

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05390

研究課題名(和文) 孤立した前主系列星の観測

研究課題名(英文) Observational study of isolated pre-main sequence stars

研究代表者

伊藤 洋一 (Itoh, Yoichi)

兵庫県立大学・自然・環境科学研究所・教授

研究者番号：70332757

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)：カシオペア座とこぎつね座の銀河面に沿った48平方度で、不規則に変光する天体を探查した。探查には東京大学木曾観測所のシュミット望遠鏡と兵庫県立大学西はりま天文台の「なゆた望遠鏡」を用いた。その結果、15天体から水素の輝線を検出し、前主系列星であることを確認した。これらの天体は太陽の5倍から18倍の質量を持ち、誕生から1万年から20万年を経過した若い天体であることが分かった。このうち1天体では、前主系列星と一致する固有運動を持ち赤外超過を示す天体は周囲に見つからなかった。すなわち、この前主系列星は孤立して形成された可能性が高いと考えらる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽のような恒星の大半は集団で形成されると考えられてきた。確かに、今までの観測から、星形成領域では恒星が集団で形成されていることが明らかとなっている。一方で、孤立して誕生するような恒星はそもそも探查されたことがなく、そのような天体が存在するのかどうか、調べられてこなかった。本研究は、孤立して誕生したと思われる天体を検出したことが非常に特徴的なことである。

研究成果の概要(英文)：We searched irregular variables in 48 square degree along the Milky Way in the Cassiopeia and Vulpecula constellations. The Schmidt telescope at Kiso Observatory of the University of Tokyo and Nayuta Telescope at Nishi-Harima Astronomical Observatory of University of Hyogo were used. We detected hydrogen Balmer emission lines toward 15 objects. Those are considered to be pre-main sequence stars. Their masses are between 5 and 18 Solar mass and their ages are between 0.1 and 2 Myrs. Around one pre-main sequence star, there is no object whose proper motion is similar to that of the pre-main sequence star and whose color shows infrared excess. Thus, this pre-main sequence star is considered to be formed in isolation.

研究分野：天文学

キーワード：星惑星形成 光学赤外線天文学

1. 研究開始当初の背景

太陽程度の質量を持つ前主系列星は、以下の全てもしくはいくつかの観測的特徴を示す。

1. **赤外超過**：中心星の放射を原始惑星系円盤が再放射するので、古典的 T タウリ型星の一部は顕著な赤外超過を示す。
2. **H 輝線**：原始惑星系円盤から中心星への質量降着では、重力エネルギーの開放に伴って H 線(水素のバルマー 線)などが輝線として現れる。古典的 T タウリ型星や弱輝線 T タウリ型星は H 輝線を持つ。
3. **変光**：光球の自転に伴う黒点やホットスポットの移動や、突発的な質量降着、フレア現象によって、周期的もしくは不規則に変光する。

赤外超過や H 輝線による前主系列星の探査は、低質量星形成領域から大質量星形成領域までの様々な領域で行われてきた。一方、そもそも「T タウリ型星」という種族は変光によって発見されたものの、変光を基にした前主系列星の探査はほとんど行われてこなかった。これは、大フォーマットの CCD が実用化されていない時代では、繰り返しの観測は負担が大きかったことが理由である。

近年になって、一平方度を超す大きな視野を持つ観測装置が増えてきた。東京大学木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡の広視野 CCD カメラ KWFC は、視野の一辺が 2.2 度もあり広い領域をサーベイすることに適する。東京大学の松永助教らは、KWFC カメラを用いて銀河面の 300 平方度を繰り返し観測し、多期間の大量のデータから変光星や新星、矮新星などを見つけた。

我々はこのデータの中から不規則変光星に着目した。まず、不規則変光星の近赤外線等級を調べ、赤外超過のある天体を同定した。そして、西はりま天文台の「なゆた望遠鏡」でも観測可能な程度の明るさを持つ 6 天体を「いっかくじゅう座」の天域から選び出した。可視光中低分散分光器 MALLS を用い、波長 4950 から 9500 の範囲を波長分解能約 600 で観測した結果、6 天体すべてから H 輝線を検出した。輝線の等価幅は 8.6 から 101 であり、ほとんどは古典的 T タウリ型星であると考えられる。このうち 4 天体は、既知の星形成領域や、散開星団、前主系列星の近くにあり、これらの恒星とともに集団として形成されたものと考えられる。一方で 2 天体は周囲に知られている星形成領域や散開星団なく、既知の前主系列星からも離れて存在する。従来可視光近赤外線での探査は、分子雲またはその周囲しか探査していなかった。従って、星形成領域から遠く離れたところにある前主系列星は、その存在を知られていなかった。二天体の J バンド等級は 12 等級と 14 等級である。いっかくじゅう座にあるいくつかの星形成領域の距離(2kpc)を当てはめると、年齢が 100 万年の場合、孤立した前主系列星の質量は太陽質量程度である。このような天体は何なのだろうか？

2. 研究の目的

そこで我々は、孤立した前主系列星の正体について以下の 3 つの可能性を提案した。一つ目は、発見した前主系列星候補天体は遠い星形成領域で生まれ、弾き飛ばされた天体であるという仮説である。地球から前主系列星までの距離が周囲の星形成領域のそれと同じと仮定した場合、前主系列星と星形成領域は約 3 pc 離れている。前主系列星が星形成領域で生まれ、古典的 T タウリ型星の年齢である 100 万年で現在の位置まで移動した場合、10km/s 程度の固有運動が必要になる。これは前主系列星の平均的な固有運動の 10 倍もの大きな量

である。

二つ目は、発見した前主系列星候補天体は、非常に軽い天体のみが生まれている星団のうち最も重い天体であるという考え方である。発見した前主系列星の周りに太陽質量以下の前主系列星が集団で生まれている可能性がある。この場合、太陽質量以下の天体は暗いため今までの観測では検出できていないと考えることができる。上記のいずれでもない場合、発見した前主系列星は孤立して形成された天体と考えることができる。この3つの仮説を検証することを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

上記の仮説を検証するために、銀河面サーベイから選び出した前主系列星候補天体を「なゆた望遠鏡」の可視分光器で中分散分光観測した。また、ヨーロッパの位置天文衛星 GAIA のデータから、前主系列星候補天体とその周囲の天体の年周視差と固有運動を調べた。

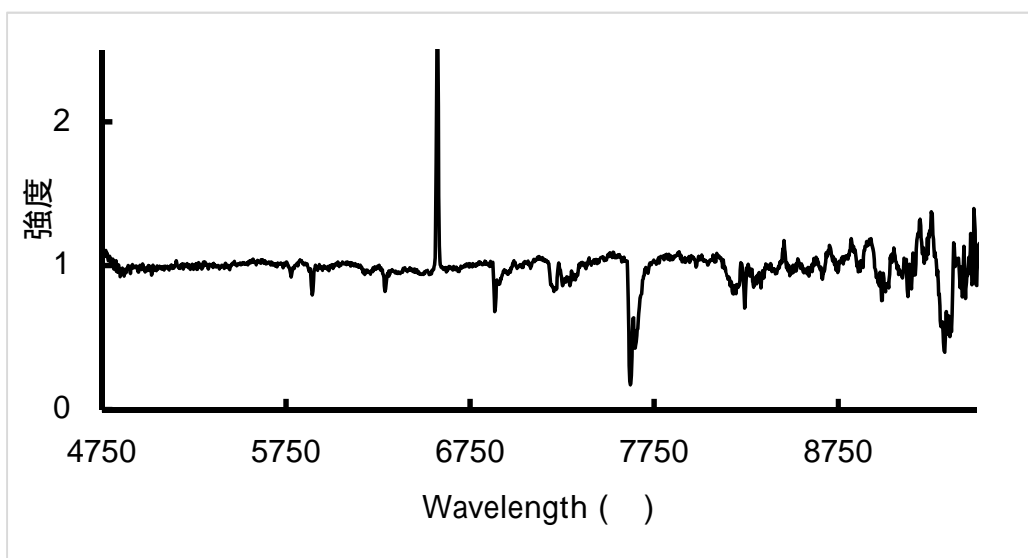


図1: 「なゆた望遠鏡」の可視分光器で取得した前主系列星の可視光スペクトル。横軸が波長で縦軸が光の強さ。6563 に水素の輝線(H 線)があることから、この天体が前主系列星であることがわかる。5893 にあるナトリウムの吸収線は天体の有効温度の良い指標である。

4. 研究成果

カシオペア座とこぎつね座の銀河面に沿った 48 平方度で、不規則に変光する天体を探索した。探索には東京大学木曾観測所のシュミット望遠鏡に取り付けられた CCD カメラ KWFC を用いた銀河面サーベイ観測(KISOGP)のデータを使用した。次に、不規則に変光する天体の中から前主系列星として知られていない 53 天体を前主系列星の候補天体とし、兵庫県立大学西はりま天文台の「なゆた望遠鏡」と可視分光器 MALLS を用いて分光観測した。積分時間は 600 秒から 900 秒で、波長分解能は約 600 である。その結果、15 天体から H 線の輝線を検出した。従って、これらは前主系列星であると考えられる。H 輝線の等価幅は 1.8 から 40 まで多岐に渡る。ナトリウムの吸収線の強度から、これらの天体の有効温度は 4600 度から 5800 度であることがわかった。HR 図上で進化トラックと比較することにより、これらの天体は太陽の 5 倍から 18 倍の質量を持ち、誕生から 1 万年から 20 万年を経過した若い天体であることがわかった。このうち一天体では、前主系列星と一致する固有運動を持ち赤外超過を示す天体は周囲に見つからなかった。すなわち、この前主系列星は星団として誕生した可能性が低く、孤立して形成したと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Akimoto Hinako, Itoh Yoichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Optical Spectroscopic Monitoring Observations of a Young Binary Z CMa	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 406 ~ 421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/ijaa.2021.113019	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 -
1. 著者名 Takahashi J., Itoh Y., Matsuo T., Oasa Y., Bach Y. P., Ishiguro M.	4. 巻 653
2. 論文標題 Polarimetric signature of the oceans as detected by near-infrared Earthshine observations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A99 ~ A99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202039331	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 Teng Huan-Yu, Sato Bun'ei, Takarada Takuya, Omiya Masashi, Harakawa Hiroki, Izumiura Hideyuki, Kambe Eiji, Takeda Yoichi, Yoshida Michitoshi, Itoh Yoichi, Ando Hiroyasu, Kokubo Eiichiro	4. 巻 74
2. 論文標題 Regular radial velocity variations in nine G- and K-type giant stars: Eight planets and one planet candidate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 92 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab112	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 Kato Noriyuki, Itoh Yoichi, Sato Bun'ei	4. 巻 73
2. 論文標題 Searching for periodic variations in radial velocities after the removal of orbital motions of spectroscopic binaries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 78 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa107	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 Takagi Yuhei, Honda Satoshi, Arai Akira, Takahashi Jun, Oasa Yumiko, Itoh Yoichi	4. 巻 904
2. 論文標題 Revealing the Spectroscopic Variations of FU Orionis Object V960 Mon with High-resolution Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 53 ~ 53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abbe0	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 Yamashita Mai, Itoh Yoichi, Takagi Yuhei	4. 巻 72
2. 論文標題 Measurements of the Ca II infrared triplet emission lines of pre-main-sequence stars	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa073	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 Kosaka N., Itoh Yoichi, Saito T., Tozuka M., Endo T., Ando T.	4. 巻 33
2. 論文標題 Imaging Polarimetry of Geostationary Satellite Express-AM5	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Odessa Astronomical Publications	6. 最初と最後の頁 115 ~ 118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18524/1810-4215.2020.33.207036	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 -

1. 著者名 Tabata Haruka, Itoh Yoichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Near-Infrared Transit Photometry of Extra-Solar Planet HAT-P-54b	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 89 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/ijaa.2020.102007	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 -

1. 著者名 Hosoya Kensuke, Itoh Yoichi, Oasa Yumiko, Gupta Ranjan, Sen Asoke Kumar	4. 巻 9
2. 論文標題 Spectroscopic Survey of H Emission Line Stars Associated with Bright Rimmed Clouds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 154 ~ 171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/ijaa.2019.92012	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 Akimoto Hinako, Itoh Yoichi	4. 巻 9
2. 論文標題 Optical Spectroscopic Monitoring Observations of a T Tauri Star V409 Tau	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 321 ~ 334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/ijaa.2019.93023	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 -

1. 著者名 Takahashi Jun, Itoh Yoichi, Watanabe Makoto, Akitaya Hiroshi, Takaki Katsutoshi, Kawabata Koji S, Itoh Ryosuke, Oasa Yumiko	4. 巻 71
2. 論文標題 Comparison of polarization at two lunar eclipse events	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 id. 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz017	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 -

1. 著者名 Takarada Takuya, Sato Bun'ei, Omiya Masashi, Harakawa Hiroki, Nagasawa Makiko, Izumiura Hideyuki, Kambe Eiji, Takeda Yoichi, Yoshida Michitoshi, Itoh Yoichi, Ando Hiroyasu, Kokubo Eiichiro, Ida Shigeru	4. 巻 70
2. 論文標題 Planets around the evolved stars 24 Bootis and Libra: A 30 d-period planet and a double giant-planet system in possible 7:3 MMR	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 id. 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy052	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 -

1. 著者名 Katoh Noriyuki, Itoh Yoichi, Sato Bun'ei	4. 巻 70
2. 論文標題 Search for companions in visual binary systems using precise radial-velocity measurements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 id. 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy054	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 Itoh Yoichi, Oasa Yumiko	4. 巻 9
2. 論文標題 <i>Spitzer</i>; IRAC Colors of Nebulae Associated with Star-Forming Regions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 39 ~ 50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/ijaa.2019.91004	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 -

1. 著者名 Takahashi Jun, Itoh Yoichi, Watanabe Makoto, Akitaya Hiroshi, Takaki Katsutoshi, Kawabata Koji S, Itoh Ryosuke, Oasa Yumiko	4. 巻 71
2. 論文標題 Comparison of polarization at two lunar eclipse events	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 id. 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz017	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 Takagi, Y. et al.	4. 巻 155
2. 論文標題 The Spectroscopic Variations of the FU Orionis Object V960 Mon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 id. 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aaa545	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4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 八木恵、伊藤洋一
2. 発表標題 不規則に変光するYSO候補天体の分光観測
3. 学会等名 日本天文学会2022年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八木恵
2. 発表標題 不規則に変光するYSO候補天体の分光観測
3. 学会等名 なゆた望遠鏡ユーザーズミーティング
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 八木恵、伊藤洋一
2. 発表標題 不規則に変光するYSO候補天体の分光観測
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤洋一
2. 発表標題 西はりま天文台「なゆた望遠鏡」の運用
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	大朝 由美子 (Oasa Yumiko) (10397820)	埼玉大学・教育学部・准教授 (12401)	

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
---------	---------