

ALMA(アルマ)による星間物質観測 —ミリ波サブミリ波帯における高感度・高解像度観測がもたらす 新展開—

茨城大学 理学部 百瀬宗武

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) は、12m アンテナ 64 台で構成され、ミリ波サブミリ波帯における究極の地上装置といえる電波望遠鏡である。ALMA プロジェクトは今年 2 月に欧州・北米による合同プロジェクトとして正式にスタートし、日本でも来年度からの公式参加を目指した活動が続けられている。ALMA は (30 – 950)GHz という幅広い周波数領域で高感度・高解像度・高いイメージング能力を実現する見込みで、あらゆる天体を観測する上で強力な手段になると期待されている。本講演では特に星間物質の研究に焦点を当て、ALMA 観測がどのような新展開をもたらすかを、これまでの研究を振り返りつつ議論する。

ミリ波・サブミリ波帯はガス種のスペクトル線が数多く観測され、星間物質の密度が高い領域を詳しく探るための重要な手段である。特に興味深い対象としては、星形成領域や若い星に付随する惑星系の母胎と見られる円盤 (原始惑星系円盤)、主系列を離れた年老いた星 (晩期型星、惑星状星雲) が挙げられる。実際、いくつかの代表的天体について行われてきたラインサーベイでは、星間物質の化学反応や環境が分子存在度に対して及ぼす影響についての情報が得られてきた。例えば、大質量星形成領域では若い星に付随する高温領域 (Hot Cores) でダスト表面反応と密接に関係すると見られる複雑な有機分子が選択的に検出されたり、晩期型星の星周エンベロープでは中心星からの距離の関数として化学組成に系統的な変化が見られるといった点などである。しかし、既存装置では高感度と高解像度の両立が困難だったため、小スケールにおける温度・密度などの物理状態と星間物質の化学組成との関連は、地球から最も近傍にある限られた天体でしか明らかにされていない。特に原始惑星系円盤の場合は空間的広がり非常に限られているため、現状はその外縁部からの放射のみが捉えられているに過ぎない。

ALMA では既存のミリ波干渉計の 100 倍近い感度、空間分解能を達成できる他、サブミリ波帯にあるライン放射も検出できる。これらの特徴は化学反応が活発な高温・高密度領域を詳しく調べるのに本質的な役割を果たすであろう。例えば近傍の原始惑星系円盤のガス観測では数 AU (注: 1AU は太陽と地球の平均距離) の解像度が実現可能であり、惑星形成過程の包括的シナリオを構築するための有力な制限を与えると期待される。星形成領域や晩期型星などでも、これまで詳しい観測が不可能であった様々な進化段階にある遠方天体を多数対象にできるようになり、星間物質の進化についてより深い理解を得ることができると考えられる。一方、長時間積分によって徹底的に感度を追求すれば、これまで到底検出することができなかった希少な分子種も新たに見いだされるだろう。その中には、何らかの生命関連物質と関連をもつものも含まれるかもしれない。

Observations of the Interstellar Medium with the ALMA

—Breakthroughs by sensitive high-resolution observations at millimeter & sub-millimeter wavelengths —

Munetake MOMOSE (Institute of Astrophysics & Planetary Sciences, Ibaraki Univ.)

Atacama Large Millimeter/Sub-millimeter Array (ALMA), consisting of 64 12-meter antennas, will be an ultimate ground-based telescope at millimeter and sub-millimeter wavelengths. The ALMA project officially started in last February as a joint project between Europe and North America, but astronomers in Japan are also continuing their activities to be an official member of the project in the next fiscal year. ALMA will provide unprecedented sensitivity, spatial resolution and imaging capability over the wide frequency range from 30 to 950 GHz and will be a premier tool to study various astronomical objects. In this talk I will focus on the study of the interstellar medium and discuss possible breakthroughs by the ALMA observations.

There are many spectral lines of gas species at millimeter and sub-millimeter wavelengths, and these are important probes to study the high-density interstellar medium. Especially intriguing objects are star-forming regions, disks around young stars that seem to be the precursors of planetary systems (protoplanetary disks), and aged stars which have already left the main-sequence (late-type stars and planetary nebulae). Informations on chemical reactions in the interstellar medium or environmental effects on molecular abundances have actually been obtained by previous line surveys toward several representative objects. In massive star forming regions, for example, emissions of complex organic molecules, which are mainly produced in reactions on grain surfaces, are enhanced in “hot cores” near young stars where the gas temperature is significantly high. Another example is radial variation of chemical composition found in a circumstellar envelope of late-type stars. It is difficult, however, to simultaneously achieve high sensitivity and high resolution with a present telescope, hence the relationship between the physical condition (e.g., temperature or density) and the chemical properties of the interstellar medium on small sizescales has only been revealed for nearby objects. The spacial extent of protoplanetary disks is so small that a present radio telescope is only sensitive to the emissions from their outer regions.

ALMA will have better sensitivity or spatial resolution than the current millimeter interferometers by two orders of magnitude; moreover, it will be able to detect line emissions at sub-millimeter wavelengths. These capabilities will be essential for studying regions of higher temperatures and densities, in which the chemical reactions are very active. For example, one can observe gas emissions from a nearby protoplanetary disk with a spatial resolution of a few AU (1AU is the average separation between Sun and Earth). Such observations will provide us strong constraints on a general theory of the formation of planetary systems. For star forming regions or late-type stars, ALMA will allow us to carry out detailed studies of fairly distant objects in various evolutionary stages, and therefore to obtain a deeper understanding of the evolution of the interstellar medium. A lot of rare species will also be discovered by deep integrations with the ALMA; some of them might be related to biomolecules or “building blocks” of life.