



# X/ガンマ線観測気球実験における 大気散乱効果のシミュレーションによる検証

高田淳史 京都大学

谷森達 窪秀利 身内賢太郎 土屋兼一 株木重人  
岡田葉子 西村広展 服部香里 上野一樹  
黒澤俊介 井田知宏 岩城智

- ・ 大気散乱効果とは
- ・ 宇宙拡散ガンマ線の場合
- ・ 点源の場合
- ・ まとめ



# 大気散乱効果

## 大気球によるX/ガンマ線の観測

⇒ 高度 30~40km, 残留大気 2.5~10g/cm<sup>2</sup>

⇒ 残留大気で散乱される成分は少なくない

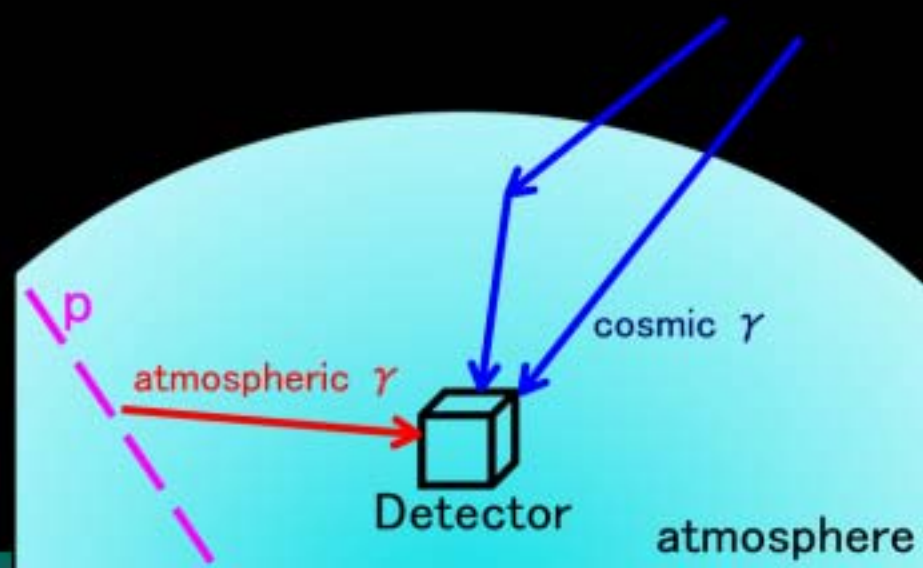
100keV: 30% @ 2.5g/cm<sup>2</sup>

75% @ 10g/cm<sup>2</sup>

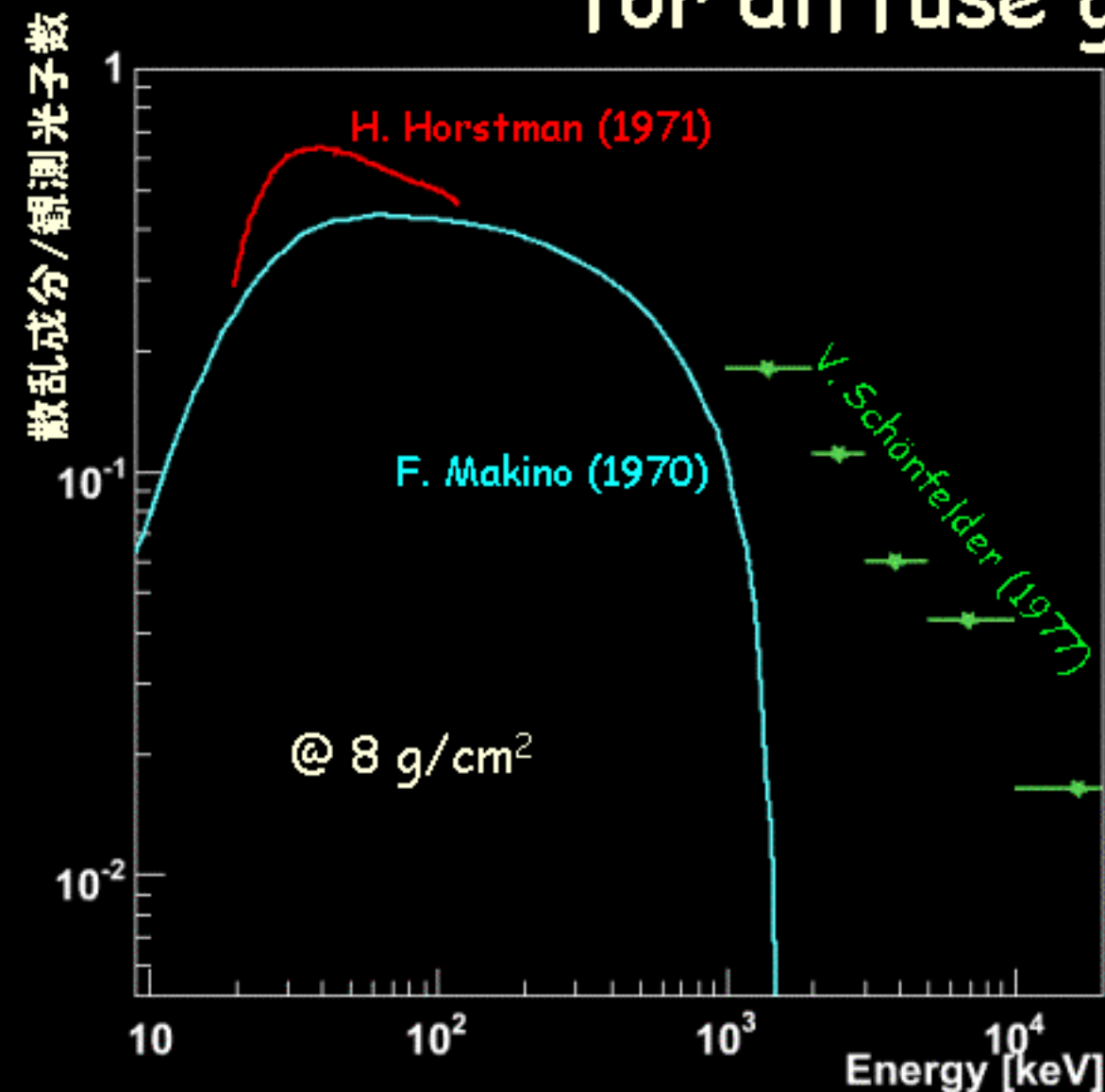
- ▶ Energy spectrum ⇒ softなspectrumに変化
- ▶ 角度分布 ⇒ 広げられる

- 宇宙拡散ガンマ線は  
どのくらい散乱されて  
検出器に届くのか?
- 点源の場合はどうなるか?

Geant4を用いてsimulation



# 過去の計算/Simulation for diffuse gamma-ray



- F. Makino (1970) :  
近似式  
散乱は1回のみと仮定  
散乱の角度依存は無視
- H. Horstman (1971) :  
simulation  
複数回の散乱も考慮  
大気の密度はフラット  
Zenith angle : 0-23°
- V. Schönfelder (1977) :  
simulation

# simulation

- Geant4.9.0\_p01

- 大気:

$N_2$  75.56%  $O_2$  23.15% Ar 1.29%

$R_{\oplus} = 6.37 \times 10^3 \text{ km}$  から厚み 1 km の層を 80 層

⇒ 各高度での大気密度を反映  
(JIS W0201のdataを使用)

- Primary gamma

$r = 7.00 \times 10^3 \text{ km}$  の random な点から

大気に向かって  $2\pi$  方向に均一

initial の spectrum のべきは -2.0

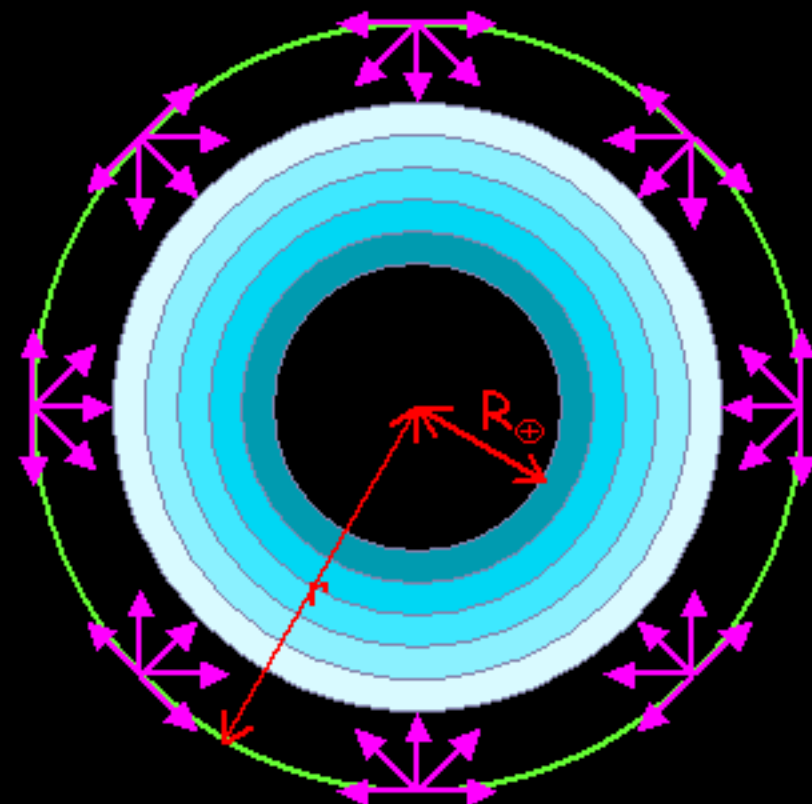
( $30E^{-2.0}$  @ 1-1000 keV

K. Kasturirangan, 1972)

- Physics

primary gamma のみ trace

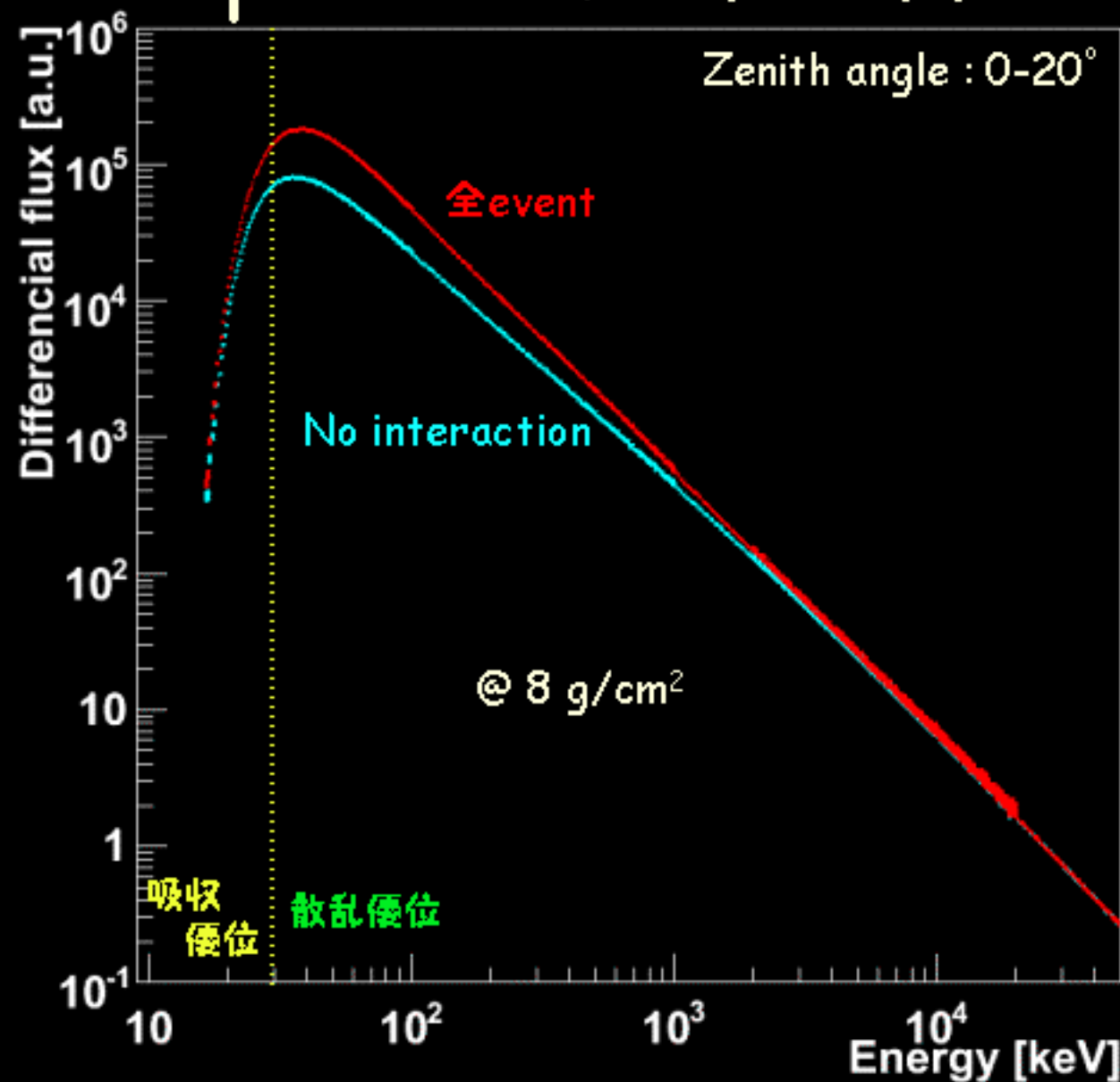
G4LowEnergy + G4LECS



大気の外から到来した

gamma の Energy と方向を trace

# Spectrum of diffuse cosmic $\gamma$



Initial spectrum

Power index :  
-2.0 (>10keV)



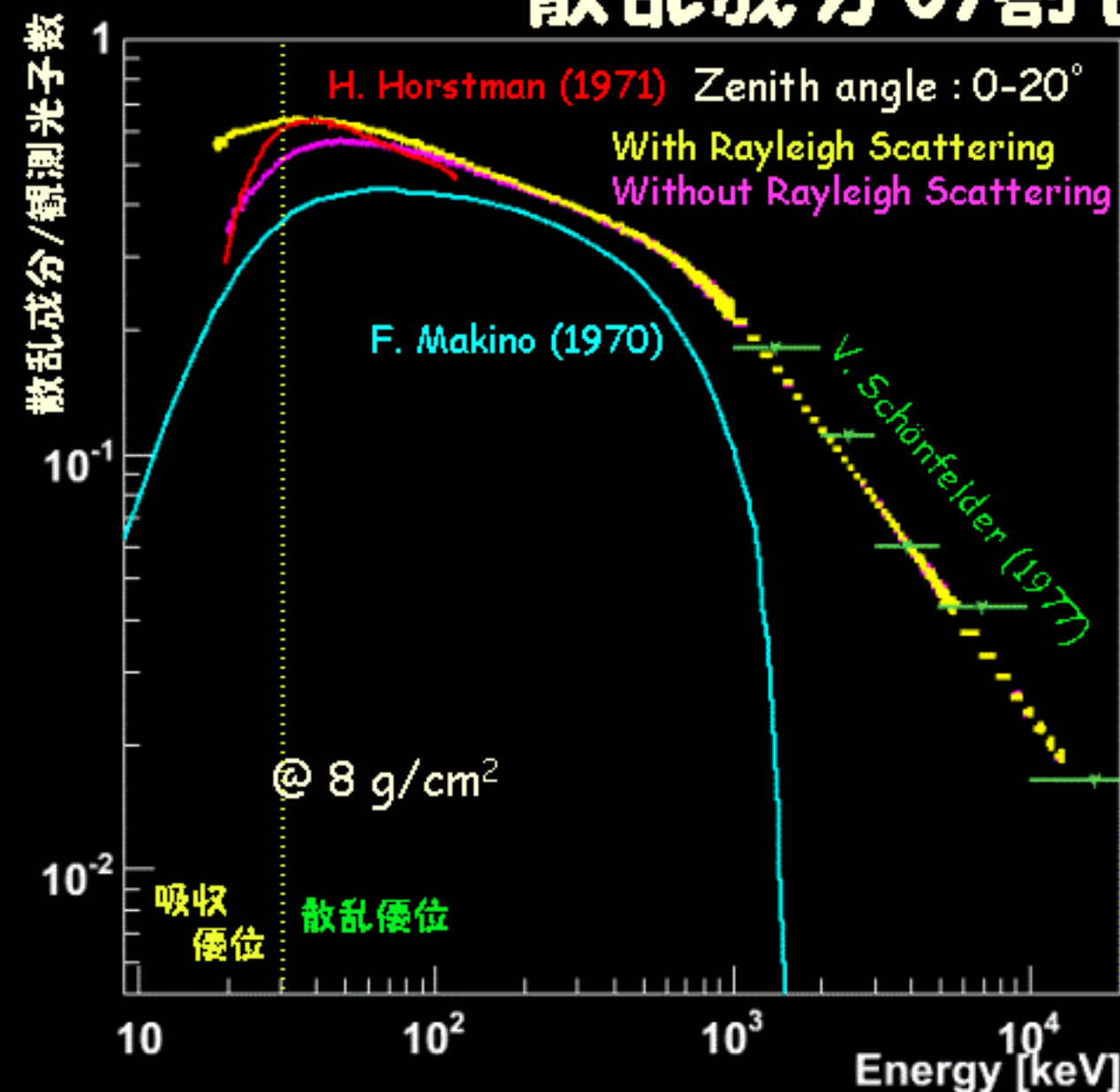
No interaction

Power index :  
-1.68 (70keV-2MeV)  
-1.95 (2MeV-50MeV)

全event

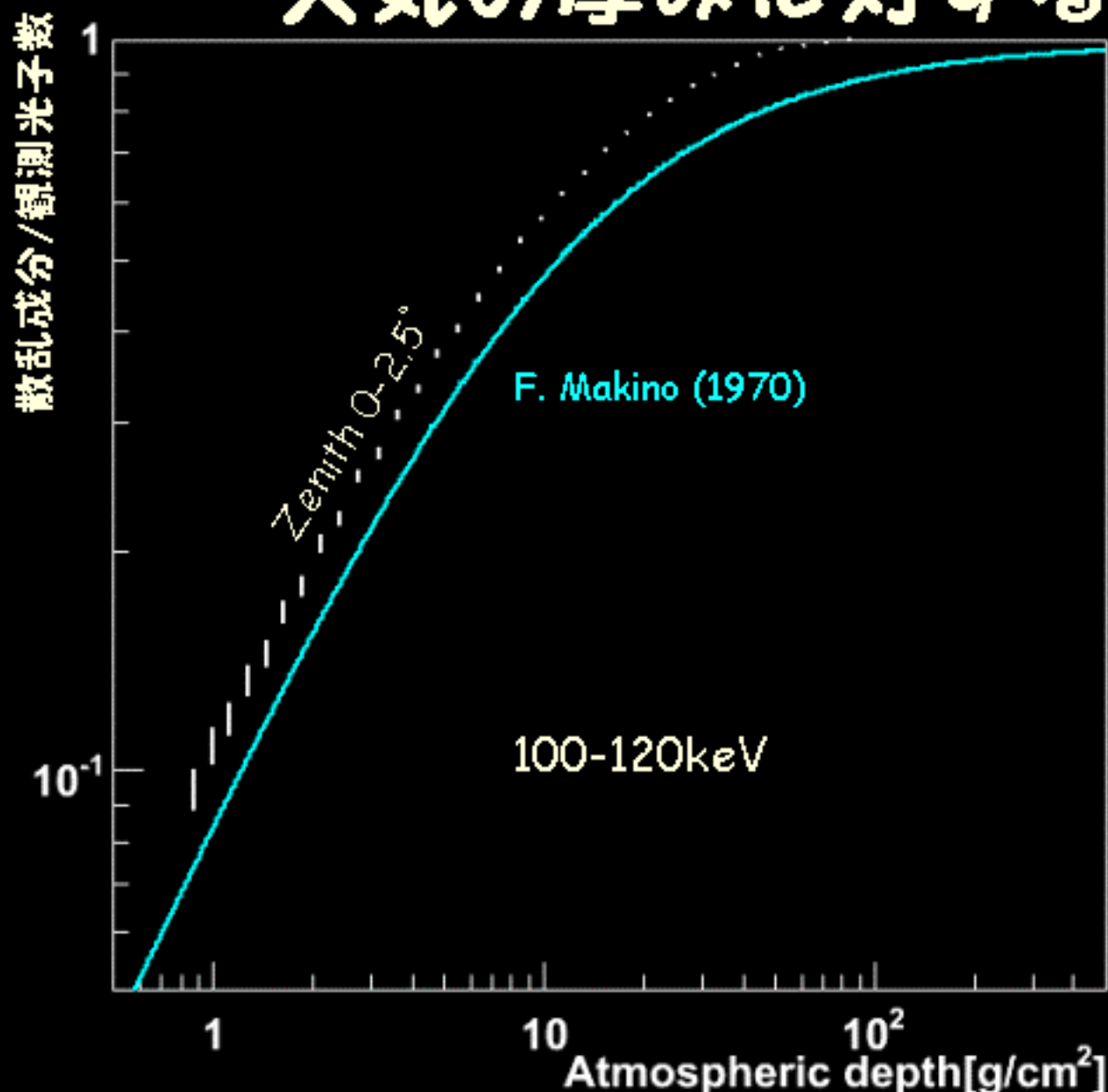
Power index :  
-1.95 (70keV-50MeV)

# 散乱成分の割合



- **100keV以下** :  
30~100keVでは  
H. Horstmanと大体一致  
Rayleigh散乱が効く  
F. Makinoと大きな違い  
⇒ 複数回散乱が効く
- **数百keV** :  
F. Makino近似式に近い値  
一致はしない
- **1MeV以上** :  
V. Schönfelderの結果と  
コンシステント

# 大気の厚みに対する依存性



- F. Makino :  
大気の厚み  $z$  に対して  
 $1/(1-A) \propto \log(1 + \tau_{\text{obs}} * z)$



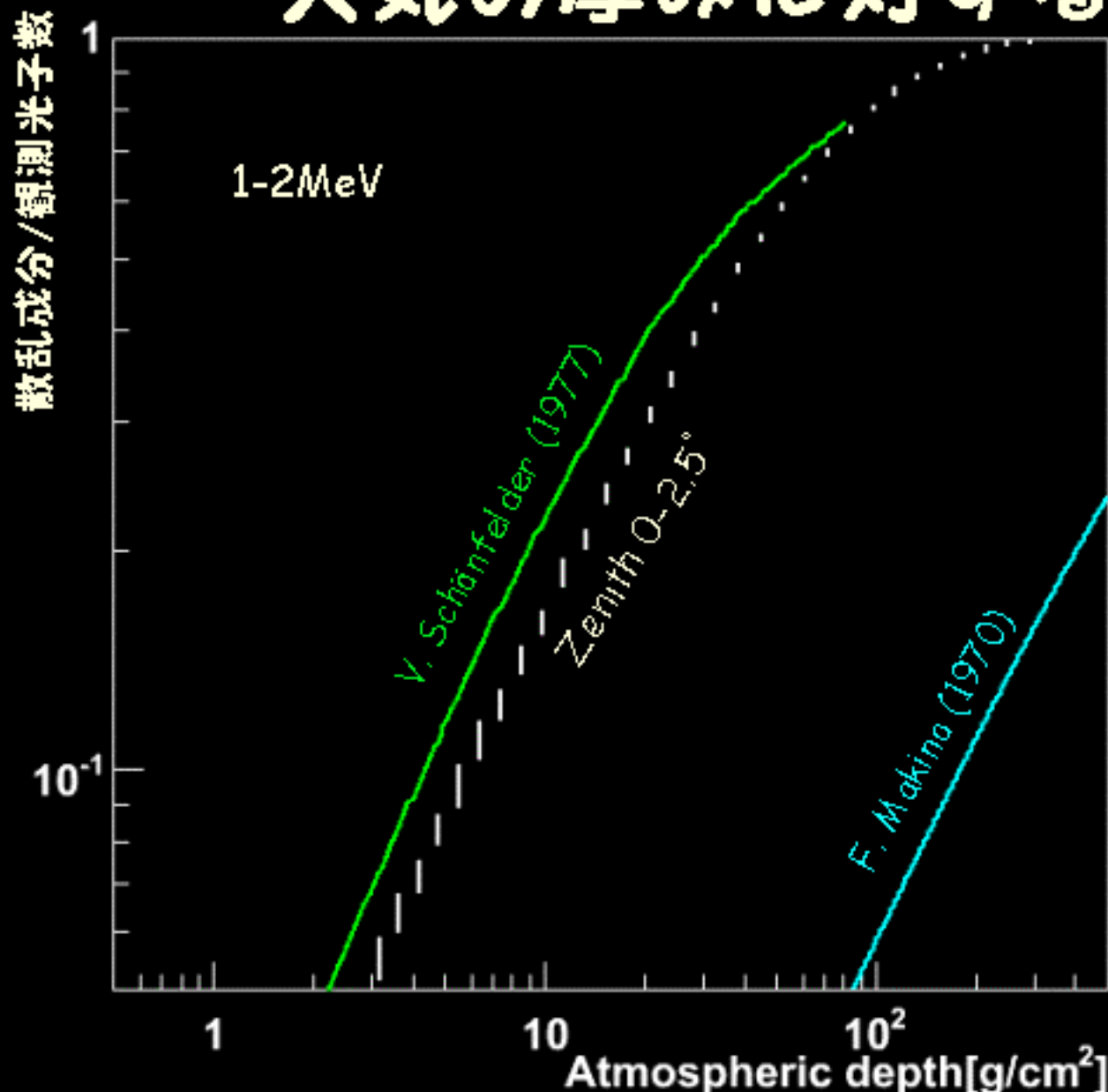
100-500 keVでは  
10~20%程度のずれ  
傾きはほぼ一致

- V. Schönfelder :



1MeV以上で  
ずれは10%以下

# 大気の厚みに対する依存性



## • F. Makino :

大気の厚み $z$ に対して

$$1/(1-A) \propto \log(1 + \tau_{\text{obs}} * z)$$



100-500 keVでは

10~20%程度のずれ

傾きはほぼ一致

## • V. Schönfelder :

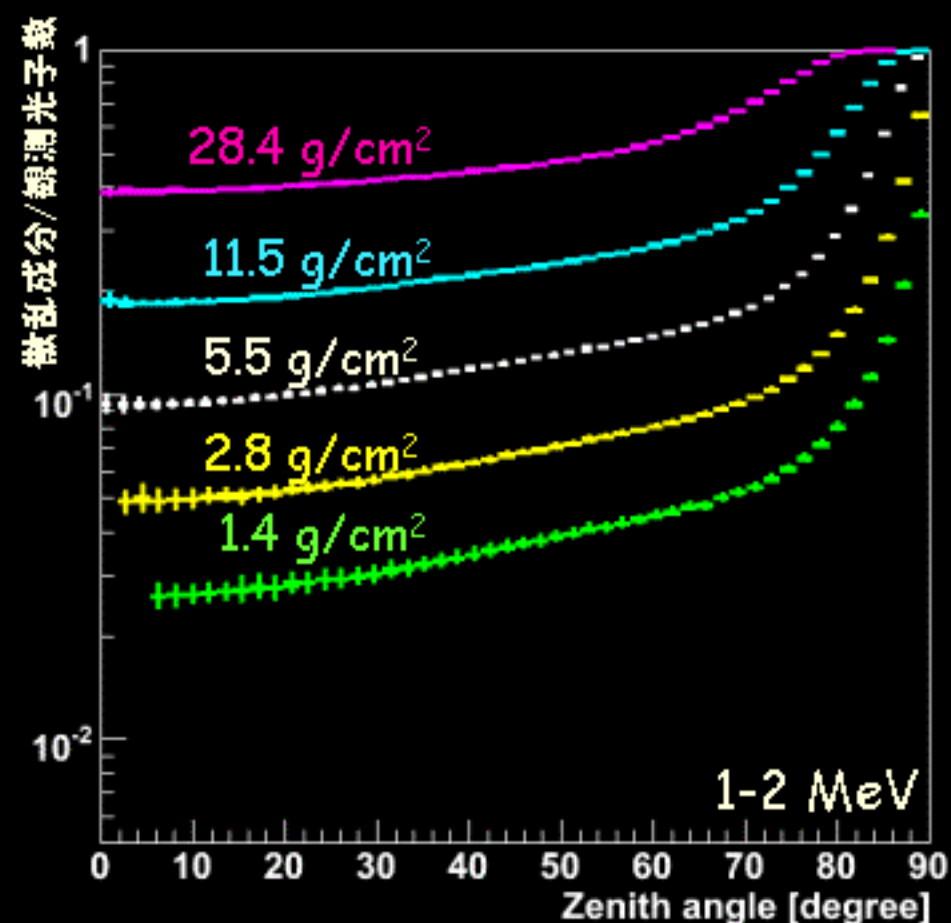
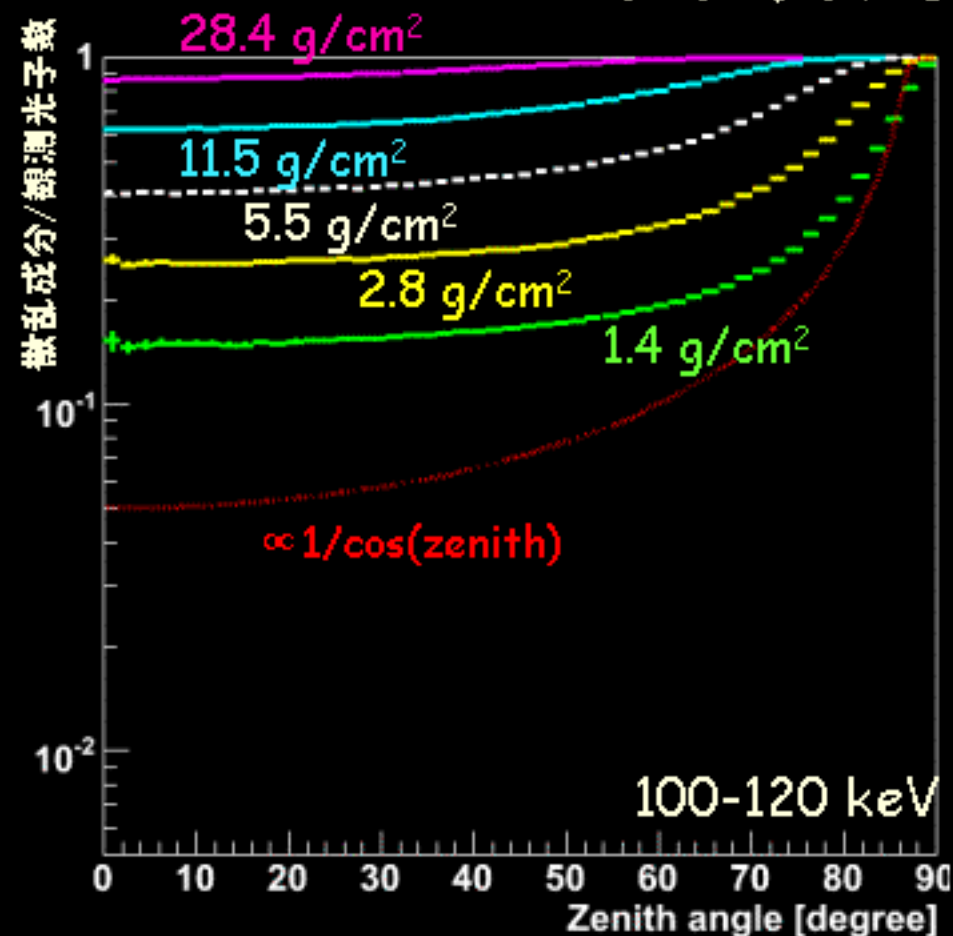


1MeV以上で

ずれは10%以下



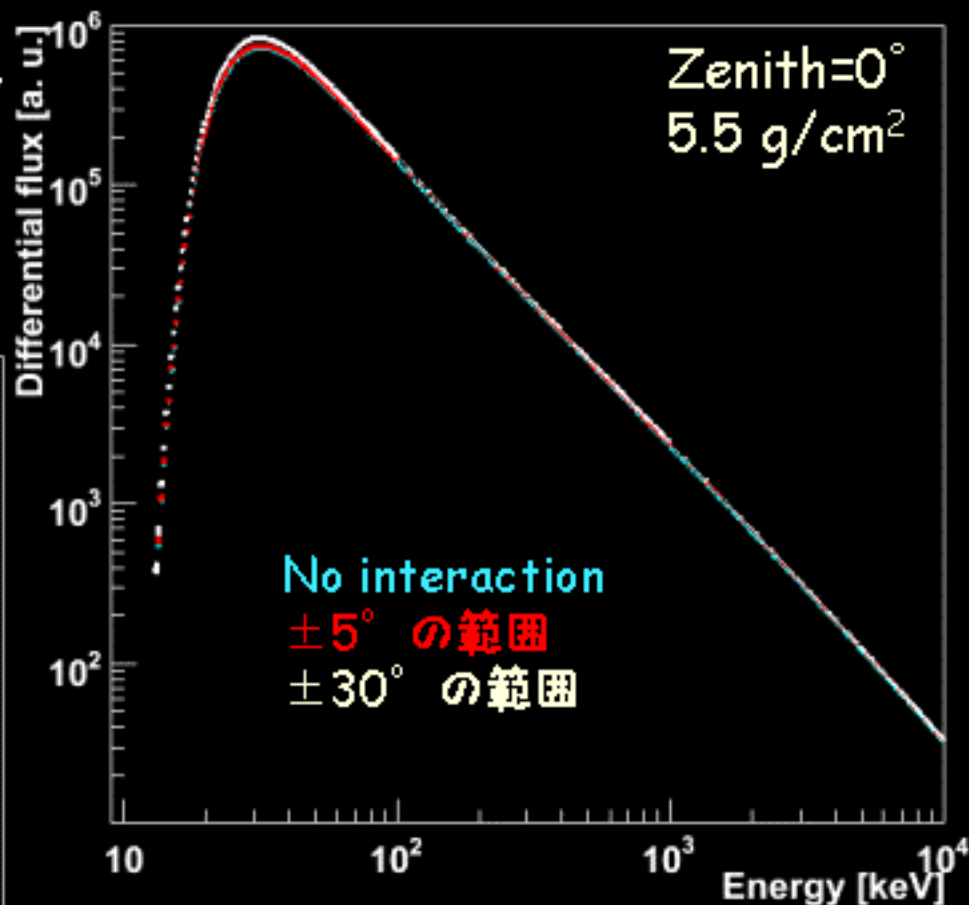
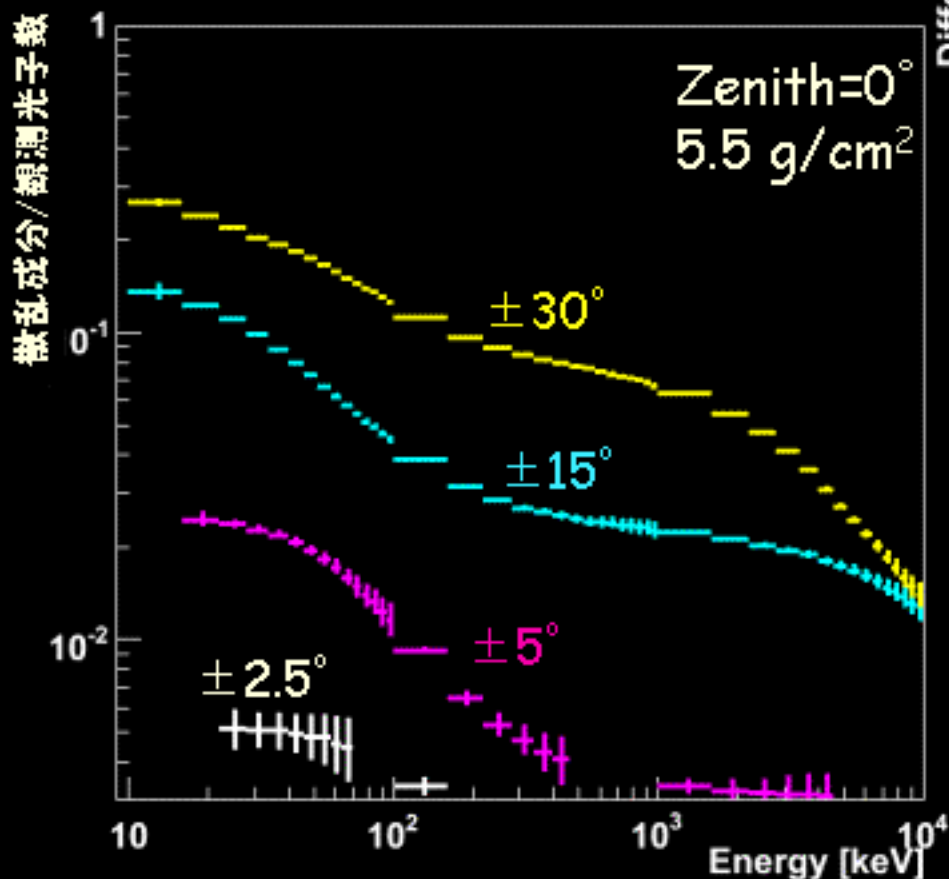
# 天頂角依存性



- 鉛直方向：天頂角依存性は弱い
- 横向き：急激に散乱成分が増加
- 必ずしもdepth/cos(zenith)で外挿できるわけではない

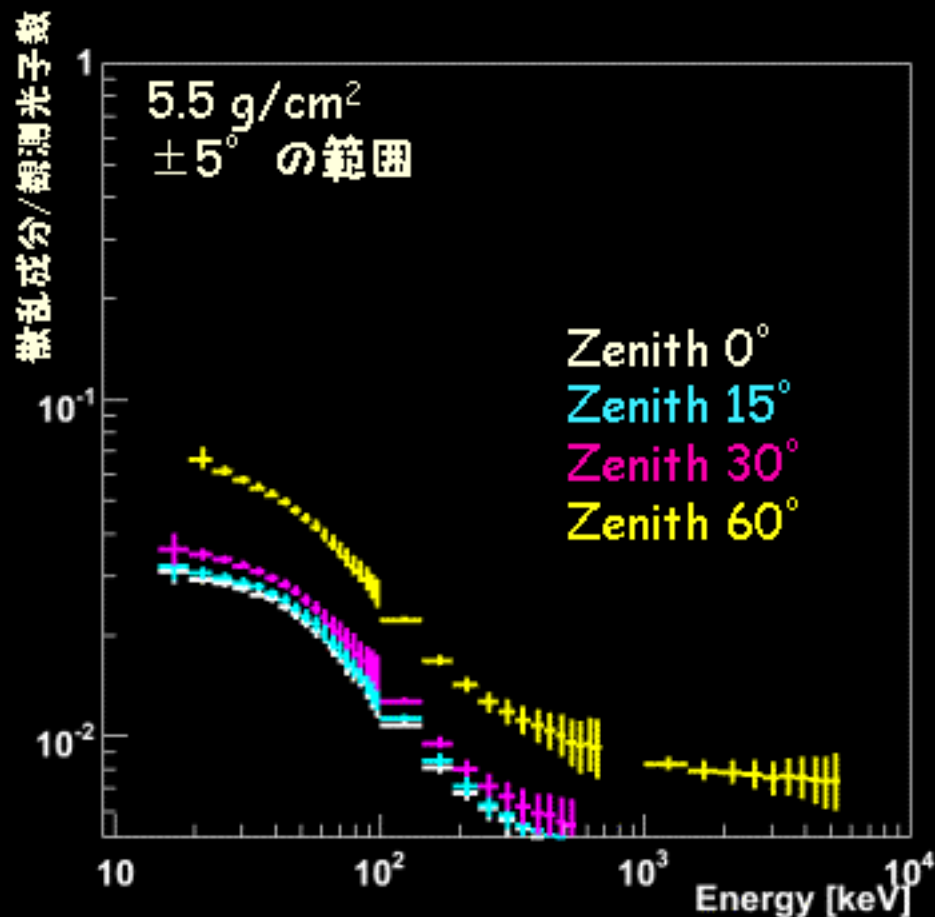
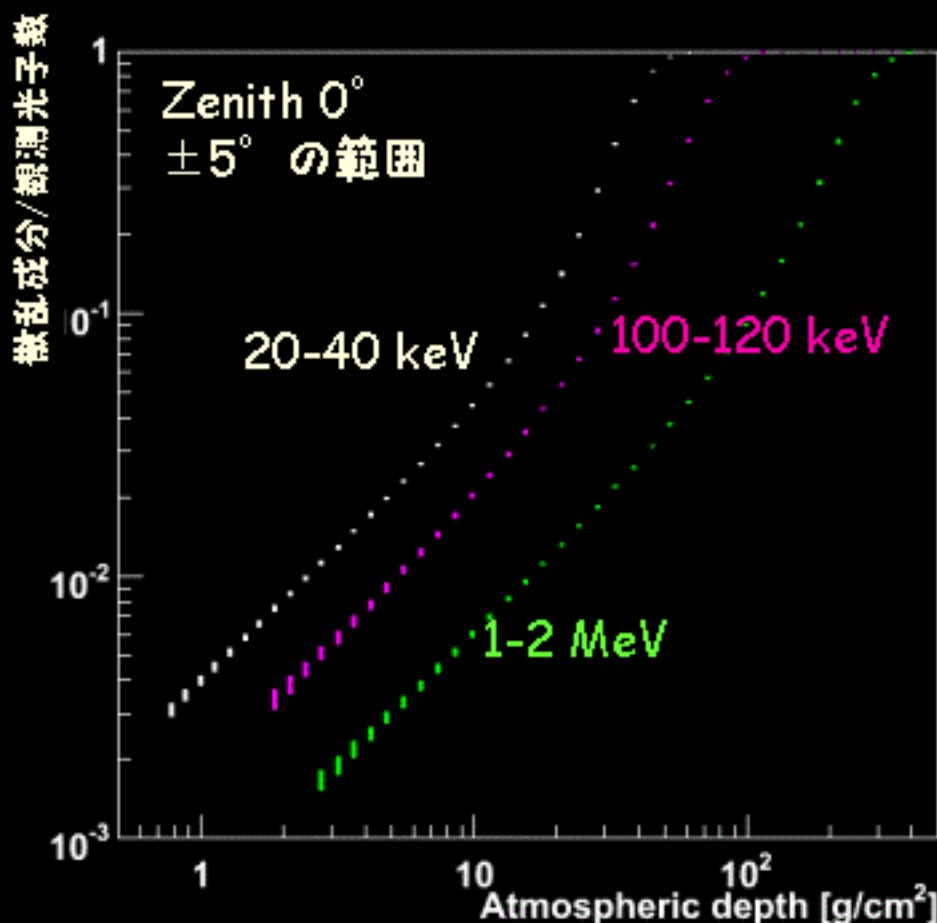
# 点源の場合。

- ・ 拡散ガンマ線の時と同じ geometry
- ・ ある特定の1点から  
1方向のみにガンマ線を照射
- ・ Initial spectrumのべき: -2.0



- ・ spectrumに大きな影響はない  
30 keV, ±5° の範囲  
⇒ 散乱成分は2.5%
- ・ 角度分解能が良ければ無視できる

# 点源の場合。



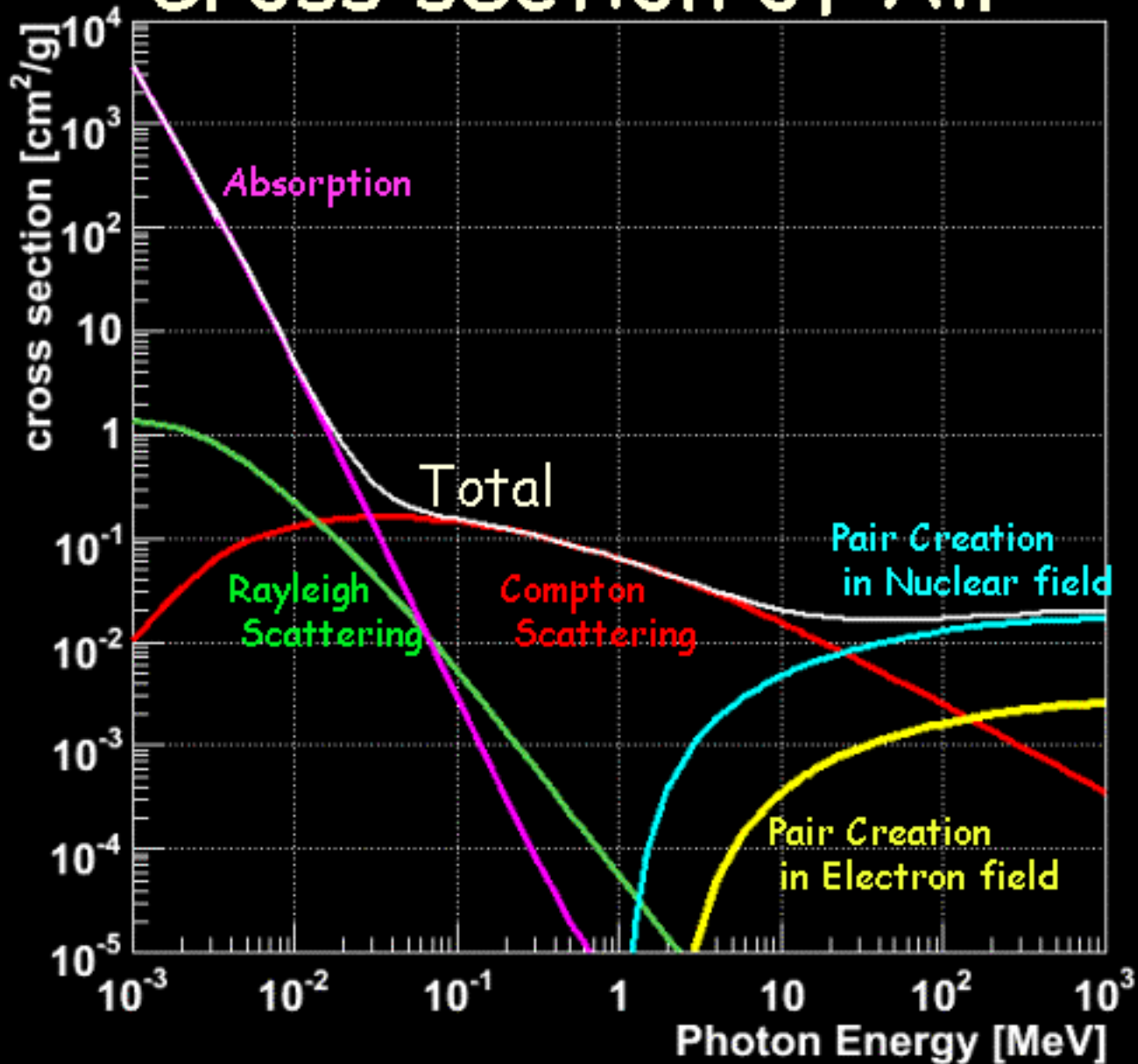
- ・ 大気が厚くなっても(観測高度では)散乱成分はそれほど増えない
- ・ Zenith angleが大きい天体の低エネルギーでの観測では多少影響がある  
20 keV, zenith= $60^\circ \Rightarrow$  検出光子の7%が散乱成分

# Summary

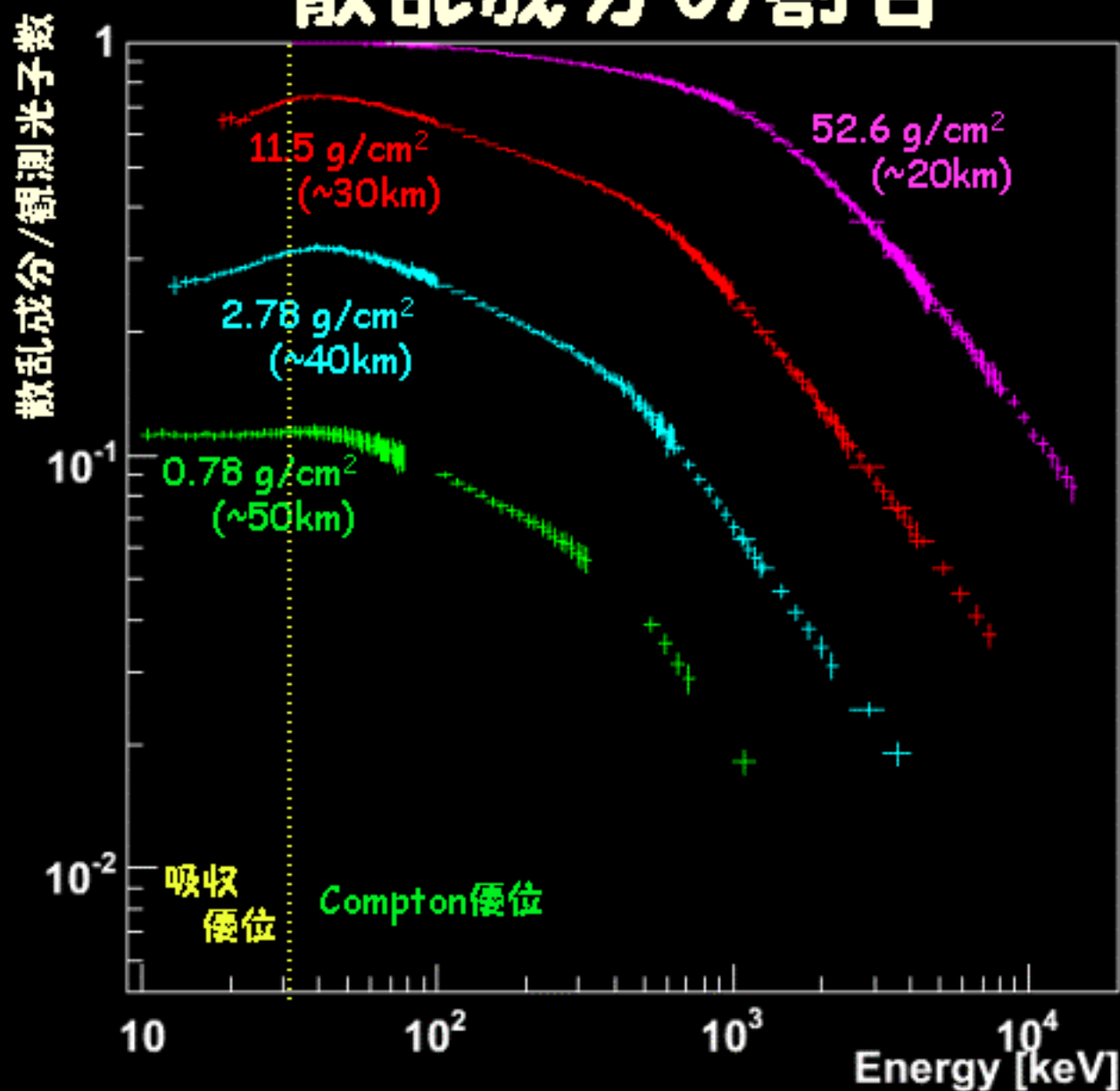
- Geant4を用いて宇宙から到来したガンマ線が大気中でどの程度散乱されるかを計算
- 宇宙拡散ガンマ線：
  - 100 keV @  $8\text{g/cm}^2$  : ~50%は散乱を受けている
    - ⇒ 大気散乱効果は無視できない
    - ⇒ backgroundの推定をする場合に注意が必要
  - 大気の厚みに対する依存性はF. Makinoの近似式に類似
  - 天頂付近では緩やかな天頂角依存性
- 点源：
  - 角度分解能が十分良ければ( $<5^\circ$ )無視できる
  - 低エネルギー(20-30keV)、
  - 大天頂角(zenith $>60^\circ$ )のときのみ影響がある



# Cross section of Air



# 散乱成分の割合



# べきによる違い

