

火星生命探査に向けたメタン計測レーザーレーダの検討

Study on Methane Laser Radars for Mars Astrobiology

小林喬郎(福井大学)、大野宗祐、石丸亮(千葉工大惑星探査研)

Takao Kobayashi (Univ. of Fukui), Sohsuke Ohno, Ryo Ishimaru

(Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology,)

Abstract

Because terrestrial methane is produced predominantly by biological process, some visible evidence of life is expected to be found on Mars. In the Japan Astrobiology Mars Project (JAMP), a methane laser radar is proposed and studied for remote sensing of spatial distribution of methane concentration installed in the Mars lander or rover. Design concept of extremely high sensitive, compact and low power system technology is introduced.

1. はじめに

火星の探査として欧米では NASA の Viking 探査機(1976)に始まり、衛星や地表面での移動観測(1990-2010)などにより、過去には大量の水が存在し、温暖な気候が保たれていたことが判明している。すなわち、火星は生命の生まれた頃の地球の環境と類似しており、地球の生命がどこから来てどのような位置づけを持つかという究極的な疑問の解明に火星は最も重要な研究対象と考えられる。さらに最近の NASA の MSL(Mars Science Laboratory Mission, 2011-12)¹⁾では有機質と生体関連物質、メタンなどの生命体の探査機が投入されている。また、日本でも火星生命探査プロジェクト JAMP(Japan Astrobiology Mars Project)が約 10 年後の打ち上げに向けて準備が進められており、メタンレーザーレーダを中心とした概要を紹介する。

2. プロジェクトの目的とメタン測定法

JAMP プロジェクトでは蛍光顕微鏡、アミノ酸分析、メタン測定装置の 3 種の機器を用いて、火星表面メタンと酸化鉄を利用して生育する微生物を探査して生命の存在と地球型生命との関係を判定することを目指している。そのためメタン分子を火星大気で 10ppb の精度での広域測定が必要である。その条件を満たす遠隔測定器として吸収型レーザーレーダセンサについて検討を行っている。

Fig.1 に火星面におけるメタン密度の遠隔測定法の概念図を示す。この着陸機(Lander)と移動

観測機(Rover)は MELOS(Mars Exploration with Lander-Orbiter Synergy)システムの一部を構成している。メタンレーザーレーダではビームの走査によって密度の広域分布が得られるため、プルームなどの噴出箇所の探索が可能となる。また、気象観測オービターとの協同による立体観測の可能性も期待される。

また、Fig.2 に岩石や地面の砂等を反射体として利用するメタンの長光路吸収レーザーレーダの測定概念を示す。

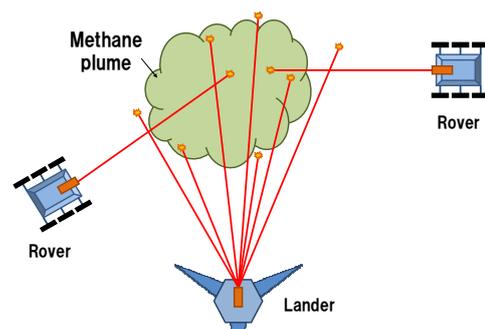


Fig.1 Schematic of the Mars methane laser radar sensing method

3. 超高感度システムの検討

長光路吸収レーザーは既に地上のメタン測定用として開発されており²⁾、ビーム走査による画像計測技術も進められている^{2,3)}。それに対して火星大気のメタンセンサの条件は、①相対密度 10ppb は地球大気の 2ppm に対して密度が 5×10^{-5} も低いため、センサの超高感度化が必須課題となる。また、②H₂O 密度とその同位体比 ¹³C/¹²C の測定がそれらの起源の同定に重要で、さらに③サイズ 10cm 立方以下、④消費電力 30W 以下、⑤重量 1.2kg 以下など、小型・高効率化が要請されている。

そこで、小型 CW レーザを利用して波長可変かつ変調を加えた PSD 位相同期による直接検波検出法を用いたセンサ構成を検討した。それと類似方式の小型メタンセンサの例があり⁴⁾、検出感度は濃度・光路積(または柱密度)が 10ppm・m で、約 30m の距離の反射体での測定が可能となっている。そこで、その受光面積を 50cm²、レーザ出力を 1W、測定時間を 1s に増大することによって 4 桁の感度向上が得られ、距離 1km の反射波が高感度で測定可能となる。さらに、火星大気では吸収断面積のスペクトル幅がほぼドップラー広がりにより 300MHz(0.01cm⁻¹)と狭くなるため高スペクトル分光によって地上の圧力広がりによる断面積より約 1 桁の増大が可能である。その結果として濃度・光路積 10ppb・km の条件が達成できる。さらに、小型・高出力の波長可変レーザ光源として次の 2 方式について比較検討している。

(1) 1.65 μm 帯光源

この波長帯は光源として InGaAsP/InP 組成の光通信用 LD が実用化されており、波長変調と約 10nm の波長可変が可能となっている。さらに出力を 1W レベルに増大するための増幅器として現状ではファイバレーザやファイバラマンレーザ等が利用できる。

(2) 3.3 μm 帯光源

メタンの 3.3 μm 帯 (ν_3 バンド) は 1.65 μm 帯に対して吸収断面積がほぼ 2 桁大きいため、高感度化に最適である。光源としては 1.03 μm の Yb ファイバレーザ励起の PPLN 結晶での OPO (光パラメトリック発振器) が有望であり、外部から注入光により狭帯域化が可能である³⁾。出力 1W の高出力化には導波路型やファイバ型構造結晶の利用が必要となる。

4. まとめ

火星生命探査のためのメタンレーザレーダについて、動作原理と超高感度化や小型化のための装置の構成等についての検討を示した。直近の NASA の MSL 観測プロジェクトの成果を基にさらに 10 年後の新展開の検討が加えられるなど将来の高度な宇宙探査に向けてレーザレーダ技術の発展が期待されている。また、これらの技術は近未来地球での地震予知や産業防災、資源探査などの緊急課題への対応にも活用される。

参考文献

- 1) C.R. Weber, P.R. Mahaffy; Planetary and Space Science, **59**, pp.271-283 (2011).
- 2) 小林喬郎、杉本伸夫、久世宏明; レーザー研究、**33**,5, pp.295-299 (2005).
- 3) M. Imaki, T. Kobayashi; Optics Letter, **32**, pp.13-15 (2007).
- 4) 井関孝弥、田井秀男; レーザー研究、**29**,3, pp.142-146 (2001).

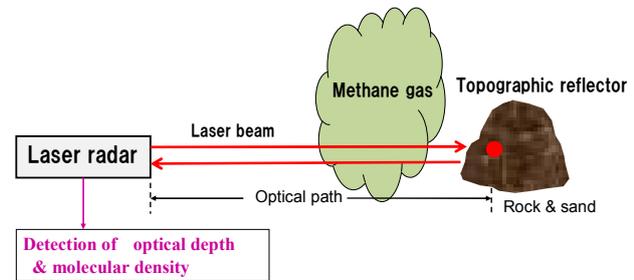


Fig.2 Concept of the long-path absorption laser radar for methane sensing