

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02062

研究課題名(和文) 広波長帯域赤外線分光装置による銀河進化の観測的研究

研究課題名(英文) Development of a Wide-Wavelength-Coverage Integral Field Spectrograph Unit to Probe Galaxy Evolution

研究代表者

本原 顕太郎 (Motohara, Kentaro)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授

研究者番号：90343102

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,600,000円

研究成果の概要(和文)：SWIMSの組み立て及び冷却性能試験を国内で完了させたのち、国立天文台ハワイ観測所へ輸送し、平成31年度にすばる望遠鏡に取り付けての試験観測を行うことに成功した。この観測により、撮像及び多天体分光両機能について想定通りの性能が達成されていることを確認した。また、遠方銀河の中間帯域フィルタ撮像サーベイの試験及び赤外線銀河の多天体分光を行った。

SWIMS用面分光モジュールについて、特殊アルミRSA6061に超精密加工を用いることにより、必要な面粗さおよび面形状を持つ各種ミラーアレイの製造が可能であることを実証した。さらに、この技術を用いて、スリットミラーアレイの本番機の製作に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

SWIMSは最終的に東京大学が南米チリに建設中のTA06.5m望遠鏡に搭載される赤外線撮像分光器であり、TA0望遠鏡の先駆けてすばる望遠鏡でこの装置を運用することにより、問題点の洗い出しが行えるだけでなく、最新の装置を用いた新たなサイエンスが展開できる。

また、IFUの各種ミラーアレイの製作は、その要求精度の厳しさから最先端の超精密加工機をもってしても製作は困難を極める。本研究で得られた加工のノウハウは、超精密加工の更なる発展にも寄与すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：After the completion of assembly, integration and testing of SWIMS optics and cryogenics in Japan, we have transported it to Subaru telescope at Hawaii and carried out commissioning runs in FY2018. We have successfully confirmed that in both the imaging and the multi-object spectroscopy mode, SWIMS shows the performance as expected. We have also carried out a pilot imaging observations by medium-band filters targeting at high-redshift starburst galaxies, as well as multi-object spectroscopy of luminous infrared galaxies.

We have also carried out a development study of the integral-field unit (IFU) of SWIMS. Applying an ultra-high precision machining technique to special aluminum alloy RSA6061, we have proved that all the mirror-arrays necessary for the IFU can be fabricated. We have also fabricated the slit-mirror array for the IFU.

研究分野：赤外線天文学

キーワード：近赤外線 面分光 すばる 銀河形成 銀河進化

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2000年代に入ってから近赤外線を中心としたさまざまな観測により、宇宙年齢が20-60億年(赤方偏移 $z=1-3$)の時代では単位体積あたりの星形成率(星形成率密度)が現在の30倍以上とピークを迎え(e.g. Hopkins et al. 2006)、現在の宇宙に存在する星質量の半分以上が形成されたことが明らかになってきた(e.g. Kajisawa et al. 2009)。しかも、これらの大部分が星形成率が $10M_{\odot}/\text{年}$ 以上のスターバースト銀河によって担われている(Capti et al. 2007)が、数密度は近傍の普通の銀河と同程度であり、まさに、我々天の川銀河のような天体が形成された時代を見ていると考えられる。

このような銀河の性質を明らかにしていくうえで重要な指標になるのが、金属量である。星形成活動があるとそれに伴う超新星爆発により星間空間に重金属が放出され、それが時間とともに蓄積されていくために、金属量は過去の銀河形成史の指標となる。実際、銀河の質量-金属量-星形成率の間には基本金属量関係(FMR)が存在し、重い銀河ほど/星形成率が小さいほど金属量が大きくなり、この関係は $z=0-2$ では進化しないが、 $z=2-3$ では系統的に金属量が減少している可能性が指摘されていた(Manucci et al. 2010)。FMRが変化するという事は、銀河の物質進化が単純なclosed-boxモデルではなく、何らかの外的要因を考えないといけない可能性を示しており、AGNによるフィードバックやアウトフロー、それにコールドアクリーションの定量的な評価、さらには近傍銀河との星形成のモードの違いの有無の検証につながるなど、銀河形成進化のモデルに非常に大きなインパクトをもつ。

また、銀河内での金属量の空間分布は銀河の力学的な状態(ガスの流入や過去の合体衝突)の指標になるが、面分光観測から $z\sim 1$ の銀河は近傍銀河と違い、中心の方が金属量が低い「逆金属量勾配」が見られ、これはコールドアクリーションの痕跡ではないかという報告もある(Queyrel et al. 2012, Stott et al. 2014)。しかしながら遠方銀河の金属量はほとんどが静止可視輝線比($[\text{N II}]/\text{H}\alpha$: $\text{N}2$ や $([\text{O II}] + [\text{O III}])/\text{H}\beta$: $\text{R}32$ など)を用いた非常に単純で経験則的な手法で推定されている。これは、電離パラメータや電子密度と縮退しており、近傍の星形成領域では成立しているものの遠方銀河の星形成領域は物理状態が異なっているため成り立たない可能性が最近指摘されている(Nakajima & Ouchi 2014, Kewley et al. 2013)。また、 N/O が異なるとする報告も出てきていたり(e.g. Shapley et al. 2014)、アウトフローによるショックもこの指標を大きく乱すことも明らかになってきた(Fogarty et al. 2012)。このように、遠方銀河の議論は、まだその物理状態を明らかにできていないため非常に大きな不定性を内在しており、 $z=1\sim 3$ の多数の銀河についてその物理状態を高い精度で、空間的に分解して把握する、多面的な観測研究が喫緊の研究課題となっている。そのためには、静止波長可視域の広い波長帯域に渡るスペクトルを取得し、多数の輝線($\text{H}\alpha$, $[\text{N II}]$, $[\text{S II}]$, $[\text{O I}]$, $[\text{O III}]$, $\text{H}\beta$, $[\text{O II}]$ など)を用いた多輝線比診断により物理状態を解くとともに、空間的に分解して理解する必要があった。

このような科学的な背景のもと、我々は南米チリに建設を進めているTAO 6.5m望遠鏡プロジェクトの第一期観測装置である近赤外線多天体分光カメラSWIMS(Simultaneous-band Wide-field Multi-object Spectrograph, PI:本原頭太郎)の開発を進めていた。SWIMSは近赤外線波長 $0.9-2.5\mu\text{m}$ をダイクロミックミラーにより分割することにより、広い視野(すばる望遠鏡搭載時で $7.2' \times 3.6'$)の2波長帯同時撮像と、波長分解能 $R\sim 1000$ で最大20天体の $0.9-2.5\mu\text{m}$ スペクトルを同時に取得することが可能である。当時、主要なコンポーネントの製作は完了しており、その組み立て試験を進めていた。さらに、イメージスライサ型面分光ユニットの検討を行い、光学系の基本設計を完了するとともに、超精密切削加工機械を用いた光学素子の製造の検討も進めていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は大きく分けて二つある。

- (1) 一つは当時開発を進めていたSWIMSを完成させ、国立天文台ハワイ観測所にPI観測装置として持ち込んで様々な $z\sim 2$ 銀河の $0.9-2.5\mu\text{m}$ での大規模近赤外線多天体スリット分光サーベイ観測をおこなう。これにより銀河形成の最盛期である $z=1-3$ の銀河の静止波長可視全域をカバーする最良のスペクトルサンプルを構築する。静止波長域の主要な輝線すべて($[\text{O II}] \lambda 3727$, $\text{H}\beta$, $[\text{O III}] \lambda \lambda 4959, 5007$, $[\text{O I}] \lambda 6300$, $\text{H}\alpha$, $[\text{N II}] \lambda \lambda 6548, 6583$, $[\text{S II}] \lambda \lambda 6716, 6731$)が取得できるため、各種輝線比、輝線幅、視線速度などからこれら銀河の物理状態(温度・密度)、星形成率、電離パラメータ、金属量、ダスト吸収、アウトフローによるショックやAGNの寄与を測定する。
- (2) もう一つは、それまで検討してきた面分光ユニットを実際に製作してSWIMSに搭載することである。超精密切削加工により実際に光学素子を製作し、その性能評価を行ったうえで、それらを組み上げる手法を確立するとともに、実際に観測装置に組み込んで観測を行うことにより、当時まだ国内では進んでいなかった面分光装置の開発および、それを用いた観測、さらにデータ解析のノウハウを蓄積する。さらにさらに実際の観測を行うことにより、遠方銀河における星形成クランプ個々の性質、力学構造(回転運動とランダム運動の切り分け)、広がった空間構造などを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は以下の三本の柱からなる。

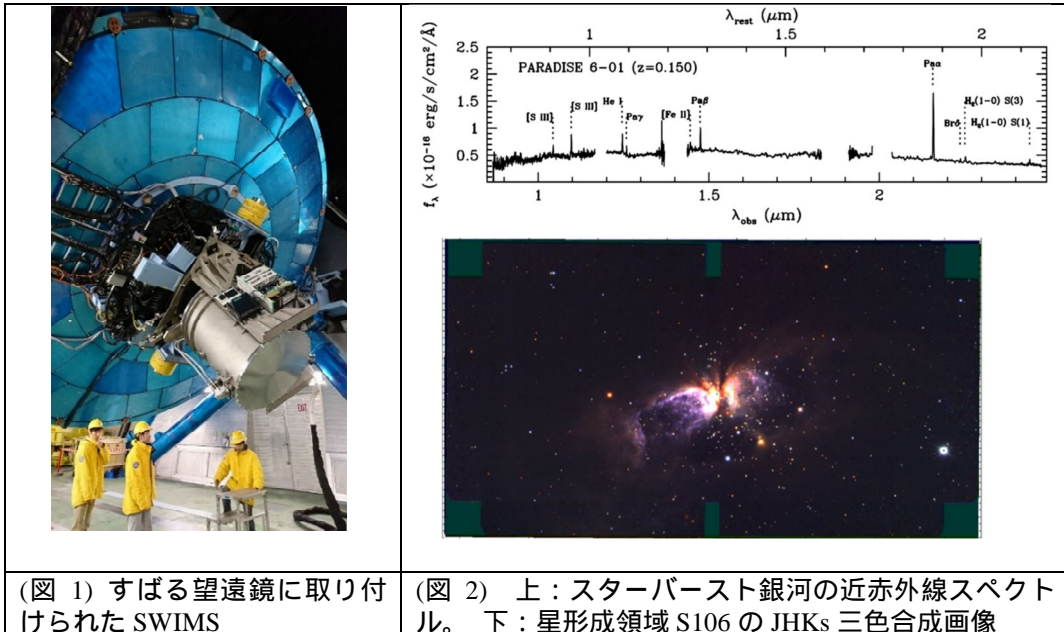
- (1) 開発中の SWIMS を完成させ、すばる望遠鏡に持ち込み観測運用を行うことである。ハードウェアの製造はほぼ完成しており、本研究期間中にこれらコンポーネントの結合/調整と制御系を完了し、ハワイ観測所に輸送して再立ち上げを行い、その後すばる望遠鏡システムへの組み込みと試験観測を行う。
- (2) 光学系の設計まで完了している面分光ユニットを完成させ、SWIMS に組み込むことである。個別の光学素子については、理化学研究所の超精密加工グループと共同研究ベースで進める。
- (3) すばる望遠鏡での撮像/多天体分光/面分光サーベイ観測を行い、遠方星形成銀河の物理状態の詳細を探る。

4. 研究成果

(1) SWIMS の完成

三鷹の天文センター大型実験室での光学系及び検出器系の組み立て・および真空冷却試験を行い、要求していた結像性能及び到達温度、真空度を達成できることを確認した。その後、平成 28 年度にハワイ観測所への輸送を行い、山麓施設での再組み立て及び調整試験を行った。ここでいくつかの不具合(検出器駆動 PC の能力不足など)が新たに判明したが、それらすべてに対処した。その後、ハワイ観測所の山頂輸送審査を通り、すばる望遠鏡での観測の準備も完了した。これにより、SWIMS はハードウェアとしては完成したことになる。

(2) SWIMS のすばる望遠鏡での試験観測とその結果



(図 1) すばる望遠鏡に取り付けられた SWIMS

(図 2) 上：スターバースト銀河の近赤外線スペクトル。下：星形成領域 S106 の JHKs 三色合成画像

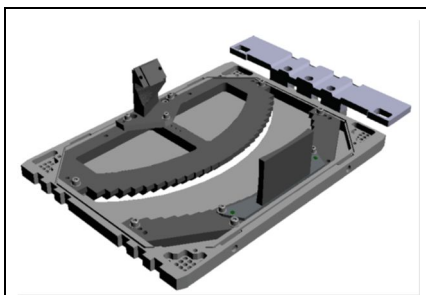
平成 30 年 5 月にすばる望遠鏡に取り付けての試験観測を行った。フィルタホイールが一枚動かなくなるトラブルがあったものの、撮像観測についてはファーストライト観測には成功し、当初想定していた半分以上の試験項目を実行することができた。これにより、撮像機能についてはほぼ当初予定していた性能が出ていることを確認できた。

その後、望遠鏡から取り外して山麓に下ろし、再度解体修理・調整を行った後に平成 31 年 1 月に 2 回目の試験観測を行った。これにより、撮像機能の全項目の試験を行うとともに、多天体分光についてもファーストライト観測に成功した。いずれも想定通りの性能が達成されていることが確認でき、SWIMS の試験観測は成功裏に終了した。その後、性能審査を経たのち、SWIMS は 2021 年より 2 年間にわたってすばる望遠鏡の共同利用装置として供されることが決定した。

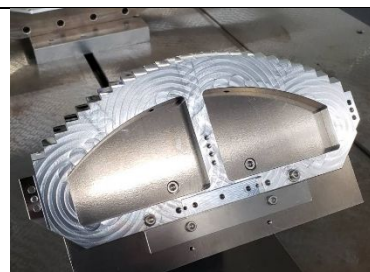
また、この試験観測によって高光度赤外線銀河(LIRG)である IRAS 08206+3110 のスリット分光を行った。SWIMS の近赤外線分光能力により 0.9-2.5 μm のスペクトルを一度に取得することに成功し、複数の水素再結合線(Pa α , Pa β , Pa γ , Br δ)および金属輝線[Fe II], [S III],さらに水素分子輝線(H2(1-0))などを検出した。これら輝線比から、この銀河が活発な星形成活動をしているだけでなく、巨大ブラックホールに由来する強い活動銀河核(AGN)を持ち、さらに銀河衝突によって生じたショック領域も有しているなど、様々な活動が同時進行していることを明らかにすることができた。また、試験観測によって COSMOS/ZFOURGE 領域のごく一部ではあるが、中間帯域フィルタによる撮像データを取得することができた。データ解析はまだ進行中であるが、星形成活動を行う遠方銀河を高い効率で検出できることを示す初期結果が出始めている。

(3) SWIMS-IFU モジュール

IFU モジュールは、3つのミラーアレイと、その前段の拡大光学系によって構成されている。このうち、26面の異なった鏡面を持つミラーアレイについては理化学研究所と共同研究により、超精密加工機によって製作した。IFUモジュールは、熱赤外



(図 3) IFU モジュールの機械系構造



(図 4) 完成したスリットミラーアレイ

線放射を押しやるために、150K 以下の低温環境下で用いられる。そこで冷却しても形状変形を引き起こさないように、教材も含めすべての構造体は同一材質のアルミニウム合金で作られる必要があった。我々は、いくつかの候補材料に対して加工試験を行い、最終的に RSP 社の RSA6061 を用いることとした。これは、ポアフリーアルミニウムで、切削加工を行っても高い面粗さが達成できる材質で、実測で面粗さ 7nm rms 以下が達成できた。これを受けて、各種ミラーアレイの作成を進めた。非常に複雑な面形状であるため、まずは加工プログラムの試験を行うダミーミラーの加工を行った後、最終製品の加工を行う手続きをとる。これにより、スリットミラーアレイ及び瞳ミラーアレイのダミーミラー加工を完了させるとともに、それを受けてスリットミラーアレイの本番機を完成させることができた。また、各ミラー間の相対位置・角度の要求公差を、光学系素子の位置をわずかつ動かして確認するモンテカルロシミュレーションを行った。これにより、高い精度が必要な取り付け面を同定することができ、それを取り込んで機械系構造の設計を完了させた。残念ながら、当初の目標である IFU による観測は完了できなかったが、すべてのミラーの製作について完成させるめどをつけることができ、SWIMS-IFU が技術的に製作可能であることを実証することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 17件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kono, Y., Yamagata, Y., Morita, S., Motohara, K., Ozaki, S., Tsuzuki, T., Takahashi, H., Kitagawa, Y., Konishi, M., Kato, N. M., Terao, Y., Ohashi, H., and Kushibiki, K.	4. 巻 10706
2. 論文標題 Design of an integral field unit for SWIMS and its milling process fabrication with an ultra-high precision machine tool	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 107063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2312351	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 Doi, M., Miyata, T., Yoshii, Y., Kohno, K., Tanaka, M., Motohara, K., Minezaki, T., Kawara, K., Sako, S., Morokuma, T., Tamura, Y., Tanabe, T., Hatsukade, B., Takahashi, H., Konishi, M., Kamizuka, T., Kato, N., Aoki, T., Soyano, T., Tarusawa, K., et al.	4. 巻 10700
2. 論文標題 The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: project overview and current status	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 107000W
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2313099	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 Konishi, M., Motohara, K., Takahashi, H., Kato, N., Terao, Y., Ohashi, H., Kono, Y., Kushibiki, K., Kodama, T., Hayashi, M., Tanaka, I., Tadaki, K.-. ichi ., Toshikawa, J., Koyama, Y., Shimakawa, R., Suzuki, T., Tateuchi, K., Kitagawa, Y., Kobayakawa, Y., Todo, S., et al.	4. 巻 10702
2. 論文標題 Development status of the simultaneous two-color near-infrared multi-object spectrograph SWIMS for the TAO 6.5m telescope	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 1070226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2310060	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 Tateuchi, K., Motohara, K., Konishi, M., Takahashi, H., Kitagawa, Y., Kato, N., Todo, S., Komugi, S., Ohsawa, R., Doi, M., and Yoshii, Y.	4. 巻 71
2. 論文標題 Ground-based Pa-alpha Narrow-band Imaging of Local Luminous Infrared Galaxies II: Bulge Structure And Star Formation Activity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 ID 64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Tominaga N., Tanaka M., Morokuma T., Utsumi Y., Yamaguchi M., Yasuda N., Tanaka M., Yoshida M., Fujiyoshi T., Furusawa H., Kawabata K., Lee C.-H., Motohara K., et al.	4. 巻 70
2. 論文標題 Subaru Hyper Suprime-Cam Survey for an optical counterpart of GW170817 †	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 ID 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy007	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 Saito T., Iono D., Ueda J., Espada D., Sliwa K., Nakanishi K., Lu N., Xu C K., Michiyama T., Kaneko H., Yamashita T., Ando M., Yun M S., Motohara K., Kawabe R	4. 巻 475
2. 論文標題 Imaging the molecular outflows of the prototypical ULIRG NGC 6240 with ALMA	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L52 ~ L56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slx207	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 Tominaga N., Tanaka M., Morokuma T., Utsumi Y., Yamaguchi M., Yasuda N., Tanaka M., Yoshida M., Fujiyoshi T., Furusawa H., Kawabata K., Lee C.-H., Motohara K., et al.	4. 巻 70
2. 論文標題 Subaru Hyper Suprime-Cam Survey for an optical counterpart of GW170817 †	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 ID 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy007	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 Utsumi Y., Tominaga N., Tanaka M., Morokuma T., Yoshida M., Asakura Y., Finet F., Furusawa H., Kawabata K., Liu W., Matsubayashi K., Moritani Y., Motohara K., et al.	4. 巻 70
2. 論文標題 A challenge to identify an optical counterpart of the gravitational wave event GW151226 with Hyper Suprime-Cam †	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 ID 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx125	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 Tanaka M., Utsumi Y., Mazzali P., Tominaga N., Yoshida M., Sekiguchi Y., Morokuma T., Motohara K., et.al	4. 巻 69
2. 論文標題 Kilonova from post-merger ejecta as an optical and near-Infrared counterpart of GW170817	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 ID 102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx121	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 Utsumi Y., Tanaka M., Tominaga N., Yoshida M., Barway S., Nagayama T., Zenko T., Aoki K., Fujiyoshi T., Furusawa H., Kawabata K., Koshida S., Lee C.-H., Morokuma T., Motohara K., et.al	4. 巻 69
2. 論文標題 J-GEM observations of an electromagnetic counterpart to the neutron star merger GW170817	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 ID 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx118	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 Malkan Matthew A., Cohen Daniel P., Maruyama Miyoko, Kashikawa Nobunari, Ly Chun, Ishikawa Shogo, Shimasaku Kazuhiro, Hayashi Masao, Motohara Kentaro	4. 巻 850
2. 論文標題 Lyman-break Galaxies at $z \approx 3$ in the Subaru Deep Field: Luminosity Function, Clustering, and [O iii] Emission	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 5~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa9331	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 Ikarashi S., Caputi K., Ohta K., Ivison R. J., Lagos C., Bisigello L., Hatsukade B., Aretxaga I., Dunlop J., Hughes D., Iono D., Izumi T., Kashikawa N., Koyama Y., Kawabe R., Kohno K., Motohara K., et.al	4. 巻 849
2. 論文標題 Very Compact Millimeter Sizes for Composite Star-forming/AGN Submillimeter Galaxies	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L36~L36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aa9572	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 848
2. 論文標題 Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L12~L12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aa91c9	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 Ikarashi S., Ivison R. J., Caputi K. I., Nakanishi K., Lagos C. D. P., Ashby M. L. N., Aretxaga I., Dunlop J. S., Hatsukade B., Hughes D. H., Iono D., Izumi T., Kawabe R., Kohno K., Motohara K., et al.	4. 巻 835
2. 論文標題 Extremely Red Submillimeter Galaxies: New z>4-6 Candidates Discovered using ALMA and Jansky VLA	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 286
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/835/2/286	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 Saito T., Iono D., Xu C. K., Sliwa K., Ueda J., Espada D., Kaneko H., König S., Nakanishi K., Lee M., Yun M. S., Aalto S., Hibbard J. E., Yamashita T., Motohara K., Kawabe R.	4. 巻 835
2. 論文標題 Spatially resolved CO SLED of the Luminous Merger Remnant NGC 1614 with ALMA	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/835/2/174	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 Saito T., Iono D., Espada D., Nakanishi K., Ueda J., Sugai H., Takano S., Yun M. S., Imanishi M., Ohashi S., Lee M., Hagiwara Y., Motohara K., Kawabe R.	4. 巻 834
2. 論文標題 Merger-induced Shocks in the Nearby LIRG W 114 through Methanol Observations with ALMA	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/834/1/6	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 Wang W.-H., Kohno K., Hatsukade B., Umehata H., Aretxaga I., Hughes D., Caputi K. I., Dunlop J. S., Ikarashi S., Iono D., Ivison R. J., Lee M., Makiya R., Matsuda Y., Motohara K., et al.	4. 巻 833
2. 論文標題 The SXDF-ALMA 2-arcmin ² Deep Survey: Stacking Rest-frame Near-infrared Selected Objects	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/833/2/195	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 Terao Y., Motohara K., Konishi M., Takahashi H., Kato N. M., Kitagawa Y., Kobayakawa Y., Ohashi H., Tateuchi K., Todo S.	4. 巻 9915
2. 論文標題 NIR camera and spectrograph SWIMS for TAO 6.5m telescope: array control system and its performance	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 High Energy, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy VII : Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 99151W
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2232014	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 Motohara K., Konishi M., Takahashi H., Kato N. M., Kitagawa Y., Kobayakawa Y., Terao Y., Ohashi H., Aoki T., Doi M., et al.	4. 巻 9908
2. 論文標題 NIR camera and spectrograph SWIMS for TAO 6.5m telescope: overview and development status	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy VI : Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 99083U
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2231386	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 Kitagawa Y., Yamagata Y., Morita S.-y., Motohara K., Ozaki S., Takahashi H., Konishi M., Kato N. M., Kobayakawa Y., Terao Y., Ohashi H.	4. 巻 9912
2. 論文標題 Fabrication of a wide-field NIR integral field unit for SWIMS using ultra-precision cutting	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation II : Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 991225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2231931	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 Hatsukade B., Kohno K., Umehata H., Aretxaga I., Caputi K. I., Dunlop J. S., Ikarashi S., Iono D., Ivison R. J., Lee M., Makiya R., Matsuda Y., Motohara K., Nakanishi K., Ohta K., Tadaki K.-i., Tamura Y., Wang W.-H., Wilson G. W., Yamaguchi Y., Yun M. S.	4. 巻 68
2. 論文標題 SXDF-ALMA 2-arcmin ² deep survey: 1.1-mm number counts	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psw026	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 Saito T., Iono D., Xu C. K., Ueda J., Nakanishi K., Yun M. S., Kaneko H., Yamashita T., Lee M., Espada D., Motohara K., Kawabe R.	4. 巻 68
2. 論文標題 Spatially resolved radio-to-far-infrared SED of the luminous merger remnant NGC 1614 with ALMA and VLA	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psv136	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 Kohno, K., Yamaguchi, Y., Tamura, Y., Tadaki, K., Hatsukade, B., Ikarashi, S., Caputi, K. I., Rujopakarn, W., Ivison, R. J., Dunlop, J. S., Motohara, K., et al.	4. 巻 319
2. 論文標題 SXDF-UDS-CANDELS-ALMA 1.5 arcmin ² deep survey	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Galaxies at High Redshift and Their Evolution Over Cosmic Time	6. 最初と最後の頁 92-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S1743921315010364	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 Hayashi, Masao, Ly, Chun, Shimasaku, Kazuhiro, Motohara, Kentaro, Malkan, Matthew A., Nagao, Tohru, Kashikawa, Nobunari, Goto, Ryosuke, and Naito, Yoshiaki	4. 巻 67
2. 論文標題 Physical conditions of the interstellar medium in star-forming galaxies at $z \sim 1.5$	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psv041	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 Ikarashi, Soh, Ivison, R. J., Caputi, Karina I., Aretxaga, Itziar, Dunlop, James S., Hatsukade, Bunyo, Hughes, David H., Iono, Daisuke, Izumi, Takuma, Kawabe, Ryohei, Kohno, Kotaro, Lagos, Claudia D. P., Motohara, Kentaro, et.al	4. 巻 810
2. 論文標題 Compact Starbursts in z~3-6 Submillimeter Galaxies Revealed by ALMA	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/810/2/133	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 Saito, Toshiki, Iono, Daisuke, Yun, Min S., Ueda, Junko, Nakanishi, Kouichiro, Sugai, Hajime, Espada, Daniel, Imanishi, Masatoshi, Motohara, Kentaro, Hagiwara, Yosiaki, Tateuchi, Ken, Lee, Minju, and Kawabe, Ryohei	4. 巻 803
2. 論文標題 ALMA Multi-line Observations of the IR-bright Merger VV 114	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/803/2/60	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 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Kono, Y., Yamagata, Y., Morita, S.-ya., Motohara, K., Ozaki, S., Tsuzuki, T., Takahashi, H., Kitagawa, Y., Konishi, M., Kato, N. M., Terao, Y., Ohashi, H., and Kushibiki, K.
2. 発表標題 Design of an integral field unit for SWIMS and its milling process fabrication with an ultra-high precision machine tool
3. 学会等名 Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Konishi, M., Motohara, K., Takahashi, H., Kato, N., Terao, Y., Ohashi, H., Kono, Y., Kushibiki, et al.
2. 発表標題 Development status of the simultaneous two-color near-infrared multi-object spectrograph SWIMS for the TAO 6.5m telescope
3. 学会等名 Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Doi, M., Miyata, T., Yoshii, Y., Kohno, K., Tanaka, M., Motohara, K., Minezaki, T., Kawara, K., Sako, S., Morokuma, T., Tamura, Y., Tanabe, T., Hatsukade, B., Takahashi, H., Konishi, M., Kamizuka, T., Kato, N., Aoki, T., Soyano, T., Tarusawa, et al.
2. 発表標題 The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: project overview and current status
3. 学会等名 Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本原顕太郎
2. 発表標題 TAO 6.5m望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS の開発進捗：すばる望遠鏡でのファーストライト
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河野志洋
2. 発表標題 ボールエンドミルを用いたSWIMS-IFU用鏡面の超精密加工
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 櫛引洸佑
2. 発表標題 近赤外撮像分光装置SWIMS用多天体分光マスク設計
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小西真広
2. 発表標題 TAO 6.5m望遠鏡用近赤外線観測装置SWIMS の開発進捗報告
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 超精密加工によるSWIMS- IFU 用ミラーの試験加工
2. 発表標題 河野志洋
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺尾恭範
2. 発表標題 Intrinsic scatter in star formation rate of galaxies with strong H-alpha at z ~2
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Motohara
2. 発表標題 NIR camera and spectrograph SWIMS for TAO 6.5m telescope: overview and development status
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Kitagawa
2. 発表標題 Fabrication of a wide-field NIR integral field unit for SWIMS using ultra-precision cutting
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Terao
2. 発表標題 NIR camera and spectrograph SWIMS for TAO 6.5m telescope: array control system and its performance
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大橋宗史
2. 発表標題 近赤外線観測装置SWIMSの低温結像性能評価
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 寺尾恭範
2. 発表標題 近赤外線2色同時多天体分光撮像装置SWIMSの検出器性能評価
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 北川祐太郎
2. 発表標題 Pa 輝線で探る近傍LIRGの空間分解された星形成活動
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 寺尾恭範
2. 発表標題 近赤外線2色同時多天体分光撮像装置SWIMSの検出器駆動システムの開発と評価
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大橋宗史
2. 発表標題 近傍LIRGの星形成活動
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 北川祐太郎
2. 発表標題 高空間分解 Pa 輝線撮像で探る近傍 clumpy 銀河の星形成活動
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小西真広
2. 発表標題 東京大学アタカマ天文台近赤外線観測装置 SWIMS
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小西真広
2. 発表標題 近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置 SWIMS の開発進捗と運用計画
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 北川祐太郎
2. 発表標題 超精密切削加工を用いたイメージスライサーの製作
3. 学会等名 精密工学会秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 TAO 6.5m望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS : すばる望遠鏡での試験観測報告
2. 発表標題 小西真広
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 超精密切削加工によるSWIMS-IFUスリットミラーアレイ本加工
2. 発表標題 櫛引洸佑
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Properties of H emitters at z~2.1-2.5 selected from broad-band photometry
2. 発表標題 寺尾恭範
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

SWIMS http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TA0/swims/
--

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	尾崎 忍夫 (Ozaki Shinobu) (60532710)	国立天文台・TMT推進室・特任研究員 (62616)	

6. 研究組織（つづき）

	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	児玉 忠恭 (Kodama Tadayuki) (80343101)	東北大学・理学研究科・教授 (11301)	
研究 協力者	小西 真広 (Konishi Masahiro) (50532545)	東京大学・理学系研究科・助教 (12601)	
研究 協力者	高橋 英則 (Takahashi Hidenori) (80361567)	東京大学・理学系研究科・助教 (12601)	