

令和元年6月10日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05308

研究課題名(和文) 銀河系中心領域の巨大星団の起源

研究課題名(英文) Origin of Nuclear Star Cluster of Milky Way

研究代表者

坪井 昌人 (TSUBOI, Masato)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

研究者番号：10202186

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：銀河系中心への物質供給プロセスと中心星団の起源を明らかにするため、ミリ波サブミリ波干渉計ALMAより中心近傍の電離ガスと分子ガスの構造と運動を観測した。中心最近傍の50km/s分子雲で早期型星の生成が促進されていることがわかった。その分子雲の中には潮汐破壊されながら落下するものがある。途中で中心星団自体からの紫外線により電離されて電離ガスの流れに変わる。しかし星生成はそのまま進行する。もともとある広がった電離ガスにより落下する流れから周囲のガスが剥ぎ取られる。ここまでの証拠となる観測結果を得た。これらの早期型星の一部は中心星団に加わり残りは中心の外へと散乱されるのであろう。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バリオンの宇宙を構成する恒星がどうできたかは天文学の主要テーマである。現在までに銀河円盤部での中小質量星の生成過程のシナリオは確定しつつある。一方大質量星の生成、銀河中心部での星生成等は研究が始まったばかりといえる。本研究は最新の観測装置であるALMAを用いて銀河中心部での大質量星の生成過程のシナリオを観測的に明らかにしようとするものであった。観測結果はどれも「星は周辺で作られて分子雲とともに中心に落下して中心星団に加わる」という作業仮説と矛盾しないものであった。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the supply process of material to the Galactic Center (GC) and the origin of the Nuclear Star Cluster (NSC), the structures and kinematics of the ionized gas and molecular gas in the vicinity of the GC have been observed from the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA). It was found that the formation of early-type stars is promoted in the 50km/s molecular cloud closest to the GC. Some of the molecular clouds are falling to the GC while being tidal destroyed. On the way, it is ionized by the UV from the NSC itself and it turns into falling ionized gas streamers. However, the star formation proceeds and the surrounding gas should be stripped by the ambient ionized gas. We obtained the observation evidences about these. Some of these early-type stars will join the NSC and the rest will be scattered out of the GC.

研究分野：電波天文学

キーワード：銀河系中心 星間分子雲 巨大星団 星生成 分子雲分子雲衝突 中間質量ブラックホール 巨大ブラックホール

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 銀河系中心の巨大星団(Nuclear Star Cluster : NSC)の生成過程は、銀河系中心自体の強力な潮汐力と NSC の大質量星からの紫外線の影響で銀河円盤部と同様の分子ガスからの星生成が不可能と考えられたため大きな謎であった。星団を構成する恒星そのものを落下させて供給する、あるいは原始星段階まで星生成が進んだものを含んだ分子雲を落下させる等のシナリオは考えられたが、観測事実が乏しく詳しい研究はできなかった。

(2) ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA)が観測を開始して中心近傍の電離ガスと分子ガスの構造と運動を観測できるようになった。

### 2. 研究の目的

(1) NSC の生成シナリオのキーとなる天体、すなわち巨大星団生成を開始する分子雲、落下する大質量星や原始星などを発見すること。

(2) 銀河系中心近傍での対応天体の運動の様子が、生成シナリオと合致するかを判定する。

### 3. 研究の方法

銀河系中心の恒星を含めた物質供給プロセスを明らかにするため、ALMA により生成シナリオのキーとなる天体を発見する。中心近傍の電離ガスと分子ガスの構造と運動を観測する。

### 4. 研究成果

(1) ALMA により銀河系中心近傍の電離ガスの流れであるミニスパイラルの 100, 230, 350GHz の連続波での高解像度撮像を行った (Tsuboi+ PASJ 68 id L7 2016)。これは ALMA による初めての 10000 を超える高いダイナミックレンジを持ったサブミリ波撮像であった。ダストコアを同定し、それらの質量関数を求めた。この質量関数がトップヘビーであることを明らかにした。これは星生成が進んだ分子雲が落下するというシナリオと矛盾しない。

(2) 銀河系中心近傍への物質供給プロセスを明らかにするため、ALMA によりミニスパイラルの 100GHz の水素再結合線での撮像を行った (Tsuboi+ ApJ 842 id 94 2017)。ミニスパイラルの腕は中心バーを含めて全て離心率の大きいケプラー運動しているとすると観測をうまく再現できることがわかった。ただし多少の減速を広げた電離ガスから受けていることもわかった。これにより銀河系中心近傍に電離ガスを集めることは可能である。また JVLA で発見されていた原始星候補天体と新しく発見した **Northeastern Arm** が対応することがわかった。これも星生成が進んだ分子雲が落下するというシナリオと矛盾しない観測事実である。これらは落下する大質量星生成分子雲のシナリオの終点を示している可能性がある。

(3) 銀河系中心ミニスパイラルを囲むように分子雲のリング(CND)が存在する。ALMA により CND とその周辺の分子輝線での高解像度撮像を行った (Tsuboi+ PASJ 69 id 85 2018)。CND の運動を決定した。また CND の分子ガスの状態を LVG 解析により明らかにし、分子ガス質量を  $3 \times 10^4$  太陽質量と決定した。加えて CND の周囲に特異な運動をする分子雲も多数発見した。それらの分子雲の中には潮汐破壊されながら落下するものがある。途中で中心星団自体からの紫外線により電離されて電離ガスの流れに変わる。しかし星生成はそのまま進行する。もともとある広がった電離ガスにより落下する流れから周囲のガスが剥ぎ取られる。ここまでの証拠となる観測結果を得た。またこれらの早期型星の一部は中心星団に加わり残りは中心の外へと散乱されるのであろう。

(4) 銀河系中心最近傍にあり、大質量星生成が進行中の 50km/s 分子雲を ALMA により分子輝線での高解像度撮像を行った (Uehara+, ApJ, 872, id 121, 2019)。重力で束縛された分子雲コアを 200 個以上検出した。ここでは野辺山 45m 鏡の観測から分子雲分子雲衝突が起こっていると推測されていたが、衝突領域により大質量の分子雲コアが多数分布していることが明らかになった。分子雲分子雲衝突による分子ガスの圧縮が起こり早期型大質量星の生成が促進されているということがわかった。この 50km/s 分子雲が分子雲分子雲衝突により大質量星生成が促進されていることは中心に落下する大質量星生成分子雲のシナリオの起点を示している可能性がある。

(5) ALMA により中心ブラックホール (GCBH) からわずか 0.13pc しか離れていないところに、特異な電離ガス塊を発見した (Tsuboi+, ApJL, 850, id L5, 2017)。初期の赤外線観測からそこには高密度星団 IRS13E があり、星の運動から中間質量ブラックホール(IMBH)があると指摘されていた。しかし、追観測によりガス塊を大質量星と誤認していたとわかり IMBH の存在は必要ないとされた。我々は ALMA の観測によりそこに半径 400 天文単位にすぎないが、輝線速度幅が 650km/s 以上にもなる電離ガス塊を発見した。この電離ガスの運動解析から数万太陽質量を持つコンパクトな天体があり、その周囲を電離ガスが離心率の大きいケプラー運動しているとすると観測をうまく再現できることがわかった。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

- 1) Uehara, Kenta; Tsuboi, Masato; Kitamura, Yoshimi; Miyawaki, Ryosuke; Miyazaki, Atsushi, “Molecular Cloud Cores in the Galactic Center 50 km s<sup>-1</sup> Molecular Cloud”, The Astrophysical Journal, Volume 872, id. 121(25pp), 2019
- 2) Tsuboi, Masato; Kitamura, Yoshimi; Uehara, Kenta; Tsutsumi, Takahiro; Miyawaki, Ryosuke; Miyoshi, Makoto; Miyazaki, Atsushi, “ALMA view of the circumnuclear disk of the Galactic Center: tidally disrupted molecular clouds falling to the Galactic Center”, Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 70, Issue 5, id. 85(25pp), 2018
- 3) Tsuboi, Masato; Kitamura, Yoshimi; Tsutsumi, Takahiro; Uehara, Kenta; Miyoshi, Makoto; Miyawaki, Ryosuke; Miyazaki, Atsushi, “The Second Galactic Center Black Hole? A Possible Detection of Ionized Gas Orbiting around an IMBH Embedded in the Galactic Center IRS13E Complex”, The Astrophysical Journal Letters, Volume 850, Issue 1, article id. L5(8 pp). 2017
- 4) Tsuboi, Masato; Kitamura, Yoshimi; Uehara, Kenta; Miyawaki, Ryosuke; Tsutsumi, Takahiro; Miyazaki, Atsushi; Miyoshi, Makoto, “ALMA View of the Galactic Center Minispiral: Ionized Gas Flows around Sagittarius A\*”, The Astrophysical Journal, Volume 842, Issue 2, article id. 94(15 pp). 2017
- 5) Tsuboi, Masato; Kitamura, Yoshimi; Miyoshi, Makoto; Uehara, Kenta; Tsutsumi, Takahiro; Miyazaki, Atsushi, “Galactic center mini-spiral by ALMA: Possible origin of the central cluster” Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 68, Issue 3, id. L7(6 pp). 2016
- 6) Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura, Kenta Uehara, Ryosuke Miyawaki and Atsushi Miyazaki, “Tidally-disrupted Molecular Clouds falling to the Galactic Center”, IAU Symposium S322 (The Multi-Messenger Astrophysics of the Galactic Centre), July 2016, pp. 115-118

[学会発表] (計 12 件)

- 1) 銀河系中心アーク中の分子雲-分子雲衝突  
坪井昌人, 北村良実(宇宙研), 上原顕太(東大), 宮脇亮介(桜美林大), 堤貴弘(NRAO), 宮崎敦史(日本宇宙フォーラム), 三好真(国立天文台) 日本天文学会 2019 年春季年会 Q05a 2019 年 3 月 14 日法政大学
- 2) 銀河系中心 50km/s 分子雲のフィラメントとコアの統計的性質  
上原顕太(東京大学), 坪井昌人, 北村良実(ISAS/JAXA), 宮脇亮介(桜美林大学), 宮崎敦史(NAOJ/JSF) 日本天文学会 2019 年春季年会 Q11b 2019 年 3 月 14 日法政大学
- 3) ALMA View of the Circum-nuclear Disk of the Galactic Center  
Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (JAXA), Kenta Uehara(Univ. Tokyo), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin Univ.), Makoto Miyoshi (NAOJ), and Atsushi Miyazaki (JSF) 日本天文学会 2018 年秋季年会 S01a 2018 年 9 月 20 日兵庫県立大学
- 4) 銀河系中心 50km/s 分子雲の星形成分子雲コア  
上原顕太(東京大学), 坪井昌人, 北村良実(ISAS/JAXA), 宮脇亮介(桜美林大学), 宮崎敦史(NAOJ/JSF) 日本天文学会 2018 年春季年会 Q35a 2018 年 3 月 16 日千葉大学
- 5) Intricate Ionized Gas Flows Approaching to Sgr A\*  
Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (ISAS/JAXA), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Kenta Uehara(U. Tokyo), Makoto Miyoshi (NAOJ), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin Univ.), Atsushi Miyazaki (JSF) 日本天文学会 2018 年春季年会 S16a 2018 年 3 月 15 日千葉大学
- 6) Sub-millimeter Detection of the IR Stars around Sgr A\* by ALMA  
Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (ISAS/JAXA), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Kenta Uehara(U. Tokyo), Makoto Miyoshi (NAOJ), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin Univ.), Atsushi Miyazaki (JSF) 日本天文学会 2018 年春季年会 R12b 2018 年 3 月 14 日千葉大学
- 7) ALMA View of the Circum-nuclear Disk of the Galactic Center  
Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (JAXA), Kenta Uehara (The University of Tokyo), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin University), and Atsushi Miyazaki (Japan Space Forum/NAOJ) 日本天文学会 2017 年秋季年会 S37a 2017 年 9 月 13 日北海道大学
- 8) 銀河系中心 50km/s 分子雲の分子雲衝突による大質量星形成クランプ  
上原顕太(東京大学), 坪井昌人, 北村良実(ISAS/JAXA), 宮脇亮介(桜美林大学), 宮崎敦史(NAOJ/JSF) 日本天文学会 2017 年秋季年会 Q32a 2017 年 9 月 12 日 北海道大学
- 9) The Second Galactic Center Black Hole?; Possible Detection of Accreting Ionized Gas onto the Galactic Center IRS13E  
Masato Tsuboi, Yoshimi Kitamura (ISAS/JAXA), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Makoto Miyoshi (NAOJ), Kenta Uehara (the University of Tokyo), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin University), Atsushi Miyazaki (Japan Space Forum) 日本天文学会 2017 年春季年会 S15a 2017 年 3 月 17 日九州大学
- 10) 分子雲衝突による銀河系中心 50km/s 分子雲での大質量星形成  
上原顕太(東京大学), 坪井昌人, 北村良実(ISAS/JAXA), 宮脇亮介(桜美林大学), 宮崎敦史

- (NAOJ/JSF) 日本天文学会 2017 年春季年会 Q49a 2017 年 3 月 17 日九州大学
- 1 1) 銀河系中心 50km/s 分子雲でのフィラメント構造の同定  
上原顕太(東京大学), 坪井昌人, 北村良実(ISAS/JAXA), 宮脇亮介(桜美林大学), 宮崎敦史(NAOJ/JSF)、日本天文学会 2016 年秋季年会 Q06a 2016 年 9 月 14 日愛媛大学
- 1 2) ALMA による銀河系中心ミニスパイラルの観測  
坪井昌人, 北村良実(宇宙研), 上原顕太(東京大), 宮崎敦史, 三好真(国立天文台), 宮脇亮介(桜美林大), 堤貴弘(NRAO) 日本天文学会 2016 年秋季年会 S02a 2016 年 9 月 14 日愛媛大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

○取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：宮脇 亮介

ローマ字氏名：(MIYAWAKI, ryosuke)

所属研究機関名：桜美林大学

部局名：自然科学系

職名： 教授

研究者番号(8桁)：90209958

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：北村 良実

ローマ字氏名：(KITAMURA, yoshimi)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。