

研究種目：基盤研究（S）
 研究期間：2005～2009
 課題番号：17104002
 研究課題名（和文） 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
 星一ガス循環過程の定量的研究
 研究課題名（英文） A quantitative study of ionized status and global distribution
 of inter-stellar gas and circulation of matter in the Galaxy
 研究代表者
 吉井 讓 (YOSHI I YUZURU)
 東京大学・大学院理学系研究科・教授
 研究者番号：00158388

研究成果の概要（和文）：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一ガス循環過程の定量的研究を行うため、チリ共和国アタカマ砂漠にあるチャナンートル山頂（標高5640m）に1m赤外線望遠鏡を建設した。赤外線カメラで水素のパッシェン α 線の観測等に成功、地上最高の赤外線観測サイトであることを示し、銀河面にそってのパッシェン α サーベイによる銀河系のイオン化ガスの分布の定量測定を開始した。

研究成果の概要（英文）：In order to study circulation of matter in the Galaxy by measuring physical status and global distribution of ionized gas, we have installed a 1-m infrared telescope at the summit of Mt.Chajnantor (elevation 5640m) in Atacama desert in republic of Chile. We successfully observed the hydrogen Paschen alpha line, which shows that the site is one of the best sites for infrared astronomy, We have started a wide-field survey of the galactic plane in Paschen alpha line to measure distribution of ionized gas quantitatively.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	19,900,000	5,970,000	25,870,000
2006年度	37,800,000	11,340,000	49,140,000
2007年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2008年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2009年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
総計	76,100,000	22,830,000	98,930,000

研究分野：銀河天文学

科研費の分科・細目：数物系科学・天文学

キーワード：星間ガス・銀河系・小望遠鏡・赤外線・水素輝線

1. 研究開始当初の背景

銀河における物質循環の基本過程（星一星間ガス一星のサイクル）を確実な観測情報にもとづいて明らかにすることは、銀河進化の道筋を解明することに等しく、いまだ確実な描像が得られていない「銀河の起源」を理解する上で最も

重要な課題と認識されている。この課題のためには、銀河における星と星間ガスの大域的な分布を100pc（パーセク）の分解能で知る必要があるが、「われわれの銀河系」がこのような詳細を知ることができる唯一の天体であり、物質循環の基本過程の研究のための第一の対象となる。銀

河系内の「星」については、過去の可視光による数多くの観測の蓄積から十分信頼に足るモデルが存在しているのに対して、「星間ガス」については、観測データの不足から、実際の銀河進化・起源の研究に応用できるようなレベルのモデルが未だ存在しない。これは、星間ガスの大部分を担うと考えられている「電離(イオン化)された星間ガス」について、銀河スケールでの空間分布、化学組成、および、速度構造の情報が大きく欠けていることによる。来るべき大望遠鏡による原始銀河探査の指針確立のためにも、物質循環の基本過程の描像を、星間ガスの確実な観測情報に基づいて構築することが、早急に求められていた。

電離された星間ガスの観測には、紫外および可視波長域にある水素の再結合輝線(ライマン α 輝線 1216 Å、バルマー α 輝線=H α 輝線 6563 Å)が歴史的に用いられてきたが、これらの輝線は銀河面に豊富に存在する星間塵による減光のために、遠くまで見通すことができないという困難があった。そのため、電離ガスの質量のほとんどを占める水素ガスの電離状態や正確な量に大きな不定性が生じ、それを基準として導出される化学組成についても明確な値を得ることができない結果となっていた。

このような紫外および可視波長域の水素輝線に加えて、近赤外波長域に存在するパッシェン α 輝線(1.87 ミクロン)が、銀河における「電離ガス」の強力なプローブとなる可能性が昔から指摘されてきた。パッシェン α は水素輝線の中ではH α について強い輝線であるが、赤外線波長域にあるため星間塵による吸収を受けにくく(H α の約 1/10)、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すことを可能とする。しかし、パッシェン α は地上からは大気中の主に水蒸気による吸収されてしまい、ほとんど観測することができなかった。

2. 研究の目的

本研究は、次世代の銀河進化モデル構築のために、まずわれわれの銀河系における星間ガスのイオン化状態の大域的構造を観測的に明らかにし、それに基づいて、銀河における星間ガス循環過程を定量的にモデル化していくことを目的とした。あわせて赤外線観測における世界最高のサイトを開発し、将来の大型赤外線望遠鏡計画のさきがけとなることも目的の一つであった。

3. 研究の方法

(1) 地上最高地点の望遠鏡

我々は、赤外線観測における困難を克服するために、大気の水蒸気吸収がほとんどないチリ・アンデスに位置するアタカマ高原のチャナントール山頂(高度 5640m)に専用望遠鏡を設置し、サーベイ観測を行うこととした。このサイトは、「すばる」望遠鏡が設置されているハワイ・マウナケ

ア山頂(高度 4200m)よりも高度が十分に高いため、マウナケアでは大気によって天体からの赤外線がほとんど吸収されてしまう波長域でも、十分に高い透過率を得ることができる。

(2) パッシェン α 線による銀河面サーベイ

本研究では、サーベイに適した小口径の望遠鏡をチャナントール山頂に設置し、赤外線カメラをとりつけ銀河面のパッシェン α サーベイを行い、銀河内の電離ガスの大域的構造を調べることを第一の科学的目的とした。

4. 研究成果

(1) 望遠鏡の建設・観測装置の開発

研究提案の時点では口径 80cm の望遠鏡を計画していたが、詳細検討の結果、空間分解能や集光力を考慮して、口径 1m の望遠鏡を用いることとした。一方で、近赤外線カメラの1画素は、空間分解能を重視し、0.3 秒角と高くした。このカメラ ANIR は一晩で約1平方度を観測できる能力を有する。

チャナントール山頂の利用許可の取得に時間を要したが、2008年に口径1mの望遠鏡(通称MiniTA0望遠鏡 図1)の建設を開始、2009年3月に無事完成した。観測装置については近赤外線カメラ ANIR を完成させ、広島大学東広島天文台のかなた望遠鏡による試験観測の後、チリへ輸送、2009年6月にMiniTA0望遠鏡にとりつけ(図2)、パッシェン α 輝線での観測に成功した。また中間赤外線カメラ MAX38 についてもかなた望遠鏡での試験観測の後、2009年11月にMiniTA0望遠鏡にとりつけ、地上から初めて、波長 38 ミクロンでの観測に成功した。これらの観測はいずれも赤外線波長域での高い透過率を示すもので、期待通りの成果であると言える。また、大気ゆらぎの量も小さく、サイトのシーイングはメディアンで0.7秒角程度であった。ドームはすばる望遠鏡のように工夫された形状をしておらず、また地表付近の乱流を避けるほど高い位置での測定でないことを考えると、将来より大型の望遠鏡を設置するとさらに良いシーイングが期待できる。これらによって地上最高の赤外線観測サイトの開発に成功したと言える。



図1 標高5640mのチャナントール山頂に建設された口径1m MiniTA0望遠鏡。



図2 MiniTAO 望遠鏡のとりつけられた近赤外線カメラ ANIR。

(2) パッシェン α 線の観測

近赤外線カメラ ANIR を用いて観測をした結果、銀河系中心部のパッシェン α 撮像からハッブル望遠鏡に匹敵する Pa α 撮像能力があることが示された(図 3)。地上の小型望遠鏡と宇宙望遠鏡の予算規模を考えると、大変コストパフォーマンスに優れていると言える。また、パッシェン α オフバンドフィルタによる系外銀河の撮像にも成功した(図 4)。銀河面サーベイについては地球の運動の関係で、大気窓の透過率が上がる北半球の春から夏にかけての観測が中心となり、これまでのところ約 60 視野の観測を行ったにとどまっている。しかしながら幸い平成 22 年度から 3 年間、新たな科学研究費をいただき、継続して観測を続けることが可能となったため、当初の目的であったパッシェン α 線による銀河面サーベイは多少の遅れがあるものの、達成できる見込みである。パッシェン α 線の観測と並行して、CO ガスの分布との比較なども行っており、当初の目的であった銀河系におけるガスの循環を定量的にモデル化していく。

以上、本計画によって、地上最高地点に大変優れた赤外線望遠鏡サイトを開発し、他の地上望遠鏡では不可能なパッシェン α 線による銀河面サーベイを開始できたことが本研究の成果である。

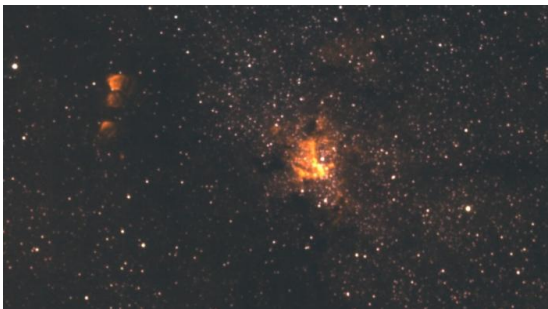


図3 ANIR で観測した銀河中心(SgrA*)。パッシェン α を赤で表示している。視野は約 10

分角 \times 5 分角。

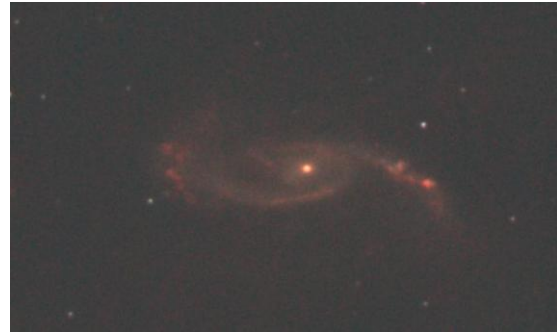


図4 ANIR で観測した赤外線銀河 NGC6926。Pa α を赤で表示している。視野は約 2 分角 \times 1 分角

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 11 件)

- ①坂田悠他(全 11 名・峰崎岳夫 2 番目・吉井護 3 番目)、Long-Term Optical Continuum Color Variability of Nearby Active Galactic Nuclei、Astrophysical Journal、査読有、711 巻、2010、pp461-483
- ②田中雅臣他(全 13 名・峰崎岳夫 6 番目)、Nebular Phase Observations of the Type Ib Supernova 2008D/X-ray Transient 080109: Side-viewed Bipolar Explosion、Astrophysical Journal、査読有、700 巻、2009、pp1680-1685
- ③Sako, S., Miyata, T., Nakamura, T., Motohara, K., Uchimoto, Y. K., Onaka, T., Kataza, H., Developing infrared array controller with software real time operating system, 2008, Proceedings of the SPIE, 7021, 702128, 査読無
- ④Sako, S., Miyata, T., Nakamura, T., Onaka, T., Ikeda, Y., Kataza, H., Developing metal mesh filters for mid-infrared astronomy of 25 to 40 micron, 2008, Proceedings of the SPIE, 7018, 701853, 査読無
- ⑤Nakamura, T., Miyata, T., Sako, S., Onaka, T., Enya, K., Kataza, H., Takahashi, H., and Obuchi, Y., Cold chopper system for mid-infrared instruments, 2008, Proceedings of the SPIE, 7018, 70184H, 査読無
- ⑥Miyata, T., Sako, S., Nakamura, T., Onaka, T., Kataza, H., A new mid-infrared camera for ground-based 30 micron observations: MAX38, 2008, Proceedings of the SPIE, 7014, 701428, 査読無
- ⑦Motohara, K., Mitani, N., Sako, S.,

Uchimoto, Y. K., Toshikawa, K., Yamamuro, T., Handa, T., Tanaka, M., Aoki, T., Doi, M., Kawara, K., Kohno, K., Minezaki, T., Miyata, T., Soyano, T., Tanabe, T., Tarusawa, K., and Yoshii, Y., ANIR: Atacama Near Infrared Camera for Paschen α Imaging, 2008, Proceedings of the SPIE, 7014, 70142T, 査読無

⑧ Motohara, K., Aoki, T., Sako, S., Soyano, T., Doi, M., Tanaka, M., Tanabe, T., Handa, T., Mitani, N., Minezaki, T., Miyata, T., Kawara, K., Kohno, K., Tarusawa, K., Yoshii, Y., Bronfman, L., Ruiz, M. T., Uruguchi, F., and Takato, N., Seeing environment at a 5640m altitude of Co. Chajnantor in northern Chile, 2008, Proceedings of the SPIE, 7012, 701244, 査読無

⑨ Miyata, T., Motohara, K., Sako, S., Tanaka, M., Minezaki, T., Mitani, N., Aoki, T., Soyano, T., Tanabe, T., Kawara, K., Kohno, K., Tarusawa, K., Handa, T., Doi, M., Yoshii, Y., Ezawa, H., Bronfman, L., and Ruiz, M. T., Site evaluations of the summit of Co. Chajnantor for infrared observations, 2008, Proceedings of the SPIE, 7012, 701243, 査読無

⑩ Sako, S., Aoki, T., Doi, M., Handa, T., Kawara, K., Kohno, K., Minezaki, T., Mitani, N., Miyata, T., Motohara, K., Soyano, T., Tanabe, T., Tanaka, M., Tarusawa, K., Yoshii, Y., Bronfman, L., Ruiz, M. T., The University of Tokyo Atacama 1.0-m telescope, 2008, Proceedings of the SPIE, 7012, 70122T, 査読無

⑪ 伊藤周他(全 6 名・酒向重行 3 番目)、Near-Infrared Silhouette Object Survey in M17, Astrophysical Journal、査読有、672 巻、2008、pp398-409

⑫ 井原隆他(全 7 名・土居守 3 番目)、Searching for a Companion Star of Tycho's Type Ia Supernova with Optical Spectroscopic Observations、Publications of Astronomical Society of Japan、査読有、59 巻、2007、pp811-826

⑬ 松岡良樹他(全 4 名・川良公明 4 番目)、Observations of OI and CaII Emission Lines in Quasars: Implications for the Site of FeII Line Emission, Astrophysical Journal、査読有、663 巻、2007、pp781-798

⑭ 安井千香子他(全 5 名・小林尚人 2 番目)、Deep Near-Infrared Imaging of an Embedded Cluster in the Extreme Outer Galaxy: Census of Supernova-Triggered Star Formation, Astrophysical Journal、査読有、649 巻、2006 年、pp753-758

⑮ 戸倉大輔他(全 13 名・宮田隆志 4 番目・

酒向重行 5 番目)、Mid-Infrared High Spatial Resolution Observations of NGC 1569: Detection of Embedded Embryos of Star Formation, Astrophysical Journal、査読有、648 巻、2006、pp355-365

⑯ Choi, Minh他(全 6 名・本原顕太郎 4 番目)、Variability of the NGC 1333 IRAS 4A Outflow: Molecular Hydrogen and Silicon Monoxide Images, Astrophysical Journal、査読有、646 巻、2006、pp1050-1058

⑰ 本田充彦他(全 10 名・宮田隆志 6 番目・酒向重行 7 番目)、Subaru/COMICS Study on Silicate Dust Processing around Young Low-Mass Stars, Astrophysical Journal、査読有、646 巻、2006、pp1024-1037

⑱ 羽田野裕文他(全 13 名・田辺俊彦 7 番目)、Near-Infrared Observations of N11 in the Large Magellanic Cloud: Triggered Star Formation around the Periphery of LH 9, Astronomical Journal、査読有、132 巻、2006、pp2653-2664

⑲ 半田利弘他(全 5 名)、Thermal SiO and H¹³C⁺ Line Observations of the Dense Molecular Cloud G0.11-0.11 in the Galactic Center region, Astrophysical Journal、査読有、626 巻、2006、pp261-266

[学会発表] (計 15 件)

① 本原顕太郎、TAO 計画 5 : ANIR ステータスレポート-TAO 計画 5 : ANIR ステータスレポート、日本天文学会春季年会、2010/3/27、広島大学

② 中村友彦、TAO 計画 2 : miniTAO/MAX38 による地上望遠鏡初の 30 μ m 帯観測、日本天文学会春季年会、2010/3/27、広島大学

③ 峰崎岳夫、TAO 計画 1 : 東京大学アタカマ 1m 望遠鏡の現状、日本天文学会春季年会、2010/3/27、広島大学

④ 利川興司、miniTAO 望遠鏡/ANIR の Pa α 狭帯域撮像でみる近傍 LIRGs、日本天文学会春季年会、2010/3/24、広島大学

⑤ 吉井讓、TAO 計画、GCOE 第 3 回 RA キャンプ、2010/2/18、ヤマハリゾートつま恋

⑥ 本原顕太郎、TAO 計画の進捗状況 4: miniTAO 望遠鏡近赤外カメラ ANIR ファーストライト、日本天文学会秋季年会、2009/9/15、山口大学

⑦ 加藤大輔、TAO 計画の進捗状況 3: 東京大学アタカマ 1m 望遠鏡の進捗と性能評価、日本天文学会秋季年会、2009/9/15、山口大学

⑧ 峰崎岳夫、TAO 計画の進捗状況 2: 東京大学アタカマ 1m 望遠鏡観測所の現状、日本天文学会秋季年会、2009/9/15、山口大学

⑨吉井讓、東大アタカマ天文台 (TAO) プロジェクト、日本学術会議シンポジウム、2008/5/31、東京大学

⑩本原顕太郎、TAO 望遠鏡建設のためのアタカマ調査 9：チャナントール山頂のシーイング環境、日本天文学会、2007/9/28、岐阜大学

⑪宮田隆志、TAO 望遠鏡建設のためのアタカマ調査 8：チャナントール山頂の雲量調査、日本天文学会、2007/9/28、岐阜大学

[その他]

ホームページ等

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

岩室史英 (IWAMURO HUMIHIDE)

京都大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：80281088

戸谷 友則 (TOTANI TOMONORI)

京都大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：90321588

谷口 義明 (TANIGUCHI YOSHIAKI)

愛媛大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：40192637

市川 隆 (ICHIKAWA TAKASHI)

東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：80219222

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉井 讓 (YOSHII YUZURU)

東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：00158388

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

土居 守 (DOI MAMORU)

東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：00242090

河野孝太郎 (KOHNO KOTARO)

東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：80321587

田中培生 (TANAKA MASUO)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：70188340

川良公明 (KAWARA KIMIYAKI)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：50292834

小林尚人 (KOBAYASHI NAOTO)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：50280566

宮田隆志 (MIYATA TAKASHI)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：90323500

本原顕太郎 (MOTOHARA KENTARO)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：90343102

田辺俊彦 (TANABE TOSHIHIKO)

東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：90179812

半田利弘 (HANDA TOSHIHIRO)

東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：40202270

峰崎岳夫 (MINEZAKI TAKEO)

東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：60292835