

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03720

研究課題名（和文）全天可視偏光サーベイで解き明かす銀河系構造と宇宙突発現象のメカニズム

研究課題名（英文）Study on structure of the Milky Way galaxy and mechanisms of cosmic transient phenomena probed by optical all-sky polarimetric survey

研究代表者

川端 弘治（Kawabata, Koji）

広島大学・宇宙科学センター・教授

研究者番号：60372702

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,800,000円

研究成果の概要（和文）：北天数百万個の恒星の偏光サーベイにより大規模かつ高精度の偏光データベースを構築するSGMAP計画の観測装置の開発に関して、広視野偏光器の実現の鍵を握る大型・広波長帯域・大許容入射角の半波長板および偏光ビームスプリッター、コンパクトな光学トレインを設計すると共に、試作品の光学試験やシミュレーションを通じて、広島大学1.5mかなた望遠鏡での可視・近赤外多バンド偏光サーベイ実現性のメドを得る。また、既存装置を用いた銀河面領域および時間変動を示す偏光天体の偏光撮像観測を実施し、実データに基づいて偏光サーベイ観測のデータリダクションパイプラインを整備し、銀河磁場の三次元構造の抽出等の研究の端緒を得る。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「偏光」は電磁波が有する基本的情報であり、強度のみでは判り得ない空間分解能以下の天体の形状や電磁波の放射機構、放射源ないし星間媒質中の磁場の向き、散乱体の光学的性質などといったベクトルの情報をもたらしてくれる有効な観測手段であるが、現存する可視全天偏光サーベイカタログは主として1960-80年代の非一様な偏光観測をまとめた高々1万個の（単バンドの）ものに留まっている。2桁以上多いサンプルに対し複数バンドの偏光カタログを得ることにより、銀河系の物質進化を司る銀河磁場の三次元マッピングをはじめ、活動銀河核やガンマ線バーストのジェット生成機構等、天文学上の大きな派生効果が期待される。

研究成果の概要（英文）：By designing of a half-wave plate and a polarization beam splitter with a large effective areas, wide-wavebands and large tolerance angles of incidence as well as a compact optical train that hold the key to realize the wide-field polarimeter for the SGMAP project, which builds a large-scale and highly accurate polarization database provided by polarimetric survey of millions of stars in the northern hemisphere, and through the optical test of their prototype or simulation of them, the feasibility of the optical and near-infrared multi-band polarization survey with a 1.5-m Kanata telescope. In addition, we carry out polarization imaging observations of Galactic plane area and polarized objects showing time variation using existing equipment, develop a data reduction pipeline for the polarization survey observations based on actual data, and thus get the beginning of the astronomical researches on the three-dimensional structure of Galactic magnetic field, etc.

研究分野：光学赤外線天文学

キーワード：光学赤外線天文学 宇宙物理学 宇宙科学 星間物質 偏光 銀河磁場 ガンマ線バースト 星間ダスト

## 1. 研究開始当初の背景

渦状腕銀河における星間磁場のエネルギー密度は、星間ガスの乱流エネルギーや内部エネルギーを凌駕しており、系内の構造やその進化を律する重要な役割を果たしている。しかし、銀河磁場の大域的構造の詳細は不明で、その大きな磁場エネルギーが保たれる機構も議論は収束しておらず、天体物理学の大問題として残されたままとなっている。銀河磁場を測定する方法の一つに、遠方の多数の恒星に対して星間偏光を測定し、その偏光ベクトルの向きをトレースする方法が挙げられる。しかし、現存する可視全天偏光サーベイカタログは、主として 1960-80 年代の非一様な偏光観測をまとめた高々 1 万個の (単バンドの) ものに留まっている。これには、高精度の偏光測定に向いている半波長板と偏光ビームスプリッターを併用した観測において、両光学素子の「大型化」「大きな許容入射角」「広帯域化」が困難であり、広い視野を一度にカバーする高精度の偏光観測がしづらいというハードウェア上の制限が大きく働いている。

2020 年代には、位置天文衛星 Gaia および Nano-JASMINE による全天約 10 億個もの恒星に対するアストロメトリの結果がリリースされ、可視 13 等よりも明るく且つ 10kpc よりも近い恒星に対して、誤差 10% 以下の距離の情報が得られる時代がやってくる。そこで、我々は、北天の偏光サーベイを実施する SGMAP プロジェクトを立ち上げた。百万個オーダーの恒星の偏光観測を実施することで、距離グリッド毎にベクトル分解した銀河面中の星間偏光情報を得られるようになると期待される。また、可視 2 バンドの膨大な偏光データから、天体固有の偏光成分の新たな研究も推進可能となる。非球対称状の光球ないしは星周物質を有する恒星や爆発天体、強磁場中の高エネルギー電子によるシンクロトロン放射を示すジェット天体は、その物理的特性 (光散乱の場合には散乱体の諸元や光源に対する空間分布の非等方性の特徴等、シンクロトロン放射の場合は放射領域における磁場の整列の度合いやその向き等) を内包した、天体固有の波長依存性のある可視偏光成分を持ち得る。つまり、2 波長帯で網羅的に観測することにより、放射機構や吸収媒質を特徴づける偏光の波長依存性に関する統計的・網羅的な考察が初めて可能となる。

## 2. 研究の目的

広島大学東広島天文台で運用中の有効径 1.5m 「かなた」望遠鏡のカセグレン焦点に取り付ける広視野 2 チャンネル偏光撮像器の光学系・駆動系を開発し、一部、既存装置の光学系や検出器を流用して観測装置を構成し、試験観測を実施して測定精度を評価し、加えて偏光データのリダクションを半自動的に行うパイプラインを整備することで、将来的な北天 2 バンド偏光サーベイプロジェクト SGMAP の実現の足掛かりを得る。可視 14 等程度よりも明るい北天の数百万個の恒星の可視 2 バンドの可視偏光サーベイが実現すれば、三次元的な銀河磁場構造を再構築し、銀河系構造の進化との関係や磁場の盛衰との関係について考察したり、非等方な質量放出を示す恒星や爆発的な時間変動天体、星間ダスト粒径の銀河内の偏分布、ブレーザー (活動銀河核ジェットを正面から望む天体) の同定とその分類学への結論を得るほか、宇宙初期のインフレーションの証拠となる宇宙マイクロ波背景放射の微弱な B モード偏光パターンの検知に寄与する前景 (= 星間) 偏光成分のマスキングなど、新機軸となり得る分野への応用への道も拓かれると期待される。

## 3. 研究の方法

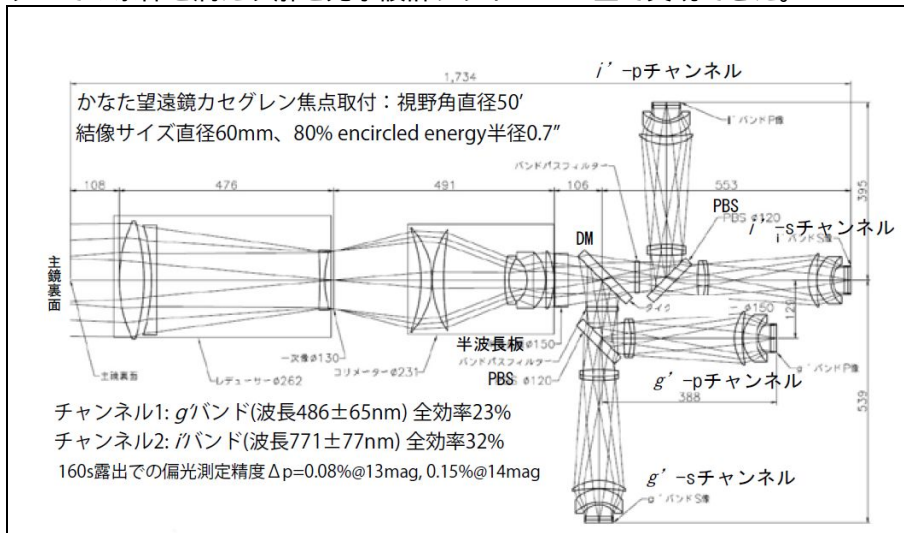
SGMAP の所期仕様であった直径 50 分角視野の可視 2 チャンネル光学系・駆動系を開発しつつ、主要光学素子の試作ないしシミュレーションによる評価を実施し製作条件を詰めて実現性のメドを得ることを目指し、光学設計の最適化と、広帯域・大型・広許容入射角を備えた半波長板、広帯域・大型・広許容入射角を備えたビームスプリッタの実現性を評価した。また、既存の偏光観測装置 HONIR を用いた偏光標準星および偏光天体の観測を実施して一部領域の星間偏光サーベイや個別天体の時間的偏光変動観測を実施し、データリダクションパイプラインの整備を進めた。所期仕様を無理なく実現する光学設計と基幹光学素子の実現性のメドを得た後、海外で先行しつつあった偏光サーベイプロジェクトではどこも実現していなかった近赤外域バンドを交えた偏光サーベイにいち早く取り掛かることに開発目標を修正しつつ、南天の可視偏光サーベイについてはブラジルとオランダのグループを中心とした SOUTH POL と協力関係を結び、南天のデータ取得はそちらで目指す方針とした。近赤外域バンドを交えた偏光サーベイについては、既存の HONIR に近年ようやく実用化された国産の大型 1.3k InGaAs アレイを導入して、可視 1 チャンネル + 近赤外 2 チャンネルの 3 チャンネル同時偏光観測装置を実現して、一部の銀河面から観測に取り掛かった。HONIR の広視野化を実現する光学設計の改良も実施した。

## 4. 研究成果

### (1) 直径 50 分角視野の可視 2 チャンネル光学系設計の最適化

広島大学かなた望遠鏡のカセグレン焦点に最適化させた光学設計案を構築した。条件は、視野角直径 50 分角、像面サイズ 60mm、広帯域半波長板 150mm 以下 (厚み 30mm)、ダイクロイ

ツクミラー150mm 以下(厚み 20mm)、偏光ビームスプリッター120mm 以下(厚み 20mm)かなた望遠鏡のカセグレン焦点部に十分に収まるコンパクトさ(主鏡裏面から 1900mm 以内)があり、且つ、半波長板と偏光ビームスプリッターへの光線の入射角が  $10^\circ$  以内となること(収束光・発散光の場合は光束のうち光軸に対し最も角度がついた光線でも  $10^\circ$  以内となること)であり、すべての条件を満たす解を光学設計ソフト ZEMAX 上で実現できた。



## (2) 広帯域・大型・広許容入射角を備えた半波長板の実現性のメド

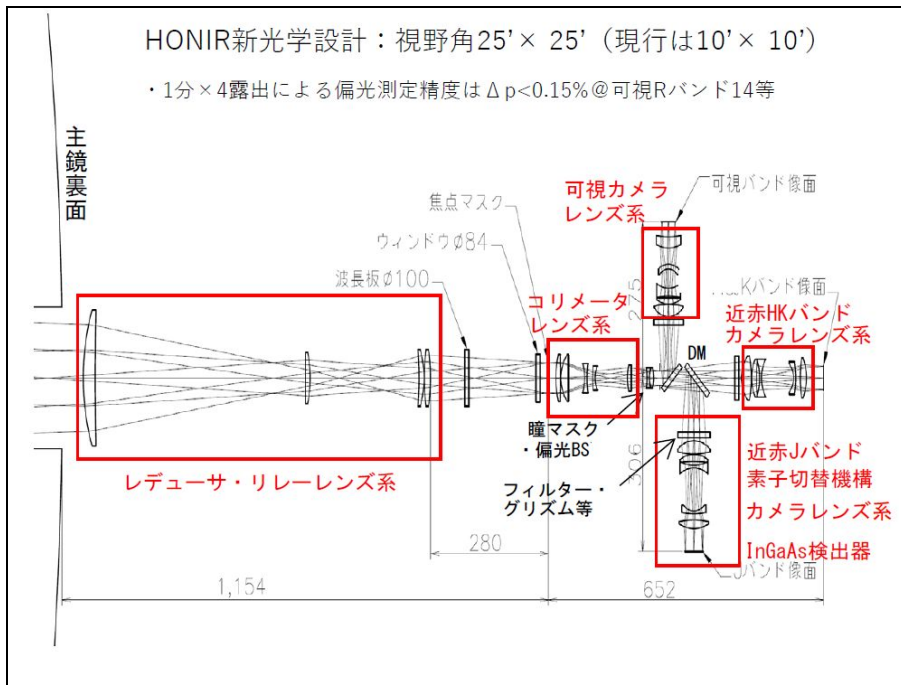
Pancharatnam 型(水晶、フッ化マグネシウムそれぞれ3層)の直径 100mm、有効波長 450-2300nm、位相差  $180 \pm 4^\circ$  の広帯域波長板は、既に光学技研製のものが東広島天文台で実用化されていたことから、これをベースとして広視野装置の光学系で使えるよう、直径 150mm、有効波長域 380-900nm、位相差  $180 \pm 4^\circ$  で、許容入射角  $\pm 7^\circ$ 、入射角補償板を入れた全体の厚みが 40mm 以内の半波長板について、メーカーによる小型試作品の位相差の温度依存性の実測を経て良好な結果が得られ、製作実現性に具体的なメドが得られた。

## (3) 広帯域・大型・広許容入射角を備えた偏光ビームスプリッターの実現性のメド

最近のナノテクノロジーの向上に伴い、ワイヤグリッドタイプの偏光素子において透過光(ワイヤグリッドと垂直に偏光)だけでなく反射光(ワイヤグリッドと平行に偏光)でも波面の乱れが少なく、複屈折性結晶や多層膜を用いたものにくらべて許容入射角が大きく且つ有効波長域が広い偏光ビームスプリッターの実用化が進んできていることから、(1)の光学系で用いる有効径 120mm(光学軸に垂直な面に投影したときの直径)の実現性を評価した。90mm $\times$ 90mm の有効面積を持つ十分な合成を持つ光学ガラスに挟み込まれたワイヤグリッドはいくつかのメーカーで実用化されており、数種を購入して実験室において評価光学系を構築し、99%以上の偏光能率が得られることを確認した。また、国内メーカーで 80mm 幅ながら長さ 240mm の蒸着ワイヤグリッドが樹脂フィルムに対して実用化されており、偏光性能は充分であるものの、ガラス面への蒸着や、より幅の広いワイヤグリッドの実現は難しいことから、複数の樹脂フィルムをガラス基板上になるべくすき間を少なくして並べる手法で大型の偏光ビームスプリッターの実現が見込めることを確認した。

## (4) 既存の HONIR の広視野化

10 分角 $\times$ 10 分角視野で可視 1 チャンネル、近赤外線 1 チャンネルでの 2 チャンネル同時偏光観測が可能な HONIR において、基幹光学素子や検出器はそのままに、レンズ系だけを一新させることで広視野化する解を探した。その結果、半波長板やウィンドウや焦点マスク、光学瞳、ウォラストンプリズム、フィルター、検出器はホルダーも含めて現状を維持したまま、レンズ系を一新することで(加えて主鏡裏面から半波長板の間に新たにリデュース・リレーレンズ系を導入して)視野を 25 分角 $\times$ 25 分角と、視野面積を 6 倍以上に増やす解を見出した。HONIR の検出器は 0.3 秒角/pixel と、東広島天文台での観測ではオーバーサンプリングで、視野を 2.5 倍にすることで 0.75 秒角/pixel とピクセルサンプリングの適正化にもなり、全体の効率も上がる。よって、SGMAP の所期仕様(50 分角)を満たす観測装置の実現と並行して、この HONIR の広視野化をめざし、掃天スピードは遅いもののいち早く可視・近赤外同時偏光サーベイに取り掛かることとした。



(5) 国産の大型 1.3k InGaAs アレイを用いた近赤外検出器の開発

HONIR はもともと 3 チャンネル(可視 1 チャンネルと近赤外 2 チャンネル)の設計となっており、空いているチャンネルへ新たに大型近赤外線検出器を導入することで 3 チャンネル同時観測が可能となる。天文学研究に使われる近赤外域の大型検出器は、実質上、米国メーカー製のものに限られ、高価で輸出入の制限も厳しい状況にあるが、その状況を打破するため、これまで国立天文台や KEK、鹿児島大などと共同で国産の低ノイズ大型 InGaAs 検出器を開発してきた。その 1.3k ピクセル版を HONIR の 3 チャンネル目として導入すべく、国産メーカーより調達して性能評価試験を開始した。我々の試験は、評価に使う冷凍機デューワーが故障したためまだ完了していないが(2022 年 2 月に冷凍機の修理が完了)国立天文台や鹿児島大で行われた同ロットの検出器については良好な結果が得られており、近い将来の HONIR への導入のメドが立った。

(6) 星間偏光サーベイによる銀河磁場の三次元構造に関する研究

かなた望遠鏡と既存の HONIR (10 分角 × 10 分角視野)を用いて、可視 R バンド + 近赤外 H バンドの 2 チャンネル同時偏光撮像モードを利用して、銀河面の特徴ある磁場構造を持つ領域の偏光サーベイ観測を実施した。これまでに観測した領域は、銀河面中の銀河中心方向(銀緯 14° 付近)で、Gaia カタログを用いて作成した  $A_G$ (星間吸収) -  $d$ (距離)プロットが 3kpc 以上にわたりほぼ一様増加し、銀河系の Sagittarius Arm の向こうまで見通していると期待される領域(10 分角 × 10 分角 × 2 領域)及び反銀河中心方向のおうし座分子雲( $d \sim 130$ pc)とペルセウス座分子雲( $d \sim 300$ pc)が重なっている領域(10 分角 × 10 分角 × 6 領域)で、限界等級は可視 16-17 等級(偏光測定精度 0.1-0.2%)と十分に深い観測が出来ている。同装置を用いた重力波天体源の探索観測用に開発されたパイプラインを偏光サーベイ用に修正し、視野内に写りこんだすべての恒星に対して偏光測定ができるように整備して、各領域における偏光マップを作成した。銀河中心方向の領域では、距離 $\sim 4$ kpc にわたっていくつかの距離グリッドごとに偏光特性が変わる様子が見えており、複数の星間雲があること、星間雲ごとに銀河磁場の向きが異なる傾向が見出されつつある。反銀河中心方向の領域では、星数が少なく、サンプル星の距離もほとんどは 1kpc 以内で、貫く星間雲の個数も少ないが、やはり星間雲ごとの違いが見えつつあり、SGMAP の当初からの目標であった偏光サーベイによる「三次元的な銀河磁場構造の導出」の端緒を得ることができた。

(7) 時間変化を示す偏光天体の観測的研究

SGMAP による時間変動天体サーベイを模した観測研究として、HONIR を用いた活動銀河核およびガンマ線バースト(GRB)の継続的偏光観測を実施した。GRB 180720b の可視残光において、GRB トリガーから 90 秒-1000 秒の reverse shock 起源と考えられる急減光期に数パーセントに及ぶ偏光の時間変動が捉えられた一方、2000 秒以降は急減光が収まり、偏光もほぼゼロとなったことを捉えた。GRB の初期にこれだけの偏光変動が捉えられた例は初めてである。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Doi Yasuo, Hasegawa Tetsuo, Furuya Ray S., Coud Simon, Hull Charles L. H., Arzoumanian Doris, Bastien Pierre, Chen Michael Chun-Yuan, Di Francesco James, Friesen Rachel, Koji S. Kawabata, et al. (138 persons in total)	4. 巻 899
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: Magnetic Fields Associated with a Network of Filaments in NGC 1333	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 28 ~ 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aba1e2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Itoh Ryosuke, Utsumi Yousuke, Inoue Yoshiyuki, Ohta Kouji, Doi Akihiro, Morokuma Tomoki, Kawabata Koji S., Tanaka Yasuyuki T.	4. 巻 901
2. 論文標題 Blazar Radio and Optical Survey (BROS): A Catalog of Blazar Candidates Showing Flat Radio Spectrum and Their Optical Identification in Pan-STARRS1 Surveys	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 3 ~ 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abab07	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Watanabe Makoto, Oya Shin, Goda Shuhei, Nakamoto Jumpei, Teraji Keisuke, Ishikoso Hiroaki, Morisada Shouta, Kamakari Hiroshi R., Mizukose Fuka, Yamane Hiromasa, Sagisaka Kanta, Yokoyama Masaru, Kawabata Koji S.	4. 巻 11448
2. 論文標題 Development of multi-conjugate adaptive optics system for monitoring of solar system planets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 id. 1144877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2561196	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Liu Wei, Utsumi Yousuke, Kawabata Koji S., Sasada Mahito, Yao Yongqiang, Zuo Yingxi, Lou Zheng, Shi Shengcai	4. 巻 11448
2. 論文標題 The HinOTORI Telescope and its remote control system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 id. 1145157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2560801	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Morokuma Tomoki, Utsumi Yousuke, Ohta Kouji, Yamanaka Masayuki, Kawabata Koji S, Inoue Yoshiyuki, Tanaka Masaomi, Yoshida Michitoshi, Itoh Ryosuke, Sasada Mahito, Tominaga Nozomu, et al. (38 persons in total)	4. 巻 73
2. 論文標題 Follow-up observations for IceCube-170922A: Detection of rapid near-infrared variability and intensive monitoring of TXS 0506+056	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 25 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakaoka Tatsuya, Kawabata Koji S., Maeda Keiichi, Tanaka Masaomi, Yamanaka Masayuki, Moriya Takashi J., Tominaga Nozomu, Morokuma Tomoki, et al.	4. 巻 859
2. 論文標題 The Low-luminosity Type IIP Supernova 2016bkv with Early-phase Circumstellar Interaction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 78 ~ 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aabee7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 The IceCube Collaboration, Fermi-LAT, MAGIC, AGILE, ASAS-SN, HAWC, H.E.S.S., INTEGRAL, Kanata, Kiso, Kapteyn, Liverpool Telescope, Subaru, Swift/NuSTAR, VERITAS, VLA/17B-403 teams	4. 巻 361
2. 論文標題 Multimessenger observations of a flaring blazar coincident with high-energy neutrino IceCube-170922A	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 eaat1378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aat1378	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kawabata Miho, Kawabata Koji S, Maeda Keiich, Yamanaka Masayuki, Nakaoka Tatsuya, Takaki Katsutoshi, Fukushima Daiki, et al.	4. 巻 70
2. 論文標題 Extended optical/NIR observations of Type Iax supernova 2014dt: Possible signatures of a bound remnant	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy116	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Liu Wei、Kawabata Koji、Sako Shigeyuki、Yoshida Michitoshi、Shi Sheng-Cai、Utsumi Yousuke	4. 巻 10709
2. 論文標題 Development of a compact readout system for optical CCD in Higashi-Hiroshima Observatory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 107091X
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2311910	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

[学会発表] 計5件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Koji S. Kawabata, Kengo Takagi, Miho Kawabata, Tatsuya Nakaoka, Mahito Sasada, Masayuki Yamanaka
2. 発表標題 Optical Polarimetry for Bright Early Afterglow of GRB 180720B
3. 学会等名 IAU Symposium 360: Astronomical Polarimetry 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masayuki Yamanaka, Brajesh Kumar, Koji Kawabata, Avinash Singh, G. C. Anupama, Devendra Sahu, Tatsuya Nakaoka, Miho Kawabata
2. 発表標題 Imaging Polarimetric Observations of Nearby Supernovae
3. 学会等名 IAU Symposium 360: Astronomical Polarimetry 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. M. Magalhaes and K. S. Kawabata
2. 発表標題 ALL-SKY SURVEY IN POLARIZED LIGHT
3. 学会等名 Japan-Latin America Academic Conference 2018 in Nikko: Astronomy and Astronomical Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji S. Kawabata
2. 発表標題 Status of Hiroshima 1.5m Optical Telescope and SGMAP optical survey project
3. 学会等名 Gravitational Wave Physics and Astronomy: Genesis
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川端弘治
2. 発表標題 可視偏光サーベイ計画SGMAP: 北天銀河面の可視近赤外サーベイと南天観測の海外協力
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

SGMAPプロジェクト ホームページ <a href="http://1601-031.a.hiroshima-u.ac.jp/sgmap/">http://1601-031.a.hiroshima-u.ac.jp/sgmap/</a>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	渡邊 誠 (Watanabe Makoto) (10450181)	岡山理科大学・理学部・准教授  (35302)	



## 6. 研究組織 (つづき)

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	西山 正吾 (Nishiyama Shogo) (20377948)	宮城教育大学・教育学部・准教授  (11302)	
研究分担者	松村 雅文 (Matsumura Masafumi) (50239084)	香川大学・教育学部・教授  (16201)	
研究分担者	當真 賢二 (Toma Kenji) (70729011)	東北大学・学際科学フロンティア研究所・准教授  (11301)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	秋田谷 洋 (Akitaya Hiroshi)		
研究協力者	山下 卓也 (Yamashita Takuya)		
研究協力者	土井 靖生 (Doi Yasuo)		
研究協力者	笹田 真人 (Sasada Mahito)		

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	中岡 竜也  (Nakaoka Tatsuya)		
研究協力者	植村 誠  (Uemura Makoto)		
研究協力者	マガルハエス アントニオ・マリオ  (Magalhaes Antonio Mario)		

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 IAU Symposium 360: Astronomical Polarimetry 2020	開催年 2021年～2021年
------------------------------------------------------------	--------------------

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
ブラジル	University of Sao Paulo	Inst. Nac. de Pesquisas Espaciais	
オランダ	RADBOUD University		