

## 科学研究費補助金研究成果報告書

平成 25 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2012

課題番号：18072003

研究課題名（和文） 重力レンズ効果を用いたダークマター探査

研究課題名（英文） Investigation into the Dark Matter through the Weak Lensing Effect on Remote Galaxies

研究代表者

唐牛 宏 (KAROJI HIROSHI)

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・特任教授

研究者番号：30221196

研究成果の概要（和文）：

世界に先駆けてダークエネルギーの謎を解明するために超広視野カメラ HSC を開発することを目的とし、すばる望遠鏡の主焦点にシャープな像を結ばせる大型レンズ、レンズ筒の軽量かつ堅牢なファインセラミック、高感度な新型 CCD など数多くの技術的挑戦の末にこれらを開発して HSC を完成させ、ファーストライトを成功させた。試験観測の結果、1.5 度角の視野全体にわたって 0.5 秒角を切る優れた結像性能が確認され、今後、高精度の遠方銀河の観測によって世界的にダークマター・ダークエネルギー研究をリードしていくことが可能になった。

研究成果の概要（英文）：

The main goal of this project was to develop and fabricate an ultra-wide imager (named *Hyper SuprIm-Cam: HSC*) mounted on the prime focus of Subaru Telescope at Mauna Kea, Hawaii. Very challenging development items such as huge aspherical lenses, highly stiff and light-weighted fine ceramics needed for lens barrel, high QE large format CCD, etc. have been all successfully cleared, and HSC camera has been manufactured and mounted on Subaru Telescope to open to the starlight. First preliminary results reveal the very high image quality (better than 0.5 arc-seconds) over the entire field of view of 1.5 degrees, promising perspective to lead world-wide research programs of Dark Energy & Dark Matter by providing extremely accurate images and their analyzed data of millions of remote galaxies.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	56,700,000	0	56,700,000
2007 年度	155,800,000	0	155,800,000
2008 年度	281,100,000	0	281,100,000
2009 年度	225,100,000	0	225,100,000
2010 年度	37,300,000	0	37,300,000
2011 年度	37,300,000	0	37,300,000
総計	793,300,000	0	793,300,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：ダークエネルギー、ダークマター、重力レンズ、すばる望遠鏡

## 1. 研究開始当初の背景

宇宙の膨張が加速していることが明らかになって以降、ダークエネルギー、ダークマターの解明は天文学・素粒子物理学にまたがる基礎科学の最重要課題に躍り出ることとなり、欧米を中心に様々なアプローチが提案され熾烈な競争となっている。天文学においては、観測によって統計的にダークエネルギーの性質を解明するためには莫大な数の銀河の観測が必要であることから、これまでよりはるかに広い視野を持つ撮像装置の設置が次々と計画されるなか、広視野主焦点を既に備えたすばる望遠鏡を有している日本のコミュニティは大きな優位にあり、これを活かし世界に先駆けてダークマターの正体に迫るための観測装置を開発することが強く求められていた。

## 2. 研究の目的

本研究課題の目標は、現行のすばる望遠鏡主焦点カメラの10倍近い視野を持つ超広視野カメラ (Hyper Suprime-Cam: HSC) を計画研究 A02 と協力して開発・製作することであった。さらに、その観測で取得される膨大なデータを効率的に処理するためのソフトウェアを開発し、ダークエネルギー、ダークマター研究の基となる宇宙の質量分布地図、質量関数、銀河の光度・表面輝度・形状に関する詳細資料を世界に公開することを目指すものであった。HSC の優れた性能によってもたらされるこれらの情報は、最遠方銀河の発見、銀河団の構造形成・進化の研究など、観測的宇宙論以外の分野の進歩にも大きく寄与することが期待されている。

## 3. 研究の方法

HSC の製造にあたっては高い結像精度を維持しつつ大型化することに伴う、様々な技術的な問題をクリアしていくことが必要であった。具体的には、最適視野サイズと機器的実現可能性のトレードオフの検討から始まり、完全空乏型裏面照射式 CCD とその最適な読み出し回路の開発、大口径レンズ・フィルター群の製作、大型セラミック材の開発などの技術的挑戦を、技術検討・設計・試作を繰り返し重ねることで解決し開発していくことになった。またこの間、ハワイ島地震 (2006 年 10 月)、東北大地震 (2011 年 3 月) の影響や、すばる望遠鏡の不調により想定外の度重なる工程遅延が発生したが、これらの遅延を挽回すべくデータ解析ソフトウェアのパイプライン化を充実させてデータ取得後の研究の加速を図る、など対応には最善を尽くした。

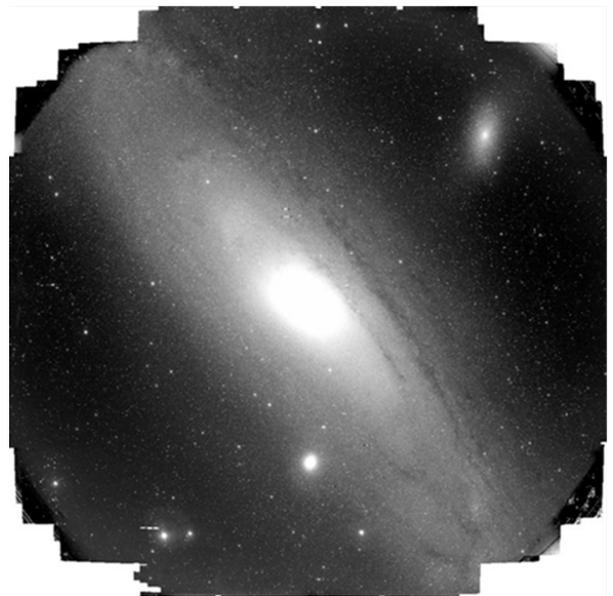
## 4. 研究成果

HSC の三大構成部となる主焦点ユニット部、補正光学系部、カメラ部はそれぞれ三菱電機、

キヤノン、国立天文台に分かれて製造を進め、2009 年ハワイ島での「設計評価会議」を経て、2011 年に三菱電機において国内ドッキング試験を実施するに至った。その後 2012 年までに各部をハワイ島へ輸送し、最終的に全長 3 m、重量 3 t に及ぶ HSC を完成し、すばる望遠鏡主焦点部への搭載を実現した。



2012 年 8 月にエンジニアリングファーストライトに成功した際には国内外の報道にも多数取り上げられ、関心の高さが窺われた。その後も性能評価試験を続けた結果、従来の約 7 倍の視野 (満月 9 個分) において 0.5 秒角を切る世界最高レベルの優れた結像性能を発揮することが確認されている。



(性能試験観測で得られたアンドロメダ銀河 M31 の画像。拡大すると 230 万年光年かなたの M31 の星々が一個々々分離して見分けられる。)

これにより取得されるデータはパイプライン

ン処理を経て公開されて、優れた研究成果に直結することが期待されるものであり、ダークマター・ダークエネルギーの研究を飛躍的に進歩させることになる。また天文の他の分野においても、これらのデータベース化を図ることでこれまでになく質と量の研究が進むであろうことは間違いない。

#### 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 21 件)

(1) Y. Obuchi, Y. Komiyama, Y. Kamata, S. Kawanomoto, S. Miyazaki 他 4 名, “Hyper Suprime-Cam: implementation and performance of the cryogenic dewar” Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 8446, 2012, article 84466Q  
DOI : 10.1117/12.926961

(2) F. Uruguchi, S. Y. Wang, Y. Komiyama, E. Liaw 他 14 名, “Hyper Suprime-Cam: filter exchange unit and shutter” Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 8446, 2012, article 844663  
DOI:10.1117/12.927240

(3) Y. Utsumi, S. Kawanomoto, P. Tait, E. Jeschke, H. Furusawa 他 8 名, “Hyper Suprime-Cam: the control system” Proceedings of the SPIE, 査読有 Volume 8446, 2012, article 844662  
DOI:10.1117/12.927235

(4) Y. Komiyama, Y. Tanaka, S. Miyazaki, S. Kawanomoto, Y. Yukiko, H. Nakaya, Y. Obuchi, F. Uruguchi, Y. Utsumi, “Hyper Suprime-Cam: conceptual design to introduce spectroscopic mode” Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 8446, 2012, article 84465D  
DOI:10.1117/12.926976

(5) S. Miyazaki, Y. Komiyama, H. Nakaya, Y. Kamata, Y. Doi, T. Hamana, H. Karoji 他 50 名, “Hyper Suprime-Cam” Proceedings of the SPIE, 査読有 Volume 8446, 2012, article 84460Z  
DOI:10.1117/12.926844

(6) H. Nakaya, H. Miyatake, T. Uchida, H. Fujimori 他 15 名, “Hyper Suprime-Cam : performance of the CCD readout electronics” Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 8453, 2012, article 84532R

DOI:10.1117/12.925764

(7) Y. Kamata, S. Miyazaki, H. Nakaya, Y. Komiyama, Y. Obuchi, S. Kawanomoto, F. Uruguchi, Y. Utsumi, H. Suzuki, Y. Miyazaki, M. Muramatsu, “Hyper Suprime-Cam : characteristics of 116 fully depleted back-illuminated CCDs” Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 8453, 2012, article 84531X  
DOI:10.1117/12.927234

(8) Y. Komiyama, H. Aihara, H. Fujimori, H. Furusawa, Y. Kamata, H. Karoji, S. Kawanomoto 他 22 名, “Hyper Suprime-Cam: camera design” Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 7735, 2010, article 77353F  
DOI:10.1117/12.856856

(9) H. Nakaya, T. Uchida, H. Miyatake, H. Fujimori, S. Mineo, H. Aihara, H. Furusawa, Y. Kamata, H. Karoji 他 10 名, “Hyper Suprime-Cam: development of the CCD readout electronics” Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 7735, 2010, article 77352P  
DOI:10.1117/12.856853

(10) T. Goto, Y. Utsumi, S. Miyazaki, Y. Komiyama, H. Furusawa, “A QSO Host Galaxy and its Ly $\alpha$  Emission at z=6.43” Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読有 Volume 400, 2009, P843-850  
DOI:10.1111/j.1365-2966.2009.15486.x

(11) A. B. Newman, T. Treu, R. Ellis, D. Sand, J. Richard, P. J. Marshall, P. Capak, S. Miyazaki, “The Distribution of Dark Matter over Three Decades in Radius in the Lensing Cluster Abell 611” Astrophysical Journal, 査読有、Volume 706, 2009, P1078-1094  
DOI:10.1088/0004-637X/706/2/1078

(12) 宮崎聡 “すばるで観測する宇宙の暗黒成分” 日本物理学会誌、査読有、Volume 63, 2008、P112-119  
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110006611816>

(13) T. Morokuma, Y. Komiyama, S. Miyazaki, H. Nakaya, H. Furusawa, D. Tomono, S. Kawanomoto, Y. Tanaka “Hyper Suprime-Cam: autoguider and Shack-Hartmann systems” Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume

7014, 2008, article 70144W  
DOI:10.1117/12.788481

(14) Y. Komiyama, S. Miyazaki, S. Kawanomoto, T. Morokuma, H. Nakaya, H. Furusawa, Y. Tanaka “Hyper Suprime-Cam : camera dewar”

Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 7014, 2008, article 70144V  
DOI:10.1117/12.788322

(15) S. Y. Wang, E. J. Liaw, Y-D. Huang, C-F Chiu, D-Z Jeng, Y. Doi, F. Uraguchi, Y. Komiyama, S. Miyazaki, “The shatter and filter exchanger system of Hyper Suprime-Cam”

Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 7014, 2008, article 70144A  
DOI:10.1117/12.787483

(16) H. Furusawa, M. Tanaka, Y. Yasu, S. Suzuki, R. Itoh, N. Katayama, Y. Komiyama, S. Miyazaki, Y. Utsumi, T. Uchida, H. Aihara, N. Yasuda, “Hyper Suprime-Cam: data analysis and management system”

Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 7016, 2008, article 70161F  
DOI:10.1117/12.788375

(17) Y. Kamata, S. Miyazaki, H. Nakaya, T. Tsuru, H. Tsunemi, E. Miyata, M. Muramatsu, H. Suzuki, K. Miyaguchi, “Evaluation of the Fully-Depleted Back-Illuminated CCD for Subaru Suprime-Cam”

Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 7021, 2008, article 70211S  
DOI:10.1117/12.790220

(18) T. Uchida, H. Miyatake, H. Nakaya, H. Aihara, S. Miyazaki “Hyper Suprime-Cam: back-end electronics for CCD readout”

Proceedings of the SPIE, 査読有、Volume 7014, 2008, article 70146k  
DOI:10.1117/12.788085

(19) H. Furusawa, G. Kosugi, M. Akiyama 他 33 名, “The Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS) II . Optical Imaging and Photometric Catalogs”

APJ Supplement Series, 査読有、Volume 176, 2008, P1-18  
DOI:10.1086/527321

(20) S. Miyazaki, T. Hamana, R. Ellis, N. Kashikawa, R. Massey, J. Taylor, A. Refregier “A Subaru Weak-Lensing

Survey I . Cluster Candidates and Spectroscopic Verification”

Astrophysical Journal, 査読有、Volume 669, 2007, P714-728

<http://iopscience.iop.org/0004-637X/669/2/714>

(21) Y. Komiyama, M. Doi, H. Furusawa, M. Hamabe, K. Imi, M. Kimura, S. Miyazaki, F. Nakata, N. Okada, S. Okamura, M. Ouchi, M. Sekiguchi, K. Shimasaku, M. Yagi, N. Yasuda, “Wide-Field Survey Around Local Group Dwarf Spheroidal Galaxy Leo II : Spatial Distribution of Stellar Content”

The Astronomical Journal, 査読有、Volume 134, 2007, P835-845  
DOI:10.1086/519955

[学会発表] (計 29 件)

(1) Y. Obuchi “Hyper Suprime-Cam: implementation and performance of the cryogenic dewar”  
SPIE Astronomical Instrument 2012, 2012 年 7 月 3 日、アムステルダム オランダ

(2) F. Uraguchi “Hyper Suprime-Cam: filter exchange unit and shutter”  
SPIE Astronomical Instrument 2012, 2012 年 7 月 2 日、アムステルダム オランダ

(3) Y. Utsumi “Hyper Suprime-Cam: the control system”  
SPIE Astronomical Instrument 2012, 2012 年 7 月 2 日、アムステルダム オランダ

(4) Y. Komiyama “Hyper Suprime-Cam: conceptual design to introduce spectroscopic mode”  
SPIE Astronomical Instrument 2012, 2012 年 7 月 2 日、アムステルダム オランダ

(5) S. Miyazaki “Subaru new wide field camera: Hyper Suprime-Cam”  
SPIE Astronomical Instrument 2012, 2012 年 7 月 3 日、アムステルダム オランダ

(6) H. Nakaya “Hyper Suprime-Cam: performance of the CCD readout electronics”  
SPIE Astronomical Instrument 2012, 2012 年 7 月 2 日、アムステルダム オランダ

(7) Y. Kamata “Hyper Suprime-Cam: characteristics of 116 fully depleted back-illuminated CCDs”  
SPIE Astronomical Instrument 2012,

2012年7月2日、アムステルダム オランダ

(8)Y. Kamata “Characterization and performance of Hyper Suprime-Cam CCD” SPIE Astronomical Instrument 2010, 2010年6月28日、San Diego U. S. A.

(9)H. Furusawa “A prototype of Hyper Suprime-Cam data analysis system” SPIE Astronomical Instrument 2010, 2010年6月27日、San Diego U. S. A.

(10)Y. Komiyama “Hyper Suprime-Cam: camera design” SPIE Astronomical Instrument 2010, 2010年6月28日、San Diego U. S. A.

(11)H. Nakaya “Hyper Suprime-Cam: development of the CCD readout electronics” SPIE Astronomical Instrument 2010, 2010年6月28日、San Diego U. S. A.

(12)宮崎聡 “Hyper Suprime-Cam: Project Status and the Goal” 日本天文学会秋季年会、2010年9月22日 金沢大学

(13)鎌田有紀子 “Hyper Suprime-Cam: CCD” 日本天文学会秋季年会、2010年9月22日 金沢大学

(14)中屋秀彦 “Hyper Suprime-Cam: CCD Readout Electronics” 日本天文学会秋季年会、2010年9月22日 金沢大学

(15)内海洋輔 “Hyper Suprime-Cam: Control System” 日本天文学会秋季年会、2010年9月22日 金沢大学

(16)古澤久徳 “Hyper Suprime-Cam: Data Analysis and Management” 日本天文学会秋季年会、2010年9月22日 金沢大学

(17)浦口史寛 “Hyper Suprime-Cam: Shutter and Filter Exchanger” 日本天文学会秋季年会、2010年9月22日 金沢大学

(18)川野元聡 “Hyper Suprime-Cam: Filter” 日本天文学会秋季年会、2010年9月22日 金沢大学

(19)諸隈智貴 “Hyper Suprime-Cam: Shack Hartmann and Autoguider Systems” 日本天文学会秋季年会、2010年9月22日 金沢大学

(20)宮崎聡 “Hyper Suprime-Cmの開発状況” 日本天文学会秋季年会、2009年9月15日 山口大学

(21)古澤久徳 “HSCによる広視野撮像サーベイデータの解析処理システムとサイエンスデータの開発” 日本天文学会秋季年会、2009年9月15日 山口大学

(22)浜名崇 “宇宙論研究におけるすばる広視野サーベイの役割と戦略” 日本天文学会秋季年会、2009年9月15日 山口大学

(23)諸隈智貴 “HSCを用いた可視変光による活動銀河核探査” 日本天文学会秋季年会、2009年9月15日 山口大学

(24)諸隈智貴 “HSCを用いた high proper motion star 探査” 日本天文学会秋季年会、2009年9月15日 山口大学

(25)H. Nakaya “Hyper Suprime-Cam: CCD readout electronics” SPIE Astronomical Instrumentation 2008, 2008年6月23日 マルセイ 仏

(26)T. Morokuma “Hyper Suprime-Cam: autoguider and Shack-Hartmann systems” SPIE Astronomical Instrumentation 2008, 2008年6月23日 マルセイ 仏

(27)Y. Komiyama “Hyper Suprime-Cam: camera dewar” SPIE Astronomical Instrumentation 2008, 2008年6月23日 マルセイ 仏

(28)H. Furusawa “Hyper Suprime-Cam: data analysis and management system” SPIE Astronomical Instrumentation 2008, 2008年6月24日 マルセイ 仏

(29)Y. Kamata “Evaluation of the fully-depleted back-illuminated CCD for Subaru Suprime-Cam” SPIE Astronomical Instrumentation 2008, 2008年6月23日 マルセイ 仏

[その他]

ホームページ等

[http://www.naoj.org/Projects/HSC/j\\_index.html](http://www.naoj.org/Projects/HSC/j_index.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

唐牛 宏 (KAROJI HIROSHI)  
東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・  
特任教授  
研究者番号：30221196

### (2) 研究分担者

宮崎 聡 (MIYAZAKI SATOSHI)  
国立天文台・先端技術センター・准教授  
研究者番号：20290885

小宮山 裕 (KOMIYAMA YUTAKA)  
国立天文台・ハワイ観測所・助教  
研究者番号：20370108

浜名 崇 (HAMANA TAKASHI)  
国立天文台・理論研究部・助教  
研究者番号：70399301

中屋 秀彦 (NAKAYA HIDEHIKO)  
国立天文台・先端技術センター・助教  
研究者番号：70450179

市川 隆 (ICHIKAWA TAKASHI)  
東北大学・理学研究科・教授  
研究者番号：80212992

成相 恭二 (NARIAI KYOUJI)  
国立天文台・名誉教授  
研究者番号：50012844

古澤 久徳 (FURUSAWA HISANORI)  
国立天文台・ハワイ観測所・特任助教  
研究者番号：10425407

### (3) 連携研究者

なし