

# Combined Analysis of Hydrogen and Oxygen 102.6 nm Emission at Mars

第84回火星勉強会、EMM特集号論文紹介、東北大学中川広務

## Special Section:

The First Results from the Emirates Mars Mission (EMM)

## Key Points:

- We present the first observations of 102.6 nm emission at Mars that reveal the independent contributions of hydrogen and oxygen
- We successfully reproduce the coronal emission with the first model to include the complete O 102.6 nm system
- Reproduction of observed disk O 102.6 nm emission will require incorporating additional physics into the model

## Correspondence to:

M. S. Chaffin,  
[michael.chaffin@colorado.edu](mailto:michael.chaffin@colorado.edu)

## Citation:

Michael S. Chaffin<sup>1</sup> , Justin Deighan<sup>1</sup> , Sonal Jain<sup>1</sup> , Greg Holsclaw<sup>1</sup> , Hoor AlMazmi<sup>2</sup> , Krishnaprasad Chirakkil<sup>1,3</sup> , John Correia<sup>4</sup> , Scott England<sup>5</sup> , J. Scott Evans<sup>4</sup> , Matt Fillingim<sup>6</sup>, Rob Lillis<sup>6</sup>, Fatma Lootah<sup>7</sup>, Susarla Raghuram<sup>1,3</sup>, Frank Eparvier<sup>1</sup>, Ed Thiemann<sup>1</sup>, Shannon Curry<sup>6</sup>, and Hessa AlMatroushi<sup>7</sup>

<sup>1</sup>LASP, University of Colorado at Boulder, Boulder, CO, USA, <sup>2</sup>UAE Space Agency, Abu Dhabi, United Arab Emirates, <sup>3</sup>Space and Planetary Science Center, Khalifa University, Abu Dhabi, United Arab Emirates, <sup>4</sup>Computational Physics Inc, Springfield, VA, USA, <sup>5</sup>Aerospace and Ocean Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, USA, <sup>6</sup>Space Sciences Laboratory, University of California Berkeley, Berkeley, CA, USA, <sup>7</sup>Mohammed Bin Rashid Space Center, Al Khawanej, United Arab Emirates

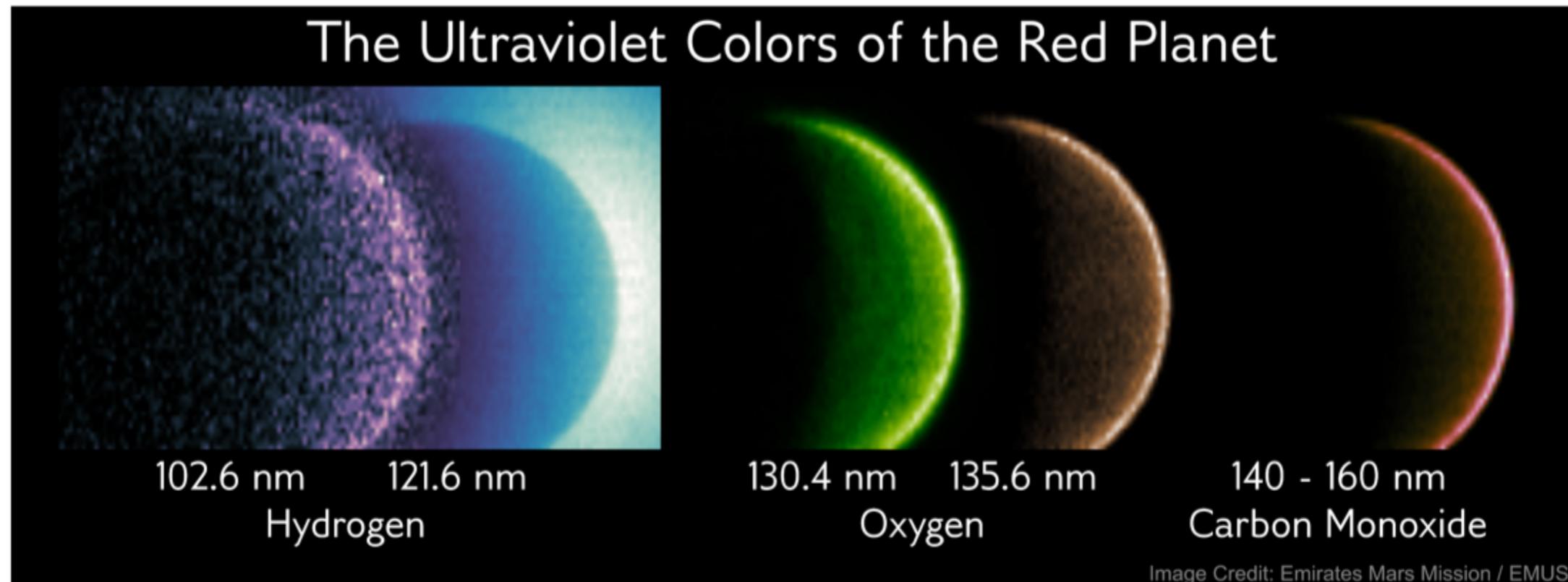
---

**Abstract** Water is lost from the Mars upper atmosphere to space as hydrogen and oxygen, both of which can be observed in scattered ultraviolet sunlight at 102.6 nm. We present Emirates Mars Mission Emirates Mars Ultraviolet Spectrometer (EMM/EMUS) insertion orbit observations of this airglow, resolving the independent altitude contributions of H and O for the first time. We present the first airglow modeling of the complete H and O 102.6 nm system and the first 3D azimuthally symmetric modeling of the O emission, retrieving temperatures and densities typical of northern spring. Our model reproduces the emission well above 200 km, but does not incorporate partial frequency redistribution needed to reproduce the observed O brightness at lower altitudes and on the disk. These results support future EMM/EMUS science orbit retrievals of H loss and the use of 102.6 nm observations to constrain planetary atmospheres across the solar system.

# 要旨

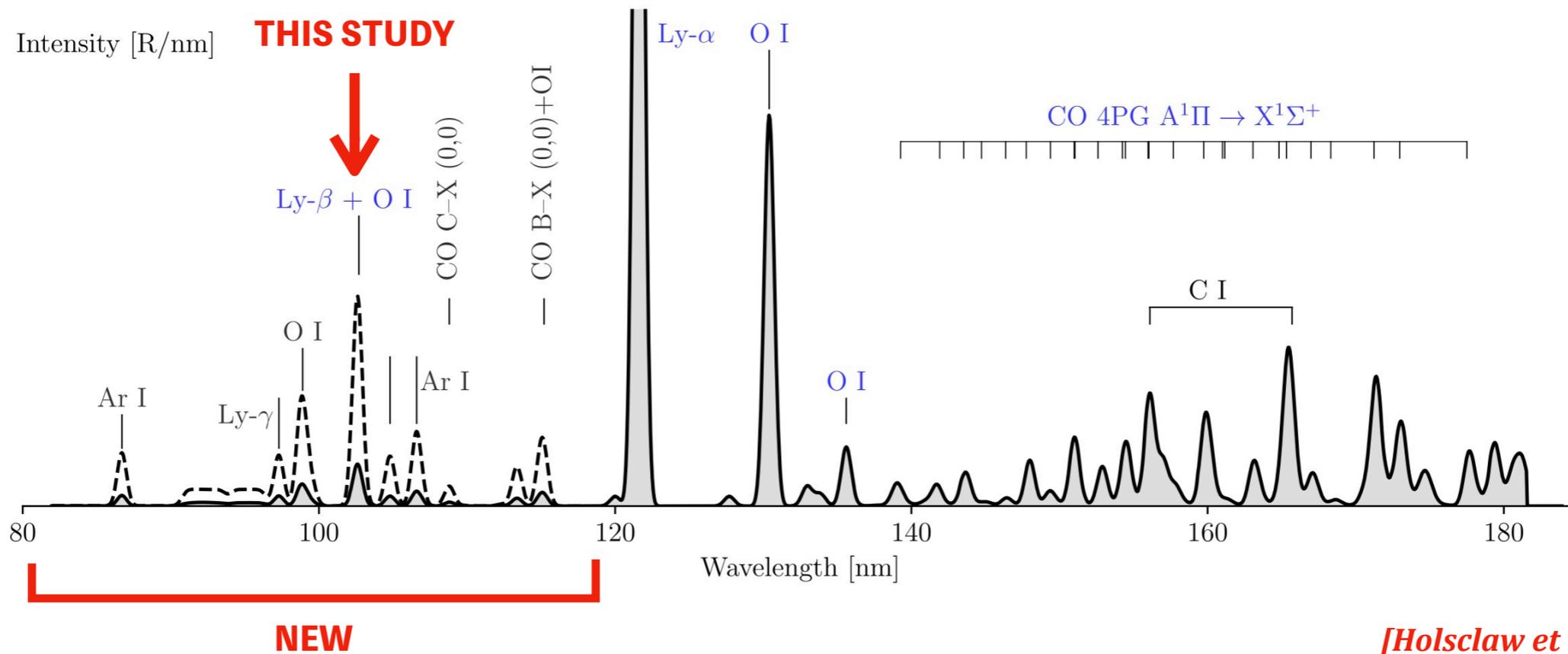
- EMM/EMUSにより 102.6 nmのHとOの発光ラインを初観測。
- そこからコロナの密度と温度を導出（Hの消失率が計算可能）
- 高度200 kmより高高度ではモデルは発光分布をよく再現
- 低高度のO発光分布を再現するにはモデル改良が必要

# なぜ102.6 nm?



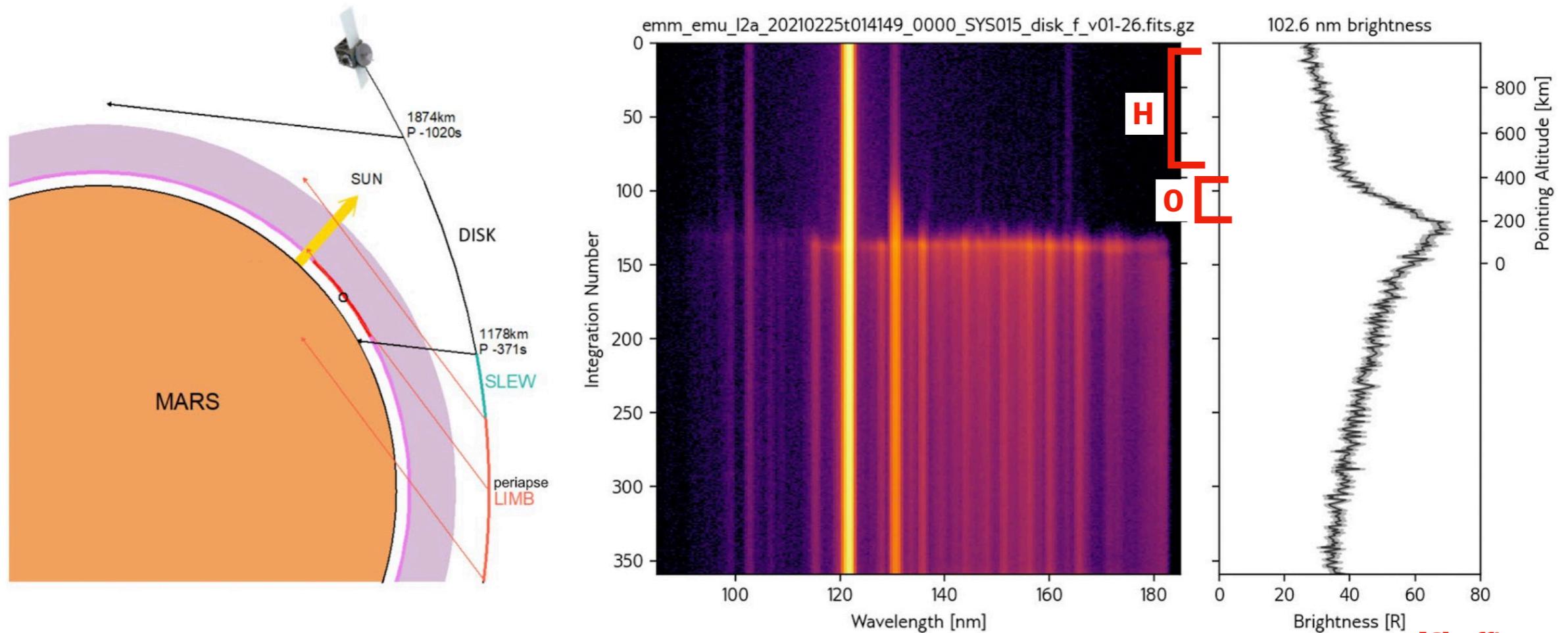
- H消失率の導出は火星大気進化の理解に重要
- 従来はHライマン $\alpha$ 発光(121.6 nm)からH消失率導出が一般的
- 多重散乱&光学的厚さにより消失率導出に不確定性がある
- ライマン $\beta$ (102.6 nm)は光学的厚さが小さくベター
- 観測例がそもそも稀有(Masunaga+20など)、発光分布を再現できるモデルが無い

# 火星探査機EMM搭載EMUS



- Hコロナの理解改善のため、ライマンβに感度を持つ (100-163 nm)
- ライマンαとライマンβを用いたHコロナ3次元構造の解明が目的
- そのためライマンβのHとO発光の寄与を分離することが必須(本論文)
- ノミナル観測は6火星半径から空間分解能125 km(0.36°)で観測(本論文は火星軌道投入時のリム観測を活用)

# 火星圏投入時のリム観測

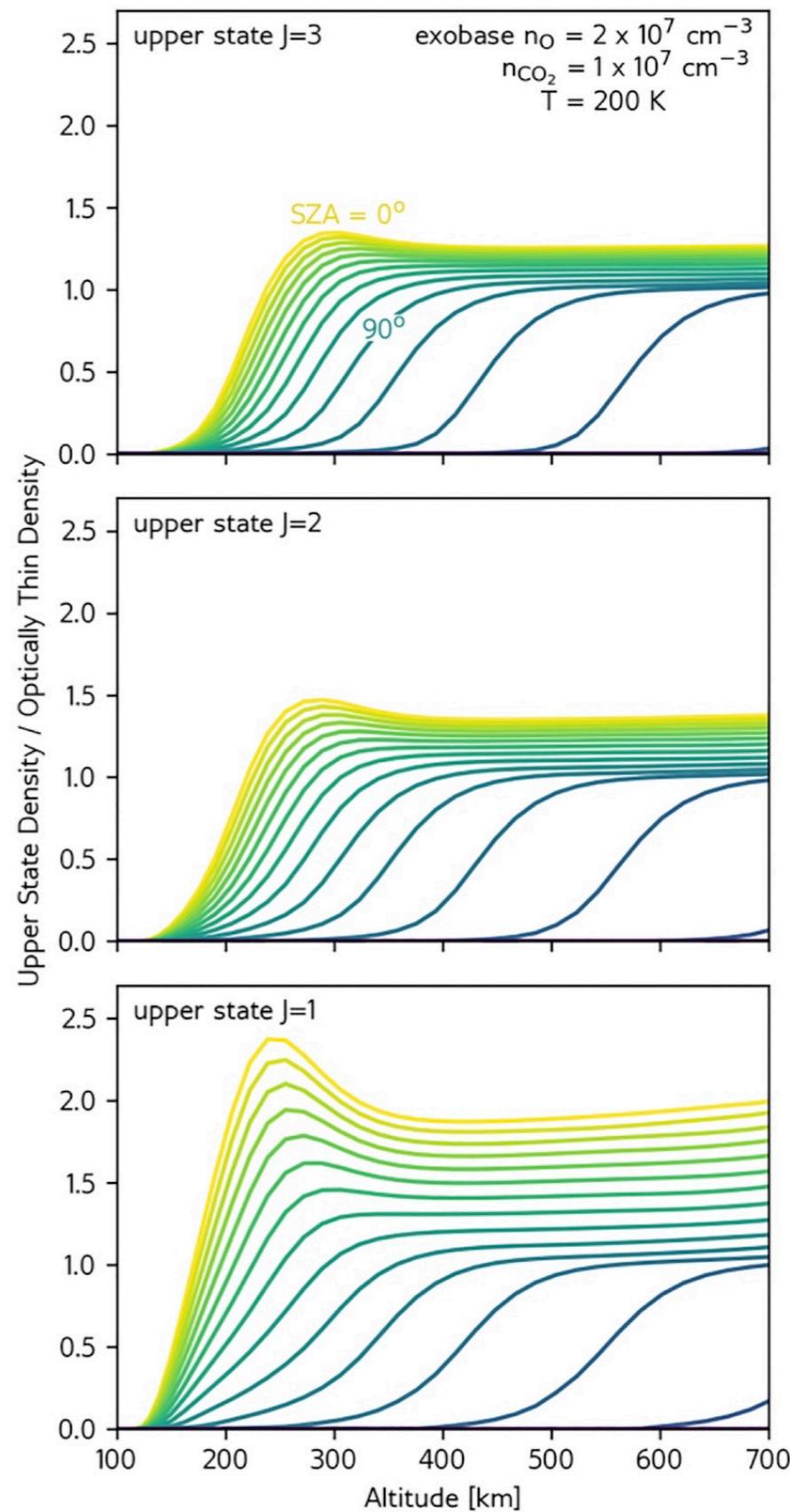
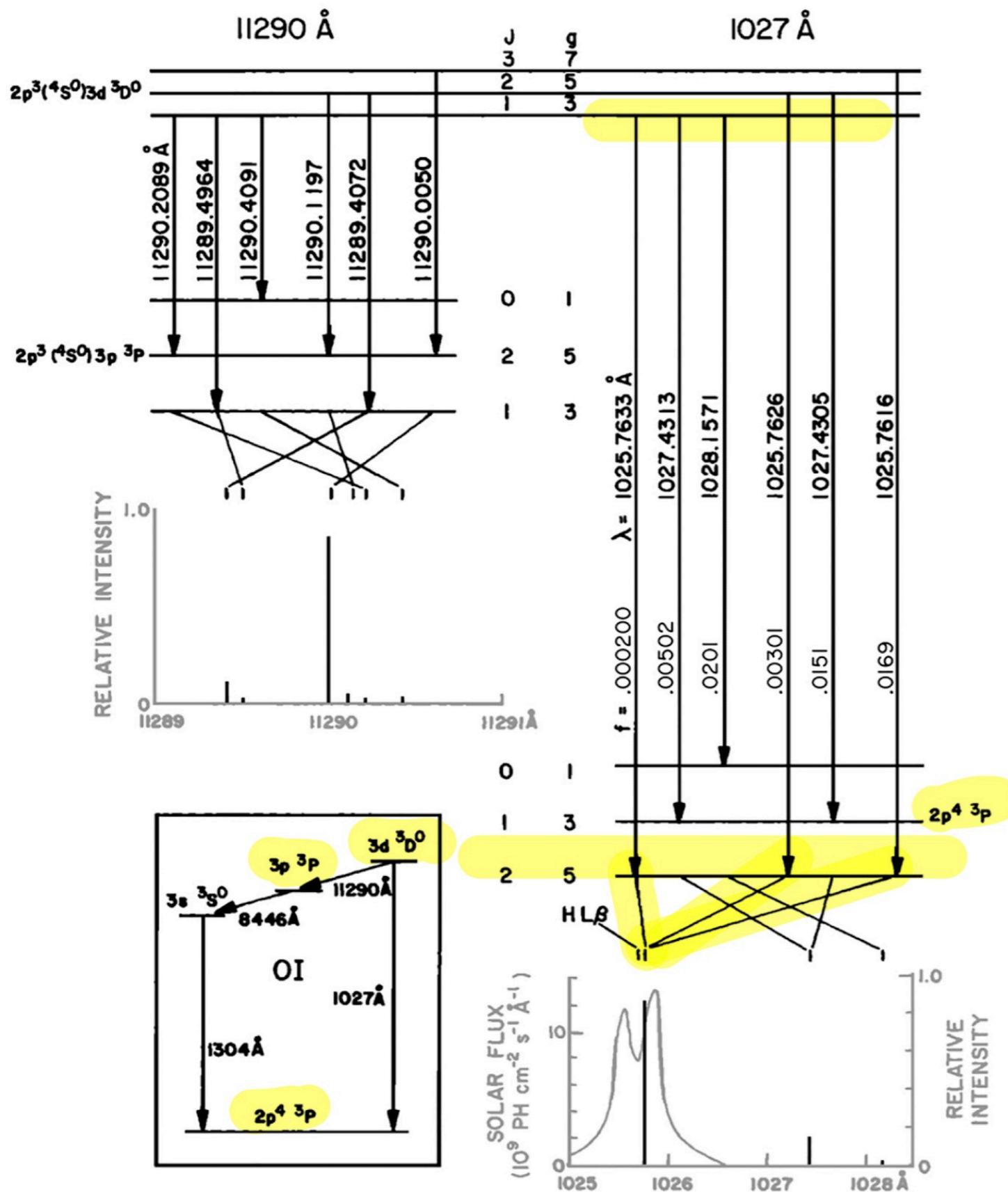


[Chaffin et al., 2021]

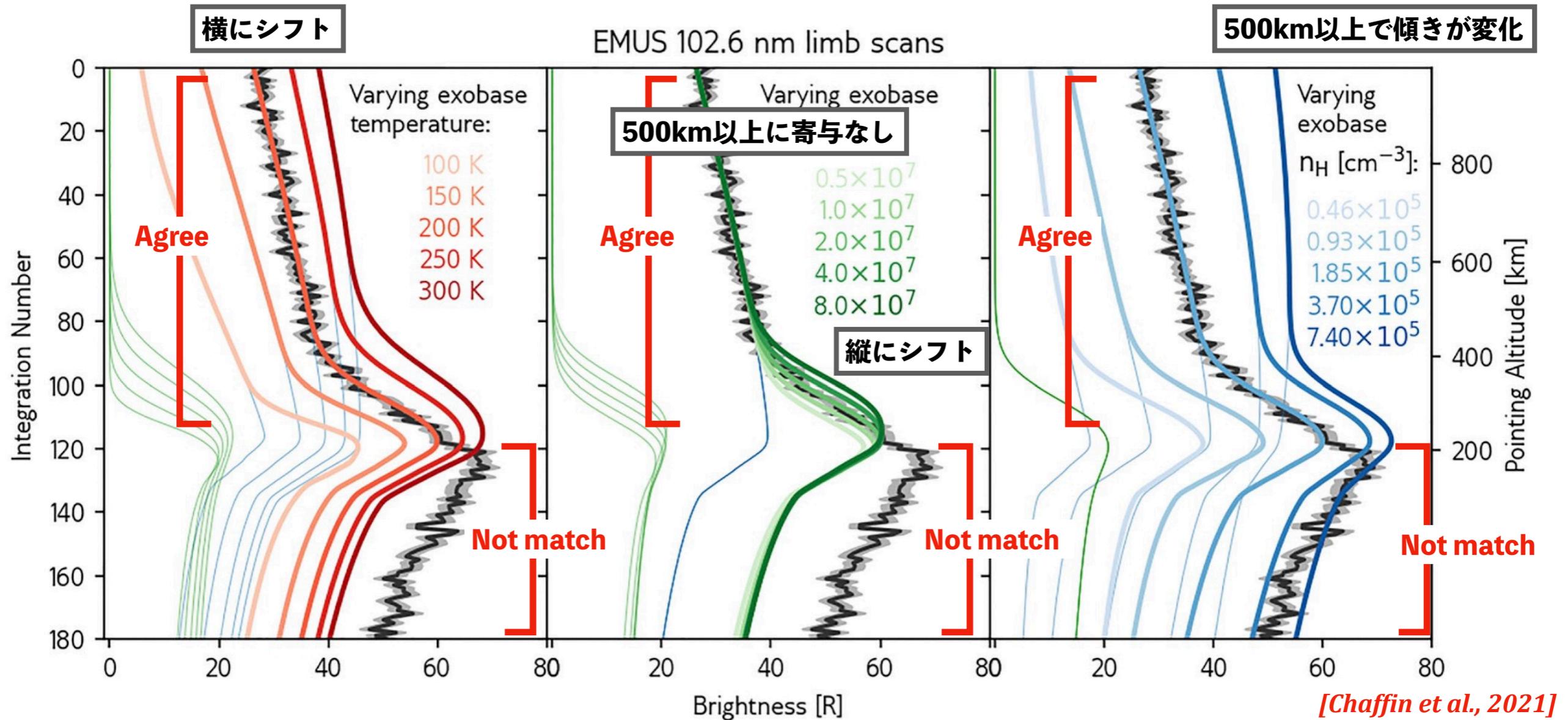
- 大気リム観測が可能。2021年2月25日～3月9日 (Ls~10°) 春分
- 101-104 nmを積分して102.6 nm発光強度を求める、4軌道足し合わせでプロファイルを導出 (上図)
- 高度400 km付近で傾きが変化。高高度はH、低高度は0の寄与

# コロナモデル

- Optically thin model;  $n_u = \pi F \sigma n_l / \Sigma A_{ul}$



# 観測データとモデルの比較



- 目視でベストフィット決定：400 km付近のスケールハイト遷移領域付近の再現性から外圏底温度200 K, H密度 $1.85 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ , O密度 $2 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ 。先行研究見積もりと合致。
- 高度200 km以下ではモデルは観測に合致せず：Doppler line profileの仮定が原因か（特に低高度 $\tau=1$ レベルより下で光学的に厚い領域でどう散乱・吸収するかの扱い+電子衝突励起の効果?）

# まとめ

- HとOが寄与する102.6 nmの発光を観測し、モデルで再現することに初めて成功した。
- モデル比較から北半球春分時の外圏底温度200 K、H密度 $1.85 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ 、O密度 $2 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ が求められた（先行研究と合致）。
- 高度300 km以下のO発光を再現するには至らず。発光ラインプロファイルの改善を要する。
- 最終ゴールは102.6 nm と121.6 nmのコロナ発光再現（そこからのH消失率導出）

# おまけ (CとHとOの消失率の推定)

Table 2

Summary of present-day loss rates and extrapolation through time. (References: L1992 = Luhmann et al. (1992); C2013 = Chassefiere et al. (2013); L2017 = Lillis et al. (2017).).

	H Jeans	O ion	O Dissoc Recomb	O sputtering	Total loss thru time
Present-day loss rate from MVN ( $s^{-1}$ )	$1.6-11 \times 10^{26}$	$5 \times 10^{24}$	$5 \times 10^{25}$	$3 \times 10^{24}$	
4.2 b.y. at present rate, $H_2O$	3.6-25.2 m	0.2 m	2.2 m	0.14 m	
4.2 b.y. at present rate, $CO_2$		6 mbar	68 mbar	4 mbar	

*[Jakosky et al., 2018]*

- **将来展望**：MMX搭載MSAは、その場観測では（消失後の宇宙空間で）初めてCとHとOを分離して観測することができる。
- **最新見積**：Jakosky+18は、Hは熱的散逸、Oは非熱的散逸を仮定してMAVENその場計測をもとに算出  
<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2018.05.030>
- 近年Lo et al., 2021(<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2021.114371>); 2022(<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2021.114664>)で、C消失の主要メカニズム非熱的散逸に注目。リモセンで。
- Gregory et al., JGR, 2023 (doi: 10.1029/2022JE007576)ではHの非熱的散逸に注目。時には全体の消失量の>50%を占めることも（ただし長期間の消失のうち~5%の寄与）