

Title	銀河系深淵部における超巨大星団と中質量ブラックホールの探査
Sub Title	Search for super star clusters and intermediate-mass black holes in the depths of our galaxy
Author	岡, 朋治(Oka, Tomoharu)
Publisher	
Publication year	2015
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2014.)
JaLC DOI	
Abstract	本研究課題は、ミリ波サブミリ波帯の分子スペクトル線広域サーベイ観測に基づいて、銀河系中心領域に潜む巨大星団(SSC)および中質量ブラックホール(IMBH)を検出しようとするものである。3年間の研究期間中にほぼ計画通りの大規模データが取得でき、絞り込んだターゲットの詳細な観測から、当初目的とした分子雲中に埋もれたSSCの検出および分子ガスの運動解析によるIMBH候補を発見するに至った。それらに加えて、銀河系中心核周円盤の化学組成の解明、「ぶたのしっぽ」分子雲の発見、超新星残骸W44分子衝撃波の伝搬速度の測定、特異電波源「宇宙竜巻」の形成過程の解明など、数多くの成果を挙げた。 This project intends to detect super star clusters (SSC) and intermediate-mass black holes (IMBHs) deeply embedded in the Galactic center region, based on large-scale surveys of the millimeter and sumillimeter-wave molecular line. During the three years project period, we succeeded to obtain huge data sets approximately as planned. Detailed mapping observations for the selected targets have unveiled two dozens of embedded SSCs and several candidates for IMBHs. In addition, we achieved a number of results : (1) revealing the chemical compositions in the Galactic circumnuclear disk, (2) discovery of the "pigtail" molecular cloud, (3) precise measurement of non dissociative shock in the W44 supernova remnant, and (4) understanding the formation process of the Tornado nebula.
Notes	研究種目：基盤研究(C) 研究期間：2012～2014 課題番号：24540236 研究分野：電波天文学
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_24540236seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540236

研究課題名(和文) 銀河系深淵部における超巨大星団と中質量ブラックホールの探査

研究課題名(英文) Search for super star clusters and intermediate-mass black holes in the depths of our Galaxy

研究代表者

岡 朋治 (Oka, Tomoharu)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：10291056

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、ミリ波サブミリ波帯の分子スペクトル線広域サーベイ観測に基づいて、銀河系中心領域に潜む巨大星団(SSC)および中質量ブラックホール(IMBH)を検出しようとするものである。3年間の研究期間中にほぼ計画通りの大規模データが取得でき、絞り込んだターゲットの詳細な観測から、当初目的とした分子雲中に埋もれたSSCの検出および分子ガスの運動解析によるIMBH候補を発見するに至った。それらに加えて、銀河系中心核周円盤の化学組成の解明、「ぶたのしっぽ」分子雲の発見、超新星残骸W44分子衝撃波の伝搬速度の測定、特異電波源「宇宙竜巻」の形成過程の解明など、数多くの成果を挙げた。

研究成果の概要(英文)：This project intends to detect super star clusters (SSC) and intermediate-mass black holes (IMBHs) deeply embedded in the Galactic center region, based on large-scale surveys of the millimeter and submillimeter-wave molecular line. During the three years project period, we succeeded to obtain huge data sets approximately as planned. Detailed mapping observations for the selected targets have unveiled two dozens of embedded SSCs and several candidates for IMBHs. In addition, we achieved a number of results: (1) revealing the chemical compositions in the Galactic circumnuclear disk, (2) discovery of the "pigtail" molecular cloud, (3) precise measurement of non dissociative shock in the W44 supernova remnant, and (4) understanding the formation process of the Tornado nebula.

研究分野：電波天文学

キーワード：銀河系中心 巨大星団 ブラックホール

1. 研究開始当初の背景

近年、殆ど全ての銀河は中心に $10^6\text{--}10^{10}$ 太陽質量もの超巨大ブラックホール(SMBH)を有する事実が明らかになってきた。中心核 SMBH の形成過程においては、爆発的星形成活動によって形成された高密度星団内で中質量ブラックホール(IMBH)が誕生し、それらが銀河中心で合体することで SMBH へと成長する、という階層的形成・成長シナリオが提唱されている。しかしながら、この階層的 SMBH 形成シナリオは、現状ではまだ観測的事実の裏付けに乏しい。

一方、大量の塵によって深く覆い隠された我々の銀河系の中心部にも、現在 3 つの巨大星団 (SSC) が一般に認識されている。このうちの一つである中心核星団のほぼ中心、電波源 Sgr A* の位置には約 4 百万太陽質量の SMBH があり、星団中の副星団 IRS13E 中には(1-3)千太陽質量の IMBH が存在する可能性が指摘されている。同領域に集中する大量の高密度分子ガス雲中には、まだ数多くの SSC が埋もれている事が期待されるが、近赤外域の探査は深刻な星間減光に阻まれて上記 3 例を除いて殆ど成功していない。

2. 研究の目的

これまで我々のグループでは、銀河系中心領域の分子ガスが呈する種々の特異性の起源を解明する目的で、野辺山 45 m 望遠鏡および ASTE 10 m 望遠鏡を使用して、同領域に対する CO 回転遷移スペクトル線の広域サーベイ観測を展開してきた。これらのサーベイの結果から、空間的にコンパクト(< 5 pc)で極めて速度幅の広い($\Delta V > 50 \text{ km s}^{-1}$)分子雲、「高速度コンパクト雲(HVCC)」を、同領域内に約 100 個発見した。これらの力学的エネルギーは $10^{48\text{--}52} \text{ erg}$ にも上り、多くは高い $J=3\text{--}2/J=1\text{--}0$ 輝線強度比を呈する。そして一部には、明確な膨張シェル構造と衝撃波領域特有の化学組成、そして点状赤外線源の集団を伴うものが見出されている。以上の観測事実は、分子雲中での単発もしくは多重の超新星爆発が多くの HVCC の加速源であり、それらにはコンパクトな星団が付随している事を示唆している。特に、(力学的エネルギー)/(膨張時間)によって評価される「エネルギー供給率」が $10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ を超える 23 個の high-power HVCC については、 10^4 太陽質量以上の所謂 SSC が付随していると考えられる。実際、前述の五つ子星団とアーチ星団にも high-power HVCC が付随しており、我々はこれに加えて約 20 個の SSC を間接的に検出した可能性が高い。

加えて我々は、この HVCC の観測研究を進めていく過程で、極めてコンパクトな実体と著しく広い速度幅を有する「特異な」HVCC を数個発見した。これらの特異 HVCC もまた非常に高い $J=3\text{--}2/J=1\text{--}0$ 輝線強度比を呈する一方で、膨張シェル構造も他波長の対応天体も見当たらない。特筆すべきは、うち二つに

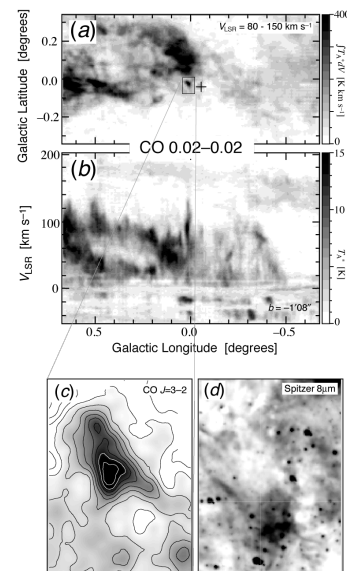


図 1) 銀河系中心核 Sgr A* 近傍の (a) CO $J=1\text{--}0$ 輝線速度チャネル図と (b) 銀経-速度図。CO 0.02-0.02 周辺の (c) CO $J=3\text{--}2$ 輝線の積分強度図、および (d) Spitzer 8 mm イメージ。

ついては回転運動と思しき速度勾配あるいは明瞭な速度ギャップが見られる事である(図 1)。スペクトル線強度から評価した特異 HVCC の質量は 10^3 太陽質量に満たない一方で、ビリアル質量は $10^{4\text{--}5}$ 太陽質量にもなる。以上の事から我々は、これらの特異 HVCC の位置に「コンパクト」な強大な重力源が隠れている可能性を指摘した。これらは、大質量星が死滅して光度が低下した SSC のなれの果てと考えられ、中心に中質量ブラックホールを擁している可能性がある。

この銀河系中心領域という近隣に多数の SSC とその残骸があるという私たちの発見は、同領域における SSC の形成・進化過程をつぶさに観察する機会を与えるのみならず、星団中の IMBH 形成シナリオの妥当性を検討する為の絶好の機会を提供するものであり、緻密な計画に基づいた迅速な観測研究の展開が求められていた。

3. 研究の方法

このような経緯から我々は、いま HVCC のミリ波サブミリ波帯の分子スペクトル輝線による HVCC の観測研究を推進する事によって、銀河系中心核巨大ブラックホールの形成・進化過程についての普遍的描像に迫る事を計画した。本課題の研究期間内における具体的な獲得目標は、以下の 2 点に集約される。
■超大量星団の形成環境と進化過程の把握
国内・国外のミリ波およびサブミリ波望遠鏡を駆使した分子・原子スペクトル線観測により、HVCC 内の分子ガスの分布・運動をその物理状態とともに詳細に押さえるとともに、SSC の母胎となる高密度コアの完全なサンプルを取得する。平行して電波連続波および赤外線イメージ中の対応天体を搜索する。これらの情報を総合して、同領域における超大量星団の形成環境と進化過程を把握する。

■超大質量星団内における中質量ブラックホール形成シナリオの検証

発見された特異 HVCC 方向について、国外のミリ波・サブミリ波干渉計を駆使して、その内部のガス分布・運動を詳細に調べることで、質量分布を正確に把握する。これに他波長対応天体の入念な探査を併せて IMBH の有無を確認し、これらの超大質量星団における形成シナリオの妥当性を検討する。

4. 研究成果

3 年に渡る研究によって、ほぼ計画通り膨大なデータを取得し、研究計画に沿って数多くの成果を得た。以下にそれらを列挙する。

(1) ミリ波サブミリ波スペクトル線サーベイ (雑誌論文 6, 8 学会発表 5, 9, 15, 31, 36, 38, 43-44, 46, 48-49, 54, 56)

野辺山 45 m 望遠鏡および ASTE 10 m 望遠鏡を使用した、CO $J=1-0$, 3-2 輝線、HCN $J=1-0$, 4-3 輝線、 N_2H^+ $J=1-0$ 輝線による広域サーベイは、ほぼ完了した。CO $J=4-3$ 輝線および $C^{18}O$ $J=3-2$ 輝線については一部のみ完了した。なお、CO $J=1-0$, 3-2 輝線については、野辺山 45 m 望遠鏡および JCMT を使用した新規サーベイが進行中であり、さらなるクオリティ向上が見込まれる。

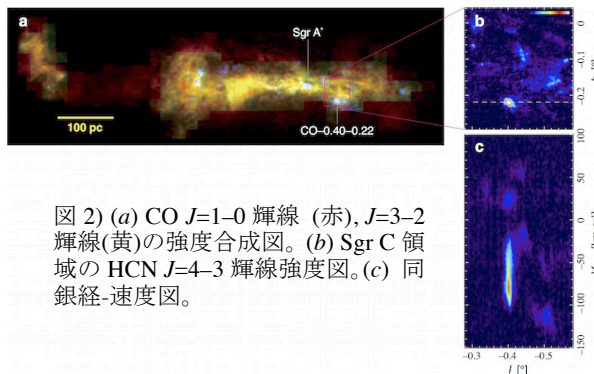


図 2) (a) CO $J=1-0$ 輝線 (赤), $J=3-2$ 輝線 (黄) の強度合成図。(b) Sgr C 領域の HCN $J=4-3$ 輝線強度図。(c) 同銀経-速度図。

(2) 高密度分子雲コアと HVCC の分類 (学会発表 8, 12, 27, 39, 44, 49, 50)

取得した N_2H^+ $J=1-0$ 輝線データに基づき、高密度分子雲コアを同定し、ビリアル解析からそれらの重力束縛度を診断した。 N_2H^+ のスペクトル線は超微細構造分裂によって観測される速度幅が広がるため、それを分離 (deconvolution) する手法として CLEAN アルゴリズムを応用した方法を開発した。この CLEAN した N_2H^+ $J=1-0$ データ・キューブに CLUMPFIND を適用することにより、約 100 個の高密度コアを同定した。この中に、完全に重力束縛状態にあるコアは発見されなかったが、数個の重力束縛度の高いコアを同定した。現在、これらの重力束縛度の高いコアについて詳細観測を計画している。一方で HVCC の分類については、その自動同定アルゴリズムの開発とともに鋭意進行中である。

(3) 特異型 HVCC の詳細観測

(雑誌論文 6; 学会発表 1, 3, 4, 6, 14, 18, 24)

野辺山 45 m 望遠鏡、ASTE 10 m 望遠鏡、Mopra 22 m 望遠鏡、SMA および ALMA を使用して、

特異型 HVCC である CO-0.30-0.07 および CO-0.40-0.22 の詳細な観測を行った。これによってこれら 2 つの HVCC の化学的性質とともに、詳細な空間分布・運動状態が明らかにされた。うち CO-0.40-0.22 については、約 10^5 太陽質量の「見えない」質量による雲の重力散乱によって良く説明できる事が解った。この事は、この HVCC の中心部に IMBH が潜んでいる事を示す重要な結果である。

(4) HVCC 対応天体の探査

データアーカイブを駆使した HVCC 対応天体の探査は続けられているが、現在のところ明瞭な対応天体は見出されていない。

上記に加えて、(1) で取得した大規模データおよび追観測データの解析結果から、次のような成果も得ることが出来た。

(5) 分子雲中に埋もれた巨大星団の発見

(雑誌論文 8; 学会発表 34, 36, 38; 報道発表 5)

CO $J=1-0$ および $J=3-2$ 輝線データの詳細な比較から、高励起状態にある分子ガスの分布を調査した。その結果、 $l=1.3^\circ$ の領域に莫大な力学的エネルギーを有する高励起ガス塊を発見し、その運動からエネルギーの供給源は多重の超新星爆発であると結論した。このことは即ち、ここに約 100 万太陽質量の巨大な星団 (SSC) が埋もれている事を意味している。これは銀河系内で最も巨大な SSC であり、IMBH の母胎となる可能性がある。

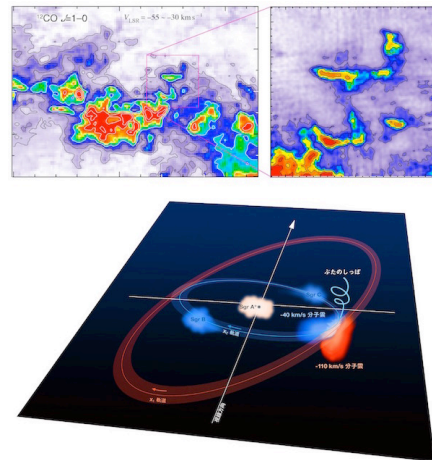


図 3) (a) Sgr C 領域の CO $J=1-0$ 輝線強度図。(b) 「ぶたのしっぽ」分子雲拡大図。(c) 同分子雲の形成メカニズム。

(6) 「ぶたのしっぽ」分子雲の発見

(雑誌論文 9; 学会発表 37; 報道発表 4)

CO $J=1-0$ 輝線データにおいて、 $l=-0.75^\circ$ の領域に特異な螺旋形状の分子雲を発見し、その特殊な形態から「ぶたのしっぽ」分子雲と名付けた。同方向には視線速度の異なる二つの巨大分子雲があり、ぶたのしっぽ分子雲の根元で二つの速度を橋渡しする高速度ガス成分が検出された。この事は、二つの巨大分子雲がこの位置で衝突している事を示しており、ぶたのしっぽ分子雲はこれら分子雲衝突に伴って捻られた磁力管に伴う構造であることを示唆するものである。

(7) 「宇宙竜巻」に付随する分子雲の発見

(雑誌論文 4; 学会発表 26,35,40-41,51; 報道発表 2)

野辺山 45 m 望遠鏡を使用して、 $l=-2.3^\circ$ の位置にある特異電波源「宇宙竜巻(Tornado)」方向の詳細なミリ波分子スペクトル線観測を行い、視線速度が 20 km s^{-1} 異なる二つの分子雲を検出した。相補的な空間分布と衝突励起 OH メーザ輝線の検出によって、これらの分子雲が Tornado と激しく相互作用している事が示された。これらの結果に基づき、分子雲衝突と点状重力源への質量降着に起因する Tornado 形成シナリオを提唱した。

(8) 銀河系核周円盤の化学組成の解明

(雑誌論文 1; 学会発表 2,4,7,11,17,24,28; 報道発表 1)

銀河系中心核 Sgr A* を周回する半径 2pc の分子ガスリング構造「核周円盤」について、野辺山 45 望遠鏡を用いた 3 mm 帯ラインサーベイ観測を行った。その結果、複雑な大型分子が豊富に存在する周囲の巨大分子雲とは異なり、核周円盤では 3 原子未満の単純な分子しか存在しない事が示された。これは Sgr A* からの X 線/紫外線によって核周円盤中の大型分子が破壊された結果と推測され、現在は静穏な銀河系中心核が過去に活動的であった事を示す証拠の一つと考えられる。

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 9 件)

1. "3 mm band line survey toward the high-velocity compact cloud CO-0.40-0.22", T. Oka, K. Tanaka, S. Matsumura, K. Miura, S. Takekawa, Y. Takahata, & A. Nishino, "The galactic center: Feeding and feedback in a normal galactic nucleus", IAUS, 査読無, 303 巻, 202-204 (2014)
2. "Flux monitoring observations of Sgr A* at 8 GHz and 2 GHz with the NICT Kashima-Koganei VLBI System", S. Takekawa, T. Oka, M. Sekido, "The galactic center: Feeding and feedback in a normal galactic nucleus", IAUS, 査読無, 303 巻, 330-332 (2014)
3. "Daily monitor of Sagittarius A* at 22 GHz with the Japanese VLBI Network", M. Tsuboi, Y. Asaki, Y. Yonekura, Y. Miyamoto, H. Kaneko, M. Seta, N. Nakai, O. Kameya, M. Miyoshi, H. Takabe, K. Wakamatsu, Y. Fukuzaki, T. Morimitsu, K. Uehara, M. Sekido, T. Oka, S. Takekawa, T. Omodaka, T. Handa, & A. Takumi, "The galactic center: Feeding and feedback in a normal galactic nucleus", IAUS, 査読無, 303 巻, 382-384 (2014)
4. "Millimeter-wave Molecular Line Observations of the Tornado Nebula", D. Sakai, T. Oka, K. Tanaka, S. Matsumura, K. Miura, & D. Sakai, The Astrophysical Journal, 査読有, 791 巻, 49-55 (2014)
5. "Millimeter-wave Spectral Line Surveys toward the Galactic Circumnuclear Disk and Sgr A*", S. Takekawa, T. Oka, T. Tanaka, S. Matsumura, K. Miura, & D. Sakai, The Astrophysical Journal Supplement, 査読有, 214 巻, 2-25 (2014)
6. "High Velocity Compact Clouds in the Sagittarius C Region", K. Tanaka, T. Oka, S.

Matsumura, M. Nagai, & K. Kamegai, The Astrophysical Journal, 査読有, 783 巻, 62-71 (2014)

7. "Kinematics of Shocked Molecular Gas Adjacent to the Supernova Remnant W44", T. Sashida, T. Oka, K. Tanaka, K. Aono, S. Matsumura, M. Nagai, & M. Seta, The Astrophysical Journal, 査読有, 774 巻, 10-16 (2013)
8. "ASTE CO $J=3-2$ Survey of the Galactic Center", T. Oka, Y. Onodera, M. Nagai, K. Tanaka, S. Matsumura, & K. Kamegai, The Astrophysical Journal Supplement, 査読有, 201 巻, 14-25 (2012)
9. "Discovery of the Pigtail Molecular Cloud in the Galactic Center", S. Matsumura, T. Oka, K. Tanaka, M. Nagai, K. Kamegai, & T. Hasegawa, The Astrophysical Journal, 査読有, 756 巻, 87-93 (2012)

[学会発表] (計 56 件)

1. 「高速度コンパクト雲 CO-0.40-0.22 の空間速度構造」、岡 朋治、水野麗子、三浦昂大、竹川俊也、田中邦彦、日本天文学会 2015 年春季年会、大阪大学 (大阪府豊中市)、2015 年 3 月 21 日、
2. 「分子輝線観測で探る銀河系中心核への質量供給過程」、竹川俊也、岡 朋治、田中邦彦、三浦昂大、山田真也、日本天文学会 2015 年春季年会、大阪大学 (大阪府豊中市)、2015 年 3 月 20 日
3. 「銀河系中心分子層中の衝突分子雲候補天体 CO-0.30-0.07」、田中邦彦、亀谷和久、永井真、岡 朋治、日本天文学会 2015 年春季年会、大阪大学 (大阪府豊中市)、2015 年 3 月 19 日
4. "Spectral Line Survey and Mapping Observations toward the HVCC CO-0.40-0.22", T. Oka, R. Mizuno, K. Miura, S. Takekawa, Y. Takahata, & A. Nishino, Revolution in Astronomy with ALMA - The Third Year, Tokyo International Forum, Tokyo (Japan) 2014/12/8-2014/12/11,
5. "Mapping the Galactic Center Environment -Science Case for ALMA Large Program-", T. Oka, ALMA/ASTE/Mopra Users Meeting", National Astronomical Observatory, Mitaka Tokyo (Japan), 2014/10/27-2014/10/29
6. 「高速度コンパクト雲 CO-0.40-0.22 の 3mm 帯ラインサーベイ観測および OTF マッピング観測」、岡 朋治、水野麗子、三浦昂大、竹川俊也、鈴田春奈、田中邦彦、日本天文学会 2014 年秋季年会、山形大学 (山形県山形市)、2014 年 9 月 11 日
7. 「野辺山 45m 望遠鏡による銀河系核周円盤の分子輝線 OTF マッピング観測」、竹川俊也、岡 朋治、田中邦彦、三浦昂大、鈴田春奈、日本天文学会 2014 年秋季年会、山形大学 (山形県山形市)、2014 年 9 月 11 日
8. 「CLEAN 法を用いた $\text{N}_2\text{H}^+ J=1-0$ 輝線の超微細構造の分離とそれに基づく銀河系中心分子雲の統計的解析 (II)」、三浦昂大、岡 朋治、田中邦彦、松村真司、日本天文学会 2014 年秋季年会、山形大学 (山形県山形市)、2014 年 9 月 11 日
9. "Probing the Galactic Center with JCMT", T. Oka, JCMT Science Workshop, National Astronomical Observatory, Mitaka Tokyo (Japan), 2014/9/1-2014/9/2

10. 「45m 望遠鏡と銀中と私」、岡 朋治、第 32 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山 (長野県南佐久郡)、2014 年 7 月 24 日
11. 「銀河系核周円盤の 3 mm 波帯分子輝線マッピング観測」、竹川俊也、岡 朋治、田中邦彦、松村真司、第 32 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山 (長野県南佐久郡)、2014 年 7 月 24 日
12. 「CLEAN 法を用いた N_2H^+ $J=1-0$ 輝線の超微細構造の分離とそれに基づく銀河系中心分子雲の統計的解析」、三浦昂大、岡 朋治、田中邦彦、松村真司、第 32 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山 (長野県南佐久郡)、2014 年 7 月 23 日-24 日
13. 「ASTE 望遠鏡を用いた銀河系核周円盤の HCO^+ $J=4-3$ 輝線観測」、鈴田春奈、岡 朋治、田中邦彦、三浦昂大、竹川俊也、第 32 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山 (長野県南佐久郡)、2014 年 7 月 23 日-24 日
14. "Dense Molecular Clumps in the Sagittarius C Complex in the Galactic Center", 田中邦彦、岡 朋治、亀谷和久、永井誠、第 32 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山 (長野県南佐久郡)、2014 年 7 月 23 日-24 日
15. "Probing the Nuclear Environment of Our Galaxy with ALMA", T. Oka, ASTE/ALMA Development Workshop", National Astronomical Observatory, Mitaka Tokyo (Japan), 2014/6/18
16. 「NICT 鹿島-小金井基線 VLBI システムによる Sgr A* 強度モニター観測-2」、竹川俊也、岡 朋治、他、日本天文学会 2014 年春季年会、国際基督教大学 (東京都三鷹市)、2014 年 3 月 21 日
17. 「Sgr A* および Circumnuclear disk 方向の 3mm 帯ラインサーベイ観測-2」、竹川俊也、岡 朋治、他、日本天文学会 2014 年春季年会、国際基督教大学 (東京都三鷹市)、2014 年 3 月 21 日
18. 「銀河系中心高速度コンパクト雲 CO-0.30-0.07 の内部構造」、田中邦彦、岡 朋治、他、日本天文学会 2014 年春季年会、国際基督教大学 (東京都三鷹市)、2014 年 3 月 20 日
19. "Central 10 pc: +50/+20 km/s Clouds", 田中邦彦、岡 朋治、他、ALMA 銀河系中心ワークショップ、慶應義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市)、2013 年 11 月 27 日
20. 「G2 Cloud Event と僕」、竹川俊也、岡 朋治、他、ALMA 銀河系中心ワークショップ、慶應義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市)、2013 年 11 月 27 日
21. "HVCCs and Shells", 田中邦彦、岡 朋治、他、ALMA 銀河系中心ワークショップ、慶應義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市)、2013 年 11 月 26 日
22. 「銀河系中心の分子雲衝突候補天体」、酒井大裕、岡 朋治、他、ALMA 銀河系中心ワークショップ、慶應義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市)、2013 年 11 月 26 日
23. 「最近ちょっと気になる分子雲について」、岡 朋治、東京大学理学部天文学教育研究センター談話会、東京大学理学部天文学教育研究センター (東京都文京区)、2013 年 11 月 21 日
24. "3 mm Band Line Survey toward the High-Velocity Compact Cloud CO-0.40-0.22", T. Oka, et al. The Galactic Center: Feeding and Feedback in a Normal Galactic Nucleus, Santa Fe New Mexico (USA), 2013/9/30-2013/10/4
25. "Flux monitoring observations of Sgr A* at 8 GHz and 2 GHz with the NICT Kashima-Koganei VLBI System", S. Takekawa, T. Oka, et al. The Galactic Center: Feeding and Feedback in a Normal Galactic Nucleus, Santa Fe, New Mexico (USA), 2013/9/30-2013/10/4
26. 「Tornado Nebula に付随する二つの分子雲とそれらの相互作用」、酒井大裕、岡 朋治、日本天文学会 2013 年秋季年会、東北大学 (宮城県仙台市)、2013 年 9 月 11 日
27. 「CLEAN 法を用いた N_2H^+ $J=1-0$ 輝線の超微細構造の分離とそれに基づく銀河系中心分子雲の統計的解析」、三浦昂大、岡 朋治、他、日本天文学会 2013 年秋季年会、東北大学 (宮城県仙台市)、2013 年 9 月 10 日
28. 「Sgr A* および Circumnuclear disk 方向の 3 mm 帯ラインサーベイ観測」、竹川俊也、岡 朋治、他、日本天文学会 2013 年秋季年会、東北大学 (宮城県仙台市)、2013 年 9 月 10 日
29. 「NICT 鹿島-小金井基線 VLBI システムによる Sgr A* 強度モニター観測」、竹川俊也、岡 朋治、他、東北大学 (宮城県仙台市)、2013 年 9 月 10 日
30. 「我々の銀河系中心核は活動銀河核か?」、岡 朋治、七夕講演会、筑波技術大学 (茨城県つくば市)、2013 年 8 月 3 日
31. "Probing the Galactic Center with ALMA after 2020", T. Oka, ALMA Development Workshop, National Astronomical Observatory, Mitaka Tokyo (Japan), 2013/7/8-2013/7/9
32. 「銀河系中心では何が起きているか?」、岡 朋治、慶應義塾高校講演会、慶應義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市)、2013 年 5 月 27 日
33. 「ペルー・ボリビア山岳地域におけるサブミリ波 VLBI 観測適地のサーベイ」、古澤純一、岡 朋治、三好真、高遠徳尚、J. Ishitsuka, 根本しおみ、朝木義晴、垣本史雄、常定芳基、寺澤敏夫、手嶋政廣、日本天文学会 2013 年春季年会、埼玉大学 (埼玉県さいたま市)、2013 年 3 月 22 日
34. 「銀河系中心領域に埋もれた超大質量星団の間接的検出と中質量ブラックホールの検出可能性」、岡 朋治、田中邦彦、松村真司、永井誠、亀谷和久、日本天文学会 2013 年春季年会、埼玉大学 (埼玉県さいたま市)、2013 年 3 月 21 日
35. 「Tornado Nebula に付随する拡散 OH 1720 MHz 輝線放射の発見」、酒井大裕、岡 朋治、松村真司、田中邦彦、鶴 剛、澤田真理、日本天文学会 2013 年春季年会、埼玉大学 (埼玉県さいたま市)、2013 年 3 月 21 日
36. 「銀河系中心超巨大ブラックホールの種はどこにあるのか?」、岡 朋治、田中邦彦、松村真司、永井誠、亀谷和久、東京大学天文学教室談話会、東京大学本郷キャンパス (東京都文京区)、2013 年 1 月 15 日
37. 「銀河系中心領域に発見された「ぶたのしっぽ」分子雲」、岡 朋治、松村真司、田中邦彦、永井誠、亀谷和久、長谷川哲夫、JASMINE サイエンスワークショップ、銀山温泉 (山形県尾花沢市)、2012 年 11 月 8 日
38. 「銀河系中心超巨大ブラックホールの種はどこにあるのか?」、岡 朋治、「銀河系中心ブラックホール 2013」研究会、宇宙科学研究所 (神奈川県相模原市)、2012 年 11 月 7 日

- 日
- 39.「 $\text{N}_2\text{H}^+ J=1-0$ 輝線観測による銀河系中心分子雲の重力束縛度診断」、西川綾乃、岡 朋治、銀河系中心研究会、名古屋大学（愛知県名古屋市）、2012 年 11 月 6 日
 - 40.「Tornado Nebula に付随する分子雲方向の CO スペクトル線データの詳細解析」、酒井大裕、岡 朋治、「高エネルギージェットと分子雲」研究会、名古屋大学（愛知県名古屋市）、2012 年 10 月 9 日
 - 41.「Tornado Nebula に付随する分子雲方向の ^{12}CO , ^{13}CO スペクトル線データの詳細解析」、酒井大裕、岡 朋治、松村真司、田中邦彦、鶴 剛、澤田真理、日本天文学会 2012 年秋季年会、大分大学（大分県大分市）、2012 年 9 月 21 日
 - 42.「ペルー・ボリビア山岳地域におけるサブミリ波 VLBI 観測適地のサーベイ」、古澤純一、岡 朋治、三好真、高遠徳尚、J. Ishitsuka、根本しおみ、朝木義晴、日本天文学会 2012 年秋季年会大分大学（大分県大分市）、2012 年 9 月 21 日
 - 43.「銀河系中心 $\text{HCN } J=4-3$ サーベイ」、田中邦彦、岡 朋治、松村真司、亀谷和久、永井誠、日本天文学会 2012 年秋季年会、大分大学（大分県大分市）、2012 年 9 月 20 日
 - 44.「 $\text{N}_2\text{H}^+ J=1-0$ 輝線による銀河系中心分子層 OTF マッピング観測（Ⅱ）」、西川綾乃、岡 朋治、田中邦彦、松村真司、永井誠、亀谷和久、日本天文学会 2012 年秋季年会、大分大学（大分県大分市）、2012 年 9 月 20 日
 - 45.「 $\text{HCO}^+ J=1-0$, $\text{CO } J=3-2$ 輝線による SNR W44 の膨張運動の解析（Ⅱ）」、指田朝郎、岡 朋治、田中邦彦、松村真司、瀬田益道、永井誠、日本天文学会 2012 年秋季年会、大分大学（大分県大分市）、2012 年 9 月 20 日
 46. "Central Molecular Zone of Our Galaxy", T. Oka, ALMA-EA Science Workshop, Daejeon (Korea), 2012/9/12-2012/9/13
 - 47.「『星間現象と電波天文と銀中』宇宙電波天文学の基礎と最近の私の悩み」、岡 朋治、第 42 回天文・天体物理若手夏の学校、三国観光ホテル（福井県福井市）、2012 年 8 月 1 日
 48. "ASTE Galactic Center Key Science Project", 田中邦彦、岡 朋治、松村真司、亀谷和久、永井誠、長谷川哲夫、第 30 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山宇宙電波観測所（長野県南佐久郡）、2012 年 7 月 25 日
 - 49.「 $\text{N}_2\text{H}^+ J=1-0$ 輝線で探る銀河系中心分子雲の重力束縛度」、西川綾乃、岡 朋治、田中邦彦、松村真司、永井誠、亀谷和久、第 30 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山宇宙電波観測所（長野県南佐久郡）、2012 年 7 月 25 日
 - 50.「銀河系中心領域ミリ波輝線 DATA に対する主成分解析の適用」、松村真司、岡 朋治、田中邦彦、第 30 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山宇宙電波観測所（長野県南佐久郡）、2012 年 7 月 25 日 -26 日
 - 51.「Tornado Nebula に付随する分子雲方向の ^{12}CO , ^{13}CO スペクトル線データの詳細解析」、酒井大裕、岡 朋治、松村真司、田中邦彦、第 30 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山宇宙電波観測所（長野県南佐久郡）、2012 年 7 月 25 日 -26 日
 - 52.「 $\text{HCO}^+ J=1-0$, $\text{CO } J=3-2$ 輝線による SNR W44 の膨張運動の解析（Ⅱ）」、指田朝郎、

- 岡 朋治、田中邦彦、松村真司、瀬田益道、永井誠、第 30 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山宇宙電波観測所（長野県南佐久郡）、2012 年 7 月 25 日 -26 日
- 53.「ペルー・ボリビア山岳地域におけるサブミリ波 VLBI 観測適地のサーベイ」、古澤純一、岡 朋治、三好真、高遠徳尚、J. Ishitsuka、根本しおみ、朝木義晴、第 30 回 NRO ユーザーズミーティング、国立天文台野辺山宇宙電波観測所（長野県南佐久郡）、2012 年 7 月 25 日 -26 日
 54. "Millimeter and Submillimeter Study of High-velocity Compact Clouds in the Galactic Center", T. Oka, K. Tanaka, S. Matsumura, M. Nagai, Y. Onodera, & K. Kamegai, Mopra Science Workshop, National Astronomical Observatory, Mitaka Tokyo (Japan), 2012/6/8 -2012/6/9
 - 55.「ALMA で探る超新星残骸と分子雲の相互作用」、岡 朋治、ALMA 超新星残骸ワークショップ、青山学院大学相模原キャンパス（神奈川県相模原市）、2012 年 6 月 1 日
 56. "High-velocity Compact Clouds in the Central Molecular Zone of Our Galaxy", T. Oka, K. Tanaka, S. Matsumura, T. Sashida, J. Furusawa, A. Nishikawa, Y. Onodera, M. Nagai, K. Kamegai, & T. Hasegawa, Galactic center mini-workshop Workshop 2012, National Astronomical Observatory, Mitaka Tokyo (Japan), 2012/5/11

〔報道発表〕（計 5 件）

- 1.「天の川銀河中心の巨大ブラックホールを周回するガスリングの化学組成を初めて明らかに」、竹川俊也、岡 朋治（2014 年 9 月 18 日、慶應義塾大学）、URL: http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2014/osa3qr0000009jpx.html
- 2.「謎の天体「宇宙竜巻」の駆動メカニズムを解明 分子雲衝突によるブラックホールの活性化」、酒井大祐、岡 朋治（2014 年 8 月 18 日、慶應義塾大学）、URL: http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2014/osa3qr0000007suu.html
- 3.「星間分子雲中を通過する超新星衝撃波の"速度計測"に成功 「速度超過違反」ガスも発見」、指田朝郎、岡 朋治（2013 年 8 月 9 日、慶應義塾大学）、URL: http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2013/kr7a4300000ceiy8.html
- 4.「天の川銀河の中心部で「ぶたのしっぽ」分子雲を発見」、松村真司、岡 朋治（2012 年 9 月 4 日、慶應義塾大学）、URL: http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2012/kr7a4300000axfhv.html
- 5.「天の川銀河の中心部に巨大ブラックホールの「種」を発見」、岡 朋治（2012 年 7 月 20 日、慶應義塾大学）、URL: http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2012/kr7a4300000arvju.html

6. 研究組織

- (1)研究代表者
岡 朋治（OKA TOMOHARU）
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号：10291056
- (2)研究分担者
該当なし
- (3)連携研究者
該当なし