

Lunar elemental (Fe, Ti, K, Th) map using Kaguya Gamma-ray Spectrometer

「かぐや」搭載ガンマ線分光計を用いた月面元素 (Fe, Ti, K, Th) 濃
度分布

Masayuki Naito¹, Hiroshi Nagaoka², Yukari Fujibayashi¹, Yukihiro
Sakuramoto¹, Hokuto Sekine¹, Eido Shibamura², Nobuyuki Hasebe^{1, 2}

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

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

ABSTRACT

Kaguya Gamma-Ray Spectrometer (KGRS) is one of the mission payloads on Kaguya (SELENE) to determine elemental composition on the Moon. Determination of the elemental composition is considered to be essential to discuss planetary origin and evolution. Previously, gamma-ray spectrometers are offered by a lot of missions such as Lunar Prospector and Mars Odyssey. One characteristic feature of the KGRS is High Purity Ge (HPGe) detector. The HPGe detector has a great advantage on its energy resolution comparing BGO scintillator used by Lunar Prospector. The good energy resolution enable the KGRS to deconvolute some complex energy peaks. In this work, lunar distribution maps of Fe, Ti, K and Th are obtained by using low altitude observation data.

「かぐや」搭載ガンマ線分光計を用いた 月面元素(Fe, Ti, K, Th)濃度分布

内藤 雅之¹, 長岡 央², 藤林 ゆかり¹, 櫻本 晋洋¹,
関根 北斗¹, 柴村 英道¹, 長谷部 信行²

¹早稲田大学先進理工学研究科

²早稲田大学理工学術院総合研究所

Outline

- Introduction

Gamma-ray spectroscopy & spectrometer

- Method

Peak fitting & Gamma-ray correction

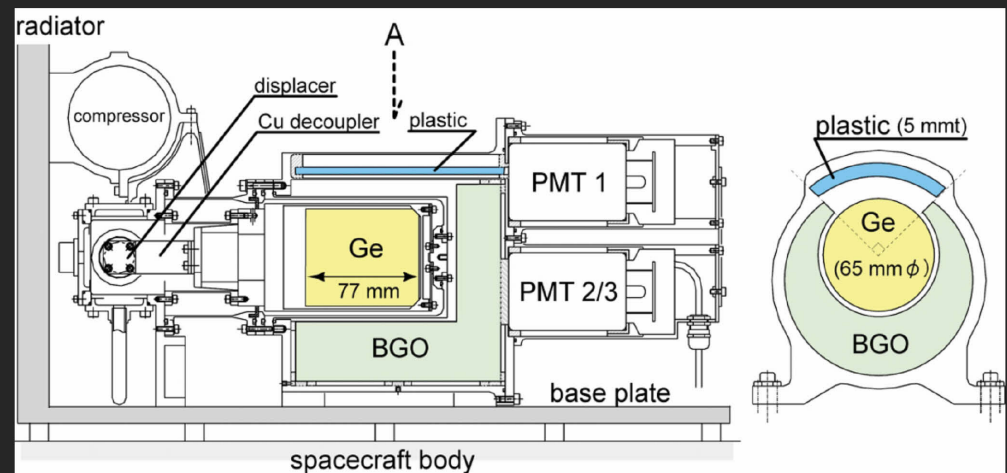
- Results & Discussion

Elemental abundance maps of Fe, Ti, K, Th

- Conclusion

Introduction

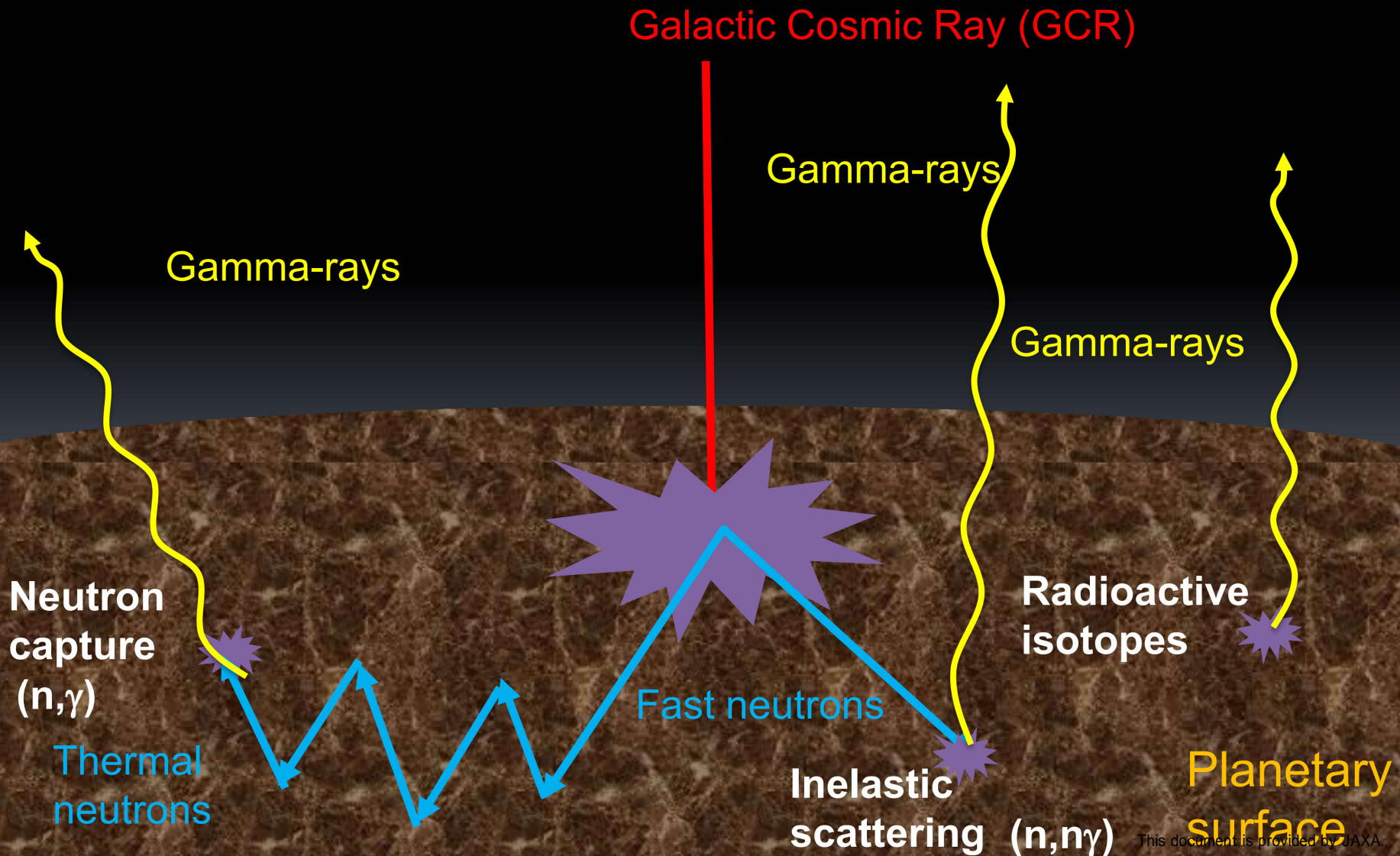
- 天体の元素組成は、惑星の起源や進化を研究するうえで天体の大きさ、質量と並んで重要視される情報である。
- 「かぐや」搭載ガンマ線分光計(KGRS)はガンマ線分光法によって天体の元素組成を決定する元素分析器である。



Schematic drawing of KGRS
(N. Hasebe et al. 2008)

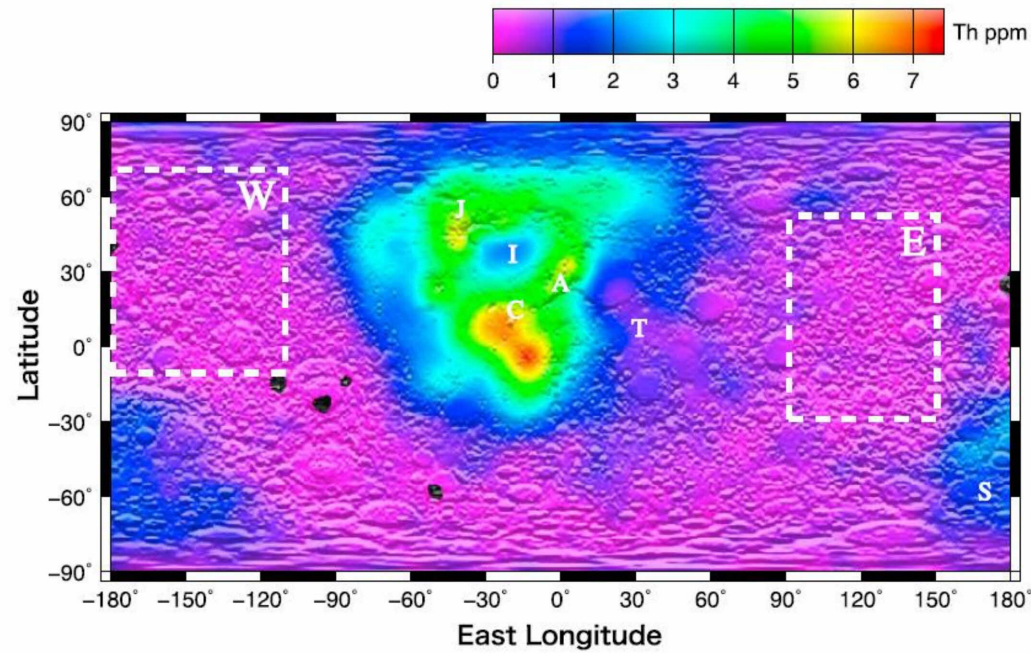
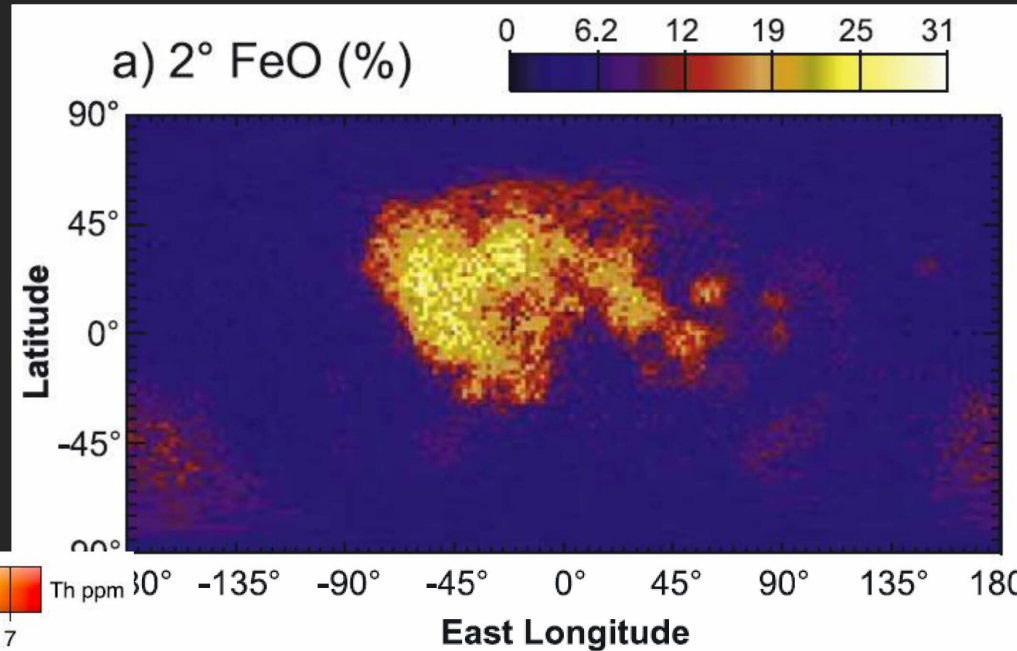
Gamma-ray spectroscopy

Space



Previous works

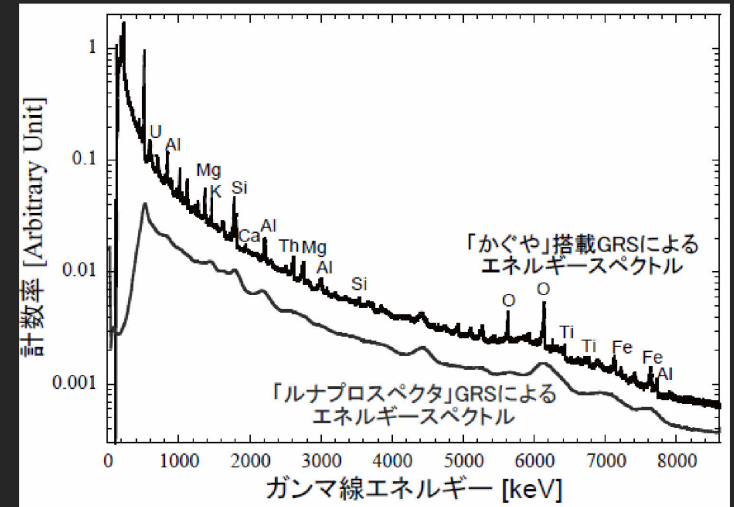
Lunar FeO distribution obtained
by LPGRS
(Prettyman et al., 2006)



Lunar Th distribution obtained
by KGRS
(Yamashita et al., 2010)

Motivation

- KGRSの特徴はHPGe検出器を用いたことによる高いエネルギー分解能
- 本研究では、空間分解能とエネルギー分解能に特に優れるPeriod3データを用いて月面元素分布図を作成するとともに、将来探査におけるHPGe検出器の有用性について検討する



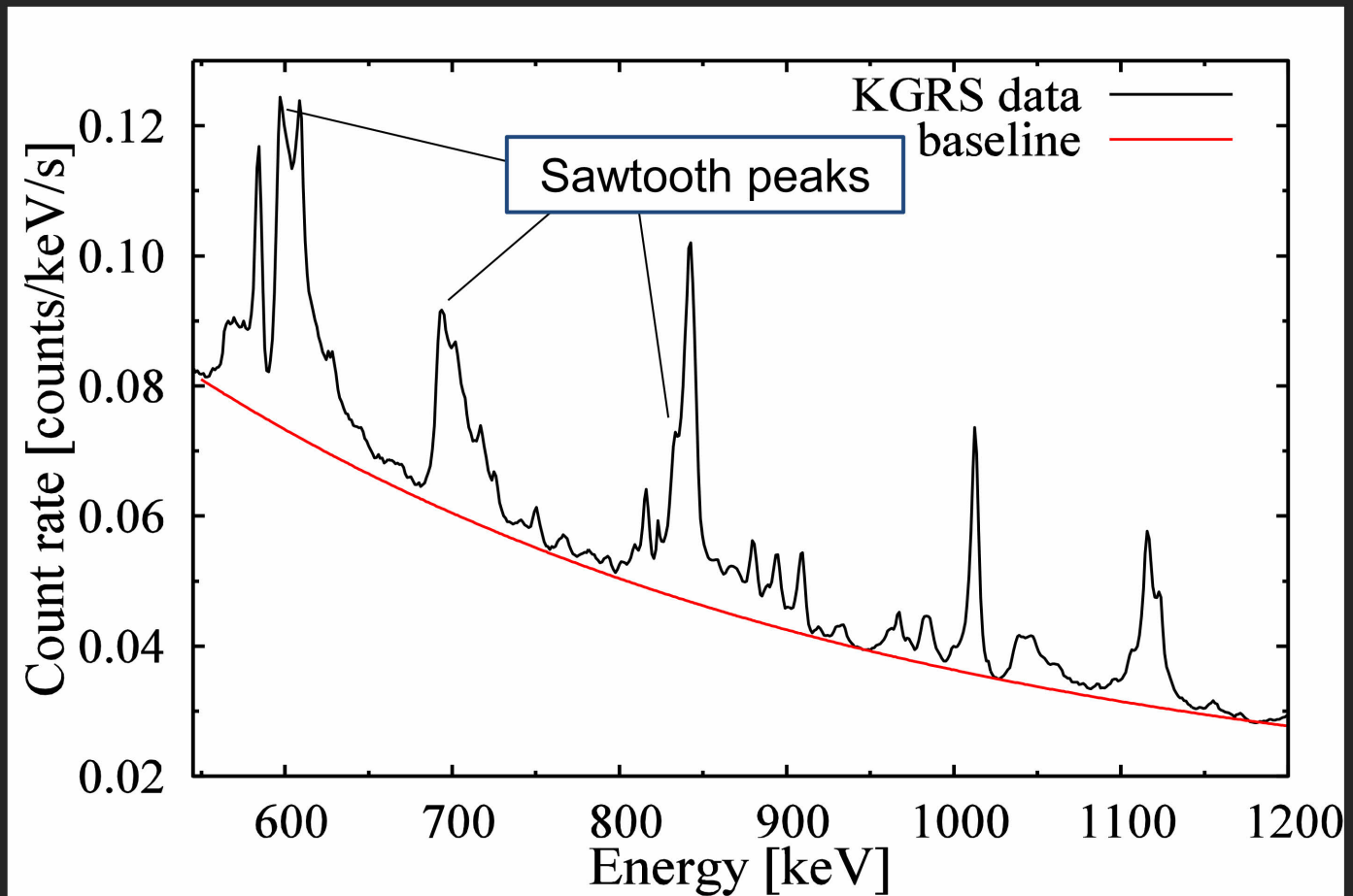
唐牛讓 他 2008

KGRSの観測フェイズ

	Period (UT)	Live time (days)	Altitude (km)	Energy resolution (FWHM)	Spatial resolution
Period1	2007.12.14 - 2008.2.16	32.8	100 ± 20	8.8 keV	(130 km) ²
Period2	2008.7.7 - 2008.12.16	78.6	100 ± 20	16.6 keV	(130 km) ²
Annealing	2008.12.16 - 2008.12.25				
Period3	2009.2.10 - 2009.5.28	69.5	50 ± 20	7.1 keV	(67 km) ²

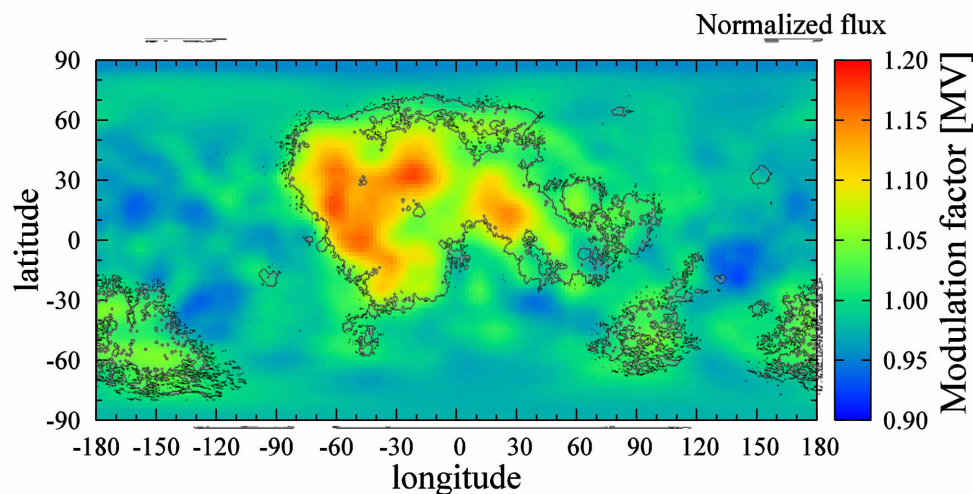
Energy peak

- KGRS観測データには「月・探査機由来のガンマ線ピーク」と「高速中性子の反跳によるSawtoothガンマ線ピーク」の2種類が存在する

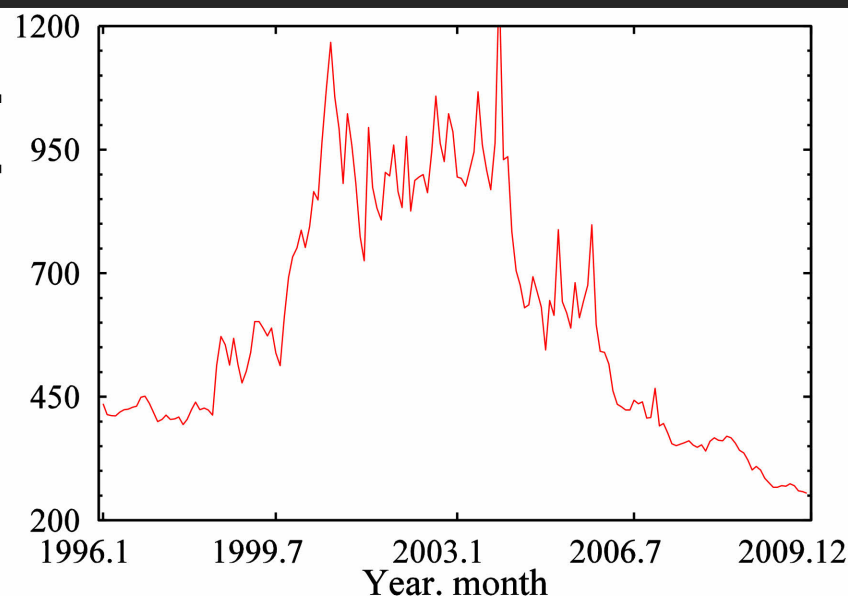


Neutron flux

- Sawtooth peakの強度を測定することで 高速中性子フラックスを測定できることが確認されている。
- 以降の元素濃度マップでは非弾性散乱由来のガンマ線はSawtooth peakから得られた高速中性子強度で、中性子捕獲由来のガンマ線はLP中性子観測によって得られた熱中性子強度で補正を行う。

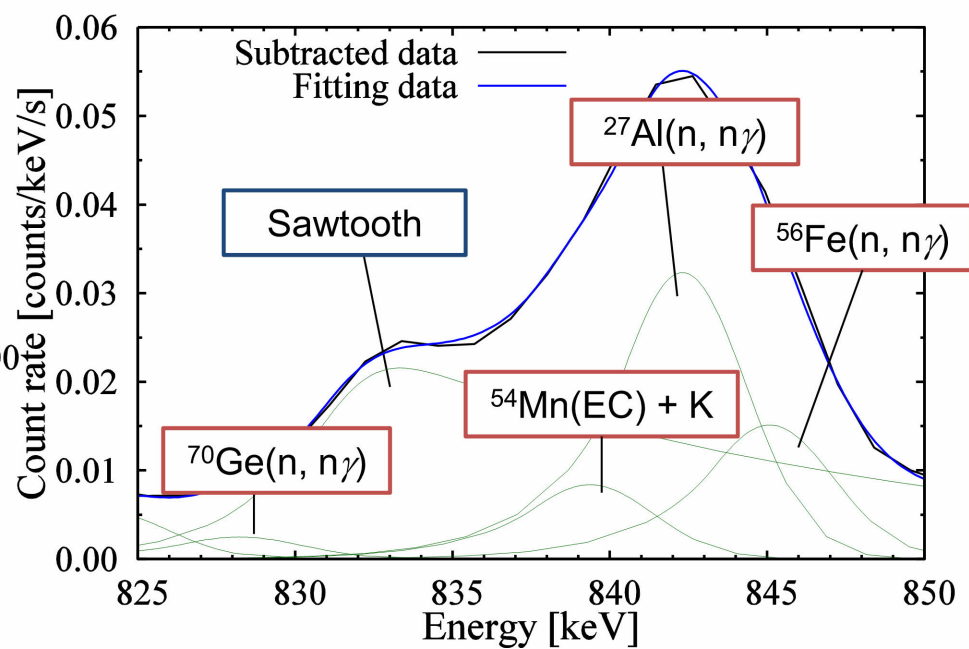
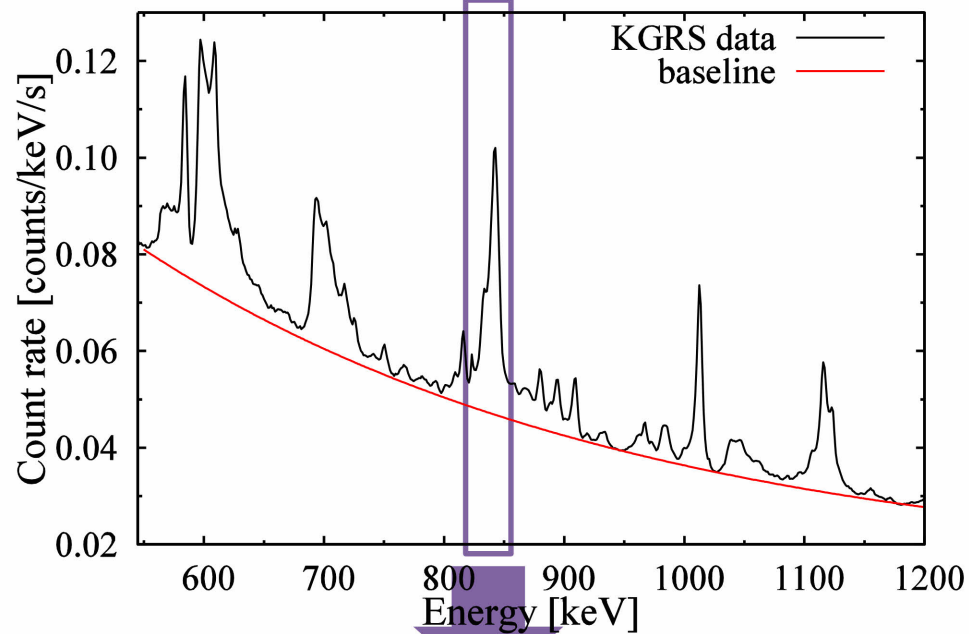
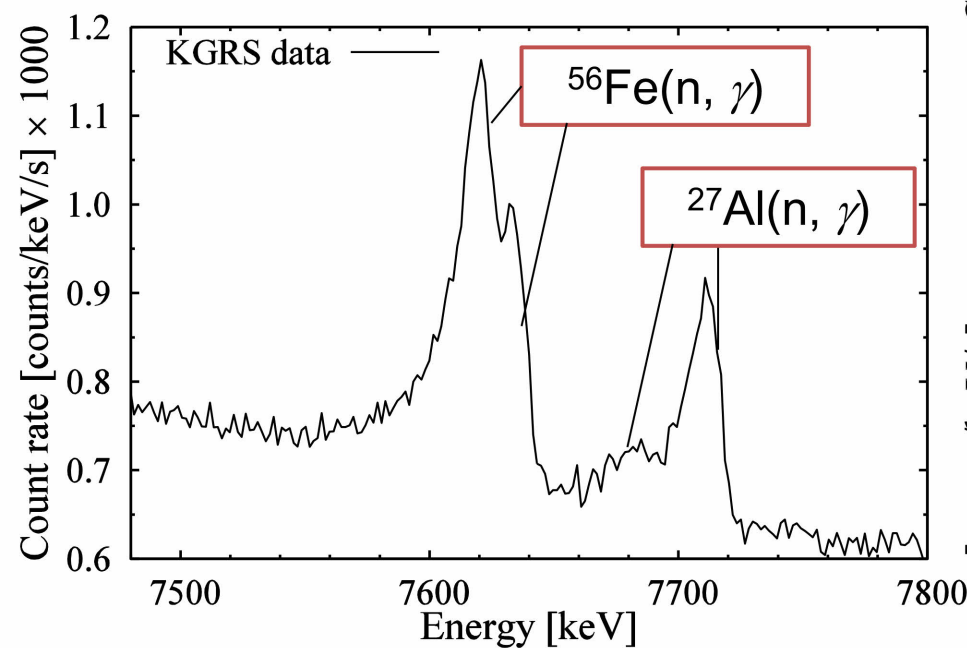


Lunar fast neutron map determined by Sawtooth peak (595 keV) (M. Hareyama et al., 2016)



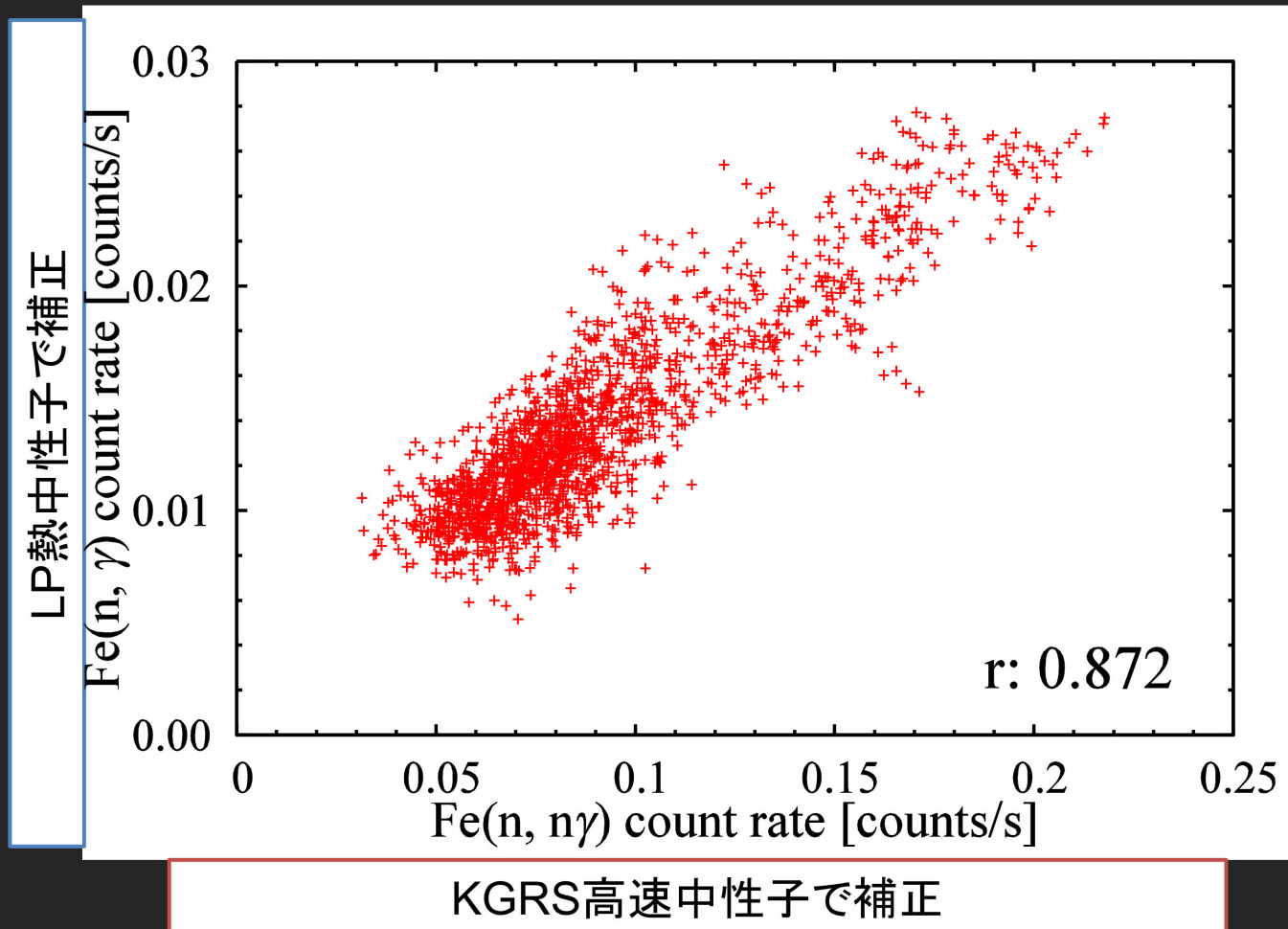
Variation of solar modulation parameter (I. G. Usoskin et al., 2011)

Fe peak



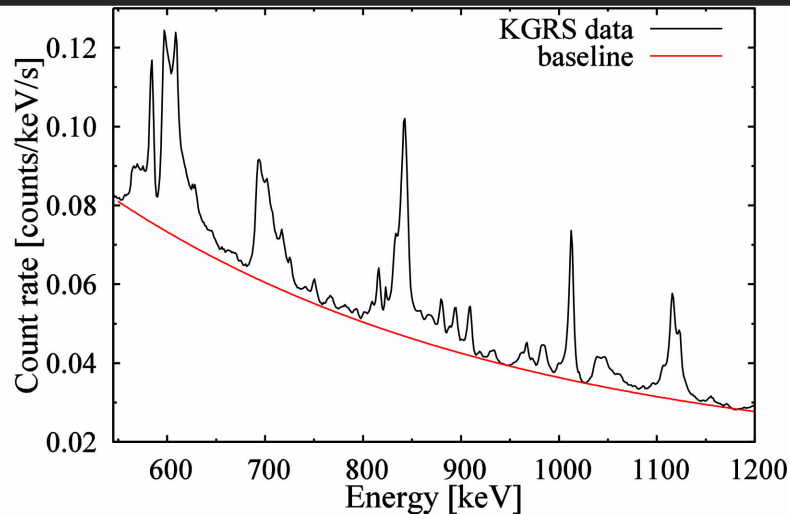
Peak comparison

- ピーク強度・検出効率・中性子補正の観点から、以降は $\text{Fe}(n, n\gamma)$ についてのみ扱う。

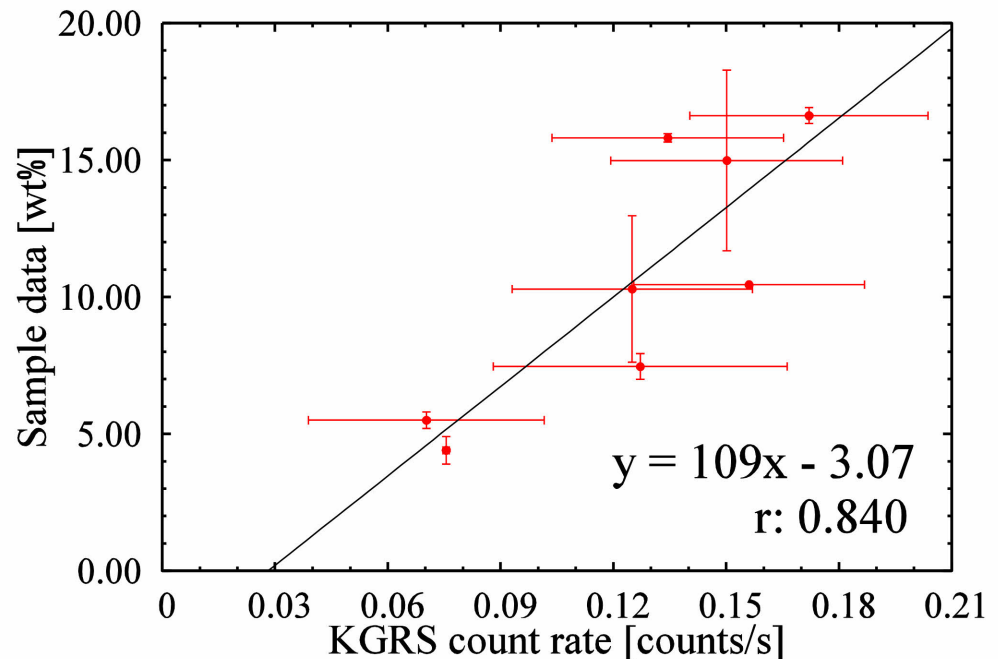


Ground truth

- アポロ・ルナの回収試料の元素組成(Korotev, 2001, Korotev et al., 2011, Haskin and Warren, 1991)を用いて濃度構成を行った。

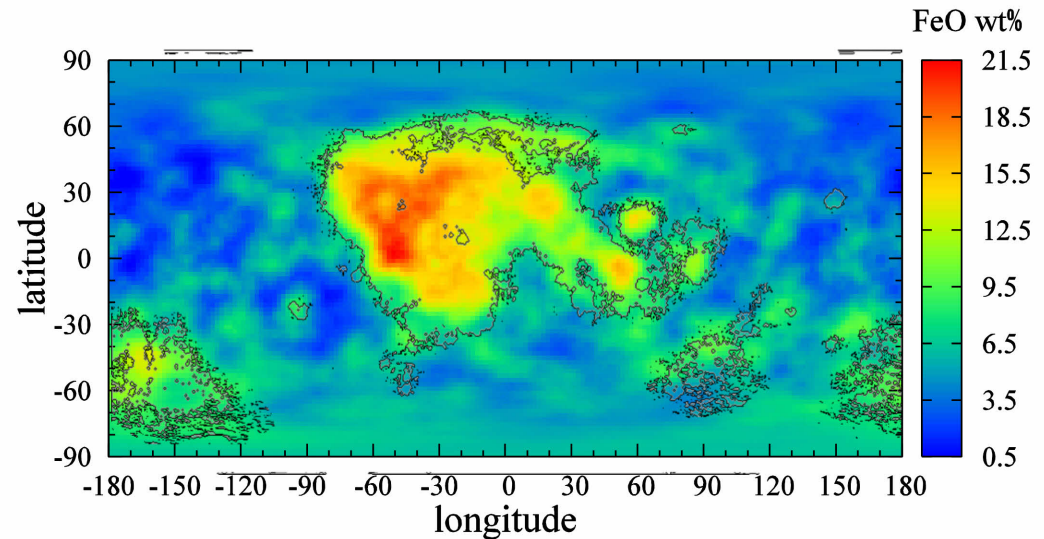


	Sample data (wt%)	KGRS count rate (count/s)	Statistical error
A11	15.81 ± 0.15	0.134	23%
A12	16.62 ± 0.29	0.172	18%
A14	10.45	0.156	20%
A15	14.98 ± 3.30	0.150	21%
A16	5.50 ± 0.30	0.0703	45%
A17	10.29 ± 2.67	0.125	26%
L20	7.46 ± 0.47	0.127	31%
FHT	4.40 ± 0.50	0.0755	1.1%

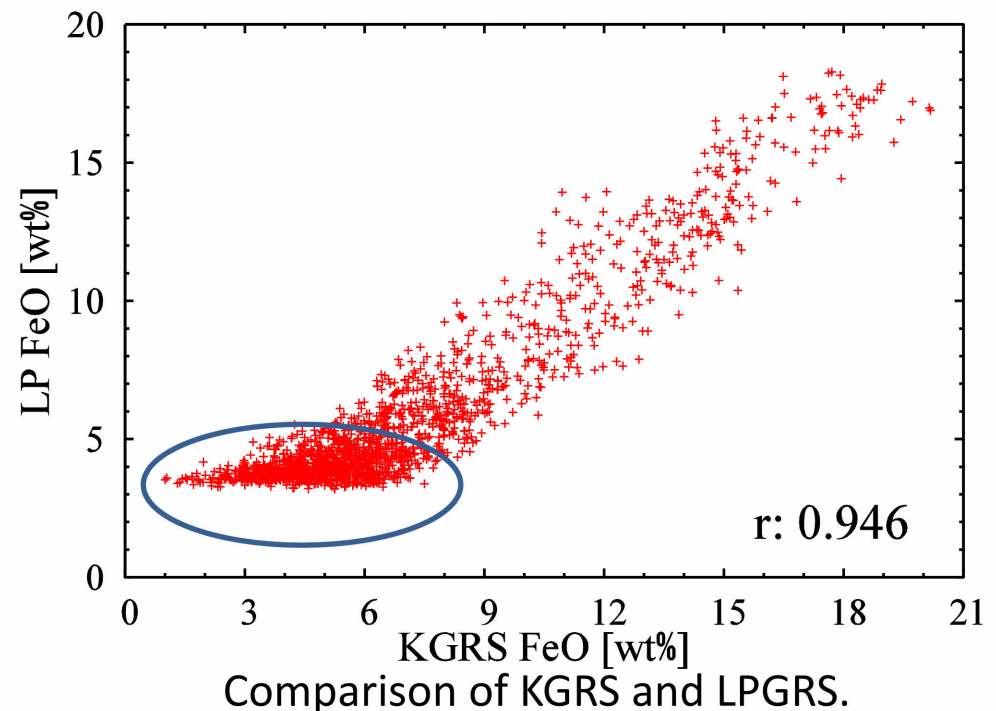


KGRS vs LP

- LP の観測結果 (D. J. Lawrence et al., 2001)と比較すると、良い相関を示した。
- 低濃度領域でLPとKGRSで濃度差が表れた。
⇒LPはFe(n, γ)を使用している
⇒ピーク強度・検出効率で劣る

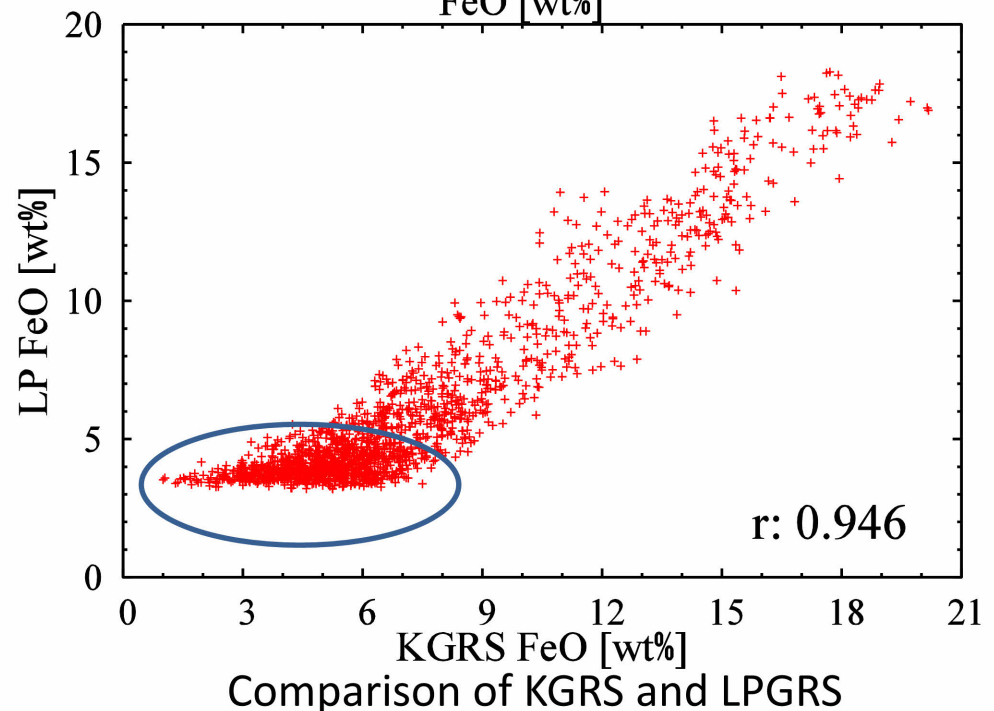
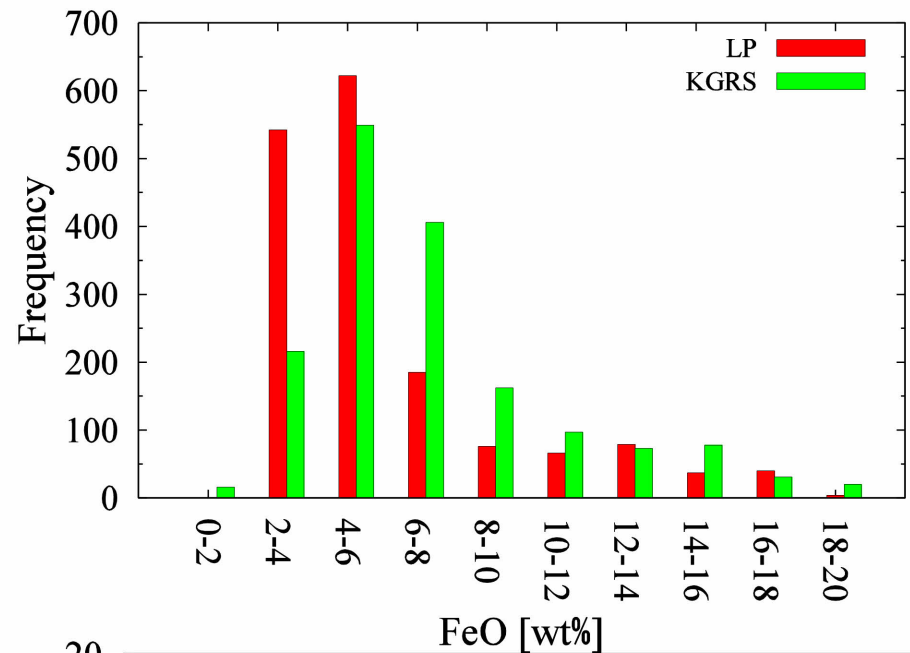


FeO distribution map obtained by KGRS.



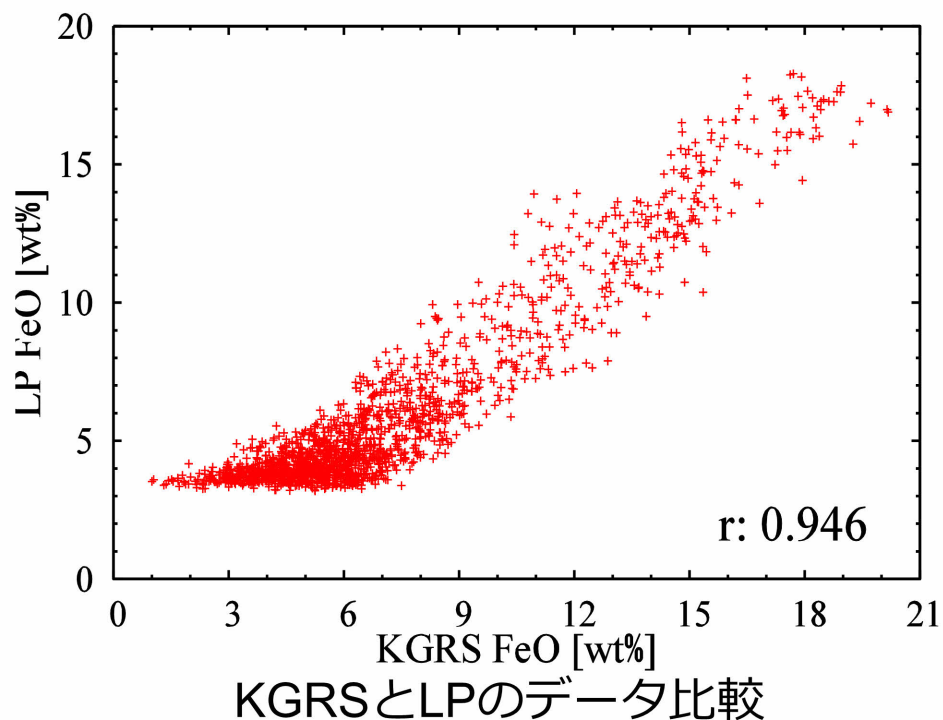
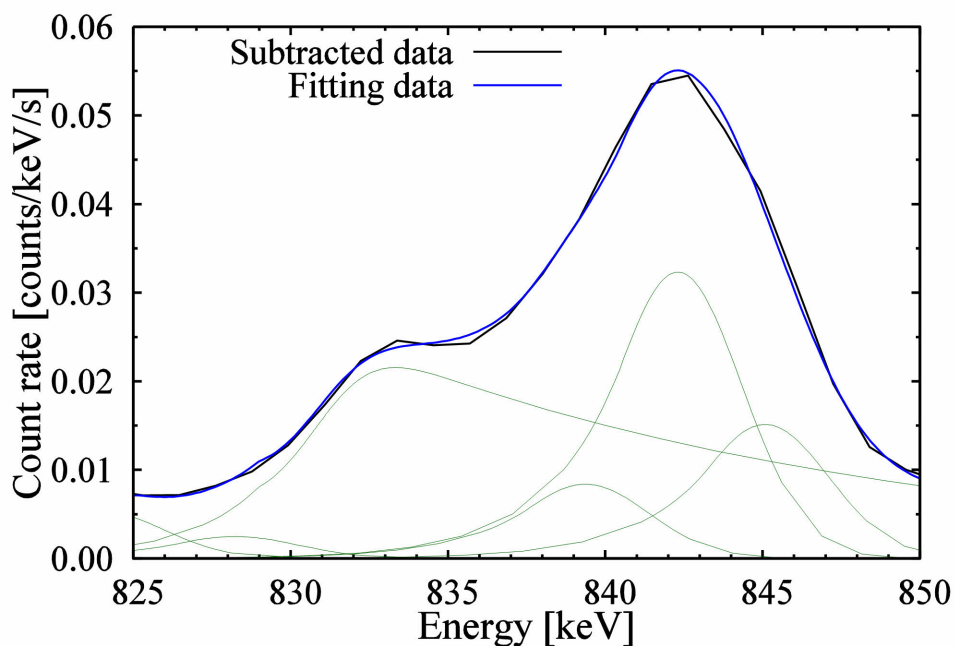
KGRS vs LP

- LP の観測結果 (D. J. Lawrence et al., 2001)と比較すると、良い相関を示した。
- 低濃度領域でLPとKGRSで濃度差が表れた。
⇒LPはFe(n, γ)を使用している
⇒ピーク強度・検出効率で劣る



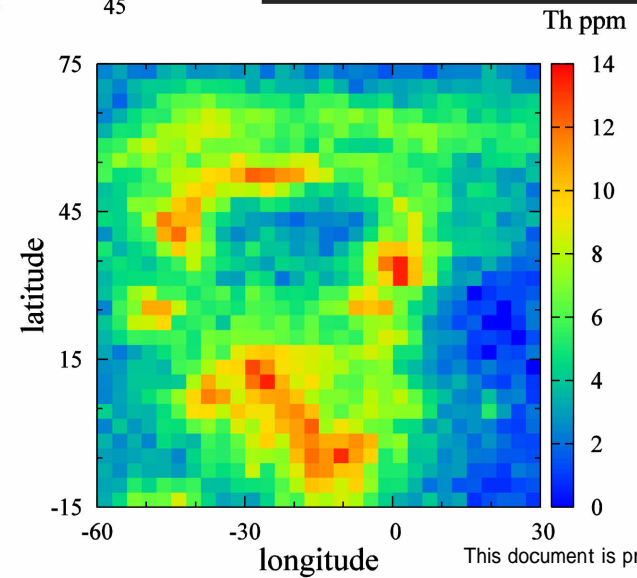
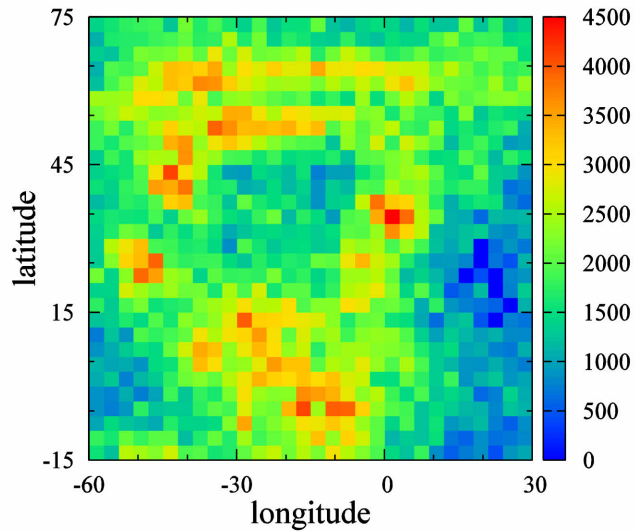
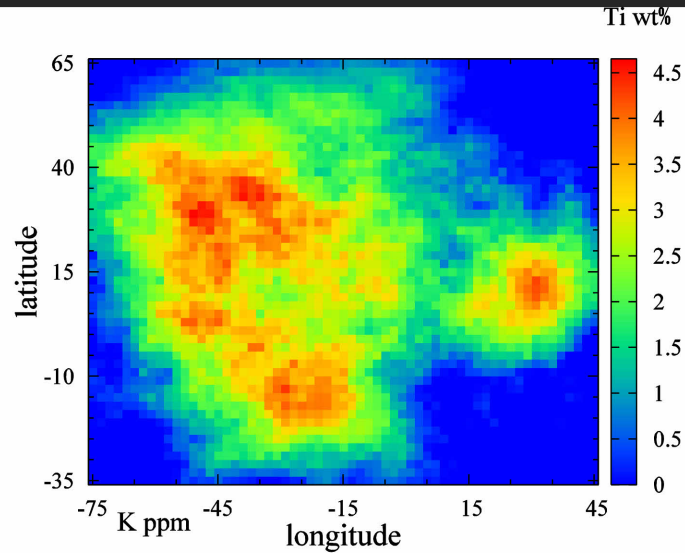
KGRS vs LP

- HPGe検出器単体で非弾性散乱由来のピークに対する適切な補正を行うことができる。
- HPGe検出器を用いることで $^{56}\text{Fe}(n, n\gamma)$ のような、高い強度を持ちながら周囲に複数のピークをもつためBGOなどのシンチレータでは測定が難しいピークを用いて元素同定を行うことができる。



Ti, K, Th

- Ti, K, Thについても元素分布図を作成した。



Conclusion

- 「かぐや」搭載ガンマ線分光計(KGRS)の低高度観測データを使用してFe, Ti, K, Thの元素濃度分布図を作成した。
 - 作成した元素濃度分布はルナプロスペクタ搭載のガンマ線分光計と比較して特にFeの低濃度領域で高い精度を示した。
- Sawtooth peak@595 keVを用いることで高速中性子の強度を決定し、それを用いて非弾性散乱由来のガンマ線の強度補正を行った。
 - HPGe検出器単体で($n, n\gamma$)ガンマ線の強度補正を行うことが可能。
 - ガンマ線と同時期に観測された高速中性子密度を用いて補正を行うことができる。
- これらの結果は惑星探査におけるHPGe検出器を用いたガンマ線分光計の有用性を支持するものである。

Thank you for your kind attention.