

領域略称名：  
領域番号： 468

平成 23 年度科学研究費補助金  
「特定領域研究」に係る研究成果等の報告書

「ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙」

(領域設定期間)  
平成 19 年～平成 22 年

平成 23 年 6 月

領域代表者 東京工業大学・理工学研究科・教授・河合誠之

## ② 目次

3. 研究領域の目的と概要	3
4. 研究領域の設定目的の達成度	4
5. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況	5
6. 主な研究成果	6
7. 研究成果の取りまとめ状況	12
8. 研究成果公表の状況	13
9. 研究組織と各研究項目の連携状況	28
10. 研究費の使用状況	31
11. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	32
12. 研究計画に参画した若手研究者の状況	33
13. 総括班評価者による評価の状況	34

### 3. 研究領域の目的と概要

研究領域名： ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙

研究期間： 平成19年度～平成22年度

領域代表者所属・職・氏名： 東京工業大学理工学研究科・教授・河合誠之

補助金交付額： 平成19年度 34,200,000円  
平成20年度 60,600,000円  
平成21年度 58,600,000円  
平成22年度 50,500,000円

#### 研究目的

ビッグバンによって生じた一様な「混沌」から銀河や星が初めて生まれる現場である太古の宇宙を、ガンマ線バースト(GRB)という宇宙で最も明るい光源を用いて解明するのが本研究領域の目的である。そのため、GRBの発生を検出して位置を決定する人工衛星からX線・ $\gamma$ 線観測を行なう計画研究班A01と、その位置に望遠鏡を向けて地上から可視近赤外観測を行なう計画研究班A02、その観測量を解釈して物理過程を抽出し宇宙の歴史に位置づける理論研究班A03の3つの研究を置き、緊密に連携して研究を推進する。さらに総括班を置くほか、公募研究を実施し、次の課題に取り組んだ。

#### 問題設定：星と銀河のはじまり、元素の起源

マイクロ波宇宙背景放射で観測される誕生後38万年のほぼ一様な宇宙から、137億年後の今日存在する銀河や星がいつ形成され、どのように進化してきたのか？ 水素とヘリウム以外の宇宙の始まりには存在しない元素が宇宙で初めて造られたのは、いつだったのか？ 生き物と地球を構成する元素を作り、生命を育んだ星はいつ生まれたのか。現代の天文学の発展によって、人類はこの究極の問いにあと一歩で答を得られるところまで迫っている。ガンマ線バーストという新しい手段を用いてその最終局面の突破口を開くのがこの研究領域の目標である。

#### ガンマ線バーストで星形成と元素合成の歴史を調べる

宇宙で最初に輝き始めた星を個別に観測できる可能性をもつ唯一の天体現象がガンマ線バースト(GRB)である。GRBは大質量の星がその一生の最期に起こす大爆発であり、数十秒間の爆発的な $\gamma$ 線と、そのあと急速に減衰するX線から可視光・赤外線にわたる残光を放射する。GRBはたった一つの星の爆発でありながら、その明るさゆえに遠方のものが観測可能である。初代の星は太陽の数十倍を越える大質量で生まれたと考えられており、百万年程度の短期間に燃え尽きてGRBを起こすと期待される。その後の世代の大質量星もすぐに燃え尽きてGRBを発生するのでGRBの頻度は星の形成率の指標となる。また、GRBは遠方宇宙の光源としてその周辺を照らし出す。GRBの残光の分光観測によって、他の方法では例のない古い時代の重元素の組成比の計測が可能である。

#### 衛星観測と地上観測の即時連携を進める

このような優位性をもちながら、GRBによる遠方宇宙の観測は最近まで実現しなかった。GRBの本体の爆発的 $\gamma$ 線放射は全天を圧倒する強度であるため、人工衛星に搭載した $\gamma$ 線検出器で容易に検出できるが、 $\gamma$ 線の到来方向を正確に決定するのは難しい。一方、可視光の残光は正確な位置がわからなければ、近傍の恒星や銀河に紛れて見つけるのは難しいし、時間がたつと急速に減光してしまう。従って、人工衛星側に爆発的 $\gamma$ 線放射の検出・即時到来方向決定と地上への速報、地上では速報受信後直ちに可視光残光の追跡観測を行なう体制が必要とされる。本領域では、まず現在のSwiftによる位置速報を最大に活用するべく地上の観測体制と装置を整備し、研究期間内に遠方のGRBの観測と、それを解釈する理論の研究を進め、「太古の宇宙」の解読という課題に取り組む。それと並行し、Swift後のGRB観測が途切れないように人工衛星搭載用装置の開発を進める。

## 4. 研究領域の設定目的の達成度

前項に記述した課題を達成するために、各計画研究について、代表研究者による研究達成度の評価、および、その根拠となる具体的な研究項目ごとの成果を以下に示す。

**計画研究A01「爆発的X線・ $\gamma$ 線から探るガンマ線バーストの起源と環境」:** 達成度 90%

- (ア) **ガンマ線バーストの検出と位置座標の決定用検出器の開発:**  $\gamma$ 線衛星GLAST(打ち上げ後Fermiに改名)、X線全天監視装置MAXIの開発と観測運用を研究期間中に実現し、それぞれGRBの観測に成果を上げた。また、小型の衛星搭載用GRB位置決定装置としてAPDを用いたガンマ線検出器を開発し、搭載品に近いエンジニアリングモデルを製作した。
- (イ) **広帯域のスペクトルと輻射強度、時間変動の計測:** GRB本体の爆発的放射の固有の性質を明らかにするために、「すざく」、GLAST、MAXIなど多くのX線・ $\gamma$ 線衛星によるGRB観測を進め、スペクトルや時間変動、そしてその関連を明らかにした。小型で高性能な広帯域X線・ $\gamma$ 線分光器を開発した。これは、宇宙ステーション搭載CALLET実験に搭載することとなった。
- (ウ) **高分散X線スペクトルの観測による赤方偏移と発生源環境の計測:** X線残光スペクトルの高分散観測を目指した。すざくなど現行の衛星による観測からは決定的な観測が得られなかった一方、将来の衛星のためのX線マイクロカロリメータ基盤技術の開発は順調に進み、この研究で得られた知見をASTRO-H衛星に活かすことができた他、将来ミッションの概念研究を行った。

**計画研究A02「ガンマ線バーストの光学・近赤外残光から読み解く太古の宇宙」:** 達成度 90%

- (ア) **即時可視近赤外中小望遠鏡群の構築:** 高赤方偏移GRB残光を迅速に捉えるために、石垣島1m、岡山91cm望遠鏡と宇宙研91cm望遠鏡の撮像装置の増強を実施し、ほぼ完成し、以前から稼働している2台の50cm望遠鏡とともに、GRB追跡観測を実施した。
- (イ) **すばる望遠鏡撮像分光装置の増強:** 微光天体撮像分光装置(FOCAS)を波長 $1\mu\text{m}$ までの長波長領域に感度をもつ新CCDを導入と、近赤外領域に感度をもつ近赤外線多天体撮像分光観測装置(MOIRCS)用にKバンドでの中分散素子の開発・製作を実施し、実観測に供した。
- (ウ) **GRB残光による遠方宇宙の観測:** 岡山での当時最高の赤方偏移8.2のGRBの撮像の成功、ダークGRBの「すばる望遠鏡」による観測で、重元素の多い母銀河でもGRBが発生しうる、などの観測成果を上げた。

**計画研究A03「ガンマ線バーストの起源の理論的研究」:** 達成度 100%

- (ア) **GRBの起源の理論:** ①GRBの距離指標の研究、②GRBの親星・母銀河の研究、③GRBと超新星爆発の研究、④ジェットの発生と伝搬の研究、⑤GRBと残光の放射機構の5課題について、TV会議等を駆使して常時緊密に連絡を取りつつ研究を進め、各課題の解明に大きな成果を得た。

## 5. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況

### 計画研究A01「爆発的X線・ $\gamma$ 線から探るガンマ線バーストの起源と環境」

- 2007年に予定されていたガンマ線天文衛星 GLAST の NASA による打上げが 2008 年 6 月に延期されたが、打ち上げ後の観測運用は極めて順調であり、遅れを十分補う期待を上回る成果が得られた。
- 全天X線監視装置の打ち上げが、NASAのスペースシャトル打上スケジュールの変更のため半年程度遅れて2009年8月からの運用開始となった。また、MAXIは、予想よりも軌道上のバックグラウンドが高く、軌道上の運用を制限する必要が生じた。しかし、検出されたガンマ線バーストの数はほぼ予想どおりであり、期待通りの成果を得られた。
- 平成 20 年度に購入予定であった APD 専用信号波形処理 LSI が製造元での設計作業の遅れのため、700 万円を繰り越して平成 21 年度初頭に購入したが、評価は研究期間内に完了した。
- 平成 21 年度に購入予定であったシンチレータ結晶と APD 素子が製造上の問題で納入が次年度に繰り越されたが、評価は研究期間内に完了した。
- 本科研費にて雇用していた研究員が平成 22 年度に、他大学の常勤職に転出し連携研究者となったが、本研究に専念できなくなり研究に遅れが生じた。そのため、最終年度の予算の一部を平成 23 年度に繰り越して、研究のとりまとめを行っている。

### 計画研究A02「ガンマ線バーストの光学・近赤外残光から読み解く太古の宇宙」

- 2008 年の岩手・宮城内陸地震による業者の手配の関係で宇宙研 1.3m 赤外線望遠鏡の整備に遅れが生じたが、研究期間内に完成し、観測を開始することができた。
- 岡山 91cm 近赤外望遠鏡は、最終年度の試験観測の結果、光学再調整が必要になった。そのため、最終年度の予算の一部を平成 23 年度に繰り越して観測を行う。

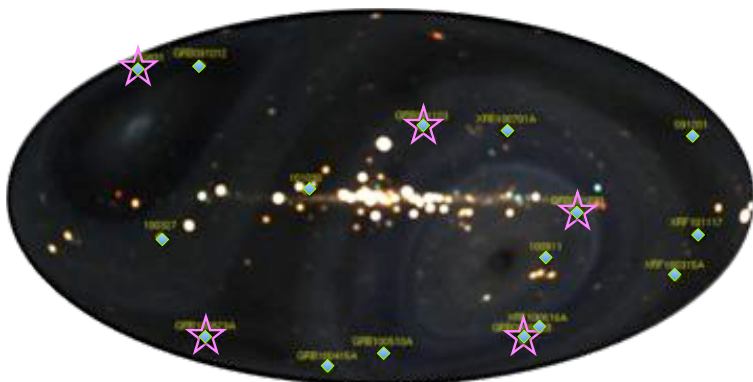
### 総括班

- 平成 22 年 4 月に京都で開催した国際会議では、直前のアイスランド火山噴火の影響で来日できなくなった 40 名が参加を取り消し、当日でのプログラムの変更を余儀なくされた。それにもかかわらず、会議は国内外ほぼ同数の参加者を得て盛会であり、本領域の成果のその時点でのとりまとめを含む集録を Springer より発行した。
- 領域代表が海外の研究者とともに提案した国際天文連合(IAU)シンポジウム “Death of Massive Stars: Supernovae and Gamma-Ray Bursts”が IAU に採択され、終了領域科研費などを申請して平成 23 年 4 月開催で準備を進めたが、東日本震災のために開催を平成 24 年 3 月に延期し、再度準備を進めている。集録は IAU によって平成 24 年に発行されるため、資金の問題はない。

## 6. 主な研究成果

### 計画研究 A01「爆発的X線・γ線から探るガンマ線バーストの起源と環境」の成果

・ **MAXI の開発と運用** GRB 検出・位置速報能力をもつ宇宙ステーション搭載全天 X 線監視装置 MAXI に関して、H19～H20 に最終試験と解析ソフト開発を行い、予定より半年遅れて H21 年 7 月に ISS に設置し、同年 8 月から観測を開始した。その後 16 ヶ月間に 16 個の GRB を MAXI が観測し、そのうち 5 個は、他の衛星によっても同時に検出され、広いエネルギー範囲でのスペクトルを測定できた。

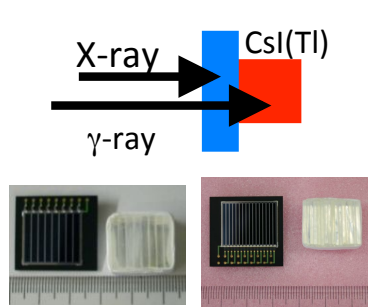


MAXIによって検出されたGRBを全天X線画像上に水色のダイヤモンドで示す。ピンクの星は他の衛星にも検出されたもの。

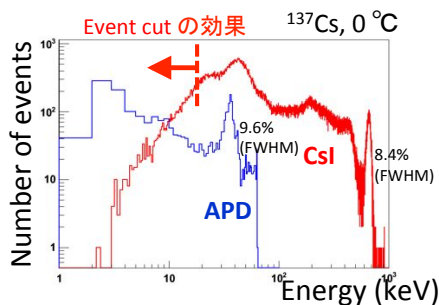


全天X線監視装置 MAXI の国際宇宙ステーションへの設置作業

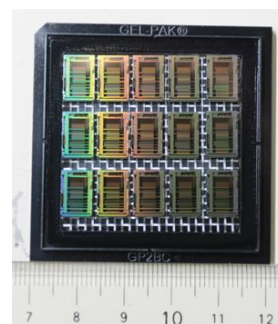
・ **GRB 位置検出器の開発** 将来ミッションの GRB 位置検出器として透過型 APD 多素子検出器(下図左)と、新規開発のアナログ VLSIを用いる読み出し回路(下図右)の開発を進め、それぞれ性能評価を行った。それぞれ、要素技術としては開発を完了し、所期の性能を得られることを確認した。さらに、この技術を用いた超小型衛星搭載用 γ 線検出器システムを開発し、ほぼ搭載品と同等のエンジニアリングモデルを製作した。



8ch及び16ch 透過型APD一次元アレイと、それに組み合わせるCsIシンチレータ。

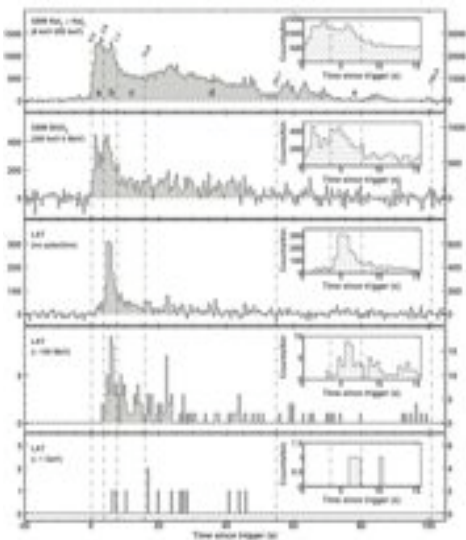


透過型APD/CsIアレイの1画素によって同時に得られた、keV～MeVの連続スペクトル。

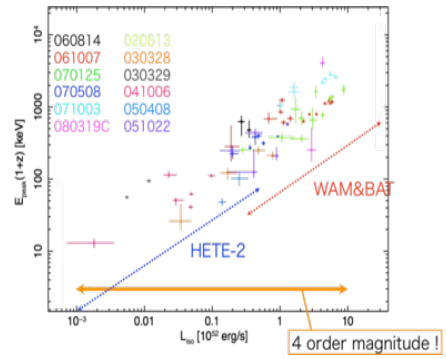


APD読出用VLSI VATA462。広いダイナミックレンジ、低雑音、低消費電力を確認した。

・ **Fermi γ 線宇宙望遠鏡等による GRB の観測** Fermi 衛星(旧称 GLAST)は予定から半年遅れて H20 年 6 月に打上げられたが、強い GeV 放射を示す GRB 080916C を観測して GRB 光源のローレンツ因子がほぼ 1000 であることを明らかにするなど、GeV 領域放射をもつ GRB の観測で大きな観測成果を上げた。また、HETE-2、「すざく」、および Swift 衛星の GRB 観測データを解析し、爆発的放射の時間発展の詳しい解析からその放射機構に関する新たな情報を得た。GRB 等方放射エネルギー( $E_{\text{iso}}$ )とスペクトルのピークエネルギー( $E_{\text{peak}}$ )の相関(Amati の関係)の検証を進めた。これは、放射機構の研究に加えて、GRB 爆発的即発放射の距離指標としての適用可能性にも関係する。

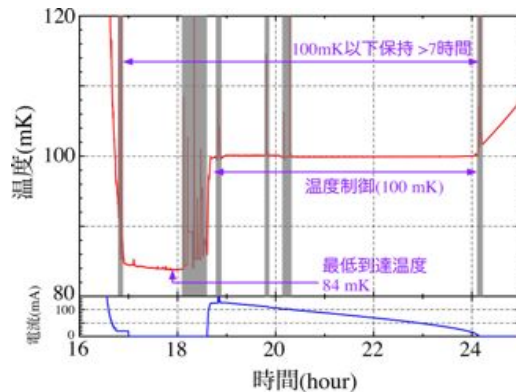
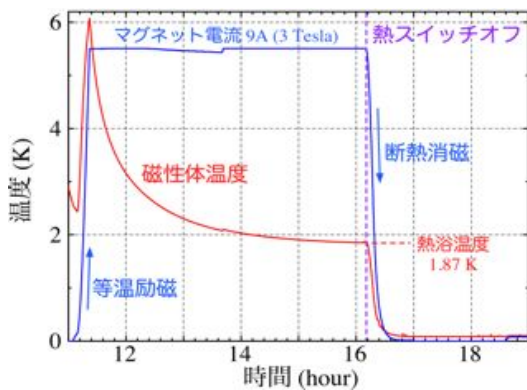
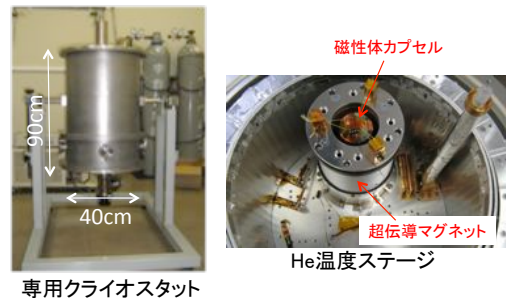


(左図)  
Fermi衛星による  
GRB 080916C の  
 $\gamma$ 線光度曲線。  
GeV  $\gamma$ 線(下3段)  
が、MeV以下の放  
射(上2段)より遅れ  
て発生。  
 $\gamma$ 線光度と時間変  
動から光源のローレ  
ンツ因子が1000程  
度以上と分かる。



HETE-2、Suzaku/WAM、Swift/BAT で受  
けた GRB のスパイクごとに、光度と Epeak  
の間に Amati-Yonetoku 相関が存在する。

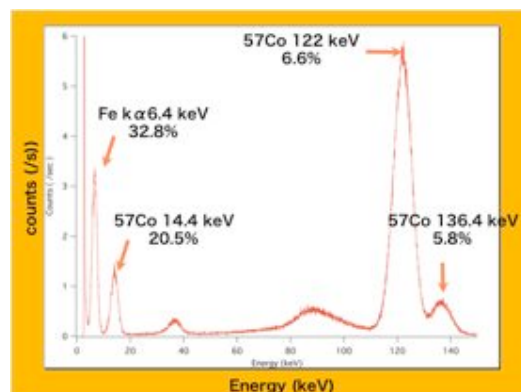
・高分散 X 線分光観測 次世代 GRB 観測衛星への X 線マ  
イクロカロリメータ搭載を目指して断熱消磁冷凍機(ADR)  
の研究開発を進めた。製作した断熱消磁冷凍機(ADR)の格  
納容器とその内部の写真を示す。最終的に最低到達温度  
84 mK、100 mK の保持時間 7 時間以上、温度安定度  $9 \mu$   
Krms を実現した。本研究で得られた知見は、2014 年打ち  
上げ予定の ASTRO-H 衛星の設計製作にも生かすことがで  
きた。



製作した ADR の性能。左図: 断熱消磁サイクルの  
際の超伝導磁石の電流と磁性体温度の推移。

右図: 消磁後の温度。最低到達温度は 84 mK で、  
100 mK 以下を 7 時間以上保持できた。

・広帯域 X 線  $\gamma$  線分光器の開発 ベリリウム入射窓を  
もつ薄型大口径 LaBr<sub>3</sub>(Ce)検出器を開発した。陽子ビ  
ーム照射実験によって放射化と放射線耐性を調査し、  
衛星搭載  $\gamma$  線検出器として使用可能であること、1 台  
の検出器で 10keV 以下の X 線領域から約 1MeV におよ  
ぶ  $\gamma$  線まで観測可能であることを示した。この成果を  
踏まえ、宇宙ステーションきぼうに搭載する CALET  
の GRB 検出器に応用することになった。

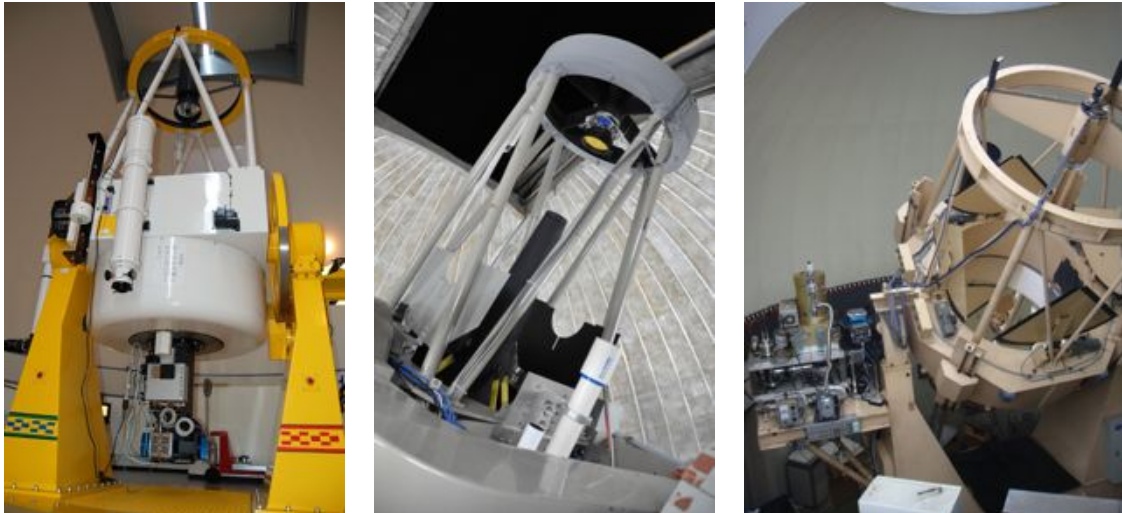


(右図) LaBr<sub>3</sub>(Ce)検出器によって得られた  
広帯域エネルギースペクトルの例。

計画研究 A02「ガンマ線バーストの光学・近赤外残光から読み解く太古の宇宙」の成果

1) 中小口径望遠鏡の改造による即時可視近赤外線撮像観測装置群の構築

本研究費で増強した望遠鏡・観測装置は、国立天文台石垣島天文台の1m望遠鏡の可視3色同時カメラの設置(写真左)、国立天文台岡山天体物理観測所91cm望遠鏡の広視野近赤外線撮像装置(写真中央)及びドーム・望遠鏡の高速制御、宇宙科学研究所1.3m望遠鏡の可視・近赤外線同時撮像装置(写真右)及びドーム・望遠鏡の高速制御である。これらは完成して、観測を行っているが、岡山91cm望遠鏡については、光学再調整が必要になって繰越をし、本年度に主に観測を行う。この他、既存の岡山天体物理観測所50cm、宇宙線研球所明野50cm望遠鏡が共に可視での3色同時観測に活躍した。

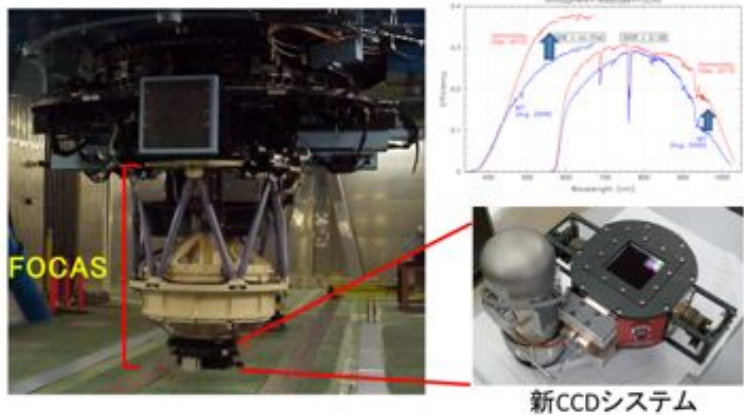


石垣天文台3色同時カメラ 岡山近赤外広視野撮像装置 宇宙研可視近赤外同時撮像装置

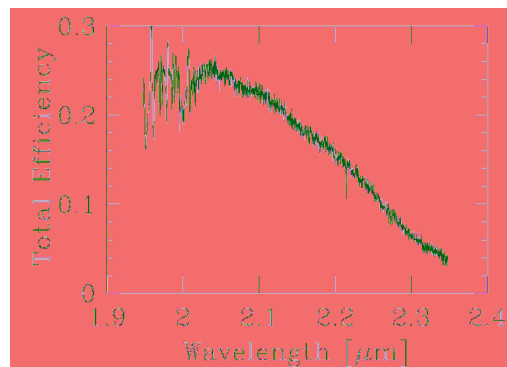
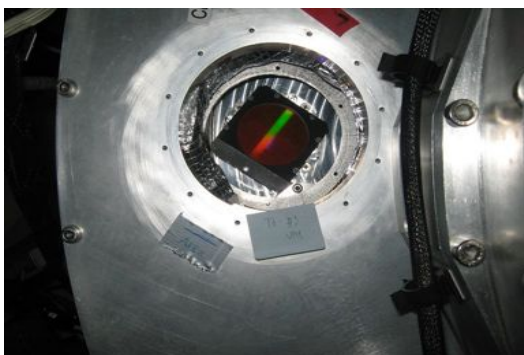
2) すばる望遠鏡の観測装置グレードアップ

可視微光天体撮像分光装置 (FOCAS) の検出器であるCCDの長波長側での感度向上を目指してグレードアップを行った。完成して稼働中である(右写真)。超新星の分光観測も実施できた。

近赤外線多天体撮像分光観測装置 (MOIRCS) 用にKバンドでの中分散素子 (VPHグリズム) を開発製作し、MOIRCSに搭載した(写真左下、その波長特性を右下の図に示す)。またMOIRCS 用 新zJ バンドグリズムを設計・製作し、より波長分散を高める改良を行った。



新CCDシステム



すばる望遠鏡MOIRCS Kバンド中分散素子を搭載したところと波長特性



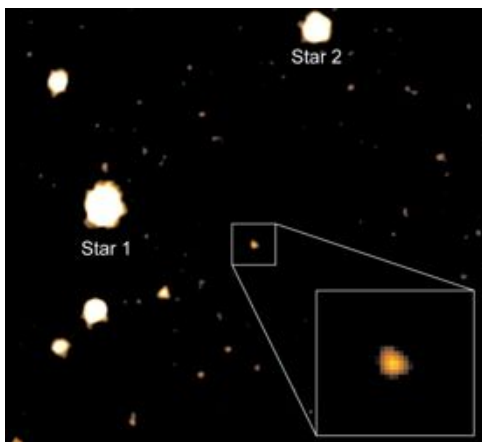
### 3) 最高赤方偏移ガンマ線バーストの近赤外線での検出に成功

2009年4月23日にSwift衛星によって検出されたガンマ線バーストGRB090423は近赤外線分光観測により赤方偏移  $z = 8.2$  でそれまでに知られているなかで最も遠方の天体現象であることが分かった。

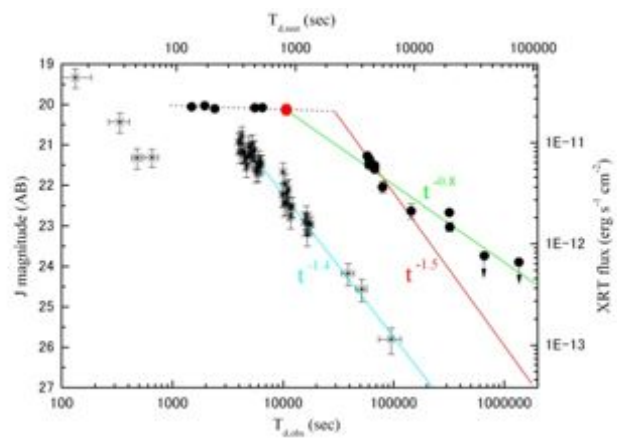
本研究チームでは、岡山天体物理観測所188cm望遠鏡に装着された近赤外線カメラISLEを用いて、バースト発生から9,428秒後に撮像観測を開始した。その結果、Jバンドにおいて残光を明瞭に捉えることに成功した(写真左)。我々の結果と他の観測所で行われた近赤外測光結果と合わせて、このGRBの残光は初期においては極めてゆっくりとした減光を示し、そのフェーズが静止系において3,000秒以上継続していることが分かった(写真右)。このような長期にわたるゆっくりとした減光はGRB残光において稀少であり、可視残光全体の9%程度を占めているに過ぎない。

GRB090423残光の光度曲線は後期( $> 10,000$ 秒)において急激な減光を示す。我々のデータにより、近赤外光度曲線の折れ曲がり時刻は、X線での折れ曲がり時刻よりはるかに遅いことが明らかになった。近赤外線光度曲線の折れ曲がり時刻の、X線での折れ曲がり時刻からの遅れは、観測者系で5,000 — 17,000秒に達する。これは、これまでに観測されたGRBのなかで最も長い部類に属する。

なお、この結果は、2009年4月30日に記者発表された。



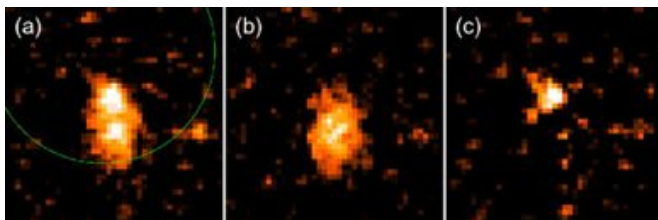
131億光年かなたのGRBのJバンド像



可視光とX線残光の強度の時間変化

### 4) ダークガンマ線バーストの母銀河の星質量とその起源についての研究

2008年3月25日、可視光では残光が見られないダークGRBが出現。本研究チームが中心となって、すばる望遠鏡の多天体近赤外撮像分光装置を用いて、出現から9時間後に近赤外線撮像観測を行った。その結果、このGRBの近赤外線残光と母銀河を世界で唯一発見することに成功した(写真左)。検出された近赤外線残光の明るさは、GRB残光のモデルが予想する明るさよりもはるかに暗く、このGRB源周辺に多くの塵が存在していて、これによって残光が強い吸収を受けていることがわかった。このような多くの塵が存在する環境は重元素量の多い環境によって引き起こされると考えられる。



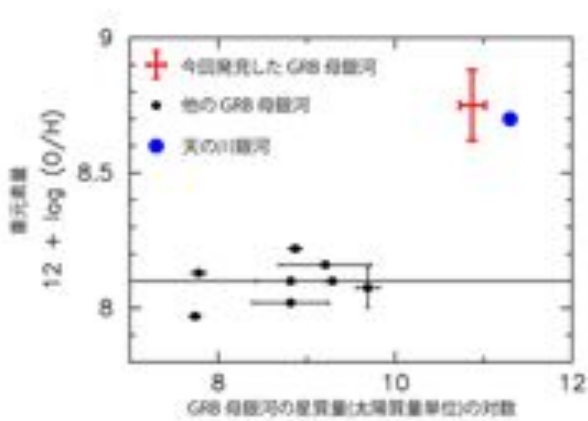
(a) 9時間後に撮像したGRB080325の近赤外Ksバンド画像とSwiftによる誤差円。GRB母銀河と残光がともに写っている。(b) 34時間後の画像。母銀河だけが写っている。(c) 差分画像。

同研究チームは母銀河の性質をさらに詳細に調べるために、バースト発生から約1年後にすばるの主焦点カメラを用いて観測し、可視光においても母銀河を検出することに成功した。観測した色々な波長での銀河の明るさと、銀河のスペクトルモデルとを比較した結果、この母銀河は天の川銀河に匹敵する星質量を持っていることがわかり、GRBの母銀河としてはこれまでに発見された中で最も星質量が大きいことが判明した(次ページ図左)。銀河には、その星質量が大きいとその重元素量も多いという関係があり、この関係と今回の星質量を使って予想される重元素量を計算すると、GRB母銀河のうちこれまでに確認されている重元素量の中でも飛び抜けて多いという結果となる。これまで広く信じられてきた単独

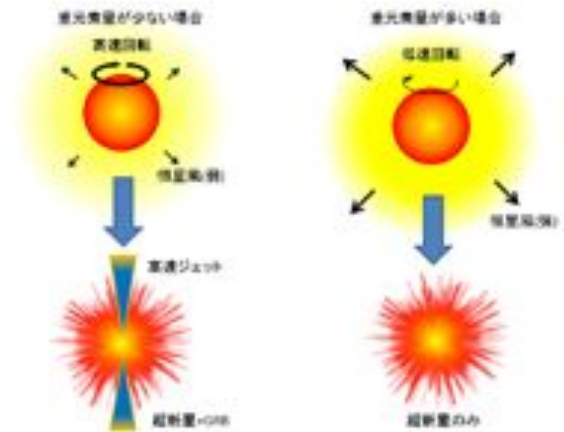
星シナリオではこのような大きな重元素量を説明することは困難である。一方昔GRB が発生する理論モデルとして、連星シナリオが提案されていたが、それなら大きな重元素量も説明可能である。つまり、このダークGRBは連星を起源とする爆発であった可能性が考えられる(図右下)。このことは、これまで研究があまり進んでいなかったダークGRBが、別のメカニズムで爆発している可能性を示唆し、GRBの種類やその発生メカニズムを知る上で重要な手がかりとなった。

今から約4億3500万年前(オルドビス紀)に起こった生物の大絶滅は、天の川銀河内で起こった GRB が原因であるとする説がある。天の川銀河での重元素量が多いためGRB 説に対して否定的な見方が一般的と思われるが、今回の発見はこの議論に一石を投じることになるかもしれない。

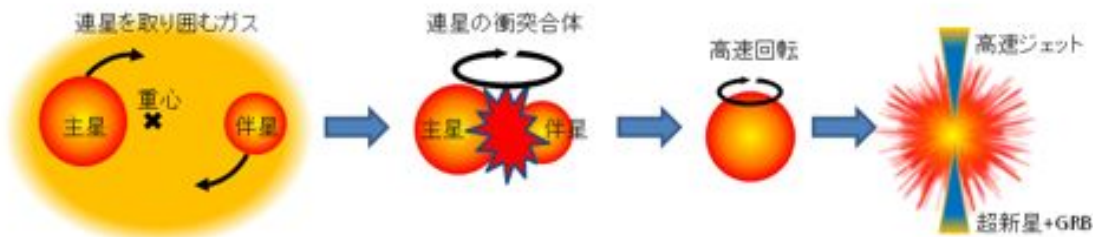
なお、この結果は、2010年7月21日に記者発表され、主要新聞雑誌等に掲載された。



GRB母銀河質量と重元素組成比の関係



GRBの単独星起源シナリオ。重元素が多いと恒星風で角運動量を失うため、GRBにならない。



GRBの連星起源説。重元素があっても、高速回転を保ち、GRBとなる。

### 計画研究 A03「ガンマ線バーストの起源の理論的研究」の成果

4年間で発表した学術論文数は135編で、国際会議での発表は61件に達するので主要な成果に絞って記述する。

1) **初代の星形成過程** 宇宙論的初期条件から始めて、原始星の形成まで輻射・化学過程を組み込んだ3次元流体シミュレーションにより初めて初代の星形成過程を計算した。この原始星の初期質量は1/100太陽質量以下と小さいものの、周囲には高密度のガスが大量に存在し、原始星へ降着する。そのため、原始星は数100太陽質量の超大質量星へと成長しGRBの親星となる可能性があることが分かった。(論文1。これはNHK7時のニュース並びに主要な新聞で紹介された。)

2) **GRB早期X線残光のPlateau phaseモデル** GRBの早期X線残光に見られるPlateau phaseのふるまいを説明する新たなモデルとして、「時間差をおいて出る2成分ジェットモデル」を提唱した。このモデルによると、Swift時代に入ってから新たに得られたX線残光の振る舞いを説明するとともに、GRB発生の数千秒前にX線のプリカーサが検出される。これは現在稼働中のMAXIで確認可能であるので計画研究A01班と密接に関連している。(論文2)

3) **GRB放射の非熱放射光球モデル** GRBの大きな謎の一つにエネルギー変換効率が50 %程度にまでなるということがある。これを解決するためにまずGRBの主要なエネルギーは光球表面から出ているとするモデルを採用する。しかし、GRB自身は非熱的な放射であるので、光球表面で電子陽電子対と陽子が2流体不安定を起こして、非熱的な放射をするシナリオを提案した。特に親星をジェットが付きぬけた辺りで不安定が起こりかつローレンツ因数が光度の平方根に比例すると米徳関係式を導けることが分かった。この研究には代表者と分担者2名が参加している。(論文3)

4) **GRB距離指標のIa型超新星を用いた校正** 米徳関係式のように距離指標となる関係式を導くためには普通今まで宇宙論パラメータを仮定してきた。しかし、 $z=10$ のような高赤方変移を考えると宇宙論を仮定せずに距離指標を決めることが重要である。そこで多くの距離指標が今までやって来たように $z$ が小さい場合(具体的には $z < 1.7$ )で米徳関係式をType Ia超新星の距離指標を使って校正した。これは我々が論文4で始めて行ったもので、その後の論文では必ず引用されている。これは代表者とA01、A02の分担者との共同研究である。(論文4)

5) **種族IIIの恒星の形成から重力崩壊までの全進化過程シミュレーション** 種族III(PopIII)星が質量降着によって太陽質量から質量を増やしながらか進化していく過程を、重力崩壊の段階まで計算した。Pop III.1星はほぼ1000太陽質量まで成長するので、ブラックホールを形成する。これらは、宇宙初期のガンマ線バースト源となるとともに、巨大質量ブラックホールの種ともなり得る。この計算でPop III星の質量降着率は、Yoshida-Omukaiの初代星形成の計算で与えられた率を使用しており、分担者大向の質量降着の計算を、重力崩壊段階まで続けたものに対応する。(論文5)

6) **GRBジェット形成シミュレーション** 一般相対論的磁気流体コードを開発し、ガンマ線バーストでのジェット形成シミュレーションを行なった。回転しているブラックホールからの回転エネルギー引き抜き効果により、ジェットが形成されていることが示された。(論文6)

7) **GRB距離指標の精度向上** 米徳関係式やAmati関係式は有望な距離指標候補であるが、これらに進化効果や観測によるバイアス効果がないか調べた結果 $2\sigma$ レベルではないことが分かった。データの精度が10%レベルのものに絞り、光度をGRB静止系で決めるとReduced  $\chi$ が1.3のType Ia超新星に匹敵する改良版の米徳関係式を得た。(論文7) これは代表者とA01、A02の分担者との共同研究である。

8) **初代星からのGRB** 分担者の大向らの研究によって、宇宙で最初に生まれる初代星は非常に巨大であることが示唆されている。分担者の井岡はGRBのジェットが巨大な星を突き破って初代GRBになりえることを明らかにした。予想される光度や継続時間は観測を行う計画研究A01、A02への指針となった。(論文8)

9) **種族IIIの恒星形成におけるフィードバック効果** 分担者の大向はメタルがゼロの星形成で、先に出来た原始星の光によるフィードバック効果を調べた。その結果降着円盤が原始星の輻射により蒸発して、最終的にできる星は太陽質量の40倍程度であることが判明した。(論文9)

10) **2ジェットモデルによる高エネルギー $\gamma$ 線放射の予言** 分担者の山崎はGRBのshallow decay phaseを説明するために、既にtwo jets modelを提案したが、モデルの予言について考察した。GRB本体のガンマ線放射は、先行する「ジェット1」に追いついたときに、これらの高エネルギー電子によって逆コンプトン散乱を受け、さらに高エネルギーのGeV-TeV帯域のガンマ線を放射する可能性があり、Fermi衛星で観測可能な事が分かった。(論文10)

11) **大光度超新星の理論** 最近、極端に明るい超新星(Luminous Supernova: LSN)の一群が発見されるようになり、Pair Instability Supernova(PISN)であるという主張がなされている。100太陽質量程度の大質量星が重力崩壊し、極超新星という巨大エネルギーの爆発をした場合、十分な量の $^{56}\text{Ni}$ を放出し、LSNの光度曲線や爆発のdynamicalな特徴をよく説明できることを示した。(論文11)

## 7. 研究成果の取りまとめ状況

研究成果のとりまとめのために以下の活動を行った。また、一部は今年度も実施する。

- 年度初めの領域会議。初年度のみ8月、2、3年度目は5月に実施した。計画研究メンバー(代表研究者、分担者、連携研究者、協力研究者である大学院生)と公募研究メンバー(代表研究者および研究協力者)が集合し、前年度までの研究状況を報告し、当該年度の研究計画を1日で発表する。4年度目(平成22年度)は、4月に国際シンポジウムにおいて成果発表が行われたので、研究代表者による会議のみシンポジウム会期中に実施した。
- 毎年度半ば～後半に実施する領域シンポジウム。領域メンバーに限らず広く関連研究者の講演・参加を募集し、領域外からの招待講演も含め、3日間の日程で開催した。領域シンポジウムでは、領域で行われている研究課題は全て発表することを原則としたが、必ずしも代表研究者や分担者ではなく、PDや大学院生など研究を担う若手による発表を優先した。今年度も、終了領域の取りまとめ科研費によって、年度後半に開催する予定である。
- 国際シンポジウム“Deciphering the Ancient Universe with Gamma-Ray Burst”を最終年度である平成22年4月19～23日に京都で開催し、原則としてすべての計画研究メンバーと公募研究メンバーが参加して本領域における研究成果を発表した。この会議には、200人を越える参加登録があったが、会議開始3日前に起きたアイスランドの火山の噴火のために約40名が参加をキャンセルした。それでも、16カ国から159人が参加し(うち日本人は82名、外国人77名)、活発な議論が行われた。会議の集録は、“Deciphering The Ancient Universe With Gamma-Ray Bursts” Kawai, Nobuyuki; Nagataki, Shigehiro (Eds.), AIP Conference Proceedings Vol. 1279, Springer 2010, ISBN: 9780735408296 として刊行した。
- 平成23年度に特定領域科研費(終了領域の取りまとめ)に応募し、採択された。これに基づいて、平成23年度後半(平成24年1月下旬～2月上旬を予定)に領域シンポジウムを公開で開催する他、研究成果報告書を作成する。さらに下に記述するIAUシンポジウムも共催する。
- 国際天文連合 IAUシンポジウム No. 279 “Death of Massive Stars: Supernovae and Gamma-Ray Bursts” (SOC Chair: Pete Roming, Elena Pian, Nobuyuki Kawai)を本領域の活動の一部として、平成24年3月12～16日の日程で栃木県日光市で開催される。これを、終了領域科研費等を使って、本領域の共催として実施する。これは平成22年5月にIAUによって採択され、平成23年4月に開催する予定であったが、東日本大震災の影響で外国人の参加辞退が見込まれることから翌年3月に延期した。この会議の内容は、本領域の研究内容に含まれるので、領域の研究成果を積極的に発表する予定である。この会議の集録はIAUの公式集録シリーズの一巻として2012年のうちに刊行する予定である。

## 8. 研究成果公表の状況

### (1) 主な論文

領域全体で266編の論文が公表されている。代表的な110編を、計画研究課題および公募研究に分けて記載する。共著者が複数の研究課題にわたるものは、重複を避けて適当に分類した。

計画研究A01「爆発的X線・ $\gamma$ 線から探るガンマ線バーストの起源と環境」 (43編中27編)

1. “Swift and Suzaku Observations of the X-Ray Afterglow from the GRB 060105, Tashiro MS, , Kawai, N., Kinugasa K, Maeda Y, Murakami T, Yamaoka K, M, Yonetoku D, Yoshida A, Yoshinari S.,ほか28名、 (2007), PASJ 59, S361-S367 被引用回数: 8
2. “Intrinsic properties of a complete sample of HETE-2 gamma-ray bursts. A measure of the GRB rate in the Local Universe” , Pelangeon, A., J.-L. Atteia, Y. E. Nakagawa, K. Hurley, A. Yoshida, R. Vanderspek, M. Suzuki, Kawai, N., ほか25名, Astronomy and Astrophysics 491, 157-171 (2008) 被引用回数:18
3. “Multiple-Component Analysis of the Time-Resolved Spectra of GRB041006: A Clue to the Nature of the Underlying Soft Component of GRBs”, Shirasaki, Y., A. Yoshida, Kawai, N., T. Tamagawa, T. Sakamoto, M. Suzuki, R. Sato, 他13名, Publications of the Astronomical Society of Japan 60, 919-931 (2008) 被引用回数:3
4. “Spectral Evolution of GRB060904A Observed with Swift and Suzaku -- Possibility of Inefficient Electron Acceleration”, Yonetoku D, Tanabe S, Murakami T, Tashiro MS, Yamaoka K, Yoshida A, Ishimura T, Kawai, N., ほか35名., (2008), PASJ 60, S351-S360 被引用回数: 4
5. “Design and In-Orbit Performance of the Suzaku Wide-Band All-Sky Monitor”, Yamaoka, K., Endo, A., Yoshida, A., et al. 2009, PASJ, 61, S35 (被引用回数:8)
6. “Suzaku-WAM, Konus-Wind, and Swift-BAT Observations of Prompt Emission of the High-Redshift GRB 050904”, Sugita, S., Yamaoka, K., et al. 2009, PASJ , 61, 521 (被引用回数:5)
7. “Testing the E peak–E iso Relation for GRBs detected by SWIFT and SUZAKU-WAM, Krimm, H., Yamaoka, K., et al. 2009, ApJ, 704, 1405 (被引用回数:29)
8. “Fermi Observations of High-energy Gamma-ray Emission from GRB 080825C”, Abdo, A. A., Kawai, N., and 179 colleagues, The Astrophysical Journal 707, 580-592 (2009) 被引用回数:21
9. “Fermi Observations of GRB 090902B: A Distinct Spectral Component in the Prompt and Delayed Emission”, Abdo, A. A., Kawai, N., and 204 colleagues, The Astrophysical Journal 706, L138-L144 (2009) 被引用回数:92
10. “The MAXI Mission on the ISS: Science and Instruments for Monitoring All-Sky X-Ray Images”, Matsuoka, M., Kawai, N., Yoshida, A., Tomihda, H., Kataoka, J. and 27 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan 61, 999-(2009) 被引用回数:29
11. “A limit on the variation of the speed of light arising from quantum gravity effects”, Abdo, A. A., Kawai, N., and 207 colleagues, Nature 462, 331-334 (2009) 被引用回数:125
12. “Fermi Observations of GRB 090902B: A Distinct Spectral Component in the Prompt and Delayed Emission”, Abdo, A. A., Kawai, N., and 204 colleagues, The Astrophysical Journal 706, L138-L144 (2009) 被引用回数:92
13. “Fermi Observations of High-Energy Gamma-Ray Emission from GRB 080916C”, Abdo, A. A., M. Ackermann, M. Arimoto, K. Asano, W. B. Atwood, Kawai, N., , T. Nakamori, R. Yamazaki, 他238名 (The Fermi LAT Collaboration, and The Fermi GBM Collaboration), Science 323, 1688- (2009) 被引用回数:201
14. “Suzaku Observations of SGR1900+14 and SGR1806–20”,

- Nakagawa, Y.E., T. Mihara, A. Yoshida, K. Yamaoka, T. Murakami, D. Yonetoku, M. S. Tashiro 他4名,  
Publications of the Astronomical Society of Japan 61, 387- (2009) 被引用回数:3
15. “Suzaku Observation of the New Soft Gamma Repeater SGR 0501+4516 in Outburst”,  
Enoto, T., Y. E. Nakagawa, K. Yamaoka, A. Yoshida, 他16名,  
Astrophysical Journal 693, L122-L126 (2009) 被引用回数:16
  16. “Uniting the Quiescent Emission and Burst Spectra of Magnetar Candidates”,  
Nakagawa, Y. E., A. Yoshida, K. Yamaoka, and N. Shibasaki,  
Publications of the Astronomical Society of Japan 61, 109- (2009) 被引用回数:8
  17. “Design and In-Orbit Performance of the Suzaku Wide-Band All-Sky Monitor”,  
Yamaoka, K., T. Kamae, K. Makishima, T. Murakami, 他17名,  
Publications of the Astronomical Society of Japan 61, 35- (2009) 被引用回数:8
  18. “Fermi Detection of Delayed GeV Emission from the Short Gamma-Ray Burst 081024B”, Abdo, A.  
A., Kawai, N., and 206 colleagues, The Astrophysical Journal 712, 558-564 (2010) 被引用回  
数:18
  19. “Swift and Fermi Observations of the Early Afterglow of the Short Gamma-Ray Burst 090510”, De  
Pasquale, M., Kawai, N., and 193 colleagues, The Astrophysical Journal 709, L146-L151 (2010)  
被引用回数:39
  20. “Fermi Observations of GRB 090510: A Short-Hard Gamma-ray Burst with an Additional, Hard  
Power-law Component from 10 keV TO GeV Energies”, Ackermann, M., Kawai, N., and 177  
colleagues, The Astrophysical Journal 716, 1178-1190 (2010) 被引用回数:39
  21. “Development of an Adiabatic Demagnetization Refrigerator for X-ray Microcalorimeter  
Operations”, Fujimoto R., Sato K, Wada A, Yatsu T, Hoshino A, Murakami T., Shinozaki K,  
(2010), AIP Conf. Proc. 1279, 309-311 被引用回数: 0
  22. “Cooling system for the soft X-ray spectrometer onboard Astro-H”, Fujimoto R., Mitsuda K,  
Yamasaki N, Takei Y, Tsujimoto M, Sato K, ほかに25名, (2010), Cryogenics 50, 488-493 被引用  
回数: 0
  23. “In-orbit performance of avalanche photodiode as radiation detector on board the picosatellite  
Cute-1.7+APD II”, Kataoka, J., Kawai, N., and 18 colleagues, Journal of Geophysical Research  
(Space Physics) 115, 5204-(2010) 被引用回数:1
  24. “Spectral-Lag Relations in GRB Pulses Detected with HETE-2”, Arimoto, M., Kawai, N., Yoshida,  
A. and 36 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan 62, 487-(2010) 被引用回  
数:1
  25. “Solid-State Slit Camera (SSC) Aboard MAXI”, H. Tomida et al, PASJ, 2011, 63, 397 (被引用回  
数:0)
  26. “ORIGIN: metal creation and evolution from the cosmic dawn”, den Herder, J.-W., Kawai, N.,  
Fujimoto, R. and 156 colleagues, Experimental Astronomy 20-(2011) 被引用回数:1
  27. “Gamma-Ray Burst Polarimeter - GAP - aboard the Small Solar Power Sail Demonstrator  
IKAROS,” Yonetoku, Daisuke; Murakami, Toshio; Gunji, Shuichi; Mihara, Tatehiro; Sakashita,  
Tomonori; Morihara, Yoshiyuki; Kikuchi Yukihiro; Takahashi, Takuya; Fujimoto, Hirofumi;  
Toukairin, Noriyuki; Kodama, Yoshiki; Kubo, Shin; and IKAROS Demonstration Team,  
Publications of the Astronomical Society of Japan, 63, 625-638 (2011) [被引用回数2]

1. “A Revised Estimate of the CO J=1-0 Emission from the Host Galaxy of GRB 030329 Using the Nobeyama Millimeter Array,”\_A. Endo, K. Kohno, B. Hatsukade, K. Ohta, N. Kawai, Y. Sofue, K. Nakanishi, T. Tosaki, B. Vila-Vilaro, N. Kuno, T. Okuda, and K. Moroka, The Astrophysical Journal, 659, 1431-1437 (2007) [被引用回数2]
2. “Differential Evolution of the UV Luminosity Function of Lyman Break Galaxies from  $z \sim 5$  to 3,”\_I. Iwata, K. Ohta, N. Tamura, M. Akiyama, K. Aoki, M. Ando, G. Kiuchi, and M. Sawicki, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 376, 1557-1576 (2007) [被引用回数46]
3. “Lyman Break Galaxies at  $z \sim 5$ : Rest-Frame Ultraviolet Spectra II,”\_M. Ando, K. Ohta, I. Iwata, M. Akiyama, K. Aoki, and N. Tamura, Publ. Astron. Soc. Japan, 59, 717-726 (2007) [被引用回数20]
4. “High-resolution Submillimeter Imaging of the Ly $\alpha$  Blob in SSA22,”\_Y. Matsuda, D. Iono, K. Ohta, T. Yamada, R. Kawabe, T. Hayashino, A. B. Peck, and G. R. Petitpas, The Astrophysical Journal, 667, 667-672 (2007) [被引用回数22]
5. “Adaptive Optics Rest-frame V-band Imaging of Lyman Break Galaxies at  $z \sim 3$ : High-Surface Density Disk-like Galaxies?”\_M. Akiyama, Y. Minowa, N. Kobayashi, K. Ohta, M. Ando, and I. Iwata, The Astrophysical Journal Suppl., 175, 1-28 (2008) [被引用回数10]
6. “The Stellar Populations of Lyman Break Galaxies at  $z \sim 5$ ,”\_K. Yabe, K. Ohta, I. Iwata, M. Sawicki, N. Tamura, M. Akiyama, and K. Aoki, The Astrophysical Journal, 693, 507-533 (2009) [被引用回数18]
7. “No Evidence for Variability of Intervening Absorption Lines toward GRB 060206: Implications for the MgII Incidence Problem,”\_K. Aoki, T. Totani, T. Hattori, K. Ohta, K.S. Kawabata, N. Kobayashi, M. Iye, K. Nomoto, and N. Kawai, Publ. Astron. Soc. Japan, 61, 387-394 (2009) [被引用回数4]
8. “Dark” GRB 080325 in a Dusty Massive Galaxy at  $z \sim 2$ ,”\_T. Hashimoto, K. Ohta, K. Aoki, I. Tanaka, K. Yabe, N. Kawai, H. Furusawa, T. Hattori, M. Iye, K.S. Kawabata, Y. Niino, K. Nomoto, J. Noumaru, R. Ogasawara, T.-S. Pyo, , T. Totani, J. Watanabe, T. Yamada, and A. Yoshida, ほか 1 2 名 The Astrophysical Journal, 719, 378-384 (2010) [被引用回数5]
9. “CO Observations of Host Galaxy of GRB 000418 at  $z = 1.1$ ,”\_B. Hatsukade, K. Kohno, A. Endo, K. Nakanishi, and K. Ohta, The Astrophysical Journal, in press (arXiv:1106.1939)(2011) [被引用回数0]
10. “Luminosity Distribution of Gamma-ray Burst Host Galaxies at Redshift  $z = 1$  in Cosmological Smoothed Particle Hydrodynamic Simulations: Implications for the Metallicity Dependence of GRBs,”\_Y. Niino, J.H. Choi, M.A.R. Kobayashi, K. Nagamine, T. Totani, and B. Zhang, The Astrophysical Journal, 726, id. 88 (2011) [被引用回数4]
11. “Probing the Long Gamma-Ray Burst Progenitor by Ly $\alpha$  Emission of Host Galaxies,”\_Y. Niino, T. Totani, and M.A.R. Kobayashi, The Astrophysical Journal, 707, 1634-1641 (2009) [被引用回数3]
12. “Intracluster Short Gamma-Ray Bursts by Compact Binary Mergers,”\_Y. Niino and T. Totani, The Astrophysical Journal, 677, L23-L26 (2008) [被引用回数4]
13. “Early Phase Observations of Extremely Luminous Type Ia Supernova 2009dc,”\_Yamanaka, M., Kawabata, K.S., Kinugasa, K., Tanaka, M., Imada, A., Maeda, K., Nomoto, K., Arai, A., Chiyonobu, S., Fukazawa, Y., Y., Kawai, N., Kuroda, D., Yanagisawa, K., Yoshida, M. 他21名, The Astrophysical Journal Letters, 707, L118-L122 (2009) [被引用回数20]
14. “Development of MITSuME - multicolor imaging telescopes for survey and monstrous explosions,”\_Yatsu, Y., Kawai, N., Shimokawabe, T., Vasquez, N., Ishimura, T., Kotani, T., Yanagisawa, K., Yoshida, M., Nagayama, S., Shimizu, H., Toda, and H., Kuroda, D., Physica E, 40, 434-437 (2007) [被引用回数0]

15. “Deep Spectroscopy of Systematically Surveyed Extended Lyman-alpha Sources at  $z \sim 3-5$ ,” Saito, T., Shimasaku, K., Okamura, S., Ouchi, M., Akiyama, M., Yoshida, M., and Ueda, Y. *The Astrophysical Journal*, 675, 1076 (2008) [被引用回数21]
16. “Strange filamentary structures ("fireballs") around a merger galaxy in the Coma cluster of galaxies,” Yoshida, M., Yagi, M., Komiyama, Y., Furusawa, H., Kashikawa, N., Koyama, Y., Yamanoi, H., Hattori, T. and Okamura, S., *The Astrophysical Journal*, 688, 918-930 (2008) [被引用回数15]
17. “Discovery of a Giant Ly $\alpha$  Emitter Near the Reionization Epoch,” Ouchi, M., Ono, Y., Egami, E., Saito, T., Oguri, M., McCarthy, P. J., Farrah, D., Kashikawa, N., Momcheva, I., Shimasaku, K., Nakanishi, K., Furusawa, H., Akiyama, M., Dunlop, J. S., Mortier, A. M. J., Okamura, S., Hayashi, M., Cirasuolo, M., Dressler, A., Iye, M., Jarvis, M. J., Kodama, T., Martin, C. L., McLure, R. J., Ohta, K., Yamada, T. and Yoshida, M., *The Astrophysical Journal*, 696, 1164 (2009) [被引用回数26]
18. “Simultaneous MITSuME gRI monitoring of S5 0716+714,” Stalin, C. S., Kawabata, K. S., Uemura, M., Yoshida, M., Kawai, N., Yanagisawa, K., Shimizu, Y., Kuroda, D., Nagayama, S. and Toda, H., *MNRAS*, 399, 1357 (2009)[被引用回数2]
19. “Early phase observations of extremely luminous Type Ia Supernova 2009dc,” Yamanaka, M., Kawabata, K. S., Kinugasa, K., Tanaka, M., Imada, A., Maeda, K., Nomoto, K., Arai, A., Chiyonobu, S., Fukazawa, Y., Hashimoto, O., Honda, S., Ikejiri, Y., Itoh, R., Kamata, Y., Kawai, N., Komatsu, T., Kuroda, D., Yanagisawa, K. and Yoshida, M. 他14名 *Astrophysical Journal Letters*, 707, L188 (2009) [被引用回数20]
20. “Statistics of 207 Ly $\alpha$  Emitters at a Redshift Near 7: Constraints on Reionization and Galaxy Formation Models,” Ouchi, M., Shimasaku, K., Furusawa, H., Saito, T., Yoshida, M., Akiyama, M., Ono, Y., Yamada, T., Ota, K., Kashikawa, N., Iye, M., Kodama, T., Okamura, S., Simpson, C., and Yoshida, M. *Astrophysical Journal*, 723, 869-894 (2010) [被引用回数32]
21. “GRB 090313 and the Origin of Optical Peaks in Gamma-ray Burst Light Curves: Implications for Lorentz Factors and Radio Flares,” Melandri, A., Kobayashi, S., Yoshida, M., 他18名, *Astrophysical Journal*, 723, 1331-1342 (2010) [被引用回数1]
22. “Optical behavior of GRB 061121 around its X-Ray shallow decay phase,” Uehara, T., Uemura, M., Arai, A., Yamazaki, R., Kawabata, K. S., Ohno, M., Fukazawa, Y., Ohsugi, T., Yoshida, M., Sato, S., and Kino, M. *A&A*, 526, 92 (2011) [被引用回数0]
23. “Spectropolarimetry of the superwind filaments of the starburst galaxy M82: kinematics of dust outflow,” Yoshida, M., Kawabata, K. S., and Ohya, Y., *PASJ*, 63, 493 (2011) [被引用回数2]
24. “Gamma-ray bursts in  $1.8 < z < 5.6$  suggest that the time variation of the dark energy is small,” Kodama, Yoshiaki; Yonetoku, Daisuke; Murakami, Toshio; Tanabe, Sachiko; Tsutsui, Ryo; Nakamura, Takashi, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters*, 391, L1-L4 (2008) [被引用回数31]
25. “GRB 080913 at Redshift 6.7,” Greiner, J., T. Kruehler, J. P. U. Fynbo, A. Rossi, T. Totani, N., Kawai, K. Aoki, 他39名, *Astrophysical Journal*, 693, 1610-1620 (2009) [被引用回数76]
26. “A massive star origin for an unusual helium-rich supernova in an elliptical galaxy,” Kawabata, K. S.; Maeda, K.; Nomoto, K.; Taubenberger, S.; Tanaka, M.; Deng, J.; Pian, E.; Hattori, T.; and Itagaki, K., *Nature*, 465, 326-328 (2010) [被引用回数22]
27. “Spectropolarimetry of Extremely Luminous Type Ia Supernova 2009dc: Nearly Spherical Explosion of Super-Chandrasekhar Mass White Dwarf,” Tanaka, M.; Kawabata, K. S.; Yamanaka, M.; Maeda, K.; Hattori, T.; Aoki, K.; Nomoto, K.; Iye, M.; 他3名, *Astrophysical Journal*, 714, 1209-1216 (2010) [被引用回数19]
28. “Cryogenic Volume-Phase Holographic Grisms for MOIRCS,” Ebizuka, N. Tokoku, C. et al. *PASJ*, 63, 605-612 (2011) [被引用回数1]



1. “Protostar Formation in the Early Universe”, Yoshida, N., Omukai, K., and Hernquist, L., *Science*, 321, 669 (2008) [被引用回数 73]
2. “Prior Emission Model for X-ray Plateau Phase of Gamma-Ray Burst Afterglows”, Yamazaki, R., *The Astrophysical Journal Letters*, 690, L118-L121 (2009) [被引用回数 28]
3. “Unstable GRB Photospheres and  $e^{\pm}$ -Annihilation Lines”, Ioka, K., Murase, K., Toma, K., Nagataki, S., and Nakamura, T., *The Astrophysical Journal*, 670, L77-L80 (2007) [被引用回数 30]
4. “Gamma ray Bursts in  $1.8 < z < 5.6$  suggest that the time variation of dark energy is small”, Y.Kodama, D. Yonetoku, T.Murakami, R.Tsutsui and T.Nakamura, *Mon.Not.Roy.Astron.Soc.* 391, L1-L4 (2008) [被引用回数 30]
5. “Development of a General Relativistic Magnetohydrodynamic Code and Its Application to the Central Engine of Long Gamma-Ray Bursts”, S. Nagataki, *The Astrophysical Journal*, 704, 937-950 (2009) [被引用回数 25]
6. “Constraints on  $w_0$  and  $w_a$  of dark energy from high-redshift gamma-ray bursts”, Ryo Tsutsui, Takashi Nakamura, Daisuke Yonetoku, Toshio Murakami, Sachiko Tanabe, Yoshiki Kodama, Keitaro Takahashi, *Mon.Not.Roy.Astron.Soc.* 394, L31-L35 (2009) [被引用回数 13]
7. “Redshift-dependent lag-luminosity relation in 565 BATSE gamma-ray bursts”, Ryo Tsutsui, Takashi Nakamura, Daisuke Yonetoku, Toshio Murakami, Sachiko Tanabe, Yoshiki Kodama, *Mon.Not.Roy.Astron.Soc.* 386 L33-L37 (2008)[被引用回数 12]
8. ”The Unique Type Ib Supernova 2005bf at Nebular Phases: A Possible Birth Event of a Strongly Magnetized Neutron Star”, Maeda, K., Tanaka, M., Nomoto, K., Tominaga, N., Kawabata, K.,Mazzali, P. A., Umeda, H., Suzuki, T., and Hattori, T., *Astrophysical Journal*, 666, 1069-1082 (2007) [被引用回数 27]
9. “Multidimensional Simulations for Early-Phase Spectra of Aspherical Hypernovae: SN 1998bw and Off-Axis Hypernovae”, Tanaka, M., Maeda, K., Mazzali, P. A., and Nomoto, K., *Astrophysical Journal*, 668, L19-L22 (2007) [被引用回数 16]
10. “The Aspherical Properties of the Energetic Type Ic SN 2002ap as Inferred from Its Nebular Spectra”, Mazzali, P. A., Kawabata, K. S., Maeda, K., Foley, R. J., Nomoto, K.,Deng, J., Suzuki, T., Iye, M., Kashikawa, N., Ohyama, Y., Filippenko, A. V., Qiu, Y., and Wei, J., *Astrophysical Journal*, 670, 592-599(2007) [被引用回数 23]
11. “Constraints on Type Ib/c Supernovae and Gamma-Ray Burst Progenitors”, Fryer, C. L., Mazzali, P. A., Prochaska, J., Cappellaro, E.,Panaitescu, A., Berger, E., van Putten, M., van den Heuvel, E. P. J.,Young, P., Hungerford, A., Rockefeller, G., Yoon, S.-C.,Podsiadlowski, P., Nomoto, K., Chevalier, R., Schmidt, B., andKulkarni, S., *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 119,1211-1232(2007) [被引用回数 31]
12. “How Much  $^{56}\text{Ni}$  Can Be Produced in Core-Collapse Supernovae? Evolution and Explosions of 30-100 Msolar Stars”, Umeda, H. and Nomoto, K., *Astrophysical Journal*, 673, 1014-1022 (2008)[被引用回数 26]
13. “The broad-lined Type Ic supernova 2003jd”, Valenti, S., Benetti, S., Cappellaro, E., Patat, F., Mazzali, P.,Turatto, M., Hurley, K., Maeda, K., Gal-Yam, A., Foley, R. J.,Filippenko, A. V., Pastorello, A., Challis, P., Frontera, F.,Harutyunyan, A., Iye, M., Kawabata, K., Kirshner, R. P., Li, W.,Lipkin, Y. M., Matheson, T., Nomoto, K., Ofek, E. O., Ohyama, Y.,Pian, E., Poznanski, D., Salvo, M., Sauer, D. N., Schmidt, B. P.,Soderberg, A., and Zampieri, L., *Monthly Notices of the RoyalAstronomical Society*, 383, 1485-1500 (2008)[被引用回数 38]
14. “Asphericity in Supernova Explosions from Late-Time Spectroscopy”, Maeda, K., Kawabata, K., Mazzali, P. A., Tanaka, M., Valenti, S.,Nomoto, K., Hattori, T., Deng, J., Pian, E., Taubenberger, S., Iye, M., Matheson, T., Filippenko, A. V., Aoki, K., Kosugi, G., Ohyama, Y.,Sasaki, T., and

- Takata, T., *Science*, 319, 1220-1223 (2008) [被引用回数 51]
15. “Injection of Short-Lived Radionuclides into the Early Solar System from a Faint Supernova with Mixing Fallback”, Takigawa, A., Miki, J., Tachibana, S., Huss, G. R., Tominaga, N., Umeda, H., and Nomoto, K., *Astrophysical Journal*, 688, 1382-1387(2008) [被引用回数 13]
  16. “The Metamorphosis of Supernova SN 2008D/XRF 080109: A Link Between Supernovae and GRBs/Hypernovae”, Mazzali, P. A., Valenti, S., Della Valle, M., Chincarini, G., Nomoto, K., ほか 36 名, *Science*, 321, 1185 (2008) [ 被引用回数 53]
  17. “Type Ib Supernova 2008D Associated With the Luminous X-Ray Transient 080109: An Energetic Explosion of a Massive Helium Star”, Tanaka, M., Tominaga, N., Nomoto, K., Valenti, S., Sahu, D. K., Minezaki, T., Yoshii, Y., Yoshida, M., Anupama, G. C., Benetti, S., Chincarini, G., Valle, M. D., Mazzali, P. A., and Pian, E., *Astrophysical Journal*, 692, 1131-1142 (2009) [ 被引用回数 30]
  18. ”Evolution of Very Massive Population III Stars with Mass Accretion from Pre-main Sequence to Collapse”, Ohkubo, T., Nomoto, K., Umeda, H., Yoshida, N., and Tsuruta, S., *Astrophysical Journal*, 706, 1184—1193 (2009)[被引用回数 14]
  19. “Binary formation with different metallicities: dependence on initial conditions”, M. N. Machida, K. Omukai, T. Matsumoto, and S. Inutsuka, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 399, 1255-1263 (2009) [被引用回数 10]
  20. “Evolution of Massive Protostars with High Accretion Rates”, T. Hosokawa and K. Omukai, *The Astrophysical Journal*, 691, 823-846 (2009) [被引用回数 39]
  21. “Protostar Formation in the Early Universe”, N. Yoshida, K. Omukai, and L. Hernquist, *Science*, 321, 669-671 (2008)[被引用回数 73]
  22. “Conditions for the Formation of First-Star Binaries”, M. N. Machida, K. Omukai, T. Matsumoto, and S. Inutsuka, *The Astrophysical Journal*, 677, 813-827 (2008) [被引用回数 17]
  23. “Very High Lorentz Factor Fireballs and Gamma-Ray Burst Spectra”, Kunihito Ioka, *Progress of Theoretical Physics*, 124, 667-710 (2010) [被引用回数 16]
  24. “A Gamma-Ray Burst/Pulsar for Cosmic Ray Positrons with a Dark Matter-Like Spectrum”, Kunihito Ioka, *Progress of Theoretical Physics*, 123, 743-755 (2010) [被引用回数 34]
  25. “Statistical Properties of Gamma-Ray Burst Polarization”, Kenji Toma, Takanori Sakamoto, Bing Zhang, Joanne E. Hill, Mark L. McConnell, Peter F. Bloser, Ryo Yamazaki, Kunihito Ioka, and Takashi Nakamura, *The Astrophysical Journal*, 698, 1042-1053 (2009) [被引用回数 14]
  26. “High-energy cosmic-ray nuclei from high- and low-luminosity gamma-ray bursts and implications for multimessenger astronomy”, Kohta Murase, Kunihito Ioka, Shigehiro Nagataki, and Takashi Nakamura, *Physical Review D*, 78, 023005 (2008) [被引用回数 38]
  27. “Closure Relations for e<sup>+/-</sup> Pair Signatures in Gamma-Ray Bursts”, Kohta Murase and Kunihito Ioka, *The Astrophysical Journal*, 676, 1123-1129 (2008) [被引用回数 17]
  28. “Probing the Efficiency of Electron-Proton Coupling in Relativistic Collisionless Shocks through the Radio Polarimetry of Gamma-Ray Burst Afterglows”, Kenji Toma, Kunihito Ioka, and Takashi Nakamura, *The Astrophysical Journal*, 673, L123-L126 (2007)[被引用回数 7]
  29. “Unstable GRB Photospheres and e<sup>+/-</sup> Annihilation Lines”, K. Ioka, K. Murase, K. Toma, S. Nagataki and T. Nakamura, *The Astrophysical Journal*, 670, L77-L80 (2007) [被引用回数 30]
  30. “On the Implications of Late Internal Dissipation for Shallow-Decay Afterglow Emission and Associated High-Energy Gamma-Ray Signals”, K. Murase, K. Toma, R. Yamazaki, & P. Meszaros, *The Astrophysical Journal*, 732, 77 (2011) [被引用回数 2]
  31. “Optical behavior of GRB 061121 around its X-ray shallow decay phase”, M. Uehara, R.

Yamazaki (4 番目), 他 9 名, *Astronomy & Astrophysics*, 526, A92 (2011)[被引用回数 0]

32. “High-energy emission as a test of the prior emission model for gamma-ray burst afterglows”, K. Murase, K. Toma, R. Yamazaki, S. Nagataki, and K. Ioka, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 402, L54-L58 (2010)[被引用回数 5]
33. “Statistical Properties of Gamma-Ray Burst Polarization”, K. Toma, T. Sakamoto, B. Zhang, J. E. Hill, M. L. McConnell, P. F. Bloser, R. Yamazaki, K. Ioka, and T. Nakamura, *The Astrophysical Journal*, 698, 1042-1053 (2009)[被引用回数 14]
34. “Prior Emission Model for X-ray Plateau Phase of Gamma-Ray Burst Afterglows”, R. Yamazaki, *The Astrophysical Journal Letters*, 690, L118-L121 (2009)[被引用回数 28]
35. “An Off-Axis Relativistic Jet Model for the Type Ic supernova SN 2007gr”, M. Xu, S. Nagataki, and Y.F. Huang, *Astrophysical Journal*, accepted (arXiv:110754) [被引用回数 0]
36. “Thermal Radiation from GRB Jets”, A. Mizuta, S. Nagataki, and J. Aoi, *The Astrophysical Journal* 732, 26 (2011) [被引用回数 12]
37. “Possible Effects of Pair Echos on Gamma-Ray Burst Afterglow Emission”, K. Murase, B. Zhang, K. Takahashi, and S. Nagataki, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 396, 1825-1832 (2009) [被引用回数 8]
38. “Detectability of Pair Echos from Gamma-Ray Bursts and Intergalactic Magnetic Fields”, K. Takahashi, K. Murase, K. Ichiki, S. Inoue, and S. Nagataki, *The Astrophysical Journal*, 687, L5-L8 (2008) [被引用回数 14]
39. “Probing Intergalactic Magnetic Fields in the GLAST Era through Pair Echo Emission from TeV Blazars”, K. Murase, K. Takahashi, S. Inoue, K. Ichiki, and S. Nagataki, *The Astrophysical Journal*, 686, L67-L70 (2008) [被引用回数 25]
40. “Extended Monopole Solution of the Blandford-Znajek Mechanism: Higher Order Terms for a Kerr Parameter”, K. Tanabe and S. Nagataki, *Physical Review D*, 78, 024004 (2008) [被引用回数 6]
41. “Effects of the Cosmic Infrared Background on Delayed High-Energy Emission from Gamma-Ray Bursts”, K. Murase, K., Asano, and S. Nagataki, *The Astrophysical Journal*, 671, 1886-1895 (2007) [被引用回数 20].

## 公募研究 (56 編中 14 編)

1. “Time-Resolved Spectral Variability of the Prompt Emission from GRB 070125 Observed with Suzaku/WAM”, Onda, K., Tashiro, M. S., Nakagawa, Y. E., Yamaoka, K., 他 11 名, (2010) *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol.62, No.3, pp.547—556 [被引用回数 0]
2. “Detection of High-Energy Gamma-Ray Emission during the X-ray Flaring Activity of GRB100728A,” Abdo, A. A. Mizuno, T. et al., (2011) *ApJL*, 734, L27 [被引用回数 0]
3. “Detection of a spectral cutoff in the extra hard component from GRB 090926A,” Ackermann, M. et al. (2011), *ApJ*, 729, 114 [被引用回数 11]
4. "Black Hole Transients and MAXI Nova Alert System", Negoro, H. et al. Proc. of "Astrophysics with All-Sky X-Ray Observations", p.60-65, [被引用回数 0]
5. ”Redshifted emission lines and radiative recombination continuum from the Wolf-Rayet binary Muscae: evidence for a triplet system?”, Sugawara, Y., Y. Tsuboi, and Maeda, Y., (2008) *Astronomy and Astrophysics*, 490, 259-264
6. “ANIR : Infrared-Optical Simultaneous Imager for miniTAO 1 m Telescope at an Altitude of 5640 m”, Motohara et al. (2010) *AIP Conf. Proc.*, 1279, 397 [被引用回数 0]

7. “Angular Energy Distribution of Collapsar-Jets” Akira Mizuta, & Miguel A. Aloy, (2009) The Astrophysical Journal, 699, 126, [被引用回数 20]
8. “Thermal Radiation from Gamma-ray Burst Jets” Mizuta, Akira, Shigehiro Nagataki, & Junichi Aoi, (2011) The Astrophysical Journal, 732, article id. 26, [被引用回数 12]
9. “Nebular Phase Observations of the Type Ib Supernova 2008D/X-ray Transient 080109: Side-viewed Bipolar Explosion”, M. Tanaka, T. Minezaki et al. (2009), The Astrophysical Journal, 700, 1680-1685 (被引用 18)
10. “Basic Performance of a Polarimeter for Gamma-Ray Bursts Using Segmented Scintillators”, Gunji S.; Toukairin N.; Tanaka Y.; et al. (2011), IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, Vol. 58, No.2 426-433
11. “Chemical Signature Indicating A Lack of Massive Stars in Dwarf Galaxies”, Tsujimoto, Takuji, The Astrophysical Journal, Volume 735, in press, [被引用回数 0]
12. Implications of a non-universal IMF from C, N, and O abundances in very metal-poor Galactic stars and damped Ly $\alpha$  absorbers, Tsujimoto, Takuji; Bekki, Kenji, Astronomy & Astrophysics, Volume 530, id.A78, [被引用回数 2]
13. “Long-term general relativistic simulation of binary neutron stars collapsing to a black hole” \*Kiuchi, K., Sekiguchi, Y., Shibata, M. & Taniguchi, K. (2010) Physical Review D, vol. 80, 064037 [被引用回数 36]
14. “Exploring Binary-Neutron-Star-Merger Scenario of Short-Gamma-Ray Burst by Gravitational Wave” Kiuchi, K., Sekiguchi, Y., Shibata, M. & Taniguchi, K. (2010), Physical Review Letter, vol. 104, 141101[被引用回数 9]

## (2) ホームページ

領域ホームページを <http://www.hp.phys.titech.ac.jp/grb/> に設置し、以下の内容を公開している。

- ・ 本領域の研究目標
- ・ 各計画研究の概要と目的
- ・ 研究組織と参加研究者一覧
- ・ 研究テーマの一般向け解説
  - ガンマ線バーストとは
  - 最遠の宇宙を求めて
  - 日本での GRB 研究
- ・ 学会、論文等での発表のリスト
- ・ 領域シンポジウム等のプログラムと発表スライド(一部は参加者限定)

このホームページにより、一般社会に対して、研究内容を公表するとともに、関連研究者間での研究に関わる情報の交換に利用

### (3) 公開発表について

#### 公開で行った本領域主催または共催の公開研究会、シンポジウム、国際研究会（8件）

- ・ 第一回領域シンポジウム「ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙」2008年1月21-23日  
東工大大岡山キャンパス、107人参加、50講演。
- ・ 第2回領域シンポジウム「ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙」2008年11月27-29日  
国立天文台三鷹キャンパス、講演数48、参加者85名
- ・ MAXI 国際ワークショップ “Astrophysics with All-Sky X-ray Observations” 2008年6月10-12日  
理化学研究所和光キャンパス、理研・JAXAと共催、参加者180名（うち外国人33名）、  
講演41件、ポスター42件。
- ・ Fermi 衛星公開シンポジウム “First Results from Fermi Gamma-Ray Space Telescope”  
東工大大岡山キャンパス、2009年3月7日、講演数15件、参加者80名、東工大物理グローバル  
COE「ナノサイエンスと量子物理学」と共催。
- ・ 2009年9月24-26日第3回領域シンポジウム「ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙」  
下呂温泉、講演数49、参加者66名
- ・ 2010年4月19-23日国際会議 “Deciphering the Ancient Universe with Gamma-Ray Burst”  
京都テルサ、159人参加（うち日本人は82名、外国人77名、16カ国）  
この会議には、200人を越える参加登録があったが、会議開始3日前に起きたアイスランドの火山の  
噴火のために約40名が参加をキャンセルした。それでも、活発な議論が行われ、参加者には好評。
- ・ 2011年11月30日～12月2日に第4回 MAXI 国際ワークショップ “The First Year of MAXI”  
青山学院大学(青山キャンパス)、理研、JAXA。青山学院大学とともに共催。参加者130名（うち外国  
人13カ国33名、講演36件、ポスター69件。
- ・ 2011年2月7-9日第4回領域シンポジウム「ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙」を開催（東工  
大、講演数46、参加者62名）。

#### 国内外の会議等での招待講演（84件）

N. Kawai: “The MITSuME Telescope in Japan”; Second Workshop on Robotic Autonomous  
Observatories (Torremolinos, June 5-10, 2011)

河合誠之: 「X線天文学の課題と戦略」; 宇宙線研究所共同利用研究会 「ガンマ線天文学 ~日本の  
戦略~」(東大宇宙線研究所 2010年11月16-17日)

N. Kawai: “GRBs as probes for the high-z Universe”; Cosmic Chemical Evolution Workshop (St  
Michaels, Maryland USA, June 2-4, 2010)

N. Kawai: “First light from MAXI on ISS”; 2009 The Fenimore Symposium on Gamma-Ray Bursts  
(Los Alamos, NM, USA, September 4, 2009)

N. Kawai: “Gamma-Ray Bursts - Observations and Physics”; 2009 International Conference on  
Laboratory Astrophysics (Dunhuang, China, July 16-22, 2009)

N. Kawai: “Gamma-Ray Bursts”; The 58th Fujihara Seminar – World Wide Network for Gravitational  
Wave Observation (Hayama, Japan, May 27-29, 2009).

N. Kawai: “Deciphering the Ancient Universe with Gamma-Ray Bursts”; The 7th Tour Symposium on  
Nuclear Physics and Astrophysics (Kobe, Japan, Nov 16-20, 2009).

河合誠之: 「Fermi衛星が見たパルサー」; 第9回高宇連研究会「宇宙ジェットの多様性と普遍性」;(愛  
媛大学、2009年3月16-18日)

N. Kawai: “Astrophysics with Transients”; nanoPHYS09 (Tokyo, Japan, February 23-25, 2009).

Yoshida, A.: “X-ray/gamma-ray Astrophysics” (review) "International Symposium on the Recent Progress of Ultra-high Energy Cosmic Ray Observation" December 10-12, 2010, Nagoya, Japan

Yamaoka, K.: “Suzaku observations of GRB prompt emissions and X-ray afterglows”; The Shoking Universe, 2009, Sep. 14-18, S. Servolo,

Yoshida, A.: “Suzaku Observations of Neutron Stars”; FRONTIERS OF SPACE ASTROPHYSICS GAMMA RAY BURSTS & NEUTRON STARS, March 30 – April 4, 2009, Cairo & Alexandria, Egypt

Yamaoka, K., Physics of Relativistic Flows: An observational view, 2009, Jun. 1-3, Stockholm  
Suzaku X-ray and gamma-ray observations of GRBs and SGRs

Ryo Tsutsui : “Gamma Ray Cosmology Project”: The Essential Cosmology for the Next Generation’ 2010 January Playa del Carmen Mexico

K. Omukai: “Low metallicity Star Formation”; ‘The First Stars and Galaxies’ 2010 March Austin USA

Ryo Yamazaki: “Prior Emission Model for the Plateau Phase in the X-ray Afterglow”, ‘The Shocking Universe’ 2009 June Venice Italy

S. Nagataki “Toward Understanding of GRB-Supernova Connection by General Relativistic MHD simulation” ‘4th Sakharov Conference on Physics 2009 May Moscow Russia

K. Nomoto : “Chemical Yields from supernova and intermediate-mass stars” ‘The Galaxy Disk in a Cosmological Context IAU Symp. 250 2008 June Copenhagen Denmark

D. Yonetoku : “Spectral Epeak-Luminosity -Origin of Dispersion and its Improvemen, Deciphering the Ancient Universe with GRB, April 19, 2010, Kyoto Japan

Ryo Tsutsui : “Cosmological constraints from calibrated Yonetoku and Amati relation imply the second parameter of Gamma Ray bursts”, ‘Gamma Ray Bursts 2008’ 2008 October Huntsville USA

Ryo Tsutsui “Redshift-dependent lag-luminosity relation in 565 BATSE gamma-ray bursts” ‘Gamma Ray Burst 2007’ 2007 November , Santa Fe USA

K. Nomoto : “The Cosmic Explosions: The Violent Supernovae” ; The Opening Ceremony of the International Year of Astronomy by United Nations Organization, UNESCO, & IAU UNESCO, Paris, France 2009, January 15-16

K. Nomoto : “The Connection between Gamma-Ray Bursts and Extremely Metal-Poor Stars as Nucleosynthetic Probes of the Early Universe” ; IAU Symposium No. 250 “ Massive Stars as Cosmic Engines” Kauai Island, Hawaii, USA 2007, December 9-14

K. Nomoto : “Chemical Yields from Supernovae and Hypernovae”; IAU Symposium No. 254” The Galaxy Disk in Cosmological Context” Copenhagen, Denmark 2008, June 9-13

K. Nomoto : “The First Stars - Type Ib Supernovae Connection”; IAU Symposium No. 255 “ Low-Metallicity Star Formation: From the First Stars to Dwarf Galaxies” Rapallo, Genova, Italy 2008, June 16-20

K. Nomoto : “Nucleosynthesis of the Elements in Faint Supernovae and Hypernovae”; IAU Symposium No. 265 “ Chemical Abundances in the Universe: Connecting First Stars to Planets” Rio de Janeiro, Brazil 2009, August 10-1

K. Nomoto : “Nucleosynthesis in Hypernovae and Faint Supernovae”; Workshop on “ The First Stars and Galaxies: Challenges for the Next Decade” University of Texas, Austin 2010 March 8 - 11

K. Nomoto : “Hypernovae and gamma-ray bursts”; 11th Symposium on “Nuclei in the Cosmos” Heidelberg, German 2010 July 19 - 23

K. Nomoto : “The evolution and explosion of mass-accreting Pop III stars”; Fireworks workshop

2011 Caltech, Pasadena, USA) 2011 February 22 - 25

- K. Nomoto : “Explosive Nucleosynthesis in Supernovae and Hypernovae”; 7th Tours Symposium on Nuclear Physics and Astrophysics 2009 Novemmer 17 - 20, Kobe,
- K. Nomoto : “Diversity of Supernovae and Its Relation to First Stars and GRBs”; .International Conference: Deciphering the Ancient Universe with Gamma-Ray Bursts 2010 April 19 - 23, Kyoto
- K. Omukai: “Low-metallicity star formation and Pop III-II transition”; Deciphering the Ancient Universe with Gamma-ray Bursts 京都テルサ, 4/20, 2010
- K. Omukai: “Low-metallicity star formation: the Pop III-II transition”; The First Stars and Galaxies: Challenges for the Next Decade Austin, Texas, USA, 3/9, 2010
- K. Omukai: “Low-metallicity star formation: the characteristic mass and upper mass limit”; IAU Symposium 255: “Low-metallicity Star Formation” Rapallo, Italy, 7/16, 2008
- K. Omukai: “Chemical Processes in the Early Star Formation”; Atomic and Molecular Physics in the Early Universe, ITAMP, Cambridge, MA, USA, 4/2, 2008
- K. Omukai: “Zero-metallicity Protostar Formation”; Star Formation, Then and Now UC Santa Barbara, USA, 8/13, 2007
- K. Omukai: “The formation of stars at very low metallicity”; First Stars IISanta Fe, USA, 7/16, 2007
- K. Omukai : “Radiative feedback from the first stars and formation of the second-generation stars”; HI Survival through Cosmic Times Abbazia di Spineto, Italy, 6/11, 2007
- K. Ioka: “TeV Electron and Helium for probing Galactic Accelerators”; Multi-Messenger Astronomy of Cosmic Rays, KIAA, Beijing, 4/11-14, 2011
- K. Ioka : “Gamma-Ray Burst (GRB) Science with LST”; CTA LST Workshop Meeting, Cosener's House, Abington (UK), 11/7, 2010
- K. Ioka : “Gravitational wave and high energy phenomena”; The 20th Workshop on General Relativity and Gravitation (JGRG20), YITP Kyoto Univ., 9/21-25, 2010
- K. Ioka : “Multi Messenger Astronomy”; Symposium on Scientific Utilization of JEM Kibo on International Space Station (ISS), Suzuki Umetaro Hall, Wako, RIKEN (Japan), 4/27-28, 2010
- K. Ioka : “Extreme Objects in the Universe”; Sokendai International Symposium 2009, 湘南国際村, 12/15-17, 2009
- K. Ioka: “Cosmic-Ray Positrons from Astrophysical Sources: GRBs, Pulsars and SNRs”; The Energetic Cosmos: from Suzaku to Astro-H, Otaru, 6/29-7/2, 2009
- K. Ioka: “Cosmic-Ray Positrons from Astrophysical Sources: GRBs, Pulsars and SNRs”; GRB Physics, KIAA, Peking University, Beijing (China), 6/15-19, 2009
- K. Ioka: “Cosmic-Ray Positrons from Astrophysical Sources: GRBs, Pulsars and SNRs”; Physics of Relativistic Flows: An observational view, Nordita, Stockholm (Sweden), 6/1-2, 2009
- K. Ioka: “Gamma-Ray Burst”; Italo-Japanese Mini Workshop, 筑波大学, 1/14-16, 2009
- K. Ioka: “Gamma-Ray Bursts & High Energy Astrophysic”; UK-Japan Frontiers of Science (FoS) Symposium, Shonan Village Center, Kanagawa, 10/4-6, 2008
- K. Ioka: “Supernova and GRB remnants and their GeV-TeV gamma-ray emission”;国際会議 TeV Particle Astrophysics 2008, Beijin (China), 9/24-28, 2008
- K. Ioka: “Unstable e<sup>+/-</sup> Photospheres and GRB Spectral Relations”; Nanjing GRB Conference, Nanjin (China), 6/23-27, 2008
- K. Ioka: “GRB remnants as TeV unidentified objects”; TeV Unidentified Sources Workshop, Penn State Univ. (USA), 6/4-5, 2008

- K. Ioka: “Jet Propagation in Pop III Progenitors”; Workshop on Population III Gamma-Ray Burst, IPMU, 11/15, 2010
- R. Yamazaki: “Cosmic-ray Acceleration at RCW 86”; 5th Korean Astrophysics Workshop on Shock Waves, Turbulence, and Particle Acceleration Pohang, Korea, 11/18-21, 2009
- R. Yamazaki: “Prior Emission Model for the Plateau Phase in the X-ray Afterglows”; “The Shocking Universe” (GRBs and High Energy Shock phenomena in the Universe) San Servolo Island, Venice, Italy, 9/14-18, 2009
- R. Yamazaki: “On the plateau phase of the X-ray afterglows”; “GRB Physics” in the summer of 2009 at Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics Peking University, Beijing, China, 5/4-6/19, 2009
- R. Yamazaki: “Recent progress on particle acceleration at supernova remnants”; American Physical Society Special Conference St. Luois, USA, 4/11-15, 2008
- R. Yamazaki: “Recent Progress on Theories of Particle Acceleration”; International Workshop on Advances in Cosmic Ray Science Waseda University, Japan, 3/17-19, 2008
- R. Yamazaki: “On the Energy Partition in Astrophysical Collisionless Shocks”; Japan-Korea Mini-Workshop 2007 on Laboratory, Space and Astrophysical Plasmas, Daejeon, Korea, 4/5-6, 2007,
- S. Nagataki: “Numerical Study of Propagation of UHECRs”, PACIFIC 2011: Symposium on Particle Astrophysics and Cosmology Including Fundamental Interactions, Moorea, French Polynesia September 8-13 (2011)
- S. Nagataki: “ Numerical Propagation of UHECRs: Spectrum, Arrival Direction, Composition” : Multi Messenger of Cosmic Rays, KIAA, Beijing, China April 11-14 (2011)
- S. Nagataki: “Ultra-High Energy Cosmic Rays and Neutrinos”, XIV Mexican School on Particles and Fields, Morelia, Mexico, November 4-12 (2010).
- S. Nagataki: “Gamma-Ray Burst Physics”: XIV Mexican School on Particles and Fields, Morelia, Mexico, November 4-12 (2010).
- S. Nagataki: “Gamma-Ray Burst Physics”, PCTP-Topical-Research-Program-2010 on From Quarks to the Cosmos: Forefront Problems at the Intersection of Astrophysics, Cosmology, Nuclear Physics and Particle Physics, Seoul, Korea, August 17-19 (2010).
- S. Nagataki: “Nonlinear Relativistic Jet Formation and Gamma-Ray bursts”, Frontiers of Nonlinear Physics physics IV, Nizhny Novgorod, Russia, July 13-20 (2010).
- S. Nagataki: “Numerical High-Energy Astrophysics”; Workshop on Circumstellar Interactions in Massive Binaries, Hokkaido, Japan March 17-18 (2010).
- S. Nagataki: “High Energy Neutrino Astronomy and Cosmology”; APCTP-focus program on Neutrino Physics and Astroparticle physics, Pohang, Korea, June 21-June 25 (2009).
- S. Nagataki: “Toward Understanding of Central Engine of Long GRB”; APCTP-focus program on Neutrino Physics and Astroparticle physics, Pohang, Korea, June 21-June 25 (2009).
- S. Nagataki: “A Key to Understand Supernova-GRB Connection: Explosive Nucleosynthesis” S.Nagataki APCTP-focus program on Neutrino Physics and Astroparticle physics, Pohang, Korea, June 21-June 25 (2009).
- S. Nagataki: “Toward Understanding GRB-Supernova Connection and Central Engine of Long GRB” S.Nagataki 4th International Sakharov Conference on Physics, Moscow, Russia, May 18-23 (2009)
- S. Nagataki: “High Energy Neutrino Astronomy and Cosmology”; KIAA Program on GRB Physics, Beijing, China, May 4-June 19 (2009).
- S. Nagataki: “Toward Understanding of Central Engine of Long GRB”; KIAA Program on GRB Physics, Beijing, China, May 4-June 19 (2009).



- S. Nagataki: “A Key to Understand Supernova-GRB Connection: Explosive Nucleosynthesis” KIAA Program on GRB Physics, Beijing, China, May 4-June 19 (2009).
- S. Nagataki: “ Numerical Simulations of the Central Engine of Long Gamma-Ray Bursts” ; Astrophysical Jet Workshop, Nagoya Univ. November 14 (2008)
- S. Nagataki: “High Energy Neutrino Astronomy”; International School of Cosmic Ray Astrophysics, Erice, Sicily, Italy, July 5-12 (2008)
- S. Nagataki: “Numerical Study on the Central Engine of Long GRBs”; YongPyong 2008 Astrophysics, YongPyong, Korea, February 25-27 (2008)
- 関口雄一郎: “ブラックホールをつくる –スーパーコンピュータによる数値相対論シミュレーション–” 第124回 NEC C&C システム SP 研究会, 2009年10月9日, 大阪大学吹田キャンパス
- 関口雄一郎: “数値相対論の展望” 宇宙磁気流体力学のフロンティア, 2009年11月16-18日, 京都大学基礎物理学研究所
- Sekiguchi, Y.: “Full GR Simulations with Microphysics”; Microphysics in Computational Relativistic Astrophysics: MICRA2009, 2009年8月24-28日, Niels Bohr International Academy, Copenhagen, Denmark
- Sekiguchi, Y.: “Stellar core collapse in general relativity”; Invited lecture @ 2009 International School on Numerical Relativity and Gravitation, 2009年12月7-11日, APCTP, Seoul, Korea
- 大野 雅功: 「GRB からの高エネルギーガンマ線観測」2010年8月ガンマ線バーストによるダークな宇宙の観測に向けたワークショップ 京都大学
- 大野 雅功: 「フェルミ衛星が捉えたガンマ線バーストからの高エネルギー放射」; 2010年3月天文学会春期年会 広島大学
- 大野 雅功: 「フェルミで見たガンマ線バースト」2009年9月物理学会秋期年会 甲南大学
- 大野 雅功: 「Review of GRB results with Suzaku」2009年4月 Frontiers of Space Astrophysics: Neutron Stars & Gamma-ray Bursts エジプト、アレキサンドリア
- 梅田秀之: “On the progenitors of GRBs”; Deciphering the Ancient Universe with Gamma-Ray Bursts, 2010年4月22日, 京都テルサ、京都 (招待講演)

#### (4) 国民との科学対話について

##### 一般向け講演・講義 (21 件)

河合誠之 「宇宙の一番星を探せ」2009年6月3日 大田区民大学講義  
参加者 20代から70代まで60人ほど。満足度は高い。

河合誠之 「宇宙の一番星を探せ (続)」2009年7月15日 大田区民大学フォローアップ講座  
参加者 20代から70代まで30人ほど。区民大学講義で好評だった講義を深く解説した。

河合誠之 「ガンマ線バースト: 巨大爆発で探る宇宙の果てとブラックホールの誕生」  
2010年7月15日 夢ナビライブ2010、高校生約80人

太田耕司 2007年度 第5回花山天体観望会 「星雲と星団」 講演  
アンケートはないが、小学生からお年寄りまで数十人

太田耕司 2008年度 県立奈良高等学校SSH 「生まれたての銀河を探して」 講演  
アンケートはないが、高校生約100人

太田耕司 2008年度 京大GCOE市民講座 「銀河の誕生と成長の謎にせまる」 講演

参加者中高生から80歳位まで340人 満足度は高い。アンケートは  
[http://www.scphys.kyoto-u.ac.jp/gcoe/Announcements/Public\\_Lecture/shimin2008/shimin2008\\_questionnaire.pdf](http://www.scphys.kyoto-u.ac.jp/gcoe/Announcements/Public_Lecture/shimin2008/shimin2008_questionnaire.pdf)

太田耕司 2009年度 滋賀県多賀教育委員会 「七夕の星、銀河系、銀河宇宙」 講演  
参加者 20代から70代まで 30人程 アンケート等はない

太田耕司 2009年度 京都府立洛東高等学校 「天の川と銀河」 講演  
参加者 高校生約80人 アンケート等はない

太田耕司 2009年度 京大 ELCAS 「銀河の誕生と成長に迫る」 講演  
参加者 高校生を中心に約80人 アンケート等はない

太田耕司 2010年度 NPO法人宇宙星空ネットワーク 「銀河の誕生と宇宙の一番星」 講演  
参加者 中高生からお年寄りまで 約80名 アンケートはない

太田耕司 2010年度 京都コンピューター学院 「宇宙の果ての銀河の姿とは？」 講演・実習  
参加者 小中学生と保護者40名程

太田耕司 2010年度 兵庫講座 「生まれたての銀河を探す」 講演  
社会人から定年後の人まで約90人 満足度高い

太田耕司 2010年度 京都府立西舞鶴高等学校 「科学的宇宙観の変遷」 講演  
高校生40人程

野本憲一 柏キャンパス一般公開 [講演]「超新星で探る宇宙の進化」  
日時:2010年10月30日(土) 11:00 - 12:30 場所:数物連携宇宙研究機構

井岡邦仁 招待講義「ガンマ線バーストとブラックホール」  
最新の天文学の普及をめざすワークショップ広島大学, 9/17, 2008

井岡邦仁 招待講義「ガンマ線バーストと高エネルギー宇宙物理」  
筑波大オープンコースウェア講義、筑波大学, 11/21, 2007

山崎了 「宇宙一の爆発現象:ガンマ線バースト」,  
私立大成高等学校1・2年生対象模擬授業 (2011年1月8日, 青山学院大学)

山崎了 「宇宙で見られる爆発現象」,  
広島大学オープンキャンパス (2009年8月7--8日, 広島大学)

山崎了 「ブラックホール誕生の瞬間:ガンマ線バースト」,  
広島大学公開講座 世界天文年企画 (2009年8月3日, 広島大学)

山崎了 「宇宙ジェットに迫る!」,  
高校生対象イベント「素粒子と宇宙・天文への招待」(2008年11月24日, 広島大学)

山崎了 「宇宙で見られる爆発現象」,  
広島大学オープンキャンパス (2008年8月7-8日, 広島大学)

## 記者発表等

2009年4月 人類が見たこれまでに最も遠い天体  
—岡山天体物理観測所188cm望遠鏡が捉えた131億光年かなたの大爆発—  
国立天文台 HPにも公開。主要新聞各社他

2010年7月 すばる望遠鏡 謎のダークガンマ線バーストの正体にせまる  
国立天文台 HP, 京都大学HP等でも公開、主要新聞各社、雑誌に掲載

日本天文学会 学会誌 天文月報 2011年4月 p.p. 193-199  
橋本哲也、太田耕司 すばる望遠鏡 謎のダークガンマ線バーストの正体にせまる

急展開する「ガンマ線バースト」のなぞ ～宇宙最大規模の爆発の正体に観測衛星がせまる  
Newton(ニュートン)2006/01/26発売号(3月号) 協力 河合誠之/野本憲一

ISASニュース2011年2月号(No.359)

宇宙科学最前線「MAXIが見たブラックホール連星」 河合 誠之

## 9. 研究組織と各研究項目の連携状況

総括班、計画研究、および公募研究の構成を以下に示す。

### 総括班

	氏名	所属	職	専門	役割分担
研究代表者	河合誠之	東京工業大学・理工学研究科	教授	宇宙物理学	領域・計画研究代表
研究分担者	太田耕司	京都大学・理学研究科	教授	銀河天文学	計画研究代表
	中村卓史	京都大学・理学研究科	教授	宇宙物理学	計画研究代表
研究協力者	長滝重博	京都大学基礎物理学研究所	准教授	高エネルギー天体物理学	国際会議組織委員長
	佐藤勝彦	自然科学研究機構	機構長	宇宙物理学	評価担当
	寺澤敏夫	東京大学・宇宙線研究所	教授	宇宙プラズマ	評価担当
	家正則	国立天文台	教授	天文学	評価担当
	渡部潤一	国立天文台	准教授	天文学	広報担当

### 計画研究A01爆発的X線・ $\gamma$ 線から探るガンマ線バーストの起源と環境

	氏名	所属	職	専門	役割分担
研究代表者	河合誠之	東京工業大学・理工学研究科	教授	宇宙物理学	研究統括・Fermiによる観測
研究分担者	吉田篤正	青山学院大学理工学部	教授	宇宙物理学	MAXIによる観測
	山岡和貴	青山学院大学理工学部	助教	X線天体物理学	X線 $\gamma$ 線検出器開発・すざくによる観測
	村上敏夫	金沢大学自然科学研究科	教授	宇宙物理学・X線天文学	すざくによる観測
	富田 洋	(独)宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所	開発員	X線天文学	MAXIの運用・観測
	藤本龍一	金沢大学自然科学研究科	准教授	X線天文学	X線カロリメータ開発
連携研究者	片岡 淳	早稲田大学・理工学研究所	准教授	X線 $\gamma$ 線天文学	X線・ $\gamma$ 線検出器開発
	中森健之	早稲田大学・理工学研究所	助教	宇宙物理学	検出器開発・Fermiの観測
	谷津陽一	東京工業大学理工学研究科	助教	宇宙物理学	X線・ $\gamma$ 線検出器開発
	浅野勝晃	東京工業大学理工学研究科	助教	高エネルギー天体物理学	X線・ $\gamma$ 線観測の解釈

### 計画研究A02ガンマ線バーストの光学・近赤外残光から読み解く太古の宇宙

	氏名	所属	職	専門	役割分担
研究代表者	太田耕司	京都大学・理学研究科	教授	銀河天文学	全体の総括
研究分担者	吉田道利	広島大学・宇宙科学センター	教授	宇宙物理学	かなた望遠鏡
	柳澤顕史	国立天文台	助教	赤外線天文学	岡山望遠鏡群
	山田 亨	東北大学・理学研究科	教授	銀河天文学	すばる観測装置群
	松原英雄	(独)宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所	教授	赤外線天文学	宇宙研1.3m赤外望遠鏡
	米徳大輔	金沢大学自然科学研究科	助教	宇宙物理学	宇宙研1.3m赤外望遠鏡
	服部 堯	国立天文台	RCUH職員	天文学	すばる観測装置群
連携研究者	戸谷友則	京都大学・理学研究科	准教授	宇宙物理学	理論解釈
	渡部潤一	国立天文台	准教授	太陽系天文学	石垣、明野望遠鏡
	青木賢太郎	国立天文台	RCUH職員	天文学	すばる観測装置群

計画研究A03 ガンマ線バーストの起源の理論的研究

	氏名	所属	職	専門	役割分担
研究代表者	中村卓史	京都大学・理学研究科	教授	宇宙物理学	全体の総括
研究分担者	野本憲一	東京大学・理学系研究科	教授	理論天体物理学	超新星爆発
	長滝重博	京都大学基礎物理学研究所	准教授	高エネルギー天体物理学	ジェット伝播
	大向一行	京都大学・理学研究科	准教授	天体形成理論	GRBの親星、母銀河
	井岡邦仁	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所	准教授	宇宙物理学	GRBと残光の放射
	山崎 了	青山学院大学理工学部	准教授	宇宙物理学	GRBと残光の放射

公募研究 高赤方偏移ガンマ線バーストに関する理論および観測的研究

計画研究を補完する観測手法や理論的観点をもつ公募研究11件(研究期間1年間)が平成20年度に実施された。

氏名	所属	研究課題名
田代 信	埼玉大学・理工学研究科	硬X線観測装置を用いたGRB初期放射のスペクトル変動の研究
水野 恒史	広島大学・理学研究科	可視・X線・ $\gamma$ 線同時観測で探る $\gamma$ 線バーストのジェット駆動メカニズム
根来 均	日本大学・理工学部	全天X線監視装置MAXIによるガンマ線バースト速報システムの開発
前田 良知	宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部	WR星の星風の観測によるGRB周辺環境の研究
佐藤 理江	宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部	GLAST衛星を用いた多波長同時観測によるガンマ線バースト形成機構の解明
本原顕太郎	東京大学・理学研究科	アタカマ1m望遠鏡によるガンマ線バースト可視赤外モニター
さこ 隆志	名古屋大学・太陽地球環境研究所	光学赤外観測による南天高赤方偏移GRBの探索
衣笠 健三	群馬天文台	小型自動望遠鏡によるガンマ線バーストの早期赤外測光観測
水田 晃	千葉大学・先進科学研究教育センター	ガンマ線バーストジェットのダイナミクスと中心エンジンの活動の相関
柴田 大	東京大学・総合文化研究科	回転する種族III星の重力崩壊によるガンマ線バースト源ブラックホールの形成
峰崎 岳夫	東京大学・理学研究科	可視近赤外観測に基づく極超新星の研究

さらに、平成21年度～22年度に実施される以下の公募研究9件が採択されている。うち、5件は、平成20年度に採択された研究者によるもので、そのテーマを発展させるものである。

氏名	所属	研究課題名
郡司 修一	山形大学・理学部	ガンマ線バースト用偏光度検出器の基礎開発
前田 良知	宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部	WR星の星風の観測によるGRB周辺環境の研究 II
本原顕太郎	東京大学・理学研究科	アタカマ1m望遠鏡によるガンマ線バースト可視赤外撮像分光観測
さこ 隆志	名古屋大学・太陽地球環境研究所	南天ガンマ線バースト残光探索による初期宇宙・高エネルギー宇宙の研究
川端 弘治	広島大学・理学系研究科	明るいガンマ線バースト初期残光の偏光分光測光同時モニター
水田 晃	千葉大学・先進科学研究教育センター	ガンマ線バーストジェットからの放射に関する理論的研究

茂山 俊和	東京大学・理学研究科	星の元素組成から探るガンマ線バースト母天体と矮小銀河の進化
峰崎 岳夫	東京大学・理学研究科	可視近赤外観測に基づく極超新星の研究
関口雄一郎	国立天文台	大質量星の重力崩壊に伴うブラックホール-ディスク系の形成とガンマ線バースト

### 領域内研究項目の連携のための活動

- ・ 発足時 2007 年 8 月 8 日に計画研究と総括班構成員、研究協力者による領域全体会議を実施。
- ・ 2008 年 1 月 21-23 日に東工大大岡山キャンパスにて第一回領域シンポジウム「ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙」を開催。講演領域外研究者や多数の大学院生を含む 107 人が参加し、50 講演を実施。これを機に国内での GRB 研究者の情報交換のためのメーリングリストを立ち上げ。また、同時に総括班会議を開催。
- ・ 領域ホームページを <http://www.hp.phys.titech.ac.jp/grb/> にて公開。
- ・ 平成 19 年度より、計画研究 A03(理論)班が中心となって、ガンマ線バースト関係の最新論文速報会を TV 会議システムを用いて毎週実施。公募研究を含む他の研究班のメンバーも参加し、理論と観測の連携も含む新しい研究テーマも生まれている。
- ・ その結果、「(8) 研究成果公表の状況」の項に記載した主な論文(査読あり)のうち、半分近い論文が二つ以上の研究班にまたがった著者を含むことに示されるように、領域全体を横断した研究が活発に行われている。
- ・ 2008 年 5 月 8 日に計画研究メンバー、総括班および全公募研究代表者を集めて領域全体会議を実施。それぞれの研究計画の発表と、当年度の国内シンポジウムなど今後の運営方針について討議。
- ・ 2008 年 11 月 27-29 日には領域外へもよびかけて第 2 回領域シンポジウムを開催(国立天文台三鷹キャンパス、講演数 48, 参加者 85 名)。
- ・ MAXI 国際ワークショップ “Astrophysics with All-Sky X-ray Observations”(理化学研究所和光キャンパス、2008 年 6 月 10-12 日)、Fermi 衛星公開シンポジウム “First Results from Fermi Gamma-Ray Space Telescope”(東工大大岡山キャンパス、2009 年 3 月 7 日)など、領域に関連する国際研究集会を共催した。これらの会議には、各計画研究班や、公募研究代表者など、多くの領域メンバーが参加し、その場を利用して、ガンマ線バースト研究の国際的なリーダーたちとの交流、情報交換、および協力関係を築くための小集会も行なわれた。
- ・ 2009 年 5 月 7 日に計画研究メンバー、総括班および全公募研究代表者を集めて領域全体会議を実施。それぞれの研究計画の発表と、当年度の国内シンポジウムなど今後の運営方針について討議。
- ・ 2009 年 9 月 24-26 日には領域外へもよびかけて第 3 回領域シンポジウムを開催(下呂温泉、講演数 49, 参加者 66 名)。
- ・ 2010 年 4 月 19-23 日に、京都にて国際会議 “Deciphering the Ancient Universe with Gamma-Ray Burst” を開催し、原則としてすべての計画研究メンバーと公募研究メンバーが参加して研究成果を発表した。この会議には、200 人を越える参加登録があったが、会議開始 3 日前に起きたアイスランドの火山の噴火のために約 40 名が参加をキャンセルした。それでも、16 カ国から 159 人が参加し(うち日本人は 82 名、外国人 77 名)、活発な議論が行われた。
- ・ 2011 年 11 月 30 日-12 月 2 日に第 4 回 MAXI 国際ワークショップ “The First Year of MAXI” を青山学院大学(青山キャンパス)で、理研、JAXA、青山学院大学とともに共催した。出席者は約 130 名(うち外国人 13 カ国 33 名)、講演 36 件、ポスター 69 件の発表があった。
- ・ 2011 年 2 月 7-9 日には領域外へもよびかけて第 4 回領域シンポジウムを開催(東工大、講演数 46, 参加者 62 名)。
- ・ その他、領域メンバーが研究成果発表、情報収集、および国際協力を進めるための旅費の支援を行った。

## 10. 研究費の使用状況

### 計画研究 A01「爆発的X線・ $\gamma$ 線から探るガンマ線バーストの起源と環境」

主な支出項目は、(1)支援研究員(PD)3名の給与、(2)衛星データ解析のためのコンピュータとデータ保存装置、(3)国際的連携観測の打合せのための海外旅費と研究発表のための国内外旅費、(4)観測装置開発のための物品費である。

GLAST衛星の打上の遅れを反映して、H19年度からH20年度440万円を繰り越して、主に解析コンピュータと旅費に使用した。打ち上げ後、Fermi  $\gamma$ 線宇宙望遠鏡 FGST と改名された。この協力チーム会議へのメンバー派遣、あるいは日本に共同研究者を招くために旅費を使用した。

観測装置開発のための、高額な備品としては、マイクロカロリメータ冷凍機用超伝導マグネットとその周辺機器(H19,H21, 計約720万円)、液体ヘリウムデュワー(H20, 約800万円)、CCD冷却装置(H20, 約250万円)、ターボ分子ポンプ(H20 約150万円)、各種電子回路モジュール(H20,H21 約640万円)がある。また、消耗品として、APD素子、LaBr<sub>3</sub>シンチレータ結晶等のX線 $\gamma$ 線検出器(H19,H21 計約1600万円)がある。

これらの支出によってほぼ予定通りの開発および観測研究を達成できたことから、研究費を有効に使用できたと判断できる。

### 計画研究 A02「ガンマ線バーストの光学・近赤外残光から読み解く太古の宇宙」

主な支出項目は、支援研究員(PD)3名の給与(毎年度約1500万円)と、可視と近赤外線での同時撮像観測による遠方ガンマ線バーストの検出及びその追跡観測のための諸観測装置強化のための設備と物品購入、観測装置の製作役務、光学設計費用などである。

主要物品としては、すばる可視分光撮像観測装置用新技術 CCD(約2000万円)、石垣望遠鏡用可視3色同時撮像カメラ(約550万円)、宇宙科学研究本部1.3m望遠鏡可視多色撮像化のための CCD(約500万円)、装置製作や光学設計役務を含むものとして、すばるに搭載する近赤外分光素子の開発、宇宙科学研究所1.3m望遠鏡及び岡山天体物理観測所91cm望遠鏡駆動高速化、観測装置のグレードアップ、望遠鏡整備などがある。その他に、研究推進・成果発表のための旅費、観測データ解析用の計算機、ソフトウェアなどを使用した。

これらの結果、ほとんどすべての装置が観測に供されており、観測成果を上げることもできたことから、研究費を有効に使用できたと判断できる。

### 計画研究 A03「ガンマ線バーストの起源の理論的研究」

初年度に日本各地に散らばった領域メンバーをつなぐTV会議システムを整備し、東工大、金沢大等の実験グループ、公募研究グループも含め最大9局が参加して毎週約2時間の新着論文速報会を行った。また、国際会議の参加者による報告と議論も行うようにした。初年度の2007年度には13回。2008、2009、2010年度にはそれぞれ37回、38回、39回開催した。祝日や盆休み以外はほとんど毎週おこなったことになる。1、2カ月に1回はテーマを絞りこんで4時間程度報告する月例会も開催した。この月例会は26回開催した。

・平成20年度から支援研究員を1名雇用し、本人の研究以外に、毎週のTV会議の世話人と発表された内容の整理をしてもらった。発表に使われたpower point fileは京大天体核研究室のホームページにアップロードされ、本特定領域の研究者に論文データベースとして活用された。

・そのほか、超新星爆発の数値シミュレーションのための計算機クラスターの購入(H20, H21)。研究補助者への謝金支給、国際・国内会議出席の旅費が主たる支出である。

研究経費の観点からは、もしTV会議ではなく研究者が集まる研究会形式で同じ活動をすれば、旅費に5000万円程度が必要であったので、TV会議によって大きな節約が出来たことになる。

## 11. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度

### 計画研究 A01「爆発的X線・ $\gamma$ 線から探るガンマ線バーストの起源と環境」

- ・ **MAXI、Fermi、および「すざく」の開発と運用** これらのミッションによるGRB検出・通報は、GCN(ガンマ線バースト連携ネットワーク)のメーリング・リストを通じて、全世界のGRB研究者に迅速に伝えられ、追跡観測に活用されている。また、MAXIは、GRBに限らず、X線連星などの突発増光の検出に威力を発揮し、Astronomers' Telegramという全世界規模の突発天体メーリングリストに情報を提供して、世界中の関連研究者に貢献している。FermiのGRB観測からは、GRBのGeV放射の性質が確立し、宇宙における高エネルギー粒子の加速機構に関して、大いに情報が得られた。これは、まだ明らかになっていない高エネルギー宇宙線の起源に関して示唆を与えるものである。また、高赤方偏移のGRBからのGeV  $\gamma$  線の観測により、赤外線宇宙背景放射強度に制限が得られ、初期宇宙の星・銀河形成に制限が得られることになった。さらに、 $\gamma$  線の到達時刻のエネルギー依存性から、ある種の量子重力理論に対する制限が得られた。
- ・ **GRB検出器の開発** 本研究により東工大で開発したAPD検出器とその読出し回路の技術を成熟させ、大学で開発中の超小型衛星TSUBAMEのGRB検出器として採用し、(準)搭載モデルの製作に至った。また、同じ技術は、JAXAで開発中のX線天文衛星ASTRO-Hに適用されており、現在、設計・製作が進行中である。青学大で開発したLaBr<sub>3</sub>GRB広帯域分光器は、宇宙ステーション「きぼう」船外プラットフォームの実験CALETのGRBモニターとして採用され、現在、搭載品の開発・製作が進められている。
- ・ **高分散X線分光観測用冷凍機の開発** 金沢大で開発した断熱消磁冷凍機の技術も、ASTRO-HのX線マイクロカロリメータの設計に生かされた。

### 計画研究 A02「ガンマ線バーストの光学・近赤外残光から読み解く太古の宇宙」

- ・ **小口径可視自動望遠鏡ネットワークの整備** GRBフォローアップ観測の稼働率は極めて優秀で、GRB連携メーリングリストGCN Circularへ頻繁に投稿しており、世界的にもよく知られていると考えられる。近赤外観測については研究期間の最終年度等での完成なので、今後の活躍が期待される。
- ・ **すばる望遠鏡の観測装置の増強** 遠方ガンマ線バーストの研究やダークガンマ線バーストの研究に寄与した。特にダークGRBが重元素組成の高い銀河でも起きることから、地球上の生命絶滅へのGRBの寄与の可能性など、広い学問領域にインパクトのある結果が得られた。さらに、GRBと直接関係ない恒星や銀河の観測にも本領域で増強された装置が活躍しており、光赤外天文学コミュニティ全般に貢献したと考えられる。
- ・ **GRB光赤外観測** ガンマ線バーストは、次世代の宇宙論研究の方法として認知されはじめており、暗黒物質や暗黒エネルギーといった、21世紀物理学の課題へのアプローチとして、今後素粒子物理にも貢献できるかもしれない。

### 計画研究 A03「ガンマ線バーストの起源の理論的研究」

GRBの起源に関する理論、さらにその議論の基礎となる星の誕生(星形成)と死(超新星)に関して大きな研究成果を上げたのは、項目6, 8に記述したとおりであり、周辺分野におよぶインパクトを与えた。

分担者の野本憲一は、ガンマ線バーストに関連した超新星爆発の研究で本計画研究に大きな寄与をしたが、超新星爆発の研究全般に関しても大きく貢献した(“2010年 IAP メダル”パリ天体物理学研究所(Institut d'Astrophysique de Paris = IAP)受賞課題「爆発する星とその親星」の研究の進展に対する貢献)。

本計画研究のテーマそのものについて、天文学会、物理学会でも大きな貢献をした。具体的にはその貢献を認められ、分担者に以下のような受章があった。

井岡邦仁：2008年度日本物理学会若手奨励賞 受賞課題「Off-axisガンマ線バーストの研究」

山崎了：2009年度日本天文学会研究奨励賞 課題「ガンマ線バーストの多様性に関する理論的研究」

また、他分野も含む学界全体でも大きな評価があり、以下のような受章があった。

大向一行：2011年度 文部科学大臣表彰 若手研究者賞 課題「宇宙初期の星形成過程の研究」



## 12. 研究計画に参画した若手研究者の状況

### 研究終了後、あるいは途中での若手研究者の動向

#### ・ 大学院生

- 民間企業(研究職・専門職)に就職: 5名
- 大学・研究機関等のポスドク:6名
- 大学の助教に就職:1名 (谷津陽一、東工大)

#### ・ ポスドク(本科研費によって雇用)の動向

- 大学の助教に就職: 2名
  - ◇ 中森健之 東工大→早稲田大学理工学術院先進理工学部助教(平成 22 年度)
  - ◇ 佐藤浩介 金沢大→JSPS 海外特別研究員(MIT)→東京理科大助教(平成 23 年度)
- 大学・研究機関等、別のポスドク職へ異動: 7名
  - ◇ 星野晶夫 金沢大→JSPS 特別研究員(RPD, 金沢大) (平成 23 年度)
  - ◇ 小谷太郎 青山学院大→早稲田大学理工学術院 次席研究員(平成 23 年度)
  - ◇ 橋本哲也 京都大→国立天文台 TMT 推進室研究員(平成 23 年度)
  - ◇ 東谷千比呂 東北大学→UC Riverside 校研究員(平成 22 年度)
  - ◇ 内一由夏 東北大学→JSPS 特別研究員(RPD, 東北大) (平成 23 年度)。
  - ◇ 黒田大介 国立天文台岡山観測所→同観測所大学間連携プログラム研究員(H23)
  - ◇ 仲田史明 国立天文台ハワイ観測所→ハワイ観測所サポート・アストロノマー。

#### ・ 助教(研究開始時)の動向

- 他機関の准教授に昇格: 4名
  - ◇ 片岡淳 東工大→早稲田大学理工学術院 准教授(平成 21年度)
  - ◇ 井岡邦仁 京大→高エネルギー研究所 准教授(平成 20 年度)
  - ◇ 山崎了 広島大→青山学院大学 准教授(平成 21 年度)
  - ◇ 大向一行 国立天文台→京都大学 准教授(平成 22 年度)
- 変りなし: 3名

### 研究期間中の若手研究者の受賞 (6件)

米徳大輔(金沢大助教)	2007年度	日本物理学会若手奨励賞
井岡邦仁(京大助教:受賞時)	2008年度	日本物理学会若手奨励賞
米徳大輔(金沢大助教)	2009年度	文部科学大臣表彰若手科学者賞
中森健之(東工大研究員:受賞時)	2009年度	日本物理学会若手奨励賞
山崎了(広島大助教:受賞時):	2009年度	日本天文学会研究奨励賞
大向一行(京大准教授):	2011年度	文部科学大臣表彰若手科学者賞

### 13. 総括班評価者による評価の状況

本特定領域研究では、その研究成果や各種活動を客観的に評価するために総括班に以下3名の評価担当連携研究者を置いた。

- ・ 佐藤勝彦（自然科学研究機構長、開始時は東京大学教授） 専門：宇宙論・天体物理学
- ・ 寺澤敏夫（東大宇宙線研教授、開始時は東工大教授） 専門：宇宙線物理学・天体プラズマ
- ・ 家正則（国立天文台教授） 専門：銀河天文学・光赤外天文学

評価者は、可能なかぎり毎年度初めの領域会議と毎年度後半の公開領域シンポジウムの全てに参加し、研究の内容、推進方法に関して助言してきた。

以下に評価者から得られた評を記載する。

#### 計画研究 A01

Fermi 宇宙  $\gamma$  線望遠鏡は打ち上げ後約1年を経て、多くの新知見を得ているが、本研究参加者の関わったものとして2008年9月16日に発生した高赤方偏移かつ高ローレンツ因子を持つガンマ線バースト(GRB)観測が特筆される。今後、このような GRB 観測データの蓄積により、宇宙における超高エネルギー現象、特に超高エネルギー粒子の起源などについての新たな展開がもたらされると期待できる。そして、全天 X 線監視装置 MAXI は予定より半年遅れではあるが、H21年7月に宇宙ステーションに搭載・設置され、順調な準備が進められたと評価する。また、将来の観測に向けたハードウェア開発も順調に進んでいると評価する。

#### 計画研究 A02

GRB 光学・近赤外線観測の装置整備、観測実施も順調に進んでいる。平成20年度に GRB の最遠記録は2回にわたって更新されたが(2008/9/13, 2009/4/23)、そのいずれの観測においても本計画参加者の寄与があったことは大いに評価される。特に、2009/4/23 の赤方偏移  $z=8.2$  の GRB 観測は、キューサー、銀河を抜いて、ついに GRB が宇宙最遠部の観測データを提供したという歴史的出来事であった。

#### 計画研究 A03

GRBによる太古の宇宙の解明がこの特定領域全体のテーマであるが、それに向けての理論的成果として、宇宙初期の大質量星の形成と進化について新しい知見が得られたことは評価できる。また、GRBの統計に関わる理論的研究も順調な進展を見せており、高 $z$ のGRBの観測データの蓄積と相まって、新しい展開が期待できる。