

# Estimation of Gamma-ray Emission from Martian Satellites and Background from Mars and Spacecraft

火星衛星からのガンマ線放出と火星及び探査機からのバックグラウンド評価

Masayuki Naito<sup>1</sup>, Junya Ishii<sup>1</sup>, Kouhei Yoshida<sup>1</sup>, Daisuke Aoki<sup>1</sup>, Hiroshi Nagaoka<sup>2</sup>, Eido Shibamura<sup>2</sup>, Nobuyuki Hasebe<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>School of Advanced Science and Engineering, Waseda Univ. 3-4-1 Okubo, Shinjuku, Tokyo 169-8555.

<sup>2</sup>Research Institute for Science and Engineering, Waseda Univ. 3-4-1 Okubo, Shinjuku, Tokyo 169-8555.

## ABSTRACT

Japanese sample return mission to Martian satellites is now under consideration to study the origin of Martian satellites. Gamma-ray and Neutron Spectrometer (GNS) is one candidate of mission payloads. The GNS will give constraints on the origin of Martian satellites by determining elemental composition from spacecraft orbit. In this work, gamma-rays from Martian satellites, Mars and spacecraft are calculated by numerical simulation to estimate the constraints on the origin of Martian satellites by gamma-ray observation. The elemental composition of Martian satellites are assumed as that of chondrites and Martian meteorites. The former represents the capture origin while the latter represents giant impact origin. The amount of fuel loaded on the spacecraft are varied in the range of 0-3,000 kg. The effects of background from Mars and spacecraft are discussed.

# 火星衛星からのガンマ線放出と火星及び 探査機からのバックグラウンド評価

内藤 雅之<sup>1</sup>, 石井 隼也<sup>1</sup>, 吉田 康平<sup>1</sup>, 青木大輔<sup>1</sup>,  
長岡 央<sup>2</sup>, 柴村 英道<sup>2</sup>, 長谷部 信行<sup>2</sup>

<sup>1</sup>早稲田大学先進理工学研究科

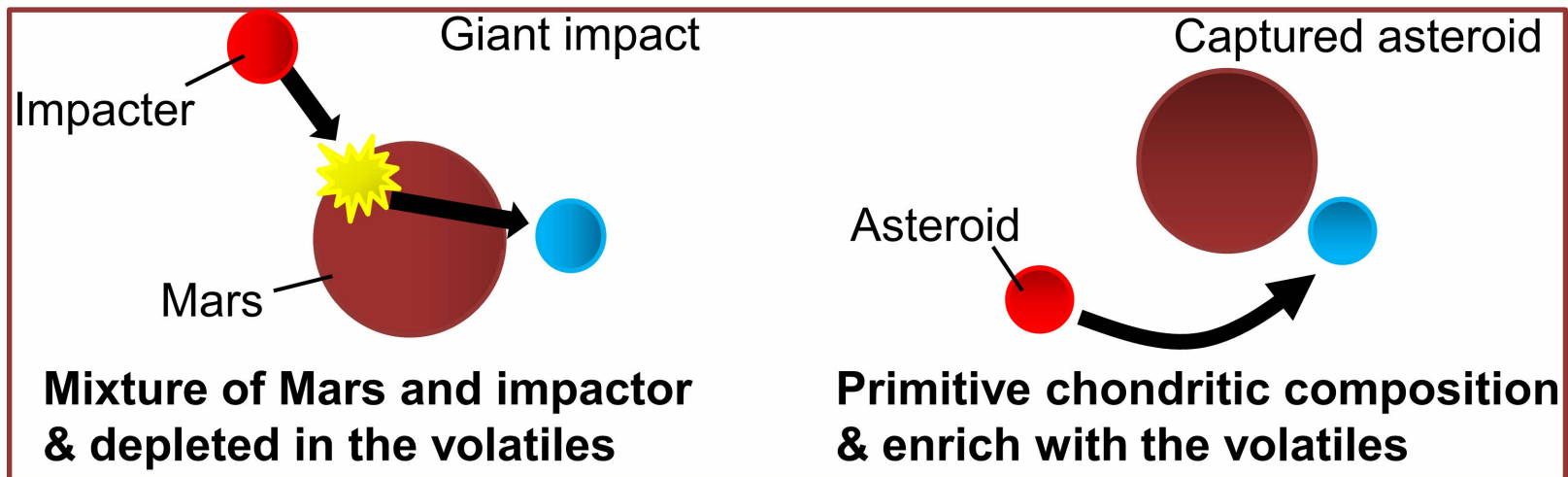
<sup>2</sup>早稲田大学理工学術院総合研究所

# Outline

- Introduction
  - The origin of Martian moon
    - Giant impact origin & captured asteroid origin-***
  - Motivation
    - Can gamma-ray distinguish the origin?***
- Simulation methods
  - Geometry setting and sample composition***
- Results & Discussion
  - Gamma-rays from Phobos, Mars and spacecraft***

# Mars Moon eXplotation (MMX)

- 火星衛星「フォボス」「ダイモス」は未だ十分な探査が行われておらず、その起源は不明瞭である。
  - 巨大衝突説と捕獲説が起源として有力視されている。



- 現在日本では火星衛星起源の解明を目的としたサンプルリターン計画「Mars Moon eXploration (MMX)」が計画されている。

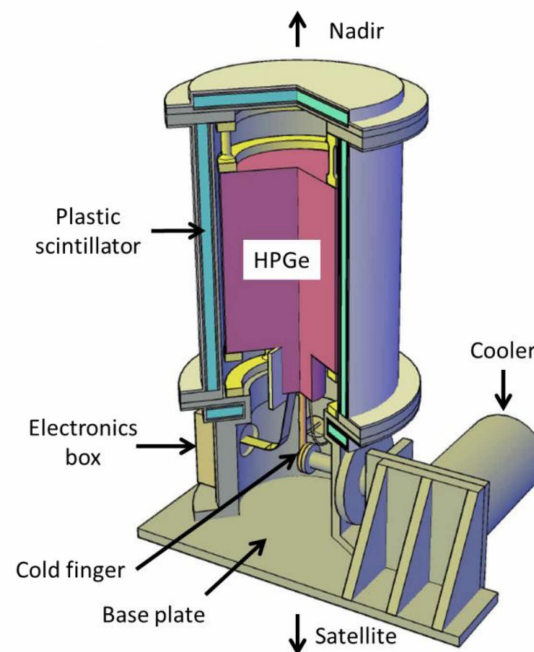


# GNS

- ガンマ線・中性子分光計（GNS）は、周回軌道から天体の元素組成を決定することで衛星起源に制約を与えることを目的とした分析器であり、搭載機器の候補の一つとして提案されている。
  - GNSの観測対象となる元素はH, Al, Si, S, Ca, Fe, K, Thなどである。
  - これまでに火星衛星の観測を元素組成の観点から行った例はなく、観測されれば世界初の試みとなる。

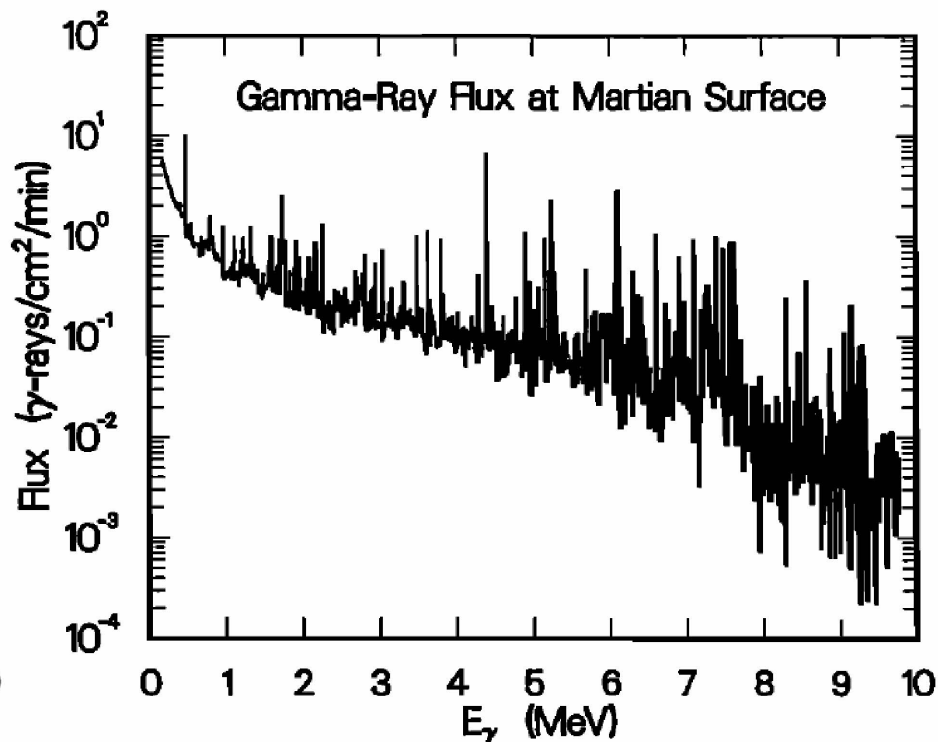
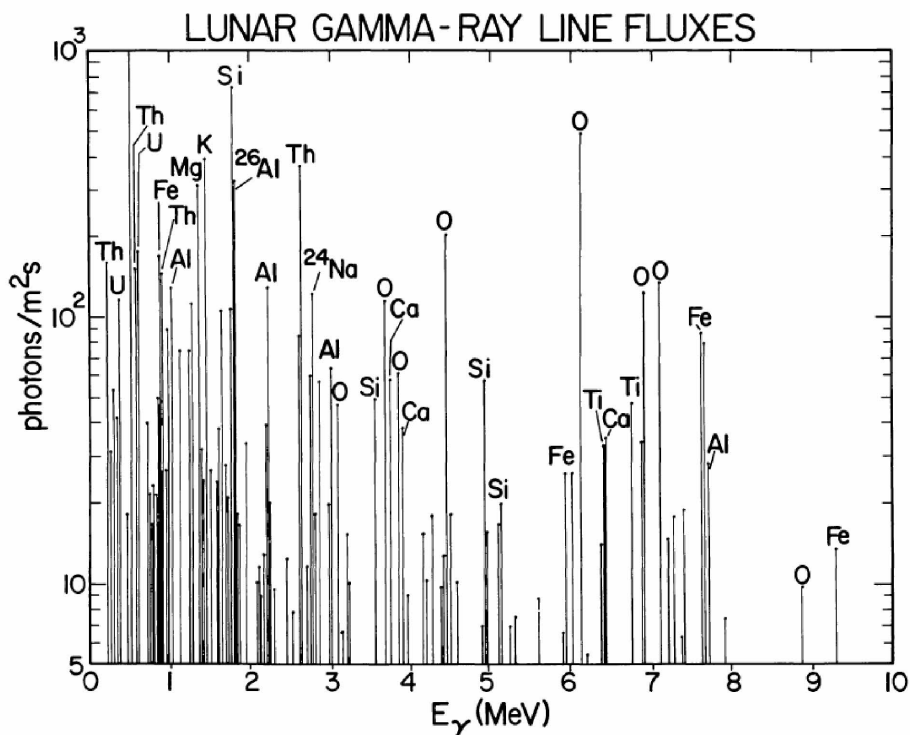
- ガンマ線と中性子は互いに相補的な関係であり、これらの観測は出来る限り同時に行うことが望ましい。

Schematic drawing of Gamma-ray Spectrometer (GS).



# Motivation

- 将来のガンマ線・中性子観測に向け、それらの発生、観測及びバックグラウンドの計算は必須である。本研究ではガンマ線分光による火星衛星起源の制約可能性を評価する。



Gamma-ray fluxes from the Moon and Mars simulated by previous studies. (Reedy, 1978; Masarik and Reedy, 1996)

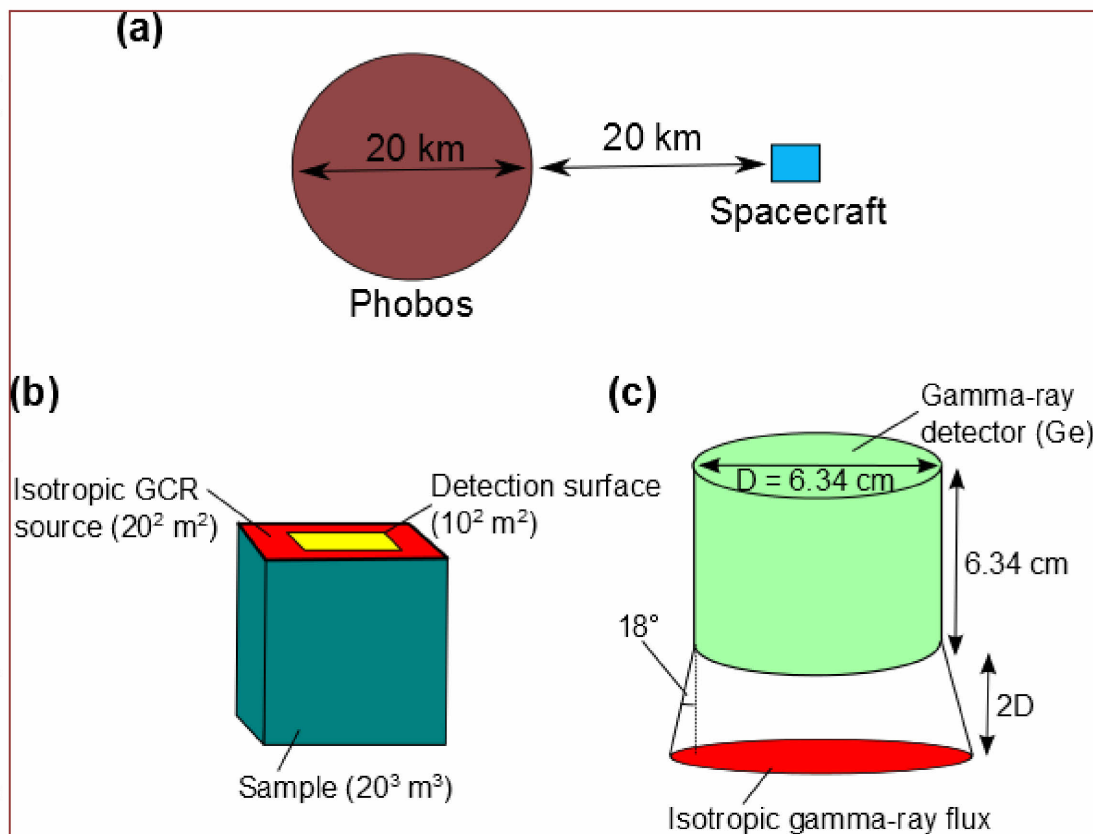
# Geometry – Phobos -

- 銀河宇宙線(GCR)、ガンマ線、中性子の輸送と発生はモンテカルロシミュレーションコードPHITS (Sato et al., 2013)とINCL核相互作用モデル (Boudard et al., 2013)を用いて行った。

- 時間の短縮のため、計算は発生と検出の2段階に分けて行った。

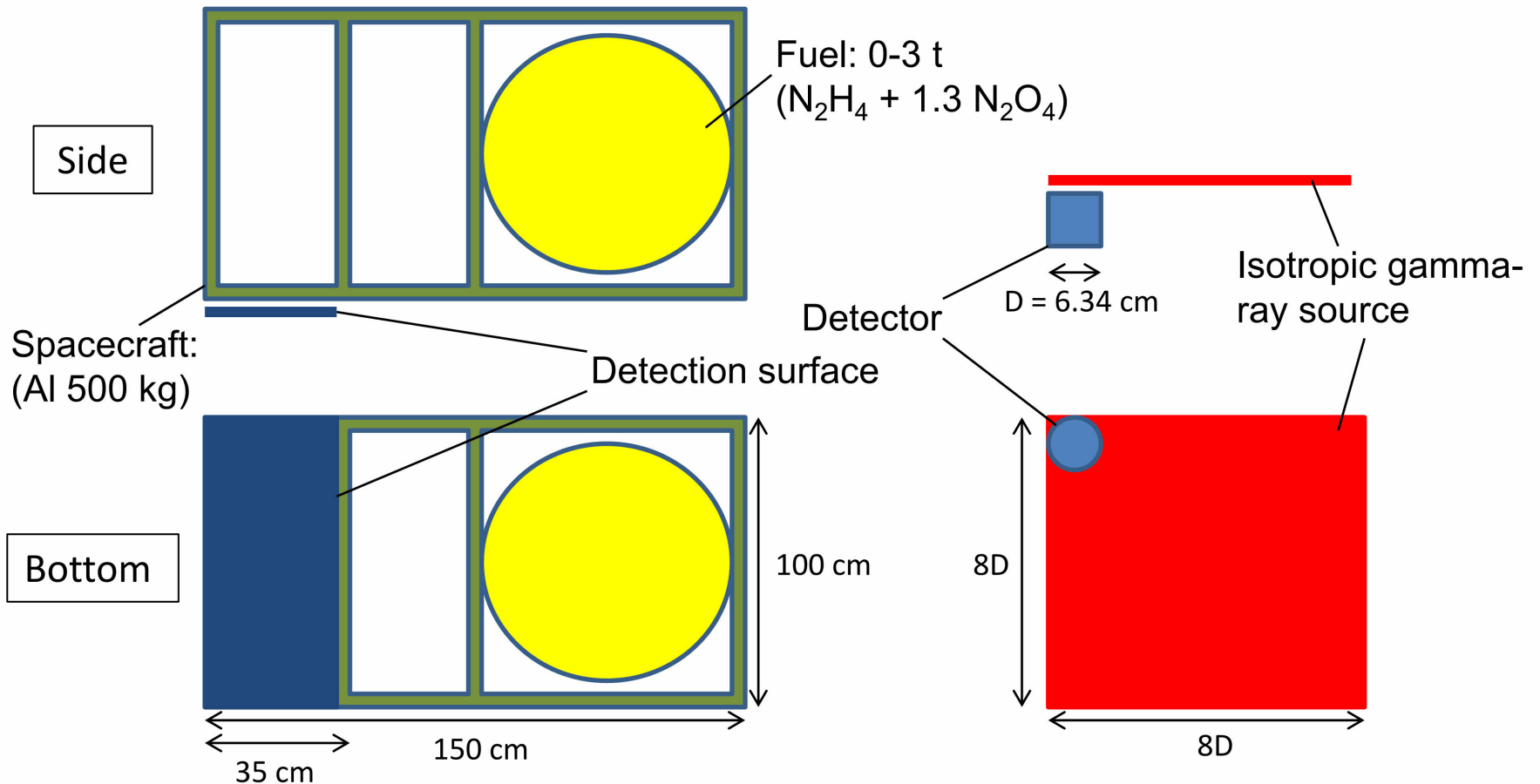
- (a)の仮定のもとでは火星とフォボスの立体角はほぼ1:1である。

- 検出器のエネルギー分解能として、1.332 MeV( $^{60}\text{Co}$ )で3 keVのFWHMを仮定した。



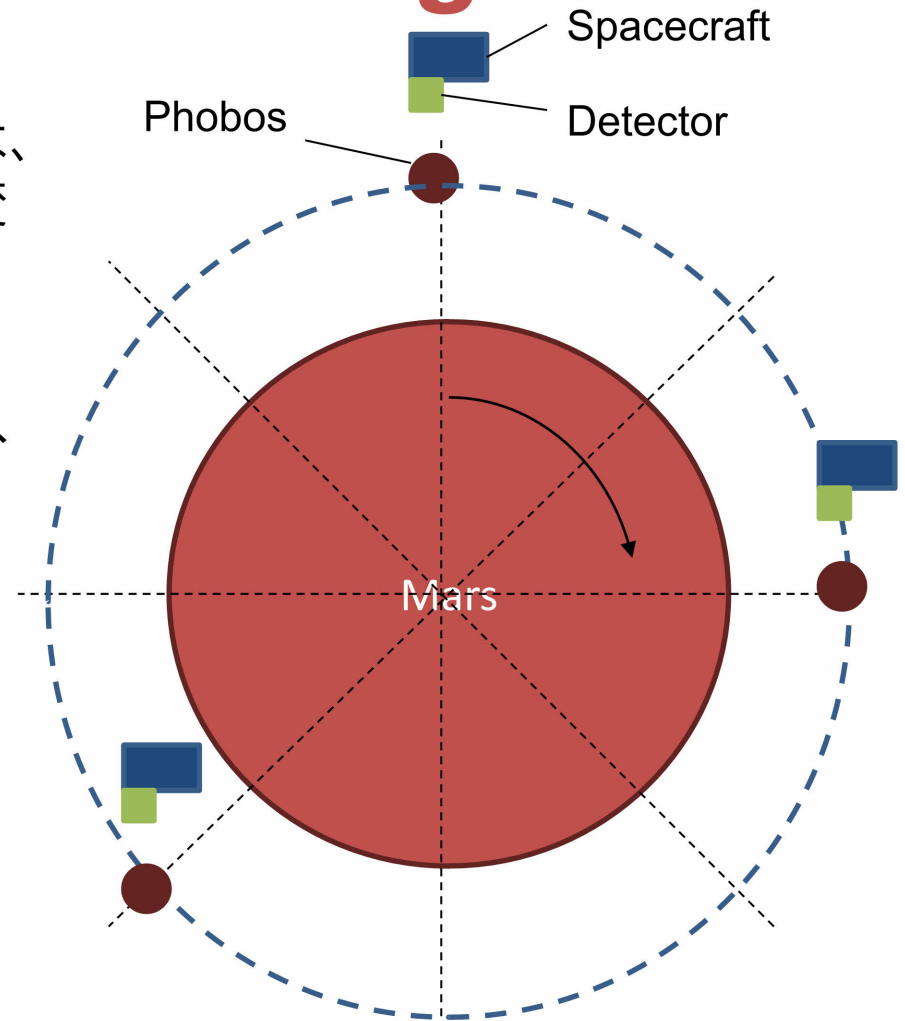
# Geometry - S/C Background -

- 探査機と燃料から発生するバックグラウンドも同様に計算を行った。  
燃料は0-3,000 kgの範囲で量を変化させた。



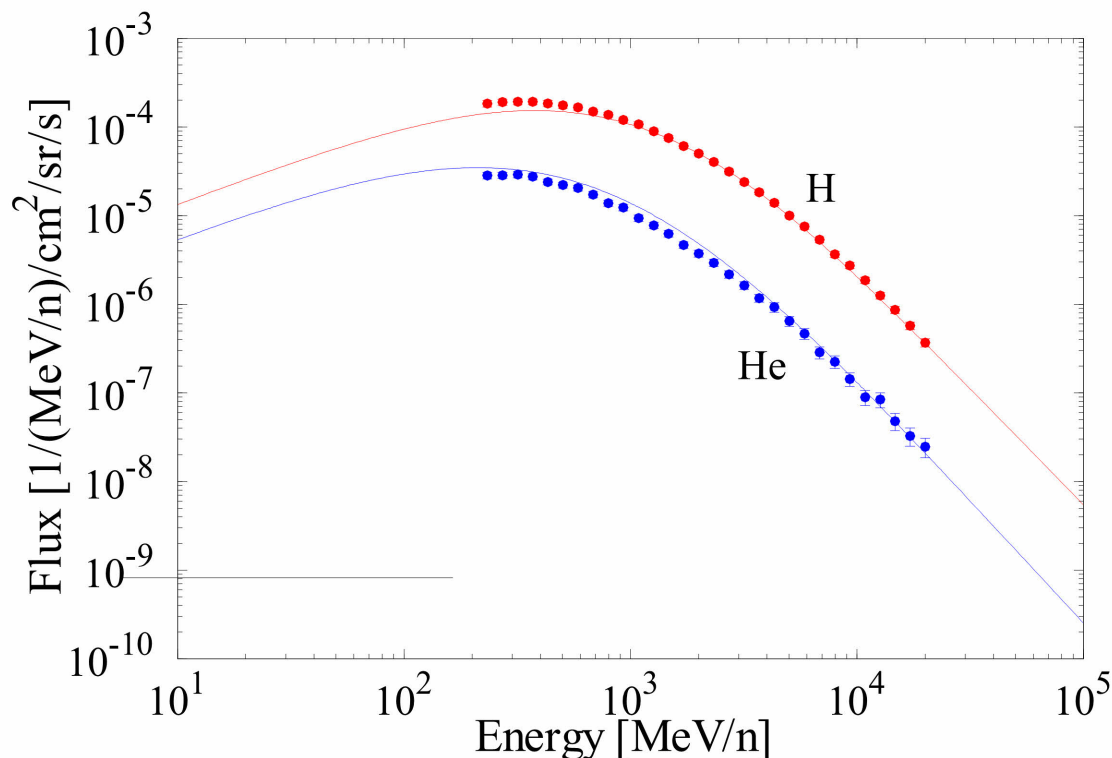
# Geometry - Mars Background -

- 火星からのバックグラウンドは、火星とフォボスの位置関係を変化させて計算した。
- 火星の立体角は最大でフォボスと同じとした。
- 火星組成はShergottyと仮定した。



# Projectiles

- 試料と探査機に入射するGCRは太陽活動極小期(1997, modulation parameter  $\phi = 491$  MV, H, He10 MeV/n-100 GeV/n)とし、BESSとPAMELAの観測データを用いてエネルギー分布を決定した(Shikaze et al., 2007; Adriani et al., 2011).
- 入射の統計は $4 \times 10^6$ で、約0.5秒間に降り注ぐGCRの数に相当する。



Energy spectra of GCR particles in solar minimum phase. Plots represent BESS observation data.



# Sample

- 試料の元素組成として、いくつかの火星隕石とコンドライトの平均組成を用いた。火星組成が巨大衝突説、コンドライト組成が捕獲説を仮定するものである。

仮定した火星隕石組成とコンドライト組成の平均値 (wt%) (NASA, 2015; Anders and Grevesse, 1989)

	H	C	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	O	Others
CI chondrite	2.02	3.45	9.53	0.869	10.7	5.26	0.928	18.5	46.4	1.84
Shergotty	—	—	9.24	3.29	21.7	0.170	5.35	15.0	41.4	3.40
Nakhla	—	—	5.86	2.01	22.9	0.0700	9.33	15.2	41.0	3.63

- SiとCaの存在量に大きな差があるため、組成を切り分けるための指標としてSi/FeとCa/Feを以降では使用する。



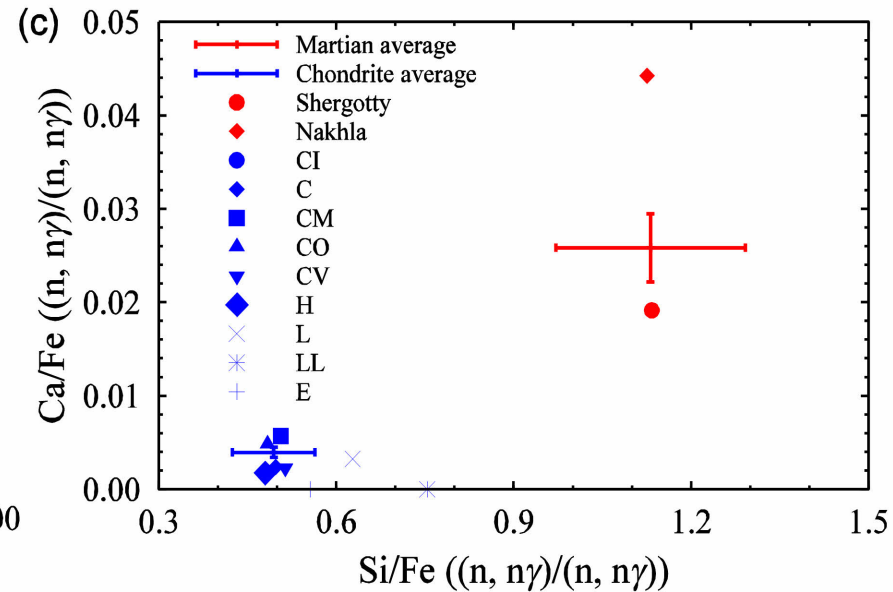
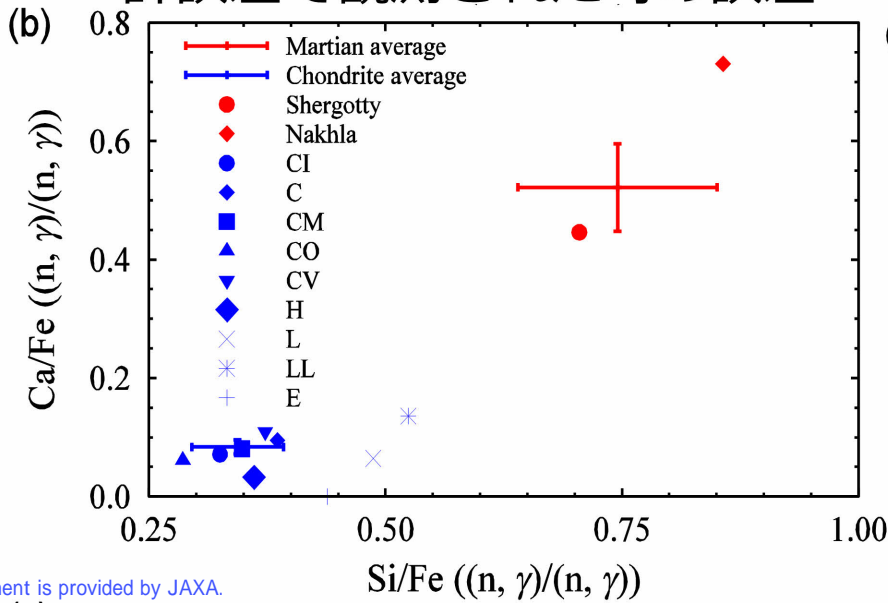
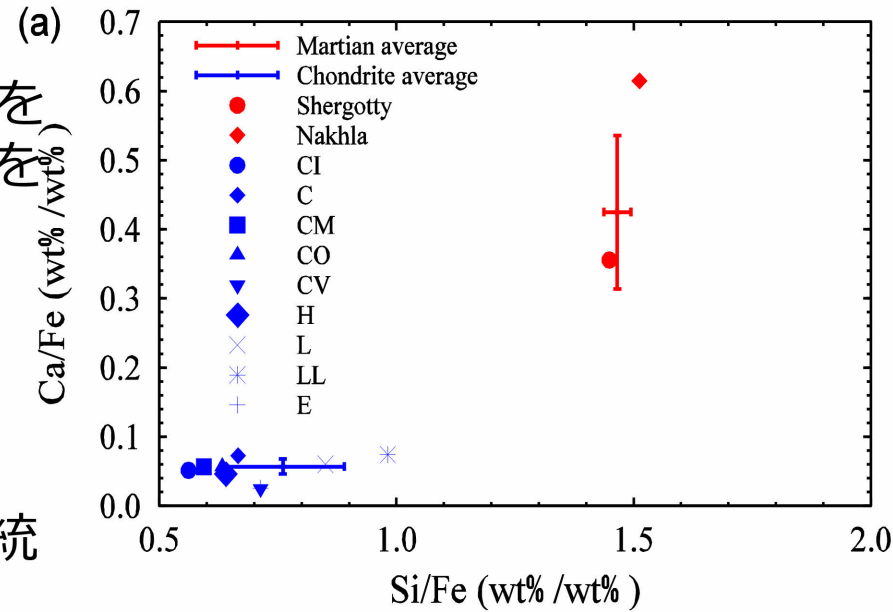
# Detection

- 火星組成ではSi/FeとCa/Feが高い値を示し、コンドライト組成では低い値をしめした。

- エラーバーはそれぞれ以下を示す。

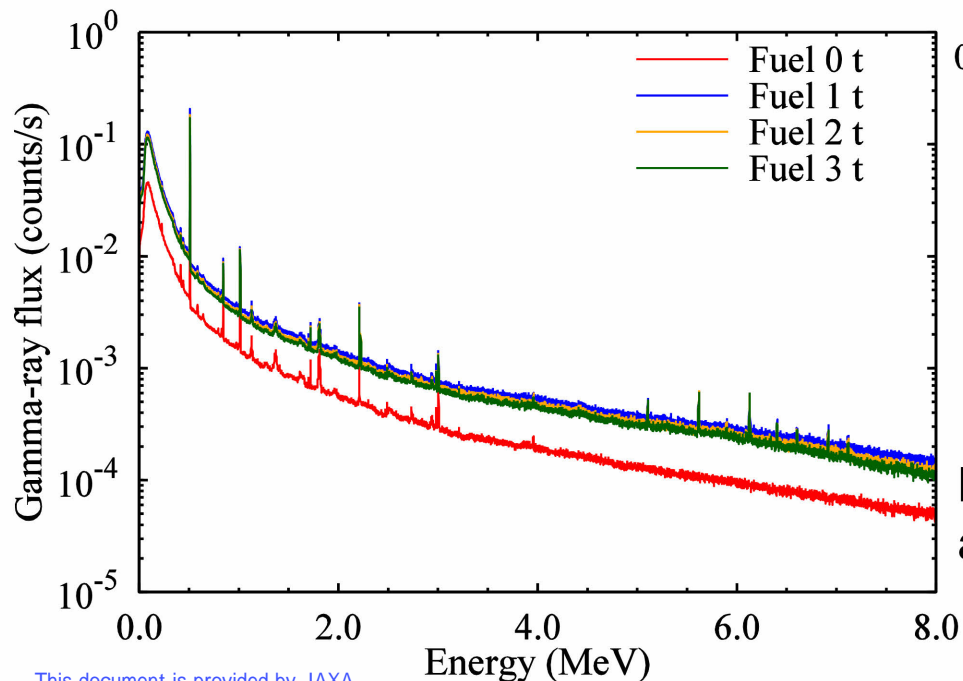
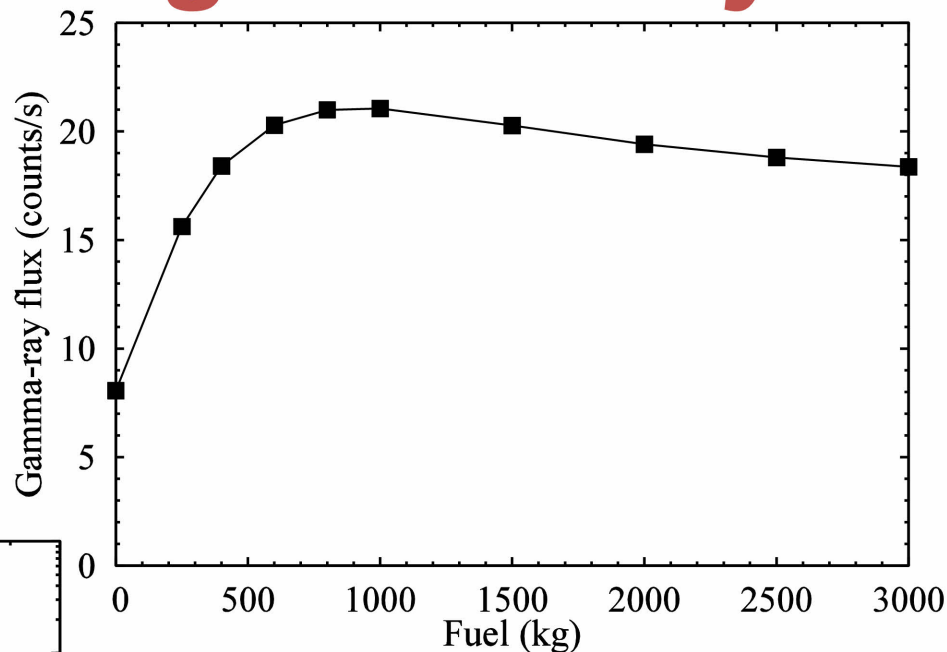
(a): 平均値とその標準偏差

(b), (c): 平均値とSi, Ca, Feが10%の統計誤差で観測された時の誤差



# S/C Background gamma-rays

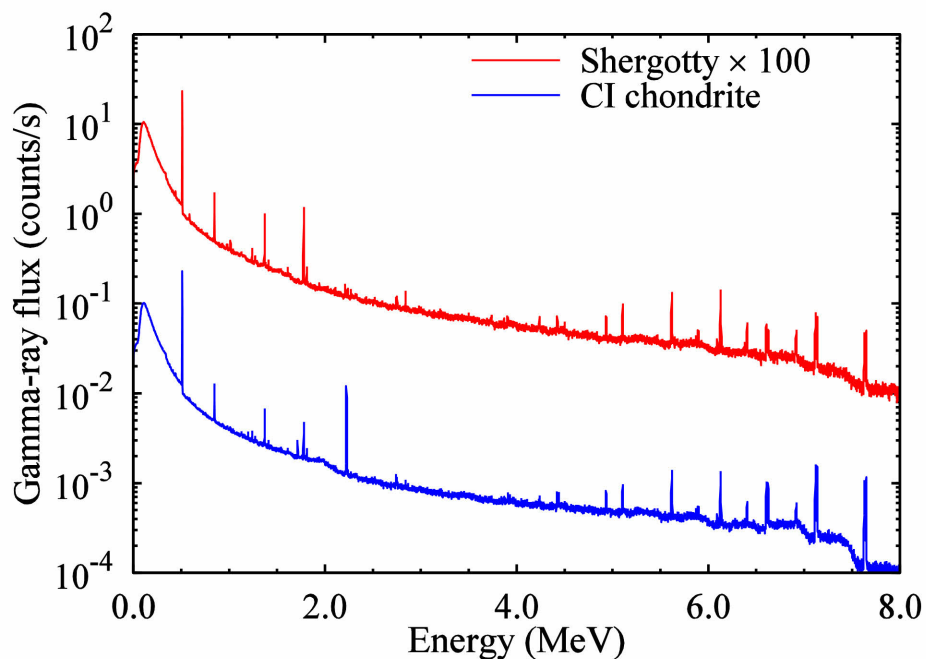
Background gamma-ray become maximum when the amount of fuel is 1,000 kg.



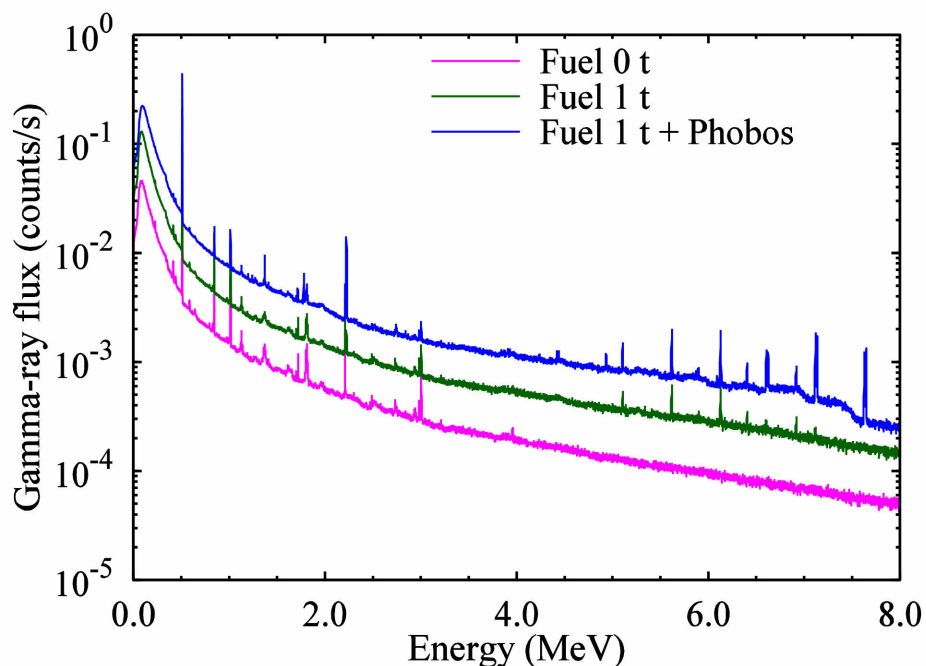
Background gamma-ray spectra by fuel and spacecraft.

# Gamma-ray from Phobos

- フォボスから発生するガンマ線と探査機と燃料から発生するガンマ線の量は観測高度20kmでほぼ同程度だった

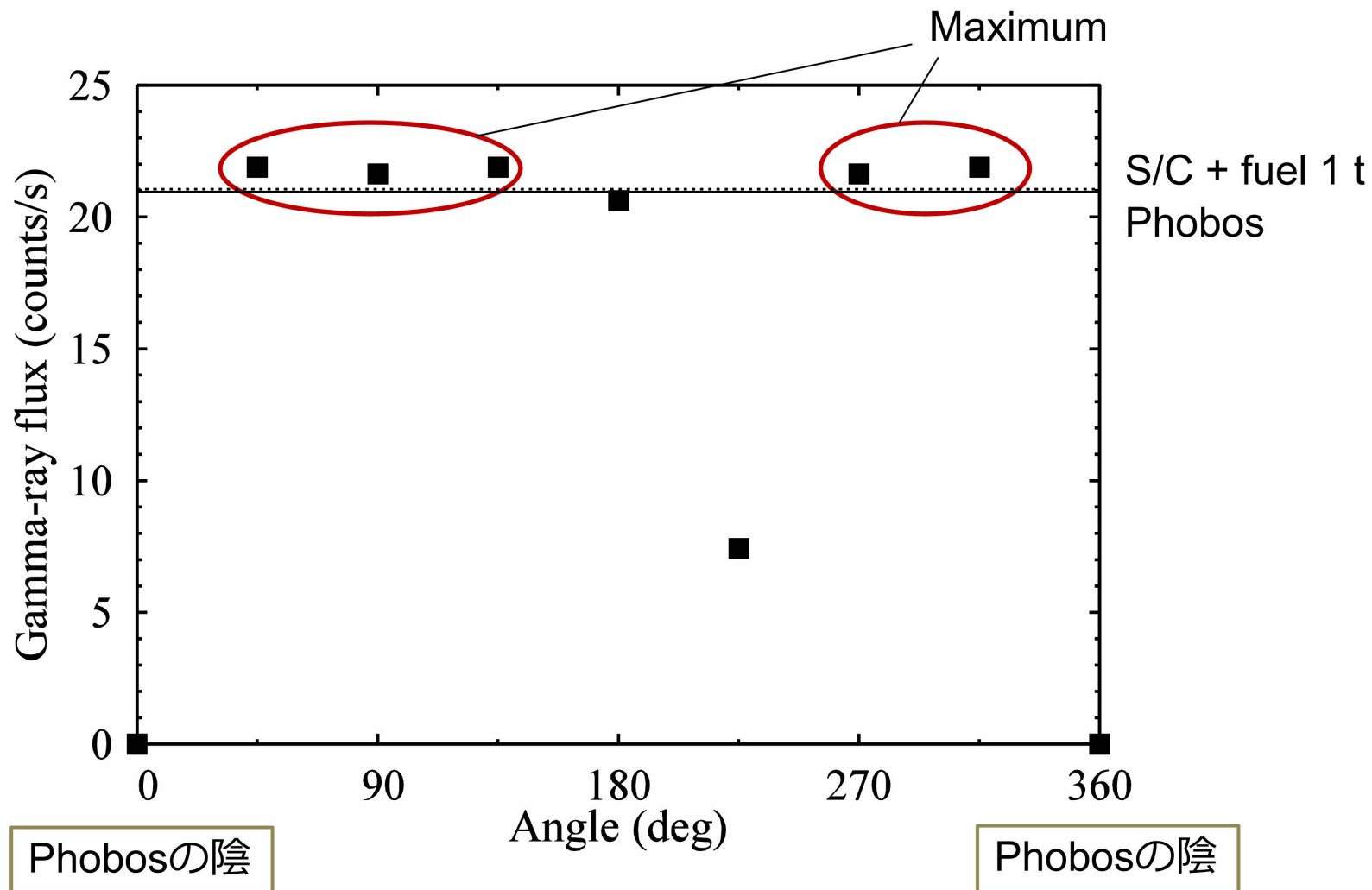


Gamma-ray spectra emitted by Phobos.



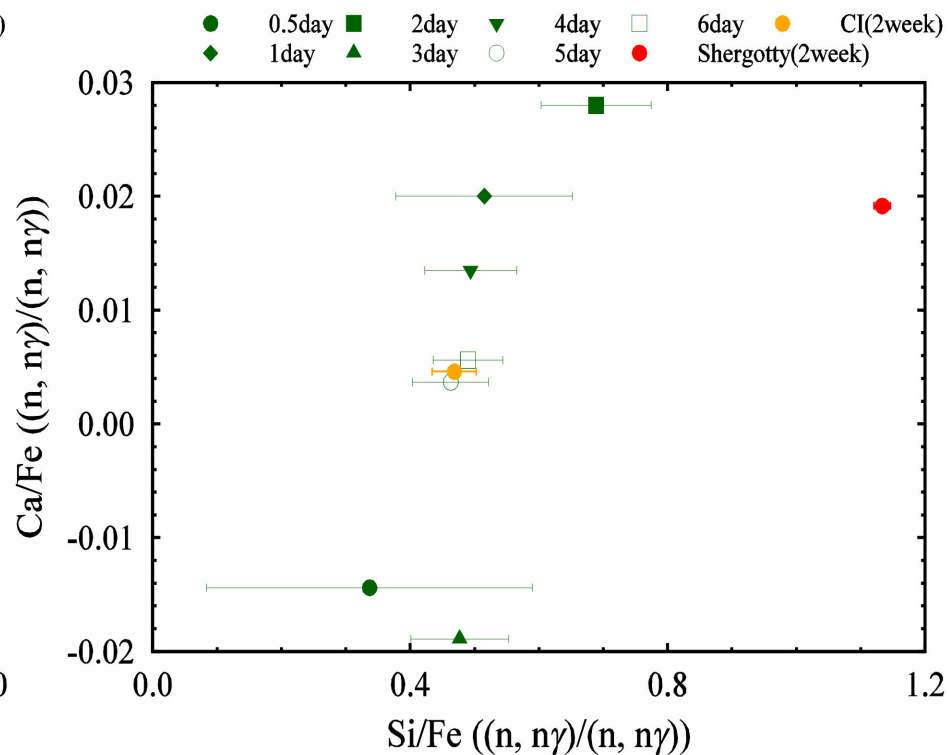
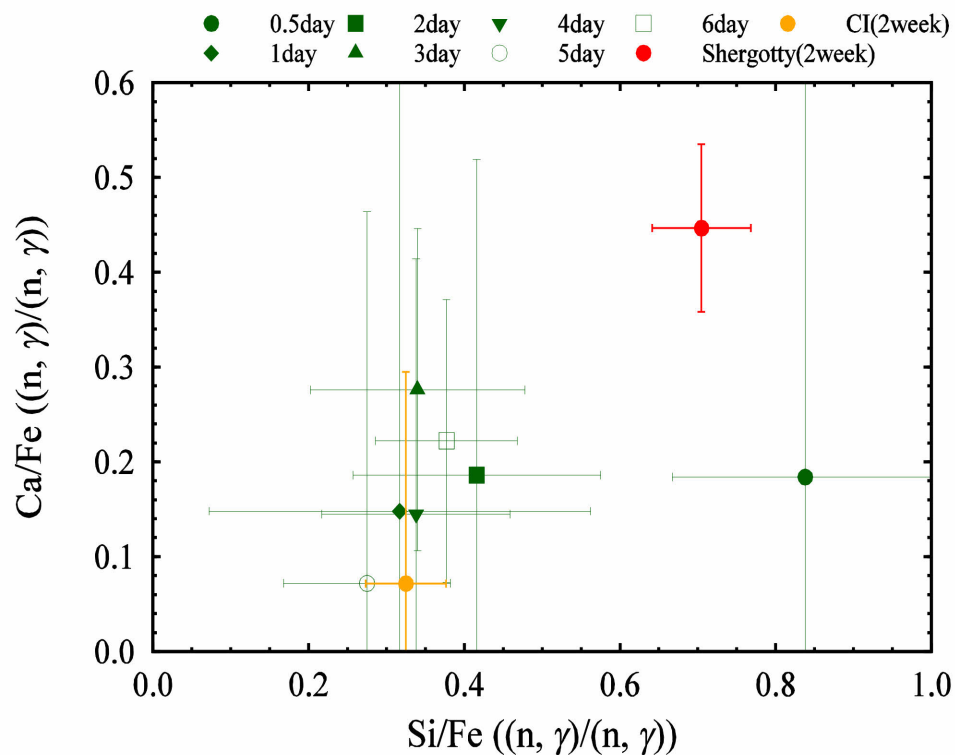
Gamma-ray spectra emitted from Phobos + gamma-ray spectra emitted from spacecraft.

# Gamma-ray from Mars



# Background subtraction

- フォボス、火星、探査機から発生するガンマ線を検出器へ同時に入射させ、その後火星、探査機からのガンマ線のみを入射した結果を差し引いた。
  - フォボスをCIコンドライト組成、火星をShergotty組成と仮定



# Conclusion

- 火星衛星のガンマ線・中性子観測に向け、衛星からのガンマ線と火星・探査機からのバックグラウンドガンマ線の数値シミュレーションを行った。
- Si/Feを用いることで、ガンマ線観測で火星組成とコンドライト組成を切り分けることが可能。
  - 観測高度20 kmの仮定のもとで、約2日間の観測時間があればバックグラウンドを差し引いても組成をわけることができる。

