ Revealed from a Large, Multicolor Sample of Extremely Red Objects

Miyazaki, M., Shimasaku, K., Kodama, T., Okamura, S., Furusawa, H., Doi, M., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, S., Nagashima, C., Nagata, T., Nagayama, T., Nakajima, Y., Nakata, F., Nakaya, H., Ouchi, M., Pickles, A.J., Sato, S., Sekiguchi, K., Sekiguchi, M., Sugitani, K., Takata, T., Tamura, M., Yagi, M., Yasuda, N.
PASJ, 55, 1079–1103.

66. RESCEU-66/03

Statistical Properties of Galaxies at $z = 4$ and 5 in the Subaru Deep Fields

Ouchi, M., Shimasaku, K., Furusawa, H., Miyazaki, M., Doi, M., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, M., Miyazaki, S., Nakata, F. and 4 coauthors
RMxAC Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (Serie de Conferencias) Vol. 17, pp. 224–225

67. RESCEU-67/03

Isolated Star Formation in the Virgo Cluster

Gerhard, O., Arnaboldi, M., Freeman, Kenneth C., Okamura, S.

Star Formation at High Angular Resolution, International Astronomical Union. Symposium no. 221, held 22–25 July, 2003 in Sydney, Australia, 221E. 65

68. RESCEU-68/03

Two Formation Paths for Cluster Dwarf Galaxies?

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

Recycling Intergalactic and Interstellar Matter, International Astronomical Union. Symposium no. 217, held 14–17 July, 2003 in Sydney, Australia, 217E. 206

69. RESCEU-69/03

Deep Spectroscopy of Very Extended Ionized Gas of NGC 4388

Yoshida, M., Yagi, M., Okamura, S., Ohya, Y., Miyazaki, S., Yasuda, N., Aoki, K., Iye, M.

Recycling Intergalactic and Interstellar Matter, International Astronomical Union. Symposium no. 217, held 14–17 July, 2003 in Sydney, Australia, 217E.142

70. RESCEU-70/03

Galaxies at Redshift 4–5 in SUBARU Wide-Field Imaging Data

Shimasaku, K., Ouchi, M., Okamura, S.

Maps of the Cosmos, International Astronomical Union. Symposium no. 216, held 14–17 July, 2003 in Sydney, Australia, 216E.24

71. RESCEU-71/03

Very Extended Emission-Line Region around the Seyfert 2 Galaxy NGC 4388

Yoshida, M., Yagi, M., Okamura, S., Aoki, K., Ohya, Y., Komiyama, Y., Yasuda, N., Iye, M., Kashiwa, N., Doi, M., and 10 coauthors

Astronomical Society of the Pacific, 337–340