

天文夏の学校
～2010@豊橋～

ASTRO-H搭載軟X線カメラ
SXI用CCD素子の開発

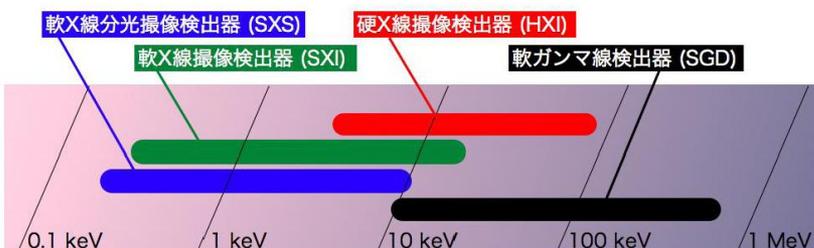
UEDA Shutaro
Osaka University

2010.08.05

観測機器38a

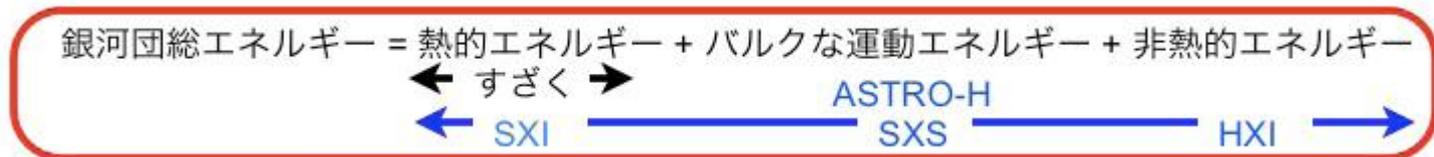
ASTRO-Hとは？

- 2013年度打ち上げ予定の、日本で6番目のX線天文衛星
- 4つの検出器で0.3-600keVのエネルギー領域をカバー



- ◆硬X線領域で初のImager (HXI)
- ◆X線マイクロカリメーター搭載 (SXS)
- ◆CCDとしては最大級の視野 (SXI)

これらの検出器を用いて、銀河団の総エネルギーを見積もる！



様々な z の銀河団の総エネルギーから

宇宙の質量密度に対する物質密度の割合を精密測定する！

(現在の銀河団観測による大まかな Ω_m の予測は $\sim 0.28^*$)

*Allen S.W. et al 2008

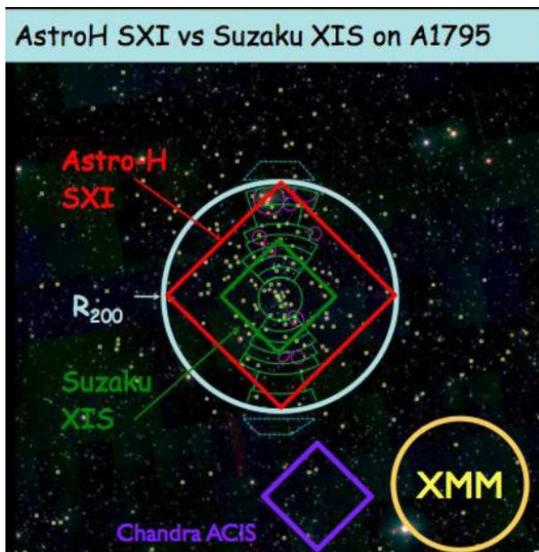
SXIとは？

SXI : Soft X-ray Imager 分光・撮像に優れたX線CCDカメラ

⇒ 0.4-12keVのエネルギー領域を担当

⇒ 38 x 38 arcmin²という、CCDとしては最大級の視野

銀河団のビリアル半径を超える領域を一度に観測



18 x 18 arcmin²だけあれば、 $z \sim 0.14$ (18億光年)より遠い銀河団をビリアル半径を超えて観測できる！

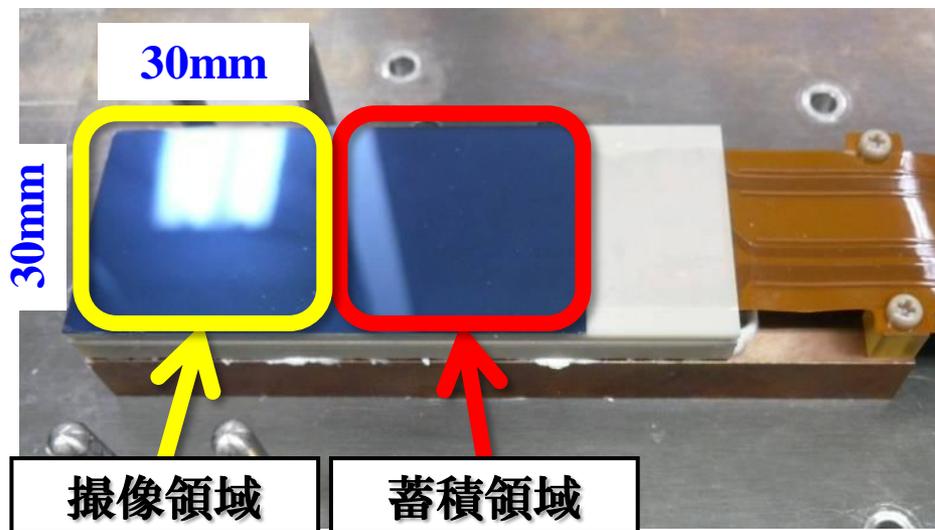
銀河団の総エネルギーのうち、熱エネルギーの精密測定を担当する

⇒ ダークマターの全貌に迫る

そのため、SXIではP-channelで裏面照射型のCCDを採用する！

SXI用CCD素子のプロトモデル:Pch-2k4k

Pch-2k4k素子



ASTRO-H/SXIの目指すべきScienceのために

- ◆撮像領域が大面積のCCD(30mm×30mm)
- ◆裏面照射型のP-channel CCD素子
- ◆空乏層厚200 μ mの完全空乏化素子

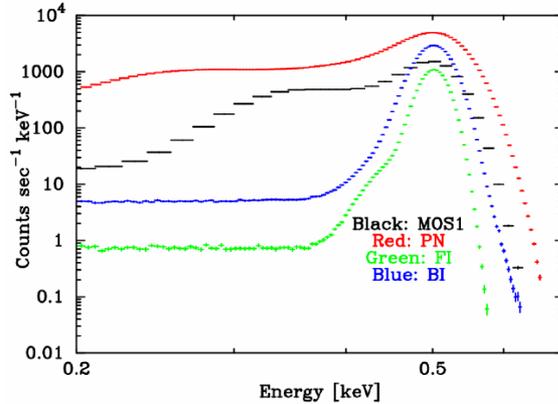
- 放射線耐性が表面型より高い
- 低エネルギー側で感度が高い裏面型
- 厚い空乏層(XISの3倍以上)

⇒ 有効エネルギー帯域が
よりワイドバンドに

さらなる性能向上を目指して、CCDの開発を行っている

CCDの開発(低エネルギーX線照射試験)

生成された電荷の一部が転送電極まで運ばれないとテールが生まれる



0.5keVのX線に対する応答

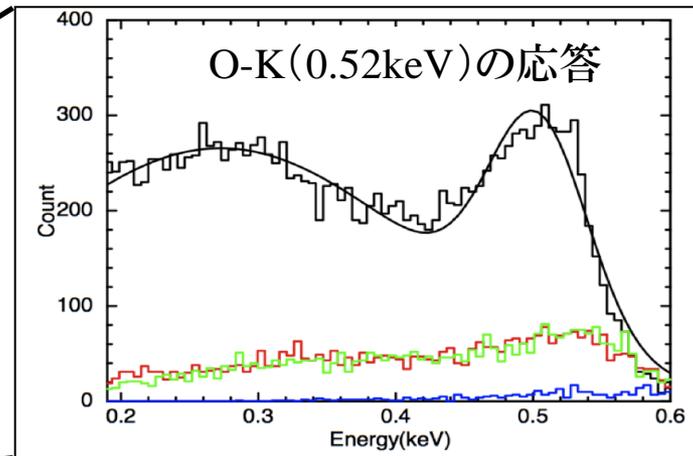
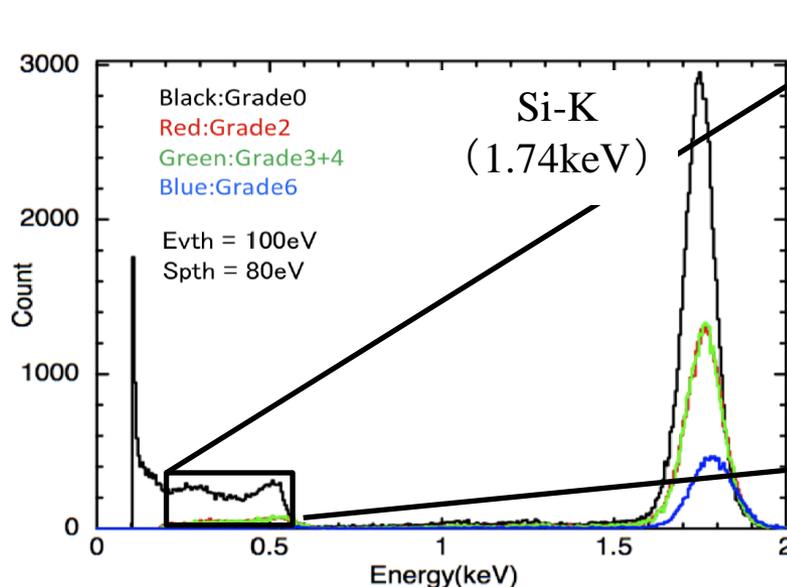
XMM-Newton: 黒、赤

Suzaku: 緑、青

Suzakuの方が応答の
単色性に優れている

⇒ 検出器として優秀

裏面照射型のPch-2k4k素子は、どのような応答を示すか？

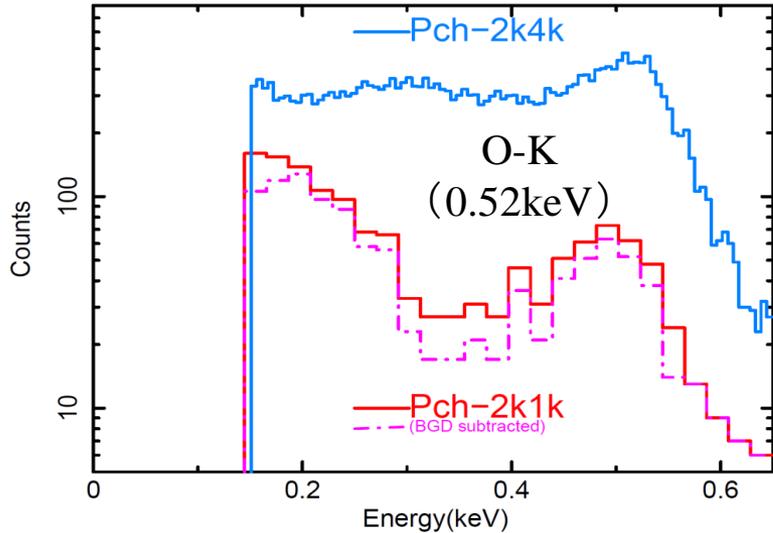


0.3keV付近の盛り上がりなど、0.52keVの
X線の応答が単色ではない！

SXIのエネルギー帯域を低エネ側に拡張するため、応答関数の単色性が必要

入射面改良素子:Pch-2k1k

0.52keV(O-K輝線)のSi中の平均吸収距離は0.5 μ m
⇒ CCD入射面構造の一部を薄くした素子:Pch-2k1k



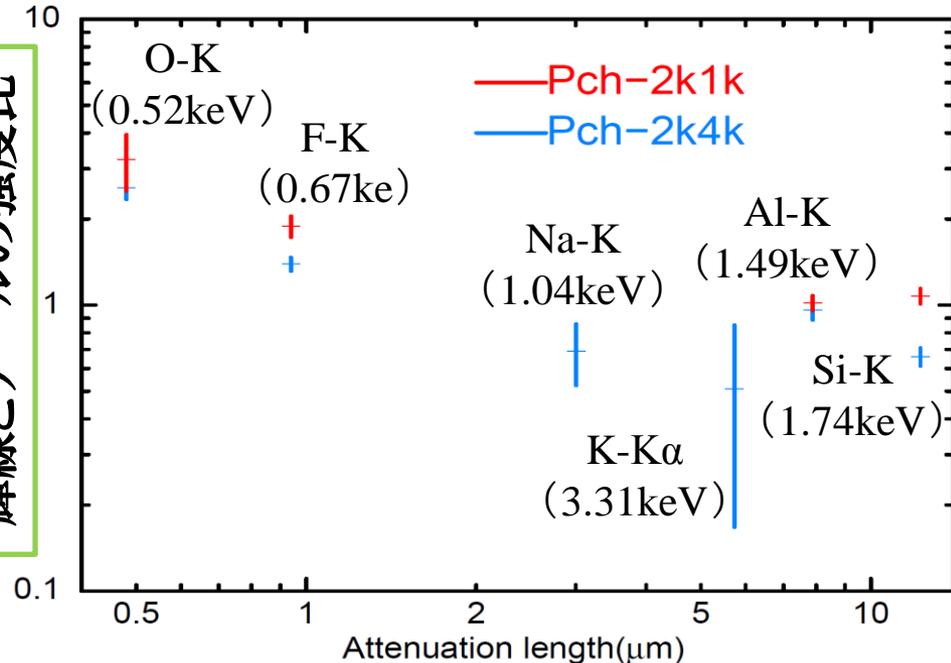
Pch-2k1kのスペクトルは酸素の蛍光X線のみを照射したときのもの

O-Kの低エネルギー側にPch-2k4kと同じようなテール構造が見えている

両方のCCD素子で5keV以下の蛍光X線の応答はほぼ同じ

⇒ テールを生み出す主要な要因は層の厚みではないことを明らかに

輝線とテールの強度比



現在、さらに新しいCCD素子を開発中

CCDの開発(電荷注入試験)

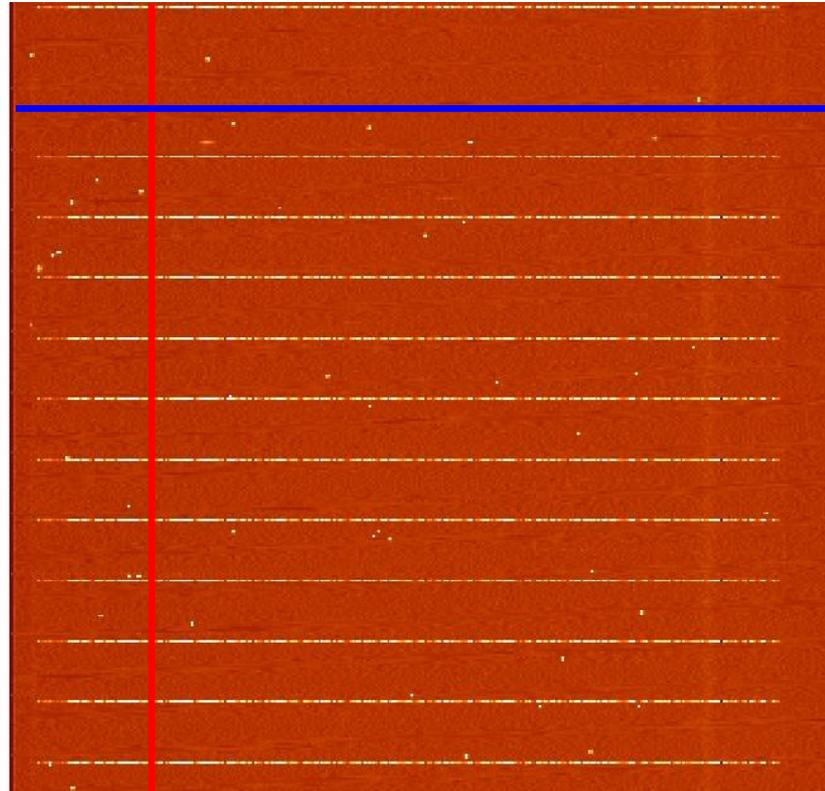
取得できたフレームイメージ

線源は ^{55}Fe

◆読み出し速度:68kHz

◆駆動温度:-75°C

◆1x1Binning



◆エネルギー分解能
250eV@5.9keV

◆読み出しノイズ
15.7e⁻

◆GAIN=1.94eV/ch
(0.53e⁻/ch)

◆宇宙空間で、CCDは放射線(主に陽子)を大量にあびる

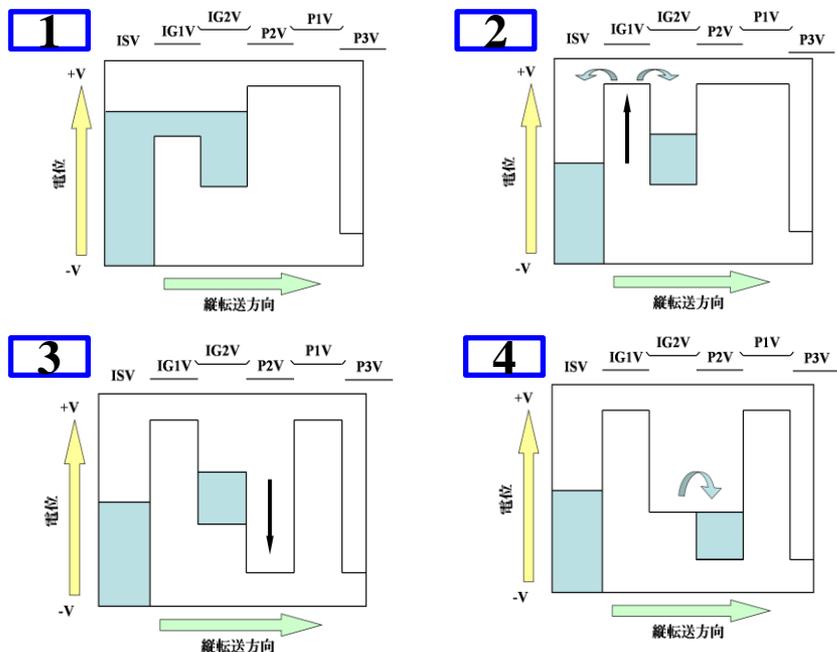
⇒ 転送電極中に格子欠陥ができる

⇒ 電荷転送効率が悪くなる(エネルギー分解能が悪くなる)

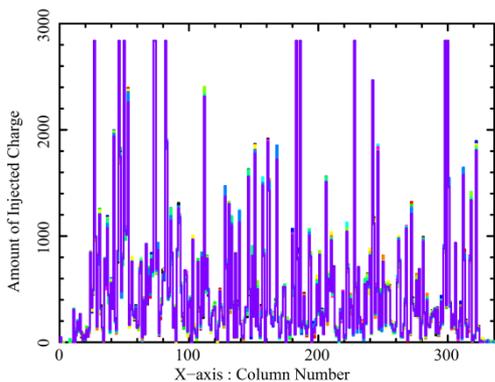
電荷注入を行うことで、劣化を防ぐ!

2種類の電荷注入方法(DC法とPE法)

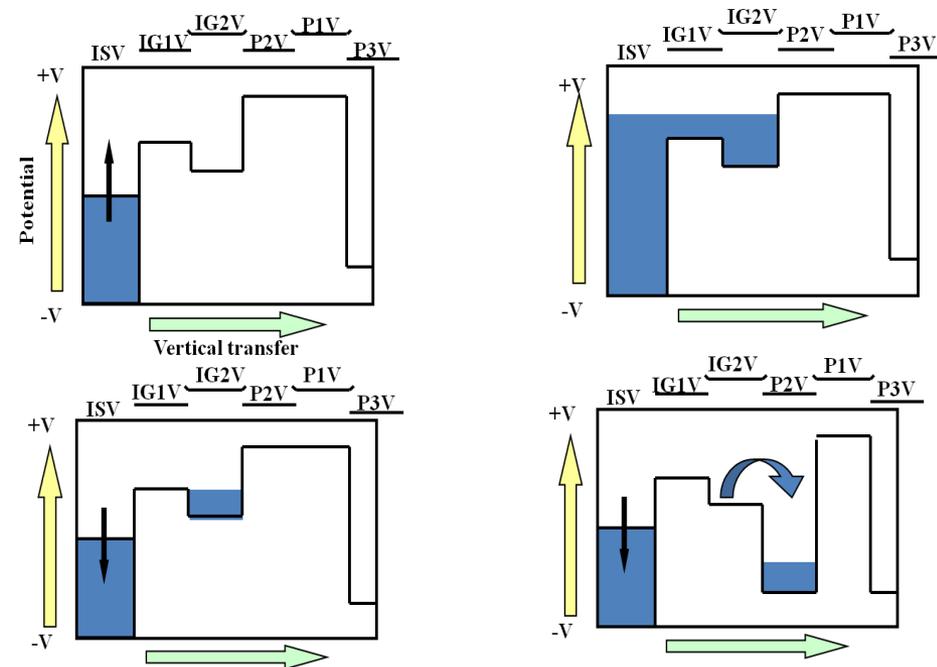
Diode Cut off Method (DC法)



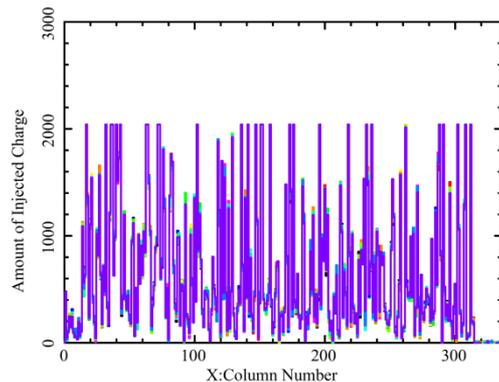
DC法



Potential Equilibration Method (PE法)



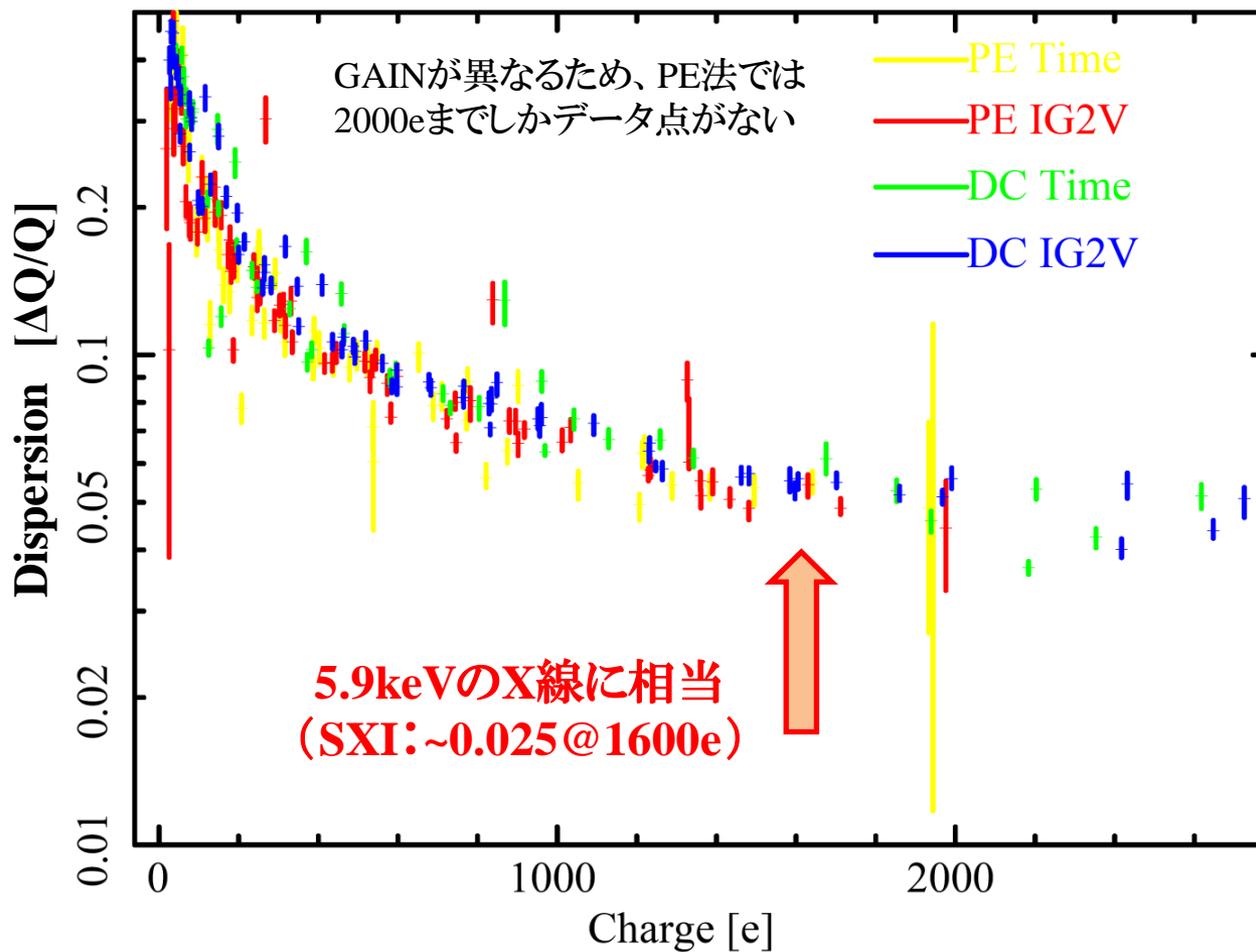
PE法



- Columnごとのバラツキは大きい
- 電荷注入の時間、電圧値を変化させても結果は同じ

各電荷注入法と、パラメータ変化時の $\Delta Q/Q$

注入電荷量と、バラツキ [$\Delta Q/Q$]の関係をプロット
(読み出しノイズと暗電流の寄与は除去済み)

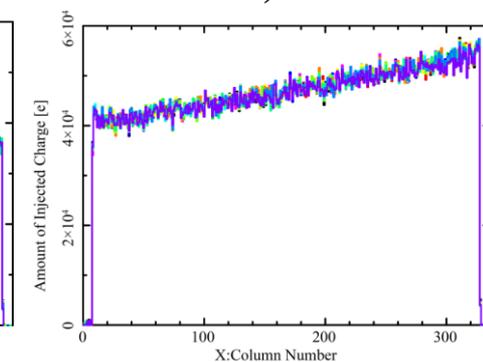
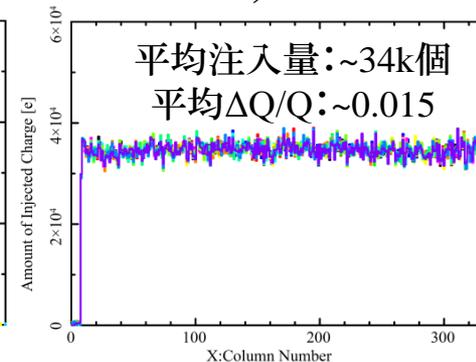
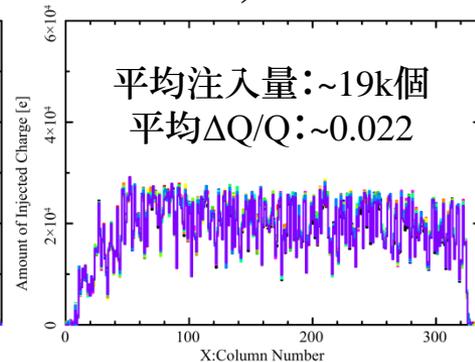
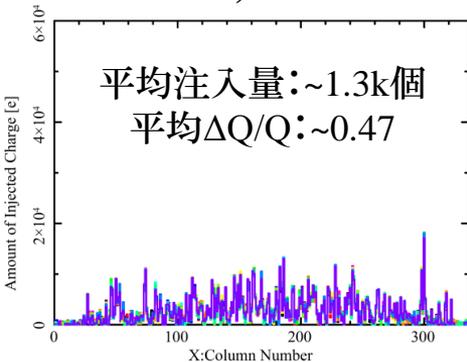


- ◆ DC法とPE法でも、パラメータを変えても、 $\Delta Q/Q$ はあまり変化しない
- ◆ ~0.06 @ 1600e

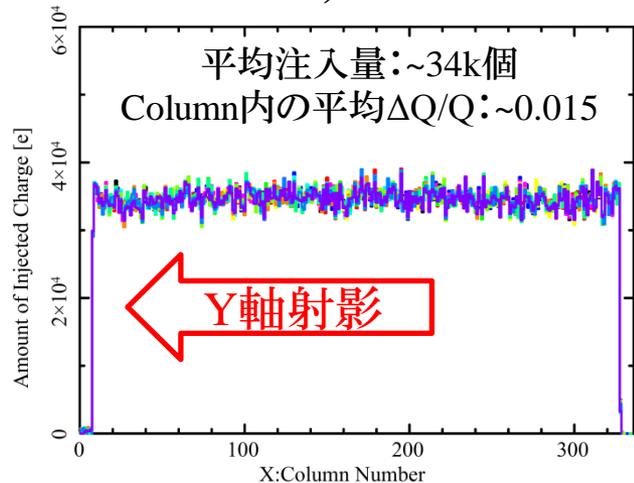
10k個以上電荷を注入

12rowsの注入電荷量の重ね合わせ

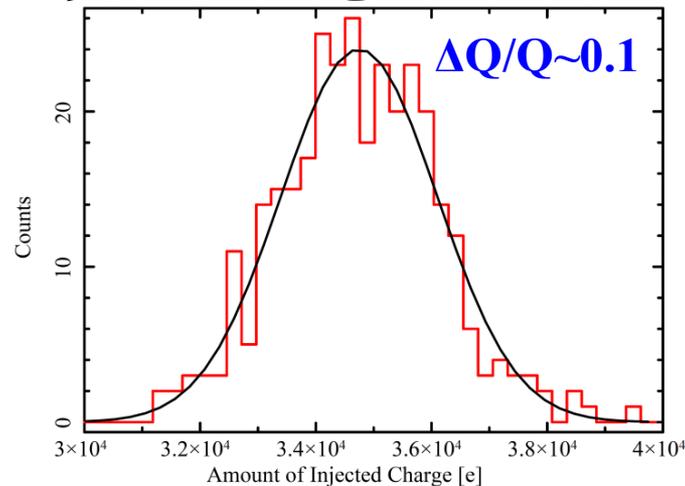
ISVh:-6.1V, IG2V:-2.7V ISVh:-6.0V, IG2V:-2.7V ISVh:-5.8V, IG2V:-3.0V ISVh:-5.7V, IG2V:-4.0V



ISV:-5.8V, IG2V:-3.0V



ある1つのRowをGaussianでfit



注入量が20k個を超えると、各Columnに一様に電荷が注入される！

まとめ

◆ASTRO-HはX線天文学の歴史を塗り替えるはず

⇒ X線のエネルギーの超精密分光:SXS

⇒ 硬X線で初めてのImager:HXI

⇒ 広視野で正確な広帯域スペクトル取得:SXI

◆SXI(CCD)の性能を最大限発揮させるため

* 低エネルギー照射試験(SXIの低エネ側の有効帯域)

⇒ 低エネ側で強度の強いテール構造が明らかに

⇒ 入射面構造をより改良し、解消にめざす

* 電荷注入試験(宇宙空間で長期間性能を維持)

⇒ 2種類の電荷注入方法を試験

⇒ 各Columnに一様に電荷を注入可能