

1. MeV- γ ray Astronomy

MeV γ 線でみる宇宙

◆ 元素合成

超新星残骸: 放射性同位体からの核 γ 線
銀河面: 長寿命の同位体 ^{26}Al , ^{60}Fe

◆ 粒子加速

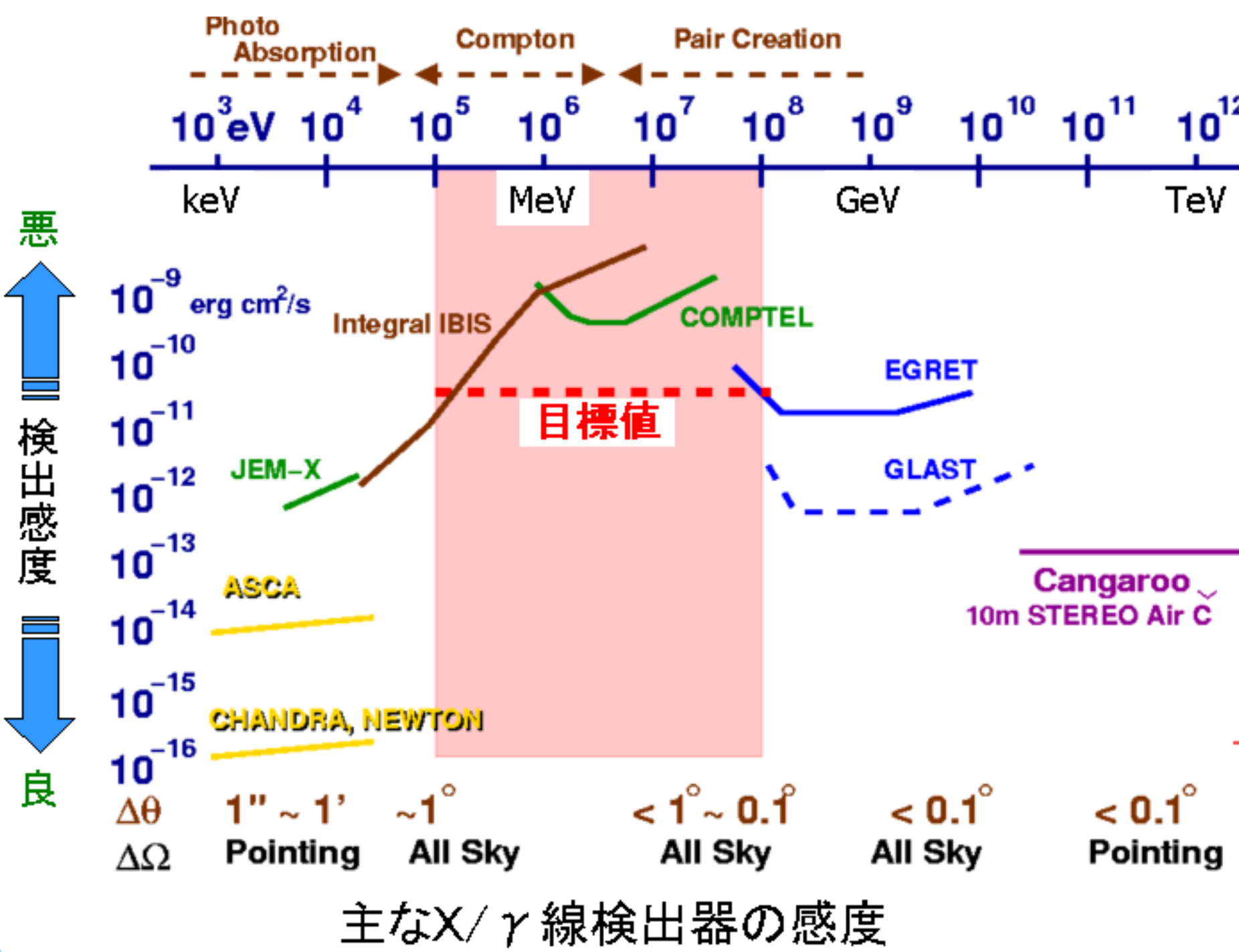
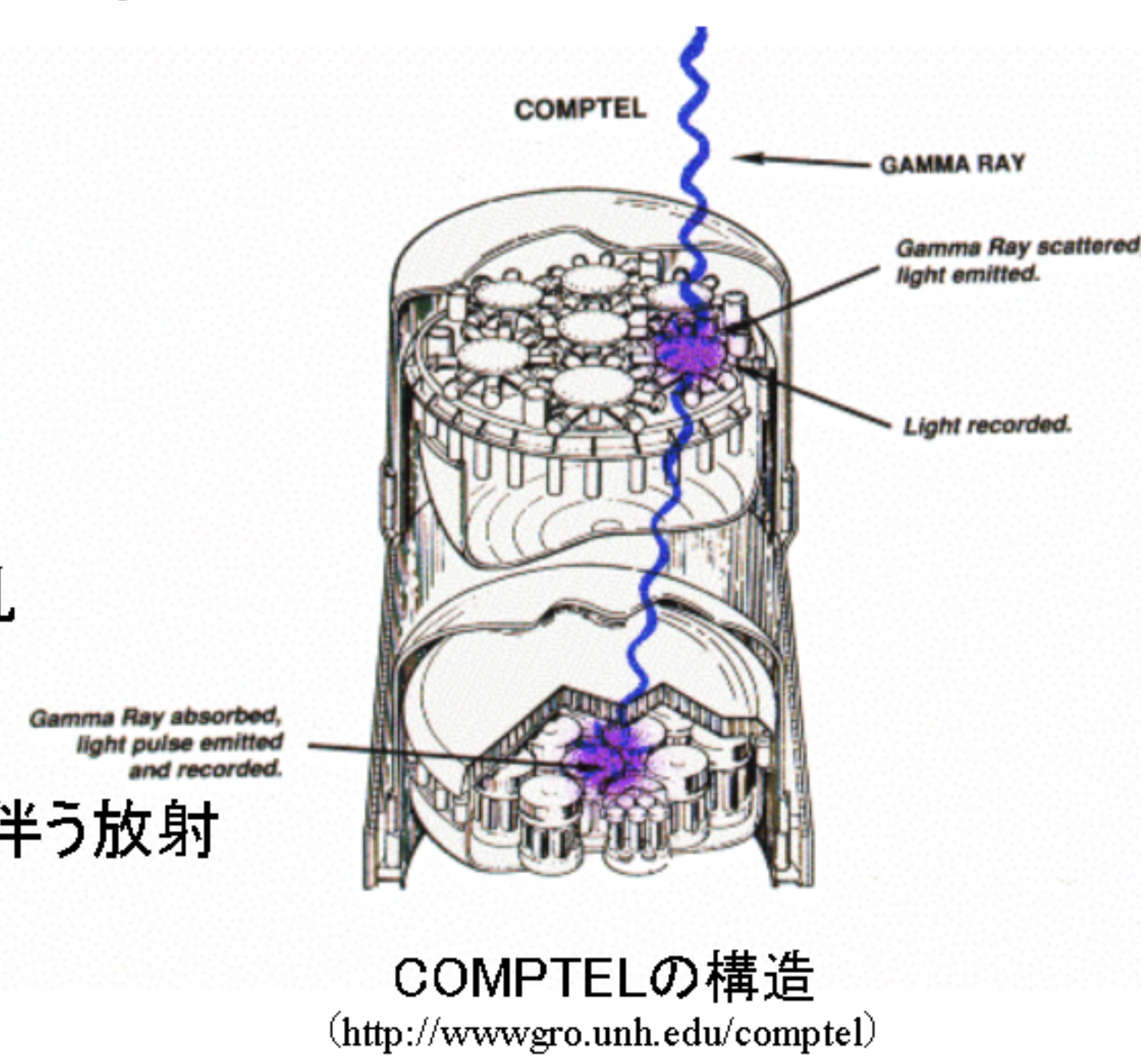
活動銀河核のジェット:
高エネルギー電子による
シンクロトン放射・逆コンプトン散乱

◆ 強い重力場

ブラックホール:
降着円盤由来の放射・ π^0 の崩壊に伴う放射

◆ その他

γ 線パルサー, 太陽フレア
電子・陽電子対消滅線, 中性子捕獲, etc.



◆ これまでの観測

◆ COMPTEL (CGRO)

Compton Imagingを用いた検出器
数十個の天体を検出

◆ IBIS, SPI (INTEGRAL)

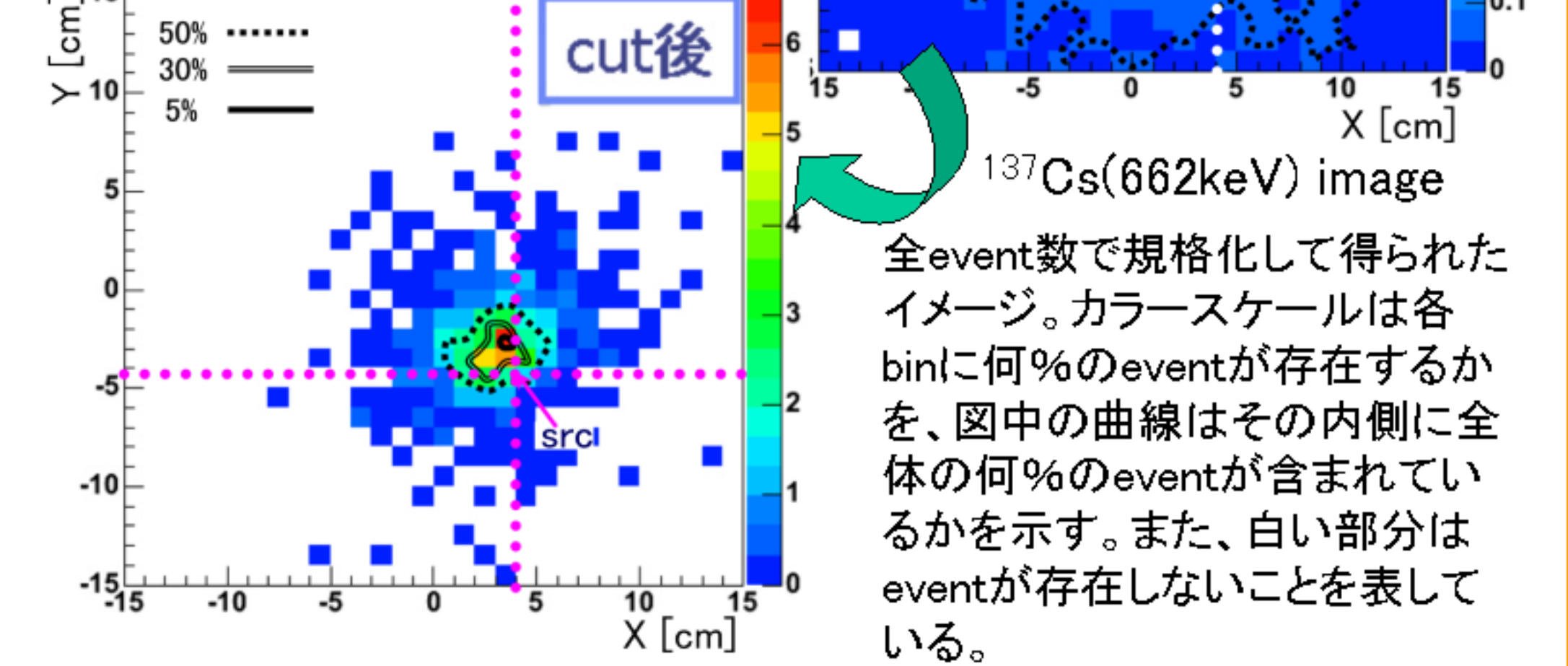
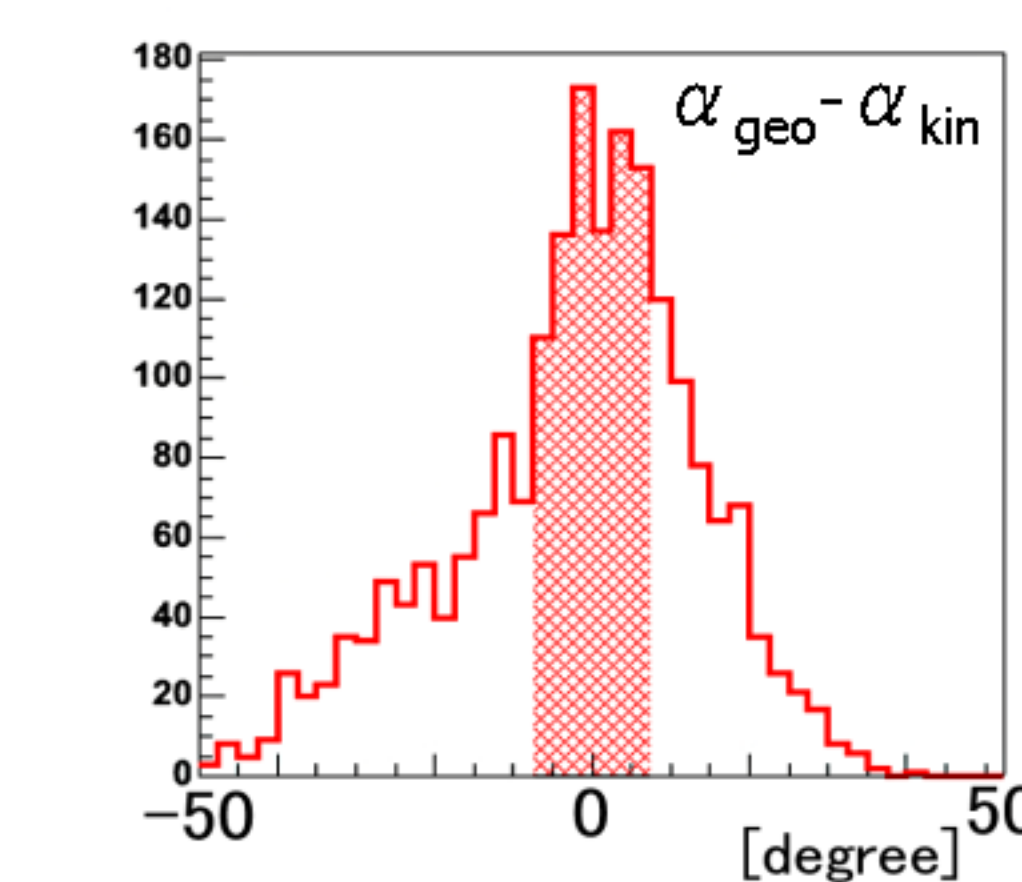
Coded Aperture Imagingを使用
MeV付近での感度は
COMPTELとあまり変わらない

1 γ 毎に到来方向を得られる方法ではない
Backgroundに弱い

3. prototype detector

◆ α 角によるbackground rejection

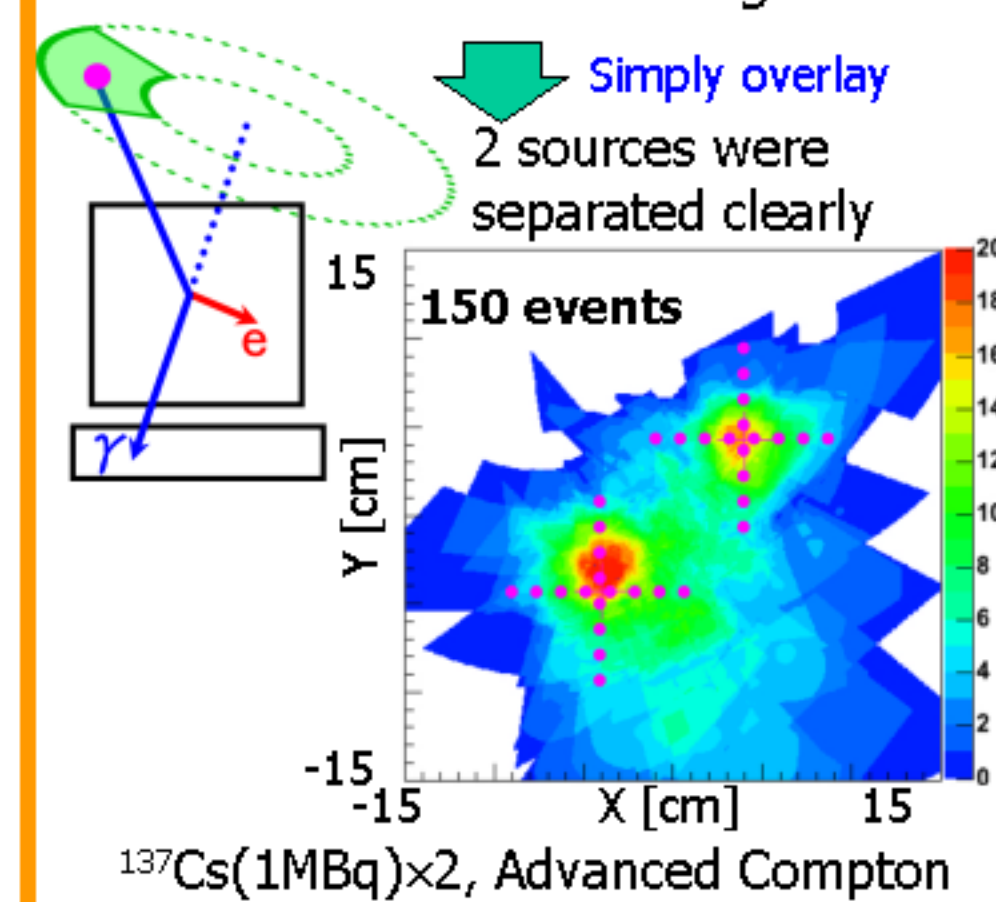
再構成されたeventから α 角によりcutをかけることで、
コンプトン散乱以外のbackground eventを捨てること
ができる。下の $\alpha_{\text{geo}} - \alpha_{\text{kin}}$ の分布からハッチのかかつ
た部分のみを取り出すと、SN比が大幅に改善されて
いる様子がみとれる。



◆ 従来のコンプトンイメージング法との比較

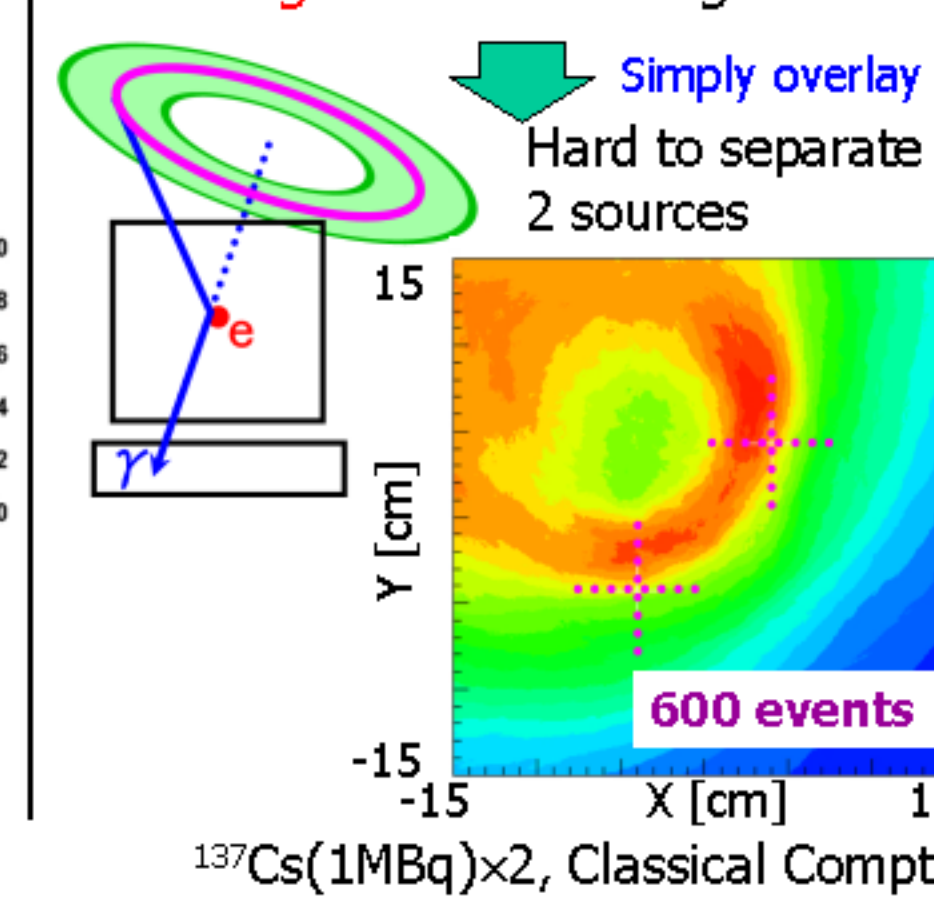
Advanced Compton Meth.

Using the electron tracks
complete direction within
sector form error region



Classical Compton Meth.

Not using the electron tracks
only event circle within
ring form error region



Advanced Compton Imagingでは反跳
電子の方向を捉えるため、 γ 線の到
来方向は一意に求められ、誤差範囲
は扇形になる。一方、従来のコンプ
トン法では反跳方向を知りえないので、
 γ 線の到来方向は円でしか知りえず、
誤差範囲はドーナツ状になる。この誤
差範囲を重ね描きしていくと左の図が
えられる。従来の方法では2つの線
源を分離しきれずghostもできてい
るが、Advanced Compton法では少ない
event数で2つの線源をきれいに分離
できている。

2. Advanced Compton Imaging

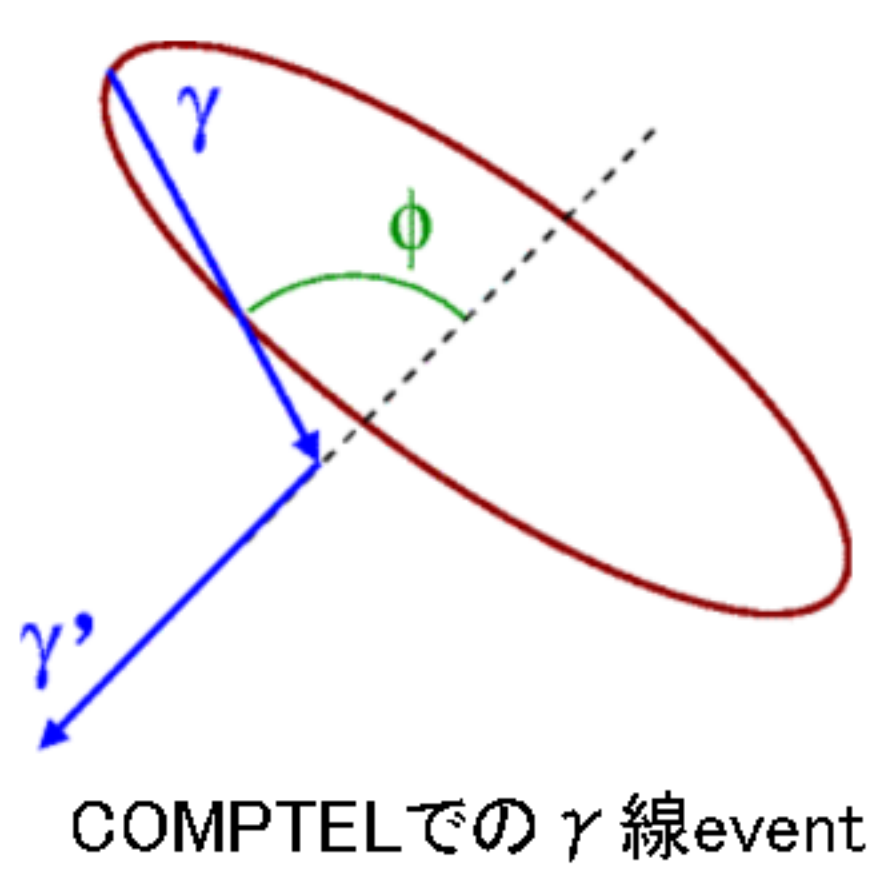
◆ 従来のコンプトンイメージング法

COMPTELでは上方の液体シンチレータでコンプトン散乱による
反跳電子のエネルギーを、下方のNaIシンチレータで散乱 γ 線
のエネルギーを捕らえ、それぞれの位置情報から γ 線の散乱方
向を得ていた。これらから γ 線の散乱角 ϕ を知ることができる。

$$\cos \phi = 1 - \frac{m_e c^2 K_e}{E_\gamma + K_e E_\gamma}$$

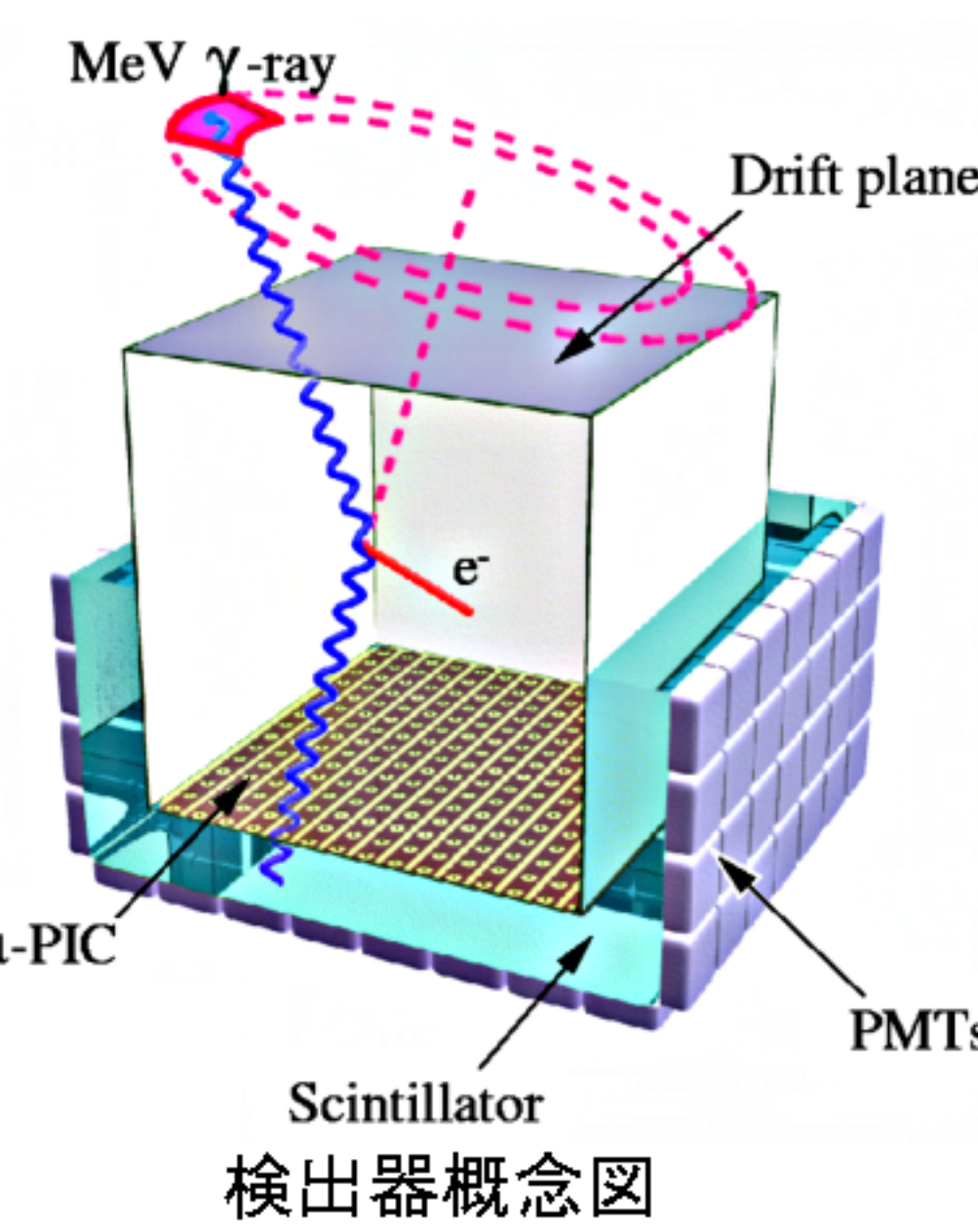
E_γ : 散乱 γ 線のエネルギー
 K_e : 反跳電子のエネルギー

しかし、反跳電子の飛ぶ方向は知りえないので、元の γ 線の到
来方向は右図のように円でしか知ることができない。この為、1
方向を決定するには少なくとも3 events必要であり、background
の除去能力も低い。



◆ Advanced Compton Imaging

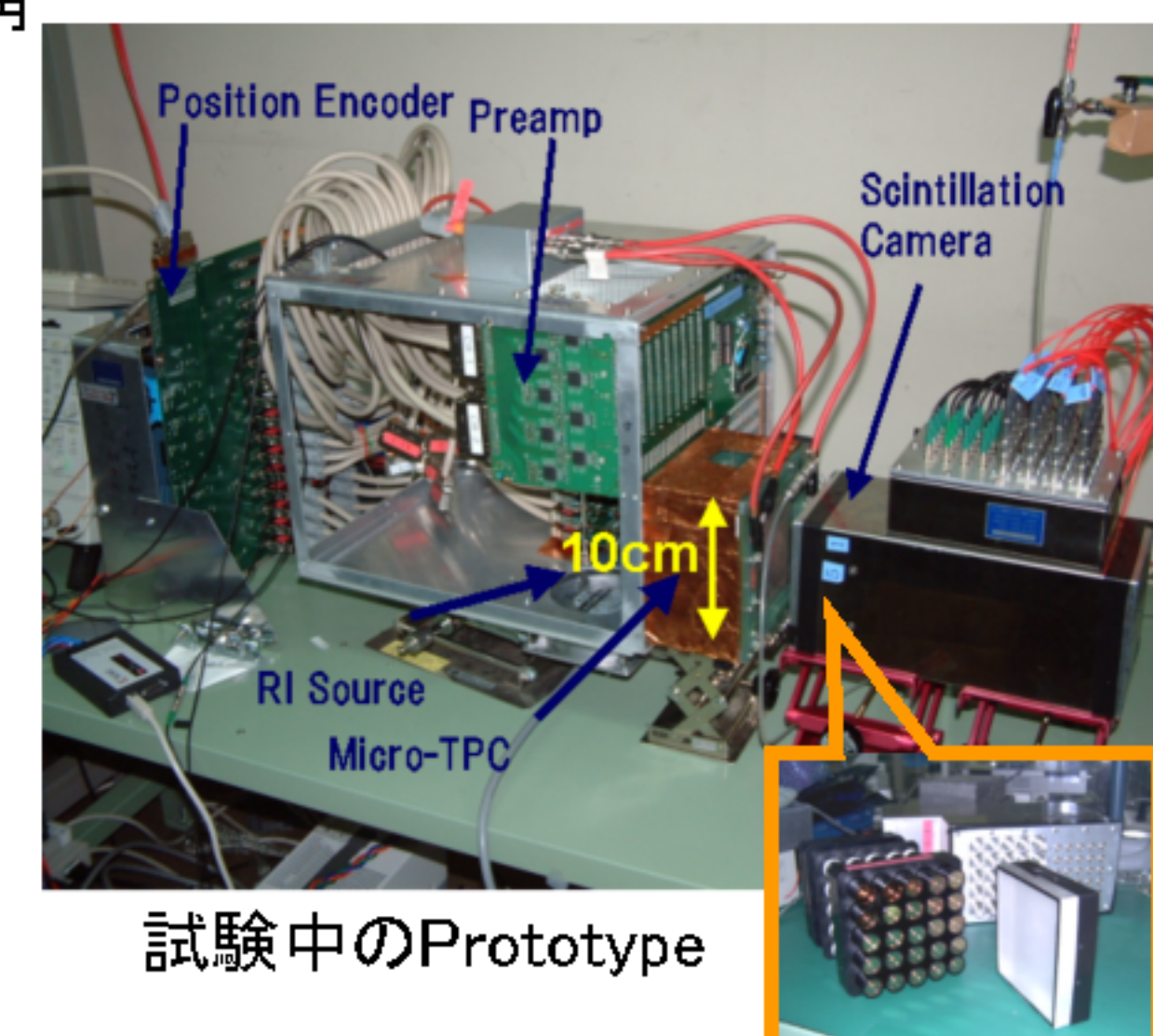
散乱体として荷電粒子の飛跡を追えるmicro-TPCを用
いると、反跳電子のエネルギーと共に飛跡を得ることが
できる為、周囲のシンチレータの情報と合わせること
で、eventごとにコンプトン散乱を再現することができ、元の
 γ 線のエネルギーと到来方向とを一意に求められる。



$$E_0 = E_\gamma + K_e$$

$$\vec{s} = \left(\cos \phi - \frac{\sin \phi}{\tan \alpha} \right) \vec{g} + \frac{\sin \phi}{\sin \alpha} \vec{e}$$

E_0 : 元の γ 線のエネルギー
 \vec{s} : γ 線の到来方向
 \vec{g} : 散乱 γ 線の方向ベクトル
 \vec{e} : 反跳電子の方向ベクトル
 ϕ : γ 線の散乱角
 α : \vec{g} と \vec{e} の離角



◆ MeV γ 線カメラ Prototype

現在、10cm \times 10cm \times 8cmのmicro-TPCと10
cm \times 10cmのNaI(Tl)シンチレータとを組み合わせ、
prototypeとして動作試験を行っている(右写真)。
このprototypeにより、下図のようなeventが検出さ
れ、再構成によるイメージも得られている。

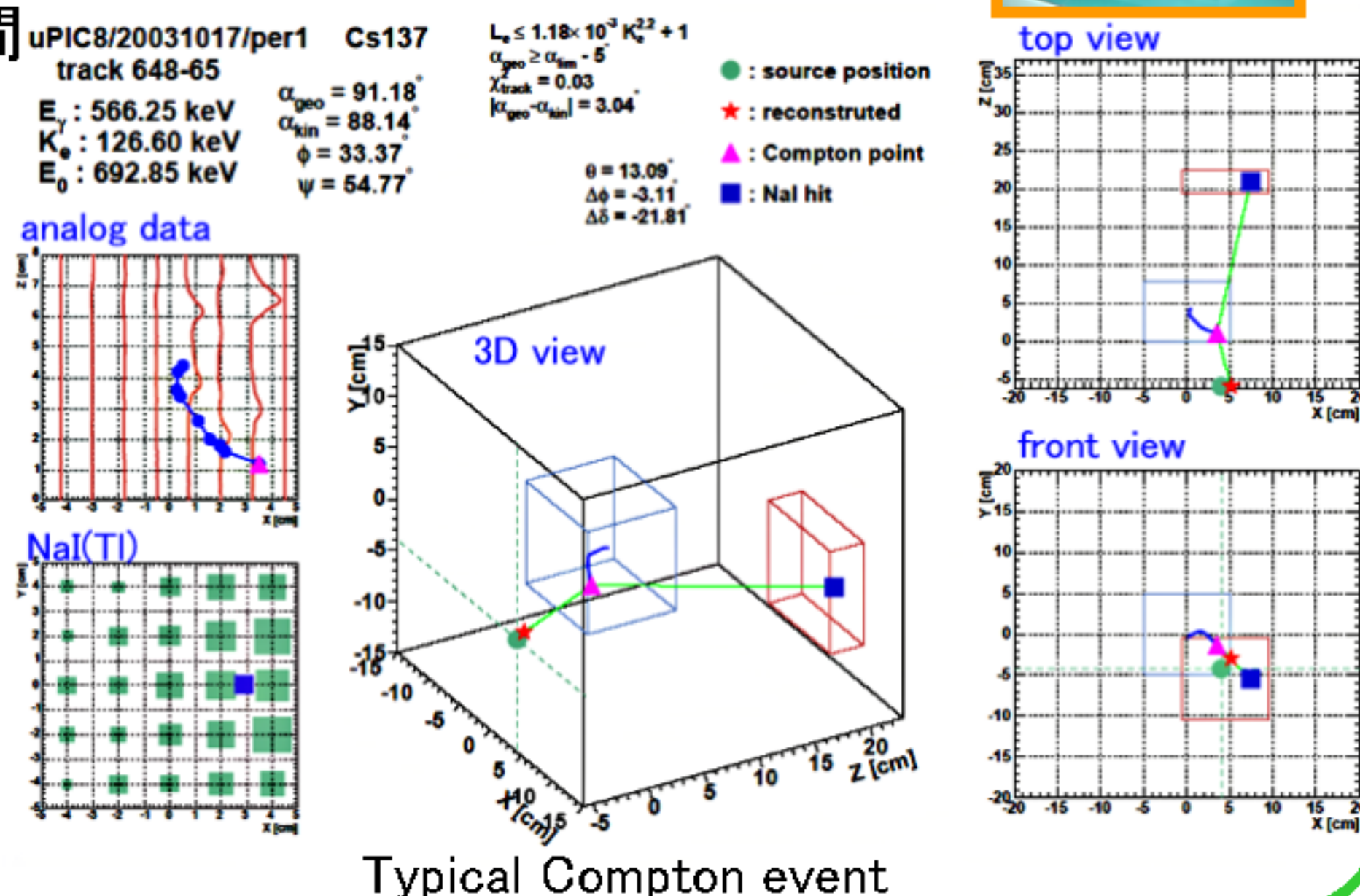
◆ α 角によるevent選択

電子の反跳方向と γ 線の散乱方向の間
の角 α は、幾何学的に測定する (α_{geo})
だけでなく、コンプトン散乱の運動学を
用いてエネルギー情報からも計算でき
る (α_{kin})。

$$\cos \alpha_{\text{geo}} = \vec{g} \cdot \vec{e}$$

$$\cos \alpha_{\text{kin}} = \left(1 - \frac{m_e c^2}{E_\gamma} \right) \sqrt{\frac{K_e}{K_e + 2m_e c^2}}$$

よって、この2つの α を比較することで、
コンプトン散乱のeventのみを選び出す
ことができる。



4. Summary & Future work

◆ Summary

- ◆ prototypelにより、**photon毎の γ 線の再構成に成功し**、
真の γ 線イメージが得られ、検出原理が実証された。
- ◆ Advanced Compton Imagingは、 **α 角を用いたbackground除去能力**を持ち、
SN比を大幅に改善することが示され、従来のコンプトン法と比べても
イメージング能力において格段の向上が見られる。
- ◆ 現在のprototypeの性能は以下のとおり(662keV)。
ARM : 15.7° SPD : 33.5° efficiency : 2.7×10^{-6}

◆ Future work

- ◆ 現在 $10 \times 10 \times 8 \text{cm}^3$ のmicro-TPCを $30 \times 30 \times 30 \text{cm}^3$ という大きなものに拡張。
⇒ 検出可能なエネルギー帯域の拡大・検出効率の向上
- ◆ micro-TPCのガス増幅率の向上。
⇒ micro-TPCのtracking効率の改善・SPDの向上
- ◆ シンチレータの囲む面積を拡大。
⇒ 検出効率の向上
- ◆ ピクセル型シンチレータの開発。
⇒ シンチレータの位置分解能向上・ARMの向上

◆ Address

URL <http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/MeV-gamma/index.html>
E-mail cr-mupic@cr.scphys.kyoto-u.ac.jp