

# **SO<sub>2</sub> and vertical profiles of the molecular gas in the upper atmosphere on Mars**

中川広務(1), 笠羽康正(1), 橋本明(1),

前澤裕之(2), 水野亮(2), 岡野章一(1)

(1) 東北大学, (2) 名古屋大学 大気圏シンポジウム, 相模原, 2008/02

## **1.1 背景**

本観測グループは、惑星大気、特にその進化の観測的理解を目標に研究を進めている。中でも「地球と異なり生命を生み育てる環境が成立しなかった」地球の兄弟惑星は重要である。例えば、火星はこれまでの外国探査機（主に米国）によって過去温暖湿潤であったことが示唆されている。現在の「寒冷乾燥」な環境へと変貌した経緯・機構はどのようなものであろうか。

この問題を巡り、特に上層大気の宇宙空間流出を介した大気進化の解明を目指した日本初の惑星探査機「のぞみ」(1998~2003)は、残念ながら火星周回観測を実現できなかった。しかしその科学目的はまだ達成されておらず、米国中心の表面探査が進む中でその意義は高まっている。現在、今年度から開発スタートした小型惑星望遠鏡衛星「TOPS」、金星探査計画「Planet-C」の発展という側面も含め検討されつつある次期火星探査計画「のぞみ 2」、海外探査機計画への参加・協力を通して、今後 10 年間をカバーする日本独自の「火星飛翔体観測プログラム」を練りつつある。

本観測グループは、この延長上でのサブミリ波による地球型惑星大気観測を提案する。地上電波観測の「高分散能力」と「長期観測能力」は、周回探査機ではできない 1) 同位体比率、2) 高度分布、3) 微量大気成分量の短中長期変遷を追うことが可能である。赤外域観測との関係も深いサブミリ波観測の手法を確立し、中長期モニターおよび将来干渉計観測につなげたい。

## **1.2 同位体比および高精度高度分布**

**<sup>12</sup>CO, <sup>13</sup>CO [345.7960GHz, 330.5880GHz]**

宇宙空間流出の火星大気進化への影響度解明には、H、C、O (すなわち CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O…)等の高度分布とその変動を高精度で知る必要がある。また、同位体比は、過去から現在に至る火星大気の様々なプロセスを示唆する。今回は **CO の高度分布/同位体比**に狙いを絞る。C 同位体比は「生命活動」「熱水活動」「炭酸塩の形成」にそれぞれ制約を与える。高分散スペクトルを取得することにより、宇宙空間散逸につながる高高度域での CO 高度分布・変動および <sup>12</sup>C/<sup>13</sup>C

同位体比の高精度導出を目指した観測手法の確立を行う。まず地球大気の影響も避けるよう留意し  $^{13}\text{CO}$  の検出を試みる。ついで、128MHz・512MHz 双方で  $^{12}\text{CO}$ ・ $^{13}\text{CO}$  を観測し、broad 成分(512MHz)と narrow 成分(128MHz)のスペクトルを繋ぎ合わせることで精度のよい物理量導出方法を確立する。

### 1.3 未検出微量成分

#### **$\text{SO}, \text{SO}_2$ [346.5285GHz, 346.5239GHz]**

火星における生命探索は、惑星環境の進化過程および生命一般の発生プロセスの探索のうえで非常に重要である。火星では、最近の赤外光学観測によりメタンの存在が明らかになり [cf. Krasnopolsky et al., 2004]、最近の火星において熱水活動や火山活動がみつかっていないことから生命活動起源であるとの説がある[cf. Christensen et al., 2003]。しかし、火山・熱水活動の現況を知るにたる微量成分検出は未だなされていない。火山性であることが予想される  $\text{SO}, \text{SO}_2$  の検出と時間変動のトレースは、この問題により制約を与えることができる。本観測では十分な積分時間を確保して「 $\text{SO} \cdot \text{SO}_2$ 」の検出およびその時間変動トレースを行い、火星の「現在の」火山性活動に対する検証を行い、地下内部からの微量ガス浸出に対して制約を与えることを試みる。

## 2.1 ASTE (Atacama Submillimeter Telescope Experiment)

Atacama Submillimeter Telescope Experiment (ASTE) は、国立天文台および大学連合(東京大学、チリ大学、名古屋大学、大阪府立大学、茨城大学、神戸大学ほか)の協力により、南米チリのアタカマ砂漠において推進されているサブミリ波の地上観測プロジェクト。口径 10m の高精度(主鏡面精度  $19\mu\text{m rms}$ )サブミリ波アンテナ、SIS ミキサー受信機、IF 伝送システム、デジタル分光計、連続波バックエンド、観測制御計算機群、発電機や遠隔通信システム、コンテナハウス+各種空調設備などのインフラからなる。

座標：西経 67d42m11s, 南緯 22d58m18s

標高：4,800 m

## 2.2 装置概要

## 2.2.1 アンテナ

口径	10 m
ビームサイズ	22 秒角 (FWHM) (350 GHz)
主ビーム能率	約 50 – 60 %
ポインティング観測	2 時間に 1 度程度

## 2.2.2 受信機

発振可能局部発信器(LO)	330 GHz – 360 GHz
周波数範囲	
IF 周波数	4.0 – 8.0 GHz
サイドバンド分離(2SB)受信機	LSB 側と USB 側の信号を分離して 2 本の IF 信号を出力
受信機雑音温度	140 K (SSB 換算) 程度 (LO 周波数 339GHz 付近)
期待される雑音温度	300 – 400 K (良観測条件), 600 – 800 K (平均観測条件)
観測可能周波数範囲	324 GHz – 366 GHz
(LO 周波数範囲±IF 中心周波数)	
チューニング	観測開始時、観測周波数の変更時 (約 10 分)

## 2.2.3 強度較正

チョッパー・ホイール法	最低 1 日 1 回、2 – 3 時間に 1 回
-------------	--------------------------

## 2.2.4 分光計

### XF 自己相関型デジタル分光計 (略称: MAC)

帯域	チャンネル数	周波数分解能	速度分解能	速度帯域幅
512 MHz	1024	0.5 MHz	0.43 km/s	445 km/s
128 MHz	1024	0.125 MHz	0.11 km/s	111 km/s

### F-FX 相関型デジタル分光計 (略称: WHSF)

帯域	チャンネル数	周波数分解能	速度分解能	速度帯域幅
4096 MHz	2048	2 MHz	1.7 km/s	3560 km/s
2048 MHz	2048	1 MHz	0.86 km/s	1780 km/s
64 MHz	2048	31.25 kHz	0.027 km/s	56 km/s
32 MHz	2048	15.625 kHz	0.013 km/s	28 km/s

\* バンド幅 4096 MHz の場合、入力 IF 数は最大 2.

\* バンド幅 2048 MHz の場合、入力 IF 数は最大 4.

\* 窓関数をかける必要があるため、実効的な速度分解能は表の数値の 2 倍.

### 3.1 観測結果

2007 年 12 月 25 日から 26 日にかけて 2 日間、1 日当たり 5 時間 (UT 0 - 5)、国立天文台三鷹にて ASTE による火星観測を実施した。このとき、火星は地球からみて直径 10 秒角程度で、ビーム幅よりも小さいため、本観測では火星全球平均の観測となった。観測積分時間を以下に示す。

対象	周波数	観測積分時間
12CO	345.7960 GHz	39:56
13CO	330.5880 GHz	34:53
SO	346.5285 GHz	3:40:31
SO2	346.5239 GHz	3:40:31

観測 QL 時に取得可能な簡易マージデータから作成された観測スペクトルを図 1~4 に示す。図 1 が火星 12CO の観測スペクトル、図 2 が火星 13CO の観測スペクトルである。12CO に関しては積分時間が少ないながらも、シャープな吸収プロファイルを得ることができた。一方、13CO に関しては、不運にも長時間積分前に故障により中絶しなければならず、十分な S/N の吸収プロファイルを得ることができなかつた。今回が ASTE での初挑戦となった。SO,SO2 に関しては、3 時間 40 分程度の積分時間を確保することができたが、SO,SO2 ともに吸収ラインを検出することはできなかつた。参考のため標準星で検出された SO,SO2 吸収ラインを図 4 に掲載する。先行研究に関して、Encrenaz et al. [2004]はミリ波観測から SO2 の混合比を  $3 \times 10^{-8}$  と見積もっており、Krasnopolsky et al. [2005]は赤外光観測から 1ppm 以下であるという上限値を与えている。我々は新たな上限値を決定し、現況の火星火山活動の新たな制約条件としたい。

### まとめ

本研究では、火星 C 同位体比およびその高度分布、火山性ガス SO2 の上限値を抑えるため、ASTE サブミリ波望遠鏡による火星観測を実施した。12CO, 13CO の高分散スペクトルを取得し、宇宙空間への散逸につながる高高度域での高度分布・変動を得る観測・解析手法の確立を目指す。SO ならびに SO2 は本観測では検出されず、新たな上限値の設定を目指す。

## 参考文献

Christensen, P. R., et al., Morphology and Composition of the Surface of Mars: Mars Odyssey THEMIS Results, *Science*, 300, 2056, 2003.

Encrenaz, Th., et al., Detectability of minor constituents in the martian atmosphere infrared and submillimeter spectroscopy, *Planetary and Space Science*, 52, 1023, 2004.

Krasnopolsky, V. A., et al., Detection of methane in the martian atmosphere: evidence for life ?, *Icarus*, 172, 537, 2004.

Krasnopolsky, V. A., et al., A sensitive search for SO<sub>2</sub> in the martian atmosphere: Implications for seepage and origin of methane, *Icarus*, 178, 487, 2005.

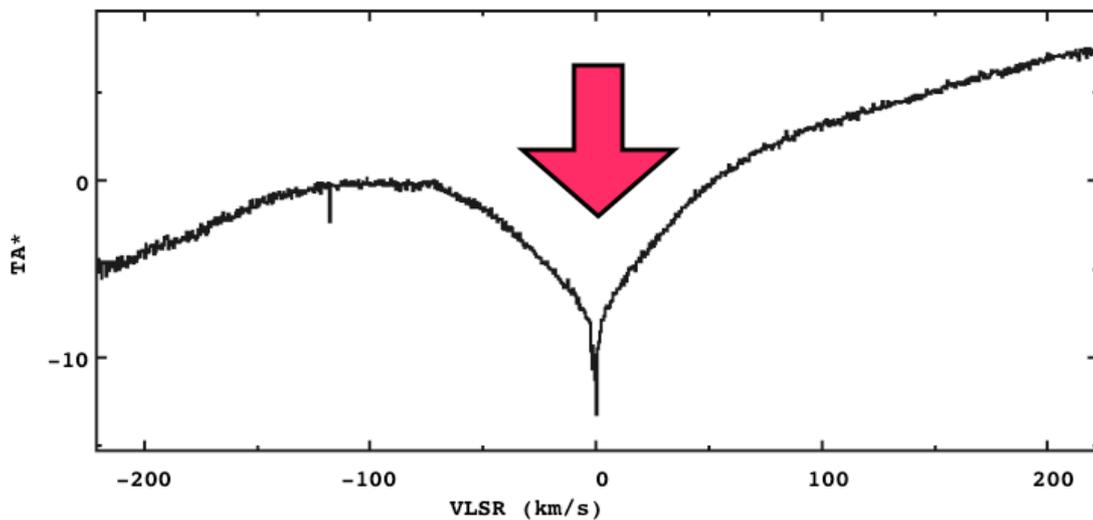


図1. 観測された火星 12CO スペクトル (積分時間 9 分の簡易データより作成)。

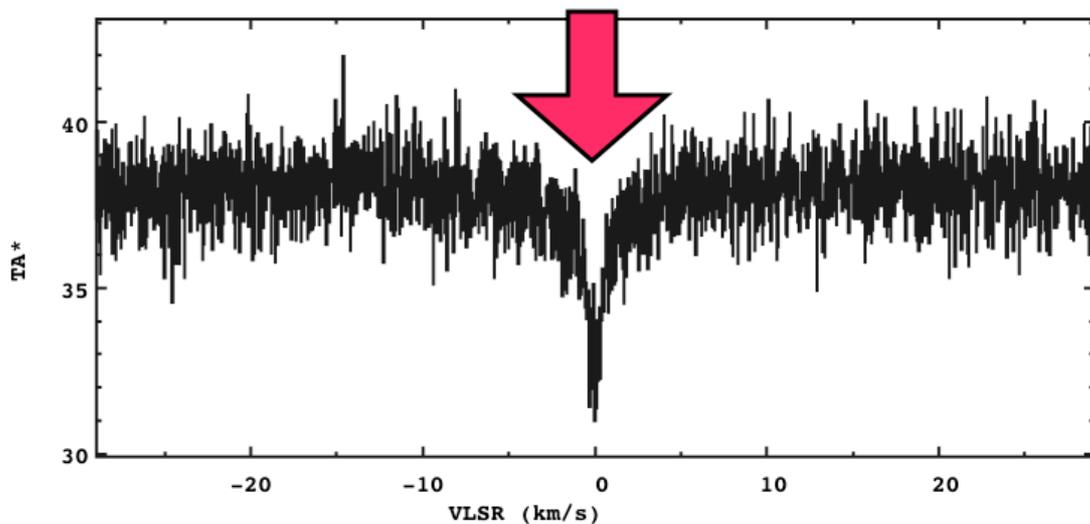


図2. 観測された火星 13CO スペクトル (積分時間 9 分 36 秒の簡易データより作成)。

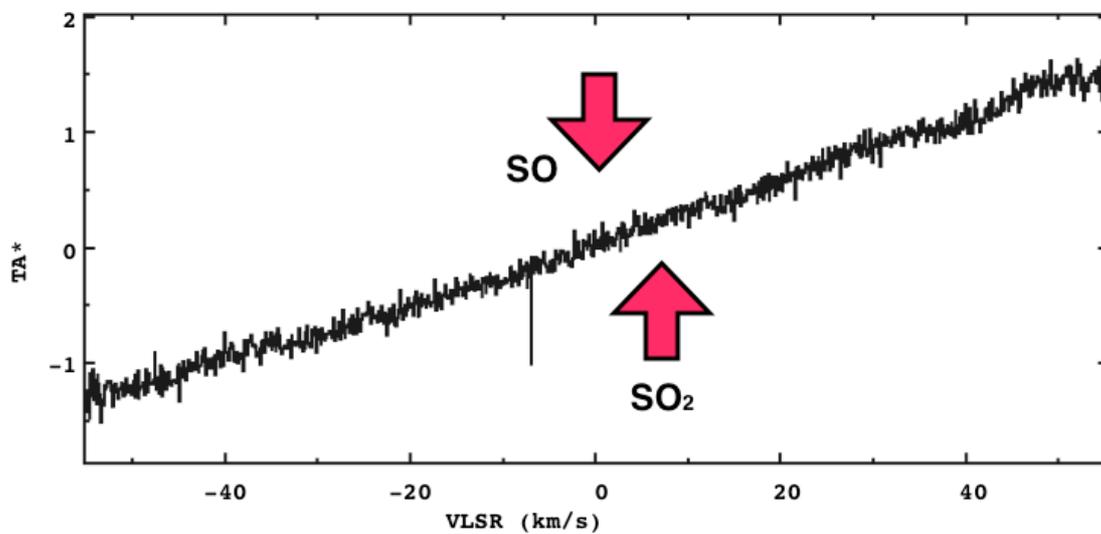


図3. SO,SO<sub>2</sub> 吸収ライン位置での火星スペクトルデータ  
(積分時間 18 分 36 秒の簡易データより作成)。

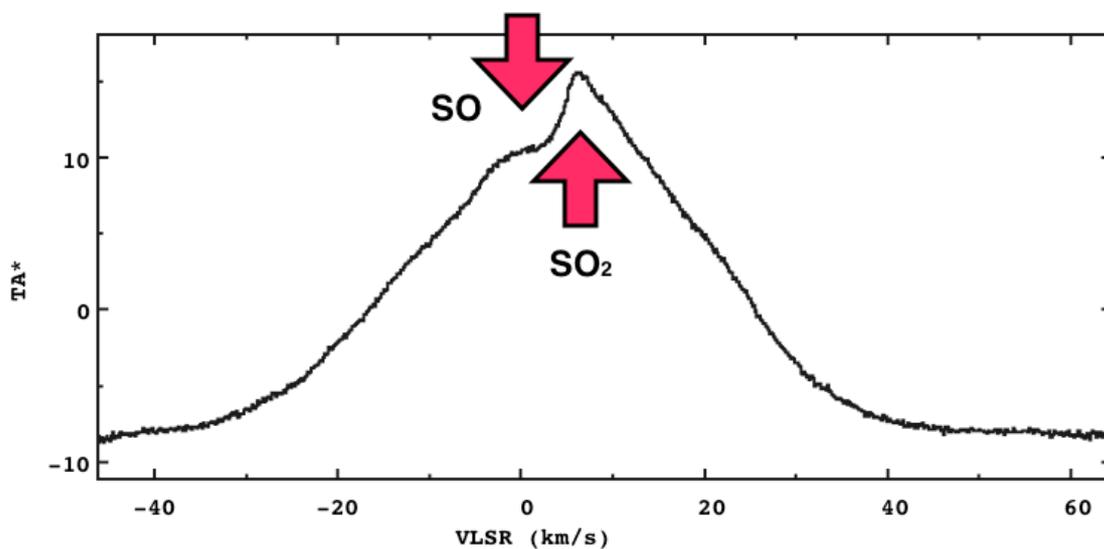


図4. 観測された標準星 (OriKL) SO,SO<sub>2</sub> スペクトル (積分時間 4 分 36 秒の簡易データより作成)。