

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22244014

研究課題名(和文) 銀河面分子雲広域探査による銀河進化の観測的研究

研究課題名(英文) Observational study of galaxy evolution with large-scale surveys of molecular clouds along the Galactic plane

研究代表者

大西 利和 (ONISHI, Toshikazu)

大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30314058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,200,000円、(間接経費) 10,560,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、天体からの電波の両偏波成分の同時観測のためにOMT(Orthomode Transducer)を開発し、観測システムの更新も含めて、1.85m電波望遠鏡の観測効率を2倍以上向上させた(Onishi et al. 2013)。このシステムを用いて銀河系分子雲探査を行い、オリオン座・おうし座・ペルセウス座・はくちょう座・カリフォルニア星雲・へび座・銀河面等、様々な環境の星形成領域の分子ガスを含む合計約1250平方度の観測に成功した。Orion座星形成領域の観測では、分子雲全域の密度・温度分布を明らかにし、13CO(2-1)が密度・温度を求める上で重要なプローブであることを示した。

研究成果の概要(英文)：We developed waveguide-based Orthomode Transducers (OMT) for dual-polarization observations to be installed on the 1.85m mm-submm telescope, which improved the observation efficiency by a factor of 2. With this system, we have succeeded in covering 1250 square degrees along the Galactic plane including various star forming regions of Orion, Taurus, Perseus, Cygnus, California nebula, Serpens, and so on. The development is summarized in Onishi et al. (2013). We found that 13CO(2-1) line is an important probe to precisely derive the density and temperature of molecular clouds through an observational study of molecular clouds toward Orion molecular clouds.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：電波天文学 銀河進化

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) はじめに

我々の銀河系をはじめとする銀河は、1千億個を超える星の集団で、その質量の1割あまりは星間ガスとして存在している。星は星間ガス雲から形成され、星形成に伴うガスの循環サイクルが何世代にもわたって繰り返されることにより、銀河内の重元素量は増加していく。生成された重元素は各種放射遷移によって星間ガスの冷却を支配し、その後の星および星団形成を決定づける。すなわち星間ガス⇒星⇒星間ガスといった循環サイクルは宇宙における最も基本的な素過程であり、今日までの銀河の進化を規定している。つまり、星間ガスの理解が銀河の進化を理解する上で必要不可欠である。

### (2) 分子ガス観測の重要性

1980年代から2000年ごろにかけて展開されたミリ波帯観測により、太陽系近傍の暗黒星雲内で太陽程度の重さの星が形成される様子については多くの観測的知見が得られた(例 Onishi et al. 2002)。しかし、これは上記の星間ガスの循環サイクルのほんの一端に過ぎず、その全貌を解明するには至っていない。重力収縮による分子雲の形成過程(自発的な星間ガスの相変化)や大質量星からの星風、紫外線および超新星爆発による分子ガス雲の散逸と形成過程(誘発的な星間ガスの相変化)など、そもそも星形成の母体となる暗黒星雲や分子雲がどのように形成されるか、また星・星団を形成したガス雲はどのように散逸して上記に述べたような星間ガスの循環サイクルが形成されるか、まだまだ解明すべき課題は多い。

### (3) ミリ波分子雲観測の現状

これまでの銀河系内、大小マゼラン銀河の広範な観測の例としては、1970年代から開始されたコロンビア大学のグループを中心としたコロンビア・サーベイと、1980年代より開始された名古屋大学グループのサーベイの2つが代表的である。名古屋大学のグループでは、「なんてん」4m望遠鏡を用いて、チリから観測可能な銀緯±10度以内の領域を4-8分角の空間角度分解能で観測を終了した。この「なんてん」による、より詳細な探査の結果、複数回の超新星爆発によって形成されたと考えられる分子雲スーパーシェルの発見するなど、分子ガスでみた銀河系の世界観を大きく塗り替えることに成功してきた。

### (4) 銀河系、広域遠赤外線連続波、水素原子(HI)観測の現状

一方、最近の観測装置の急速な進歩により、低温ダストをとらえることのできる遠赤外線—サブミリ波観測、原子ガスをとらえることのできるHIスペクトル観測が、急速に進んできている。Spitzer、AKARI赤外線衛星により、1分角を切る角度分解能で、全域に渡る遠赤外線(60-160 $\mu$ m)データが取得され、Planck衛星では5分角程度の空間分解能でサ

ブミリ波—ミリ波のデータが全天で取得されつつある。同じく星間ダストをトレースするものとして、土橋らによる全天に渡る可視光(DSS)減光マップが完成し、さらに減光の強い領域をトレースできる近赤外の波長帯(2mass)での減光マップが完成しつつある。HISペクトルに関しても、オーストラリアのグループ(ATCA 干渉計+Parkes64m 望遠鏡)や、The Canadian Galactic Plane Survey等、空間分解能1分角程度の広域探査が行われている。

## 2. 研究の目的

本研究では、一酸化炭素分子の回転遷移スペクトル $^{12}\text{CO}(2-1)$  [230GHz],  $^{13}\text{CO}(2-1)$  [220GHz],  $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$  [220GHz]の3輝線同時観測により、数分角の空間角度分解能で、我々の天の川銀河の分子ガスの分布・運動・物理状態を徹底した広域観測を中心として明らかにする。ほぼ同じ空間分解能を持つ、水素原子ガス(HI)、遠赤外線—サブミリ波データ(星間ダスト)、可視・赤外吸収(星間ダスト)等との比較を通して、異なる環境下でのガス雲の物理量の量的比較が、銀河規模で、十分な空間分解能・感度で行うことが可能となり、銀河の進化の解明にユニークに寄与できると考えられる。本計画を早急に推進すべき背景として次の3点もあげられる：**1.**他波長の銀河面・全天探査が数分角程度の空間分解能で得られ始めており(赤外線・サブミリ波:AKARI, Planck, HI: Parkes, ATCA, ガンマ線: Fermi)、それと比較すべき、同程度の空間分解能を持つ分子ガスのデータが国際的にも緊急に切望されていること。**2.**ミリ波帯の受信機性能が格段に向上し、高空間分解能での広範囲な探査が現実味を帯びてきたこと。**3.**系外銀河の超高空間分解能全面観測(ALMA等)と比較すべき銀河系分子ガスのデータが早急に求められること。

本研究では、大阪府立大学が主となって開発を進めている、1.85mミリ波・サブミリ波望遠鏡での観測を中心として、研究の基礎データとなる北天の銀河面広域探査を実現させる。

## 3. 研究の方法

本研究では、1.85mミリ波・サブミリ波望遠鏡を用いて、 $^{12}\text{CO}(2-1)$ ,  $^{13}\text{CO}(2-1)$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$ を用いた銀河系の徹底した広域観測を行なう。OTF(On the Fly)法を用いた観測により、 $^{12}\text{CO}(2-1)$ ,  $^{13}\text{CO}(2-1)$ スペクトルでは北の銀河面主要部(全体の1/2程度)、 $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$ ではその観測領域内の高密度分子雲コアの観測が可能である。これを実現するために、1.85m望遠鏡に両偏波の観測が可能な2SB受信機を開発し、搭載する。現状のシステムの更新とあわせて、観測効率を現在の2-3倍程度に向上させる。このデータの取得により、銀河系主要部における分子ガス、原子ガス、遠赤外線ダストの観測データが、約3分角という空間分解能で整備されることになる。これら

の比較研究により、(1)銀河系の様々な領域の星間物質の分布を高空間分解能で明らかにし、(2)赤外線観測から原始星、(Ultra) Compact HII 領域等の星形成領域を同定し、(3)それぞれの銀河内の分子雲方向の観測から得られたその物理状態及び星形成の様子との比較を通して、(4)紫外線量・重元素量を初めとする環境の違いが分子雲の性質、星形成等に与える影響を明らかにする。これらの研究は、研究分担者・連携研究者・研究協力者との研究交流、研究会開催を軸として研究代表者が中心となって推進する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 230GHz 帯 2 偏波 2SB 受信機の製作

本研究の推進には、受信機性能向上による観測能率の大幅な向上が必要不可欠である。そこで、OMT (Ortho-Mode Transducer) と呼ばれる導波管型偏波計で垂直偏波と水平偏波を分離し、それを 2 系統の 2SB 受信機で受信することにより、観測効率を少なくとも現在の 2 倍に向上させることを目標とした。OMT の設計・製作を行い、OMT・2 偏波同時受信 2SB 受信機・デジタルフーリエ分光計を望遠鏡システムに組み込み、2012 年 10 月から搭載試験を開始し、それまでの 1 偏波受信システムと比較して観測効率が 2 倍になっていることを確認した。また、観測ソフトウェアシステムを改良し、観測の状況などをすべて Web で確認できるようになり、リモート観測の効率化も推進した。これらにより、当初計画の開発に関してはほぼ完了したと考えて良い。また、観測データのキャリブレーションを含む電波望遠鏡としての性能の評価を行い、論文としてまとめた(Onishi et al. 2013)。

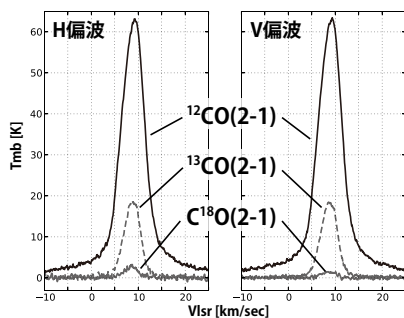


図 1: 両偏波(H, V 偏波)同時受信機で取得した Ori-KL 方向のスペクトル。一度の観測で 6 本のスペクトルが得られる。H, V 両偏波ともほぼ同じ強度、感度で受信できていることがわかる。両方のスペクトルを平均すると、期待通り、S/N が 2 倍向上することがわかった。

##### (2) 1.85m 望遠鏡を用いた $^{12}\text{CO}$ , $^{13}\text{CO}$ , $\text{C}^{18}\text{O}(J=2-1)$ スペクトルでの広域観測の開始

開発した 2 偏波同時観測システムを用いて、分子雲広域探査を継続した。これまでの観測領域は 2010, 2011, 2012, 2013 年度シーズンがそれぞれ、237, 152, 598, 250(提出時解

析中、おおよその値)平方度であり、既に Orion、Taurus、Cygnus X、Cygnus OB7、W3/W4/W5、California nebula、Auriga、Gemini OB1 (Shimoikura et al. 2013) などの主要な近傍分子雲の全域マッピングが完了している。さらに銀河面サーベイを重点的に実施しており、第 1 象限 (銀経  $5^\circ \sim 90^\circ$ ) ならびに、第 2 象限 (銀経  $90^\circ \sim 155^\circ$ )、第 3 象限 (銀経  $180^\circ \sim 225^\circ$ ) の観測を行った。これら観測結果は、成果が出版され次第、データを公開する予定である。

これらの観測結果から、一酸化炭素分子の  $J=1-0$  スペクトルとの比較を通して分子ガスの温度・密度の導出を行った。その結果、 $^{13}\text{CO}(2-1)$  が分子雲の密度・温度を導出する上で極めて重要であることがわかってきた。これは、その輝線が光学的に薄いこと、水素分子個数密度 1000 個/cc 付近で密度に応じて強度が大きく変化すること、等が要因である。これらのデータを用いて励起輻射輸送計算により、Orion 座においては分子雲全域における密度・温度の分布をはじめ明らかにした(図 2; Nishimura et al. 2014 submitted)。

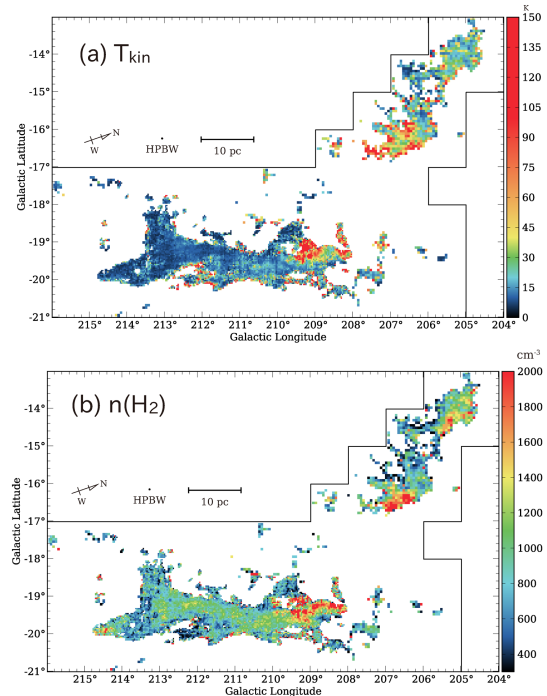


図 2: 励起輻射輸送計算により求めた Orion 座分子雲の温度 (上)、密度 (下) 分布

他波長データとの比較研究の例として、Orion 領域で最近 Spitzer により得られた YSO の分布を、我々の CO データから得られたガスの物理量と比較した。その結果、星形成率 (SFR) は、ガスの柱密度と非常に相関が良く、また密度とも相関が見られる事、また、運動温度は星形成効率 (SFE) と関係している事などが分かった (Nishimura et al. 2014 submitted)。

## 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 16 件)

① Muller, E., Mizuno, N., Minamidani, T., Kawamura, A., Rosie Chen, C.-H., Indebetouw, R., Enokiya, R., Fukui, Y., Gordon, K., Hayakawa, T., Mizuno, Y., Murai, M., Okuda, T., Onishi, T., Tachihara, K., Takekoshi, T., Yamamoto, H., and Yoshiike, S., "Unusually bright  $^{12}\text{CO}(3-2)$  condensations in the tidally perturbed Small Magellanic Cloud "tail"", Publications of the Astronomical Society of Japan, 66, 4, 2014, 10.1093/pasj/pst006, 査読有

② Furukawa, N., Ohama, A., Fukuda, T., Torii, K., Hayakawa, T., Sano, H., Okuda, T., Yamamoto, H., Moribe, N., Mizuno, A., Maezawa, H., Onishi, T., Kawamura, A., Mizuno, N., Dawson, J. R., Dame, T. M., Yonekura, Y., Aharonian, F., de Oña Wilhelmi, E., Rowell, G. P., Matsumoto, R., Asahina, Y., and Fukui, Y., "The Jet and Arc Molecular Clouds toward Westerlund 2, RCW 49, and HESS J1023-575  $^{12}\text{CO}$  and  $^{13}\text{CO}$  ( $J = 2-1$  and  $J = 1-0$ ) observations with NANTEN2 and Mopra Telescope", The Astrophysical Journal, 781, 70, 2014, 10.1088/0004-637X/781/2/70, 査読有

③ Enokiya, R., Torii, K., Schultheis, M., Asahina, Y., Matsumoto, R., Furuhashi, E., Nakamura, K., Dobashi, K., Yoshiike, S., Sato, J., Furukawa, N., Moribe, N., Ohama, A., Sano, H., Okamoto, R., Mori, Y., Hanaoka, N., Nishimura, A., Hayakawa, T., Okuda, T., Yamamoto, H., Kawamura, A., Mizuno, N., Onishi, T., Morris, M. R., and Fukui, Y., "Discovery of Possible Molecular Counterparts to the Infrared Double Helix Nebula in the Galactic Center", The Astrophysical Journal, 780, 72, 2014, 10.1088/0004-637X/780/1/72, 査読有

④ Sano, H., Tanaka, T., Torii, K., Fukuda, T., Yoshiike, S., Sato, J., Horachi, H., Kuwahara, T., Hayakawa, T., Matsumoto, H., Inoue, T., Yamazaki, R., Inutsuka, S., Kawamura, A., Tachihara, K., Yamamoto, H., Okuda, T., Mizuno, N., Onishi, T., Mizuno, A., and Fukui, Y., "Non-thermal X-Rays and Interstellar Gas Toward the  $\gamma$ -Ray Supernova Remnant RX J1713.7-3946: Evidence for X-Ray Enhancement around CO and H I Clumps", The Astrophysical Journal, 778, 59, 2013, 10.1088/0004-637X/778/1/59, 査読有

⑤ Nishimura, A., Kimura, K., Muraoka, K., Maezawa, H., Onishi, T., Ogawa, H., Dobashi, K., and ALMA 1.85m Group, "The 1.85 m mm-submm Telescope: A Newly-Developed CO

Multi-Line Surveyor", Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 476, 423, 2013, 査読無

⑥ Tokuda, K., Kozu, M., Kimura, K., Muraoka, K., Maezawa, H., Onishi, T., Ogawa, H., Nakamura, F., Kuno, N., Takano, S., Iono, D., Kawabe, R., and Kamenno, S., "A New 45 GHz Band Receiver with Dual Polarization for NRO 45-m Telescope", Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 476, 403, 2013, 査読無

⑦ Shimoikura, T., Dobashi, K., Onishi, T., Ogawa, H., Kimura, K., Nishimura, A., Matsumoto, T., Nakamura, F., and Saito, H., "Cluster Formation in the Sh247/ Sh252/ BFS52 Regions", Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 476, 365, 2013, 査読無

⑧ Onishi, T., "Star Formation: From Giant Molecular Clouds to Prestellar Cores", Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 476, 85, 2013, 査読無

⑨ Onishi, T., Nishimura, A., Ota, Y., Hashizume, A., Kojima, Y., Minami, A., Tokuda, K., Touga, S., Abe, Y., Kaiden, M., Kimura, K., Muraoka, K., Maezawa, H., Ogawa, H., Dobashi, K., Shimoikura, T., Yonekura, Y., Asayama, S., Handa, T., Nakajima, T., Noguchi, T., and Kuno, N., "A 1.85-m mm-submm Telescope for Large-Scale Molecular Gas Surveys in  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ , and  $\text{C}^{18}\text{O}$  ( $J = 2-1$ )", Publications of the Astronomical Society of Japan, 65, 78, 2013, 10.1093/pasj/65.4.78, 査読有

⑩ Yoshiike, S., Fukuda, T., Sano, H., Ohama, A., Moribe, N., Torii, K., Hayakawa, T., Okuda, T., Yamamoto, H., Tajima, H., Mizuno, N., Nishimura, A., Kimura, K., Maezawa, H., Onishi, T., Mizuno, A., Ogawa, H., Giuliani, A., Koo, B.-C., and Fukui, Y., "The Neutral Interstellar Gas toward SNR W44: Candidates for Target Protons in Hadronic  $\gamma$ -Ray Production in a Middle-aged Supernova Remnant", The Astrophysical Journal, 768, 179, 2013, 10.1088/0004-637X/768/2/179, 査読有

⑪ Shimoikura, T., Dobashi, K., Saito, H., Matsumoto, T., Nakamura, F., Nishimura, A., Kimura, K., Onishi, T., and Ogawa, H., "Molecular Clumps and Infrared Clusters in the S247, S252, and BFS52 Regions", The Astrophysical Journal, 768, 72, 2013, 10.1088/0004-637X/768/1/72, 査読有

⑫ Tóth, L. V., Zahorecz, S., Marton, G., Onishi, T., Balázs, L. G., Fehér, O., Kawamura, A., Kitamura, Y., Lisztes, M., Nishimura, A., Pásztor,

L., Pintér, S., Racz, I., Tamura, M., and Ueno, M., "Pattern analysis of young stellar clusters", IAU Symposium, 292, 113, 2013, 10.1017/S1743921313000732, 査読無

⑬ Zahorecz, S., Tóth, L. V., Marton, G., Onishi, T., Balázs, L. G., Fehér, O., Kawamura, A., Kitamura, Y., Lisztes, M., Nishimura, A., Pásztor, L., Pintér, S., Racz, I., Tamura, M., Sese, R. M. D., and Ueno, M., "YSOs in Taurus-Auriga-Perseus and Orion", IAU Symposium, 292, 64, 2013, 10.1017/S1743921313000446, 査読無

⑭ Fukui, Y., Sano, H., Sato, J., Torii, K., Horachi, H., Hayakawa, T., McClure-Griffiths, N. M., Rowell, G., Inoue, T., Inutsuka, S., Kawamura, A., Yamamoto, H., Okuda, T., Mizuno, N., Onishi, T., Mizuno, A., and Ogawa, H., "A Detailed Study of the Molecular and Atomic Gas toward the  $\gamma$ -Ray Supernova Remnant RX J1713.7-3946: Spatial TeV  $\gamma$ -Ray and Interstellar Medium Gas Correspondence", The Astrophysical Journal, 746, 82, 2012, 10.1088/0004-637X/746/1/82, 査読有

⑮ Torii, K., Enokiya, R., Sano, H., Yoshiike, S., Hanaoka, N., Ohama, A., Furukawa, N., Dawson, J. R., Moribe, N., Oishi, K., Nakashima, Y., Okuda, T., Yamamoto, H., Kawamura, A., Mizuno, N., Maezawa, H., Onishi, T., Mizuno, A., and Fukui, Y., "Molecular Clouds in the Trifid Nebula M20: Possible Evidence for a Cloud-Cloud Collision in Triggering the Formation of the First Generation Stars", The Astrophysical Journal, 738, 46, 2011, 10.1088/0004-637X/738/1/46, 査読有

⑯ Paradis, D., Paladini, R., Noriega-Crespo, A., Lagache, G., Kawamura, A., Onishi, T., and Fukui, Y., "Spitzer Characterization of Dust in the Ionized Medium of the Large Magellanic Cloud", The Astrophysical Journal, 735, 6, 2011, 10.1088/0004-637X/735/1/6, 査読有

[学会発表] (計 41 件)

①西村淳, 1.85m 電波望遠鏡プロジェクトの開発進捗 (VII), 日本天文学会 2014 春季年会, 2014 年 3 月 20 日, 国際基督教大学

②T. Onishi, Millimeter-submillimeter molecular line observations of Giant Molecular Clouds in the Galaxy and the Magellanic System", 2014 年 1 月 11 日, 名古屋大学

③徳田一起, 1.85m 電波望遠鏡プロジェクトの開発進捗 (VI), 日本天文学会 2013 秋季年会, 2013 年 9 月 11 日, 東北大学

④西村淳, 1.85m 電波望遠鏡の観測進捗 : 2012 年度の成果, 日本天文学会 2013 秋季年会, 2013 年 9 月 10 日, 東北大学

⑤西村淳, 1.85m 電波望遠鏡プロジェクトの開発進捗 (V), 日本天文学会 2013 春季年会, 2013 年 3 月 22 日, 埼玉大学

⑥ T. Onishi, Star Formation: From Giant Molecular Clouds to Prestellar Cores (基調講演), New Trends in Radio Astronomy in the ALMA Era, 2012 年 12 月 4 日, 箱根プリンスホテル

⑦西村淳, 1.85m 電波望遠鏡プロジェクトの開発進捗 (IV), 日本天文学会 2012 秋季年会, 2012 年 9 月 20 日, 大分大学

⑧徳田一起, 1.85 m 電波望遠鏡による銀河面分子雲の広域探査 II, 日本天文学会 2012 秋季年会, 2012 年 9 月 20 日, 大分大学

⑨大西利和, 大阪府立大学 1.85m ミリ波望遠鏡で見た金環日食, 日本天文学会 2012 秋季年会, 2012 年 9 月 20 日, 大分大学

⑩西村淳, 1.85m 電波望遠鏡プロジェクトの開発進捗 (III), 日本天文学会 2012 春季年会, 2012 年 3 月 20 日, 龍谷大学

⑪A. Nishimura, Molecular cloud survey with newly-developed 1.85m mm-submm telescope, the 12th Workshop on Submillimeter-Wave Receiver Technologies in Eastern Asia, 2011 年 12 月 5 日, Yonsei university campus in Seoul, Korea

⑫ T. Onishi, Extensive survey of molecular clouds in multi-transition CO lines toward the Galaxy and the Magellanic Clouds (招待講演), Formation of Stars & Planets 2011, 2011 年 10 月 4 日, 石垣島

⑬西村淳, 1.85m 電波望遠鏡プロジェクトの開発進捗(II), 日本天文学会 2011 秋季年会, 2011 年 9 月 21 日, 鹿児島大学

⑭大西利和, 1.85m 電波望遠鏡による  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}(J=2-1)$  スペクトルを用いた銀河系分子雲広域観測, 日本天文学会 2011 秋季年会, 2011 年 9 月 19 日, 鹿児島大学

⑮西村淳, 1.85m 電波望遠鏡によるオリオン分子雲の広域観測, 日本天文学会 2011 秋季年会, 2011 年 9 月 19 日, 鹿児島大学

⑯辻英俊, 1.85m 電波望遠鏡による銀河面分子雲の広域探査, 日本天文学会 2011 秋季年会, 2011 年 9 月 19 日, 鹿児島大学

⑰阪口翼, 85m 望遠鏡による Cygnus OB7 領域の分子雲観測, 日本天文学会 2011 秋季年会, 2011 年 9 月 19 日, 鹿児島大学

⑱T. Onishi, Millimeter-submillimeter molecular line observations of Giant Molecular Clouds in the Galaxy and the Magellanic System (招待講演), Large Aperture Millimeter/Submillimeter Telescopes in the ALMA Era, 2011年9月12日

⑲西村淳, 1.85m 電波望遠鏡プロジェクトの開発進捗, 日本天文学会 2011 春季年会, 2011 年 3 月 17 日, 筑波大学

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

大西 利和 (ONISHI, Toshikazu)  
大阪府立大学・大学院理学系研究科・教授  
研究者番号: 30314058

### (2)研究分担者

村岡 和幸 (MURAOKA, Kazuyuki)  
大阪府立大学・大学院理学系研究科・助教  
研究者番号: 40571287

木村 公洋 (KIMURA, Kimihiro)  
大阪府立大学・大学院理学系研究科・非常勤研究員  
研究者番号: 10565328

### (3)連携研究者

土橋 一仁 (DOBASHI, Kazuhito)  
東京学芸大学・教育学部・准教授  
研究者番号: 20237176

小川 英夫 (OGAWA, Hideo)  
大阪府立大学・大学院理学系研究科・教授  
研究者番号: 20022717

河村 晶子 (KAWAMURA, Akiko)  
国立天文台・チリ観測所・特認准教授  
研究者番号: 30377931

米倉 覚則 (YONEKURA, Yoshinori)  
茨城大学・宇宙科学教育研究センター・准教授  
研究者番号: 90305665