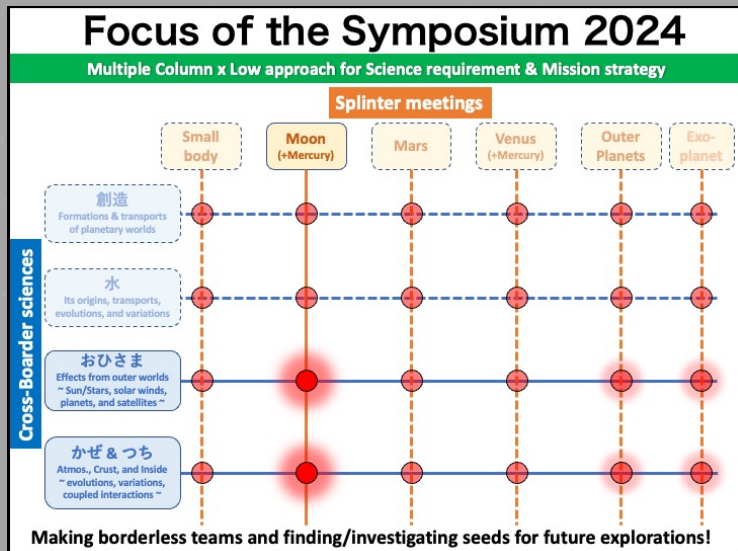


第2,3回水星スイングバイ中の BepiColombo MPO/PHEBUSによる Mg大気の観測結果の比較



*鈴木 雄大⁽¹⁾,
(suzuki.yudai@jaxa.jp)

Eric Quémerais⁽²⁾, Rozenn Robidel⁽³⁾,
Jean-Yves Chaufray⁽²⁾, 村上 豪⁽¹⁾,
François Leblanc⁽²⁾, 吉岡 和夫⁽⁴⁾, 吉川 一郎⁽⁴⁾

⁽¹⁾ JAXA/ISAS, ⁽²⁾ LATMOS, ⁽³⁾ ESAC, ⁽⁴⁾ 東京大学

- BepiColombo搭載 紫外線分光器PHEBUSの感度較正を実施
→ 水星スイングバイ中のMg大気分布を解析
- MESSENGERの結果をベースとしたモデルと整合的な結果
- Caに比べて低エネルギー: 放出形態の違いを反映?

Abstract

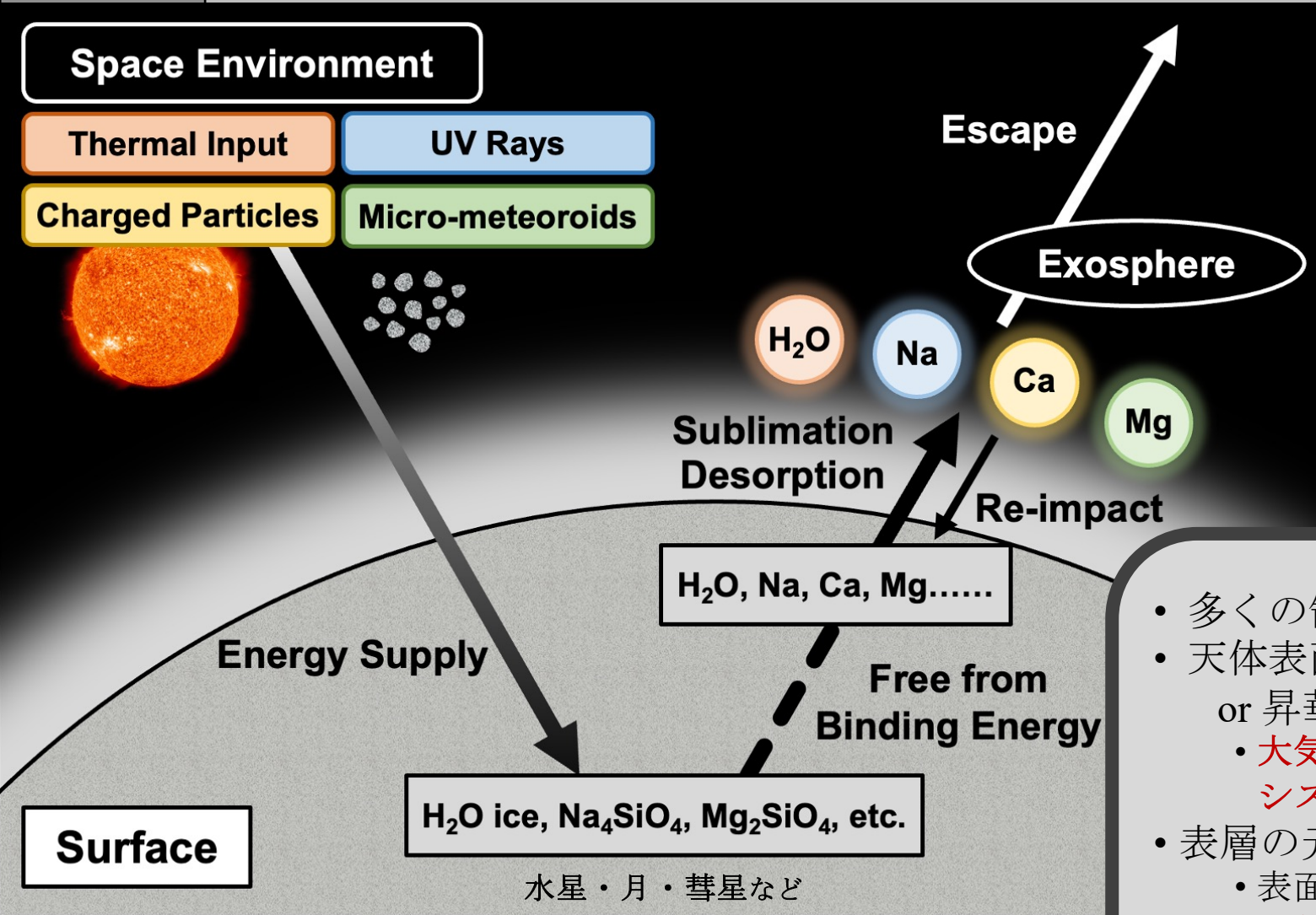
水星大気は、宇宙空間環境-天体希薄大気-天体表層結合系の物理を理解するために重要な研究対象である。中でも**水星Mg大気**は、その分布が表層Mg/Si比分布と強く相関することが知られており、一般的な天体希薄大気の観測による天体表層化学組成分布の推定手法の確立に向けて、特に重要な原子種である。しかし、その放射輝度の小ささから、水星Mg大気はMESSENGER探査機搭載分光器MASCSでしか検出されたことがなく、時空間変動様式の理解はあまり進んでいない。

本研究では、**BepiColombo MPO搭載紫外線分光器PHEBUSの第2, 3回水星スイングバイ時のデータ**を用いて、機器校正手法を確立するとともに、水星Mg大気の分布を明らかにした。

まず、3種類の雑音形状を仮定して観測データにフィッティングを行うことにより背景雑音を評価し、**Mg由来の信号の抽出に成功**した。続いて恒星観測データを用いた感度校正を行い、**有効面積の時空間依存性を明らかに**した。この結果、MESSENGER探査機による知見を基にした**3次元Mg大気分布モデルと整合的なMg光度曲線**が得られた。得られたMg放射輝度分布と、同じPHEBUSによって第1, 2回水星スイングバイ中に取得されたCa放射輝度分布を比較すると、**Mg大気の方がCa大気よりも低エネルギー**であることが分かった。これは、MgはMg原子として表層から放出される一方でCaはCaO等の分子として放出された後に光解離により加速されたCaが生成される、という仮説と整合的な結果である。

BepiColomboの水星軌道投入後には、**様々な緯度・経度・地方時におけるMg大気分布の解明**が期待される。

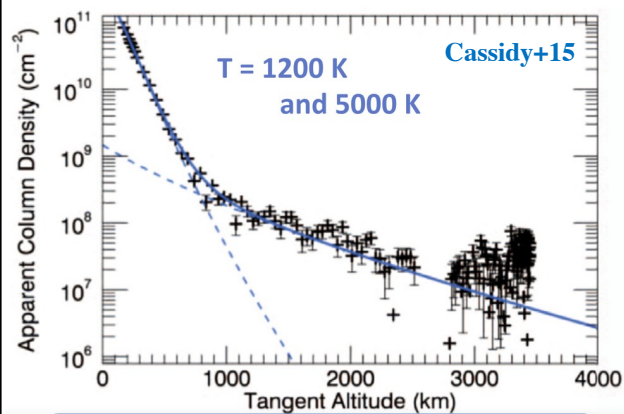
1.1. Surface-bounded Exospheres (SBEs)



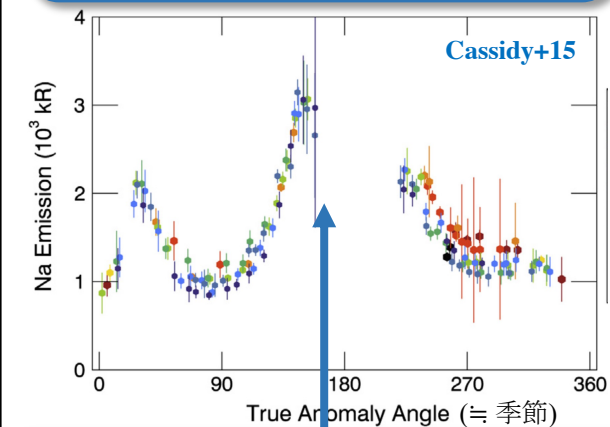
- 多くの領域で**無衝突**
- 天体表面からの脱離
or 昇華によって供給
 - **大気と表層が1つのシステムとして振る舞う**
- 表層の元素組成比を反映
 - 表面の観測が困難な天体も**大気の観測から表面組成分布を推定可能?**

1.2. 水星外気圏の生成・輸送・損失機構

Na

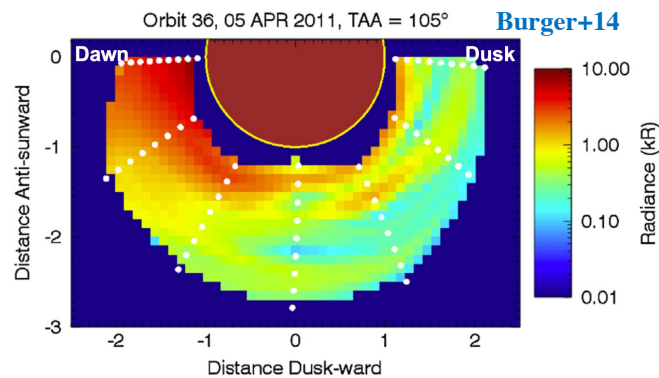


熱脱離
+ 光励起脱離 (UV)
+ 高エネルギー過程 (未特定)

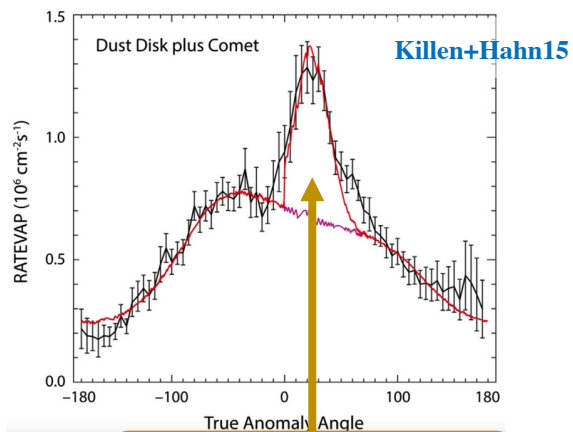


表面Na密度の極大? (Cassidy+16)
ダストストリーム? (Suzuki+20)

Ca

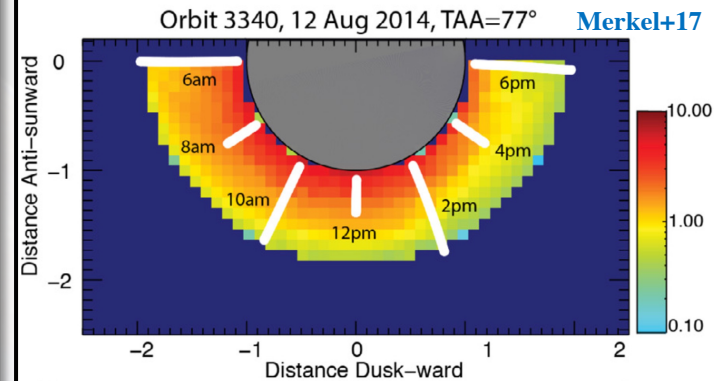


微小隕石衝突

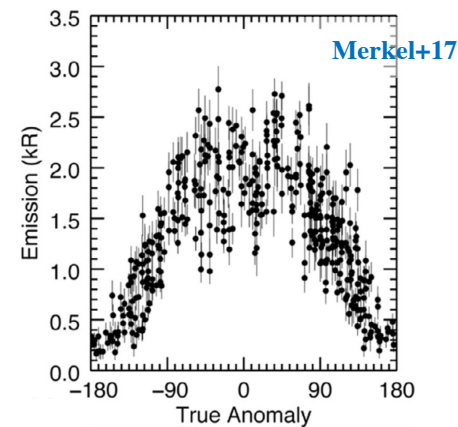


ダストストリーム
粒子の衝突?

Mg

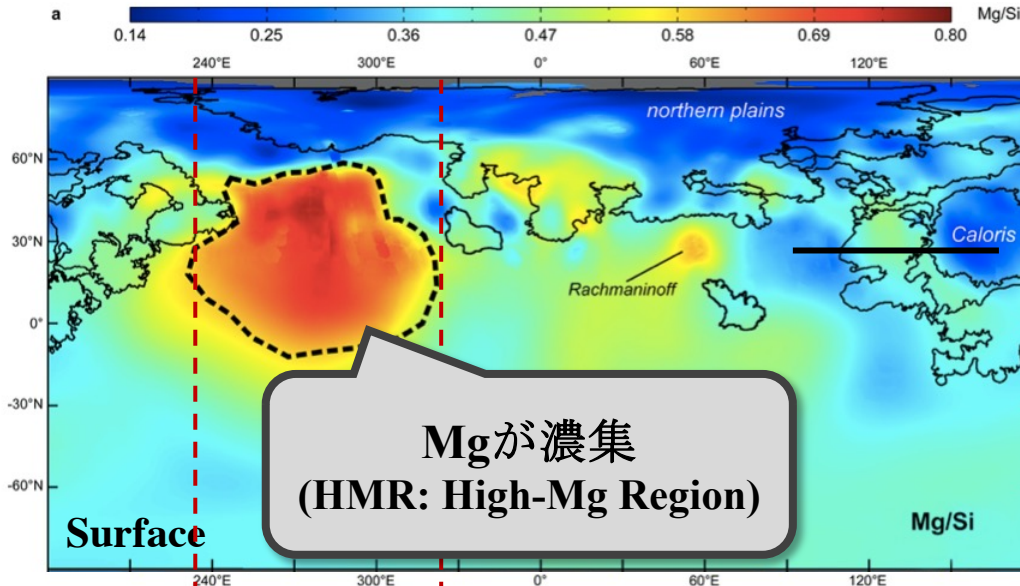


微小隕石衝突

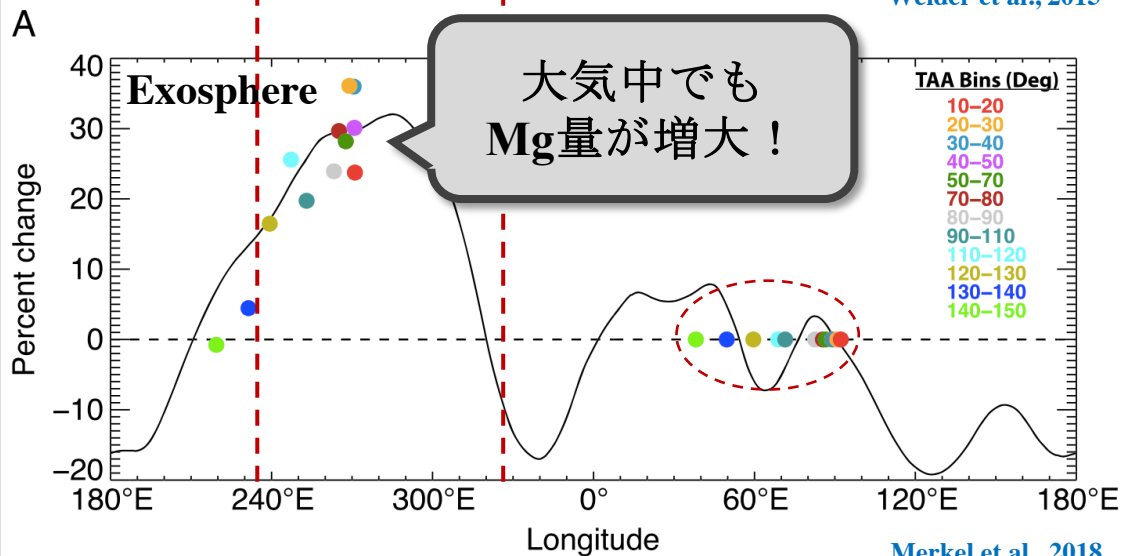


観測データ少

1.3. 水星Mg外気圏と表面Mg存在量の関係性



Weider et al., 2015



Merkel et al., 2018

- 水星における初の外気圏-表面相関の検出
- CaではMgほど明瞭な相関は見られない (Suzuki et al., 2023)
- 月: 高地上空でのNa大気が増大 (Colaprete et al., 2016) や KREEP上空でのK大気が増大 (Rosborough et al., 2019) など

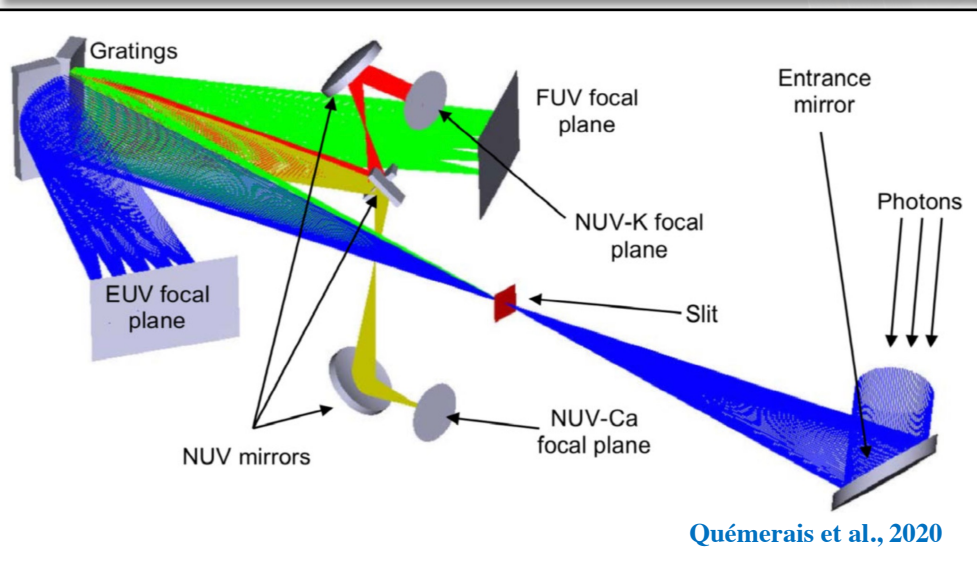
- 表面境界外気圏の生成過程および輸送過程の解明
- 表面境界外気圏と天体表層の関係性の解明



BepiColomboの第2, 3回水星スイングバイデータの解析による
Mg外気圏の分布の解明

兼. 軌道投入後の本格観測開始に向けた
観測機器の性能確認 および 較正手法の確立

※ 日時はUTCに準拠



- 水星探査計画BepiColombo

- みお (JAXA) + MPO (ESA)

- 3回目の水星スイングバイまで終了

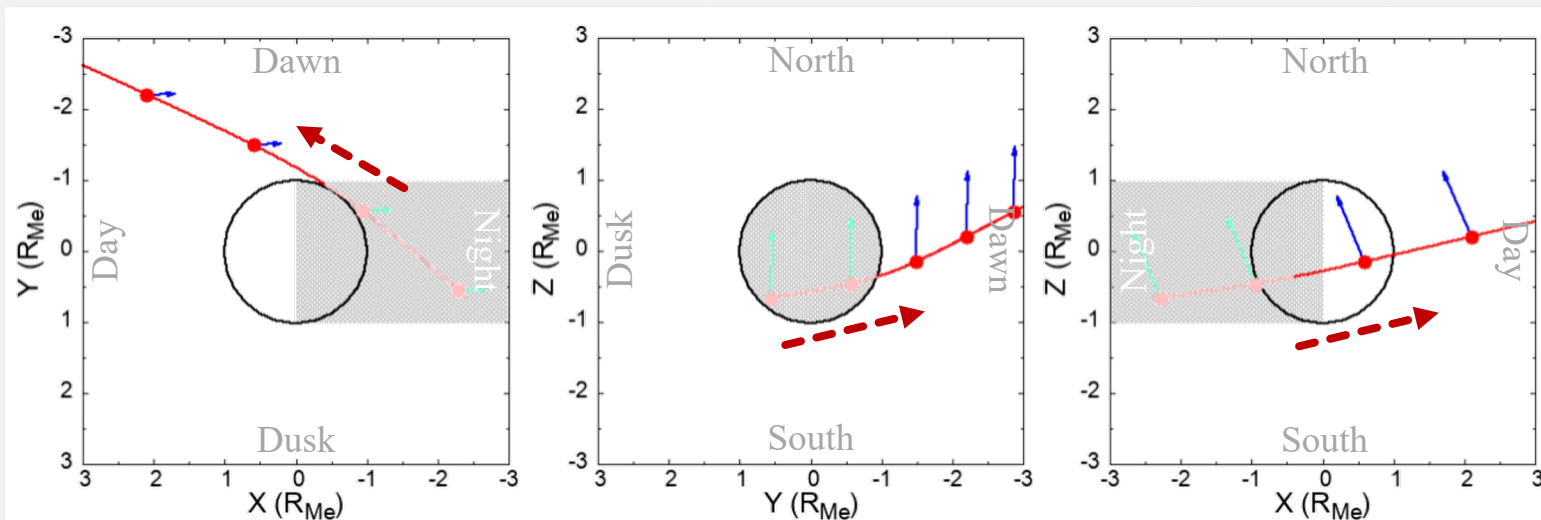
- 1回目: 2021/10/02
 - 2回目: **2022/06/03**
 - 3回目: **2023/06/19**
 - 4回目: 2024/09/05
 - 5回目: 2024/12/02
 - 6回目: 2025/01/09
 - 軌道投入: 2025/12/05

- PHEBUS (Probing of Hermean Exosphere by Ultraviolet Spectroscopy)

- MPO搭載紫外線分光器
 - EUV channel (55-155 nm): H, He & O
 - **FUV channel** (145-315 nm): **Mg** (285.2 nm), Fe, Mn etc.
 - NUV channel (404 & 422 nm): K & Ca

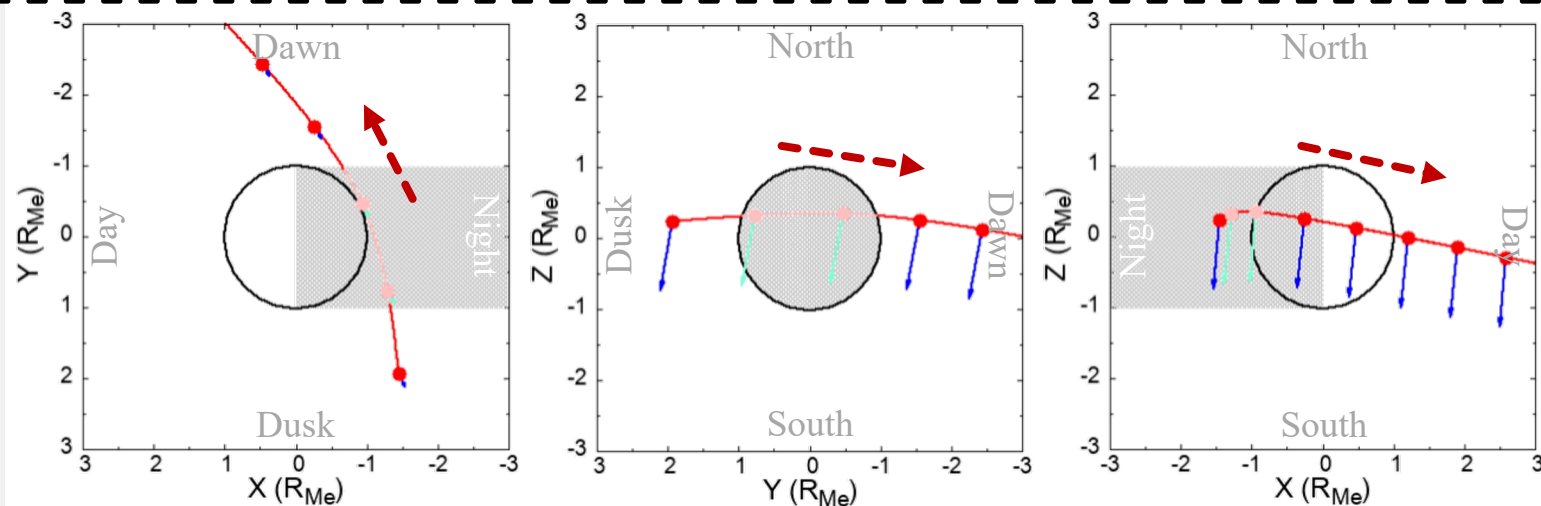
第2回

(TAA = 265°)



第3回

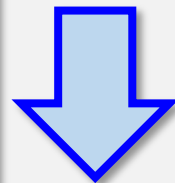
(TAA = 312°)



北向き

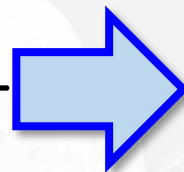
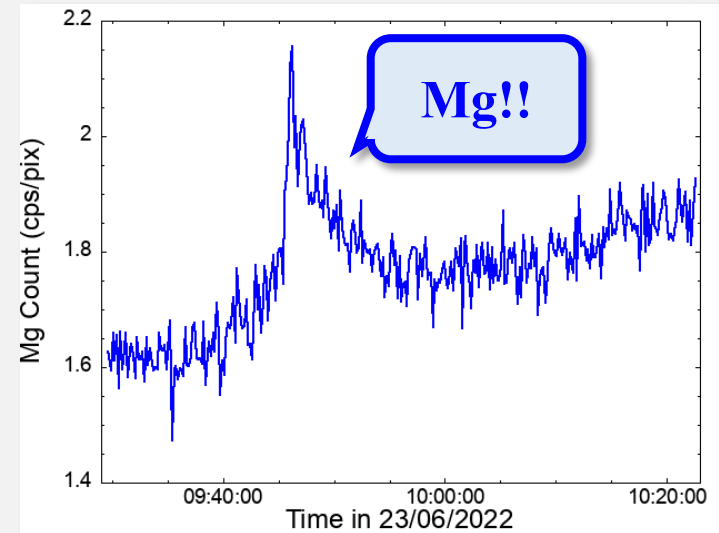
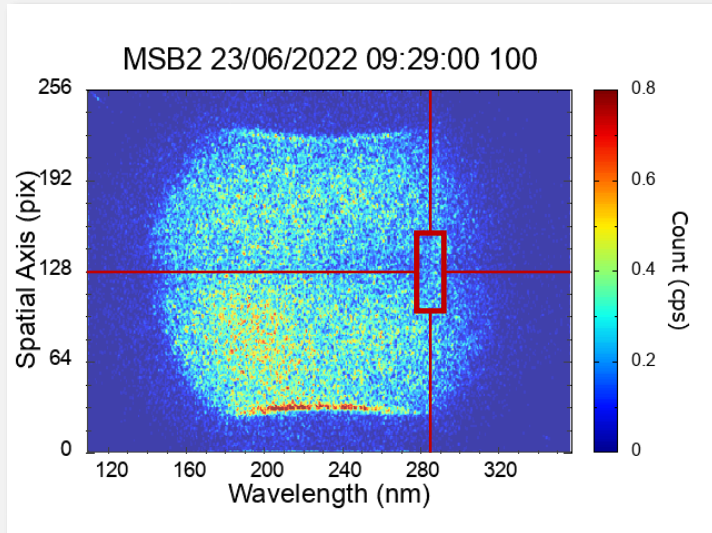
視線
方向

南向き

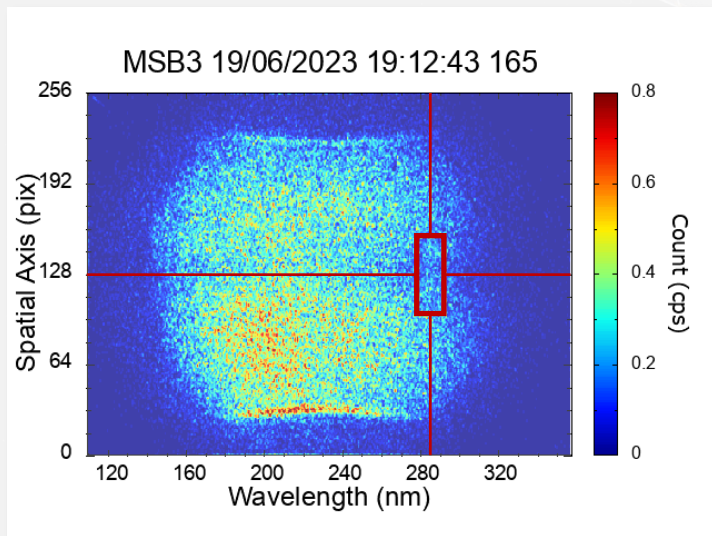


※ TAA = 水星の公転の位相角

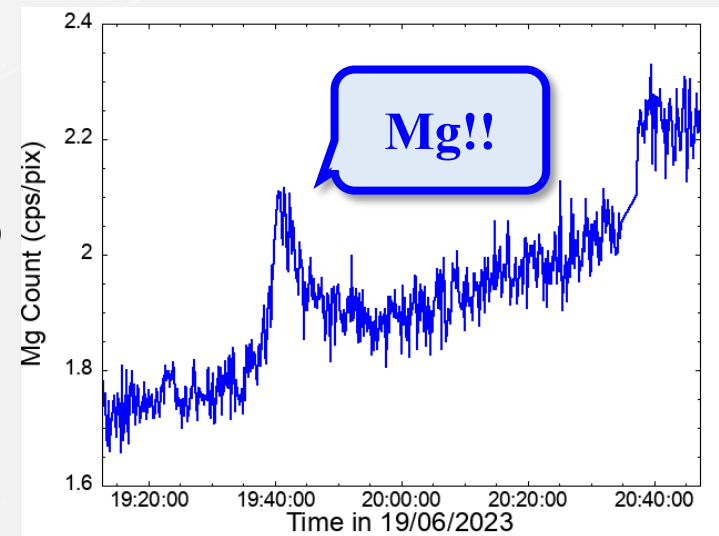
第2回



第3回

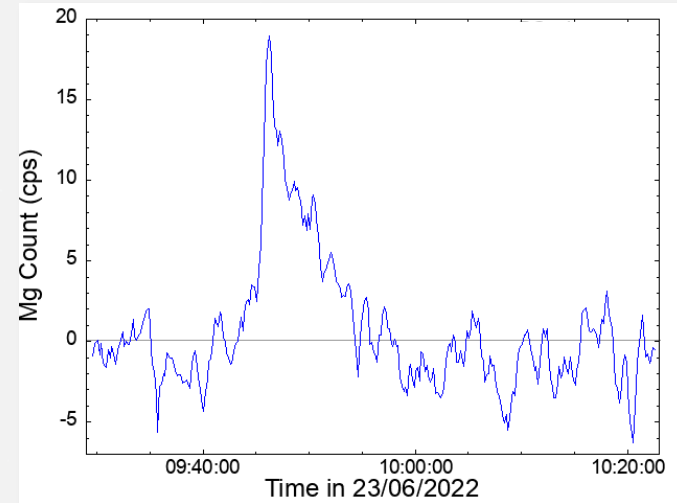
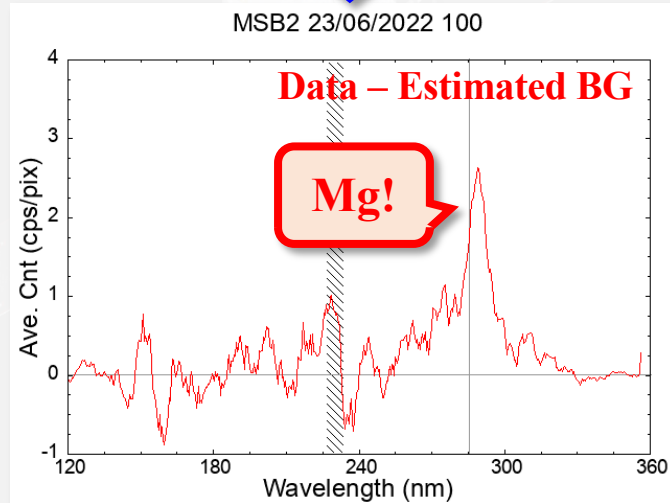
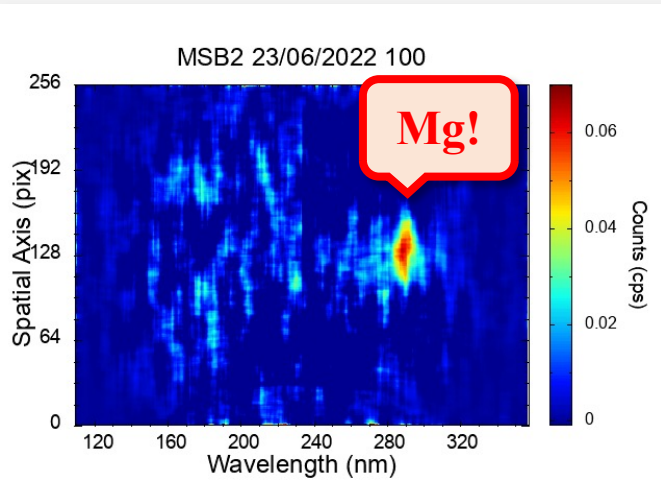
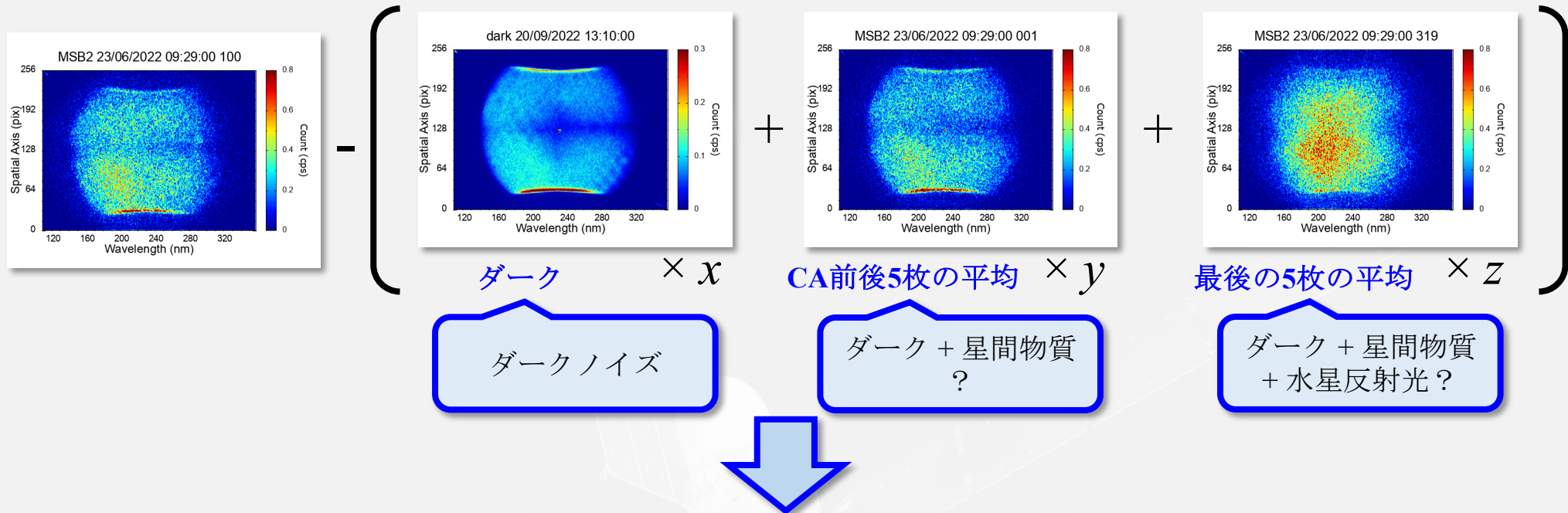


空間方向
 $(y = 128 \pm 28 \text{ pix})$
 & 波長方向
 $(\lambda = 285.2 \pm 7 \text{ nm})$
 積分

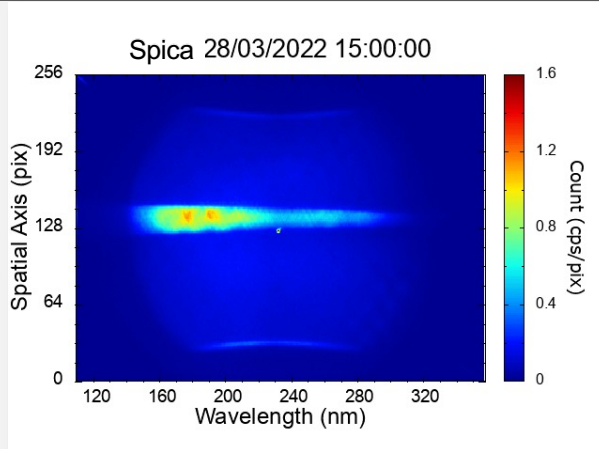


2.4. Background成分の除去

x, y, z の値は Mg輝線領域外の fitting により計算



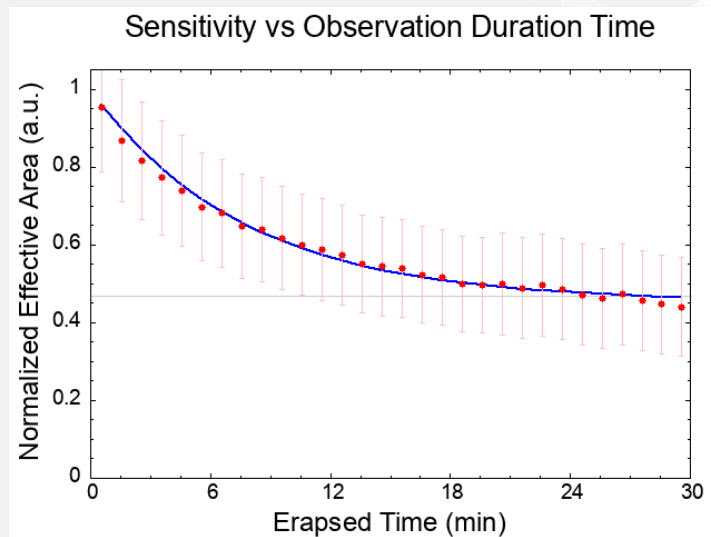
2.5. 恒星観測データを用いた感度校正



4種類の恒星を
計8回観測

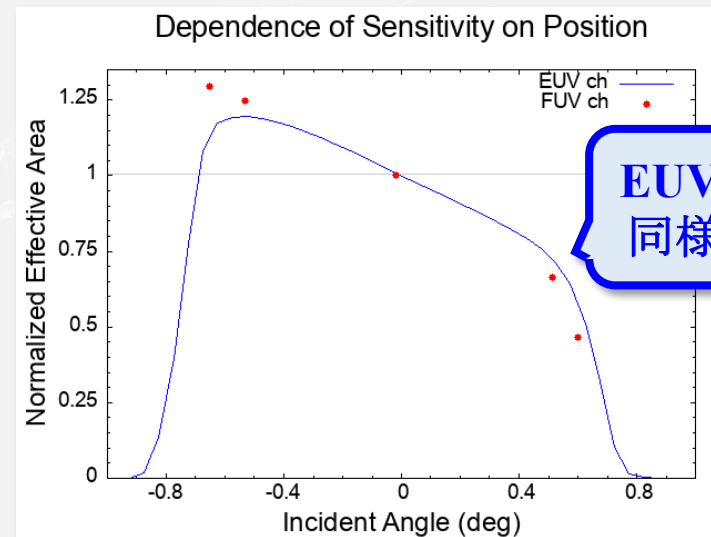
スイングバイ中の
検出器の条件と合致する
5データを使用

時間依存性



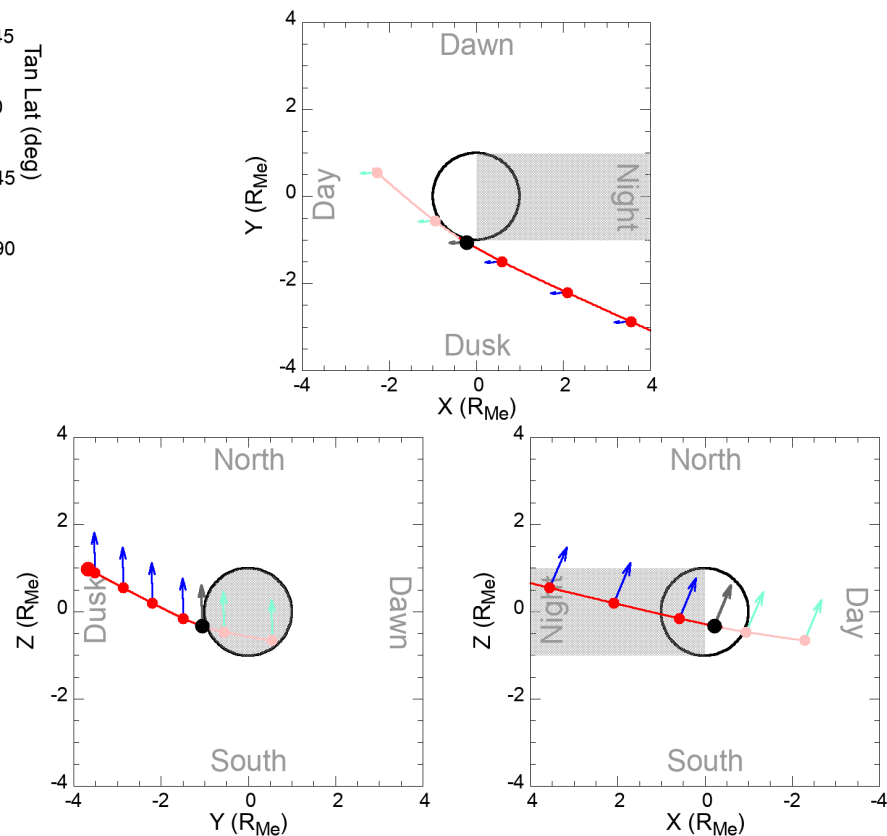
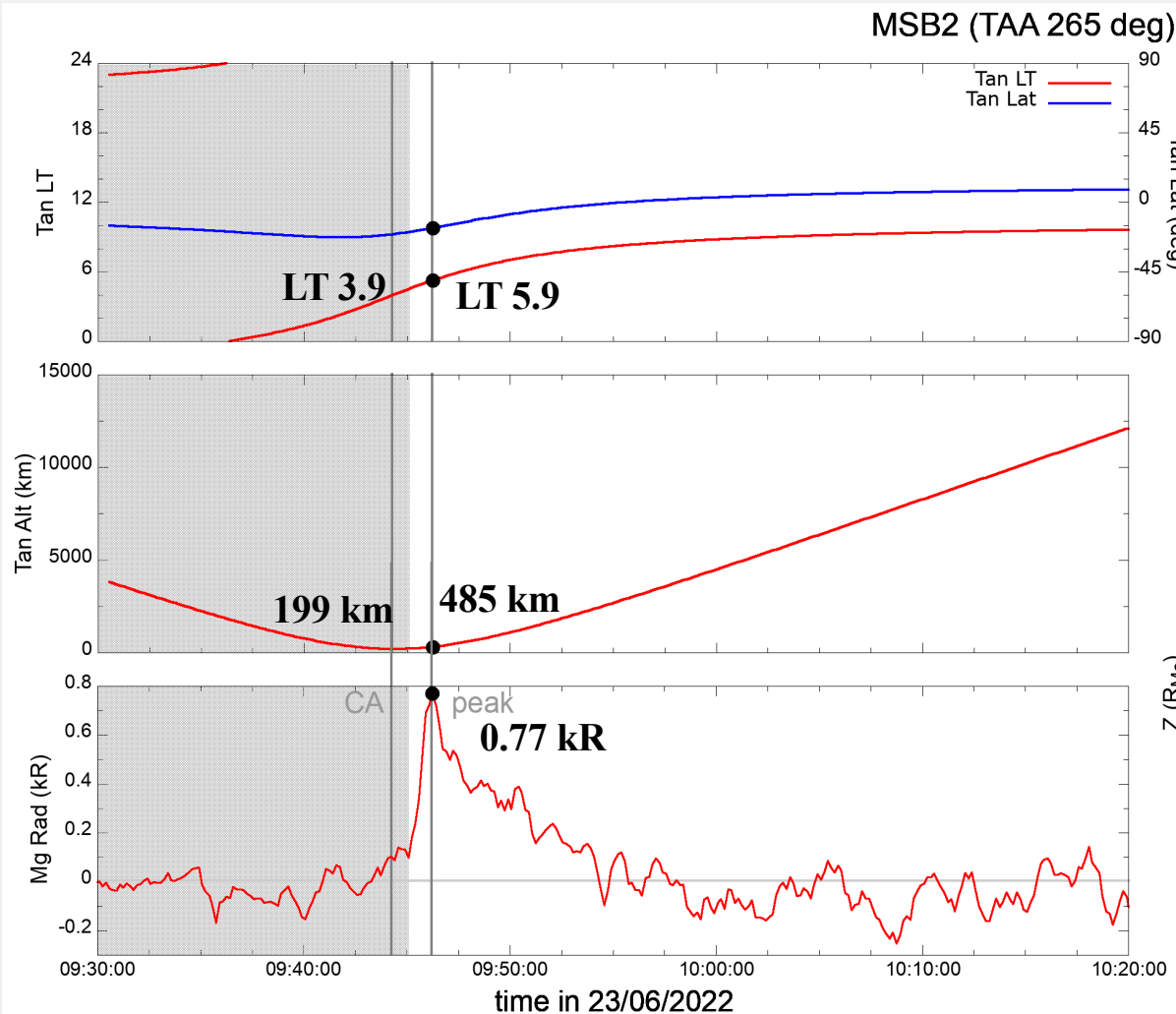
検出器の温度上昇が原因？

位置依存性

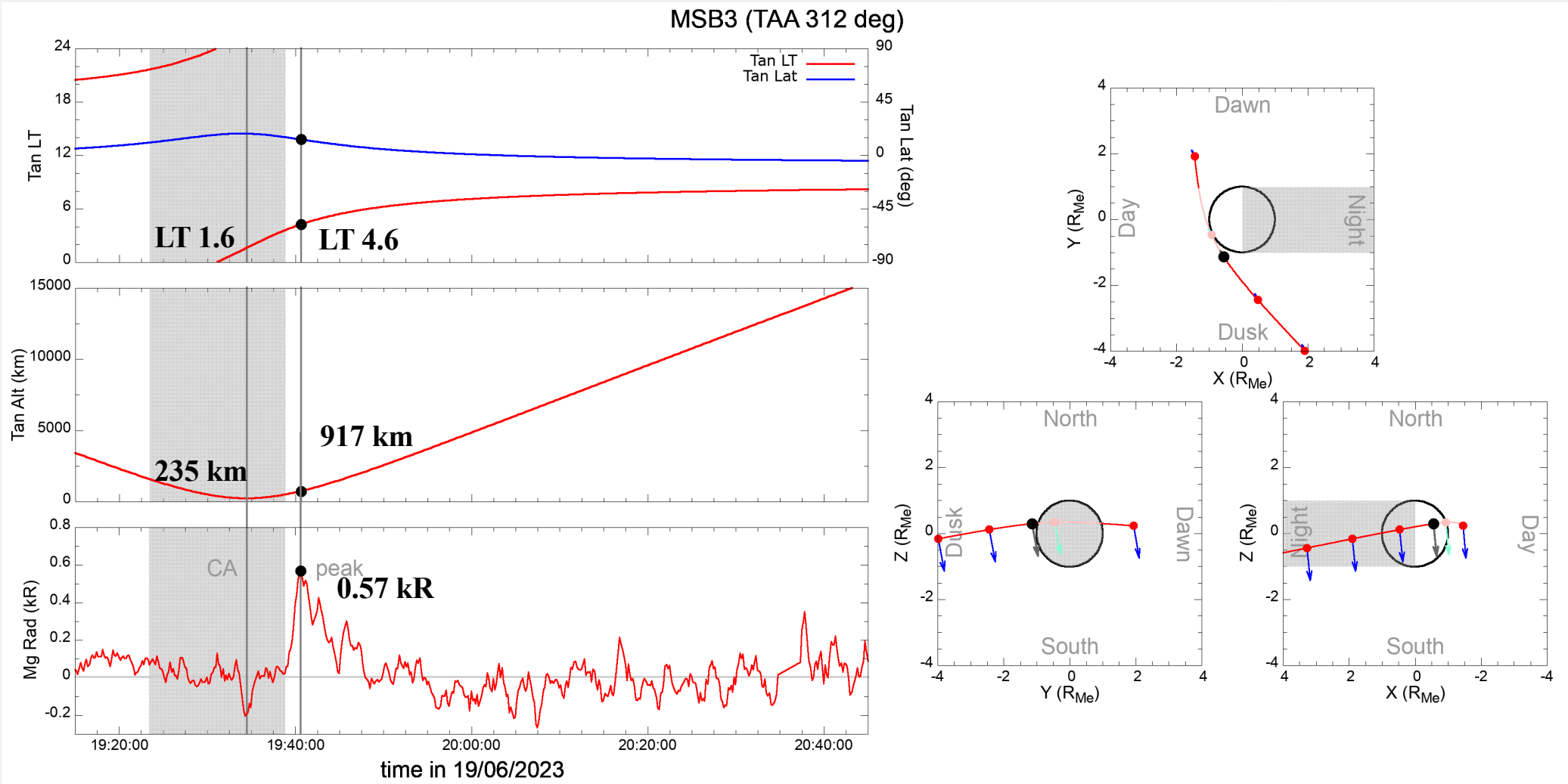


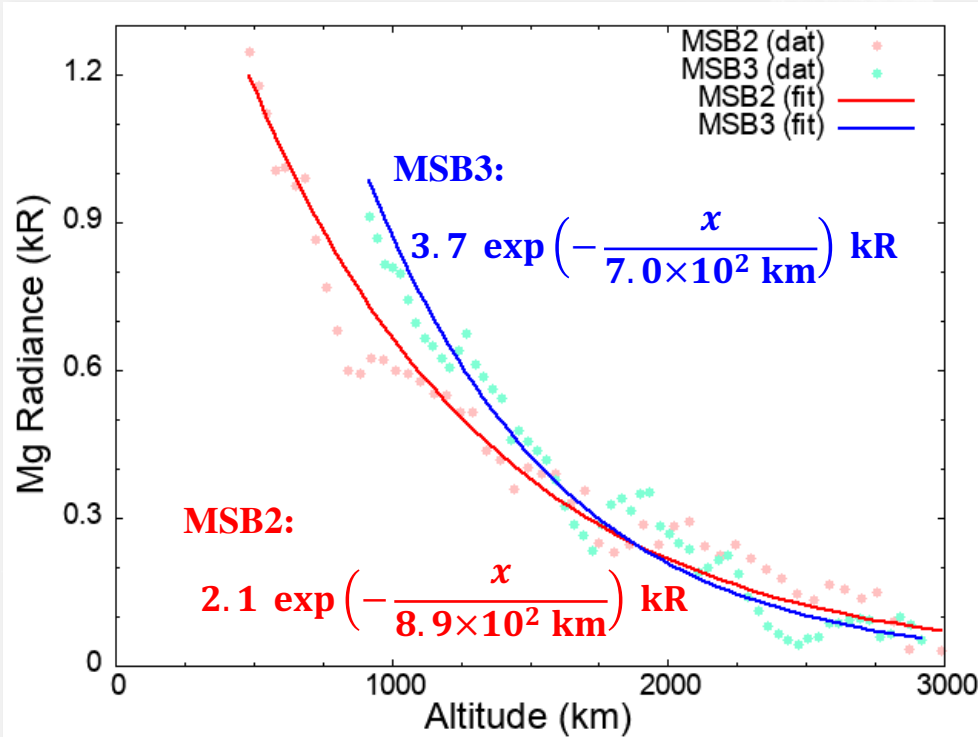
鏡の反射率の入射角依存性が原因？

3.1. Mg放射輝度の時間変動 – 第2回水星スイングバイ



3.1. Mg放射輝度の時間変動 – 第3回水星スイングバイ





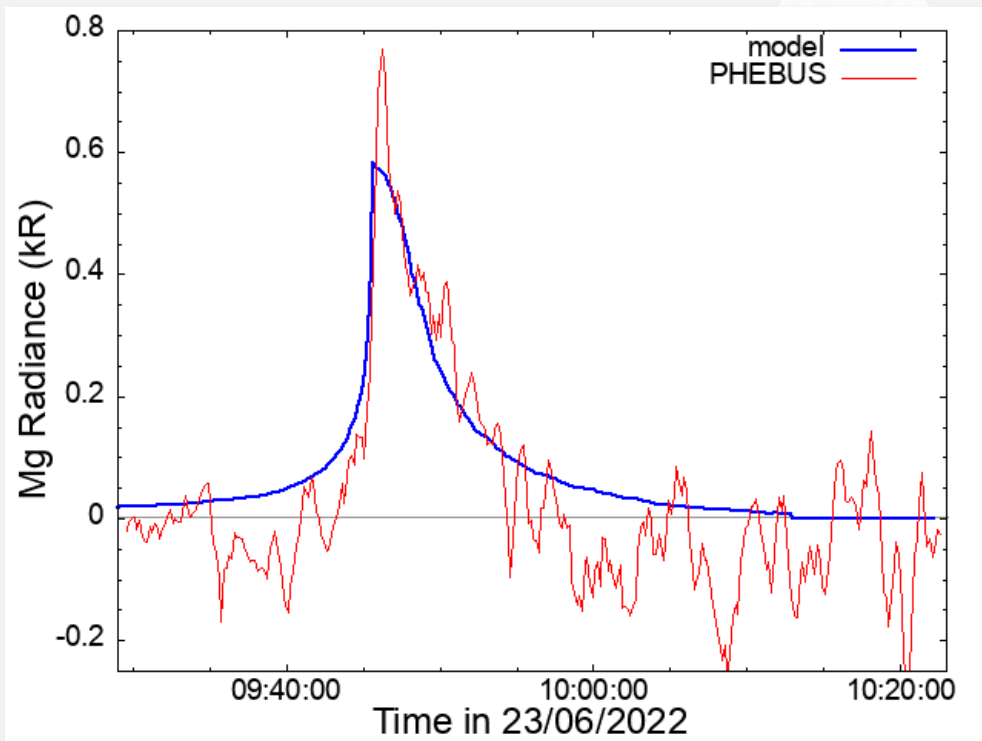
- 単純な指数関数をフィッティング

$$I[\text{kR}] = \frac{g}{10^9} n_0[\text{/cm}^2] \exp\left(-\frac{x}{H'}\right)$$

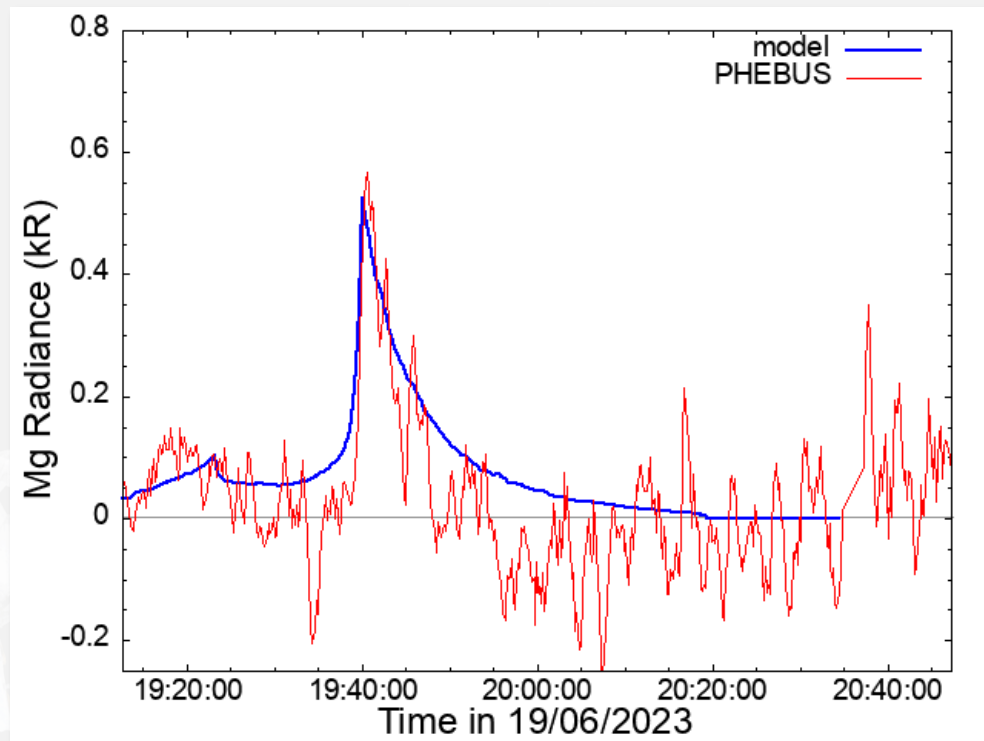
(発光効率)

	n_0	H'
	\propto 大気生成率?	\equiv スケールハイト
MSB2	$6.4 \times 10^9 / \text{cm}^2$	$8.9 \times 10^2 \text{ km}$
MSB3	$8.8 \times 10^9 / \text{cm}^2$	$7.0 \times 10^2 \text{ km}$

第2回水星スイングバイ



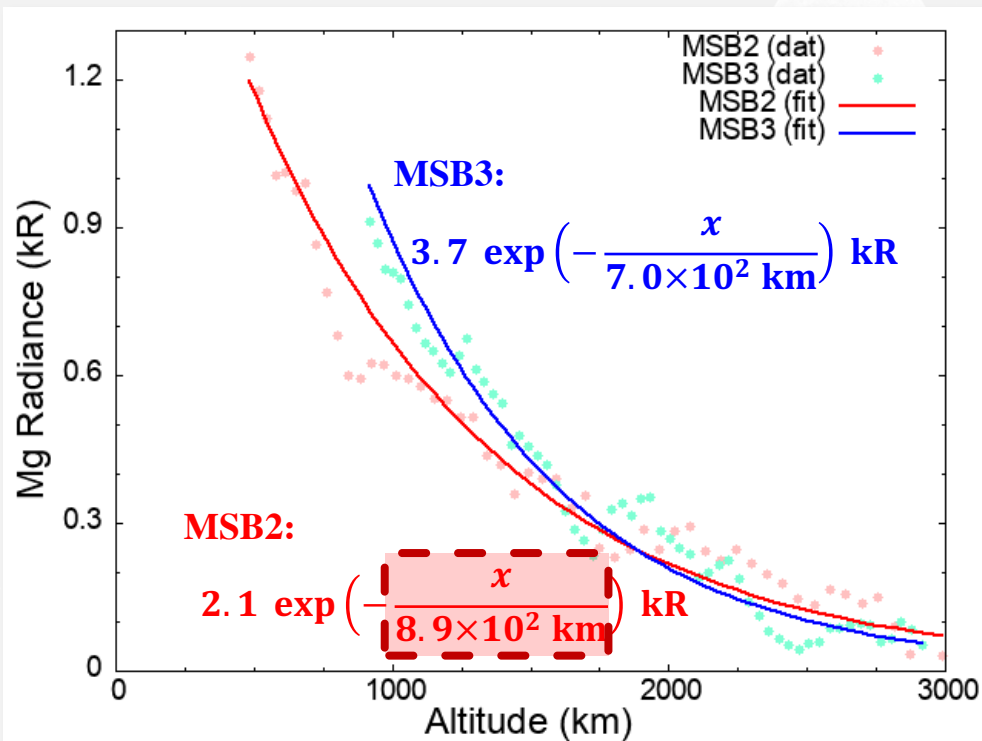
第3回水星スイングバイ



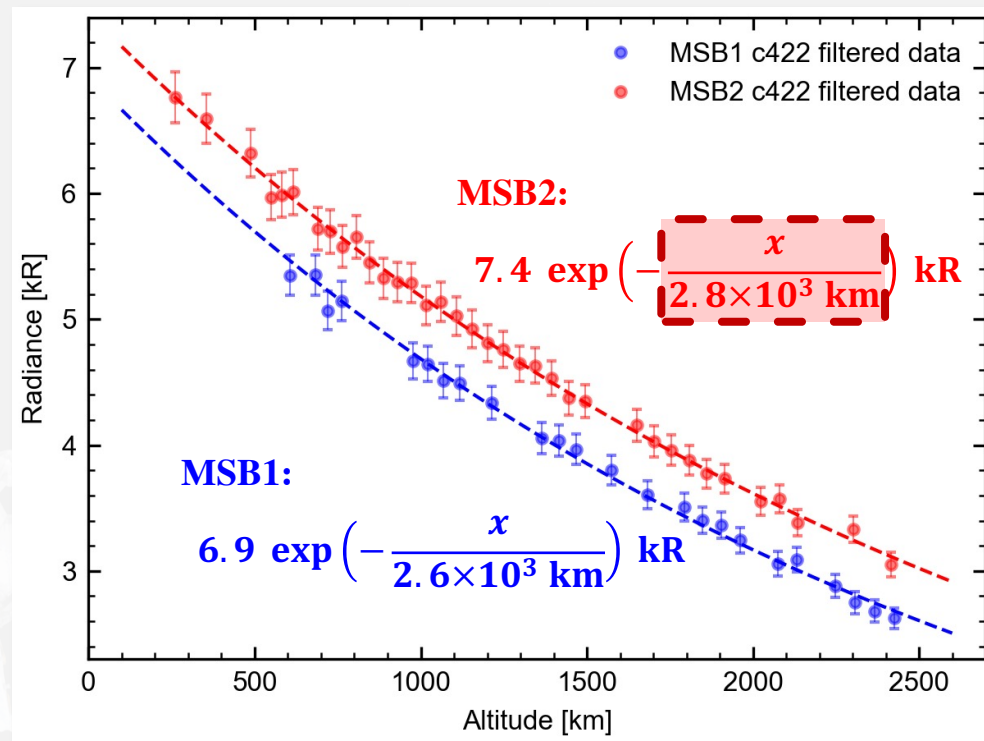
MESSENGER探査機の知見を基に構築された
理論モデル ([Chaufray et al., 2022](#)) と整合的

To be updated

Mg by PHEBUS



Ca by PHEBUS



Robidel et al., 2024

Mgの方がCaよりも低エネルギー

Mg = Mg原子として表面から放出？

Ca = CaO等の分子として放出されてから光解離で生成？

Summary

- BepiColombo MPO/PHEBUSの感度較正

- 時間依存性 (∴ 検出器温度の上昇?), 空間依存性 (∴ 鏡反射率の位相角依存?) を明らかに

- 第2, 3回水星スイングバイ中の外気圏中の**Mg放射輝度**の分布

- 2回とも**類似した分布** (視線方向が異なる)

- 数値計算 (Chaufray et al., 2022) と整合的な結果

- **Ca**に比べて**広がり小さい**: 大気放出過程の違い?

