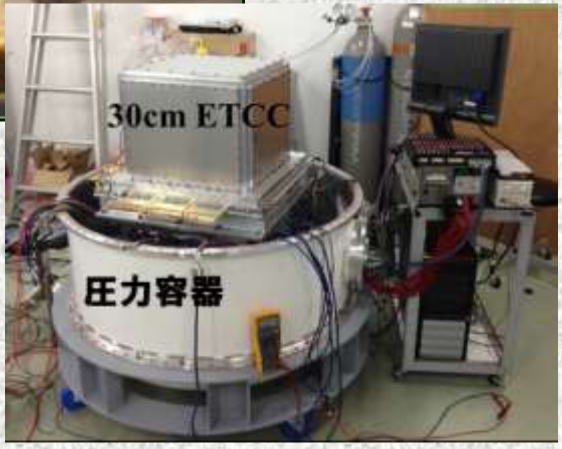
高感度MeVガンマ線観測により期待される宇宙線物理への貢献

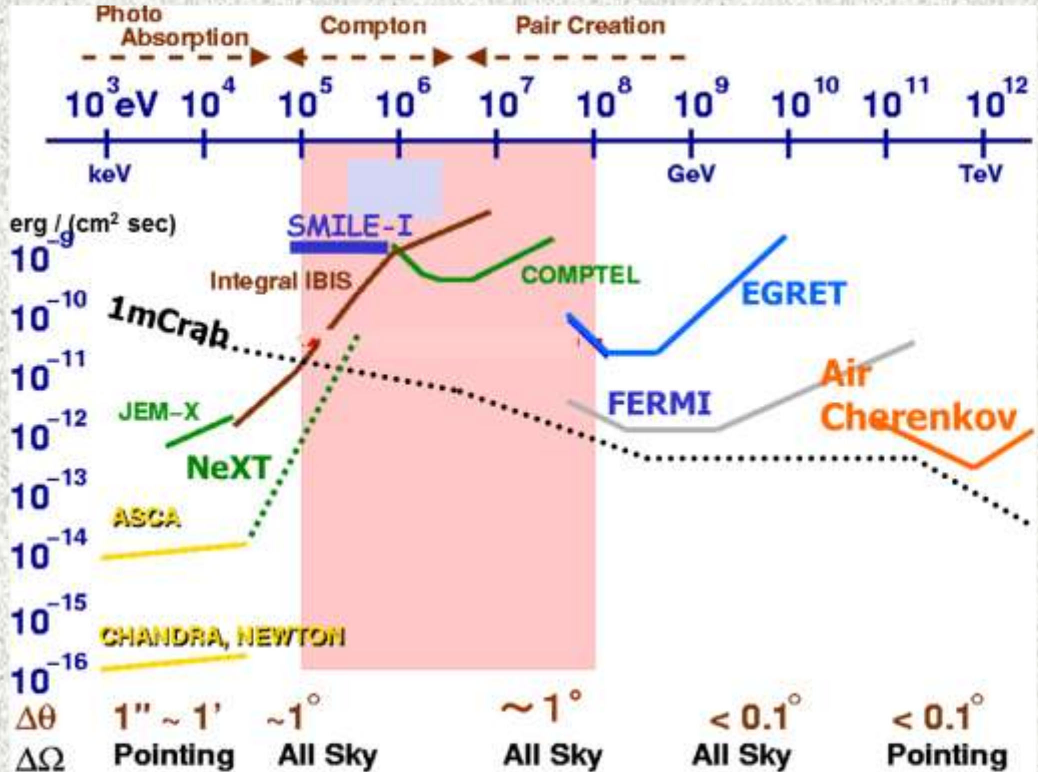


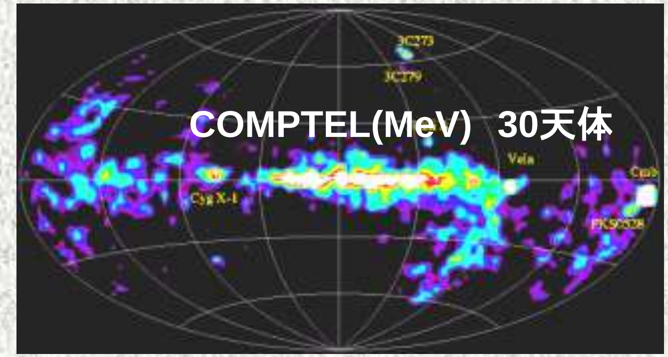
CONTENS

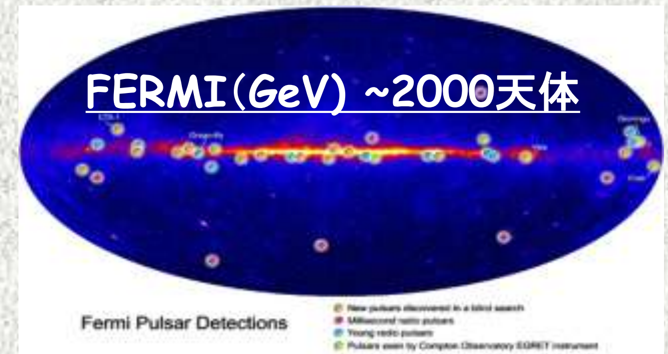
谷森達[1], 窪秀利[1], 身内賢太朗[2], 水本哲矢[1], 水村好貴[1], Parker, J.[1], 古村翔太郎[1], 岩城智[1], 澤野達哉[1], 中村輝石[1], 松岡佳大[1], 佐藤快[1], 中村祥吾[1], 高田淳史[3], Arvelius S[4], Turunen E[5], Yamauchi, M[6]
[1]京大大学院理学研究科 [2]神戸大理学部 [3]京大生存圏研究所 [4]ルーレオ工科大宇宙工学科
[5]EISCAT [6]スウエーデン宇宙科学研究所(IRF)

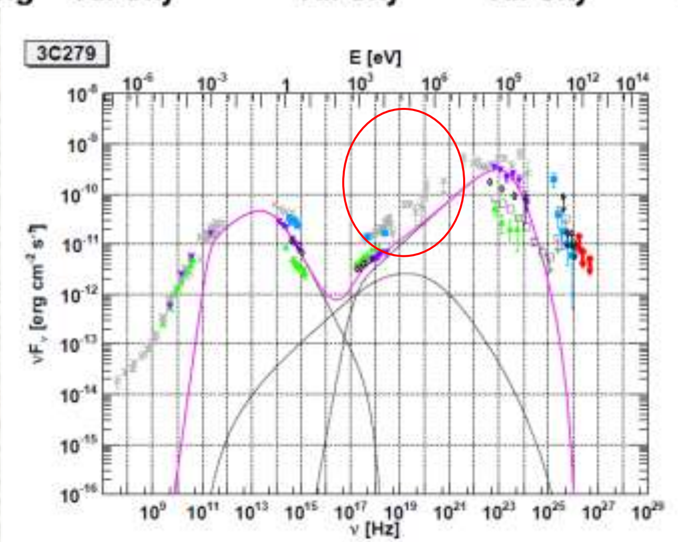
01/03/2013 @太陽圏シンポ STE研

MeVガンマ線天文学









- 元素合成 (ラインγ)

  銀河面分布：^{26}Al・511 keV

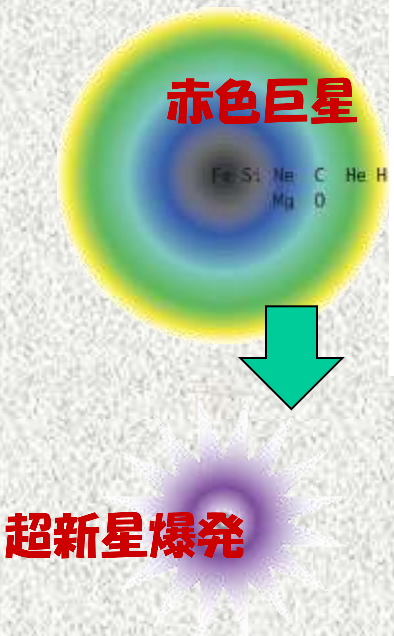
  ブラックホール等

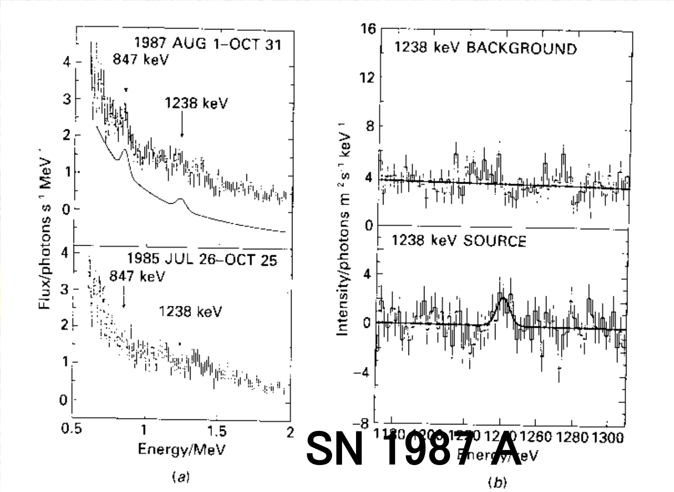
  連続スペクトルγ (Multi-MeV)
- 宇宙線加速(AGN,SNR,Pulsar)
- 宇宙の始まり

  最遠方ガンマ線バースト(GRB)
- 地球・太陽圏科学

  極地方での最小バースト

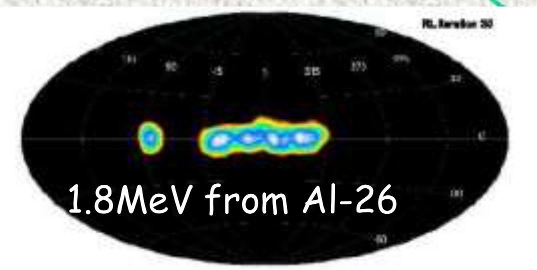
Line-ガンマ線(元素合成)



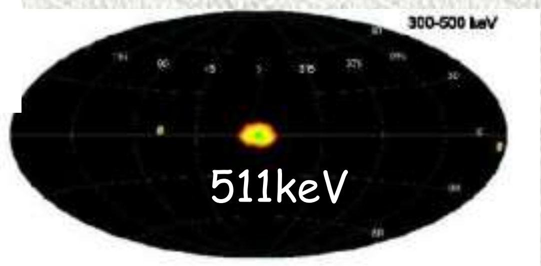


SN 1987 A

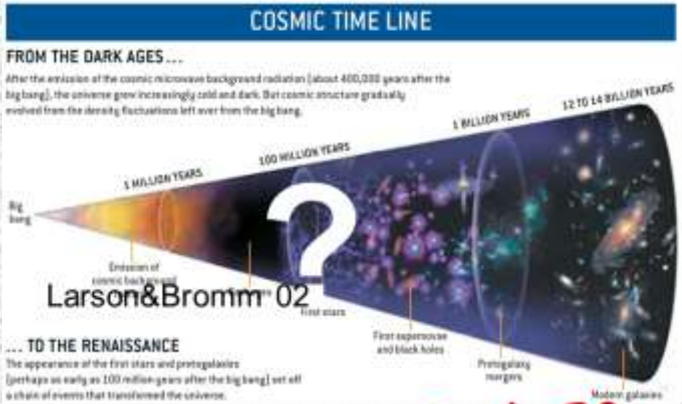
	Energy [keV]	Decay
^{56}Ni	158,270,480,759,812	6.10d
^{56}Co	847,1238,2598	77.2d
^{57}Co	122,136	271.7d
^{44}Ti	1157	63year
^{26}Al	1809	7.4×10^5 year



Integral



Early –GRB

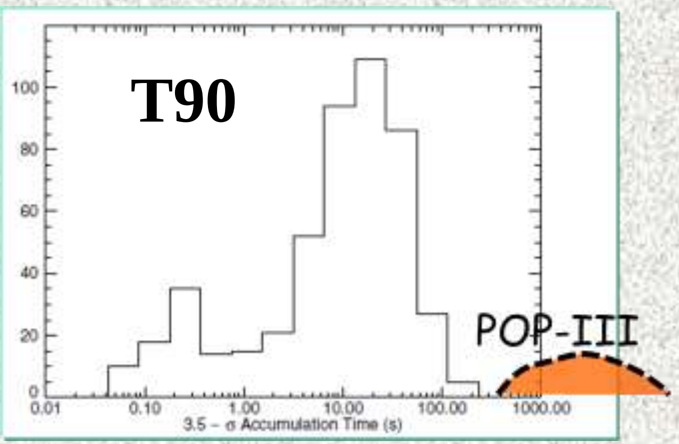


z～6-30

GRB

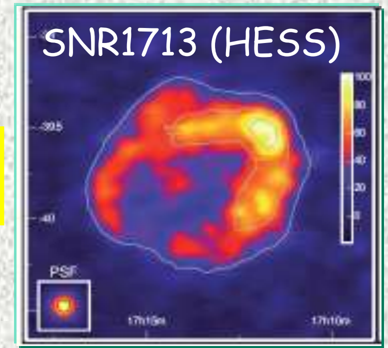
z~7

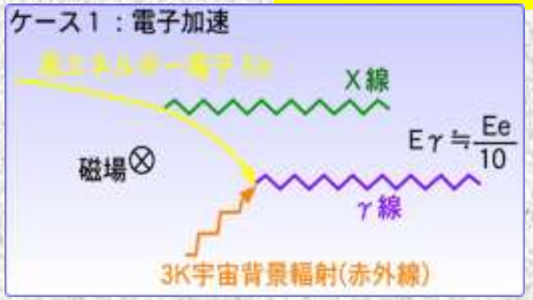
銀河、クエーサー

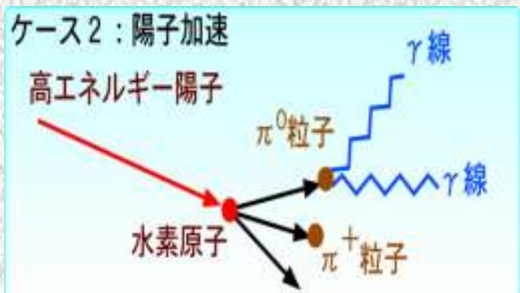


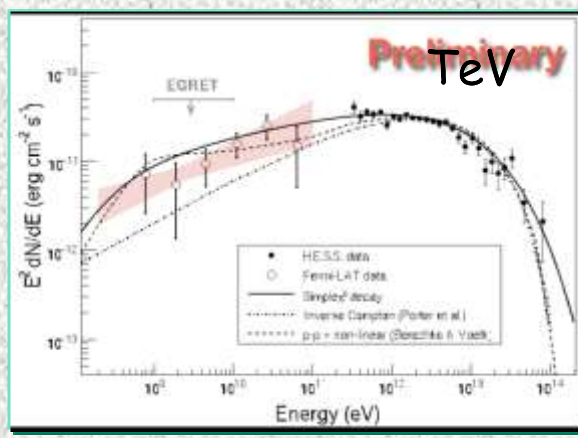
宇宙線起源

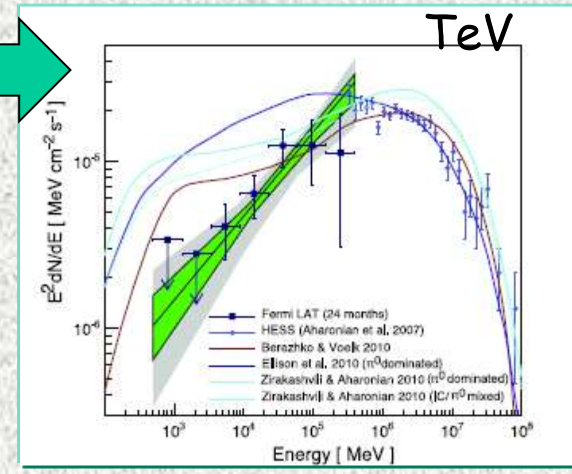
ガンマ線は陽子起源か電子起源か？

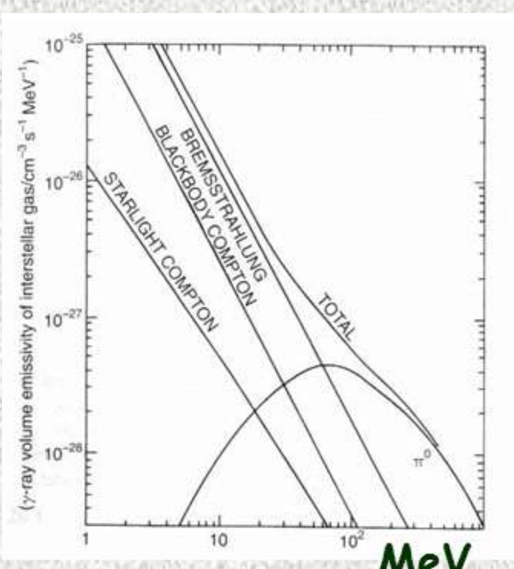




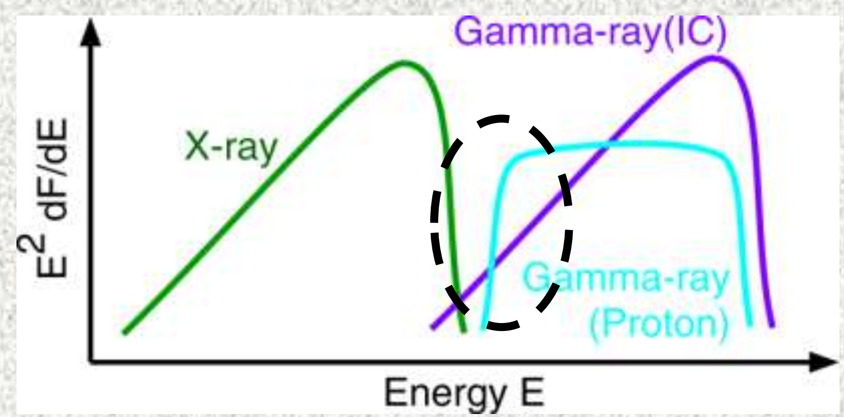






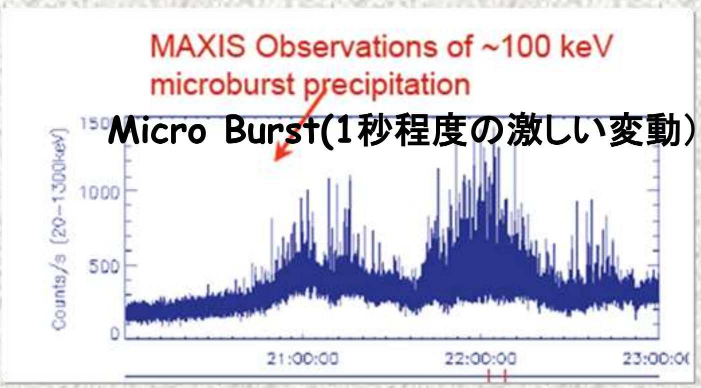


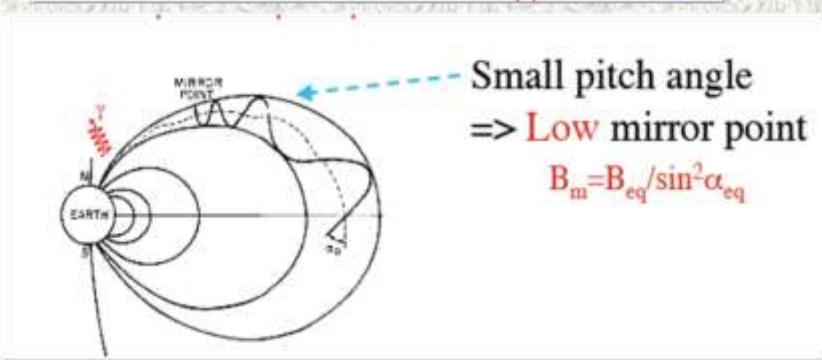
- 陽子起源ガンマ線は π^0 崩壊による
 → 必ず70MeVにスペクトルのピーク

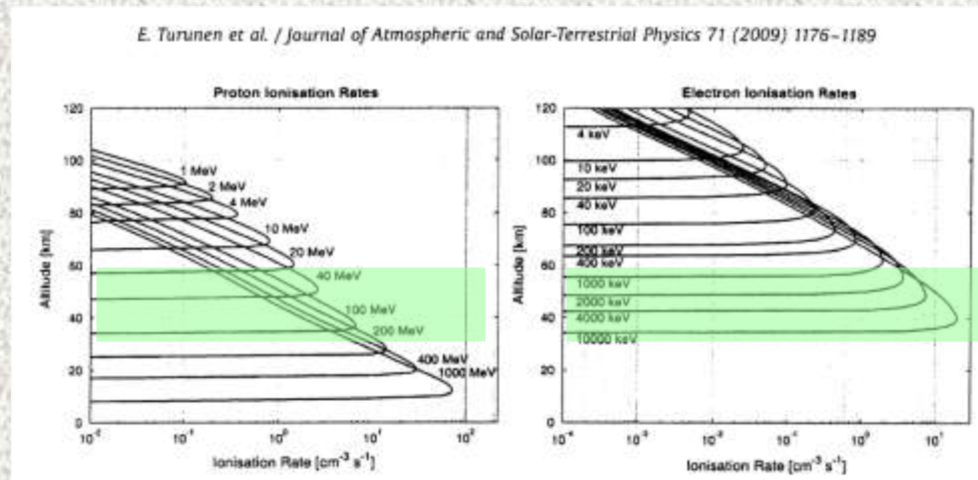


極域ガンマ線バースト と相対論的電子降下現象 (Relativistic Electron Precipitation: REP)

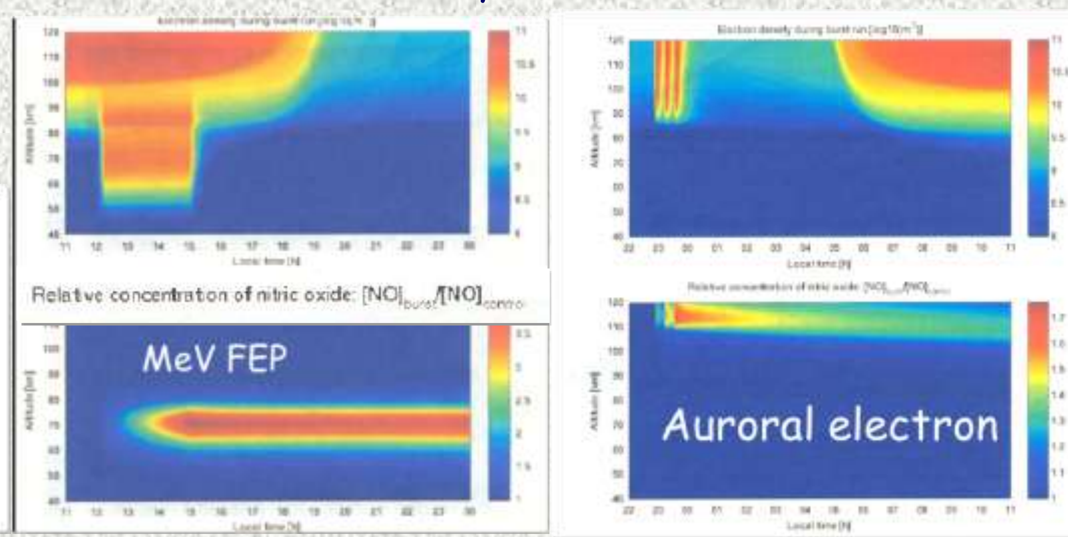
K.R.Lorentzen et al.,(2000)



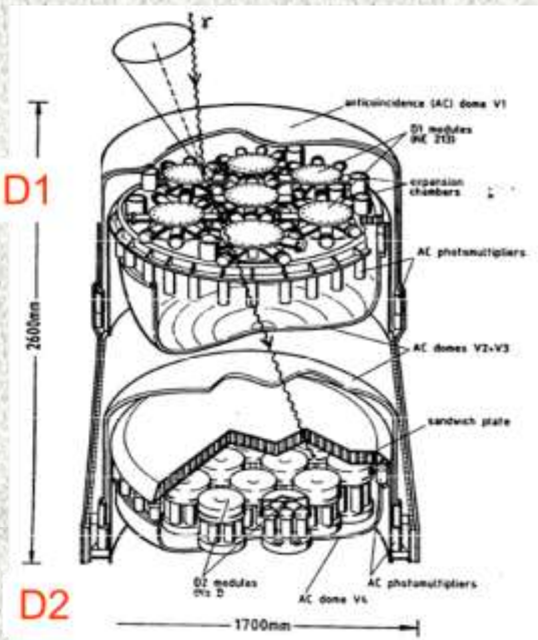




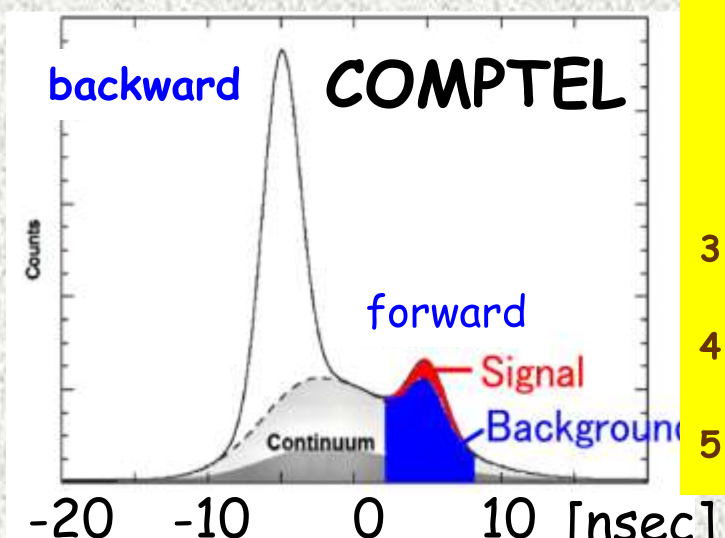
Simulation by Turunen et al (2009)



なぜMeVガンマ線天文学は困難か



検出面積 =13cm^2@1MeV



G.Weidenspointner, et.al. (2001)

放射雑音ガンマ線が圧倒的に多い！

雑音なければ有効面積 数10cm^{2}で～千天体観可能

1. アルベド放射線が強い
2. 宇宙線による衛星・装置の放射化（RI製造）

V.Schönfelder(2004)の提言

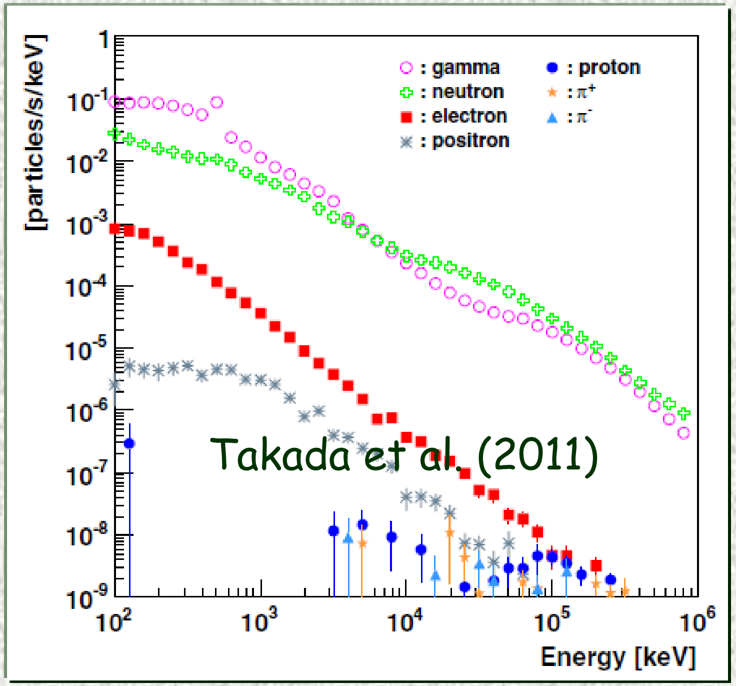
低雑音化が最重要

1. 高角度分解能（点源に対して）→高エネルギー分解能
2. 雑音除去のための冗長性(TOF, Kinematics, エネルギー損失率dE/dx など）

   COMPTELではTOFが有効、雑音を10分の1に低減
3. ガンマ線到来方向決定（仰角 ＋方位角） 最重要！
4. 低物質量（放射化量の低減）
5. 前方、後方検出器の同時計測幅を小さくする

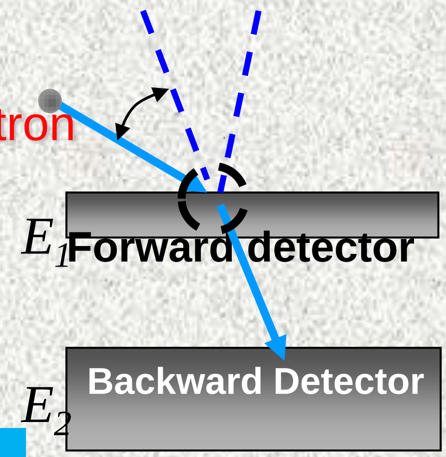
更なる雑音源(大気2次中性子+再構成問題)

高層で検出器内に入る粒子

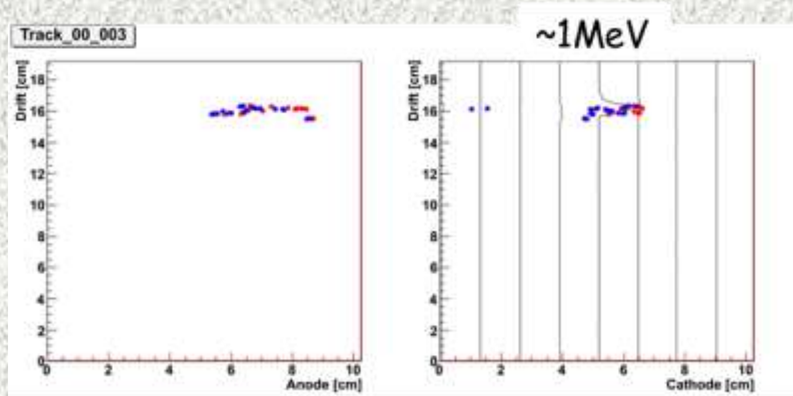


中性子flux ~ γ線flux,
断面積　中性子＞＞γ線

中性費2回弾性散乱
Compton散乱と同じ

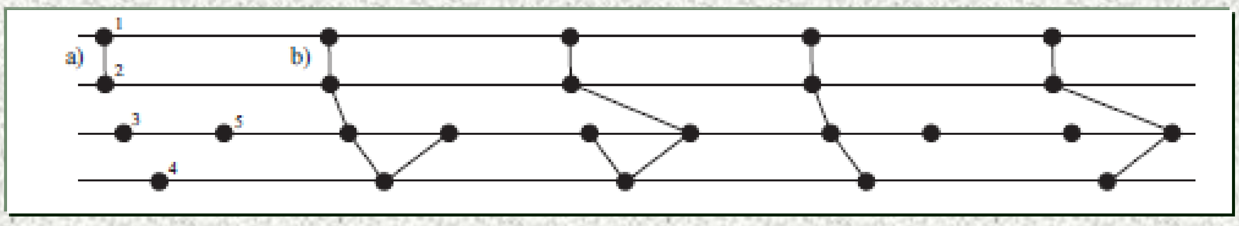


除去法　TOFまたはdE/dx、



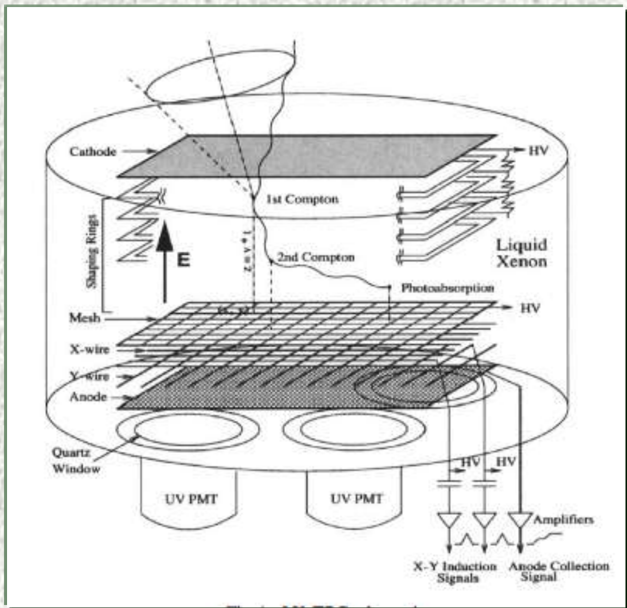
MeV Neutron in SMILE 1
(several 100 events)

多重ヒット問題(マルチCC)

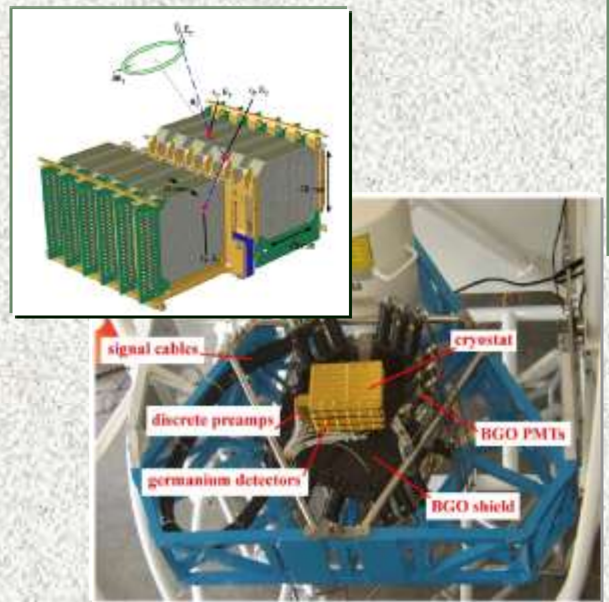


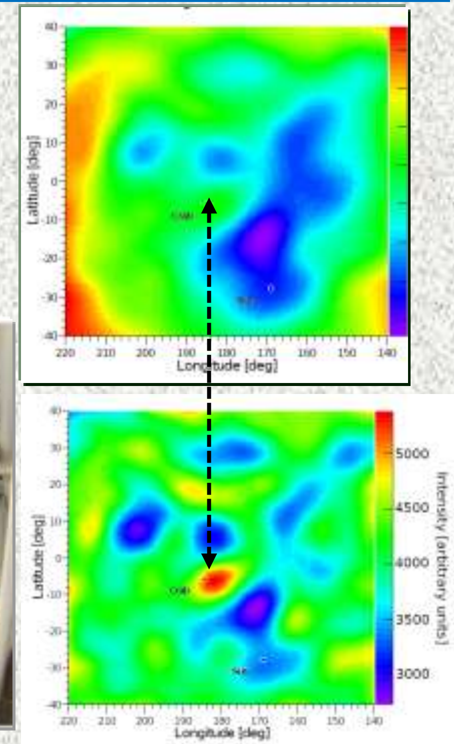
Advanced Compton Camera

. Aprile et al(2004)



M. S. Bandstra et al. ApJ 2011





Le Xe TPC　気球実験　8hr　2000

- VETO 無し
- 0.1-10MeV 予定有効面積　～20cm^2
- 実際は1－10MeV　予想Crabγ線 ~50ph.　　但し、不検出
- 実際の推定有効面積　～2cm2

主眼、有効面積の増大、

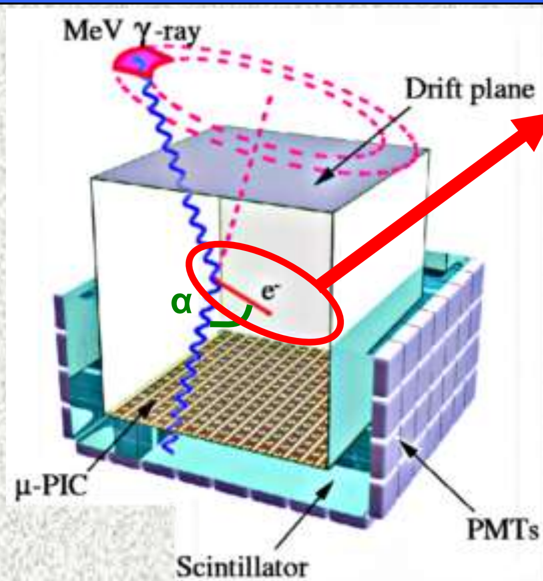
雑音への提言項目　４？

- Crab 4σ (8hrs) with NLEM 法
- Ge 検出器 with BGO 遮蔽
- 視野3str（BGO　8str)
- 0.3-1.5MeV 有効面積　6cm^2
- Simulation　3800 γ →667　γ
- Crab方向の雑音~29000 (S/N~0.02)

主眼、高エネルギー分解能

雑音への提言項目　1. 中性子に弱い

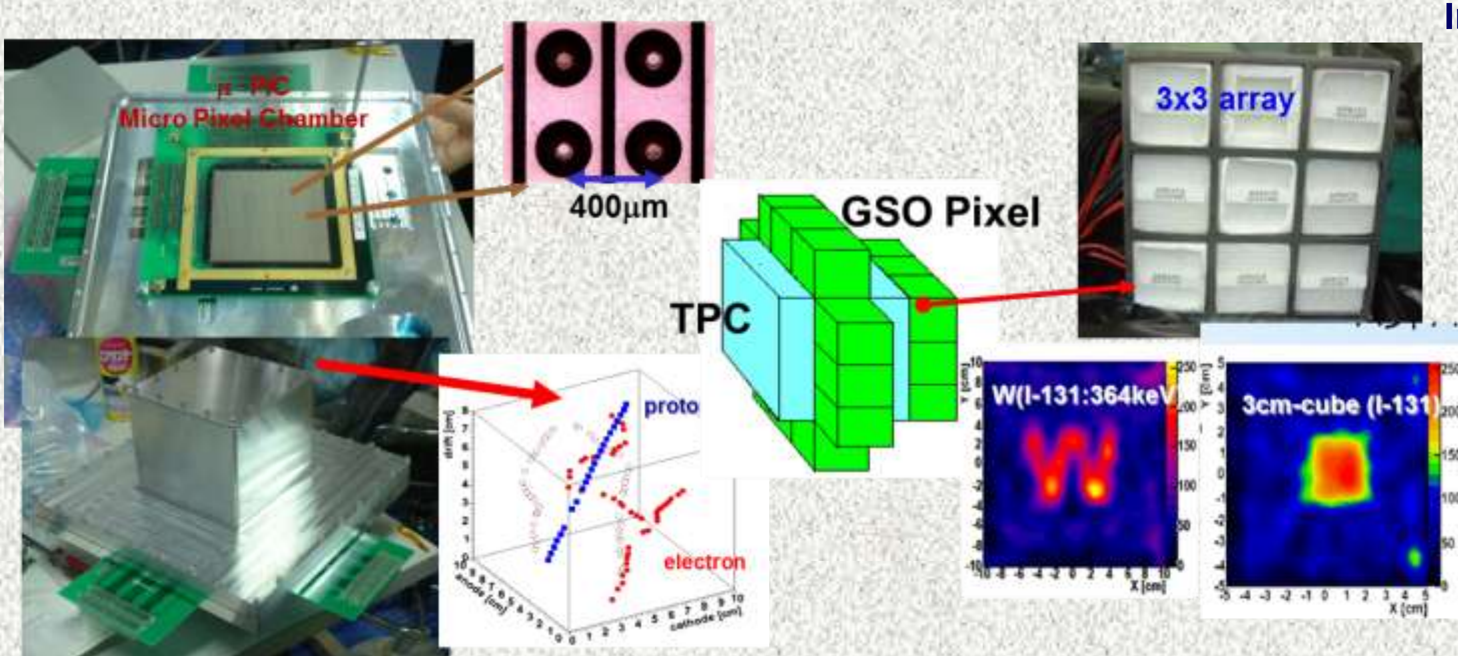
電子飛跡検出型コンプトンカメラ(Electron Tracking CC: ETCC)



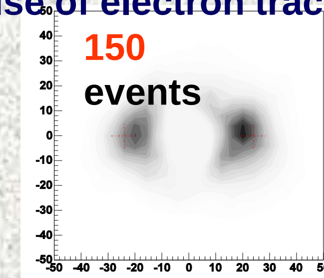
1. Determination of each gamma direction
2. 運動学(a)+エネルギー損失率による雑音除去
3. 広視野. ~3str
4. 遮蔽　VETO　共に無し　(軽量)

Goal: COMPTELの50倍の感度の衛星

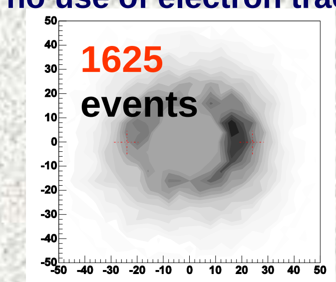
主眼　高雑音除去、項目2,3,4+　Neutron カット
　　　鮮明な飛跡　—＞多重ヒット問題無し



In use of electron track



no use of electron track



Sub-MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment (SMILE) Roadmap

10cm cube camera @ Japan (Sep. 1st 2006)

- Observation of diffuse cosmic/atmospheric γ
  ~400 photons during 3 hours (100 keV~1MeV)

30cm cube camera with Domestic balloon @Kiruna

- Observation of Crab/Crg X-1 + REP-γ

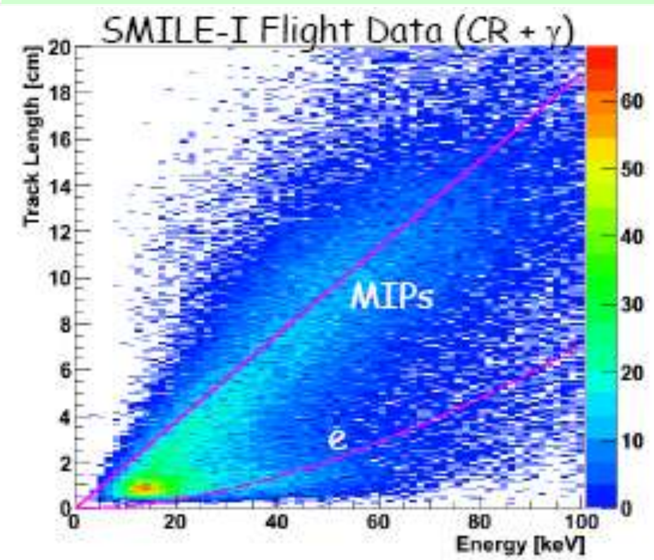
40cm cube camra with long duration observation

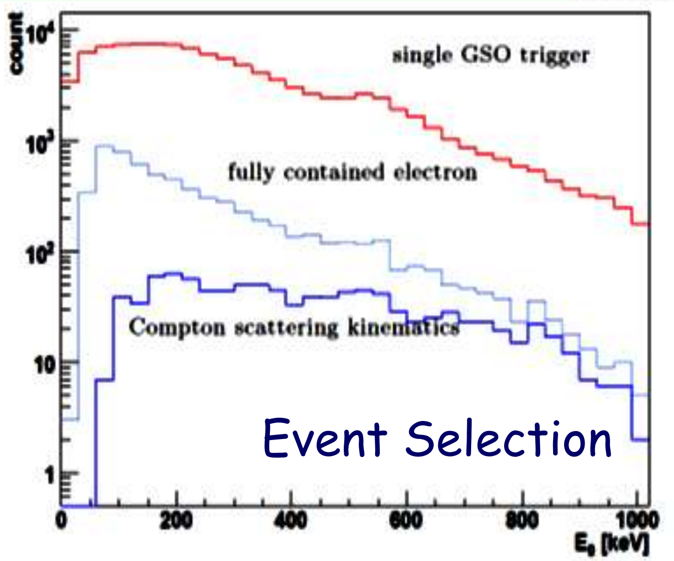
- Galactic survy & Gamma-Ray Burst Detection

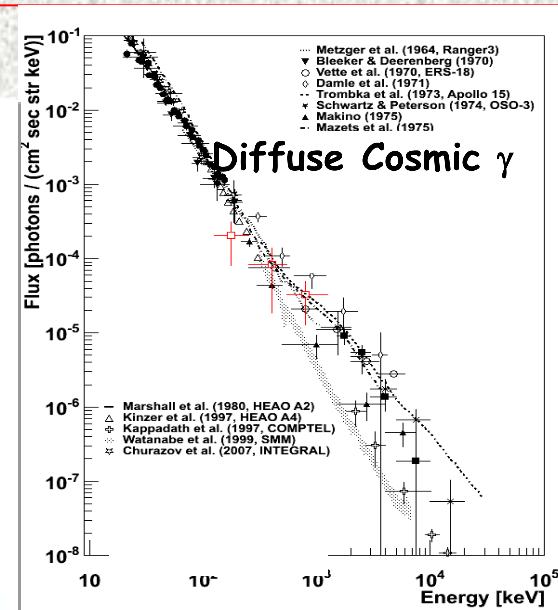
50cm or 1m cube camera with satellite

- All sky survey, detection of highest-z GRB

All Trigger # 2.3x10^5 (3hours)
Signal ⇒ ~420(down going) +500(up)
Simulation ⇒ ~400 (diffuse cosmic)

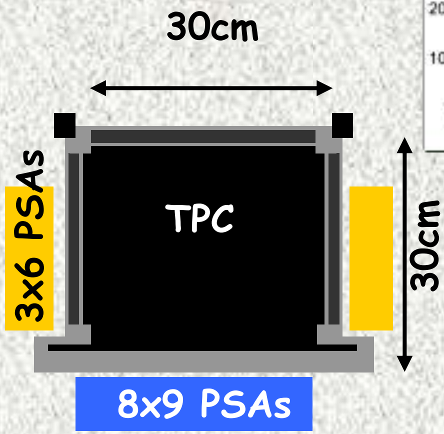


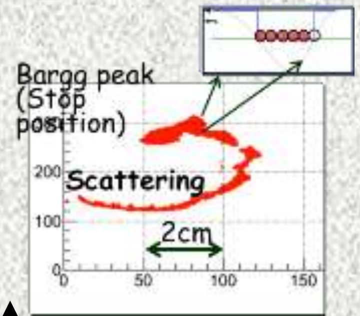




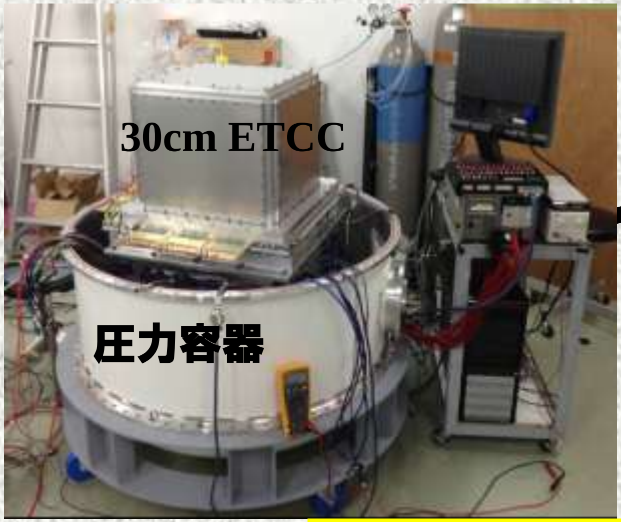
Takda et al. ApJ (2011)

SMILE-II (2009~)



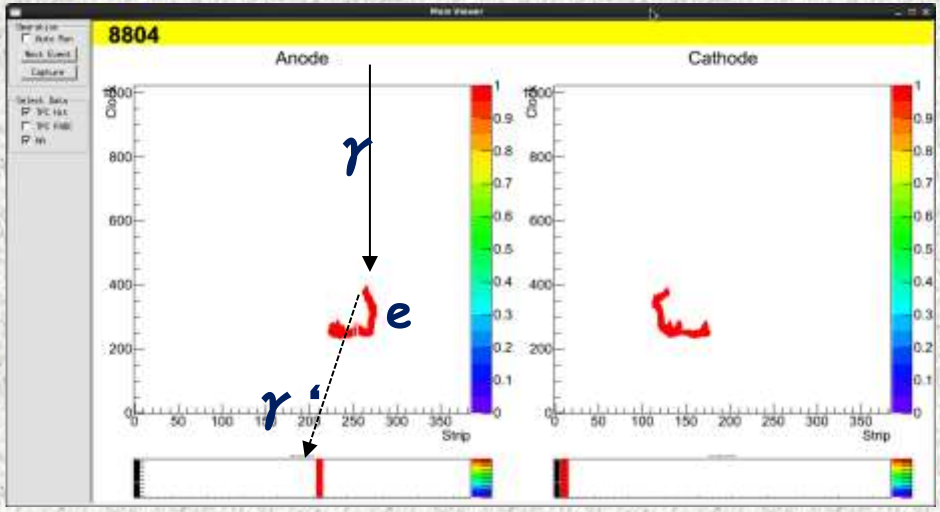


SMILE-II F.M.調整中
2月、真空試験@ISAS



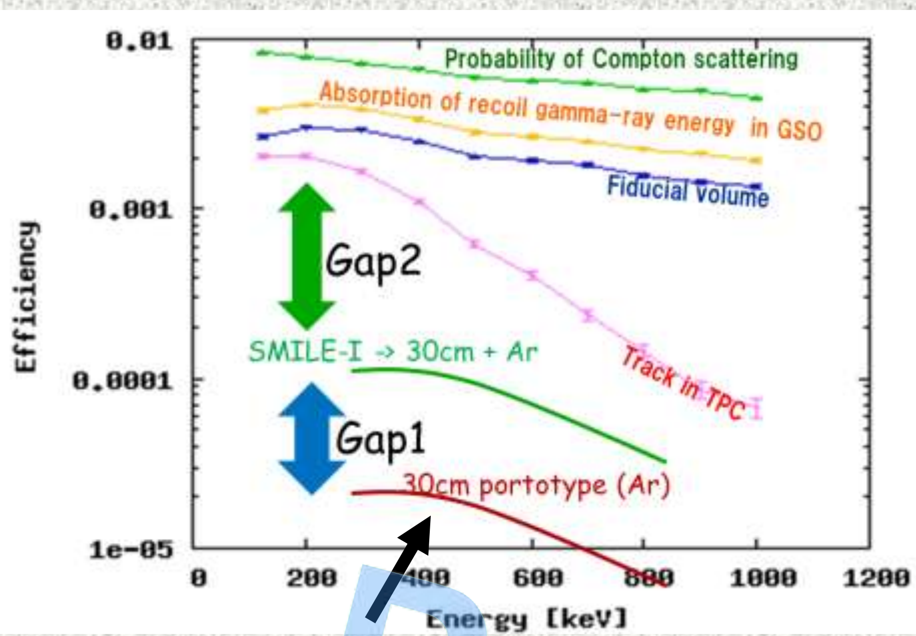
SMILE-II最終形
現行F.M.は最終予定のシンチレーター半分

繊細は春の学会、澤野講演で



SMILE-II 検出効率の大改善

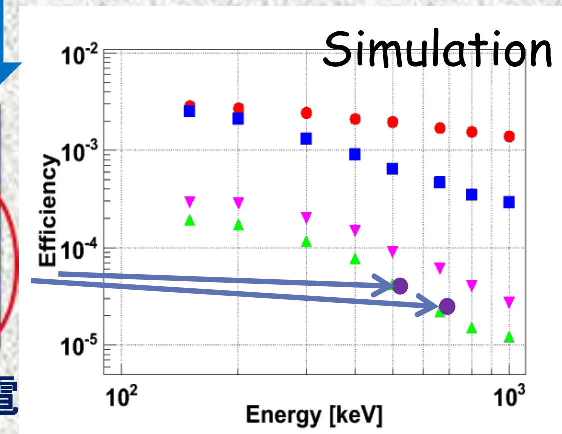
ETCC(10x10x15cm)Ar 1atm
3x10-6@662keV

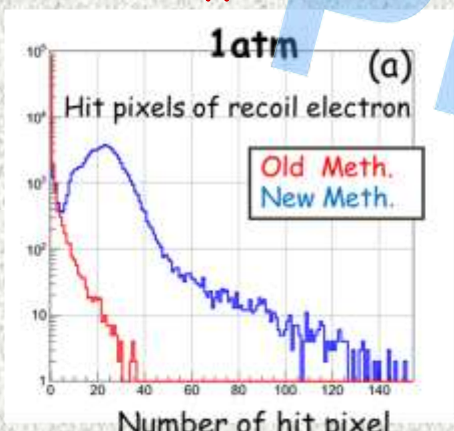


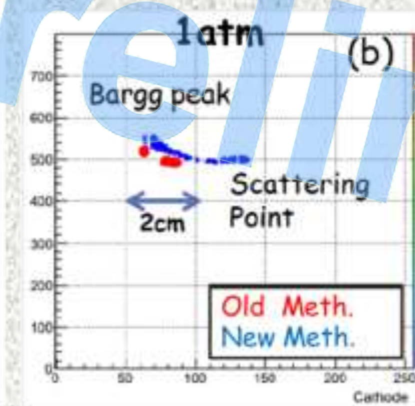
30cm Prototype :4×10-6@662keV

検出効率	Preliminary	
エネルギー	Simulation	実機
511 keV	4.4E-5	3E-5
662 keV	2.5E-5	2E-5
340 keV	1.0xE-4	

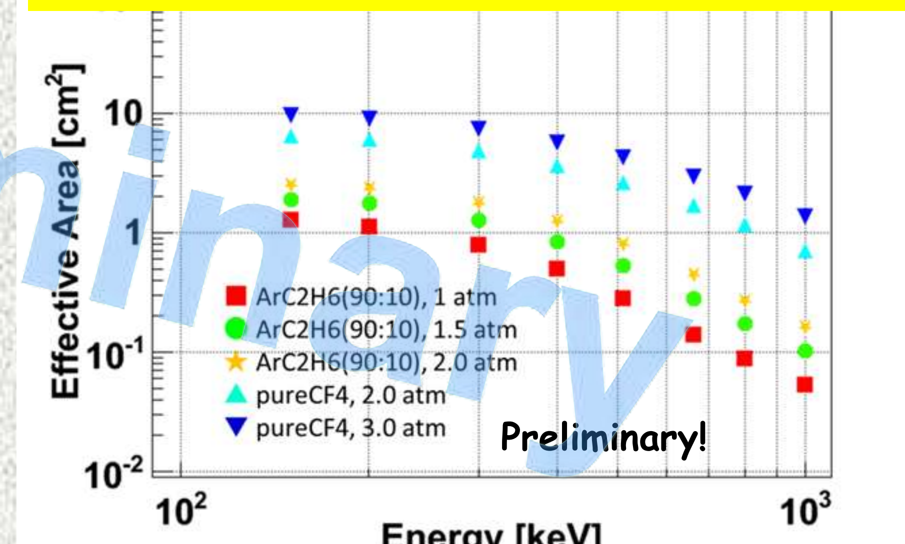
TPC内コンプトン散乱電
～100% 検出







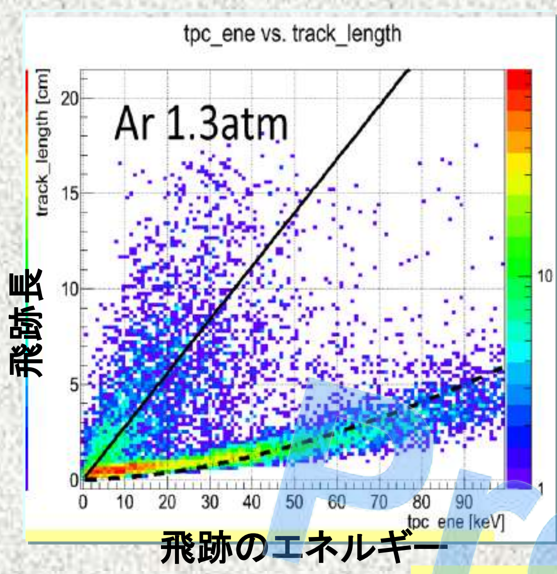
30cmETCC F.M. Effective Area (Sim.)

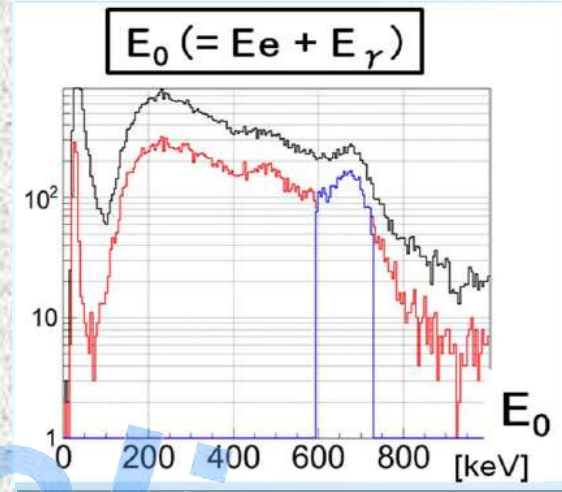


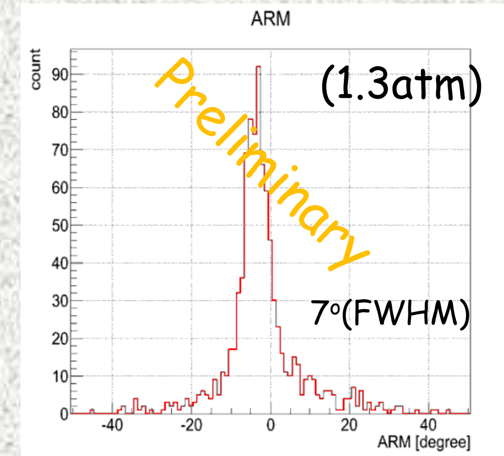
現行、1cm²@300keV Ar 1atm 、2cm²(1. 5気圧)
ガスCF4 3気圧で10cm² 可能！GSO 増強などで2倍へ

Preliminary

改善型 ETCC の画像(662keV)

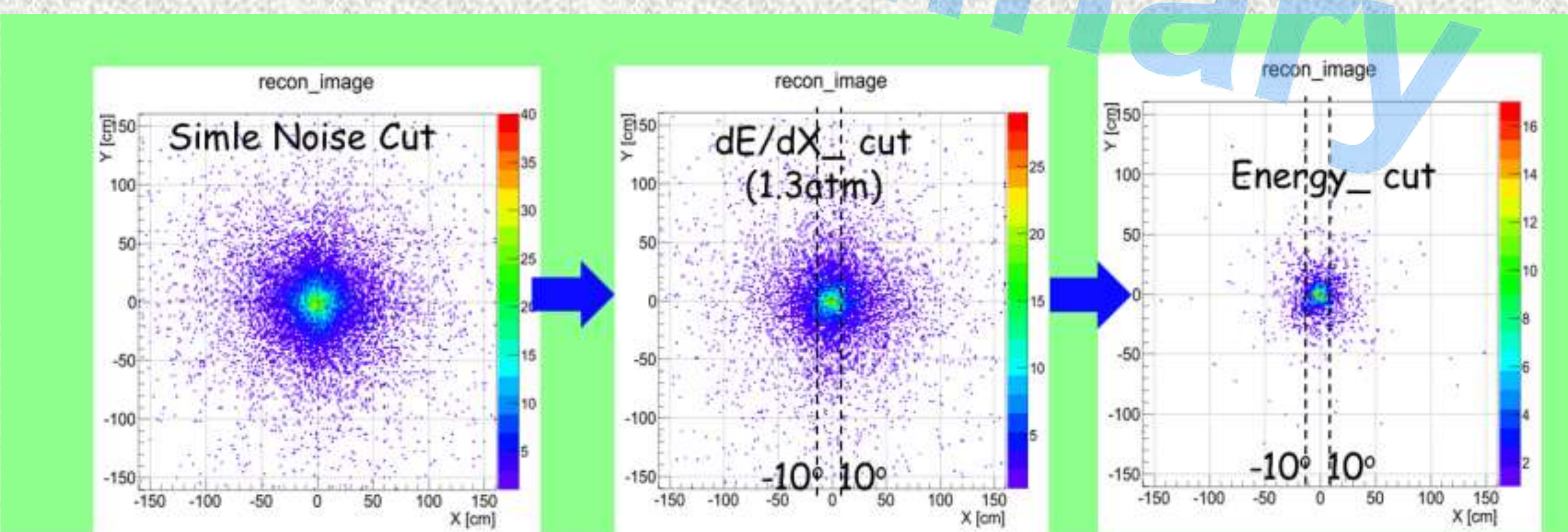




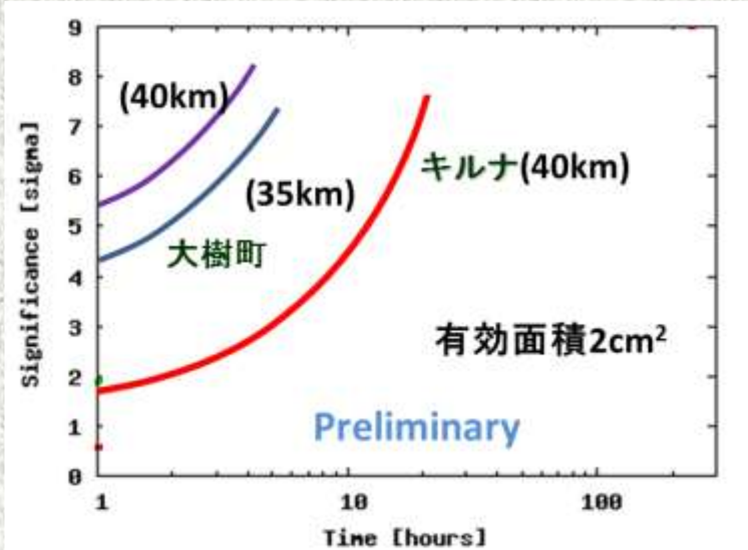


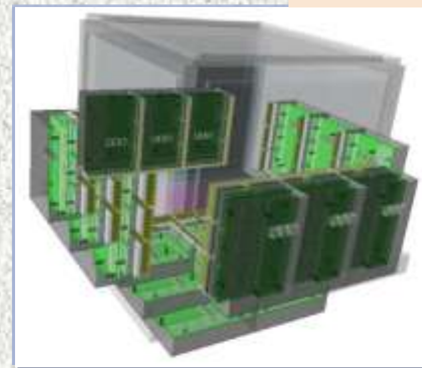
簡単な解析でOK

dE/dx cut + total Energy cut + (α-Cut)

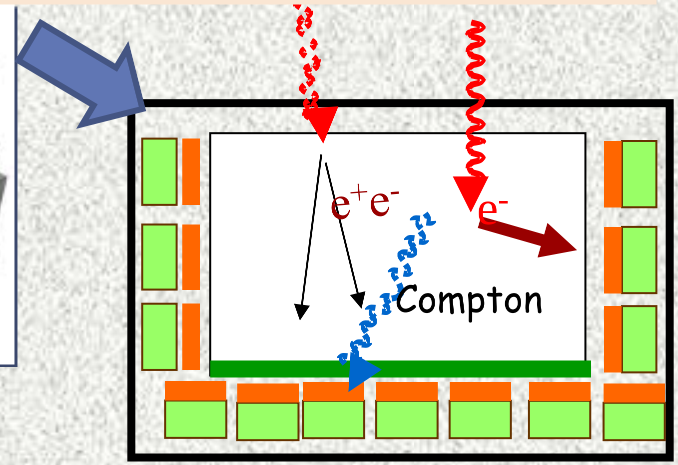


SMILE-II からの発展





30c角SMILE-II(シンチレーター 圧力容器外、一部穴あり)最大~15cm²



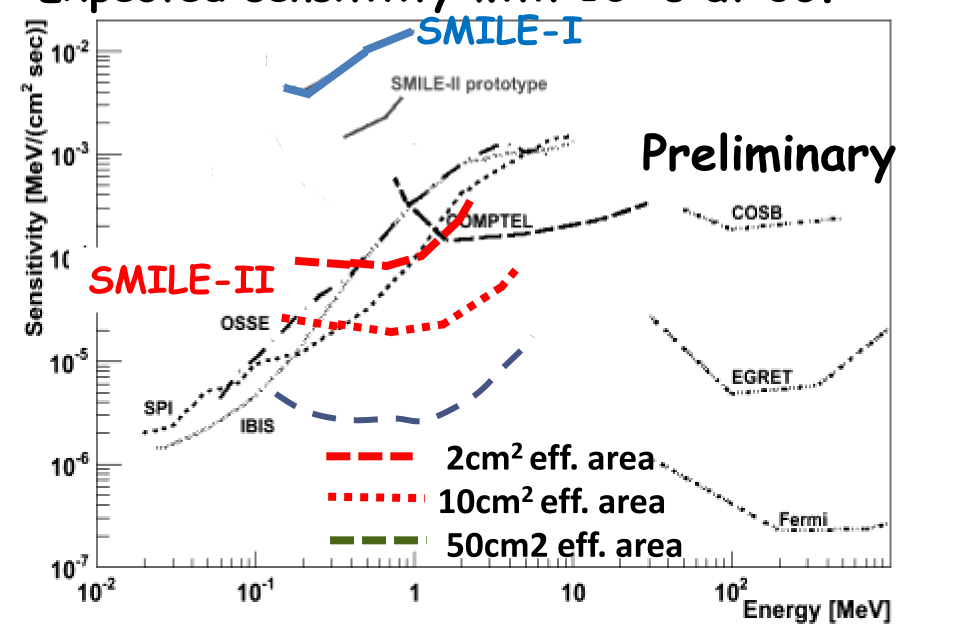
衛星規模の角度(ARM)分解能(FMHM, degree)

Scinti. : 3% @ 662 keV, FWHM
TPC : 20% @ 6 keV, FWHM

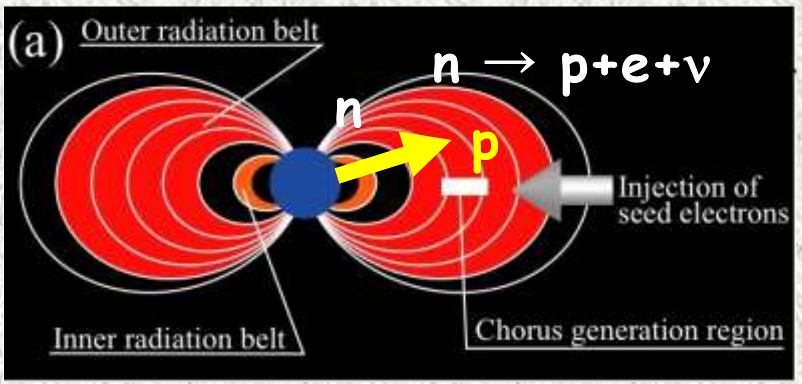
	Ar 1 atm	Ar 2 atm	Xe 3 atm
150 keV	8.0		7.8
200 keV	5.4	6.3	5.3
300 keV	3.5	3.8	3.5
400 keV	2.7	2.9	2.7
500 keV	2.2	2.3	2.2
600 keV	1.7	1.7	1.7

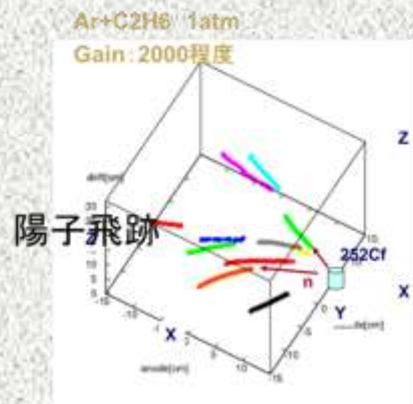
小型衛星40cm角ETCC
～50cm²@300keV 数mCrab@10⁶秒

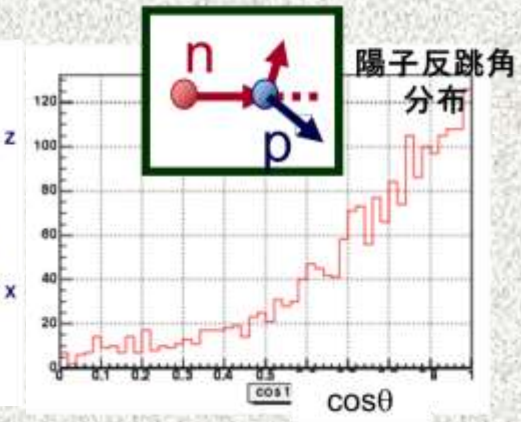
Expected sensitivity with 10^6 s at 3σ.



Atmospheric MeV neutron (放射線帯陽子の起源)







Secondary fast neutron spectrum

1. Source of high energy protons & electron in Radiation belt

ー＞Decay of albedo neutron

2. Effect to the damage of satellites

Previous observations

1970s,

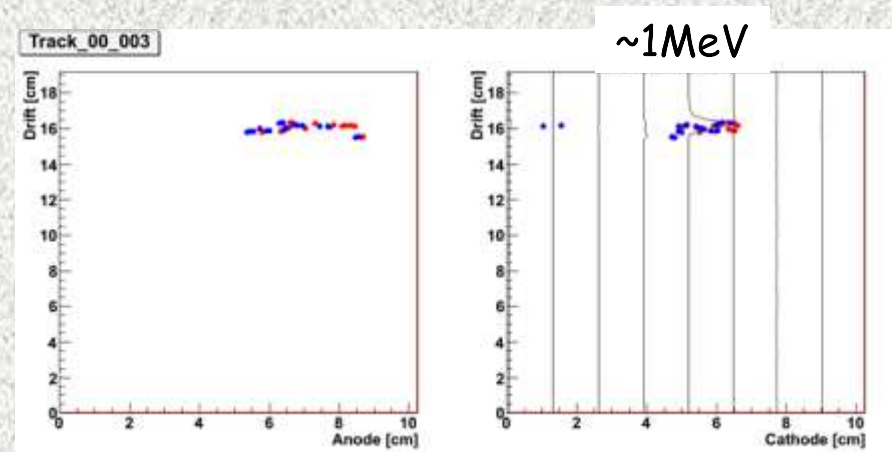
0.1-10MeV no direct measurement

only cooled thermal neutron

SMILE-II@大樹町

2hours observation

15x10^3 events/hour



MeV Neutron in SMILE 1
(several 100 events)

まとめ

- MeVガンマ線は元素合成(宇宙線組成)、陽子･電子識別、GRBなど宇宙線観測と密接に関係。
- 困難だった観測は、電子飛跡型Compton Cameraが低雑音技術を唯一実現、高感度観測の手段が見えた。

  SMILE-II　真空試験終了、夏、RNCPビーム環境試験
- SMILE-II北極周回気球観測　Crab,CygX-1さらには多数のGRB等突発天体観測が観測可能、2014年から開始希望

  その前の1日程度の飛行によるCRAB検出が不可欠！！
- 　小型衛星サイズの40cm角ETCCで約千のガンマ線天体発見が可能、地球ガンマ線の常時観測も可能
- ETCCはコンプトン以外にマルチMeV領域対生成、MeV中性子イメージング(太陽)など未開拓宇宙線分野を開拓できる。