

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01248

研究課題名(和文)セファイド変光星の多次元情報に基づく銀河系円盤の進化過程の検証

研究課題名(英文) Study on evolutionary processes of the Galactic disk based on multi-dimensional data of Cepheid variable stars

研究代表者

松永 典之 (Matsunaga, Noriyuki)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・助教

研究者番号：80580208

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、セファイドなどの脈動変光星をトレーサとして、銀河系円盤にある恒星の化学組成の進化を探るための研究を行った。Gaia衛星によって得られたセファイドの位置・運動情報を用いた研究では、銀河系円盤の回転や渦状腕の力学的進化について新たな知見を得た。一方、あまり応用が進んでいない赤外線域での高分散分光観測によって、セファイドの化学組成を測定することができた。2022年9月にはWINERED近赤外線分光器をマゼラン望遠鏡(口径6.5メートル)に取り付けて観測することにも成功し、銀河系円盤の広い範囲のセファイドを感度よく観測して元素組成を含むセファイドの多次元情報を取得していく目途がついた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

銀河系(天の川銀河)は我々の太陽系が所属する身近な銀河である。本研究では、高精度の距離測定が可能なセファイド変光星をターゲットとし、星間物質の吸収の影響が小さい近赤外線での分光観測というツールを用いることで、銀河系中の広い範囲における星の位置・運動・化学組成を観測的に調べる手法を確立した。セファイドは年齢が1億年程度と若く、銀河系進化の歴史の中ではごく最近生まれた星である。本研究の成果を今後応用することにより、銀河系がどのような進化を経て現在の姿になったのかを探ることができる。

研究成果の概要(英文)：We used the multi-dimensional data of Cepheid variable stars in order to study the evolution of the Galactic disk. While the distances and thus the positions of Cepheids can be well determined by the period-luminosity relation, the new data releases of the Gaia satellite allowed us to determine the three dimensional velocities and trace the dynamical properties of the Galactic disk. On the other hand, we established the method and basic database necessary for measuring the chemical abundances of Cepheids based on near-infrared spectra, which are less affected by interstellar extinction strong in the Galactic disk. Moreover, we made the first observations with the world-leading WINERED near-infrared spectrograph attached to Magellan telescope at the Las Campanas Observatory. Its high sensitivity combined with our method of chemical analysis for Cepheids would enable to extend the sample of Cepheids with multi-dimensional data for covering the entire range of the Galactic disk.

研究分野：光学赤外線天文学

キーワード：脈動変光星 天の川銀河 恒星化学組成 高分散分光観測 渦巻き腕

## 1. 研究開始当初の背景

超新星爆発など恒星の核合成・物質放出によって各銀河の化学進化が起こる。その進化は、時間が経つと各領域にある星や星間物質の金属量が単純に増えるというのではなく、銀河の動力学と結びついて円盤中の各領域、渦状腕、バルジ、ハローなどが相互作用しつつ進むことが明らかとなってきた。最近 10~20 年に大規模な多天体分光探査が数多く進められたこともあって、バルジやハローに対する銀河考古学の研究は急速に発展してきた。銀河系円盤では星間減光が強いため、太陽系から離れた広い範囲の天体を調べるためには可視光ではなく赤外線での分光観測が必要となる。その赤外線分光探査を大きく進めたのが H バンドの 1.5~1.7 マイクロメートル帯で数十万天体の分光観測を行った APOGEE である。しかし、APOGEE のターゲット天体は赤色巨星に偏っており、銀河系の古い成分(数十億年以上)に対する多くの情報を与えたが、それより若い星について十分調べられていなかった。銀河系円盤の若い星に対する重要な観測事実の一つが、中心に近いほど金属量が高いという金属量勾配の分散が 0.1 dex 程度と小さいことである。古い星でもゆるやかな金属量勾配がみられるがその分散は 0.5 dex 以上に大きくなっている。このような金属量勾配の変化は、時間をかけて重元素合成による金属量増大が進むことと、radial migration と呼ばれるプロセスなどにより星やガスが銀河系円盤中を動径方向に移動しておこるものと考えられる。このような進化のプロセスを詳しく探るために銀河系円盤の広い範囲にわたって、様々な年齢の星の化学組成を調べる必要がある。しかし、若い星に対する赤外線分光観測にもとづく化学組成解析はいまだ十分進んでいない。一方、2013 年 12 月に打ち上げられたガイア (Gaia) 位置天文衛星は、銀河系円盤を含む広い領域に分布する星の位置と運動をかつてない高い精度で計測している。銀河系円盤中における運動と分光観測による化学組成を結びつけることで金属量勾配がどのように時間変化していくのか調べられると期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では、若い星の代表としてセファイド変光星をターゲットに選び、それらの運動の様子をガイア衛星による公開カタログを用いて調べ、さらに赤外線分光観測によって化学組成の測定を行う。セファイドは、年齢が数千万年から数億年の若い脈動変光星で、周期光度関係による高精度の距離推定にもとづいて銀河系円盤の広い範囲を探るためのよいトレーサである。本研究開始当初に見つかった銀河系円盤のセファイドは 600 個ほどに過ぎなかったが、複数の大規模変光星探査が進んでいたところで 2019 年に相次いで発表された論文によって現在では約 3000 個が知られている。しかしながら、それらのサンプルに対する化学組成解析を含む詳しい分光学的研究はほとんど進んでおらず、特に近赤外線スペクトルでの化学組成解析は全く行われていなかった。そこで、銀河系円盤の金属量勾配がどのように時間変化するかを調べるために、主に次の二つの目的をもって研究を進めた。(1) ガイア衛星によって測定された速度を用いて銀河系円盤の広い範囲におけるセファイドの運動を明らかにすること。特に、銀河回転や渦状腕の構造から速度分散を大きくするような現象が見られないかを探ること。(2) 赤外線スペクトルを用いて、セファイドの化学組成解析を行うこと。そのような解析はこれまで行われておらず、有効温度のような較正パラメータをどうやって決めるかという手法の確立や、組成測定のためにどのような吸収線を利用できるか同定するという基礎的な研究も必要である。

### 3. 研究の方法

すでに述べた通り、本研究の対象天体は、最近の変光星探査で見つかった天体を含め、銀河系円盤の広い範囲に分布するセファイドである。それらの天体について、高い精度の運動(固有運動と視線速度)と化学組成を得て、それを利用して銀河系円盤中における金属量勾配の時間変化を議論することが目標である。そこで、以下の2つのアプローチでセファイドの多次元情報を用いる研究を進めた。

#### (1) ガイア衛星の超高精度位置天文学カタログの利用

既知のセファイドに対し、ガイア衛星が公開するカタログに含まれる速度情報(固有運動および視線速度)を利用して銀河系円盤中での運動を調べる。ガイア衛星のカタログでは年周視差にもとづく距離も多く为天体に対して与えられるが、1キロパーセクを超えるセファイドに対しては、周期光度関係を用いた推定の方が高い精度の距離を与えるので、我々は一貫して周期光度関係による距離を用いている。一方、固有運動と視線速度については非常に多くの天体に対して十分な精度の測定を行うことのできるガイア衛星カタログの利用価値が高い。ただし、ガイア衛星は解析の進展に合わせて何度かカタログ公開を繰り返しており、我々の研究でもその時点で利用可能な最新のカタログを用いる。また、セファイドのカタログについても、変光星探査の進展によって発見されたセファイドも加えつつ研究を進めた。

#### (2) 近赤外線高分散分光観測にもとづくセファイドスペクトルの解析

近赤外分光観測(WINERED+NTT望遠鏡やIRCS+すばる望遠鏡)から視線速度と金属量を測定する。それらの天体は銀河中心から見て様々な方向に散らばっており、金属量分布(金属量勾配)に方位角依存性があるか調べるのにも最適なサンプルである(図1)。すでに一部の天体(約20個)について、WINEREDまたはIRCSで分光観測を行っているが、2018年度から本格的な観測を行い、本計画の最終年度(2020年度)までに、200個程度の新たな天体について視線速度と金属量を計測する目標である。

### 4. 研究成果

以下、ガイア衛星カタログを用いた運動の研究と、近赤外線分光データによるセファイドのスペクトルの解析に関する成果をそれぞれ述べる。

#### (1) ガイア衛星の位置天文学カタログを用いたセファイドの運動の研究

本計画が2018年度に始まる直前に我々が行った研究(Baba et al. 2018, ApJ Letters, 853, L23)では、2016年9月に公開されたGaia DR1のカタログにある固有運動を用いて、ペルセウス腕にあるセファイドの運動を調べた。本研究では、2018年4月に公開されたGaia DR2カタログの固有運動を利用し、英ユニバーシティ・カレッジ・ロンドンの河田大介博士らとの共同研究により、セファイドの銀河系円盤中での回転運動について研究を行った(Kawata et al. 2019, MNRAS, 482, 40)。銀河系円盤の運動の基本パラメータ(回転速度など)に制限を与え、セファイドの運動の分布に非軸対象な成分があることを示した。数値シミュレーションとの比較も行った。また、セファイドではないが、色等級図上で選んだ1Gyr程度の年齢と考えられる星の分布について調査も行った(Miyachi et al. 2019, ApJ, 882, 48)。それらの星は太陽系近傍に存在

する渦状腕(Local Arm)をトレースするものと考えられるが、星形成領域(星間ガスを代表)でトレースされた腕の向きと異なっていて、ガスと恒星の渦状腕の構造が異なることを示唆する。その後、2022年6月に公開されたGaia DR3のカタログをそれまでに大幅に探査が進んで発見された2400個以上のセフィイドと組み合わせて、銀河系円盤のさらに広い範囲におけるセフィイドの運動を調べる研究を進めている。これまでに図1に示すような銀河系外縁部にあるセフィイドがただ平坦な回転曲線に従うのではなく、リッジ(ridge)と呼ばれる運動の構造を示すことなどを発見した。その構造と渦状腕との関連を含め、現在論文を執筆しているところである(Funakoshi et al. in prep)。

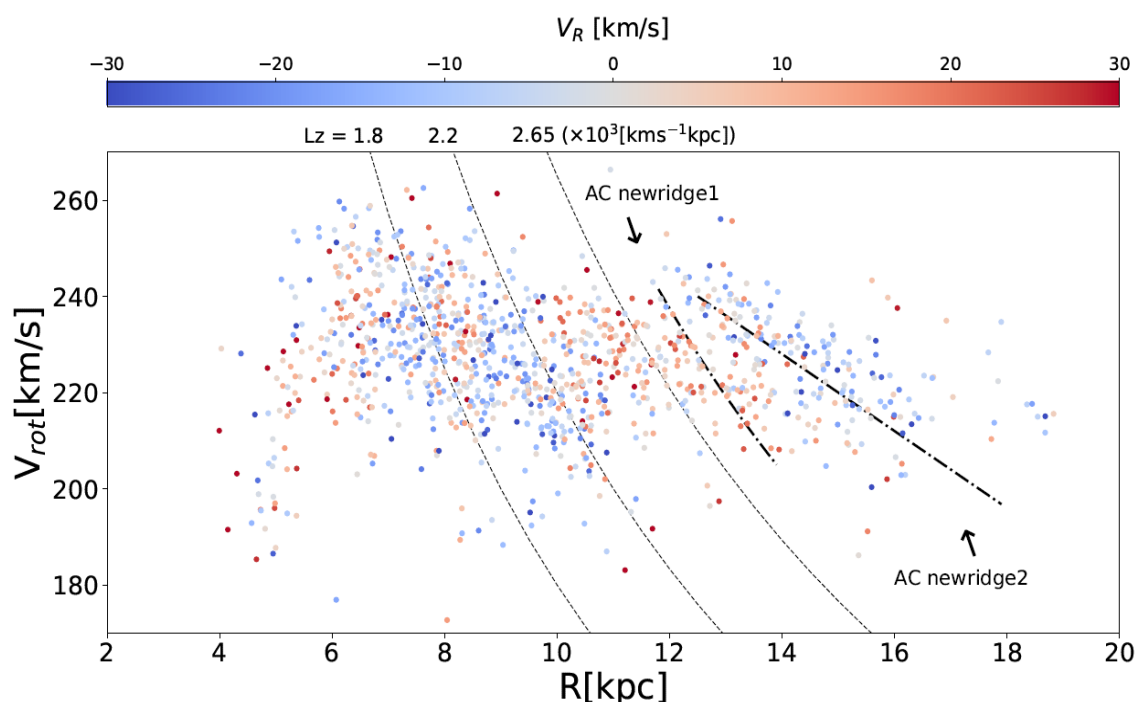


図1：ガイア衛星のカタログ (Gaia DR3) で3次元速度が得られたセフィイドについて、銀河系円盤中での回転速度  $V_{rot}$  を銀河系中心からの距離  $R$  に対してプロットした図。各セフィイドの色は動径方向の速度を示す。外縁部 ( $R > 12$  の領域) に見られる AC newridge1/2 は、より古い星に対して Antoja et al. (2019, A&A, 649, A8) が発見していた2本のリッジ構造である。

## (2) 近赤外線分光データを用いたセフィイドの組成解析のための研究

本研究では、我々が開発・運用を進めてきた WINERED (ワインレッド) 近赤外線高分散分光器を用いてセフィイドの組成解析を行うため、過去に得ていたスペクトルを用いる解析方法の開発と、チリ・ラスカンパナス天文台にある口径6.5mのマゼラン望遠鏡に WINERED を設置して行う観測を進めた。

過去のデータを用いた基礎的な研究として、地球大気吸収線の補正 (Sameshima et al. 2018, PASP, 130, 74502) や組成測定に利用できる中性鉄吸収線の同定 (Kondo et al. 2019, ApJS, 875, 129) などを行った。さらに、亜鉛とそれより重い元素によって現れる吸収線 (9種類の元素からの23本の吸収線) を同定した (Matsunaga et al. 2020, ApJS, 246, 10)。これらの元素は中性子捕獲過程で生じる元素であり (図2)、セフィイドでそれらの元素の組成を測定できるようになれば銀河系円盤の化学進化にそのような過程が与える影響を調べることができる。

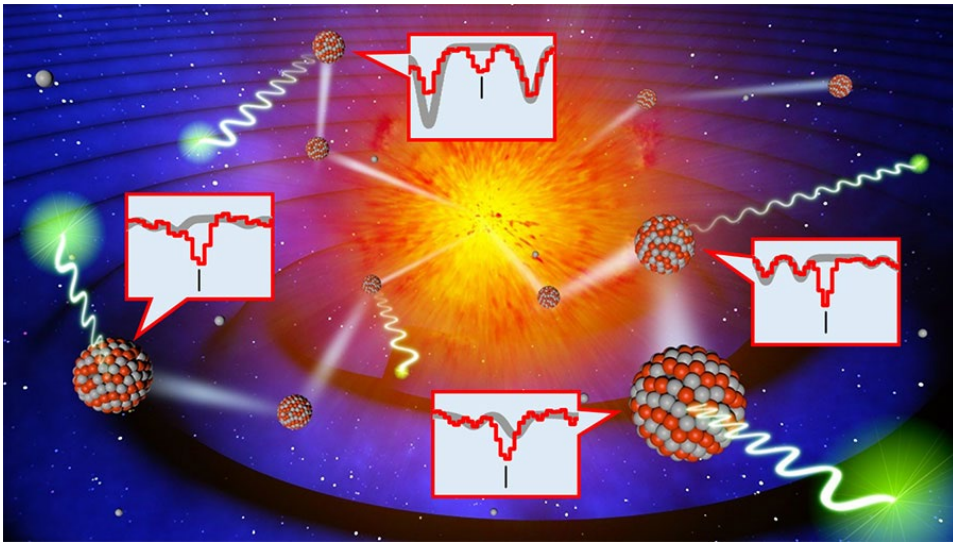


図 2 : 中性子星合体が起こって中性子捕獲元素が合成されているのと同じ重力波も生じている想像図に、それぞれの元素によって今回検出した吸収線が生じている様子を説明した概念図。

また、ライン強度比という手法を用いて有効温度と表面重力をもとめる関係式を構築し (Taniguchi et al. 2021, MNRAS, 502, 4210; Matsunaga et al. 2021, MNRAS, 506, 1031)、それをセファイドに応用することにも成功した。さらには可視光スペクトルで化学組成の測定されていたセファイドに対して WINERED スペクトルで鉄、ケイ素など数種の元素の組成が得られることを示した (Scarlet Saez Elgueta 氏博士論文、2022 年 3 月、東京大学)。

一方、マゼラン望遠鏡を用いてさらに高感度の観測を行うための準備は、2018 年後半から本格的に進めてきた。ところが、コロナ禍のためにチリで滞在・作業することが全くできなくなってしまった。何度かマゼラン望遠鏡での観測時間が割り当てられ準備を進めたものの、やはり分光器の設置を行なえず、2022 年 9 月になって初めてマゼラン望遠鏡での観測に成功した。個数は少なかったものの J バンドで 12~13 等級の暗いセファイドを観測し、口径 6.5 m のマゼラン望遠鏡での予想感度に見合う高品質のデータが得られることを確認した (図 3)。今後も定期的にマゼラン望遠鏡での観測を行う予定であり、本研究の目標である銀河系円盤のセファイドの化学組成測定を進める目途をつけることができた。

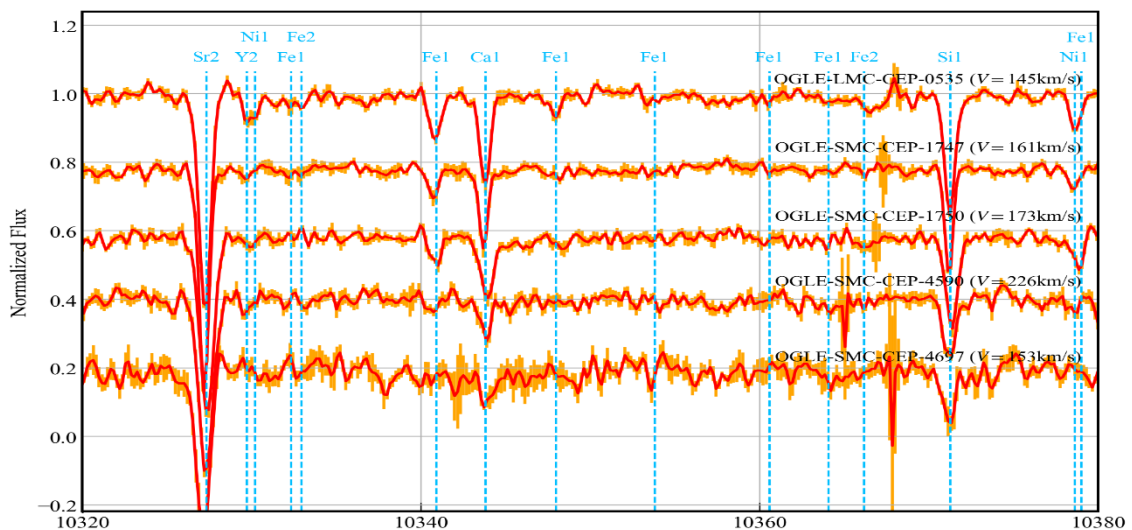


図 3 : マゼラン望遠鏡に設置した WINERED 分光器を用い、大小マゼラン銀河にあるセファイドに対して世界で初めてとなる近赤外線での高分散分光観測に成功した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計28件（うち査読付論文 28件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Matsunaga Noriyuki, Taniguchi Daisuke, Jian Mingjie, Ikeda Yuji, Fukue Kei, Kondo Sohei, Hamano Satoshi, Kawakita Hideyo, Kobayashi Naoto, Otsubo Shogo, Sameshima Hiroaki, Takenaka Keiichi, Tsujimoto Takuji, Watase Ayaka, Yasui Chikako, Yoshikawa Tomohiro	4. 巻 246
2. 論文標題 Identification of Absorption Lines of Heavy Metals in the Wavelength Range 0.97-1.32 $\mu\text{m}$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	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) 10.3847/1538-4365/ab5c25	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 Kondo Sohei, Fukue Kei, Matsunaga Noriyuki, Ikeda Yuji, Taniguchi Daisuke, Kobayashi Naoto, Sameshima Hiroaki, Hamano Satoshi, Arai Akira, Kawakita Hideyo, Yasui Chikako, Izumi Natsuko, Mizumoto Misaaki, Otsubo Shogo, Takenaka Keiichi, Watase Ayaka, Asano Akira, Yoshikawa Tomohiro, Tsujimoto Takuji	4. 巻 875
2. 論文標題 Fe I Lines in 0.91-1.33 $\mu\text{m}$ Spectra of Red Giants for Measuring the Microturbulence and Metallicities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 129～129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab0ec4	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 Jian Mingjie, Taniguchi Daisuke, Matsunaga Noriyuki, Kobayashi Naoto, Ikeda Yuji, Yasui Chikako, Kondo Sohei, Sameshima Hiroaki, Hamano Satoshi, Fukue Kei, Arai Akira, Otsubo Shogo, Kawakita Hideyo	4. 巻 494
2. 論文標題 The effect of surface gravity on line-depth ratios in the wavelength range 0.97-1.32 $\mu\text{m}$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1724～1734
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa834	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 Urago Riku, Omodaka Toshihiro, Nagayama Takahiro, Watabe YuKi, Miyanosita Ryo, Matsunaga Noriyuki, Burns Ross A.	4. 巻 891
2. 論文標題 The 3D Distribution of Long-period Mira Variables in the Galactic Disk	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 50～50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab70b1	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 Miyachi Yusuke, Sakai Nobuyuki, Kawata Daisuke, Baba Junichi, Honma Mareki, Matsunaga Noriyuki, Fujisawa Kenta	4. 巻 882
2. 論文標題 Stellar Overdensity in the Local Arm in Gaia DR2	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 48 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2f86	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 Hamano Satoshi, Kawakita Hideyo, Kobayashi Naoto, Takenaka Keiichi, Ikeda Yuji, Matsunaga Noriyuki, Kondo Sohei, Sameshima Hiroaki, Fukue Kei, Yasui Chikako, Mizumoto Misaki, Otsubo Shogo, Watase Ayaka, Yoshikawa Tomohiro, Kobayashi Hitomi	4. 巻 881
2. 論文標題 First Detection of A-X (0,0) Bands of Interstellar C2 and CN	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 143 ~ 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2e0f	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 Magurno D., Sneden C., Bono G., Braga V. F., Mateo M., Persson S. E., Preston G., Thevenin F., Silva R. da, Dall'Orta M., Fabrizio M., Ferraro L., Fiorentino G., Iannicola G., Inno L., Marengo M., Marinoni S., Marrese P. M., Martinez-Vazquez C. E., Matsunaga N., Monelli M., Neeley J. R., Nonino M., Walker A. R.	4. 巻 881
2. 論文標題 Chemical Compositions of Field and Globular Cluster RR Lyrae Stars. II. Centauri	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 104 ~ 104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2e76	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 Jian Mingjie, Matsunaga Noriyuki, Fukue Kei	4. 巻 485
2. 論文標題 The metallicity effect on line-depth ratios in APOGEE H-band spectra	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1310 ~ 1319
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz237	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 Baba Junichi, Kawata Daisuke	4. 巻 492
2. 論文標題 Age dating the Galactic bar with the nuclear stellar disc	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4500 ~ 4511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa140	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 Tsujimoto Takuji, Baba Junichi	4. 巻 878
2. 論文標題 Galactic r-process Abundance Feature Shaped by Radial Migration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 125 ~ 125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab22b3	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 Sameshima Hiroaki, Matsunaga Noriyuki, Kobayashi Naoto, Kawakita Hideyo, Hamano Satoshi, Ikeda Yuji, Kondo Sohei, Fukue Kei, Taniguchi Daisuke, Mizumoto Masaki, Arai Akira, Otsubo Shogo, Takenaka Keiichi, Watase Ayaka, Asano Akira, Yasui Chikako, Izumi Natsuko, Yoshikawa Tomohiro	4. 巻 130
2. 論文標題 Correction of Near-infrared High-resolution Spectra for Telluric Absorption at 0.90-1.35 $\mu\text{m}$	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of the Pacific	6. 最初と最後の頁 074502 ~ 074502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1538-3873/aac1b4	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 Proxauf B., da Silva R., Kovtyukh V. V., Bono G., Inno L., Lemasle B., Pritchard J., Przybilla N., Storm J., Urbaneja M. A., Valenti E., Bergemann M., Buonanno R., D'Orazi V., Fabrizio M., Ferraro L., Fiorentino G., Francois P., Iannicola G., Laney C. D., Kudritzki R.-P., Matsunaga N., and others	4. 巻 616
2. 論文標題 A new and homogeneous metallicity scale for Galactic classical Cepheids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A82 ~ A82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201833087	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 Mizumoto Misaki, Kobayashi Naoto, Hamano Satoshi, Ikeda Yuji, Kondo Sohei, Sameshima Hiroaki, Matsunaga Noriyuki, Fukue Kei, Yasui Chikako, Izumi Natsuko, Kawakita Hideyo, Nakanishi Kenshi, Nakaoka Tetsuya, Otsubo Shogo, Maehara Hiroyuki	4. 巻 481
2. 論文標題 A newly identified emission-line region around P Cygni	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 793 ~ 805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2239	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 Ita Yoshifusa, Matsunaga Noriyuki, Tanabe Toshihiko, Nakada Yoshikazu, Kato Daisuke, Nagayama Takahiro, Nagashima Chie, Kurita Mikio, Nakajima Yasushi, Whitelock Patricia A, Menzies John W, Feast Michael W, Nagata Tetsuya, Tamura Motohide, Nakaya Hidehiko	4. 巻 481
2. 論文標題 A near infrared variable star survey in the Magellanic Clouds: The Small Magellanic Cloud data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2539	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 Sameshima Hiroaki, Ikeda Yuji, Matsunaga Noriyuki, Fukue Kei, Kobayashi Naoto, Kondo Sohei, Hamano Satoshi, Kawakita Hideyo, Yasui Chikako, Izumi Natsuko, Mizumoto Misaki, Otsubo Shogo, Takenaka Keiichi, Watase Ayaka, Asano Akira, Yoshikawa Tomohiro	4. 巻 239
2. 論文標題 WINERED High-resolution Near-infrared Line Catalog: A-type Star	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 19 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/aae924	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 Kawata Daisuke, Bovy Jo, Matsunaga Noriyuki, Baba Junichi	4. 巻 482
2. 論文標題 Galactic rotation from Cepheids with Gaia DR2 and effects of non-axisymmetry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 40 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2623	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 Inno L, Urbaneja M A, Matsunaga N, Bono G, Nonino M, Debattista V P, Sormani M C, Bergemann M, da Silva R, Lemasle B, Romaniello M, Rix H-W	4. 巻 482
2. 論文標題 First metallicity determination from near-infrared spectra for five obscured Cepheids discovered in the inner disc	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 83 ~ 97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2661	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 Menzies John W, Whitelock Patricia A, Feast Michael W, Matsunaga Noriyuki	4. 巻 483
2. 論文標題 Luminous AGB variables in the dwarf irregular galaxy, NGC 3109	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5150 ~ 5165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty3438	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 Origlia L., Mucciarelli A., Fiorentino G., Ferraro F. R., Dalessandro E., Lanzoni B., Rich R. M., Massari D., Contreras Ramos R., Matsunaga N.	4. 巻 871
2. 論文標題 Variable Stars in Terzan 5: Additional Evidence of Multi-age and Multi-iron Stellar Populations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 114 ~ 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaf730	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 Kondo Sohei, Fukue Kei, Matsunaga Noriyuki, Ikeda Yuji, Taniguchi Daisuke, Kobayashi Naoto, Sameshima Hiroaki, Hamano Satoshi, Arai Akira, Kawakita Hideyo, Yasui Chikako, Izumi Natsuko, Mizumoto Misaki, Otsubo Shogo, Takenaka Keiichi, Watase Ayaka, Asano Akira, Yoshikawa Tomohiro, Tsujimoto Takuji	4. 巻 875
2. 論文標題 Fe i Lines in 0.91-1.33 $\mu\text{m}$ Spectra of Red Giants for Measuring the Microturbulence and Metallicities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 129 ~ 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab0ec4	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 Matsunaga, Itane, Hattori, Crestani, Braga, Bono, Taniguchi, Baba, Maehara, Ukita, Sakamoto, Kobayashi, Aoki, Soyano, Tarusawa, Sarugaku, Mito, Sako, Doi, Nakada, Izumi, Ita, Onozato, Jian, Kondo, Hamano, Yasui, Tsujimoto, Otsubo, Ikeda, Kawakita	4. 巻 925
2. 論文標題 A Very Metal-poor RR Lyrae Star with a Disk Orbit Found in the Solar Neighborhood	5. 発行年 2022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/ac3483	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 Matsunaga Noriyuki, Jian Mingjie, Taniguchi Daisuke, Elgueta Scarlet S	4. 巻 506
2. 論文標題 Line-depth ratios as indicators of effective temperature and surface gravity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1031 ~ 1044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab1770	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 Fukue Kei, Matsunaga Noriyuki, Kondo Sohei, Taniguchi Daisuke, Ikeda Yuji, Kobayashi Naoto, Sameshima Hiroaki, Hamano Satoshi, Arai Akira, Kawakita Hideyo, Yasui Chikako, Mizumoto Misaki, Otsubo Shogo, Takenaka Keiichi, Yoshikawa Tomohiro, Tsujimoto Takuji	4. 巻 913
2. 論文標題 Absorption Lines in the 0.91-1.33 $\mu\text{m}$ Spectra of Red Giants for Measuring Abundances of Mg, Si, Ca, Ti, Cr, and Ni	5. 発行年 2021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/abf0b1	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 Taniguchi Daisuke, Matsunaga Noriyuki, Jian Mingjie, Kobayashi Naoto, Fukue Kei, Hamano Satoshi, Ikeda Yuji, Kawakita Hideyo, Kondo Sohei, Otsubo Shogo, Sameshima Hiroaki, Takenaka Keiichi, Yasui Chikako	4. 巻 502
2. 論文標題 Effective temperatures of red supergiants estimated from line-depth ratios of iron lines in the YJ bands, 0.97-1.32 $\mu\text{m}$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4210 ~ 4226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa3855	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 Jian Mingjie, Taniguchi Daisuke, Matsunaga Noriyuki, Kobayashi Naoto, Ikeda Yuji, Yasui Chikako, Kondo Sohei, Sameshima Hiroaki, Hamano Satoshi, Fukue Kei, Arai Akira, Otsubo Shogo, Kawakita Hideyo	4. 巻 494
2. 論文標題 The effect of surface gravity on line-depth ratios in the wavelength range 0.97-1.32 $\mu\text{m}$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1724 ~ 1734
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa834	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 Baba Junichi, Kawata Daisuke, Schonrich Ralph	4. 巻 513
2. 論文標題 Age distribution of stars in boxy/peanut/X-shaped bulges formed without bar buckling	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 2850 ~ 2861
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac598	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 Koshimoto Naoki, Baba Junichi, Bennett David P.	4. 巻 917
2. 論文標題 A Parametric Galactic Model toward the Galactic Bulge Based on Gaia and Microlensing Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 78 ~ 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac07a8	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 Tsujiimoto Takuji, Baba Junichi	4. 巻 904
2. 論文標題 Remarkable Migration of the Solar System from the Innermost Galactic Disk; a Wander, a Wobble, and a Climate Catastrophe on the Earth	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 137 ~ 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abc00a	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10件(うち招待講演 2件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Noriyuki Matsunaga
2. 発表標題 The near-infrared spectrograph, WINERED, starting observations at Las Campanas Observatory
3. 学会等名 Chile-Japan Academic Forum 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Noriyuki Matsunaga
2. 発表標題 Pulsating stars in the Milky Way: IRSF surveys and more
3. 学会等名 The Workshop on Infrared Astronomy with the Infrared Survey Facility (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Noriyuki Matsunaga
2. 発表標題 Setting the stages of NIR spectroscopy for a bird's-eye view of the Milky Way disk
3. 学会等名 Linking the Galactic and Extragalactic (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松永典之
2. 発表標題 セファイド変光星を用いるリン元素の進化の観測的研究に向けて
3. 学会等名 天の川銀河研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松永典之
2. 発表標題 セファイド変光星の近赤外線校分散分光観測によるリン元素組成の研究
3. 学会等名 連星系・変光星研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Noriyuki Matsunaga
2. 発表標題 Near-IR windows of precise and detailed chemical measurements
3. 学会等名 Subaru Telescope 20th Anniversary Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Noriyuki Matsunaga
2. 発表標題 ELTs for complex stellar populations around the Galactic Center
3. 学会等名 IAU Symposium 347 "EARly Science with ELTs (EASE)" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noriyuki Matsunaga
2. 発表標題 Cepheids as tracers of the Milky Way in the era of Gaia
3. 学会等名 The life and times of the Milky Way (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noriyuki Matsunaga
2. 発表標題 Interstellar extinction toward the Galactic bulge
3. 学会等名 The Galactic Bulge at the crossroads (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松永典之
2. 発表標題 近赤外線帯に発見した中性子捕獲元素の吸収線とその応用の見込み
3. 学会等名 天の川銀河研究会2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>宇宙の錬金術を観察するためのカギを赤外線域で発見  <a href="https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/info/6668/">https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/info/6668/</a>  <a href="https://www.nao.ac.jp/news/science/2020/20200109-jasmine.html">https://www.nao.ac.jp/news/science/2020/20200109-jasmine.html</a>          太った星の体温測定  <a href="https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2021/7248/">https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2021/7248/</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
研究分担者	辻本 拓司  (Tsuji moto Takuji)  (10270456)	国立天文台・JASMINEプロジェクト・助教    (62616)	

## 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
研究分担者	小林 尚人 (Naoto Kobayashi) (50280566)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授  (12601)	
研究分担者	河北 秀世 (Hideyo Kawakita) (70356129)	京都産業大学・理学部・教授  (34304)	
研究分担者	馬場 淳一 (Junichi Baba) (90569914)	国立天文台・JASMINEプロジェクト・特任助教  (62616)	

	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	猿楽 祐樹 (Yuki Sarugaku) (10512147)	京都産業大学・神山天文台・研究員  (34304)	
研究協力者	大坪 翔悟 (Otsubo Shogo) (70913333)	京都産業大学・神山天文台・研究員  (34304)	
研究協力者	竹内 智美 (Takeuchi Tomomi)  (34304)	京都産業大学・神山天文台・研究員  (34304)	
研究協力者	谷口 大輔 (Taniguchi Daisuke) (60981305)	国立天文台・ハワイ観測所・特別客員研究員  (62616)	



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	舩越 菜月  (Funakoshi Natsuki)  (12601)	東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・修士課程学生   (12601)	
研究協力者	近藤 荘平  (Kondo Sohei)  (30583413)	東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・技術職員   (12601)	
研究協力者	福江 慧  (Fukue Kei)  (20785753)	滋賀医科大学・医学部・特任助教   (14202)	
研究協力者	濱野 哲史  (Hamano Satoshi)  (70756270)	国立天文台・ハワイ観測所・特任研究員   (62616)	

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0件

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		
イタリア	ローマ大学トルベルガー塔校	パドヴァ天文台	
米国	カーネギー天文台		
英国	ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン		
南アフリカ	南アフリカ天文台		