田老宇宙線観測所報告(I)

佐久山博史*·鈴木 昇**

はじめに

超高エネルギー宇宙線空気シャワーの中心構造及びたて方向の発達を観測し,超高エネ ルギー核相互作用並びに一次宇宙線の組成の研究を行なう。

空気シャワーのたて方向の発達を忠実に観測するには、空気と性質のよく似た水のよう なものを、少なくとも 100 m ぐらい広い範囲にわたって通過させることが必要である。 今回の計画は岩手県宮古市にある、本大学田老キャンパス内にある内径 30m, 水深 3 m の大水槽を中心として、その回りに観測装置を設置するものである(写真1)。

昭和56年度に研究費が認められたので、比例計数管をはじめ、色々な観測装置の本格的 製作に取りかかった。ここでは宇宙線観測装置の進行状況について報告する。以後さらに 詳しい報告を出して行きたいと考えている。



写真 1

昭和58年9月現在,各検出器の設置状況は 2m 比例計数管 360 台,1m 比例計数管 16 台完成作動中,0.25 m² (25 台),1 m² (2 台) シンチレーション 検出器そして 角度検出 器4台はすべて設置作動中である (写真2)。残りの検出器は完成次第,随時設置する予 定である。

^{*} 理工学部物理学科教授 宇宙線

^{**} 理工学部物理学科助手 宇宙線



写真2

記録器部分は各検出器からの信号を取り込み,磁気テープに記録し,情報科学研究セン ターにある大型コンピューター HITAC M-160 H により処理を行なっている。

序 論

10¹⁵ eV 以上の一次宇宙線(陽子又は原子核)が地球大気に突入して空気の原子核と激 しく衝突すると、多数の π°,π[±] 中間子, K-中間子などの二次粒子が作られる。このうち の π° 中間子は非常に短い時間 (10⁻¹⁶ 秒程度) で2個のガンマー線 (光子)に崩壊し、こ れらのガンマー線は大気中で電子対創性を起こし、できた電子は制動輻射を起こして光子 を作る。この光子が又電子を作るというように、ねずみ算的に電子光子カスケードシャワ ーとなって発達する。二次宇宙線のエネルギーの高い π[±] 中間子, Κ 中間子等の一部は μ 粒子に崩壊する。崩壊しなかった π[±] 中間子, K 中間子, 生き残り核子等は空気核と相互 作用し, 沢山の π°, π[±] 中間子, K 中間子などを作る。核子が衝突後もまだ多くのエネル **ギーを持っている場合,空気核と相互作用して π°,π[±],Κ 中間子等を生成し,π° 中間子** は電子光子カスケードとなって増殖し, Κ 中間子の一部は μ 粒子に崩壊し, π[±] 中間子, K 中間子や核子などは再び空気核との衝突を繰り返し核カスケードが生長する。 10¹⁵ eV 以上の超高エネルギー宇宙線が地球大気に突入すると、その進行方向(軸)から数 m 以 内に高いエネルギーの核活性粒子が集中し、核カスケードの各世代で作られた電子光子カ スケードが重なり合って、粒子総数はぼう大な数になり、シャワーのように地上に降り注 ぐ。これらの粒子群の大部分を占めている電子光子成分は主に電子の空気中での多重散乱 により、軸から数 100m~1 km の広い範囲にわたって分布する。これを図1のように空 気シャワーと呼んでいる。μ粒子は大気中でほとんど吸収されず,エネルギーが高ければ μ-e 崩壊もしないから,空気シャワーの発達の過程で作られたμ粒子は全部が地上に到達 する。

一次宇宙線が大気に入射すると、大気の深さとともに急速に粒子数が増加し、ある深さ で極大に達し、核カスケードの世代が進むにつれて、核活性粒子のエネルギーが細分化さ れ小さくなるので、新たに作られる中間子の数も減り、逆に空気核との衝突による吸収が





図 2 空気シャワー名成分の大気中での遷移曲線, S_0 :全粒子数,N:核活性粒子数, μ : μ 粒子数,2次粒子としては π のみを考え,非弾性度 K,核衒实における二次粒子の多重度 $n=\alpha(KE)^{\alpha}$ 。



図 3 地上における空気シャワー粒子の横分布

大きくなり,数の増加は減少に変わる。電子光子カスケードについても同様である。図 2 は理論的に計算した各成分の大気中での遷移曲線,図3は地上でみる空気シャワー粒子の 大部分をしめる電子,光子成分の横分布であり,粒子密度 4 が中心に高く,中心から離れ ると単調に減少することを表わしている。

空気シャワーコアの観測、減衰長さの測定

宇宙線空気シャワーを一口で言えば、10¹⁵ eV 以上の超高エネルギー一次宇宙線が地球 の大気に突入して作られた、10⁴~10¹⁰ 個に及ぶ電子光子、μ粒子、π中間子、陽子、中性 子などのシャワーである。このような超高エネルギー現象を調べるための唯一の方法は、 現在のところ宇宙線による方法しかない、しかし近年急速に発達した人口加速器のエネル ギーは ~10¹⁴ eV まで達しており、近い将来は 10¹⁷ eV までいく予定である。

実際,空気シャワーカーブ(図 2)を観測すると,大気の深さと共に急速に増加し,あ る深さで粒子数最大となり,それから指数関数的に減少すると思われる。この減少カーブ を調べることにより,一次宇宙線の組成及び超高エネルギー核相互作用の貴重な情報が得 られる。これを調べるには,空気シャワーを地上と上空で同時に観測することにより,そ れぞれの場所での横広がり分布と,全粒子数を地上と上空とで比較することにより減衰率 が求まる。この観測方法は上空に検出器を多数設置することであるが,実際上不可能であ る。これに変わる方法としては,電子が制御輻射,光子が電子対生成を起こしエネルギー が 1/e になるまでの距離(輻射長さ)が似ていて,密度が空気と比較して非常に大きい 物質を空気の代りに吸収層として使えばよい。水は原子番号,質量数が空気とほぼ等しい ので輻射長さも似ているため,相互作用の仕方も非常に似ていることになる。しかし空気 と水とでは密度が約 1,000 倍も大きいため,粒子の横への広がり方は空気に比べて非常に

	臨界エネルギー	核相互作用平均自由行程	輻射長さ		
空 気	84. 2 MeV	89 g cm ⁻²	37.7 g cm ⁻²		
水	83. 8 MeV	$81 \mathrm{g}\mathrm{cm}^{-2}$	37. 1 g cm ⁻²		

小さい。水の深さ 1m は空気 1km に相当する。この場合水中部分の検出器は隙間なく 一面に並べる必要がある。この観測法により地上と水中間の空気シャワーの減衰を調べる ことができ、全粒子数の比較により空気シャワーの減衰曲線の傾きから減衰長さ が求ま る。これらの観測結果を従来のデーターと比較検討し、シミュレーション計算を行ない超 高エネルギー核相互作用を調べることができる。又超高エネルギー核相互作用の結果を反 映すると思われる中心付近の構造を調べることは、空気シャワーについての重要な情報源 となる。現在までにもダブルコアやトリプルコアのような複雑な形を示す現象が見付けら れ、超高エネルギー領域ではそれ以下のエネルギー領域と横運動量分布に違いがあるかど



うかを世界の色々なグループで調べている。

現在は水槽に水を入れずに空気シャワーのコア(芯)付近の観測を行なっている。空気 シャワーは全体として膨大な数のカスケードの複雑な現象の積み重ねであるが、図4のよ うに中心からの距離が数 m 以上は、電子の空気中での多重散乱の平均的な性質によって 決まる電子カスケードシャワーの広がりである。軸から数 m 以内の芯部分は高エネルギ ーの核子成分がかなりを占めている空間であり、個々の空気シャワーで超高エネルギー現 象の起き方がそれぞれ違うため、斜線で示すように範囲を持ってくる。この横広がりの形 から芯を調べるための実験を行なっている。

観 測 装 置

田老宇宙線観測所には各検出器の配置図(図5)に見られるように、地上100m四方に



図 6 角型ガス封入形比例計数管構造

宇宙線空気シャワーの大きさを測定するシンチレーション検出器(27台)が同心円上に並べられている。又空気シャワーの入射方向を決めるための角度検出器(4台)が 20m 四方に置かれている。中心部には超高エネルギー宇宙線空気シャワーのたて方向の発達及び コア構造を観測するために,巨大な水槽(内径 30m, 深さ 3m)の水底にガス封じ込め 型比例計数管(10×10×200 cm)を一面に 500 台敷きつめ,水槽上には長さの短い比例計 数管(10×10×100 cm)を 50 台等間隔に置いた装置である。データー収録はデーター収 集用自動ディジタル記録装置,TEAC MT-1000型コンピューター用ディジタル磁気テー プ装置から構成されている。データー解析は情報科学研究センターにある大型コンピュー ター HITAC M-160 H により処理を行なっている。

1. ガス封じ込め型比例計数管(3)(4)(5)(6)

10 cm 角, 長さ 2 m の細長い建材用鉄製角パイプの中心にハーメチックシールを介し て 100 µm¢ のタングステン線(芯線)が張ってある。この管内を ~10⁻³ Torr まで真空 に引いた後, PR ガス(高純度アルゴン 90%, メタン 10%)を1気圧充填する。管壁を 接地し, 芯線に +2.4 KV 程度の高電圧を印加しておく, 宇宙線が管を通過した時, ガ ス放電によるガス増幅機構を使って,入射した粒子数に比例した大きな電気パルスを出す。 図6 参照。この電気パルス波高値を記録して粒子数を観測する。このガス封じ込め型比例 計数管の大きな特長として, 製作コストが安価であり,長期間の安定性及び保守が良い点 にある。図7 は比例計数管回路図,写真3は水槽の中に設置された長さ 2 m 比例計数管 群。

2. シンチレーション検出器

空気シャワーを構成している主な粒子である電子光子が大気中で散乱され直径数 100m



写真 3



図 8 シンチレーション検出器構造

の広さに広がって降ってくる。しかも粒子密度はシャワー中心部で多く、遠方にゆく程減 少する、この粒子群を観測するために、シンチレーション検出器と呼ばれる高速高分解能 0.25 m² 検出器 25 台(図 8)、遠方に 4 倍の面積を持った 1 m² 大型シンチレーション検 出器 2 台を配置した。

構造は図8に示す通り特殊なプラスチックを用いたプラスチックシンチレーターは宇宙 線が通過した時,約 4200 Å の青紫色の光を発する。この光を暗箱で上部に集め,光を光



図 9 シンチレーション検出器ブロック図



写真 4

電子に変換し,光電子を直接10万倍程度増幅し電気パルスに変える光電子増倍管を用い, このパルス状の電流は検出器内に入った電子の粒子数を観測すると共に,一千万分の一秒 以上の時間的精度で粒子の到着時間をも検出できる。図9はシンチレーション検出器回路 図。写真4は水槽の上部と周囲に設置されたシンチレーション検出器と角度検出器群。

3. 角度検出器

ー次宇宙線の方向を軸に粒子群は軸より数 10~数 100m 遠方まで広がり, それらの粒 子はほぼ 2m 程度(時間的には約 7×10⁻⁹ 秒)の厚みを持った平板の中に分布している。 空気シャワーの広がりと厚みを利用し, 直径 30m の円周上に時間分解能が極めて良い角 度検出器4 台と高速回路ロジックを配置しシャワー粒子相互の到達時間差を観測する(図 10)。このようなシャワー粒子の時間的構造はシャワー発達について 重要な手掛りを与え 又, シャワーの到来方向を知ることができる。



30



図 11 角度検出器ブロック図

角度検出器動作は図11に示すように、空気シャワートリガー検出器(1,2,3,4)全部に 宇宙線が入った時のみ、データー収集を開始する。宇宙線が一番初めに到達した検出器か らの出力パルスを遅延回路を通し 200 ns 遅らせることにより、他の3台からの出力パル スの後に移動させ、3台の出力パルスのうち一番初めのパルスをスタートパルスとする。 この時 200 ns 遅らせた信号と各検出器の信号の時間差を、それぞれ波高値に変換(TAC) し、波高値をディジタル量に変換(ADC) し記録する。

4. データー自動記録装置

100m 四方に設置されている多数の検出器,比例計数管 550チャンネル,シンチレーシ





写真 5

ョン検出器 27 チャンネル,角度検出器チャンネルとして水上,水中の温度計2 チャンネ ルからの信号が同時に取り込まれ,順次自動ディジタル記録装置に入り,自動的にデータ ーを TEAC MT-1000 型コンピューター用ディジタル磁気テープ装置 (MT) に DE 記 録方式,1600 bpi 記録密度で磁気テープに記録される (図 12)。写真5 は自動ディジタル 記録装置と磁気テープ装置。

観測方法

田老キャンパス内に粒子密度の測れる多数の検出器 図13のように、広い面積に置かれ



地上部分観測装置

水中部分観測装置



ている。現在この内の4台をトリガー検出器(1, 13, 17, 21 番号)として使い, 4台の 検出器に同時に宇宙線が入った時、それぞれの検出器に入った粒子数を測定する。このよ うにすると個々の空気シャワーについて、粒子密度の分布が軸から単調減少すると仮定す ると、粒子密度の等高線が描ける。これから中心が多分×印の付近であること、中心から の距離に対する粒子密度の変化すなわち横広がりが分るから、それを積分して総粒子数が 得られる。このようにすれば限られた個数の検出器で広い面積を覆うことができ、空気シ + ワー1例1例について知ることができる。田老観測所からのデーターを計算機により解 析中である。

83.12.04 19:23 No793 S.15 A T-02C W T-02C FT: 199 197 183 186

_	A		в		с		D		E		F	5	
1	0.	0	0 •	0	0 •	0	0.	0	0.	0	0* 0	55	
2	0.	0	0 •	0	0.	ō	0.	ō	0 e	ň	0 - 0	60	-
3	0.	0	0.	0	ō.	ō	0.	ň	Ň	ň	0	67	
4	0.	0	Õ.	ō	0 e	ŏ	0.	ň	Ň	Ň	0, 0		3
5	Ö.	ō	0.	ŏ	Ň	ň	ě.	~	0	Ň	U ≢ U	48	4
G	0.	ō	0.	ň	0.	ň		Ň		Ň	0 . 0	62	5
7	0 e	ň	155	ŏ	108	×		v.	0	0	0 * 0	0	6
R		ň	115	Ň	120	8	140	0	0.	0	0 • 0	50	7
ŏ		Ň	110	~	141	0	147 •	0	0.	0	45 ★ 0	33	8
าดั	255	Ň	93	U.	154 •	0	146 •	0	95 🗢	0	17 * 0	59	9
11	200		100	U.	92 •	0	140 •	0	69 🖷	0	16 * 0	65	10
11		10	95 👁	0	131 •	0	117 🗢	0	90 •	0	0* 0	62	11
12	0.0	0	- 122 🗢	0	111 🖷	0	141 •	0	105 •	0	0* 0	43	12
13	64 🖷	0	115 •	0	0 🗢	0	111 •	0	91 •	0	Ó.* Ö	52	13
14	79•	0	120 🗢	0	56 •	0	154 •	0	84 🖷	ò	59 # 0	50	14
15	137 🗢	0	141 🖷	0	129 🖷	0	128 •	Ö	56 🖷	ŏ	0	36	15
16	158 🖷	0	6] 🖷	0	191 •	0	153 🗨	Ô	85 🖷	ň	ů+ ů	41	16
37	170 •	0	124 🗢	0	162 •	Ô	111.	ň	86.	ň	F7 + 0	41	10
18	126 🖷	0	166 🖝	ō	100 •	ŏ		ň	145 0	Ň	42 - 0	42	11
19	118 •	0	136 •	ň	100	ň	147	ň	140	Ň	42 0	54	18
20	128 •	ō	146.	õ	143	ň		Ň	140	Ň	2 4 4	28	19
21	135 •	ō	115.	ň	121	ň	120	Ň	122	Ň	0 .	54	20
22	95.	ň	127	ň	122	Ň	138		125	0	0 * 0	37	21
23	117	ň	122	Ň	102	×	00	v.	153 •	0	0* 0	61	22
24		Ň	133 •		141	Ň		v.	146 •	0	0* 0	24	23
25	197.0		20	v v	87.	Ģ	137 •	0	0 •	0	0* 0	0	24
25	121	Š	121	0	102 •	0	134 🗢	0	0 •	0	0 * 0	675	25
20	/0	0	69 🖷	0	127 •	0	117 🗢	0	0 🖝	0	0 * 0	0	26
21	109	0	89 🖷	0	98 •	0	150 🗢	0	0 🖷	0	0 * 0	0	27
28	45 •	0	57 🖷	0	126 •	0	154 🗢	0	0 👄	0	0* 0	ō	28
29	120 •	0	132 •	0	118 •	0	136 🖷	0	0 🖷	0	0 * 0	ő	29
30	114 🖷	0	0.	0	135 🖷	0	0 🖷	0	134 🗢	Ō	115 * 0	ŏ	30
31	€O ●	0	0 👄	0	155 🗢	0	129 •	0	142 •	ò	0* 0	ň	21
32	45 ●	0	0 •	0	64 🗢	0	121 •	ō	87 •	ň	0 . 0	ň	32
33	0.	0	124 👁	0	134 0	0	110.	ŏ	03.	ň	0 + 0	Ň	22
34	0 •	0	143 •	Ó	93 •	ŏ	135 🖷	ň	138	ň	0+ 0	Ň	33
35	0.	0	92 🖷	0	148 🖷	ō	127	ň	150 -	~		Š.	34
36	0.	0	64 🖷	õ	213	ň	113	ň	65.0	×	0* 0	0	35
37	122 •	14	115.	ň	160	ň	147 0	~	0.5	Š.	0 . 0	ů.	35
38	0.	0	92	ň	105	Ň	70 •	~	40	ů.	0* 0	0	37
39	51 .	ň	1/1	ň	1000	×	/9	Ň	0	Ū.	0* 0	0	38
40	0.	ň	1410	Ň	104	Ň	40 🖷	v.	80.	0	0* 0	0	39
41	79.	ň	230	Ň	104	×.		ů,	96 •	0	0* 0	0	40
12		Ň	102	Ň	122	v.	133 •	0	78 •	0	0* 0	0	41
42		Ň	103	Š.	106.	Ū.	124 🗢	0	30 🖷	0	0* 0	0	42
43		Ň	92	ů.	154 •	0	109 🖝	0	0 •	0	0* 0	0	43
44			58 🖷	U.	110.	0	134 🖷	0	0 🗢	0	0* 0	0	44
45	0	. 0	0.	U	0.	0	0 🖷	0	0 •	0	0 * 0	0	45
40	0.	0	0	0	0 🗢	0	0 •	0	0 👄	0	0 * 0	ō	46
4/	0.	0	0•	0	0 🗢	0	0 👄	0	0.	0	0.* 0	ŏ	47
48	0.	0	0.	0	0.	0	0 🖷	0	0.	Ő	0 .	ŏ	48
49	0•	0	0•	0	0 •	0	0 🖷	0	0.	Ó	0 * 0	ň	49
50	0 🖝	0	0 🖷	0	0 🖷	0	0.	ó	0.	õ	Ň# Ň	ň	50
									v •				

33



謝 辞

Q

鈴木辰三郎教授をはじめ物理学科の各先生方にはいろいろ議論をしていただき感謝して おります。機械工学科川田雄一教授並びに電気工学科井上実教授にはいろいろ御教示を得 ました。検出器製作及び設置に関して機械工学科山田嘉久教授に御便宜をはかっていただ き,坪内洋之介さんに大変お世話になりますと共に,管理営繕課,用度課の絶大な援助を 得ました。

参考文献

- 1. A. Ueda and N. Ogita: Progr. Theor. Phys. 18 (1957) 269.
- 2. 例えば第 17 回宇宙線国際会議 Rapportem paper S.C. Tonwar Vol. 13, 325 (1981).
- 3. 佐久山博史:明星大理工研究紀要 10 (1974).
- 4. 佐久山, 鈴木: 明星大理工研究紀要 12 (1976).
- 5. 佐久山, 鈴木, 西野: 東大宇宙線研究所, 第 2 回超大空気シャワー観測ワークショップ報告 2 (1982).
- 6. 佐久山, 鈴木: 東大宇宙線研究所, 第3回超大空気シャワー観測ワークショップ報告1(1983)