

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05388

研究課題名(和文) 星形成領域、晩期型星周領域における磁場の役割の研究

研究課題名(英文) Towards understanding the role of magnetic field in star formation and circumstellar region of evolved star

研究代表者

新永 浩子 (Shinnaga, Hiroko)

鹿児島大学・理工学域理学系・准教授

研究者番号：20709589

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：星形成領域と晩期型星の星周領域において、磁場が果たしている役割について研究した。星形成領域の例として孤立した高密度分子雲コアについて、ミリ波・サブミリ波(直線)偏波を観測した結果、星形成過程で磁力線は重力収縮によって中心領域に巻き込まれ、原始星の成長に重要な役割を果たしていることを明らかにした。大質量星の進化末期である赤色超巨星(25太陽質量)の星周領域(星半径の80倍以内)を調べ、非常に強い磁場(>100G)を検出した。理論的予想を覆し、晩期型星の磁気活動が活発であることを突き止めた。通常は熱的励起輝線であるSiO v=0の回転遷移がメーザーを起こしているなど、磁場の影響は甚大である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高密度分子雲コアの大局的磁場の方向が、原始星を含むコア領域で垂直に折れ曲がり、巻き込まれている最初の例となった。この結果を理論研究と比較し、磁場は原始星の誕生に重要な役割を果たしていることを示した。本成果の記者会見では多くのマスコミにより取り上げられ、星の誕生に磁場が重要であることを社会に広く認識していただく機会となった。赤色超巨星の星周領域での非常に強い磁場強度の発見については、理論的な観点から検証される必要がある。今後は、強い磁場が星間・星周物理過程に与える影響について、具体的な観測例を増やし、強い磁場強度を持つ赤色超巨星は一般的なのか、特殊な例であるのかを見極めていく。

研究成果の概要(英文)：Magnetic field is critical in star formation processes and the evolved star phase. To understand the details of the role of magnetic field, (1) we investigated a star-forming region as an example of an isolated dense core forming a protostar. Using millimeter/submillimeter bands polarimetry, we detected the magnetic field being twisted during gravitational collapse, indicating that the magnetic field plays a pivotal role in the process. (2) In an evolved phase of a massive star (25Msun) just before a supernova explosion, we successfully detected intense magnetic field, 100G and above, in the inner-circumstellar region (<80 R\*) using Zeeman splitting method where SiO molecules are abundant. The result revolutionized our understanding of a massive evolved star that is magnetically active, strongly affecting the circumstellar environment. That resulted in environment SiO transitions that are usually thermally excited, i.e., in v=0 state, showing maser action with high polarization.

研究分野：星の形成と進化

キーワード：星間物理 星周物理 星の進化 星形成 晩期型星 メーザー現象 質量放出

科学研究費助成事業 研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

星間・星周領域の磁場は星形成や星の進化末期に重要な役割を果たすことが知られている。一方で、星間・星周磁場の精密測定は観測的、技術的困難から未開拓の状態に残されていた。磁場の観測に必要とされる受信機、分光計、偏波分離器の性能が格段に向上し、それまで困難だった精密測定が可能となった時期に入った。本研究では最先端技術を駆使して実現された複数の望遠鏡や干渉計、それらに搭載されたユニークな観測装置を用いて、過去に調べることが困難であった星形成領域、晩期型星(老齢星)星周領域の磁場の形状、及び磁場強度を精密に測定することを提案した。

2. 研究の目的

星形成と晩期型星の物理プロセスに磁場はどれほど決定的な役割を果たしているか? この問いに答えるため、星形成領域、ならびに晩期型星星周領域の代表天体をターゲットとして、それぞれの領域での磁場の形状と強度を精密に測定し、星形成、晩期型性の磁場が制御する物理プロセスを明らかにすることを目的として据えた。具体的には、星形成領域の代表としておうし座分子雲内の孤立した高密度分子雲コア、L1521F を、晩期型星については、赤色超巨星である VY Canis Majoris (VY CMa) を晩期型星の代表例として選定し、研究を遂行した。

3. 研究の方法

磁場強度は、分子輝線のゼーマン分裂量から、視線方向成分を直接測定することができる。計画当初時は、星形成領域の高密度コアについては、CCS などの常磁性分子輝線を用いたゼーマン分裂の測定を考えていたが、野辺山宇宙電波観測所 4.5 m 望遠鏡用受信機の計画に遅れが生じたため、計画を変更し、分子雲コアのサブミリ波偏波観測から磁場の方向を測定する方法を用いた。測定された磁場の形状、すなわち磁場の方向の分散と分子雲コアから磁場強度を推定する Davis-Chandrasekhar-Fermi 法を用いて、評価することとした。

晩期型星星周領域については、酸素過剰星である VY CMa の特徴を活かし、星周領域で存在量が多く、強い強度を示す SiO 輝線を用いることとした。SiO は反磁性分子で、基底振動励起状態  $v$  が 0 の回転遷移は通常熱的励起であるが、同天体では極めて高い直線偏波率を示す。我々研究チームの研究から、SiO  $v=0$  の回転遷移輝線を用いることで、星からの距離が 10 - 100 AU スケールの星周領域の磁場の 3 次元 (位置・速度) 精密測定が可能であることを突き止めた (Shinnaga et al. 2017)。この手法を用いた星周領域の磁場形状モデル、および星のダイナモプロセスに制限を与えることを目指した。

4. 研究成果

高密度コアである L1521F は原始星(L1521F-IRS)を中心に持ち、双極分子流の作り出したキャビティ(穴)がみられる(図1参照)。同天体の磁場形状を調べるために、サブミリ波帯の2つの波長( $\lambda = 450 \mu\text{m}$ 、および  $850 \mu\text{m}$ )とミリ波( $\lambda = 3\text{mm}$ )を用いた偏波を含む観測データを解析した。その結果、高密度コアの周辺領域(中心部よりも密度が相対的に低く広がった領域で、 $850 \mu\text{m}$  帯の連続波でよくトレースされる)は、同領域の大局的磁場の方向とほぼ平行になっている一方で、高密度コアの中心領域(より高密度の領域で  $450 \mu\text{m}$  帯の連続波でトレースされる)では、重力収縮により磁場が大きくねじ曲げられている(周辺領域の磁場とほぼ直交している)様子を明らかにした。磁場強度は、測定された磁場の方向の分散と高密度コアの分子ガスの速度分散から、Davis-Chandrasekhar-Fermi 法を用いて、 $30 \pm 10 \mu\text{G}$  であると推定した。

赤色超巨星である VY CMa の星周領域については磁場形状、および磁場強度の両方について、SiO  $v=0$ 、 $J=1-0$  輝線を用いて測定した。振動励起状態 ( $v$ ) がゼロの回転遷移輝線は、通常は熱的励起を示す一方、同天体の星周領域で、SiO  $v=0$  の回転遷移輝線は極めて高い偏波率を示す

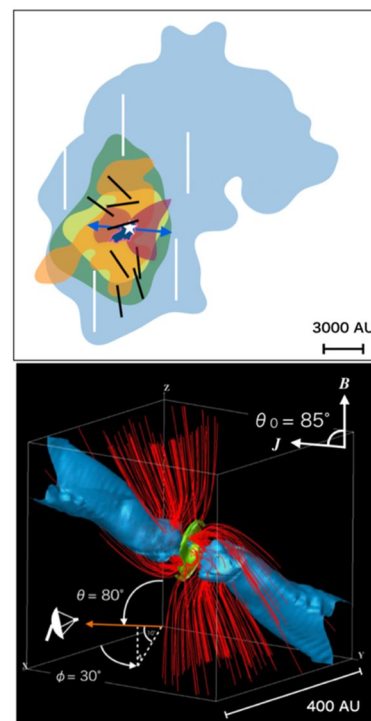


図1 L1521F 分子雲コアの(上)観測的特徴と(下)理論シミュレーション(Fukaya et al. 2023)。上図の黒の棒線が観測された磁力線の方向を、下図の赤線が磁力線を表す。

ことから、メーザー現象を起こしていることがわかる。SiO は反磁性分子であるため、同分子の輝線は、常磁性分子輝線のゼーマン効果と比較すると、小さなゼーマン分裂を示すにもかかわらず、円偏波の観測結果から、VY CMa 大きな分裂を示し、星周領域で 100G を超える非常に強い磁場強度を持つ領域 (図 2 中のクランプ 1-3) が存在することを明らかにした。

上記 L1521F については、観測から得られた磁場形状を、理論シミュレーションの研究結果と比較することにより、同天体の抱く原始星(L1521F-IRS)周りの擬似円盤と双極分子流の形成過程において、磁場の軸と原始星円盤の回転軸がほぼ直交した状況で誕生した可能性が高いことを示すことに成功した。

太陽質量の 25 倍の質量を持つ赤色超巨星 VY CMa の星周領域については、極めて強い磁場強度を持つ磁気クランプを複数、同定することに成功した。星周領域の磁場構造は複雑であり、VY CMa の光球は半径が 6.6AU と、太陽系の太陽の位置に同星を置いた場合は、木星の軌道も飲み込むほどの大きさである。このように肥大した光球を持つため、かつては強い磁場を持つことは理論的に予想されていなかった。主系列星段階を経て赤色超巨星へと進化した天体でも、磁氣的に活発であることが明らかとなり、今後は晩期型星の磁場、および、質量放出における磁場の役割に関して、これら観測事実と整合性のとれた理論的な研究が進展することを期待する。

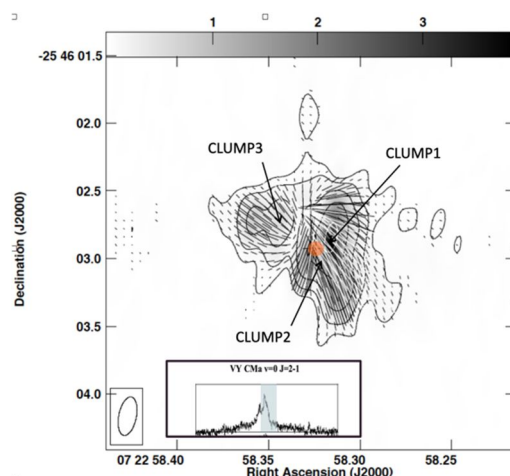


図 2 VY CMa 星周領域の SiO  $v=0, J=1-0$  輝線のチャンネルマップの例(Shinnaga et al. 2017)。スペクトル (下部の埋め込み図; Shinnaga et al. 1999) のグレーの部分のチャンネルマップ観測された磁力線の方向は黒棒線で表す。クランプ 1-3 から、強い磁場が測定された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計29件（うち査読付論文 27件／うち国際共著 27件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ward-Thompson Derek, Pattle Kate, Bastien Pierre, Furuya Ray S. et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 842
2. 論文標題 First Results from BISTRO: A SCUBA-2 Polarimeter Survey of the Gould Belt	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 66 ~ 66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa70a0	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 Scicluna P, Kemper F, McDonald I, Srinivasan S, Trejo A, Wallstrom S H J et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 512
2. 論文標題 The Nearby Evolved Stars Survey II: Constructing a volume-limited sample and first results from the James Clerk Maxwell Telescope	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1091 ~ 1110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab2860	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 Fanciullo Lapo, Kemper Francisca, Pattle Kate, Koch Patrick M et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 512
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: multiwavelength polarimetry of bright regions in NGC 2071 in the far-infrared/submillimetre range, with POL-2 and HAWC+	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1985 ~ 2002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac528	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 Hwang Jihye, Kim Jongsoo, Pattle Kate, Lee Chang Won et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 941
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: A Spiral Magnetic Field in a Hub-filament Structure, Monoceros R2	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 51 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac99e0	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 Ching Tao-Chung, Qiu Keping, Li Di, Ren Zhiyuan, Lai Shih-Ping et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 941
2. 論文標題 The JCMT BISTRO-2 Survey: Magnetic Fields of the Massive DR21 Filament	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 122 ~ 122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac9dfb	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 Tahani Mehrnoosh, Bastien Pierre, Furuya Ray S., Pattle Kate et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 944
2. 論文標題 JCMT BISTRO Observations: Magnetic Field Morphology of Bubbles Associated with NGC 6334	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 139 ~ 139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acac81	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 Fukaya Sakiko, Shinnaga Hiroko, Furuya Ray S, Tomisaka Kohji, Machida Masahiro N, Harada Naoto	4. 巻 75
2. 論文標題 Twisted magnetic field in star formation processes of L1521F revealed by submillimeter dual-band polarimetry using the James Clerk Maxwell Telescope	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 120 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac094	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 Lyo A-R et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 918
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: An 850/450 $\mu$ m Polarization Study of NGC 20711R in Orion B	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 85 ~ 85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0ce9	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 Kwon Woojin et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 926
2. 論文標題 B-fields in Star-forming Region Observations (BISTRO): Magnetic Fields in the Filamentary Structures of Serpens Main	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 163 ~ 163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac4bbe	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 Fanciullo L et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 512
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: multiwavelength polarimetry of bright regions in NGC 2071 in the far-infrared/submillimetre range, with POL-2 and HAWC+	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1985 ~ 2002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac528	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 Harrison Rachel E., Looney Leslie W., Stephens Ian W., Li Zhi-Yun, Teague Richard, Crutcher Richard M., Yang Haifeng, Cox Erin G., Fernandez-Lopez Manuel, Shinnaga Hiroko	4. 巻 908
2. 論文標題 ALMA CN Zeeman Observations of AS 209: Limits on Magnetic Field Strength and Magnetically Driven Accretion Rate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 141 ~ 141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd94e	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 Palau, Aina; Zhang, Qizhou; Girart, Josep M.; Liu, Junhao; Rao, Ram; Koch, Patrick M.; Estalella, Robert; Chen, Huei-Ru Vivien; Liu, Haiyu Baobab; Qiu, Keping; Li, Zhi-Yun; Zapata, Luis A.; Bontemps, Sylvain; Ching, Tao-Chung; Shinnaga, Hiroko; Ho, Paul T. P.; Ahmadi, Aida; Beuther, Henrik	4. 巻 912
2. 論文標題 Does the magnetic field suppress fragmentation in massive dense cores?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 159
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 該当する

1. 著者名 Arzoumanian D., Furuya R. S., Hasegawa T., Tahani M., et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 647
2. 論文標題 Dust polarized emission observations of NGC 6334	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A78 ~ A78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202038624	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 Doi Yasuo, Hasegawa Tetsuo, Furuya Ray S., et al. (Shinnaga, H. を含む)	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 Shinnaga Hiroko, Claussen Mark J., Yamamoto Satoshi, Masumi Shimojo	4. 巻 13
2. 論文標題 Strong magnetic field of the peculiar red supergiant VY Canis Majoris	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Astronomical Union 336	6. 最初と最後の頁 391 ~ 392
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S1743921317010948	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 H. Shinnaga, M.J. Claussen, S. Yamamoto, M. Shimojo	4. 巻 69
2. 論文標題 Strong magnetic field generated by the extreme oxygen-rich red supergiant VY Canis Majoris	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan (Letter)	6. 最初と最後の頁 id.L10,1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx110	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 Pattle Kate, Ward-Thompson Derek, Berry David, Hatchell Jennifer et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 846
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: The Magnetic Field Strength in the Orion A Filament	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 122 ~ 122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa80e5	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 Kwon Jungmi, Doi Yasuo, Tamura Motohide, Matsumura Masafumi et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 859
2. 論文標題 A First Look at BISTRO Observations of the Oph-A core	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 4 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aabd82	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 Soam Archana, Pattle Kate, Ward-Thompson Derek, Lee Chang Won et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 861
2. 論文標題 Magnetic Fields toward Ophiuchus-B Derived from SCUBA-2 Polarization Measurements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 65 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aac4a6	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 Jia-Wei, Lai Shih-Ping, Eswaraiah Chakali, Pattle Kate et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 876
2. 論文標題 JCMT BISTRO Survey: Magnetic Fields within the Hub-filament Structure in IC 5146	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 42 ~ 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab13a2	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 Liu Junhao, Qiu Keping, Berry David, Di Francesco James, Bastien Pierre et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 877
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: The Magnetic Field in the Starless Core Ophiuchus C	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 43 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab0958	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 Coude Simon, Bastien Pierre, Houde Martin, Sadavoy Sarah et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 877
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: The Magnetic Field of the Barnard 1 Star-forming Region	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 88 ~ 88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab1b23	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 Yen Hsi-Wei, Koch Patrick M., Hull Charles L. H., Ward-Thompson Derek et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 907
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: Alignment between Outflows and Magnetic Fields in Dense Cores/Clumps	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 33 ~ 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abca99	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 Ngoc Nguyen Bich, Diep Pham Ngoc, Parsons Harriet, Pattle Kate et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 908
2. 論文標題 Observations of Magnetic Fields Surrounding LkH 101 Taken by the BISTRO Survey with JCMT-POL-2	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 10 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd0fc	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 Harrison Rachel E., Looney Leslie W., Stephens Ian W., Li Zhi-Yun, Teague Richard, Crutcher Richard M., Yang Haifeng, Cox Erin G., Fernandez-Lopez Manuel, Shinnaga Hiroko	4. 巻 908
2. 論文標題 ALMA CN Zeeman Observations of AS 209: Limits on Magnetic Field Strength and Magnetically Driven Accretion Rate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 141 ~ 141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd94e	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 Eswaraiah Chakali, Li Di, Furuya Ray S., Hasegawa Tetsuo et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 912
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: Revealing the Diverse Magnetic Field Morphologies in Taurus Dense Cores with Sensitive Submillimeter Polarimetry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L27 ~ L27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abeb1c	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 Fanciullo Lapo, Kemper Francisca, Pattle Kate, Koch Patrick M et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 512
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: multiwavelength polarimetry of bright regions in NGC 2071 in the far-infrared/submillimetre range, with POL-2 and HAWC+	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1985 ~ 2002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac528	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 Ching Tao-Chung, Qiu Keping, Li Di, Ren Zhiyuan, Lai Shih-Ping et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 941
2. 論文標題 The JCMT BISTRO-2 Survey: Magnetic Fields of the Massive DR21 Filament	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 122 ~ 122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac9dfb	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 Ward-Thompson Derek, Karoly Janik, Pattle Kate, Whitworth Anthony et al. (Shinnaga, H. を含む)	4. 巻 946
2. 論文標題 First BISTRO Observations of the Dark Cloud Taurus L1495A-B10: The Role of the Magnetic Field in the Earliest Stages of Low-mass Star Formation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 62~62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acbea4	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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 佐藤和樹、新永浩子、古屋玲、鈴木建、柿内健佑、Juergen Ott
2. 発表標題 サブミリ波偏波観測で捉えた銀河中心領域の磁気圏に関する考察
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤和樹、新永浩子、古屋玲、鈴木建、柿内健佑、Juergen Ott
2. 発表標題 東アジア天文台 James Clerk Maxwell Telescope サブミリ波高感度偏波観測から明らかにされた超大質量ブラックホール Sgr A*への質量降着における CND と磁場の役割
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 深谷紗希子、新永浩子ほか
2. 発表標題 JCMT 2波長偏波観測で見えてきた分子雲コア L1521F の星形成の現場
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroko Shinnaga, Mark J. Claussen, Hiroshi Imai, Takeru Suzuki, Anita Richards et al.
2. 発表標題 Dynamic Mass Outflow and Circumstellar Magnetic Field of A Red Supergiant
3. 学会等名 IAU Symposium 360 Astropol2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroko Shinnaga, Josep Miquel Girart, Masahiro N. Machida, Kohji Tomisaka et al.
2. 発表標題 Magnetic Field of an Isolated Massive Star Forming Clump IRAS20126+4104 II. A Study Across A High Spatial Dynamic Range
3. 学会等名 IAU Symposium 360 Astropol2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sakiko Fukaya, Hiroko Shinnaga, Ray S. Furuya, Masahiro N. Machida, Kohji Tomisaka
2. 発表標題 Magnetic field of a dense core L1521 F in Taurus molecular cloud
3. 学会等名 IAU Symposium 360 Astropol2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 深谷紗季子、新永浩子、古屋玲、町田正博、富阪幸治、
2. 発表標題 サブミリ波を用いたおうし座分子雲コアL1521F における磁場構造の観測的研究
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinnaga H., Claussen, M.J., Imai, H., Oyadamari, M., Suzuki, T., Richards, A., Grey, M., Etoke, S., Yamamoto, S., Shimojo, M., Murakawa, K.
2. 発表標題 Dynamic Mass Outflow and Circumstellar Magnetic Field of A Red Supergiant
3. 学会等名 IAU Symposium 360 Astronomical Polarimetry 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Hiroko Shinnaga
2. 発表標題 Stellar studies with ALMA
3. 学会等名 East Asian ALMA Science Workshop 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroko Shinnaga
2. 発表標題 Interferometric polarization observations towards late-type stars
3. 学会等名 Polarimetry in the ALMA era: a new crossroads of astrophysics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Shinnaga, M.J. Claussen, S. Yamamoto, M. Shimojo
2. 発表標題 Strong magnetic field generated by the extreme red supergiant VY Canis Majoris
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Shinnaga, M.J. Claussen, S. Yamamoto, M. Shimojo
2. 発表標題 Strong magnetic field of the peculiar red supergiant VY Canis Majoris
3. 学会等名 International Astronomical Union # 336
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Hiroko Shinnaga, Antonio M. Magalhaes, Edith Falgarone, Koji Kawabata	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Cambridge University Press	5. 総ページ数 -
3. 書名 IAU Symposium 360 Astronomical Polarimetry 2020	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>電波で探る「胎児星」誕生の瞬間～磁力線を巻き込みながら母体分子雲コア中で成長する様子をとらえた！～  <a href="https://www.kagoshima-u.ac.jp/topics/2023/02/post-2020.html">https://www.kagoshima-u.ac.jp/topics/2023/02/post-2020.html</a>  Battle Between Gravity and Magnetic Fields -JCMT  <a href="https://www.eaobservatory.org/jcmt/2023/02/11521f/">https://www.eaobservatory.org/jcmt/2023/02/11521f/</a>  学術雑誌pasj表紙掲載の記者会見を行いました  <a href="http://agarc.sci.kagoshima-u.ac.jp/">http://agarc.sci.kagoshima-u.ac.jp/</a>  電波で探る「胎児星」誕生の瞬間～磁力線を巻き込みながら母体分子雲コア中で成長する様子をとらえた！～  <a href="https://grad.eng.kagoshima-u.ac.jp/info/20230214topic/">https://grad.eng.kagoshima-u.ac.jp/info/20230214topic/</a>  Master Student Captured a "Fetal Star" in Growth  <a href="https://grad.eng.kagoshima-u.ac.jp/uncategorized/20230302topic/">https://grad.eng.kagoshima-u.ac.jp/uncategorized/20230302topic/</a>  巨大星の最期・超新星爆発直前にとらえた強力な磁場 鹿児島大学理学部 新永研究室  <a href="https://www.kagoshima-u.ac.jp/topics/2018/04/post-1377.html">https://www.kagoshima-u.ac.jp/topics/2018/04/post-1377.html</a>  Strong Magnetic Field discovered in VY CMa  <a href="https://sites.google.com/site/pressreleasesshinnagagroup/20171001-strong-magnetic-field-vy-cma">https://sites.google.com/site/pressreleasesshinnagagroup/20171001-strong-magnetic-field-vy-cma</a>  巨大星の最期・超新星爆発直前にとらえた強力な磁場とは？オックスフォード大学出版局  <a href="https://twitter.com/OUPACJapan/status/981750780532273152">https://twitter.com/OUPACJapan/status/981750780532273152</a>  The Late Evolution of a Massive Red Supergiant  <a href="https://science.nrao.edu/enews/11.4/">https://science.nrao.edu/enews/11.4/</a>  The Late Evolution of a Massive Red Supergiant  <a href="https://science.nrao.edu/enews/11.4/">https://science.nrao.edu/enews/11.4/</a></p>
---

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
研究協力者	今井 裕  (Imai Hiroshi)  (70374155)		

## 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	山本 智  (Yamamoto Satoshi)  (80182624)		

## 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			
米国	National Radio Astronomy Observatory	Stanford University	Harvard-Smithsonian	他9機関
ドイツ	European Southern Observatory	Max Planck IfA	Universität Heidelberg	
カナダ	National Research Council	Université de Montréal	University of Victoria	他7機関
英国	University of Manchester	Jodrell Bank Observatory	University College London	他11機関
スペイン	ICE/CSIC	Instituto de Astrofísica de Canarias	Universidad de La Laguna	他2機関
メキシコ	Universidad Nacional Autónoma de México			
中国	Research Center for ICP	National Astronomical Observatories	Nanjing University	他13機関
韓国	KASI	University of Science and Technology	Seoul National University	他6機関
フランス	Université Paris-Saclay	CEA	Univ. Grenoble	
ベトナム	Vietnam NSC	Vietnam Academy of ST	Univ ST	
スウェーデン	Chalmers University of Technology			
南アフリカ	University of KwaZulu-Natal			
チリ	ESO	Univ de Chile		
ベルギー	KU Leuven			

共同研究相手国	相手方研究機関			
イタリア	INAF			
アイルランド	National University of Ireland Galway			
オーストラリア	University of Southern Queensland			
オーストリア	Kuffner Observatory			