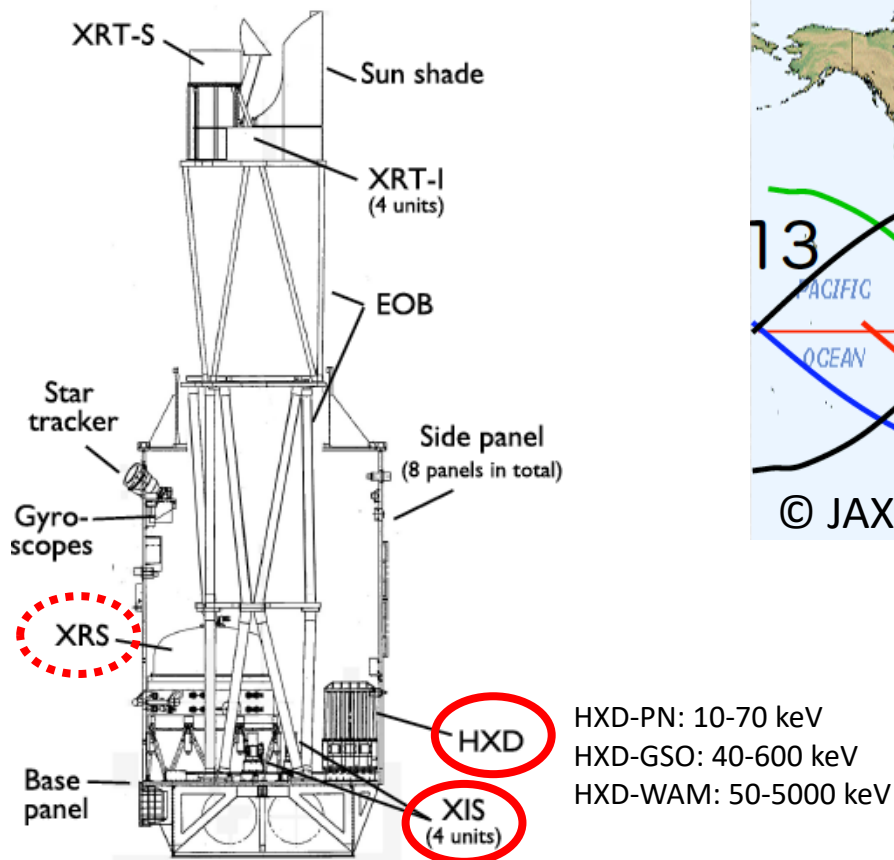


X線天文衛星「すざく」 の昼地球データを用いた 超高層大気研究の新展開

勝田哲¹、森浩二²、田代信^{3,1}、寺田幸功¹、佐藤浩介¹、
森田佳恵¹、相楽ひかり¹、村上弘志⁴、信川正順⁵、常深博⁶、
林田清⁶、松本弘典⁶、中嶋大⁶、小高裕和⁷

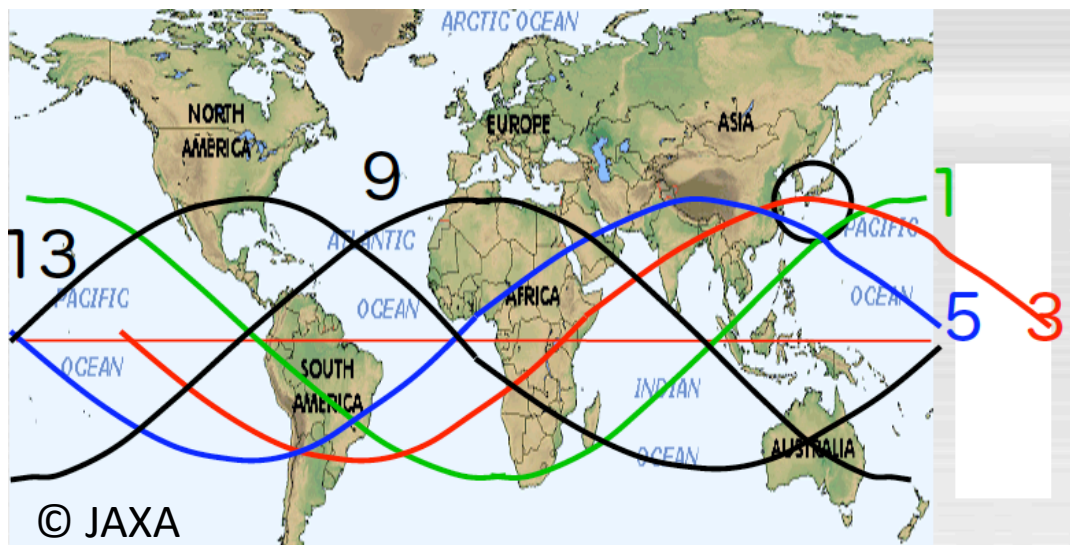
(1. 埼玉大、2. 宮崎大、3. JAXA/ISAS、4. 東北学院大、
5. 奈良教育大、6. 阪大、7. 理研)

X線天文衛星「すざく」



Mitsuda et al. (2007)

XIS: 0.2-12 keV



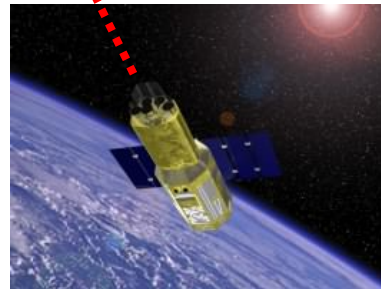
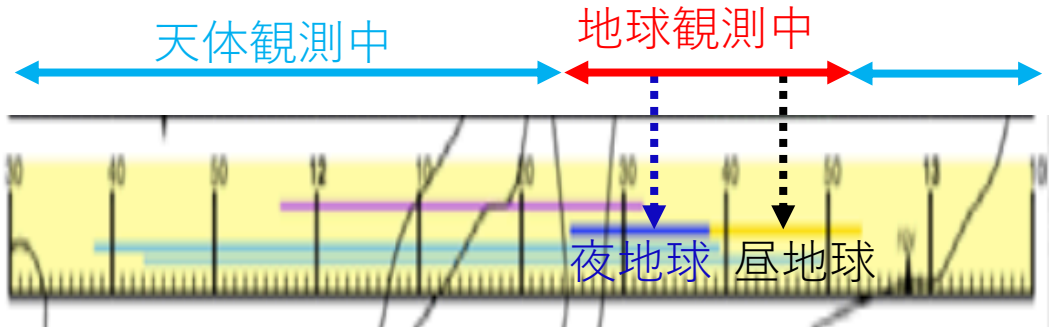
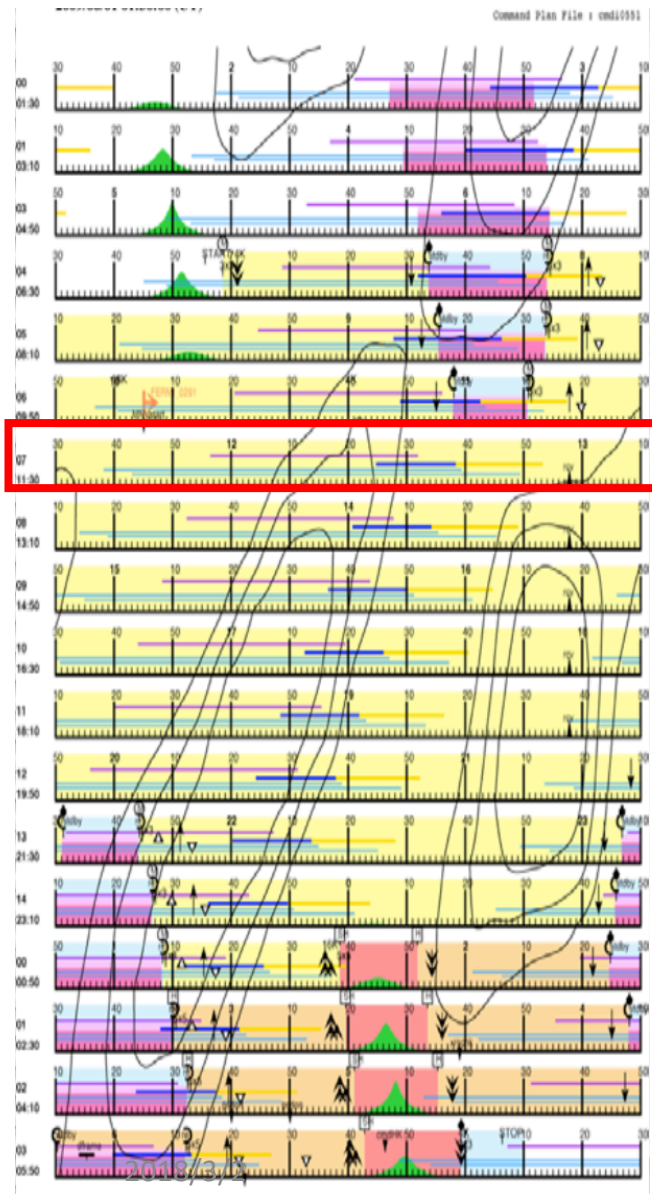
稼働期間：2005-07～2015-06

軌道高度：560～580 km (略円軌道)

軌道傾斜角：約 31 度

周期：約 97 分 → 1 日に地球15周回

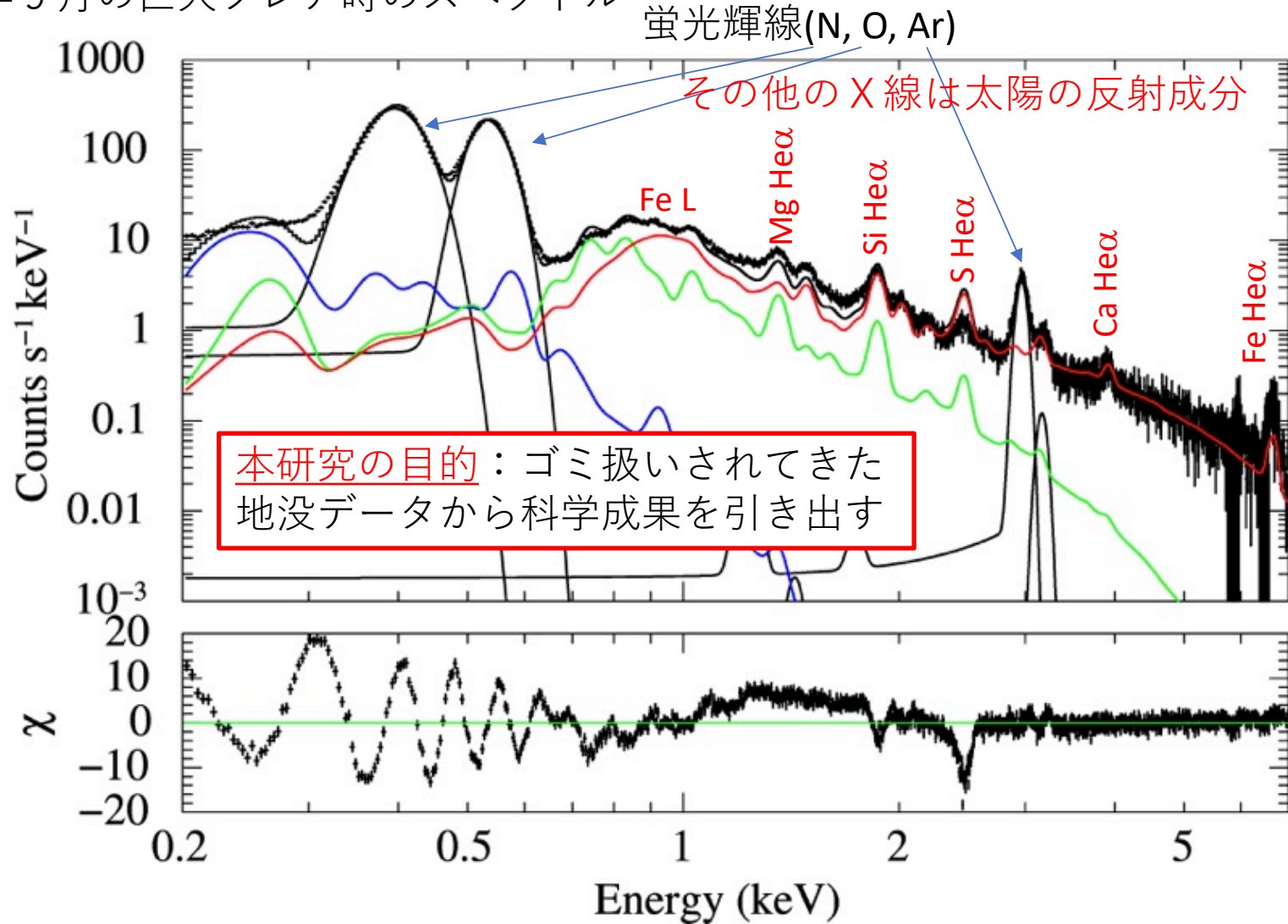
「すざく」観測の内訳(約1日分)



「衛星姿勢固定」 + 「低軌道高度」
→ 地球を観測する時間帯が必ず一定の割合で存在する(地没データ)。

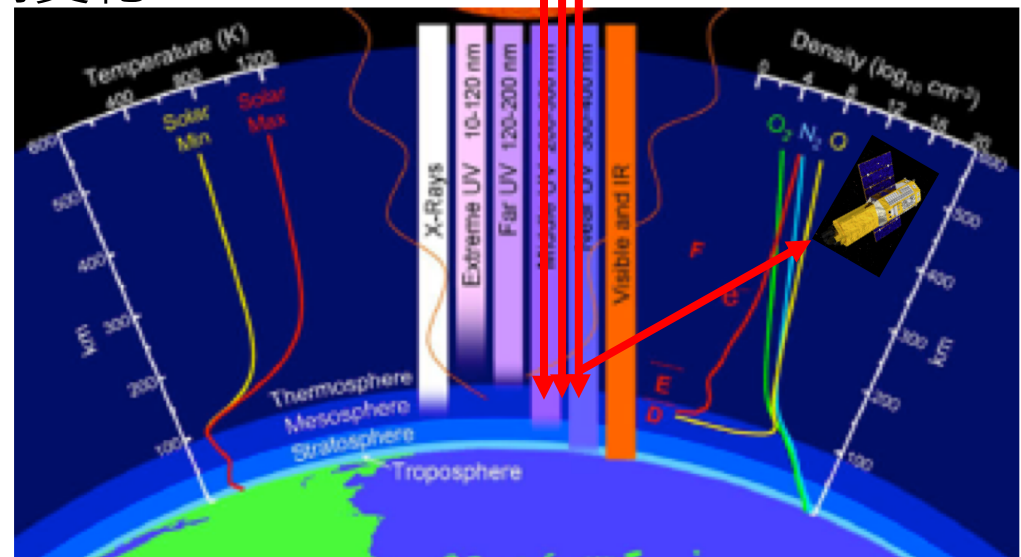
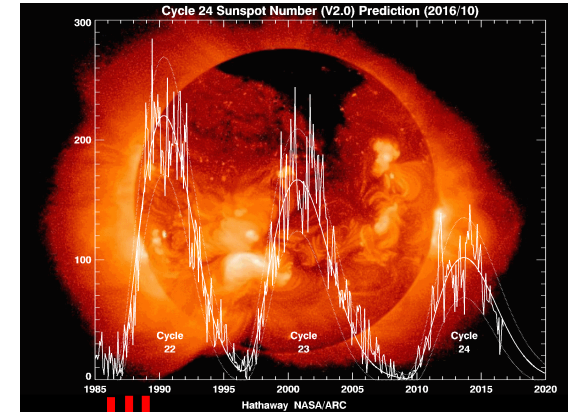
地没XISスペクトル

2005年9月の巨大フレア時のスペクトル



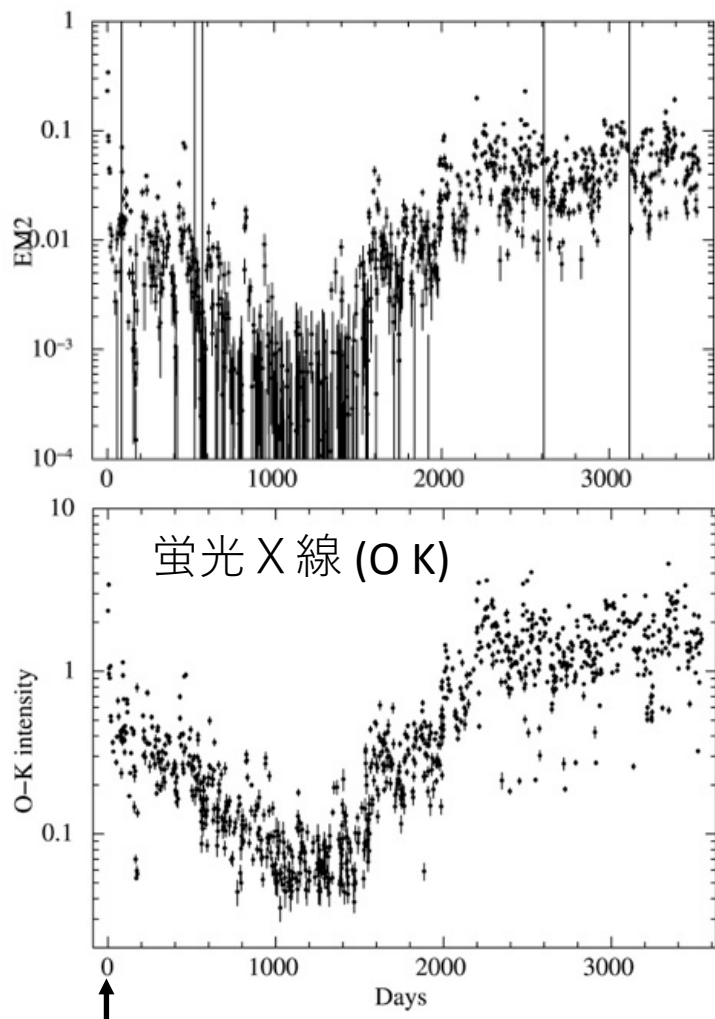
地没データから何を学べるか？

- 「すざく」が検出するX線
 - 大気に散乱された太陽X線
 - 大気に吸収・再放射された蛍光X線
- 太陽・恒星フレアの性質
 - コロナの組成比測定
(0.2–4 keV 帯域は観測の盲点?)
 - フレア温度・組成の時間変化
- 超高層大気の性質
 - 組成比測定
 - 気候変動との関連
(超高層大気→対流圏)



X線フラックスの長期変動

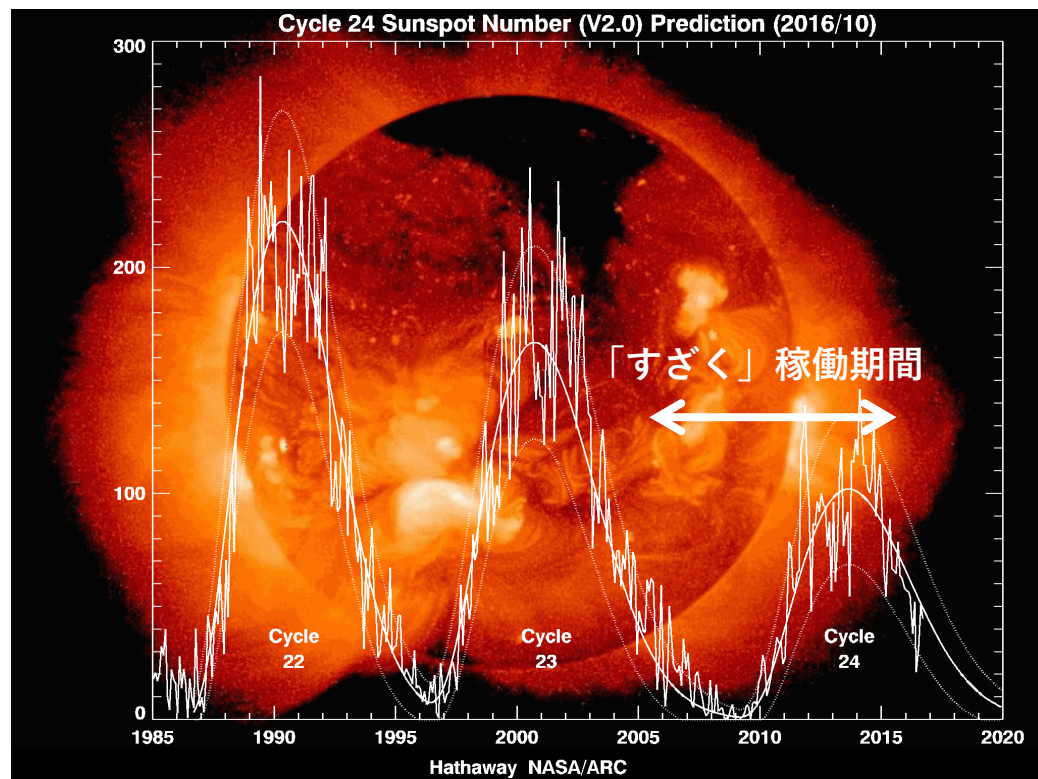
太陽X線(反射成分); kT=0.5keV成分のEM



Day 0 = 2005-09-04

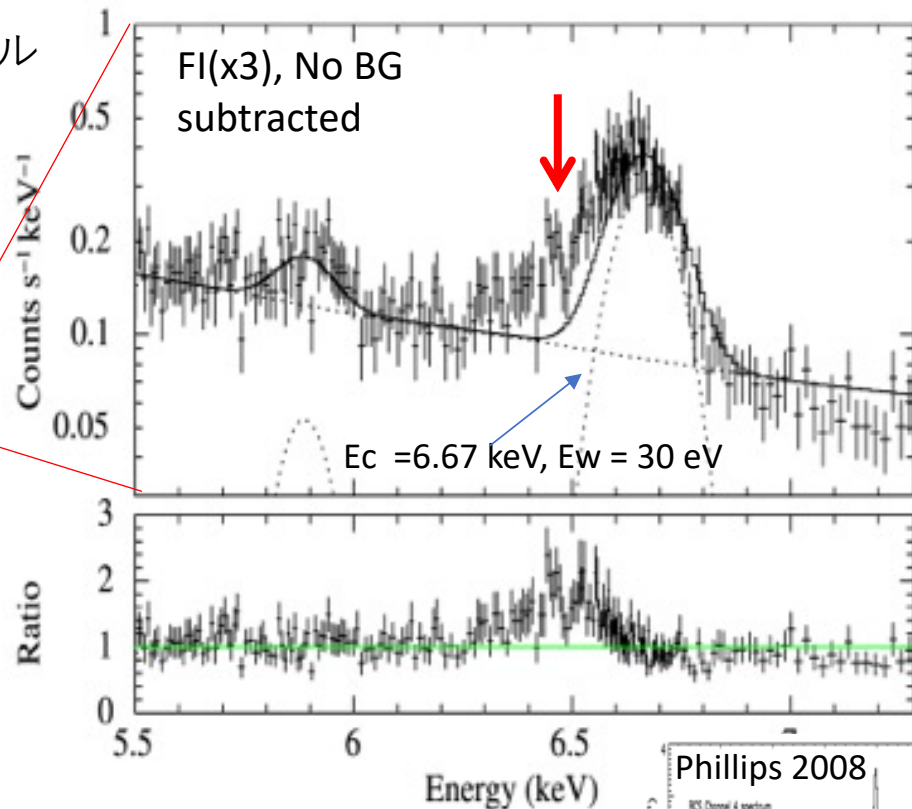
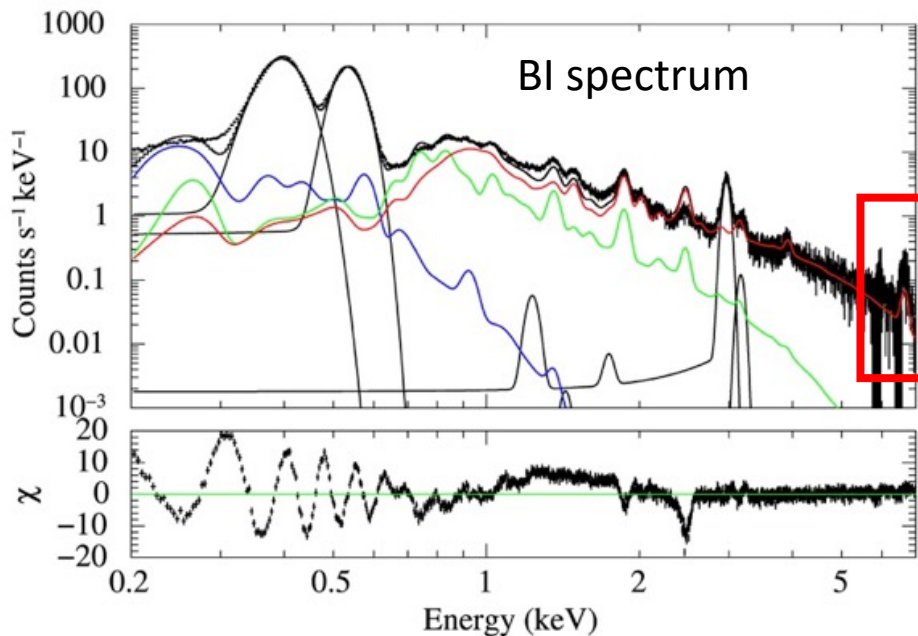
2018/3/2

「すざく」のX線強度は、
太陽活動の11年周期と同期する

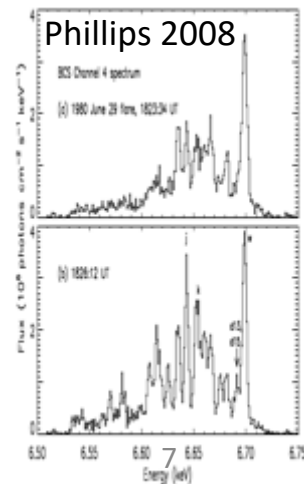


スペクトル解析 - Fe K ショルダー

2005年9月の巨大フレア時のスペクトル

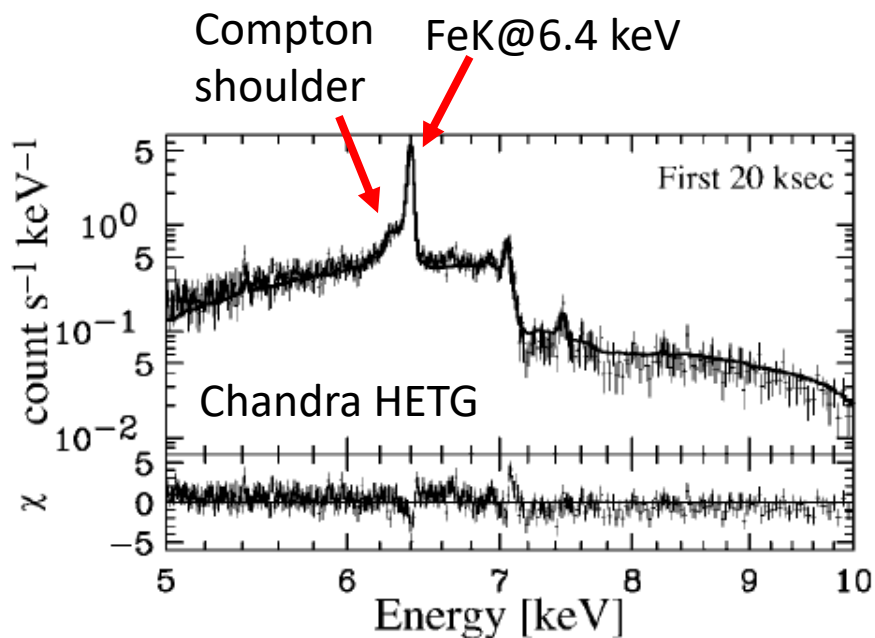


「ようこう」 Bragg Cristal Spectrometer
 による太陽フレアのFe Kプロファイル。
 テール構造(<6.5 keV)は無い。

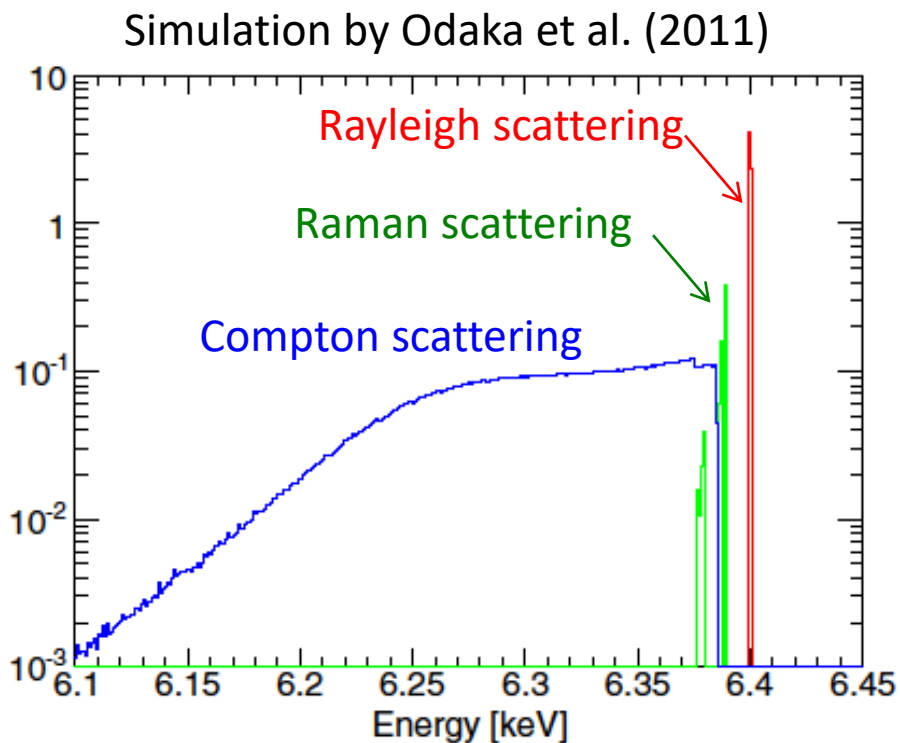


Compton Shoulder

GX 301 – 2: NS + massive star



Watanabe et al. (2003)



天体からの検出はこの1例のみ(確実なケースは他にない)。

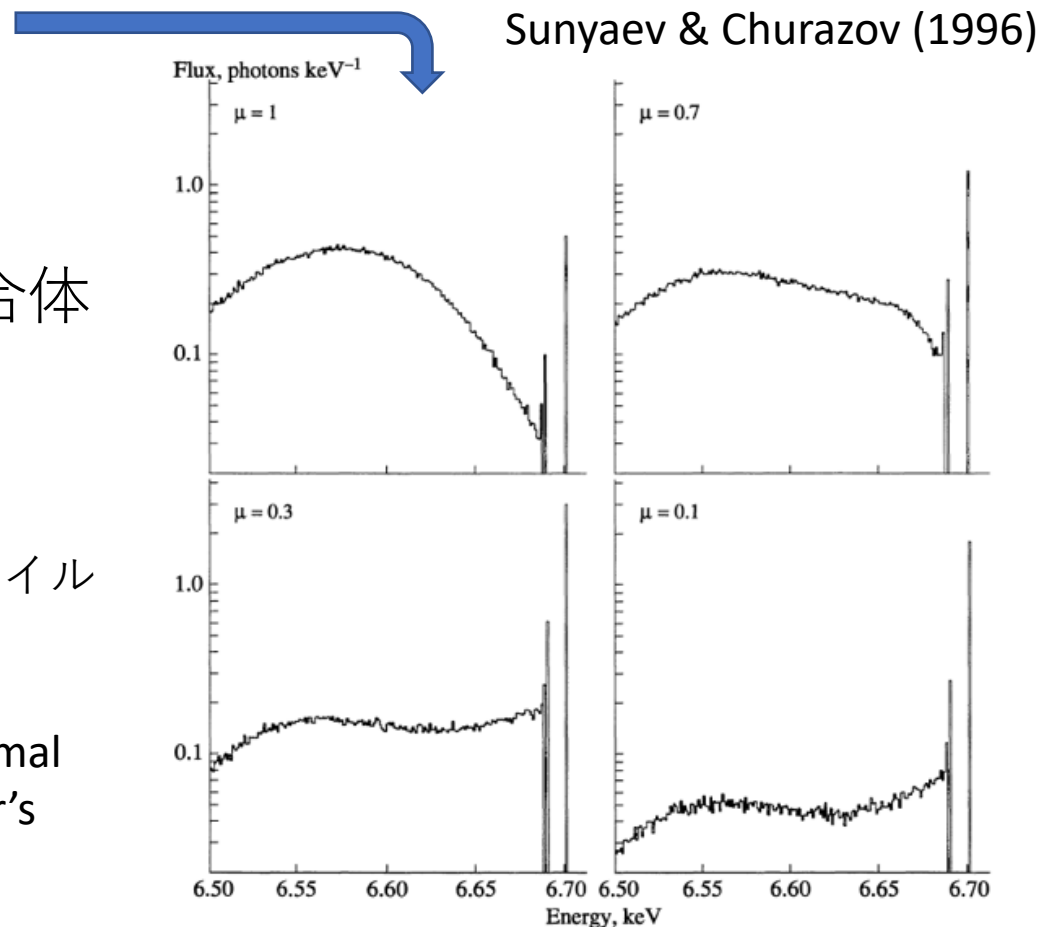
Fe K ショルダーの起源

- Compton shoulder
 - 地球大気での散乱
 - 太陽表面での散乱
 - 衛星構体での散乱
- 別の可能性
 - サテライト線の複合体
 - キャルの不定性

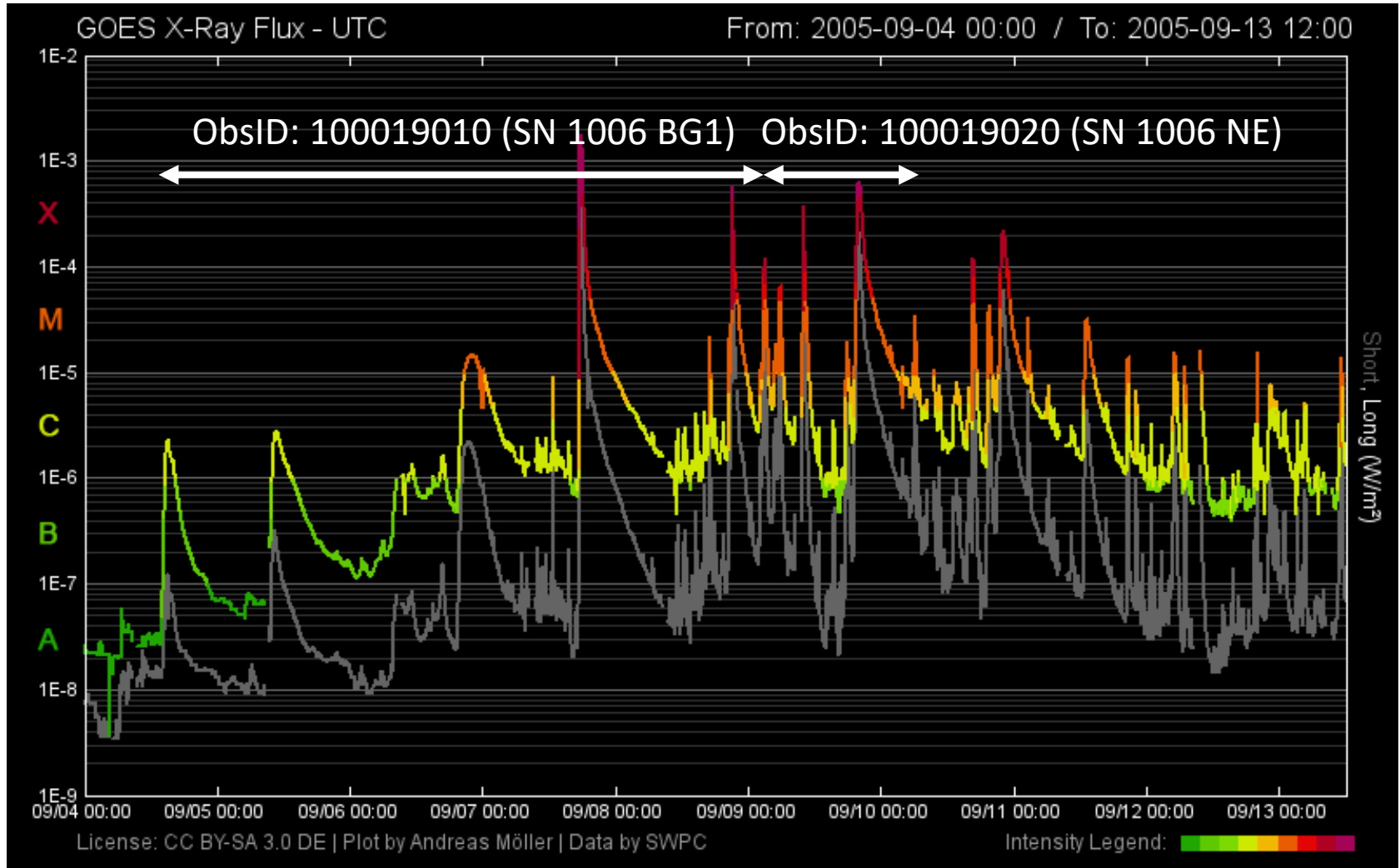
散乱されたFe K輝線プロファイルのシミュレーション

$\mu = \cos \theta$,

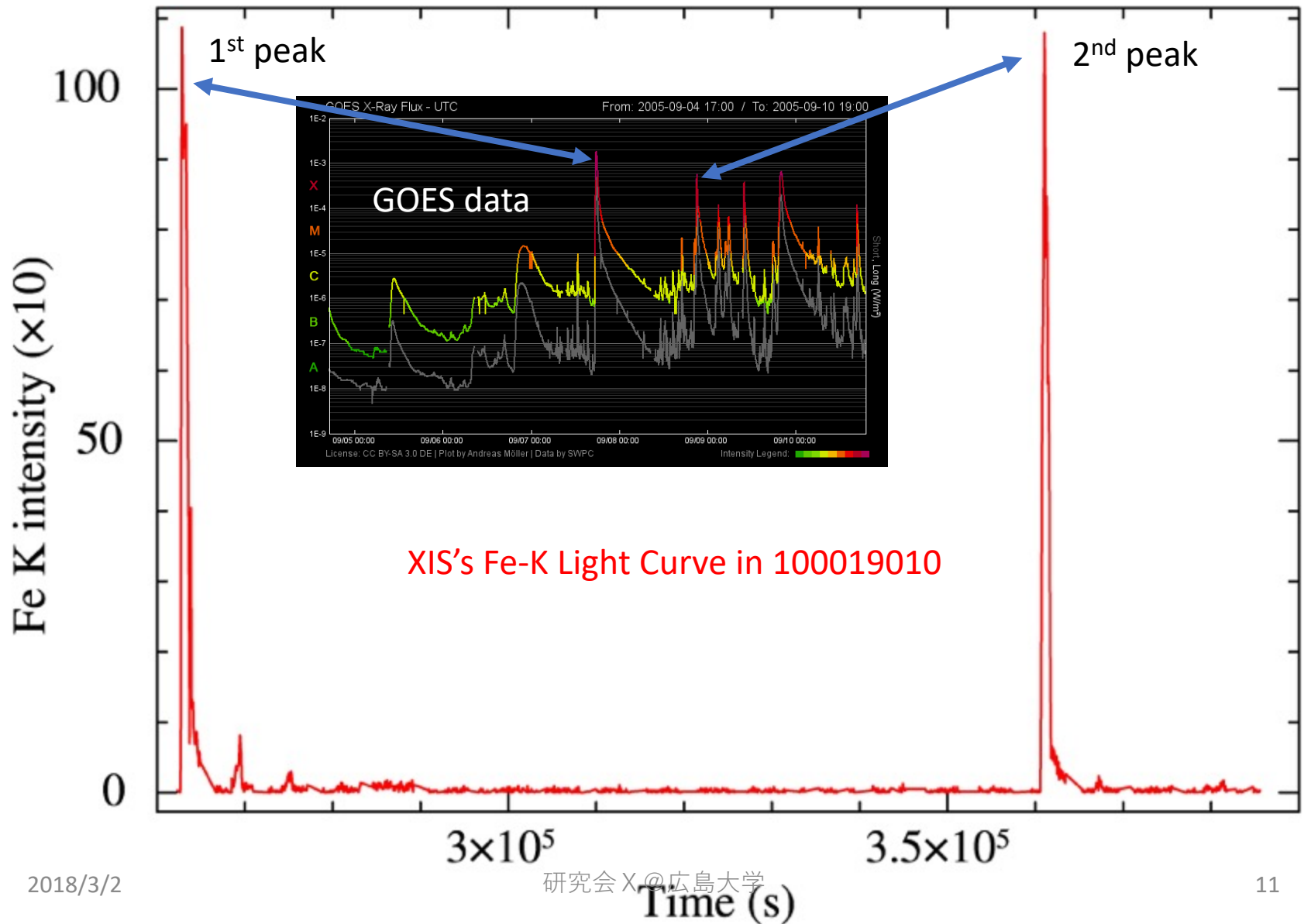
θ is the angle between the normal to the surface and the observer's line of sight.



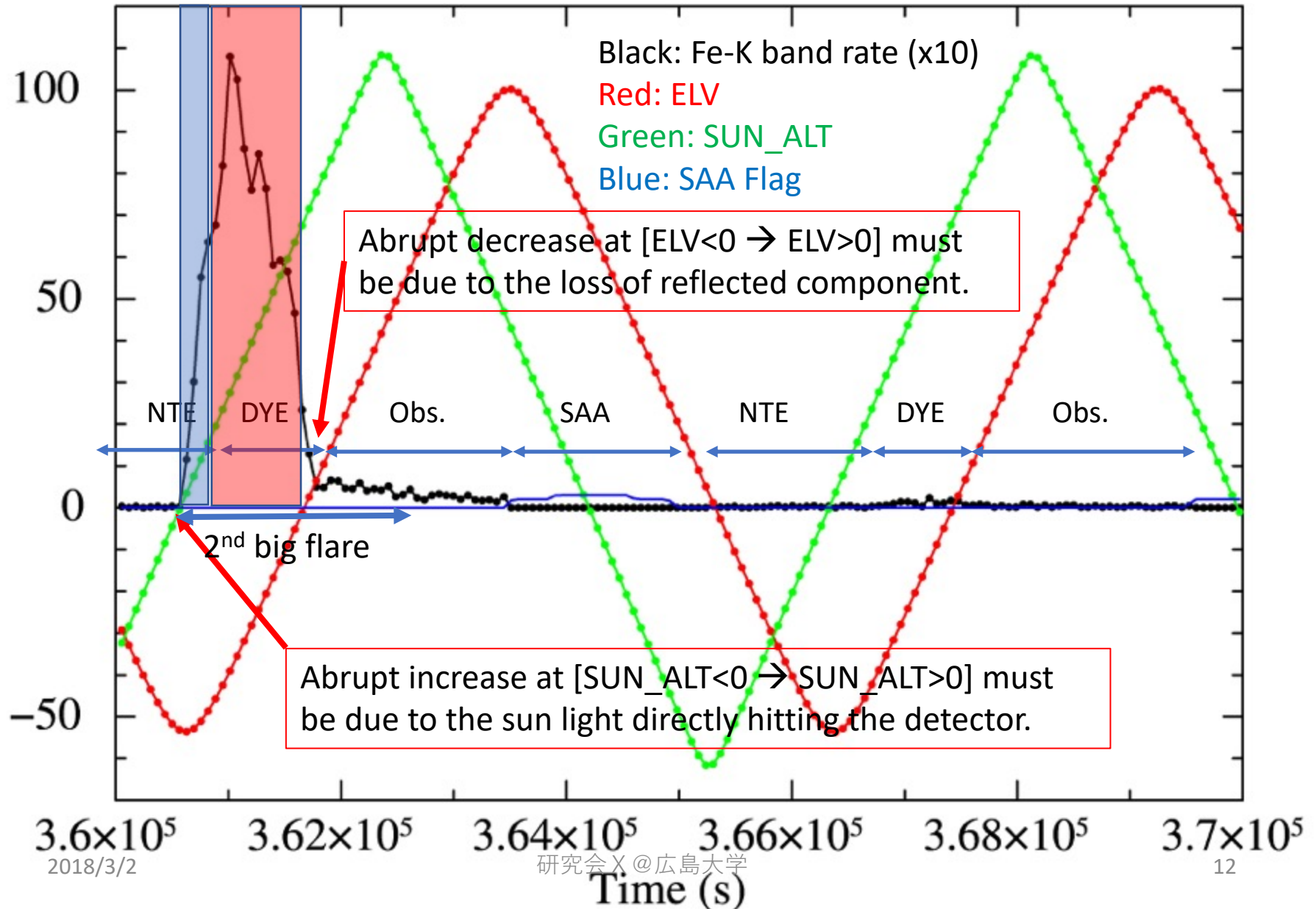
GOES X-Ray Flux in Early September 2005



Fe K ライトカーブ



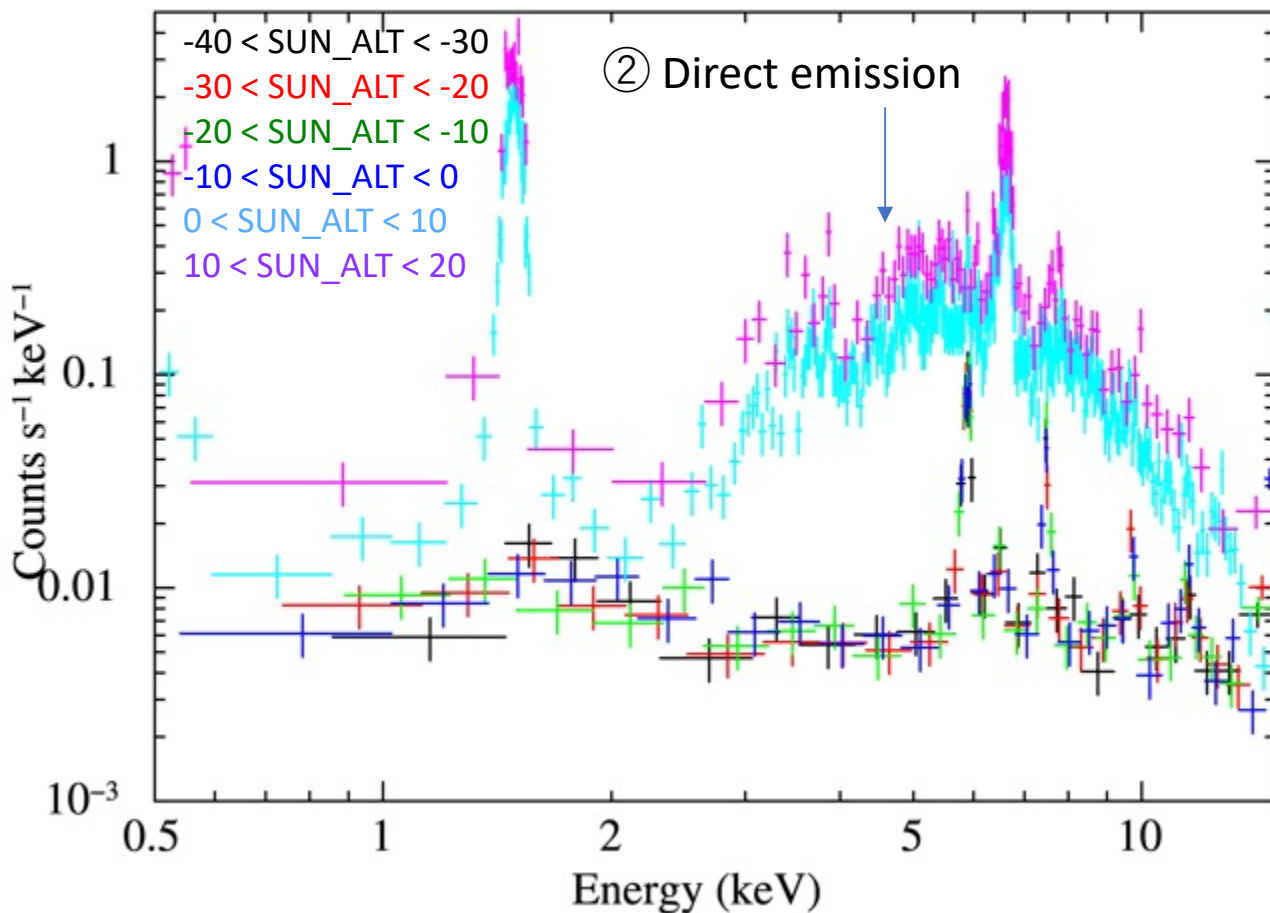
Fe-K Light Curve – Zoom into 2nd Peak



望遠鏡を通過しない直接Fe-K?

① Telescope

NTE Spectra at various SUN_ALT

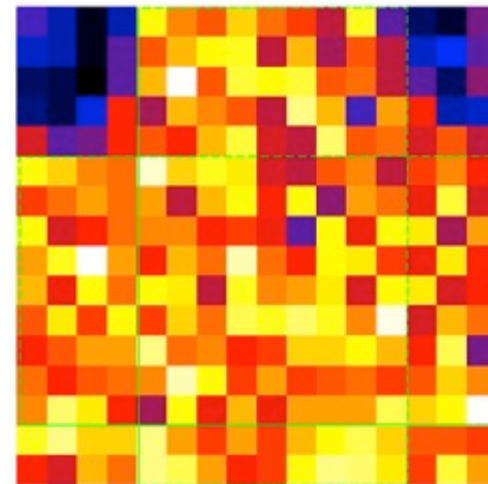
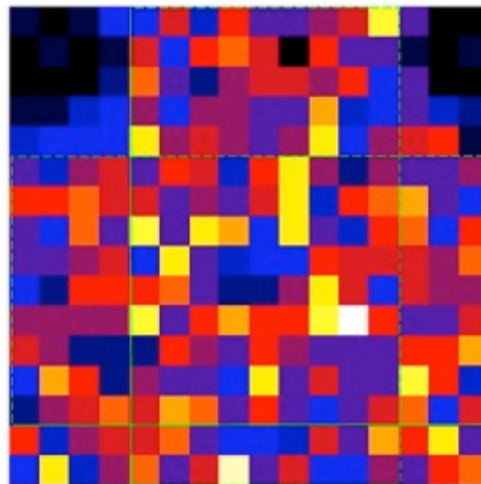
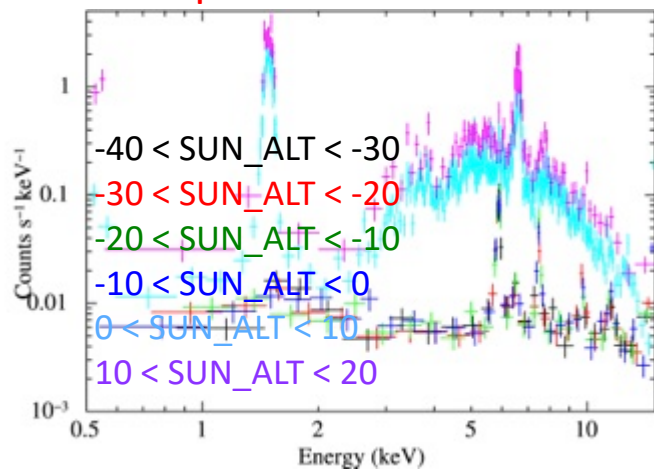


② Direct

Vignetting Effects

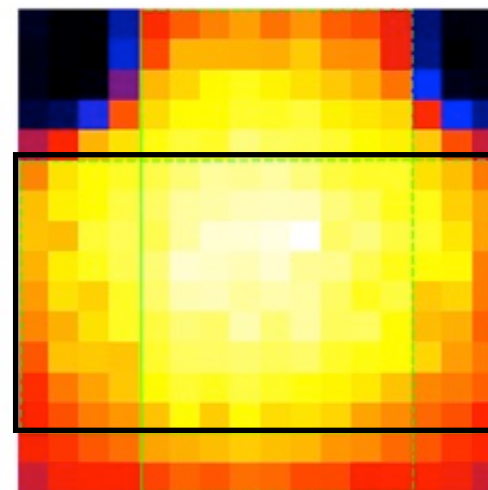
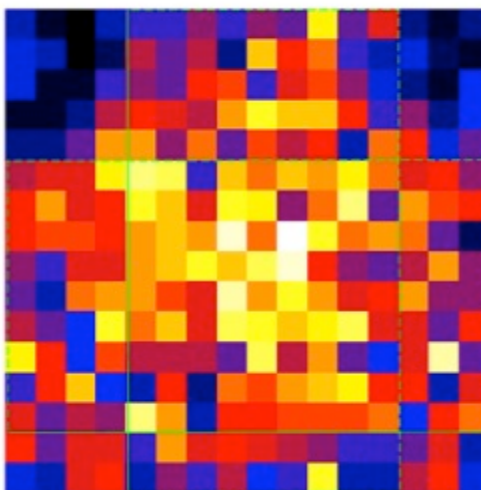
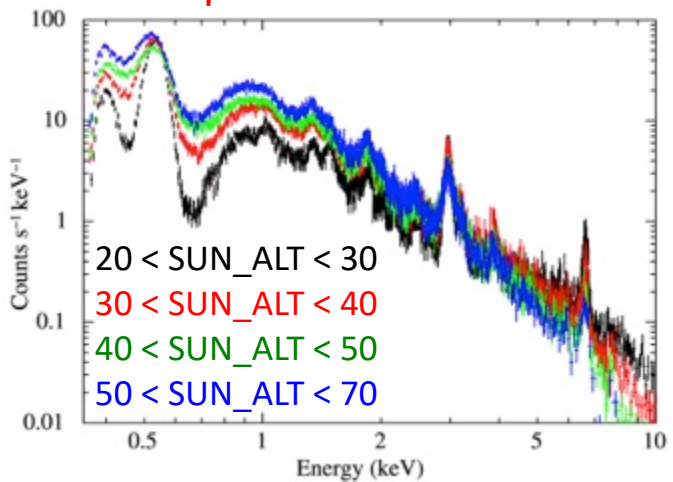
Al K (NTE & $0 < \text{SUN_ALT} < 20$) 3.7-7.3 keV (NTE & $0 < \text{SUN_ALT} < 20$)

NTE Spectra

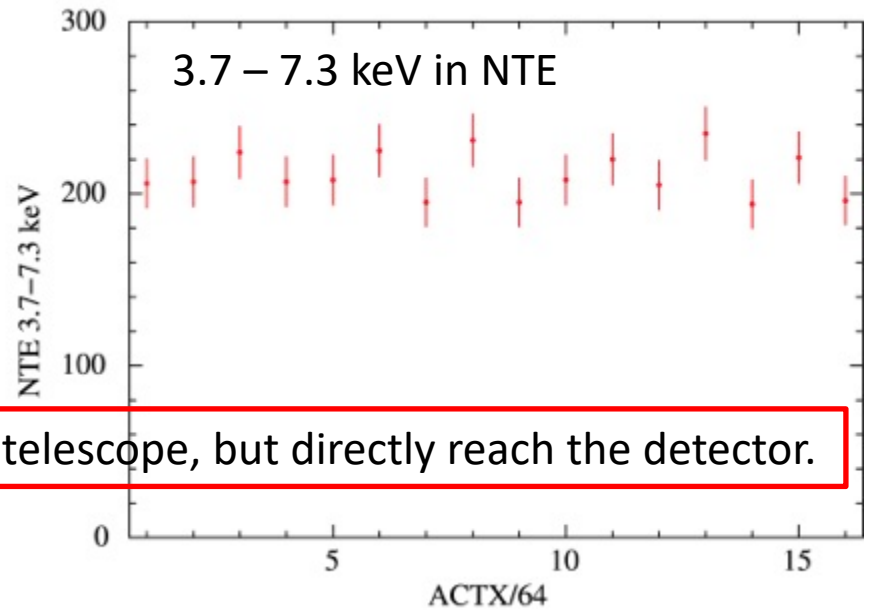
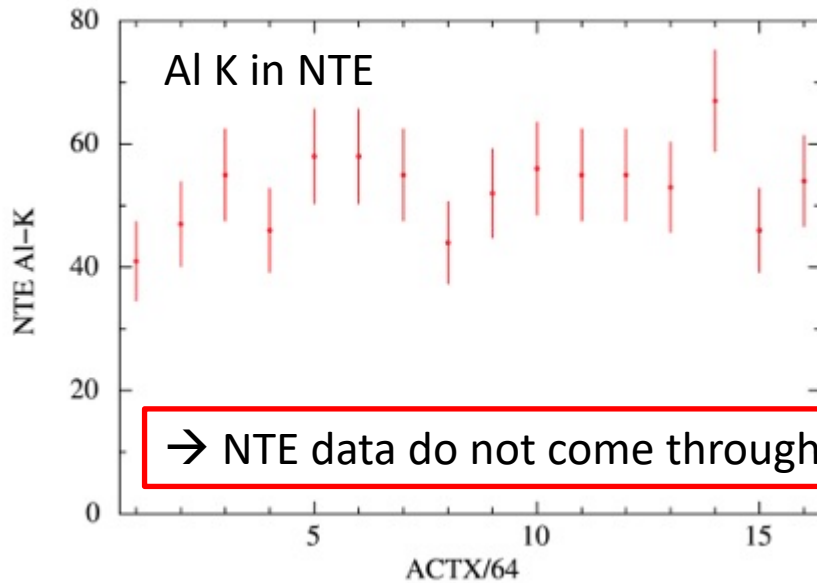


Fe K (DYE & $20 < \text{SUN_ALT} < 70$) 0.2-4 keV (DYE & $20 < \text{SUN_ALT} < 70$)

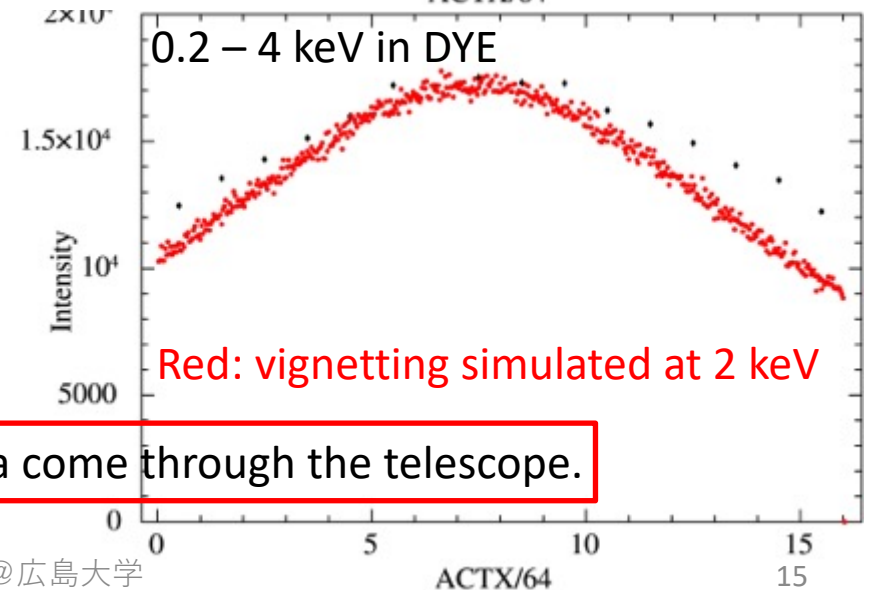
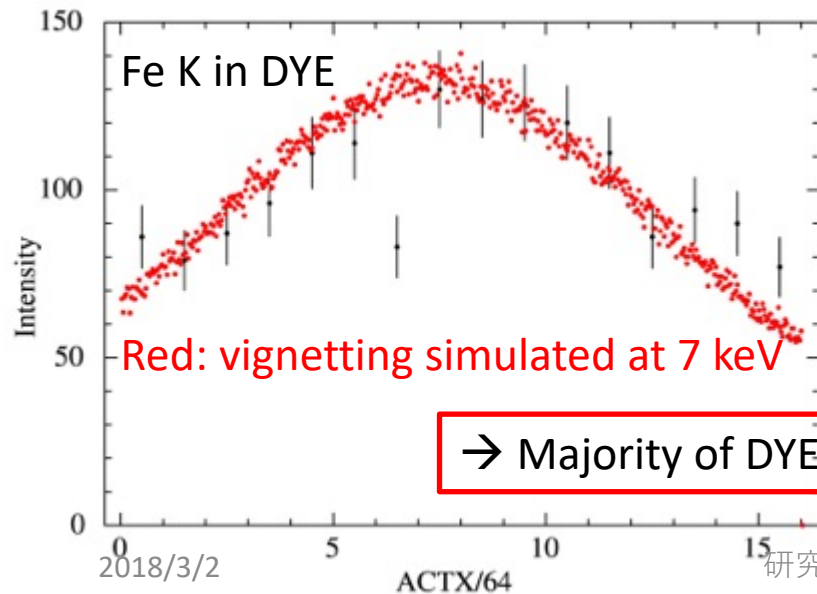
DYE Spectra



Emission Profiles along ACTX

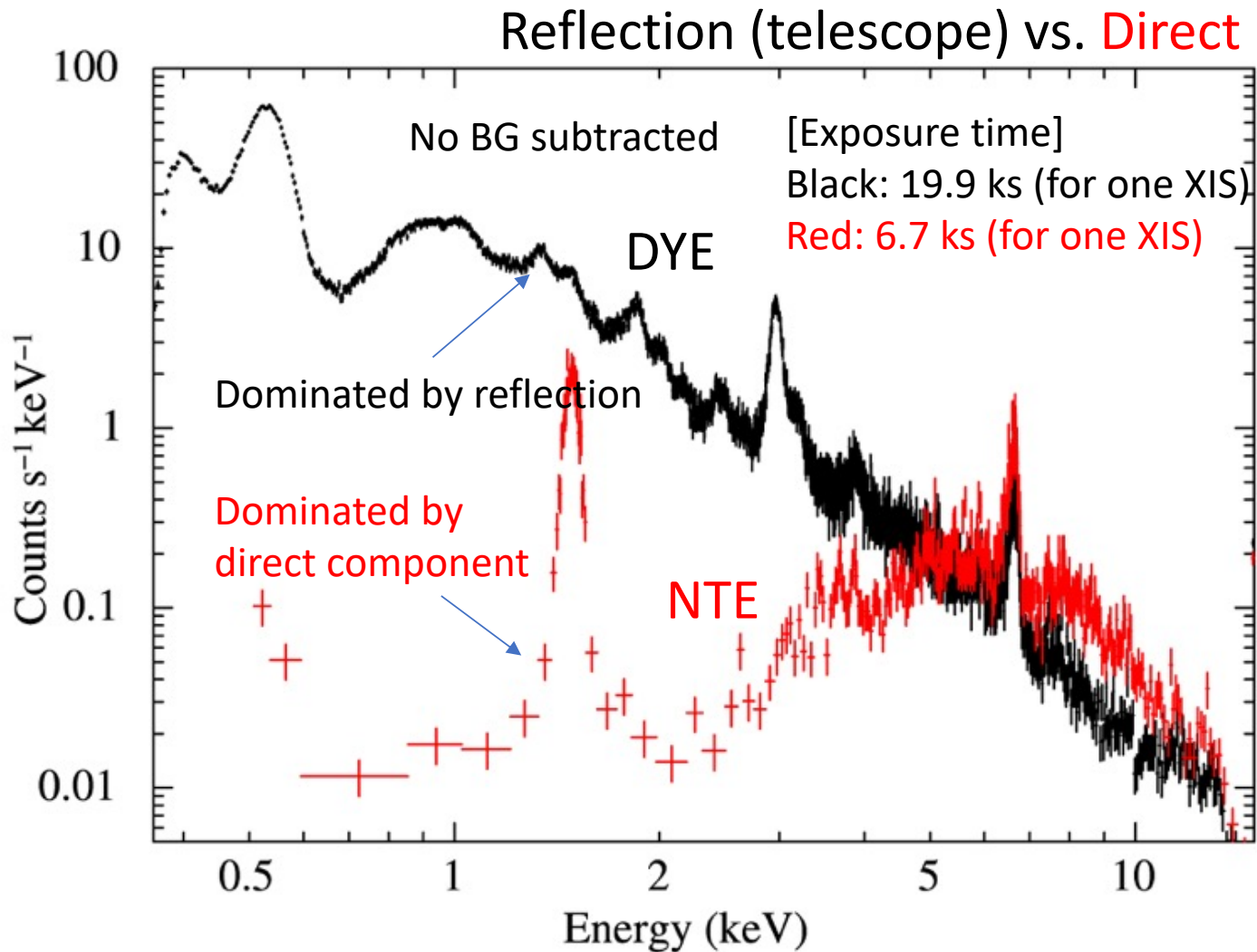


→ NTE data do not come through the telescope, but directly reach the detector.



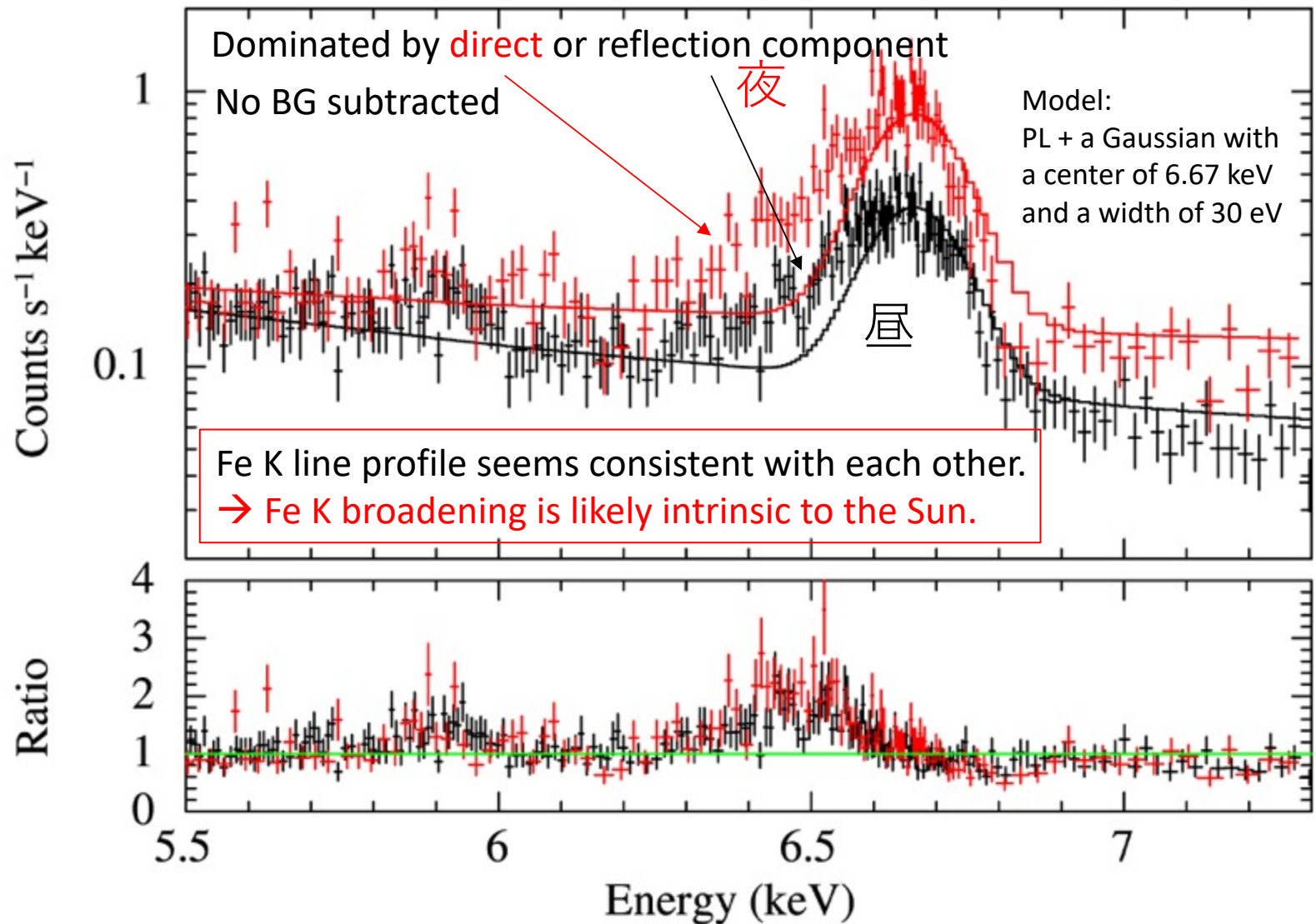
→ Majority of DYE data come through the telescope.

Spectral Comparison between DYE and NTE [$0 < \text{SUN_ALT}$ in DYE] vs. [$0 < \text{SUN_ALT} < 10$ in NTE]

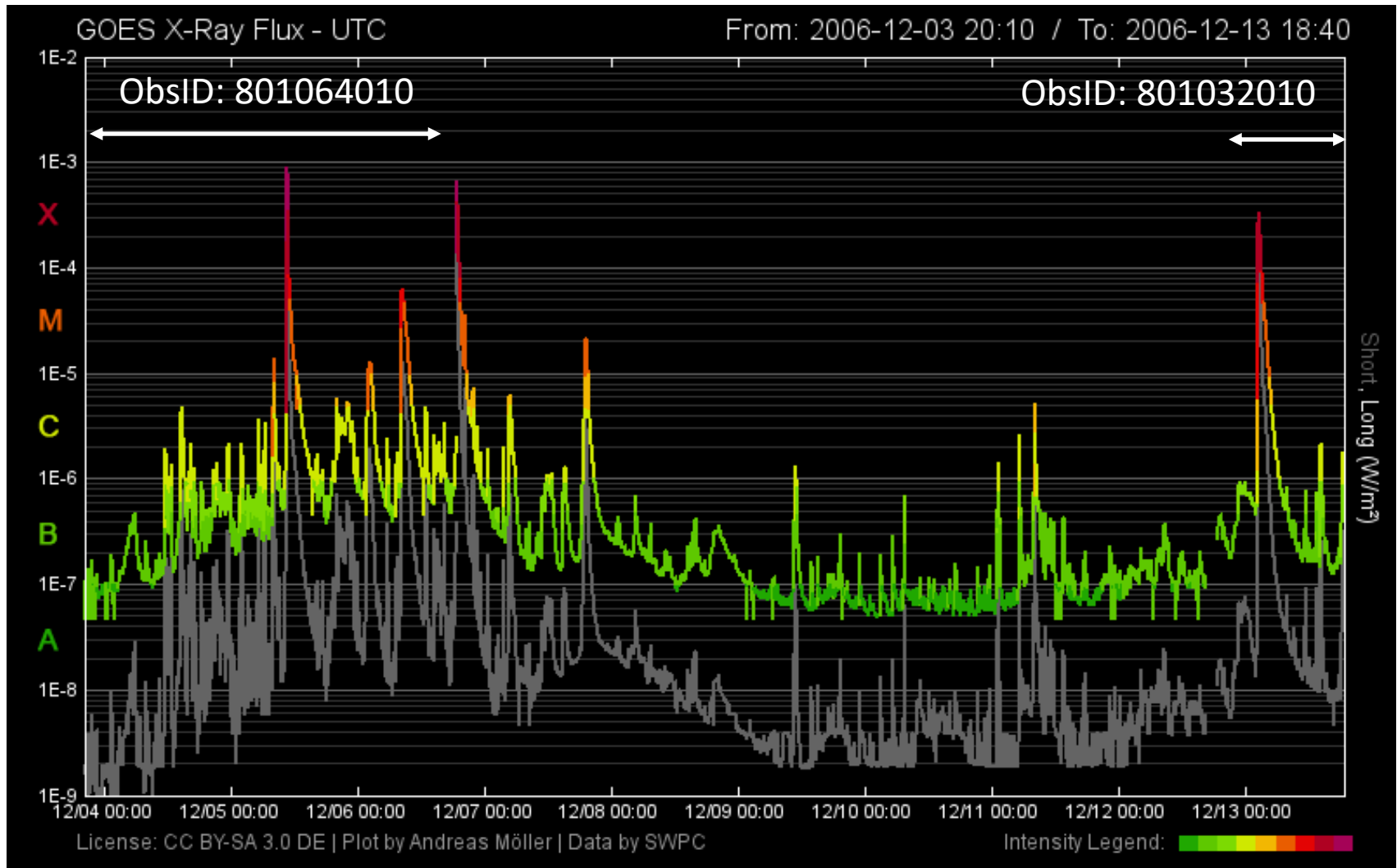


Zoom into Fe K

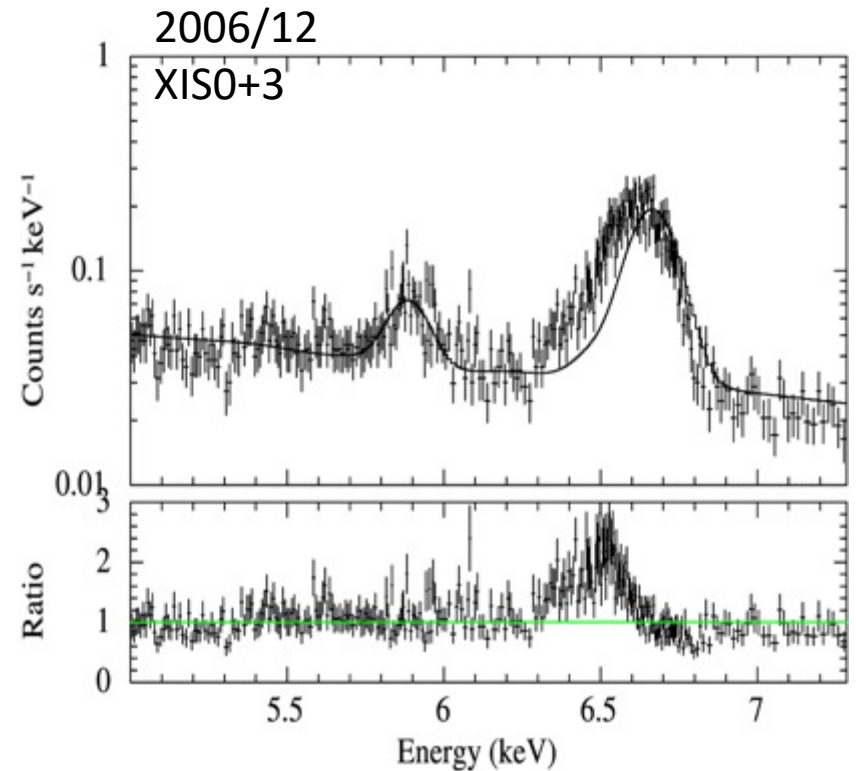
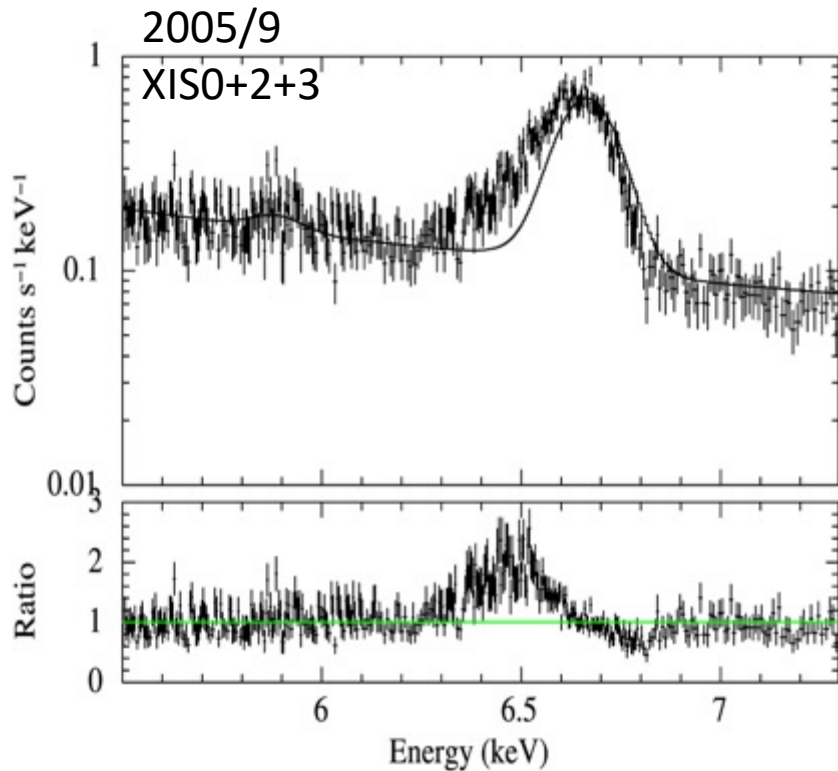
Reflection (telescope) vs. **Direct**



Another Big Flares in December 2006

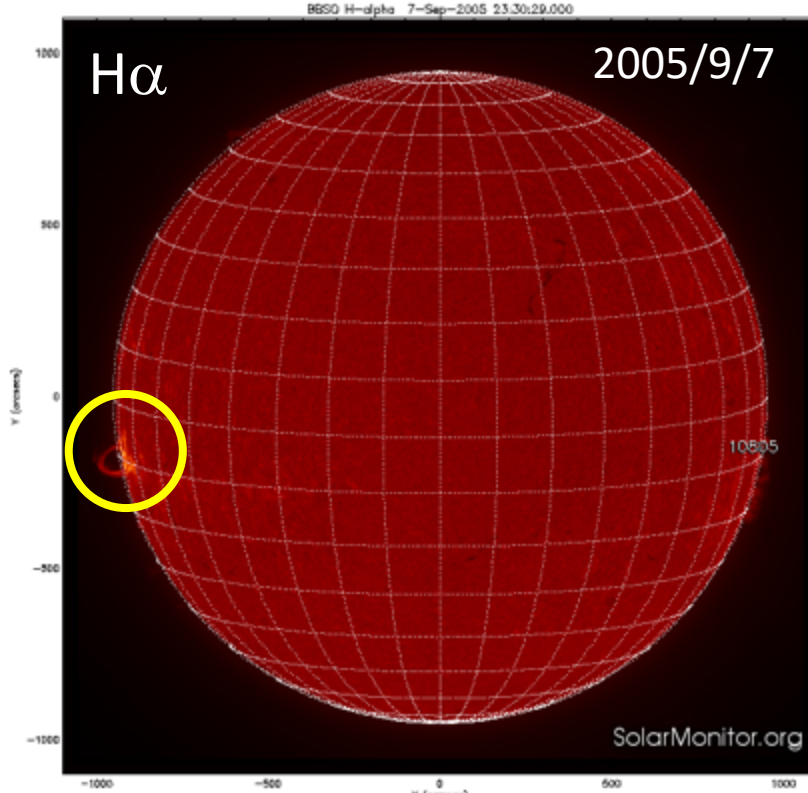


Fe K プロファイルの比較



データ切り出し条件: $SUN_ALT > 0$ & $ELV < 0$ (including both NTE & DYE)

Flare Locations

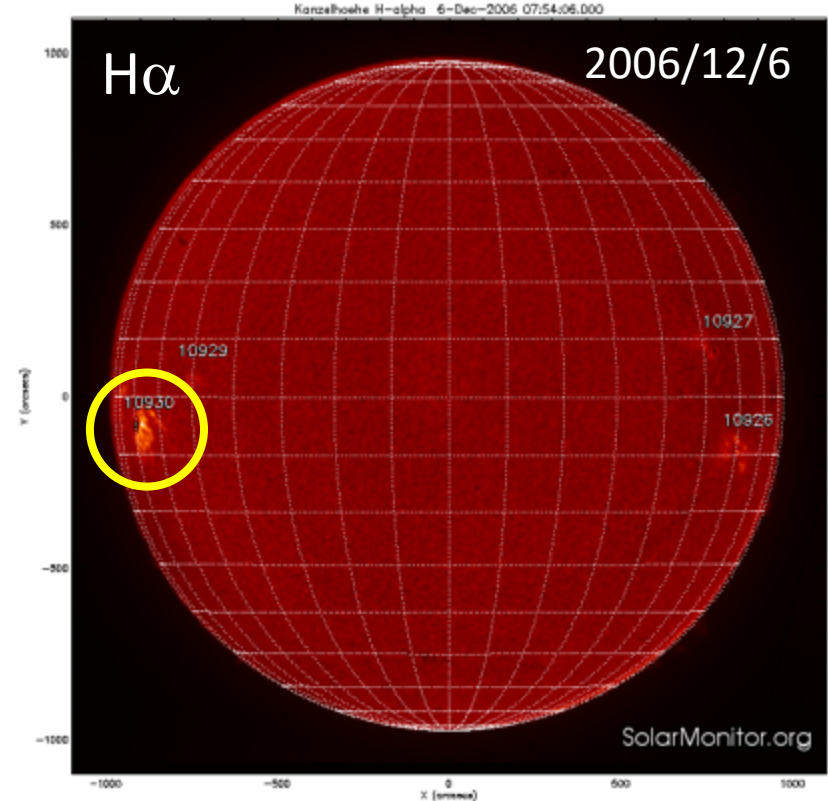


Date: Thu, 8 Sep 2005 06:58:01 -0700

Dear RHESSI Collaborators,
NOAA 0808 (return of NOAA 0798) is now fully on the visible disk. The X17/3b white light flare (09/07/17:40 UT) ranks the 4th largest event in 30 years. Mauna Loa Solar Observatory's MK4 coronagraph recorded an extremely large and fast CME. The flare produced moderate type IV and strong type II radio sweeps. The region is still too close to the SE limb to ascertain its magnetic configuration but the plage is very bright and compact and most certainly magnetically complex. Another major flare expected.

The position of NOAA 0808 on September 08 at 12:30 UT:
S12E76 (Solar X = -904", Solar Y = -225")

2018/3/2



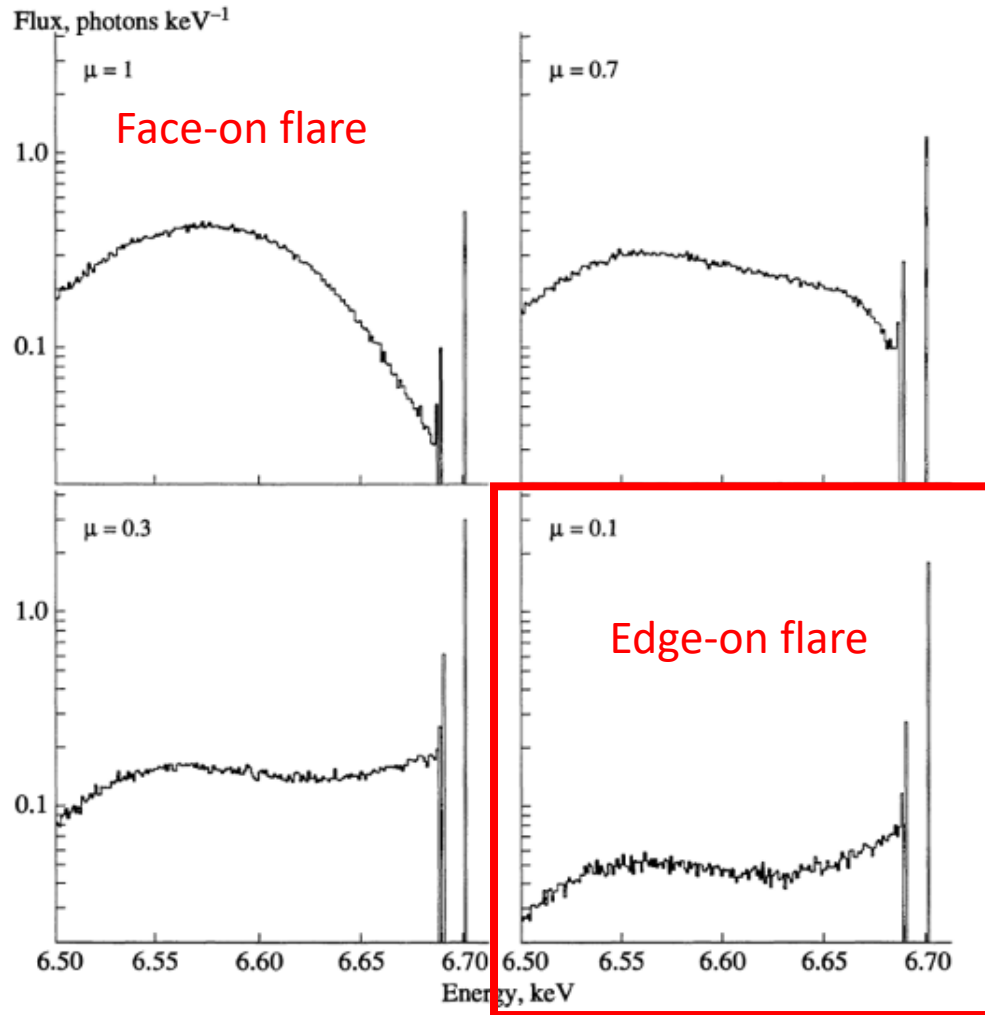
Date: Tue, 5 Dec 2006 07:27:04 -0500 (EST)

Dear RHESSI Collaborators,
Unusually for this point in the cycle, there was an X9.0 from a large and as yet unnumbered region on the east limb at 10:18 UT today. Over the past 24-hours, the region has produced ~14 C-class flares, together with M- and X-class events. The region appears to be the return of NOAA 10923, which was a large asymmetric beta-gamma region on its last traversal of the disk. It gives me great pleasure to state: "Further intermediate level activity expected, with a chance for an X".

The approximate position of this region on 5-Dec-2006 10:00 UT is:
S06E80, (-955", -103")

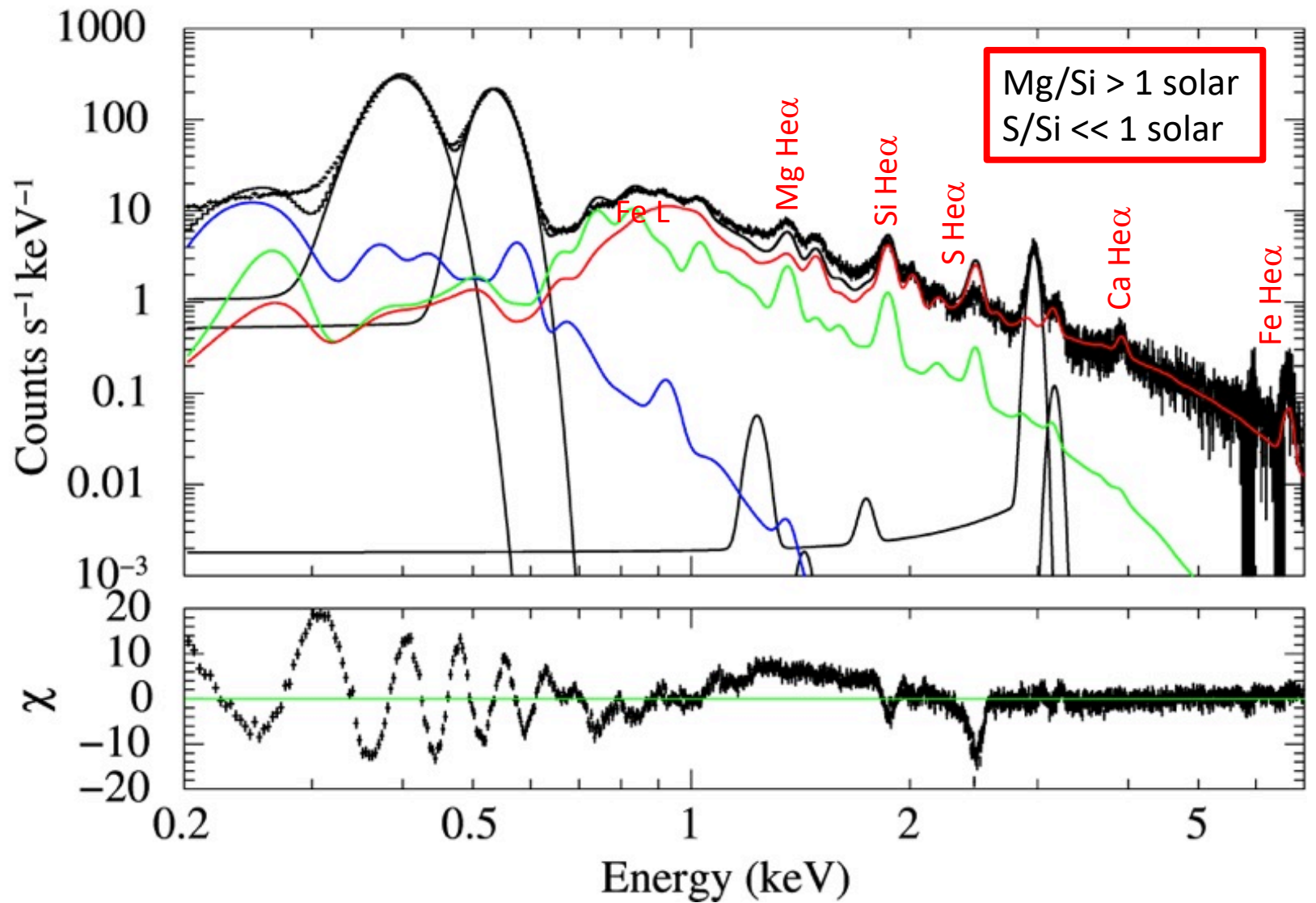
Fe K Profiles

Simulated by Sunyaev & Churazov (1996)



$\mu = \cos \theta$,
 θ is the angle between the
normal to the surface and
the observer's line of sight.

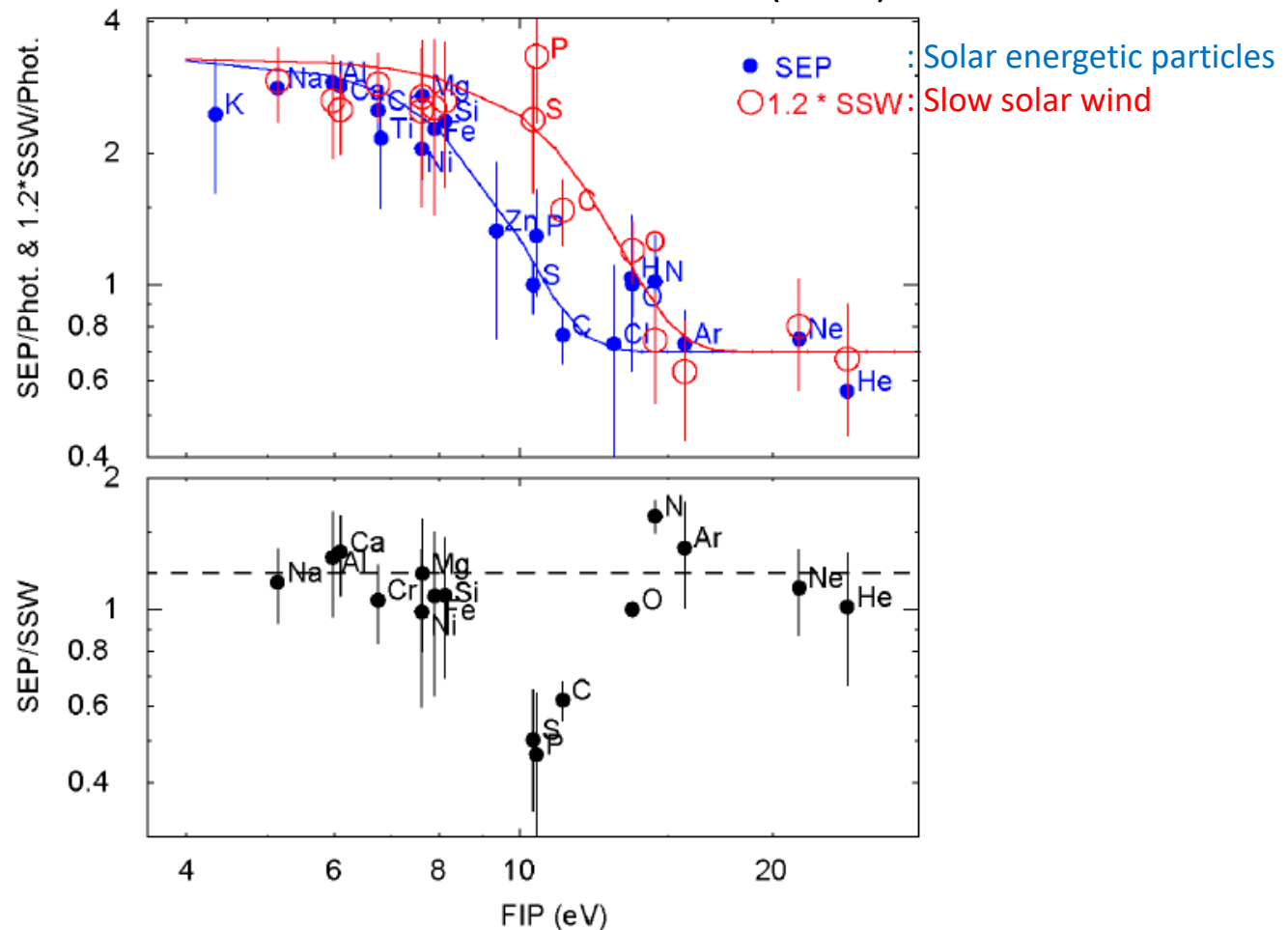
太陽フレアの組成比測定



FIP効果？

	Z	FIP [eV]
H	1	13.6
He	2	24.6
C	6	11.3
N	7	14.5
O	8	13.6
Ne	10	21.6
Na	11	5.1
Mg	12	7.6
Al	13	6.0
Si	14	8.2
P	15	10.5
S	16	10.4
Cl	17	13.0
Ar	18	15.8
K	19	4.3
Ca	20	6.1
Ti	22	6.8
Cr	24	6.8
Fe	26	7.9
Ni	28	7.6
Zn	30	9.4

Reames (2018)

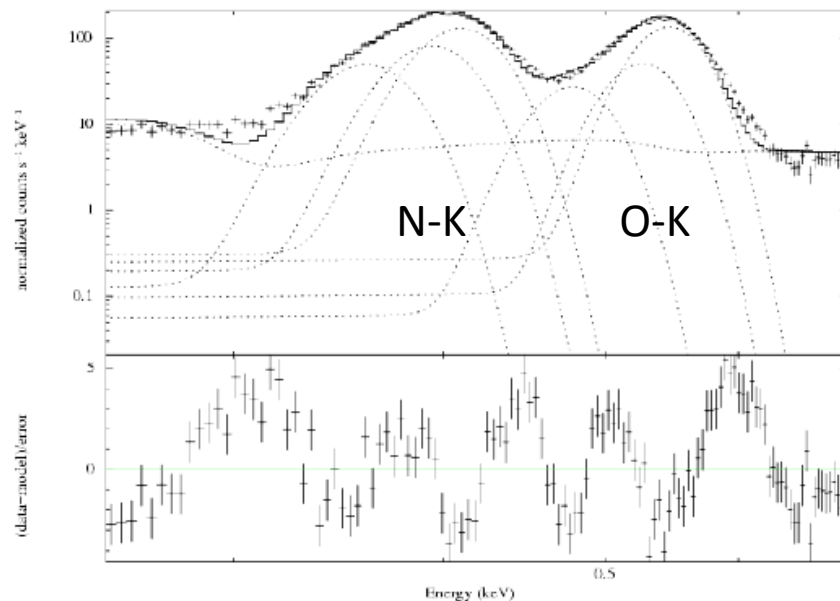
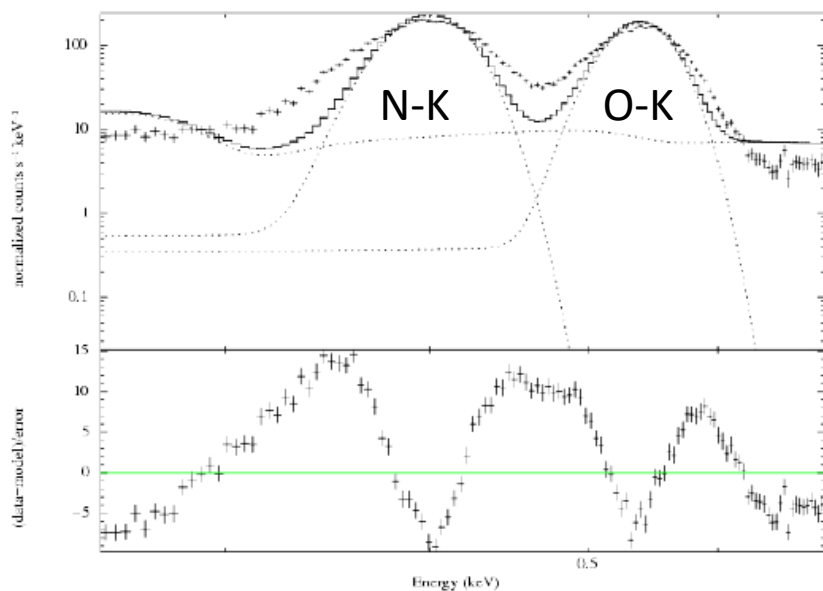


SEP (solar energetic particles)は FIP 効果で硫黄が少ない。
 → 我々の観測結果と少なくとも定性的に一致する。

大気の組成比 - N, O 輝線幅

単一ガウシアンでは合わない。

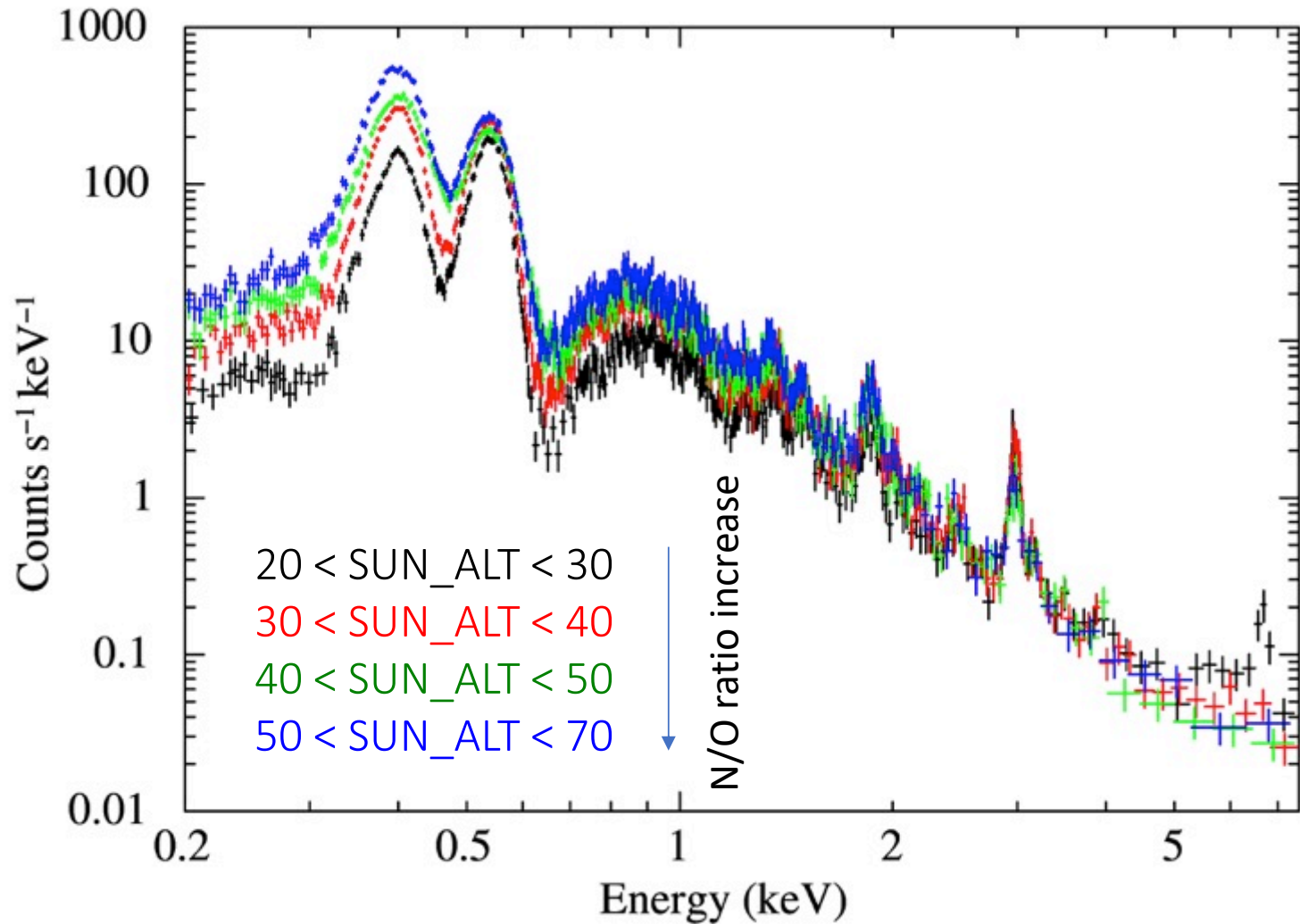
→ 複数ガウシアン(原子 + 分子)?



森田さん修論(埼玉大学2018年)より

	原子	分子
窒素	392 eV	386, 405, 409 eV
酸素	525 eV	519, 534, 543 eV

大気の組成比 – N/O 強度比の変動



↑ To Sun

SUN_ALT : 大

X線吸収高度 : 低
(X線吸収大気密度 : 大)
(反射X線強度 : 大)

Atmosphere

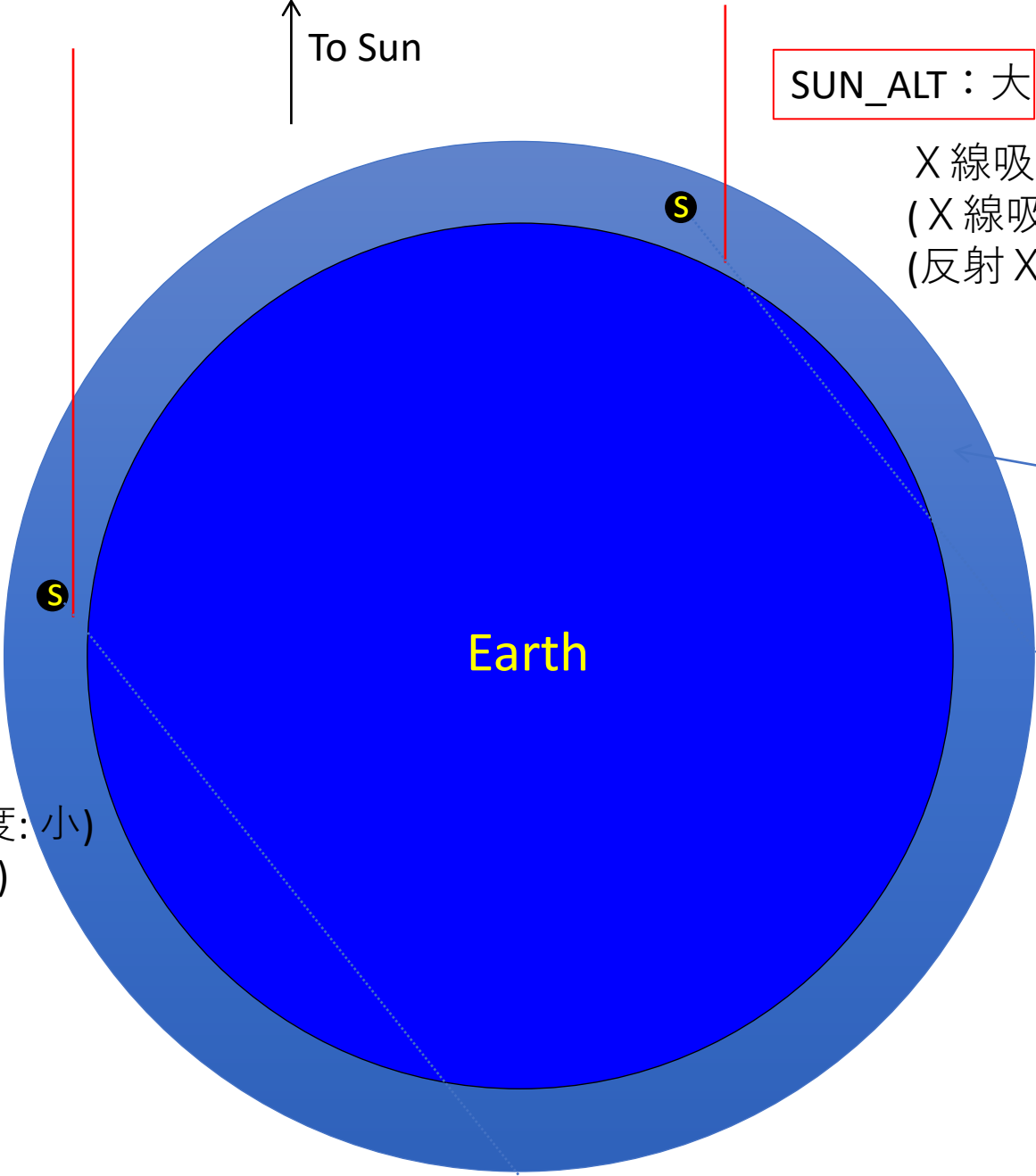
Earth

Line of sight

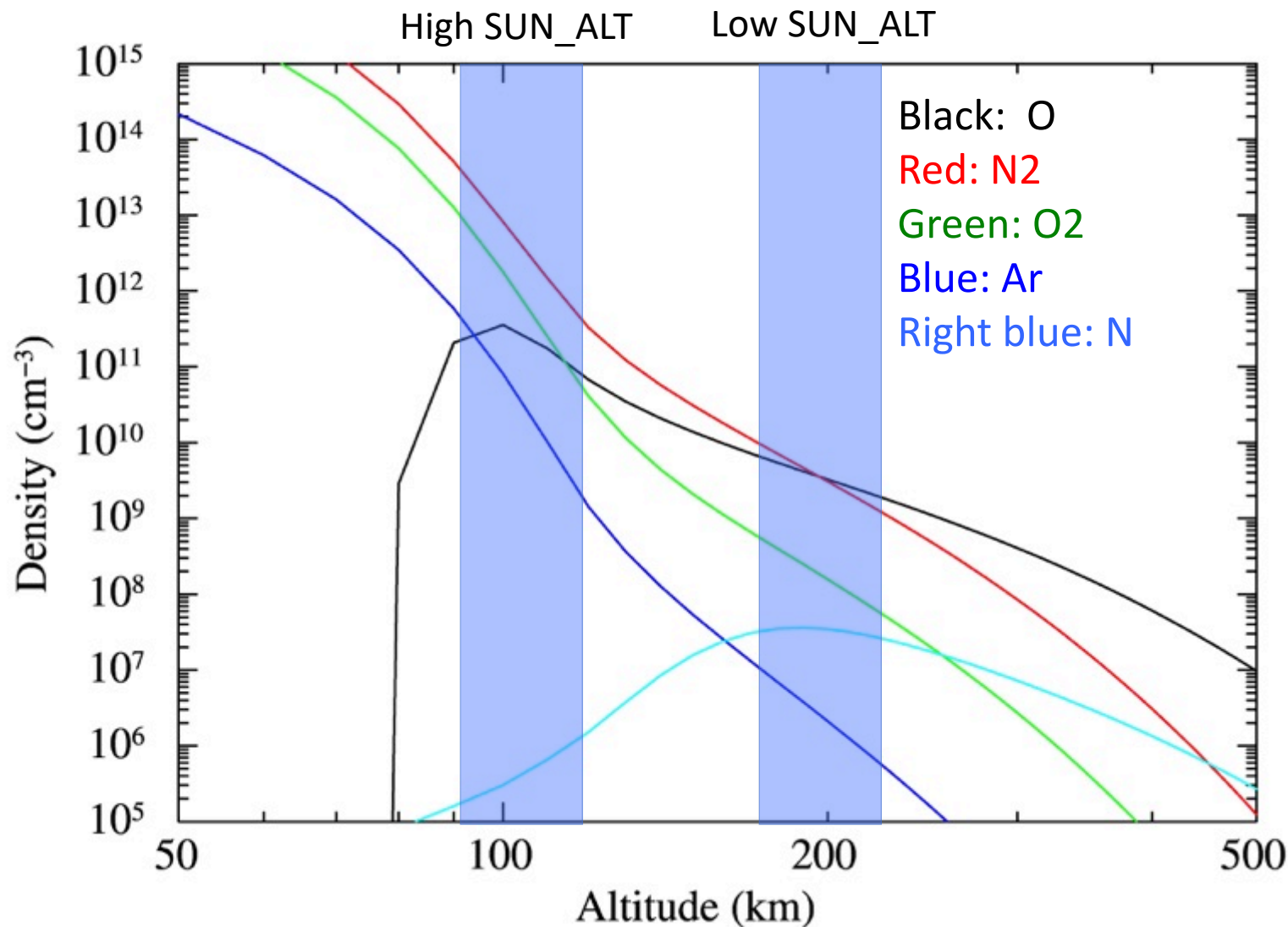
SUN_ALT : 小

X線吸収高度 : 高
(X線吸収大気密度 : 小)
(反射X線強度 : 小)

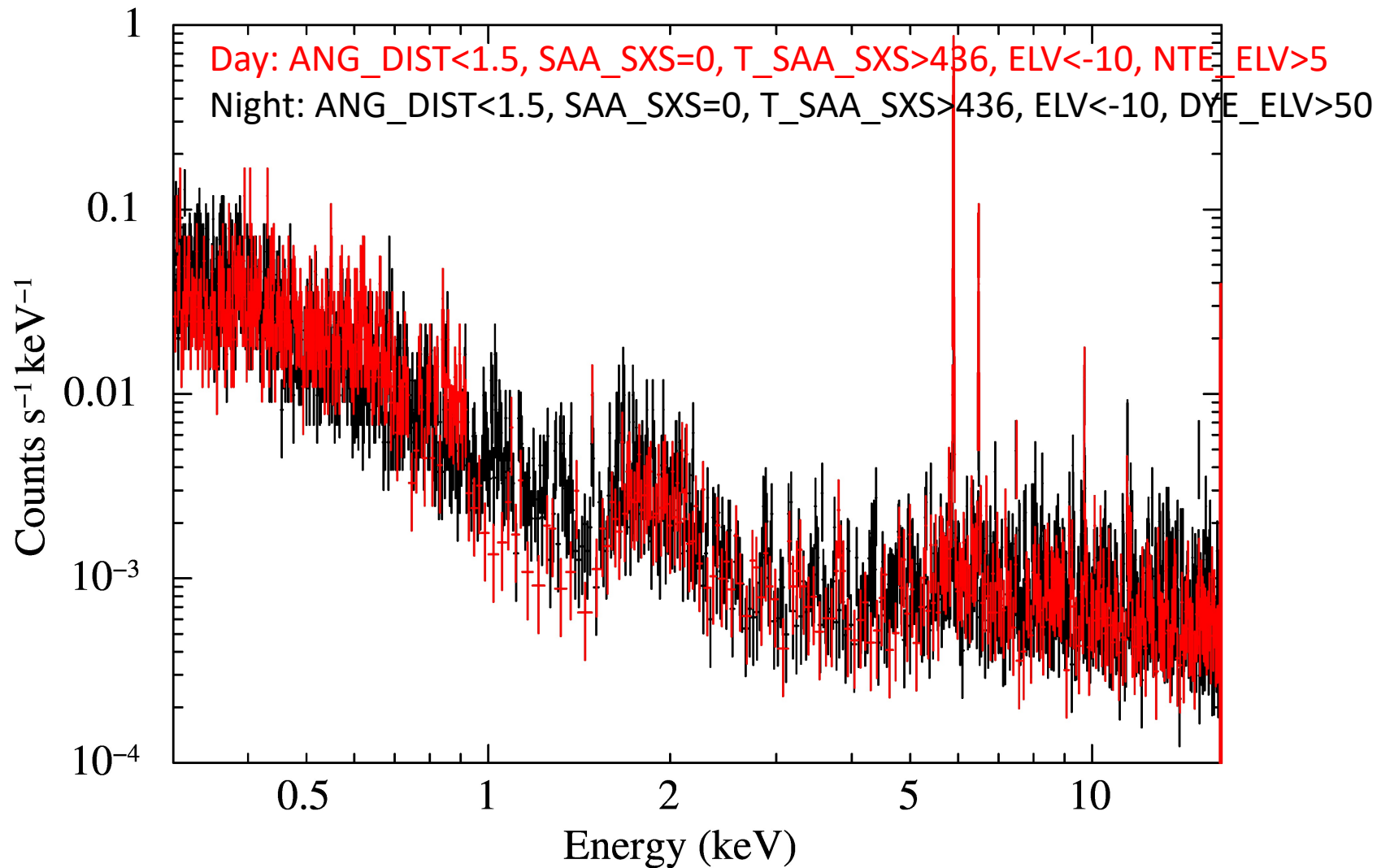
Line of sight



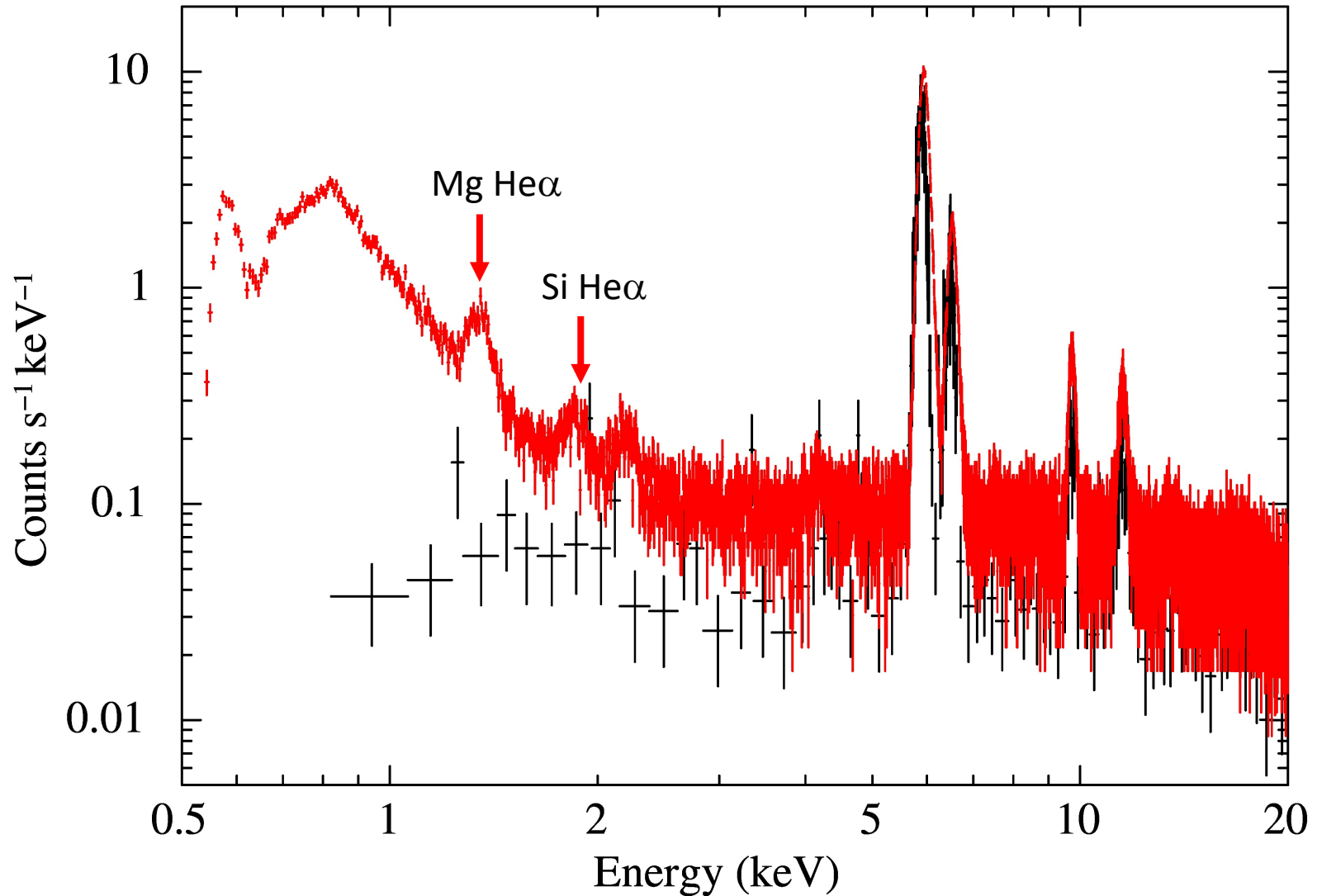
Composition of the Atmosphere



「ひとみ」 SXSデータ (Day & Night Earth)



「ひとみ」 SXIデータ (Day & Night Earth)



今後の展望

- 「すざく」データの慎重な解析と解釈
 - XISの較正
 - 反射の効果
- X線天文代替機のカロリメータが実現する精密分光に大きな期待がかかる。

観測シミュレーション
(by 田代さん)

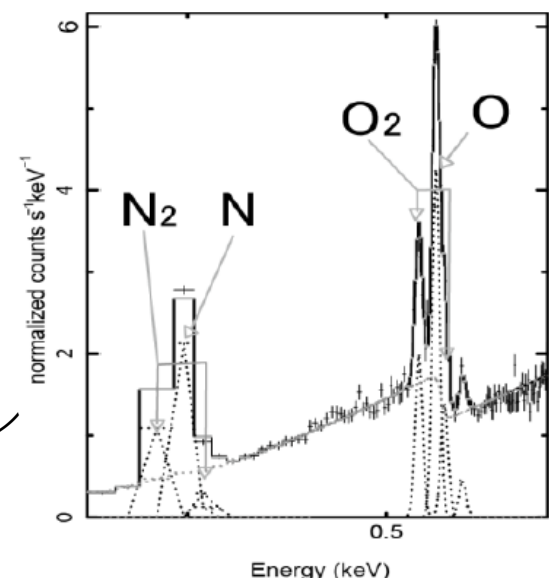
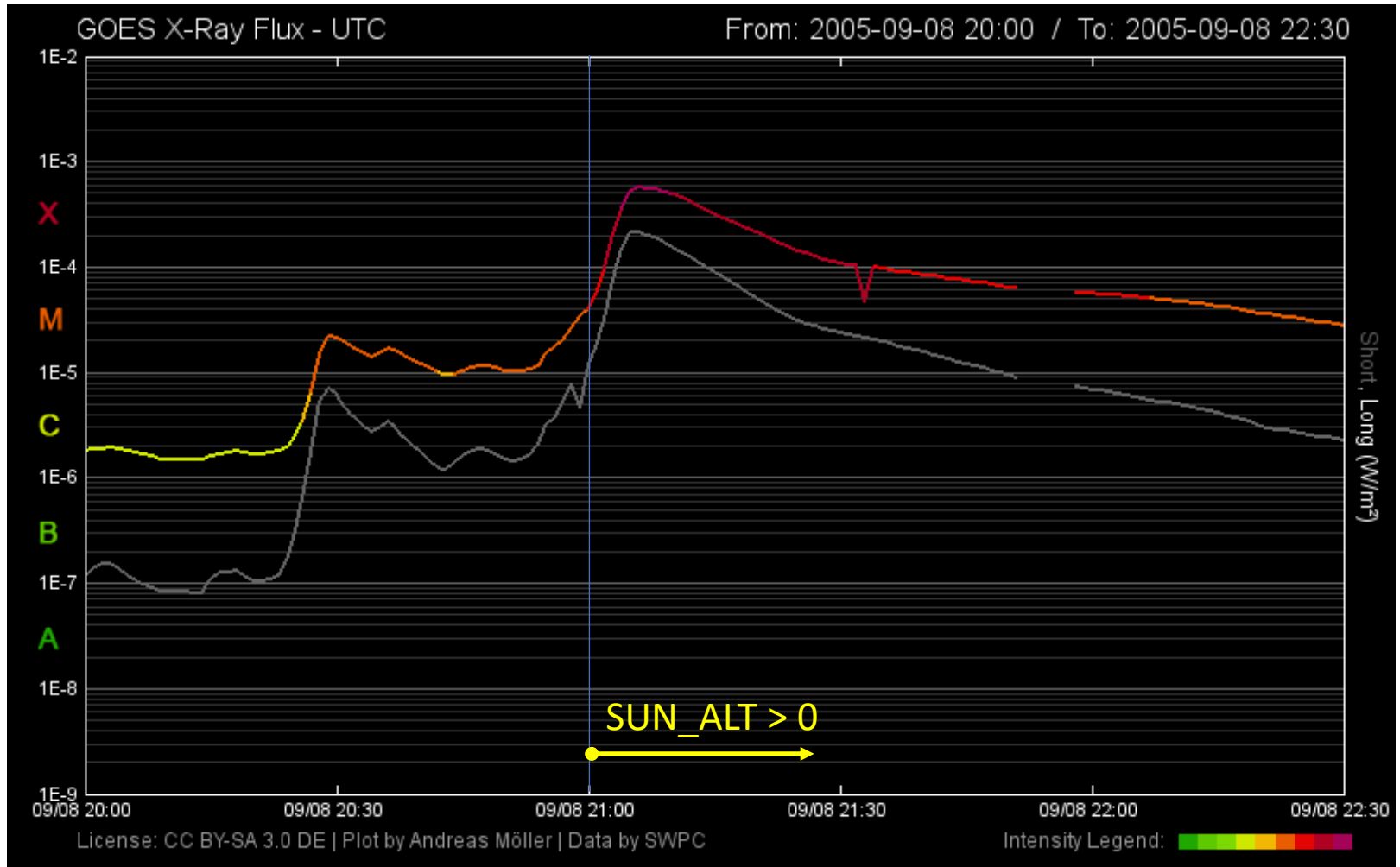


図5 ASTRO-H SXSで予想される大気散乱X線窒素分子と窒素原子、酸素分子と酸素原子の輝線が区別される

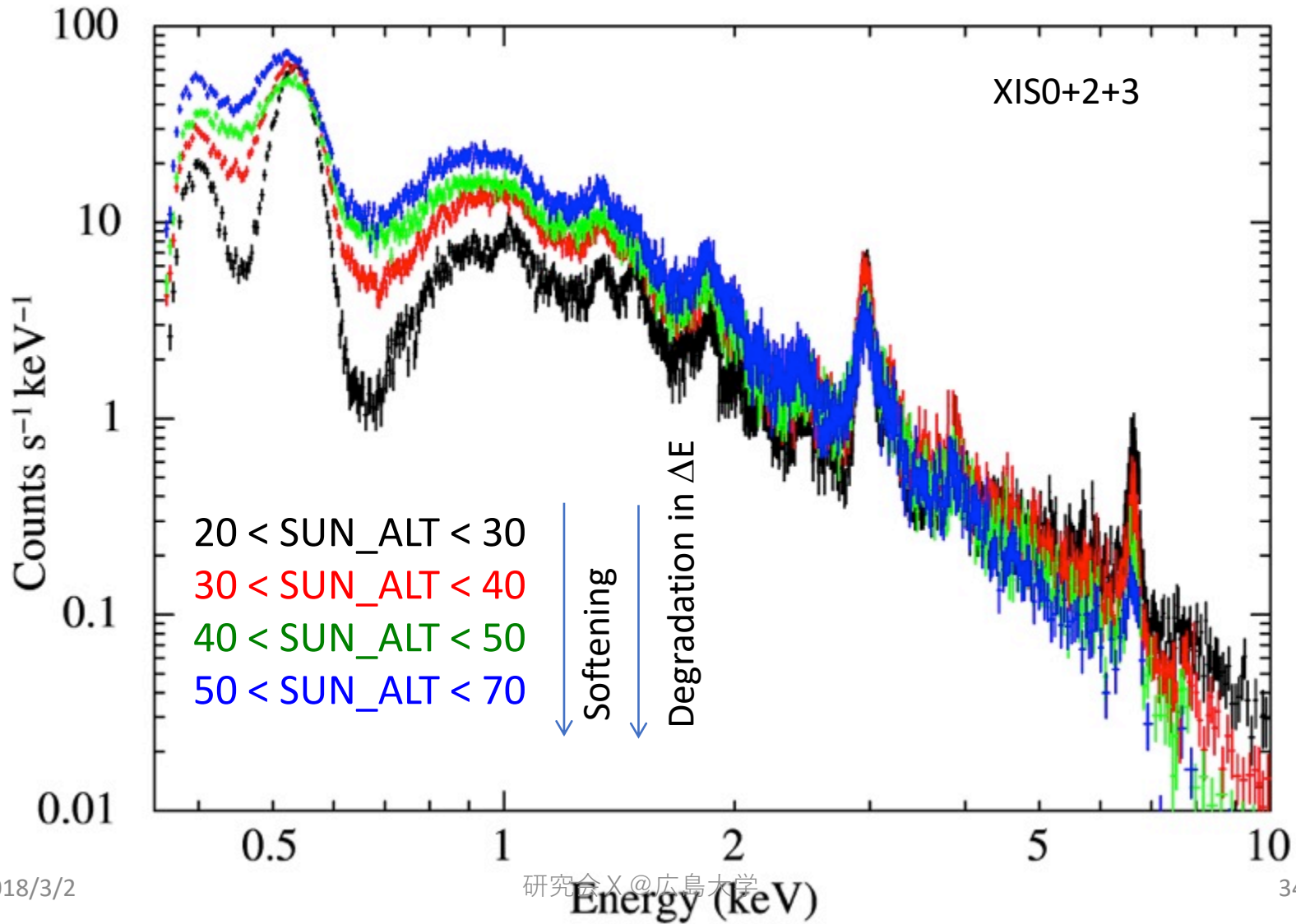
まとめ

- これまでゴミとして捨てられていた「すざく」地没データを活用した、太陽フレアと地球超高層大気の研究を紹介した。
- 太陽活動の11年周期を確認した。
- Fe K 輝線プロファイルにCompton shoulderのような構造を発見した。
- 太陽コロナに硫黄が少ない傾向を確認。
- 地球大気からの蛍光X線(N K, O K)は、XISの分解能より太い。原子と分子の輝線が混入している可能性がある。
- N/O 輝線強度比が一つの観測内で変動する。大気組成比の高度依存性を反映するのか？
- X線代替機によるX線精密分光観測がとても楽しみ。

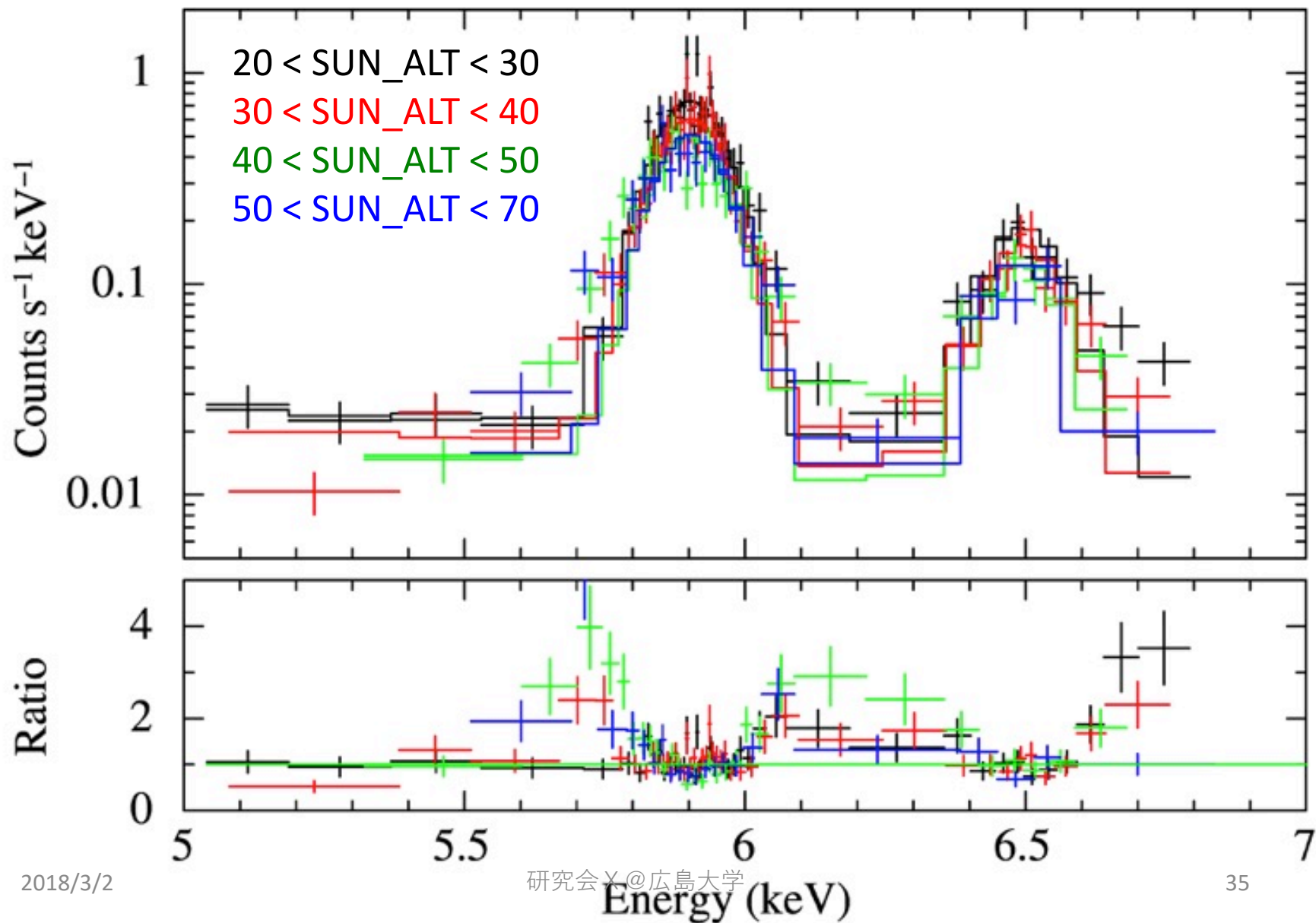
Zoom into 2nd Peak



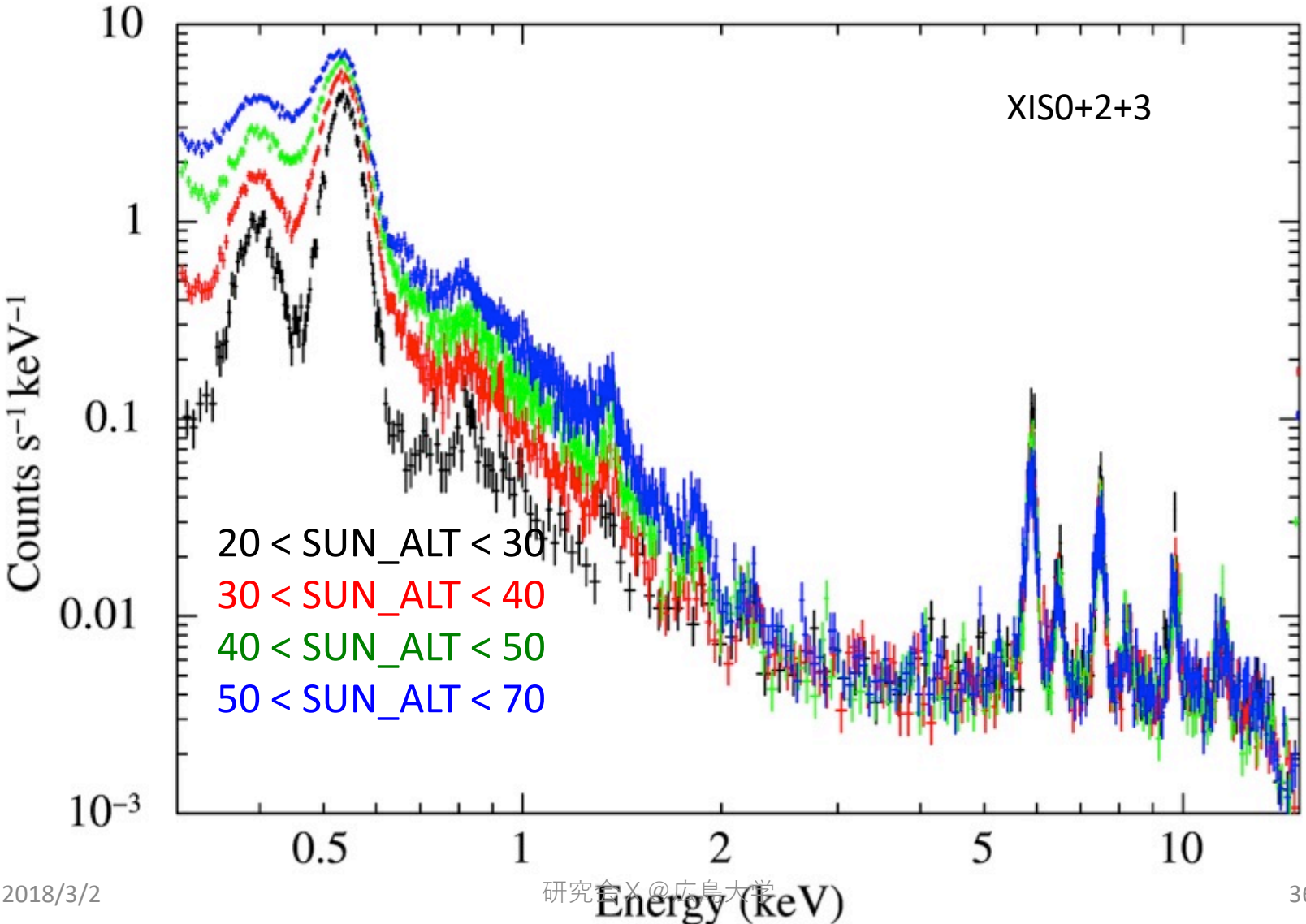
Line Broadening with SUN_ALT (2005/9)



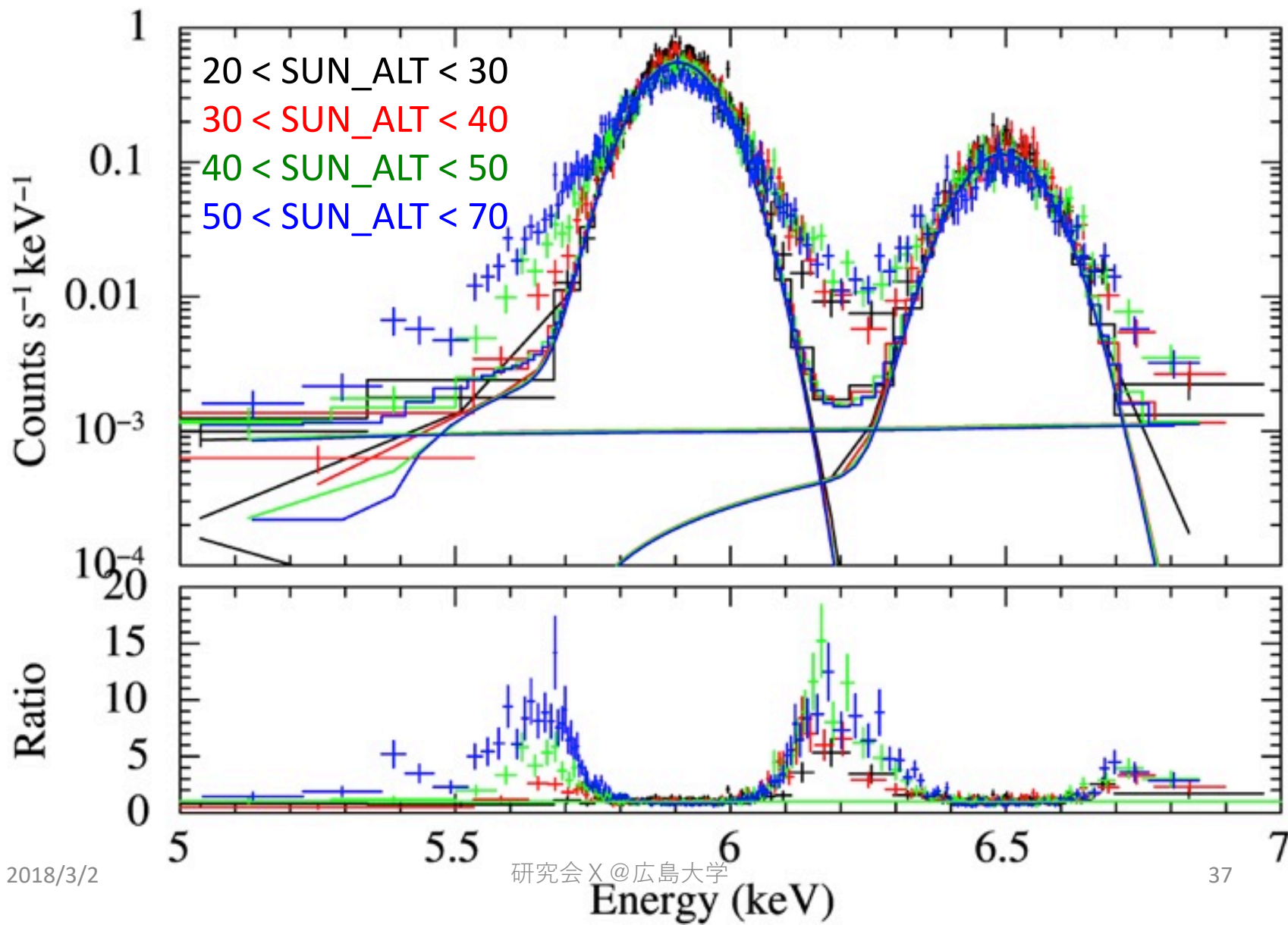
Mn K α Line Width



Line Broadening with SUN_ALT (2006/2)



Mn K α Line Width



N-K LC – Zoom into Second Peak

