

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 30 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2007～2011

課題番号：19104004

研究課題名（和文） レーザーガイド補償光学系による銀河形成史の解明

研究課題名（英文） Laser guide star adaptive optics studies of the formation history of galaxies

研究代表者

家 正則（IYE MASANORI）

国立天文台・光赤外研究部・教授

研究者番号：30111446

研究成果の概要（和文）： レーザーガイド星補償光学系をすばる望遠鏡の共同利用装置として完成させ、すばる望遠鏡の視力を 10 倍に改善した。その結果、補償光学系を用いた新観測装置の開発などが始まり、高解像観測の利用が大幅に増えた。代表者を中心とする研究では赤方偏移 7.215（距離 129.1 億光年）の最遠銀河を発見し、宇宙初期の銀河の計数から宇宙の再電離（宇宙の夜明け）が、ほぼこの時期に起きたことを解明した。

研究成果の概要（英文）： The team developed a laser guide star adaptive optics system and improved the spatial resolution of Subaru Telescope by an order of magnitude. The system is offered for general users and well used for various high resolution observations. The research group led by the PI found the most distant galaxy at a red shift of 7.215, namely 12.9 billion light years away. By studying the galaxy count at high red shift, they concluded that the cosmic re-ionization (the cosmic dawn) took place at about that period.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	21,600,000	6,480,000	28,080,000
2008年度	39,400,000	11,820,000	51,220,000
2009年度	19,500,000	5,850,000	25,350,000
2010年度	11,600,000	3,480,000	15,080,000
2011年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
総計	100,400,000	30,120,000	130,520,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：補償光学、レーザーガイド、銀河形成、可変形状鏡、波面計測

## 1. 研究開始当初の背景

地上設置の望遠鏡はゆらぐ大気を通して宇宙を観測するため、その解像力は回折限界には達せず、天候によるシーイングに左右されるのが宿命であった。すばる望遠鏡の近赤外線での解像力は通常 0.6 秒角だが、その理論的回折限界は 0.06 秒角である。解像力を 10 倍改善するため、本研究代表者は平成 14～18 年度に特別推進研究の交付を得て、すば

る望遠鏡に設置する 188 素子補償光学系とレーザーガイド星生成システムを開発し、それぞれその基本性能を達成したことを実証した。

## 2. 研究の目的

本基盤研究（S）では以下の 3 つを目的とした。

(1) 特別推進研究で製作した 188 素子補償光

学系とレーザーガイド星生成システムをすばる望遠鏡の共同利用システムとして完成させ、公開すること。

(2) 赤方偏移 7 を越える時代の銀河探査により宇宙再電離の終焉時期を特定すること。

(3) レーザーガイド星補償光学系を用いた新たな高解像観測の研究を展開すること。

### 3. 研究の方法

(1) 188 素子補償光学系とレーザーガイド星生成システムをすばる望遠鏡に搭載して、共同利用観測で使えるレベルの完成度の高いシステムにするためには、大気色分散補正光学系、ビームスプリッター、低次波面センサーガイド星捕捉光学系、高次波面センサー制御光学系、校正用光源、レーザーシステム診断系などの補助システムを開発製作し、すばる望遠鏡システムと連動させる必要があり、本基盤研究 (S) でこれらの補助システムを設計製作して、全体システムを完成させた。

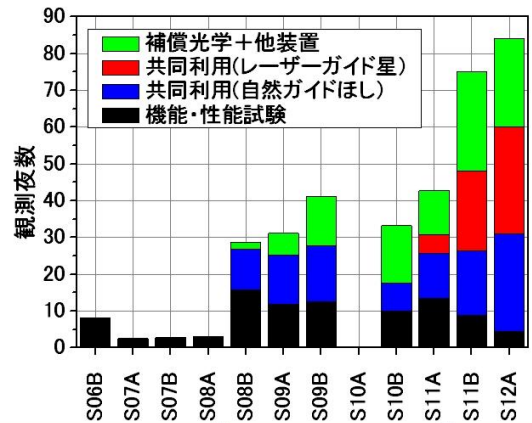


(2) 赤方偏移 7.3 のライマン  $\alpha$  銀河を探査するための特殊フィルターを製作し、それを用いた探査観測を進めた。

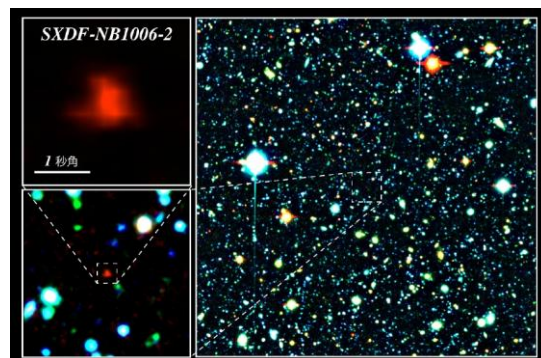
(3) クェーサーの手前に銀河があると、その重力レンズ効果によりクェーサー像が複数に分離して見える「重力レンズクェーサー」について、補償光学装置の高解像力を活かした撮像観測と分光観測を行った。またこれまですばる望遠鏡では試みられてこなかった精密位置測定(アストロメトリ)観測を球状星団について開始した。

### 4. 研究成果

(1) 自然ガイド星を用いた 188 素子補償光学系システムは平成 20 年後期から公開し、レーザーガイド星を用いた 188 素子補償光学系システムは平成 23 年前期から公開した。これらにより、すばる望遠鏡の視力を 10 倍に向上させた観測が可能となり、補償光学を用いた観測提案が急増した。また、すばる望遠鏡の解像力向上にマッチした新しい観測装置 HiCIAO などの開発に道を拓き、すばる望遠鏡による太陽系外惑星の観測などその観測的研究の幅を広げた。

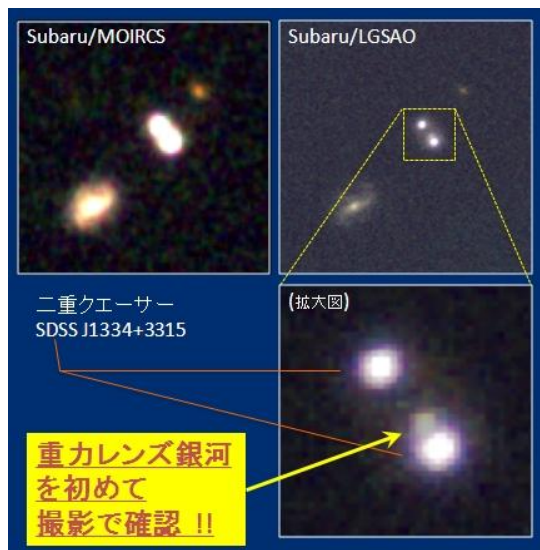


(2) 赤方偏移  $z$  を測定できた銀河としては最遠記録となる  $z=7.215$  (距離 129.1 億光年に相当) のライマン  $\alpha$  銀河 SXDF-NB1006-2 を発見した。赤方偏移 5.7、6.6、7.0、7.3 の各時代のライマン  $\alpha$  輝線銀河の個数統計から、ライマン  $\alpha$  輝線銀河が赤方偏移 7 前後の時代で急に見えなくなることを様々な観測から確認し、この原因はライマン  $\alpha$  光子を共鳴散乱する中性水素原子密度がこの時代を境に変化したためであることを唱えた。これは宇宙再電離(宇宙の夜明け)と呼ばれる現象の直接観測として、国内外の学界やマスコミでも高い注目を浴びている。



(3) レーザーガイド星補償光学系を駆使した最初の観測的成果としては、スローン・デジタル・スカイ・サーベイで発見された二重クェーサー SDSS J1334+3315 の高解像撮像から、分離角わずか 0.8 秒角の二つのクェーサー像

の間に重力レンズ効果の原因となった銀河があることを撮影で確認したことが挙げられる。重力レンズの幾何学を用いて、銀河の質量を求めることなどに成功した。



この他、球状星団の高解像撮像画像を得、これを約 10 年前にハッブル宇宙望遠鏡で撮影された画像を比較することにより、球状星団内の個々の恒星が固有運動の測定を開始している。ハッブル宇宙望遠鏡の 3.5 倍の解像度が達成できるため、地上望遠鏡ではこれまで手がでなかった、位置天文学観測(アストロメトリ)に道を拓く観測である。

(4) 本研究に関連して、仁科記念賞(家、2008 年)、井上学位賞(柏川、2009 年)、文部科学大臣表彰(家、高見、早野、2010 年)、東レ科学技術賞(家、2010 年)、紫綬褒章(家、2011 年)を授与された。

## 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 84 件)

- ① Ota, K. and Iye, M., “Subaru FOCAS survey of  $z = 7-7.1$  Ly $\alpha$  emitters: a test for  $z \geq 7$  Ly $\alpha$  photometric luminosity functions”, MNRAS (Mon. Not. Royal Astron. Soc.), 査読有, 423, 444-450 (2012)  
DOI:10.1111/j.1365-2966.2012.20888x
- ② Ota, K., Richard, J., Iye, M. 他(全 6 名中 3 番目), “A search for  $z=7.3$  Ly-alpha emitters behind gravitationally lensed clusters”, MNRAS, 査読有, ISSN-1365-2966 (2012)  
DOI:10.1111/j.1365-2966.2012.21091x

- ③ Ly, C., Malkan, M. A., Kashikawa, N. 他(全 7 名中 6 番目), “Dust attenuation and H $\alpha$  Star Formation Rates of  $z \sim 0.5$  Galaxies”, ApJ, 査読有, 747, L16-L22 (2012).  
DOI:10.1088/2041-8205/747/1/L16
- ④ Ito, M., Hayano, Y., Saito, Y. 他(全 7 名中 7 番目), “Suppression of Self Phase Modulation in a Laser Transfer System using Optical Fiber on the Subaru Telescope”, PASJ (Publ. Astron. Soc. Japan), 査読有, 1-6 (2012)  
DOI:2012arXiv1202.6082I
- ⑤ Hibon, P., Kashikawa, N., Willott, C. 他(全 5 名中 4 番目), “Search for  $z \sim 7$  Ly $\alpha$  Emitters with the Suprime-Cam at the Subaru Telescope”, ApJ, 査読有, 744, 89-97 (2012)  
DOI:10.1088/0004-637X/744/2/89
- ⑥ Thalmann, C., Janson, M., Buenzli, E 他(全 48 名中 28 番目), Images of the Extended Outer Regions of the Debris Ring around HR4796 A, ApJ., 査読有, 75, L6-11 (2011)  
DOI:10.1088/2041-8205/743/1/L6
- ⑦ Iye, M., Subaru studies of the cosmic dawn, Publ. Japan Academy, Ser. B, 査読有, 87, 575-586 (2011)  
DOI:10.2183/pjab.87.575
- ⑧ Rusu, C. E., Oguri, M., Inada, N., 他(全 15 名中 5 番目), SDSS J133401.39+331535: A New Subarcsecond Gravitationally Lensed Quasar, ApJ, 査読有, 738, 30-37 (2011)  
DOI:10.1088/0004-637X/738/1/30
- ⑨ Kashikawa, N., Shimasaku, K., Matsuda 他(全 19 名中 14 番目), Completing the Census of Ly $\alpha$  Emitters at the Reionization Epoch, ApJ, 査読有, 734, 119-137 (2011)  
DOI:10.1088/0004-637X/734/2/119
- ⑩ Janson, M., Carson, J., Thalmann, C. 他(全 49 名中 20 番目), Near-infrared Multi-band Photometry of the Substellar Companion GJ 758 B, ApJ, 査読有, 728, 85-90 (2011)  
DOI:10.1088/0004-637X/728/2/85
- ⑪ Hong, P. K., Sugita, S., Okamura, N. 他(24 名中 8 番目), A ground-based observation of the LCROSS impact events using the Subaru Telescope, Icarus. 査読有, 214, 21-29 (2011)  
DOI:10.1016/j.icarus.2011.05.008
- ⑫ Hashimoto, J., Tamura, M., Muto, T. 他(全 52 名中 28 番目), “Direct Imaging of Fine Structure in Giant Planet forming Regions of the Protoplanetary

- Disk Around AB Aurigae”, ApJ. 査読有, 729, L17-L22 (2011)  
DOI:10.1088/2041-8205/729/2/L17
- ⑬ 家正則、観測天文学を支える高感度・高精度化技術、精密工学会誌、査読有、4月号、354-357 (2011)
- ⑭ Janson, M., Carson, J., Thalmann, C. 他(全49名中22番目), Near-infrared Multi-band Photometry of the Substellar Companion GJ 758 B”, ApJ., 査読有, 728, 85-90 (2011)  
DOI:10.1088/0004-637X/728/2/85
- ⑮ 家正則、私と科研費「装置開発を支えた科研費」、科研費ニュース、査読無、2011年5月号、266
- ⑯ Ouchi, M., Shimasaku, K., Furusawa, H. 他(全15名中11番目), Statistics of 207 Ly $\alpha$  Emitters at a Redshift Near 7: Constraints on Reionization and Galaxy Formation Models, ApJ. 査読有, 723, 869-894 (2010)  
DOI:10.1088/0004-637X/723/1/869
- ⑰ Ota, K., Ly, C., Malkan, M. A. 他(全10名中8番目), Spitzer Space Telescope Constraint on the Stellar Mass of a  $z = 6.96$  Ly $\alpha$  Emitter, Publ. Astron. Soc. Japan, 査読有, 62, 1167-1175 (2010)  
DOI:10.1088/0004-637X/722/1/803
- ⑱ Ota, K., Iye, M., Kashikawa, N., 他(全14名中2番目), Ly $\alpha$  Emitters at  $z = 7$  in the Subaru/XMM-Newton Deep Survey Field: Photometric Candidates and Luminosity Functions”, ApJ., 査読有, 722, 803-811 (2010)  
DOI:10.1088/0004-637X/722/1/803
- ⑲ Hashimoto, T., Ohta, K., Aoki, K. 他(全33名中10番目), Dark GRB 080325 in a Dusty Massive Galaxy at  $z \sim 2$ , ApJ. 査読有, 719, 378-384 (2010)  
DOI:10.1088/0004-637X/719/1/378
- ⑳ Watanabe, M., Ito, M., Oya, S. 他(全14名中10番目), Visible low-order wavefront sensor for the Subaru LGSAO system”, SPIE, 査読無, 7736, 183-190 (2010) DOI:10.1117/12.856845
- ㉑ Saito, Y., Hayano, Y., Ito, M. 他(全19名中19番目), The performance of the laser guide star system for the Subaru Telescope”, SPIE 査読無, 7736, 171-178 (2010) DOI:10.1117/12.856484
- ㉒ Ito, M., Hayano, Y., Saito, Y. 他(全12名中5番目), The characteristics of laser-transmission and guide star’s brightness for Subaru LGS/A0188 system”, SPIE, 査読無, 7736, 169-176 (2010) DOI:10.1117/12.856341
- ㉓ Egner, S., Ikeda, Y., Watanabe, M. 他(全12名中12番目), Atmospheric dispersion correction for the Subaru A0 system”, SPIE, 査読無, 7736, 164-171 (2010) DOI:10.1117/12.856579
- ㉔ Hattori, M., Colley, S., Garrel, V. 他(全14名中14番目), Recent development in real-time control system of Subaru adaptive optics including laser guide star mode, SPIE, 査読無, 7736, 156-163 (2010)  
DOI:10.1117/12.857710
- ㉕ Oya, S., Hattori, M., Minowa, Y. 他(全18名中14番目) Tip/tilt offload of Subaru A0188 by telescope secondary mirror”, SPIE, 査読無, 7736, 128 (2010) DOI:10.1117/12.857387
- ㉖ Minowa, Y., Hayano, Y., Oya, S. 他(全14名中14番目), Performance of Subaru adaptive optics system A0188, SPIE, 査読無, 7736, 21-28 (2010)  
DOI:10.1117/12.857818
- ㉗ Suzuki, R., Kudo, T., Hashimoto, J. 他(全28名中11番目) Performance characterization of the HiCIAO instrument for the Subaru Telescope”, SPIE 査読無, 7735, 101-108 (2010)  
DOI:10.1117/12.857361
- ㉘ Tanaka, M., Chiba, M., Komiyama, Y. 他(全6名中6番目) Structure and Population of the Andromeda Stellar Halo from a Subaru/Suprime-Cam Survey, ApJ., 査読有, 708, 1168-1203 (2010)  
DOI:10.1088/0004-637X/708/2/1168
- ㉙ 家正則、すばるの視力を10倍に改善する補償光学、視覚の科学、9月号、31, 89-93 (2010)
- ㉚ 家正則、すばる望遠鏡から次世代望遠鏡TMTへ、先端加工技術、査読無、No. 80, 1-3, (2010)
- ㉛ Ito, M., Hayano, Y., Saito, Y. 他(全10名中10番目), High-Power Laser Beam Transfer through Optical Relay Fibers for a Laser Guide Adaptive Optics System, PASJ, 査読有, 61, 763-768 (2009)
- ㉜ Takami, H., Goto, M., Gaessler, W. 他(全16名中7番目) Direct Observation of the Extended Molecular Atmosphere of  $\alpha$  Ceti by Differential Spectral Imaging with an Adaptive Optics System, PASJ, 査読有, 61, 623-627 (2009)
- ㉝ Ouchi, M., Ono, Y., Egami, E., 他(全27名中20番目), Discovery of a Giant Ly $\alpha$  Emitter Near the Reionization Epoch, ApJ. 査読有, 696, 1164-1175



- (2009)  
DOI:10.1088/0004-637X/696/2/1164
- ③④ Aoki, K., Totani, T., Hattori, T. 他 (全 9 名中 7 番目), No Evidence for Variability of Intervening Absorption Lines toward GRB 060206: Implications for the MgII Incidence Problem, PASJ, 査読有, 61, 387-394 (2009)
- ③⑤ 家正則, 科学のバリエーション, 科学, 査読無、巻頭言 (2009)
- ③⑥ 家正則, レーザーガイド補償光学系, 次世代超大型望遠鏡, OplusE, 査読無, 103, (2009)
- ③⑦ 家正則, 次世代超大型望遠鏡の時代の読む, バリエーション, 査読無, 10 月号, 16-23 (2009)
- ③⑧ 家正則, すばる望遠鏡による初期宇宙探査の研究, 科研費ニュース, 査読無、No. 1, 25, (2009)
- ③⑨ 家正則, 最新天文学と測定技術、検査技術, 査読無、8 月号、1-9、(2009)
- ④⑩ 家正則、次世代超大型光赤外望遠鏡 (ELT) 計画, OplusE, 査読無、2009 年、4 月号、389-393、
- ④⑪ 家正則、すばる望遠鏡と次世代 30m 望遠鏡—その技術と成果—、日本機械学会誌、査読有、第 112 巻、1 月号、36-39、(2009)
- ④⑫ Brown, T. M., Beaton, R., Chiba, M., 他 (全 17 名中 7 番目) “The Extended Star Formation History of the Andromeda Spheroid at 35 kpc on the Minor Axis”, ApJ. 査読有, 685, 121-124 (2008) DOI:10.1086/592686
- ④⑬ Iye, M., High redshift galaxy surveys, SPIE, 査読無, 7016, 1-10 (2008) DOI:10.1117/12.807875
- ④⑭ Hayano, Y., Takami, H., Guyon, O. 他 (全 16 名中 16 番目), Current status of the laser guide star adaptive optics system for Subaru Telescope, SPIE 査読無, 7015, 25-32 (2008) DOI:10.1117/12.789992
- ④⑮ McGrath, E. J., Stockton, A., Canalizo, G. 他 (5 名中 4 番目), Morphologies and Color Gradients of Luminous Evolved Galaxies at  $z \sim 1.5$ , ApJ., 査読有, 682, 303-318 (2008), DOI:10.1086/589631
- ④⑯ Ouchi, M., Shimasaku, K., Akiyama, M. 他 (全 16 名中 12 番目), The Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS). IV. Evolution of Ly $\alpha$  Emitters from  $z=3.1$  to 5.7 in the 1 deg<sup>2</sup> Field: Luminosity Functions and AGN, ApJ. Suppl., 査読有, 176, 301-330 (2008), DOI:10.1086/527673
- ④⑰ Furusawa, H. Kosugi, G., Akiyama, M. 他 (全 37 名中 19 番目), The Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS). II. Optical Imaging and Photometric Catalogs, ApJ. Suppl., 査読有, 176, 1-18 (2008), DOI:10.1086/527321
- ④⑱ Ota, K. Iye, M., Kashikawa, N. 他 (全 11 名中 2 番目), Reionization and Galaxy Evolution Probed by  $z = 7$  Ly $\alpha$  Emitters, ApJ. 査読有, 677, 12-16, (2008) DOI:10.1086/529006
- ④⑲ Stockton, A., McGrath, E., Canalizo, G. 他 (全 5 名中 4 番目), Morphologies of Two Massive Old Galaxies at  $z \sim 2.5$ , ApJ., 査読有, 672, 146-152, (2008), DOI:10.1086/523789
- ⑤⑰ 家正則、宇宙の夜明けに迫る—最果ての銀河探査—、バリエーション、査読無、第 23 巻、11 月号、4-14、(2008)
- ⑤⑱ 家正則、8m 級望遠鏡の成果比較の試み、天文月報、査読無、200、18-20、(2008)
- ⑤⑲ Misawa, T., Tytler, D., Iye, M. 他 (全 7 名中 3 番目). Spectroscopic Analysis of H I Absorption-Line Systems in 40 HIRES Quasars, Astron. J. 査読有, 134, 1634-1654 (2007), DOI:10.1086/521557
- ⑤⑳ Yamanoi, H., Tanaka, M., Hamabe, M. 他 (全 10 名中 5 番目), The Galaxy Luminosity Functions down to  $M \sim -10$  in the Hydra I Cluster, Astron. J., 査読有, 134, 56-63 (2007), DOI:10.1086/518475
- ⑤㉑ 家正則、すばる望遠鏡と観測装置の技術, 日本物理学会誌, 査読有, 63, 93-98 (2007)
- [学会発表] (計 65 件)
- ① 家正則他、”次世代超大型望遠鏡 TMT 計画の概要”、天文学会春季年会、2012 年 3 月 21 日、龍谷大学
- ② 大屋真他、”LGSA0188: 可変形鏡 BIM188 の状況 II”、V223c、天文学会春季年会、2012 年 3 月 21 日、龍谷大学
- ③ 服部雅之他、”すばる 188 素子レーザーガイド星補償光学系プロジェクト: 最適制御アルゴリズムの実装”、V224c、天文学会春季年会、2012 年 3 月 21 日、龍谷大学
- ④ 但来謙一他、” $z=1.7$  [OII] 輝線銀河におけるダストに隠された星形成活動”、X18a、天文学会春季年会、2012 年 3 月 21 日、龍谷大学
- ⑤ 渋谷隆俊他、”The First Systematic Survey for Ly-alpha Emitters at  $z=7.3$  with Suprime-Cam”、X29a、天文学会春季年会、2012 年 3 月 21 日、龍谷大学
- ⑥ 太田一陽他、A Search for  $z=7.3$

- Ly-alpha Emitters behind Lensing Clusters, X30a, 天文学会春季年会、2012年3月21日、龍谷大学
- ⑦ 但木謙一他、“MAHALO-Subaru: CIGJ0218 銀河団 ( $z=1.62$ )における星形成活動”, X36c, 天文学会秋季年会、2011年9月22日、鹿児島大学
- ⑧ 早野裕他、“すばるレーザーガイド星補償光学系プロジェクト: コミッショニング進捗報告”, V18a, 天文学会秋季年会、2011年9月22日、鹿児島大学
- ⑨ 斉藤嘉彦他、“すばるレーザーガイド星補償光学系プロジェクト: LGS システムの共同利用提供と現状”, V19b, 天文学会秋季年会、2011年9月22日、鹿児島大学
- ⑩ 服部雅之他、“すばるレーザーガイド星補償光学系プロジェクト: 波面制御ソフトウェアの開発”, V20c, 2011年9月22日、鹿児島大学
- ⑪ 大屋真他、“LGS A0188: 可変形鏡 BIM188 の状況”, V21c, 天文学会秋季年会、2011年9月22日、鹿児島大学、
- ⑫ 早野裕他 すばるレーザーガイド星補償光学系プロジェクト: LGS 観測モードの進捗、V46a, 天文学会春季年会、2010年3月22日、広島大学
- ⑬ 渡辺誠他、すばるレーザーガイド星補償光学系プロジェクト: 低次波面センサの開発 V48b, 天文学会春季年会、2010年3月22日、広島大学
- ⑭ 美濃和陽典他、すばるレーザーガイド星補償光学系プロジェクト: ガイド星捕捉ユニットの開発 V49b, 天文学会春季年会、2010年3月22日、広島大学
- ⑮ 渋谷隆俊他、SDF and SXDF survey for Lyman Alpha Emitters at  $z=7.3$ , X40a 天文学会春季年会、2010年3月22日、広島大学
- ⑯ 家正則、すばる広視野サーベイと TMT、A15a, 天文学会秋季年会、2009年9月15日、山口大学
- ⑰ 美濃和陽典他、すばるレーザーガイド星補償光学系 A0188: 自然ガイド星モードにおける性能評価と共同利用報告、V36b, 天文学会秋季年会、2009年9月15日、山口大学
- ⑱ 太田一陽他、すばる望遠鏡主焦点カメラ赤感 CCD を用いた  $z=7$  ライマン  $\alpha$  輝線銀河の探査、X18a, 天文学会秋季年会、2009年9月15日、山口大学
- ⑲ 渋谷隆俊他、すばる望遠鏡を用いた赤方偏移 7.3 のライマン  $\alpha$  輝線銀河探査、X19a, 天文学会春季年会、2009年3月26日、大阪府立大学
- ⑳ 田中幹人他、すばる主焦点カメラで探るアンドロメダ恒星ハローの構造と種族、

- R37a, 天文学会春季年会、2009年3月26日、大阪府立大学
- ㉑ 渋谷隆俊、球状星団 M15 を用いた Subaru A0188+IRCS の Isoplanatism チェック、V63a, 天文学会春季年会、2009年3月26日、大阪府立大学
- ㉒ 早野裕他、すばるレーザーガイド星補償光学系プロジェクト: 共同利用へむけて、V44a, 天文学会秋季年会、2007年9月27日、岐阜大学

〔図書〕 (計5件)

- ① 家正則他編、宇宙の観測 I—光・赤外天文学、シリーズ現代の天文学、日本評論社、第15巻、1-7頁、(2007)
- ② 祖父江義明、有本信雄、家正則編、銀河 II—銀河系、シリーズ現代天文学、日本評論社、第5巻、265-272, 304-313 (2007)

〔その他〕

ホームページ等  
<http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~iye/kibanS>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

家 正則 (IYE MASANORI)  
 国立天文台・光赤外研究部・教授  
 研究者番号: 30111446

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

高見 英樹 (TAKAMI HIDEKI)  
 国立天文台・ハワイ観測所・教授  
 研究者番号: 00270445  
 (H19→H20 研究分担者)

早野 裕 (HAYANO YUTAKA)  
 国立天文台・ハワイ観測所・助教  
 研究者番号: 80390623  
 (H19→H20 研究分担者)

柏川 伸成 (KASHIKAWA NOBUNARI)  
 国立天文台・光赤外研究部・准教授  
 研究者番号: 00290883  
 (H19→H20 研究分担者)