

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 15 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22340042

研究課題名（和文）

NMAの単一鏡化と多周波2SB受信化による惑星中層大気環境の変動起源の観測的探求

研究課題名（英文）

Millimeter-Wave Band Monitoring Observations of the Planetary Middle Atmospheres of the Solar System with 10m Single-dish Ground Based Telescope.

研究代表者 前澤裕之（MAEZAWA HIROYUKI）

大阪府立大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：00377780

研究成果の概要（和文）：

ハビタブルゾーンの理解を深めるため、太陽系惑星の大気環境監視プロジェクトを実施し、G型星である太陽の活動が惑星中層大気に与える影響について観測的研究を推進した。野辺山宇宙電波観測所の干渉計望遠群から、口径10mの望遠鏡1台切り離して単一鏡化し、惑星大気環境監視専用望遠鏡SPARTを立ち上げた。この結果、一酸化炭素輝線(100 GHz)のかつてない高頻度観測が実現し、金星については、高度80km付近の一酸化炭素が過去数十年の中でも低い水準に留まっていることを見出した。太陽活動の紫外線やCMEに伴う高エネルギー粒子イベントの最近の低下傾向などとの関連が示唆され、G～M型星を中心星とする地球型惑星や系外惑星、太陽系の気候を理解する上で、重要な知見が得られた。

研究成果の概要（英文）：

Solar activities such as solar winds, solar flares, solar proton events have affected the environments and evolutions of planetary atmospheres. To further understand the habitable zone and atmospheric physical and chemical balance of solar and extra-solar planets, it is important to study the influence of activities of our Sun, which is a typical G-type star, on the atmospheres of Venus and Mars as well as of Earth.

In order to study the relationship between solar activities in the atmospheric environments and climates of solar planets we started a long-term and regular monitoring observation project, SPART (solar planetary atmosphere research telescope), in 2011 by launching a single dish ground-based 10m-telescope. This is the utilization of the heritage of the Nobeyama Millimeter Array.

The planetary middle atmosphere, which plays an important role in controlling the atmospheric environment of a planet, is sensitive to such activities because of its moderately low density. CO₂ is the main component in Mars and Venus's atmosphere. CO is formed from CO₂ basically by a photo-dissociation process owing to solar UV - X-ray radiation and incident high energy particles produced by solar flare events like coronal mass ejections. By the 115 GHz band monitoring heterodyne spectroscopies with SPART, we found that in Venus the CO mixing ratio at the altitude of around 80 km has decreased possibly for the past thirty years.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	10,000,000	3,000,000	13,000,000
2011年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2012年度	1,600,000	480,000	2,080,000
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：電波天文学

キーワード：G型星、惑星、太陽系、ヘテロダイン分光、ミリ波地上電波望遠鏡、超伝導ミキサ検出素子、ハビタブルゾーン

1. 研究開始当初の背景

近年、系外惑星の発見が相次ぎ、系外惑星の大気環境や生命の起源を探る研究が飛躍的に進みつつある。こうした中、百億年以上の寿命と適度な明るさをもつG～M型星が惑星大気環境(化学組成、物理状態)に与える影響について理解を深めることが重要な課題となってきた。G型星(太陽)を主星とする我々の太陽系は、現在唯一得られる基礎観測可能な系であり、そこでの詳細理解なくして遠方の惑星大気環境の理解は望めない。

最近では太陽粒子イベント(SPE)に伴う高速粒子が、地球中高層大気の大気層を活性化しNO_x種を増加させ、オゾン(O₃)ホールを形成する様子が2次元分布で克明に観測されている。では、地球大気のように磁気を持たず、絶えず太陽風やコロナ質量放出(CME)に暴露されている金星や火星では、中高層大気組成・物理状態はどのようにバランスしているのだろうか? また火星では最近、NASAのIRTSなどの赤外望遠鏡によりメタンが検出され、火山活動、生物活動、隕石等の外来要因、純粋な大気化学反応の可能性など、メタンの起源の探求が始まった(メタン問題)。しかし、そもそも現在の火星や金星の主成分のCO₂でさえ、なぜ太陽光により光解離されて枯渇しないのか良く分かっていない(CO₂の安定問題)。このように身近な太陽系惑星大気の基本的な性質でさえ未だに充分理解が進んでいないのが実情である。

これらの問題にアプローチする鍵は惑星の中層大気(高度は惑星に依存: 数十～百数十 km)にある。惑星の中層大気は密度が薄いため、化学状態(組成変動等)や物理状態(電離圏/熱圏の収縮・膨張に伴う大気構造・ダイナミクス・温度や圧力など)が太陽活動に鋭敏に応答する。これまで、探査機や紫外・光赤外波長や中性子線等による衛星観測やより、惑星高層大気のはざとり・散逸現象や、低層大気的基本的物理量(温度・圧力分布や風速)や雲、地表の調査が活発に行われてきた。しかし、低層と高層を化学的・物理的に結合し、惑星大気環境の大動脈を担うこの中層大気は観測や理解が取り残されてきた。

そこで、我々はこの問題を打開するため、

中層大気の線幅の細いスペクトルを高い周波数分解能で捉えるのに威力を発揮するミリ・サブミリ波ヘテロダイン分光手法に着目し、共同利用の電波望遠鏡を用いて惑星大気の微量分子の観測を実施してきた。これまでも、欧米のグループが、地上電波望遠鏡を用いて離散的にはあるが精力的に惑星大気のスペクトル線観測を行ってきた。しかし、いずれもプロポーザルベースであるため、時々刻々と変化する惑星大気環境の変動の定量や太陽活動との連動の様子を捕らえることが難しい現実が浮き彫りとなった。

2. 研究の目的

中心星が惑星中層大気の光化学反応素過程・物理構造・ダイナミクス、ハビタブルゾーンに与える影響については、まだ理解がほとんど進んでいない。そこで、まずは我々の太陽と惑星大気環境の関係について、詳細理解が急務の課題となってきた。こうした背景を踏まえ、本研究では、太陽の2012-13年頃の活動期も見据え、野辺山ミリ波干渉計のF号機(口径10m)電波望遠鏡を利活用し、惑星中層大気微量分子のミリ波スペクトル線の高分散・広帯域のヘテロダイン分光定常モニタリングに着手する。

世界的にも例の無いミリ波惑星大気監視専用望遠鏡により、微量分子種の中短期変動を抑え、名大STE研の太陽風CTデータなど、様々な太陽現象のパラメータとの関連を明らかにする。そして太陽活動と、地球型惑星のCO₂安定問題やCH₄問題、宇宙線/雲量問題、大気光化学反応素過程との関連を探り、G-M型星が惑星大気環境に与える影響について理解を深め、電波天文学による新しいアプローチの足掛かり・創出を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、共同利用による運用が終了したNMAのF号機を干渉計望遠鏡群から切り離し、惑星観測専用単一鏡化した。フロントエンドには直列型Superconductor/Insulator/Superconductor(SIS)接合による高感度かつリニアリティの良い110 GHz帯の受信機を立ち上げ、専用の中間周波信号

(IF)系を設置した。バックエンドには、最近商品化されたアキリス社の Field Programmable Gate Array 搭載の高速フーリエ変換デジタル分光計を導入した(帯域 1 GHz/16248 ch)。また局部発振波(L0)/IF 系の温度安定化し、強度校正の安定化や地球大気成分や定在波の除去などの性能を向上させた。さらに NMA の Solaris 制御計算機群を、Linux /Python による制御環境にリプレースし、スペクトル fits ファイルの作成・処理や、望遠鏡の遠隔運用化を行った。

以降、我々はこの望遠鏡(下図:手前の望遠鏡)を Solar Planetary Atmosphere Research Telescope (SPART)と呼ぶ。



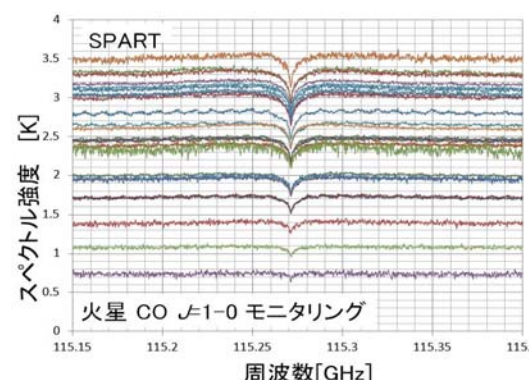
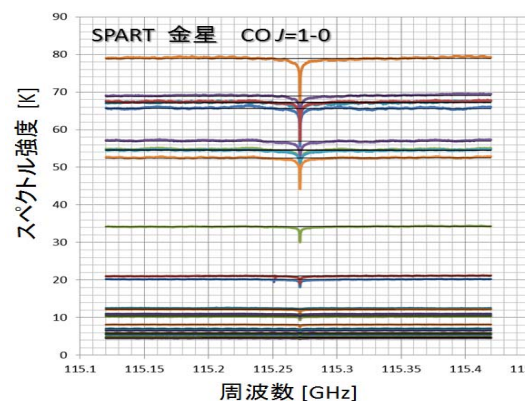
4. 研究成果

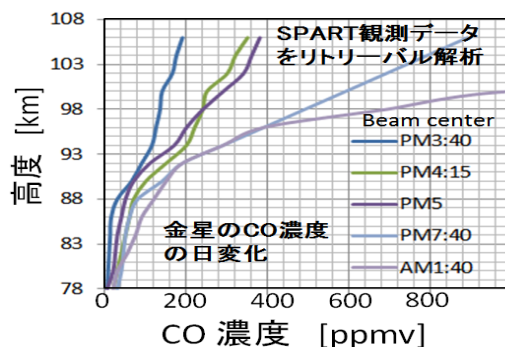
受信機は当初 2SB 受信機を搭載する予定であった。しかし、惑星観測に際して、高感度かつリニアリティの良い SIS ミキサ素子の導入/受信機システムの確立が最優先となり、直列接合型の 100 GHz 帯 SIS ミキサ検出素子を実装した。この結果、本受信機は、300 K の常温黒体に対して飽和せず、ダイナミックレンジが広いことを確認した。この新システムを用いて、2011 年秋期には火星とオリオン分子雲において、100 GHz 帯のファーストライトに成功した。

冬季より金星と火星の中層大気中の一酸化炭素のモニタリングを開始した。観測期間は 2011 年 11 月から 2011 年 7 月まで。観測に際しては、室内外の温度環境(チョッパーホイール法のための常温黒体や、L0/IF 系、分光計の温度)や 4K 冷凍機の温度、L0 パワーの変化、IF 出力レベル、風/ポインティング、湿度などをモニタリングし、データの確度に細心の注意を払った。

SPART は惑星観測専用望遠鏡としての圧倒的な威力を発揮し、初期成果として、金星や火星の 115 GHz 帯 CO $J=1-0$ 輝線のかつてない緻密な観測に成功した。観測日は、風雪などの影響によりリミットされるものの、実に約 60 日相当分に及ぶスペクトルデータを得た。金星においては昼面から夜面に渡る時期のスペクトル線を取得することができた(下図)。このスペクトルの連続波成分は、広い圧力幅をもつ低高度の大気温度を反映しており、その強度の変化は惑星の視直径の変化を良く再現していることも確かめられた。

このスペクトルプロファイルに温度分布や高度分布を与え、リトリーバル解析することにより、CO 混合比の高度分布を算出した。その結果、金星の高度 80 km 付近の中層大気中の CO 濃度が、ここ 30-40 年程度のスケールで見ると減少傾向にあることを発見した。ここ 30-40 年スケールでは、太陽の活動は、黒点数の推移に見られるように 11 年周期を繰り返しながらも、低下傾向にある。このため我々の結果は、太陽活動に伴う紫外線/X 線ないし高エネルギー粒子イベントの減少等の影響により、金星の気候が変化する様子を捉えた可能性がある。火星についても同様の CO の変動の傾向見られるか、現在、解析を進めている。



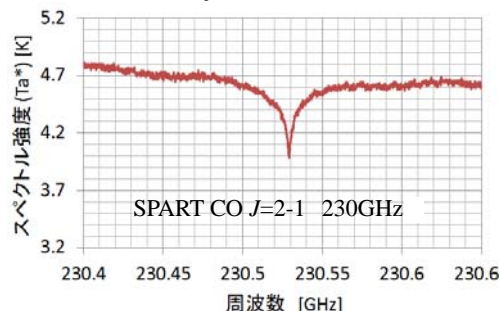


さらに、名大STE研の惑星間空間シンチレーションデータの計算機トモグラフィ解析により、金星・火星の位置での太陽風速度と密度を割り出し、COの変動と太陽風の密度や速度との比較を進めた。また、「ひので」衛星の(極)紫外線、X線、TRACE(NASA)/(極)紫外、ACEリアルタイムの太陽風観測、GOES衛星(米国)/X線、SOHO(ESA/NASA)の光・紫外線、STEREO衛星(NASA)によるCME立体観測と比較し、太陽イベント(数時間~数日)、自転(27日)、11年周期、ここ40年の短~長期データと、SPARTや過去の先行観測による中層大気データの詳細比較を進めた。

地球は非常に複雑な系であり、太陽活動が地球大気に与える影響のトレンドを見極めるのは難しい。一方、金星・火星はシンプルな系であり、また磁場のシールドが無いため、太陽の影響が顕著に現れると期待される。本研究結果は、地球の大気環境を理解する上でも、太陽系惑星の気候環境を監視するアプローチ/手法の重要性を示唆するものである。太陽の高エネルギーイベントは太陽極大期から2年程度ずれという研究報告もあり、引き続きSPARTと多波長・他測器との比較により、その影響と応答メカニズムをさらに精度をあげて探る必要がある。

2012年度には、200 GHz帯受信機システムの立ち上げを行い金星のCO J=2-1スペクトル線のファーストライトに成功した。異なる遷移のスペクトル線を同時に観測・解析することで、仮定していた温度分布なども同時に解くことが出来るようになり、導出する混合比などの物理量の精度がさらに改善される。また、これまでの100 GHz帯での観測では、太陽系惑星の視直径がビームサイズ(70秒角)よりも小さく、ディスク平均としてのスペクトルを観測していたのに対し、200 GHz帯で

は、金星や木星のdiskが空間分解されるようになる。そこでon the fly (OTF)マッピング観測を実施できるように、ソフトウェアの拡充開発を行った。これにより200 GHz帯についても短時間にdisk平均のスペクトルを算出できるようになり、100 GHz帯スペクトルと並列にリトリバー解析を適用することが可能となった。



系外惑星の分光や生命普遍性を探る研究は今後一層活発化する。特に銀河の恒星の多くを占める長寿命のM型星が、惑星に与える影響の理解は今後ますます急務である。M型星のハビタブルゾーンはG型星よりも一桁内側に近づくが、M型星の活動度はG型星と同等以上であることが最近の研究から分かってきた。地球は過去、CO₂が主成分であった時期があり、CO₂が主成分の惑星も生命を育むポテンシャルをもつ。この意味でも、SPARTによる、G型星(太陽)がCO₂を纏う地球型惑星(金星・火星)の中層大気に与える基礎影響評価は重要な役割を果たす。

引き続きSPARTプロジェクトによる太陽系惑星大気の監視を続け、主星が惑星大気に与える化学反応素過程の詳細を通して、太陽系の気候、CH₄やCO₂の安定問題、F/G/K/M型星を中心星とする惑星大気環境や気候、ハビタブルゾーンの理解へと展開する計画である。そしてALMAの観測や、TMT、飛翔体などの将来観測計画、天文学/地球惑星科学の分野融合の新たなフィールドの開拓へと昇華させていく。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計8件)

- 「CH radio emission from Heiles Cloud 2 as a tracer of molecular cloud evolution」, Sakai, N.; Maezawa, H.; Sakai, T.; Menten, K. M.; Yamamoto, S., *Astronomy & Astrophysics*, Volume 546, id.A103, 8 pp, 2012, (査読有)
- 「Molecular Clouds in the Trifid Nebula M20:

Possible Evidence for a Cloud-Cloud Collision in Triggering the Formation of the First Generation Stars」, Torii, K.; Enokiya, R.; Sano, H.; Yoshiike, S.; Hanaoka, N.; Ohama, A.; Furukawa, N.; Dawson, J. R.; Moribe, N.; Oishi, K.; Nakashima, Y.; Okuda, T.; Yamamoto, H.; Kawamura, A.; Mizuno, N.; Maezawa, H.; Onishi, T.; Mizuno, A.; Fukui, Y., *The Astrophysical Journal*, Volume 738, Issue 1, article id. 46, 10 pp. (2011), (査読有)

3. 「High Excitation Molecular Gas in the Galactic Center Loops; ^{12}CO (J=2-1 and J=3-2) Observations」, Kudo, N.; Torii, K.; Machida, M.; Davis, T.A.; Tsutsumi, K.; Fujishita, M.; Moribe, N.; Yamamoto, H.; Okuda, T.; Kawamura, A.; Mizuno, N.; Onishi, T.; Maezawa, H.; Mizuno, A.; Tanaka, K.; Yamaguchi, N.; Ezawa, H.; Takahashi, K.; Nozawa, S.; Matsumoto, R.; Fukui, Y., *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol.63, No.1, pp.171-197, (2011), (査読有)

4. 「Star-forming Dense Cloud Cores in the TeV Gamma-ray SNR RX J1713.7-3946」, Sano, H.; Sato, J.; Horachi, H.; Moribe, N.; Yamamoto, H.; Hayakawa, T.; Torii, K.; Kawamura, A.; Okuda, T.; Mizuno, N.; Onishi, T.; Maezawa, H.; Inoue, T.; Inutsuka, S.; Tanaka, T.; Matsumoto, H.; Mizuno, A.; Ogawa, H.; Stutzki, J.; Bertoldi, F.; Anderl, S.; Bronfman, L.; Koo, B.-C.; Burton, M. G.; Benz, A. O.; Fukui, Y., *The Astrophysical Journal*, Volume 724, Issue 1, pp. 59-68 (2010), (査読有)

5. 「Ground-based millimeter-wave observation of stratospheric ClO over Atacama, Chile in the midlatitude Southern Hemisphere」, Kuwahara, T.; Nagahama, T.; Maezawa, H.; Kojima, Y.; Yamamoto, H.; Okuda, T.; Mizuno, N.; Nakane, H.; Fukui, Y.; Mizuno, A., *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, Volume 5, Issue 1, 2012, pp.1907-1945, (査読有)

6. 「Stability of a Quasi-Optical Superconducting NbTiN Hot-Electron Bolometer Mixer at 1.5 THz Frequency Band」, Maezawa, H.; Yamakura, T.; Shiino, T.; Yamamoto, S.; Shiba, S.; Sakai, N.; Irimajiri, Y.; Jiang, L.; Nakai, N.; Seta, M.; Mizuno, A.; Nagahama, T.; Fukui, Y., *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 21, issue 3, pp. 640-644, 2011, (査読有)

7. 「Development of 1.5 THz waveguide NbTiN superconducting hot electron bolometer mixers」, Jiang, L.; Shiba, S.; Shiino, T.; Shimbo, K.; Sakai, N.; Yamakura, T.; Irimajiri, Y.; Ananthasubramanian, P. G.; Maezawa, H.; Yamamoto, S., *Superconductor Science and Technology*, Volume 23, Issue 4, article id. 045025, 6 pp. (2010), (査読有)

8. 「Improvement of the critical temperature of superconducting NbTiN and NbN thin films using the AlN buffer layer」, Shiino, T.; Shiba, S.; Sakai, N.; Yamakura, T.; Jiang, L.; Uzawa, Y.; Maezawa, H.; Yamamoto, S., *Superconductor Science and Technology*, Volume 23, Issue 4, article id. 045004, 5 pp. (2010), (査読有)

〔学会発表〕 (計 32 件)

2012年度

1. 「太陽系惑星大気監視 SPART 望遠鏡の進捗・計画」, 前澤裕之, 森部那由多, 佐川英夫, 徳丸宗利, 水野亮, 川辺良平, 他
2. 「ミリ波地上望遠鏡による金星中層大気一酸化炭素の変動の観測的研究」, 森部那由多, 前澤裕之, 佐川英夫, 徳丸宗利, 他
3. 「惑星大気監視プロジェクト SPART のための Linux/ Python を用いた」, 西村淳, 前澤裕之, 他
(1-3: 日本天文学会 2013, 3/20-23, 埼玉大)
4. 「太陽系惑星大気監視プロジェクト SPART の進捗/金星の一酸化炭素の変動」, 前澤裕之, 佐川英夫, 徳丸宗利, 水野亮, 川辺良平, 他
5. 「彗星衝突がガス惑星の大気進化に与える影響」, 飯野孝浩, 水野亮, 前澤裕之, 他
(4-5: 日本天文学会 2012, 9/19-21, 大分大)
6. 「惑星大気のミリ・テラヘルツ帯ヘテロダイン分光のための超伝導検出素子の開発」, 前澤裕之
7. 「SPART による惑星中層大気モニタリング計画の進捗」, 森部那由多, 前澤裕之, 他
8. 「ミリ波分光計による太陽陽子イベントに伴う中間圏NOxの増加の検出」, 水野亮, 前澤裕之, 他
9. 天体衝突がガス惑星大気進化に与える影響」, 飯野孝浩, 水野亮, 前澤裕之, 他 (6-9: 日本地球惑星科学連合2012年大会, 5/20-25, 幕張メッセ)
10. 「Millimeter-Wave Bands Monitoring Observations of Planetary Atmospheres with a 10-m Ground-Based Radio Telescope」, Maezawa, H.
11. 「Development of Superconducting Detectors for MM/THz Band Heterodyne Spectroscopy of Earth's and Planetary Middle Atmosphere」, Maezawa, H.
(10-11: AOGS/AGU 2012, 8/13-17, Singapore)
12. 「10m クラス電波望遠鏡による惑星大気の観測研究およびその観測装置」, 前澤裕之, (国立天文台研究集会 「将来装置による地球型系外惑星直接検出および撮像」, 1/24-25, 国立天文台三鷹キャンパス)
13. 「ミリ波望遠鏡 SPART による、太陽活動が惑星大気に与える影響の観測的研究 - 系外惑星研究の理解へ-」, 前澤裕之, (第2回スーパーフレア星研究ワークショップ, 3/3-5, 西播磨天文台)
14. 「SPART 望遠鏡による惑星大気観測」, 前澤裕之, (名大S T E研究集会 「ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ」, 2/17-28, 名古屋大)
15. 「Millimeter-Wave Band Monitoring Observations of Solar System Planetary Atmospheres with an Exclusive Ground-Based 10m-Telescope for SPART Project」, Maezawa, H., (New Trends in Radio Astronomy in the ALMA Era/The 30th Anniversary of Nobeyama Radio Observatory, 12/3-8, Hakone)

2011 年度

16. 「地上ミリ波望遠鏡による金星中層大気の一酸化炭素の観測」, 森部那由多, 前澤裕之, 佐川英夫, 徳丸宗利, 他, (日本天文学会 2012 年, 3/19-22, 龍谷大)
17. 「NMA F 号機の単一鏡化による惑星大気観測プロジェクト SPART の進捗」, 前澤裕之, 森部那由多, 佐川英夫, 徳丸宗利, 水野亮, 川辺良平, 他
18. 「地上ミリ波望遠鏡による金星中層大気の一酸化炭素の観測」, 森部那由多, 前澤裕之, 佐川英夫, 徳丸宗利, 他
(16-18: 日本天文学会 2011 年, 9/19-22, 鹿児島大)
19. 「SPART Project for Observations of Planetary Atmospheres」, Moribe N., Maezawa, H., Sagawa H., Tokumaru, M., et al. AOGS, 8/8-12, Taipei
20. 「SPART 10m 望遠鏡によるミリ波帯惑星大気観測」, 前澤裕之, 佐川英夫, 徳丸宗利, 水野亮, 川辺良平, 他
21. 「昭和基地からのみり波分光計を用いた高エネルギー粒子の降り込みが中層大気組成に与える影響の観測的研究」, 水野亮, 前澤裕之, 他
22. 「海王星大気における一硫化炭素混合比上限の導出」, 飯野孝浩, 水野亮, 前澤裕之, 他
(20-22: 日本惑星科学連合 2011 年大会, 5/22-27, 幕張メッセ)
23. 「NMA-F 号機の単一鏡化による惑星大気環境観測 SPART プロジェクトの進捗・紹介」, 前澤裕之, (名大 STE 研究集会「ミリ波・サブミリ波受信機ワークショップ」, 11/18-19, 大阪府立大)

2010 年度

24. 「NMA F 号機の単一鏡化によるミリ波惑星大気観測プロジェクト」, 前澤裕之, 佐川英夫, 徳丸宗利, 水野亮, 川辺良平, 他, (日本天文学会 2011 年, 3/16-19, 筑波大学)
25. 「チリ・アタカマ高地における 200 GHz 帯ミリ波放射分光計を用いた成層圏 C10 の高度分布観測」, 桑原利尚, 水野亮, 前澤裕之, 他
26. 「惑星大気組成モニターのための 230GHz 帯高感度 SIS 受信機の開発」, 森部那由多, 前澤裕之, 他
27. 「野辺山ミリ波干渉計による太陽系内天体の観測的研究」, 飯野孝浩, 水野亮, 前澤裕之, 他
28. プラズマ宇宙物理 3 学会合同セッション 観測・計測・新技術, 「ミリ・サブミリ波電波望遠鏡による惑星大気観測」, 前澤裕之
(24-28: 日本惑星科学連合 2010 年大会, 5/23-28, 幕張メッセ)
29. 「Millimeter/Submillimeter-Wave Band Observations of Planetary Atmosphere」, Maezawa H. (ミリ・サブミリ波受信機東アジア国際ワークショップ, 11/14-16, 名古屋大学)
30. 「MELOS 気象オービター サブミリ波放射計 (FIRE)」, 笠井康子, 佐川英夫, 笠羽康正, 前澤裕之, 他
31. 「アタカマ大型ミリ・サブミリ波干渉計

による惑星大気観測」, 前澤裕之, 笠井康子, 佐川英夫, 笠羽康正, 他

32. 「将来の地上光赤外惑星観測に絡む現状: TMT とハレアカラ望遠鏡」, 笠羽康正, 前澤裕之, 笠井康子, 岡野章一
(30-32: 第 25 回大気圏シンポジウム, 2/21-22, JAXA)

[図書] (計 1 件)

「赤外放射と惑星の温度」前澤裕之訳、パリティ(丸善)、2012 年 9 月号 27 巻、No. 9

[その他]

・ホームページ
<http://www.astro.s.osakafu-u.ac.jp/research/spart.html>

・マスメディア報道
読売新聞夕刊 9 月 20 日

・全国同時七夕講演会(2011/7/6、大阪府立大学、共催: 日本天文学会、天文教育普及研究会、理論天文学宇宙物理学懇談会、光学赤外線天文連絡会)、「暗黒星雲の正体」、前澤裕之

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前澤裕之 (MAEZAWA HIROYUKI)
大阪府立大・理学系研究科・准教授
研究者番号: 00377780

(2) 研究分担者

徳丸宗利 (TOKUMARU MUNETOSHI)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授
研究者番号: 60273207

(3) 連携研究者

- ・佐川英夫 (SAGAWA HIDEO)
独立行政法人情報通信研究機構・磁波計測研究センター・研究員
研究者番号: 40526034
- ・笠井康子 (KASAI YASUKO)
独立行政法人情報通信研究機構・磁波計測研究センター・研究員
研究者番号: 60281630
- ・奥田武志 (OKUDA TAKESHI)
名古屋大学・理学系研究科・助教
研究者番号: 10455199
- ・笠羽康正 (KASABA YASUMASA)
東北大学・理学系研究科・教授
研究者番号: 10295529
- ・川辺良平 (KAWABE RYOHEI)
国立天文台・国立天文台野辺山宇宙電波観測所・教授
研究者番号: 10195141
- ・酒井剛 (SAKAI TSUYOSI)
東京大学・理学系研究科・助教
研究者番号: 20469604
- ・寺田直樹 (TERADA NAOKI)
東北大学・理学系研究科・准教授
研究者番号: 70470060
- ・水野亮 (MIZUNO AKIRA)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授
研究者番号: 80212231