

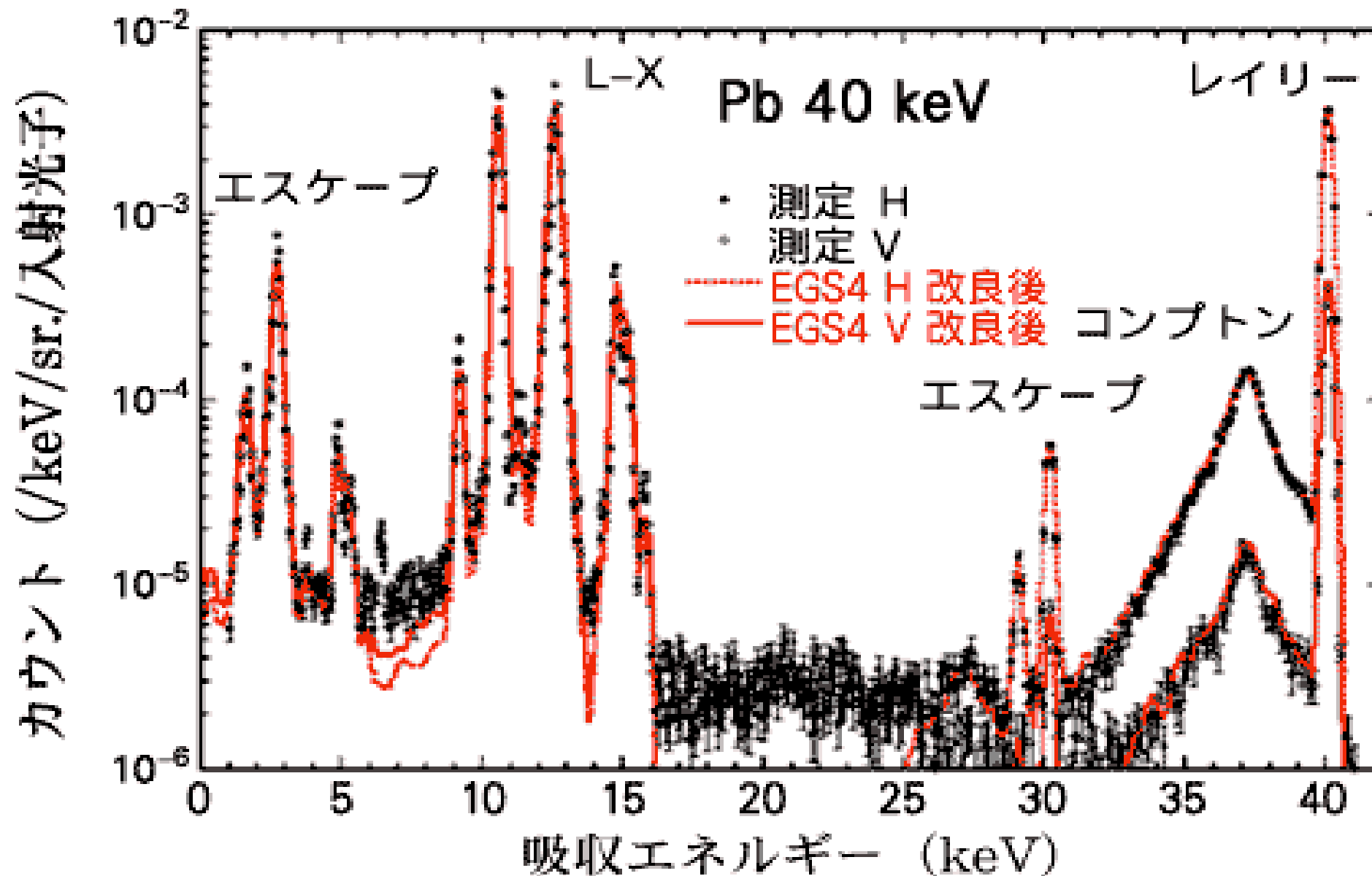
放射光実験施設での散乱X線測定と EGS5シミュレーションとの比較

総研大 桐原 陽一

KEK 波戸 芳仁、萩原 雅之、平山 英夫

背景と目的(1/2)

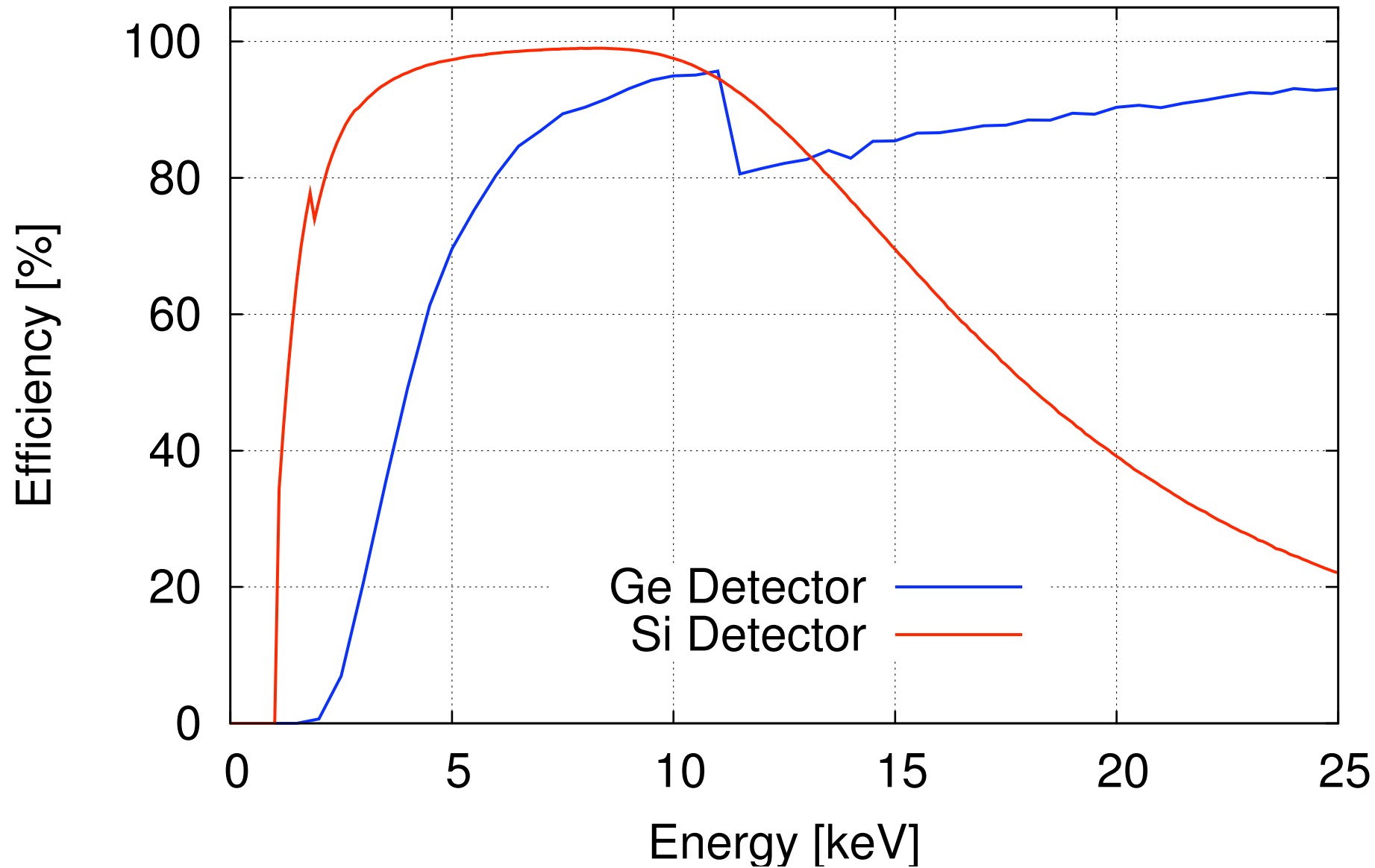
EGSの検証として、KEK-PF実験施設でGe検出器によるX線の測定が行われており、これまでの改良によって低エネルギーの特性X線がよく再現されている。



背景と目的(2/2)

数keV以下のエネルギー測定はGe検出器では困難
Ge検出器の検出効率が低下するため

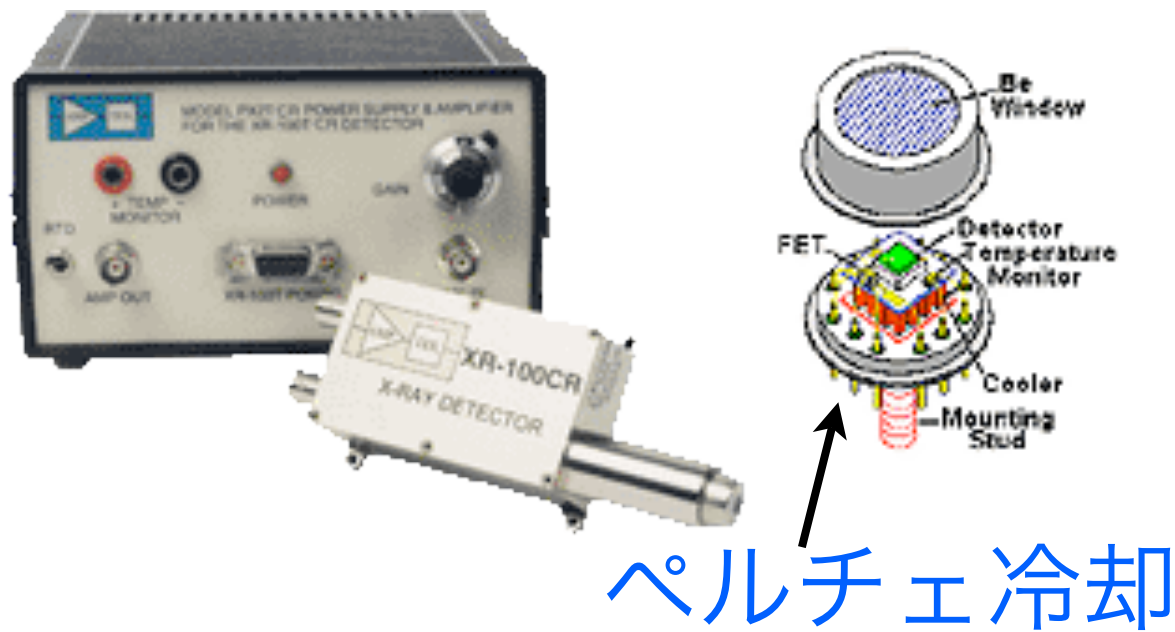
Detector Efficiency



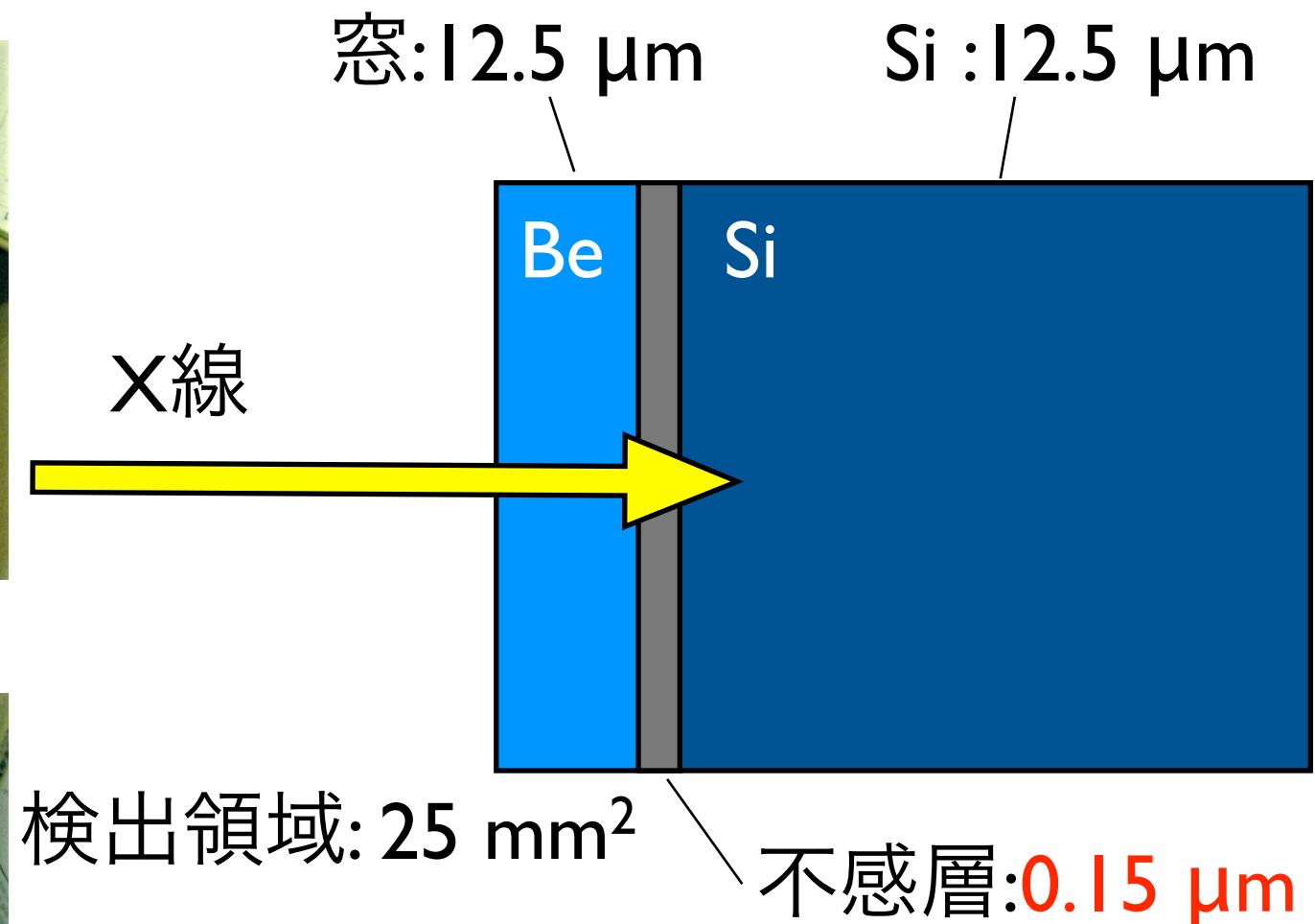
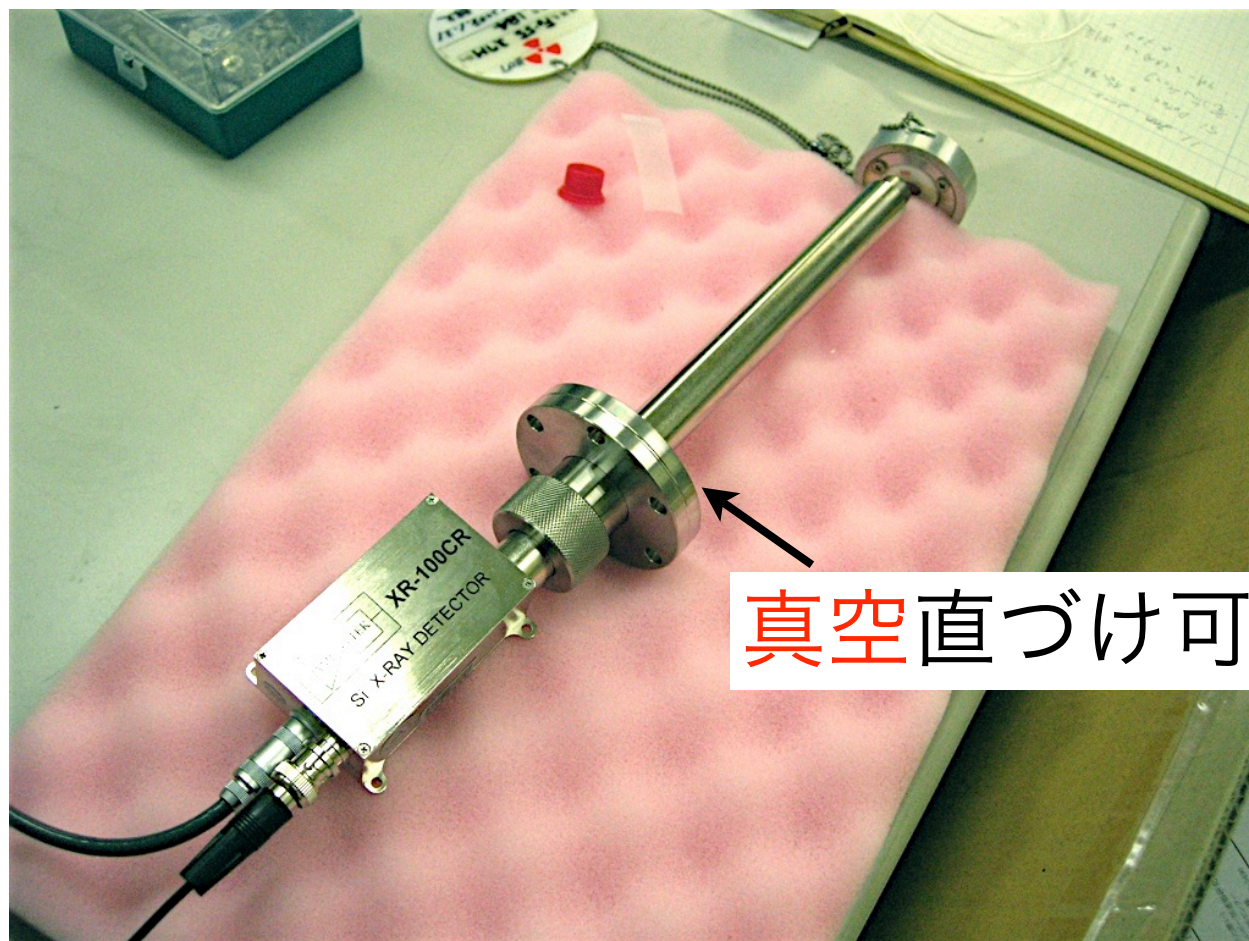
- Ge検出器の体系ではX線が大気、カプトン膜を通過する
- Si検出器は、真空直づけなのでより低エネルギーまで効率が低下しない

Si検出器でK-X線を測定 おもに5 keV以下でのEGS5の検証

Si PIN Photo Detector



- AMPTEK XR-100CR
- 分解能: **196.8 eV** at 5.9 keV

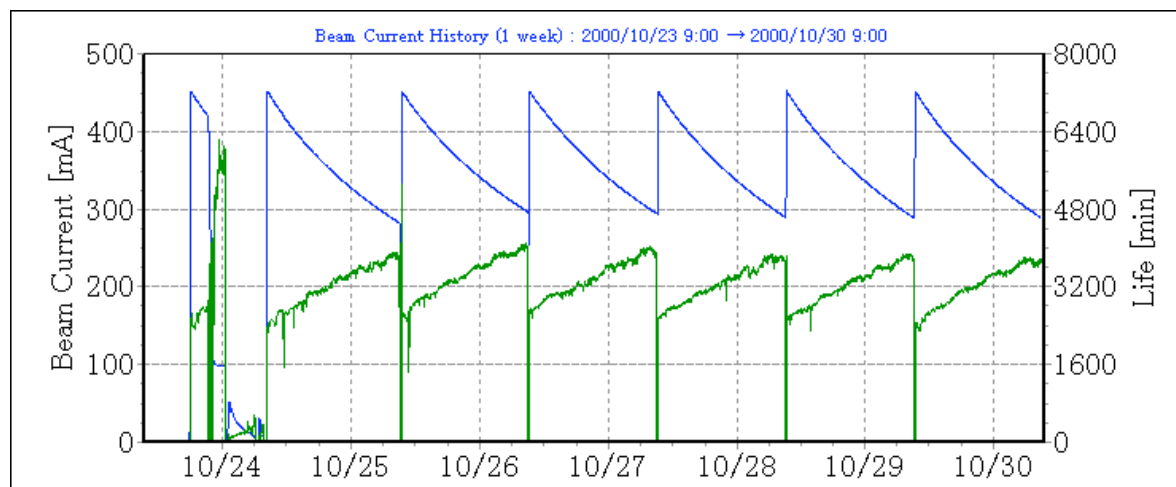
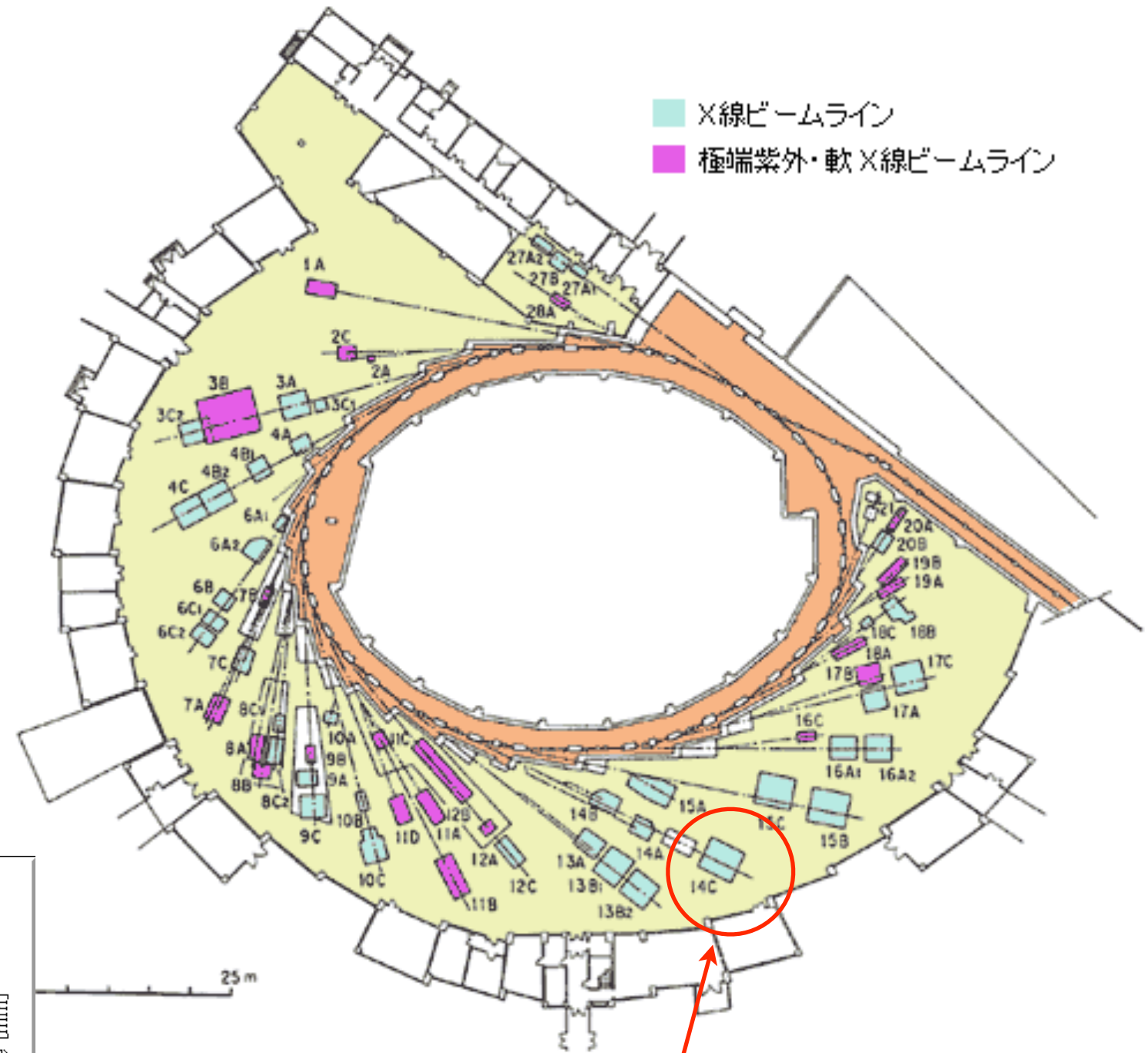


放射光実験

実験施設

KEK-PF BL14C

- 187mのストレージリング
- 電子エネルギー: 2.5 GeV
- 最大電流: 800 mA
- 22本のビームポート
- 9:00AM ビーム入射
- 24時間 周回させる



BL14C

医学応用・x線汎用ステーション

実験体系(1/2)

KEK-PF
BL14C

シンクロトロン放射光から

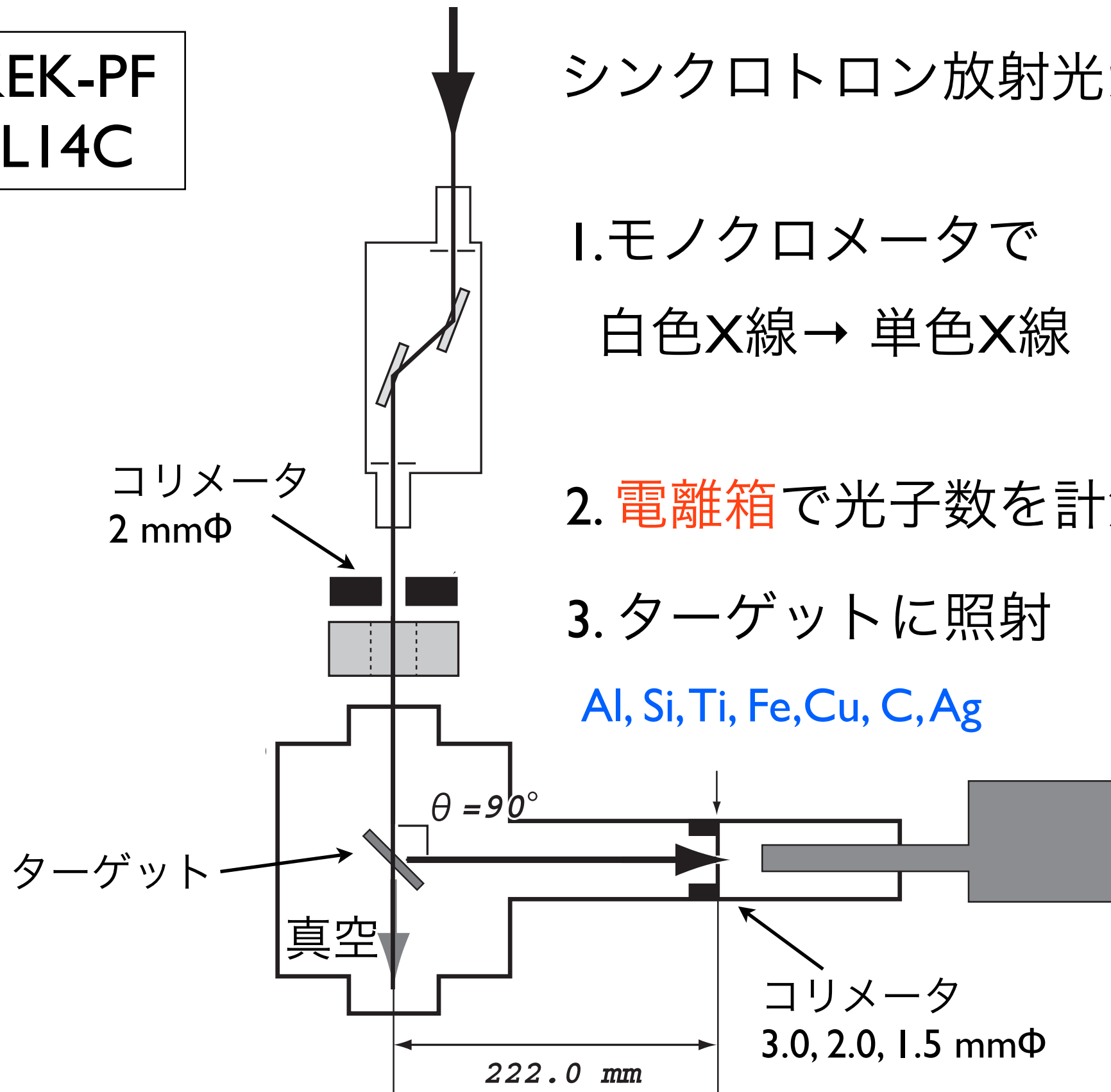
1. モノクロメータで
白色X線 → 単色X線 8, 20 keV

2. 電離箱で光子数を計測

3. ターゲットに照射

Al, Si, Ti, Fe, Cu, C, Ag

4. 90°方向の散乱線を
Si検出器で測定



実験体系(2/2)



ターゲットからのK-X線のエネルギー

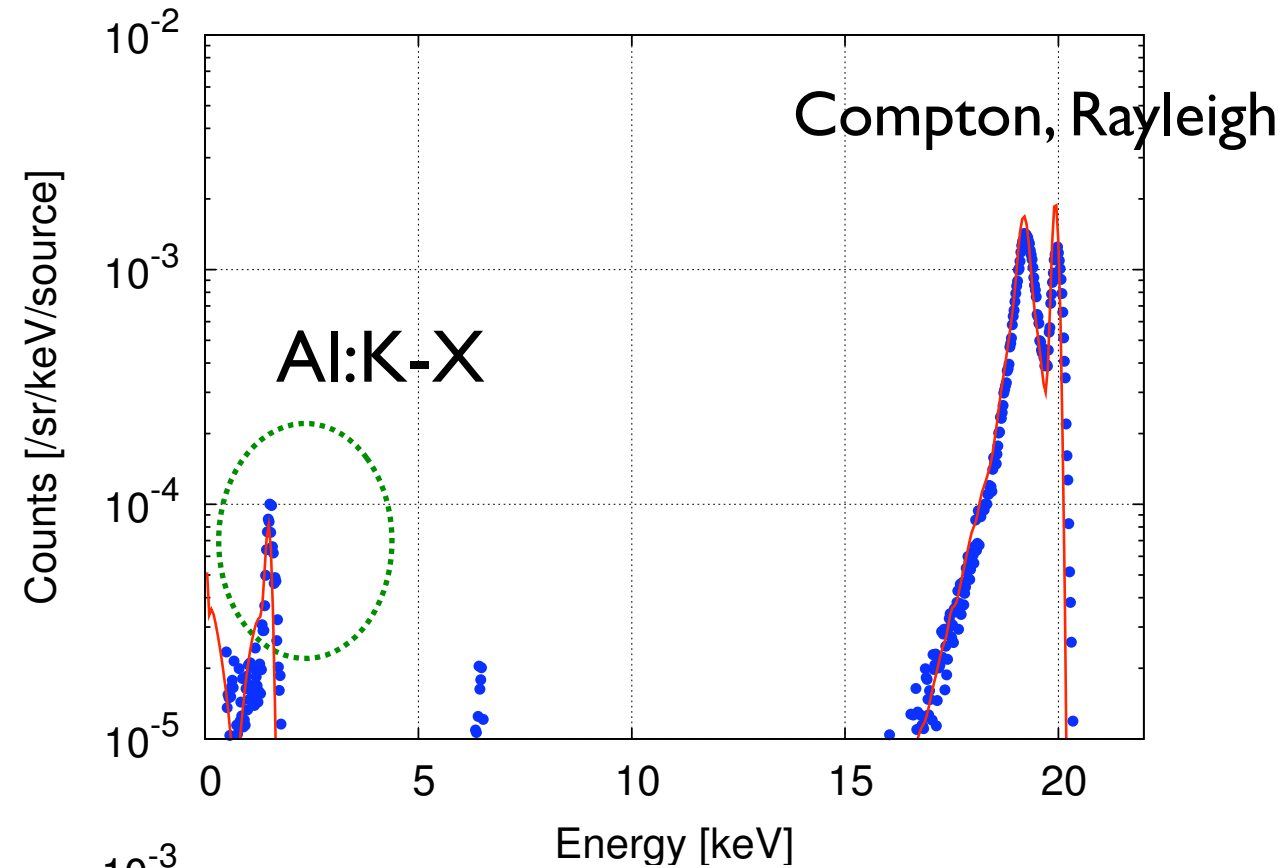
ターゲット	K-X energy [keV]
Al	1.5
Si	1.7
Ti	4.5
Fe	6.4
Cu	8.0
Ag	3.0 (L-X)

Si Detector

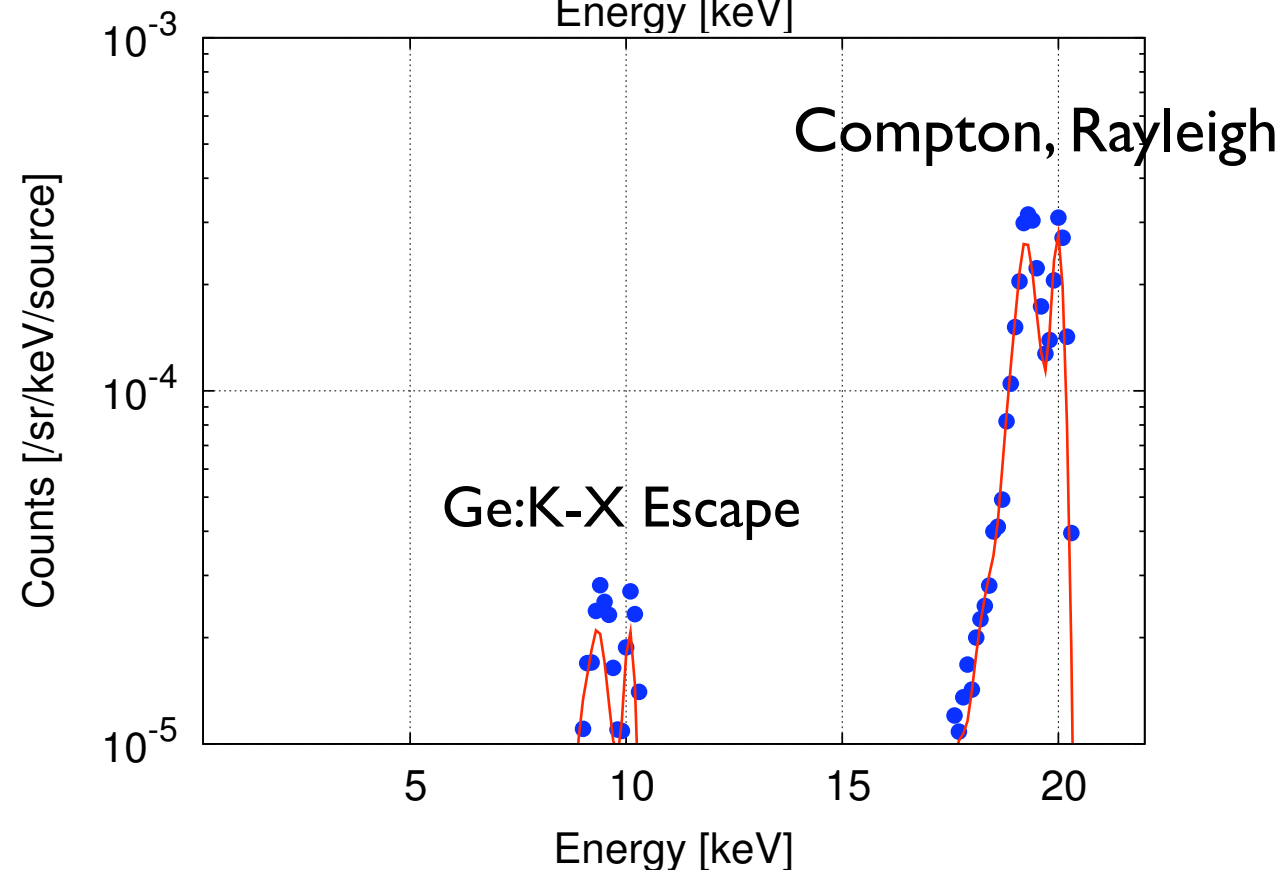
Si検出器とGe検出器の比較

20 keV入射
ターゲット:Al

Si 検出器

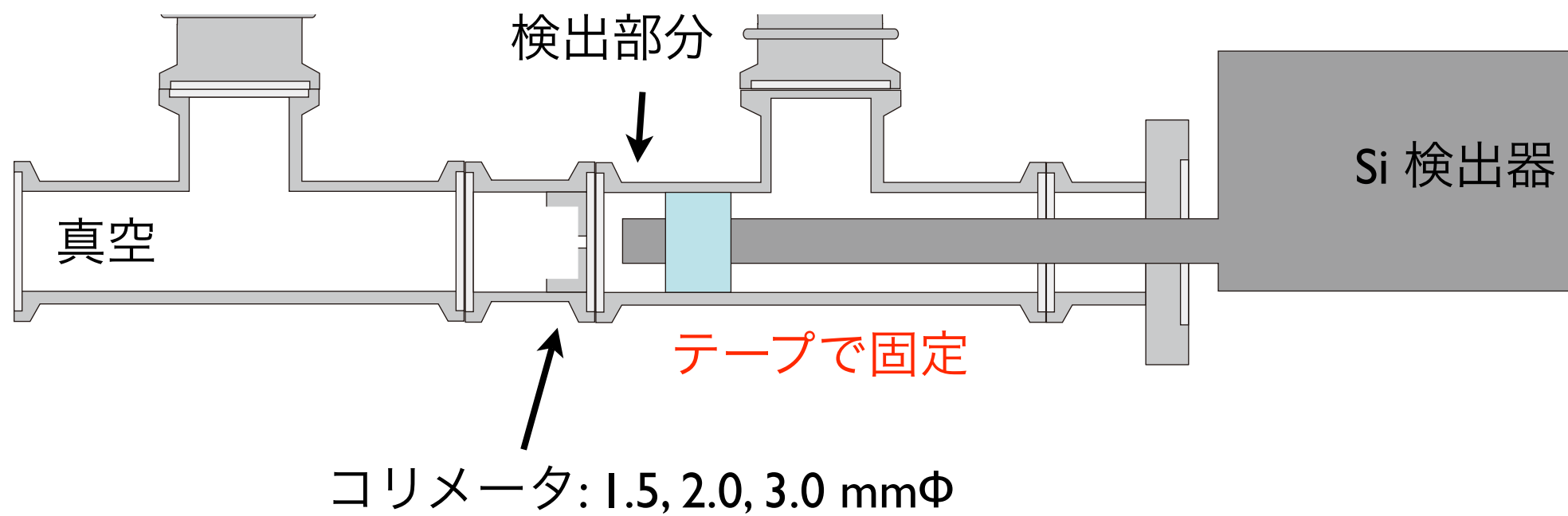
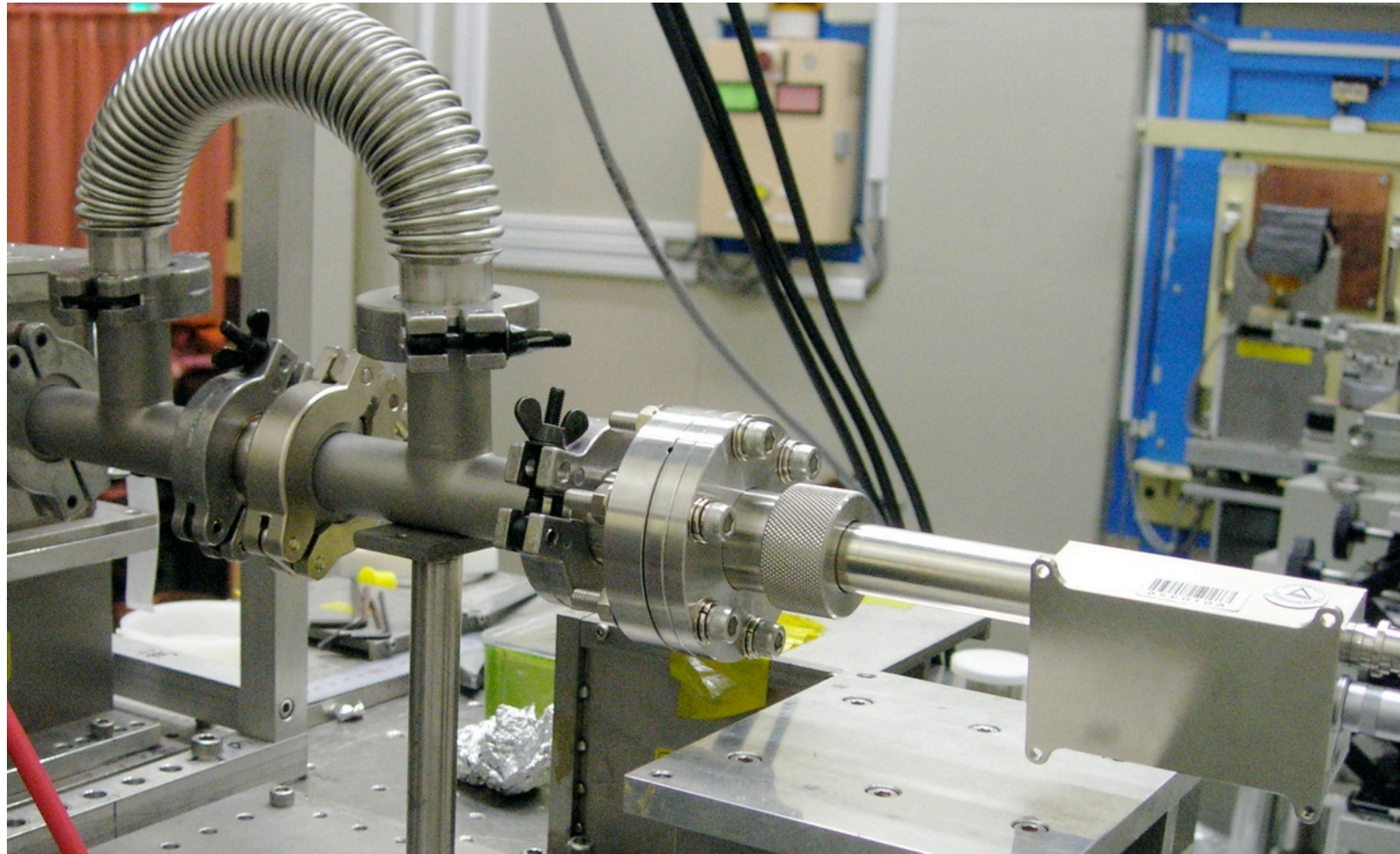


Ge 検出器
@ 垂直方向



Si検出器でGe検出器では測定不可なX線が測定可能

Si PIN Photo Detector 体系

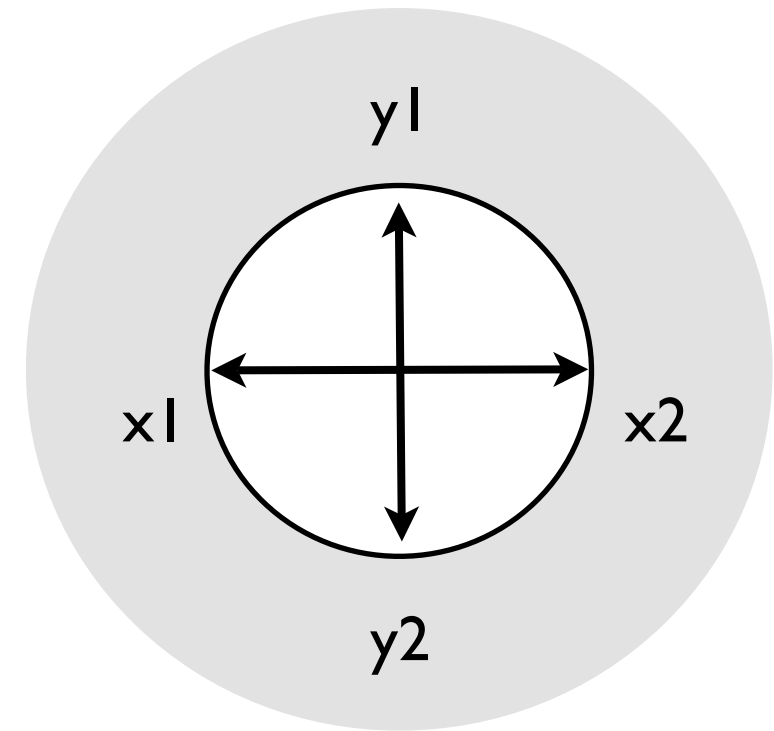


コリメータの評価(1/2)

径の実測

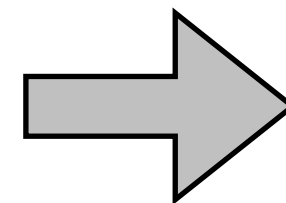


Measuring Microscope



$$R = \sqrt{(|x1 - x2| \times |y1 - y2|)}$$

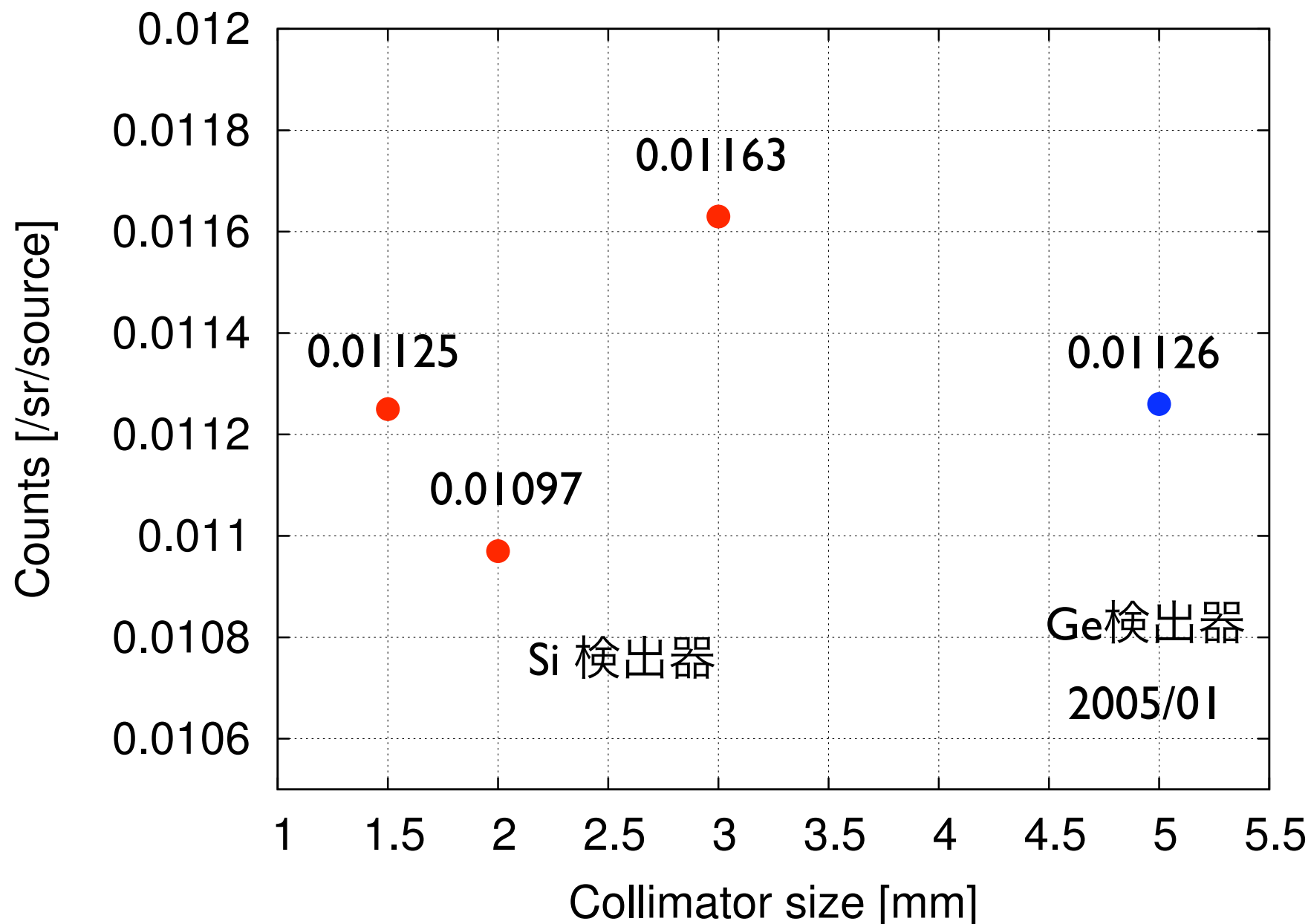
1.5 mmΦ
2.0 mmΦ
3.0 mmΦ



1.448 mmΦ
2.059 mmΦ
2.978 mmΦ

コリメータの評価(2/2)

Cu:K-X線で比較: K_{α} (8.0 keV) + K_{β} (8.9 keV)



Si/Ge

1.5mmΦ :0.999

2.0mmΦ :0.974

3.0mmΦ :1.033

カウント数が稼げる

3.0 mmΦを採用



EGS5 simulation

EGS5 Simulation

- Step 1

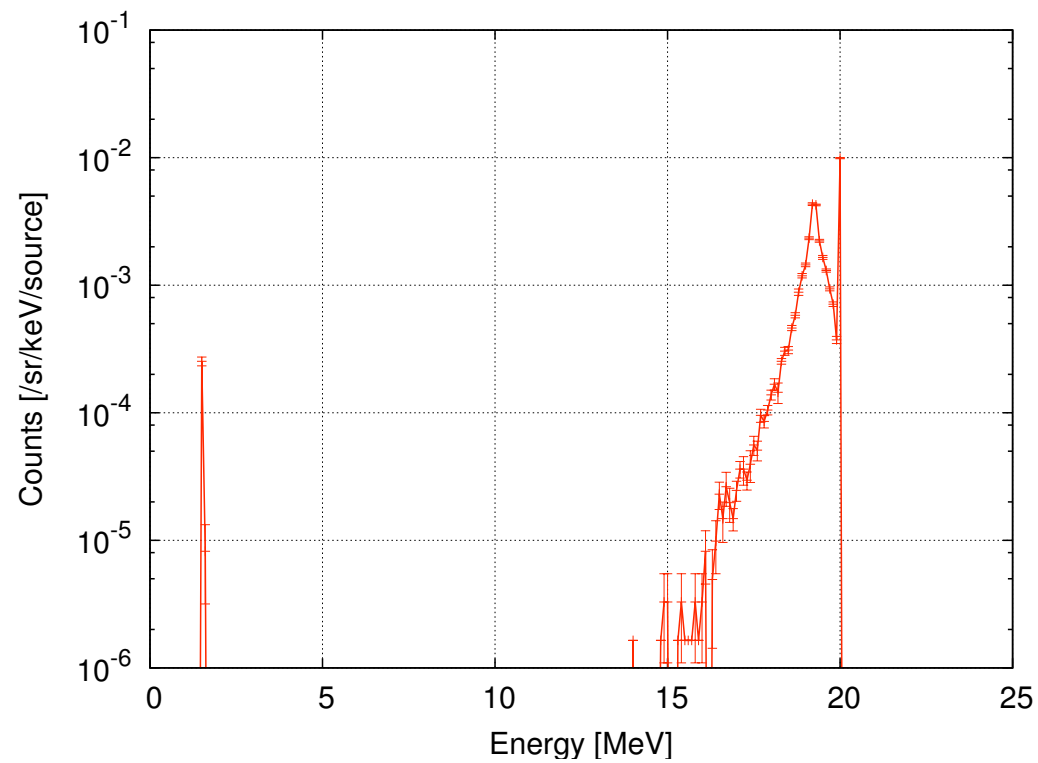
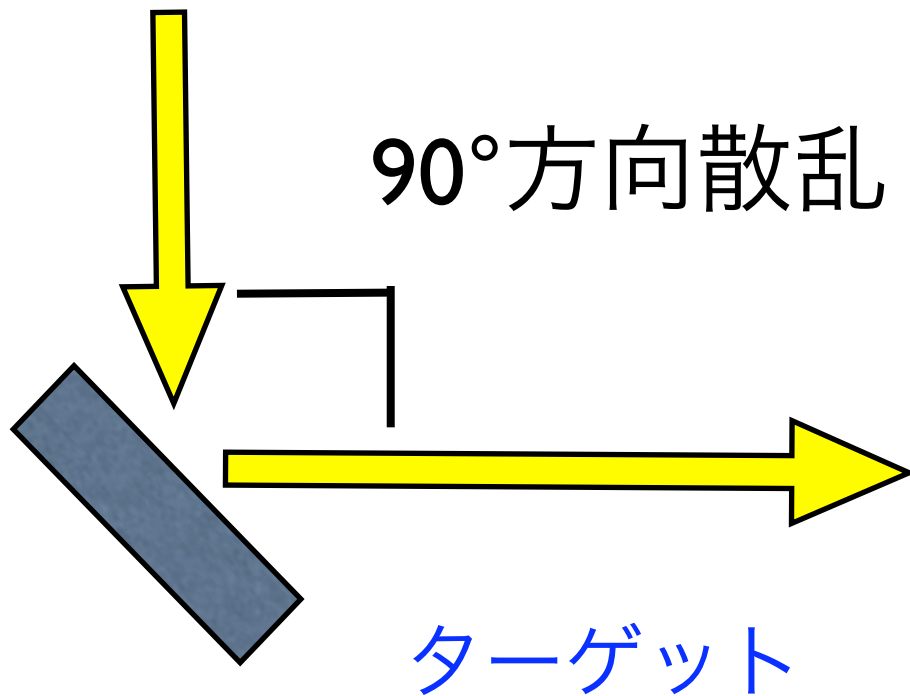
ターゲットからの
90°方向散乱スペクトル

- Step 2

Step 1のスペクトルを用いて、
Si検出器の計算

X線: 8 keV, 20 keV

90°方向散乱



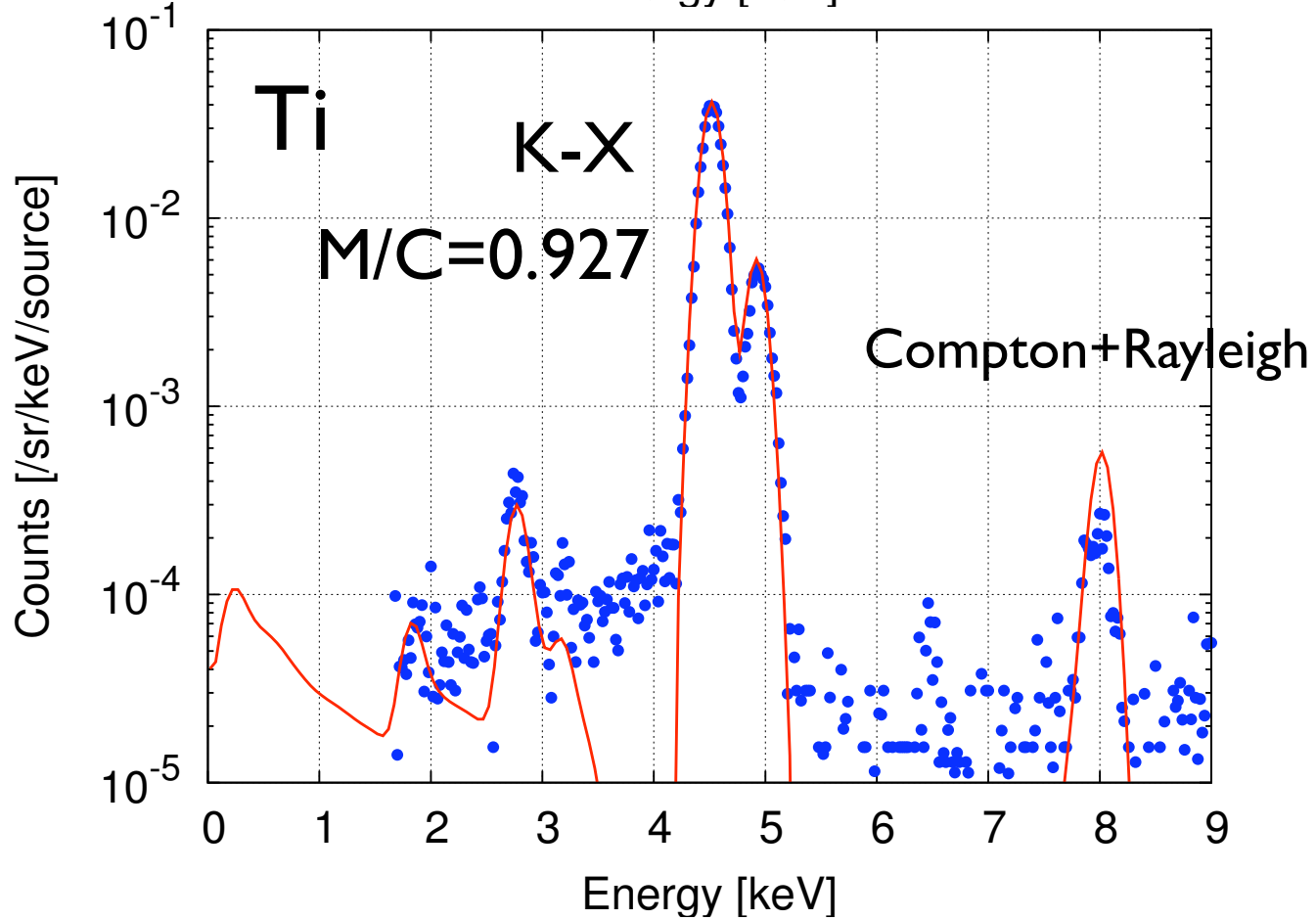
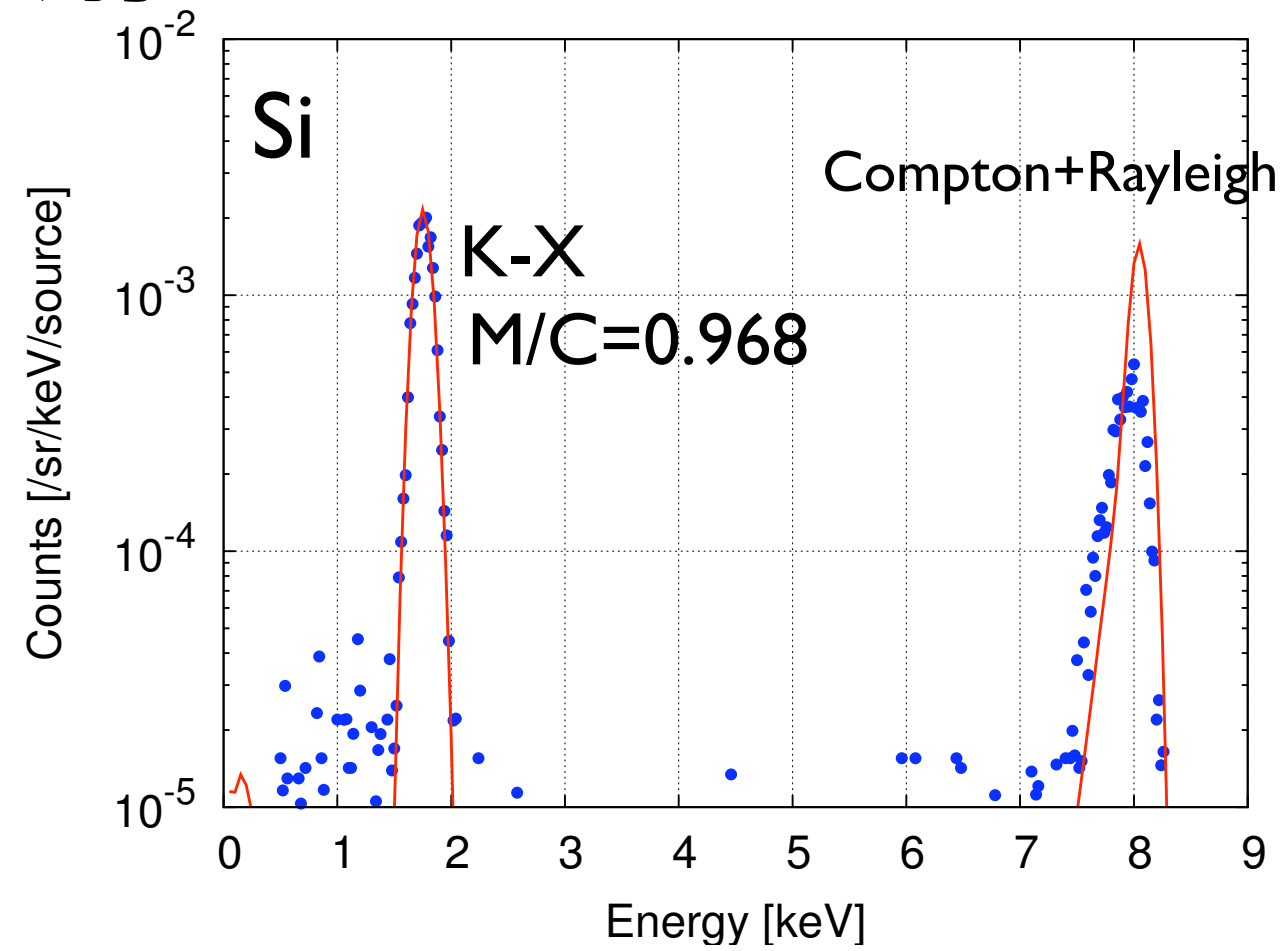
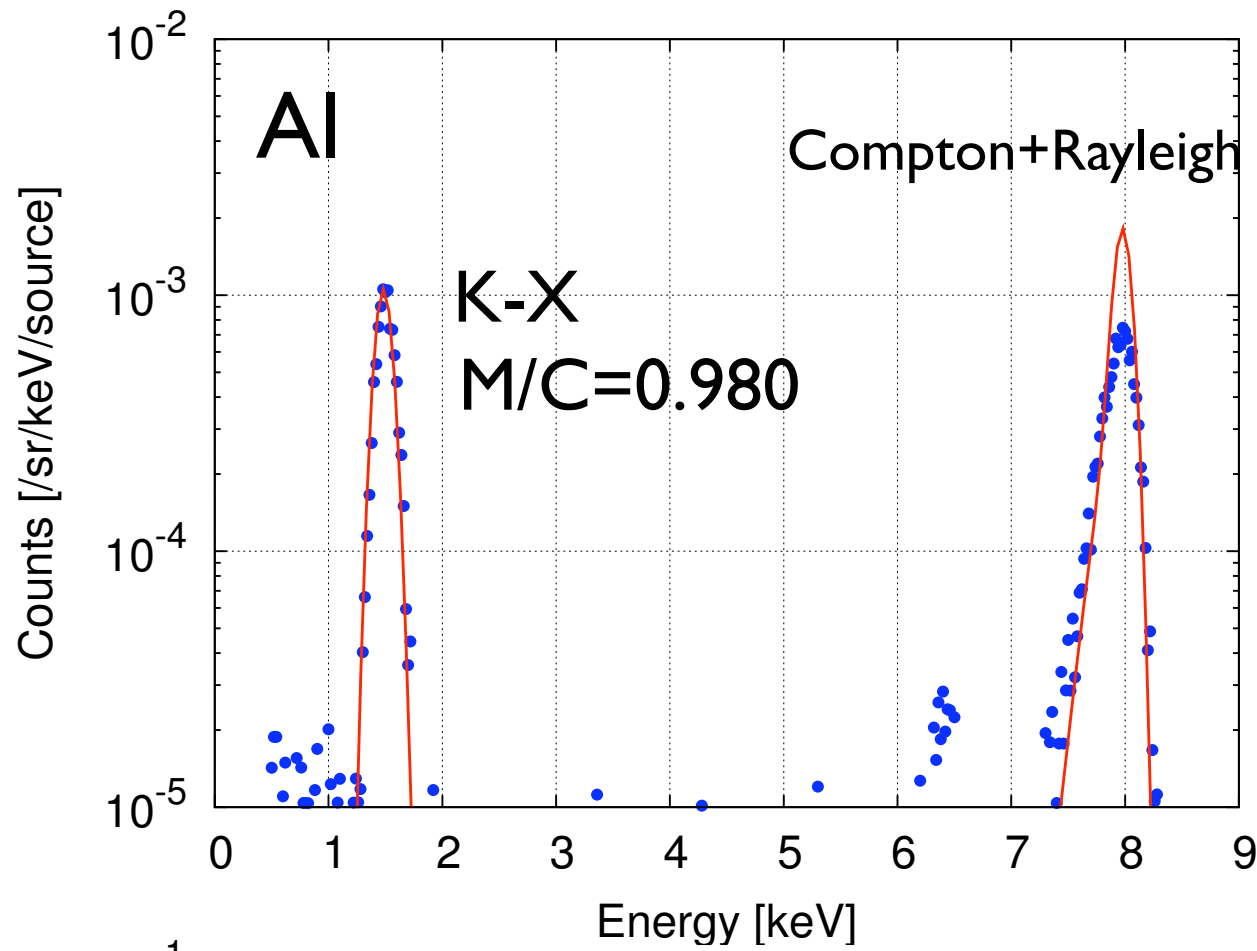
ビーム径: 3.0 mmΦ



Si 検出器

実験値と計算値の比較

8keV入射

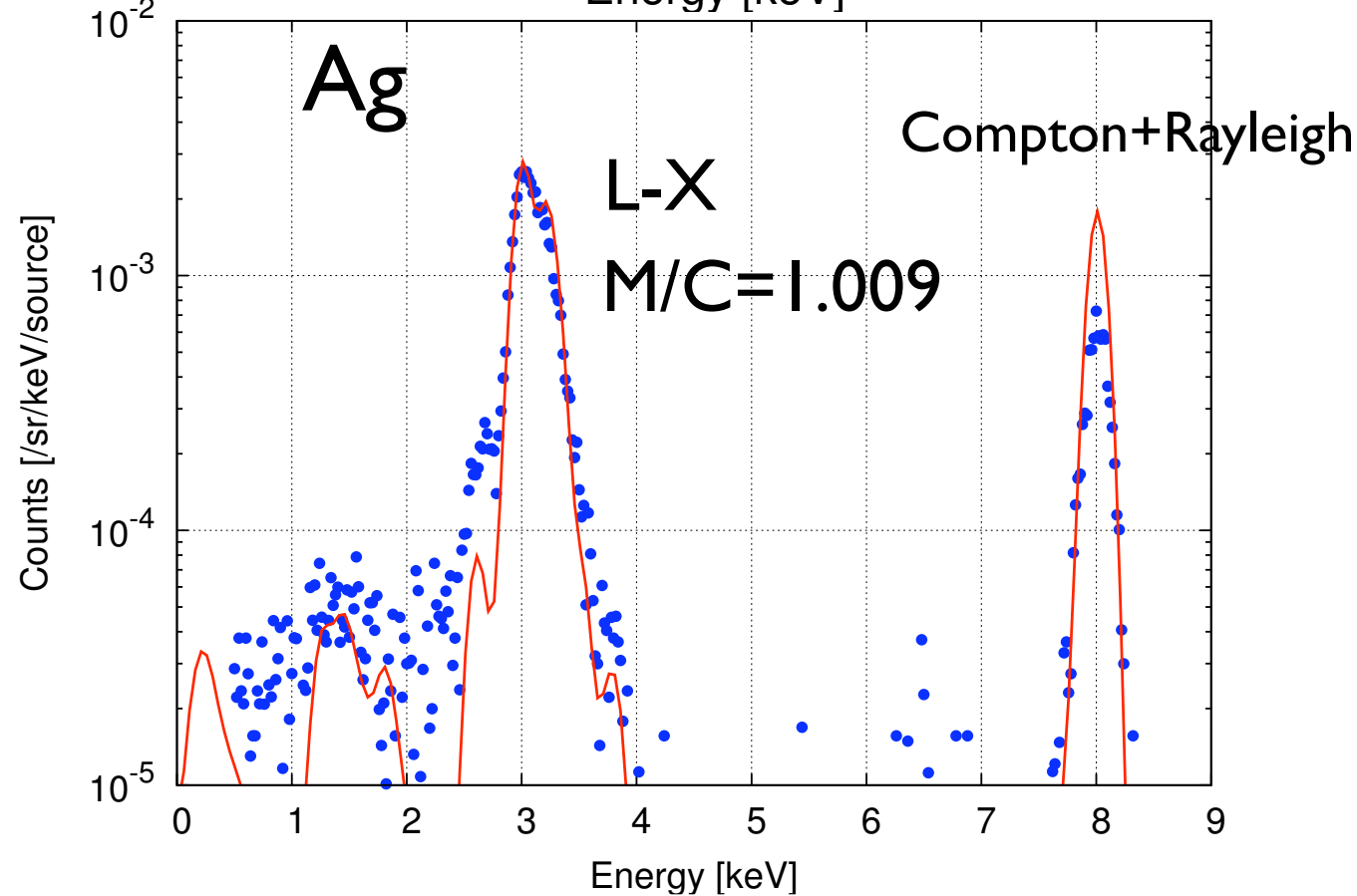
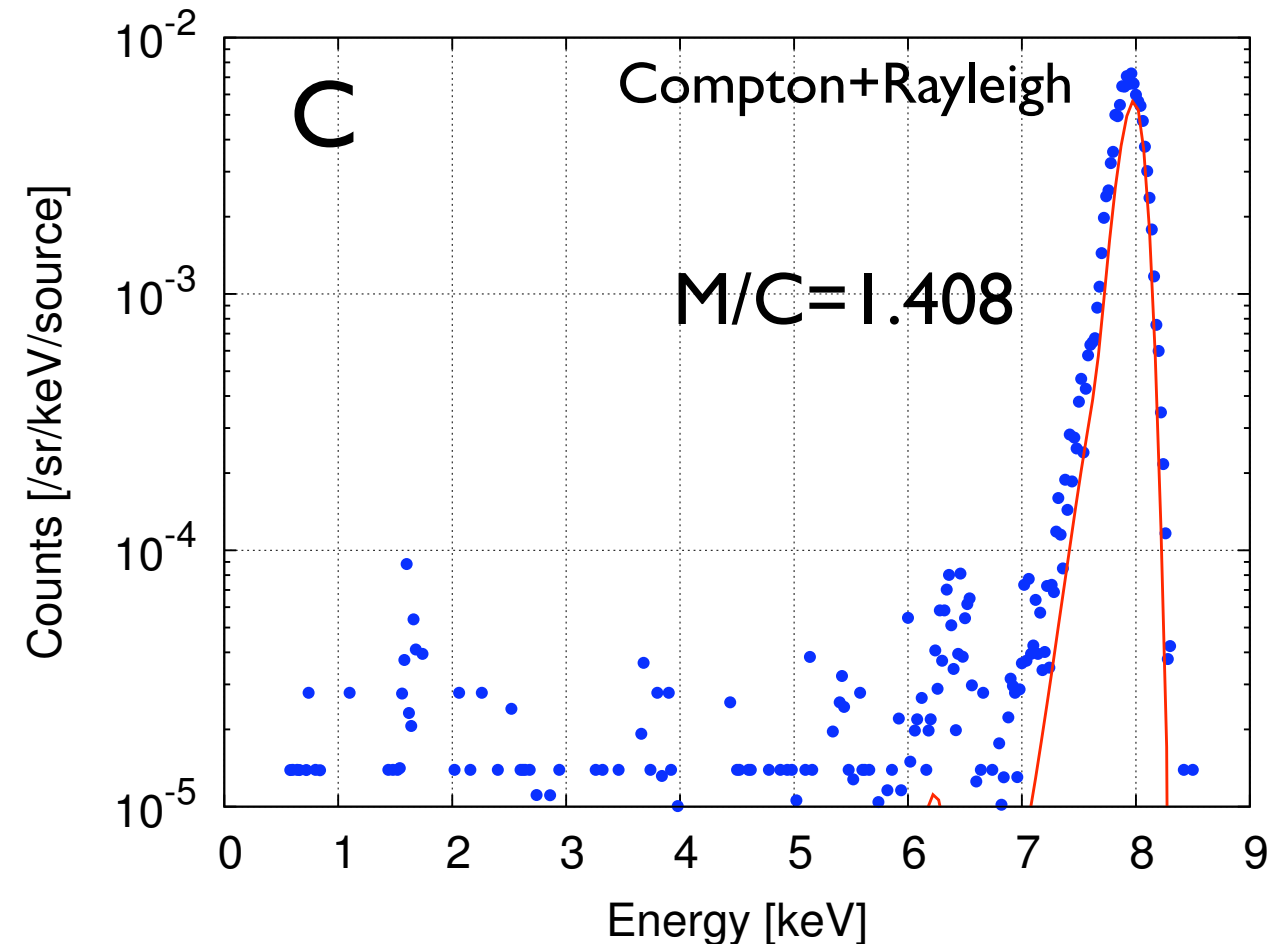
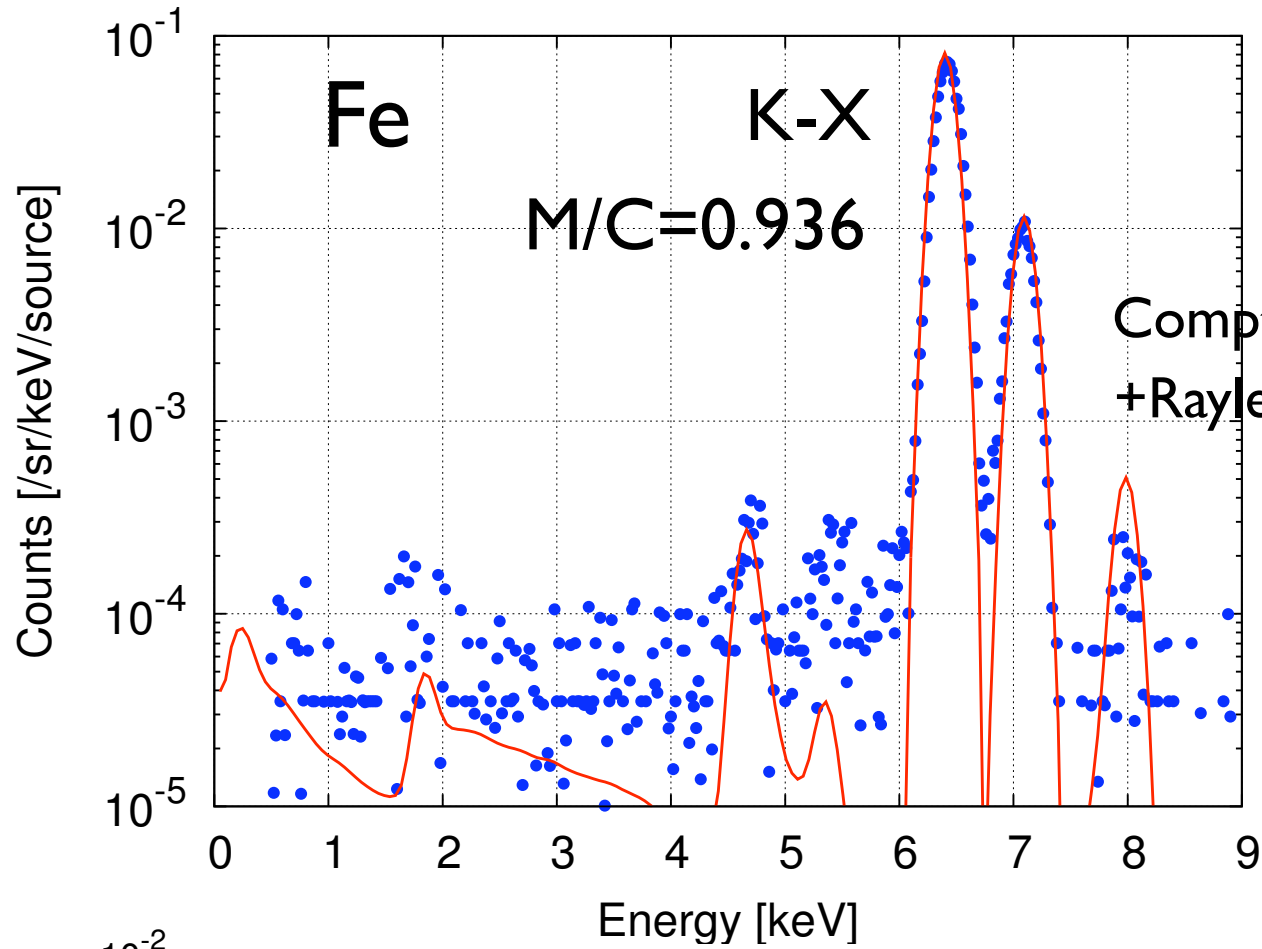


● 実験値
— EGS5

形状は再現

Compton+Rayleighに差

8keV入射



● 実験値
— EGS5

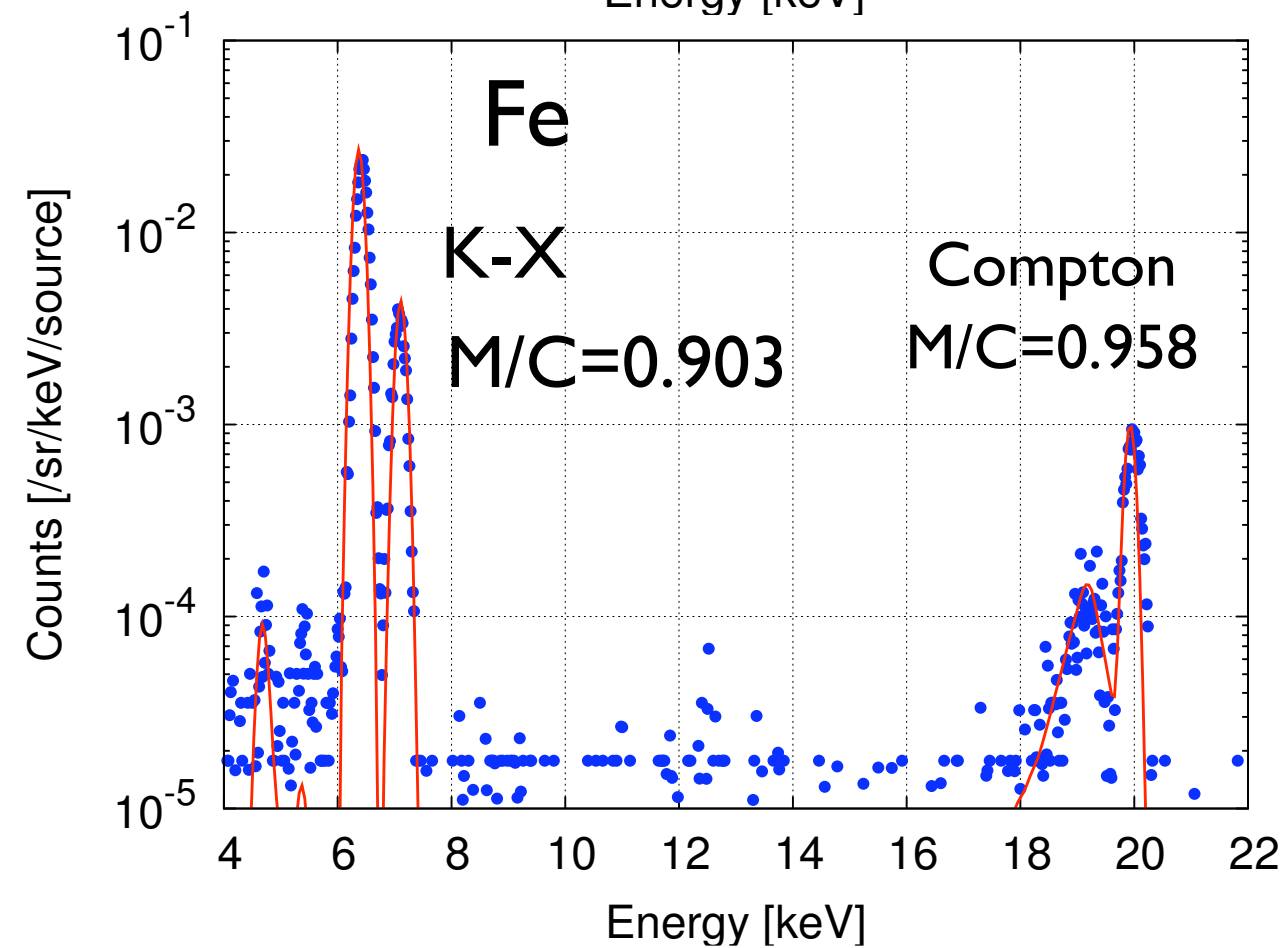
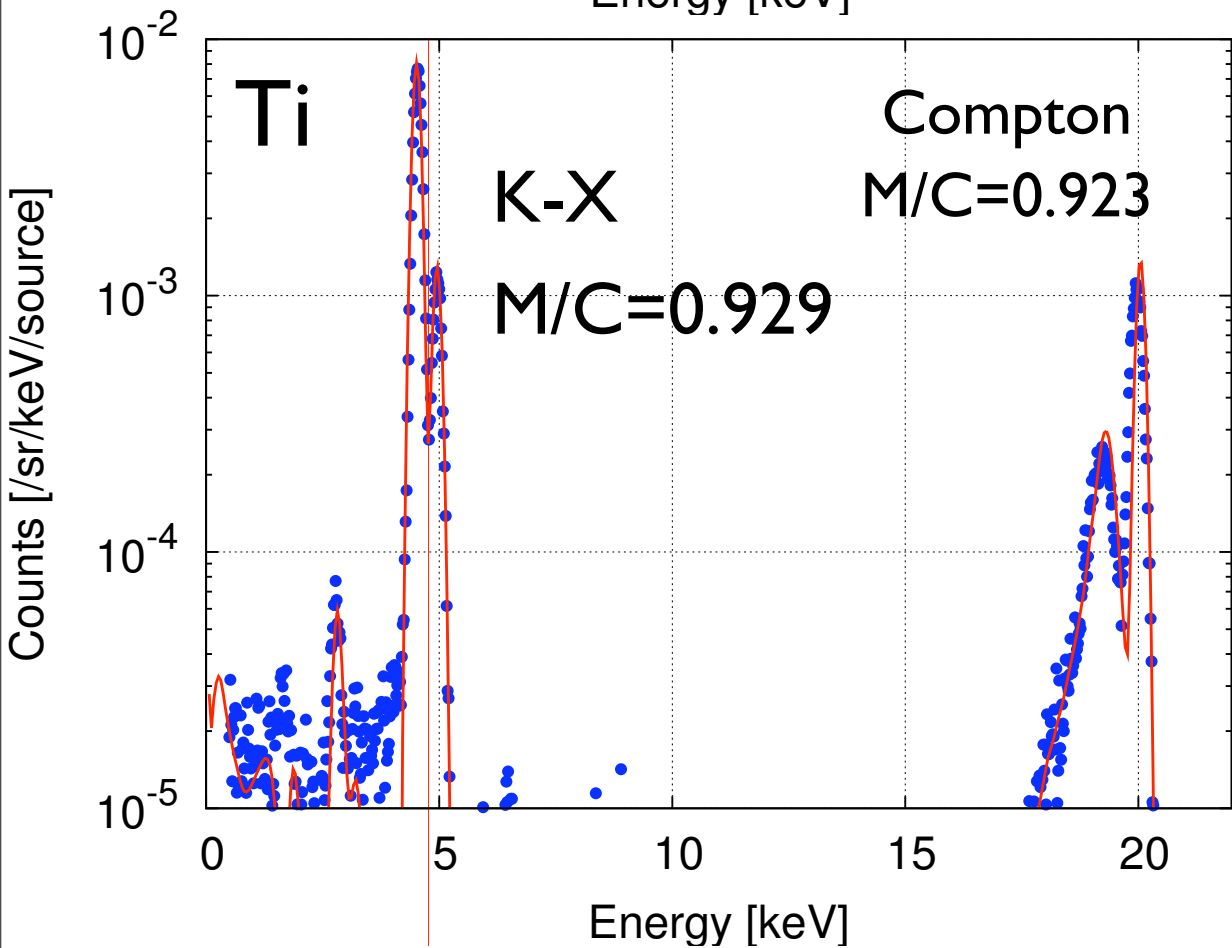
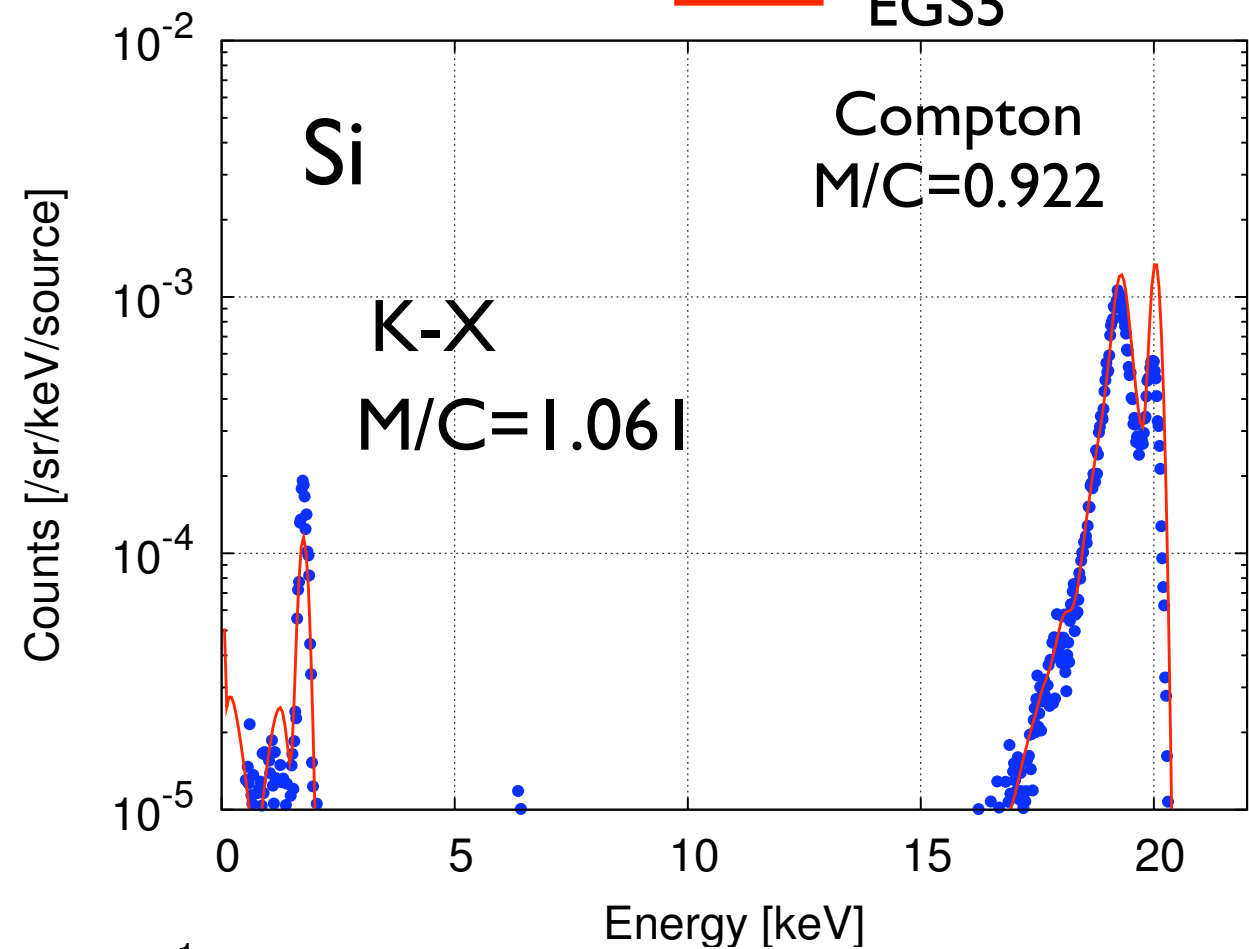
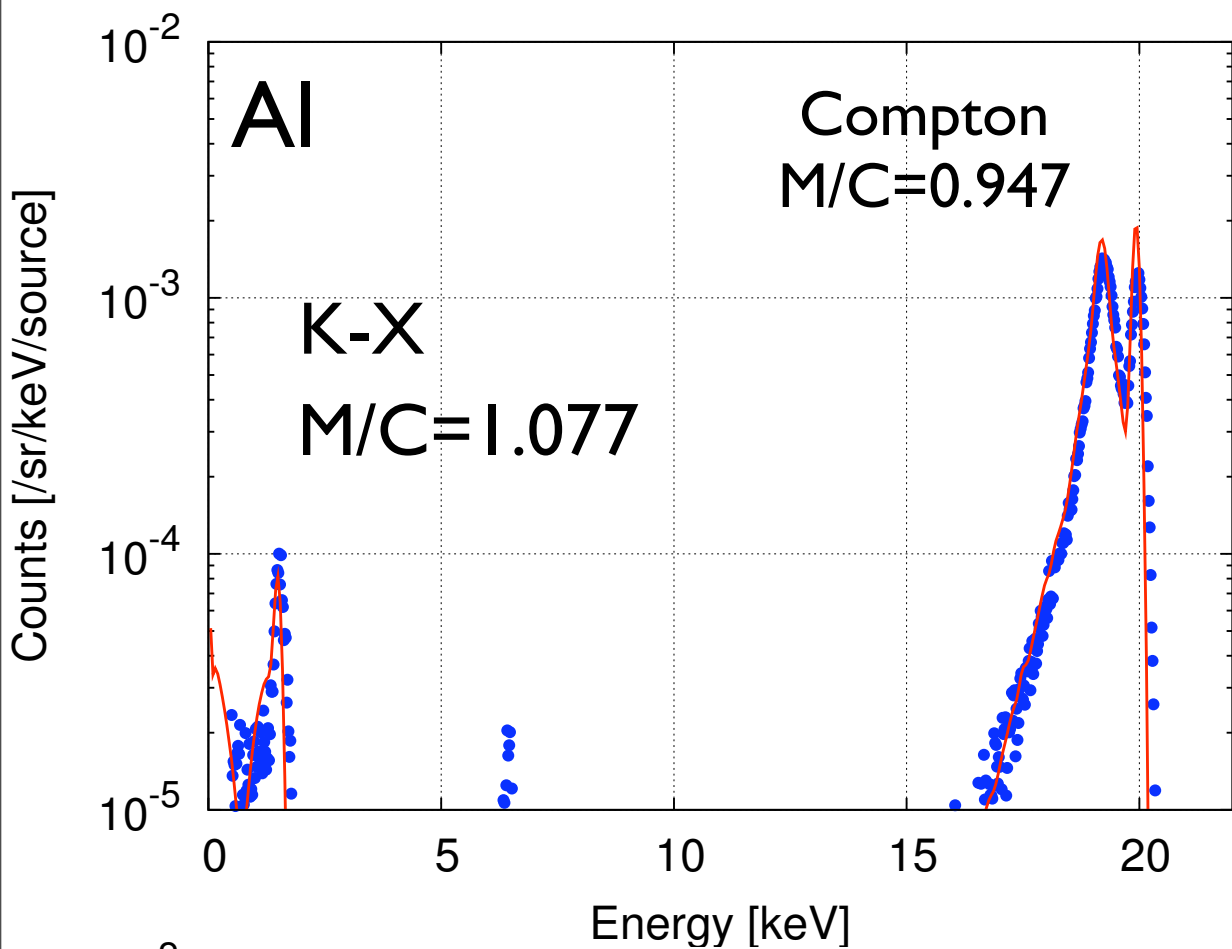
形状は再現

Compton+Rayleighに差

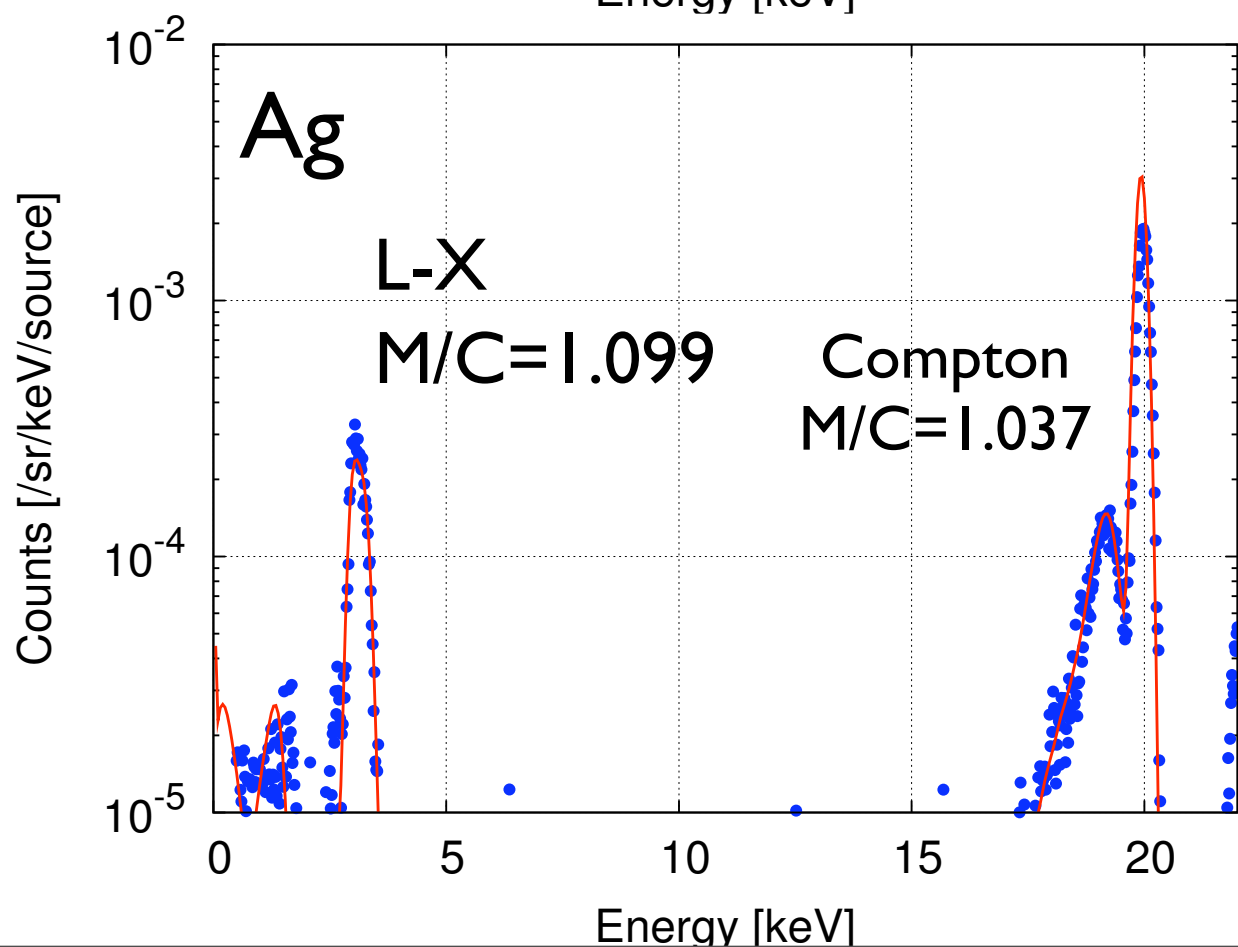
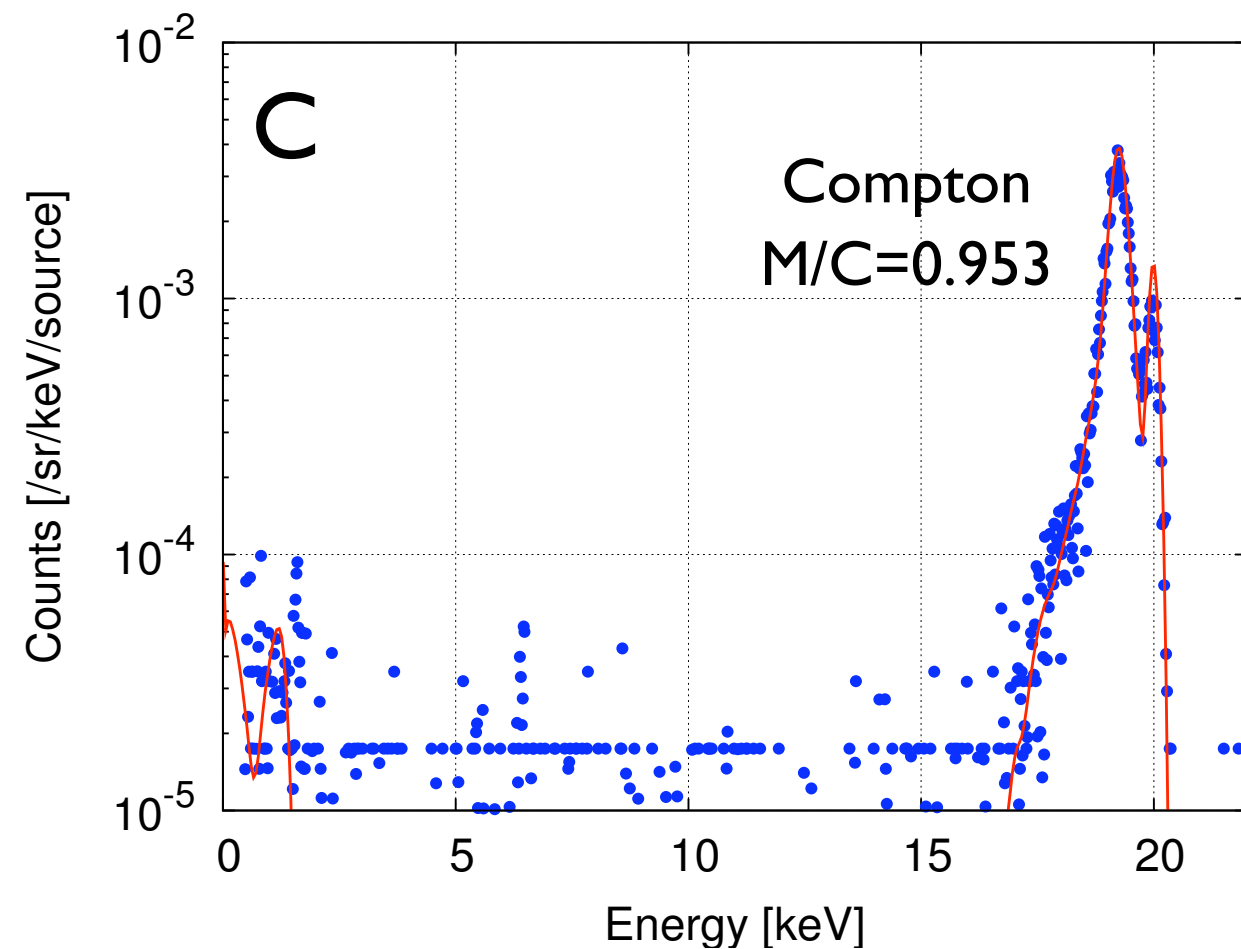
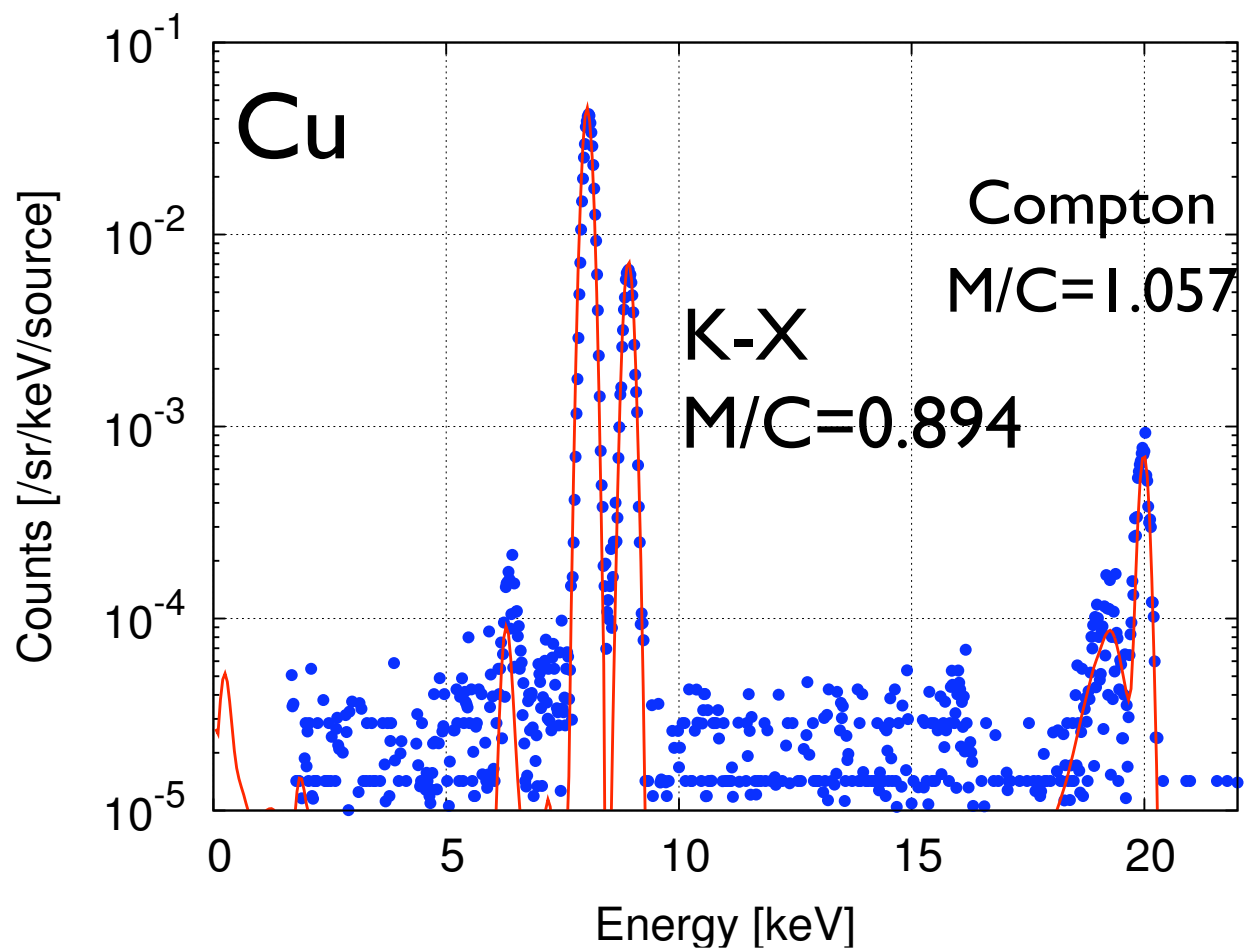
20 keV入射

● 実験値

— EGS5



20 keV入射

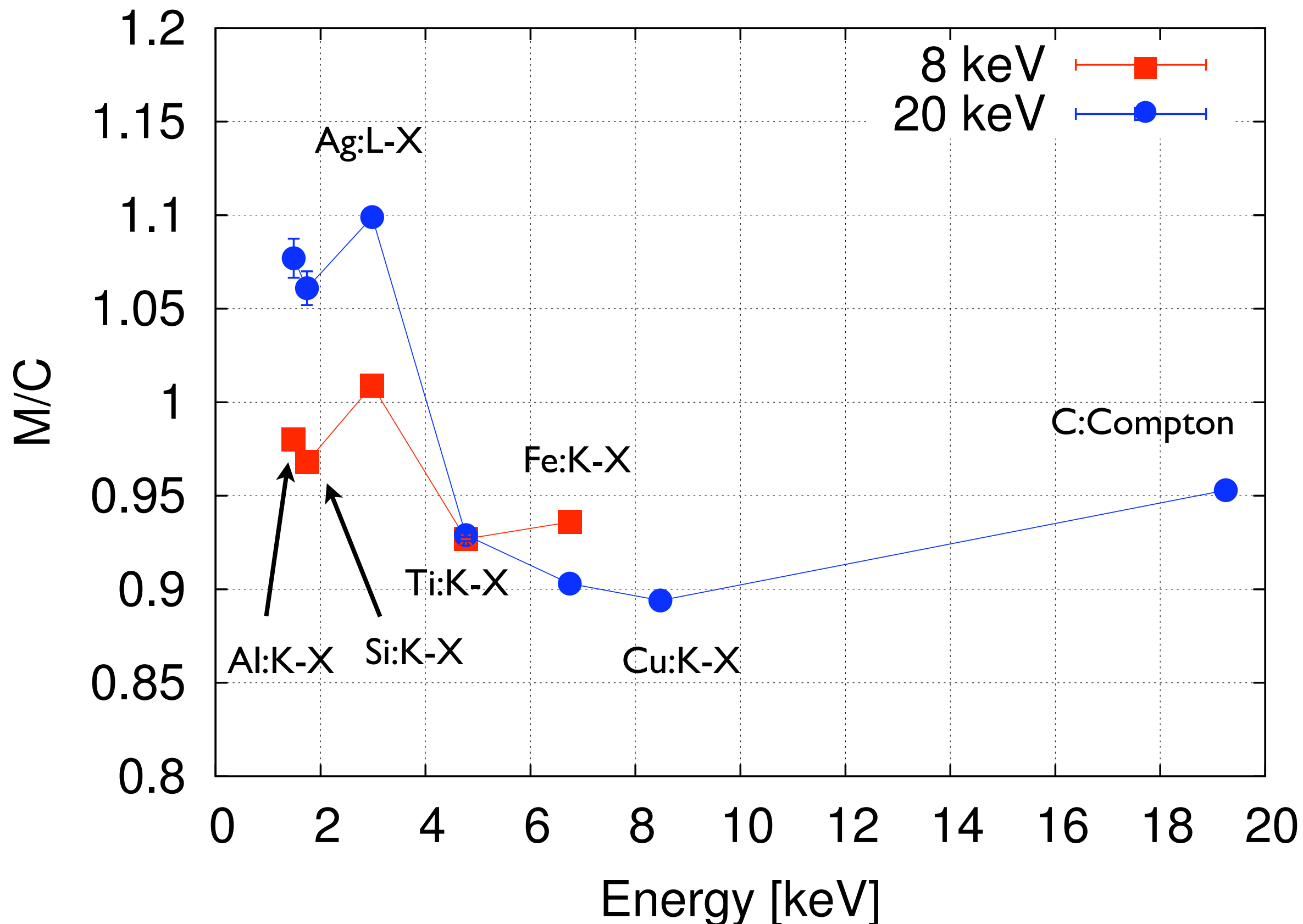


● 実験値
— EGS5

形状は再現

Comptonは8%以内

Measurement/Calculation

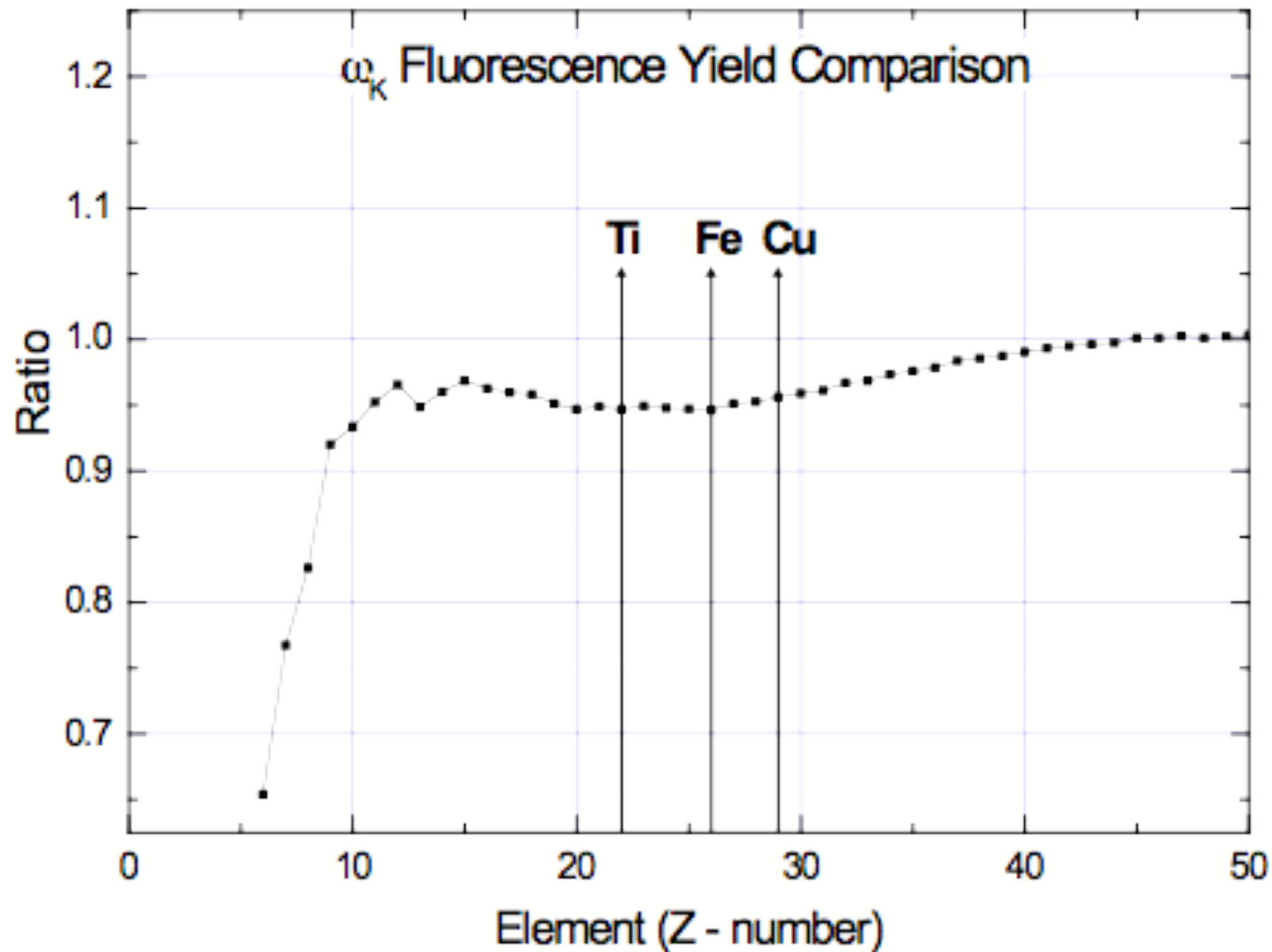


8 keV入射で7%、20 keV入射で11%以内で実験値を再現。

特性X線の断面積データ

EADL(K-X)、Cambell(L-X)を使用して計算

EADL/Krause yield(Table of Isotope)



Al: 0.949

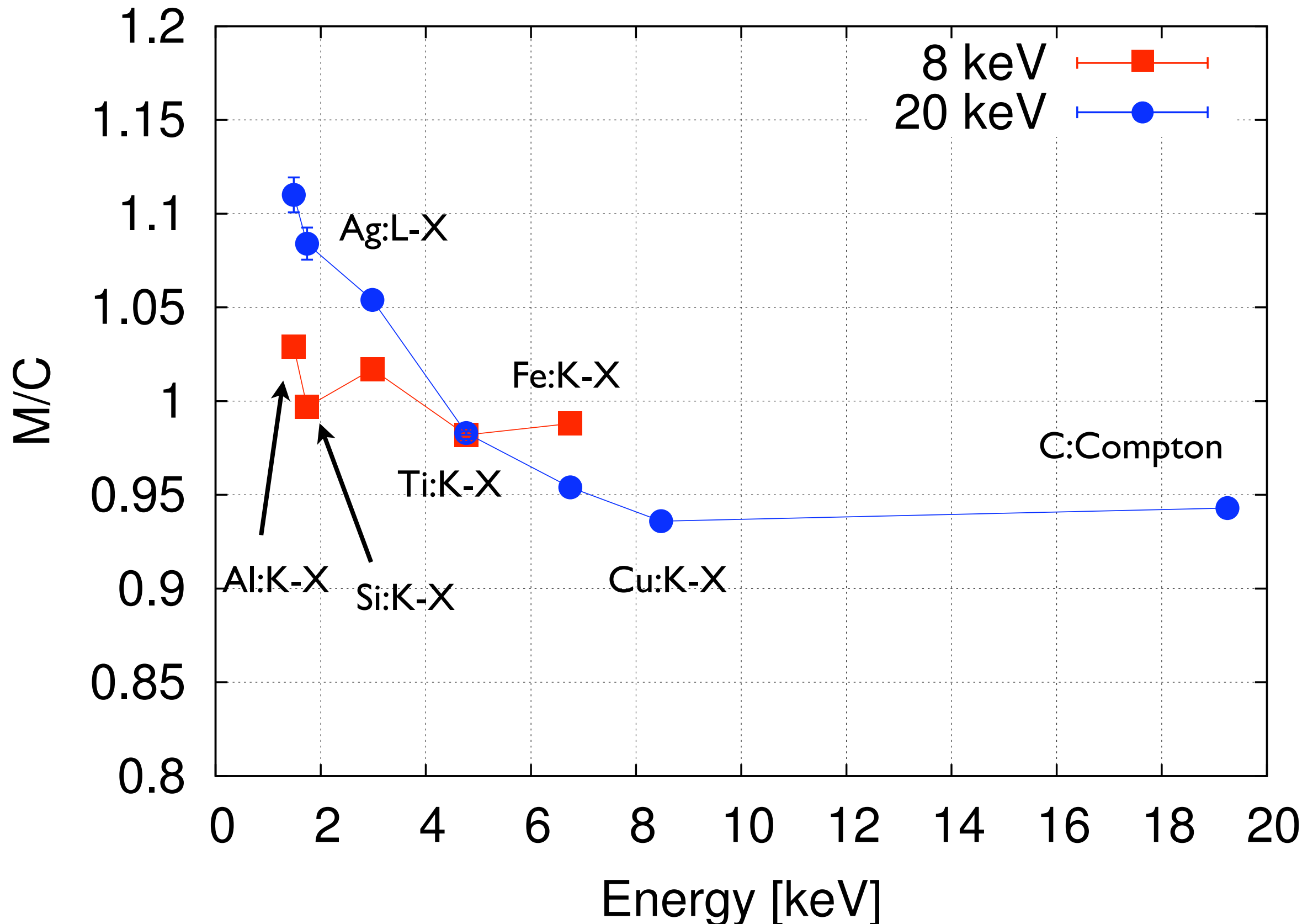
Si: 0.961

Ti: 0.948

Fe: 0.949

Cu: 0.960

Measurement/Calculation(EADL&Cambell)



8 keV入射で**3%**、20 keV入射で**11%**以内で実験値を再現

まとめ

- Si 検出器による 10keV 以下の X 線の測定を行った

→ 形状は再現した

- Ge 検出器では測定できなかった Al、Si からの K-X 線を測定し EGS5 と比較

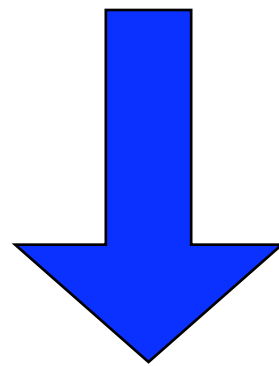
→ $|M/C - 1| \leq 0.11$ (20 keV 入射)
 $|M/C - 1| \leq 0.07$ (8 keV 入射)

- EGS5 で特性 X 線の断面積データ EADL(K-X)、Cambell(L-X) を使用

→ $|M/C - 1| \leq 0.11$ (20 keV 入射)
 $|M/C - 1| \leq 0.03$ (8 keV 入射)

今後の方針

- Compton、Rayleigh散乱における差異の理解
- K-X線の差(最大11%)の解明



- L-X線の測定を行い、**物理データ**として取得する
Ge(1.3 keV)~Ag(2.9 keV)