CHESS 観測提案 追記

平成 12 年 7 月 18 日

京都大学 理学部 谷森 達
東京工業大学 理学部 窪 秀利

1 CELESTE 及び STACEE の結果

太陽光集光装置をチェレンコフ光検出用に改良した CELESTE(欧) 及び STACEE(米) の Crab の観測結果が 6 月末の国際会議で発表された。非パルス成分については、CELESTE は、$(2.5\pm0.5\pm1.2)\times10^{-8}(\mathrm{E/GeV})^{-2}$ photons/cm^2/s/GeV(E>50 GeV)、一方 STACEE は、E=190 GeV で $(2.2\pm0.6\pm0.2)\times10^{-10}$ photons/cm^2/s である。パルス成分については、CELESTE は解析中であり、STACEE は全強度の 5.5%以下という上限値である。これらの結果と他のグループの観測結果および理論モデルを図 1 に示す。

まず、非パルス成分 (Crab nebula) については、STACEE の結果は、EGRET と WHIPPLE を結ぶ線上にあり、後述の逆コンプトン散乱のモデルと一致している。一方 CELESTE の結果は、EGRET と WHIPPLE を結ぶ線上から、2σ 程度低い値である。CELESTE グループによれば、今回の結果は preliminary なものであり、今後の解析によって、エネルギー閾値および強度が変わる可能性があるとのことである。

パルス成分 (Crab pulsar) については、EGRET が 10 GeV までのパルスを検出しており、30 GeV で上限値を出している。STACEE の結果は、これまでの地上望遠鏡 (300 GeV 以上) の上限値のエネルギー閾値を下げた結果となっている。

2 CHESS による観測の科学的意義

EGRET で検出された Crab pulsar からのガンマ線パルスは、他の波長と同期しており、回転する中性子星付近 (中性子星と共に回転する光円柱内) で放射が起きていることを意味している。放射の源は中性子星近傍で加速された荷電粒子 (電子と陽電子) と強い磁場の相互作用と考えられるが、理論的にはこの加速が起きている場所を中性子星の表面近くとするモデル (polar cap モデル) と、やや離れた場所とするモデル (outer gap モデル) が提案されている。前者では、中性子星近傍の強く湾曲した磁力線によって生じる高電位差によって、荷電粒子が超高エネルギーに加速され、磁場内の曲率放射としてガンマ線を放出し、さらにこのガンマ線が磁場内でカスケードを起こし、広いエネルギー領域にわたる放射を生み出すとする。後者では、パルサー磁気圏外部の開いた磁力線と中性面との境界にできる真空ギャップで荷電粒子が加速され、曲率放射または逆コンプトン散乱によりガンマ線が放射されるとする。現在の観測データを説明する上では両者の決定的な差は出ていない (図 2)。しかし、EGRET によって観測されているエネルギーの上限値 (約 30 GeV) 以上では二つのモデルの違いは大きくなり、polar cap モデルでは磁場中での電子・陽電子対生成が効いてくるため、パルス放射は大きく減衰すると考えられる。一方、outer gap モデルでは、高いエネルギーまで伸びたスペクトルが予想される。現時点で観測結果が得られていない 30 GeV から ~100 GeV での観測は、パルサー磁気圏の物理を理解していく上で大きな意味を持っており、もし、パルス成分が検出できなくても、このエネルギー領域で、上限値を与えることは意義がある。

10 TeV 以上まで伸びている Crab nebula からの非パルスガンマ線の存在は、パルサーの磁気圏より遠いところで、パルサーと別の粒子加速機構が働いていることを意味する。有力なモデルとして、パルサーからの粒子風が周囲の星間物質と衝突して衝撃波面が作られ、この衝撃波面で加速された高エネルギー電子・陽電子が磁場中で、数十 MeV にいたるまでのシンクロトロン放射を起こし、ガンマ線は、このシンクロトロン放射を起こしているのと同じ荷電粒子が、パルサー星雲中の光子を逆コンプトン散乱によって高いエネルギーまで叩きあげて放射されていると考えられている。図 1 でわかるように、EGRET と WHIPPLE の観測エネルギー間に、放射強度のピークが存在する。逆コンプトン散乱による強度と、COMPTEL で得られているシンクロトロン強度から、放射領域の磁場の大きさが直接的に求まるため、逆コンプトン散乱の放射強度が最大となる 30 GeV から 100 GeV の観測は重要である。

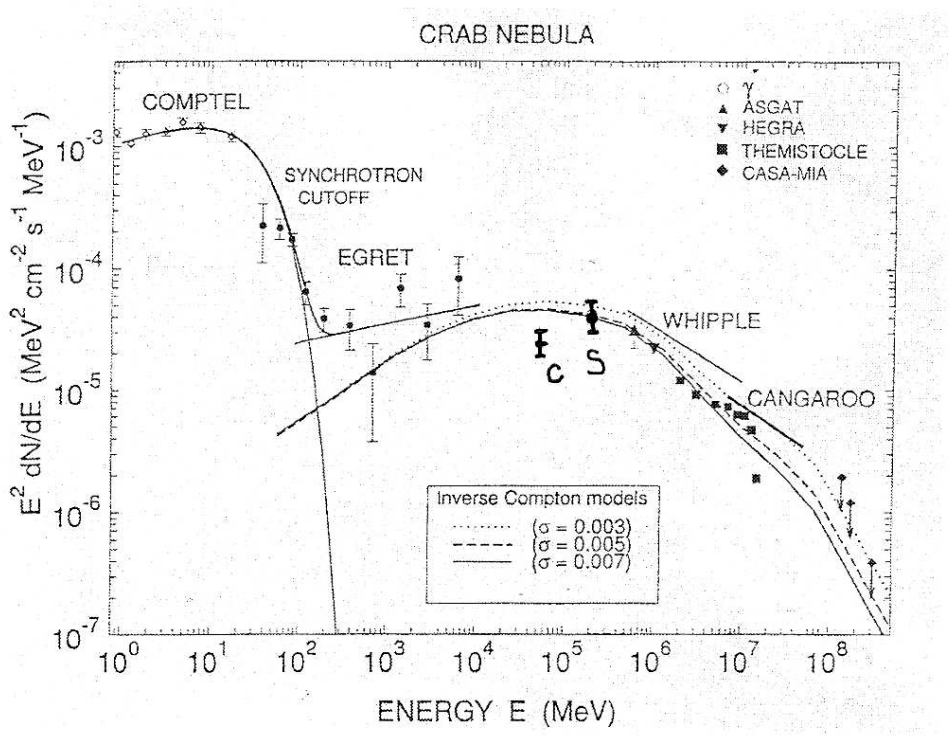
以上のように、30 GeV から ∼100 GeV の領域のガンマ線のパルス成分及び非パルス成分のエネルギースペクトルが測定できれば、パルサーにおける粒子加速理論の解明の鍵となるだけでなく、パルサー周囲の磁場やプラズマ密度についても貴重な情報が得られることになる。CHESS の観測エネルギー閾値は、天頂角が大きくなるほど、高くなり、シュミレーションによれば、30 度で 30 GeV、40 度で 50GeV、50 度で 100 GeV であり、まさに、上記の観測エネルギー領域である。

3 スケジュール

問い合わせのあった、今年 10 月の Crab 観測可能時間 (天頂角 60 度以内かつ日出 90 分前まで) を図 3 に示す。10 月末に観測する場合は 10/31 前後が望ましく、Crab nebula からのガンマ線を 10σ で検出するために、観測時間は、天頂角 50 度以内の合計が 20 時間以上であることを希望する。本観測が 10 月末の場合のスケジュール案を表 2 に示す。観測装置の改良を行う作業場所は、場所があるならば山麓を希望する。表中の観測装置改良 2 週間は、作業場所として山麓を仮定している。

表 1: Crab 観測可能時間。条件は天頂角 40,50,60 度以内かつ、日の出 90 分前まで。

月/日	南中時刻	天頂角		
		40 度以内 (分)	50 度以内 (分)	60 度以内 (分)
10/21	03:52	66	109	153
10/22	03:48	129	172	216
10/23	03:44	191	234	278
10/24	03:40	246	289	333
10/25	03:36	250	293	337
10/26	03:32	254	297	341
10/27	03:28	259	302	346
10/28	03:24	263	306	350
10/29	03:20	268	311	355
10/30	03:16	272	315	359
10/31	03:13	276	319	363
11/01	03:09	280	323	367
11/02	03:05	285	328	352
11/03	03:01	289	301	301
11/04	02:57	251	251	251
11/05	02:53	200	200	200
11/06	02:49	149	149	149



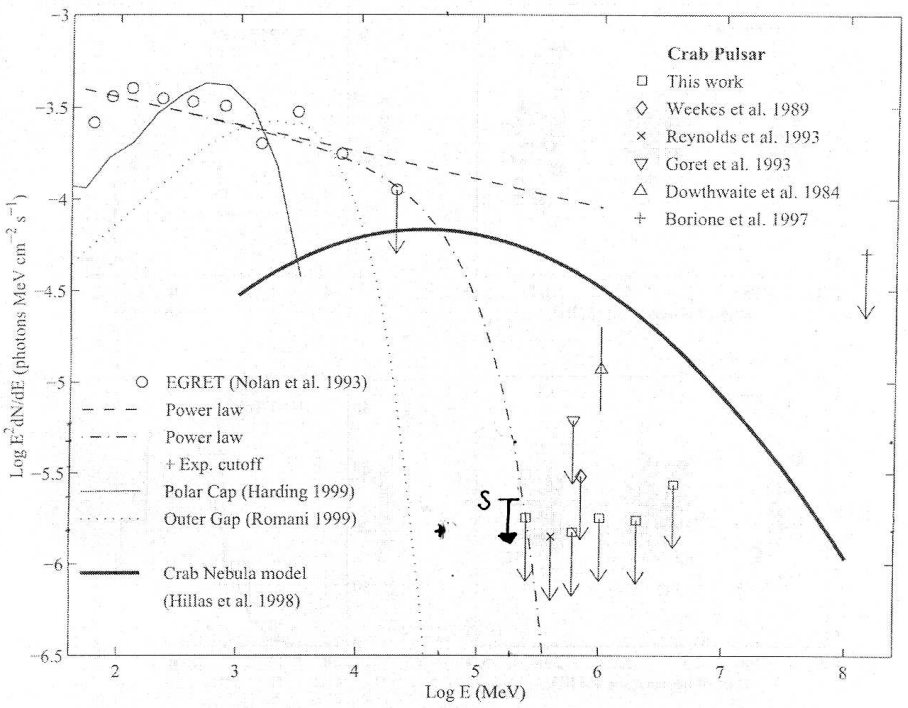


図 1: (上図)Crab nebula のガンマ線強度。O.C.de Jager, 1997, Kruger workshop の図に、STACEE(図中記号 S) と CELESTE(図中記号 C) を追加した。(下図)Crab pulsar のガンマ線強度。R.W.Lessard et al. 2000, ApJ, 531, 942 の図に、STACEE の上限値 (図中記号 S) を追加した。なお、図中 This work とは Whipple の結果である。

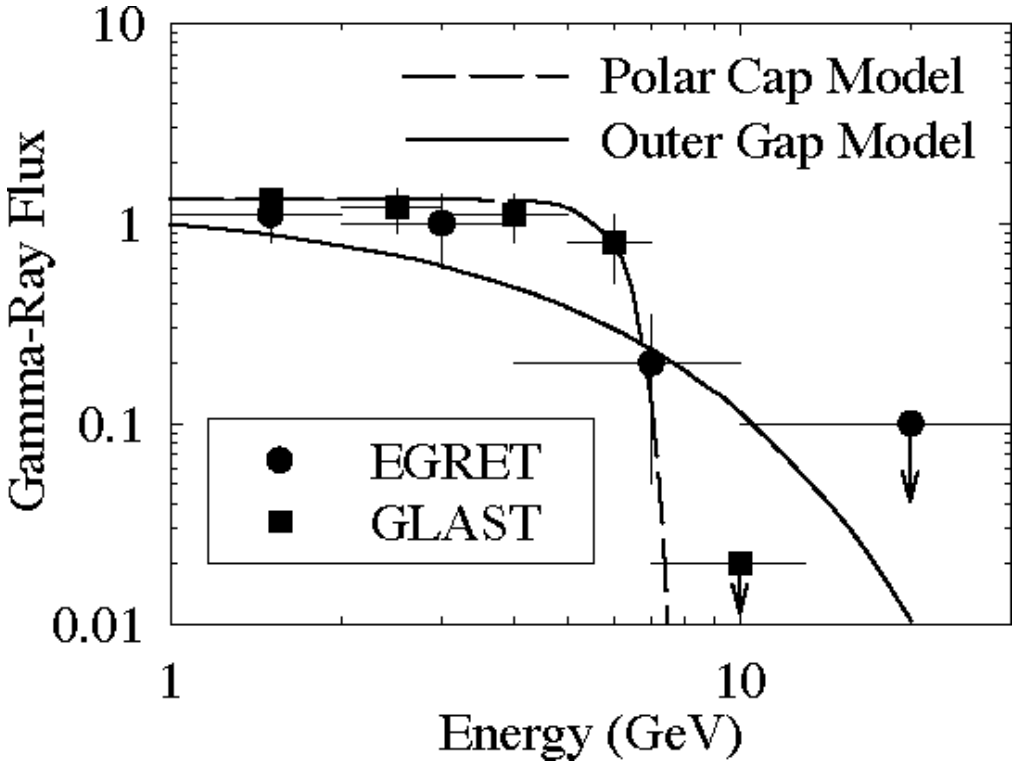


図 2: パルサーの放射モデルによるガンマ線スペクトルの違い。polar cap モデルでは高いエネルギーのガンマ線はカットオフされるが、outer gap モデルでは高いエネルギーまで伸びていることが予想される。(2005 年打ち上げ予定の GLAST 衛星の計画書より引用)

表 2: スケジュール案 (10 月末に本観測を行う場合)

時期	期間	作業内容
7 月		改良に必要な電源及びモジュールの発注
8 月		上記物品の納品および動作テスト
9 月上		上記物品のハワイ輸送
9 月中		人員派遣
9 月中 ~ 下	2 週間	観測装置改良
10 月上	1 週間	調整室での観測装置動作試験
10 月中	1 週間	ドーム観測床での動作試験
10 月下		本観測

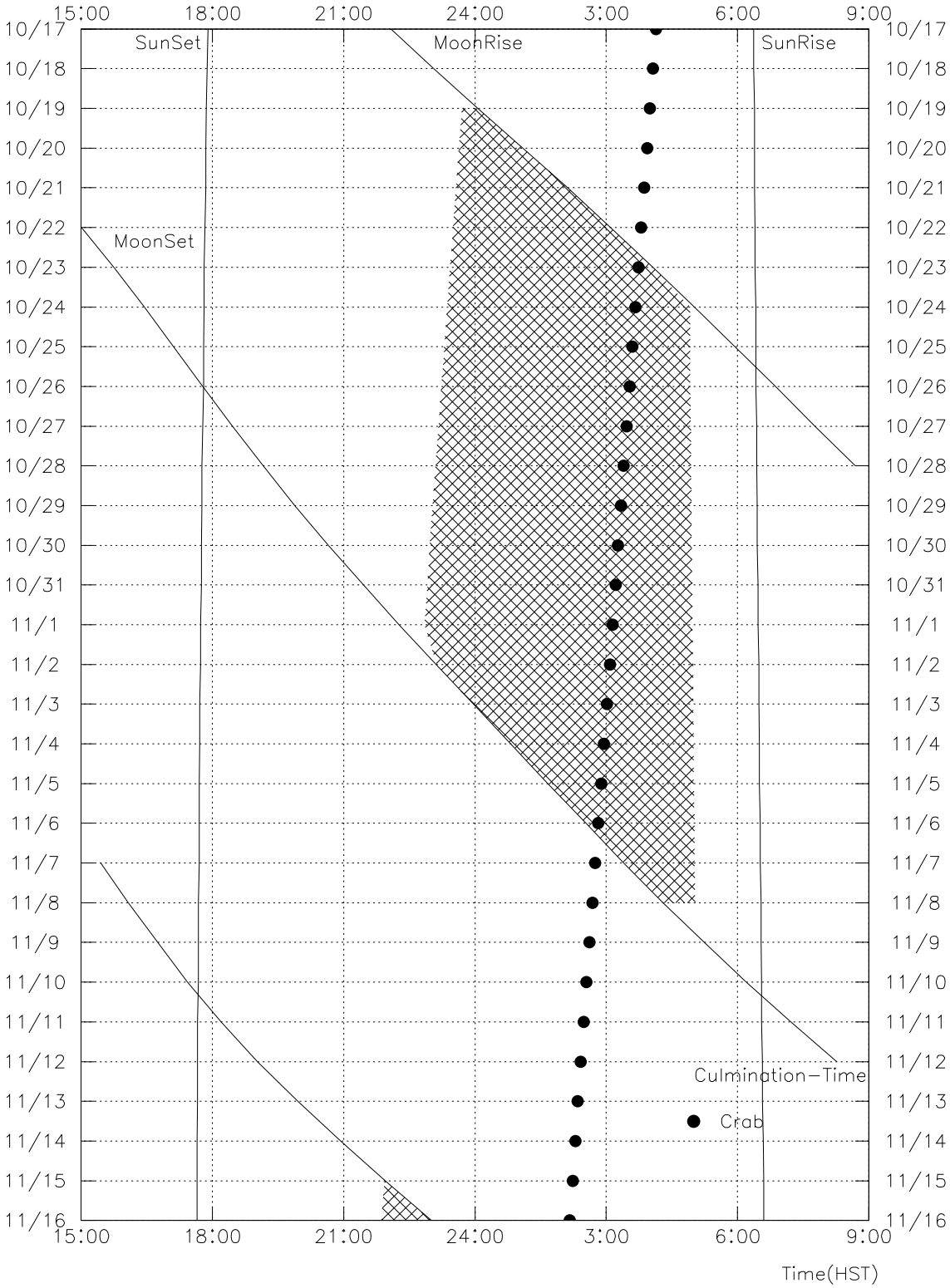


図 3: 2000 年 10 月の Crab 南中時間 (HST)。網掛けされている部分が観測可能時間 (天頂角 60 度以内かつ日の出 90 分前まで)。

4 観測装置の改良

6/6 付で提出した改良案のそれぞれについて、日本国内での準備期間 (モジュールの納期) を表 3 に示す。前回の提案書に述べたが、表中の項目番号 1 については、一部が既に発注済であり、9 月上旬には準備が整う。その他の項目については、国立天文台からの予算が決っていないため、まだ発注していない。前回の提案書では、本年度観測する場合は、項目番号 1、4、5 のみの改良を提案したが、全ての項目を本年度行うとすると、11 月末以降の観測であれば、全ての項目が準備できるが、10 月末に観測する場合は、項目番号 2 と 3 は間に合わない。

表 3: 装置改良の準備期間

番号	改良点	準備期間
1	入力電圧許容範囲を広くし、電圧降下に耐えられるようにする。	2 か月
2	光電子増倍管 (PMT) への HV を 2 本単位でかけられるようにする。	3 か月
3	全 PMT に対し ADC を装備する。	2 か月
4	光ケーブルを 1 対減らす。	2 週間
5	入力電圧モニター、アナログ波形モニターを装備する。	1 か月