

CALETによる電子、ガンマ線、 原子核成分の観測

吉田健二（神奈川大工）他 CALET チーム

<http://calet.n.kanagawa-u.ac.jp>

CALET 観測目的

■ 電子（+ 陽電子）：1GeV - 10TeV

- 宇宙線電子加速源、伝播機構の解明

■ ガンマ線：20MeV - 10TeV

- 活動銀河核、パルサー、超新星残骸、ガンマ線拡散成分、ガンマ線バースト

■ 原子核：1TeV - 1000TeV

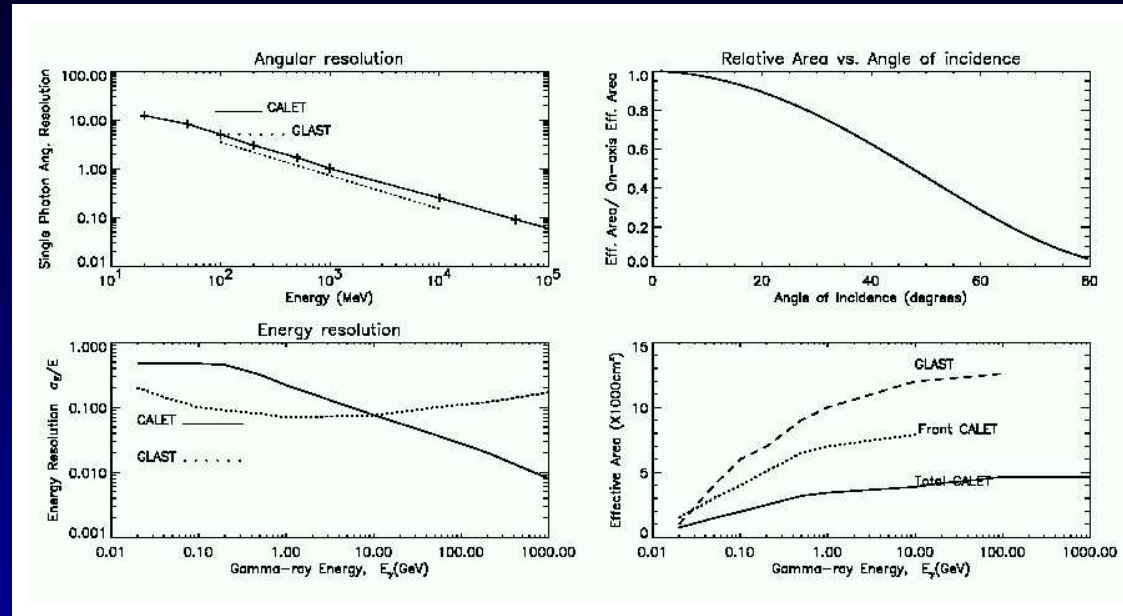
→ 暗黒物質の探索
SUSY
Kaluza-Klein

* 本研究は（財）日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する地上公募研究」プロジェクトの一環として行なっている。

観測装置性能

- 電子観測でのバックグラウンド粒子除去能力
 - 陽子除去能力： $> 10^5$ (10TeV)
 - ガンマ線除去能力： 5×10^2 (1TeV)
- ガンマ線観測でのバックグラウンド粒子除去能力
 - 陽子除去能力： $> 10^6$ (10TeV)
 - 電子除去能力： 10^5 (1TeV)
- トリガー条件とイベントレート
 - 低エネルギーガンマ線 20MeV-10GeV (5GeV)
 - ・ トリガー条件：アンチ用シンチに 0.3MIP 以上のヒットなし & 連続4層以上のファイバーに 0.7MIP 以上のヒット
 - ・ 銀河面からのガンマ線 $\sim 14\text{Hz}$
 - ・ バックグラウンド（アルベドガンマ線）： $\sim 37\text{Hz}$ ($E > 10\text{MeV}$)
 - 電子 & ガンマ線 10GeV(5GeV)-10TeV
 - ・ シャワートリガー： $\sim 32\text{Hz}$ (100Hz)（ほとんどが陽子、ヘリウム）
 - 陽子、原子核 1TeV-1000TeV
 - ・ シャワートリガー： $\sim 0.1\text{Hz}$
- 原子核 電荷分解能： ~ 0.4

他ガンマ線観測装置との性能比較



	EGRET	GLAST (SRD)	CALET
Energy Range (GeV)	0.02—30	0.02—300	0.02 — 1×10^4
Effective Area (cm ²)	1500	>8000	7.9×10^3 (@10GeV) 4.6×10^3 (>100GeV)
F.O.V. (sr)	0.5	>2	0.5—1.8
Angular Res. (deg)	5.8 (@100MeV)	< 3.5 (@100MeV) < 0.15 (>10GeV)	5.0 (@100MeV) < 0.24 (> 10GeV)
Energy Res. (%)	10	< 10	$7/\sqrt{E/10\text{GeV}}$
Point Source Sensitivity (cm ⁻² s ⁻¹) (> 100MeV)	5×10^{-8}	6×10^{-9}	1×10^{-8}

電子観測

- 1GeV-10GeV : 太陽変動
 - 10GeV-数 100GeV : 超新星爆発、銀河構造、宇宙線伝播機構
 - 数 100GeV-10TeV : 宇宙線電子加速源、加速機構
 - 近傍の加速源による
 - エネルギースペクトルの構造
 - 電子の非等方性
- ⇒ 宇宙線電子加速源の同定

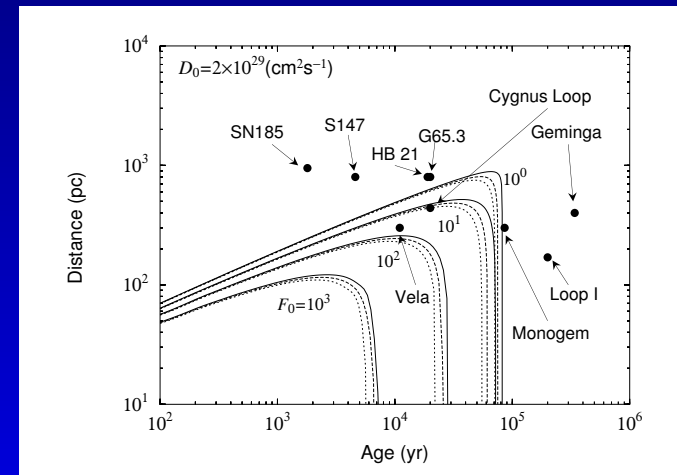
近傍の超新星残骸リスト

SNR	R(kpc)	Age(yr)
SN185	0.95	1.8×10^3
S147	0.80	4.6×10^3
HB 21	0.80	1.9×10^4
G65.3+5.7	0.80	2.0×10^4
Cygnus Loop	0.44	2.0×10^4
Vela	0.30	1.1×10^4
Monogem	0.30	8.6×10^4
Loop1	0.17	2.0×10^5
Geminga	0.4	3.4×10^5

電子観測量の期待値 ($1\text{m}^2\text{sr} \times 10^3\text{days}$)

エネルギー (GeV)	期待値 (個)	p/e
>10	9.8×10^7	120
>100	5.4×10^5	420
>1,000	3.0×10^5	1,500

(注) $E^{-3.3}$ のスペクトルを低エネルギー側から外挿

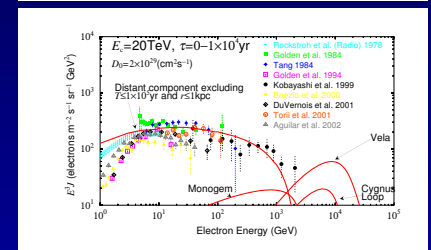
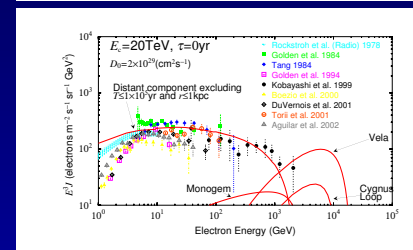
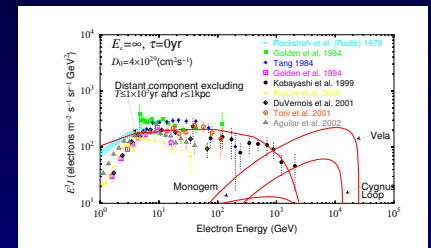
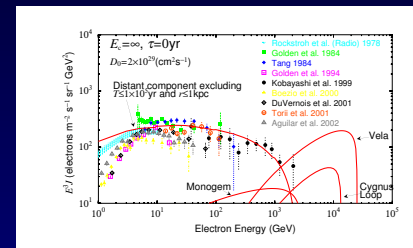
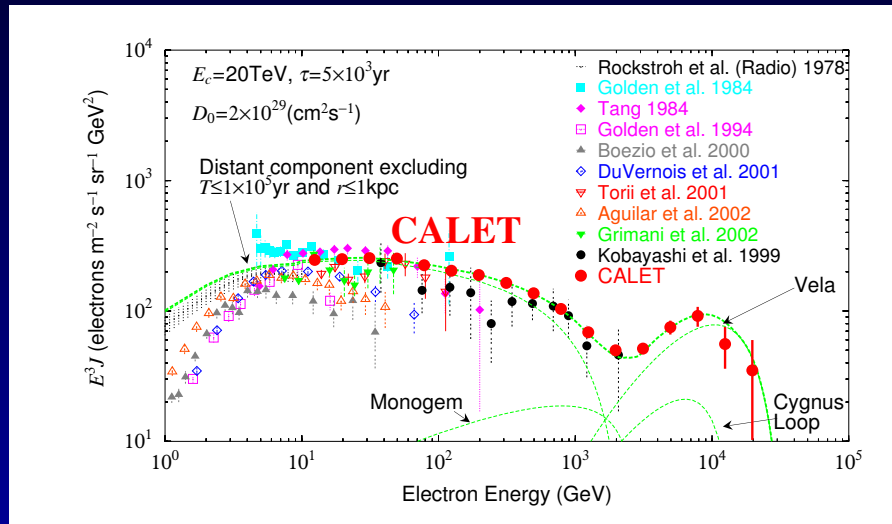


3TeV 電子の年齢-距離間のフラックス $E^3 J$ 等高線図 (Kobayashi et al. ApJ, 2004)

宇宙線電子加速源の同定

SNRs から期待される電子エネルギースペクトル

様々なパラメータにより予想される電子エネルギースペクトル (Kobayashi et al. ApJ, 2004)



- 近傍の加速源によるエネルギースペクトルの構造
- 宇宙線電子の非等方性 Δ

$$\Delta = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{3D \nabla N}{c N} = \frac{3R}{2cT}$$

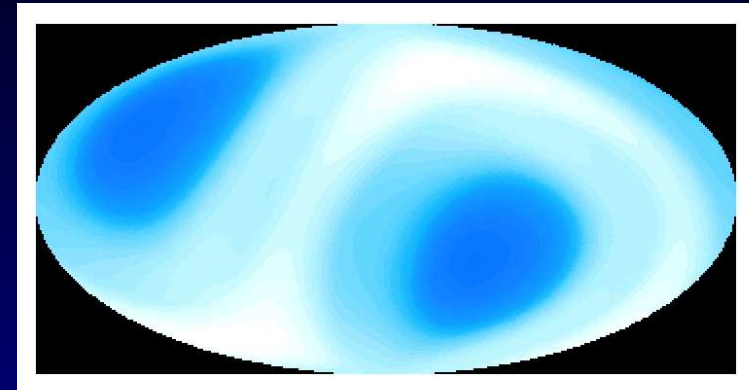
Vela($R=0.3\text{kpc}$, $T = 1.1\times 10^4\text{yr}$): $\Delta = 13\%$

⇒ 宇宙線電子加速源の同定

ガンマ線観測

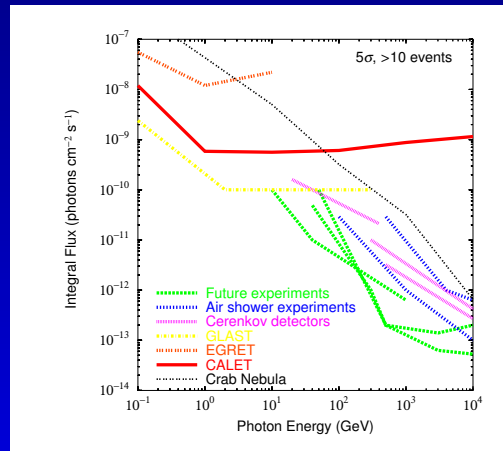
- 広い視野 (1.8sr)、大きな有効面積 ($1.0 \times 10^4 \text{cm}^2 (\leq 10 \text{GeV})$)
- 観測装置の姿勢制御なしに観測
- ~20日 で全天を観測
- 点源観測時間：1年に平均 48日

ほぼ一様に全天を観測



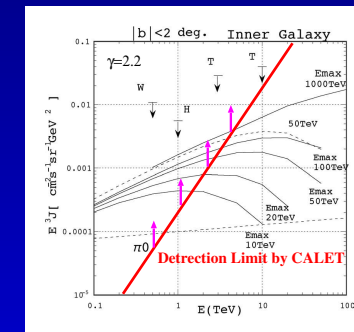
1年間の全天観測マップ ($E > 100 \text{MeV}$)
(最小 43日 から最大 52日)

ガンマ線点源検出限界 (1年)



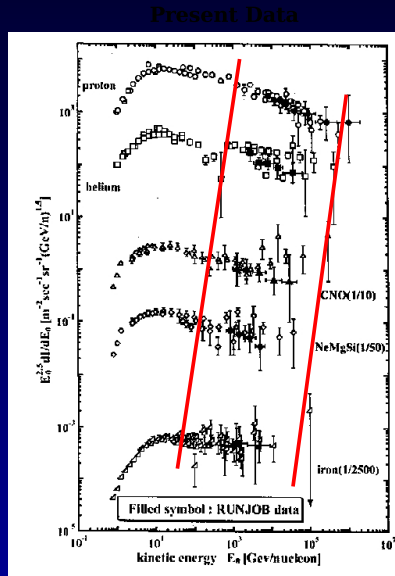
(チェレンコフ望遠鏡：50時間)
(ref. <http://www.gsfc.nasa.gov/>)

拡散ガンマ線成分の観測 (3年)



銀河系内： $1 \times 10^{-10} (\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1})$
⇒ ~数 TeV まで観測可能
銀河系外： $1 \times 10^{-11} (\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1})$
⇒ ~10TeV まで観測可能

陽子、原子核の観測



原子核の観測データ (RUNJOB, ICRC2001) と CALET の観測エネルギー領域

陽子観測量の期待値 (0.17m ² sr × 10 ³ days)	
エネルギー (TeV)	期待値 (積分)
1	~ 10 ⁶
10	1.8 × 10 ⁴
100	3.2 × 10 ²
1,000	6

拡散係数と非等方性

- GeV 領域の B/C 観測 (HEAO-C, Voyager)

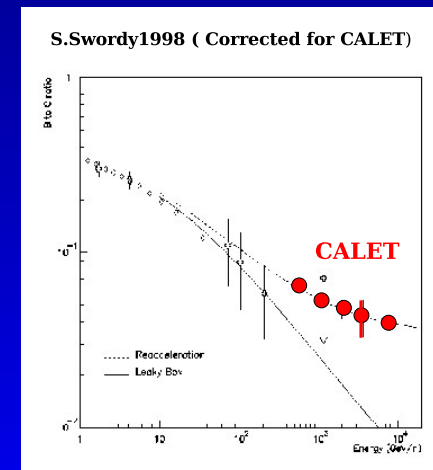
⇒ 拡散係数

$$D = 2 \times 10^{28} (E/5 \text{ GeV})^{0.6} \text{ (5GeV-数 10GeV)}$$

- TeV 領域の非等方性 < 10⁻³ (e.g. Ambrosio et al. 2003)

⇒ TeV 領域で不一致

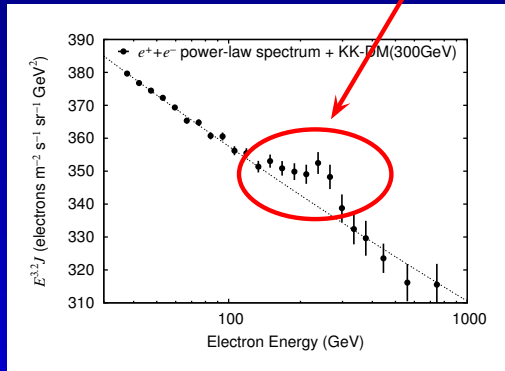
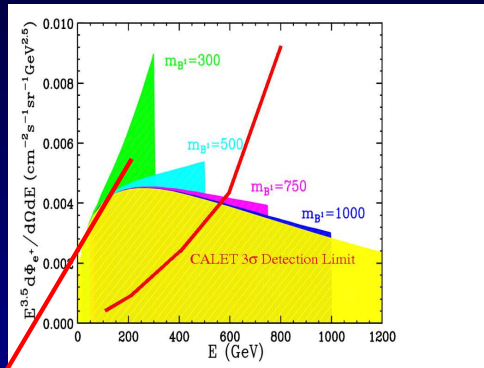
TeV 領域の B/C 観測 ⇒ 伝播モデルの決定



暗黒物質の探索

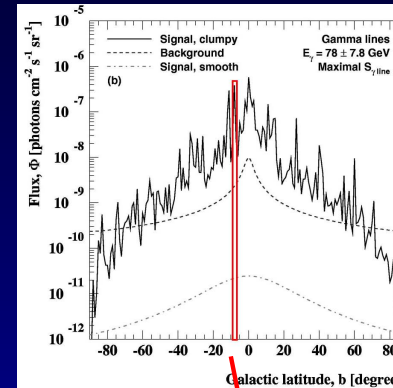
暗黒物質消滅による e^+e^- の検出

Kaluza-Klein 暗黒物質消滅からの陽電子 (Cheng, Feng, Matchev, Phys.Rev.Lett. (2002))

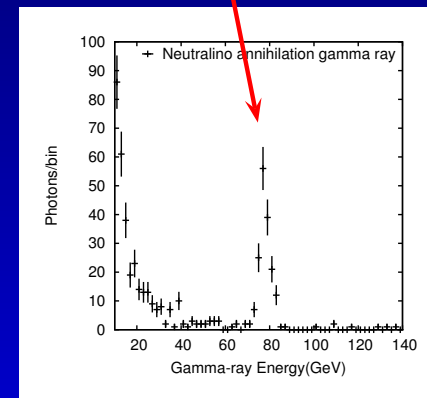


高い統計精度で電子+陽電子を観測 ($m_{B1} = 300\text{GeV}$ 、3年)

暗黒物質消滅によるガンマ線の検出



ニュートラリーノ消滅からの 78GeV ラインガンマ線分布 (Bergström et al., Phys.Rev.D (2001))



優れたエネルギー分解能 (2%@100GeV) によりラインガンマ線を観測 (3年)

⇒ 電子 + 陽電子、ガンマ線観測により暗黒物質の探索へ