

氏 名 瀧田 怜

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1415 号

学位授与の日付 平成 23 年 3 月 24 日

学位授与の要件 物理科学研究科 宇宙科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Isolated T Tauri Stars Toward the Taurus-Auriga Star  
Forming Region

論文審査委員 主 査 教授 松原 英雄  
准教授 片坐 宏一  
准教授 山村 一誠  
准教授 田村 元秀  
准教授 北村 良実 宇宙航空研究開発機構

It is fundamental to investigate the origin of low-mass stars and planets in order to answer how the Sun and the Earth were formed. Many surveys of young stellar objects (YSOs) have been performed toward molecular clouds in wide wavelengths range from optical to radio wavelengths. On the other hand, substantial amount of weak-line T Tauri stars (WTTSs) have been found far away from active molecular clouds by the X-ray observations. This indicates that many isolated T Tauri stars (TTSs) are thought to be still unexplored. Therefore, unbiased survey of YSOs are required in order to understand star formation process. For this purpose, we have carried out a survey of TTSs with the all-sky survey data by the Japanese infrared astronomical satellite, AKARI.

The first step of our observational study is the survey of isolated TTSs at mid-infrared (MIR) wavelengths with the AKARI All-Sky Survey. Since TTSs exhibit infrared excess emission from circumstellar disks, we first studied previously known TTSs to perceive what colours do TTSs show. Among 516 previously known TTSs laying in a 1800-square-degree region around the Taurus star forming region, we detected 132 TTSs in the MIR. To construct more complete data sets, we also used other all-sky surveys such as 2MASS (the Two-Micron All-Sky Survey; near-infrared (NIR) wavelengths) and UCAC3 (the third US Naval Observatory (USNO) CCD Astrograph Catalogue; optical wavelengths). It is indispensable to distinguish TTSs from possible contamination of other types of objects such as Asymptotic Giant Branch (AGB) stars (carbon and OH/IR stars), post-AGB stars, planetary nebulae (PNe), as well as galaxies, that also show infrared excess emission. Using the MIR colour, we discarded most of AGB stars from the sample. We also separated most of galaxies from TTSs using the colour-magnitude diagram of optical- NIR wavelengths data. Finally, we extracted TTS candidate sources with IR excess emission, avoiding contamination from normal (main-sequence) stars, which do not present excess emission. About 40% and 5% of AKARI detected known Classical T Tauri stars (CTTSs) and Weak-line T Tauri stars (WTTSs) satisfy these criteria, respectively. On the basis of our criteria, we selected 176 out of 14 725 AKARI sources toward the Taurus region. There are 150 previously known sources, and 117 of them (about 80%) are YSOs including other star forming regions near the Taurus. The remaining 26 sources are newly found TTS candidates. We performed follow-up optical spectroscopic observations for these sources to determine their youth from LiI absorption line. We confirmed that 23 out of 27 (including 1 possible binary) sources have sufficient Li absorption to be classified as TTSs. This validates the usefulness of our criteria. From the line width of H $\alpha$  emission, we classified 23 new TTSs into 15 CTTSs and 8 WTTSs. We obtained 9 new isolated CTTSs and 6 new isolated WTTSs. There are only 8 isolated CTTSs previously, and we increased the number of them to

17.

We found that the origin of most of isolated TTSs is most probably small clouds around the Taurus molecular cloud, from their proper motions determined by UCAC3. For the 23 new TTSs, at least 5 sources seem not to be related to known star forming regions, considering their spatial distributions and directions of proper motions. Furthermore, the dispersion of known/new TTSs' proper motions is  $\sim 15 \text{ km s}^{-1}$ . This value far exceeds the typical value of  $\sim 1 \text{ km s}^{-1}$ , for the case that sources were originated from a cloud with size of  $\sim 1 \text{ pc}$ . This fact suggests that not all TTSs were born in the molecular cloud cores which were gravitationally bound to the Taurus molecular cloud. If TTSs were formed in not only the Taurus molecular cloud but also small clouds which do not relate to the Taurus, the large velocity dispersion is thought to come from the inter-cloud velocity dispersion. We investigated the Hi clouds in the region, and found that the dispersion in radial velocity of the clouds is  $\sim 12 \text{ km s}^{-1}$ , comparable to the dispersion of the TTS proper motion. Considering that the molecular clouds are formed from Hi clouds, inter-cloud velocity dispersion of molecular clouds is expected to be similar, and stars originated from these clouds are also expected to show large velocity dispersion.

We also verify whether there are any differences between TTSs associated to active clouds and those isolated from clouds. The CTTS/WTTS ratios of AKARI detected TTSs are 81/31 and 12/16 for inside and outside the clouds, respectively. If we consider the typical age of a CTTS ( $\sim 1 \text{ Myr}$ ) and WTTS ( $\sim 10 \text{ Myr}$ ), TTSs associated to the clouds seem to be relatively young. We determined disk masses using the AKARI far-infrared data, and found no remarkable difference. We further classified AKARI detected TTSs with their slopes of the SED in the NIR- MIR wavelengths into three kinds of sources: those with envelopes, with disks, and without surrounding materials. For TTSs in our sample and associated to clouds, about a quarter of them have envelopes and a few % of them are naked. On the other hand, for isolated TTSs, a few % of them have envelopes and about one third of them are naked. This also supports the idea that TTSs associated to the clouds are relatively younger than those isolated from the clouds.

We conclude that most of isolated TTSs toward the Taurus were born in isolated small clouds. Considering the fraction of known TTSs, about 30% of TTSs toward the Taurus were born as isolated. This implies that the star formation in small isolated clouds occupies significant fraction in the low-mass star formation activity. We find that circumstellar disks of isolated TTSs are more evolved than those of associated TTSs.

## 博士論文の審査結果の要旨

我々の住む世界である、地球と太陽を含む太陽系はどのように誕生したのか？この人類の基本的な問いに答えるには、太陽系近傍の星間雲で誕生しつつある、あるいは誕生したばかりの太陽程度の低質量星について、様々な物理量を統計的に研究することが極めて重要である。星は塵（固体微粒子）によって隠された分子雲の中で誕生するため、可視光での研究は困難である。さらに若い星は、それに付随する原始惑星系円盤からの赤外線放射によって特徴づけられる。従って中間・遠赤外線によるサーベイ観測が、誕生したばかりの低質量星の探査および統計的研究に極めて有効である。

出願者である瀧田怜氏は、2006年に打ち上げられ、その後1年半にわたって全天をサーベイした赤外線天文衛星「あかり」のデータを用いて、おうし・ぎょしゃ座(Taurus-Auriga)分子雲の広大な領域に存在する、低質量星の重要な進化段階であるTタウリ型星の抽出とその統計的研究を行った。本論文はサマリと補足を除いて4章から構成されている。第1章の序論、第2章の観測データに引き続く第3章「結果」において、「あかり」全天サーベイ点源カタログから、Tタウリ型星を抽出する方法を確立した。そして、本分子雲方向の一万五千個にも及ぶ「あかり」カタログ天体から176個のTタウリ型星を抽出した。さらに、新たに発見された26個のTタウリ型星候補天体に対して、地上可視分光観測を行い、その85%がTタウリ型星であることをH $\alpha$ 線とLi線を用いて確認し、適用した抽出手法の信頼性を実証した。この抽出方法は可視光～中間赤外線での二色図・色等級図を利用するものであり、今後「あかり」全天サーベイデータを用いて多数の太陽近傍分子雲に適用することが可能であり、その学問的価値は高く評価できる。

次に第4章「議論」において、従来の観測では抽出が困難であった孤立Tタウリ型星の統計的研究を行った。固有運動の知られている約120個の既知のTタウリ型星を調べたところ、その速度分散は既存の一酸化炭素分子輝線観測で得られた分子雲の速度分散よりも有意に大きかった。一方、中性水素雲の空間分布・速度分散との比較から、Tタウリ型星は孤立分子雲起源のものが約三割を占め、それらは中性水素雲から局所的に生成した孤立分子雲起源である可能性を明らかにした。さらに、原始惑星系円盤の質量の指標となる遠赤外線データ、及び近・中間赤外スペクトルエネルギー分布による進化段階の分類を活用し、孤立Tタウリ型星と、分子雲に付随したTタウリ型星の星周円盤の進化を考察した。その結果、孤立Tタウリ型星の星周円盤はより進んだ進化段階にあるものの、星周円盤の性質には有意に差がなく、両者の円盤の進化の流れを統一的に解釈できる可能性を示した。このように孤立Tタウリ型星における星周円盤の進化に着目した研究は独創的で、高く評価されるべきものである。

なお出願者は、学位申請論文に使用した「あかり」中間赤外線カタログの作成チームの中で重要な役割を果たし、論文執筆だけでなくカタログデータを利用した考察・図表の作成、及び議論の全てを中心となって行った。主論文の前半部分（第3章）は、既に査読付き学術雑誌に発表済みである。これ以外に、査読付き論文を、主著1編、共著2編出版済みである。さらに、「あかり」全天サーベイ以外にも、指向観測モード（スロースキャン観

測)でのデータ処理ツールの作成においても大きな貢献を行った。

以上により、本研究は銀河系内で誕生しつつある若い星の起源や原始惑星系円盤の研究において極めて重要な貢献をなしたものと判断し、申請論文は博士学位論文としてふさわしい水準にあると判定した。これにより審査委員会は、本論文が博士論文として十分な価値を有し、合格であると判定した。