

平成23年 2月24日現在

機関番号：12601  
 研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19740126  
 研究課題名 (和文) 超新星光学監視による銀河星生成率の決定  
 研究課題名 (英文) Determination of Star Formation Rate by Monitoring Supernovae  
 研究代表者  
 浅岡 陽一 (ASAOKA YOICHI)  
 東京大学・宇宙線研究所・助教  
 研究者番号：40345054

研究成果の概要 (和文)：本研究は、全天監視高解像度望遠鏡 Ashra の性能を最大限に活用し近傍宇宙における重力崩壊型超新星発生頻度を測定することによって、天文学の分野における基礎物理量である星生成率を直接決定することを目的としている。2007年度から、観測地への検出器の設置・データ収集系・モニター系の開発を行い、広視野長期安定観測を開始した。2009年度末までで、実観測時間が計 2774 時間に到達している。実績として、93%の好天率と 99%以上の稼働率を達成しており、超新星探索に必須の長期安定観測が行えている。超新星探索解析に関しては、Ashra 光学観測の基本性能といえる限界等級の算出を行った。現在はそれを基に超新星探索システムと感度評価システムの構築を目指して解析を進めている。

研究成果の概要 (英文)：The aim of this research is to determine star formation rate by monitoring local core-collapse supernova rate. This aim can be achieved by taking full advantage of Ashra's unique capability. From fiscal year 2007, we deployed our detector units in the Ashra Mauna Loa site and developed data acquisition system and environment monitoring system. We started optical observation in 2008. As of the end of fiscal year 2009, accumulated observation time reached 2774 hours. As a summary of our observation, we achieved good weather rate of 93% and operation efficiency of 99%. This stable long term observation is mandatory for supernova search. As to supernova analysis, we developed limiting magnitude analysis at first since this is the basic of all optical analysis. Currently, we are working to develop supernova search system and sensitivity evaluation system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	0	1,600,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	480,000	3,680,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：超新星、Ashra、ニュートリノ、広角光学系、近傍宇宙

### 1. 研究開始当初の背景

銀河星生成率 (Galaxy Star Formation Rate; SFR) は、銀河の形成と進化を理解する上で最も重要な物理量であり、その決定は観測的宇宙論の最重要課題である。SFR の進化は、極 UV、極赤外における銀河輝度の測定により  $z=6$  程度まで測定されている [Hopkins & Beacom, astro-ph/0601463, ApJ in press]。  $z=1$  へと至る急激な進化の起点である局所宇宙での SFR の不定性が、 $z=3$  程度の超遠方の不定性と同程度に大きく、独立な測定が強く望まれる。

太陽の約 8 倍以上の質量を有する星はその最期に重力崩壊をおこす。崩壊エネルギーの 99% をニュートリノとして放出するこの型の超新星を重力崩壊型超新星 (CC SNe) と呼ぶ。寿命の短いこれら重量星の超新星発生頻度は SFR に直接従うため、CC SNe の頻度測定は SFR の独立な測定となる [Dahlen et al., ApJ 613 (2004) 189]。

遠方 ( $z>1$ ) 及び中距離 ( $z>0.1$ ) での超新星探索は大規模かつ詳細に行われているにも拘らず [Cappellaro et al., A&A 430 (2005) 83]、局所宇宙 ( $z<0.01$ ) での測定は、長年にわたる目視、写真データの再解析による結果 [Cappellaro et al., A&A 351 (1999) 459] 以来、アップデートされていない。このため、SFR の急激な進化の起点である  $z=0$  の値を CC SNe の測定によって直接的に決定するという重要な課題が残されている状況であった。

### 2. 研究の目的

全天監視高解像度望遠鏡 Ashra の性能を最大限に活用することにより、重力崩壊型超新星の発生頻度を測定し、近傍宇宙における銀河星生成率を決定する。

近傍宇宙 ( $z=0$ ) での超新星観測が停滞してしまっている理由は、近傍での観測に必要なとされる性能と、伝統的な望遠鏡の特徴がマッチしていないことが主な原因である。超遠方では小さな視野でも非常に大きな体積を探索できるのに対し、近傍では実際に大きな視野を観測しなければならない。遠方・近傍間で、視野と深さ (観測可能な限界等級) に対する要請のバランスが根本的に異なっているといえる。

全天監視高解像度望遠鏡 (Ashra) 実験は、広角高解像度望遠鏡群によりハワイの山頂付近にて全天観測を行い、超高エネルギー素粒子検出による天文学の創成を目指す実験計画である。集光型望遠鏡としては非常にユ

ニークな広視野・高解像度という Ashra 望遠鏡の特徴は、視野と深さのバランスという観点から近傍宇宙での超新星探索に対して最適である。光度曲線の極大時間が数日のオーダーとなる超新星探索においても、全天監視観測の優位性を存分に発揮できる。図 1 には、全天監視を達成した場合の Ashra による近傍銀河観測効率を示した。

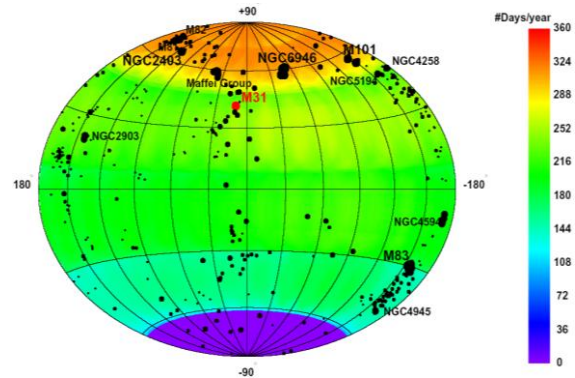


図 1: Ashra による近傍銀河観測効率。

### 3. 研究の方法

- (1) 全天監視: 本研究は、Ashra 実験 (研究代表者: 佐々木真人宇宙線研究所助教授) のユニークな光学性能を、超新星探索に活用する提案である。Ashra 検出器は計 28 の集光器を 12 の方向に向けて設置することで全天の 77% をカバーする監視観測を可能にする。前述の研究目的を達成するためにまず重要なことは、観測サイトにおける建設作業を完成し、全天監視に向けて集光器を設置調整していくことである。2006 年当時の Ashra 観測サイトの写真を図 2 に示す。
- (2) 長期安定観測: 研究目的に到達するための次の試金石は長期安定観測を継続することである。高効率の定常観測を実現するためには、光学観測用のデータ収集系を開発・運用するだけでなく、検出器の状態や天候をモニターするスローコントロールシステムの設計・設置とその安定運用が鍵となる。
- (3) 解析手法の開発: Ashra 実験の光学観測では、4 秒間露光された直径  $42^\circ$  の超広視野の星像が、6 秒おきに取得される。光学観測の解析においては、まず各画像から限界等級を得るための解析プログ



図 2: 2006 年当初における、Ashra マウナロア観測地の様子。

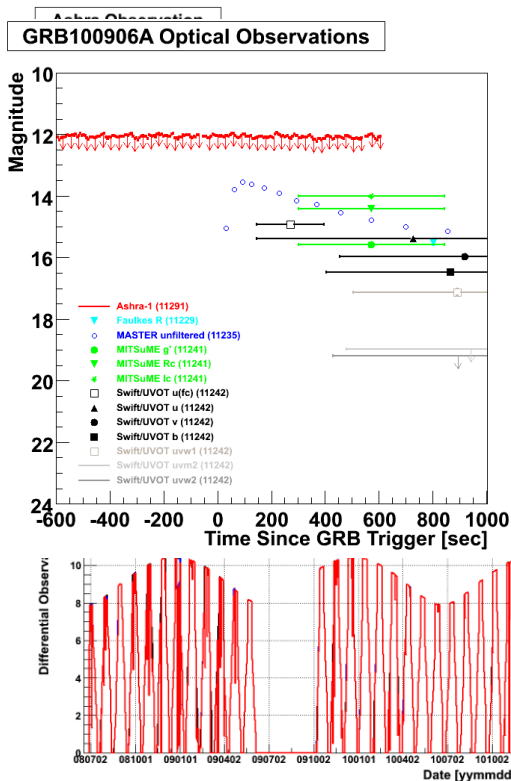
ラムを作成し、望遠鏡の感度を理解する必要がある。その上で、超新星探索解析においては、高感度な探索システムとその感度評価システムを開発していくことが必要となる。探索システムは、1ヶ月程度の時間スケールにて増光が認められる突発天体を無バイアスで探索するためのシステムであり、感度評価システムは探索システムの発見能力を実画像に人口超新星を加えることで評価し、探索結果から超新星発生頻度を得るためのシステムとなる。

#### 4. 研究成果

- (1) 全天監視: 2007 年度は主に全天監視に向けた観測サイトでの建設作業を行った。まず、全集光器用の基礎ブロックの設置、格納庫の建設を集中的に行った。その際、大量生産による効率化と共に品質管理を重視し、今後の物理観測に十分耐える高精度の建設作業を完了させた。次に、電源ラインとイーサーネットラインの敷設を行った。電磁シールド・紫外線保護、及び防塵・防水を考慮して金属パイプを用意し、その中に電源ライン、イーサーネットラインを這わせた。観測の環境がシビアなため、これまで誘導雷による信号ラインへの被害があったが、これらの処置によりそれらの被害を予防することが可能となり、長期安定観測に必須のインフラを確保することが出来た。その後、光学系インストール、光電撮像系インストール手順の工程化を行い、多数の集光器の調整が精度よく行えるように手順と確認事項を明確にした。特に、光電撮像系については、非常に精密なシステムであり、手法の確立が難しかったが、調整・移動の間での精度確認を慎重に行うことで、方法を確立した。図 3 に現在の観測地の様子を示す。全天化に向けた光学系のインストール作業を進めているところである。

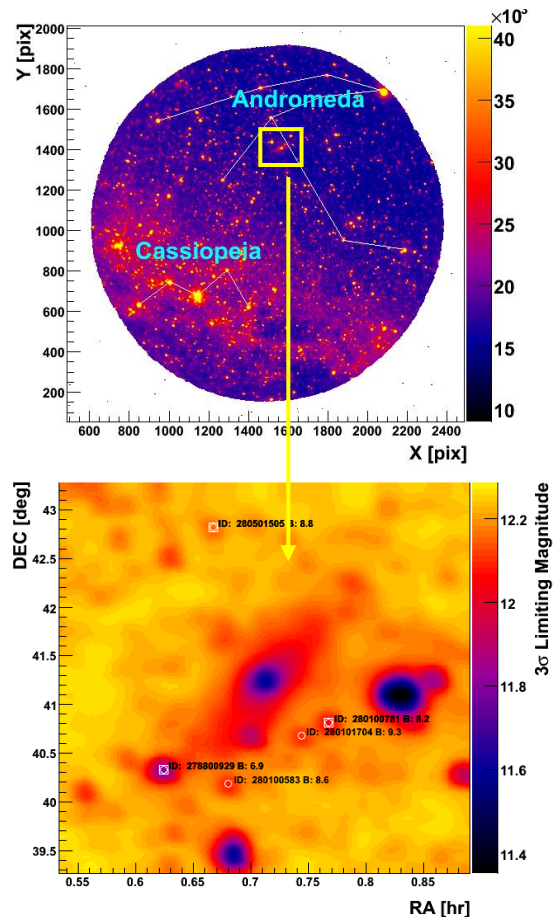


- (2) 長期安定観測: 2008 年度にはまず、観測サイトであるマウナロアにて、光学観測用のデータ収集系、天候モニター、雨センサー、雲モニター、温湿度計、シャッターコントロール、高電圧コントロール、衛星ネットワーク等から構成される、スローコントロールシステムの設置調整を行った。その後、星像の連続撮像システムの開発、設置及び評価を行い、2008 年 6 月末より Ashra 光学観測を開始した。2010 年 12 月までで、実観測時間が計 3530 時間に到達した。実績として、94%の好天率と 99%以上の稼働率を達成しており、マウナロアサイトの優位性及び観測の安定性が証明されているといえる。昼も含めた全時間に対する観測時間の割合 (duty cycle) は、19%に達している。通常良くて 10%程度しか期待できないところが、倍近い値が得られている。これらの高い稼働率は、スローコントロールシステムの長期運用に支えられたものであり、我々の構築した DAQ システム、スローコントロールシステムの安定性を示しているといえる。図 4 に観測実績を示す。図 4(上)に示したとおり、順調に積算観測時間が伸びていっている様子が見て取れる。また、図 4(下)には微分観測時間を示した。高効率で観測が行えていることがわかる。
- (3) 解析手法の開発: まずは Ashra 光学観測の基礎解析として、限界等級の算出スキームを開発した。この部分は GRB 光学閃光観測とも共通であり、2008 年 12 月 3 日に Ashra 望遠鏡視野内で発生した GRB081203A に関しては、GRB トリガーの前後 300 秒について、われわれの観測から得られた限界等級を GCN に報告している。固定視野を常時観測する監視観測ならではの結果であり、超新星監視観測とも通じる突発天体探索である。さらに、2010 年 9 月 6 日には、GRB100906A の GRB トリガー時刻を視野に捉えた。本 GRB に



図：5 GRB100906A に伴う即時光学閃光放射の探索結果。GRB トリガー前後角 10 分にわたり、約 12 等の限界等級を与えた。

対しても限界等級を 11.4 等に報告している (図 6 参照)。Ashra の光学観測は明るく 6 等星の近傍で発生しており、限界等級算出の際には星の差し引き手法開発を必要とした。この手法は、銀河の中で発生する超新星爆発を精度良く探索する際にも鍵となるテクニックであるといえる。超新星探索の解析としては、解析手法開発に最適なアンドロメダ銀河を用いて、限界等級評価や、画像重ね合わせ手法の開発を行った。図 6 に Ashra 望遠鏡での取得画像例とアンドロメダ銀河領域に拡大図を示し、限界等級解析の結果を示す。現在は、日ごとに異なる夜光バックグラウンドの差し引き方法や、超広視野ゆへの画像ゆがみの補正、解像度の補正等を一つ一つ実データを基に検討し、最適な方法を探っている。特に、Ashra 望遠鏡では解像度と集光力のバランスに独自性があるため、他の望遠鏡に比べて夜光成分の統計量が大きく、位置同定や輝度補正に非常に高い精度が要求される。この精度を段階的に達成するための方法の開発を行っている。これらの基礎解析結果に基づいて、超新星探索解析システムと感度評価システムを開発し、順調に蓄積されつつある観測データに適用して超新星発生頻度を求めることが今後の展望である。



図：6 (上)Ashra 取得画像例 (下) アンドロメダ銀河領域の限界等級算出例

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Y. Asaoka et al. (co-authors 12),  
GRB100906A: Ashra-1 observation of  
early optical emission, GCN Circular,  
No. 11291, 2010 [査読無].
- ② S. Ogawa, Y. Asaoka (4 番目) et al.  
(co-authors 20), Ashra Optical  
Transient Observation, 31th Intl.  
Cosmic Ray Conf. (Lodz), ID1410, 2009  
[査読無].
- ③ 浅岡陽一, 佐々木真人, 素粒子と閃光を  
見張る望遠鏡 Ashra, 天文学会誌, 2009  
年 2 号, 2009
- ④ Y. Aita, Y. Asaoka, T. Chonan, Y. Higashi,  
K. Noda, and M. Sasaki, Y. Morimoto,  
S. Ogawa, J. Learned, R. Fox,  
GRB081203A: Ashra-1 observation of  
early optical and VHEneutrino emission,  
GCN Circular, No. 8632, 2008 [査読無].

[学会発表] (計 5 件)

- ① 浅岡陽一, 他 Ashra 共同研究者, 全天  
高精度素粒子望遠鏡計画 Ashra 観測、平成  
22 年度共同利用研究発表会、東京大学  
宇宙線研究所, 2010 年 12 月 18 日
- ② 浅岡陽一, 他 Ashra 共同研究者, Ashra  
実験, 第 3 回次世代光センサーに関する  
ワークショップ, 名古屋大学, 2010 年 12  
月 17 日
- ③ 浅岡陽一, 他 Ashra 共同研究者, Ashra  
観測報告, 宇宙線研セミナー, 東京大学  
宇宙線研究所, 2009 年 8 月 28 日
- ④ 浅岡陽一, 他、Ashra 共同研究者, Ashra  
による重力崩壊型超新星観測, 重力崩壊  
型超新星と高エネルギー天文学, 小柴ホ  
ール, 2009 年 2 月 3 日
- ⑤ 浅岡陽一, 他、Ashra 共同研究者, マウ  
ナロア観測地現状報告, 日本物理学会,  
山形大学, 2008 年 9 月

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]

Ashra 実験ホームページ URL:

<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~ashra/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

浅岡 陽一 (ASAOKA YOICHI)  
東京大学・宇宙線研究所・助教  
研究者番号 : 40345054

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

佐々木 真人 (SASAKI MAKOTO)  
東京大学・宇宙線研究所・准教授  
研究者番号 : 40242094