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

Annual Report

2002

平成14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

i

目 次

Ι	プ	ロジェクト別 2002年度 研究活動報告	iii
1	$1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4$	初期宇宙進化論 初期宇宙・相対論 観測的宇宙論 超新星・高密度天体 素粒子現象論	1 1 2 5 7
2	$2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \\ 2.4 \\ 2.5 \\ 2.6 \\ 2.7$	銀河進化理論 近傍矮小銀河の化学進化 スターバースト銀河 M82 の特異な化学組成と極超新星の元素合成の寄与 銀河系バルジの形成過程 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 超新星の観測 超新星爆発での元素合成 極超新星	16 16 17 17 17 17 18
3	3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 3.6 3.7 3.8 3.9	可視光近赤外観測MAGNUM による超新星 2002ap の研究活動銀河核ダスト円盤内部での時間に依存する輻射輸送計算コードの開発パローの非一様的化学進化モデルと奇数元素の起源と種族 III 星コンパクト電波源の -Z関係による宇宙パラメータの制限についてクェーサの鉄/マグネシウム輝線比の観測的研究補償光学を用いた Subaru Deep Field の近赤外高分解深撮像Supreme Cam による暗い銀河の角度相関の決定数値銀河カタログの作成と銀河の角度相関関数銀河形成の準解析的モデル	24 24 25 25 25 25 26 26 26 27
4	$4.1 \\ 4.2 \\ 4.3$	サブミリ波観測 観測装置の開発・改良 星間物質の観測的研究 実験室分子分光	31 31 32 34
5	$5.1 \\ 5.2 \\ 5.3$	暗黒物質観測 ボロメータを用いた暗黒物質の直接検出実験......................... 有機単結晶シンチレーターを用いた暗黒物質検出器の開発............... 軟 γ 線リピーターからのアクシオン検出実験.........................	37 37 38 39
6	$6.1 \\ 6.2 \\ 6.3$	銀河と宇宙構造の研究 銀河・銀河団の観測的研究 装置・ソフトウエアなどの開発研究	41 41 43 44
7	7.1	 気球観測による反物質探査,衛星による X 線・γ線観測 反物質探査(BESS 実験) 7.1.1 宇宙線反重陽子の探索 7.1.2 一次宇宙線の精密観測 7.1.3 BESS-Polar 実験 	48 48 48 48 49
	7.2	X 線、γ 線観測	$51 \\ 52 \\ 52$

	7.2.3 星間・銀河間での高エネルギー現象	. 53
	7.2.4 銀河団の構造と進化	. 53
	7.2.5 Astro-E2 衛星に向けた硬 X 線検出器 (HXD-II) の開発製作	. 53
	7.2.6 将来に向けての技術開発	. 54
Π	002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	59
1	教官,職員,および研究員	61
2	プレプリント・リスト	62

Ι

プロジェクト別 2002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

モジュライ問題と宇宙のバリオン数

ストリング理論・超重力理論においては、一般に モジュライと呼ばれる軽いスカラー場が予言される。 モジュライ場は、宇宙初期にコヒーレントな振動を 行い、そのエネルギーが宇宙の密度の大部分を担い、 宇宙の密度の観測的上限を超えたり、崩壊して放出 されたフォトンが $X(\gamma)$ 線バックグランドの観測的 上限を超えるなど、その存在が宇宙論的に問題とな る(モジュライ問題)。このモジュライ問題を解決す るためには何らかのエントロピー生成過程によって モジュライの密度を薄める必要がある。しかし、エ ントロピー生成によって同時に宇宙のバリオン数も 薄められてしまう。従来、アフレック・ダイン機構 によって十分なバリオン数を作っておけばエントロ ピー生成によって薄められても宇宙のバリオン数を 説明できると予想されていた。そこで、バリオン数 生成とモジュライ問題の解決が両立できるかを調べ た。その結果、アフレック・ダイン機構にともなって 作られるノントポロジカル・ソリトンであるQボー ルの存在のために十分なバリオン数をエントロピー 生成後に残すことが困難であることが示された [2]。

クインテェッセンス・モデルと宇宙背景放射

現在の宇宙は加速度膨張しているということが観 測から明らかになってきている。通常、加速度膨張 の原因は真空のエネルギーが宇宙の密度を支配して いるためであると考えられるが、ゆっくりと変化す るスカラー場(クインテェセンス)のポテンシャル エネルギーが加速度膨張を引き起こしている可能性 も考えられる。その場合、スカラー場はダイナミカ ルな物理量でその揺らぎが宇宙論的に重要な場合が 考えられる。そこで、トラッカーと呼ばれるタイプ のクインテェッセンス・モデルに対してクインテェッ センス場がインフレーション中に獲得した揺らぎの 進化を考え、それが宇宙背景放射の非等方性に与え る影響を調べた[3]。 トポロジカル・インフレーションモデル

宇宙初期にスカラー場が自発的対称性の破れによっ て大きな期待値を持つ際に位相欠陥が生成される。こ のとき、スカラー場の期待値がプランクスケールよ りも大きいと位相欠陥の中心部でインフレーション が起きることが知られている。このトポロジカル・ インフレションを超重力理論で自然に実現するモデ ルを提案した。一般に超重力理論ではスカラー場に プランクスケール以上の期待値を持たせることが難 しいが、理論がシフト対称性を持つとその困難が回 避でき、トポロジカル・インフレーションが実現で きる [4]。

結合定数の時間変化と元素合成

ストリング理論ではゲージ相互作用の結合定数は ディラトンと呼ばれるスカラー場の期待値で決まる。 もし、ディラトン場の期待値が時間的に変化すれば それに伴って結合定数も時間変化することになる。こ のような背景の下、宇宙初期において結合定数が現 在の値とどれだけ異なることが許されるかを、結合 定数の変化が元素合成に与える影響を調べることに よって評価した。その結果、元素合成時における結 合定数の現在の値とのずれは 0.06%以下であるとい う厳しい制限を得た [5]。

ブレーンワールド

近年、素粒子物理学の発展により、我々が高次元時 空中の四次元膜(ブレーンワールド)に存在する可 能性が盛んに議論されている。ブレーンワールドで は、余剰次元が現実に観測される可能性がある。相 対論・宇宙論の立場から、ブレーンワールドの検証 可能性について議論を行った。このモデルでは重力 だけが高次元時空中を伝播することができる。その ため、ブレイン上の重力場の振る舞いが、いかに標 準的な四次元相対性理論からずれるかを定量化する ことが重要になる。プレイン上の重力場の振る舞い を知るためには、プレインが存在する高次元時空全 体の解を構成しなくてはならない。しかし一般に高 次元時空の解を求めることは非常に困難である。ス トリング理論ではコンパクトな時空の境界にブレイ ンが存在するモデルが、標準模型をブレイン上で実 現するモデルとして注目されている。そこで、この モデルにおいて、近似的にバルクの重力場を解く方 法を提唱した [8,10,158]。バルクの曲率半径に比べ て、ブレイン上の曲率半径が十分に長い場合や、ブレ イン間の距離が短い場合に、ブレイン上の有効的な アインシュタイン方程式を導き出すことに成功した。 この結果をもちいて、バルクのスカラー場や radion と呼ばれるブレイン間の距離がブレイン上の重力場 に及ぼす影響を調べた [6,7,57,59,186]。宇宙論 的にブレーンワールドを検証し、モデルに制限を与 える有力な手段に、密度揺らぎの性質を調べる方法 がある。宇宙背景輻射の温度揺らぎの観測に代表さ れる急速な観測の精密化は、宇宙論的な観測からブ

レーンワールドモデルに強い制限を与える可能性を もたらしている。我々はブレーンワールドにおいて 初期密度揺らぎを生成するインフレーションモデル を構成し、初期揺らぎに与える余剰次元の影響を調 べた [9, 123, 159, 132]。また、この初期揺らぎの進 化を解析するのに不可欠な定式化を行い、近似的に バルクの重力場を解く手法を用いて、バルクの重力 場が宇宙背景輻射に及ぼす影響を定量化することを 試みた [58, 98, 131, 171, 185]。

1.2 観測的宇宙論

暗黒物質ハローに対する3軸不等楕円体モデル

宇宙のありとあらゆる天体形成の種となる暗黒物 質ハローに対して、数年前から普遍的密度プロファ イルという概念が提唱され、銀河の回転曲線、銀河 団の光度・温度関数、重力レンズ統計、銀河の2点・3 点相関など宇宙論の幅広い分野に大きなインパクト を与えている。しかしながら、従来のモデルは球対 称を仮定しており、さらに精度の高い研究をする上 での障害となっていた。我々は、国立天文台のスー パーコンピュータシステムを利用した系統的な数値 シミュレーションによって、暗黒物質ハローの非球 対称性の効果を検証した。それの結果、軸比を一定 とした3軸不等楕円体が極めて良い近似を与えるこ とを発見した。さらに、このモデルのもとで、密度 プロファイルや軸比の宇宙論的確率密度関数などの 重要な物理量に対して解析的な近似公式を与え、暗 黒物質ハローの非球対称性の効果をとりこむ方法論 を初めて開発した[11,114]。

3軸不等楕円体ハローにおけるガスの静水圧平衡解

上述の3軸不等楕円体ハローはあくまで暗黒物質 の分布に関するものである。したがって、それを観測 的に検証するためには、その中のガスの分布を理解 する必要がある。この目的のために、3軸不等楕円体 暗黒物質ハローのつくる重力ポテンシャルのもとで 静水圧平衡にあるガスの密度分布を摂動論によって 導いた[12,60]。現在、さらにこれを発展させて、非 球対称性の度合いが強い場合にも応用できるような 解析的近似公式を求めつつある。これらを用いるこ とで、銀河団の X 線・電波観測からその銀河団を支配 する暗黒物質ハローの非球対称性、さらには、それが 我々観測者に対してどのような角度をなしているか を推定することが出来ることが期待される。これは、 銀河団を用いてハッブル定数等の宇宙論パラメータ を決定する際の精度を向上させるにとどまらず、宇 宙マイクロ波背景輻射とは独立に冷たい暗黒物質モ デル自身を検証する方法論ともなりうる[115,116]。

すばる望遠鏡を用いた太陽系外惑星探査

1995年に主星の速度変動の観測を通じて、初めて 主系列星の回りの惑星が発見されて以来、太陽系外 惑星は間接的に続々と検出され、現在 2003 年 4 月 には合計 107 個の太陽系外惑星が発見されている。 我々も、国立天文台、東京工業大学、宇宙科学研究所 のグループと共同で、日本における太陽系外惑星探 査の本格的な研究を立ち上げつつある。特に、我々 は、国立天文台およびプリンストン大学の研究者と 共同で、惑星食を起こしていることが知られている 系外惑星 HD209458bの主星からの光の反射光を検 出するプロジェクトを立案し、2002 年 10 月にすば る望遠鏡での観測を行った。そのデータは現在解析 中で結果は出ていないが、これを端緒として、わが 国独自の太陽系外惑星に関する観測的研究を立ち上 げて行くとともに、関連した観測的・理論的研究を 推進していく予定である [86, 187, 188, 189]。

非加法的熱統計に基づく自己重力多体系の熱的性質

近年、熱統計物理の分野では、ボルツマンエント ロピーを用いた従来の理論形式を非加法的に拡張し、 熱平衡状態から離れた準平衡系の記述を試みようと する動きがある。こうした拡張の最大の狙いは、長 距離相互作用系のような通常の熱統計物理が適用で きない物理系へ、適用範囲を広げることにある。理 論の拡張が果たして無矛盾にできるのか、またそれ がどの程度意味があるものなのかについては、現在 活発に研究が行われており、非加法的エントロピー の一意性や起源について、形式的な議論から様々な ことがわかりつつある。しかし、問題の具体性に乏 しく、肝心の長距離系に対する考察は十分になされ ていない。そこで我々は、長距離相互作用系の典型で ある、自己重力多体系に着目し、非加法的熱統計の フレームワークで(準)平衡状態の性質とその熱的安 定性について調べた。その結果、ポリトロープ指数 n という1-パラメータによって特徴づけられた「恒星 ポリトロープ」が、非加法的エントロピーの極値状 態として表され、熱的安定性も理論のフレームワー クの中で無矛盾に記述できることが明らかになった。 [13, 14, 162]

2体緩和のタイムスケールに現れる自己重力系の準 平衡状態

非加法的熱統計のフレームワークに基づくと、ポ リトロープ指数 n という 1-パラメータを持った「恒 星ポリトロープ」が、自己重力系の準平衡状態とし て無矛盾に記述できる。ただし、こうした帰結は、静 的平衡性の仮定の下に導き出された結論であり、非 加法熱統計が現実の系を記述しうるかどうかについ ては、動力学的な考察が必要である。自己重力系の 準平衡状態の性質を探るため、我々は、断熱壁に閉 じ込めた有限孤立系のN体シミュレーションを行い、 2体緩和のタイムスケールで推移する状態変化につ いて調べた。その結果、恒星ポリトロープは静的な 平衡状態ではなく、2体緩和のタイムスケールで徐々 に変化することがわかった。しかるに、その遷移過 程を調べると、恒星ポリトロープの系列に沿って状 態変化することがわかり、動的な意味での準平衡状 態になっていることが明らかになった。さらに、恒 星ポリトロープとは異なる一部の初期分布でも、2体 緩和のタイムスケールで恒星ポリトロープに落ち着 き、以後、その系列に沿って進化することがわかり、 恒星ポリトロープは準アトラクター的な状態である ことが示唆された。[15, 124, 133, 163]

質量密度ゆらぎの1点分布関数に現れる非ガウス性

ガウス的初期条件に基づく宇宙論的N体シミュレー ションによると、非線形重力進化のせいで質量分布の 統計性はしだいに非ガウス的になり、高密度側に分 布の裾が広がっていく。こうした分布は初期スペクト ルに依らず、対数正規分布を用いて定量的に特徴づ けられることが、我々の近年の研究で明らかになった が、対数正規分布の現れる理由についてはっきりとし た説明がなかった。今回、我々は、Press-Schechter 理論を基に、自己重力ハローの密度プロファイルの 普遍性を仮定し、質量密度ゆらぎの1点分布関数に 現れる非ガウス性の簡単な解析的モデルを構築した。 解析的モデルの考察から、1 点分布関数の対数正規性 は、初期スペクトルにほぼ依らず、ハローの密度プ ロファイルに起因して現れることがわかった。こう した帰結は、見えないダークマター分布に対するも のだが、いくつかの観測事実を組み合わせると、銀 河分布も対数正規分布に従うことが、この解析から 説明できる。[16,99,100,164]

酸素の輝線を用いた宇宙の暗黒バリオン検出可能性

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 10⁵K から 10⁷K 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ェーサーのスペク 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 10⁶K から 10⁷K 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.

銀河の速度統計に於ける空間的・力学的バイアス

銀河の速度場は宇宙のダークマターの分布を知る ための重要な情報として長く使われてきたが,これ らの研究では銀河の速度が背後にあるダークマター の運動を正確に反映しているという仮定がなされて いた.我々は宇宙論的な銀河形成シミュレーション を用いて,これまで行われてきた銀河の速度を用い た解析が,銀河の空間的・力学的バイアスからどの ような影響を受けるかを調べた.

銀河の様々な速度統計の中で Pairwise Velocity Dispersion (PVD) と POTENT 解析を考える.観 測される銀河の PVD は CDM から予想されるダー クマターの PVD よりもかなり小さいことが知られ ている.数値計算で得られた銀河の PVD もダーク マターの PVD よりも小さくこれまでの観測を確認 した.更に,銀河とダークマターの PVD の違いは 銀河とダークマターの空間分布の違いに起因するも のであることが分かった.また,銀河の中でも最近 形成された晩期型銀河の PVD は,銀河間距離が小 さい領域で銀河全体の PVD の半分程度であること が分かった.この傾向は,PSCz銀河カタログから 求めた PVD でも確かめられていたものである.詳 しい解析から晩期型銀河の PVD には力学摩擦によ る影響が大きく作用していることが分かった.

一方,POTENT解析は近傍宇宙のダークマター分 布を調べるのに使われてきた手法である.数値計算 で得られた銀河の速度場からダークマターの分布が 正しく再現できるかを調べたところ,8^{h-1}Mpc以下 のスケールでは,銀河の空間的なバイアスの影響が 無視できない上に晩期型銀河だけを用いたPOTENT 解析では力学的なバイアスの影響が大きいことが分 かった.[18]

準解析的銀河形成モデルにおけるダークハロー形成 史モデルの影響

Kauffmann et al. (1993) などによって考案され た準解析的銀河形成モデルは,様々なスケールでの 銀河形成の諸問題へのアプローチを可能にした.し かし,このモデルは,ダークハローの形成史モデル に大きく依存する.そこで,Somerville and Kolatt (1999) のダークハロー形成史モデルを用い,様々な 条件(特に様々な時間間隔)の下で,ダークハロー形 成史を構築し,その平均的振舞いを理論予言と比較 した.その結果,理論予言を実現するためには,従 来用いられてきた時間間隔の10分の1程度の値を用 いる必要があることが分かった.また,この値を用 いて,ガスの冷却量を調べると,銀河団スケールで は従来より2倍ほど大きくなることが分かった[20].

銀河団の質量・温度関係と非重力的加熱機構

銀河団から放射されている X 線はダークハロー 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,(1) $T_{\rm gas} = (1.5 \sim 2.0) \text{ keV} (M_{\rm vir}/10^{14} h_{70}^{-1} M_{\odot})^{0.50 \sim 0.55}$ 程度の関係が満たされれば、両方の観測を同時に説 明できること,および,(2)自己相似モデルで予言 される質量・温度関係 $(T_{
m gas} \propto M_{
m vir}^{2/3})$ は観測を再現 しないことが分かった、これらの結果は、銀河団内 の高温ガスは,ダーク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ことを示唆している.ま た,観測を再現する質量・温度関係は, ACDM モデ $m{ \mu}\left(\Omega_{0}=0.3
ight.$, $\lambda_{0}=0.7$, $h_{70}=1
ight)$ の下で,密度ゆら ぎの振幅 σ₈ が 0.7-0.8 程度であることを示唆してい ることが分かった [21, 147].

SDSS 銀河 2 点相関関数の形態・光度依存性とバイ アスパラメータの推定

銀河は多様な個性を持っている。これらの個性が どうやって形成されたのかを知るには、銀河の性質 毎の空間分布の傾向を知ることが一つの手がかりと なるであろう。我々は SDSS による世界最大の銀河 カタログを用いて、様々な銀河の性質毎の2点相関 解析を行った。特に形態と絶対光度依存性に注目し、 得られた 2 点相関関数を宇宙論的 N 体シミュレ-ションと比較してバイアスパラメータの推定を行っ た。その結果、早期型銀河の方が晩期型銀河よりも 大きなバイアスパラメータ持つものの、両者ともに 0.4 ~ 5Mpc/h にわたって各々ほぼ定数であること が見つけ出された。また、絶対光度が大きいと形態 依存性が消滅したり、早期型の絶対光度依存性は晩 期型に比べて弱いことがわかったりするなど、形態 と銀河進化の過程を垣間見ることが可能になりつつ ある。

SDSS 銀河 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点相関関数の簡単な比になっ ている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 とを確認した。しかも驚くべきことにこの比が銀河 の形態や絶対光度、3角形の形状などにあまり依存 しないことも新たに見出された [102, 148]。一方理論 モデル予言やシミュレーションではこの仮説が成り 立たないことが指摘されており、この食い違いの意 味するところをさらに探求している。

暗黒物質ハローの速度分散

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Ω₀よりも、そ のハローの位置での局所的な密度パラーメータを用 いたほうが的確であることを具体的に示した。

ハローモデルに基づく暗黒物質の速度分布関数の導出

赤方偏移で観測する天体の位置は、その天体の固 有速度のために実の位置からずれて見える(赤方偏 移歪み)。強非線形領域において、赤方偏移歪みを取 り込んだ2点相関関数の理論予言を行うためには、 精度の良い相対特異速度統計が必要であり、相対特 異速度分布関数は宇宙の大構造における重要な統計 量である。過去にアインシュタイン-ドジッター宇宙 の仮定と暗黒ハローの密度プロファイルが等温球で あるという仮定をする簡単な場合について解析がな されていた。我々はいろいろな宇宙モデルにおいて、 ハローの密度プロファイルにはシミュレーションな どから示されている現実的なパラメータを用い、ハ ローモデルという仮定のみに基づいて暗黒物質の準 指数関数型速度分布関数を導出し、宇宙モデル依存 性やスケール依存性を調べた。また、適当な密度バ イアスを仮定することで銀河の速度分散を導出し、 観測との比較を行うことで未知の速度バイアスの存 | 在の可能性を示した。[22]|

野辺山 45m 電波望遠鏡を用いた銀河団スニャーエ フ・ゼルドビッチ効果のマッピング観測

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) は銀河団を通過 すると、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。この現象 をスニャーエフ・ゼルドビッチ (SZ) 効果と言い、結 果として CMB はミリ波領域では暗く、サブミリ波 領域では明るくなる。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 SZ 効果 でマッピング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つつ ある。我々は銀河団・宇宙論の理論予言を最新の観 測結果と比較する為、野辺山 45m 電波望遠鏡の長期 共同利用を用いてミリ波帯における銀河団のマッピ ング観測を行った。[65]

SDSS 銀河データを用いた宇宙大構造のトポロジー 解析

現在進行中の世界最大規模の赤方偏移サーベイ計 画である、スローンデジタルスカイサーベイ (SDSS) の初期データを使って、銀河3次元分布のトポロジ カルな性質を、ジーナス統計を用いて定量的に評価 した。解析的に考慮することが困難ないくつかの観 測的影響、すなわち、データ領域の形状、銀河の固有 速度、我々からの距離が遠くなるほど明るい銀河だ けが選択的に観測される効果、を、N体シミュレー ションを使って詳細に解析した上で、観測結果と比較 した。その結果、現段階で最も支持されている宇宙 モデルが、10~30光年のスケールにわたって、ジー ナス統計の観測結果を矛盾なく説明できることを示 した。また、SDSS 観測が進展するにつれ、構造形 成の過程で生じるランダムガウス統計的性質からの ずれを、他の統計量とは独立に制限できる可能性を 示した。[23]

暗黒ハロー内の銀河形成とその重力レンズ統計への 示唆

暗黒八ロー内の物質分布は銀河形成によってより 中心集中すると期待されるので、重力レンズ統計に も多大な影響を与える。そこで我々は銀河形成の簡 単な模型を用いて、銀河光度関数と重力レンズの分 離角分布から模型変数に制限を与えた。その結果、模 型変数間に強い縮退が残ったが、暗黒八ローレンズ と銀河レンズの比を新たに考えることで、この縮退 が解けうることを示した。また、逆に銀河形成模型 を固定することで暗黒八ローの質量中心集中度を決 定できることも分かった [26, 67, 103, 141]。

遠方超新星の重力レンズ効果

遠方超新星の重力レンズは、突発現象であること と、Ia型の場合標準光源であることの二点に於いて 従来の準星レンズと大きく異なる。我々はこの特徴 を考慮した解析、特に時間の遅れによる重力レンズ 確率の減少の定式化や像の出現時刻の予言を行った [27, 165]。さらに、標準光源の特性を利用して、時 間の遅れからハップル定数を求める際のレンズ天体 の質量分布との縮退を破る方法を提唱した [28, 104, 165, 149, 194]。

2dF サーヴェイの大分離角重力レンズ統計

最近 2dF サーヴェイの約二万個の準星の中に、30 秒以上の大分離角の重力レンズらしきものが6個発 見されたと報告された。我々は現在の構造形成理論 の標準模型である CDM 模型に基づいて予想される 重力レンズの数を理論的に計算した。その結果、理 論予言は標準的な模型変数を仮定する限りに於いて 観測された数を説明するには少なすぎることを示した [29, 134]。

局所近似モデルに基づく質量密度ゆらぎの1点分布 関数の重力進化

大規模構造の統計的性質を考える上で、1 点確率 分布関数 (Probability Distribution Function, PDF) は最も基本的な量である。この PDF を理論的に予言 する方法の一つに、球対称モデルを用いた計算方法 があり、初期ゆらぎが CDM の場合 N体シミュレー ションと良く一致することが知られている。この方 法では、密度ゆらぎの進化は1変数のみで記述され、 初期ゆらぎと発展後の密度は一対一対応する。しか るに近年の我々の研究で、初期ゆらぎと進化後の密 度の対応を、N 体シミュレーションで調べると、実 際は一対一対応からはほど遠いことがわかってきた。 物理的状況をよりよく説明するモデルとして、我々 は、球対称モデルを拡張、密度ゆらぎの進化が多変 数の力学的自由度で記述される場合に PDF の理論 的構築を試み、さらに様々な初期スペクトルにおい て、 N 体シミュレーションと理論モデルとの比較を 行なった。その結果、変数が1つの球対称モデルだ と、初期スペクトルに依ってはシミュレーションと の一致が悪くても、変数を3つに拡張した楕円体モ デルを用いると、非線形領域の PDF をよく再現で きることがわかった。[30, 142, 94]

1.3 超新星・高密度天体

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的で 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56Ni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。[70, 71, 72, 174, 167, 168, 150, 175, 201]

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

「パスタ相」における電子遮蔽効果

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 我々は、QMD という核子レベルかつ動的な手法 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、 7 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。[31, 32, 70, 106, 174, 176, 175]

高速回転している中性子星と伴星からくる TeV ニ ュートリノ

高速回転している中性子星は高エネルギー宇宙線 の起源の一つの候補として考えられている。そのよ うな高速回転する中性子星が伴星を伴っている場合、 伴星がターゲットとなって宇宙線陽子の衝突を通し て高エネルギーニュートリノが多量に生成される可 能性があると今回指摘し、そのような系からのニュー トリノフラックスを評価した。結果として、IceCube のようなキロメートル規模の高エネルギーニュート リノ検出器が完成すれば、シグナルを検出出来る可 能性があると結論された。[125,143]

量子分子動力学法による「パスタ相」の微視的研究

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。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 つ核子レベルのミクロスコピックなモデルを用いた 研究により、実際に動的なプロセスを通してパスタ相 が形成され得るかを調べた結果、静的かつマクロス コピックなモデルが予言するところの、板状や棒状等 の核から成る物質を再現することに成功すると共に、 温度ゼロにおける相図を得た。我々の結果は、以前か ら知られていた単純な対称性を持った相のみならず それらの相が現れる密度の間では、複雑な構造をし た中間的な相の存在も示唆しており、この様な相は 負のオイラー数を持った構造として特徴づけられる ことを指摘した。現在は、中性子過剰及び有限温度の 状況についての研究に着手しており、標準核密度以 下での物質の構造について密度、温度依存性をも含 めた統一的な描像を提示することを目標としている。 [33, 74, 76, 77, 91, 92, 107, 108, 126, 177, 203, 202]

を用いて、核の形状を全く仮定することなくパスタ 相が発現することを示したが、これを含めたかつて のパスタ相についての研究の多くが、相対論的縮態 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。 [92, 136]

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 dynamics を明らかにす るため、回転を考慮にいれた超新星爆発の数値計算 を行った。その結果、 neutino sphere が遠心力の効 果で偏平になり、従って、neutino sphere の温度は回 転軸方向に近付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 (Kotake et al. submitted to ApJ)。これらの結果は、爆発がjet 状になること を示唆している (Shimizu et al.01)。この jet 状爆 発は観測とも一致する。従って、回転を考慮に入れ ることが爆発の決め手になるばかりでなく、観測を 説明する必要上、不可欠なことが分かる。今後の課 題は、現状の簡単化された 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 (Kotake et al. in preparation)。 [109, 127, 169, 178]

超新星ニュートリノにおけるニュートリノ振動

われわれはニュートリノ振動が超新星ニュートリ ノに与える影響の系統的な研究を行なってきた。研 究の枠組みとしては、現実的な数値モデルに基づい た初期条件(ニュートリノスペクトル・星の構造)を 用いた、3世代ニュートリノ振動の数値的解析であ る。地球の物質効果を考慮し、これを詳細に解析して そのスペクトルを理論モデルと比較することにより、 ニュートリノの質量2乗差をよい精度で決定できる 可能性を指摘した。[34, 110, 111, 128] さらにこれま でその影響が無視されてきた衝撃波伝搬の効果が一 般には無視できず、これにより観測されるニュート リノの平均エネルギーが10%ほど下がることわかっ た。[151]

ニュートリノによる超新星方向の決定精度

超新星爆発が起こった場合、ニュートリノは光よ りも数時間早く地球に到達する。このため、ニュー トリノの情報だけから超新星爆発の方向を決定する ことは、光による初期相の観測を可能にするため、 大変重要である。超新星爆発が、我々の銀河内で起 こった場合、Super-Kamiokandeによる観測からど の程度の精度で方向を決定できるかを Monte Carlo simulationを用いて見積もった。その結果、9度程度 で決定できることを示した。[35, 78]

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 いても充分な考察を行なった。その結果、現在の検出 器では、10年程度の時間をかければ検出が可能であ ることを示した。[36, 79, 93, 112, 113, 179, 129, 144] また、最近 Super-Kamiokande グループが、超新 星背景ニュートリノ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。[38, 93, 113, 179, 152]

超新星ニュートリノの Resonant Spin-Flavor Conversion 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。我々はまず、RSF 効果を定性的に理解するために新たな level crossing diagram を提唱し、RSF と MSW の二つの効果が複雑 に絡み合うという描像を示した。更に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充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。[37, 39, 93, 170, 138]

我々は,宇宙における物質分布を反映するものとして,オプティカルレッドシフトサーベイ(ORS) 銀河データを超高エネルギー宇宙線のソースモデル として採用している.[41,42]しかし,宇宙線のエ ネルギースペクトルや到来方向を計算するには,フ ラックスリミットによる遠方銀河の欠落の補正を正 確に行なう必要がある.そこで,ORSと,それより 遠くを見渡すことのできるスローンデジタルスカイ サーベイ(SDSS)とで,銀河数の比較を距離の関数と して行い,両者の違いを調べた.結果として,ORS は我々から100Mpc程度の距離で,SDSSより二倍程 度銀河数を過大評価していることがわかり,このず れを埋め合わせるように,ORSのセレクションファ ンクションを補正した.[40]

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 方向分布が重要なてがかりとなり得る.我々は,宇宙 線起源の一つのシナリオであるボトムアップシナリオ に基づいて, 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なった。まず, AGASA 観測で得られているイベントのクラスターを説明す るには,銀河系外の磁場が通常仮定されている値より 小さい (B < 1 nG) 状況が良いことがわかった.また, もう一つの観測事実である到来方向の等方性と合わ せ,ソースの個数密度は $10^{-6} \mathrm{Mpc}^{-3}$ 程度であると, 初めて制限をつけた.[41,95,130,145,139,180,204] さらに,上記の AGASA 観測を説明できるソース 分布を用い, 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 により宇宙線の起源により深く迫れる可能性を示し た. [42]

1.4 素粒子現象論

宇宙のバリオン数生成とニュートリノの質量

大気及び太陽ニュートリノの振動実験は、ニュー トリノに 0.1 - 0.01eV 程度の質量があることを示し ている。 この小さい質量は、シーソー機構によれ ば、非常に大きな質量を持つ Majorana 粒子が存在 することを意味する。この重い Majorana 粒子は高 温の初期宇宙で大量に生成されたと考えられる。こ れらの Majorana 粒子は崩壊する時にレプトン数の 非対称性を生む。このレプトン数非対称性は弱い相 互作用の非摂動論的効果によりバリオン数に移り変 わる。このようにして、宇宙のバリオン数とニュー トリノの質量は強い関係にあるが、これらの関係に ついて研究を行う [43]-[56]。

[1] 佐藤勝彦 紫綬褒章 2002 年 4 月受章

<報文>

(原著論文)

- [2] S. Kasuya, M. Kawasaki and F. Takahashi: Moduli Problem and Baryogenesis in Gauge-mediated SUSY Breaking Models; Physical Review D65 (2002) 063509-1–12.
- [3] M. Kawasaki, T. Moroi and T. Takahashi: Isocurvature Fluctuations in Tracker Quintessence Models; Physics Letters B533 (2002) 294–301.
- [4] M. Kawasaki and M. Yamaguchi: A supersymmetric topological inflation model; Physical Review D65 (2002) 103518-1–5.
- [5] K. Ichikawa, M. Kawasaki: Constraining the variation of the coupling constants with big bang nucleosynthesis; Physical Review D65 (2002) 123511-1–7.
- [6] Kazuya Koyama: Radion and Large Scale Anisotropy on the Brane; Physical Review D66 (2002) 084003.
- [7] Shinpei Kobayashi and Kazuya Koyama: Cosmology with Radion and Bulk Scalar Field in Two Branes Model; Journal of High Energy Physics 012 (2002) 056.
- [8] Testuya Shiromizu and Kazuya Koyama: Low energy effective theory for a two branes system: Covariant curvature formulation; Physical Review D67 (2003) 084022.
- [9] Kazuya Koyama and Keitaro Takahashi: Primordial fluctuations in bulk inflaton model; Physical Review D (2003), in press.
- [10] Tetsuya Shiromizu, Kazuya Koyama and Keitaro Takahashi: Effective theory for close limit of two branes; Physical Review D (2003), in press.
- [11] Y.P. Jing & Yasushi Suto: Triaxial Modeling of Halo Density Profiles with High-resolution N-body Simulations; The Astrophysical Journal 574(2002)538-553 (astro-ph/0202064).
- [12] Jounghun Lee & Yasushi Suto: Modeling Intra-Cluster Gas in Triaxial Dark Halos: An Analytic Approach; The Astrophysical Journal 585(2003)151-160 (astro-ph/0211007).
- [13] Atsushi Taruya, and Masa-aki Sakagami: Gravothermal Catastrophe and Tsallis' Generalized Entropy of Self-Gravitating Systems II. Thermodynamic Properties of Stellar Polytrope; Physica A **318** (2003) 387-413 (cond-mat/0204315).
- [14] Atsushi Taruya, and Masa-aki Sakagami: Gravothermal Catastrophe and Tsallis' Generalized Entropy of Self-Gravitating Systems III. Quasi-Equilibrium Structure using Normalized q-values; Physica A **322** (2003) 285-312 (cond-mat/0211305).

- [15] Atsushi Taruya, and Masa-aki Sakagami: Longterm Evolution of Stellar Self-Gravitating System away from the Thermal Equilibrium: Connection with Non-Extensive Statistics; Physical Review Letters (2003), in press (astro-ph/0303415).
- [16] Atsushi Taruya, Takashi Hamana, and Issha Kayo: Non-Gaussian tails of cosmological density distribution function from dark halo approach; Monthly Notice of the Royal Astronomical Society **339** (2003) 495-504 (astro-ph/0210507).
- [17] 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
- [18] Kohji Yoshikawa, Y.P. Jing & Gerhard Börner: Spatial and Dynamical Biases in Velocity Statistics of Galaxies; The Astrophysical Journal (2003) in press
- [19] Tamon Suwa, Asao Habe, Kohji Yoshikawa, Takashi Okamoto:Cluster Morphologies as a Test of Different Cosmological Models;The Astrophysical Journal (2003) in press
- [20] Mamoru Shimizu, Tetsu Kitayama, Shin Sasaki, and Yasushi Suto: Reliability of merger tree realizations of dark halos in the Monte-Carlo modeling of galaxy formation; Publications of the Astronomical Society of Japan, 54 (2002) 645 (astro-ph/0207230).
- [21] 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) June 10 issue, in press (astro-ph/0212284).
- [22] T. Kuwabara, A. Taruya, & Y. Suto: Modeling a Pairwise Peculiar Velocity Distribution Fucntion of Dark Matter from Halo Density Profiles; Publications of the Astronomical Society of Japan 54(2002) 503-513
- [23] Chiaki Hikage, Yasushi Suto, Issha Kayo, Atsushi Taruya, Takahiko Matsubara, Michael S. Vogeley, Fiona Hoyle, J.Richard Gott III, Jon Brinkmann, & the SDSS collaboration: Three-Dimensional Genus Statistics of Galaxies in the SDSS Early Data Release; Publ. Astron. Soc. Japan 54 (2002) 707-717
- [24] Chiaki Hikage, Atsushi Taruya, & Yasushi Suto: Biasing and Genus Statistics of Dark Matter Halos in the Hubble Volume Simulations; Publ. Astron. Soc. Japan 55 (2003) 335-344
- [25] Masamune Oguri: Systematic Effects on Tangential and Radial Arc Statistics: The Finite Source Size and Ellipticities of the Lens and Source; The Astrophysical Journal, **573** (2002) 51-59 (astro-ph/0203142).

- [26] Masamune Oguri: Constraints on the Baryonic Compression and Implications for the Fraction of Dark Halo Lenses; The Astrophysical Journal 580 (2002) 2-11 (astro-ph/0207520).
- [27] Masamune Oguri, Yasushi Suto, & Edwin L. Turner: Gravitational Lensing Magnification and Time Delay Statistics for Distant Supernovae; The Astrophysical Journal 583 (2003) 584-593 (astro-ph/0210107).
- [28] Masamune Oguri & Yozo Kawano: Gravitational Lens Time Delays for Distant Supernovae: Breaking the Degeneracy between Radial Mass Profiles and the Hubble Constant; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **338** (2003) L25-L29 (astro-ph/0211499).
- [29] Masamune Oguri: How Many Arcminute-Separation Lenses Are Expected in the 2dF QSO Survey?; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **339** (2003) L23-L27 (astroph/0211196).
- [30] Yasuhiro Ohta, Issha Kayo, and Atsushi Taruya: Evolution of Cosmological Density Distribution Function From the Local Collapse Model; The Astrophysical Journal 589 May 20 issue, in press.
- [31] Shigehiro Nagataki and Kazunori Kohri: Features of Neutrino Signals from Collapsars; Progress of Theoretical Physics, **108** (2002) 789.
- [32] Shigehiro Nagataki, Kazunori Kohri, Shin'ichiro Ando, and Katsuhiko Sato: Gamma-ray burst neutrino background and star formation history in the universe; Astroparticle Physics, 18 (2003) 551.
- [33] Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki: Microscopic study of slablike and rodlike nuclei: Quantum molecular dynamics approach, Phys. Rev. C 66, 012801(R) (2002).
- [34] Keitaro Takahashi, Katsuhiko Sato: Earth effects on supernova neutrinos and their implications for neutrino parameters; Phys. Rev. D, 66 (2002) 033006.
- [35] Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato: Determining the Supernova Direction by Its Neutrinos, Prog. Theor. Phys. 107 (2002) 957.
- [36] Shin'ichiro Ando, Katsuhiko Sato and Tomonori Totani: Detectability of the supernova relic neutrinos and neutrino oscillation, Astropart. Phys. 18 (2003) 307.
- [37] Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato: Threegeneration study of neutrino spin-flavor conversion in supernovae and implication for the neutrino magnetic moment, Phys. Rev. D 67 (2003) 023004.
- [38] Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato: Supernova relic neutrinos and observational implications for neutrino oscillation, Phys. Lett. B 559 (2003) 113.

- [39] Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato: Resonant spin-flavor conversion of supernova neutrinos: Dependence on presupernova models and future prospects, Phys. Rev. D (2003), in press.
- [40] H.Yoshiguchi, S.Nagataki, K.Sato, N.Ohama, S.Okamura: Revision of the Selection Function of the ORS using the SDSS EDR: Toward an Accurate Estimate of the Source Number Density of UHECRs, PASJ, 55, 121, (2003)
- [41] H.Yoshiguchi, S.Nagataki, S.Tsubaki, K.Sato: Small Scale Clustering in the Isotropic Arrival Distribution of UHECRs and Implications for Their Source Candidate, ApJ, 586, 1211, (2003)
- [42] H.Yoshiguchi, S.Nagataki, K.Sato: Arrival Distribution of UHECRs: Prospects for the Future, astro-ph/0302508, to be published in ApJ
- [43] M. Fujii, K. Hamaguchi, T. Yanagida: Leptogenesis via LH(U) Flat Direction with a Gauged U(1)(B-L); Phys.Rev.D65: 043511, (2002).
- [44] K. Hamaguchi, H. Murayama, T. Yanagida: Leptogenesis from N Dominated Early Universe; Phys.Rev.D65: 043512, (2002).
- [45] T. Watari, T. Yanagida: Higher Dimensional Supersymmetry as an Origin of the Three Families for Quarks and Leptons; Phys.Lett.B532: 252, (2002).
- [46] M. Fujii, K. Hamaguchi, T. Yanagida: Leptogenesis with Almost Degenerate Majorana Neutrinos; Phys.Rev.D65: 115012, (2002).
- [47] K.-I. Izawa, T. Watari, T. Yanagida: Higher Dimensional QCD without the Strong CP Problem; Phys.Lett.B534: 93, (2002).
- [48] M. Fukugita, T. Yanagida: Resurrection of Grand Unified Theory Baryogenesis; Phys.Rev.Lett.89: 131602, (2002).
- [49] M. Fujii, K. Hamaguchi, T. Yanagida: Predictions on the Neutrinoless Double Beta Decay from the Leptogenesis via the LH(U) Flat Direction; Phys.Lett.B538: 107, (2002).
- [50] T. Watari, T. Yanagida: Geometric Origin of Large Lepton Mixing in a Higher Dimensional Space-Time; Phys.Lett.B544: 167, (2002).
- [51] J.R. Ellis, M. Raidal, T. Yanagida: Observable Consequences of Partially Degenerate Leptogenesis; Phys.Lett.B546: 228, (2002).
- [52] M. Fujii, T. Yanagida: A Solution to the Coincidence Puzzle of Omega(B) and Omega (DM); Phys.Lett.B542: 80, (2002).
- [53] M. Fujii, T. Yanagida: Baryogenesis and Gravitino Dark Matter in Gauge Mediated Supersymmetry Breaking Models; Phys.Rev.D66: 123515, (2002).
- [54] A. Hebecker, J. March-Russell, T. Yanagida: Higher Dimensional Origin of Heavy Sneutrino Domination and Low Scale Leptogenesis; Phys.Lett.B552: 229, (2003).

- [55] M. Fujii, T. Yanagida: Natural Gravitino Dark Matter and Thermal Leptogenesis in Gauge Mediated Supersymmetry Breaking Models; Phys.Lett.B549: 273.
- [56] P.H. Frampton, S.L. Glashow, T. Yanagida: Cosmological Sign of Neutrino CP Violation; Phys.Lett.B548: 119, (2002).

(会議抄録)

- [57] Kazuya Koyama: Radion and large scale anisotropy on the brane; Progress of theoretical physics supplement 148 (2002) 259.
- [58] Jiro Soda and Kazuya Koyama: Cosmological perturbations in the brane world -Brane View vs Bulk View-; Progress of theoretical physics supplement 148 (2002) 136.
- [59] Shinpei Kobayashi and Kazuya Koyama: Cosmology based on Horava-Witten theory; Progress of theoretical physics supplement 148 (2002) 245.
- [60] Jounghun Lee & Yasushi Suto: Modeling intracluster gas in triaxial dark halos; Proceedings of the Japan - Germany workshop: "Galaxies and Clusters of Galaxies", eds. T.Ohashi and N.Y.Yamasaki, pp.137-140.
- [61] Kohji Yoshikawa, Noriko Y. Yamasaki, Yasushi Suto, Takaya Ohashi, K. Mitsuda, Yuzuru Tawara & Akihiro Furuzawa: Detectability of Warm/Hot Intergalactic Medium Through Emission Lines of OVII and OVIII; Proceedings of the Japan - Germany workshop: "Galaxies and Clusters of Galaxies", eds. T.Ohashi and N.Y.Yamasaki, pp.167-170.
- [62] Yasushi Suto, Mamoru Shimizu, Tetsu Kitayama & Shin Sasaki: Reliability of galaxy clusters as cosmological probes; Proceedings of the Japan - Germany workshop: "Galaxies and Clusters of Galaxies", eds. T.Ohashi and N.Y.Yamasaki, pp.137-140.
- [63] 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), in press (astro-ph/0207202).
- [64] Kohji Yoshikawa, Noriko Y. Yamasaki, Yasushi Suto, Takaya Ohashi, K. Mitsuda, Yuzuru Tawara & Akihiro Furuzawa: Detectability of Warm/Hot Intergalactic Medium Through Emission Lines of OVII and OVIII; Proceedings of the Japan - Germany workshop: "Galaxies and Clusters of Galaxies", eds. T.Ohashi and N.Y.Yamasaki, pp.167-170.
- [65] 桑原健,他SZチーム: "45m 鏡マルチビーム受信機の連続波データ解析手法の開発"野辺山宇宙電波観測所ユーザーズミーティング(2002年7月19日)
- [66] Masamune Oguri, Atsushi Taruya, Yasushi Suto, & Edwin L. Turner: Time Delay Statistics of

Strong Gravitational Lensing and the Density Profile of Dark Halos; Proceedings of the 5th RESCEU symposium "New Trends in theoretical and observational cosmology", eds. K. Sato and T. Shiromizu, pp. 333-334

- [67] Masamune Oguri: Strong Gravitational Lensing Statistics: Galaxies versus Dark Halos; Proceedings of IAU 8th Asian Pacific Regional Meeting, eds. S. Ikeuchi, J. Hearnshaw and T. Hanawa, pp. 483-484
- [68] K. Sato, K. Takahashi and S. Ando: Neutrino Burst from Supernovae and Neutrino Oscillation, YKIS Physics of Unstable Nuclei, Prog. Theor. Phys. Supplement No.146, (2002), Ed. by K. Hagino, H. Horiuchi, M. Matsuo and I. Tanihata, 212-226.
- [69] K. Sato, K. Takahashi and S. Ando: The Neutrino Burst from Supernovae and Neutrino Oscillation, ESO Astrophysics Symposia, From Twilight to Highlight: The physics of Supernovae, ed. W. Hillebrandt and B. Leibundgut, Springer, 2003, 81-86.
- [70] 長滝 重博: Neutrino Emission and Explosive Nucleosynthesis Accompanied with Formation of a GRB in a Massive Star, 研究会「ガンマ線バース ト 2002」集録中村編集 (2002), p.156.
- [71] 長滝 重博: Explosive Nucleosynthesis Associated with Formation of a GRBs in Massive Stars, 第三 回高エネルギー宇宙物理連絡会研究会・理研シンポ ジウム「宇宙における電子の加速と陽子の加速」牧 島編集 (2002), p.91.
- [72] 長滝 重博: Explosive Nucleosynthesis Associated with Formation of Jet-induced GRBs in Massive Stars, 研究会「高エネルギー宇宙物理学の理論的研 究」高原編集 (2002), p.97.
- [73] Gentaro Watanabe, Kei Iida and Katsuhiko Sato: Thermodynamic properties of nuclear "pasta" in neutron star crusts; Proceedings of "The Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2000", eds. T. Kajino et al., 381-384 (2003).
- [74] Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki: Microscopic Study of Nuclear "Pasta" by Quantum Molecular Dynamics; Proceedings of YKIS01 "Physics of Unstable Nuclei", Prog. Theor. Phys. Suppl. 146, 638-639 (2002).
- [75] Kei Iida, Gentaro Watanabe and Katsuhiko Sato: Formation of Nuclear "Pasta" in Cold Neutron Star Matter; Proceedings of YKIS01 "Physics of Unstable Nuclei", Prog. Theor. Phys. Suppl. 146, 514-519 (2002).
- [76] Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki: Microscopic Study of Nuclear "Pasta" by Quantum Molecular Dynamics; Proceedings of the 5th RESCEU International Symposium on "New Trends in The-

oretical and Observational Cosmology", eds. K. Sato and T. Shiromizu, 373-374 (2002).

- [77] Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki: Microscopic Study of Nuclear "Pasta": Quantum Molecular Dynamics Approach; to appear in Proceedings of the Seventh International Symposium on Nuclei in the Cosmos, in press.
- [78] Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato: Determining the Supernova Direction by its Neutrinos, Proceedings of the 5th RESCEU International Symposium on "New Trends in Theoretical and Observational Cosmology", eds. K. Sato and T. Shiromizu, Universal Academy Press, 2002, p261-262
- [79] Shin'ichiro Ando, Katsuhiko Sato and Tomonori Totani: Detectability of the Supernova Relic Neutrinos, Proceedings of the First Sendai International Conference on Neutrino Science, 2002
- [80] H.Yoshiguchi: Propagation of Ultra-High Energy Cosmic Rays from Sources in the Super-Galactic Plane, New trends in theoretical and observational cosmology 385-386

(国内雑誌)

- [81] 佐藤勝彦:宇宙論 時間はどのようにして始まった のか、日経サイエンス 12月号 (2002), 26-29
- [82] 佐藤勝彦:宇宙論の新展開、数理科学 2月号 (2003), 5-12
- [83] 佐藤勝彦: タイムマシン、宇宙の創生、 ミーサイ マガジン(日本科学未来館) 3巻 (2003)14-15.
- [84] Katsuhiko Sato: Begnning of the Universe -Modern genesis described by physics-, TANSEI, The University of Tokyo Magagine, Vol.3. March (2003) 24
- [85] 須藤 靖: アンパンマンに学べ、岩波 科学 72(2002)4 月号, pp.439-440.
- [86] 須藤 靖: 不惑の宇宙論?、日本惑星科学会 会誌 遊・ 星・人 11(2002)pp.94-106.
- [87] 佐藤勝彦:ニュートリノ天文学の誕生と新展開、日 経サイエンス 1月号 (2003), 22-27
- [88] 小柴昌俊、佐藤勝彦:記念対談 実験物理学への挑戦、科学 1月号 (2003), 64-
- [89] 佐藤勝彦:小柴先生のノーベル賞受賞となった超新星 ニュートリノの検出と超新星ニュートリノ理論の進 展、高エネルギーニュース 2003 年、Vol. 21 No. 4, 158-163.
- [90] 佐藤勝彦:となりから見た超新星ニュートリノ検出 の現場、日本物理学会誌、2003年1月号
- [91] 渡辺 元太郎、佐藤 勝彦、泰岡 顕治、戎崎 俊一: Microscopic Study of Nuclear "Pasta" by Quantum Molecular Dynamics; Proceedings of the fourth symposium on science of hadrons under extreme conditions, eds. S. Chiba and T. Maruyama, 29-35 (2002).

(学位論文)

- [92] Gentaro Watanabe: Nuclear "pasta" in dense stars and its properties (博士論文).
- [93] 安藤真一郎: "Supernova Neutrinos: Their Relic Background and Resonant Spin-Flavor Conversion" (修士論文)
- [94] 太田 泰弘:局所近似モデルに基づく宇宙大規模構造の非線形重力進化(修士論文)
- [95] 吉口 寛之: Arrival Distribution of Ultra-High Energy Cosmic Rays and Implications for Their Source Candidates (修士論文)

(著書)

- [96] 佐藤勝彦:宇宙の誕生、 第16回「大学と科学」公開シンポジウム講演収録集 「宇宙を探る新しい目 - 重力波 - 」 (2002),(分担執筆)、 112-122
- [97] 佐藤勝彦:超ミクロと超マクロの物理、「21世紀、物 理はどう変わるか」、日本物理学会編、裳華房、2002 年11月、分担執筆、36-60.

```
(国際会議)
```

```
一般講演
```

- [98] Kazuya Koyama: Evolution of cosmological perturbations in the brane worlds; The XXI Symposium on Relativistic Astrophysics 2002, Florence (2002 年 12 月 9-13 日).
- [99] Atsushi Taruya: Lognormal Behavior of the Cosmological Density Distribution Function, The IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting 2002, Tokyo (2002年7月2-5日).
- [100] Atsushi Taruya: Lognormal Properties of Dark Matter Density and Weak Lensing Fields, The XXI Symposium on Relativistic Astrophysics 2002, Florence (2002年12月9-13日).
- [101] Kohji Yoshikawa:Detectability of Warm/Hot Intergalactic Medium Through Emission Lines of OVII and OVIII, Japan-Germany galaxy-cluter workshop, "Galaxies and Clusters of Galaxies", 修善寺 (2002 年 10 月 31 日)
- [102] Issha Kayo: "3pt in SDSS" (SDSS collaboration meeting 2002 summer; Princeton 大, 2002 年 7 月)
- [103] Masamune Oguri: Strong Gravitational Lensing Statistics: Galaxies versus Dark Halos; IAU 8th Asian Pacific Regional Meeting, Tokyo (2002年7 月)
- [104] Masamune Oguri & Yozo Kawano: Accurate Determination of the Hubble Constant from Supernova Lensing; The 12th Workshop of General Relativity and Gravitation, Tokyo (2002 年 11 月)
- [105] Katsuhiko Sato, Keitaro Takahashi and Shin'ichiro Ando, Neutrino Burst From Supernova and Neutrino OSC, ESO Workshop on Supernovae, Garching, July, 2002

<学術講演>

- [106] S. Nagataki, Gamma-ray burst neutrino background and star formation history in the universe, The 7th International Symposium on Nuclei in the Cosmos, Hotel Highland Resort, Fuji-Yoshida, Japan (2002 年 7 月 9 日)
- [107] Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki: Microscopic Study of Nuclear "Pasta": Quantum Molecular Dynamics Approach, the Seventh International Symposium on Nuclei in the Cosmos, (Yamanashi, July 2002).
- [108] Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka and Toshikazu Ebisuzaki: Microscopic Study of Nuclear "Pasta": Quantum Molecular Dynamics Approach, the XVI International Conference on Particles and Nuclei, (Osaka, Sept. -Oct. 2002).
- [109] K.Kotake, S.Yamada and K. Sato; Gravitational Collapse of Rotating Massive Stars, The Seventh International Symposium on "Nuclei in the Cosmos" (Fuji-Yoshida, Japan, July, 2002)
- [110] Keitaro Takahashi, Katsuhiko Sato: Earth effects on supernova neutrinos and their implications for neutrino parameters, Nuclei in Cosmos VII, Fuji-Yoshida, July, 2002.
- [111] Keitaro Takahashi, Katsuhiko Sato: Earth effects on supernova neutrinos and their implications for neutrino parameters, PANIC02, Osaka, October, 2002.
- [112] Shin'ichiro Ando, Katsuhiko Sato and Tomonori Totani: Detectability of the Supernova Relic Neutrinos, XVI Particles and Nuclei International Conference (PANIC02; Osaka, October 2002)
- [113] Shin'ichiro Ando, Katsuhiko Sato and Tomonori Totani: Supernova Relic Neutrinos and Neutrino Oscillation, The 4th Workshop on "Neutrino Oscillations and their Origin" (NOON2003; Kanazawa, March 2003)

招待講演

- [114] Yasushi Suto: Density profiles and clustering of dark halos and clusters of galaxies, the international conference, "Matter and Energy in Clusters of Galaxies", 台湾中央大学 (2002年4月23-27日)
- [115] Yasushi Suto: Reliablity of galaxy clusters as cosmological probes, Japan-Germany galaxy-cluster workshop, "Galaxies and Clusters of Galaxies", 修善寺 (2002 年 10 月 31 日)
- [116] Yasushi Suto: Reliablity of galaxy clusters as cosmological probes, Ringberg workshop "Testing cosmological models with galaxy clusters", Ringberg, Germany (2003年1月14日)
- [117] Katsuhiko Sato: Neutrino Burst from Supernovae and Neutrino Oscillation Parameters, International Symposium on Cosmology and Particle Astrophysics, Taipei, May, 2002.

- [118] Katsuhiko Sato: Explosion Mechanism of Supernova and neutrino Burst, The 50th Anniversary Symposium of Korean Physical Society, Seoul, Sept. 2002.
- [119] Katsuhiko Sato: Ultra-High Energy Cosmic Rays and Local Super Clusters, The 50th Anniversary Symposium of Korean Physical Society, Seoul, Sept. 2002
- [120] Katsuhiko Sato: Supernova Explosion and Neutrino Oscillation, 5th Sino-Germany workshop on cosmology and formation of galaxies, Beijing, 17-21, 2002.
- [121] Katsuhiko Sato: Neutrino Burst from Supernovae and the Implications for Neutrino Oscillation Parameters, Tokyo-Adelaide Joint workshop on Quarks, Astrophysics and Space Physics, Tokyo, 6-10 Jan. 2003.
- [122] Katsuhiko Sato: Supernova Explosion and neutrino Burst from Supernovae, VHEPA-3 workshop, Kashiwa, 20-22, March 2003.

- ・日本物理学会 2002 年秋期大会 (立教大学、2002 年 9 月)
- [123] 小山 和哉: "ブレイン宇宙におけるバルクスカラー 場の運動"
- [124] 樽家 篤史, 阪上 雅昭: Numerical Simulation of Gravothermal Catastrophe From a View of Nonextensive Thermostatistics
- [125] 長滝重博:高速回転する中性子星の伴星からやってくる TeV ニュートリノ
- [126] 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パスタ相の微視的研究
- [127] 固武 慶、山田章一、佐藤勝彦; Gravitational Collapse of Rotating Massive Stars
- [128] 高橋慶太郎、佐藤勝彦: 超新星ニュートリノとニュー トリノ振動
- [129] 安藤真一郎、佐藤勝彦、戸谷友則: "超新星背景ニュー トリノの検出可能性"
- [130] 吉口 寛之,長滝 重博,椿 信也,佐藤 勝彦: 非一様 ソースモデルにおける超高エネルギー宇宙線の伝搬
 - ・日本物理学会第 58 回年次大会(東北学院大学、2003 年 3 月)
- [131] 小山 和哉: "Behavior of Weyl anistropic stress in the brane worlds"
- [132] 高橋 慶太郎、小山 和哉: "Primordial fluctuations in bulk inflaton model"
- [133] 樽家 篤史, 阪上 雅昭: 重力多体系の非加法的統計力 学 (II)
- [134] 大栗真宗: "Implications of possible arcminuteseparation lensed quasars in the 2dF quasar survey"

⁽国内会議)

一般講演

- [135] 椿信也,北山哲,佐藤勝彦:銀河団の進化と宇宙線 の閉じ込め
- [136] 渡辺 元太郎、飯田 圭: 中性子星クラスト中のパス タ相における電子遮蔽効果
- [137] 高橋慶太郎、佐藤勝彦: "超新星ニュートリノとニュー トリノ振動:親星の質量依存性"
- [138] 安藤真一郎、佐藤勝彦: "Resonant Spin-Flavor Conversion of Supernova Neutrinos"
- [139] 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ソース候補への示唆
 - ・日本天文学会 2002 年秋期大会 (宮崎シーガイア、 2002 年 10 月)
- [140] 吉川 耕司: "Spatial and dynamical biases in velocity statistics of galaxies"
- [141] 大栗真宗:"重力レンズ統計のレンズ天体"
- [142] 太田 泰弘: Local collapse model に基づく密度ゆら ぎ確率分布関数の時間発展
- [143] 長滝重博: TeV Neutrinos from Companion Stars of Rapid-Rotating Neutron Stars
- [144] 安藤真一郎、佐藤勝彦、戸谷友則: "超新星背景ニュー トリノの検出可能性"
- [145] 吉口 寛之, 長滝 重博, 椿 信也, 佐藤 勝彦: 非一様 ソースモデルにおける超高エネルギー宇宙線の伝搬
 - ・日本天文学会 2003 年春期年会(東北大学、2003 年 3 月)
- [146] 吉川 耕司: "Detectability of Warm-Hot Intergalactic Medium through OVII and OVIII emission lines"
- [147] 清水 守, 北山 哲, 佐々木 伸, 須藤 靖: 銀河団の質 量・温度関係
- [148] 加用 一者、須藤 靖、Robert Nichol "SDSS 銀河三 点相関関数"
- [149] 大栗真宗、川野 羊三: "遠方超新星の重カレンズを 用いたハッブル定数の精密測定"
- [150] 長滝重博: Explosive Nucleosynthesis Associated with Formation of GRBs in Massive Stars
- [151] 高橋慶太郎、佐藤勝彦:超新星における衝撃波伝搬 とニュートリノ振動
- [152] 安藤真一郎、佐藤勝彦: "超新星背景ニュートリノと その観測からの示唆"

・その他

- [153] 佐藤勝彦: 美しきかなこの世界-科学研究の楽しさ と意義、東大理学理学部公開講演会"基礎科学が拓 く未来社会-東大理学部からの メッセージ"、安田 講堂、2002 年 4 月 19 日
- [154] 佐藤勝彦:宇宙の創世に挑む、東邦大学理学部公開
 講座"21世紀の宇宙像 今、宇宙物理学の最前線
 は "東邦大学、2002年6月22日

- [155] 佐藤勝彦:宇宙はいかに始まったか-物理学の描く現代の創世記-第3回東京大学公開学術講演会"分子から宇宙へ-神秘を科学する-"安田講堂、2002年7月24日
- [156] 佐藤勝彦:宇宙の創成と未来-宇宙論の新展開、東京 大学素粒子物理国際研究センター一般公開講演会"素 粒子と宇宙-素粒子物理の最前線と新しい宇宙像-"、 安田講堂、2002 年 10 月 19 日
- [157] 佐藤勝彦:宇宙の誕生、宇宙の未来、東京大学宇宙線 研究所一般公開講演、東京大学宇宙線研究所、2002 年11月2日
- [158] 小山 和哉、白水徹也: "Effective theory for two branes system", 第 12 回 「一般相対論と重力」研 究会 (東京大学, 2002 年 11 月 25-28 日)
- [159] 高橋 慶太郎、小山 和哉: "Primordial fluctuations in bulk inflaton model", 京都大学基礎物理学 研究所研究会「Extra dimensions と Braneworld -素粒子理論、現象論、宇宙論 - 」
- [160] 須藤 靖: "Correlation functions and genus for SDSS galaxies"国立天文台理論解析計算機センター ユーザーズミーティング (2002 年 12 月 25 日)
- [161] 樽家 篤史, 阪上 雅昭: Numerical Similation of Gravothermal Catastrophe From a Viewpoint of Non-extensive Thermodynamics, 第 12 回 「一般 相対論と重力」研究会 (東京大学, 2002 年 11 月 25-28 日)
- [162] 樽家 篤史: Gravothermal Catastrophe and Generalized Entropy of Self-Gravitating Systems, 第15回理論天文学懇談会シンポジウム/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, 2002年12月24-26日)
- [163] 樽家 篤史: Long-term Evolution of Stellar Selfgravitating System away from the Thermal Equilibrium: connection with non-extensive statistics, 伊豆長岡天体力学 N 体力学研究会 (伊豆長岡, 2003 年 3 月 6-8 日)
- [164] 加用 一者、樽家 篤史、浜名 崇:"非線形質量密度 ゆらぎ確率分布関数のハローモデルによる物理的理 解"第15回 理論天文学懇談会シンポジウム(国立 天文台,2002年12月)
- [165] 大栗真宗: "遠方超新星の重力レンズ"第15回理論 天文学懇談会シンポジウム(国立天文台、2002年 12月)
- [166] 佐藤勝彦:小柴先生のノーベル賞受賞となった超新 星ニュートリノの検出 -理論とその後の進展-、東 京大学理学部第2回公開講演会、駒場、2002年12 月20日
- [167] 長滝重博: Hypernova に於ける Jet 状爆発と元素合 成、研究会「高エネルギー宇宙物理学の理論的研究」 (東京大学 2002 年 11 月 1 日)
- [168] 長滝重博: Explosive Nucleosynthesis Associated with Formation of GRBs in Massive Stars、第三 回高エネルギー宇宙物理連絡会研究会・理研シンポ ジウム「宇宙における電子の加速と陽子の加速」(理 化学研究所 2002 年 11 月 26 日)

- [169] 固武 慶、山田章一、佐藤勝彦、; Rotational Core-Collapse in Neutrino Leakage Scheme. 第15回 理 論天文学懇談会シンポジウム (国立天文台三鷹キャ ンパス, 2002 年12月)
- [170] 安藤真一郎、佐藤勝彦: "Resonant Spin-Flavor Conversion of Supernova Neutrinos" 第 15 回理論天文 学懇親会シンポジウム(国立天文台、2002 年 12 月)

招待講演

- [171] 小山 和哉: "ブレイン宇宙摂動論",京都大学 基礎物理学研究所研究会「Extra dimensions と Braneworld - 素粒子理論、現象論、宇宙論 - 」
- [172] 須藤 靖: "Warm-Hot Intergalactic Medium"銀河
 間物質探索ミッション検討会、東京都立大学 (2002 年6月5日)
- [173] 須藤 靖: "WMAP と 21 世紀の宇宙論"KEK 理論 研究会 2003-超弦理論のダイナミクス-、KEK (2003 年 3 月 19 日)
- [174] 長滝重博: Neutrino Emission and Explosive Nucleosynthesis Accompanied with Formation of a GRB in a Massive Star、研究会「ガンマ線バース ト 2002」 (京都大学 2002 年 8 月 29 日)
- [175] 長滝重博:ブラックホール形成シナリオにもとづくガンマ線バーストの起源、研究会「ブラックホール天文学の新展開」(京大基研 2003 年 2 月 18 日)
- [176] 長滝重博:ガンマ線バースト背景ニュートリノと宇宙の星形成史、研究会「ニュートリノと超新星爆発」 (東京大学 2003 年 2 月 21 日)
- [177] 渡辺 元太郎: 量子分子動力学法によるパスタ相の 微視的研究、研究会「ニュートリノと超新星爆発」 (東京大学、2003年2月)
- [178] 固武 慶、山田章一、佐藤勝彦; Anisotropic Neutrino Radiation from Rotating Protoneutron Stars, 研 究会「ニュートリノと超新星爆発」(東京大学、2003 年、2月)
- [179] 安藤真一郎、佐藤勝彦、戸谷友則: "超新星背景ニュートリノ:検出可能性と観測からの示唆"研究会「ニュートリノと超新星爆発」(東京大学、2003年2月)
- [180] 吉口 寛之: 超高エネルギー宇宙線到来方向分布と ソース候補への示唆、研究会「ニュートリノと超新 星爆発」(東京大学、2003年2月)

(集中講義)

- [181] 須藤 靖:東京工業大学物理学教室「銀河団の多波長 観測と宇宙論」(2002 年 6 月 18-20 日)
- [182] 須藤 靖: 埼玉大学物理学教室「宇宙定数」(2002 年 9月 2,3 日)
- [183] 須藤 靖: 東北大学物理学教室「観測的宇宙論」(2002 年 12 月 2,3 日)
- [184] 佐藤勝彦: 慶応大学理工学部「天体物理学」、2002 年 11-12 月
- (セミナー)

- [185] 小山 和哉: "Cosmological Perturbations in the brane worlds",国立天文台理論天文学系 宇宙論セ ミナー (2003 年 5 月 10 日)
- [186] 小山 和哉: "Radion and Large Scale Anisotropy on the Brane", 早稲田大学 宇宙物理 学研究室セミナー (2003 年 5 月 31 日)
- [187] 須藤 靖: "不惑の観測的宇宙論"、東京工業大学 基礎物理学談話会 (2002 年 6 月 20 日)
- [188] 須藤 靖: "Beyond Precision Cosmology"、埼玉大
 学物理学教室セミナー(2002年9月3日)
- [189] 須藤 靖: "Searching for scattered light from a transiting planet HD209458b", 第6回系外惑星系 セミナー(2002年10月18日)
- [190] 樽家 篤史: "自己重力多体系と非加法的熱・統計力 学",東京工業大学 細谷・白水研究室コロキウム (2002 年4月16日)
- [191] Atsushi Taruya: "Theoretical Aspects of Cosmological Density Distribution Functions from the Gaussian Initial Conditions", University of Pennsylvania, Astrophysics Group Journal Club (2002 年7月 29 日)
- [192] 樽家 篤史: "自己重力多体系の長時間進化と準平衡 状態:非加法的熱統計との関連",早稲田大学 宇宙物 理学研究室セミナー (2003 年 2 月 14 日)
- [193] 吉川 耕司: "Nonlinear Stochastic Biasing of Galaxies and Dark Halos in Cosmological Hydrodynamic Simulations"東京大学 天文学教室セ ミナー
- [194] 大栗真宗: "The Hubble Constant Problem?"、東京 工業大学宇宙物理学理論グループ コロキウム (2003 年 2 月)
- [195] 佐藤勝彦: Neutrino Burst from Supernovae and Neutrino Oscillation, Shanghai Observatory, Chinese Academy of Sciences, May, 2002.
- [196] 佐藤勝彦:Explosion mechanism of Supernovae and Neutrino Burst from Supernovae, Tsinghua University、Oct.2002.
- [197] 佐藤勝彦: Explosion mechanism of Supernovae and Neutrino Burst from Supernovae, Institute of High Energy Physcis, Chinese Academy of Sciences, Oct.2002.
- [198] 佐藤勝彦: Neutrino Burst from Supernovae and Neutrino Oscillation Parameters、Rome Univ., Feb., 2003.
- [199] 佐藤勝彦: Neutrino Burst from Supernovae and Neutrino Oscillation Parameters, INF, Gran Sasso, Feb., 2003.
- [200] 佐藤勝彦: Neutrino Burst from Supernovae and Neutrino Oscillation Parameters, Niels Bohr Institute/Nordita, Feb., 2003.
- [201] 長滝重博: Explosive Nucleosynthesis Accompanied with Formation of Jet-induced GRBs in Massive Stars、(早稲田大学 2002 年 10 月 18 日)

- [202] 渡辺 元太郎: Nuclear "Pasta": 高密度天体内部物 質が織り成す物質相の世界、早稲田大学 前田研究室 セミナー (2002 年 6 月)
- [203] 渡辺 元太郎: Nuclear "Pasta": 高密度天体内部物 質が織り成す物質相の世界、日本原子力研究所 極限 ハドロン科学研究グループセミナー (2002 年 9 月)
- [204] 吉口 寛之: 超高エネルギー宇宙線到来方向分布と ソース候補への示唆,宇宙線研究所, ASHRA グ ループセミナー(2002年12月19日)

2 銀河進化理論

「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 ということ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 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ぽ 同じ方角で起こったので、これら 2 つの現象の関連 についても研究を進める。

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

2.1 近傍矮小銀河の化学進化

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 というシナリオを元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 カ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。[3], [23], [24], [80]

大小マゼラン雲

大小マゼラン雲の年齢-金属量関係、 星の鉄組成 の金属量分布の新たな観測データを加えて、化学進 化モデルの再構築を行い、論文を再投稿した(小林 (MPE)との共同研究)。

2.2 スターバースト銀河 M82の特 異な化学組成と極超新星の元 素合成の寄与

鶴、松本(京大理)との共同研究。ASCAによっ て M82 の化学組成が観測されたが、その組成はケイ 素が多いなど特異であり、普通の超新星による元素 合成では説明出来ない。しかし M82 はスターバース ト銀河であるため、普通の環境と異なり非常に重い 超新星の寄与が大きいのではないかと考えた。そこ で極超新星による元素合成を計算して、観測された 化学組成比が説明できるかどうかを調べた。その結 果、組成比だけでなく、銀河の高温ガスのエネルギー とともに重元素量の比も極超新星の寄与によって説 明出来ることがわかった。電子対生成不安定による 超新星では重元素放出量が多すぎて、エネルギーの 割りに金属量が小さいことを説明できないことがわ かった。[19]

2.3 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。[12]

2.4 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言する。[1]、[88]

2.5 超新星の観測

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。 CHAN-DRA 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、SN2003bg では Ne、Ni の組成が過剰であ る可能性がある (IAUC 8110)。[15]

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。[41]

赤外スペクトル観測

C. Gerardy、P. Höflich、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とIc 型超新星の赤外 スペクトル観測を行って、CO line や Mg line feature の解析を行っている。また、すばる望遠鏡の ToO 観 測の proposal も採択されたが (PI 野本)、残念な がら、10月 - 3月の間には、適当な超新星が出現し なかったため、Trigger しなかった。[4]、[5]、[11]

2.6 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砕反応を起こし、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・酸素層が破砕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 ~ $10^{51} \operatorname{erg}/M_{\odot}$ のときには、破砕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計算している。[89]

初期化学組成の異なる Ia 型超新星

矮小銀河では、低金属星の α 元素や Mn の Fe に 対する比が、ともに太陽値より小さいという観測結 果が得られている。これを説明するのに、低金属の Ia 型超新星の寄与があるとする説と、低質量の II 型 超新星の寄与があるとする説がある。そこで、矮小 銀河における低金属領域での Ia 型超新星の発生源であ る白色矮星の初期化学組成として、¹²C、¹⁶O 以外 に、²²Ne の質量比を 0 から 0。02 (太陽値)まで変 化させて爆発時の元素合成を計算し、合成される Mn の量にどのような違いが現れるかを調べた。Carbon Deflagration Model では金属量依存性が小さいのに 対し、Delayed Detonation Model では初期金属量を 小さくすると、Mn の合成量も大きく減少した。後 者のモデルでは、矮小銀河において、低金属のとき にも、Ia 型超新星が発生している可能性を示す結果 となった。[52]

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。[34]、[51]

個々の超低金属星の組成から調べる超新星による元 素合成

超低金属星は個々の超新星による元素合成のパター ンを保持していることをもとにそれらの星の組成か ら超新星爆発の性質に関する情報を引き出す試みを した。その結果、C/Fe、N/Fe 比が非常に大きく特異 的な組成の超低金属星は鉄を少ししか放出しない暗 い超新星に対応することがわかった。これらの星の鉄 族元素の組成比は爆発時の混合と fallback で説明す ることは困難であることを示した。おそらく、ジェッ ト状の爆発を考える必要がある。これまでに発見さ れた最も鉄の組成比が少ない星 HE0107-5240 をはじ めとして、いくつかの星の組成を爆発的元素合成の 計算により再現することを試みた。その結果、典型 的な超低金属星の元素組成は $130~M_{\odot}$ 以下の極超新 星で説明できることがわかった。この場合、mixingfallback メカニズム、又はジェット的な爆発が必要な ことも示した。これまでのところ $130 - 300 M_{\odot}$ の 星の爆発である、pair-instabillity 超新星に対応する ような組成を持った低金属星は発見されていないこ とも指摘した。[2]、 [10]、 [18]、 [20]、 [32]、[33]、 [34], [54], [57], [75], [76], [77]

低金属 II 型超新星による Zinc 及び鉄族元素の合成 とハロー星の組成との比較

低金属ハロー星の組成観測で予想外に Zinc の量 が多いことが観測されている。一方、これまで Zinc の起源は明らかでなかった。この研究では低金属 II 型超新星による元素合成の計算を行ない、極超新星 爆発を考慮すると低金属ハロー星に見られる組成パ ターン (Zn、Co量の増加と Mn、Cr 量の減少)を同 時に説明出来る事を示した。[18]

ジェット爆発に伴う超新星元素合成

極超新星のモデルとして、ブラックホール形成に 伴うジェット爆発の流体計算、元素合成の2次元計算 を行った。球対称爆発に比べて鉄の生成量が減るこ とや、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)がブラックホールに 落ち込んでいくことを明らかにした。ジェットの強さ と非球対称の度合い、最終的なブラックホール質量、 及び放出される元素組成等に相関が予想され、これ は今後、爆発のメカニズムに制限を与える上で有用 である。また、元素合成の結果を金属欠乏星の元素組 成と比較することで、銀河初期の超新星の性質を調 べている。 その結果、重い星 (太陽質量の 20-25 倍 以上)がジェット爆発を起こすとすると、低金属星に 見られる特異な元素組成 (Zn、Co、Mn、Cr、Sc、Ti 等)を説明しうることがわかった。[8]、[10]、[42]、 [43], [46]

2.7 極超新星

極超新星 SN2002ap の光度曲線の観測

吉井譲 (天セ)、富田浩行 (天セ)、小林行泰 (国立天 文台)、P. Mazzali(Trieste 天文台) 等との共同研究。 MAGNUM 望遠鏡を用いて、極超新星 SN2002ap の 多色測光観測を行ない、Bolometric Light Curve を 求め、理論計算との比較検討を行った。[22]、[86]

極超新星 SN2002ap のスペクトル観測

群馬天文台(衣笠)、美星天文台(綾仁)、九州大 学(山岡)の観測グループ、および Mazzali (Trieste) との共同研究。極超新星 SN2002ap の初期スペクト ル観測の解析結果を SN1998bw、1997ef などの他の 極超新星との比較を行うことでまとめ、論文として 出版した。[6]、[81]

極超新星 SN2002ap のすばる望遠鏡 FOCAS に よる光学偏光スペクトル観測

川端、家、柏川、小杉、大山(国立天文台)、D. Jeferry (New Mexico Tech.)、Mazzali (Trieste) と の共同研究。極超新星 SN2002ap の後期 6 月 7 日の 光学偏光スペクトル観測を、すばる望遠鏡 FOCAS によって行ない、Nebula Phase のモデルを構築し、 Fe、O などの存在量の推定を行った。また、初期の 偏光スペクトルの解析から、ジェットの存在を示唆 した論文を完成させた。[7]、[37]

極超新星の光度曲線の統一的理解

P. Mazzali(Trieste 天文台)、吉井譲 (天セ)、富田 浩行 (天セ)、小林行泰 (国立天文台) との共同研究。 極超新星 1997ef、1998bw、2002ap の光度曲線につ いて、中心付近に高密度のコアがあるとすると統一 的に説明できることを示した。さらに、この結果を もとに極超新星の爆発過程について考察した。中心 天体からジェット的にエネルギーが放出されるジェッ ト爆発では、ジェットとは垂直方向から連続的に降 着が起こり、中心部に密度の高いコアが形成される。 これらから、極超新星爆発がジェット状の爆発であ る可能性を指摘した。[9]、[11]、[90]

超新星の2次元光度曲線、スペクトルの計算

P. Mazzali(Trieste 天文台) との共同研究。モンテ カルロ法による2次元光度曲線計算、スペクトル計 算を行う。球対称からのずれが大きい場合、視線方 向によって超新星の明るさが違って見えること、特 に密度構造とニッケル分布が大きな影響を持つこと が分かった。また、ジェット爆発では球対称爆発に比 べ後期の光度曲線の振る舞いに大きな違いが出るこ とが分かった。今後、理論モデルから予想される光 度曲線、スペクトルを観測と詳しく比較し、個々の 超新星の光度曲線、スペクトルの違いが統一的に理 解できるか調べることを目指す。

白色矮星の回転が Ia 型超新星の明るさに及ぼす影響

蜂巣(総合文化研究科)との共同研究。2次元軸対 称流体コードを用いて回転する白色矮星の内部構造 と降着による進化を計算し、最終的な質量には差が 見られないが、角運動量には差が見られるという結 果を得た。この差が超新星の明るさのばらつきに繋 がるかどうかは、回転の効果を考慮した二次元爆発 計算を行って確かめる必要がある。また、初期質量 と回転の強さの相関から、母銀河への依存性に定性 的な説明を与えた。[17]、[52]、[62]、[63]

特異な Ia 型超新星 SN2000cx の sub-Chanrasekhar mass model

He のラインが存在するなど、特異な性質を持つ Ia 型超新星 SN2000cx の光度曲線を説明するため、 sub-Chandrasekhar モデルを用いて試験的な計算を 行なった。また、オクラホマ大学 (Thomas、Branch、 Baron)、カリフォルニア大学 (Li、Filippenko) との 共同研究で、特異な Ia 型超新星 SN2000cx のスペク トル解析を行ない、非球対称性の示唆などを行なっ た。[16]、 [84]

8-10 M_☉ 星における r-過程元素の生成

和南城(上智大)らとの共同研究。 $8-10 M_{\odot}$ 星の 爆発で、r-過程元素の生成が可能なことを流体力学 的計算と元素合成計算によって示した。[21]、[92]

<報文>

(原著論文)

- Shigeyama, T., Tsujimoto, T., & Yoshii, Y., "Excavation of the First Stars", 2003, The Astrophysical Journal, 586, L57-L60
- [2] Tsujimoto, T. & Shigeyama, T., "Relics of Subluminous Supernovae in Metal-poor Stars", 2003, The Astrophysical Journal, 584, L87-L90
- [3] Tsujimoto, T. & Shigeyama, T., "History of Milky Way Dwarf Spheroidal Galaxies Imprinted on Abundance Patterns of Neutron-Capture Elements", 2002, The Astrophysical Journal, 571, L93-L96
- [4] Gerardy, C.L., Fesen, R.A., Nomoto, K., Garnavich, P.M., Jha, S., Challis, P.M., Kirshner, R.P., Hoeflich, P., Wheeler, J.C. 2002 "Extraordinary Late-Time Infrared Emission of Type IIn Supernovae", The Astrophysical Journal, 575, 1007-1107.
- [5] Gerardy, C.L., Fesen, R.A., Nomoto, K., Maeda, K., Hoeflich, P., Wheeler, J.C. 2002 "Carbon Monoxide in the Type Ic Supernova 2000ew", PASJ, 54, 905-910.
- [6] Kinugasa, K., Kawakita, H., Ayani, K., Kawabata, T., Yamaoka, H., Deng J., Mazzali, P.A., Maeda, K., & Nomoto, K. 2002, "Early-phase Spectra of 'Hypernova' SN 2002ap", The Astrophysical Journal, 577, L97–L101.
- [7] Kawabata, K.S., Jeffery, D.J., Iye, M., Ohyama, Y., Kosugi, G., Kashikawa, N., Ebizuka, N., Sasaki, T., Sekiguchi, K., Nomoto, K., Mazzali, P.A., Deng, J., Maeda, K., Umeda, H., et al., 2002, "Spectropolarimetry of SN 2002ap: A High Velocity Asymmetric Explosion", The Astrophysical Journal, 580, L39-L42.
- [8] Maeda, K., Nakamura, T., Nomoto, K., Mazzali, P.A., Patat, F., Hachisu, I. 2002, "Explosive Nucleosynthesis in Aspherical Hypernova Explosions and Late Time Spectra of SN1998bw", The Astrophys. J., 565, 405–412
- [9] 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", The Astrophysical Journal, 593, 931-940.
- [10] Maeda, K., & Nomoto, K., 2003, "Bipolar Supernova Explosions: Nucleosynthesis & Implication on Abundances in Extremely Metal-Poor Stars", The Astrophysical Journal, 598, in press (astroph/0304172).

- [11] Mazzali, P.A., Deng, J., Maeda, K., Nomoto, K., Umeda, H., Hatano, K., Iwamoto, K., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Minezaki, T., Doi, M., Enya, K., Tomita, H., Smartt, S.J., Kinugasa, K., Kawakita, H., Ayani, K., Kawabata, T., Yamaoka, H., Qiu, Y.L., Motohara, K., Gerardy, C.L., Fesen, R., Kawabata, K.S., Iye, M., Kashikawa, N., Kosugi, G., Ohyama, Y., Takada-Hidai, M., Zhao, G., Chornock, R., Filippenko, A.V., Benetti, S., Turatto, M. 2002, "The Type Ic Hypernova SN 2002ap", The Astrophysical Journal, **572**, L61–L65.
- [12] Nakasato, N., & Nomoto, K. 2003, "3-D Simulations of the Chemical and Dynamical Evolution of the Galactic Bulge", The Astrophysical Journal, 588, 842–851.
- [13] 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", The Astrophysical Journal, 598, in press (astro-ph/0307108).
- [14] Podsiadlowski, Ph., Nomoto, K., Maeda, K., Nakamura, T., Mazzali, P., Schmidt, B. 2002, "Formation of the Black Hole in Nova Scorpii", The Astrophysical Journal, 567, 491–502
- [15] Pooley, D., Lewin, W.H.G., Fox, D.W., Miller, J.M., Lacey, C.K., Van Dyk, S.D., Weiler, K.W., Sramek, R.A., Filippenko, A.V., Leonard, D.C., Immler, S., Chevalier, R.A., Fabian, A.C., Fransson, C., Nomoto, K. 2002, "X-ray, Optical, and Radio Observations of the Type II Supernovae 1999em and 1998S", The Astrophysical Journal, 572, 932–843.
- [16] Thomas, R.C., Branch, D., Baron, E., Nomoto, K., Li, W., Filippenko, A.V., 2003, "On the Geometry of the High-Velocity Ejecta of the Peculiar Type Ia Supernova 2000cx", The Astrophysical Journal, in press (astro-ph/0302260).
- [17] Uenishi, T., Nomoto, K., Hachisu, I., 2003, "Evolution of Rotating Accreeting White Dwarfs and the Diversity of Type Ia Supernovae", The Astrophysical Journal, 595, 1094-1100.
- [18] Umeda, H., Nomoto, K. 2002, "Nucleosynthesis of Zinc and Iron-Peak Elements in Pop III Type II Supernovae: Comparison with Abundances of Very Metal-Poor Halo Stars", The Astrophysical Journal, 565, 385–404.
- [19] Umeda, H., Nomoto, K., Tsuru, T., & Matsumoto, H. 2002, "Peculiar Chemical Abundances in the Starburst Galaxy M82 and Hypernova Nucleosynthesis", The Astrophysical Journal, 578, 855–861.
- [20] Umeda, H., & Nomoto, K., 2003, "Firstgeneration black-hole-forming supernovae and the metal abundance pattern of a very iron-poor star", Nature, 422, 871–873.

- [21] 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", The Astrophysical Journal, 593, 968-979.
- [22] Yoshii, Y., Tomita, H., Kobayashi, Y., Deng, J., Maeda, K., Nomoto, K., Mazzali, P.A., Umeda, H., et al., 2003, "The Optical/Near-infrared Light Curves of SN 2002ap for the First 140 Days after Discovery", The Astrophysical Journal, 592, 467-474.
- (会議抄録)
- [23] Shigeyama, T., & Tsujimoto, T., 2003, "Inhomogeneous Chemical Evolution in the Galactic Halo: Supernova-Induced Star formation of Field Stars and Globular Clusters", in Origin of Matter & Evolution of Galaxies 2000, eds. T. Kajino, S. Kubono, K. Nomoto, & I. Tanihata (Singapore, World Scientific), 14–23
- [24] Tsujimoto, T. & Shigeyama, T., 2003, "Inhomogeneous chemical evolution of dwarf spheroidal galaxies", Astrophysics and Space Science, 284, 791-794
- [25] Tsujimoto, T., Shigeyama, T., & Yoshii, Y., 2002, "The site for r-process nucleosynthesis", Astrophysics and Space Science, v. 281, Issue 1, 221-222.
- [26] Yamaoka, H., Doi, M., Shigeyama, T., Yasuda, N., & Watanabe, M., "Supernova observing Web (SNOW) project with the public astronomical observatories in Japan", In: Cosmic chemical evolution. Proceedings of the 187th Symposium of the International Astronomical Union, eds. K. Nomoto, J. Truran, (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers), 241-241
- [27] Deng, J., Mazzali, P.A., Maeda, K., & Nomoto, K., 2003, "The Type Ic Hypernova SN 2002ap", Nuclear Physics A718, 569-571.
- [28] Kobayashi, C., Nomoto, K., 2003, "Lifetime of Type Ia Supernovae and Chemical Evolution of Galaxies", Nuclear Physics A718, 680–682.
- [29] Maeda, K., & Nomoto, K., 2003, "Bipolar Explosion Models for Hypernovae", Nuclear Physics A718, 167–170.
- [30] Maeda, K., & Nomoto, K., 2003, "Jets and Black Holes in Hypernova Explosions", Progress of Theoretical Physics Supplement, 151, 211-215.
- [31] 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**, 379-389.

- [32] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Ohkubo, T., Deng, J.S., Mazzali, P.A., 2003, "Nucleosynthesis in Black-Hole-Forming Supernovae and Extremely Metal-Poor Stars", Progress of Theoretical Physics Supplement, 151, 44-53.
- [33] Nomoto, K., Umeda, H., Maeda, K., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P.A. 2003, "Nucleosynthesis in Hypernovae and Extremely Metal-Poor Stars", Nuclear Physics A718, 277-286.
- [34] Ohkubo,T.,Umeda,H.,& Nomoto,K. 2003 "Pop III Hypernova Nucleosynthesis and Abundance Trends in Extremely Metal-Poor Halo Stars", Nuclear Physics A718, 632–634.
- [35] Thielemann, F.-K., Argast, D., Brachwitz, F., Martinez-Pinedo, G., Rausher, T., Liebendorfer, M., Mezzacappa, A., Hoeflich, P., & Nomoto, K. 2002, "Nucleosynthesis in Stellaer Evolution", Astrophys. & Space Sci., 281, 25-37.
- [36] Deng, J., Hatano, K., Umeda, H., Nomoto, K. 2002, "Light Curve Models for the Hypernova SN 1999as", in The 5th RESCEU International Symposium, New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, eds. K. Sato & T. Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 267–268.
- [37] Kawabata, K.S., Jeffery, D.J., Iye, M., Ohyama, Y., Kosugi, G., Kashikawa, N., Ebizuka, N., Sasaki, T., Sekiguchi, K., Nomoto, K., Mazzali, P.A., Deng, J., Maeda, K., et al., 2003, "Optical Spectropolarimetry of SN 2002ap: A High Velocity Asymmetric Explosion", in IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, eds. S. Ikeuchi, et al. (San Francisco: Astronomical Society of Pacific), ASP Conference Series, **289**, 333–334.
- [38] 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 IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, eds. S. Ikeuchi, et al. (San Francisco: Astronomical Society of Pacific), ASP Conference Series, **289**, 337–338.
- [39] Kobayashi, C., Nomoto, K., 2003, "Type Ia Supernova Progenitors, Lifetime, and Cosmic Supernova Rate", in *From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae*, eds. W. Hillebrandt & B. Leibundgut (Berlin: Springer), 379–383.
- [40] Kobayashi, C., Nakasato, N., Nomoto, K. 2003, "Chemodynamical Evolution of the Milky Way", in IAU Symposium 208, Astrophysical Supercomputing using Particle Simulations, eds. J. Makino & P. Hut (Kluwer), 419–420.
- [41] 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/UVE", in From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae, eds. W. Hillebrandt & B. Leibundgut (Berlin: Springer), 309–314.

- [42] Maeda, K., Nakamura, T., Nomoto, K., Mazzali, P., Hachisu, I. 2003, "Nucleosynthesis in Aspherical Hypernova Explosions and Late Time Spectra of SN1998bw", in Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2000, eds. S. Kubono & T. Kajino (Singapore: World Scientific), 345–351.
- [43] Maeda, K., Nomoto, K., & Mazzali, P.A. 2002, "Aspherical Hypernova Explosions and the Early Galactic Chemical Evolution", in *The 5th RESCEU International Symposium, New Trends in Theoretical and Observational Cosmology*, eds. K. Sato & T. Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 315–316.
- [44] Maeda, K., Nomoto, K., Nakasato, N., & Suzuki, T. 2002, "SN1987A: 3D Simulations of Collision with the Ring", in *Neutron Stars in Supernova Remnants*, eds. P.O. Slane & B.M. Gaensler (San Francisco: Astronomical Society of Pacific), ASP Conf. Ser., 271, 379–382.
- [45] Maeda, K., Nomoto, K., Umeda, H., & Nakamura, T. 2002, "Hypernovae, Black Holes, and Galactic Chemical Evolution", in *The 2nd KIAS Astrophysics Workshop, Current High-Energy Emission around Black Holes*, eds. C.-H. Lee et al. (Singapore: World Scientific), 284–299.
- [46] Maeda, K., & Nomoto, K., 2003, "Bipolar Jets in Hypernova Explosions and Abundance Patterns in Metal-Poor Stars", in ESO Astrophysics Symposia, From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae, eds. W. Hillebrandt & B. Leibundgut (Berlin: Springer), 373–378.
- [47] 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.
- [48] Mazzali, P.A., Nomoto, K., Maeda, K., Nakamura, T. 2003, "Hypernovae and Gamma Ray Bursts", in ESO Astrophysics Symposia, Gamma Ray Bursts in the Afterglow Era, ed. L. Piro (Berlin: Springer), in press
- [49] Nakatsuru, J., Nakamura, T., Umeda, H., Nomoto, K. 2003, "Explosive Nucleosynthesis in Pair-Instability Supernovae" in Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2002, eds. S. Kubono and T. Kajino (Singapore: World Scientific), 360– 367.
- [50] Nomoto, K. 2002, "Hypernovae and Their Nucleosynthesis", Bulletin American Astron. Soc., 200, 3202.
- [51] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Ohkubo, T., Deng, J., & Mazzali, P. 2003, "Hypernovae and their nucleosynthesis", in IAU Symp 212, A massive star odyssey, from main sequence to supernova, eds. van der Hucht, K. A., Herrero, A., & Esteban, 395-403 (astro-ph/0209064).

- [52] 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, eds. W. Hillebrandt & B. Leibundgut (Berlin: Springer), 115–127.
- [53] Nomoto, K., Maeda, K., Nakamura, T. 2003, "Nucleosynthesis in Hypernovae", in Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2000, eds. S. Kubono and T. Kajino (Singapore: World Scientific), 222–238.
- [54] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., Ohkubo, T., Deng, J., Mazzali, P. 2003, "The First-Generation Supernovae and Extremely Metal-Poor Stars", in Proc. 12th Workshop on General Relativity and Gravitation, ed. M. Shibata (Univ. Tokyo), in press.
- [55] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H. 2002, "Explosive Nucleosynthesis in the First Stars", in The 5th RESCEU International Symposium, New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, eds. K. Sato & T. Shiromizu (Universal Academy Press), 245–255.
- [56] Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H. 2002, "Hypernova Nucleosynthesis and Early Chemical Evolution", in ASP Conf. Series, Chemical Enrichment of Intracluster and Intergalactic Medium, eds. R. Fusco-Femiano & F. Mateucci (Astronomical Society of Pacific), 221–230 (astroph/0110528).
- [57] Shirouzu, M., Kobayashi, C., Nakamura, T., Umeda, H., Nomoto, K. 2002, "Nucleosynthesis in Type II Supernovae and Abundances in Extremely Metal-Poor Stars", in The 5th RESCEU International Symposium, New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, eds. K. Sato & T. Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 347–348.
- [58] Thielemann, F.-K., Argast, D., Brachwitz, F., Martinez-Pinedo, G., Rausher, T., Liebendorfer, M., Mezzacappa, A., Hoeflich, P., Iwamoto, K., Nomoto, K. 2002, "Nucleosynthesis in Supernovae", in ASP Conf. Series, Chemical Enrichment of Intracluster and Intergalactic Medium, eds. R. Fusco-Femiano & F. Mateucci (Astronomical Society of Pacific), 205–218.
- [59] Thielemann, F.-K., Argast, D., Brachwitz, F., Hix, W.R., Hoeflich, P., Liebendorfer, 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.
- [60] Thielemann, F.-K., Argast, D., Brachwitz, F., Martinez-Pinedo, G., Oechslin, R., Rauscher, T., Hix, W.R., Liebendorfer, M., Mezzacappa, A.,

Hoflich, P., Iwamoto, K., Nomoto, K., Schatz, H., Wiescher, M.C., Kratz, K.-L., Pfeiffer, B., Rosswog, S. 2003, "Stellar Sources of the Interstellar Medium", in Proceedings of ICRC 2001 (Copernicus Gesellschaft), in press (astro-ph/0202453)

- [61] Thielemann, F.-K., Brachwitz, F., Freiburghaus, C., Kolbe, E., Martinez-Pinedo, G., Rauscher, T., Rembges, F., Hix, W.R., Liebendoerfer, M., Mezzacappa, A., Kratz, K.-L., Pfeiffer, B., Langanke, K., Nomoto, K., Rosswog, S., Schatz, H., Wiescher, M. 2003, "Element Synthesis in Stars", Progress in Nuclear & Particle Physics, in press
- [62] Uenishi, T., Nomoto, K., Hachisu, I. 2002, "Diversity of Type Ia Supernovae: Rapidly Rotating Progenitors", in The 5th RESCEU International Symposium, New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, eds. K. Sato & T. Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 129–132.
- [63] Uenishi, T., Nomoto, K., Hachisu, I. 2003, "Evolution of Rotating White Dwarfs in Close Binaries and Diversity of Type Ia Supernovae", in IAU Symposium 208, Astrophysical Supercomputing using Particle Simulations, eds. J. Makino, P. Hut (Dordrecht: Kluwer), 459–460.
- [64] Umeda, H., Nomoto, K. 2002, "Pop III Hypernova Nucleosynthesis and Abundances in Very Metal-Poor Halo Stars", in the 11th Workshop on Nuclear Astrophysics, eds. W. Hillebrandt & E. Muller (Garching: MPA), 164-168.
- [65] Umeda, H., Shirouzu, M., Nomoto, K. 2003, "Nucleosynthesis in Massive Metal Free Stars", in Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2000, ed. S. Kubono, T. Kajino (Singapore: World Scientific), 45–53.
- [66] Ideta, M. 2003, "Bar Dissolution in Non-Spherical Haloes", in The Evolution of Galaxies III. From Simple Approaches to Self-Consistent Models, Ap&SS, 284, 531–534.
- (国内雑誌)
- [67] 前田啓一,野本憲一 2002, "SN2002ap と極超新星", 月刊天文ガイド(誠文堂新光社),5月号,232-235
- [68] 前田啓一, 野本憲一 2002: "極超新星 (ハイパーノ バ)とは何か", 科学 (岩波書店), 7月号, 679-681.
- [69] 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.
- [70] 野本憲一 2002, "小柴先生と超新星ニュートリノ"、 天文月報、12 月号, 601.
- [71] 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.
- [72] 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.

(学位論文)

(著書)

<学術講演>

(国際会議)

一般講演

- [73] Shigeyama, T., Tsujimoto, T., & Yoshii, Y.: "Star Formation History in Galaxies Inferred from Stellar Elemental Abundance Patterns", *The International Astronomical Union 8th Asian-Pacific Regional Meeting*, Tokyo, Japan, 2002/7/2–5.
- [74] Maeda, K., & Nomoto, K.: "Nucleosynthesis in Aspherical Hypernova Explosions", *Nuclei in the Cosmos VII*, Fuji-Yoshida, Japan, 2002/7/8–12.
- [75] Maeda, K., & Nomoto, K.: "Explosive Nucleosynthesis in Core-Collapse Supernovae and Abundances in Extremely Metal-Poor Stars", ESO/MPA/MPE Workshop, From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae, Garching, Germany, 2002/7/29–31.

招待講演

- [76] Nomoto, K.: "Hypernovae and their Nucleosynthesis", IAU Symposium No. 212, A massive star odyssey, from main sequence to supernova, Lanzarote, 2002/6/24-28.
- [77] Nomoto, K.: "Hypernovae and their Nucleosynthesis", Nuclei in the Cosmos VII, Fuji-Yoshida, Japan, 2002/7/8–12.
- [78] Nomoto, K.: "Progenitors of Type Ia Supernovae", ESO/MPA/MPE Workshop, From Twilight to Highlight: The Physics of Supernovae, Garching, Germany, 2002/7/29–31.
- [79] Nomoto, K.: "Nucleosynthesis in Supernovae", Tokyo-Adelaide Joint Workshop on Quarks, Astrophysics and Space Physcis, Tokyo, Japan, 2003/1/6–10.

(国内会議)

一般講演

- ・日本天文学会 2002 年秋季年会、宮崎大学、 2002/10/7-9
- [80] 茂山俊和、辻本拓司: "金属欠乏星の重元素組成パ ターンからの年齢測定"、D06a
- [81] 衣笠 健三、河北 秀世、綾仁 一哉、川端 哲也、山 岡 均、Deng,J.S.、Mazzali,P.A.、前田啓一、野本憲 一: "Hypernova SN2002ap の早期分光観測 (II)"、 A02b
- [82] 鈴木知治,野本憲一、茂山俊和: "II 型超新星爆発お よびそれに伴う動的現象の流体力学シミュレーショ ン",B22c.
- [83] 野本憲一, 梅田秀之, 前田啓一: "超新星による元素 合成と天体の化学組成比", D01a.

- [84] 上西達大、野本憲一、J. Deng、茂山俊和: "特異 な Ia 型超新星 2000cx の sub-Chandrasekhar mass model", N22a.
- [85] 野沢 貴也、小笹 隆司、梅田 秀之、野本 憲一: "宇宙 初期の超新星爆発時におけるダスト形成 III"、N26a.
- [86] 富田浩行、吉井譲、青木勉、峰崎岳夫、塩谷 圭吾、小林 行泰、菅沼正洋、土居守、本原顕太郎、前田啓一、 Deng Jinsong、野本憲一、Mazzali Paolo: "MAG-NUM project (6). 超新星 SN2002ap の可視赤外測 光観測"、R14a.
- [87] 出田 誠、橋本 良和、船渡 陽子、牧野 淳一郎: "Satellite decay における Coulomb logarithm の軌道半 径依存性"、R69a.
- ・日本天文学会 2003 年春季年会、東北大学、 2003/3/24-26
- [88] 茂山俊和、辻本拓司、吉井譲:"種族 III 星の金属汚 染"、R29a
- [89] 中村航、茂山俊和: "超新星衝撃波による星の外層の 加速"、N48a
- [90] 前田 啓一、Mazzali A Paolo、Deng Jinsong、野本 憲一、吉井 譲、富田 浩行、小林 行泰: "極超新星の 光度曲線の二成分モデル", N47a.
- [91] 大久保琢也、梅田秀之、野本憲一: "初期化学組成 の異なる Ia 型超新星爆発での元素合成"、N50a.
- [92] 和南城伸也、玉村雅也、伊藤直紀、野本憲一、石丸 友里、T. C. Beers、野澤智: "ONeMg 超新星爆発 における r 過程元素合成と宇宙年代学"、N51a.
- [93] 岩本信之、梅田秀之、 野本憲一: "The p-Process in Core Collapse Supernova Explosions"、N53a.
- [94] 富田 浩行、吉井譲、小林 行泰、Jinsong Deng、前田 啓一、野本 憲一、峰崎岳夫、青木 努、塩谷 圭吾、菅 沼 正洋、B.A.Peterson: "MAGNUM project (5). SN2002ap Nebula Phase"、R18a.
- [95] 安田 直樹、土居 守、柏川 伸成、本原 顕太郎、諸隈 智貴、古澤 久徳、青木賢太郎、大山 陽一、野本 憲 一、Saul Perlmutter、Isobel Hook、Reynald Pain、 Christopher Lidmann、Ariel Goober、Subaru Big Project Team、Suprime-Cam Group: "超新星爆発 による宇宙膨張の測定"、U03a.
- [96] 出田 誠、土屋 俊夫: "大マゼラン雲で銀河 warp は 励起できるか?"、R46a.

招待講演

- [97] 野本憲一: "Nucleosynthesis in type I supernovae", First-Generation Objects in the Universe, 筑波大 学, 2003/3/3-5.
- [98] 野本憲一: "Hypernovae", 第12回「一般相対論と 重力」研究会、東京大学教養学部、2002/11/25-28.

(セミナー)

[99] 野本憲一: "超新星と元素の起源", 上智大学 物理学 科コロキウム, 2002/4/25.

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)

クエーサやセイファート銀河など活動銀河核の光 度の時間変動を多波長(可視、近赤外)でモニター観 測し,可視変動から赤外変動の遅れ時間を測定により これらの天体までの距離を測定するという距離決定 の新手法を試みている.この目的のため観測条件の良 いアメリカ合衆国ハワイ州マウイ島ハレアカラ山頂 に可搬型口径 2mの望遠鏡を設置して観測を行なう 計画を推進している.この計画の特徴は活動銀河核を 短時間間隔で密にモニター観測しそれを数年間続け ることである.したがって観測適地の望遠鏡を占有し て観測することが必要であり、望遠鏡、観測装置の開 発と遠隔自動観測システムの開発が重要となる.本 プロジェクトは一昨年度冬にファーストライトを果 たし、引き続き望遠鏡や観測装置のさまざまな改善を 押し進めるとともに近傍活動銀河核からより遠方の クエーサについても本格的な多波長モニター観測を 開始した.

望遠鏡の光学系について副鏡の再蒸着およびその後 の調整を行ない,主鏡についても定期的な洗浄を行な うことで,とくに可視波長域において光学系効率の向 上と維持を果たした.観測装置については可視フィル 夕回転機構の改良を行なった.

観測システムについてはスケジューラを本格的に運用し天体選択も含め1晩程度の完全自動観測を複数 回行なうことに成功した.より良い天体選択の実現の ために継続してスケジューラの改良を進めている.ま た遠隔観測実現のために観測監視警報システムの整 備に着手した.

これらの観測装置・観測システムの開発と並行して 活動銀河核の多波長モニター観測を行なっている.今 年度は観測天体数を増やしとくに近傍活動銀河核だ けでなく遠方活動銀河核(クエーサ)の観測を増やし た.いずれについても活動銀河核の可視,近赤外モニ ターとしては観測頻度,測光精度ともにこれまでにな い質の高いデータを得ている.

いくつかの近傍活動銀河核については可視変動から 赤外変動の明らかな遅延をとらえているが、われわれ の観測データに適した精密な誤差評価法を新たに考 案して遅延時間の誤差評価を行なった.この結果もっ とも高精度の測定では誤差5%以下というこれまで にない精度での遅延時間測定に成功した.これは我々 が提案した距離測定法による高精度距離測定の可能 性を示している.

3.1 MAGNUMによる超新星 2002ap の研究

MAGNUM では超新星 2002ap を爆発の初期から 1年以上の期間,可視から近赤外までの幅広い波長域 にわたって長期間詳細にモニター観測を行った.この 観測は単一の望遠鏡,観測装置による超新星の観測と しては最も質の高いものであり,特に赤外域の観測 については過去の観測自体が少なく,MAGNUM によ る観測は過去に例を見ないものであった.

M74 銀河に現れた超新星 2002ap は、いわゆる極超新 星と呼ばれ、非常に珍しいタイプの超新星である. こ れまでに詳しく研究された極超新星 1998bw におい ては、球対称モデルと観測の不一致が示されるなど 注目を集めており、今回の超新星では、爆発のメカニ ズムを研究する上で質の高い観測が求められていた.

今回の MAGNUM による観測の結果,赤外域から の全体の明るさへの寄与の割合が最大4割にも達し ていることが分かり,赤外域の観測の重要性を明らか にした.

また、他の望遠鏡による分光観測の結果から、超新星2002apにおいては、 $M_{\rm ej} = 2.5~{\rm M}_{\odot}$ 、 $E_{\rm K} = 4 \times 10^{51}~{\rm ergs}$ の爆発が示唆されたが、このパラメータによるモデル光度曲線はMAGNUMによる初期の観測とよく一致している.しかし、より後期の光度曲線はモデル光度曲線より0.7等級明るくなっておりモデルと観測に不一致が見られた.このことは、後期において爆発によって放出された物質のガンマ線での光学的厚さを過小に見積もっていることを示している.この現象は超新星の非対称爆発モデルによってうまく説明されるため、今回の超新星2002apは非対称爆発を伴ったものであることがわかった.

3.2 活動銀河核ダスト円盤内部での時間に依存する輻射輸送計 第コードの開発

活動銀河核の近赤外光度曲線をダスト再輻射モデ ルで再現するために、ダスト円盤内部において成り 立つ、時間変化も考慮に入れた輻射輸送計算コード を開発した、活動銀河核に対し多波長にわたってモ Lター観測を行うと、近赤外光の変動の位相が紫外 光の変動に比べて数十日から数百日程度遅れて観測 される. これは、中心の降着円盤で放射された紫外線 がその周囲に広がる内径が数 pc 程度のダスト円盤に 吸収され,温められたダストが近赤外光を再放射する るためである.従って近赤外光の紫外光に対する遅 延は中心核とダスト円盤の内径の光路差に対応し,近 赤外光の時間変動の様子は円盤の幾何学的構造に大 きく依存する.この事実を利用してすると,モニター 観測のデータを今回開発した輻射輸送計算コードで 再現することによって、直接分解できないような小さ なスケールのダスト円盤の内部の構造を決定できる ことがわかった.

3.3 ハローの非一様的化学進化モ デルと奇数元素の起源と種族

III星

超新星爆発後その超新星残骸で掃き集められた密 度の高いガス塊から星が生まれる、つまり超新星爆 発で星形成が誘発されるというシナリオに基づき銀 河系ハローの化学進化モデルを構築し、このモデル に基づき金属量超欠乏星の [Al/Mg] 及び [Na/Mg] の 化学組成パターンに初めて理論的解釈を与えた。奇 数元素はその合成量が星の重元素量に依存している ことが知られているが、その依存性を理論的に評価 することには大きな不定性が残されていた.そこで, 我々、星の化学組成パターン及びその分散から依存 性を導出するという新たな手法を用い, Na,Al といっ た奇数元素について、合成放出される重元素量を、星 の質量と金属量の関数として与えることに成功した. さらに、種族 III 星の初期質量関数が金属量超欠乏星 の [Na/Mg] に大きな影響を与えることを見出し、そ れから,種族 III 星には大質量星が欠如していること を明らかにした. これまで, 種族 III 星の初期質量関 数については、理論的に予言されるだけであったが、 今回初めて、観測からの制限を与えることに成功し た.

また, ハローの非一様的化学進化モデルに基づいて, 種族 III 星の金属汚染の可能性を検討した. ビッグ バン宇宙初期の元素合成理論によると, 種族 III 星は 金属が全く含まれないガスから誕生したと考えられ る. しかし, 小質量の種族 III 星は長期間に渡ってそ の重力で周りにあるガスを集めることができるので, 超新星爆発を起こし先に死んでしまった大質星の中 で合成された金属によって, 種族 III 星の表面が汚染 されたと考えられる. 我々は, この過程を経た種族 III 星がその表面の金属量に対してどのように分布す るかを解析し, 予言した. その結果, 鉄の水素に対す る比が太陽での比の 10 万分の 1 以下の金属欠乏星は 金属が全く含まれていなかったガスから生まれた種 族 III 星である可能性が大きいことを示した.

3.4 コンパクト電波源の -Z関係 による宇宙パラメータの制限 について

膨張宇宙モデルを制限するための古典テストのひ とつとして、標準ロッドに対する - Z関係があ. 従 来、このテストには銀河(数拾kpc)や電波ローブ(数 百kpc)を標準ロッドに用いることが多かったが、こ れらの固有サイズは宇宙年齢に比する時間尺度で変 化するため、高赤方偏移では進化補正が不可欠とな る. これら固有サイズの時間変化を正確に見積もるこ とは困難であることから、このテストの有用性は常に 疑問視されてきたが、90年代になると、進化効果が 無視できると考えられるコンパクト電波源(固有サ イズ百 pc 以下,寿命約数百年)の VLBI 観測データ が集積し,Kellermann (1993)を皮切りに,これを標 準ロッドに用いる研究が進展してきた.我々は最近 までの VLBI データをコンパイルし,コンパクト電 波源の角度視直径の評価法を改良して - Z 関係を求 めた.本解析で, spectral index のばらつき,光度依 存性等に起因する系統誤差を評価し,それに基づいて を補正して信頼度の高い考察を可能にした.得ら

れた - Z関係はEinstein-de Sitter 宇宙を棄却し, =0.3 の低密度宇宙を支持する結果を得た. また, こ のデータからは や quintessence を制限することは 難しいとの結論を得た.

3.5 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 Type Ia 超 新星で、マグネシウムは Type II 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、宇宙初期の若い QSO での Fe/Mg 存在比を調べることにより、QSO の年齢が 1Gyr よりも若いかどうか調べることが可 能である.また、Type Ia 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 リ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大体同時期で ある場合には、Fe/Mg 比の赤方偏移に対する進化と して現れ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 4.4 < z < 6.3QSO 14 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 を求めた. また、SDSS (0.75 < z < 2.29, 2587 天体) や AAO/2dF (0.5 < z < 1.9, 5789 天体)、HST/FOS アーカイヴ(z < 0.17, 22 天体) 等のクェーサー分 光アーカイヴデータや、Thompson et al.(1999, ApJ 515, 487, 3.1 < z < 4.7, 12 天体)、等の論文化されて いるデータに対し、同一の手法で FeII, MgII 輝線強 度比を求め、0 < z < 6.3 での輝線比の分布を調べた. 現在のところ、z < 6 では FeII 輝線強度が MgII に 比べて弱くなっている兆候を得ている.現在、OH 夜 光除去分光器で得られた新たな z > 6 QSO 3 天体 の観測結果を解析中である.

3.6 補償光学を用いた Subaru Deep Field の近赤外高分解深撮像

すばる望遠鏡補償光学(AO)および近赤外撮像分 光装置(IRCS)を用いて,すばるディープフィール ド(SDF)の一部である,視野1分角の領域の K'バ ンド(2.12 μm)の高分解深撮像を行った.総積分時 間は 5.5 時間の長時間に達し, 限界等級 K' ~ 24.0 等 (5σ)を達成して, 約80個の銀河を検出した.

この観測は、すばる望遠鏡インテンシブ・プログラ ム(PI:吉井譲,10夜)のパイロット観測として行 われ、観測領域を「Subaru Super Deep Field (SSD F)」と呼んでいる.本研究の最終目標は、K'バンド で総時間40時間の積分を行い、深撮像において世界 最高感度(限界等級 K'~25.5等, 5σ)を達成する ことにある. これにより、フェイント・エンドでの詳 細な銀河計数の情報を高い信頼性をもって得ること ができる. また, AO による 0.1 秒角を切る高空間分 解能を生かし、これまでの可視光での深撮像では得 られなかった, z1の高赤方偏移銀河の形態進化につ いて、初めて系統的な研究を行うことができる. 初期成果である 5.5 時間積分のデータから、AO を 使った深撮像の性能評価を行った結果、現時点ですば るの別の観測装置である CISCO によって得られて いた SDF の深撮像 (9.7 時間) と同等の感度が達成 されたことが分かった. また, AO によって得られた 高空間分解能の撮像により、K'~21等で半径 0.1秒 角以下といったコンパクトな天体に対しても、ラジア ル・プロファイルのフィッティングにより、形態を明 確に分類することが可能であることがわかった. 我々 は、さらに2003年3月に本観測として、K'バン ドで18時間の積分を行うことに成功した.この結果 は現在解析中である.

3.7 Supreme Cam による暗い銀 河の角度相関の決定

銀河クラスタリングの進化は、宇宙論パラメーター、 ダークマターの性質および銀河形成の物理(バイア ス機構)に依存する.近年N体計算の進歩により、 ダークマターのクラスタリングについては、CDM宇 宙の枠組みの中で理論的に自然な解というものが見 えてきつつある.一方準解析的モデルの研究により、 ダークマターがクラスタリングしていく中で、どのよ うに銀河が形成されていくかについても、理論的予言 が行われるようになってきている.これらの予言を 観測と比較して、理論の整合性をチェックすることは 極めて重要である.しかしながら、視野及び深さに対 する要求条件が厳しいため、これまでは十分行なわれ てこなかった.

そこで我々は、銀河クラスタリングの進化を調べるた め、新たに開発したすばる主焦点広視野カメラ (Suprime-Cam)を用い、 $1.64 \times 1.28 = 2.1 deg^2$ の領域を BRI の 3 バンドで撮像観測を行なった.積分時間はそれぞれ のバンドで 20 分、30 分、25 分とり、解析の後 164261 個の銀河がカタログされ、その銀河計数が roll over する等級は R=25 であった.クラスタリングの指標 として銀河の角度相関を採用し、その限界等級依存 性を調べると、広い視野のおかげで、明るさのダイナ ミックレンジがこれまでないほど広く取れ、また計測 誤差も小さいため、限界等級が深くなっても相関がそ れほど落ちない様子をはっきりととらえることが出 来た.次に BRI のデータに基づき、粗い photometric redshift 推定を行ない,角度相関から銀河の共動座標 での相関距離を計算して、この進化を調べた.0 ; z ; 1程度までは線形クラスタリングモデルの予測と整合 する結果を得たが、 $z \ge 1$ 以前ではややバイアスを受 け始めている兆候を得た.

3.8 数値銀河カタログの作成と銀 河の角度相関関数

我々は N 体シミュレーションから求められた合体 系譜(マージャーツリー)と準解析的銀河形成モデル を組み合わせることによって、観測と比較するに足る 数値銀河カタログ (Numerical Galaxy Catalog: 以 下 νGC)を構築した.まず,我々は適合格子分割を 用いた並列 N 体コードを用いて,512³ 体の N 体シ ミュレーションを行った. このシミュレーションは銀 河八ローの統計的性質を調べるための高分解能シミュ レーションとしては世界最大規模のものである.この シミュレーションデータから合体系譜を構築するた めに、我々は各時刻の出力データに対して Friends-offriends 法 (FoF 法) によるハロー探索を行った. この 後、ある時刻のハローが次の時刻のどのハローに対応 するのかを調べたが、高分解能のシミュレーションで は一度合体した衛星ハローが再び分離する現象が頻 繁に発生するために、合体系譜が木構造を保てないこ とが判明した.そこで,我々は一旦合体したダークハ ローは、後に FoF 法による探索では別のハローと同 定されても同一視することにした、*v*GC はこのよう にして構成された合体系譜に対して、準解析的銀河形 成モデルを用いて作成された銀河の擬似カタログで ある

更に、我々は、数値銀河カタログ中の銀河の分布が、実 際の観測を再現できているか否かを、二体相関関数を 用いて調べた. νGC 銀河の二体相関関数を調べるた めには,まず,時系列データとなっている *v*GC デー タから扇状図を作成する必要がある.今回の解析にお いて、我々は主に100Mpc立方領域の計算に基づいた 約 40 分四方の扇状図を用いた. ところで, µGC デー タは周期境界条件を持ったシミュレーションデータ に基づいていることから,宇宙全体の平均を反映し ているのだが、これを切り抜いて作成された扇状図は 必ずしも宇宙の平均的な擬似観測領域とはならない ので注意が必要である、というのも、扇状図を作成す る際に切り落とされる領域と切り残される領域がで きるが、双方を合わせたものが宇宙の平均となるので あって、それぞれの領域は必ずしもそうとはならない からである. そこで, 我々は一つの νGC データから 多数の扇状図を構築し、全てのデータを解析した.ま た、各扇状図から40分四方の視野内に映る銀河数の 分散を求めることができることから、視野と同程度の 離角においても、積分拘束条件による補正を施すこと ができる.このようにして求められた、数値銀河カタ ログ銀河の二体相関関数は、宮崎等によるすばる望遠 鏡 Suprime-Cam を用いた 2.2 平方度の観測データ から求めた二体相関関数と、極めてよく一致しるこ とが分かった.

本年度の研究から,我々の数値銀河カタログは,光度 関数や色等級関係だけでなく,空間分布にも現実を 再現することができていることが分かったので,今後 は,このカタログ用いることによって,どのような観 測が銀河形態形成の解明の決定打となりうるのか等 を調べていきたいと考えている.

3.9 銀河形成の準解析的モデル

銀河の形成過程を理解することは天文学における 最も重要な課題の一つである.近年の宇宙の大構造 の形成・進化の理解からは、ダークマターが物質の大 部分を占めることがわかってきているが、それは構 造の形成過程が重力によって主に規定されているこ とを示している.ダークマターハローの形成・進化 は、いわゆる階層的構造形成説に従い、小さいハロー 同士の合体により、順次大きいハローを形成してい くものであることがわかってきた.従って、銀河の形 成過程も、その「入れ物」であるダークマターハロー の進化と整合的に理解をすることが求められるよう になってきている.

我々は解析的なダークハローの質量関数からモンテ カルロ法により得られた合体形成史に基づく銀河形 成モデルを構築してきた.このモデルでは、ダークハ ロー内でのガスの冷却、星形成、超新星爆発によるガ スの加熱、銀河同士の合体、種族合成などを考慮し、 銀河の光度関数などの観測量を計算することができ、 我々を含む幾つかのグループにより、多くの観測を再 現できることがわかっている.

今回,新しい物理過程として,合体時の爆発的星形成 に伴なうガスの放出に対する力学的応答を導入した. 我々のモデルでは,同程度の質量の銀河同士が合体す ると楕円銀河を形成するが,この際ガスの割合が大き いと,合体後の爆発的星形成後の大量の超新星爆発 により多くのガスが放出され,重力ポテンシャルが浅 くなり,系が拡がり速度分散が小さくなる.一方,あ まりガスを持たない銀河同士の合体では,放出され るガスが少ないため重力ポテンシャルの変動がごく わずかとなり,系はコンパクトになる.この効果は, 超新星爆発による加熱が効果的な矮小銀河に対して 重要になると考えられ,観測から得られている,矮小 銀河の多様性を説明できると期待される.

我々はバリオンとダークマターの二成分系での応答 公式を調べ,実際に我々の準解析的モデルに導入した. そして,星形成の時間尺度の時間的進化が非常にゆ るやかな場合,観測される矮小銀河の性質をうまく 説明できることを見出した.

さらに、矢作による N 体シミュレーションからダー クハローの形成史を構築し、準解析的モデルと組み 合わせ、銀河の空間情報も得られるモデルを開発し てきた. このモデルから得られた銀河の角度相関関 数は、観測から得られたものと非常によい一致を示 すことがわかった. また高赤方偏移にある銀河は暗 く低表面輝度なため普通の観測では検出できないが、 それらが背景光として寄与することを利用し、近赤 外での背景輻射の空間揺らぎも計算した. これは将 来の衛星による背景光の観測から、黄道光の不定性 に依らずに高赤方偏移銀河についての情報を得られ ることを示唆している.

<報文>

(原著論文)

- Enya, K., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Minezaki, T., Suganuma, M., Tomita, H. and Peterson, B., A.: *JHK'* Imaging Photometry of Seyfert 1 AGNs and Quasars I: Multi-Aperture Photometry; The Astrophysical Journal Supplement Series, **141**, 23-29,(2002).
- [2] Enya, K., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Minezaki, T., Suganuma, M., Tomita, H. and Peterson, B., A.: JHK' Imaging Photometry of Seyfert 1 AGNs and Quasars II: Observation of Long-Term Variability; The Astrophysical Journal Supplement Series, **141**, 31-44,(2002).
- [3] Enya, K., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Minezaki, T., Suganuma, M., Tomita, H. and Peterson, B., A.: JHK' Imaging Photometry of Seyfert 1 AGNs and Quasars III: Variability of Radio Quiet and Radio Loud AGNs; The Astrophysical Journal Supplement Series, 141, 45-59,(2002).
- [4] Nagashima, M., Yoshii, Y., Totani, T., and Gouda, N.: Galaxy Number Counts in the Subaru Deep Field: Multiband Analysis in a Hierarchical Galaxy Formation Model; The Astrophysical Journal Supplement Series, **578**, 675-688,(2002).
- [5] Mazzali, P. A., Deng, J., Maeda, K., Nomoto, K., Umeda, H., Hatano, K., Iwamoto, K., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Minezaki, T., Doi, M., Enya, K., Tomita, H., Smartt, S. J., Kinugasa, K., Kawakita, H., Ayani, K., Kawabata, T., Yamaoka, H., Qiu, Y. L., Motohara, K., Gerardy, C. L., Fesen, R., Kawabata, K. S., Iye, M., Kashikawa, N., Kosugi, G., Ohyama, Y., Takada-Hidai, M., Zhao, G., Chornock, R., Filippenko, A. V., Benetti, S., Turatto, M.: The Type Ic Hypernova SN 2002ap; The Astrophysical Journal Supplement Series, **572**, L61-L65,(2002).
- [6] Tsujimoto, T., Shigeyama, T., Yoshii, Y.: The site for r-process nucleosynthesis; Astrophysics and Space Science, 281, 221-222,(2002).
- [7] Yoshii, Y., Minezaki, T., Aoki, T., Enya, K., Doi, M., Motohara, K., Kobayashi, Y., Suganuma, M., Tomita, H., Peterson, B. A.: Supernova 2002ap in M74; IAU Circular #7826, ed Green, D. W. E.,(2002).
- [8] Yoshii, Y.: Supernova 2002ap in M74; IAU Circular #7930,(2002).
- [9] Nagashima, Ma. & Yoshii, Y.: Dynamical response to supernova-induced gas removal in two-component spherical galaxies; Monthly Notice of the Royal Astronomical Society, 340,509-518,(2003)

[10] Shigeyama, T., Tsujimoto, T., Yoshii, Y.: Excavation of the First Stars; The Astrophysical Journal,586,L57-L60,(2003)

(会議抄録)

- [11] Nagashima, M. & Yoshii, Y.: Formation and Evolution of Dwarf Galaxies in a Hierarchical Galaxy Formation Model; Proc. of the IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, eds S. Ikeuchi, J. Hearnshaw, & T. Hanawa, Volume II, 279-280,(2002).
- [12] Tsujimoto, T., Yoshii, Y., Kawara, K.: Age problem based on the abundance ratio from a highredshift QSO; Proc. of the 187th Symposium of the International Astronomical Union "Cosmic chemical evolution", eds. Nomoto. K & J. W. Truran (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht), 153-157,(2002).
- [13] Yoshii, Y., Doi, M., Handa, T., Kawara, K., Kohno, K., Minezaki, T., Mitsuda, K., Miyata, T., Motohara, K., Tanaka, M.: Tokyo Atacama Observatory Project; Proc. of the IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, eds S. Ikeuchi, J. Hearnshaw, & T. Hanawa, Volume II, 35-36,(2002).
- [14] Yahagi, H. & Yoshii, Y.: Parallelization and Vectorization of the AMR N-body code; Proc. of the IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, eds S. Ikeuchi, J. Hearnshaw, & T. Hanawa, Volume II, 305-306,(2002).

(国内雑誌)

(学位論文)

(著書)

```
<学術講演>
```

```
(国際会議)
```

一般講演

- [15] Nagashima, M., Yoshii, Y.: Formation and Evolution of Dwarf Galaxies in a Hierarchical Galayx Formation Model,; IAU 8th Asian Pacific Regional Meeting, (Japan, Jul.2002).
- [16] Yahagi, H., Yoshii, Y.: Parallel N-body Code with Adaptive Mesh Refinement,; IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, (Japan, Jul. 2002).
- [17] Nagashima, M., Yoshii, Y.: Formation and Evolution of Dwarf Galaxies in a Hierarchical Galaxy Formation Model,; IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, (Japan, Jul. 2002)
- [18] Yoshii, Y., Doi, M., Handa, T., Kawara, K., Kohno, K., Minezaki, T., Mitsuda, K., Miyata, T., Motohara, K., Tanaka, M.: Tokyo Atacama Observatory Project,; IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, (Japan, Jul. 2002).

[19] Totani, T., Yoshii, Y., Iwamuro, F., Maihara, T., Motohara, K.,: Near-Infrared Faint Galaxies in the Subaru Deep Field: Implications for EBL and EROs,; The Galaxy evolution, theory and observations, (Brazil, Apr. 2002)

(国内会議)

一般講演

- [20] 岩室 史英 (京大理),本原 顕太郎,舞原 俊憲 (京大 理),木村 仁彦 (京大理),吉井 譲,土居 守:「高赤 方偏移QSOの Fe/Mg 輝線比からの年齢測定」日 本天文学会 2002 秋季年会、(宮崎シーガイア、2002 年 10 月)
- [21] 長島 雅裕 (国立天文台), 矢作 日出樹 (国立天文台) ,吉井 譲, 郷田 直輝 (国立天文台): 「数値銀河カ タログ(GC)の構築 I.モデル及び近傍銀河の 統計的性質」、日本天文学会 2002 秋季年会、(宮崎 シーガイア、2002 年 10 月)
- [22] 長島 雅裕 (国立天文台), 矢作 日出樹 (国立天文台) ,吉井 譲, 郷田 直輝:「銀河の形成 / 進化と宇宙年 齢測定」、日本天文学会 2002 秋季年会、(宮崎シー ガイア、2002 年 10 月)
- [23] 吉井 譲,峰崎 岳夫,青木 勉,塩谷 圭吾,小林 行泰 (国立天文台),菅沼 正洋,富田 浩行,Bruce A. Peterson(ANU),土居 守,本原 顕太郎:「MAGNUM project (1).新しい距離決定法の提唱」、日本天文学 会 2002 秋季年会、(宮崎シーガイア、2002 年 10 月)
- [24] 小林 行泰 (国立天文台),吉井 譲,峰崎 岳夫,青木 勉,塩谷 圭吾,菅沼 正洋,富田 浩行,Bruce A. Peterson(ANU):「MAGNUM project (2).自動 観測システムの概要と観測の現状」、日本天文学会 2002 秋季年会、(宮崎シーガイア、2002 年 10 月)
- [25] 峰崎 岳夫,吉井 譲,青木 勉,塩谷 圭吾,小林 行泰 (国立天文台),菅沼 正洋,富田 浩行,Bruce A. Peterson(ANU),土居 守,本原 顕太郎:「MAGNUM project (3).NGC 4151 のダストトーラスの大きさ の変化」、日本天文学会 2002 秋季年会、(宮崎シー ガイア、2002 年 10 月)
- [26] 塩谷 圭吾,吉井 譲,青木 勉,峰崎 岳夫,小林 行泰 (国立天文台),菅沼 正洋,富田 浩行,Bruce A. Peterson(ANU), 土居 守,本原 顕太郎:「MAGNUM project (4). NGC 4639 および近傍活動銀河核の変 光」、日本天文学会 2002 秋季年会、(宮崎シーガイ ア、2002 年 10 月)
- [27] 青木 勉, 峰崎 岳夫, 吉井 譲, 塩谷 圭吾, 小林 行 泰 (国立天文台), 菅沼 正洋, 富田浩行, Bruce A. Peterson(ANU): 「MAGNUM project (5). 観測 スケジューリング」、日本天文学会 2002 秋季年会、 (宮崎シーガイア、2002 年 10 月)
- [28] 富田 浩行,吉井 譲,青木 勉,峰崎 岳夫,塩谷 圭吾, 小林 行泰 (国立天文台), 菅沼 正洋,土居 守,本原 顕 太郎,前田 啓一, Deng Jinsong,野本 憲一, Mazzali Paolo(Observatorio Astronomico):「MAGNUM project (6). 超新星 SN2002ap の可視赤外測光観 測」、日本天文学会 2002 秋季年会、(宮崎シーガイ ア、2002 年 10 月)

- [29] 矢作 日出樹 (国立天文台), 長島 雅裕 (国立天文台), 郷田 直輝 (国立天文台), 吉井 譲:「大規模構造か らの宇宙年齢測定」、日本天文学会 2002 秋季年会、 (宮崎シーガイア、2002 年 10 月)
- [30] 矢作 日出樹 (国立天文台),長島 雅裕 (国立天文台), 第四 直輝 (国立天文台),吉井 譲:「数値銀河カタ ログ (*v*GC)の構築 II. 合体系譜構成法と銀河の空 間分布」、日本天文学会 2002 秋季年会、(宮崎シー ガイア、2002 年 10 月)
- [31] 吉井 譲, 辻本 拓司 (国立天文台):「化学進化に基づいたQSOの母銀河の年齢」、日本天文学会2002 秋季年会、(宮崎シーガイア、2002 年 10 月)
- [32] 吉井譲:「銀河観測の展望」、日本天文学会 2002 秋 季年会、(宮崎シーガイア、2002 年 10 月)
- [33] 岡島 礼奈,吉井 譲:「コンパクト電波源の Z 関係による宇宙パラメータの制限について」、日本天文学会 2003 年春季年会、(東北大学、2003 年 3 月)
- [34] 茂山 俊和, 辻本 拓司 (国立天文台), 吉井 譲:「種 族 III 星の金属汚染」、日本天文学会 2003 年春季年 会、(東北大学、2003 年 3 月)
- [35] 高島 賢二, 吉井 譲:「ダスト円盤の幾何学的構造 が活動銀河核の近赤外光度曲線へ与える影響」、日 本天文学会 2003 年春季年会、(東北大学、2003 年 3 月)
- [36] 富田 浩行,吉井 譲,小林 行泰 (国立天文台),峰崎 岳夫,A.Pastorello(Padova Univ,AOP Italy), M. Salvo(MSO Australia), G. Valentini(AOT Italy), L. Zampieri(AOP Italy),野本 憲一,Jinsong Deng, 前田 啓一,梅田 秀之,塩谷 圭吾 (宇宙研),青木 努, 菅沼 正洋,越田 進太郎,B.A.Peterson(ANU):「超 新星 2002gd の可視赤外観測」、日本天文学会 2003 年春季年会、(東北大学、2003 年 3 月)
- [37] 長島 雅裕 (国立天文台), 矢作 日出樹 (国立天文台),
 吉井 譲:「近赤外背景輻射の揺らぎから深宇宙銀 河を探る」、日本天文学会 2003 年春季年会、(東北 大学、2003 年 3 月)
- [38] 美濃和 陽典,吉井 譲,小林 尚人(国立天文台),戸 谷 友則,高見 英樹(国立天文台),高遠 徳尚(国立 天文台),早野裕(国立天文台),AO/IRCS グルー プ,他すばる望遠鏡メンバー(国立天文台):「補償 光学を用いた Subaru Deep Fieldの近赤外高分解深 撮像」、日本天文学会2003年春季年会、(東北大学、 2003年3月)
- [39] 小林 行泰 (国立天文台),吉井 譲,峰崎 岳夫,青木 勉,菅沼 正洋,富田 浩行,越田 進太郎 (国立天文 台),塩谷 圭吾 (宇宙研), B. A. Peterson(ANU): 「MAGNUM プロジェクト(1).現状報告」、日本天 文学会 2003 年春季年会、(東北大学、2003 年 3 月)
- [40] 吉井 譲,峰崎 岳夫,青木 勉,塩谷 圭吾 (宇宙研),小林 行泰 (国立天文台),菅沼 正洋,富田 浩行 (国立天文台), B. A. Peterson (ANU), 土居守,本原 顕太郎:「MAGNUM プロジェクト (2).提唱する距離決定法の適用範囲とその将来展望」、日本天文学会2003 年春季年会、(東北大学、2003 年 3 月)
- [41] 峰崎 岳夫, 吉井 譲, 青木 勉, 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 (国立天文台), B. A. Peterson (ANU), 土居 守,本原 顕太郎: 「MAGNUM プロジェクト (3). NGC 4151 長期間の変光データとの比較」、日本天 文学会 2003 年春季年会、(東北大学、2003 年 3 月)

- [42] 菅沼 正洋,吉井 譲,峰崎 岳夫,青木 勉,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 (国立天文台), B. A. Peterson (ANU),土居 守,本原 顕太郎:「MAGNUM プロジェクト (4). 近傍1型活動銀河核における観測結果現状」、日本天 文学会 2003 年春季年会、(東北大学、2003 年 3 月)
- [43] 富田 浩行,吉井 譲,小林 行泰 (国立天文台), Jinsong Deng,前田 啓一,野本 憲一,峰崎 岳夫,青木 努, 塩谷圭吾 (宇宙研), 菅沼 正洋 (国立天文台), B. A. Peterson(ANU):「MAGNUM プロジェクト(5). SN2002ap Nebular Phase 、日本天文学会 2003 年 春季年会、(東北大学、2003 年 3 月)
- [44] 矢作 日出樹 (国立天文台),長島 雅裕 (国立天文台), 宮崎 聡 (国立天文台),郷田 直輝 (国立天文台),吉井 譲:「数値銀河カタログ (GC)銀河の角度相関 関数」、日本天文学会 2003 年春季年会、(東北大学、 2003 年 3 月)
- [45] 吉井 譲,川良 公明,田中 培生,土居 守,河野 孝太郎,半田利弘,宮田隆志,峰崎岳夫,本原顕太郎:「TAO 望遠鏡建設のためのアタカマ調査1:計画概要」、日本天文学会2003年春季年会、(東北大学、2003年3月)
- [46] 田中 培生,宮田 隆志,河野 孝太郎,吉井 譲,川良 公明,土居 守,半田 利弘,峰崎 岳夫,本原 顕太郎
 :「TAO 望遠鏡建設のためのアタカマ調査2:チャ ナントール登頂」、日本天文学会 2003 年春季年会、 (東北大学、2003 年 3 月)
- [47] 宮田 隆志,田中 培生,河野 孝太郎,吉井 譲,川良 公明,土居 守,半田 利弘,峰崎 岳夫,本原 顕太郎
 :「TAO 望遠鏡建設のためのアタカマ調査3:気象 測定」、日本天文学会2003 年春季年会、(東北大学、 2003 年3月)
- [48] 本原 顕太郎, 土居 守, 征矢野 隆夫, 高遠 徳尚 (国立 天文台), 浦口 史寛 (国立天文台), 吉井 讓, 川良 公 明, 田中 培生, 河野 孝太郎, 半田 利弘, 宮田 隆志, 峰崎 岳夫:「TAO 望遠鏡建設のためのアタカマ調 査4:シーイング測定」、日本天文学会 2003 年春季 年会、(東北大学、2003 年 3 月)
- [49] 茂山 俊和, 辻本 拓司, 吉井 譲: 「Accretion onto metal-free stars」、新世紀における銀河宇宙観測の 方向:その3、(湯沢ニューオータニホテル、2002 年 12 月)
- [50] 高島 賢二:「ダスト再輻射モデルによる AGN 近赤 外光度曲線の計算」、新世紀における銀河宇宙観測 の方向:その3、(湯沢ニューオータニホテル、2002 年12月)
- [51] 長島 雅裕, 矢作 日出樹, 吉井 譲: 「銀河からの赤外 放射の空間分布」、新世紀における銀河宇宙観測の 方向:その3、(湯沢ニューオータニホテル、2002年 12月)
- [52] 長島 雅裕, 吉井 讓: 「準解析的モデルと矮小銀河」、 KoGalShop-2003, (国立天文台、2003 年 2 月)

[53] 長島 雅裕, 矢作 日出樹, 吉井 讓, 郷田 直輝, 榎 基宏: 「Numerical Galaxy Gatalogue」、First-Generation Objects in the Universe、(筑波大学、 2003 年 3 月)

(招待講演)

[54] 吉井 讓: 「Chemical evolution of galaxies and galactic nuclei」、First-Generation Objects in the Universe、(筑波大学、2003 年 3 月)

(セミナー)

日本天文学会秋季年会, 企画セッション「高赤方偏 移天体の年齢測定」を主催(吉井,野本), 2002年10 月7日-10月9日, 宮崎シーガイア

研究会「新世紀における銀河宇宙観測の方向:その 3」を主催(吉井),2002年12月9日-12月11日,湯 沢ニューオータニホテル
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・岡)

星と星との間には希薄なガスとチリの雲(星間雲) が漂っている。星間雲の中でも比較的密度が高い星 間分子雲は、恒星が形成される場所として銀河系に おける物質循環の主要経路にあたっている。本研究 室では、星間分子雲に存在する原子・分子に着目し て、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なっている。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1mmから0.1mm)は、天文学における未開拓の波長域である。本研究室では、わが国ではじめてのサブミリ波望遠鏡(口径1.2m)を富士山頂に設置して観測を行なっている。中性炭素原子の放つ ${}^{3}P_{1} - {}^{3}P_{0}$ (周波数492 GHz; 波長0.6mm)と ${}^{3}P_{2} - {}^{3}P_{1}$ (周波数809 GHz; 波長0.4mm)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、星間分子雲の形成過程を解明しつつある。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、チリでの運用を始めている。さらに、国立天文台が中心となって推進する ASTE 計画、ALMA 計画にも積極的に参加している。

一方、テラヘルツ帯での観測を実行するために、本 年度より超伝導ホットエレクトロン・ボロメータ・ミ クサ素子の開発を国立天文台野辺山観測所のグルー プと共同してスタートした。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。

4.1 観測装置の開発・改良

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1.2m)は、わが 国で初めてのサブミリ波望遠鏡である。富士山頂は冬 季の気温が低く、また非常に乾燥する。そのため、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 性炭素原子の微細構造スペクトル線、³P₁-³P₀(492 GHz) および ³P₂ - ³ P₁(809 GHz)、の観測を行い、 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5回の観測シーズン で、492 GHz のスペクトル線については 40 平方度 を超える領域のサーベイを行うことができた。これ は、他のグループによる中性炭素原子スペクトル線 の観測と比べて、1桁以上も上回るものであり、近 傍星間分子雲における分子雲スケールでの分布を描 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。2002 年から 2003 年の観 測シーズにおいては、あとで個々の報告で述べるよ うに、主に492GHzのスペクトル線の広域観測、詳 細観測を推進した。また、共同観測を広く全国の研 究者から公募し、4件を実施した。

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、理研の池田正史氏ら との共同研究である。

チョッピング副鏡によるアンテナ指向精度の向上 チ ョッピング副鏡は、高速のビームスイッチングを行う ことによって、観測条件の時間変動に由来するノイ ズに影響されない高感度の電波検出を行う装置であ る。富士山頂サブミリ波望遠鏡には、'01 年度に搭載 され、動作試験が行われている。'02 年度には、副鏡 のチョッピング動作の安定性向上、および IF 系出力 の安定化による連続波検出の感度向上を実現し、こ れによって、惑星の連続波観測によるポインティン グ観測の恒常的な運用が可能になった。従来の太陽 および満月を用いたポインティング観測により保証 されていたアンテナ指向精度が 15″ であったのに対 し、点源である惑星を用いた手法にシフトしたこと で、観測シーズン中約 5″ 望遠鏡のアンテナ指向精度 を達成した。

観測プログラムの改良 富士山頂サブミリ波望遠鏡 の計算機制御システムの改良を行った。従来は富士 山頂に設置された一台の計算機によって全ての処理 を行い、観測者はリモートログインによって山頂の 計算機を操作していたが、この方式では、富士山頂 と本郷の端末の間に低速度(64 kbps)の衛星通信を 介するために、ホスト間のデータ転送に要する時間 が、観測効率を大きく低下させていた。新方式では、 山頂の計算機は機器制御のみを行い、観測者とのイ ンターフェイス部は本郷に置かれたもう一台の計算 機が担当する設計に変更した。これによって、デー タ転送の効率化、GUI化による観測操作の簡略化を 実現し、観測時間のオーバーヘッドを大幅に低減し た。同方式は'01年度より試験的に導入され、'02年 度より本格的に運用を開始している。

可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡

本研究室では、小型(口径 18cm)で可搬型のサブ ミリ波望遠鏡を開発している。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 ${}^{3}P_{1}$ - ${}^{3}P_{0}$: 492GHz, ${}^{3}P_{2}$ - ${}^{3}P_{1}$: 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'@492GHz)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。

2002年9月、この望遠鏡を南米チリのパンパラボ ラ ALMA-J サイトに設置し、南天の代表的な10天 体についてテスト観測を行った。その結果、*ρ*-Oph, NGC6334, NGC2024, M17 の4 つの天体から CI 492GHz 輝線を検出することに成功した。そのうち 以下に記述する NGC6334 と M17 の結果は、可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡の特質をよく示したものと言 える。

NGC6334 NGC6334 は太陽から約 1.7kpc の距離 にある活発な大質量星形成領域である。この領域で は少なくとも7つの OB 星団が独立に形成されてお り、それぞれ異なる進化段階にあると考えられてい る。今回我々は POST18 を用いて、10'で50'×50' (25pc×25pc)の領域について CI 492GHz 輝線によ るマッピング観測を行った。その結果、CI 輝線放射 は CO 輝線放射とほぼ同様の空間的・速度的分布を 示すことが見い出された。CI/CO 積分強度比は典型 的に 0.1-0.2 であり、これは Orion 等の巨大分子雲 に典型的な値である。

M17 M17 は太陽から約 1.6kpc の距離にある活発 な大質量星形成領域である。今回 POST18 により、 M17 中心方向の CI 492GHz 輝線スペクトルを取得 した。その結果、 $T_A^* \sim 1 \text{ K}$ 程度の輝線プロファイ ルの両側に、 $\Delta V \simeq 40 \ \mathrm{km \ s^{-1}}$ もの線幅を持ち、全 積分強度の 1/3 もの割合を占める wing 成分が検出 された。今期、富士山頂サブミリ波望遠鏡を使用し たフォローアップ観測を行い、この高速度 wing 成分 の空間的広がりを調べた。その結果、青方偏移 wing 成分については、原始星の集中する M17 コア方向に 集中することが明らかになった。これは、原始星か らの双極分子流を引き起こす高速中性風を検出した 可能性がある。一方で赤方偏移成分は、青方偏移成 分とは対照的に 40 pc × 40 pc 程度の広がった分布 を示す事が明らかになった。これは原始星からの中 性風起源とは考えられず、星間中性ガスのこれまで 認識されていない形態に属する成分である可能性が ある。



図 4.1 a: 可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡で取得された M17方向の C^{0 3} P_1 - ${}^{3}P_0$ 輝線スペクトル。観測はポジションスイッチ法で行い、総積分時間は 208 秒。 $V_{\rm LSR}$ = 20km s⁻¹を中心とする主成分の両側に、全積分強度の 1/3を占める高速度 wing 成分が見える。

Atacama Submillimeter Telescope Experiment (ASTE)

Hot-Electron Bolometer(HEB) 素子の開発

18cm 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と共同で Nb 拡散型 Hot-Electron Bolometer(HEB) ミクサを用いた超伝導受 信機の開発を進めている。

本年度はそのプロトタイプとして、850 GHz 帯域 用ミクサ素子の開発を行った。このミクサは可能な範 囲で富士山頂サブミリ波望遠鏡で用いている同帯域 用の SIS ミクサと同一の設計を採用した。Nb、Au、 SiO₂ 薄膜の成膜条件、電子ビーム描画装置を用いた 微細構造の描画条件などについて検討を重ねた結果、 これまでに電極接合部の細線長 0.2 μ m、細線幅 0.5 μ m 程度までの設計による HEB ミクサを 50 % 以上 の歩留まり率で製作することが可能になった。ジュー ル・トムソン型冷凍機による冷却試験およびサブミリ 波局部発振器を用いた入射試験を行った結果、この HEB ミクサは冷却によって Nb 細線の超伝導特性に よる非線形電気回路としての性質を示し、サブミリ 波の入射に対して応答性を持つことが確認された。

4.2 星間物質の観測的研究

Barnard 68 Barnard 68 は太陽系から約80パー セクの距離にある星の生まれていない孤立したグロ ビュール(質量 0.7 M☉)であり、その密度プロファ イルはBonner-Ebert 球(外圧下で静水圧平衡にある 等温ガス球)でよく表されることが知られている。今 シーズン我々は富士山頂サブミリ波望遠鏡を用いて、 このB68 方向のCI 492GHz 輝線観測を行った。中心 方向を集中的に積分し、最終的に $\Delta T_A^* = 0.07$ K(rms) のスペクトルを得たが、CI 492GHz 輝線の検出には 至らなかった。この事から、B68 中心方向のC⁰ 柱密



図 4.1 b: 電子ビーム描画装置で製作した、HEB ミ クサ素子の電極部分。超伝導金属 Nb 細線の上に Au 電極を重ねてある。

度の上限は 7×10^{15} cm⁻² と求められる。C⁰/CO 柱密 度比は0.028 以下であり、中間赤外暗黒星雲 (infrared dark clouds) として知られる種族のそれに近いか、も しくはそれ以下の値となった。このことは、B68 は 化学的に極めて進んだ進化段階にある事を示してお り、その重力平衡に近い形状や CO 分子の depletion 等の観測事実と矛盾しない結果である。

IC1396 領域 光解離領域 (PDR) モデルが、実際に 観測されている星間分子雲中の C⁰ の二次元分布を説明できないことは良く知られている。この問題に対す る観測的アプローチの一つとして、HII 領域 IC1396 の観測を行った。同領域内部には、紫外光によって電 離された表面をもつ bright rimmed cloud(BRC) と 呼ばれるグロビュールが点在している。'02-'03 シー ズンに行った観測により、領域内の 13 の BRC の $[CI]^{3}P_{1}-^{3}P_{0}$ 輝線の空間分布を明らかにした。bright rim は、edge-on で観測される PDR の典型例である と考えられるため、モデルに従うなら、電離領域の 背後には [CI] の層状の構造が観測されなければなら ない。しかし、図 4.2 c に示した例からも見られるよ うに、[CI] の積分強度分布は¹³CO によってトレー スされる分子雲内部の構造に近い構造を示し、可視 光で観測される bright rim の背後には、予測された ような [CI] 層は確認されなかった。BRC のような単 純な構造の分子雲においても [CI] 層が検出されない という事実からは、観測されている C⁰の大部分は 定常的な PDR に起源を持たない成分に属すること が示唆される。

おうし座 L1495 領域 昨シーズンに引き続き、L1495 領域において [CI] のマッピング観測を行ない、この 領域のほぼ全体をカバーする広範囲 (約4.5平方度) での [CI] 輝線の検出に成功した。観測の結果、[CI]



図 4.2 c: IC1396 領域の bright rim 周辺の [CI] ${}^{3}P_{1}-{}^{3}P_{0}$ 輝線の強度分布のコントアマップ。最低コン トアレベルは 3 σ 、以上は 1.5 σ 間隔 (σ = 1.2 K·km s⁻¹)。 グレイスケールは、(上) 光学写真 (Digitized Sky Survey) (下)^{13}CO(J=1-0) 輝線 (NRO45m 望遠 鏡による) の積分強度。

は領域全体にわたって広く分布していることが明ら かになった。領域内で 14 個の CI-cloud が同定された が、各 CI-cloud において [CI] は 13 CO(J = 1 - 0) と 弱い相関を、C¹⁸O(J = 1 - 0) とは相関を持たないこ とがわかった。また、柱密度 $N(C^0)$ ピーク値とそこ での $N(C^0)/N(CO)$ 比は [CI] が卓越した領域である HCL2(化学進化段階において"若い"と考えられてい る) での値と似ていること、および、各 CI-cloud で の $M_{\rm VIR}/M_{\rm LTE}$ が 1 よりも大きいことから、L1495 領域は進化段階において平衡状態に達していない"若 い"段階にある可能性がある。このことは、[CI] の分 布と YSOs の分布に反相関の関係があることと矛盾 しない。さらに、時間依存を考慮した PDR モデル との比較によっても、"若い"段階にある可能性を裏 付ける結果が得られた。

 ρ Oph 領域における [CI] ${}^{3}P_{1}-{}^{3}P_{0}$ 輝線の広域観測 へびつかい座領域 (ρ Oph) のフィラメント状暗黒星 雲 L1709 に対して中性炭素原子 [CI] ${}^{3}P_{1}-{}^{3}P_{0}$ 輝線の 広域マッピング観測を行なった。これと昨年度まで に観測した中小質量星形成領域(L1688、L1689)を 合わせると、観測範囲は ρ Oph 領域の主要な暗黒星 雲を含む約5平方度に及ぶ。L1709における[CI]は、 ¹³CO で見られるフィラメント状の分子雲とほぼ同 様な広がりを示す。一方で C¹⁸O と比較すると個々 のピーク位置は合致せず、[CI]とC¹⁸Oの積分強度 に相関関係は見られない。これは、おうし座領域の フィラメント状分子雲 B213 でも見られる傾向であ る。L1709の [CI] 強度のピーク位置における C⁰の 柱密度 N(C⁰)を局所熱力学的平衡 (LTE) の下で求め たところ、 $N(C^0)=1.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ となった。また、 柱密度比 N(C⁰)/N(CO) について L1688 及び L1689 との比較を行ったところ、L1709 での値は他の2領 域よりも小さい側に偏ることを見出した。この結果 は、L1709の方が分子雲内部の密度構造(クランプ構 造) が顕著ではない、あるいは L1709 の方が C→CO の反応がより進んだ進化段階が比較的古い領域であ ることを示している可能性がある。

Draco Nebula における [CI] 輝線のマッピング観 測 Draco Nebula は、通常の銀河回転に沿わない視 線速度を持ち、銀河面から少なくとも 200 pc 以上 離れているガス雲である。そのため銀河面とハロー との中間の物理状態を研究するのに非常に適した天 体といわれている。今年度、富士山頂サブミリ波望 遠鏡を用いて、この天体の南側7割程度の範囲にお いて [CI] 輝線のマッピング観測を行なった。観測の 結果、全体として強度は弱く、最大強度でも $T_{\rm mb}=0.9~{
m K}$ であった。南西部では $^{12}{
m CO}(J=1-0)$ 輝線 や IRAS100 µm の輻射の分布と良い相関が見られ、 また、柱密度比 [N(C)/N(CO)] は1を超える高い値 を示し、炭素の元素組成比が銀河円盤上のガスとほ ぼ同じであったことから、銀河円盤上の translucent cloud と似たような性質を示すことが分かった。その 一方北西部では、[CI] 輝線は線幅が太く、¹²CO 輝線 や IRAS100 µm の輻射に対して、比較的 [CI] 輝線の 輻射が強いことが見出された。

 ζ -**Oph** へびつかい座領域内にある ζ -Oph(O9.5V 型星)の近傍(5pc)に位置するフィラメント状の暗 黒星雲 L204 は、分子雲の形成や進化を探るのによい 領域である。そこで、この領域に対し、富士山頂サ ブミリ波望遠鏡を用いて CI³P₁-³P₀ 輝線の3分角グ リッドによる観測を行った。その結果、約300 点のス ペクトルデータを取得した。この観測で見出された CI 柱密度は LTE、T_{ex}の仮定のもと、~1.4×10¹⁷ cm⁻² と、同じへびつかい座領域である ρ -Oph 領域におけ る柱密度と比べ低い値を示した。このことは、 ζ -Oph 領域は、星形成が未発達な領域ということを示唆し ていると思われる。また、CI ピークにおける $\frac{CI}{CO}$ の 値は 0.2 程度と一般的な値であった。

富士山頂サブミリ波望遠鏡による暗黒星雲 B335の 観測 B335は250pcの距離に位置する孤立した暗 黒星雲分子雲である。過去の様々な研究において、 B335のコア部分では CO輝線による双極分子流が 検出され、遠赤外線でも点源が観測されることから、 低質量の原始星形成が進みつつあることがわかって いる。しかし、これまでこの領域に対する CI 輝線 観測は1点のみで、S/N 比も極めて悪いものしかな かった。そこで本年度、この B335 に対し、富士山頂 サブミリ波望遠鏡を用いて、中性炭素原子 (C⁰) 輝線 (CI:492GHz)の観測を行った。分子雲全体に対する CI 輝線の広がりを 3 分角グリッド 83 点で捉え、コ ア部分については 1.5 分角グリッドで 38 点観測して 詳細分布を明らかにした。その結果、CI 輝線ピーク 位置で $T_{mb} = 0.54$ K,積分強度0.83K km s⁻¹ と暗 黒星雲の中でも CI 強度が比較的弱い天体であるこ とがわかった。また、この CI 輝線のピーク位置と分 布の広がりは過去の ¹³CO 輝線観測 (Frerking et al. 1987) とよく一致していた。さらに、1.5'grid での観 測においても CI 輝線では双極分子流のような顕著な 速度構造は検出されなかった。ピーク位置で局所熱 力学平衡 (LTE)、励起温度 (T_{ex})10K と仮定した場合 の C⁰ 柱密度は 3.2×10^{16} cm⁻² で、CI/CO 柱密度比 0.2 と他の暗黒星雲分子雲と比較して顕著な違いは見 られなかった。しかし、スターカウント法による可 視減光 Av (Dobashi et al. in preparation) と CI 積 分強度をプロットした場合の回帰曲線の傾きは、他 の星形成が進んでいない分子雲 (L183, L169, L134, L1780, MBM38, MBM39) で 0.8-1.4 の値をとるのに 対して、B335では0.6と有意に小さい値となった。 このことは孤立した暗黒星雲分子雲において Av-CI 積分強度プロットの傾きが星形成の最初期段階の進 化段階を表す可能性を示唆している。

4.3 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」が半数 近くを占める。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ので、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 少なくない。また、フリーラジカルの構造と分子内 運動の理解は、分子科学の観点からも重要な課題で ある。そこで、本研究室では「短寿命分子」の回転 スペクトルを、フーリエ変換ミリ波分光を用いて調 べている。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 波数で「短寿命分子」のスペクトルを測定できる感 度を持っており、それを生かして基本的な炭化水素 ラジカルの回転スペクトルを研究している。これま でに、エチルラジカル、ビニルラジカル、シクロプ ロピルラジカルなどのスペクトルをはじめて明らか にしている。

シクロプロピルラジカルのフーリエ変換ミリ波分光 私は以前基本的な炭化水素分子であるビニルラジカ ルの回転遷移を測定し、回転定数および微細、超微 細構造作用定数を決定した上、得られた超微細構造 作用定数に基づき、 $CC-D_{\alpha}$ 変角振動によるトンネル 分裂エネルギ幅を推定した。本研究はそれに引続き、 CC-H 変角振動によるトンネル効果に興味が持たれ るシクロプロピルラジカルに着目した。シクロプロ ピルラジカルは分子構造や分子内運動に大変興味が 持たれている。その分光学的な重要性にも関わらず、 今までその存在が明らかではなかった。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 分子構造に基づき、フーリエ変換ミリ波分光計を用 いて回転遷移の検出を試みた。その結果、 $1_{11} - 0_{00}$ 、 そして $1_{10} - 1_{01}$ 純回転遷移をそれぞれ 37.4 GHz、 10.6 GHz 領域ではじめて検出できた。得られたスペ クトルは微細や超微細構造分裂により複雑なパター ンを示している。現在のところ、得られた微細、超 微細構造を調べるため、シクロプロピルラジカルの ESR の研究結果や類似分子 (CHF₂)の研究結果に基 づき、スペクトルパターンを調べながら解析を進め ている。

<報文>

(原著論文)

- H. Habara, S. Yamamoto & T. Amano, "Submillimeter-wave Spectra of HCS and DCS", Journal of Chemical Physics, **116**, 9232 (2002)
- [2] M. Ikeda, T. Hirota & S. Yamamoto, "The H¹³CN/HC¹⁵N Abundance Ratio in Dense Cores: Possible Source to Source Variation of Isotopic Abundances?", The Astrophysical Journal, 575, 250 (2002).
- [3] H. Habara & S. Yamaoto, "The ¹³C Hyperfine Constants of HCS and HSC Studied by Microwave Spectroscopy", Journal of Molecular Spectroscopy, in press
- [4] T. Oka, S. Yamamoto, M. Iwata, H. Maezawa, M. Ikeda, T. Ito, K. Kamegai, T. Sakai, Y. Sekimoto, K. Tatematsu, Y. Arikawa, Y. Aso, T. Noguchi, S. -C. Shi, K. Miyazawa, S. Saito, H. Ozeki, H. Fujiwara, M. Ohishi, & J. Inatani, "Atomic Carbon and CO Isotope Emission in the Vicinity of DR15", The Astrophysical Journal, **558**, 176 (2001)
- [5] E. Kim & S. Yamamoto, "Fourier transform millimeter-wave spectroscopy of the deuterated vinyl radical, C₂D₃", J. Chem. Phys. **116**, 10713(2002).
- [6] E. Kim & S. Yamamoto, "Fourier transform millimeter-wave spectroscopy of CS(X¹Σ⁺) and SO(b¹Σ⁺) in highly excited vibrational states", J. Mol. Spectrosc., in press.
- [7] 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, and M. Ohishi, "Distribution of the [CI] emission in the ρ Ophiuchi Dark Cloud", The Astrophysical Journal, 2003, in press

(学位論文)

 [8] 新保謙、「テラヘルツ帯 HEB 受信機の開発とおうし 座暗黒星雲の [CI] 輝線広域観測」、修士論文、2003 年1月 <学術講演>

(国際会議)

一般講演

- [9] S. Yamamoto, "Atomic Carbon in Molecular Cloud", "Star Formation Workshop 2002", Taroko, Taiwan (June, 2002)
- [10] S. Yamamoto, "Large Scale Distribution of [CI] and Its Astrophysical Implications", "Formation and Evolution of Molecular Clouds: Recent Results from Single-Dish Millimeter and Submillimeter Astronomy and Prospects", Seoul National University, Korea (May, 2002)
- [11] T. Oka, S. Yamamoto, & Mt. Fuji Submillimeterwave Telescope Group, "Observational Approach to Molecular Cloud Evolution with the Submillimeter-wave [CI] Lines", "Chemistry as a Diagnostic of Star Formation", Univ. of Waterloo, Ontario, Canada (August 21–23, 2002)
- [12] T. Oka, S. Yamamoto, & Mt. Fuji Submillimeterwave Telescope Group, "Observational Approach to Molecular Cloud Evolution with the Submillimeter-wave [CI] Lines", The 34th Scientific Assembly of COSPAR/WSC 2002, E1.5. "Astronomy at IR/Submm and the Microwave Background", Houston, TX, U.S.A., (October 10–11, 2002)
- [13] T. Oka, "Gravitational Stability of Molecular Clouds in the Galactic Center", "Galactic Center Workshop 2002", Kailua-Kona, Hawaii, U.S.A. (November 4–8, 2002)
- [14] T. Oka, S. Yamamoto, & Mt. Fuji Submillimeterwave Telescope Group, "Portable 18cm Submillimeter-wave Telescope (POST18)", "Millimeter, Submillimeter-wave Receiver Workshop, Mitaka, NAO, Japan (December 5–6, 2002)
- [15] K. Kamegai, T. Oka, & S. Yamamoto, "Distribution of the [CI] emission in the ρ Ophiuchi Dark Cloud", The 8th IAU Asian-Pacific Regional Meeting Jul. 2-5, 2002, Tokyo, Japan
- [16] E. Kim & S. Yamamoto, "Fourier transform millimeter-wave spectroscopy of the deuterated vinyl radical, C₂D₃", "57th Ohio State University in International Symposium on Molecular Spectroscopy", Columbus, Ohio, USA (June 17-21, 2002)

(国内会議)

一般講演

- [17] 山本智:新しい観測装置が開く星間化学、日本化学会 イブニングセッション「スペースケミストリー」(早 稲田大学、2003 年 3 月)
- [18] 江澤元、川辺良平、山本智、ASTE チーム: ASTE 計画の進捗と今後、日本天文学会 2003 年春季年会 V43a(東北大学、2003 年 3 月)

- [19] 前澤裕之、野口卓、新保謙、岡朋治、山本智: HEB 受信機の開発、日本天文学会 2003 年春季年会 V62a (東北大学、2003 年 3 月)
- [20] 山本智: 星形成と分子雲形成、東京大学物理学教室 談話会 (2002 年 7 月)
- [21] 岡 朋治、山本智、亀谷和久、林田将明、久保井信之、
 池田正史:可搬型 18cm サブミリ波望遠鏡 (POST18)
 による NGC6334 領域および M17 の CI³P₁-³P₀ 輝
 線観測、日本天文学会 (東北大学、2002 年 3 月)
- [22] 林田将明、岡朋治、山本智:Draco Nebula における 中性炭素原子輝線のマッピング観測、日本天文学会 (東北大学、2003 年 3 月)
- [23] 久保井信行、岡朋治、山本智、相川祐理: CI³P₁-³P₀ 輝線によるおうし座 L1495 領域の広域観測、日本天 文学会(東北大学、2003 年 3 月)
- [24] 亀谷和久、岡朋治、山本智: へびつかい座暗黒星雲 における中性炭素原子輝線の広域観測、日本天文学 会(東北大学、2003年3月)

5 暗黒物質観測

一一神岡鉱山における暗黒物質探査
 (蓑輪・井上)

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

5.1 ボロメータを用いた暗黒物質 の直接検出実験

宇宙の質量の大部分を占めると考えられている暗 黒物質の検出及び性質の詳しい解明は、素粒子、宇 宙物理にまたがる重要課題となっている。我々の研 究室では、この暗黒物質の有力候補であり、超対称 性理論から予言される粒子であるニュートラリーノ の直接検出を目的とした検出器の開発を行っている。 ニュートラリーノの直接検出には原子核との弾 通常、二 性散乱が利用されるのであるが、期待されるイベン トレートは $1 \sim 10^{-4}$ counts/day/kg と極めて低く、 また原子核に付与される反跳エネルギーも~10 keV と低い為、検出器としては、低バックグラウンド・低 しきい値なものが必要である。我々は、そのような 要求を満たす検出器としてボロメータの開発を行っ ており、宇宙線の影響を避ける為、大深度の地下実 験室である宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設で 測定を行っている。本研究は、筑波大学大塚洋一教 授との共同研究である。

ュートラリーノと原子核の弾性散乱は、スピン に依存しない項とスピンに依存した項の和で表され、 どちらの項からの寄与がどの程度優勢であるのかは、 超対称性理論のパラメータ依存であり予言できない。 我々は、スピンに依存した相互作用による検出を目 的として、この相互作用に大きな断面積をもつとさ れている¹⁹F 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。これまでに我々は、神岡に おける LiF ボロメータを用いた測定から、ニュート ラリーノと陽子および中性子とのスピンに依存した カップリング $(a_{\rm p}, a_{\rm n})$ に対して、それぞれ $|a_{\rm p}| < 32$ および $|a_n| < 133$ という制限 $(30 \,\mathrm{GeV/c^2} \, \mathfrak{O}$ ニュー トラリーノに対して)を与えている。この結果は、ス ピンに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 $a_{
m p}-a_{
m n}$ 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に依存しない相互作 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。



図 5.1 a: ニュートラリーノと核子のカップリングに関 する制限曲線 (90 % C.L.)。太い実線が今回 NaF を 用いて得られた結果を、太い点線が LiF を用いてこ れまでに得られている結果を、細い破線が UKDMC 実験によって得られている結果を表す。それぞれの 曲線の外側が実験によって排除される範囲である。

我々は、さらに $a_{p}-a_{n}$ 平面に対する制限を厳しく する為、Li よりも大きな中性子スピン期待値をもつ ことから a_n に対する感度が良いと期待されるNaを 含むフッ化物である NaF を吸収体とするボロメータ の開発を行った。この NaF ボロメータを用いて神 岡で行われた測定結果から導かれる $a_{
m p}-a_{
m n}$ 平面への 制限を図 5.1 a に示す。図 5.1 a の縦軸はニュートラ リーノと中性子とのカップリング、横軸はニュートラ リーノと陽子のカップリングを表している。太い実 線の外側が我々の実験で排除された領域である。比較 の為、太い点線で LiF ボロメータを用いて既に得ら れている制限を、細い破線で UKDMC 実験による制 限を示す。この実験から、 $50 \, \text{GeV/c}^2$ のニュートラ リーノに対してそれぞれ $|a_{\rm p}| < 16$ および $|a_{\rm n}| < 68$ という制限が得られた。図 5.1 a より、10 GeV/c²の ニュートラリーノに対して、UKDMC 実験の付けた 制限をさらに厳しくし、50,100 GeV/c²のニュート ラリーノに対して LiF で得られている制限をさらに 狭めている事が分かる。

5.2 有機単結晶シンチレーターを 用いた暗黒物質検出器の開発

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"を捕らえるため、方向に感度を持った 検出器の開発を行っている。

われわれは、重荷電粒子の入射方向により発光効 率が異なる有機単結晶シンチレーターに注目し、ま ずスチルベンについて実験を開始した。

スチルベンシンチレーター中での炭素反跳の精密測定 暗黒物質の検出には原子核との弾性散乱を用いる が、スチルベンに含まれる原子核のうち暗黒物質に 感度のある炭素の反跳方向による発光量の変化を精 密に測定する必要がある。そこで、東京工業大学原 子炉工学研究所の井頭教授の協力のもと 3.2MV ペ レトロン加速器での⁷Li(p,n)⁷Be反応による中性子 ビームを利用した測定を行った。

また、昨年度までに確立した²⁵²Cfからの中性子 を利用する方法でも測定した。30keV-1MeVまでの スチルベン中の炭素反跳のクエンチングファクター を(図5.2 b)に示す。水素反跳と同様、反跳方向が結 晶軸 c'に対し0°のときが最大、90°のときが最小、 変化の割合は7% ほどであることを確認した。また 低エネルギーではクエンチングファクターが増加す ることを確認し、これを定量的に理解した。



図 5.2 b: スチルベン C 反跳によるクエンチングファ クター

実験計画

具体的な暗黒物質探索は、スチルベンの光出力の スペクトルの日変化を見ればよい。クエンチングファ クターの測定結果に基づき、暗黒物質に対する方向 感度を見積もるシミュレーションを行った。その結 果を(図 5.2 c)に示す。暗黒物質の風向きに対する スチルベンの結晶軸の向きによって(a)のようなス ペクトルの違いが現れる。とくに 5keV 以上のでの カウントレートの差を捕らえることは 暗黒物質存在 の決定的な証拠になると考えられる(b)。暗黒物質の 風向きは白鳥座の方向である。したがって、北緯36 度の神岡では結晶軸を北極方向から水平方向に6度 傾けて置けば、地球の自転により結晶軸と風向きの 角度が最も変化すると考えられる。



図 5.2 c: スチルベン光出力の日変化

極低バックグラウンド光電子増倍管の開発

実験を直接制限することになる PMT の放射線不 純物を可能な限り取り除くべく、極低バックグラウ ンド PMT の開発を東京大学宇宙線研究所神岡実験 施設と共同で行っている。本年度は暗電流対策など を行った。

ナフタレンシンチレーター

発光効率の角度依存性がより大きい結晶であれば、 暗黒物質の風に対する感度はより高くなる。ナフタ レンは有機単結晶で発光量の異方性が最も大きいと 予想される。しかし、昇華する性質や製造が難しいと いう問題がある。本年度はウクライナのクロスベー ター社とナフタレン結晶のサイズ、ハウジング材の 仕様などを決定した。

神岡地下実験室でのパイロットラン

実際に暗黒物質探索実験を行う神岡地下実験室で、 バックグラウンドレベルを見積もるためのパイロッ トランを開始した。ボロメーター実験で使用した γ 線シールド(銅、鉛)、中性子シールド(ポリエチレ ン)を利用し、ボロメーター実験と比較できる様にし ている。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。スチルベンは光出力の時定数が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 効率は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。

5.3 軟 γ 線リピーターからのアクシオン検出実験

アクシオン (axion) は QCD での CP 対称性を保 証するために考えられた中性の擬スカラーボソンで ある。少しだけ質量をもち物質やゲージ場とはほと んど相互作用しないものと考えられている。

アクシオン模型からはアクシオン質量は一意に定 まらず、広い範囲の質量を取りうるが、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。我々はこの太陽からくるアクシオンを捕らえる ためにアクシオンヘリオスコープを開発した。これ は中心磁場 4T、長さ 2.3mの超電導磁石と X 線検 出器をそなえ、東西南北ほぼ 360°,上下±28°の範 囲で自由に天体を追尾できるようになっている。

2002 年度はこの装置を用いて γ 線バーストに伴っ て発生するアクシオンを捕らえる目的で軟 γ 線リピー ター SGR 1900+14 を 5月 20 日から 8月 9 日にか けて計 84 日にわたって観測した。SGR 1900+14 は 度々 γ 線バーストを起こしている天体でその正体は マグネター (magnetar) と呼ばれる通常の中性子星 より 2 桁強い磁場 (~10¹¹ T)を伴った若い中性子星 だと考えられている。アクシオンは相互作用が弱い ため、その発生源となる天体は高温、高密度である ことが望ましい。 γ 線バーストはそのような場とし て都合がよいと考えられる。また、マグネターでは その強力な磁場のためアクシオンの発生に都合のよ い条件がそろっていると考えられる。

しかし残念ながら観測期間中に γ 線バーストは起らなかった。そのかわり SGR1900+14 からの定常アクシオン放射について上限値を与えた。アクシオンのエネルギー分布として平坦な連続スペクトルを仮定し、アクシオン光子結合定数 $g_{a\gamma\gamma} = 10^{-10} \text{GeV}^{-1}$,アクシオン質量 $m_a < 0.03 \text{ eV}$ として求めた SGR 1900+14 からのアクシオンフラックスの上限値は $d\Phi_a/dE_a < 4.8 \times 10^{13} \text{keV}^{-1} \text{s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ (95% C.L.)であった。これは太陽以外の天体からのアクシオンフラックスに関して直接観測から得られたもっとも低い値であるが、その距離 (D = 5.2 kpc)のためにマグネターやアクシオンの理論に影響をおよぼしうるような感度には至っていない。

アクシオンヘリオスコープは設置されていた旧1 号館の取り壊しに伴い解体された。現在は新しい観 測に向けて新1号館地下にて再構築中である。

<報文>

(原著論文)

- Y. Inoue, T. Namba, S. Moriyama, M. Minowa, Y. Takasu, T. Horiuchi, A. Yamamoto: Search for sub-electronvolt solar axions using coherent conversion of axions into photons in magnetic field and gas helium, Phys. Lett. B536 (2002) 18–23, astro-ph/0204388.
- [2] K.Miuchi, M.Minowa, A.Takeda, H.Sekiya, Y.Shimizu, Y.Inoue, W.Ootani, and Y.Ootuka: First results from dark matter search experiment

with LiF bolometer at Kamioka Underground Laboratory, Astroparticle Physics 19 (2002) 135–144, astro-ph/0204411.

- [3] Y. Shimizu, M. Minowa, H. Sekiya, Y. Inoue: Directional scintillation detector for the detection of the wind of WIMPs, Nucl. Instr. and Meth. A496 (2003) 347–352, astro-ph/0207529.
- [4] 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, Submitted to Physics Letters B.

(国内雑誌)

- [5] 蓑輪 眞:「Axion Helioscope 実験」, 高エネルギー ニュース, Vol.21, Num.1, April/May 2002.
- [6] 蓑輪 眞:「物理科学,この1年素粒子物理 非加 速器物理」、パリティ、Vol.18,2003年1月号.

(学位論文)

- [7] 竹田敦: フッ化ナトリウムボロメータを用いた暗黒物 質探索実験、Dark Matter Search Experiment with NaF Bolometer、平成 15 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.
- [8] 一木輝久: 軟ガンマ線リピーター SGR 1900+14 からのアクシオン探索実験、平成 15 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.

(著書)

- [9] 蓑輪 眞,他 共著,パリティ編集委員会 編 寿岳 潤 監修:『宇宙論はいま』,パリティブックス,丸善 (2002)
- <学術講演>
- (国際会議)

招待講演

[10] K. Miuchi, M. Minowa, Y. Inoue, W. Ootani, Y. Ootuka, Y. Shimizu, H. Sekiya, A. Takeda: First results from LiF bolometer at Kamioka, Invited talk given at the 4th International Workshop on the Identification of Dark Matter (IDM2002), York, England, 2–6 September 2002.

(国内会議)

一般講演

- [11] 竹田敦: ボロメータを用いた神岡地下実験室での暗 黒物質探索実験 — LiF 及び NaF を吸収体に用いた 測定、日本物理学会 2002 年秋季大会、立教大学池袋 キャンパス 2002 年 9 月 14 日.
- [12] 清水雄輝:暗黒物質検出実験に用いるアントラセン・ スチルベンシンチレーターの研究、日本物理学会2002 年秋季大会、立教大学池袋キャンパス2002年9月 14日.

- [13] 関谷洋之: 有機単結晶シンチレーターを用いた暗黒物 質用方向感度検出器の開発、日本物理学会 2002 年秋 季大会、立教大学池袋キャンパス 2002 年 9 月 14 日.
- [14] 一木輝久: 超強磁場天体からのアクシオン探索実験、 日本物理学会 2002 年秋季大会、立教大学池袋キャン パス 2002 年 9 月 15 日.
- [15] 竹田敦: ボロメータによる暗黒物質探索実験、宇宙線 研究所共同利用研究発表会、東京大学宇宙線研究所 (柏キャンパス)、2002 年 12 月 2 日.
- [16] 関谷洋之:スチルベンシンチレーターを用いた暗黒物 質探索、第9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2003年2月20日.
- [17] 関谷洋之: スチルベンシンチレーターによる暗黒物質 方向感度検出器の較正、日本物理学会第58回年次大 会、東北学院大学2003年3月31日.

招待講演

[18] 蓑輪 眞:AXION 実験、京都大学基礎物理学研究所研究会『実験・観測にもとづく素粒子統一描像の構築―
 21 世紀の情報発信基地としての日本 ― 』、京都大学基礎物理学研究所 2002 年 8 月 23 日.

(セミナー)

- [19] 蓑輪 眞: 加速器を使わない素粒子実験、集中講義、名 古屋大学大学院理学研究科、2003 年 1 月 29-31 日.
- [20] 蓑輪 眞: AXION 望遠鏡、名古屋大学大学院理学研 究科談話会、2003 年 1 月 30 日.

6 銀河と宇宙構造の 研究

6.1 銀河・銀河団の観測的研究

すばる望遠鏡を用いた高赤方偏移宇宙の観測

- 銀河の大規模構造(嶋作,大内,岡村) 宮崎聡 (国立天文台) 他の Suprime-Cam チー ム、国立天文台、東北大チームとの共同研究. すばる主焦点カメラを用いてすばるディープ フィールドの 25' × 45' の領域を狭帯域フィル ターで撮像し、 $z = 4.86 \pm 0.03$ にある Lyman α 輝線銀河を43個検出した. これらの銀河の 天球分布を調べたところ、20 Mpc × 50 Mpc に亘る大構造を形成していることを発見した. これは、これまで見つかった最遠の大規模構造 である.この観測から,銀河は想像以上に早期 から大規模構造を作っていることがわかった. また,暗黒物質の密度揺らぎに対して銀河分布 の揺らぎがはるかに大きい (いわゆるバイアス 値が高い) こともわかった.
- すばるディープフィールドで検出された 2600 個の高赤方偏移銀河で探る銀河進化 (大内,嶋 作,岡村)

Suprime-Cam チーム、との共同研究. すばる 主焦点カメラを用いてすばるディープフィール ドを多色撮像した結果, 2600 個の z=3.5-5.2 の 銀河を検出した.得られた銀河から、遠方宇宙 での銀河密度,および銀河分布 (クラスタリン グ)を調べた.その結果, z=4 から 5 にかけて 明るい銀河が有意に少なくなり、z=3から6に かけて銀河のクラスタリングが徐々に強くな ることがわかった. これらを CDM の解析的 モデルに当てはめたところ、検出された銀河は $10^{12} - 10^{13.5} M_{\odot}$ のダークハローに付随してお り、ある種の銀河 (Lyα 銀河) は一つのダーク ハローに複数個存在していることがわかった. これらの銀河は、衝突合体を起こし、現在の巨 大銀河が形成されていく可能性がある. これら の結果は Subaru Deep Suevev のシリーズ論文 を中心に発表されている.

 Extremely Red Objects (EROs) を用いた楕円 銀河の進化の研究(嶋作,岡村,宮崎,大内,古 澤)

宮崎聡 (国立天文台) 他の Suprime-Cam チーム, 田村元秀 (国立天文台) 他の SIRIUS チー

ムとの共同研究. EROs は $R - K \ge 5$ (Vega) などで定義される近赤外で非常に明るい天体で あり, 主に z > 1 の楕円銀河とダスト吸収の強 い星形成銀河であるとされる.本研究は 2001 年度から継続して行なっている研究で, 2002 年 度は EROs のクラスタリングの性質を調べた. その結果,楕円銀河的な EROs は相関長が 8 Mpc かそれ以上あり,強くクラスタリングし ていることがわかった.また,星形成銀河的な EROs のクラスタリングもかなり強いことがわ かった.星形成銀河的な EROs も,現在見られ る楕円銀河の祖先である可能性がある.

- 最遠方 z = 6.58 銀河の発見 (嶋作, 大内, 岡村) 柏川伸成 (国立天文台), 小平桂一 (総研大) 他 国立天文台,東北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 Suprime-Cam に特注の狭帯域フィルター (中 心波長 9210Å) を装着して z ~ 6.6 の銀河の サーベイを行なった. これはこれまでになされ た最遠方の銀河サーベイである. 見つかった約 70 個の銀河候補から明るめの 9 個を選んで分 光観測した結果、最低 2 個は確実に $z \simeq 6.6$ にあることがわかった. そのうちの1個の赤 方偏移は 6.58 であり、これは人類が過去に見 つけたあらゆる天体のなかで最遠方である.こ の観測の結果、 $z \simeq 6.6$ という初期の宇宙でも 銀河形成が活発に行なわれていることがわかっ た. この観測プロジェクトは 2003 年度も継続 される.
- ダークマターハローの探査 (岡村,嶋作,大内) 宮崎聡 (国立天文台) 他の Suprime-Cam チー ムとの共同研究. Suprime-Cam により R バン ドで撮影した 2.1 平方度の天域で,弱い重力レ ンズ効果を使って $10^{14}M_{\odot}$ までの銀河団スケー ルのダークマターハローの探査を行った. その 結果, S/N>5 で 4.9 ± 2.3 個のハローを検出し た. まだ探査領域が狭いために銀河形成理論に 強い制限を与えるには至っていないが, ダーク マターハローの統計から宇宙論や構造形成モデ ルに重要な制限が付けられることを実証した.
- 赤方偏移 z = 1.27 銀河団におけ巨大楕円銀河の形成(岡村) 山田,小山,田中,児玉(国立天文台),仲田 (ダーラム大),鍛冶沢(東北大)らの共同研究. 赤方偏移 z = 1.26 にある銀河団 J0848.9+4452 の深い K'バンドの撮像観測を行い,銀河団中 心にある楕円銀河が二つの成分に分離して見え ることを発見した.それぞれの成分の可視-近 赤外の色は、受動的進化をする楕円銀河のモデ ルと似ているが、全光度はかなり小さい.そこで、これら二つの銀河は合体して、巨大楕円銀 河になる途上にあるのではないかという仮説を 提案した.
- 赤方偏移 z = 5.69のスーパーウインド銀河(岡村)
 安食,谷口,村山,長尾,塩谷ら東北大学チームとの共同研究.赤方偏移 z = 5.69にあるライ

マン α 銀河がスーパーウインド現象を起こしている可能性を指摘した.

- 赤方偏移 z = 3.7 における宇宙の星形成率の推定 (岡村,嶋作,大内) 藤田,安食,塩谷,長尾,村山,谷口ら東北大 学チームとの共同研究. Suprime-Cam に赤方 偏移 $z \sim 3.7$ のライマン α 線に合わせた中 間帯域フィルタ (λ_c =5736Å, $\Delta\lambda$ =280Å) を装 着し Subaru/XMM-Newton Deep Field 中の 10.'6 × 12.'4 ~ 132 平方分の視野で, 23 個の 輝線天体を発見した. このうち 6 個が $z \sim 3.7$ にあるライマン α 輝線銀河と推定され,これを 用いて $z \sim 3.7$ における宇宙の星形成率を推定 した.
- 赤方偏移 z = 0.24 における宇宙の星生成率の 推定(岡村) 八木(国立天文台),藤田,安食,塩谷,長尾, 谷口ら東北大学チームとの共同研究.赤方偏移 $z \sim 5.6$ のライマン α 線に合わせた狭帯域フィ ルターが、H α 線では赤方偏移 $z \sim 0.24$ に対応 することを利用して、ライマン α 銀河探査用の 撮像データを用いて、 $z \sim 0.24$ における宇宙の 星生成率を H α 線を用いて推定した.この時期 の星生成率は現在の 3 倍近く高かったことがわ かった.
- 高赤方偏移クエーサーへの重力レンズ効果影響 (岡村)
 塩谷,谷口,村山,安食,長尾ら東北大学チーム との共同研究.高赤方偏移クエーサーの諸性 質を調べる上で重力レンズの影響がどのくら いあるかが注目されている.我々は、赤方偏移 z = 5.74にあるクエーサー SDSSp J104433.04-012502.2 が, z = 1.5 - 2.5 の銀河によって約2 倍程度増光を受けていることを示した.
- 赤方偏移 z = 5.66 にある狭輝線星形成銀河の 発見(岡村)
 谷口,安食,村山,長尾ら東北大学チームとの 共同研究.赤方偏移 z = 5.74 にあるクエー サー SDSSp J104433.04-012502.2 周辺の天域 を狭帯域フィルター(NB816)で観測した.こ のデータから, z = 5.66 にあり強いライマン ~ 輝線を放つ銀河を発見した.分光観測を行っ た結果,このライマン~輝線の速度幅はわずか 22km/s しかなく,この銀河は強い星形成活動 を示す矮小銀河(合体して銀河を作る元になる 天体)ではないかと考えられる.

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 (国立天文台) 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. 本研究には、従来 の同種の研究には見られない二つの大きな特長があ る. 第一は、8m級の望遠鏡で唯一すばるだけが持つ 主焦点の広視野撮像機能を用いて、かつてない広さと 深さの PN 探査を行う事である.通常 PNeは、最も 強い輝線 [OIII]5007 を含むバンドでのサーベイで見 つけられてきた. しかし, こうして見つかったおとめ 座の PNe 候補の分光から, かなりの数の $z \sim 3$ にあ るスターバースト銀河が混じっていることがわかっ ている. そこで本研究では, [OIII]5007とHαの二 のバンドでサーベイを行い、遠方の銀河とおとめ座銀 河団の PNe を識別する. すなわち, 誤天体の混入の ない、確実な PNe 候補のみを検出することが可能で ある.これが本研究二つ目の特長である.今年度は、 予定している3視野の内1視野の観測とデータ解析 が完了した。その結果得られた成果は以下の諸点に まとめられる.

- 今回のように酸素と水素の二本の輝線を使った 観測は誰も行ったことがないため、まず、どの ような基準で選択すれば惑星状星雲が間違いな く検出できるかを検討し、その基準を確定した.
- この新たな基準によって、銀河団中心近くの観 測視野(約27分×24分)内に、38個の確実な 惑星状星雲の候補を発見した.これらの候補の 空間分布は極めて非一様で、M86-M84の二つ の銀河からなる集団に付随しているように見 える.この視野内で、銀河の全光度と銀河間空 間に広がっている淡い光の総量の比は約10%、 ダークマターを含む全物質に対するバリオンの 比は約20%と推定された.
- ・予想もしなかったことだが、NGC 4388 から極めて離れた位置(NGC 4388 のハローの外縁部かあるいは NGC 4388 の重力圏外の銀河間空間)にある、コンパクトな星形成領域(HII 領域)を発見した.この HII 領域は僅か 2-3 個のOB型星によって電離されている小さなものである.銀河からこれほど離れたところで星生成が起こっている現場を捕らえたのは初めてであり、銀河形成過程の解明に重要な意味を持つ発見と考えられる.この発見は、ESO/Subaru Joint Press Release として広く公開された.
- これも予想しなかった副産物であるが、深いHa 画像において、セイファート銀河 NGC 4388 の 周りに約 35kpc にもわたって広がる巨大な電 離水素ガス雲が発見された.この種の電離ガス 雲としては最大規模のものである.銀河に近い 部分のガス雲は銀河中心核からの放射によって 電離されていると推定されるが、外側のガスの 電離機構は正確にはわからない.このようなガ ス雲の起源について考察した.これは国立天文 台ニュースとして公開された.

スローン・ディジタル・スカイサーベイ (SDSS) に 基づく研究

- 銀河の形態分類(岡村,大濱) 福来,中村(宇宙線研)と協力して,SDSSの 分光サンプルのうち,r'<15.9 magの銀河約 1600 個を伝統的な眼視検査により形態分類し, 4 名の結果を総合して「SDSS 銀河形態分類カ タログ」を作り SDSS Collaboration に公開し た.このカタログは今後,銀河の形態が関わる 様々な研究の基礎になるものである.
- 銀河を用いたバルジ・ディスク成分の性質の統計的研究 (大濱,岡村,嶋作) 安田 (国立天文台) との共同研究. SDSS で得られた近傍の明るい円盤銀河 (S0-Sc) を,Growth Curve Fitting 法を用いてバルジ成分とディスク成分に分離した.それをもとにバルジやディスクのパラメータ(有効半径 < r_e >,有効面輝度 < μ_e >,絶対等級 < M >)の統計的振る舞いを調べた.その結果以下のことがわかった. バルジ成分は,形態が早期型から晩期型になるに従って,サイズ < r_e > が僅かに大きくなり,面輝度 < μ_e > が暗くなり,絶対等級 < M > が暗くなる.一方,ディスク成分は、どの形態型であってもこれらのパラメータはほぼ同じ値である.したがって,形態毎のバルジ/全光度比(B/T)の違いはディスクに起因するのではなく、バルジの多様性によってもたらされる.
- SDSSの(u',g',r',i',z')測光システム用の標準 星の確立(嶋作)
 SDSS Collaboration との共同研究. このシス テムを定義する 158 個の標準星のデータを示 すとともに、フィルター特性など関連する情報 をまとめた.
- メインサンプルのターゲットセレクション(岡村,嶋作) Strauss (Princeton大)ら SDSS Collaboration との共同研究.撮像データから,分光観測をす る銀河をどのように選んで SDSS のメインサン プルとするか,その場合メインサンプルの銀河 はどのような特徴を持つかを記述した論文を完 成した.
- 銀河団の光度関数(岡村)
 後藤友嗣(物理),関口真木(宇宙線研)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 < 2 < 0.25)の光度関数を合成して、精度の高い合成光度関数は銀河の形態によって大きく違うことが明らかになった。暗い側の傾きは、早期型銀河は晩期型銀河ほど急ではない。ここで求められた近傍銀河団の合成光度関数は、遠方の銀河団の光度関数の研究をする際の基準となるべきものである。
- フィールド銀河の形態別光度関数(嶋作)
 中村 理(宇宙線研)らとの共同研究. 伝統

的な眼視検査の方法で形態分類を行った1500 個の主としてフィールド銀河のサンプルに対 し,形態別の光度関数を求めた.光度関数は形 態によってそれほど大きく異ならないことがわ かった.

- 銀河の性質とその環境依存性(田中、岡村、嶋 作)
 SDSSで測光・分光された銀河を用いて、フィー ルドから銀河団コアまでの広い環境レンジにお ける銀河の性質とその環境依存性を調べている。
- Optical Redshift Survey σ Selection Function の改訂(岡村、大濱) 吉口 寛之,長滝重博,佐藤勝彦(物理学専攻) との共同研究. 超高エネルギー宇宙線 (UHE-CRs)の起源が近傍の銀河であるとすると、そ の異方性の解明には、銀河系の周辺の銀河の 大局的な空間分布の情報が重要である. その ためにここでは、UHECRs のソースモデルと してよく用いられる,可視光の全天銀河サーベ イ Optical Redshift Survey(ORS)の選択関数 (Selection Function)の改訂を行った. 空の方 向は限られているが、より暗い銀河までサーベ イしたスローン・ディジタル・スカイサーベイ の結果と銀河計数を比較して Selection Function の高精度化をはかった.その結果,後退速 度 5000km/s より遠いところで, ORS が銀河の 数を約2倍過大評価していることを示した.今 後 UHECRs のソースモデルとして ORS を用 いる場合はこの改訂版 Selection Function を使 う必要がある.

6.2 装置・ソフトウエアなどの開発 研究

すばる主焦点カメラ Suprime-Cam の開発(岡村, 嶋作,大内)

Suprime-Cam チームとの共同研究. すばる主焦点 カメラ Suprime-Cam の開発を完了し装置論文を出 版した. Suprime-Cam チームは別表のメンバーより なる(所属は開発期間当時のものを示し,変更がある 場合は補足した).

以下に開発と立ち上げの歴史を要約しておく.

1996年5月にFinal Design Review が行われ、本 格的な開発がスタートした(PI: 岡村定矩, Sub-PIs: 関口真木,宮崎 聡).国立天文台天文機器開発実験 センターに専用スペースの割り当てをうけ、そこを開 発の拠点とした.開発グループで、CCD素子の性能 評価、光学系検討(窓、フィルターなどと望遠鏡の主 焦点広写野補正光学系との整合性など)、サポートと シャッター及びフィルター交換機構を含む機械系、制 御ソフト、データ解析ソフトなどを設計検討し、必要 な部分は外注して、最終的には我々がそれらを組み上 げるという開発方針をとった.宮崎は、Suprime-Cam

- 岡村定矩 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻; PI
- 関口真木 東京大学宇宙線研究所; Sub-PI
- 宮崎 聡 国立天文台天文機器開発実験センター,現在同ハワイ観測所; Sub-PI
- 小宮山裕 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻大学院生,現在国立天文台ハワイ観測所; Support Scientist
- 濱部 勝 東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター,現在日本女子大学
- 土居 守 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻,現在同研究科天文学教育研究センター
- 嶋作一大 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻
- 八木雅文 国立天文台光学赤外線天文学・観測システム研究系
- 安田直樹 国立天文台天文学データ解析計算センター
- 岡田則夫 国立天文台天文機器開発実験センター
- 井美克美 国立天文台天文機器開発実験センター,現在三菱電機(株)
- 仲田史明 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻大学院生,現在ダーラム大学
- 古沢久徳 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻大学院生,現在国立天文台ハワイ観測所
- 木村仁彦 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻大学院生,現在京都大学
- 大内正己 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻大学院生

ばかりでなく、すばるの可視観測装置全てに用いられる CCD 素子の供給と性能評価試験を担当した.

1998年11月30日に、CCD素子8枚を装着した Suprime-Cam は三鷹での最終試験を終えて、ハワイ 観測所に向け発送された. 1998 年 12 月から 1999 年 1月にかけて Suprime-Cam はカセグレン焦点に装着 されてファーストライトを迎え, 基本的な性能を確 認するとともにファーストライトイベントのための 画像を取得した.1999年7月に初めて主焦点に搭載 したが望遠鏡の主焦点関連の様々なトラブルにより 有効なデータは得られなかった.その後、困難を極 めた望遠鏡の主焦点立ち上げ作業に協力しつつ調整 を行い, 2000年8月にようやくサイエンスグレード のデータが取れるようになった. 2000 年4月から, 小宮山裕がサポートサイエンティストとしてハワイ 観測所に赴任して装置立ち上げと共同利用を支えた. 2000年11月にグレードの低いものも含めて CCD を 10素子に増設したが、1素子に不具合が起き使用不 能となり、9素子で運用することとなった. この状態 で 2000 年 12 月から 2001 年 3 月にかけて, すばる最 初の共同利用観測に供した.2001年前期には一旦共 同利用を中断し、安定に共同利用に供するための種々 の改良を加えた. この過程で 2001 年 3 月には、小宮 山,木村,宮崎により,グレードの高い CCD10 素子 がフル装備された.中屋秀彦(ハワイ観測所)が、そ れまですばる観測装置の制御系として使われてきた Messia4 よりもはるかに高性能の Messia5 を一年間 かけて開発し、中屋、小宮山、宮崎を中心に、2002年 8月に, Suprime-Cam の制御系が Messia5 に更新さ れた. これによって、読み出し時間が約120秒から 57秒に短縮され、観測効率が大幅に向上した.

27×30 分角という広視野にわたる撮像能力をを持 つ Suprime-Cam は、8m 級望遠鏡の中で唯一すばる 望遠鏡だけが有するユニークな観測装置で、太陽系 天体、太陽系外惑星、高赤方偏移銀河など多種多様な 天体の探査を中心に広く利用されている.さらに、そ のシャープな像質は、重力レンズの研究に世界最高の 性能を有することが実証されている.現在,Suprime-Cam はすばるの共同利用観測時間の約30%に利用されている.

6.3 教育・広報普及など

SDSS Skyserver の整備(岡村)

安田直樹(国立天文台), 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. 2001 年 6 月には Early Data Release (EDR) として Commissioning Data が一般の研究者に向け て公開されている. SkyServer は EDR 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. 2002 年 10 月 の天文学会発表時に利用できたのは、高感度の CCD カメラで撮影した 462 平方度(全天の約 1%)の空の 画像、そこに含まれる 1400 万個の天体の位置、明る さ、種別などのデータ、および距離を測定するために 取得された 5 万 4 千個あまりの銀河のスペクトルで あった. これはまだ最終的な観測予定量の 5% にも 満たないが、これまでに公開された天文データでは 最大規模であった. (2003 年 4 月に第一次のデータ 公開が行われた.)

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.

この研究は、2002年の天文学会秋期年会の記者発 表の一つ(天文教育分野)に選ばれた.

<報文>

(原著論文)

- Yoshida, M. et al. (20 authors including Okamura, S., Shimasaku, K., Furusawa, H., Miyazaki, M., Nakata, F., Ouchi, M.), 2002, "Discovery of a Very Extended Emission-Line Region around the Seyfert 2 Galaxy NGC 4388", *Ap. J.*, 567, 118-129.
- [2] Carter, D., Mobasher, B., Bridges, T. J., Poggianti, B. M., Komiyama, Y., Kashikawa, N., Doi, M., Iye, M., Okamura, S., Sekiguchi, M., Shimasaku, K., Yagi, M., and Yasuda, N. 2002, "A Photometric and Spectroscopic Study of Dwarf and Giant Galaxies in the Coma Cluster. V. Dependence of the Spectroscopic Properties on Location in the Cluster", Ap. J., 567, 772-780.
- [3] Ajiki, M. et al. (36 authors including Okamura, S.) 2002, "A New High-Redshift Lyα Emmitter: Possible Superwind Galaxy at z =5.69", Ap. J. (Letters), 576, L25-L28.
- [4] Yamada, T., Koyama, Y., Nakata, F., Kajisawa, M., Tanaka, I., Kodama, T., Okamura, S., and de Propris, R. 2002, "Witnessing the Hierarchical Assembly of the Brightest Cluster Galaxy in a Cluster at z = 1.26", Ap. J. (Letters), 577, L89-L92.
- [5] Miyazaki, S., Hamana, T., 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., 2002, "Searching for Dark Matter Halos in the Suprime-Cam 2 Square Degree Field", Ap. J., 580, L97–L100.
- [6] Gerhard, O., Arnaboldi, M., Freeman, K.C., and Okamura, S. 2002, "Isolated Star Formation: A Compact HII Region in the Virgo Cluster", Ap. J. (Letters), 580, L121-L124.
- [7] Ouchi, M., Shimasaku, K., Furusawa, H., Miyazaki, M., Doi, M., Hamabe, M., Hayashino, T., Kimura, M., Kodaira, K., Komiyama, Y., Matsuda, Y., Miyazaki, S., Nakata, F., Okamura, S., Sekiguchi, M., Shioya, Y., Tamura, H., Taniguchi, Y., Yagi, M., & Yasuda, N. 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.

- [8] Komiyama, Y., Sekiguchi, M., Kashikawa, N., Yagi, M., Doi, M., Iye, M., Okamura, S., Shimasaku, K., Yasuda, N., Mobasher, B., Carter, D., Bridges, T. J., and Poggianti, B. M., 2002, "A Photometric and Spectroscopic Study of Dwarf and Giant Galaxies in the Coma Cluster. I. Wide-Area Photometric Survey: Observation and Data Analysis", Ap. J. Suppl., 138, 265-278.
- [9] Hall, P. et al. (the SDSS Collaboration; 53 authors including Okamura, S.) 2002, "Unusual Broad Absorption Line Quasars from the Sloan Digital Sky Survey", Ap. J. Suppl., 141, 267-309.
- [10] Yagi, M., Kashikawa, N., Sekiguchi, M., Doi, M., Yasuda, N., Shimasaku, K., and Okamura, S. 2002, "Luminosity Functions of 10 Nearby Clusters of Galaxies. I. Data", A. J., **123**, 66-86.
- [11] Yagi, M., Kashikawa, N., Sekiguchi, M., Doi, M., Yasuda, N., Shimasaku, K., and Okamura, S. 2002, "Luminosity Functions of 10 Nearby Clusters of Galaxies. II. Analysis of the Luminosity Function", A. J., **123**, 87-99.
- [12] Stoughton, C. et al. (the SDSS collaboration; 192 authors including Okamura, S., Doi, M., Shimasaku, K.) 2002, "Sloan Digital Sky Survey: Early Data Release", A. J., **123**, 485-548.
- [13] Strauss, M. et al. (the SDSS Collaboration; 36 authors including S.Okamura) 2002, "Spectroscopic Target Selection in the Sloan Digital Sky Survey: The Main Galaxy Sample", A. J., 124, 1810-1824.
- [14] Fujita, S. S. et al. (28 authors including Okamura, S., Shimasaku, K., Ouchi, M.) 2003, "A Search for Lyα Emitters at Redshift 3.7", A. J., 125, 13–31.
- [15] 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. 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.
- [16] 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. 2003, "Narrowband Imaging in [O III] and Hα to Search for Intracluster Planetary Nebulae in the Virgo Cluster", A. J., **125**, 514– 524.
- [17] Goto, T., Okamura, S., McKay, T. A., Bahcall, N. A., Annis, J., Bernardi, M., Brinkmann,

J., Gomez, P. L.; Hansen, S., Kim, R. S. J., Sekiguchi, M., Sheth, R.K. 2002, "Composite Luminosity Functions of the Sloan Digital Sky Survey Cut & Enhance Galaxy Cluster Catalog", *Publ. Astr. Soc. Japan*, **54**, 515-525.

- [18] Miyazaki, S., Komiyama, Y., Sekiguchi, M., Okamura, S., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Imi, K., Kimura, M., Nakata, F., Okada, N., Ouchi, M., Shimasaku, K., Yagi, M., & Yasuda, N. 2002, "Subaru Prime Focus Camera – Suprime-Cam", *Publ. Astr. Soc. Japan*, **54**, 833– 853.
- [19] Okamura, S., Yasuda, N., Arnaboldi, M., Freeman, K. C., Ando, H., Doi, M., Furusawa, H., Gerhard, O., Hamabe, M., Kimura, M., Kajino, T., Komiyama, Y., Miyazaki, S., Nakata, F., Napolitano, N. R., Ouchi, M., Pannella, M., Sekiguchi, M., Shimasaku, K., & Yagi, M. 2002, "Candidates for Intracluster Planetary Nebulae in the Virgo Cluster Based on the Suprime-Cam Narrow-Band Imaging in [O III] and Hα", Publ. Astr. Soc. Japan, 54, 883–889.
- [20] Shioya, Y., Taniguchi, Y., Murayama, T., Ajiki, M., Nagao, T., Fujita, S.S., Kakazu, Y., Komiyama, Y., Okamura, S., Oyabu, S., Kawara, K., Ohyama, Y., Kawabata, K.S., Ando, H., NIshimura, T., Hayashi, M., Ogasawara, R., and Ichikawa, S. 2002, "SDSSp J104433.04-012502.2 at z = 5.74 is Gravitationally Magnified by an Intervening Galaxy", *Publ. Astr. Soc. Japan*, 54, 975–979.

(会議抄録)

- [21] Kodama, T., Smail, I., Nakata, F., Okamura, S., and Bower, R. 2002, "History of Mass Assembly and Star Formation in Clusters", *Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters*, ASP Conf. Ser., 268, 301.
- [22] Nakata, F., Kajisawa, M., Yamada, T., Kodama, T., Shimasaku, K., Tanaka, I., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Iye, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, S., Okamura, S., Ouchi, M., Sasaki, T., Sekigushi, M., Yagi, M., and Yasuda, N. 2002, "Galaxy Population in the Cluster of Galaxies around the Radio Galaxy 3C324 at z = 1.2", Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters, ASP Conf. Ser., 268, 421.
- [23] Kodama, T., Smail, I., Nakata, F., Okamura, S., and Bower, R. G. 2002, "A Large Scale Structure Surrounding a z = 0.4 Cluster Traced by SUBARU", ASP Conf. Ser., 283, 235.
- [24] Okamura, S., on behalf of the Suprime-Cam Team and the Subaru Team 2002, "Deep Imaging Surveys with Suprime-Cam on Subaru Telescope", Proc. 8th Asian Pacific Regional Meeting of the IAU, ASP Conf. Ser., 289, 25-26.

- [25] Raharto, M., Okamura, S., and Hamabe, M. 2002, "Are IRAS Point Source, IPS, with $0.4 < m_{12} - m_{25} < 1.4$ in the Galactic Bulge Luminous Late M Stars?", Proc. 8th Asian Pacific Regional Meeting of the IAU, ASP Conf. Ser., **289**, 201-202.
- [26] Nakata, F., Kodama, T., Shimasaku, K., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, S., Okamura, S., Ouchi, M., Sekiguchi, M., Yagi, M., & Yasuda, N. 2002, "Environmental Dependence of the Galaxy Population in the Lynx Supercluster Region at z ~ 1.27", Proc. 8th Asian Pacific Regional Meeting of the IAU, ASP Conf. Ser., 289, 283–284.
- [27] Murayama, T., Shioya, Y., Taniguchi, Y., Ajiki, M., Nagao, T., Fujita, S.S., Kakazu, Y., Komiyama, Y., Okamura, S., Oyabu, S., and 8 coauthors 2002, "SDSSp J104433.04-012502.2 at z=5.74 is Gravitationally Magnified by an Intervening Galaxy" Proc. 8th Asian Pacific Regional Meeting of the IAU, ASP Conf. Ser., 289, 481-482.
- [28] Okamura, S., Yagi, M., Kashikawa, N., Sekiguchi, M., Doi, M., Shimasaku, K., and Yasuda, N. 2002 "Is the Luminosity Function of Galaxies Universal?", *New Trends in Theoretical* and Observational Cosmology, eds. K.Sato and T.Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 229-234.
- [29] Shimasaku, K., Ouchi, Okamura, S., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, M., Miyazaki, S., Nakata, F., Sekiguchi, M., Yagi, M., and Yasuda, N. 2002, "Photometric Properties of Galaxies at z ~ 4 - 5 in the Subaru Deep Fields", New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, eds. K.Sato and T.Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 185-192.
- [30] Ouchi, M., Shimasaku, K., Okamura, S., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, M., Miyazaki, S., Nakata, F., Sekiguchi, M., Yagi, M., Yasuda, N., & Subaru NB Collaboration 2002, "Statistical Properties of Galaxies at z=4 and 5 in the Subaru Deep Field", New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, eds. K.Sato and T.Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 193-196.
- [31] Kodama, T., Smail, I., Nakata, F., Okamura, S., and Bower, R.G. 2002, "Environmental Variation of Photometric Properties of Galaxies along the Large Scale Structure around a z=0.4 Cluster", New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, eds. K.Sato and T.Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 257-260.

(国内雑誌)

- [32] 嶋作一大 2002: "超広視野カメラでとらえたもっと も遠い宇宙",「パリティ」, 2002 年 5 月号, p.16.
- [33] 岡村定矩 2002: "大学連合ハワイ宿舎の運用を終え て",「天文月報」, 2002 年7月号, p.358-360.
- [34] 岡村定矩 2003: "政策決定の場に研究者も参加を", 「日経サイエンス」, 2003 年 4 月号, p.115-117.

(著書)

[35] 理科年表 2003, 岡村定矩 (天文部, 分担執筆)

<学術講演>

```
(国際会議)
```

一般講演

- [36] Murayama, T., Shioya, Y., Taniguchi, Y., Ajiki, M., Nagao, T., Fujita, S.S., Kakazu, Y., Komiyama, Y., Okamura, S., Oyabu, S., and 8 coauthors 2002, "SDSSp J104433.04-012502.2 at z=5.74 is Gravitationally Magnified by an Intervening Galaxy" Proc. 8th Asian-Pacific Regional Meeting of the IAU, Tokyo, July 2-5, 2002 (poster).
- [37] Nakata, F., Kodama, T., Shimasaku, K., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, S., Okamura, S., and 4 coauthors, 2002, "Environmental Dependence of the Galaxy Population in the Lynx Supercluster Region at z?1.27" 8th Asian-Pacific Regional Meeting of the IAU, Tokyo, July 2-5, 2002 (poster).
- [38] Okamura, S., on behalf of the Suprime-Cam Team and the Subaru Team 2002, "Deep Imaging Surveys with Suprime-Cam on Subaru Telescope", 8th Asian Pacific Regional Meeting of the IAU, Tokyo, July 2-5, 2002 (poster).
- [39] Okamura, S.: "Sloan Digital Sky Survey Project and Systematic Properties of Bulge/Disk Components of Galaxies", Department of Astronomy, Seoul National University, 2003/2/24.
- [40] Ouchi, M.: "Statistical Properties of Galaxies at z=4 and 5 in the Subaru Deep Field", Galaxy Evolution: Theory and Observations, Cozumel, Mexico, 2002/4/12.
- [41] Ouchi, M.: "Unveiling Proto-clusters and Large-Scale Structures at z > 3 with the Subaru Prime Focus Camera", Carnegie Observatories Centennial Symposium III Clusters of Galaxies: Probes of Cosmological Structure and Galaxy Evolution, Pasadena, USA, 2003/1/29.

招待講演

[42] S.Okamura: "An Overview of Observational Astronomy in Japan", National Workshop on 'The Strategy for Space R & D' organized by the National Space Agency of Malaysia, Mines Beach Resort & Spa, Malaysia, 2003/2/6. (国内会議)

一般講演

- [43] 岡村定矩:「深宇宙探査の最近の話題」、大学 院理学系研究科名誉教授懇談会、学士会館分館、 2002/11/26.
- [44] 岡村定矩:「宇宙の過去はどこまで見えたか」,第 278 回近畿大学理工学総合研究所コロキウム,近畿 大学,2003/1/10.
- [45] 嶋作一大: "EROs の多色の大サンプルで探る楕円 銀河の進化", 2002 年すばるユーザーズミーティン グ,国立天文台,三鷹,2002/12/19-20.

招待講演

[46] 岡村定矩:「日本社会で、天文学の正しい認知度、を 高めるには」、天文・天体物理若手夏の学校、「天 文学と社会」分科会、京都厚生年金休暇センター、 田辺市、2002/7/29-8/2.

(学会発表)

- 日本天文学会 2002 年秋季年会, 宮崎シーガイア, (2002/10/7-10/9)
- [47] 大内正己, 嶋作一大, 岡村定矩: すばるディープ フィールドにおける原始大規模構造の発見, R23b.
- [48] 岡村定矩: おとめ座銀河団中の銀河に属さない惑星 状星雲の探査, N31b.
- [49] 後藤友嗣 (東大宇宙線研), 岡村定矩: Morphological Butcher-Oemler effect in the SDSS Cut & Enhance GalaxyCluster Catalog, T01a.
- [50] 小宮山裕 (国立天文台ハワイ観測所), 岡村定矩, 嶋 作一大, 大内正己, 土居守: Stellar Content of Irregular Galaxy NGC6822, R67c.
- [51] 藤田忍 (東北大), 岡村定矩: すばる望遠鏡による赤 方偏移 5.7 の Lya 輝線銀河の探査, R24c.
- [52] 古澤久徳 (国立天文台ハワイ観測所), 嶋作一大: す ばるディープフィールドにおける矮小銀河の形成 進化, R22b.
- [53] 宮崎聡 (国立天文台), 嶋作一大, 岡村定矩: Suprime-Cam GTO 2 deg² field における銀河ク ラスタリングの進化, R04a.
- [54] 安田直樹 (国立天文台), 岡村定矩: Sloan Digital Sky Survey SkyServer, Y04b.
- 日本天文学会 2003 年春季年会,東北大学 (2003/3/24-26)
- [55] 関口和寛 (国立天文台ハワイ観測所), 大内正己, 嶋 作一大, 土居守: すばる望遠鏡観測所大プロジェク ト"Subaru/XMM Deep Survey", R19a.
- [56] 林野友紀 (東北大), 岡村定矩, 嶋作一大, 大内 正己: SSA22 z = 3.1 巨大銀河形成領域の発見 I. 大構造 とバイアスパラメータ, R20a.
- [57] 松田有一 (東北大), 岡村定矩, 嶋作一大, 大内 正己: SSA22 z = 3.1 巨大銀河形成領域の発見 II. 原始 銀河候補の発見, R21a.
- [58] 田村一 (東北大), 岡村定矩, 嶋作一大, 大内 正己: SSA22 z = 3.1 巨大銀河形成領域の発見 III. Lyα 銀河の統計的性質, R22a.

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・折戸・田代・吉村)

7.1 反物質探查(BESS 実験)

BESS 気球実験は、「初期宇宙における素粒子現 象」の探求を目的とする国際共同実験であり、東京 大学、高エネルギー加速器研究機構、神戸大学、宇 宙科学研究所、米国航空宇宙局 (NASA)、メリーラ ンド大学が参加している。地球磁極領域に降り注ぐ 低エネルギー宇宙線反粒子に注目しつつ、これまで にない高い統計精度で宇宙線観測を行い宇宙線物理 の為の基本データを提供している。 原始ブラック ホールの蒸発等、初期宇宙における素粒子現象を源 とする"宇宙線反粒子"の精密探査を推進するとと もに、"反ヘリウム"の直接探査を通して、現在の 宇宙における物質、反物質の存在の非対称性の検証 を目指している。 薄肉超伝導マグネットによって 実現される大立体角、均質磁場空間に組み込まれた 高分解能粒子飛跡検出器システムによって、以前の 実験に比べ一桁以上高い観測感度を実現した。これ までに、低エネルギー宇宙線反陽子スペクトラムの 観測を通して、その主成分が衝突(二次)起源によ るものであることを明らかにした。一方、1GeV 以 下の低エネルギー領域では、宇宙起源反粒子の存在 を僅かながら示唆する観測結果を得ており、さらに 統計精度を高めた観測が望まれている。これまでの 宇宙線精密観測を太陽活動の変動を追いつつ観測を 続けると共に、南極領域での周回長時間飛翔実験実 現を目指し準備を進めている。以上の経過を踏まえ、 2002年度には、以下にまとめる成果を得た。

7.1.1 宇宙線反重陽子の探索

宇宙線反陽子は、反陽子と同様、原始ブラックホールの蒸発を起源として重陽子とともに対生成される可能性がある。その生成確率は、反陽子に比べて、 非常に小さい。しかしながら、低エネルギー領域に おいて、バックグラウンドとなる衝突(二次)起源反 重陽子の存在は、運動学的な制約によって十分に無 視できることから、この領域でもし一事象でも反重 陽子が観測されれば、宇宙(一次)起源反粒子の存 在を示す有力な証拠となる。以上の理解に基づき、 1991997 2000 年の観測データ解析を通して反重陽子 探索を行った。その結果、候補は存在せず、図7.1 a に 示すように、上限値として、1.9x10-4 (m2.sr.GeV/n)-1 を得た。 これは、宇宙線反重陽子流束に対する はじめての上限値の報告である。



図 7.1 a: 宇宙線反重陽子の探策。BESS-1997-2000 データの探策結果。



図 7.1 b: BESS-TeV 実験にむけたアップグレード。

7.1.2 一次宇宙線の精密観測

ー次宇宙線の精密観測は、宇宙線物理学における 全ての領域で基準情報となる。二次起源反陽子スペ クトラムの計算の基本情報であることはもとより、 近年注目を集めるニュートリノ振動観測実験におい ても、大気ニュートリノ流束の精密計算にとって極 めて重要な基本データとなる。BESS-98 実験では、 100 GeV までの精密な流束の観測に成功しているが、 さらにアウタードリフトチェンバーを導入してスペ クトロメータをアップグレードし(図7.1b)、最大リ ジディティ(運動量/電荷)分解能を7倍に引き上 げることに成功した(図7.1 c)。観測(BESS-TeV)を 2002 年のフライトで行い、500 GeV までのエネル ギースペクトルの観測を実現した。



図 7.1 c: レジディティー分解能 MDR が 0.2TV から 1.4TV に改善。



図 7.1 d: BESS-Polar スペクトロメータ断面。低エ ネルギー粒子を物質量 4/5 g/cm² の上半部で感度良 く観測できる。

7.1.3 BESS-Polar 実験

宇宙線反陽子の精密観測、反重陽子の探索、反へ リウムの探索を中点的な観測目的として、南極周回 長時間気球実験を目指した BESS-Polar スペクトロ メータの開発が進められている(図 7.1 d)。 2002 年には新たに開発された極薄肉超伝導マグネット(図 7.1 e)および中央飛跡検出器が完成した。 また長 時間フライトに必須の技術となるソーラーパネルプ ロトタイプが開発され、宇宙科学研三陸大気球観測 所において技術試験気球飛翔実験に成功した(図 7.1



図 7.1 e: BESS-Polar 薄肉超伝導コイル (物質量 1 g/cm²)。1 テスラ (気球実験時 0.8 テスラ)の磁場を 永久電流で保持する。



図 7.1 f: ソーラーパネルの技術試験飛翔実験 (宇宙 科学研三陸大気気球観測所にて)

f)。2003年にスペクトロメータの完成、2004年の第 一回科学観測を目指している。

<報文>

(原著論文)

- Y. Asaoka, Y. Shikaze, K. Abe, K. Anraku, M. Fujikawa, H. Fuke, S. Haino, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, T. Matsukawa, H. Matsumoto, H. Matsunaga, J. Mitchell, T. Mitsui, A. Moiseev, M. Motoki, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J. F. Ormes, T. Saeki, T. Sanuki, M. Sasaki, E. S. Seo, T. Sonoda, R. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, K. Tanizaki, I. Ueda, J. Z. Wang, N. Yajima, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura, "Measurements of Cosmic-Ray Low-Energy Antiproton and Proton Spectra in a Transient Period of Solar Field Reversal", Phys. Rev. Lett. 88 (2002) 051101.
- [2] T. Sanuki, "Review of Balloons Muon Measurement in the Atmosphere", Intl. J. of Modern Physics A 17 (2002) 1635-1644.

- [3] T. Sanuki, M. Fujikawa, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, H. Fuke, S. Haino, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, N. Matsui, H. Matsumoto, H. Matsunaga, M. Motoki, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, M. Sasaki, Y. Shikaze, T. Sonoda, J. Suzuki, K. Tanaka, Y. Toki, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura, "Measurements of Atmospheric Muon Spectra at Mountain Altitude", Phys. Lett. B541 (2002) 234-242.
- [4] A. Yamamoto, Y. Makida, H. Ohmiya, K. Tanaka, T. Haruyama, T. Yoshida, K. Yoshimura, S. Matsuda, K. Kikuchi, Y. Ootani and S. Mizumaki, "A Thin Superconducting Solenoid Magnet for Particle Astrophysics", IEEE Trans. Applied Superconductivity 12 (2002) 438-441.
- [5] Y. Asaoka, K. Yoshimura, T. Yoshida, K. Abe, K. Anraku, M. Fujikawa, H. Fuke, S. Haino, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, N. Matsui, H. Matsumoto, H. Matsunaga, M. Motoki, M. Nozaki, S. Orito, T. Sanuki, M. Sasaki, Y. Shikaze, T. Sonoda, J. Suzuki, K. Tanaka, Y. Toki and A. Yamamoto, "Measurement of low-energy antiproton detection efficiency in BESS below 1 GeV", Nucl. Instr. and Methods A489 (2002) 170-177.
- [6] A. Yamamoto, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, M. Fujikawa, H. Fuke, S. Haino, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, N. Matsui, H. Matsumoto, H. Matsunaga, F. B. McDonald, J. Mitchell, T. Mitsui, A. Moiseev, M. Motoki, J. Nishimura, M. Nozaki, S. Orito, J. F. Ormes, D. Righter, T. Saeki, T. Sanuki, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, T. Sonoda, R. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, K. Tanizaki, I. Ueda, J. Z. Wang, N. Yajima, T. Yamagami, Y. Yamamoto, H. Yamaoka, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura, "BESS and Its Future Prospect for Polar Long Duration Flights", Adv. Space Res. 30 (2002) (5)1253-(5)1262.
- [7] M. Sasaki, H. Matsumoto, M. Nozaki, T. Saeki, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, M. Fujikawa, H. Fuke, M. Imori, S. Haino, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, T. Matsukawa, H. Matsunaga, J. W. Mitchell, T. Mitsui, A. Moiseev, M. Motoki, J. Nishimura, S. Orito, J. F. Ormes, T. Sanuki, Y. Shikaze, E. S. Seo, T. Sonoda, R. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, K. Tanizaki, I. Ueda, J. Z. Wang, Y. Yajima, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura, "Progress in Search for Antihelium with BESS", Nucl. Phys. (Proc.Suppl.) B113 (2002) 202-207.
- [8] A. Yamamoto, J. Mitchell, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, N. Ikeda, K. Izumi, M. Lee, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, H. Matsumoto, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, H. Omiya, J. F. Ormes, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, J. Suzuki, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami,

Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura "BESS-Polar: Long Duration Flights at Antarctica to Search for Primordial Antiparticles", Nucl. Phys. (Proc.Suppl.) B113 (2002) 208-212.

- [9] K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, M. Fujikawa, H. Fuke, S. Haino, M. Imori, K. Izumi, S. Matsuda, N. Matsui, H. Matsumoto, M. Motoki, J. Nishimura, S. Orito, T. Sanuki, T. Sonoda, Y. Yamamoto, Y. Makida, J. Suzuki, K. Tanaka, A. Yamamoto, T. Yoshida, K. Yoshimura, J. W. Mitchell, A. A. Moiseev, J. F. Ormes, M. Sasaki, R. E. Streitmatter, T. Maeno, T. Matsukawa, M. Nozaki, Y. Shikaze, K. Tanizaki, K.Yamato, E. S. Seo and T. Yamagami, "New Measurement of Primary Cosmic-rays and Atmospheric Muons with BESS-TeV Spectrometer", Proc. 23rd Intl. Symposium Space Technology and Science (Matsue) (2002) 2060-2065.
- [10] K. Yamato, T. Maeno, K. Tanizaki, T. Matsukawa, N. Ikeda, M. Nozaki, M. Sasaki, "A New Data Acquisition System for the BESS-Polar Experiment" Proc. 23rd Intl. Symposium Space Technology and Science (Matsue) (2002) 2066-2070.
- [11] Y. Makida, A. Yamamoto, K. Tanaka, H. Yamaoka, H. Oomiya, K. Kikuchi, S. Mizumaki, "A Thin Superconducting Solenoid Magnet for Balloon Borne Experiment", Proc. 23rd Intl. Symposium Space Technology and Science (Matsue) (2002) 2077-2082.
- [12] M. Motoki, T. Sanuki, S. Orito, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, M. Fujikawa, H. Fuke, S. Haino, M. Imori, K. Izumi, T. Maeno, Y. Makida, N. Matsui, H. Matsumoto, H. Matsunaga, J. Mitchell, T. Mitsui, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, J. Ormes, T. Saeki, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, T. Sonoda, R. Streitmatter, J. Suzuki, K. Tanaka, I. Ueda, J. Z. Wang, N. Yajima, T. Yamagami, A. Yamamoto, Y. Yamamoto, K. Yamato, T. Yoshida and K. Yoshimura, "Precise Measurements of Atmospheric Muon Fluxes with the BESS Spectrometer", Astroparticle Phys. 19 (2003) 113-126.
- [13] J. W. Mitchell, S. Orito, A. Yamamoto, T. Yoshida, K. Abe, K. Anraku, Y. Asaoka, M. Fujikawa, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, N. Ikeda, M. Imori, A. Itazaki, K. Izumi, M. H. Lee, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, N. Matsui, T. Matsukawa, H. Matsumoto, H. Matsunaga, T. Mitsui, A. Moiseev, M. Motoki, J. Nishimura, M. Nozaki, H. Omiya, J. F. Ormes, T. Saeki, T. Sanuki, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, T. Sonoda, A. Stephens, R. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, I. Ueda, J. Z. Wang, Y. Yajima, T. Yamagami, Y. Yamamoto, K. Yamato and K. Yoshimura, "Precise Measurements of the Cosmic Ray Antiproton Spectrum

with BESS Including the Effects of Solar Modulation", to be published in Adv. Space Res.

[14] T. Yoshida, A. Yamamoto, J. Mitchell, K. Abe, H. Fuke, S. Haino, T. Hams, N. Ikeda, A. Itazaki, K. Izumi, M. H. Lee, T. Maeno, Y. Makida, S. Matsuda, H. Matsumoto, A. Moiseev, J. Nishimura, M. Nozaki, H. Omiya, J. F. Ormes, M. Sasaki, E. S. Seo, Y. Shikaze, A. Stephens, R. Streitmatter, J. Suzuki, Y. Takasugi, K. Tanaka, K. Tanizaki, T. Yamagami, Y. Yamamoto, K. Yamato and K. Yoshimura, "BESS-Polar Experiment", to be published in Adv. Space Res.

(報告)

- [15] 浅岡 陽一 他 "BESS 実験による宇宙線反陽子流束 の測定",宇宙科学研究所報告特集 44 (2002) 71-86.
- [16] 福家 英之 他 "BESS-Polar: 南極周回気球実験による宇宙線反陽子の精密測定",宇宙科学研究所報告 特集 44 (2002) 87-97.
- [17] 福家 英之 他、BESS-Polar 用太陽電池システムの 三陸検証実験,宇宙科学研究所報告特集 45 (2003) 37-58.

(解説)

[18] 山本 明, 野崎 光昭, 吉田 哲也 "BESS 測定器による 反陽子宇宙線の検出"、日本物理学会誌 58 (2003) 86-93.

<学術講演>

(学会発表)

- [19] 吉田 哲也:宇宙起源反陽子を求めて-BESS 実験から BESS-Polar へ、「実験・観測にもとづく素粒子統 一描像の構築」研究会(TEA02)(2002 年 8 月)京都大学
- [20] 池田 伸穂: BESS-Polar に搭載する DAQ System の開発、日本物理学会 (2002 年 9 月) 立教大学
- [21] 谷崎 圭祐: BESS2002 実験経過報告、日本物理学会 (2002 年 9 月) 立教大学
- [22] 福家 英之: BESS-Polar 用太陽電池システムの三陸 検証実験、日本物理学会 (2002 年 9 月) 立教大学
- [23] 大宮 英紀: BESS-Polar 用極薄肉超伝導マグネットの開発(1)-マグネット設計とモデルコイル開発・試験、日本物理学会(2002年9月)立教大学
- [24] 山本 康史: BESS 搭載用ドリフトチェンバーの開発、 日本物理学会 (2002 年 9 月) 立教大学
- [25] 山本 明: 超伝導技術が鍵を握る宇宙反粒子の探索-反粒子をプローブとして宇宙誕生の神秘にせまる-、 サイエンス・フロンティアつくば 2002 (2002 年 9 月) つくば市
- [26] 山本 明:飛翔体による宇宙線観測用超伝導電磁石の 開発 - 宇宙起源反粒子探索の鍵を握る先進・宇宙 技術、サイエンス・フロンティアつくば 2002 (2002 年9月) つくば市。

- [27] 大宮 英紀:飛翔体による宇宙観測用超伝導マグネットの開発(6)-熱・機械特性、低温工学・超伝導学会(2002年11月)長崎ブリックホール
- [28] 槇田 康博:飛翔体による宇宙観測用超伝導マグネットの開発(7)-クエンチ特性、低温工学・超伝導学会(2002年11月)長崎ブリックホール
- [29] 松田 晋弥 他、ESS2002 フライト報告、宇宙科学研 究所大気球シンポジウム (2003)
- [30] 大宮 英紀 他、BESS-Polar 用極薄肉マグネットの 開発-実機コイル性能試験結果、宇宙科学研究所大気 球シンポジウム (2003)
- [31] 高杉 佳幸 他、BESS-Polar 実験のためのデータ収 集システム、宇宙科学研究所大気球シンポジウム (2003)
- [32] 松本 賢治 他、BESS-Polar 用太陽電池システムの 三陸検証実験、宇宙科学研究所大気球シンポジウム (2003)
- [33] 谷崎 圭祐: BESS 測定器を用いた地磁気緯度の異なる地上でのµ粒子流束測定、日本物理学会(2003年3月)東北学院大学
- [34] 山本 康史: BESS 測定器による大気ミューオンの高 度変化の観測、日本物理学会 (2003 年 3 月) 東北学 院大学
- [35] 板崎輝: BESS-Polar 測定器に用いる TOF 用 PMT の性能評価、日本物理学会 (2003 年 3 月) 東北学院 大学
- [36] 灰野 禎一:高エネルギー一次宇宙線スペクトル測定 のための BESS Tracking System の改良、日本物 理学会 (2003 年 3 月) 東北学院大学
- [37] 大和 一洋: BESS-Polar 実験のための Flash ADC システムの開発、日本物理学会 (2003 年 3 月) 東北 学院大学
- [38] 福家 英之: BESS 実験による宇宙線反重陽子の探索、 日本物理学会 (2003 年 3 月) 東北学院大学
- [39] 安部 航: BESS 測定器を用いた大気上層部における 宇宙線流束、日本物理学会 (2003 年 3 月) 東北学院 大学

7.2 X 線、 γ 線観測

牧島は昨年に引き続き、理化学研・宇宙放射線研究 室 (http://cosmic.riken.go.jp/indexj.html/)の主任 研究員を兼務し、ビッグバン宇宙国際研究センター (www.resceu.s.u-tokyo.ac.jp)のセンター長を併任し た。今年度は宇宙ニュートリノ研究の小柴名誉教授 らと並び、宇宙X線研究の開拓者の一人である、R. Giacconi (アメリカ)がノーベル賞を受賞した [93]。

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

「ようこう」衛星(1991年8月30日~2001年12 月)の太陽硬X線望遠鏡(HXT)は、独創的なフーリ エ合成[19][53]により、太陽フレアの硬X線画像を 高い解像度で撮像した。昨年度の松本(三菱電気)の 成果を受け、フレアのさい、コロナ上空で磁気リコ ネクションにより発生したプラズマ流が、磁気ルー プに衝突して粒子が加速されるという描像を発展さ せた[40]。加速された電子は、光球に突入し制動放 射により、硬X線・ガンマ線の連続成分を作る。陽 子は原子核と衝突して中性子を叩き出し、それが陽 子に捕獲されると2.2 MeVのラインが発生する。そ こで連続成分とラインを比較すると、電子と陽子の 加速を定量的に比較できる。古徳らは、制動放射の 連続成分が発生する過程をモンテカルロで定量化し、 電子スペクトルを逆算する作業を進めた[88][95]。

○ 原始星からの X 線放射

分子雲の奥深くで生まれる大質量星は、形成途上 で強いX線を放射し、それは厚いガスや塵を貫く貴 重な情報源となる。しかし放射機構は未知な部分が 多い。江副らは「あすか」衛星(1993年2月20日~ 2001年3月2日)による星形成領域 Cep A や S140 などの観測データを解析し、X線放射が原始星の双 極分子流に相関する可能性を示した[57]。江副らはま た、角分解能に優れたアメリカの Chandra 衛星に、 星形成領域 NGC 6334 の観測時間を獲得した。その 結果、「あすか」で過去に検出された、5つの分子雲 コアからのX線が、それぞれ数十個の点源に分解さ れ、双極分子流の根元に一致したX線源など、多数 の大質量原始星の候補を発見した[67]。

○ 新しいアルゴル型連星の候補

柳田らは、*Chandra* で観測された星形成領域 M78 (NGC 2068)の公開データを解析したところ、最も 明るいX線の点源(光度 10^{31.6} erg s⁻¹)は、B4型の 主系列星 HD38563S に一致することを突き止めた。 X線光度が異常に大きいことから、これはアルゴル 型の連星である可能性が高く、観測された大小一対 のX線フレアは、連星を結ぶ巨大ループで発生した 1つのフレアが、蝕で分断されたものと解釈できる [58] [75]。江副、柳田らは、国立天文台岡山の 1.8 m 望遠鏡を用い、連星周期の探査や前項 NGC 6334 の 観測を試みたが、天候に恵まれずに終わった。

7.2.2 ブラックホール天体の観測的研究

○ 特定領域「ブラックホール天文学の新展開」

2002 年度より牧島が領域代表者となり、5年計画 で科研費特定領域「ブラックホール天文学の新展開」 (www-utheal.phys.s.u-tokyo.ac.jp/tokuteiBH) が立 ち上がった [98]。故・小田稔博士が、はくちょう座 X-1 を世界で最初にブラックホール候補として指摘 したこと (1971) を受け [89]、実験、観測、理論、シ ミュレーションを結集し、ブラックホールに関する 宇宙物理学を大幅に進展させることを目指す。



 \boxtimes 7.2 g: Luminosity-temperature diagram of accretion disks around black holes. Data points refer

to ULXs observed with various satellites [23].

○ ブラックホールへの質量降着

昨年度は久保田(宇宙研 PD)らと協力し、ブラッ クホール周りの降着円盤が降着率の増加につれ、《標 準降着円盤》、《逆コンプトン状態》、そして《アド ベクション優勢円盤》へと進むことを明らかにした。 今年度はこの説を強化し[4]、後述の ULX や狭線 1 型セイファート銀河までを含む統一描像を構築した [10] [22] [27] [54]。図 7.2 g はその鍵である。

○ 超大光度コンパクト X 線源 (ULX)

我々は「あすか」の観測にもとづき、渦巻銀河の腕 に見られる一群の異常に強いX線の点源ULX (Ultra-Luminous Compact X-ray Source) が、~100 M_{\odot} の質量をもつブラックホール連星であるという独創 的な説を提唱し、世界の注目を集めている。杉保ら は *Chardra* や *XMM-Newton* 衛星の大量の公開デー タを解析し、ULX のほぼ半数が、温度がかなり高め の多温度黒体放射スペクトルを示し(図 7.2 g)、残 リ半数は、べき乗型スペクトルを示すこと、また 2 つの型の間を遷移する ULX が稀ではないことを示 した [36] [23] [55] [66] [102]。これは「あすか」の先 駆的な成果を強化するもので、多温度黒体放射型の ULX は前項で述べた《アドベクション優勢円盤》の 状態、べき乗型スペクトルの ULX は《逆コンプトン 状態》にあると解釈できる [10] [22] [35]。

○ 狭線1型セイファート銀河

狭線1型セイファート銀河は、銀河中心の巨大ブ ラックホールの中では、質量が小さく降着率が高い と考えられ、成長途上の巨大ブラックホールの候補 として注目される。その代表の1つ Ton S180 は、 「あすか」で長期にわたり観測された。村島らはその データを解析し、このタイプの天体に特有な軟×線 の超過が、上に述べた逆コンプトン状態に対応する という新しい解釈に到達した [39] [37] [63] [100]。こ れは近年の謎だった狭線1型セイファート銀河の性 質を解明し、質量降着するブラックホールを統一的 に理解する上で、意義が大きい。

7.2.3 星間・銀河間での高エネルギー現象

○ 銀河系と M31 の熱い星間ガス

銀河面に沿って広がる、正体不明のディフューズX 線・ガンマ線放射(銀河リッジ放射)は、《低温($kT \sim$ 0.6 keV)熱的成分》、《高温($kT \sim 3 \text{ keV}$)熱的成 分》、《非熱的成分》の3成分から成る。それと同様 な3成分のディフューズ放射が、銀河系のバルジに も附随する[32]。バルジ領域では超新星は稀なので、 こうした放射の起源を超新星に求めることは難しく、 エネルギー収支も未知である。我々は、星の運動エ ネルギーが磁気乱流などを通じて解放され、プラズ マ加熱と粒子加速に費やされると考える[29]。— 岡 田らは XMM-Newton 衛星の公開データを用い、銀 河バルジに関する国分らの結果[32]を追認した。

高橋(弘)らは昨年に引き続き、「あすか」、*Chandra、XMM-Newton*によるM31(アンドロメダ星雲) 中心部のデータを解析し、3種類(温度0.6 keV、0.3 keV、0.1 keV)の熱的なディフューズX線放射の証拠を強めた[43][59]。0.1 keV は星のコロナの集合体、0.3 keV は局所的な熱い泡、0.6 keV は銀河系で見られる《低温成分》に対応すると考えられる。さらに鉄輝線の探査から、M31にも《高温成分》が存在する徴候を得た。よってディフューズX線・ガンマ線放射は、渦巻き銀河に共通な性質かもしれず、宇宙線の起源との関連に興味がもたれる。

○ 電波銀河ローブからの逆コンプトン X 線

電波銀河のローブには、数 GeV ~ 数百 GeV の電 子が充満し、シンクロトロン電波を放射するととも に、宇宙マイクロ波背景放射を逆コンプトン散乱す ることで、X線を作り出す。この2つの放射を比較 すると、磁場強度が推定できる。我々は埼玉大学や 宇宙開発事業団などと協力して、この逆コンプトン X線の探査で世界をリードして来た。昨年度の電波 銀河 3C 452 に続き [9][41]、今年度は Chandra では Pictor-A から [62]、また XMM-Newton では 3C 98 や [76]、「あすか」で先鞭をつけた Centaurus B か ら [68]、逆コンプトン放射を検出した。これらの結 果は、昨年度に磯部 (NASDA PD) が得た、「ロー ブの相対論的電子のエネルギー密度は、磁気エネル ギー密度を大きく上回る」という結果を強化するも のである [42] [61]。

7.2.4 銀河団の構造と進化

○ 銀河の合体仮説と暗黒銀河群

川原田らは昨年度「あすか」のデータを用い、巨大 楕円銀河 NGC 1550 は、X線を放射する大量の高温 プラズマを擁し、かつ銀河群なみの巨大な暗黒物質 ハローをもつことを発見した [6]。今年度、川原田や 高橋(勲)らは、XMM-Newton に観測時間を獲得し てより詳細に NGC 1550 X線の分光を進めた結果、 プラズマ中の鉄の分布は、NGC 1550 よりはるかに 大きく広がっていることを発見した。よってこの天体 は過去には銀河群だったが、重元素を撒き散らした銀 河が、ハッブル時間かけて銀河群ポテンシャルの中央 に落下し、合体して1個の巨大楕円銀河 NGC 1550 になったことを示唆する [6] [33]。

○ 銀河団プラズマの熱的進化

これまで銀河団プラズマは宇宙年令の間にはX線の放射冷却で冷え、そこに大規模な冷却流(ccoling flow)が発生すると信じられてきた。我々は「あすか」の観測により、この定説の誤りを指摘し、世界の新しい潮流を起こした[28][11][8]。我々は、磁気プラズマ効果による加熱の重要性を追求している[77][29]。

高橋 (勲) らは池辺ら (NASA/GSFC) と協力し、 XMM-Newton 衛星によるケンタウルス銀河団の高 品質データを解析している [31] [44] [64] [69]。「あす か」により存在が示された温度 1.5 keV と 4 keV の 成分のほか、中心の数 kpc には、0.7 keV の成分も 確認された。しかし冷却流が予言するような大量の 低温プラズマが存在しないことは、ほぼ確実である。



 \boxtimes 7.2 h: A typical spectrum of the HXD-II Well detector unit, in response to the 662 keV gamma-rays from ¹³⁷Cs [24]. The three peaks represent 662 keV photo-peaks by GSO, BGO-bottom, and BGO-top, from higher to lower pulse heights.

7.2.5 Astro-E2 衛星に向けた硬 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

2005年の打上げを目指し、宇宙X線衛星 *Astro-E2* 計画が進んでいる (www.astro.isas.ac.jp/astroe/indexj.html)。これは 2000 年 2 月にロケットの不具合のた め打上げ失敗した *Astro-E*の再挑戦機である [15]。搭 載される 4 つの観測装置のうち 1 つが硬 X 線検出器 (HXD-II) で、東大、宇宙研、広島大、埼玉大、理研、 阪大核セ、Stanford 大などの協力により開発・製作 される。HXD-II は 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 [78]。

○ 検出器部 (HXD-S)の製作

HXD-II 装置の検出器部 (HXD-S) は重量 200 kg をもつ。GSO 結晶と BGO 結晶からなる井戸型フォ スイッチ検出器 (Well 検出器) を 16 本、複眼構造で 配置し、主検出器とする。GSO の前面には 2 mm 厚シリコン PIN ダイオードを置き、低エネルギー側 の感度を増強する。Well 検出器の周囲は、20 本の BGO アンチ検出器で堅くシールドする。

今年度は昨年度に引き続き、国分を中心に研究室 ー丸となって、Well 検出器ユニットの製作を進めた [24] [50]。作業は、BGOやGSOの受け入れ試験、結 晶部材どうしの接着、光反射材の塗布・装着、防振 材や補強構造の接着、アラインメント、抜き取り振 動試験、全数の熱サイクル試験、要所ごとの特性測 定などからなる。途中、温度ストレスでBGO 結晶 が破損したため、接着剤を変更する手戻りがあった が、16本のWell 検出器の大部分を製作完了した。図 7.2 h に、その応答の例を示す。

並行してフォトチューブ、ブリーダ、プリアンプの 評価試験、ファインコリメータの準備、ハウジング の強度評価などを行った。古徳は理研で、アンチ検 出器ユニットの製作に参加した [48] [49] [73]。阪大 および理研でのビーム試験については、後述する。

Well および Anti ユニットは明星電気に納入され、 結晶とフォトチューブの光学接着、PIN ダイオード の挿入、プリアンプの配線などが進んでいる。間も なく HXD-S 全体の組み上げが始まる。

○ アナログ電子回路部 (HXD-AE) の開発

HXD-S からの 100 チャンネルを越す信号出力は、 アナログ電子回路部 (HXD-AE) で、わずか 32W の 消費電力を用いて高速に処理される。我々は宇宙研、 広島大、理研、明星電気 (株)、クリアパルス (株) な どと共同し、HXD-AE を開発している。今年度は、 1号機からの性能アップ、回路の要所の試作とシミュ レーション、大信号に対する応答の評価などを行い [24] [50]、フライト用回路の設計を最終的に確定し た。この間に、放射線耐性を十分に考えた FPGA な どの部品選定、重要部品のアイソトープ照射試験な ども行なった。フライト用基板はほぼ製造が完了し、 間もなく組立・配線が行われる。

○ デジタル電子回路部 (HXD-DE) の開発

我々はまた HXD-II のデジタル電子回路部 (HXD-DE) を、埼玉大、理研、宇宙研、三菱重工 (株) など と共同で開発中である。高橋 (弘) らは、田代 (埼玉 大)、寺田 (理研) などと協力し、HXD-DEの搭載ソ フトウェアを整備するとともに [51]、地上ソフトウェ アの開発も進めた。HXD-DE フライト品はすでに製 作され、現在その試験が行われている。

7.2.6 将来に向けての技術開発

○ 加速器ビーム実験

昨年度に続き理研、宇宙研、広島大などと協力し、 3回の加速器ビーム実験を行った。目的は、(1) HXD-II の検出器が宇宙空間で放射化される様子を定量化 すること、(2) 重イオンによる巨大なエネルギーデ ポジットに対する HXD-II の応答を調べること、(3) 宇宙研で高橋らが中心となって開発中のテルル化カ ドミウム (CdTe) 半導体 [18] [12] [13] の、衛星環境 での放射化特性を調べ [47]、この有望なデバイスが 宇宙用に使えることを実証することである。

実験はまず7月30日に阪大核物理センターで行われ、150 MeVの陽子ビームが供試体に照射された。 次いで理研リングサイクロトロンでは9月29日に 135 MeV/nucleonの H_2^+ ビーム、同じく11月24日 に90 MeV/nucleonのFe⁺²⁴ビームが照射された [20]。その結果、(1) については、HXD-II の検出器 の放射化特性はこれまで素材レベルで測定された結 果と矛盾がなく[26][86] [20]、(2) については十分に 速い信号の回復が確認できた [24][85]。(3) について は、村島らは図7.2 i に示すように、昨年の実験デー タと合わせ、陽子の照射でCdTe に生じた約100種 の同位体を同定し、軌道上で予想されるCdTeの放 射化特性をほぼ確立した [17] [34] [26]。



 \boxtimes 7.2 i: The activation spectrum of CdTe irradiated by 150 MeV protons, measured externally by a Germanium detector [26][20].

Swift 衛星 BAT 検出器の開発

Swift 衛星 (http://swift.gsfc.nasa.gov) は、*HETE-*2 衛星 (理研などが運用中、http://hete.riken.go.jp) の後継機として、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する。アメリ カを中心に開発され、2003 年 12 月に打ち上げられる。 バースト監視の主役は BAT (Burst Alert Telescope) で、コ - デッドマスクの下に、4mm 角の CdZnTe 検 出器を 32,768 個も並べ、広視野で硬 X線の撮像を行 う。日本からは、宇宙研、埼玉大、および東大が、少 数精鋭で BAT 装置の開発に参加している。岡田、高橋(弘)は、宇宙研や埼玉大の大学院生とともに、数 カ月交代でアメリカ NASA ゴダード研究所に滞在 し、BAT 検出器の較正データ解析に大きく貢献した [65] [71] [72] [80] [81]。

○ フーリエ合成型の硬 X 線望遠鏡・顕微鏡の開発

我々は理研と協力し、「ようこう」HXT装置で実 証された、「すだれコリメータ」を用いたフーリエ合 成法を改良し、宇宙用の硬X線望遠鏡および医療用 の硬X線顕微鏡を開発している[19][53]。古徳、岡田 らは昨年度に引き続き、理研の寺田や根来と協力し、 3次元イメージングのシミュレーションを通じ原理 を検証し、すだれ素子をタングステンの微細加工で 試作した[70][83]。岡田や宮脇は宇宙研グループと 緊密に協力し、100 μm ピッチの CdTe ストリップ素 子を開発し、その性能評価を行った[16][83][87]。

我々は、これら CdTe ストリップとすだれコリメー タを結合した 50-300 keV レンジの撮像検出器を、Si ストリップや CdTe ピクセルを用いたコンプトン望 遠鏡と組み合わせ [18] [14] [96]、軟ガンマ線検出器 (SGD) として、NeXT 衛星 (2010 の打ち上げ目標) に向け提案している [101]。

○ キャピラリープレートを用いたX線光学系の開発

多数のガラス毛細管を束ねたキャピラリープレートは、その内面でのX線の全反射を用いて、軽く簡便なX線光学系として利用できる。江副は昨年度に引き続き、光線追跡シミュレーションにより、多段キャピラリープレートを利用した全天X線カメラの概念を発展させた[52][90][92][94][97]。

○ 多結晶シンチレータの開発

無機シンチレータは単結晶として製造されるため、 単結晶を育成しにくい物質や、活性化物質のドープ により結晶成長が阻害される物質は、利用が難しかっ た。単結晶が製造できても、寸法とともに価格が急 騰することが多い。こうした問題を解決するため、単 結晶の微粒子を焼結した「多結晶シンチレータ」が 開発されている。笠間、国分、柳田らは、バイコウス キ - ジャパン(株)や神島化学(株)と協力し、いくつ かの多結晶シンチレータの特性を実測した結果、Ce を 0.5 - 0.8 mol% ド - プした YAG (Y₃Al₅O₁₂)の 多結晶は、単結晶と遜色ない優れたシンチレーショ ン特性を示すことを確認した[25] [84]。

<受賞>

 松下恭子(東理大),大橋隆哉(都立大),牧島一夫:日本 天文学会欧文報告論文賞, Publ. Astr. Soc. Japan 52, 658 (2000), "Metal Abandances in the Hot Interstellar Medium in Early Type Galaxies Observed with ASCA"に対し(2003年3月)。

<報文>

(原著論文)

- [2] Osone, S., Makishima, K., Matsuzaki, K., Ishisaki, Y. & Fukazawa, Y.: Search for Hot Gas in the Local Group with ASCA, *Publ. Astr. Soc. Japan* 54, 387 (2002)
- [3] Ezoe, Y., Iyomoto, N., Makishima, K. & Hasinger, G.: Long-Term X-Ray Variability of Quasars in the Lockman Hole Field Observed with ROSAT, *Publ. Astr. Soc. Japan* 54, 981 (2002)
- [4] Kobayashi, Y., Kubota, A., Nakazawa, K., Takahashi, T. & Makishima, K.: Publ. Astr. Soc. Japan 55, 273 (2003)
- [5] Namiki, M., Kawai, N., Kotani, T. & Makishima, K.: Evidence for Jet Collimation in SS 433 with the Chandra HETGS, *Publ. Astr. Soc. Japan* 55, 281 (2003)
- [6] 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, in press (2003)
- [7] Uno, S., Mitsuda, K., Inoue, H., Takahashi, T., Makino, F., Makishima, K., Ishisaki, Y., Kohmura, Y. *et al.*: X-Ray Spectrum of Supernova 1993J Observed with ASCA and Its Evolution 8–572 Days after the Explosion, *Astrophys. J.* 565, 419 (2002)
- [8] Xu, H., Kahn, S., Peterson, J., Behar, E., Paerels, F, Mushotzky, R., Jernigan, J., Brinkman, A. & Makishima, K. Astrophys. J. 579, 600 (2002)
- [9] Isobe, N., Tashiro, M., Makishima, K., Iyomoto, N., Suzuki, M., Murakami, M. M. et al.: A Chandra Detection of Diffuse Hard X-Ray Emission Associated with the Lobes of the Radio Galaxy 3C 452, Astrophys. J. Lett. 580, L111 (2003)
- [10] Kubota, A., Done, C. & Makishima, K.: Another Interpretation of the Power-Law-Type Spectrum of an Ultraluminous Compact X-Ray Source in IC 342, Mon. Not. Roy. Astr. Soc. 337, L11 (2003)
- [11] Tamura, T., Kaastra, J. S., Makishima, K. & Takahashi, I.: High Resolution Soft X-ray Spectroscopy of the Elliptical Galaxy NGC 5044, Astron. Astrophys **399**, 497 (2003)
- Sato, G., Takahashi, T., Sugiho, M., Kouda, M., Mitani, T., Nakazawa, K., Okada, Y. & Watanabe, S.: Characterization of CdTe/CdZnTe detectors, *IEEE Trans. Nuclear Sci.* 49, 1258 (2002)
- [13] Watanabe, S., Takahashi, T., Okada, Y., Sato, G., Kouda, M., Mitani, T. *et al.*: CdTe Stacked Detectors for Gamma-Ray Detection, *IEEE Trans. Nuc. Sci.* 49, 1292 (2002)
- [14] Takahashi, T., Mitani, T., Kobayashi, Y., Kouda, M., Sato, G., Watanabe, S., Nakazawa, K., Okada, Y.*et al.*: High-Resolution Schottky CdTe Diode Detector, *IEEE Trans. Nuc. Sci.* **49**, 1297 (2002)
- [15] Tashiro, M., Makishima, K., Kokubun, M., Ezoe, Y., Isobe, N., Kotoku, J., Matsumoto, Y., Okada,

Y., Sugiho, M., Takahashi, I., Takahashi, H., Tamura, T., Terada, Y. *et al.*: Performance of the ASTRO-E Hard X-Ray Detector, *IEEE Trans. Nuc. Sci.*, **49**, 1893 (2002)

- [16] Okada, Y., Takahashi, T., Sato, G., Watanabe, S., Nakazawa, K., Mori, K. & Makishima, K.: CdTe and CdZnTe Detectors for Timing Measurements, *IEEE Trans. Nuc. Sci.* **49**, 1986 (2002)
- [17] 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.*, **50**, in press (2003)
- [18] 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)
- [19] 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*, in press (2003)
- [20] Okada, Y., Kawaharada, M., Murakami, M., M., Kotoku, J., Kokubun, M., Makishima, K., Hong, S., Mori, M., Terada, Y. *et al.*: Response of the *ASTRO-E2* Hard X-ray Detector for Accelerated Ions, RIKEN Accel. Prog. Rep. **35**, 2002

(Proceedings)

- [21] Terada, Y., Makishima, K., Ishida, M., Fujimoto, R., Matsuzaki, K. & Kaneda, H.: X-Ray Beaming due to Resonance Scattering in the Accretion Column of Polars, in *The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects*, ASP Conf. Ser. **261**, 175 (2002).
- [22] Makishima, K., Murakami, M.M., Sugiho, M., Takahashi, H., Kubota, A. & Kobayashi, Y.: Intermediate Mass Black Holes and their Relation with AGN, in *Active Galactic Nuclei*, ASP Conf. Ser. **290**, 383 (2003).

(学位論文)

- [23] Sugiho, M.: "X-ray Spectral Study of a Large Sample of Luminous Compact X-ray Sources in Nearby Galaxies", 博士論文
- [24] 川原田 円, "Response of the Cosmic Hard X-ray Detector HXD-II under Various Radiation Environments",修士論文
- [25] 笠間太介,「宇宙ガンマ線用多結晶シンチレータの基礎特性」,修士論文
- [26] 村上未生,「宇宙硬X線・ガンマ線検出器の放射化バッ クグラウンド特性」,修士論文(天文学専攻)

<学術講演>

(国際会議)

招待講演

- [27] 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 (July 23-27, Meudon, France)
- [28] Makishima, K.: Thermal Structure of the Gas near the Cluster Center, Japan-Germany WS on Galaxies and Clusters of Galaxies (Oct. 29-31, Shuzenji)
- [29] Makishima, K.: X-ray Astronomy, International Workshop on Extremely High Energy Cosmic Rays (Nov. 5-6, RIKEN)
- [30] Makishima, K.: Measuring Magnetic Fields of Neutron Stars, Tokyo-Adelaide WS on Quarks, Astrophys. & Space Phys. (Jan. 6–8, U. Tokyo)

一般講演

- [31] Takahashi, I.: XMM observation of the Central Region of the Centaurus Cluster, Japan-Germany WS on Galaxies and Clusters of Galaxies (Oct. 29-31, Shuzenji)
- [32] Kokubun, M.: Diffuse X-ray Emission from the Galactic Bulge, *ibid.*
- [33] Kawaharada, M.: The Dark Group Candidate, RXJ 0419+0225, *ibid.*
- [34] Murakami, M.M., Kobayashi, Y., Kokubun, M., Takahashi, I., Okada, Y., Kawaharada, M. et al.: Activation Properties of Schottky CdTe Diodes Irradiated by 150 MeV Protons, *IEEE Nuc. Sci.* Symp. & Med. Imaging Conf. (Nov. 7–19, Norfolk)
- [35] Makishima, K: Four states of Accreting Black Holes, it Black Hole Mini-Workshop with Dr.Chris Done (Sept. 19, ISAS)
- [36] Sugiho, M.: X-ray Spectral Study of ULXs observed by Chandra and Newton, *ibid*.
- [37] Murakami, M.M.: X-ray Spectral Property of a Massive Black Hole at Extremely High Accretion Rate, *ibid.*

(国内会議)

日本物理学会·秋の分科会(9月13~16日,立教大学)

- [38] 山岡和貴,上田佳宏,井上一,久保田あや,牧島一 夫:銀河系内ジェット天体からのX線放射,15aRA5
- [39] 村上未生, 久保田あや, 牧島一夫ほか: 臨界降着率に 近い巨大ブラックホールの観測的研究, 15aRA6
- [40] 牧島一夫,松本縁,古徳純一,吉森正人,須賀一治ほか:太陽フレアにおける粒子加速の現場,15aRA7
- [41] 森正統,磯部直樹,田代信,鈴木雅也,阿部圭一,牧 島一夫,深沢泰司,伊予本直子:宇宙 X 線観測衛星 Chandra による電波銀河 3C452の観測,15aRA8
- [42] 磯部直樹, 牧島一夫, 田代信ほか: 電波銀河のローブ における Energetics のX線による診断, 15aRA9

- [43] 高橋弘充,国分紀秀,牧島一夫:「あすか」,XMM-Newton および Chandra 衛星による M31 中心領域 の観測,15aRA11
- [44] 高橋 勲,池辺 靖,川原田 円,牧島一夫:XMM-Newton 衛星による Centaurus 銀河団の観測, 15aRA12
- [45] 浦田裕次,小杉城治,小宮山裕,小林尚人,吉田篤 正,河合誠之,玉川徹,鳥居研一,関口和寛,小笠原 隆亮,高田唯史,能丸淳一,大山陽一,水本好彦家 正則,青木和光,渡部潤一,山田亨,戸谷友則,本原 顕太郎,牧島一夫:すばる望遠鏡による X-ray rich GRB(=GRB011019)の追観測,15pRA2
- [46] 三原建弘,根来均,小浜光洋,桜井郁也,中島基樹, 牧島一夫,松岡勝ほか:宇宙ステーション搭載「全天 X線監視装置 (MAXI)」の現状,15pRA4
- [47] 国分紀秀,古徳純一,牧島一夫:低高度衛星軌道での 高エネルギー束縛陽子の見積もり,15pRA0
- [48] 川添哲志,深沢泰司,大野雅功,山岡和貴,寺田幸 功,洪秀徴,牧島一夫,国分紀秀,古徳純一,高橋忠 幸:Astro-E2 衛星硬 X 線検出器 (HXD-II) の全天モ ニタ機能の開発(1),15pRA11
- [49] 洪秀徴,山岡和貴,寺田幸功,古徳純一,森正統,田代信,深沢泰司,川添哲史,大野雅功,高橋忠幸,国分紀 秀,牧島一夫:Astro-E2 衛星硬X線検出器(HXD-II)の全天モニタ機能の開発(2),15pRA12
- [50] 川原田 円, 江副祐一郎, 岡田 祐, 笠間太介, 国分紀 秀, 古徳純一, 杉保昌彦, 高橋 勲, 高橋弘充, 牧島 一夫, 宮脇良平, 村上未生, 柳田健之ほか: Astro-E2 衛星硬 X 線検出器 (HXD-II)の WELL 検出部の開 発と性能評価, 15pRA13
- [51] 寺田幸功,田代信,江副祐一郎,高橋 弘充,鈴木雅也, 三谷烈史,国分紀秀,中澤知洋,山岡和貴,高橋忠幸, 牧島一夫:Astro-E2 衛星硬 X 線検出器 (HXD-II) の CPU 処理部の開発と現状,15pRA14
- [52] 江副祐一郎,牧島一夫, A. N. Brunton, G.W. Fraser:
 キャピラリプレート内面反射を用いた X 線集光系の
 開発(3), 16aRA2
- [53] 古徳純一,根来均,牧島一夫:フーリエ合成を用いた 3次元脳内顕微鏡の開発,16aRA13

天文学会・秋の年会(10月6~9日,宮崎シーガイア)

- [54] 久保田あや,牧島一夫,Chris Done:近傍渦巻銀河 IC342 中の強X線源におけるスペクトル状態遷移の 新解釈,N11a
- [55] 杉保昌彦,古徳純一,牧島一夫,久保田あや,水野恒 史:Chandra 衛星による近傍渦巻銀河中の大光度 X 線源の観測,N12a
- [56] 寺田幸功,牧島一夫,石田学:強磁場激変星の降着円 筒における共鳴線の異方的伝搬,N16a
- [57] 江副祐一郎, 松崎恵一, 関本裕太郎, 国分紀秀, 牧島 一夫:「あすか」衛星による大質量星形成領域 Cepheus A と S140の観測, P21b
- [58] 柳田健之、江副祐一郎、国分紀秀、牧島一夫: Chandra 衛星による NGC 2068 の観測、P50a

- [59] 高橋弘充,国分紀秀,牧島一夫:XMM-Newton お よび Chandra 衛星による M31 の観測(2), R48a
- [60] 宮脇良平,杉保昌彦,牧島一夫:近傍の矮小不規則銀河 NGC4449の Chandra 衛星による X 線観測, R49a
- [61] 磯部直樹,牧島一夫,村上未生,田代信,鈴木雅也ほか:電波銀河のローブにおける Energetics の逆コンプトン X 線による診断, S02a
- [62] 阿部圭一,磯部直樹,田代信,鈴木雅也,森正統,牧 島一夫,村上未生ほか:電波銀河 Pictor A のローブ からの逆コンプトン X 線の検出, S01a
- [63] 村上未生,久保田あや,牧島一夫,洪秀徴,根来均:
 1型狭輝線セイファート銀河 Ton S180 の「あすか」
 による長期観測,S15a
- [64] 高橋 勲,池辺 靖,川原田 円,牧島 一夫:XMM-Newton 衛星による Centaurus 銀河団の観測, T06a
- [65] 岡田祐, 佐藤 悟郎, 渡辺伸, 高橋忠幸, 田代信, 鈴 木雅也, 古宇田学, 杉保昌彦, 牧島 一夫ほか: ガン マ線バースト観測衛星「Swift」搭載 BAT 検出器の 地上キャリブレーションの現状, W30a

日本天文学会・春の年会(3月24~26日,東北大学)

- [66] 牧島一夫, 杉保昌彦, 久保田あや, 水野恒史: Chandra および XMM-Newton による近傍銀河の大光度 X 線 天体の観測, N44a
- [67] 江副祐一郎,松崎恵一,関本裕太郎,国分紀秀,牧島 一夫:Chandra 衛星による大質量星形成領域 NGC 6334 の観測, P21a
- [68] 田代信, 鈴木雅也, 阿部圭一, 森正統, 磯部直樹, 牧 島一夫, 深沢泰司: 電波銀河 Centaurus B からの X 線放射とエネルギー輸送, S08a
- [69] 高橋 勲,池辺 靖,田村隆幸,川原田 円,牧島 一夫: XMM-Newton 衛星による Centaurus 銀河団の観測 II, T12a
- [70] 岡田祐,宮脇良平,古徳純一,国分紀秀,牧島一夫 ほか:一次元半導体検出器とフーリエ光学系を用いた 高空間分解能ガンマ線イメージャーの開発,W17b
- [71] 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–Burst Alert Telescope-,W18a
- [72] 鈴木雅也,田代信,高橋忠幸,中澤知洋,渡辺伸,佐 藤悟朗,古宇田学,牧島一夫,国分紀秀,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 検出器の較正実験の評価,W19a
- [73] 川添哲志,深沢泰司,大野雅功,村上未生,国分紀 秀,洪 秀徴,山岡和貴,高橋忠幸,牧島一夫ほか: Astro-E2 衛星搭載硬 X 線検出器 (HXD-II) の全天モ 二夕機能の開発,W43a

物理学会・春の年会(3月28~31日,東北学院大学)

- [74] 寺田幸功,牧島一夫:強磁場の白色矮星における粒子 加速,28aSJ7
- [75] 柳田健之,江副裕一郎,牧島一夫:M78のChandra 衛星による観測,28aSL2

- [76] XMM-Newton 衛星による電波銀河 3C 98 の観測: 磯部直樹,牧島一夫,村上未生,田代信,鈴木雅也, 阿部圭一,森正統,伊予本直子,金田英宏,28aSL9
- [77] 高橋 勲,川原田 円,牧島一夫,深沢泰司,中澤知洋: 銀河団プラズマ粒子の新しい加熱・加速機構,28aSL10
- [78] 牧島一夫,国分紀秀,高橋忠幸A,中澤知洋,深沢 泰司,田代信,山岡和貴,寺田幸功,村上敏夫ほか: Astro-E2 衛星で狙う硬X線物理学,28pSL2
- [79] 井上北斗,高橋忠幸,中澤知洋,三谷烈史,田中孝明, 牧島一夫,国分紀秀,川原田円,深沢泰司ほか:ア ナログ処理回路の改良によるAstroE2 衛星搭載シリ コン PIN 検出器の性能向上,28pSL3
- [80] 高橋弘充,岡田祐,国分紀秀,牧島一夫,佐藤悟朗, 渡辺伸,中澤知洋,高橋忠幸,鈴木雅也,田代信,S. Barthelmy ほか:ガンマ線バースト観測衛星 Swift 搭 載 BAT 検出器の較正実験の評価(1),28pSL8
- [81] 鈴木雅也,田代信,佐藤悟朗,渡辺伸,中澤知洋,高 橋忠幸,岡田祐,高橋弘充,国分紀秀,牧島一夫,S. Barthelmy ほか:ガンマ線バースト観測衛星 Swift 搭 載 BAT 検出器の較正実験の評価(2),28pSL9
- [82] 玉川徹,牧島一夫,宮坂浩正,桜井郁也ほか: CMOS イメージセンサーとガス電子増幅フォイルを用いた 宇宙 X 線偏光計の開発研究,29aSL2
- [83] 岡田祐,宮脇良平,古徳純一,国分紀秀,牧島一夫ほか:CdTeストリップ検出器とフーリエ光学系による 宇宙硬X線イメージャーの開発,29aSL4
- [84] 笠間太介,国分紀秀,柳田健之,牧島一夫,柳谷高 公,八木秀喜,繁田岳志,伊東孝之:多結晶シンチ レータの特性評価,29pSC2
- [85] 川原田 円,国分紀秀,牧島一夫,洪秀 徴,寺田幸功, 宮坂浩正ほか:Astro-E2 衛星搭載 HXD-II 検出器の 宇宙線粒子に対する応答,29pSC3
- [86] 村上未生,川添哲志,川原田円,洪秀徴,小林謙仁, 三谷烈史,井上北斗,大野雅功,森正統,岡田祐,古 徳純一,寺田幸功,国分紀秀,ほか:陽子ビームを用 いた Astro-E2 衛星硬 X 線検出器 (HXD-II)の放射 化バックグラウンドの評価,29pSC4
- [87] 宮脇良平,岡田祐,国分紀秀,牧島一夫,中澤知洋, 高橋忠幸:テルル化カドミウム半導体による1次元 ストリップ検出器の特性評価,29pSP4
- [88] 古徳純一,牧島一夫,松本縁,小杉健郎ほか:太陽フ レアに伴う加速粒子スペクトルの推定,31pSK2

その他

- [89] 牧島一夫:小田先生とブラックホール,小田先生を偲 ぶ会(6月27日,一橋講堂)
- [90] 江副祐一郎: キャピラリープレートを用いた次世代X 線光学系の開発,宇宙開発事業団 談話会 (7月18日)。
- [91] 牧島一夫: ブラックホールの最新像, 電力館科学ゼミ ナール(渋谷電力館, 9月21日)
- [92] 江副祐一郎:キャピラリープレートを用いた次世代X 線光学系の開発,理化学研究所談話会(10月3日)。
- [93] 牧島一夫: ジャコーニとX線天文学, ノーベル賞記念 緊急討論会 (北の丸・科学技術館,10月12日)

- [94] 江副祐一郎:キャピラリープレートを用いた次世代X 線光学系の開発と応用,大阪大学宇宙地球科学談話 会(11月20日)。
- [95] 古徳純一,松本縁,牧島一夫,小杉健郎,吉森正人: 「ようこう」衛星ガンマ線スペクトル計GRSと硬X 線望遠鏡HXTを用いた,太陽フレアに伴う粒子加速 の検証,高宇連/理研シンポジウム「宇宙における電 子と陽子の加速」(11月25~26日,理研)
- [96] 高橋忠幸,中澤知洋(宇宙研),釜江常好,田島宏泰, 能町正治,深沢泰司,国分紀秀:100kg衛星と次世代 検出器を用いて行う新しいガンマ線天文学,宇宙科 学シンポジウム(1月9~10日,宇宙研)
- [97] 江副祐一郎,牧島一夫,三原建弘,常深博,松岡勝; キャピラリープレートを用いた広視野かつ軽量X線 光学系の開発,同上(ポスター)。
- [98] 牧島一夫:高感度の硬 X 線観測で探るブラックホー ルへの物質流入,科研費・基研研究会「ブラックホー ル天文学の新展開」(2月17~19日,京大基研)
- [99] 宮脇良平: Chandra 衛星による近傍の不規則銀河 NGC4449 中の大光度 X 線源の観測,同上。
- [100] 村上未生: 降着率が高い大質量ブラックホール, Narrow-Line Seyfert 1, 同上。
- [101] 牧島一夫および NeXT SGD チーム: NeXT 衛星搭 載用ソフトガンマ線検出器 (SGD), 宇宙放射線シン ポジウム (3月 18~19日, 宇宙研)
- [102] 杉保昌彦: "X-ray Spectral Study of a Large Sample of Luminous Compact X-ray Sources in Nearby Galaxies", 高宇連 D 論発表会 (3 月 20 日, 宇宙研)

Π

2002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

- 牧島 一夫(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)
- T. ブハート(外国人客員教授)
- 郡 和範(機関研究員)
- 吉川 耕司(機関研究員)
- Deng Jinsong (教務補佐員)
- 永野 早百合(時間雇用職員)
- 山上 京実(時間雇用職員)
- 吉野 泰子(時間雇用職員)

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	牧島一夫	国分 紀秀
探査,衛星によるX線・		佐貫 智行
γ 線観測		

(1) 学振外国人招聘受託研究員も含む.

2 プレプリント・リスト

- RESCEU-1/02 Uniqueness and Non-Uniqueness of static vacuum black holes in higher dimensions Gary W. Gibbons, Daisuke Ida and Tetsuya Shiromizu
- RESCEU-2/02 Slicing and Brane Dependence of the (A)dS/CFT Correspondence Amir Masoud Ghezelbash, Daisuke Ida, Robert B. Mann and Tetsuya Shiromizu
- 3. RESCEU-3/02
 - 3-body processes interesting for supersymmetric searches: predictions, challenges and prospectives F. Borzumati and F. Takayama
- RESCEU-4/02 GRB Neutrino Background and Star Formation History in the Universe S. Nagataki, K. Kohri, S. Ando and K. Sato
- 5. RESCEU-5/02

Gravothermal Catastrophe and Tsallis' Generalized Entropy of Self-Gravitating Systems II. Thermodynamic Properties of Stellar Polytrope A. Taruya and M. Sakagami Physica A (2003) in press

- RESCEU-6/02 Constraining the variation of the coupling constants with big bang nucleosynthesis K. Ichikawa, M. Kawasaki
- RESCEU-7/02 Detectability of the Supernova Relic Neutrinos and Neutrino Oscillation S. Ando, K. Sato, and T. Totani Astropart. Phys. 18 (2003) 307
- RESCEU-8/02 Constraints on the Star Formation Rate from Supernova Relic Neutrino Observations M. Fukugita, M. Kawasaki
- RESCEU-9/02 Microscopic Study of Nuclear "Pasta": Quantum Molecular Dynamics Approach Gentaro Watanabe, Katsuhiko Sato, Kenji Yasuoka, Toshikazu Ebusuzaki
- 10. RESCEU-10/02 Large lepton asymmetry from Q-balls
 M. Kawasaki, Fuminobu Takahashi, and Masahide Yamaguchi Physical Review D 66, 043516 (2002); hep-ph/0205101
- 11. RESCEU-11/02 Lagrangian evolution of global strings Masahide Yamaguchi and Jun'ichi Yokoyama
- RESCEU-12/02 Non-Gaussian Tails of Cosmological Density Distribution Function from Dark Halo Approach A.Taruya, T.Hamana and I.Kayo MNRAS (2003) in press

- 13. RESCEU-13/02 Gravitational Lensing Magnification and Time Delay Statistics for Distant Supernovae Masamune Oguri, Yasushi Suto and Edwin L. Turner 14. RESCEU-14/02 S. Kasuya, M. Kawasaki and Fuminobu Takahashi Phys.Lett. B559 (2003) 99-106; hep-ph/0209358 15. RESCEU-15/02 Upper limit on the mass of RX J1856.5–3754 as a possible quark star Kazunori Kohri, Kei Iida, and Katsuhiko Sato 16. RESCEU-16/02 Stabilizing dilaton and baryogenesis A.D. Dolgov, K. Kohri, O. Seto, and J. Yokoyama
- 17. RESCEU-17/02

I-balls

Gravothermal Catastrophe and Tsallis' Generalized Entropy of Self-Gravitating Systems III. equilibrium structure using normalized q-values Atsushi Taruya and Masa-aki Sakagami Physica A (2003) in press

18. RESCEU-18/02

Evolution of Cosmological Density Distribution Function from the Local Collapse Model Yasuhiro Ohta, Issha Kayo and Atsushi Taruya Astrophysical Journal, 589, 1, 2003

19. RESCEU-19/02

Three-generation study of neutrino spin-flavor conversion in supernova and implication for neutrino magnetic moment Shin'ichiro Ando and Katsuhiko Sato Phys. Rev. D 67 (2003) 023004

20. RESCEU-20/02

The site for r-process nucleosynthesis Tsujimoto, Takuji; Shigeyama, Toshikazu; Yuzuru, Yoshii Astrophysics and Space Science, v. 281, Issue 1, p. 221-222

21. RESCEU-21/02

Chemical Evolution of Odd Elements in an Inhomogeneous Early Galaxy Tsujimoto, Takuji; Shigeyama, Toshikazu; Yuzuru, Yoshii The Astrophysical Journal, Volume 565, Issue 2, pp. 1011-1016.

22. RESCEU-22/02

History of Milky Way Dwarf Spheroidal Galaxies Imprinted on Abundance Patterns of Neutron-Capture Elements Tsujimoto, Takuji; Shigeyama, Toshikazu The Astrophysical Journal, Volume 571, Issue 2, pp. L93-L97.

23. RESCEU-23/02

A Photometric and Spectroscopic Study of Dwarf and Giant Galaxies in the Coma Cluster - I. Widearea Photometric Survey: Observation and Data Analysis Komiyama, Y., Sekiguchi, M., Kashikawa, N., Yagi, M., Doi, M., Iye, M., Okamura, S., Shimasaku, K., Yasuda, N., Mobasher, B., Carter, D., Bridges, T.J., and Poggianti, B.M. Ap. J. Suppl., 138, 265-278.

24. RESCEU-24/02

A Photometric and Spectroscopic Study of Dwarf and Giant Galaxies in the Coma Cluster - V. Dependence of the Spectroscopic Properties on Location in the Cluster Carter, D., Mobasher, B., Bridges, T.J., Poggianti, B., Komiyama, Y., Kashikawa, N., Doi, M., Iye, M., Okamura, S., Sekiguchi, M., Shimasaku, K., Yagi, M., and Yasuda, N. Ap. J., 567, 772-780.

25. RESCEU-25/02

Luminosity Functions of 10 Nearby Clusters of Galaxies. I. The Data Yagi, M., Kashikawa, Sekiguchi, M., Doi, M., Yasuda, N., Shimasaku, K., and Okamura, S A. J., 123, No.1, 66-86.

26. RESCEU-26/02

Luminosity Functions of 10 Nearby Clusters of Galaxies. II. Analysis of the Luminosity Function Yagi, M., Kashikawa, Sekiguchi, M., Doi, M., Yasuda, N., Shimasaku, K., and Okamura, S A. J., 123, No.1, 87-99.

27. RESCEU-27/02

Discovery of Extremely Extended Ionized Gas around the Seyfert 2 Galaxy NGC 4388 Yoshida, M., Yagi, M., Okamura, M., Aoki, K., Ohyama, Y., Komiyama, Y., Yasuda, N., Iye, M., Kashikawa, N., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Kimura, M., Miyazaki, M., Miyazaki, S., Nakata, F., Ouchi, M., Sekiguchi, M., Shimasaku, and Ohtani, H Ap. J., 567, 118-129.

28. RESCEU-28/02

Sloan Digital Sky Survey: Early Data Release Stoughton, C. et al. (the SDSS Collaboration: 192 authors including S.Okamura) A. J., 123, No.1, 485-548.

29. RESCEU-29/02

Composite Luminosity Functions of the Sloan Digital Sky Survey Cut & Enhance Galaxy Cluster Catalog Goto, T., Okamura, S. and Brinkmann, J. Publ. Astr. Soc. Japan, 54, 515-525 (No. 4).

30. RESCEU-30/02

Unusual Broad Absorption Line Quasars from the Sloan Digital Sky Survey Hall, P. et al. (the SDSS Collaboration; 53 authors including S.Okamura) Ap.J.Suppl., 141, 267-309.

31. RESCEU-31/02

Spectroscopic Target Selection in the Sloan Digital Sky Survey: The Main Galaxy Sample Strauss, M. et al. (the SDSS Collaboration; 36 authors including S.Okamura) A.J., 124, 1810-1824.

32. RESCEU-32/02

A New High-Redshift Ly α Emmitter: Possible Superwind Galaxy at z=5.69

Ajiki, M., Taniguchi, Y., Murayama, T., Nagao, T., Villeux, S., Shioya, Y., Fujita, S., Kakazu, Y., Komiyama, Y., Okamura, S., Sanders, D., Oyabu, S., Kawara, K., Ohyama, Y., Iye, M., Kashikawa, N., Yoshida, M., Sasaki, T., Kosugi, G., Aoki, K., Takata, T., Saito, Y., Kawabata, K., Sekiguchi, K., Okita, K., Shimizu, Y., Inata, M., Ebizukka, N., Ozawa, T., Yadoumaru, Y., Taguchi, H., Ando, H., Nishimura, T., Hayashi, M., Ogasawara, R., and Ichikawa, S. Ap.J.(Letters), 576, L25-L28.

33. RESCEU-33/02

Witnessing the Hierarchical Assembly of the Brightest Cluster Galaxy in a Cluster at z=1.26 Yamada, T., Koyama, Y., Nakata, F., Kajisawa, M., Tanaka, I, Kodama, T., Okamura, S., and de Propris, R.

Ap.J. (Letters), 577, L89-L92.

34. RESCEU-34/02

Searching for Dark Matter Halos in the Suprime-Cam 2 Sq Deg Field Miyazaki, S., Hamana, T., 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. Ap.J. (Letters), 580, L97-L100.

35. RESCEU-35/02

Isolated Star Formation: A Compact HII Region in the Virgo Cluster Gerhard, O., Arnaboldi, M., Freeman, K.C., and Okamura, S Ap.J. (Letters), 580, L121-L124.

36. RESCEU-36/02

Candidates for Intracluster Planetary Nebulae in the Virgo Cluster based on the Suprime-Cam Narrow-Band Imaging in O[III] and H α

Okamura, S., Yasuda, N., Arnaboldi, M., Freeman, K.C., Ando, H., Doi, M., Furusawa, H., Gerhard, O., Hamabe, M., Kimura, M., Kajino, T., Komiyama, Y., Miyazaki, S., Nakata, F., Napolitano, N.R., Ouchi, M., Pannella, M., Sekuguchi, M., Shimasaku, K., Yagi, M. Publ. Astr. Soc. Japan, 54, 883-889.

37. RESCEU-37/02

Subaru Prime Focus Camera – Suprime-Cam –

Miyazaki, S., Komiyama, Y., Sekiguchi, M., Okamura, S., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Imi, K., Kimura, M., Nakata, F., Okada, N., Ouchi, M., Shimasaku, K., Yagi, M., Yasuda, N. Publ. Astr. Soc. Japan, 54, 833-853.

38. RESCEU-38/02

SDSSp J104433.04-012502.2 at z=5.74 is Gravitationally Magnified by an Intervening Galaxy Shioya, Y., Taniguchi, Y., Murayama, T., Ajiki, M., Nagao, T., Fujita, S.S., Kakazu, Y., Komiyama, Y., Okamura, S., Oyabu, S., Kawara, K., Ohyama, Y., Kawabata, K.S., Ando, H., Nishimura, T., Hayashi, M., Ogasawara, R., Ichikawa, S. Publ. Astr. Soc. Japan, 54, 975-979.

39. RESCEU-39/02

Photometric Properties of Galaxies at $z_{\circ} \neq 4.5$ in the Subaru Deep Field Shimasaku, K., Ouchi, M., Okamura, S., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, M., Miyazaki, S., Nakata, F., Sekiguchi, M., Yagi, M., and Yasuda, N. New Trends in Theoretical and Observational Cosmology,eds. K.Sato and T.Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 185-192.

40. RESCEU-40/02

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

Ouchi, M., Shimasaku, K., Okamura, S., Doi, M., Furusawa, H, Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, M., Miyazaki, S., Nakata, F., Sekiguchi, M., Yagi, M., Yasuda, N. anf Subaru NB Collaboration

New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, eds. K.Sato and T.Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 193-196.

41. RESCEU-41/02

Is the Luminosity Function of Galaxies Universal?

Okamura, S., Yagi, M., Kashikawa, N., Sekiguchi, M., Doi, M., Shimasaku, K., and Yasuda, N. New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, eds. K.Sato and T.Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 229-234.

42. RESCEU-42/02

Environmental Variation of Photometric Properties of Galaxies along the Large Scale Structure around a z=0.4 Cluster Kodama, T., Smail, I., Nakata, F., Okamura, S., and Bower, R.G.

New Trends in Theoretical and Observational Cosmology, eds. K.Sato and T.Shiromizu (Tokyo: Universal Academy Press), 257-260.

43. RESCEU-43/02

Suprime-Cam: Subaru Prime Focus Camera Komiyama, Y., Miyazaki, S., Yagi, M., Yasuda, N., Okamura, S., Sekiguchi, M., Doi, M., Shimasaku, K., Nakata, F., Furusawa, H., Kimura, M., Ouchi, M., Hamabe, M., and Nakaya, H. Proc. SPIE, in press (Aug. 2002; Kona)

44. RESCEU-44/02

History of Mass Assembly and Star Formation in Clusters Kodama, T., Smail, I., Nakata, F., Okamura, S., and Bower, R. Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters, ASP Conf. Ser., 268, 297.

45. RESCEU-45/02

Galaxy Population in the Cluster of Galaxies around the Radio Galaxy 3C324 at z = 1.2

Nakata, F., Kajisawa, M., Yamada, T., Kodama, T., Shimasaku, K., Tanaka, I., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Iye, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, S., Okamura, S., Ouchi, M., Sasaki, T., Sekigushi, M., Yagi, M., and Yasuda, N.

Tracing Cosmic Evolution with Galaxy Clusters, ASP Conf. Ser., 268, 419.

46. RESCEU-46/02

Deep Imaging Surveys with Suprime-Cam on Subaru Telescope Okamura, S., on behalf of the Suprime-Cam Team and the Subaru Team Proc. 8th Asian Pacific Regional Meeting of the IAU, eds. S.Ikeuchi et al. (Astron. Soc. Japan), pp.25-26.

47. RESCEU-47/02

Are IRAS Point Source, IPS, with $0.4 < m_{12}-m_{25} < 1.4$ in the Galactic Bulge Luminous Late M Stars?

Raharto, M., Okamura, S., and Hamabe, M. Proc. 8th Asian Pacific Regional Meeting of the IAU, eds. S.Ikeuchi et al. (Astron. Soc. Japan), pp.201-202.

48. RESCEU-48/02

Environmental Dependence of the Galaxy Population in the Lynx Supercluster Region at z~1.27 Nakata, F., Kodama, T., Shimasaku, K., Doi, M., Furusawa, H., Hamabe, M., Kimura, M., Komiyama, Y., Miyazaki, S., Okamura, S., and 4 coauthors Proc. 8th Asian Pacific Regional Meeting of the IAU, eds. S. Ikeuchi, J. Hearnshaw, and T. Hanawa, (Astron. Soc. Japan), pp. 283-284

49. RESCEU-49/02

SDSSp J104433.04-012502.2 at z=5.74 is Gravitationally Magnified by an Intervening Galaxy Murayama, T., Shioya, Y., Taniguchi, Y., Ajiki, M., Nagao, T., Fujita, S. S., Kakazu, Y., Komiyama, Y., Okamura, S., Oyabu, S., and 8 coauthors Proc. 8th Asian Pacific Regional Meeting of the IAU, eds. S. Ikeuchi, J. Hearnshaw, and T. Hanawa, (Astron. Soc. Japan), pp. 481-482

50. RESCEU-50/02

Features of Neutrino Signals from Collapsars Shigehiro Nagataki and Kazunori Kohri Progress of Theoretical Physics 108 (2002) 789

51. RESCEU-51/02

Gamma-ray Burst Neutrino Background and Star Formation History in the Universe S. Nagataki, K. Kohri, S. Ando, K. Sato Astroparticle Physics 18 (2003) 551