

(P29) 水星の外気圏分布と表面組成分布の相関関係

The relation between the surface composition anomaly and the distribution of the exosphere of Mercury

Y. Suzuki⁽¹⁾, K. Yoshioka⁽¹⁾, G. Murakami⁽²⁾, I. Yoshikawa⁽¹⁾

(1) Univ. of Tokyo (2) JAXA/ISAS

水星のように希薄な無衝突大気を持つ天体では、表面組成分布が外気圏の空間分布に反映されると予想される。本研究では、MESSENGER/MASCSの観測データの解析により、**水星の外気圏中のMg, Ca, Naの分布とこれらの表面分布の間の相関(ESC; Exosphere-Surface Correlation)**の有無を調べた。

結果、Mgは強いESC、Caは弱いESCが見られることが分かった。また、Naは高温領域でのみESCが見られた。外気圏中でのMg, Ca原子の軌道のモンテカルロシミュレーションを行うと、CaはMgに比べて太陽放射加速度が大きく反太陽方向へ輸送されやすいため、ESCが弱くなったと考えられる。Naの結果は、これまで外気圏モデルで頻繁に仮定されてきた二層モデルで説明できる。すなわち、高温領域では、熱脱離によって表面付近の弱く物理吸着されたNa原子（温度に依存した表面分布、脱離しやすい）が枯渇し、鉱物中に強く化学吸着されたNa原子（各地点の熱史等に依存した表面分布、脱離しにくい）の分布が外気圏に反映されると考えるとうまく結果を説明できる。

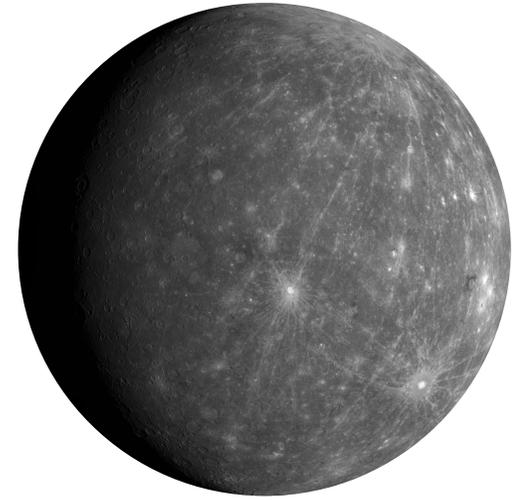
以上を基に考察すると、**希薄大気保持天体においてESCを持つ原子種の条件**として、

- ① 揮発性が低い
- ② 太陽放射加速を受けにくい
- ③ 光電離寿命が長い

が挙げられる。低温の天体ほどこれらの条件の達成が容易になるため、**低温の天体では非常に多くの原子種でESCが見られると予測される。**

1.1. 水星の大気

- **無衝突大気**とみなせる ($\sim 10^{-15}$ Pa)
周辺環境の変動が直接大気に反映される
 - H, He は太陽風によって大気に供給
他原子種は**水星表面からの脱離によって供給**
 - 公転の位相により大きく変動
遠日点距離が近日点距離の1.5倍
- > **表面組成が大気に直接反映**される？
- > 希薄大気保持天体の大気の遠隔観測から表面組成を推定できる？



主な原子種	柱密度 ($\times 10^6 / \text{cm}^2$)
Na	$\sim 200,000$
Mg	$\sim 100,000$
O	$< 40,000$
H	$\sim 5,000$
K	$\sim 1,000$
Ca	$< 1,000$
Al	~ 15

“Mercury Fact Sheet” by NASA.

希薄大気保持天体の表面組成分布と 大気分布の間の相関関係の理解

本研究では...

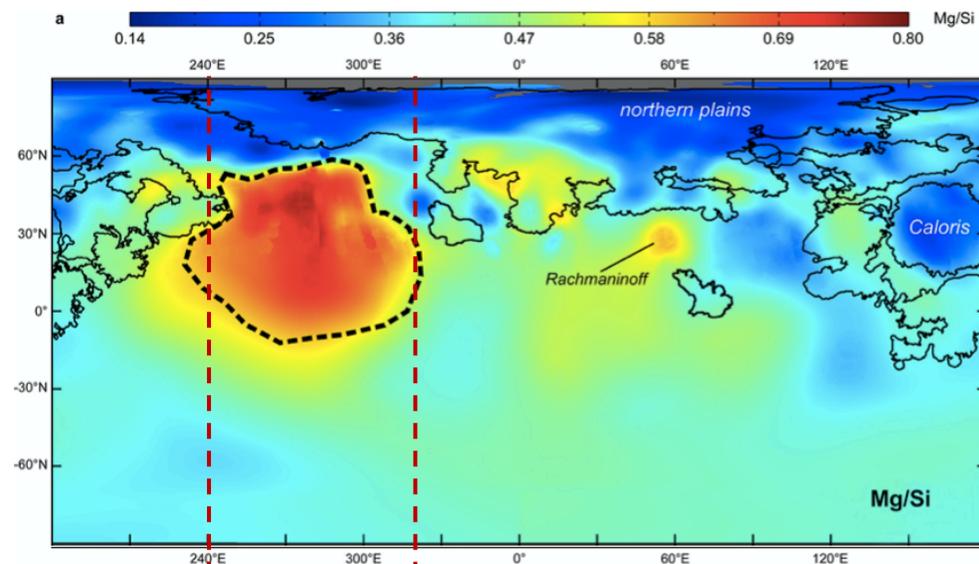
MESSENGER探査機による水星の Mg, Ca, Na の観測データを用いて
大気-表面分布の直接相関の有無を検証する

2. 先行研究

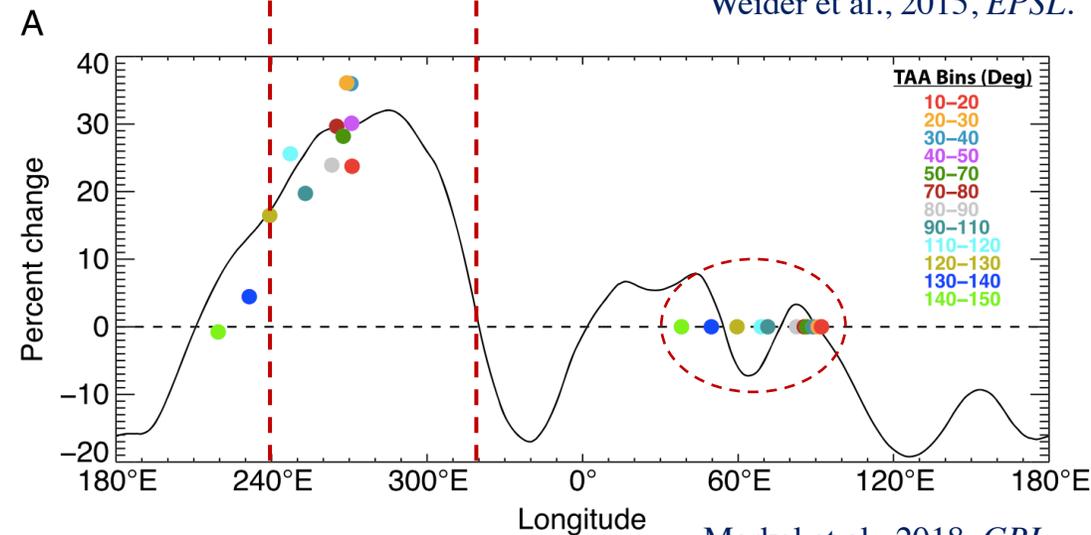
- 表面組成分布: MESSENGER/XRS
 - 280°E 付近に Mg が豊富に存在
 - 大気放出量: MESSENGER/MASCS
 - 280°E 付近で増大！
- > 大気-表面相関の初めての証拠！？

$$\text{e.g.) Percent change@280°E} = \frac{S @280°E}{S @100°E} \times 100\% - 100\%$$

S: Mg の放出率



Weider et al., 2015, *EPSL*.

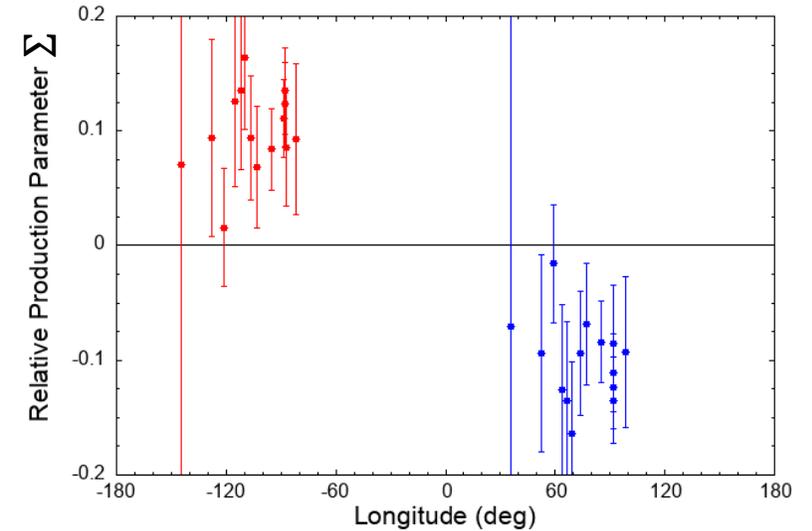
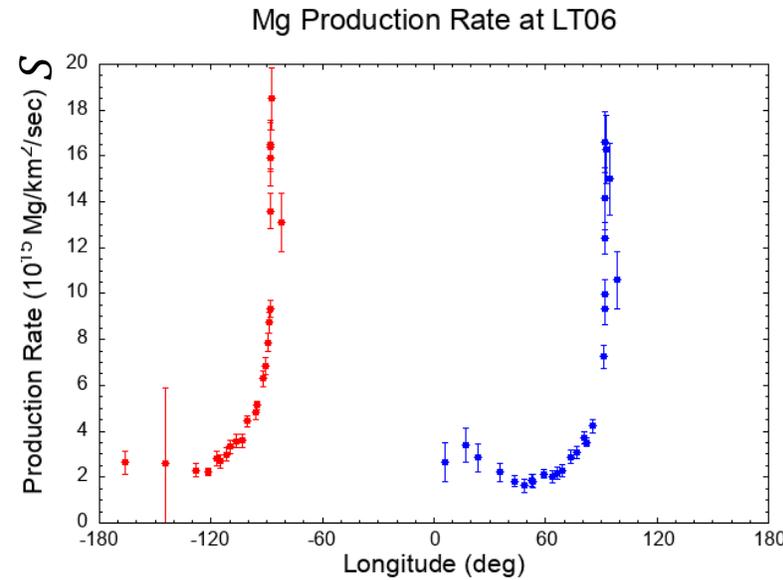
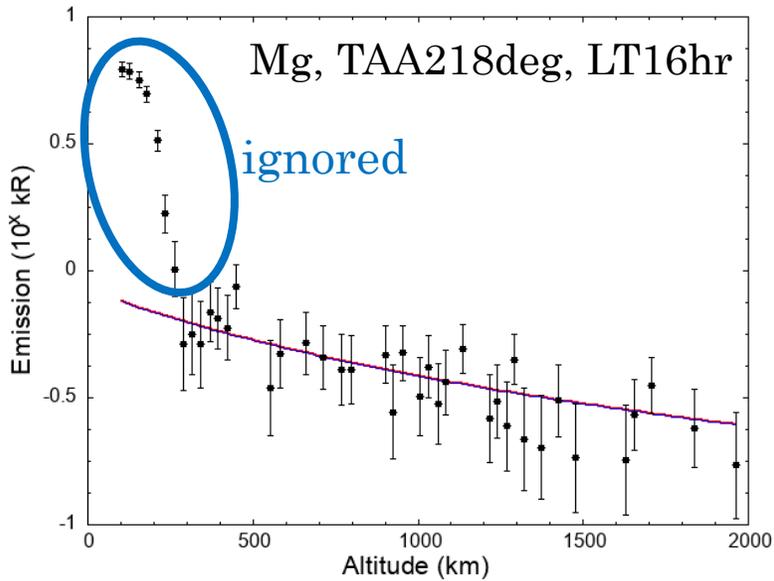


Merkel et al., 2018, *GRL*.

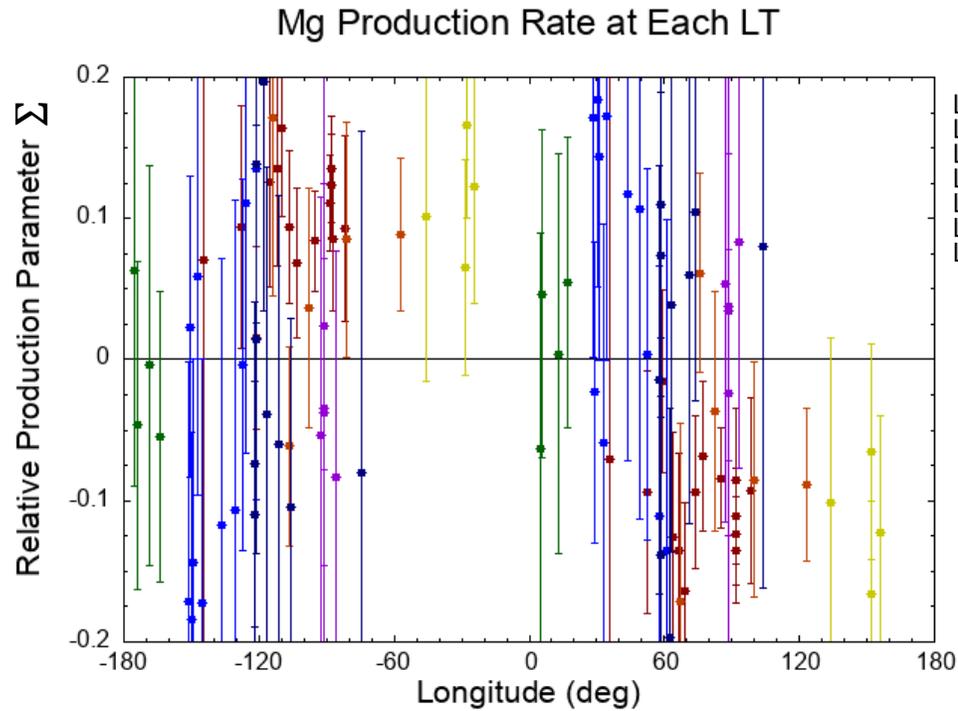
3. 解析

- 鉛直分布へのフィッティングにより大気放出率 S を求める
- 季節変動性の除去のため、**相対放出率 Σ** を定義

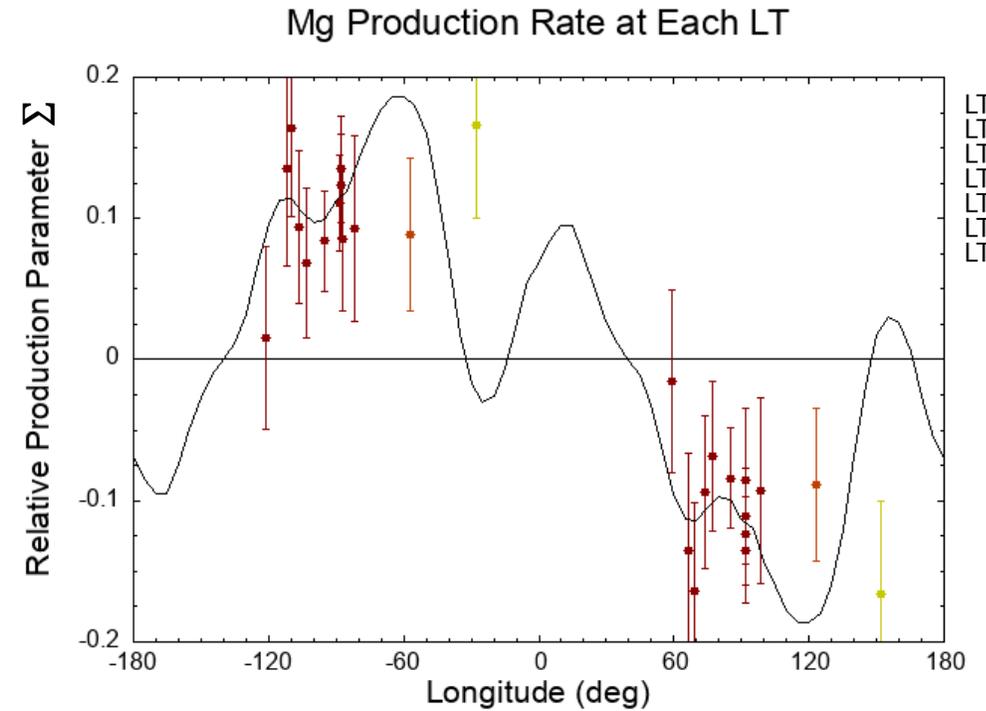
$$\Sigma(\phi) \equiv \log_{10} \left(\frac{S(\phi)}{S(\phi + \pi)} \right) \quad \phi: \text{経度}$$



4.1. 結果 & 議論 – Mg



誤差が大きい
ものを除去



- 相関係数: $r = 0.84$ (95%信頼区間: $0.66 < r < 0.92$)
-> 大気-表面相関がある！
- 解析手法は Merkel et al. (2018) と同様だが、相対放出率 Σ の導入により相関係数を用いた定量的議論が可能に

4.2. 結果 & 議論 – Ca

- 相関係数*: $r = 0.49$
(95%信頼区間: $0.22 < r < 0.68$)

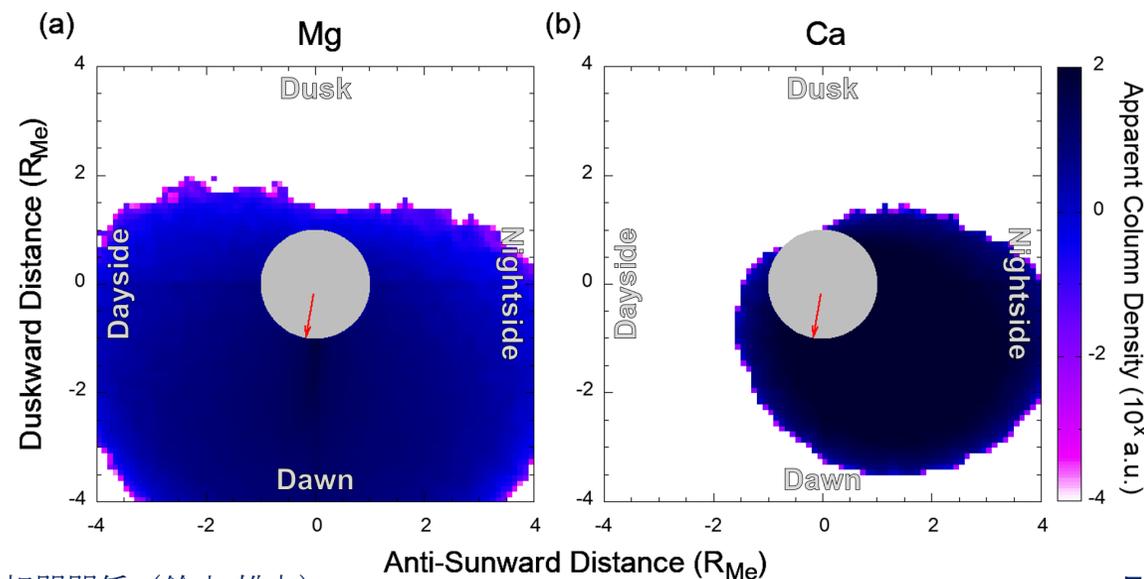
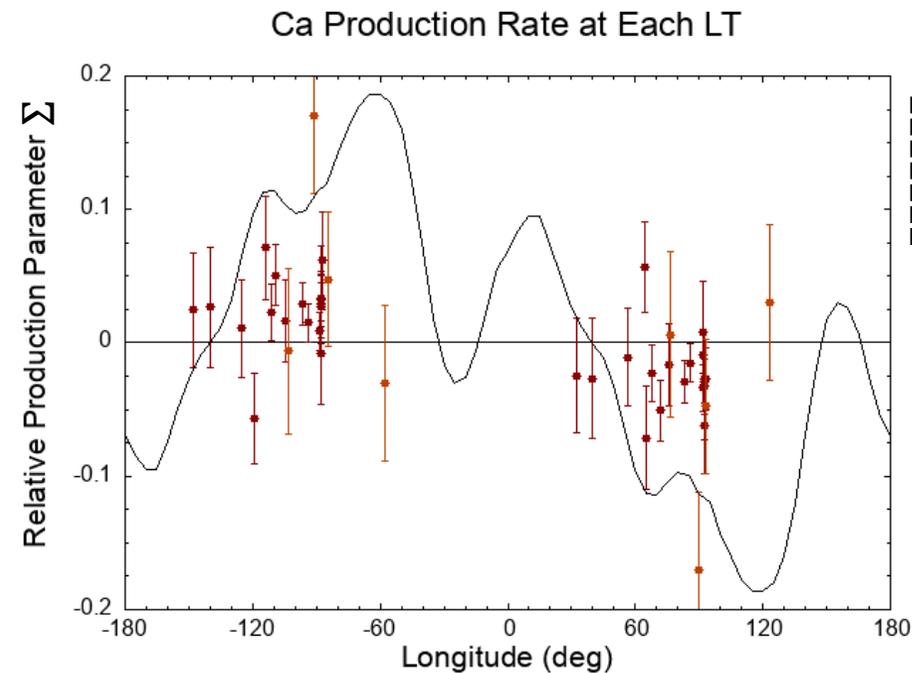
* Ca表面分布の代わりにMg表面分布を使用

- 太陽放射加速により反太陽方向に流されるため、相関が小さい？

- Mg: $b < 5 \times 10^{-5} \text{ km/s}^2$

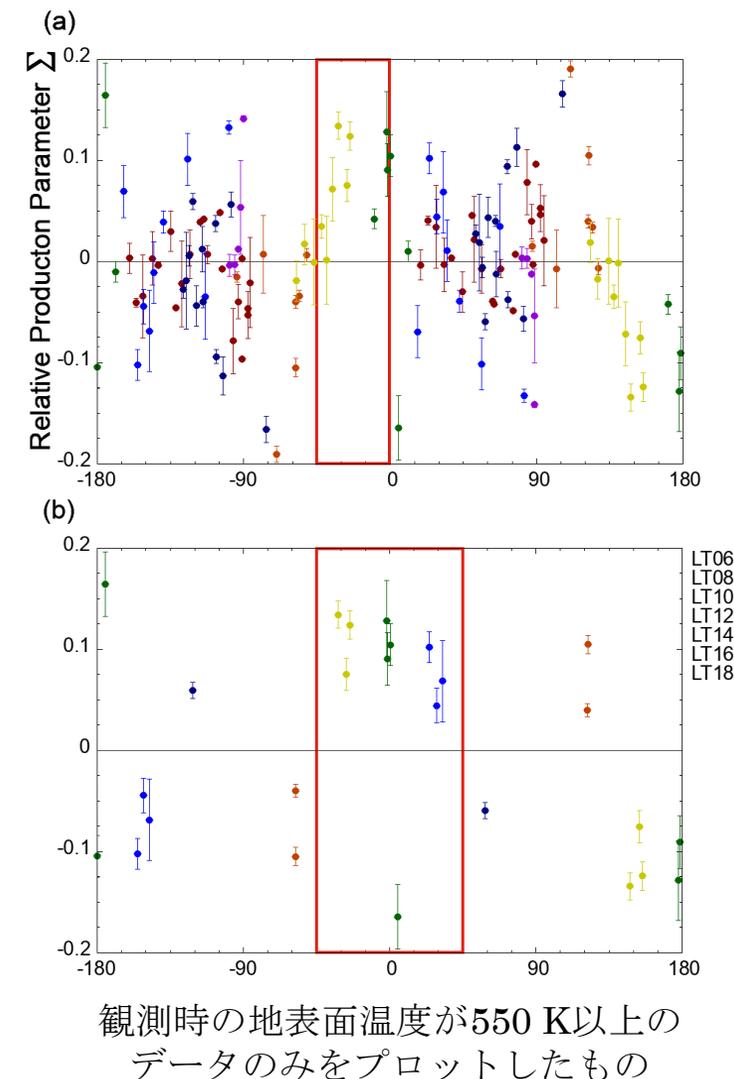
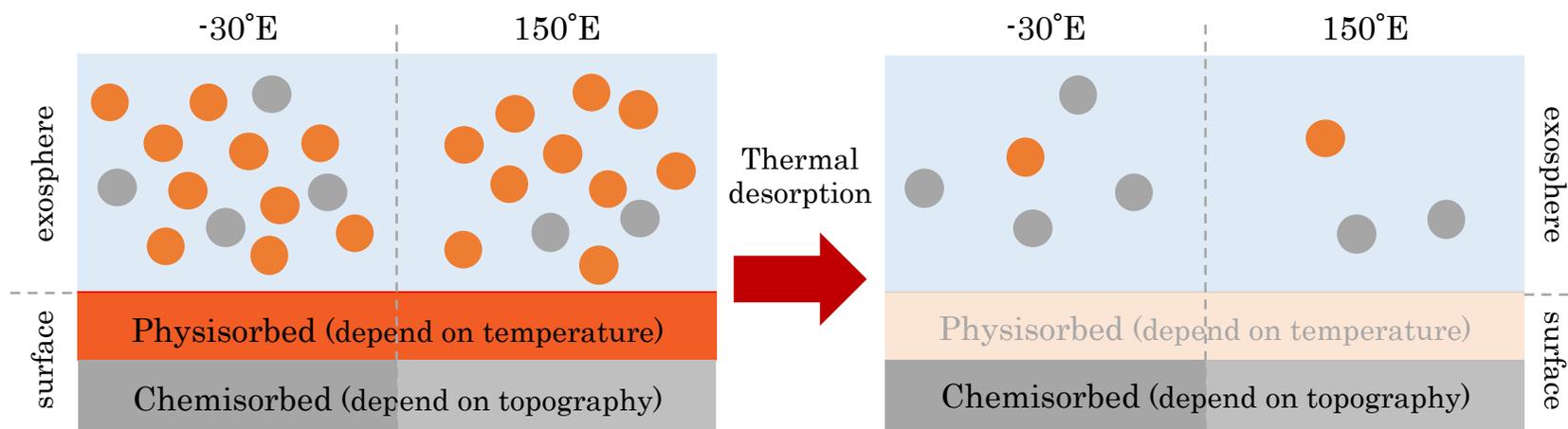
- Ca: $b < 5 \times 10^{-4} \text{ km/s}^2$

cf.) 重力加速度: $g < 4 \times 10^{-3} \text{ km/s}^2$



4.3. 結果 & 議論 - Na

- 相対放出率 Σ は多くの領域で 0 (図a)
- 高温領域 (-45°E-45°E) では $\Sigma > 0$ (図b)
 - 2層モデル (Leblanc and Johnson, 2010ほか) で説明可能
 - 熱脱離により表面の弱く物理吸着したNaが枯渇し、より強く化学吸着されたNaの分布が大気に反映?



4.4. 議論 – 他原子・他天体の場合への示唆

- 大気-表面組成分布相関が見られる条件

- 表面密度が周辺環境によって著しく変化しないこと → Na, K ×
- 太陽放射加速度が小さいこと → Ca △
- 光電離寿命が長いこと (Jasinski et al., 2020) → Al × ($\tau \sim 10^3$ s @ 1 au)

→ 低温の天体ほど大気-表面組成分布相関が見られる可能性が高い

原子種	太陽放射加速度 @1 au (m/s ²)	光電離寿命 @1 au (s)	大気-表面組成分布相関が 見られる可能性 (水星)
Na	2.5×10^{-2}	1.9×10^5	×
K	2.1×10^{-4}	4.3×10^4	×
Mg	1.9×10^{-3}	2.1×10^6	◎
Ca	1.3×10^{-2}	1.4×10^4	△
C	8.8×10^{-6}	1.1×10^6	○
O	2.5×10^{-6}	2.0×10^6	○
S	4.4×10^{-6}	4.2×10^5	○

5. まとめと今後の課題

- MESSENGERのデータを用いて、
水星の大気-表面組成分布相関の有無を検証

原子種	大気-表面相関	備考
Mg	◎	
Ca	△	太陽放射圧の影響? 表面データ△
Na	高温領域のみ ○	南半球の表面分布データ×

- 低温の天体ほど大気-表面組成分布相関が見られる可能性が高い
- **BepiColombo** による詳細な観測に期待
 - MIO/MSASI, MPO/SERENA -> Na 大気 (特にCaloris盆地)
 - MPO/PHEBUS, MPO/SERENA -> Mg 大気
 - MPO/MERTIS -> Ca 表面分布