


CANGAROOによる南天のTeVガンマ線観測の開拓と総括

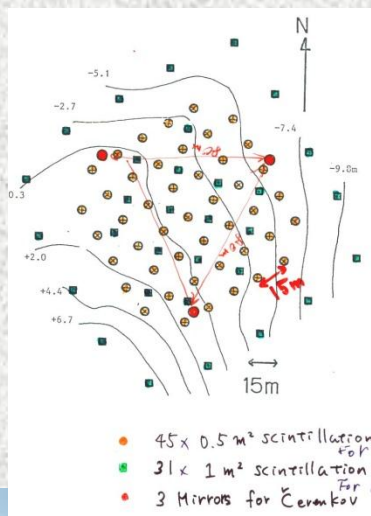
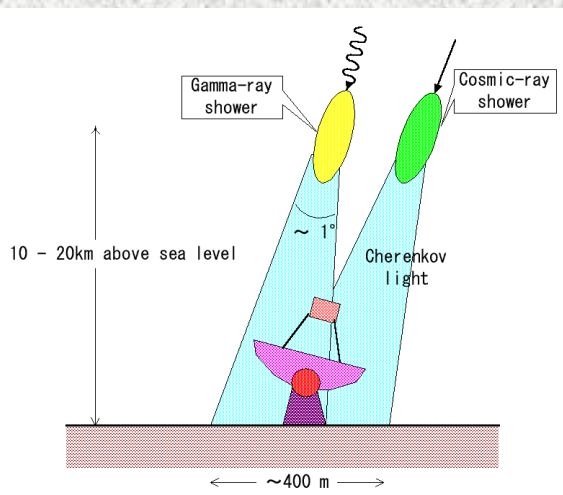
京都大理学研究科 谷森達

On behalf of CANGAROO Team

■ アデレード大		■ 北里大	
■ オーストラリア国立大		■ 東海大	
■ 茨城大		■ 東大ICRR	
■ 甲南大		■ 山形大	
■ 京都大		■ 山梨学院大	
■ 名大STE研		■ 立命館大	
■ オーストラリア国立電波天文台		■ 早稲田大	
		■ 国立天文台	

1990年以前のTeV Cherenkov観測

小型複数鏡によるコインシデンスで夜光除去、イメージングは無い



1980年代のTEVガンマ線検出天体
(軌道周期解析、パルス解析、バースト)

パルサー、X線連星 BH、

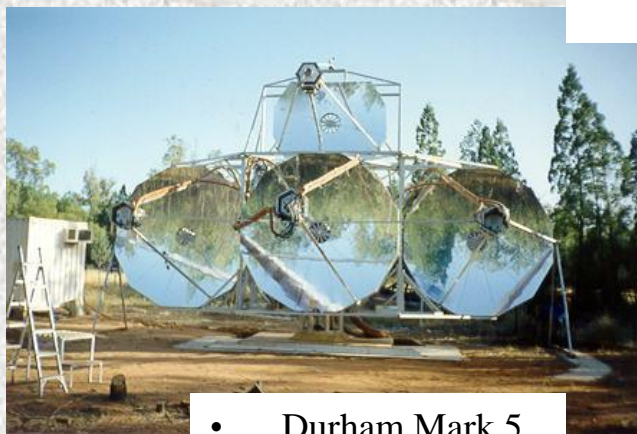
Crab Pulsar

Vela pulsar

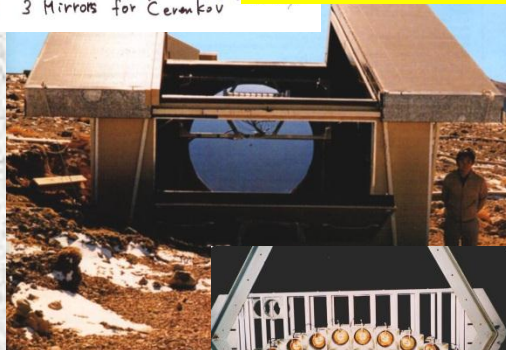
Cyg X-3

Her X-1

Vela X-1 など



• Durham Mark 5



JANZOS

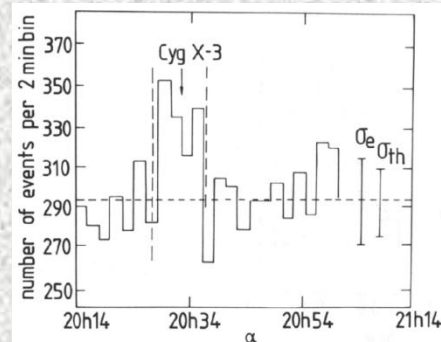
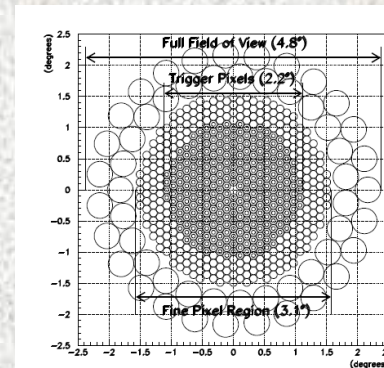


Figure 5.16. The first detection by the Crimean Astrophysical Observatory Group of UHEGR from Cygnus X-3: counts vs right ascension (Vladimirsky *et al.* 1973). σ_e : experimental standard deviation; σ_{th} : threshold.

88年からのイメージングCherenkov

- Whipple Observatory 10m

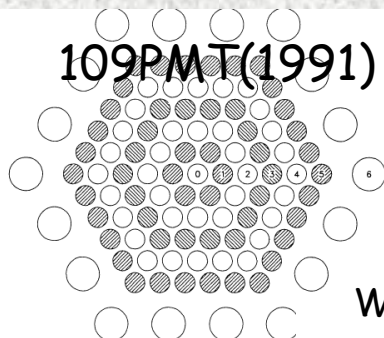
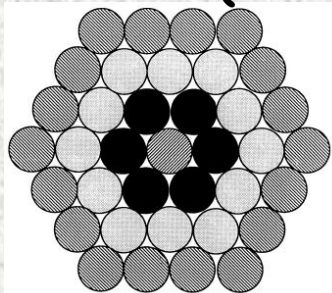
CAT 5m 1995~2000



546 phototubes

37PMT(1989)

109PMT(1991)



Energy 閾値

Whipple 300GeV

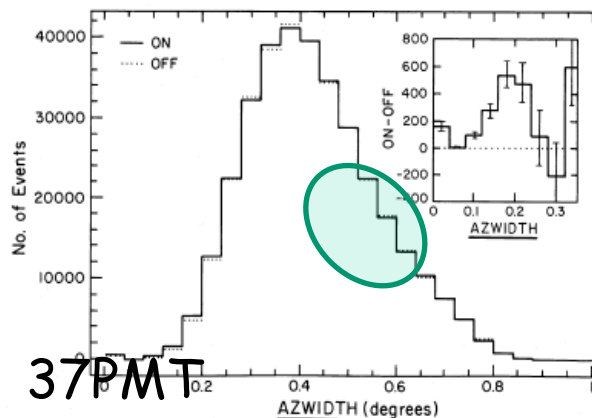
CAT 335GeV

Durham 300GeV?

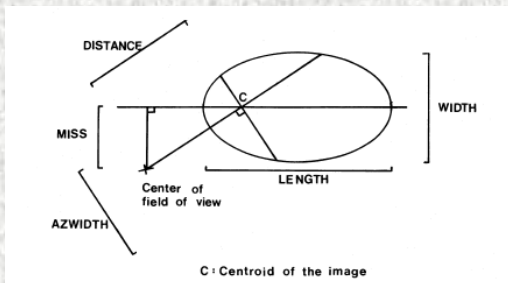
HEGRA 1TeV

CAN-1 2TeV

Whipple Crab 8σ (1989)

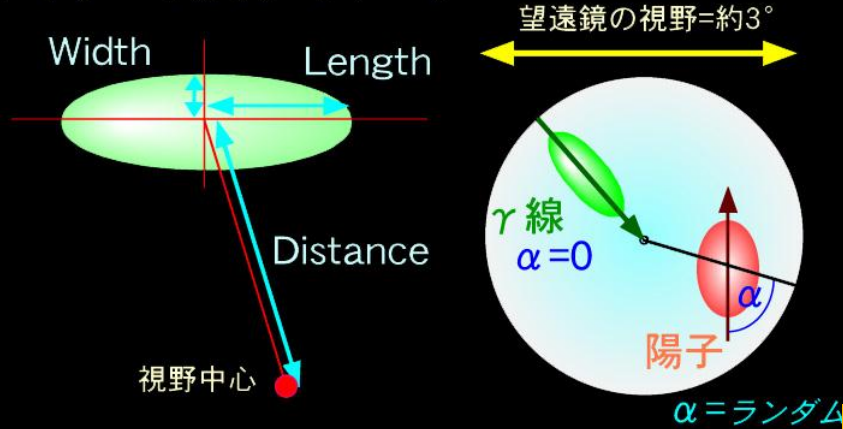


37PMT

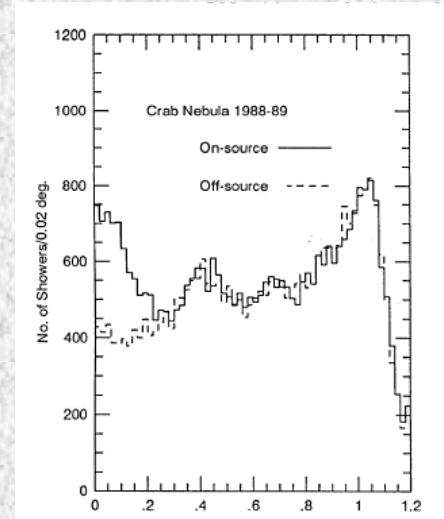
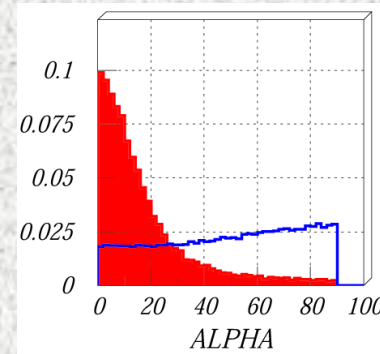


Whipple イメージング法

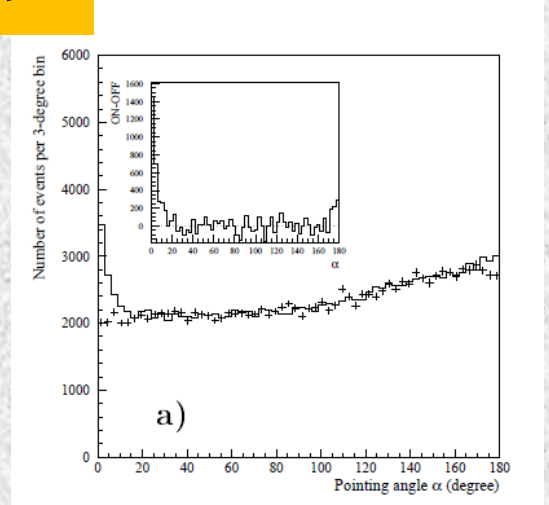
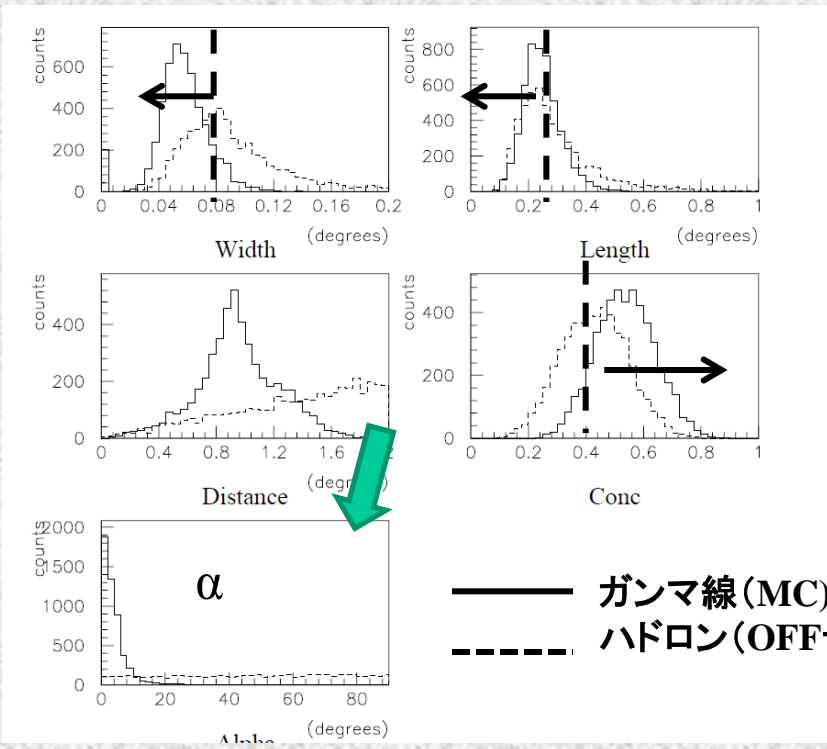
シャワーの形状パラメータ



Whipple 109 PMT
α分布 (Crab 1991)

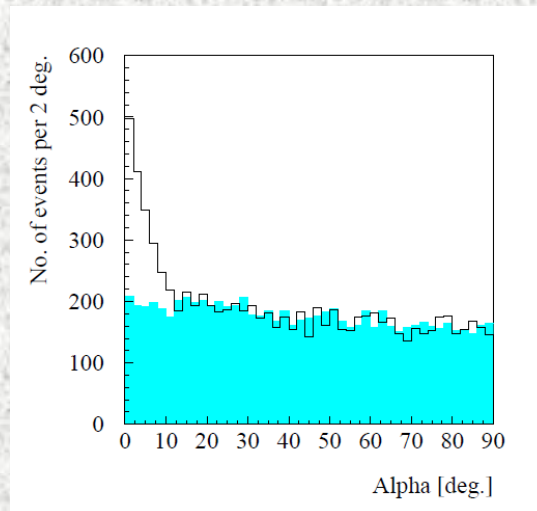
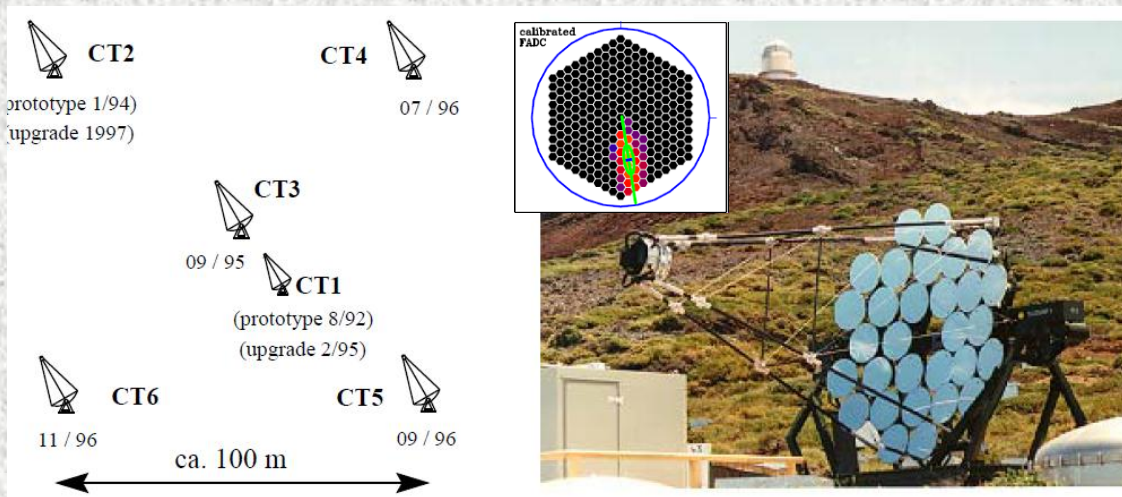


α分布ですらガンマ線信号は大量の雑音の上にある(系統誤差が入りやすい)



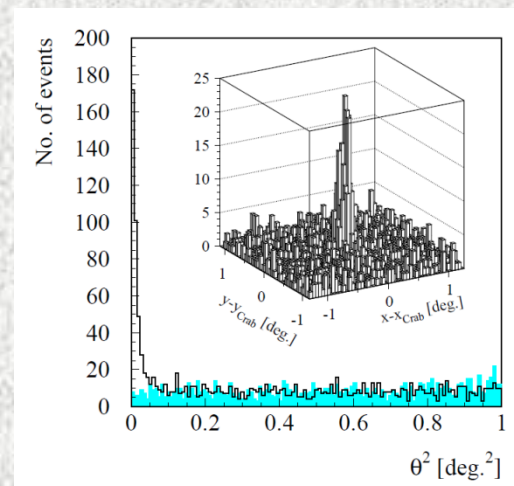
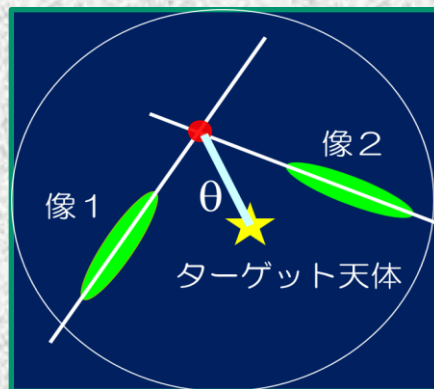
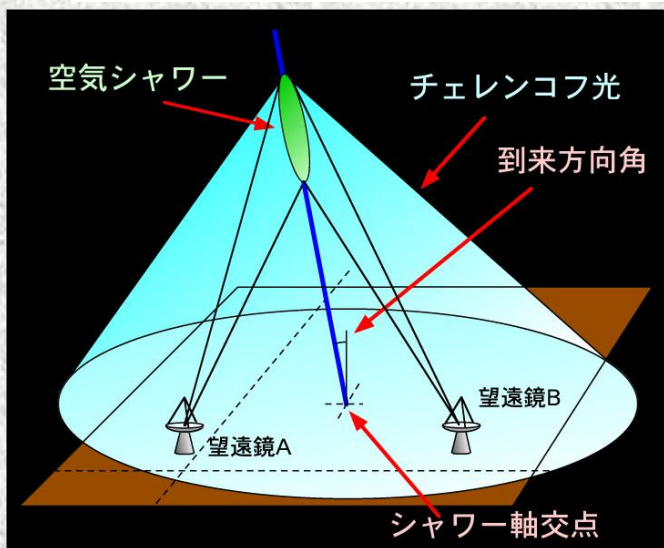
- CAT 方向付きアルファ分布 (0—180度)

ステレオ観測とHEGRA、HESS



CT3 Crab mono

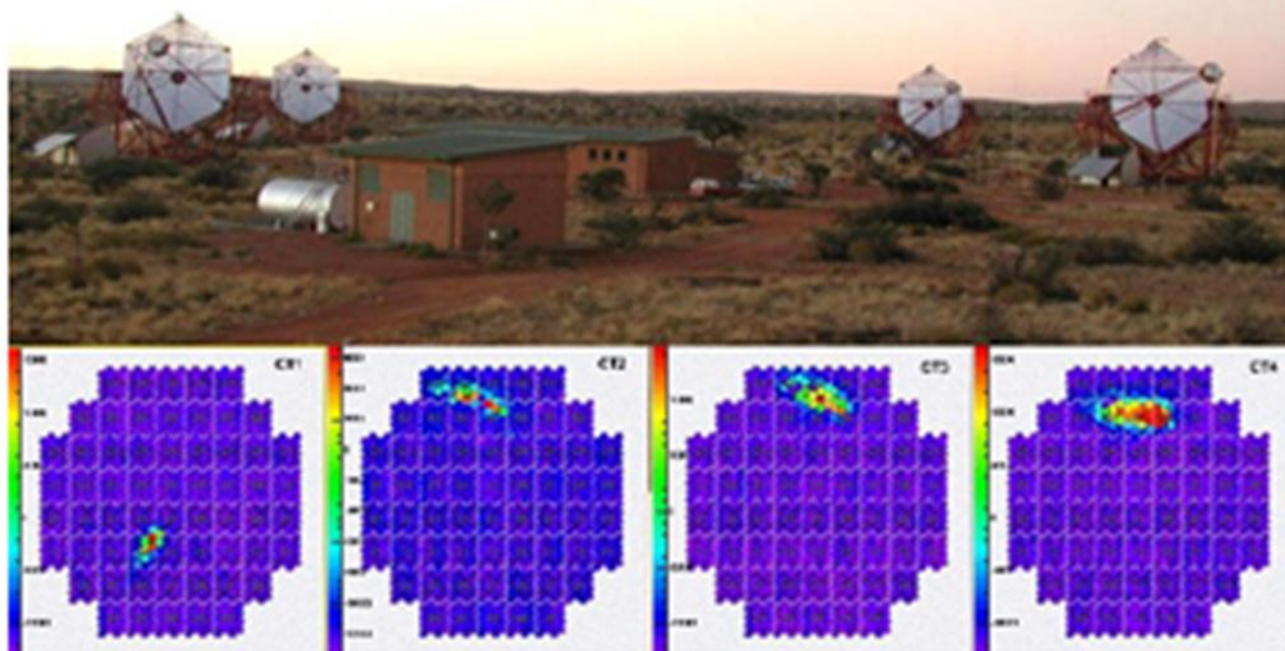
Telescope	mount	mirror[m ²]	field of view[°]	Camera pixels	Pixel size[°]	readout
CT1	equatorial	5.0	3.2	127	0.25	CAMAC
CT2	alt-az	8.5	3.6	61	0.43	CAMAC
CT3-6	alt-az	4 x 8.5	4.3	4 x 271	0.25	VME



Crab stereo

H.E.S.S. completed in Dec.2003

Dec. 10: All four H.E.S.S. telescopes operational !



Four 12m telescopes (2 completed) in Namibia, Africa

Max Planck Inst., Heidelberg, etc.

1900m altitude.

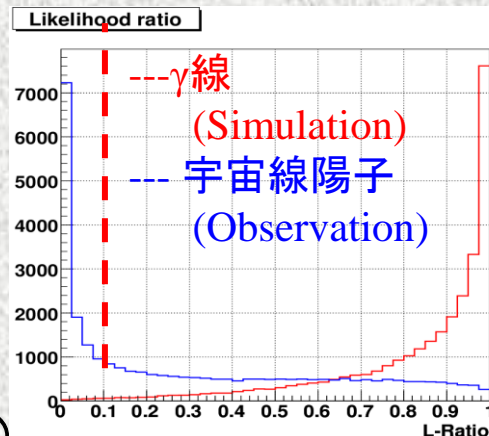
Likelihood & Fisher Discriminant

γ線らしさ Lratio (Likelihood ratio) を用いる

$$Lratio = \frac{PDF(\gamma \text{ 線})}{(PDF(\gamma \text{ 線}) + PDF(\text{陽子}))}$$

PDF: 確率分布関数

Likelihood Ratio の分布



γ線 (シミュレーションデータ)
陽子 (観測データ)

$$PDF(\gamma \text{ 線}) = P(\text{Length})_{T2} \times P(\text{Width})_{T2}$$

$$PDF(\text{陽子}) = P(\text{Length})_{T2} \times P(\text{Width})_{T2} \times \dots$$

Fisher Discriminant

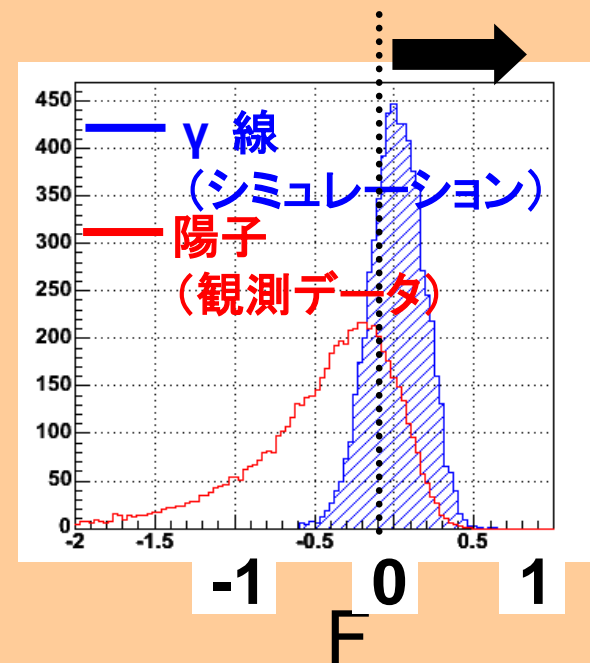
$$F = \sum \lambda_i x_i \quad \bar{x} = \begin{pmatrix} T2W \\ T3W \\ T2L \\ T3L \end{pmatrix}$$

2号機のWidth
3号機のWidth
2号機のLength
3号機のLength

パラメータの線形結合。
γ線、陽子でそれぞれのFで、
分離が最も大きくなる係数λを求める。
λは数学的に求めることができる。

$$\vec{\lambda} = E^{-1} \vec{d}$$

E: エラーマトリックス
d: 各パラメータの平均値のずれ



いずれの方法もパラメーターを1つに出来る。

CANGAROOの開始

主目的

1. シャワー構造のイメージングによるガンマ線検出探求
(ガンマ線と宇宙線分離の効率的分離)
2. 南半球における銀河内天体、特にEGRET およびX線観測に基づく超新星残骸からの銀河内宇宙線起源へのアプローチ

アデレード大 BIGRATとの共同観測 → 将来のステレオ観測へ！

当時 1989 Whipple イメージング研究を公表 Crab 9σ が唯一

問題点； 南半球 Crabが大天頂角、他観測はDurham, Adelaide 複数鏡の方向

	資金	実験スタッフ
・		
・	1991～1995 総合研究A(科研費A相当)	ICRR 1名、東工大、名古屋大、、
・	1996～1998 重点;計画研究A 2.5億円	ICRR 1-2名 東工大、名大、東海、
・	1999～2003 COE(後に特推に変更) 13億円	ICRR 2-4名、京大、東海大3、、
・	1997年から、ICRRの海外観測所と認知された。共同利用の一角を担う分野となった。	

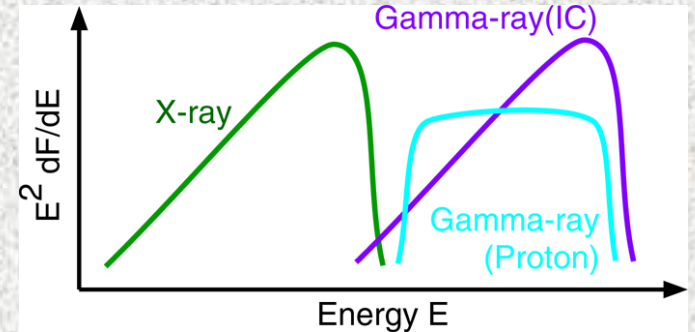
90年代

CAN-I, CAN-IIIは完全に科研費運営で宇宙線分野でも小グループ

CANGAROOが目指したもの

- X線の非熱成分観測天体へ！

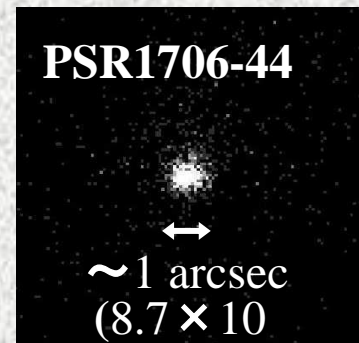
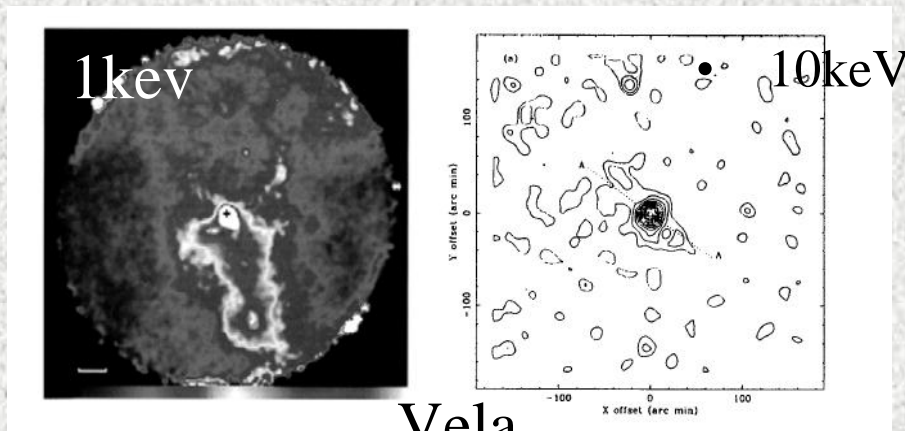
- 電子起源：逆コンプトン過程
→シンクロトロンX線のスペクトルを反映
- 陽子起源： π^0



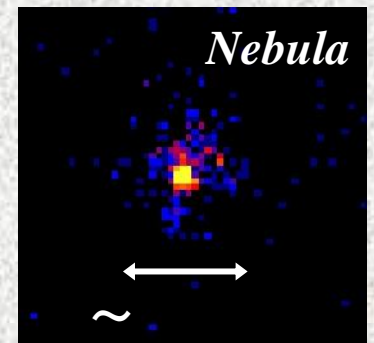
X線、とくに硬X線観測を基に、逆コンプトンTEVガンマ線を目指した。

Pulsar wind Nebula(PWN), SNRの観測に有利な南半球へ、
必然的にDiffuse的な天体観測へ向かったが、、、

- また90年当初：EGRET パルスGeVガンマ線
PWNが良い候補天体 (Vela X PSR1706)。
しかし、硬X線分布より広いとは考えられていなかった。

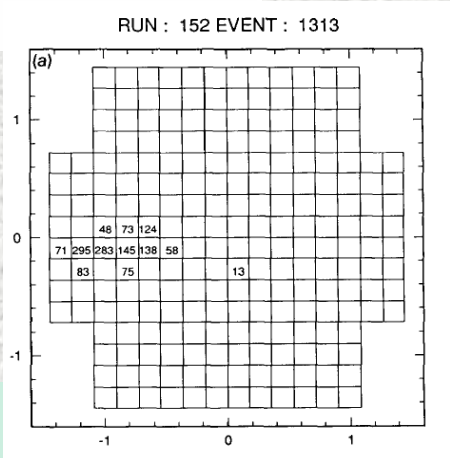
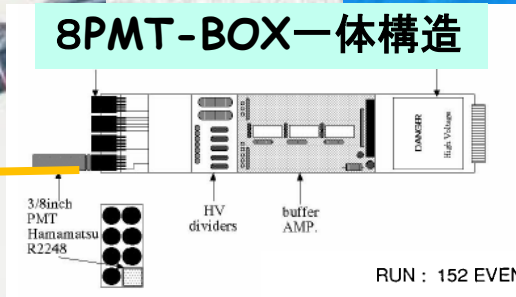
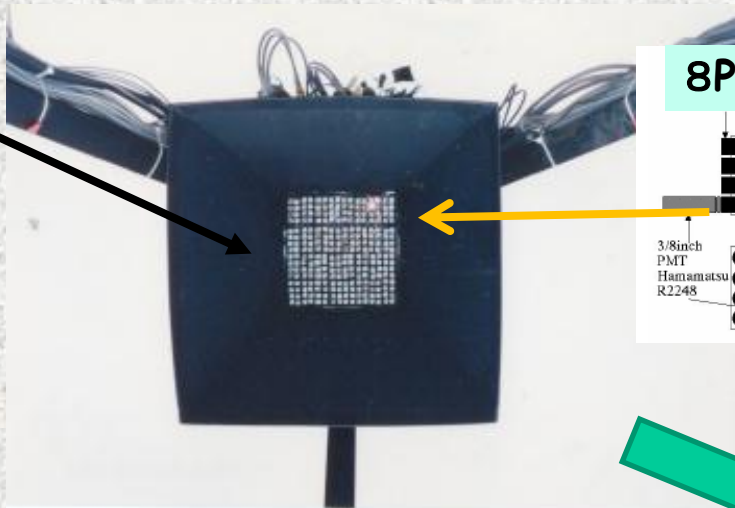


HRC Image
(0.08-10 keV)



ACIS Image
(0.7-9 keV)

Cangaroo-I (1990~1997)



- **天文台の3.8m鏡(1970年代)を、駆動制御を直して再利用！**
- 表面の反射率60% → 50%以下 (面精度は十分高い)
- 16×16=256PMTカメラ (視野3度径: 当時の**最高ピクセルカメラ** 0.12×0.12度)
- 総合研究A、超低予算検出システム。
- エネルギー閾値 1.5TeV → 2TeV → 1.5TeV (96年 鏡蒸着)

Tanimori, T. et al., ApJ 1994

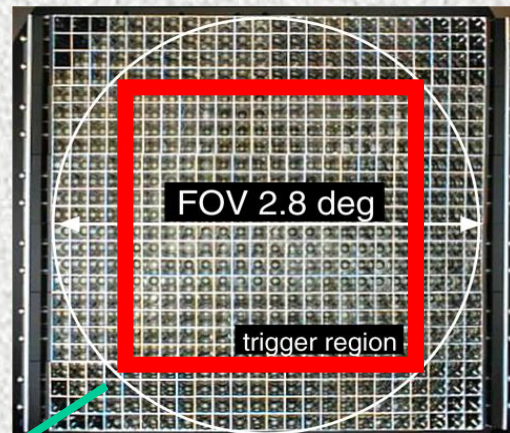
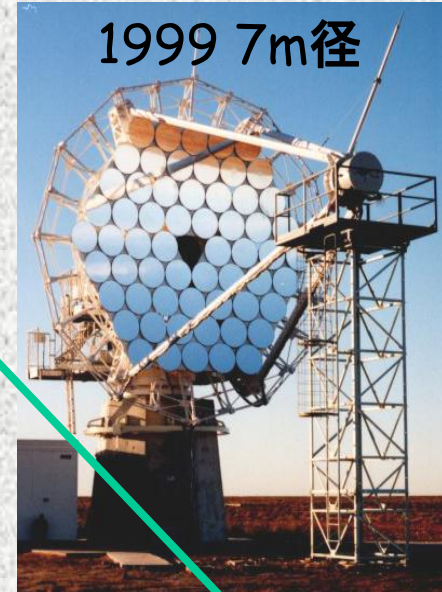
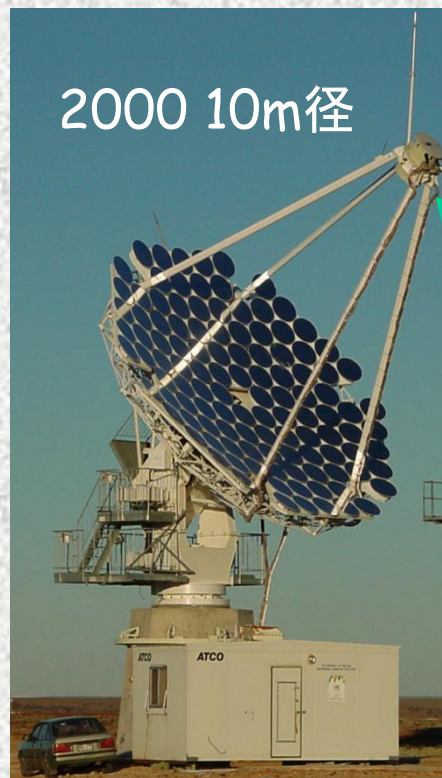
T. TANIMORI,¹ T. TSUKAGOSHI,¹ T. KIFUNE,² P. G. EDWARDS,³ M. FUJIMOTO,⁴ T. HARA,⁵ N. HAYASHIDA,²
Y. MATSUBARA,⁶ Y. MIZUMOTO,⁷ Y. MURAKI,⁶ S. OGIO,¹ J. R. PATTERSON,³ M. D. ROBERTS,³ G. ROWELL,³
T. SUDA,^{7,8} T. TAMURA,² M. TESHIMA,² G. J. THORNTON,³ Y. WATASE,⁹ AND T. YOSHIKOSHI¹

Received 1994 March 1; accepted 1994 April 28

CANGAROO-II 7-10m telescope

- 114 CFRP 80cmφ mirrors

	10m telescope
Focal length	8m Parabola
80cm CFRP mirrors	114 (57m ²) 実質8m鏡
Number of PMTs	552 (1/2") FOV ~ 3° (4°)
Electronics	TDC & ADC
Point image size	0.20° (FWHM)



- 全視野 2.8°
 - 552本の光電子増倍管
 - 1pixel = 0.115° (16mm) 世界で最も高解像度
- PMT: 浜松R4124UV (1/2")
- PMT前面にライトガイド
- 16PMT -> 1 Box 36Box



・ライトガイド

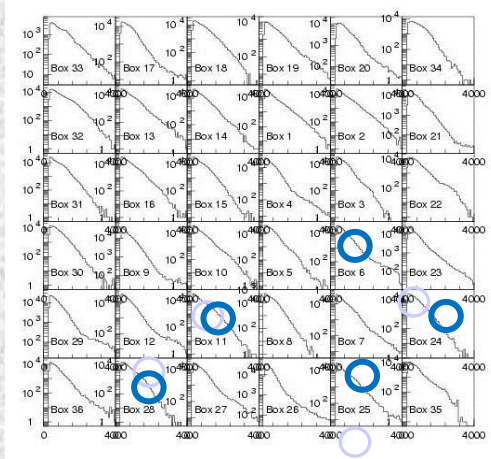
CANGAROO-II開始

- 1996~2000 重点領域「高エネルギー天体」代表：木舟
計画研究A(代表、谷森) 7m鏡(10m径鏡拡張化)+500PMTカメラ
→ 500GeV以下の閾値をねらう。将来10m拡張、200GeV以下の観測
計画研究B(TA.,最高エネルギー宇宙線;代表 手嶋氏)
- 10m望遠鏡建設、(三菱、東芝、NEC等候補),
- 重量数10トン、海外建設 経験のある大手以外、安全補償が無理。
- 三菱が担当、ただし新規製作、5億円以上?
既存のパラボラ設計を転用、パラボラ、焦点のみ変更、それでも製造2億円
さらに設置費が2千万以上(我々が現地手配、人足となった)
- 大きな問題、
 - (1)ガラス鏡では重たすぎる、既存の電波鏡の利用ができない
 - (2)割れた場合の対処、PL法(製造責任法)が足かせ(三菱が最高に重視)
→ 三菱から提案の小型CFRP鏡開発に向かう。

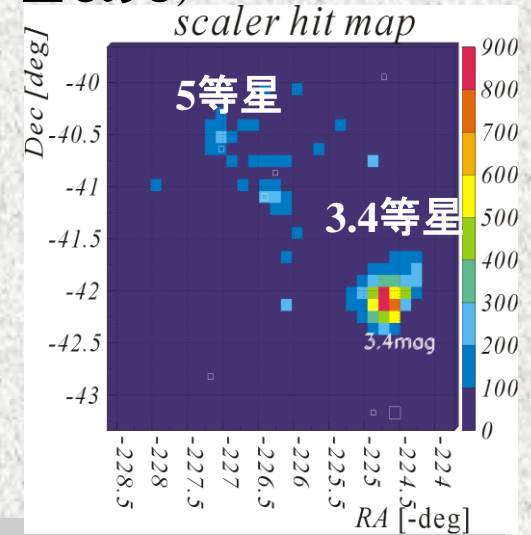
CAN-I,II BOX構造カメラの問題

ADC distributions for each BOX Hot pixel list

星の影響 (SN1006: 外に2等星もある)



329	321	517	517	209	205	201	257	285	281	277	273	301	297	293	289	317	313	309	305	341	537	533	529
520	522	518	514	210	206	202	258	286	282	278	274	302	298	294	290	318	314	310	306	342	538	534	530
527	524	519	515	211	207	203	259	287	283	279	275	303	299	295	291	319	315	311	307	343	539	535	531
534	530	524	519	212	208	204	260	288	284	280	276	304	300	296	292	320	316	312	308	344	540	536	532
509	505	501	497	205	201	197	193	221	217	213	209	13	9	5	1	29	25	21	17	333	329	325	321
510	506	502	498	206	202	198	194	222	218	214	210	14	10	6	2	30	26	22	18	334	330	326	322
511	507	503	499	207	203	199	195	223	219	215	211	15	11	7	3	31	27	23	19	335	331	327	323
512	508	504	500	208	204	200	196	224	220	216	212	16	12	8	4	32	28	24	20	336	332	328	324
483	489	493	481	233	249	245	241	237	233	229	225	61	57	53	49	45	41	37	33	349	345	341	337
494	490	486	482	234	250	246	242	238	234	230	226	62	58	54	50	46	42	38	34	350	346	342	338
495	491	487	483	235	251	247	243	239	235	231	227	63	59	55	51	47	43	39	35	351	347	343	339
496	492	488	484	236	252	248	244	240	236	232	228	64	60	56	52	48	44	40	36	352	348	344	340
477	473	469	465	141	137	133	129	157	153	149	145	77	73	69	65	93	89	85	81	365	361	357	353
478	474	470	466	142	138	134	130	158	154	150	146	78	74	70	66	94	90	86	82	366	362	358	354
479	475	471	467	143	139	135	131	159	155	151	147	79	75	71	67	95	91	87	83	367	363	359	355
480	476	472	468	144	140	136	132	160	156	152	148	80	76	72	68	96	92	88	84	368	364	360	356
301	457	453	449	189	185	181	177	173	169	165	161	125	121	117	113	109	105	101	97	281	277	273	269
463	459	454	450	190	186	182	178	174	170	166	162	126	122	118	114	110	106	102	98	282	278	274	270
464	460	455	451	191	187	183	179	175	171	167	163	127	123	119	115	111	107	103	99	283	279	275	271
464	460	456	452	192	188	184	180	176	172	168	164	128	124	120	116	112	108	104	100	284	280	276	272
374	569	565	561	446	441	437	433	429	425	421	417	345	341	337	333	329	325	321	317	295	291	287	283
374	570	566	562	446	442	438	434	430	426	422	418	346	342	338	334	330	326	322	318	296	292	288	284
375	571	567	563	447	443	439	435	431	427	423	419	347	343	339	335	331	327	323	319	297	293	289	285
376	572	568	564	448	444	440	436	432	428	424	420	348	344	340	336	332	328	324	320	298	294	290	286



問題点

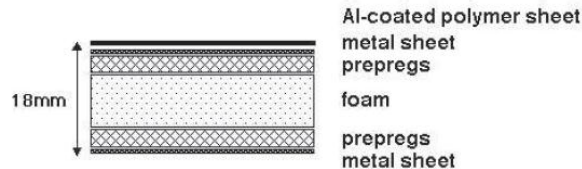
- CAN-I : 経費からBOXを採用、星の影響、HV-OFF出来ない。
総額5千万程度(望遠鏡の移設含む) カメラ、
この費用で普通に作れば32PMTカメラ(8Whippleと同じカメラ)、しかし鏡面積Whippleの1/10以下、
=> PMT 256本(当時世界最高) ADC,TDCをすべてのPMTに装備!
- CAN-II,III : ADC内部に100ns小型遅延線(トリガー待ちのため)パルスがなまり、100nsゲートが必要 => 夜光の寄与が大きい

Mirror

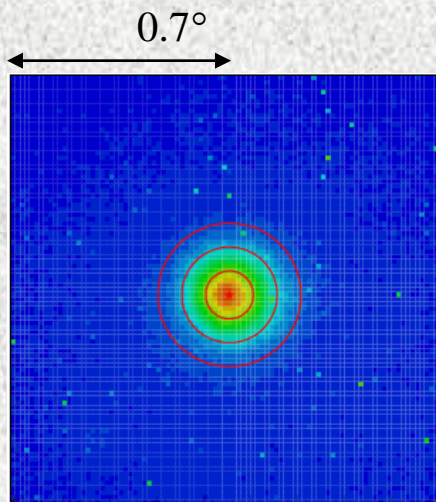
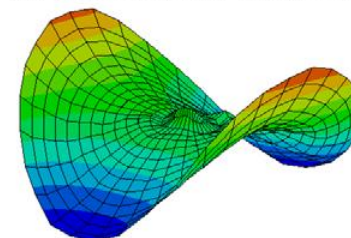
炭素強化プラスチック製
(CFRP)のちにガラス強化プラ
重量6kg(ガラス製の1/5)



Kawachi et al. Astropart, 2001



Serial#: F484 R=16475mm def R.M.S.=0.068mm



Point Spread Function
(FWHM)

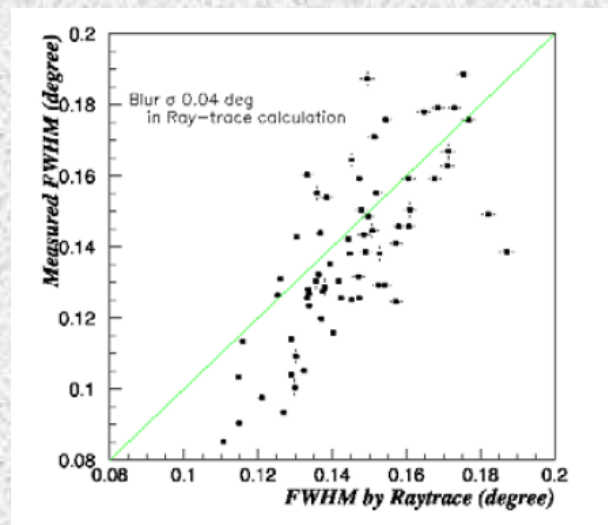
T1: 0.20°

T2: 0.21°

T3: 0.14°

T4: 0.16°

T1: CFRP, T2-T4 GFRP



当初予定値 0.1度以下(半値) その倍以上悪い。<=面精度が十分えられなかった。

整形型から離すときに出来る変形のばらつきが完全にコントロールできない。

T1->T4へは徐々に改善したが、

エネルギー閾値 天頂付近で予定 ~0.1TeV =>0.5~0.7TeV 3倍ぐらい悪い

CAN-I, II results: summary

CAN-I(1992-1997)

	Signal	Publish	H.E.S.S
□ SNR/Pulsar Crab	○	ApJL'94	○
□ SNR SN1006	○	ApJL'98	↓→○
□ SNR RX J1713.7-3946	○	A&AL'00	○
□ SNR W28	↓	A&A'00	
□ PSR 1706-44	○	ApJL'95	↓→○
□ Vela	○	ApJL'97	↓→○
□ PSR 1509-58	△	ApJ'00	○
□ PSR 1055-52	↓	(Ph.D.'97)	
□ AGNs: PKS0521-365, EXO0423.4-0840, PKS2005-489, PKS2316-423			
↓ A&A'98			
□ Blazars: PKS0548-322, PKS2005-489 and PKS2155-30		↓ A&A'99	
□ Radio galaxy Cen A	↓		(Proc.'99)

CAN-II(1997-2003)

Signal: ○ detected, ↓ upper limit, △ marginal

• SNR RX J1713.7-3946	○	Nature'02
• Blazar Mrk421	○	ApJL'02
• Starburst galaxy NGC253	○ → ↓	A&AL'03->Erratum
• SNR SN1987A	↓	ApJL'03
• Galactic Center	○	ApJL'04
• Pulsar binary PSR 1259-63/SS2883	↓	ApJ'04
• SNR RX J0852.0-4622 (Vela Jr.)	○	ApJL'05

2000年TeV天体 & 2011年南天Diffuse天体

- 2000年以前、確立した天体はCrabとBlazar 421, 501のみ、すべて1Crab以上、
- 他は北半球は点源でもGrade C
- 北にはWhipple, CAT, HEGRAがあり単大型鏡とステレオ装置が共にあった。
- 南半球はCAN-I, II単鏡のみ、しかも結果的にはDiffuse天体ばかりを観測していた。
- 南天での定常点源天体は0.3Crab以下しかなく、大半がUn-IDである。

2000年TeV天体表

Class	Objects	Observed Group
Grade A ($>5\sigma$, multiple)	Crab PSR1706-44	Many CANGAROO, Durham
	Mrk421 Mrk501	Many Many
Grade B ($>5\sigma$)	SN1006 Vela RXJ1713.7-3946	CANGAROO CANGAROO CANGAROO
	PKS2155-304 1ES1959+650 BL Lac	Durham Utah7TA Crimea
Grade C	Cas A Cen X-3 1ES2344+514 3C66A Geminga B1509-58	HEGRA CT Durham Whipple Crimea Crimea CANGAROO

Hessの主なDiffuse天体

	Size (TeV Cat)
PSR B1706-44, G343.1-2.3 (HESS J1708-443)	0.29° x 0.29°
Vela X	0.48° x 0.36°
SN 1006	0.5° x 0.5°
RX J1713.7-3946	0.65° x 0.65°
PSR B1509-58, MSH 15-52	0.11° x 0.04°
RX J0852.0-4622	1.00° x 1.00°
RCW 86	0.45° x 0.45°

HESS Galactic Source List(南天)

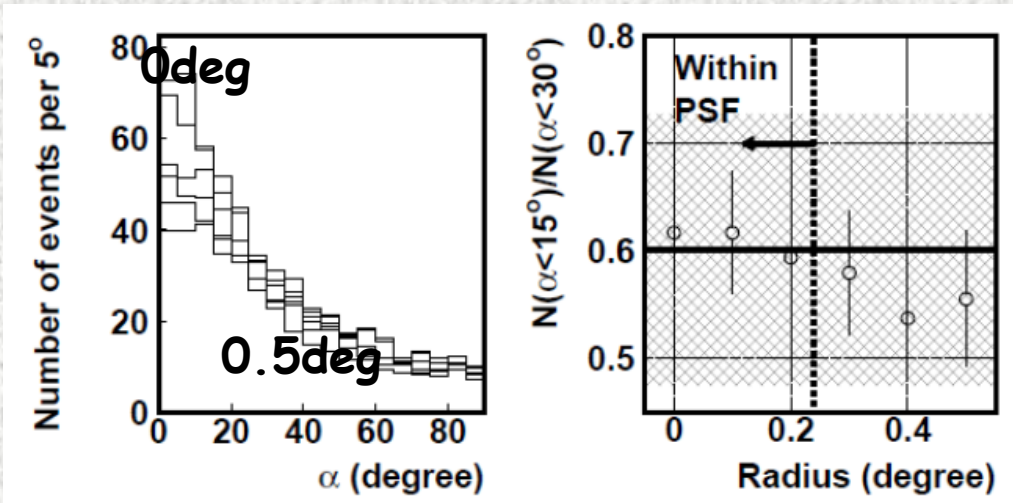
Name	Counterpart or other name(s)	Flux (max) [C.U.]	Radius [arc min]	TeVCat Type	H.E.S.S.	CANGAROO-III	CANGAROO-II	CANGAROO-I
HESS J0852-463	RX J0852.0-4622 (Vela Junior)	1.000	60.0	Shell SNR	2005, 2007	CAN-III(2006)	CAN-II(2005)	
HESS J0534+220	Crab Nebula	1.000	0.0	PWN	2006			CAN-I(1998)
HESS J0835-455	Vela X	0.750	26.0	PWN	2006	CAN-III(2006)		
HESS J1713-397	RX J1713.7-3946, G347.3-0.5	0.660	15.0	Shell SNR	2004, 2006, 2007		CAN-II(2002)	CAN-I(2000)
HESS J1614-518		0.250	12.0	Massive Star Cluster	2005, 2006	CAN-III(2011)		
HESS J1804-216	G8.7-0.1 / W30 ?; PSR J1803-2137 ?	0.250	12.0	unID	2005, 2006	CAN-III(2008)		
HESS J1702-420		0.240	18.0	unID	2006, 2008			
HESS J1616-508	PSR J1617-5055 ?	0.190	8.2	PWN	2005, 2006			
HESS J1908+063	MGRO J1908+06; GeV J1907+0557 / GRO J1908+0556 ?	0.170	20.4	unID	2009			
HESS J1708-443	PSR B1706-44 ?; SNR G343.1-1.3 ?	0.170	17.0	PWN	2011	CAN-III(2009)		
HESS J1303-631	PSR J1301-6305	0.170	9.6	PWN	2005			
HESS J1825-137	PSR J1826-1334; 3EG J1826-1302 ?	0.170	9.6	PWN	2005, 2006			
HESS J1731-347		0.160	10.8	Shell SNR	2008			
HESS J1857+026		0.160	6.6	unID	2008			
HESS J1514-591	MSH 15-52	0.150	6.0	PWN	2005	CAN-III(2008)		marginal (4.1 sigma) CAN-I(2000)

- CANGAROOの当初の方向性による観測ターゲットは結果として大半が強いガンマ線天体であり、方向性は正しかった。
- 2004年当時HESSはRSJ1713以外ではCrab, PKS2155, MRK421と強い点源、他はPSR1259と近傍のUn-IDと0.2Crab程度の弱い点源状天体を発表し、その間の天体は検出できなかった。

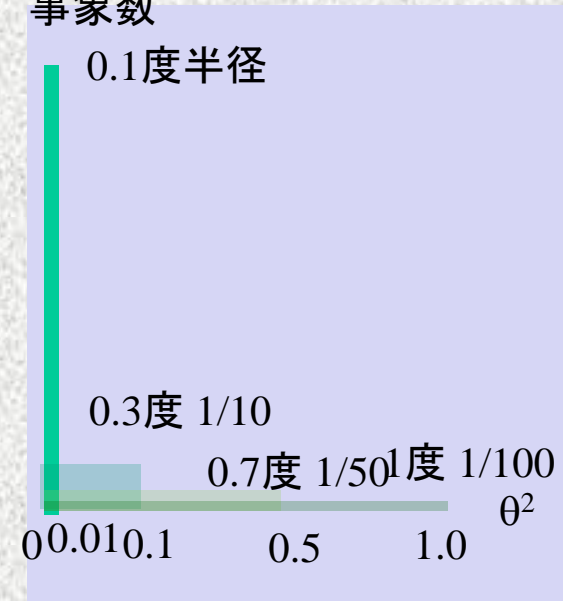
Diffuse天体のCherenkov 観測

- CANGAROO :最初から広がった天体を目指した、ただPWNなどは0.3程度以下であると考えていた。
- 我々以外に広がったTeVガンマ線はHESSのRXJ1713(2004)まで観測が無い！

α 分布 CAN-II Simulation



θ^2 プロットでの同強度天体の広がり依存
事象数



PSF(σ) Can-I 0.18度、II ~0.3度($\alpha < 20$ 度)

HESS PSF 0.08度

単鏡による α 分布、直径0.8度の天体でも点源との差は小さい、つまりサイズが不明だが検出される。

ステレオ観測 \rightarrow 0.3度程度の広がり: θ^2 分布で高感度！ しかし、0.5度以上の天体、 θ^2 分布では検出にはかなりの注意が必要！（高統計が必要）
Vela, SN1006, PSR1706-44見過ごす可能性がある！

Background の評価法

- Single Telescope -> Chopping (20分程度で ON-OFFの交換)が多数
- CANGAROO, Long On- Off(数時間程度の交換)

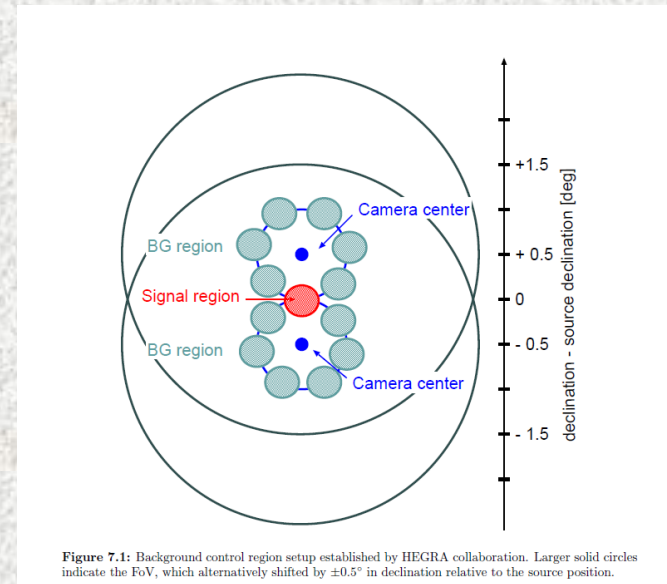
同じdeclinationで、同じRight Ascensionを数時間分ずらした領域、Choppingの倍の測定時間可能

- Stereo Wobble

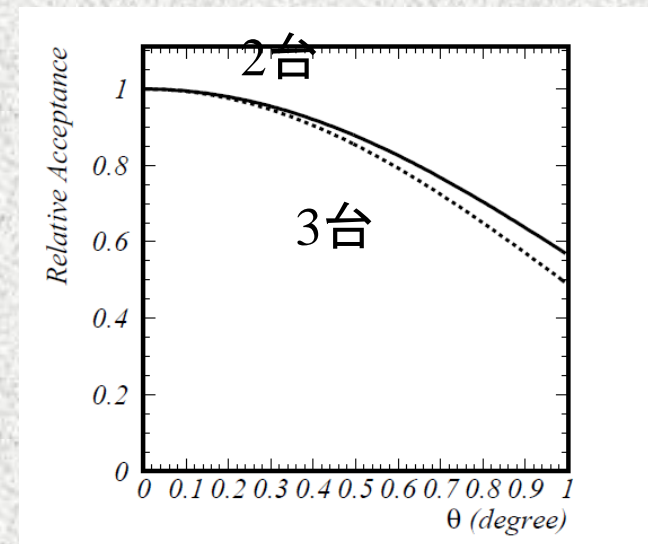
ただし0.5度以上広がっているとBG領域がかぶる。

- さらに Wobble on-off 法 広がった天体用 Wobbleをアクセプタンスを一様にするのに使用、別途OFFを取る。

時間が倍、しかし1度程度まで広がった天体がとれる。



Wobble法のアクセプタンス



Calibration (Crab観測、フラックス誤差)

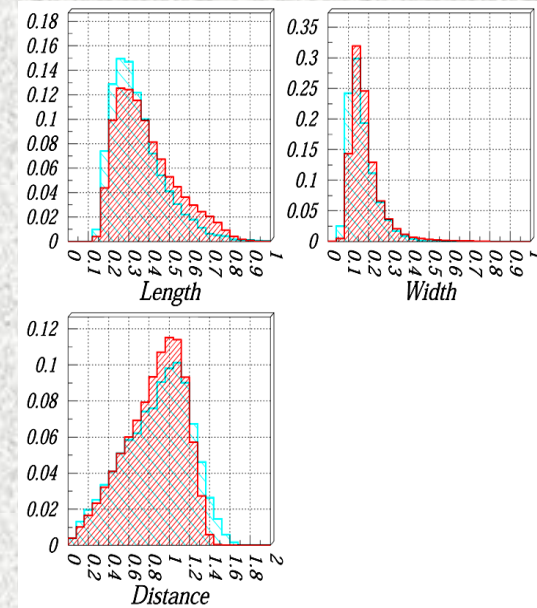
- 標準ガンマ線天体 Crab (point source & Steady)
 - 北半球 $F(>500\text{GeV})$ 1600ph/50hrs
 - 南半球 **Large zenith Detection** ->有効面積、エネルギー閾値が3-4倍
 $F(>7\text{TeV})$ 80ph/50hrs $F(>500\text{GeV})$ 6000ph/50hrs (HESS)
- Cangaoo-I 7-5 TeV, CangarooII-III 2.5TeV 400ph/50hs

ガンマ線のImaging Parameter 分布や、数10%以内のフラックス誤差
->1000ph以上が必要！。

これから広がった天体では単鏡の場合、同数以上のガンマ線がないと確実な解析は困難であることが今はわかる。

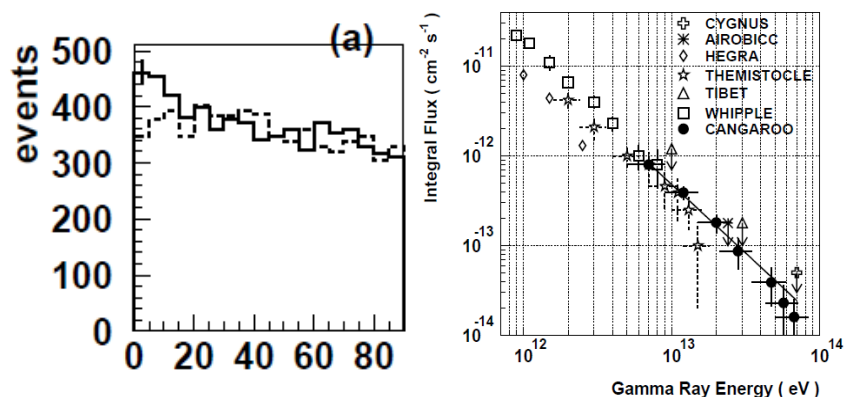
HESS以前、CANGAROOのみ南半球でCRABを観測。
CANGAROO-III 2005で初めて上記に近い観測が可能。
それ以前、ハドロン事象分布(陽子線のみ考慮)でチェック、MCが狭くなる。

赤: OFF-source
青: 陽子simulation



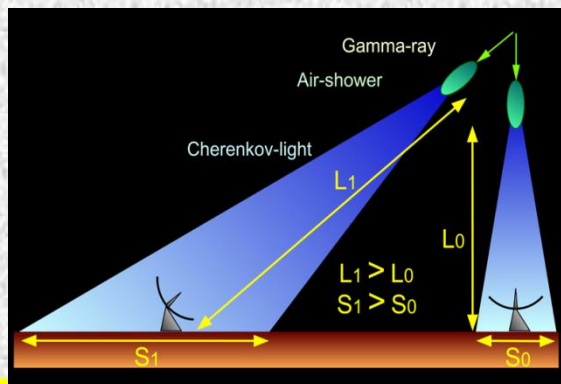
CAN-I, III Crabによる校正

3.8m Tel. > 7TeV 1997 ~200_v 62hrs



Tanimori, T. et al., ApJ 1997

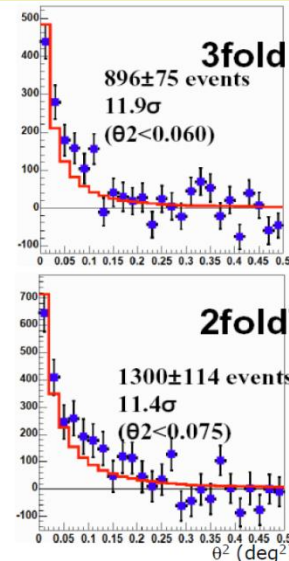
LZA法での世界初の有意な検出



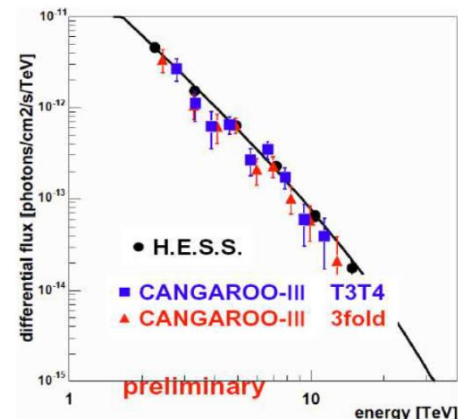
- 解析法の校正・改良に時間がかかる。系統誤差が大きい、やっとガンマ線イメージングパラメータ校正が出来た。
- しかしCAN-III エネルギー閾値 2TeV 天頂角では500GeV程度となる。

Crab nebula

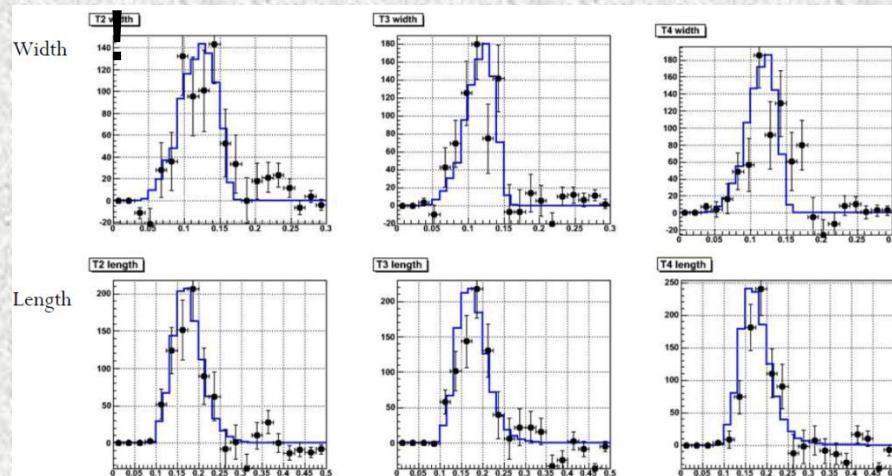
CAN-III 京大 D論 2008



- 2005 Nov/Dec
- Large zenith angle (>55deg)
- 40hr (wobble)



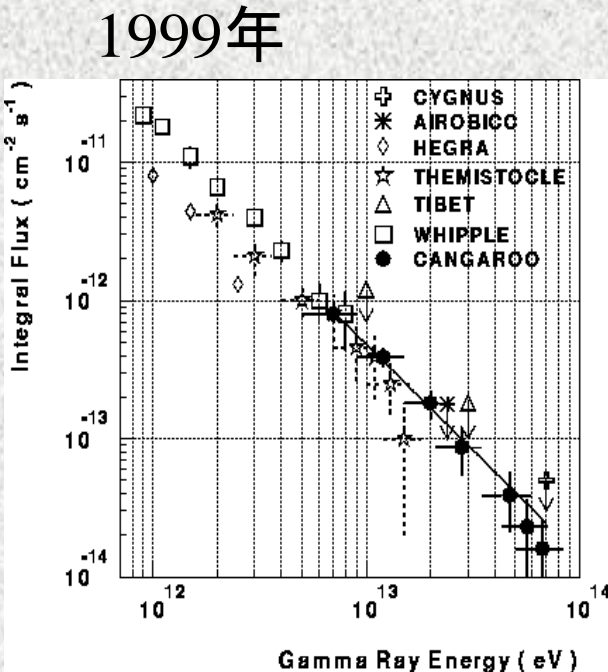
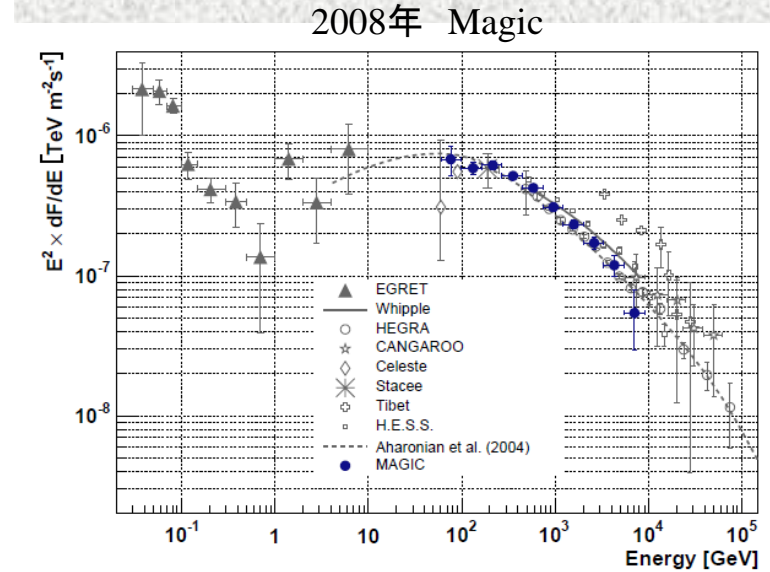
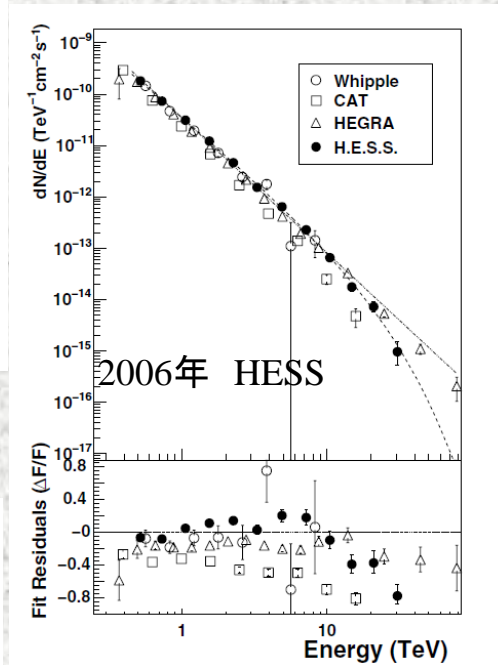
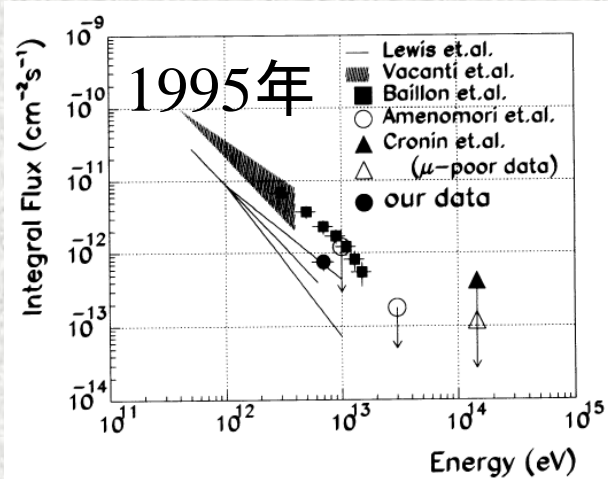
- 1000事象でも不十分



Data (γ-like, Crab): points, histogram: γ MC

Fluxの絶対値

- Crab 最も安定した強放射天体。 1995年 5倍程度、2000年でも3倍程度のフラックスの不定性があった。現在のステレオでも

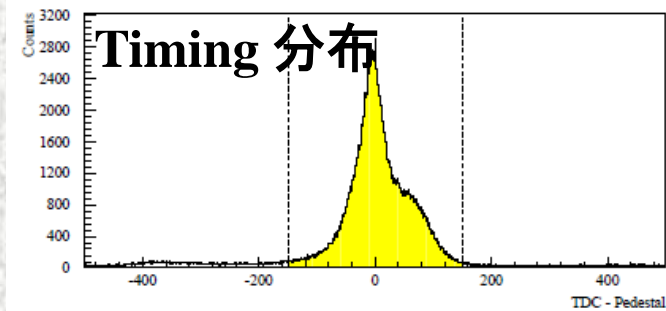
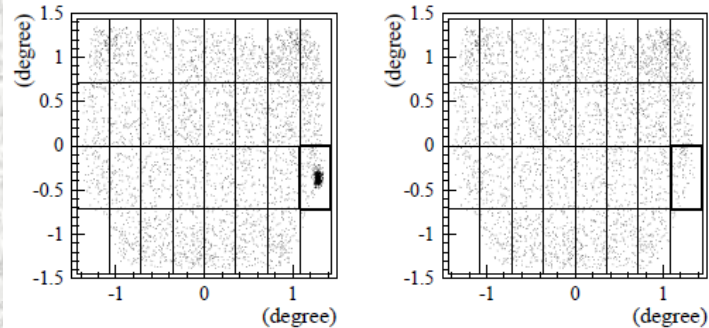


現在もCrabですら数10%の誤差がある、Diffuse、弱天体ではさらに困難。追観測が重要→南半球でCAN-IIIが行ってきた。

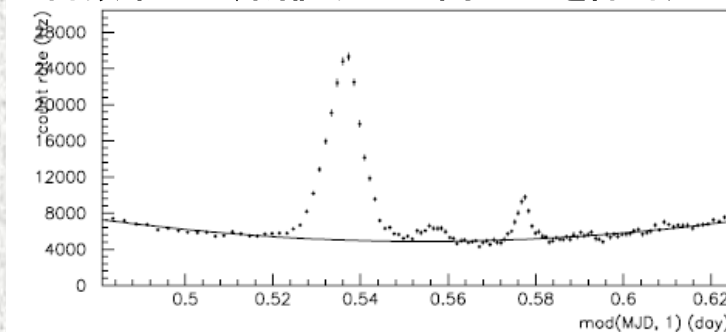
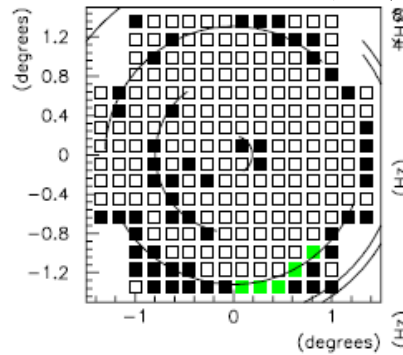
フラックスの絶対値測定 CTAの重要な要素

CAN-I.II 解析法

- 90年代初め、イメージング解析は他にWHIPPLEのみ、解析法を独自に探査！
- ペDESTAL補正(夜光の影響があり、系統誤差を生みやすい)
- 夜光をTIMINGでカット、(TDCの利用)
- 電気ノイズカット(ケーブルへのノイズ)BOX単位で不定期に乗る。
自動で行ったが最終的には人間の目で小さいものは落とした
- 星のカット(PMTの計数率から、PMTを除外、PMT毎のカウンターが有効)
- イメージング解析、イメージパラメータカット(多変数カット)→単変数カットによるLikelihood法へ(1997年以後2つを用いた)



星のカット(PMTの計数率から、閾値以上の間PMTを除外)



CAN-I,II解析の問題点

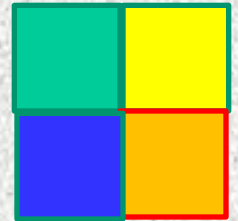
1. 電気ノイズ (BOXカット) 等の除去法が解析全体に統一がなく、大きな系統誤差を結果として生じた。
2. BOX共通HVのため、星が入ったPMTをOFFに出来ない、
3. 解析ソフトが当初機関で独立であり、且つ、別々の天体を解析、相互チェックが無かった。
4. MCがCrabで定量的に評価できない。イメージカット領域を点源MCの値で厳しくするか、銀河面光の影響、Diffuseの可能性を入れてMCより根拠なく広くとるなどロバストな手法が確立出来なかった。

⇒ 解析ごとにイメージカットがわかり、1と併せて大きな系統誤差を生んだ。



但し、グループとしてすべての解析に以下を要求、チェックした。

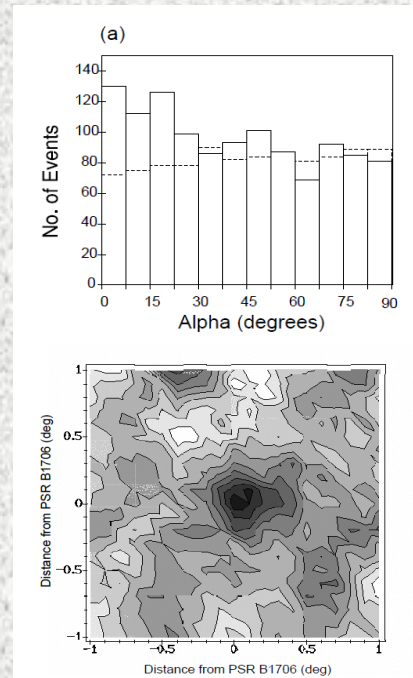
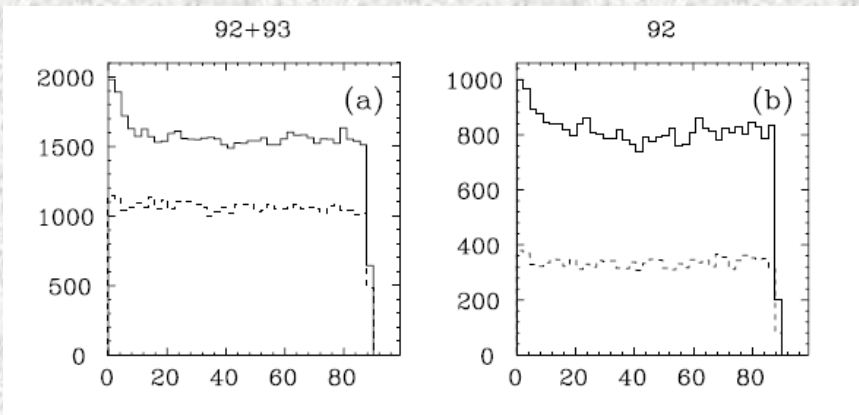
1. カメラ面を分割し、どの面にもガンマ線事象が分布している。 →
2. エネルギー分割、どの範囲にもガンマ線事象が分布している。
3. 複数年観測さらに月単位での信号の確認、
4. 信号量のカットパラメータ依存が小さい、
5. 1997年から解析ソフトの統一 (独立性が無くなったが、、、)
6. 1998年からはLikelihood法とCUT法の2つの方法で確認



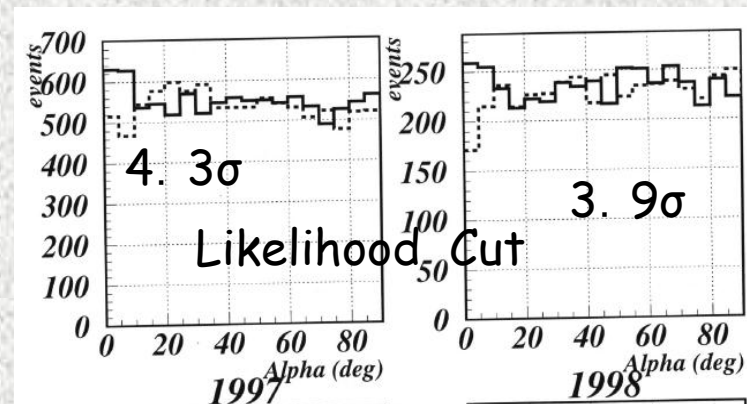
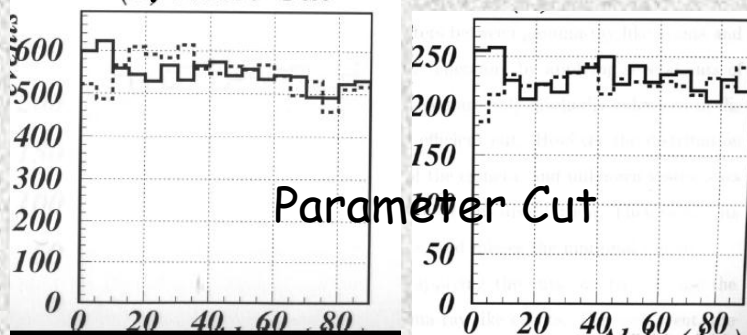
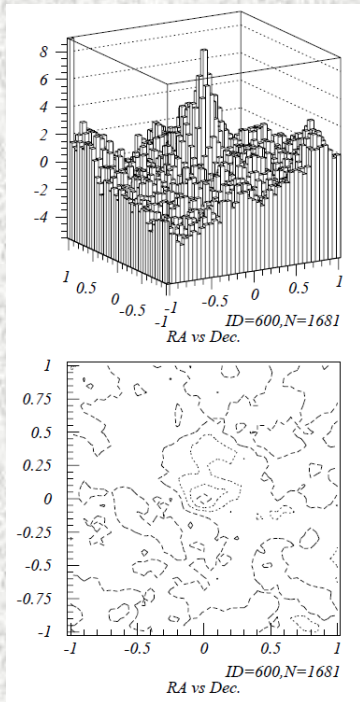
PSR1706-44 CAN-I

パルサー、EGRET天体として注目した！

Durham 98 5.9σ



CAN-I 7σ 5σ Kifune et al ApJ.L 1995

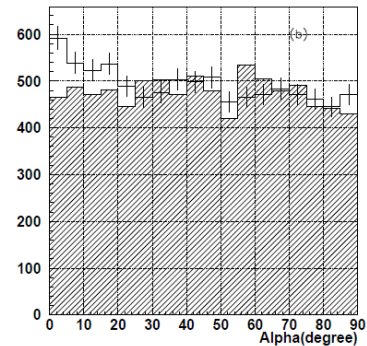
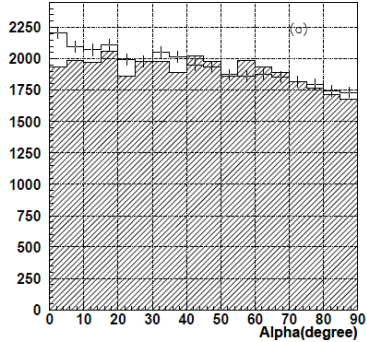


東工大D論 1999

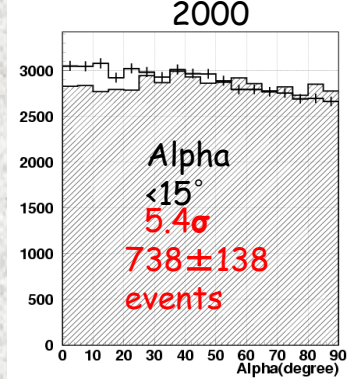
CAN-II PSR1706

- CAN-II Cut とLikelihoodで広がった感じのピークがでる。

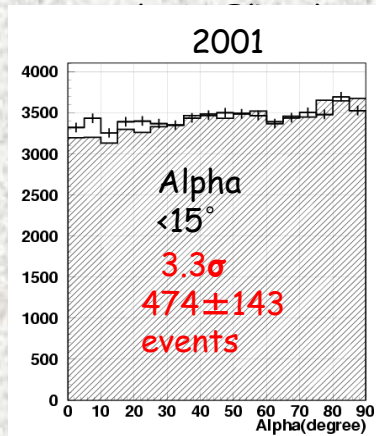
Image Parameter Cut
(Multi parameter)



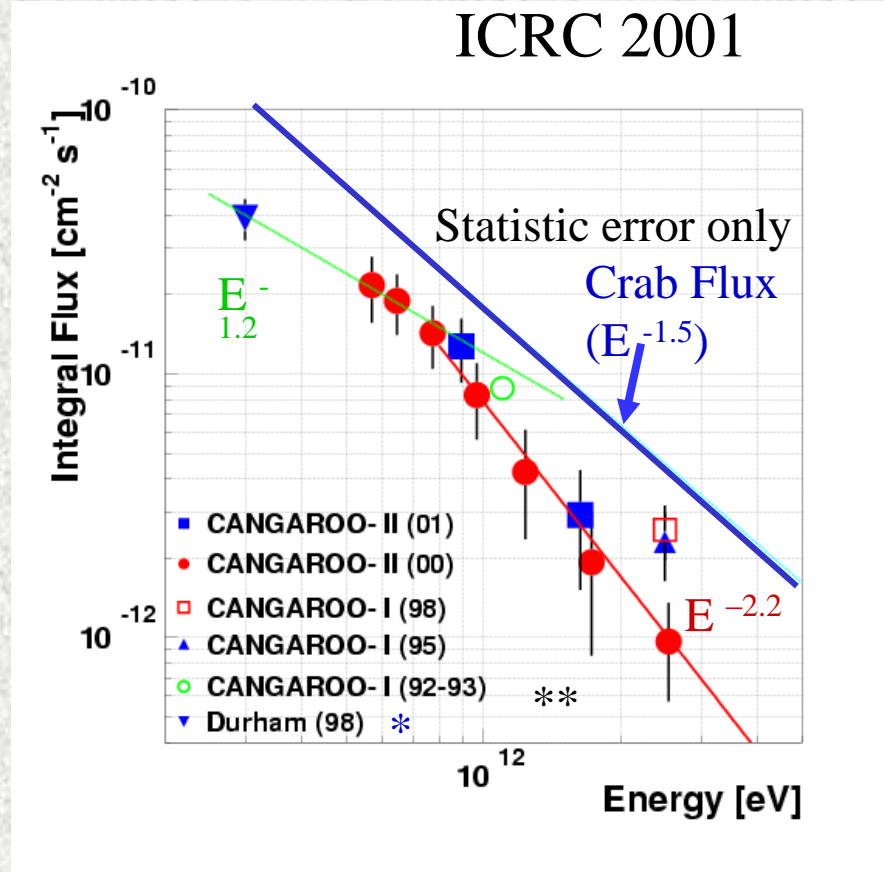
Likelihood cut(one parameter)



4000 < ADCSUM < 25000



4000 < ADCSUM < 25000
(0.55 < E(TeV) < 2.8)



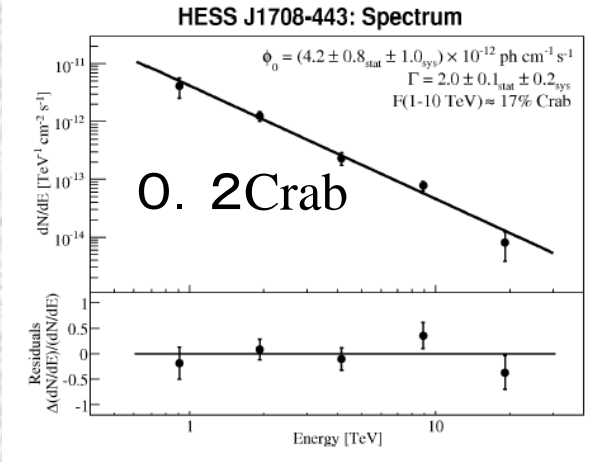
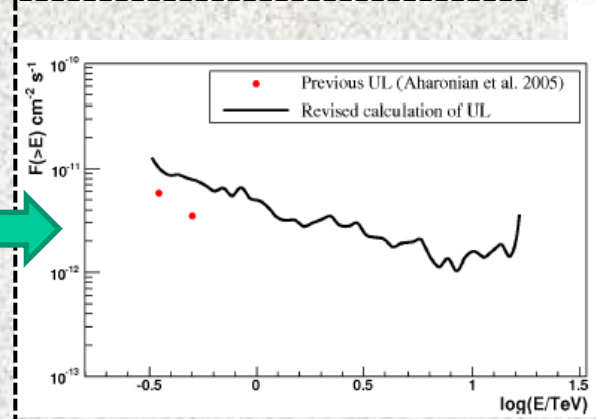
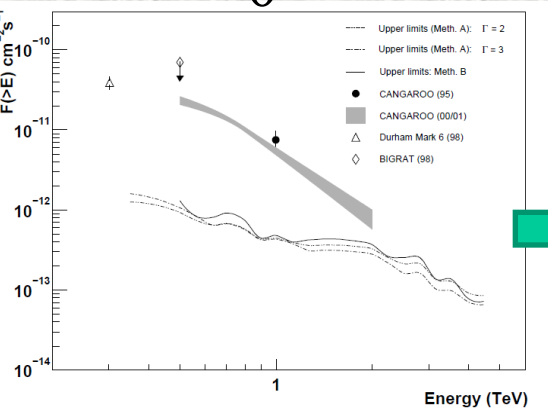
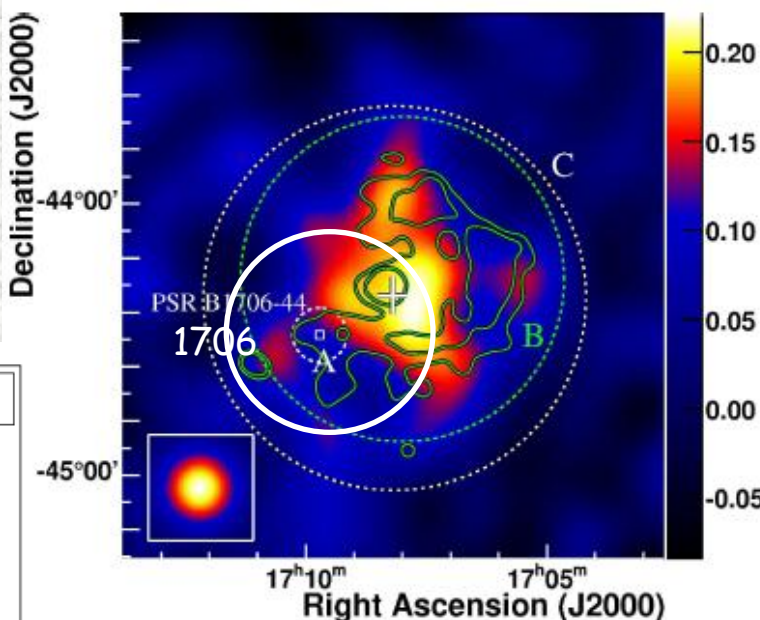
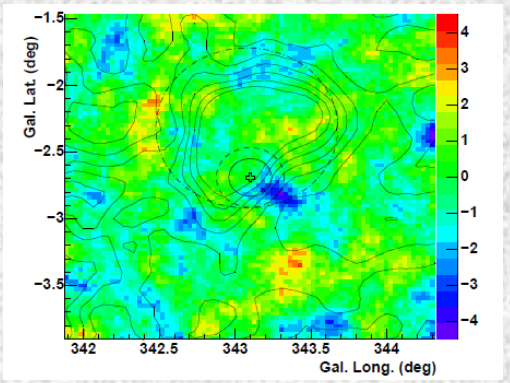
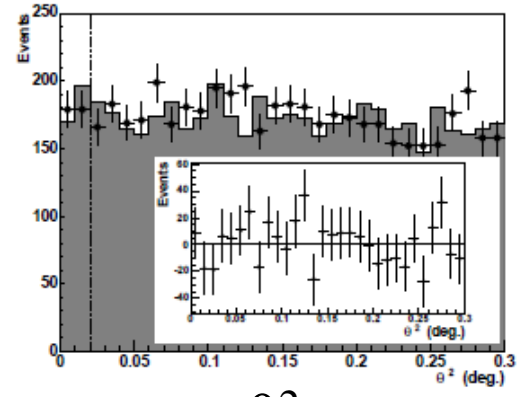
東工大D論 2002

CAN-I 93年に鋭いピークが出るが、
それ以後、CAN-I CAN-IIは独立の4年のデータに対してcut, Likelihoodでアルファ20度ちょっとに広がるピークが小さいながらいつも観測された。

HESS PSR1706-44

HESS 2005

2011
0.3度ずれたところに
 $\sigma \sim 0.3$ 度の広がりを報告



パルサーでの上限値

観測はWobble法
但し、OFFを
RXJ0852の
OFFに規格化

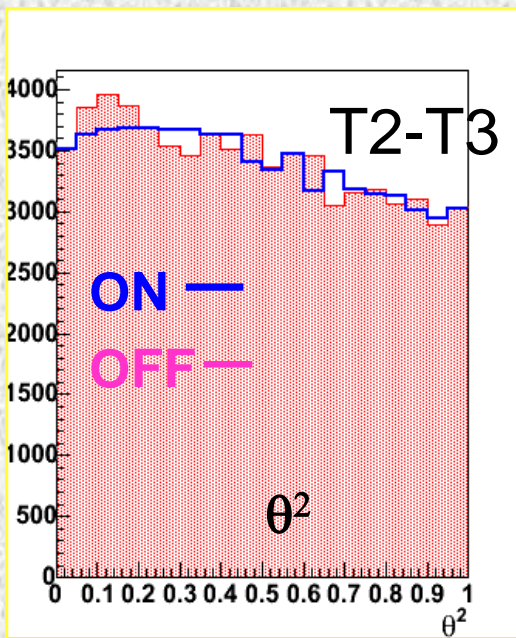
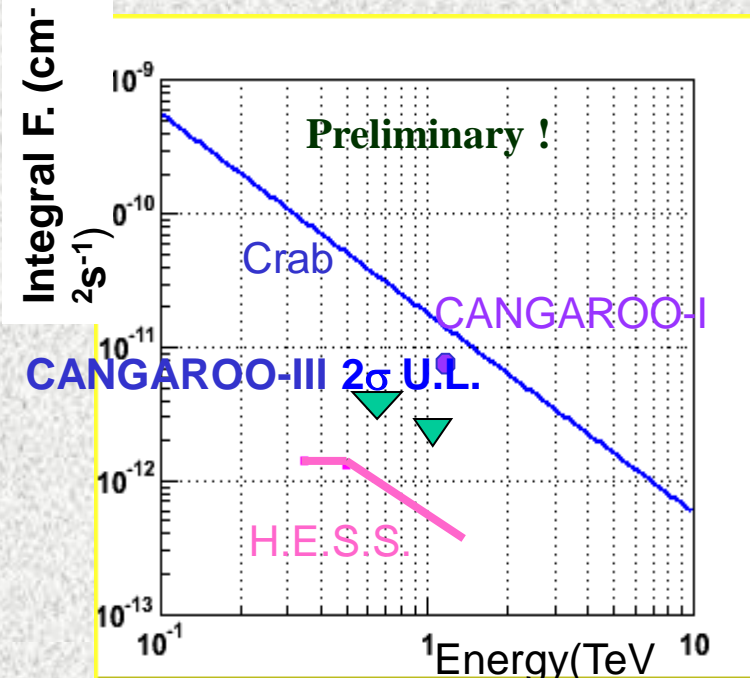


PSR1706-44 (2005) @ ICRC2005

- Pulsar position pointing (May 2004)
- Long on-off mode (T2, T3 & T4)
1556 min ON, 1489min OFF
- T2 & T3 Result based on Square Cut
- Independent Analysis (Fisher Dis)

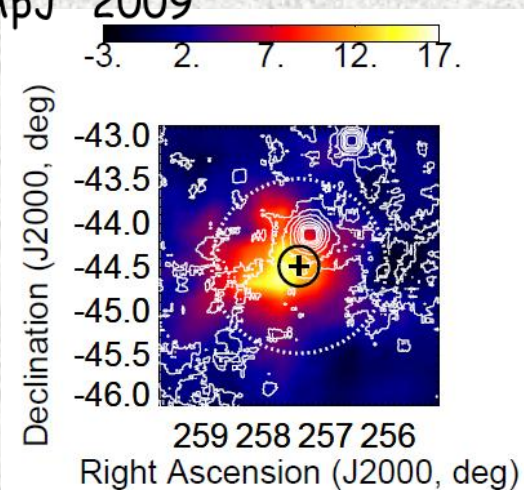
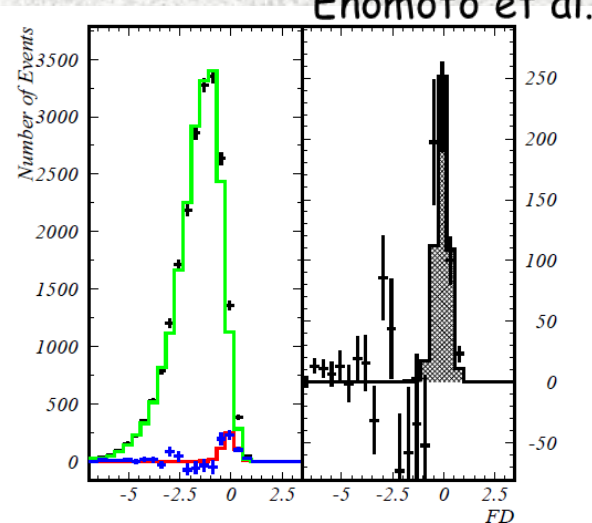
点源としての解析を行った。

U.L. (2σ) $\sim 5 \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} E > \sim 600 \text{GeV}$

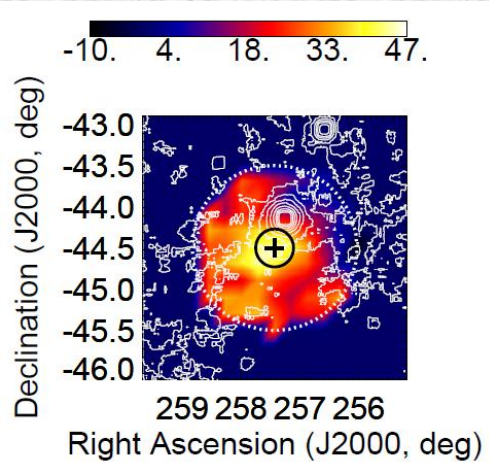


2004年、解析を進めるとわずかだが広がった成分らしきものがある。FD分布に γ 線の兆候が残るが θ^2 分布では見えない！

Enomoto et al., ApJ 2009



2007年



CAN-III PSR1706 (2009)

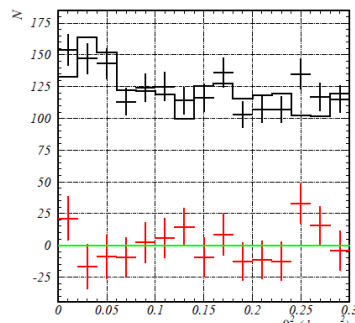
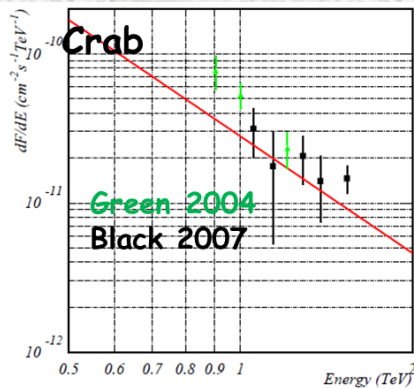
2007年、2187分 PSR1706観測 1度以上に広がった天体用に
Wobble-on-offで観測

銀河面の夜光の影響を小さくする為 閾値1TeV以上を使用

Enomoto et al., ApJ 2009

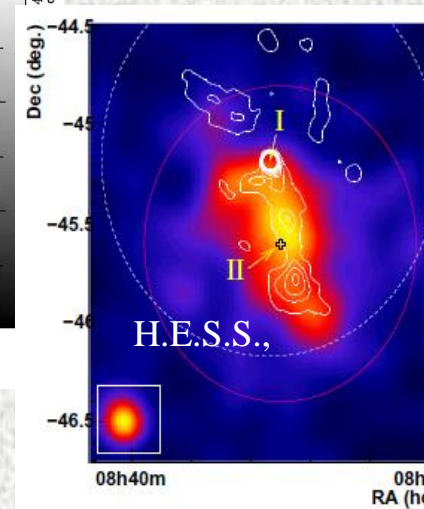
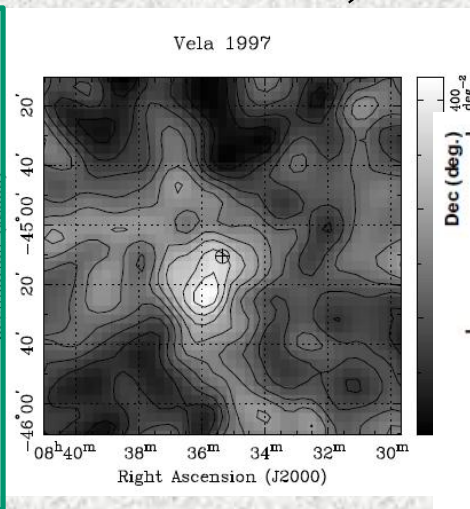
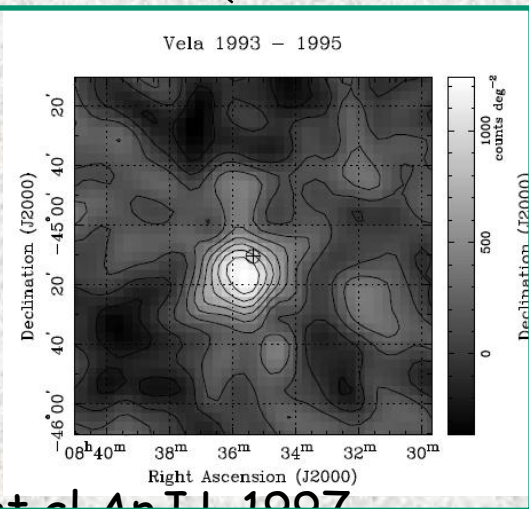
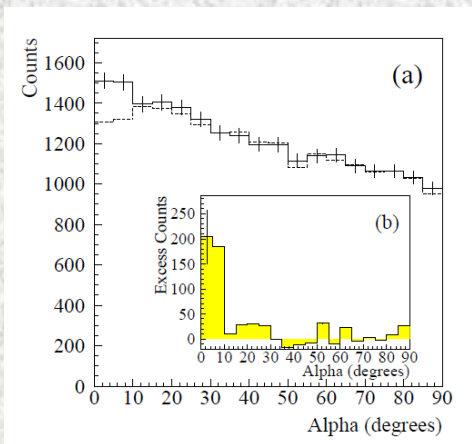
1706総括

- 1706近傍に0.2Crab以上のDiffuse天体が有るのは確か。
- CAN-I.II、Durhamの α 分布にそれが見えても不思議ではない。
- 但し、CAN-Iの1992, 93年の観測の鋭いピークは再解析の結果からもノイズの影響と考えるべき、大きな系統時誤差が入ってしまう解析となった。



2004,2007年とも θ^2 分布ではよくわからない。

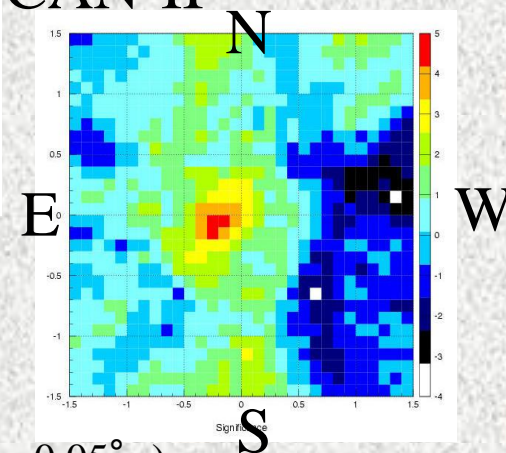
Vela (Pulsar nebula)



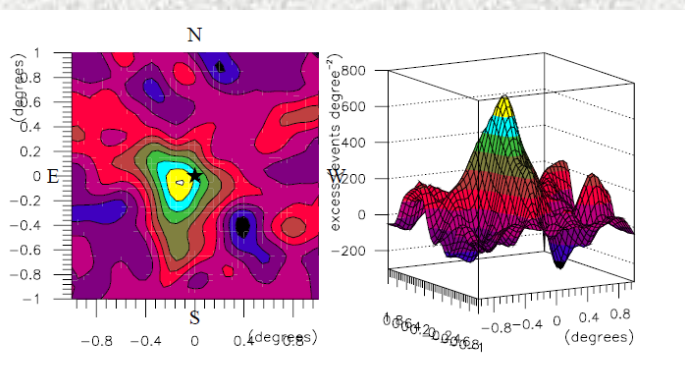
~~CAN-I; Yoshikoshi et al ApJ.L 1997~~

Year	T_{obs} (hr)	N_{events}	E_{th} (TeV)	
1993	ON	47.6	161,614	2.5 ± 1.0
	OFF	42.8	125,662	
1994	ON	69.7	295,732	2.5 ± 1.0
	OFF	61.9	227,122	
1995	ON	56.5	237,474	2.5 ± 1.0
	OFF	51.8	196,231	
----- Mirror Recoating -----				
1997	ON	32.2	306,892	1.3 ± 0.5
	OFF	31.8	241,446	

CAN-II



$(x_{off}, y_{off}) \sim (-0.2^\circ, -0.05^\circ)$
 Excess events 468 ± 108 (4.3s) ($a < 15^\circ$)



東工大 D論1996

Vela pulsar/Nebula CAN-III

Hess 2004 (点源、不検出)

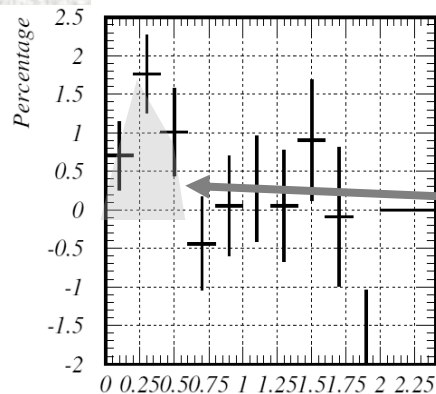
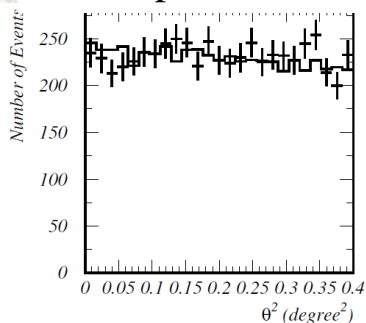
R.Enomoto et al., ApJ 638, 397 (2006)

Stereo (T2 & T3 wobble), 1,311 min.
Fisher discriminant

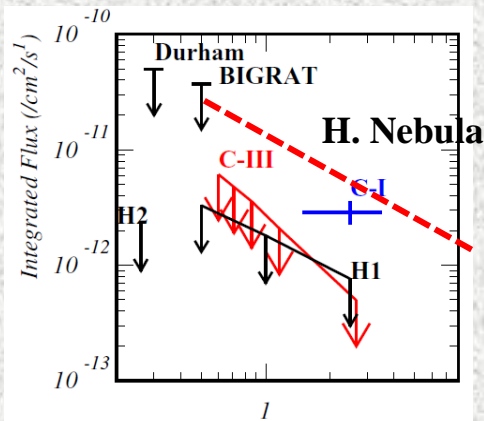
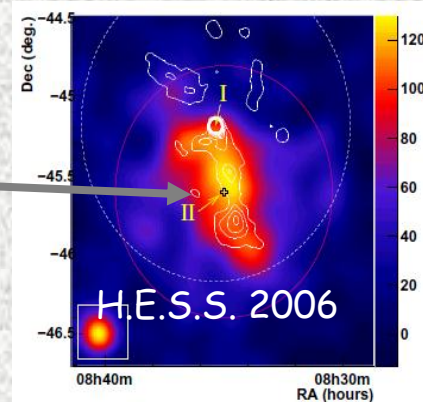
TABLE 2. Upper limits with 99.9% confidence level (CL) on the integrated flux from the Vela pulsar direction in units of $s^{-1}cm^{-2}$.

	photon index 2.5		model-independent	
	pulsar position	CANGAROO pos.	pulsar position	CANGAROO pos.
F(E>500 GeV)	$1.2 \cdot 10^{-12}$	$3.3 \cdot 10^{-12}$	$1.2 \cdot 10^{-12}$	$3.3 \cdot 10^{-12}$
F(E>1 TeV)	$7.4 \cdot 10^{-13}$	$1.8 \cdot 10^{-12}$	$8.2 \cdot 10^{-13}$	$2.0 \cdot 10^{-12}$
F(E>2.5 TeV)	$2.7 \cdot 10^{-13}$	$7.6 \cdot 10^{-13}$	$3.1 \cdot 10^{-13}$	$9.5 \cdot 10^{-13}$

Pulsar position

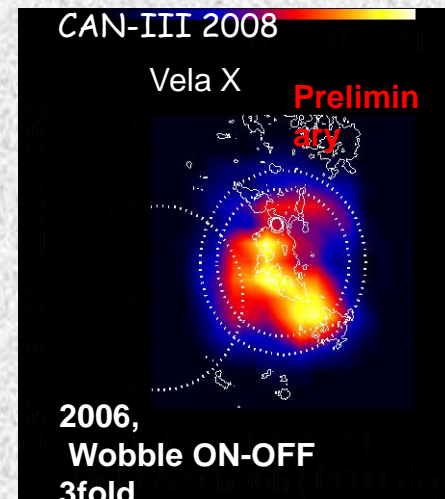
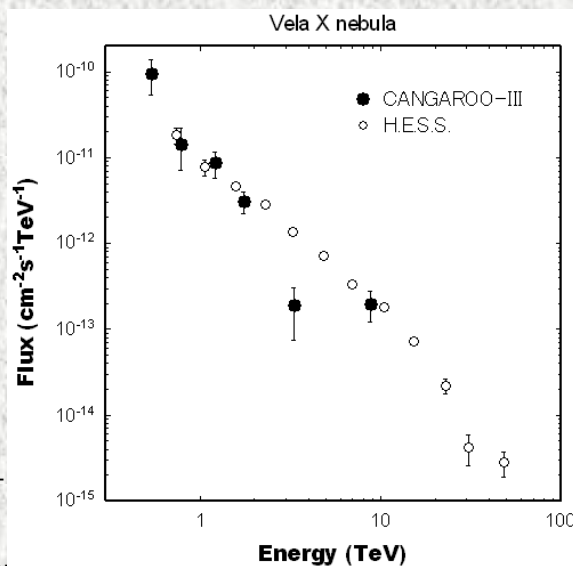


θ^2 from Vela X center



Hess F(>2.5 TeV) = $1.7 \times 10^{-11} cm^{-2} s^{-1}$

CAN-IF(>2.5 TeV) = $2.9 \times 10^{-12} cm^{-2} s^{-1}$



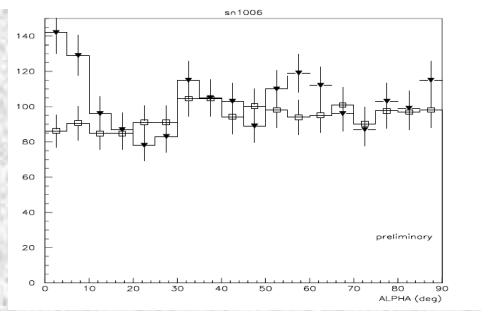
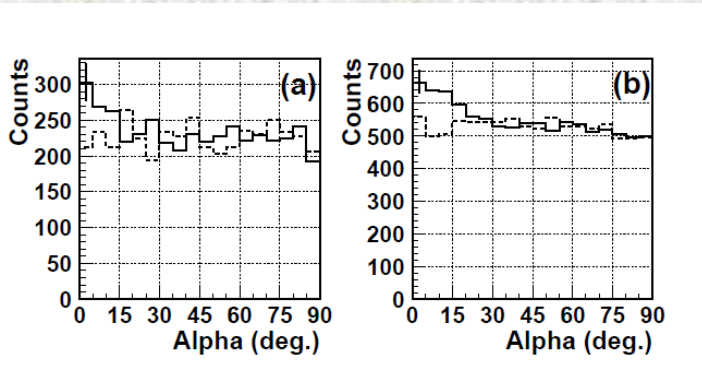
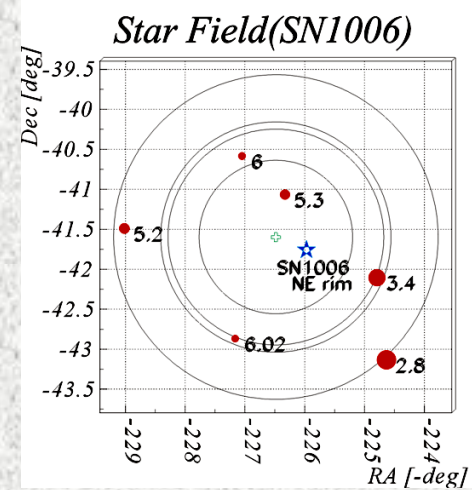
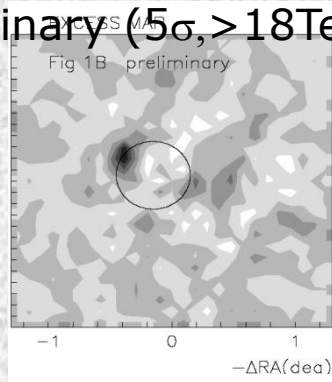
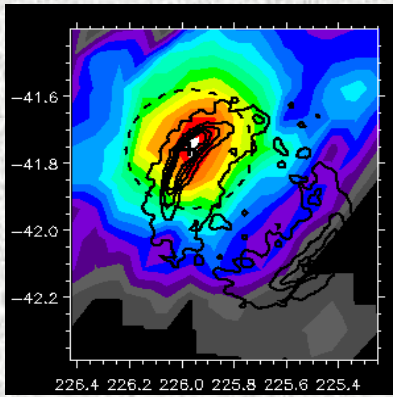
SN1006

CAN-I Tanimori et al. ApJ.L 1998

1996(5σ) 97($\sim 7\sigma$)

Vitale, ICRC 2003

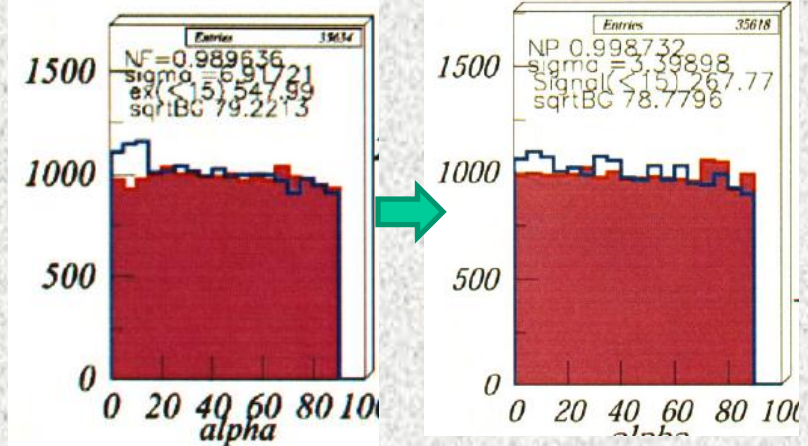
Preliminary ($5\sigma, >18\text{TeV}$)



10m Can-II 7σ (ICRC2001) $\rightarrow 3\sigma$

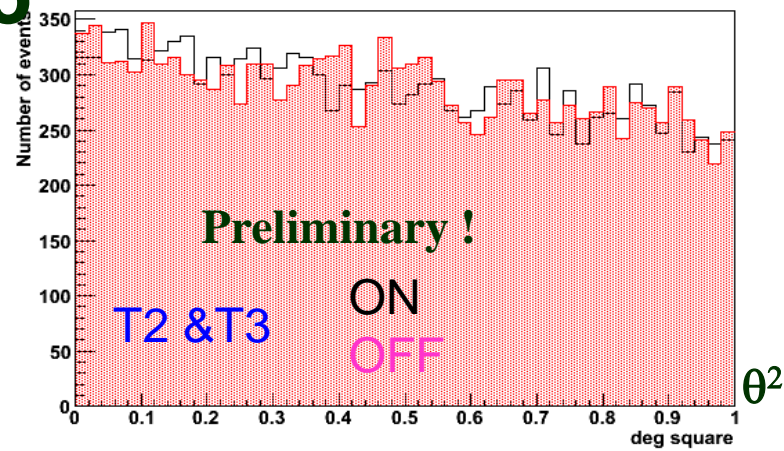
At ICRC2001 we reported $\sim 7\sigma$ @1.5 TeV for 2000 ,
But we found bug in calibration, and
significance was changed.

Anyway, T1,2,34 Stereo data
2004 May with 39 hrs On.
Now analysis are under way.



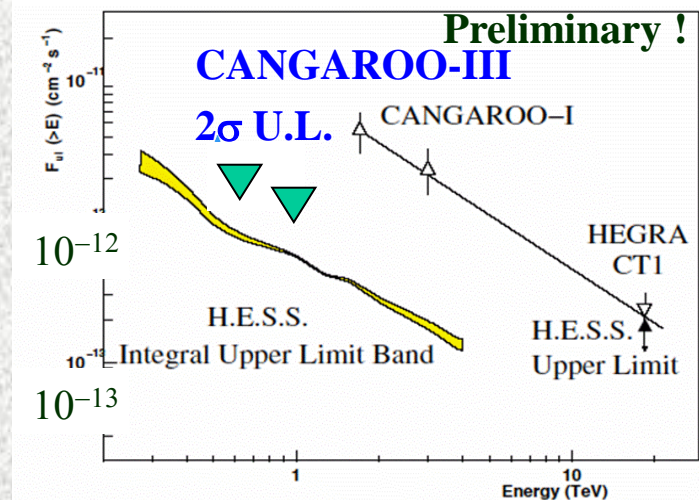
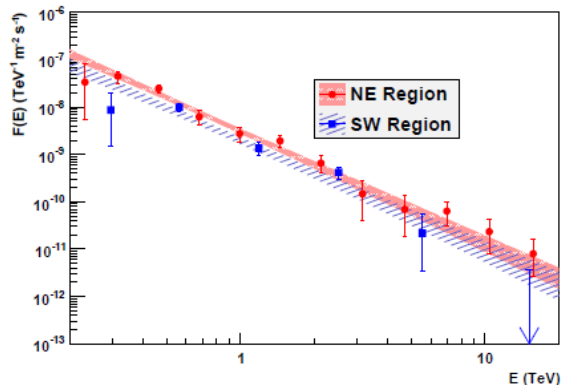
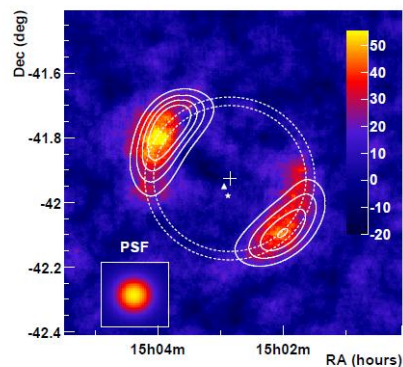
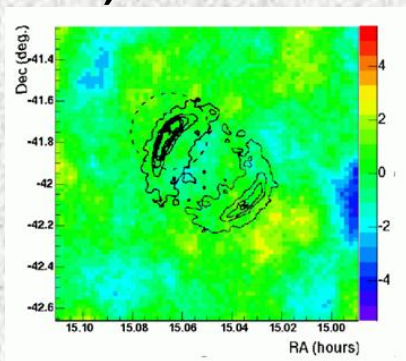
SN1006(2005)@ICRC2005

- NE-rim pointing (May 2004)
- Long on-off mode (T2,T3) 1625 min ON, 1738OFF
- T2 &T3 Result based on Likelihood
- Independent Analysis (Fisher Dis) Hoffman Gamma2004



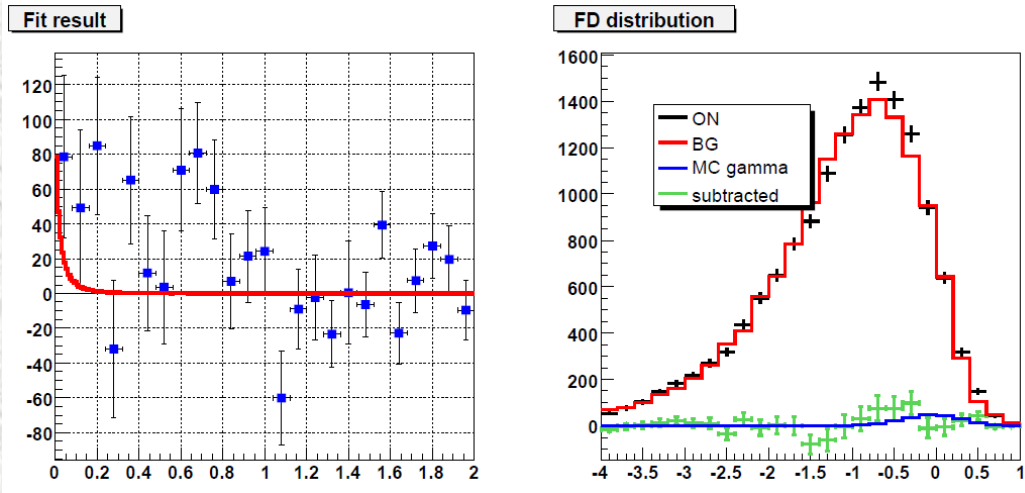
U.L. (2σ) $\sim 3 \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
 $E > \sim 500 \text{GeV}$

HESS 2010



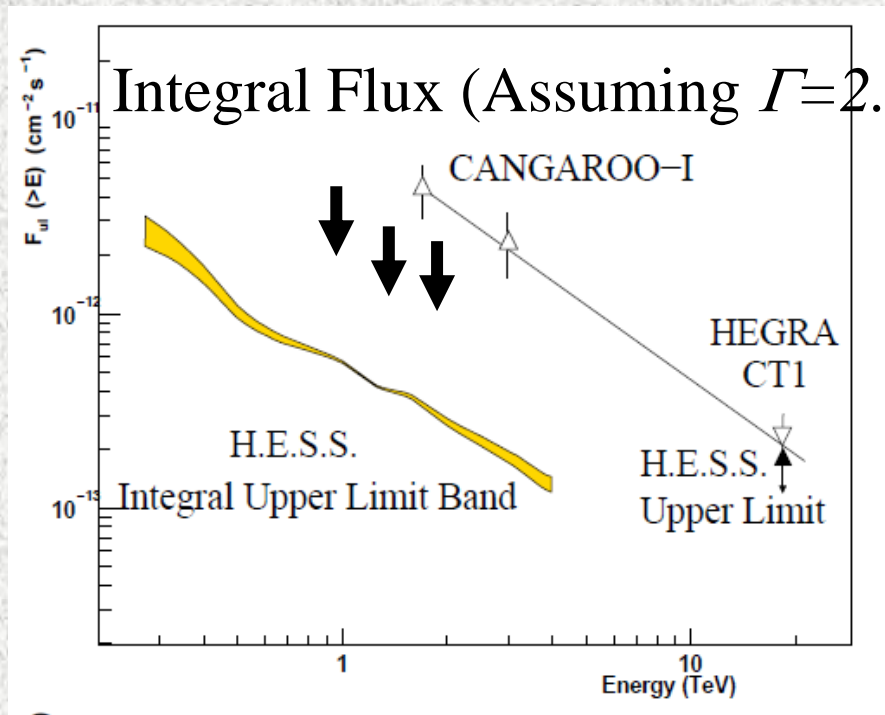
08年100分の1Crabの放射を2観測。
 CANGAROOのフラックスと数十倍異なり、CANGAROOの結果は完全に否定された。

Fisher によるSN1006CAN-III解析(preliminary)



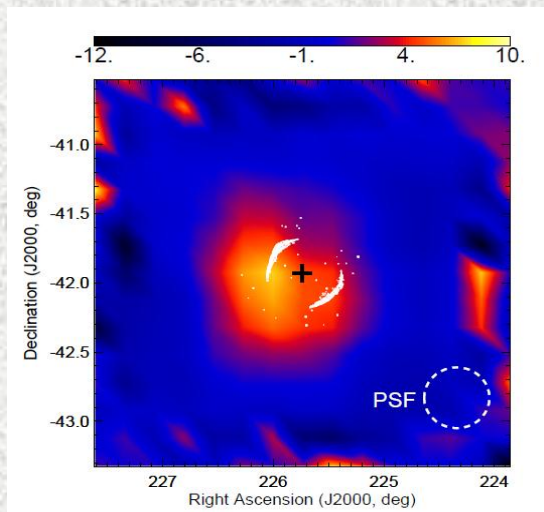
162 event, 2.1σ
no clear detection

2008年物理学会



- 星の影響が最も強い天体
星の影響で2, 1σ 事象が残る。
- ターゲット天体は視野内を移動、Hot
ピクセルは固定なのでこの天体では
影響少ない。
- 逆に星とターゲット位置関係は固定さ
れている。

SN1006まとめ



Fisher の最終結果、コントラストを強調した図では統計的に有意ではないが、まだ星の影響がNEリム付近に見られる。

NEにシャワーの方向が集まる傾向が見えている。単鏡で条件は違うがシャワーがNEを向いていておかしくない。この影響はCAN-IIIの他のデータでは見られない

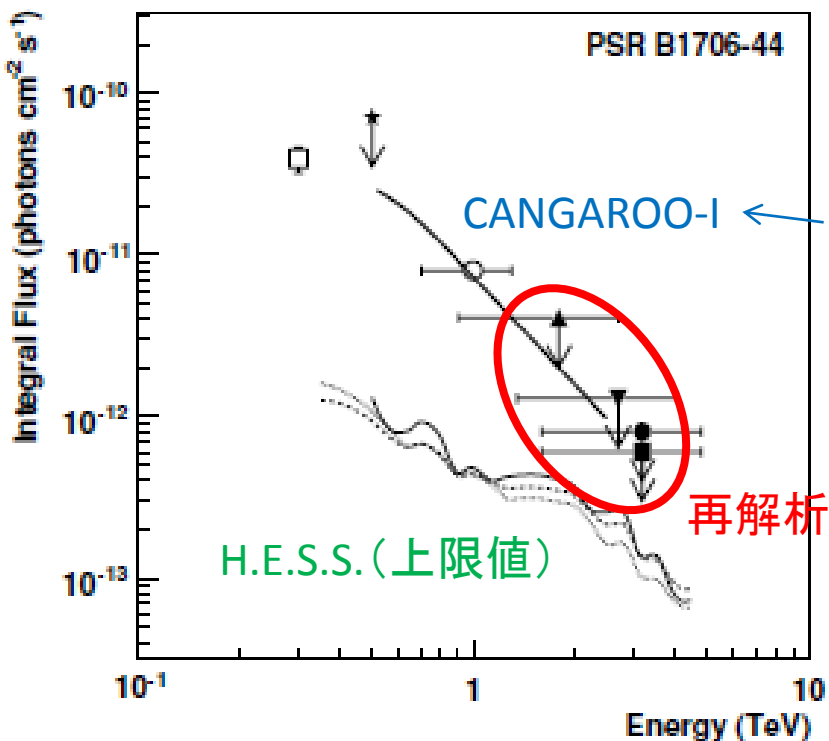
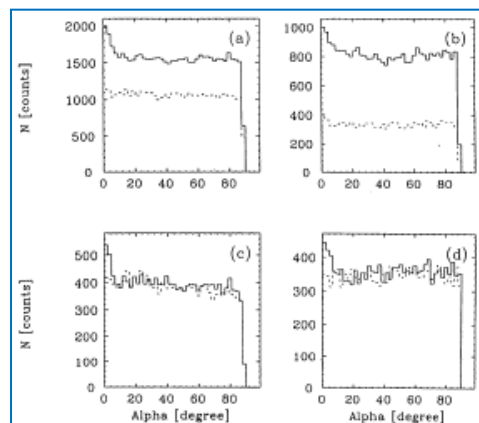
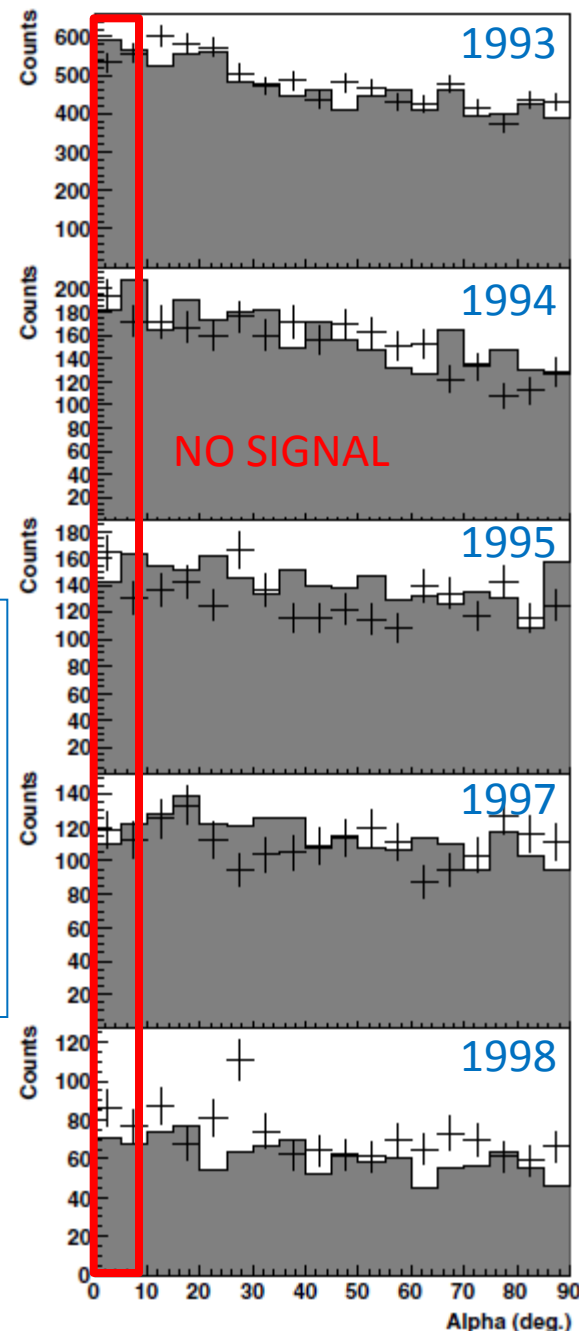
CAN-I,CAN-IIの緩いカットがこのようなシャワーをON観測データに多く残し、多様な自由度を残した解析を行ったため、夜光の影響が強められアルファ分布にピークを作った可能性がある。

CANGAROO-I (3.8 m) データ再解析

- Yoshikoshi et al., ApJ 702, 631-648 (2009)
Erratumでは無く、以下にあるような再解析
(以前の論文の全員が著者ではない)
- H.E.S.S.と結果が矛盾した3天体
 - PSR B1706-44, SN 1006, Vela PWN
- 解析方法
 - 共通の較正、共通のプログラム
 - 単純かつconservativeな解析
 - 標準的な点源に対するimage parametersのみを使用
 - シミュレーションが正しいと仮定し、background cutsを最適化(“Super Cuts”)
- 旧解析方法でも再現性を調査(イメージングカット値を主に再現)
 - ただし、解析条件の一部は記録なし(ペDESTAL決定、ノイズ除去など)

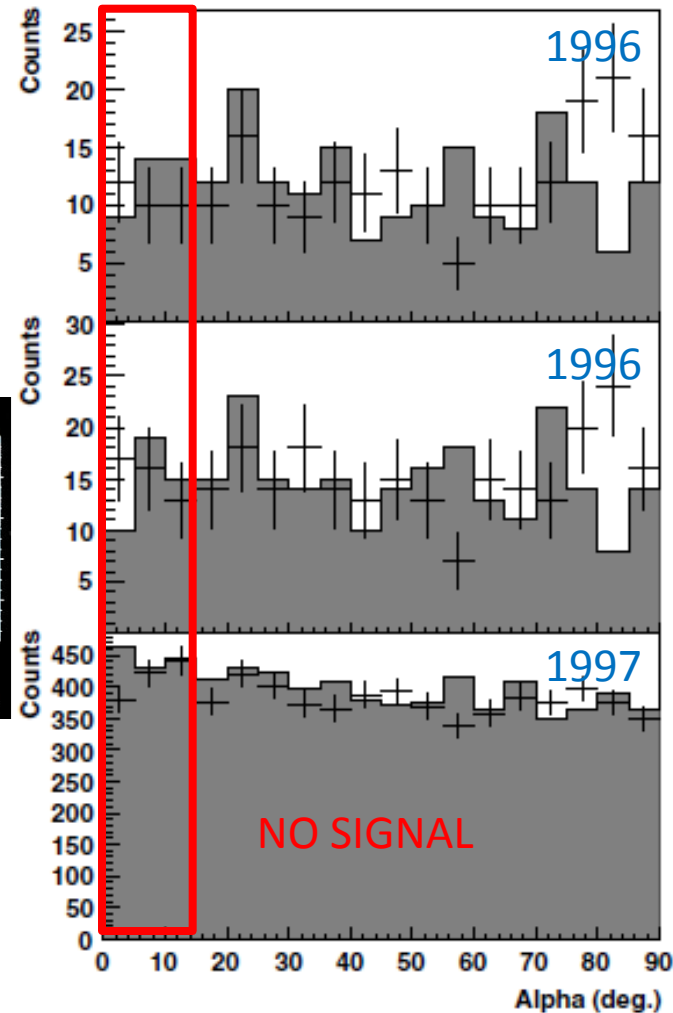
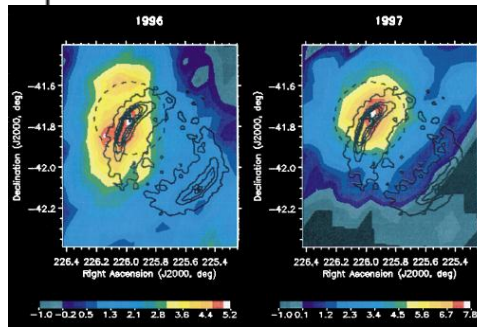
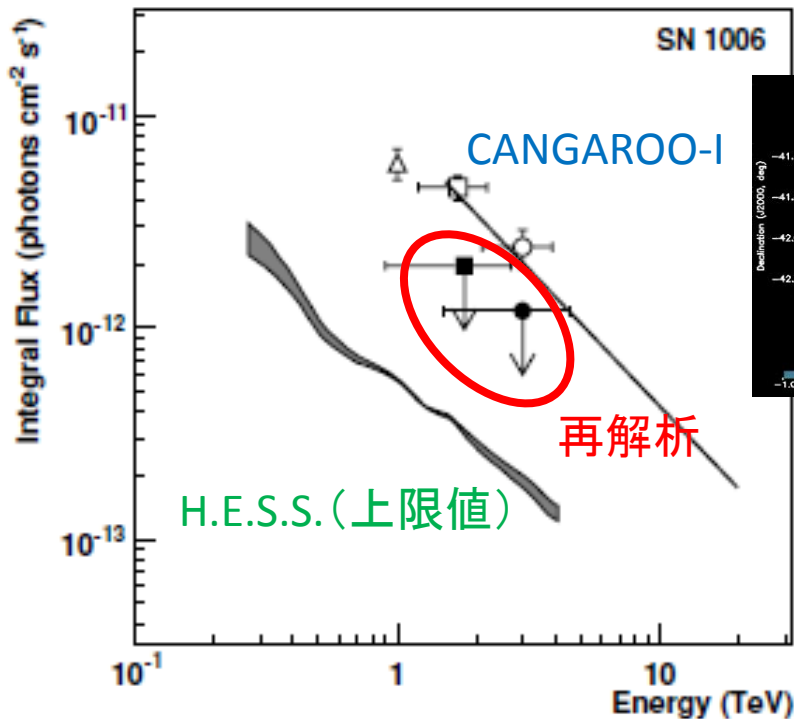
PSR B1706-44

- CANGAROO-I: パルサー方向から点源信号
 - Kifune et al. (1995)
- H.E.S.S.: CANGAROO-Iより一桁以上低い上限値
 - Aharonian et al. (2005)
- 再解析: 旧結果を再現せず → 上限値



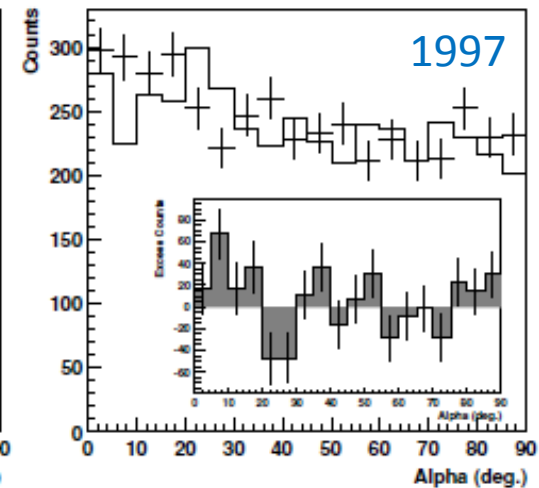
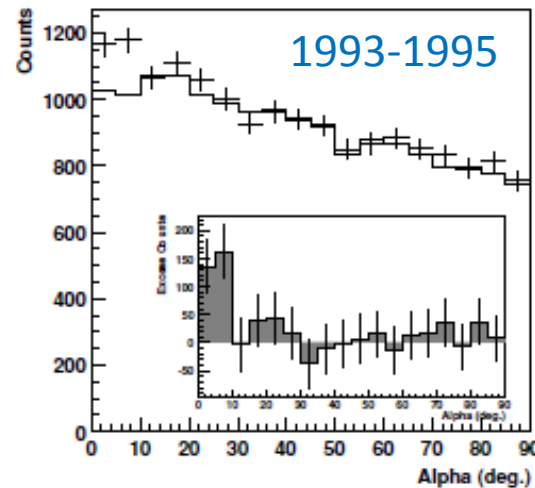
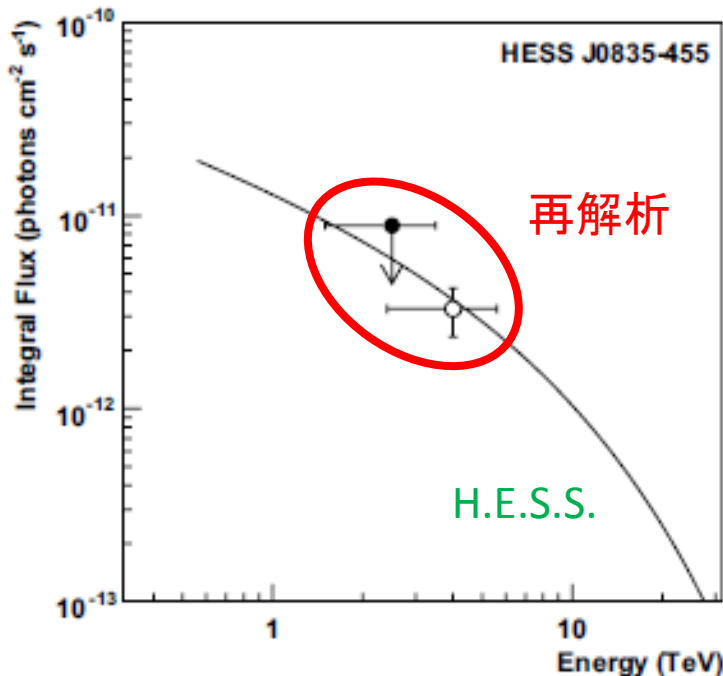
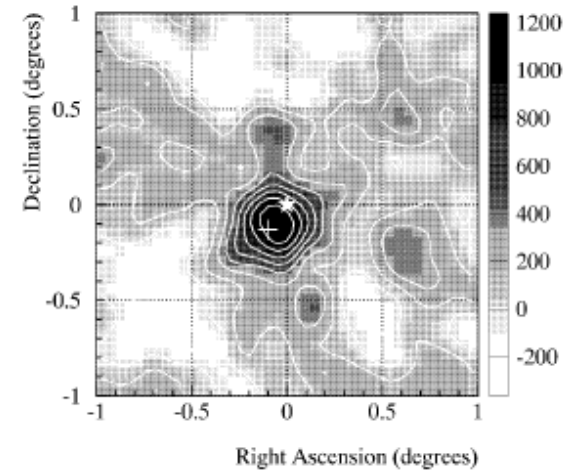
SN 1006

- CANGAROO-I: NE rimから拡散信号
 - Tanimori et al. (1998)
- H.E.S.S.: CANGAROO-Iより一桁低い上限値
 - Aharonian et al. (2005)
- 再解析: 旧結果を再現せず → 上限値



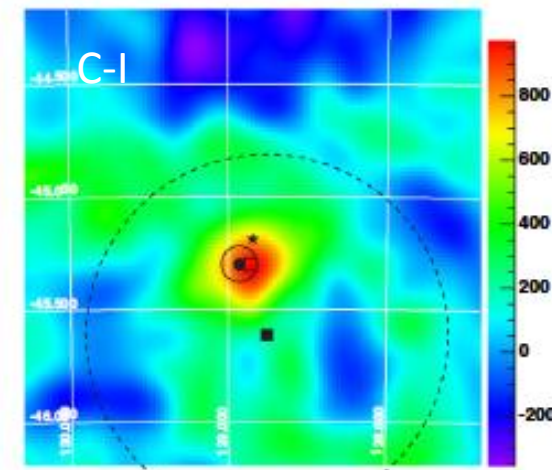
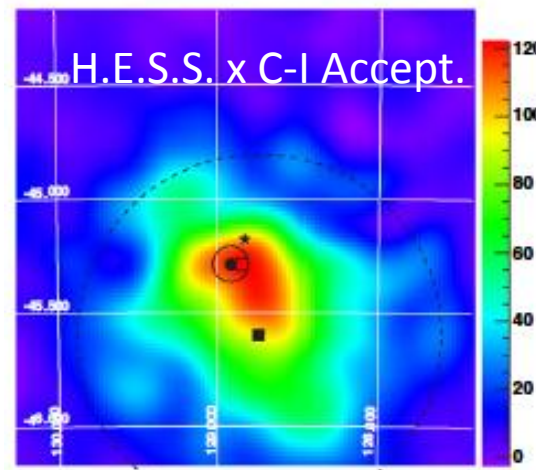
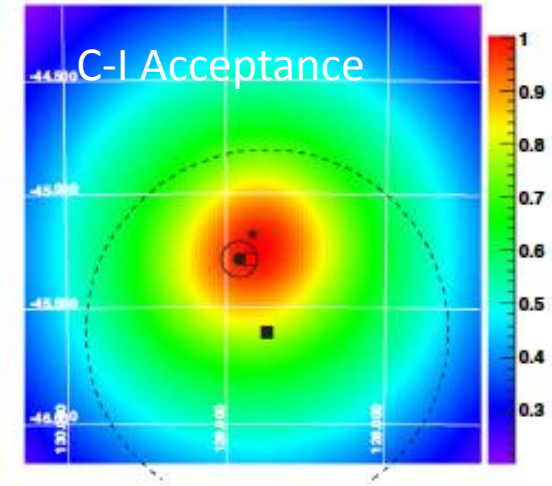
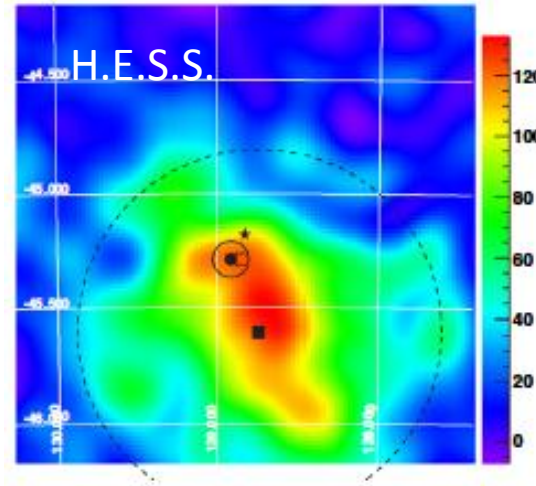
Vela PWN

- CANGAROO-I: パルサーの南東 $0^{\circ}.13$ の方向から拡散(?)信号
 - Yoshikoshi et al. (1997)
- H.E.S.S.: Vela X方向から拡散信号
 - Aharonian et al. (2006)
- 再解析: 4.5σ で再検出(1993-1995年のデータ)
 - Vela X領域のフラックスはH.E.S.S.と一致



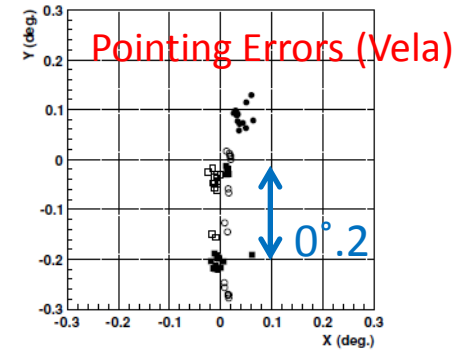
Vela PWN Morphology

- 放射領域が異なる
 - パルサーの:
 - CANGAROO-I: 南東
 - H.E.S.S.: 南
- CANGAROO-Iの視野内のacceptanceの非一様性を考慮
 - ピーク位置は一致
- それでもCANGAROO-Iの方がコンパクト
 - エネルギー依存の可能性
 - CANGAROO-I: > 4 TeV
 - H.E.S.S.: > 450 GeV
 - Cf. HESS J1825-137



何が間違っていたのか？

- 一部の解析では最新の較正結果が反映されていなかった→結果は非現実的
 - Pointing errors
 - ADC offset noise
- データの統計学的処理が不適切
 - Parameter cutsが非常に複雑かつ、run by runで条件を変えていた
 - On-sourceデータと独立な根拠の欠如→高い自由度



Hess結果との矛盾への対応

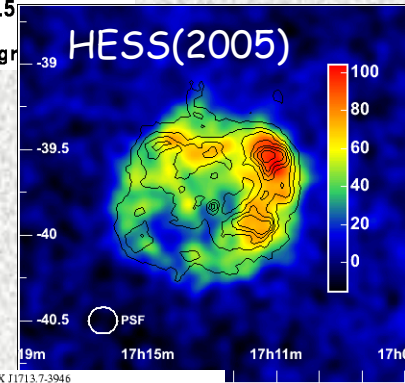
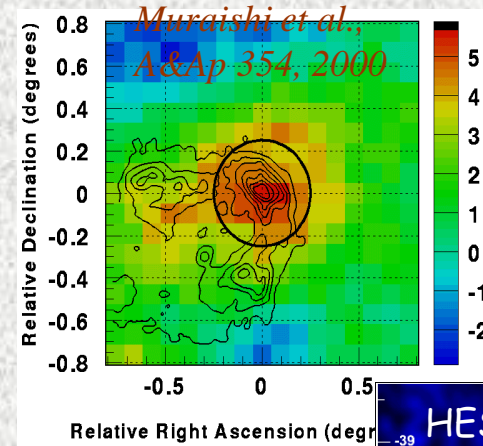
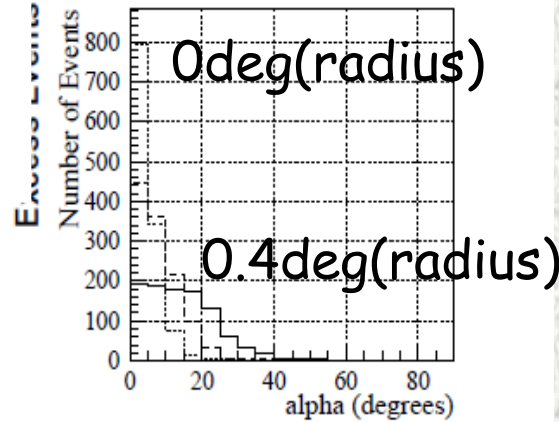
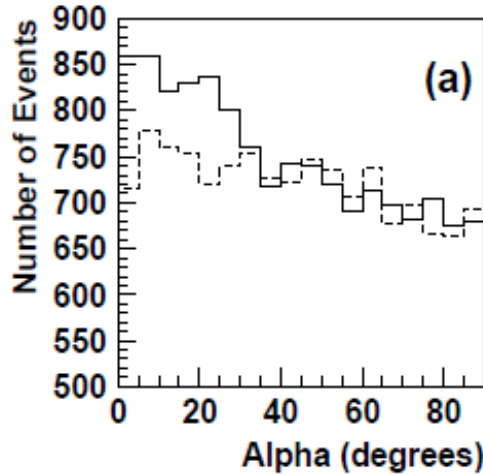
- 2004 Hess, GAMMA2004でPSR1706, SN1006, Velaで γ 線検出無し
=>始動したCAN-IIIで1706,SN1006を観測、解析
- 2005 ICRC 1706, 1006 始動時CAN-IIIで観測、点源からの γ 線無検出の報告、CAN-III Vela観測、オーストラリア天文学会等7国際学会
HESS Vela Nebula検出、NGC253 γ 線非検出
- 2006 CAN-IIIのVela解析結果をApJへ発表、5国際学会で講演、
- 2007 NGC253 Erratum A&A
他、ICRC07, SLAC, TeVPA, Next-Gen-Gamma 等6国際学会
- 2008 日本物理学会、CAN-III SN1006解析(Fisher)報告、
Barcelona CTA会議、GAMMA2008等4国際学会
- 2009 HESS 253 1006ガンマ線検出
C-I (1706, Vela, SN1006)再解析報告 in ApJ
PSR1706 CAN-III Diffuseガンマ線検出 in ApJ
- 2010 Hess SN1006ガンマ線検出
- 2011 Hess PSR1706付近 Diffuse ApJ (ICRC2009で報告)

HESS結果の確認が最優先であり、CAN-III観による観測を急いだ。2004年すでにC-Iは7年以上経過、しかしC-I再解析も行った。ただ着手が遅れてしまった点は問題。

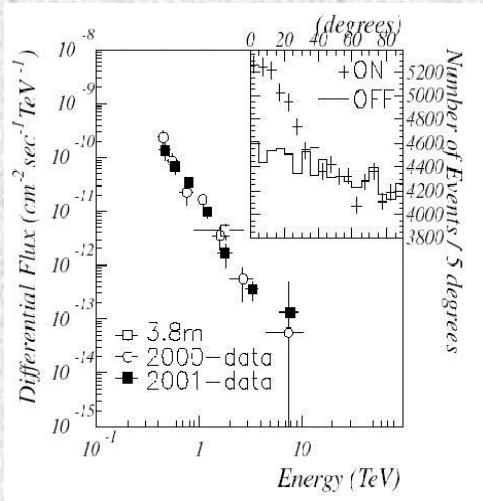
CAN-IIIのSN1006については投稿を検討中

RXJ1713.7-3940 (非熱的X線SNR) CAN-I, II

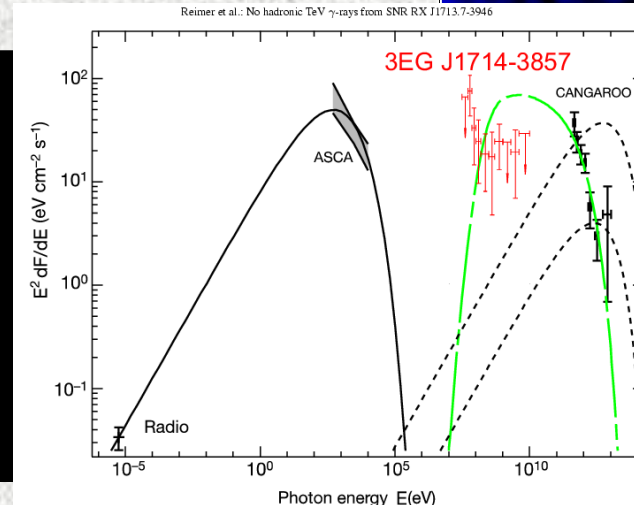
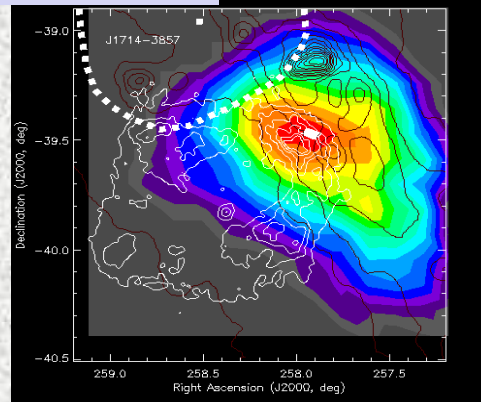
CAN-I; Muraishi et al, ApJ.L 2000



CAN-II; Enomoto et al, nature 2002



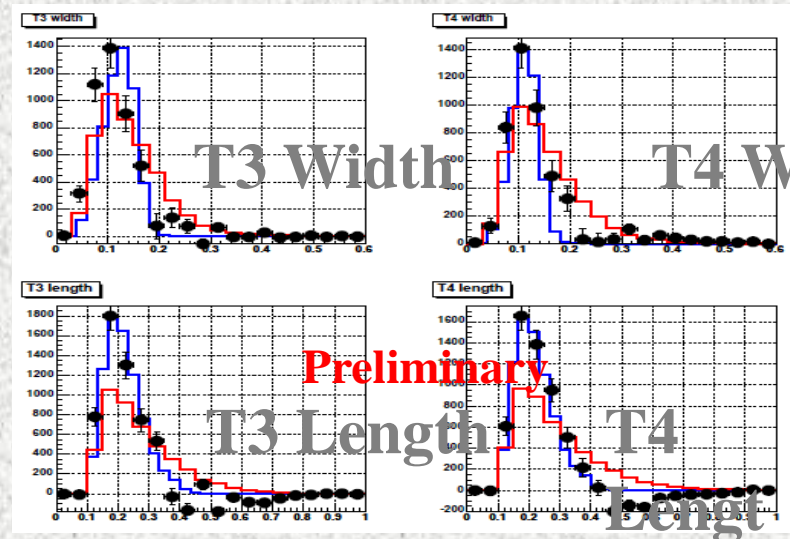
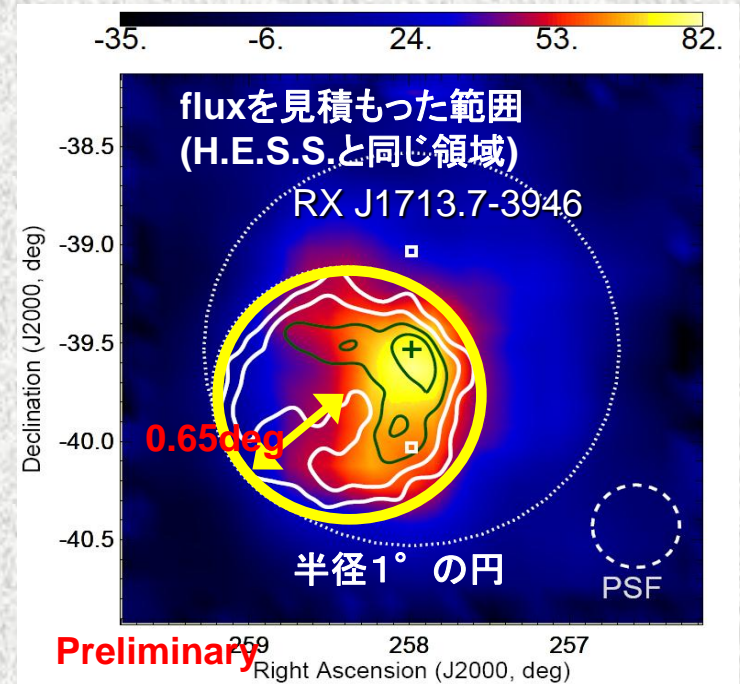
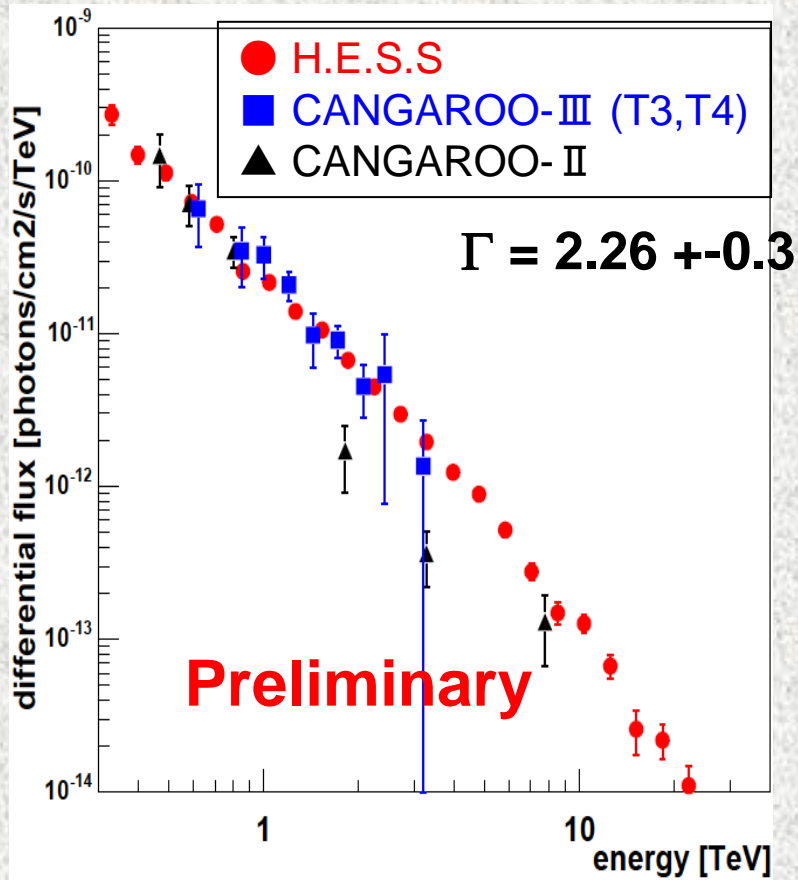
CAN-II



Reimer et al.: No hadronic TeV γ -rays from SNR RX J1713.7-3946

RXJ1713.7-3940

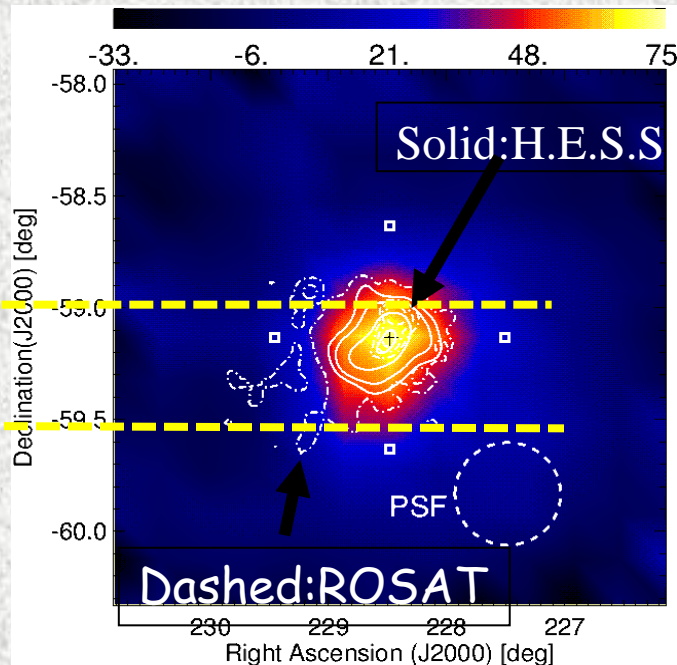
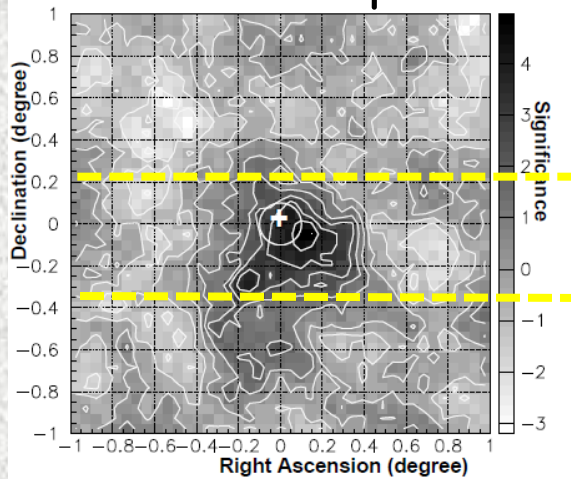
2005, May, July 39hours Wobble from NE rim T3-T4 2-fold Analysis



3154 ± 194 events
16.1σ (excess region θ < 0.65)

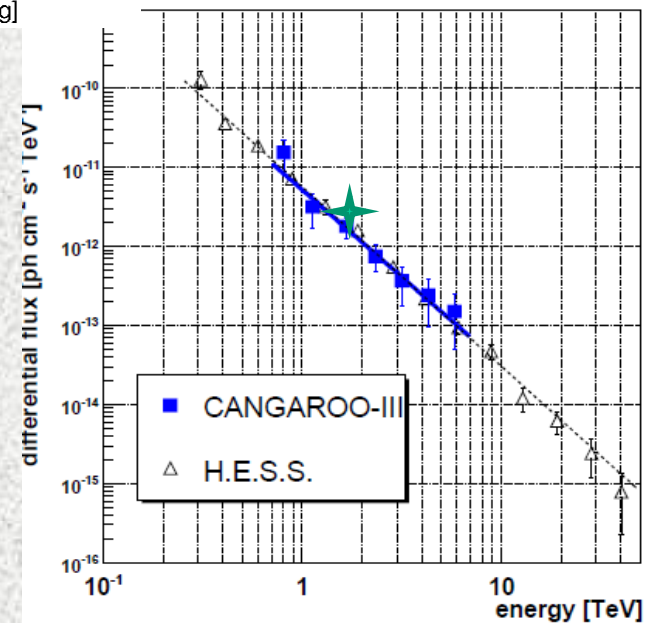
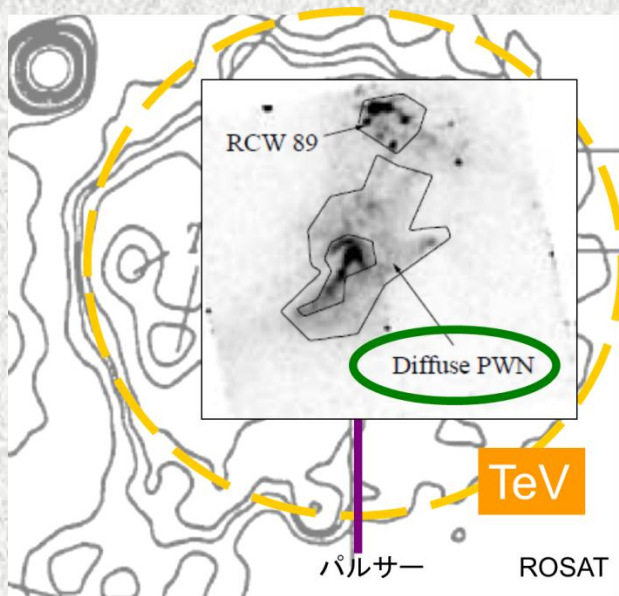
PSR1509-58(パルサー星雲)

CAN-I (4.1 σ)
Sako et al. ApJ. 2000



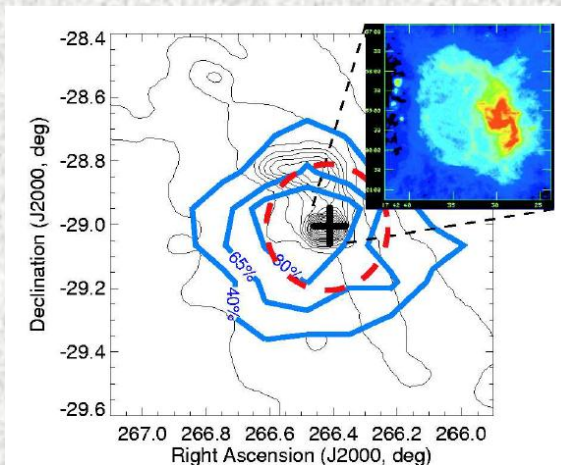
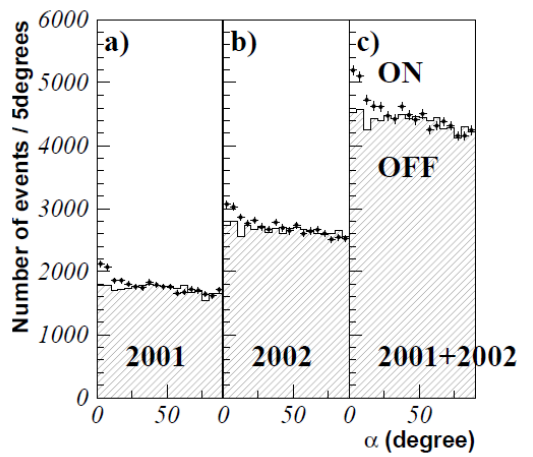
HESS+CAN-III

CAN-III;
Nakamori et al. ApJ 2008

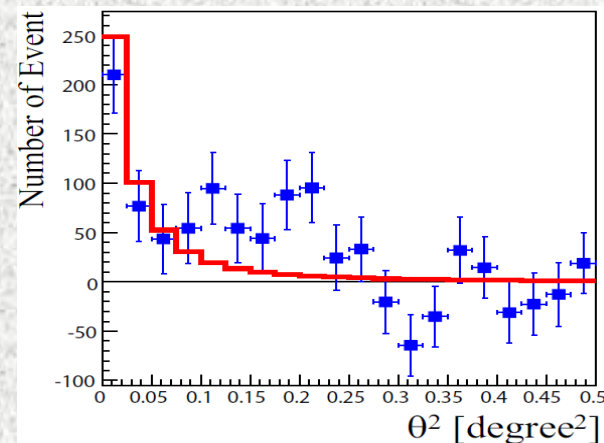


Galactic Center (CAN-IIからの実験結果)

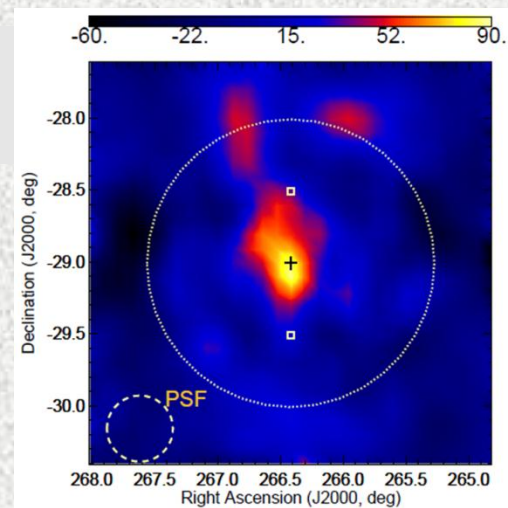
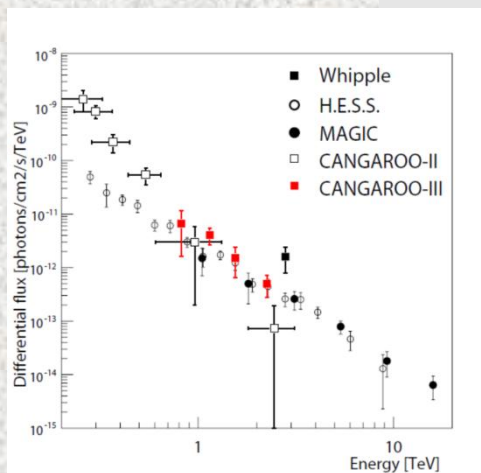
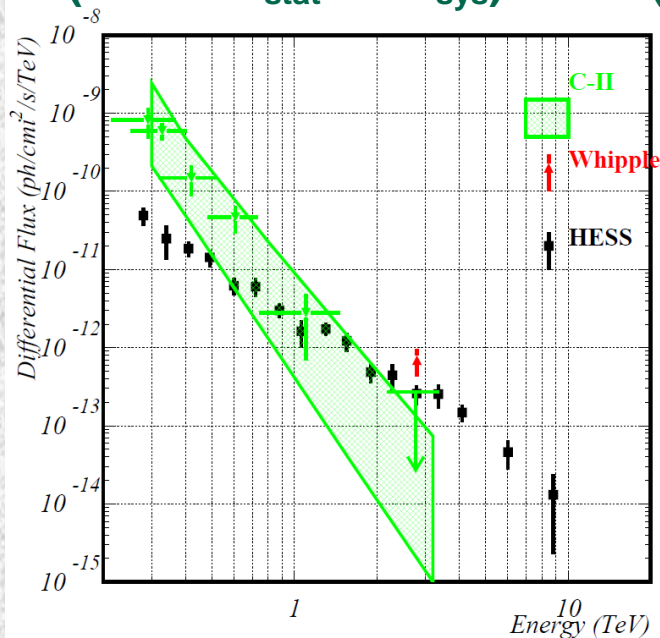
CAN-II; Tsuchiya et al. ApJ.L. 2004



CAN-III
(gamma 2008; preliminary)

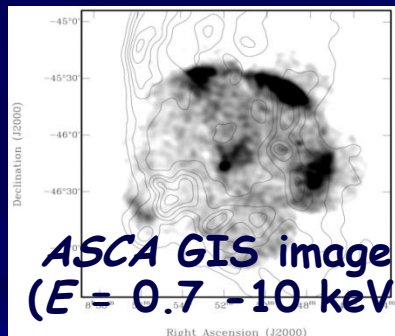


$$(4.8 \pm 1.6_{\text{stat}} \pm 0.9_{\text{sys}}) \times 10^{-12} (E/1\text{TeV})^{-4.6 \pm 0.5}$$





RX J0852.0-4622

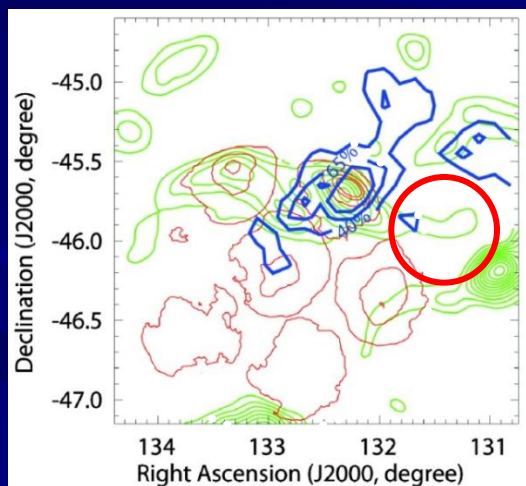


- CANGAROO-II が北西リムからのガンマ線放射を初めて発見 (Katagiri et al. 2005)
- 次いでHESS ステレオ観測によるSNR全体からのガンマ線放射 (Aharonian et al. 2005)

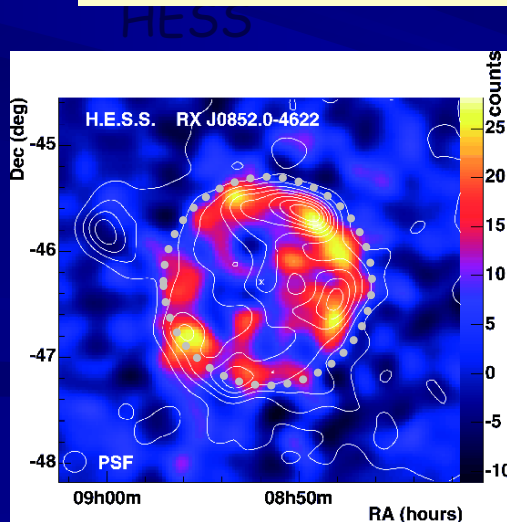
CANGAROO-II による
NW-rim TeV Gamma

■ CANGAROO-IIとHESSのフラックス

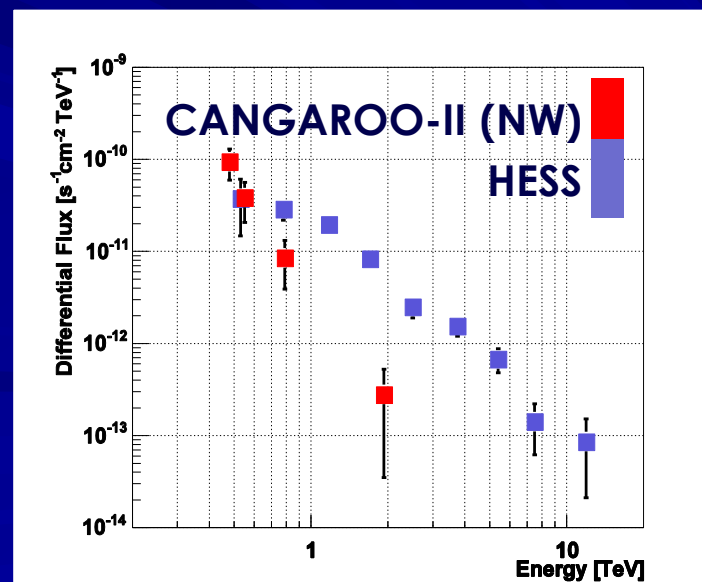
- ガンマ線フラックスの違い \Rightarrow 見ている領域の違い
- フラックスのべきの違い \Rightarrow ??



(Katagiri et al. 2005)

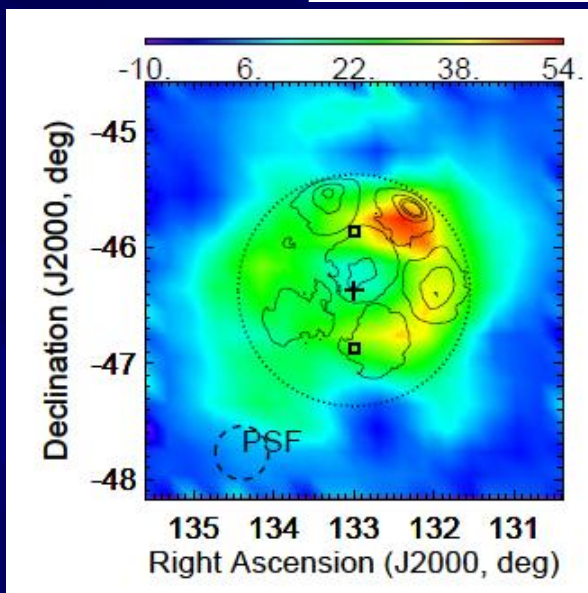


(Aharonian et al. 2005)





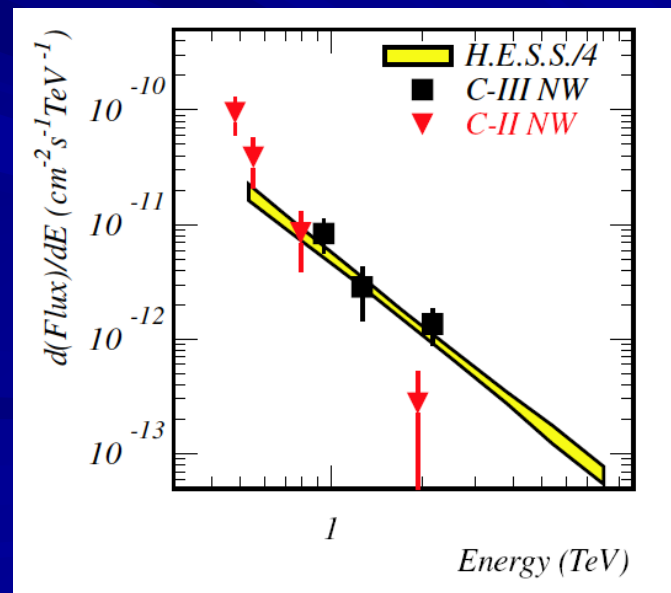
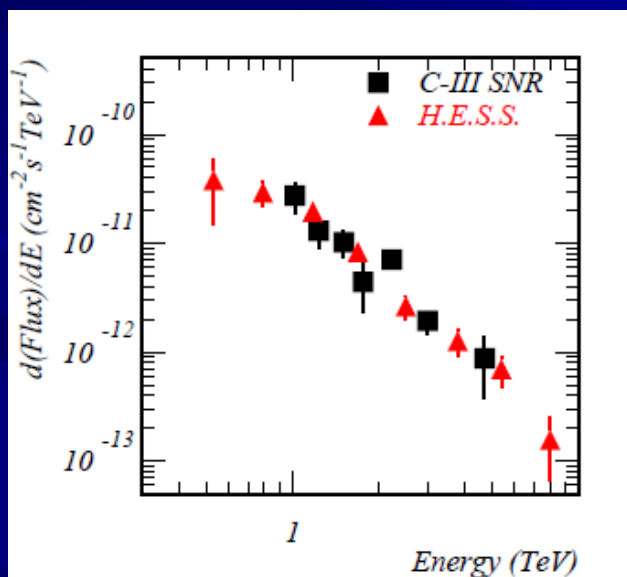
CAN-III SNR : RX J0852.0-4622



➤ 2004 Jan-Feb Enomoto et al., ApJ ,2006

➤ ON 18.8 hours / OFF 18.0 hours

- SNR全体のデータから
 - HESS ¼ : Total fluxの1/4
 - CANGAROO-III NW:
NWを中心に±45°の1/4象限からのflux

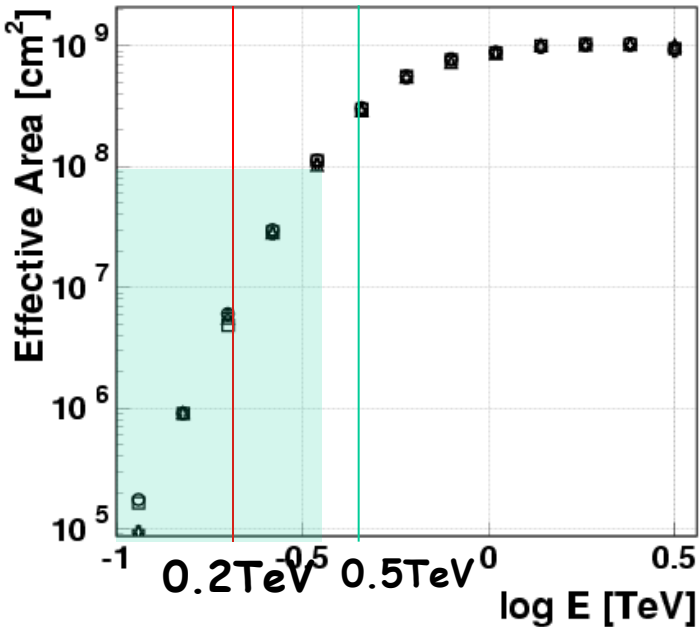


CAN-II スペクトルについて

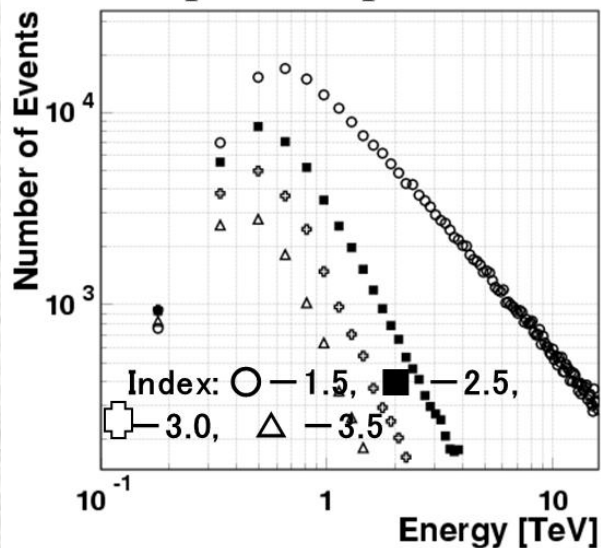
- 冪が-3から-4とかなりソフト、
有効面積: 400GeV以下で1TeVの10分の1以下。
MCの系統誤差が大きく、検出光子数も少ない。
- CAN-IIの安定した閾値500GeVの有効面積による積分フラックスを評価
 $A(E/1\text{TeV})^{-2.5}$ でAを求めた。
○Galactic Center CAN-II;
A=7.3x10⁻¹²cm⁻²s⁻¹@1TeV
HESS :A=2.3x10⁻¹²cm⁻²s⁻¹@1TeV
○RXJ0852
CAN-II A=5.8x10⁻¹²cm⁻²s⁻¹@1TeV
HESS A=2x10⁻¹²cm⁻²s⁻¹@1TeV
Aは3倍程度、検出ガンマ線数は大きく異なっていない。

400GeV以下の有効面積の系統誤差が大きい領域で且つ、検出光子数が小さい領域で微分フラックスを出したため大きな誤差が出たと考えられる。

有効面積(天頂付近)



Expected spectrum



NGC253

CAN-II: Itoh et al. Astro & Astrom 2003

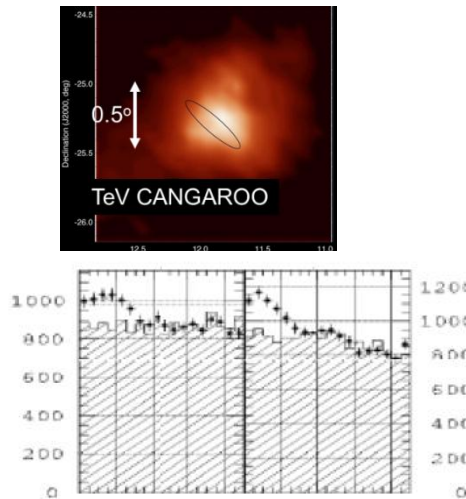
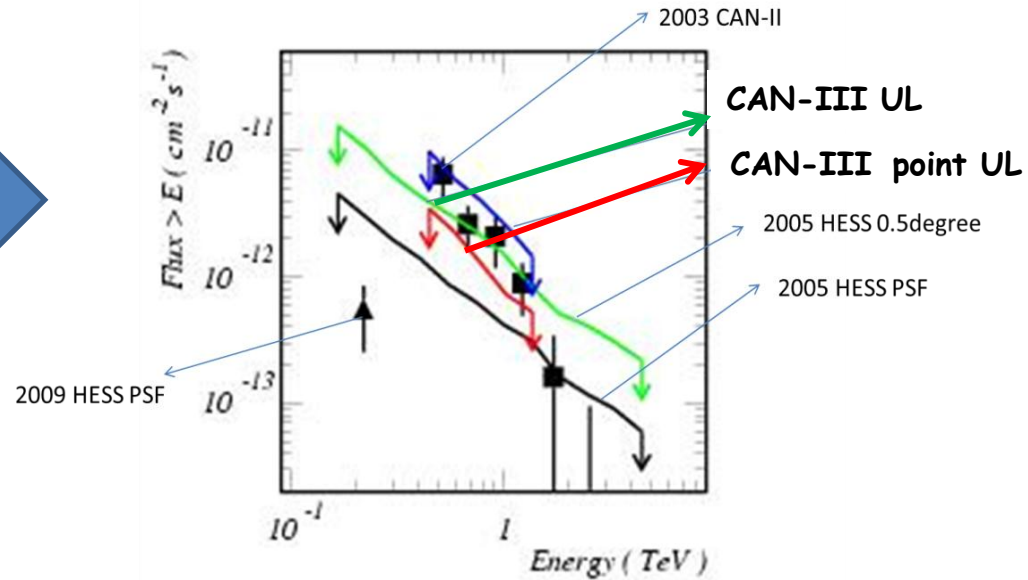


Fig.44 : Alpha distributions (2000: left and 2001:right).

A&A 462, 67-71 (2007)
DOI: 10.1051/0004-6361:20066244
© ESO 2007



Astrophysics

Erratum

Evidence of TeV gamma-ray emission from the nearby starburst galaxy NGC 253

C. Itoh¹, R. Enomoto², S. Yanagita¹, T. Yoshida¹, A. Asahara³, G. V. Bicknell⁴, R. W. Clay⁵, P. G. Edwards⁶, S. Gunji⁷, S. Hara^{3,8}, T. Hara⁹, T. Hatton¹⁰, Shin. Hayashi¹¹, Sei. Hayashi¹¹, S. Kabuki², F. Kajino¹¹, H. Katagiri², A. Kawachi², T. Kifune¹², H. Kubo³, J. Kusuhira^{3,8}, Y. Matsubara¹³, Y. Mizumoto¹⁴, M. Mori², H. Moro¹⁰, H. Muraishi¹⁵, Y. Muraki¹³, T. Naito⁹, T. Nakase¹⁰, D. Nishida³, K. Nishijima¹⁰, K. Okumura², M. Ohishi², J. R. Patterson⁵, R. J. Protheroe⁵, K. Sakurazawa⁸, D. L. Swaby⁵, T. Tanimori³, F. Tokanai⁷, K. Tsuchiya², H. Tsunoo², T. Uchida², A. Watanabe⁷, S. Watanabe³, and T. Yoshikoshi¹⁶

Same title

Same Authors

Editor & Refereeから、「この論文は、Original論文と同じタイトル、同じ著者で出版すべきである。そうすることで、正式にOriginal論文はWithdrawされ、Erratumとしての書式にも従った論文として、acceptされることになる。」という意向が示され、我々はそれに従った。

間違った理由 (70ページErratum右コラム)

- 再解析の結果、PMTホットチャンネル除去法に問題 (バイアス) があり、それを行う前後で excess event の増加があることがわかった。
 - ホットチャンネルを取り除く前の段階の統計有意性は4シグマ以下となった。Excessがあるという言葉及は適切ではなかった。
- CANGAROO-IIのPMTホットチャンネルの多くは星の光に起因した放電現象であった。NGC 253の視野内には明るい星はなく、ホットチャンネルを取り除く必要はなかったが、OFFデータの α 分布には問題があったため、ホットチャンネルを取り除いた解析を行った。
- 以降の解析ではこの方法は使用していない。

なぜ、OFFデータの α 分布がゆがんでいたのか？

- Original論文(2003) p.49

§ 3.6 Further hot pixel rejectionから抜粋

However, it is possible that outlying hot pixels surviving the pre-selection cuts deform the shapes of the shower images. Such effects could significantly smear the α distribution for gamma-ray events. In fact, the α distribution of the OFF-source runs were observed to be deformed from the Monte-Carlo prediction.

- カメラの外側にあったPMTのホットチャンネルのうち、pre-selection cutsでも残ったものが、シャワーのイメージをゆがめた可能性がある。」

2000y

Box : 19,27,36

ch : 1-5(B1),49,50(B4),85-88(B6),97-104(B7),128(B8), 161-168(B11),405-416(B26)

33	17	18	19	20	34
32	13	14	1	2	21
31	16	15	4	3	22
30	9	10	5	6	23
29	12	11	8	7	24
36	28	27	26	25	35

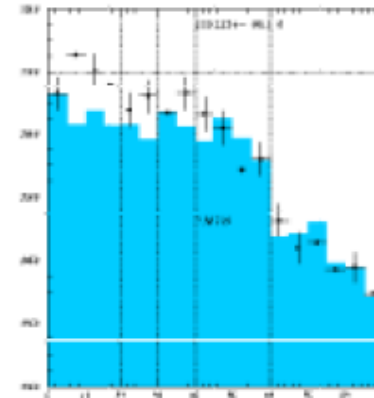
Fig.23: (Y2000) “hot ch”

2001y

Box:27,36,

ch:4,7,8,15(B1), 57,58(B4),81-88(B6),110-112(B7),128(B8),
161-168(B11),181,185,188,191(B12),413(B26)

33	17	18	19	20	34
32	13	14	1	2	21
31	16	15	4	3	22
30	9	10	5	6	23
29	12	11	8	7	24

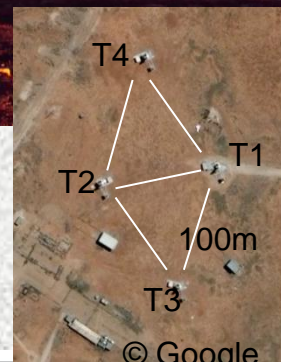
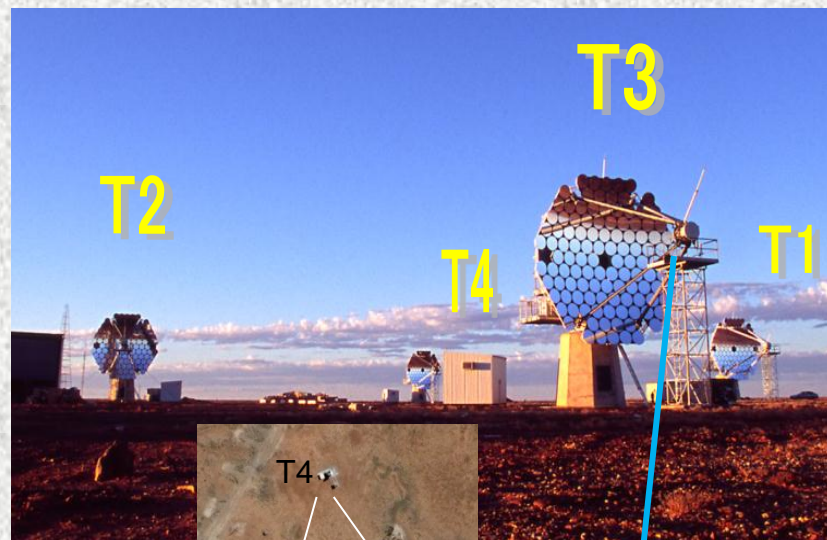


4 σ 以下

Fig.18: Alpha distribution after Likelihood-ratio cut ($0.4 < L$).

CANGAROO-III

- COEプログラム(1999-2003年度)
代表 木舟一→森
CAN-IIを10m鏡へ(小型鏡54枚追加)
他に3台の同型10m望遠鏡を増設、
- Telescope:
 - 114×80cmφ FRP mirrors (57m²)
 - 8m focal length
- Camera:
 - T2,T3,T4: 427ch (4° FOV)



Camera+Electronics

孤立PMTシステム(ADC+TDC)

6角形配置

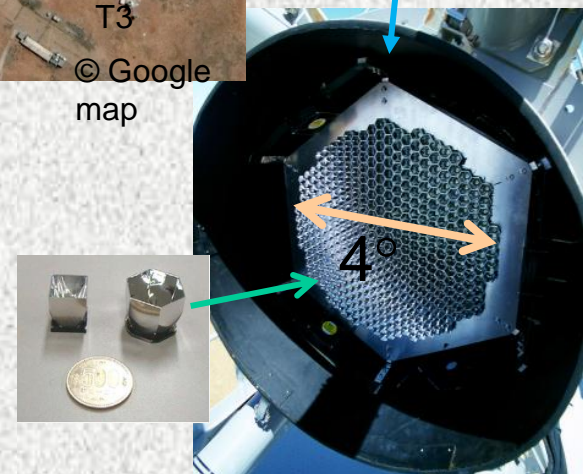
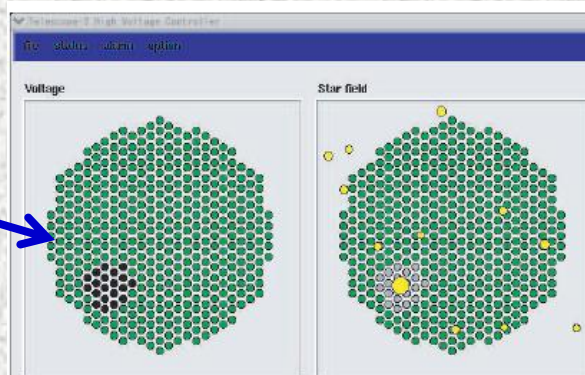
0.17度ピクセル

ライトガイド(反射率~85%)

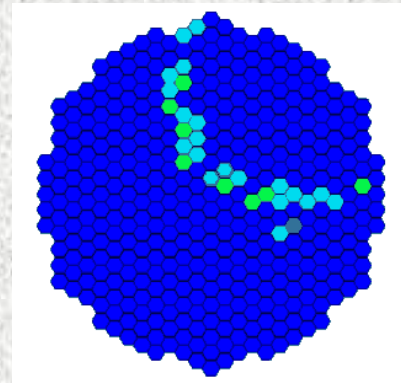
同軸ケーブル

独立HV(星でOFF可能)

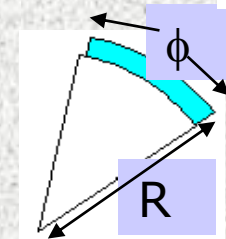
広ダイナミックレンジ ~200ph



鏡反射率計測



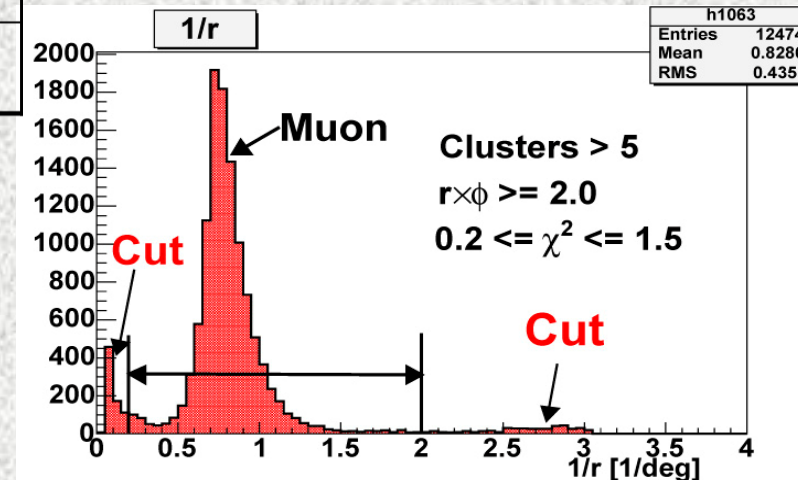
	FoV	Trigger Rate	Rate after noise cut; hadron+ μ	cloud day rate (mainly μ)
T1	2.8°	~10Hz	~4Hz	<<1Hz
T2	4°	~30Hz	~20Hz	~2Hz
T3	4°	~50Hz	~26Hz	~5Hz
T4	4°	~90Hz	~52Hz	~20Hz



$r[m] \approx 8 \tan \theta_C$
on the focal plane

エネルギー閾値 500GeV程度となった。

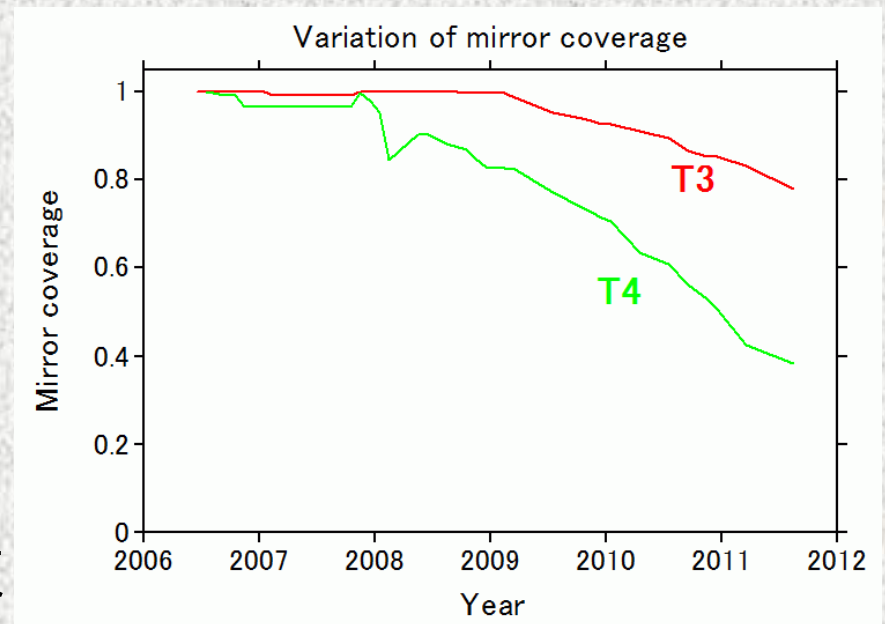
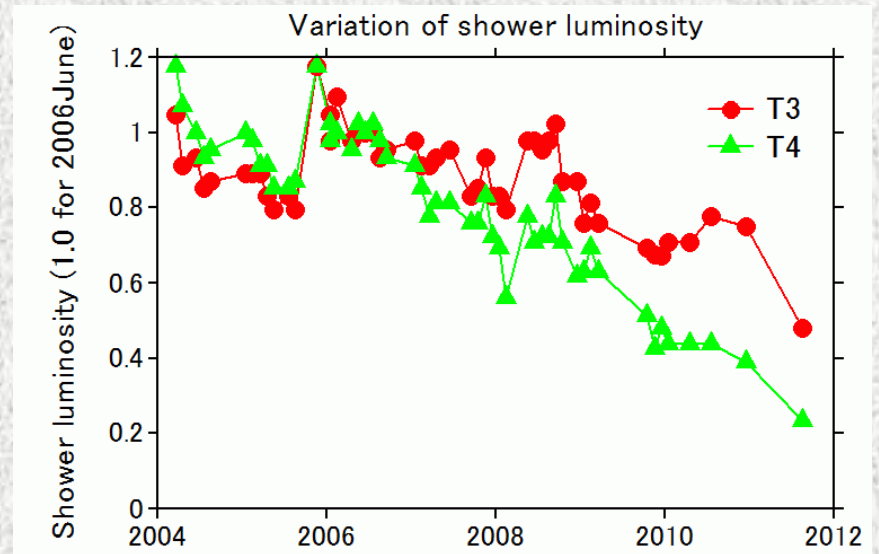
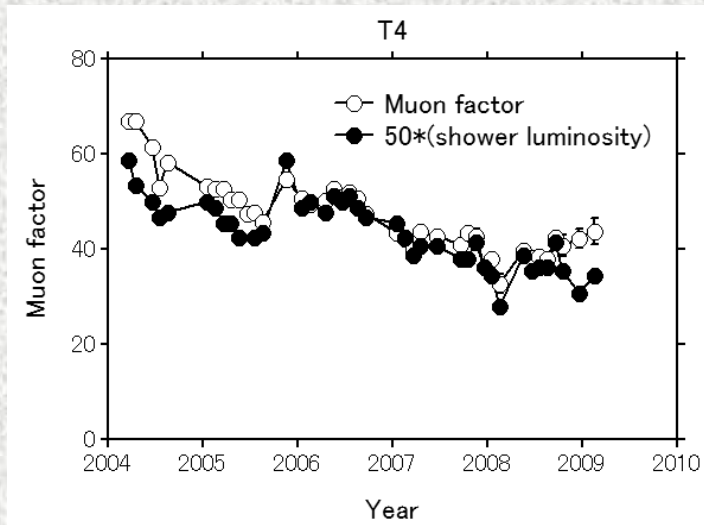
当時、CAN-Iで鏡を自主開発せず、鏡に対する認識が低かった。→後に気づいたが一旦鏡を決めると変更は不可能、カメラ等は変更可能。イメージングTEV観測では天文学と同様に鏡が最優先であった。その認識が90年代には不足してしまった。



Curvature Distribution

1-7GeV : $1/r \geq 1.0$ [1/deg]
> 7GeV : $1/r < 1.0$ [1/deg]

反射率の経年変化



- 2008年から鏡の落下と表面剥離が顕著になる、特にT4

CAN-III 解析法の改善(2005～)

- HESSとの結果の食い違いを受け、解析を組織的に改善した。
- Parameter Cutを行わないIndependent Analysis、Fisher-Discriminantの導入
- Likelihood とFisher-Discriminant Method
- シミュレーションと観測データの解析ソフトの同一化
- さらに2つのAnalysis sub-groups を作る
 1. ICRR,茨城、山形
 2. 京都、東海、甲南一つの天体に対して2グループが独立に解析、確認。

CANGAROO-III Results

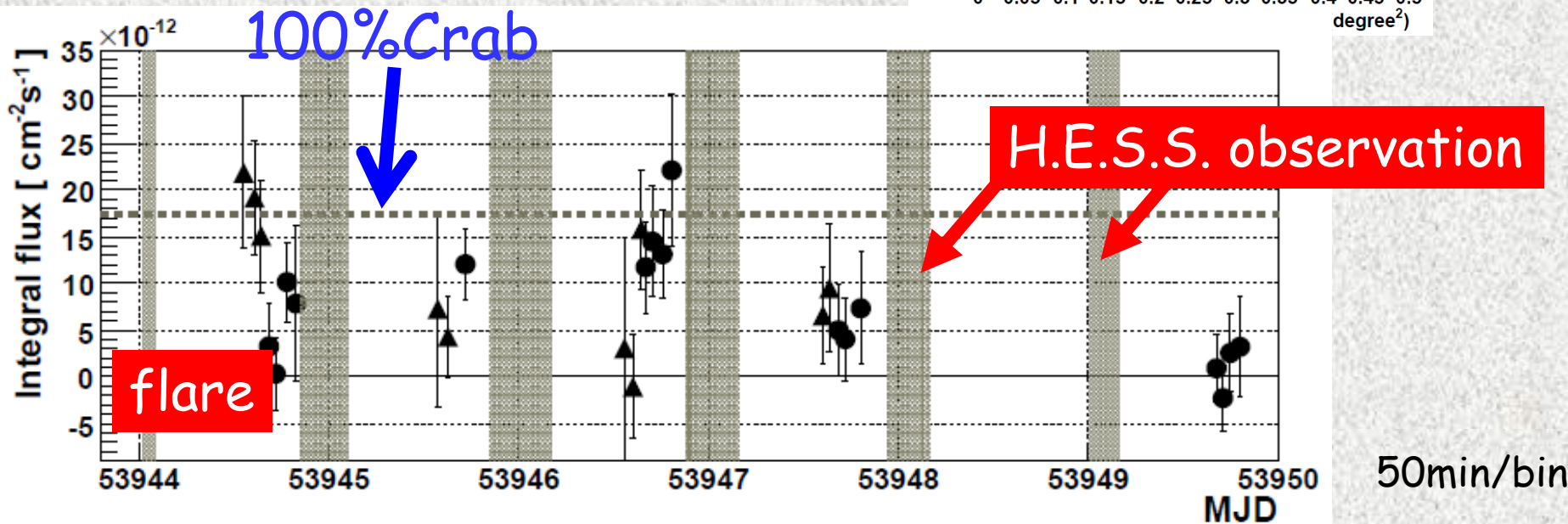
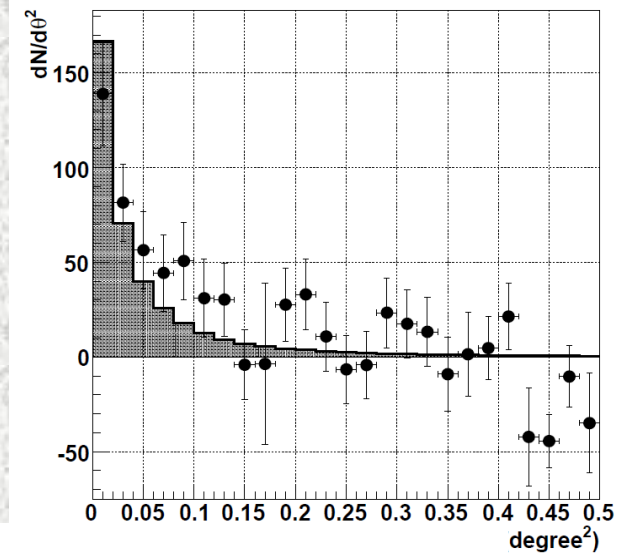
Vela Pulsar & X	↓ (Pulsar) ○(X)	ApJ'06
RX J0852.0-4622	○	ApJ'06
CenA/ωCen	↓	ApJ'07
SN 1987A	↓	ApJ'07
PKS 2155-304	○	ApJ'08
MSH 15-52	○	ApJ'08
Kepler SNR	↓	ApJ'08
HESS J1804-216	○	ApJ'08
Galactic Disk ($l=16.5/+13.0$)	↓	AsP'08
W44	↓	PhD thesis
PSR B1706-44 nearby source	○	ApJ'09
Abell 4038/3667	↓	ApJ'09
HESS J1614-518	○	ApJ'11
H2356-309/PKS2155-304/PKS0537-441/3C279	↓	Accepted by AsP

CAN-IIIではHESSの確認観測が中心となった。ただ若手により多波長観測を組み入れた精密なモデル解析論文が幾つか出せた。

CAN-IIIの成果の例 PKS2155-304

Sakamoto et al., ApJ 2008

- HBL ($z=0.116$)
- Alert by H.E.S.S. (av. ~ 7 Crab)
- CANGAROO ToO observation
- 2006 Jul 28 - Aug 2
- 10.5 hours for 5 nights

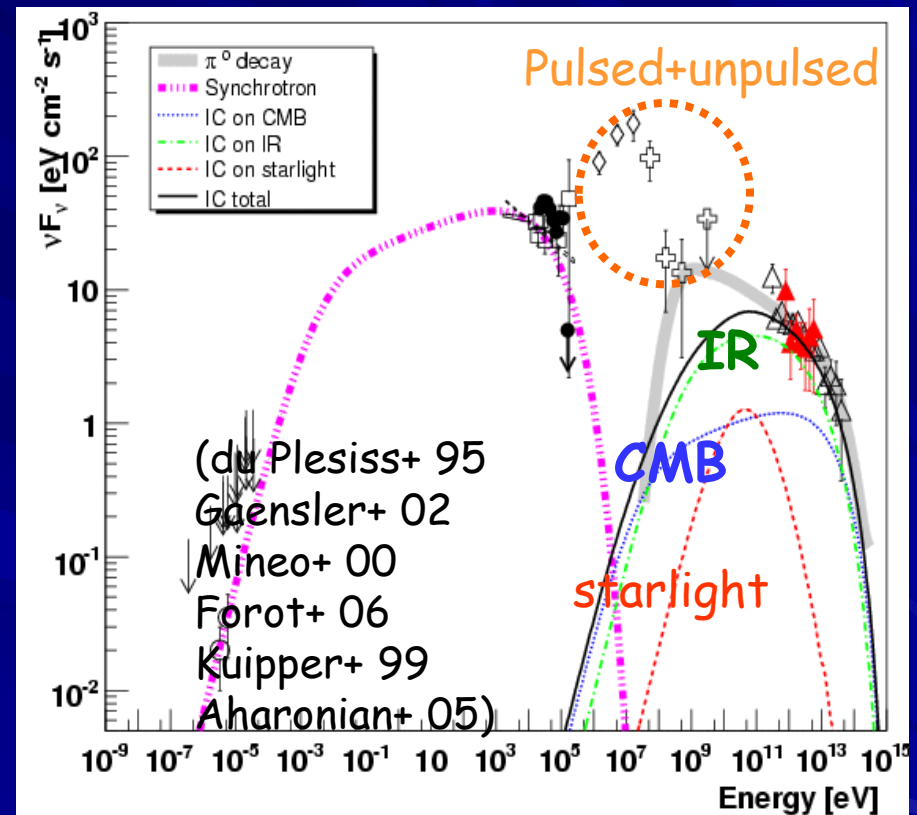
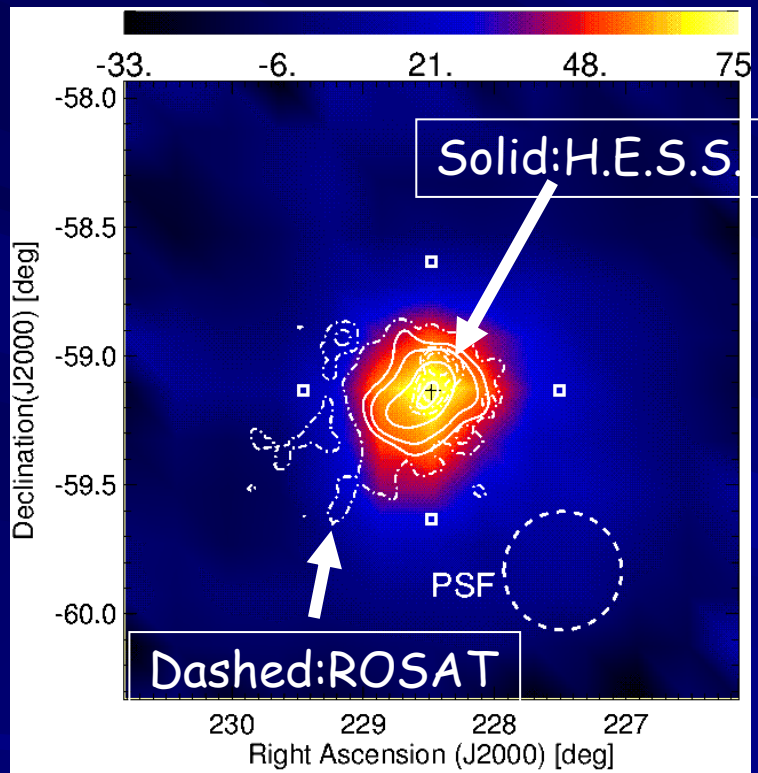


PWN MSH15-52



(Nakamori et al, ApJ 2008)

radiation model(lepton)



- 2006 Apr-Jun
- 48.6 hours
- Extended emission
- 582 events, 7.6s

$B = 17$ mG

- Starlight 1.4 eV cm⁻³
- IR necessary (1.4 eV/cc)
- $E_{\text{electron}} = 5E48$ ergs

UnID HESS J1804-216

Y. Higashi et al., ApJ (2008)

- May-July 2006, 3-fold,

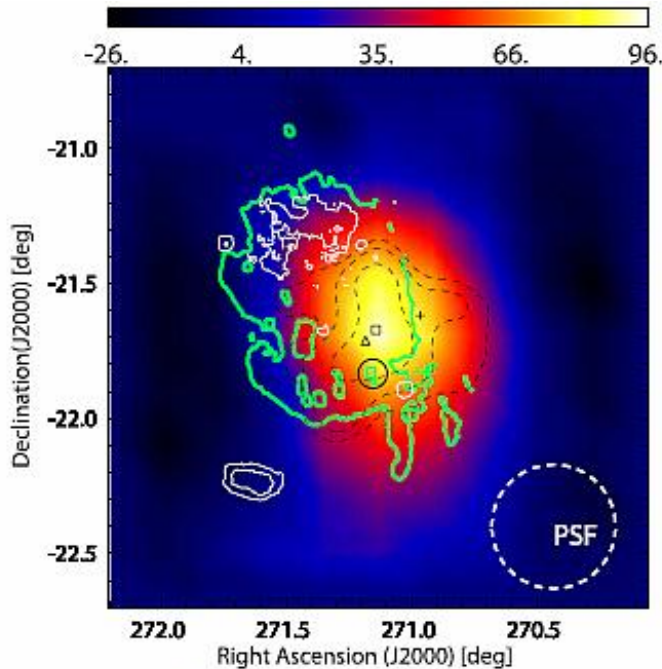


FIG. 2.— Smoothed morphology of gamma-ray-like events with our PSF of 0.23° radius. Dashed contours show the VHE gamma-ray emission seen by H.E.S.S. (Aharonian et al 2006a). The thick solid contours (green) show the 20 cm radio emission from G8.7-0.1 recorded by the VLA (White et al 2005). The thin solid contours (white) show the X-ray emission detected by the ROSAT satellite (Finley & Ögelman 1994). The solid circle indicates the position of G8.31-0.09 (Brogan et al 2006). The cross indicates the PSR B1800-21 position (Brisken et al 2006). The triangle and the square indicate the position of Suzaku Src1 and Suzaku Src2, respectively.

Consistent with H.E.S.S.

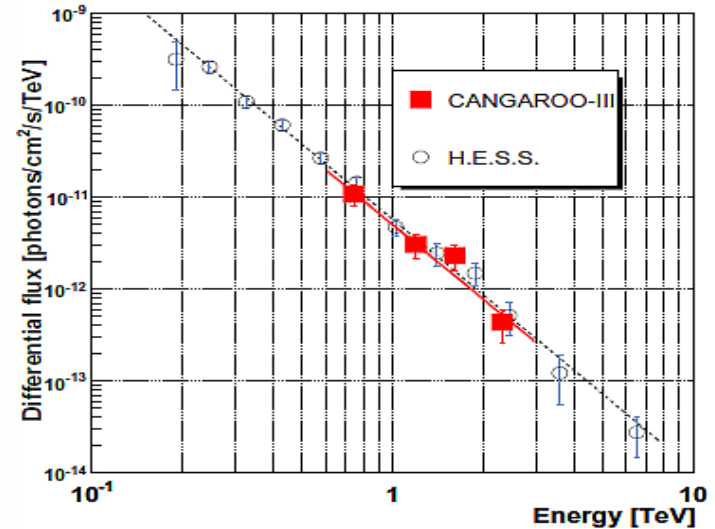
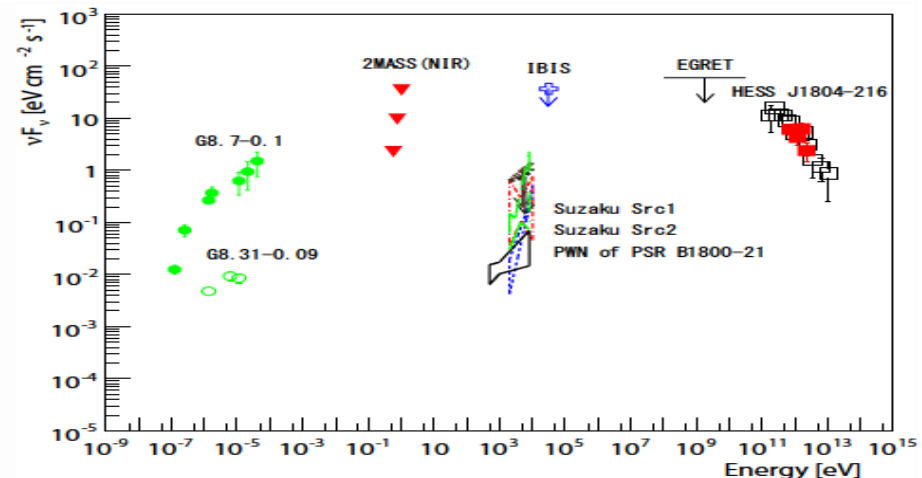


FIG. 3.— Differential flux. The squares and circles show the CANGAROO-III and the H.E.S.S. data points, respectively. The best-fit power-law is also shown by the solid and dashed line from this work and from H.E.S.S., respectively.



HESS J1614-518観測



冪: $-2.4 \pm 0.3_{\text{stat}} \pm 0.2_{\text{sys}}$
 $29 \pm 8\%$ Crabレベル

Mizukami et al. ApJ in press

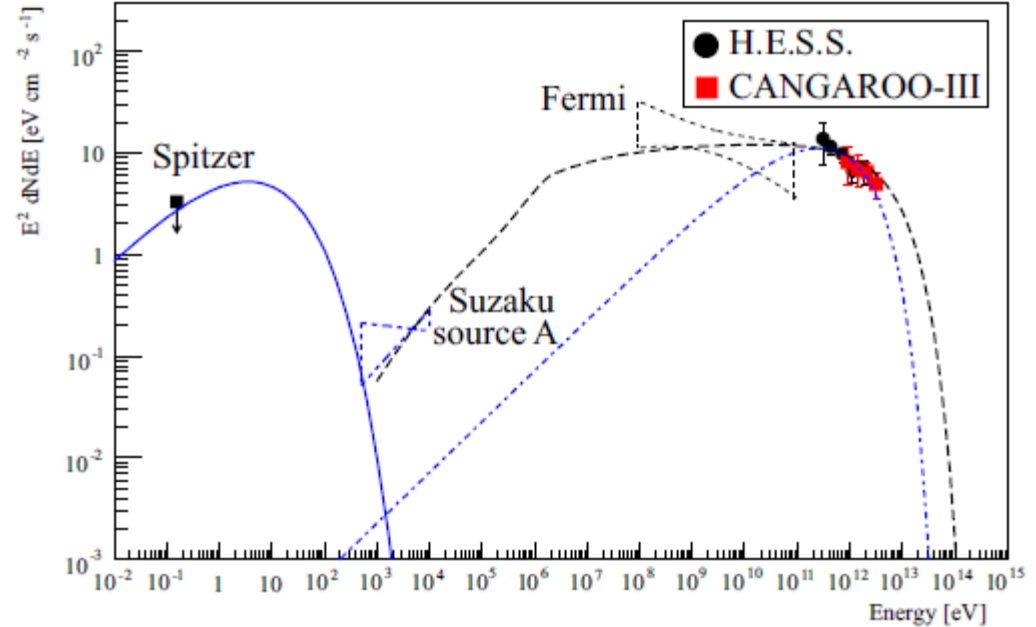
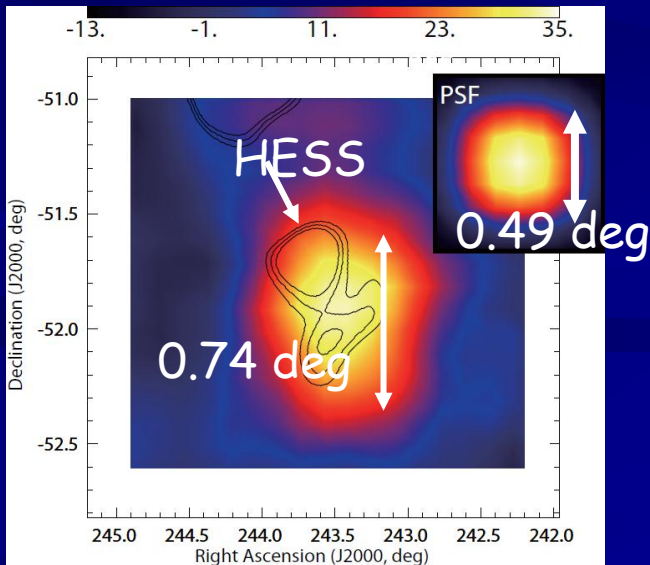
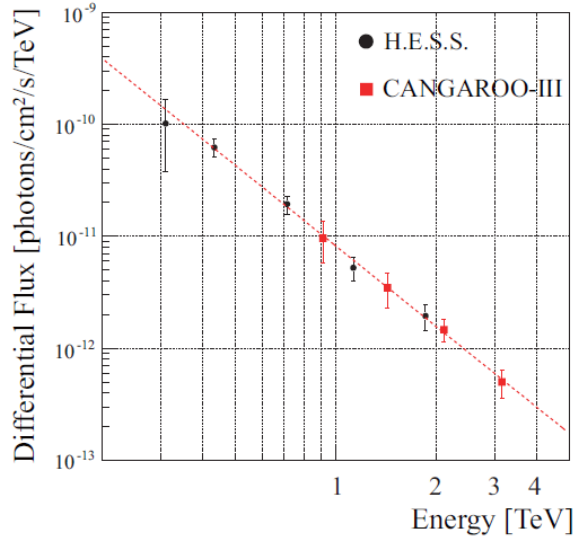


FIG. 6.— SED with leptonic model curves for HESS J1614–518. The dash-dotted and solid blue lines show IC and synchrotron emission derived from the single power-law electron spectrum with an exponential cutoff to fit the VHE emission with a magnetic field of $6 \mu\text{G}$. The dashed black line shows a Bremsstrahlung curve for a number density of ambient matter of $600 p \text{ cm}^{-3}$.

まとめ (CAN-I,II)

- ・TeV γ での宇宙観測の重要性を日本でいち早く見抜き、80年代に小規模ながら実験グループを組織した。その結果、将来計画(CTA)を担っていける有為な人材を輩出する事ができた。
- ・90年代には南半球でEGRET及びX線観測等に基づき最初にイメージングによる銀河面SNR,PWN中心の観測を開始した。2003年までにはほとんど行われて来なかった広がった天体を観測し、この分野で大きなトレンドを作った。その中でVELA, RXJ1713, PSR1509、RXJ0852等からの γ 線を検出。RXJ1713は広がったSNRからの最初の検出となった(0.6Crab以下)。
- ・非常に限られた資金の中で、高いイメージング能力を持った望遠鏡を作った。

しかし一方で...

- ・装置の電気ノイズが高く、夜光などの影響により、結局は十分な感度を達成できなかった。
- ・解析手法でグループ全体の統一性が無く、上記ノイズの対応等に多くの系統誤差を生み、SN1006,NGC253,PSR1706の間違った結果を生じる原因となった。

この様な問題によって残念ながらTeV γ のコミュニティや周辺分野の方々に多くの混乱を与えてしまった。ここでお詫びをしたい。

まとめ (CAN-III)

- いち早く大型ステレオ観測を南半球で実現し、広がった天体や銀河面等の明るい領域での観測手法を開拓した。そしてSNR, PWNを中心とした粒子加速解明を目指した。
- 2002年から2011年まで約0.1Crabの感度で観測、特にHESSの未同定天体の再確認を中心に行った。
- 小規模機関の集合であり、競争的資金のみで20年運営した。にも関わらず、査読付論文39本、D論18本、M論70本を出すことができた。

しかし一方で...

- 鏡の性能不足により閾値が0.5TeVとなり予定の性能が得られなかった(~ 0.1 TeV)。鏡の重要性に対しての認識が甘かった。また回路の設計にも大きな問題があった。
- 組織間の意思疎通の悪さなど運営力も不足していた。

今後CANGAROOができること

1) 今後の解析等、

- ・グループがほぼ今年で解散する中、CAN-IIIで取得したSN1006に関しては、上限値を投稿の検討、また可能ならGAMMA2012でCANGAROOのまとめの発表を提案する。またC-I、SN1006の再解析論文からErrataへの変更を検討する。
- ・ RXJ1713.7、W44、G.C.、HESS J1303-631、PSR B1259-63、Abell3376、30 Doradus、SMC、Vela Scan等のCAN-IIIデータをどの様にするのかはグループ内で現在検討中。

2) 撤収に関して

CANGAROOは現在撤収に向けて動いている。実際に大型の装置を撤収させる事は案外面倒であり、今回の我々のやり方が今後の参考になればと思う。

また共同利用に対しての報告書の製作について検討する。

3) 教訓を次の世代へ

80年代から始まったCANGAROO実験は、 $\text{TeV}\gamma$ という新しい研究分野を日本に作り上げてきた。一方で、大きな問題を出してしまった事実がある。我々が最後にできるのは、正と負の両面の教訓を次世代を担うプロジェクトや人々に正確に伝えることであると思う。