

ぐんま天文台150cm望遠鏡搭載観測機器と それによる観測

高橋 英則¹⁾・ぐんま天文台150cm望遠鏡ワーキンググループ¹⁾

¹⁾県立ぐんま天文台

Scientific Instruments with Gunma Astronomical Observatory 150cm Reflector and Its Observational Review

Hidenori TAKAHASHI¹⁾, Gunma Astronomical Observatory 150cm Working Group¹⁾

Abstract

Gunma Astronomical Observatory (GAO), which is located about 120km northwest of Tokyo, is not operated only for public education of general people but also for astronomical observation. We have some advantages for scientific research; (1) multiple telescopes; 150cm reflector, 65cm telescope, 25-30cm size small telescopes, and customized telescope unit for gamma-ray burst object (GETS), (2) multiple instruments of 150cm reflector; optical high dispersion echelle spectrograph (GAOES), near infrared camera and spectrograph (GIRCS), and low resolution spectrograph and imager for optical wavelength (GLOWS), and (3) having time flexibility of urgent or long term observations. Making use of above advantages, we make various observations as follows in addition to nominal observation programs; for example, follow-up observations of transient objects, cooperated observation with satellites including campaign, cooperation with other institutions, educational use for students or young astronomers from overseas. The observation object extends to many topics such as GRBs, SNe, Novae, AGB, Variable, Open cluster, Star forming region, WR, and etc...

Key Words: Gunma Astronomical Observatory, Optical - Infrared, Imaging - Spectroscopy

1 150cm光学赤外線望遠鏡

150cm光学赤外望遠鏡¹⁾は、直径11mのドームに納められた経緯台式の反射望遠鏡で、ぐんま天文台の主力望遠鏡である。主鏡の直径は160cm、有効口径は150cmであり、兵庫県立西はりま天文台の200cmなゆた望遠鏡、国立天文台岡山天体物理観測所の188cm望遠鏡に次ぎ、国内で第3位の大きさとなっている。最新の天文学研究に対応した強力な望遠鏡でありながら、(公開) 観望用の接眼部を持ち、一般の見学者が直接天体を観察することも可能である。直接目で観察できる天体望遠鏡としては西はりま天文台の200cm望遠鏡と並び世界最大級である。可視高分散分光器や赤外線観測装置などの最先端の観測装置が設置されており、これらを用いることによって比較的明るい天体の観測では超大型望遠鏡と遜色のない精度の高い観測データを取得することが可能である。

天文観測機器として、現在4つの装置が各焦点に設置されており、第3鏡の回転および収納のみで、異なる観測装置での観測が可能となっている。(ナスミス

第1焦点：観望鏡、ナスミス 第2焦点：可視高分散分光装置、カセグレン焦点：近赤外線カメラ、ベントカセグレン 第1焦点：可視CCDカメラ、ベントカセグレン 第2焦点：可視低分散分光撮像装置)

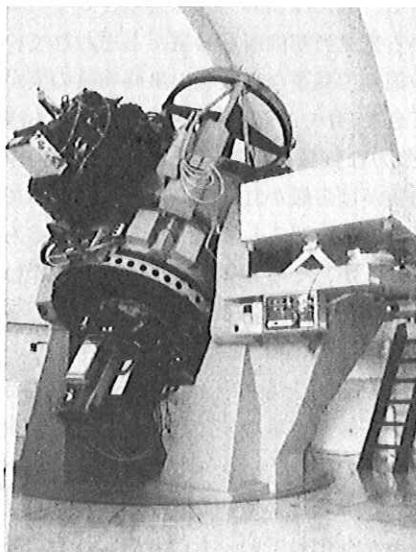


図1：150cm反射望遠鏡と各装置

ぐんま天文台 150cm 望遠鏡および搭載観測装置とそれを用いた観測

表 1 150cm 望遠鏡諸元

光学方式	リッチ・クレチアン式反射望遠鏡
主鏡直径	160 cm
有効口径	150 cm
焦点距離	1830 cm (F/12.2)
ハルトマン定数	0.3 arcsec
架台	計算機制御経緯台式
指向精度	3.0 arcsec (rms)
追尾精度	0.7 arcsec (rms) (15分間)
ドーム径	11 m
設置	1999年3月
製作	三菱電機

2 搭載観測機器

2-1 可視高分散分光器

ナスミス焦点の一つに設置されており、GAOES (Gunma Astronomical Observatory Echelle Spectrograph) と名付けられた可視域での高分散分光器である²⁾。波長 360 ~ 1,000 nm の可視光に対して 100,000 度までの波長分解能で分光観測を行うことが可能である。高分散のエシェル回折格子と 4096 × 2048 画素の超大型 CCD 検出器を用いることによって、次のような特徴を持つ。

- (1) 一定の広い波長域の天体スペクトルを一回の露出によって取得できる。
- (2) 高い波長分解能が得られる。
- (3) 極低雜音での観測が可能で、感度的に観測効率がよい。

光学系には損失が少なく、かつ極めて収差の少ないレンズ系が採用されている。また、光学特性を安定させ精度を保つために、光学系全体は大型の真空容器に納められており、装置内の減圧が可能となっている。装置の安定性は運用にかかる手間を最小限にするためにも有効であり、観測研究以外にも様々な業務を行つ

ていている公開天文台での運用にも適したものとなっている。国立天文台岡山天体物理観測所の188cm望遠鏡に設置されたHIDESと並び、国内で最大の波長分解能、精度、効率を実現するに至っており、日本ののみならず国際的な天文学研究においても極めて重要な観測装置としての位置を占めるようになっている。

表 2 高分散分光器 (GAOES) の諸元

波長域	360~1000 nm
波長分解能	70,000 (スリット 1.0")、100,000 (スリット 0.6")
スリット長	8.0" (720 μm)
検出器	EEV CCD44-82 2048×4096 画素 (1画素 15 μm×15 μm)
読み出し回路	MFront2 + Messia-V (読み出しノイズ 3e- 以下)
冷却方式	ヘリウム循環冷凍機
方式	セミリトロウ
コリメータ	レンズ方式
カメラ	レンズ方式
エシェル回折格子	R = 2.8, 31.6 gr/mm, ブレーズ角 71°
クロスディスパー ザ	(赤) 250 gr/mm, ブレーズ 600 nm, 4.5° (青) 400 gr/mm, ブレーズ 415 nm, 4.8°
限界等級	10等 (600nm付近) S/N~100, 120分露出
製作	ジェネシア

2-3 可視CCDカメラおよび低分散分光撮像装置

ベントカセグレン焦点には、可視域の撮像および分光装置が設置されている。ベントカセグレン第1焦点には、1024 × 1024 画素の液体窒素冷却型 CCD 検出器が設置されており、10' × 10' の広い視野に対して非常に高い感度での撮像を行うことが可能となっている。また、ベントカセグレン第2焦点には、GLOWS (Gunma LOW resolution Spectrograph and imager) と名付けられた低分散の分光観測機能を備えた撮像装置が設置されており、望遠鏡の優れた指向性能と相俟つて超新星などの突発天体の同定観測にも極めて優れた能力を発揮するようになっている³⁾。電子冷却型 CCD が導入されており、常時冷却状態が維持されている。その結果、現在では突発天体など速報受信直後、速やかに観測を始めることができるようになっている。これらの装置は、公開用の資料画像の取得の他、大学

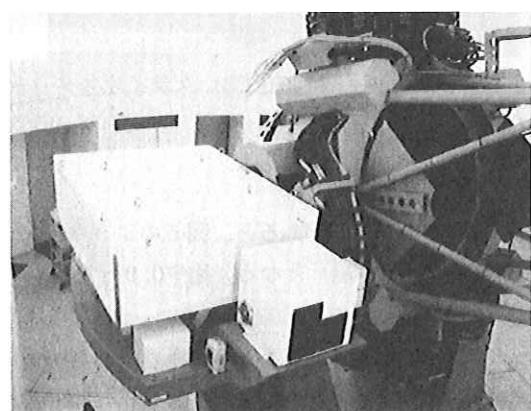


図 2 : 高分散分光器 (GAOES)

高橋英則

生の学部教育などの形で教育普及活動にも利用されている。

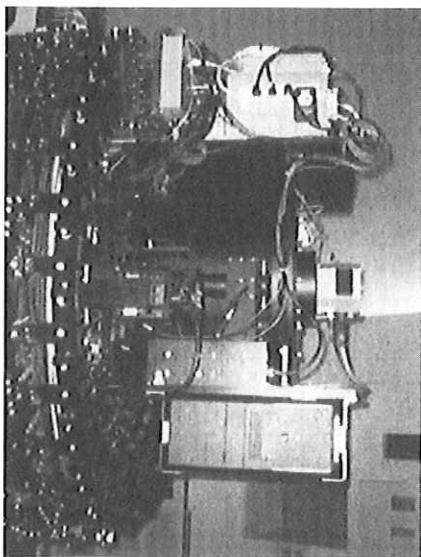


図3：低分散分光撮像装置（GLOWS）外観

表3 可視撮像装置（ペントカセグレン第1焦点）

検出器	SITe 1024×1024 画素
冷却方式	液体窒素冷却
視野	10.0'×10.0' (0.6"/pixel)
フィルター	<i>U, B, V, R, I, etc.</i>
製作	浜松ホトニクス

表5 可視低分散分光撮像装置 GLOWS（ペントカセグレン第2焦点）

検出器	Andor DW432 (e2v CCD55-30 1250×1152 画素)
冷却方式	3段ペルチエ冷却
視野	10.0'×10.0' (0.6"/pixel)
フィルター	<i>B, V, R, I, etc.</i>
分光モード	スリット + グリズム (分解能 ~ 300~500)
分光波長域	420~800 nm
製作	ジェネシア

2-2 近赤外線カメラ

150cm望遠鏡のカセグレン焦点に設置されている波長 $1.1\text{ }\mu\text{m}$ から $2.5\text{ }\mu\text{m}$ の近赤外線を検出する観測装置GIRCS (Gunma InfraRed Camera & Spectrograph)である⁴⁾。HAWAII 1024×1024 画素 HgCdTe アレイ検出器を用いて $6.8'\times6.8'$ の視野を $0.4''/\text{pixel}$ のスケールで撮像することができる。カメラモードでは *J, H, K, Ks, K'* の広帯域フィルター、[FeII], H₂ 1-0

S(1), Br γ 、K連続光、CIVなどの狭帯域フィルターが内装されており、様々な赤外線イメージを得ることができる。

一方、グリズムを用いた分光モードも用意されており、*J, H, K* の各バンドにおいて分解能1,000程度の分光観測も可能となっている。赤外観測装置は、常に冷却が維持されており、広範且つ迅速な研究観測を行うことができる。

表5 赤外線観測装置

検出器	HAWAII (HgCdTe) 1024×1024 画素
冷却方式	ヘリウム循環冷凍機
視野	$6.8'\times6.8'$ ($0.4''/\text{pixel}$)
フィルター	<i>J, H, K, Ks, K'</i> (広帯域) [FeII], H ₂ 1-0 S(1), Br γ 、K連続光、CIV (狭帯域)
限界等級 (露出9分, S/N=10)	17.7等 (<i>J</i>), 16.9等 (<i>H</i>), 16.3等 (<i>Ks</i>)
分光モード	スリット+グリズム (分解能~1,000)
製作	インフラレッド・ラボラトリーズ (アリゾナ)

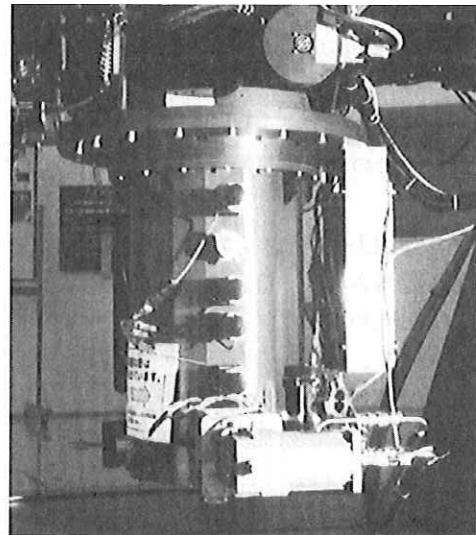


図4：近赤外線カメラ（GIRCS） クライオスタッフ

2-4 総合観測性能

これら観測装置をまとめると、図5のような総合性能 (検出限界、分解能)となる。途中 $0.9\sim1.1\text{ }\mu\text{m}$ のブランクはあるものの、 3600\AA から $2.3\text{ }\mu\text{m}$ まで複数のフィルターで撮像を行うことができる。また分光機能も充実しており、同波長域が波長分解能数100~1000程度で分光観測が可能である。可視においては最高

ぐんま天文台 150cm 望遠鏡および搭載観測装置とそれを用いた観測

100,000の高分散分光が実現できる。

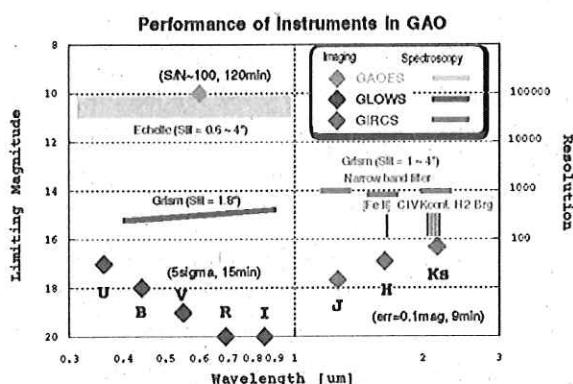


図5：150cm望遠鏡搭載全装置の性能

3 各装置による観測

ぐんま天文台は公共天文台であり、毎週末には一般観望会が、平日夜にも団体利用があり、150cm望遠鏡も使用される。しかしそれ以外の時間帯は上記で述べたような多様な観測モードにより、多くの観測も進められている。国立天文台の望遠鏡のような共同利用は行っていないため、突発天体や長期モニター観測などフレキシブルな運用が可能となっている。以下に、各装置での代表的な観測例をあげる。

3-1 GAOESによる観測

国内有数の高分散分光装置であるGAOESは、その分高性能と望遠鏡運用のフレキシビリティを活かして、ぐんま天文台の主力観測装置として多様な観測を行っている。この装置を用いた重点的観測として、AGBにおける炭素星の形成と進化、食連星の時間変化、晚期型巨星の質量放出、金属欠乏星の化学組成、RV Tau型星の物質進化、などの研究が進められている。

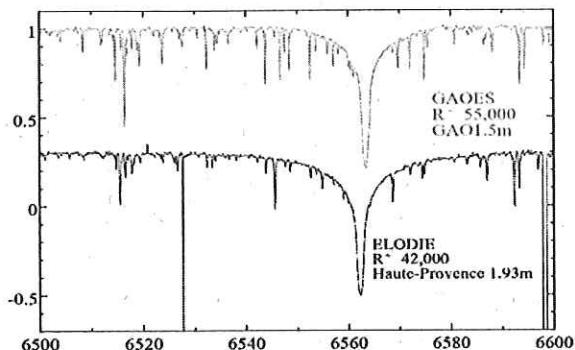


図6： α CMi の高分散分光スペクトル。
Haute-Provence 1.93m 望遠鏡/ELODIE と比較しても遜色ない性能であることがわかる。

以下にRV Tau型変光星U Monのスペクトルを示す。変光星の研究では詳細な光度曲線を描くことが重要になるが、それに加えて、このスペクトルから恒星大気の詳細な物理状態も議論することが可能である。RV Tau型星では金属欠乏が一般的に見られるが、その原因は諸説あり、また確定には至っていない⁵⁾。これを解明するには、詳細スペクトルの長期的時間変化が重要な鍵となる。

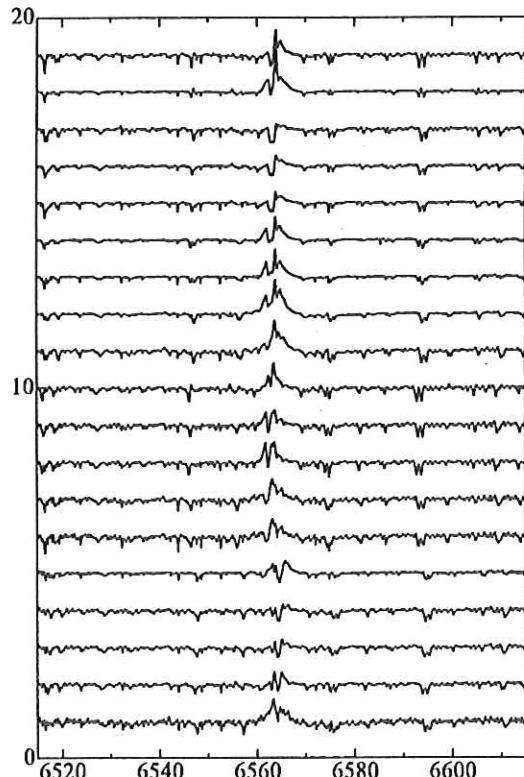


図7：U Monのスペクトルの時間変化（2008年1月30日から2009年4月8日まで）。ラインスペクトルの変化も見てとれる。

3-2 GLOWSによる観測

GLOWSでは、その特徴である撮像と分光を行うことができる機能を用いて、突発天体の即時観測を重点的に行っている。特に、新星、超新星、GRBについて、分光観測によるタイプの同定にその威力を發揮している。

最新の代表的な例として、SN2009dcの観測例を示す。国内外の多くの望遠鏡がこの天体を観測した結果、この超新星は太陽の約80億倍の明るさを放つ、史上最も明るいIa型超新星であること、さらに、その正体がチャンドラセカール質量を越えた白色矮星の爆発であることが判明した⁶⁾。ぐんま天文台では、GLOWSによる

分光観測でCII吸収線が有意に検出され（図9）、放出物に大量の炭素があることがわかった。これは、他のIa型超新星にはあまり見られない傾向であり、爆発をした白色矮星が非常に大きかったことを示唆する結果となっている。



図8：SN2009dcのV,R,I-band合成画像

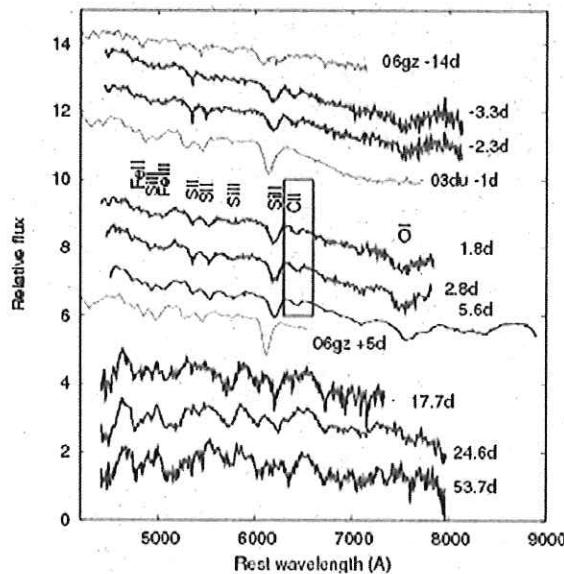


図9：SN2009dcのスペクトル。CII吸収線が顕著に検出されている。

3-2 GIRCSによる観測

ぐんま天文台には前述の可視の分光、撮像装置があり、それらと波長横断的に相補的な役割を果たすのがGIRCSである。GLOWS同様、撮像と分光両方の機能を持つ。サイトは赤外観測の条件として必ずしも恵ま

れているとは言えないが、観測モードや対象天体を絞ることで、有用なデータを取得することが可能である。ここでは一例として、大質量星形成領域に存在するWolf-Rayet星の探索についての研究に触れる。

大質量星は、そのエネルギーの大きさから銀河のエネルギー収支や星間物質に非常に大きな影響力を持つ。また、そこからの質量放出は銀河の化学進化やダストの形成などにも重要な影響を与える。大質量星の進化は理論・観測両面から研究されてきたが、その理解は未だ十分であるとは言えない。天の川銀河には、約3000個のWR星の存在が予想されているが、今までにわずか～300個程度しか確認されていない。その理由は、今までの観測が主に可視光で行われ、減光の大きな領域での発見が困難であったことが最大の要因である。そこで中小口径望遠鏡に最適化された近赤外線の分光器を用いて、減光に強い赤外線で系統的に大質量星(WR星)のスペクトルを取得し、未知のWR星、特にIa型超新星のprogenitorであるWC型WR星を探索するという計画を進めている。

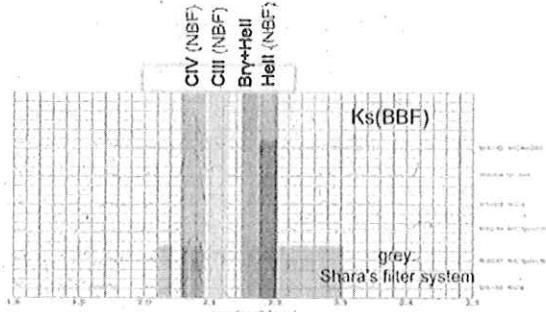


図10：WC型WR星の典型的な近赤外スペクトルと、検出に適したフィルターシステム。

まず、WR星の広いサブクラスにわたる近赤外分光観測データの輝線強度を調べ、大質量星の中でも特に質量の大きい星が進化したWC型WR星において、CIV輝線が顕著であることに注目した。この輝線を用いた探索は、他の方法に比べて大変効率が高い。観測はCIV狭帯域フィルターとKsフィルターまたは近接した波長の狭帯域フィルターと併用して行う。これらのフィルターによる強度比をこれまでのWR星の分光アーカイブデータを用いてシミュレートした結果、WC型WR星においては、CIV輝線の存在しない天体と比べて2倍以上の強度比になるという結果が得られている。

ぐんま天文台 150cm 望遠鏡および搭載観測装置とそれを用いた観測

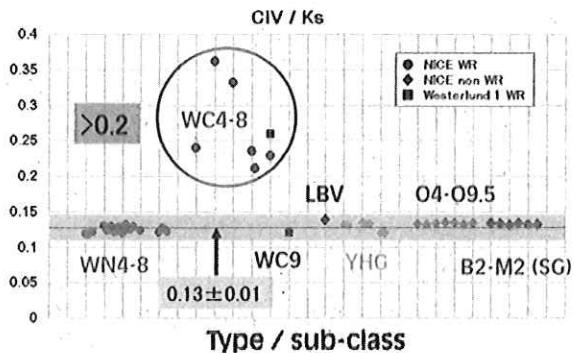


図11：恒星のサブクラス、タイプ分類とCIV輝線／Ks バンド強度比。早期型WC型WR星が有意に高い数値を示すことがわかる。

- * Post-AGB天体およびF, G型超巨星の観測
- * 低金属量星の化学組成
- * 散開星団中の恒星の金属量の決定
- * 散開星団の質量光度関係、距離の決定
- * 食連星の高分散分光観測
- * 低温度巨星の質量放出
- * GRBの残光観測
- * 新星、超新星の可視光分光観測
- * 変光星の可視光～赤外測光・分光観測
- * 激変星の可視光低分散分光観測
- * 大質量星を伴うHII領域のIMF
- * 大質量星形成領域のおける埋もれたWR星の探索
- * スターパースト銀河中の近赤外線モニター
- * フォローアップ、キャンペーン観測
(あかり、すざく、etc...)

4 まとめ

ぐんま天文台は公共天文台且つ上記装置を保有した天文学の研究機関としての両面を持っている。これによるメリット、デメリット双方が存在する。

◎メリット

国内では大口径の望遠鏡&多種の観測装置

- * 観測テーマを選べば有効な観測が可能
- * 可視～近赤外まで同じ条件で観測が可能
- * 観測装置の取り替え時間が要らない
- * 台内に他の小口径望遠鏡

独立の運営・運用（共同利用機関ではない）

- * 少数の特定研究課題に対する豊富な観測時間
- * 一様・均一なデータサンプル

豊富な観測時間

- * 変化・変動する天体の観測
- * 突発天体へのフレキシブルな対応

●デメリット

望遠鏡・装置関連

- * 海外の大口径望遠鏡にはかなわない
- * 焦点面装置は固定
→装置の持ち込み・取り付けは難

公共施設

- * 開館時間は一般観望・一般公開
- * 完全24時間態勢での職員の対応は困難

観測条件

- * 晴天率があまり高くない

このような状況の中で、観測体制は維持されている。広範な観測は不可能であるが、重点的観測プロジェクトとして以下のような観測・研究を行っている。

参考文献

- 1) Hashimoto, O, et al., The Proceedings of the IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, Volume II, p. 7-8 (2002)
- 2) Hashimoto, O., et al., Proceedings of 9th Asian-Pacific Regional IAU Meeting 2005, p.295 - 296 (2006)
- 3) Kinugasa, K., et al., Proceedings of the RIKEN Symposium “Astrophysics with All-Sky X-ray Observations”, p.332 - 336 (2009)
- 4) Takahashi, H., Nishihara, E, and GAO-150cmWG, Proceedings of ITB-GAO Science Workshop 2007, p.50-56 (2009)
- 5) 田口 光、修士論文（放送大学）、2007
- 6) Yamanaka, M. et al., Astrophysical Journal Letters, 707, Issue 2, pp.L118-122, 2009.

(2009年12月21日受付, 2010年1月15日受理)