

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800271

研究課題名(和文) ハワイ・ハレアカラ山頂における超高分解能分光連続観測に基づく火星メタンの解明

研究課題名(英文) Investigation of Martian methane by using ultra-high resolution spectroscopy onboard dedicated telescope at Mt.Haleakala, Hawaii

研究代表者

中川 広務 (Nakagawa, Hiromu)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30463772

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：ハワイ山頂に移設が完了した東北大学60cm望遠鏡に赤外ヘテロダイン分光器を実装し、火星・金星のCO₂ non-LTE emission検出に成功した。得られたデータをもとに装置の性能評価・データSN評価を実施し、専門雑誌に投稿受理された。メタンに絡む固層-気層相互作用に関連する火星の二酸化炭素同位体の観測を、マウナケア山頂IRTF望遠鏡におけるNASA赤外ヘテロダインチームとともに実施した。成層圏望遠鏡SOFIAを用いて火星メタン観測を実施し、データ解析を開始した。本地上観測の準備と並行し、欧米探査機との国際連携体制を整えた。

研究成果の概要(英文)：A new Mid-Infrared Laser Heterodyne Instrument (MILAH) with ultra-high resolution was developed for detection of Martian methane by using dedicated ground-based telescope for planetary science at Mt.Haleakala, Hawaii. The instrument has been successfully installed onboard Tohoku-60cm telescope at the top of Mt.Haleakala, and obtained CO₂ non-LTE emission spectra of Mars and Venus. Obtained data and model predictions by radiative transfer code gave the scientific capabilities and measurement sensitivities of the MILAH. This result has been accepted in Planetary Space Science (in printing). CO₂ isotopes observation has been performed by using another IR heterodyne instrument, HIPWAC onboard IRTF NASA telescope, in order to understand the atmosphere-surface interactions. The Mars measurement by using SOFIA stratospheric telescope was also performed to detect Martian methane. The international support campaigns for orbiter missions, such as MAVEN and TGO have been prepared.

研究分野：Planetary atmosphere physics

キーワード：火星大気 メタン 赤外分光 地上観測 ヘテロダイン 高分解能

1. 研究開始当初の背景

火星は地球と似た過程で形成された兄弟星でありながらその環境は大きく異なり、現在は酷寒感、生命・地殻活動のない「死した惑星」と従来みなされていた。しかし、近年の探査機・地上観測から火星大気中にメタンの存在が示唆された。これは火星における生命・地殻活動の証拠となりうる非常に興味深い微量成分である。火星メタンの起源、生成・消滅メカニズムが注目されており、理論・観測の両面から研究が進められている。こうした微量大気成分の観測は、火星の生命・地殻活動の理解につながるとともに、より普遍的な地球型惑星環境・惑星大気進化への理解、例えば生命の維持しうる惑星環境の形成条件の解明につながる研究である。

しかし、これまでの観測は限定的で、メタン起源の解明に至っていない。この主たる理由は、観測が大型望遠鏡の公募に基づくため連続観測が困難な点が挙げられる。さらに、火星メタン検出に十分な波長分解能を有する装置がないことが挙げられる。また、波長分解能不足により地球大気成分との分離が不十分で、メタン検出自体への疑念が指摘されている。

2. 研究の目的

本研究では、申請者がこれまで開発を進めてきた赤外釣行分解能分光観測装置を本グループのハワイ・ハレアカラ観測拠点に実装することによって、火星大気の高精度分光連続観測を実現し、世界で初めて火星メタン等の重要未解明問題を解明することを目的とする。期間内の目標は、連続観測のための自動制御・リモート制御化により、火星メタンおよび関連分子の超高分解能分光連続観測を実現することである。

3. 研究の方法

本研究では、「超高分解能 + 連続観測」により火星メタンの時空間変動を明らかにする。本グループ所有のハワイ 60cm 望遠鏡に赤外レーザーヘテロダイン分光器を実装、火星観測を開始、性能評価・必要な改良を行う。ハワイ 1.8m PLANETS 望遠鏡にも常設実装し、本格連続観測を開始、火星メタンの解明に寄与する。また、現有ブレードボードモデルを流用し、自動制御・リモート制御化システムを開発・導入することで最小限コスト・負荷で連続観測時間を拡大し、様々な時間スケールの大気現象の解明に寄与する。

4. 研究成果

(1) ハワイ大学実験室内で日本から輸送した開発装置をセットアップしなおし、天体追尾機を用いた太陽・月試験観測により、想定

通りの波長安定度・感度・分解能を有していることを確認することができた。その後、ハワイ山頂に移設が完了した東北大学 60cm 望遠鏡に赤外ヘテロダイン分光器を実装することに成功した(図1)。現存する他機器では分解能不足で検出することが難しい火星および金星の CO₂ non-LTE emission の検出に成功することができた(図2)。得られたデータをもとに、装置の性能評価・データ S/N 評価を実施することができ、それらと放射伝達モデルをもとに装置の改善ならびに火星メタン検出に必要な積分時間の算出を行った(図3)。これらの成果は、Sakanoi et al., 2014 ならびに Nakagawa et al., 2016 (in printing) にまとめられた。装置改良の結果、金星夜面超高層大気中における微弱な CO₂ 吸収の検出に成功した。7.7 ミクロンの量子カスケードレーザを新たに導入し、光学系も最適化することで火星メタンを観測可能なシステムに拡充した。加えて、装置の安定稼働ならびにリモート制御実現のため、改良を施し、協力研究者とともにハワイ観測施設にてシステム改善検討とそれに伴う試験観測を進めることができ、リモート制御可能なシステムが構築できた。

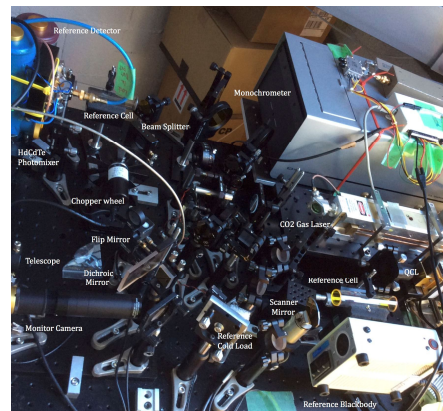


図1. 実装された赤外ヘテロダイン分光器

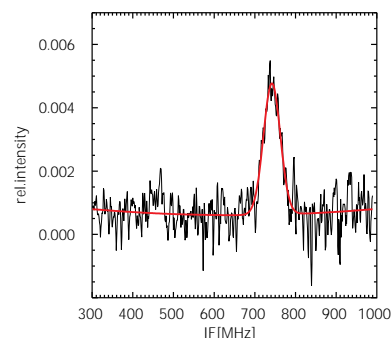


図2. 金星 non-LTE emission スペクトル

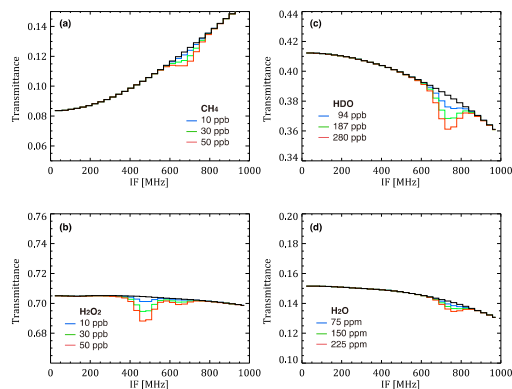


図3. モデル計算による予測スペクトル

(2) メタンに絡む固層-気層相互作用に関連する火星の二酸化炭素同位体の観測を、マウナケア山頂 IRTF 望遠鏡における NASA 赤外ヘテロダインチームとともに実施した。その結果予想以上の CO₂ 同位体変動(図4)を発見することに成功し、今後も継続して追試観測を実施する予定である。

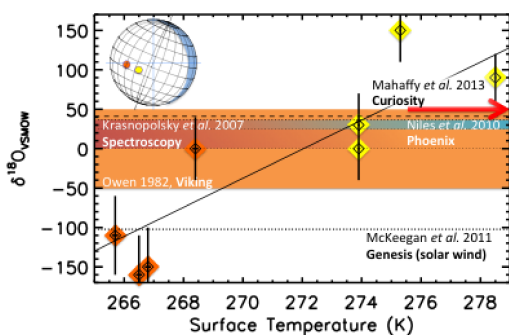


図4. 火星大気中の CO₂ 同位体分布

(3) 成層圏望遠鏡 SOFIA を用いて火星メタン観測を実施した (PI: 連携研究者青木翔平、代表者 Co-1)。地球大気吸収の少ないメタン帯データを取得することに成功し、メタン検出のためのデータ解析を開始することができた。

(4) 地上観測・探査機との国際連携のため、NASA 赤外ヘテロダインメンバーおよび欧州火星探査機 Mars Express 搭載フーリエ分光器メンバーと継続的に議論を実施し、観測計画を立案した。昨年火星に到着した米国探査機 MAVEN、本年末に火星到着予定の Trace Gas Orbiter に絡む会合それぞれに参加し、本課題観測との連携体制を整えた。特に、火星メタンの起源に関連する表層からのガス漏れ出しを特定するため、水・二酸化炭素同位体計測を重点的に進め、超高層大気中の D/H の変動と比較することを検討した。

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4件)

H. Nalagawa, S. Aoki, H. Sagawa, Y. Kasaba, I. Murata, K. Takami, S. Okano, M. Kagitani, T. Sakanoi, M. Taguchi, IR heterodyne spectrometer MILAHI for continuous monitoring observatory of Martian and Venusian atmospheres at Mt.Haleakala, Hawaii, Planetary Space Science, 126, p34-48, doi:10.1016/j.pss.2016.04.002, 2016 (査読有)。

S. Aoki, H. Nakagawa, H. Sagawa, M. Giuranna, G. Sindoni, A. Aronica, Y. Kasaba, Seasonal variation of the HDO/H₂O ratio in the atmosphere of Mars at the middle of northern spring and beginning of northern summer, Icarus, 260, 7-22, doi:10.1016/j.icarus.2015.06.021, 2015 (査読有)。

S. Aoki, M. Giuranna, Y. Kasaba, H. Nakagawa, G. Sindoni, A. Geminala, V. Formisano, Search for hydrogen peroxide in the Martian atmosphere by the Planetary Fourier Spectrometer onboard Mars Express, Icarus, 245, 177-183, doi:10.1016/j.icarus.2014.09.034, 2015 (査読有)。

T. Sakanoi, Y. Kasaba, M. Kagitani, H. Nakagawa, J. Kuhn, S. Okano, Development of infrared Echelle spectrograph and mid-infrared heterodyne spectrometer on a small telescope at Haleakala, Hawaii for planetary observation, Pro.SPIE 9147, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy V, 91478D, doi:10.1117/12.2055877, 2014 (査読有)。

[学会発表](計16件)

[1] 中川広務、青木翔平、佐川英夫、笠羽康正、村田功、高見康介、岡野章一、鍵谷将人、坂野井健、田口真、赤外ヘテロダイン分光器 MILAHI を用いた火星・金星大気観測、第138回地球電磁気・地球惑星圏学会、東京大学(東京都文京区)、11月2日、2015年。

[2] H. Nakagawa, S. Aoki, H. Sagawa, Y. Kasaba, I. Murata, K. Takami, G. Sonnabend, M. Sornig, J. Kuhn, J. Ritter, S. Okano, M. Kagitani, T. Sakanoi, M. Taguchi, Regional coupling between lower and upper atmosphere revealed by MAVEN/IUVS and complementary study by Earth-based observation, international GEMISIS workshop, 名古屋大学(名古屋市), 3月24日, 2016年(招待講演)。

[3] Y. Kasaba, S. Aoki, H. Nakagawa, M. Giuranna, O. Korablev, Commitment to European Mars Missions via Infrared Spectroscopic sciences, Symposium on Planetary Science 2015, 東北大学(仙台市) 2月17日, 2015年。

[4]H. Nakagawa, H. Sagawa, S. Aoki, K. Takami, Y. Kasaba, I. Murata, Scientific capabilities and measurement sensitivities of the IR heterodyne spectroscopy, Symposium on Planetary Science 2015, 東北大学(仙台市), 2月17日, 2015年.

[5]S. Aoki, H. Nakagawa, I. Murata, and Y. Kasaba, Mid-Infrared Laser Heterodyne Instrument (MILaHI): for sensitive search of trace gases on Mars, European Planetary Science Congress, Cascais(Portugal), 9月11日, 2014年.

[6]S. Aoki, M. Giuranna, H. Nakagawa, H. Sagawa, A. Aronica, Y. Kasaba, Seasonal variation of HDO/H₂O ratio in the atmosphere of Mars observed by SUBARU/IRCS and MEX/PFS, European Planetary Science Congress, Cascais(Portugal), 9月11日, 2014年.

[7]H. Nakagawa, Y. Kasaba, S. Aoki, I. Murata, S. Okano, G. Sonnabend, Observing plan for continuous monitoring of planetary atmospheres using IR heterodyne instrument 2014, Symposium on Planetary Science, 東北大学(仙台市), 2月20日, 2014年.

[8]H. Nakagawa, S. Aoki, Y. Kasaba, I. Murata, H. Sagawa, Observing plan for planetary atmosphere using IR heterodyne spectroscopy in 2014, Japan Geoscience Union Meeting 2014, パシフィコ横浜(横浜市), 5月1日, 2014年.

[9]中川広務, 青木翔平, 笠羽康正, 村田功, G. Sonnabend, 佐川英夫, 岡野章一, 鍵谷将人, 坂野井健, J. Kuhn, J. Ritter, 伊藤一成, 趙高分解能レーザー分光器による惑星大気の連続観測, 惑星科学会, 東北大学片平さくらホール(仙台市), 9月24日, 2014年.

[10]中川広務, 青木翔平, 笠羽康正, 村田功, G. Sonnabend, 佐川英夫, 岡野章一, 鍵谷将人, 坂野井健, J. Kuhn, J. Ritter, 伊藤一成, First light of 東北大学 Haleakala60cm 趙高波長分解能レーザーヘテロダイン分光器の惑星への挑戦, 第136回地球電磁気・地球惑星圏学会, キッセイ文化ホール(松本市), 10月31日, 2014年.

[11]中川広務, 青木翔平, 笠羽康正, 村田功, G. Sonnabend, 佐川英夫, 岡野章一, 鍵谷将人, 坂野井健, J. Kuhn, J. Ritter, 東北大学ハレアカラ 60cm 望遠鏡ファーストライトおよび 1.8PLANETS 望遠鏡計画: 趙高分解能赤外ヘテロダイン分光による惑星観測, 地球型惑星圏研究会, 立教大学(東京都), 12月25日, 2014年.

[12]H. Nakagawa, S. Aoki, Y. Kasaba, I. Murata, G. Sonnabend, S. Okano, Study of planetary atmosphere using continuous monitoring by Mid-Infrared Laser

Heterodyne Instrument (MILaHI), European Planetary Science Congress, London(United Kingdom), 9月10日 2013年.

[13]H. Nakagawa, S. Aoki, Y. Kasaba, I. Murata, S. Okano, Study of planetary atmospheric dynamics, photochemistry, and meteorology using Mid-Infrared Laser Heterodyne Instrument, Japan Geoscience Union Meeting 2013, 幕張メッセ(千葉市), 5月23日, 2013年.

[14]H. Nakagawa, S. Aoki, Y. Kasaba, H. Sagawa, Global mapping of the CO₂ isotopes in the Martian atmosphere as observed Subaru/IRCS, Japan Geoscience Union Meeting, 幕張メッセ(千葉市), 5月21日, 2013年.

[15]中川広務, 青木翔平, 笠羽康正, 村田功, 市川隆, 岡野章一, G. Sonnabend, ハワイ・ハレアカラにおける趙高分解能赤外ヘテロダイン分光器, 日本天文学会, 東北大学(仙台市), 9月11日, 2013年.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中川 広務 (NAKAGAWA, Hiromu)
東北大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号: 30463772