

## 銀河系に於ける星間ガスのイオン化状態の大域的構造と 星間ガスの循環過程の定量的研究

### Study of the Large-Scale Structure of Ionized Gas and the Star-Gas Cosmic Cycle in our Galaxy

吉井 讓 (Yoshii Yuzuru)

東京大学・大学院理学系研究科・教授



#### 研究の概要

銀河における物質循環の基本過程(星-星間ガス-星のサイクル)を明らかにすることは、銀河の起源を考える上で極めて重要である。しかし、銀河面における電離ガスの分布は、ダストによる吸収のために可視波長域の探査が届かず、未踏の領域として残されている。水素再電離輝線 Pa $\alpha$  (1.87 ミクロン)をプローブとすることができるならば、銀河面の電離ガスをマッピングすることが可能となる。Pa $\alpha$ の観測が可能になる標高 5600mのサイトに口径1mの赤外線望遠鏡を設置し、天の川銀河スケールでのサーベイ観測を行う。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・光赤外線天文学・4201

キーワード：銀河・物質循環・赤外線サーベイ・Pa $\alpha$ 輝線

#### 1. 研究開始当初の背景・動機

銀河における物質循環(星-星間ガス-星のサイクル)を明らかにすることは「銀河の起源」の理解の上で最重要課題である。しかし星間ガス質量の大部分を担う「電離ガス」の銀河スケールでの空間分布、化学組成、および速度構造の情報が欠けていて、新たな観測が待たれる状況にある。

#### 2. 研究の目的

本研究では電離ガスの観測に最も適した水素の Pa $\alpha$ 輝線をプローブとして、サーベイに適した1mの望遠鏡をチリ共和国アタカマ高原のチャントール山頂(標高 5600m)に設置し、独自の赤外線カメラをとりつけ銀河面のサーベイを行う。こうして明らかになった銀河内の電離ガスの大域的構造に基づいて、銀河における星とガスの循環過程を定量的にモデル化する。

#### 3. 研究の方法

Pa $\alpha$ 輝線(波長 1.87 ミクロン)は強い強度の水素の再結合線であり、従来の紫外・可視波長域に比べダストに埋もれた銀河面中の電離ガスの分布を銀河スケールで正確に描き出せる。ただし大気窓の端にあり、観測するには超 5000m 級の高地に望遠鏡を設置し観測を実行する必要がある。本研究の目的を実現するための構成要素は次の通りである。(1)1m望遠鏡製作、(2)赤外線カメラ製作、(3)望遠鏡設置場所準備、(4)観測計画の策定、(5)観測の実施、(6)観測に対する科学的考察。これらを着実に実施していく。

#### 4. これまでの成果

**望遠鏡** 本研究で用いる望遠鏡は口径 1m(F比 2.5)の経緯台、Ritchey-Chretien 光学系、合成 F比 12、視野直径 10 分角である。平成 19 年度までに高地環境を考慮した仕様の修正を行い、耐環境性能・安定性・保守性を従来の望遠鏡より格段に高く持たせることにした。特に大気圧が低い高地に適応するため、ハードディスクを用いないこととし、また強風対策や低温環境に耐えるモータを検査選定した。学術的にインパクト：高地・低温における観測を目指す赤外線天文学の発展に実証的な基礎を与えた。

**観測装置(赤外線カメラ)** 高地環境での使用を考慮し、保守が容易なモジュール性の高い単純な構造のカメラを設計した。具体的には色収差のないオフナー光学系を採用し、シーイングサイズ(0.3 秒角以下)で歪みのない最終像面を 5 分角にわたって確保した。また民生用パソコンとデータ I/O ボードを用いることで、既存のものに比べ 1/10 以上安価だが同等の信頼性を持つ赤外線検出器の読み出しシステムを開発した。過酷な環境下で不具合が生じた場合にはシステムごと交換できる、安価なシステムを構築することは非常に重要である。カメラの構造を単純かつコンパクトにまとめるため、デューワー内部にフィルターホイール駆動用のモーターを組み込んだ。同モーターは液体窒素温度で駆動できる特殊なものである。

平成 19 年度には広島大学東広島天文台の口径 1.5m かなた望遠鏡に搭載し、光学性能が仕様を満たしていることを確認した。学術的なインパクト：本研究で開発した安価な検出器読み出しシステムにより、赤外線検出器の大フォーマット化（画素数の増加）が促進され、単位時間あたりに取得される情報量が飛躍的に増大した。

**サイトの環境調査と整備** 平成 18 年度にサイト（チャナントール山頂：標高 5600m）までの調査路が開通し、大気環境監視装置（気象モニター・雲モニター・シーイングモニター）を標高 5000m から移設した。平成 19 年度までに得られたサイト調査結果は以下の通り：風速は風の強い前半夜でも平均 15m/s 以下であり、望遠鏡構造を堅牢にしておけば全夜を通しての観測が可能。最低気温は年間を通じて -15°C であり、モータ・ベアリングなどを低温対応にすることで対応可能。晴天率は年間を通じて 80% 程度であり、可視シーイングも定常的に 0.6 秒角（ベストでは 0.4 秒角）。これらの結果から、サイトは可視・赤外線においては、すばる望遠鏡のあるマウナケア山頂よりも良好な観測サイトであることが明らかとなった。得られた大気環境データはただちに望遠鏡の仕様にフィードバックされ、望遠鏡の設置場所やドーム構造仕様の決定における基礎資料となった。また本研究を推進するにあたり望遠鏡の設置をチリ当局に申請し、平成 19 年度に承認された。現地山麓には基地となる施設を建設中である。学術的なインパクト：標高 5600m に独自のサイトを開拓し、赤外線天文学や高エネルギー宇宙線研究など高地で行われるべき理学研究を展開するための拠点を確保した。

**観測の立案と先立つ予備研究** 本観測（Pa $\alpha$  サーベイ）の実施に備え、銀河中心・銀河面・大小マゼラン銀河などの領域についてガスの速度を考慮した Pa $\alpha$  波長域の大気透過率を詳細に検討し、候補天域の策定を進めた。

また Pa $\alpha$  は電離ガスのトレーサーであるが、中性ガス・分子ガス・ダスト・高温ガスをふくめた物質循環の研究や、活動銀河核を含めた物質循環の解明、あるいは星生成領域での星形成率、ガスのダイナミクス、化学組成などの観測も重要である。これらについては既存望遠鏡を用いて X 線から電波までの多波長にわたる観測を順次進めてきており、また物質循環を組み込んだ銀河形成進化のモデルについても準解析的手法でその構築を進めた。

5. これまでの進捗状況と今後の計画

望遠鏡の製作は遅れを生じているが、これは高地仕様に適したものにすること、また高地での作業を極力減らすため、少しでも多くのことを国内で済ませておくためである。平成 20 年度中には望遠鏡にカメラをとりつけ、5600m での観測を開始できる見込みである。

6. これまでの発表論文等

（研究代表者は太字、研究分担者には下線）

平成 17 年度から本日まで、本研究構成員が発表した予備研究査読論文のうち代表的な 10 編を一覧する。

1. “The Infrared Cloud Monitor for the MAGNUM Robotic Telescope at Haleakala”, Suganuma, M., **Yoshii, Y.**, Minezaki, T., 他 6 名, ApJ, in press (2007)
2. “Observations of OI and CIII Emission Lines in Quasars: Implications for the Site of FeII Line Emission”, Matsuoka, Y. Kawara, K., 他 2 名, ApJ, in press (2007)
3. “A Complete Survey of the Central Molecular Zone in NH<sub>3</sub>”, Nagayama T., Handa T., 他 5 名, PASP, in press (2007)
4. “Fe II Emission in 14 Low-Redshift Quasars. I. Observations”, Tsuzuki, Y., Kawara, K., **Yoshii, Y.**, Tanabe, T., 他 3 名, ApJ, 650, 57-79 (2006)
5. “CO (3-2) and CO (2-1) Detections in a z = 1.3 Hyper-Luminous Starburst Galaxy”, Iono, D., Kohno, K., 他 7 名, PASJ, 58, 957-963 (2006)
6. “Near-Infrared Observations of NII in the Large Magellanic Cloud: Triggered Star Formation around the Periphery of LH 9”, Hatano, H., Tanabé, T., 他 11 名, AJ, 132, 2653-2664 (2006)
7. “Deep Near-Infrared Imaging of an Embedded Cluster in the Extreme Outer Galaxy: Census of Supernova-Triggered Star Formation”, Yasui, C., Kobayashi, N., 他 4 名, ApJ, 649, 753-758 (2006)
8. “Mid-Infrared High Spatial Resolution Observations of NGC 1569: Detection of Embedded Embryos of Star Formation”, Tokura, D., Miyata, T., 他 11 名, ApJ, 648, 355-365 (2006)
9. “Very Low Luminosity Young Cluster and the Luminosity and Mass Functions in S106”, Oasa, Y., Iwamuro, F., Motohara, K., 他 7 名, AJ, 131, 1608-1628 (2006)
10. “Numerical Galaxy Catalog. I. A Semianalytic Model of Galaxy Formation with N-Body Simulations”, Nagashima, M., **Yoshii, Y.** 他 3 名, ApJ, 634, 26-50 (2005)

ホームページ等

<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/>