

# 気球による新粒子の観測\*

不知啓行\*\*・星野 香\*\*・丹生 潔\*\*・丹羽公雄\*\*  
田阪茂樹\*\*・渋谷 寛\*\*・柳沢雄太郎\*\*・倉又秀一\*\*\*  
前田康子†・木村晴生†・牛田憲行††

## 要 約

原子核乾板を主体とした、発生層付エマルジョン・チェンバーを気球に搭載して、宇宙線に露出を行い、多重発生現象の観測を行った。そして、その中に発生した新粒子の研究を行ってきた。この報告では、1976年5月に三陸の基地から放球したチェンバーに見いだされた、新粒子が多体に崩壊したと思われる例について述べる。

## 1. 序

宇宙線を用いて、素粒子の相互作用を研究するのは、入射粒子が人工によってはつくり出すことのできない高いエネルギーを持っているので、それによって新しい現象や新しい粒子が生み出される可能性があるからである。

我々は、発生層付エマルジョン・チェンバーを気球に搭載して、宇宙線に露出し、その引き起こす多重発生を観測する。そして、その中に発生した新粒子——X粒子[1]（質量が大きく、寿命がストレンジ粒子に比べ短い粒子）を探し、その性質を調べる研究を行っている[2]。特に新粒子の寿命の測定は、原子核乾板を利用した装置以外では不可能なので、このエマルジョン・チェンバーの有効性が発揮される。

この報告では、第2章で発生層付エマルジョン・チェンバーについて、第3章ではエマルジョン・チェンバーに則して、新粒子について述べ、素粒子物理学における新粒子研究の意義についても簡単にふれる。さらに第4章では、1976年5月三陸より放球したチェンバーの実験の経過及び解析結果について述べ、その中で見いだされた BEC 6a-19L という event について第5章で述べ、第6章で議論及び結論を述べる。

## 2. 実験装置——発生層付エマルジョン・チェンバー

発生層付エマルジョン・チェンバーは、模式的に第1図に示す構造になっており、次の3つの部分から成り立っている。

### (i) 発生層

---

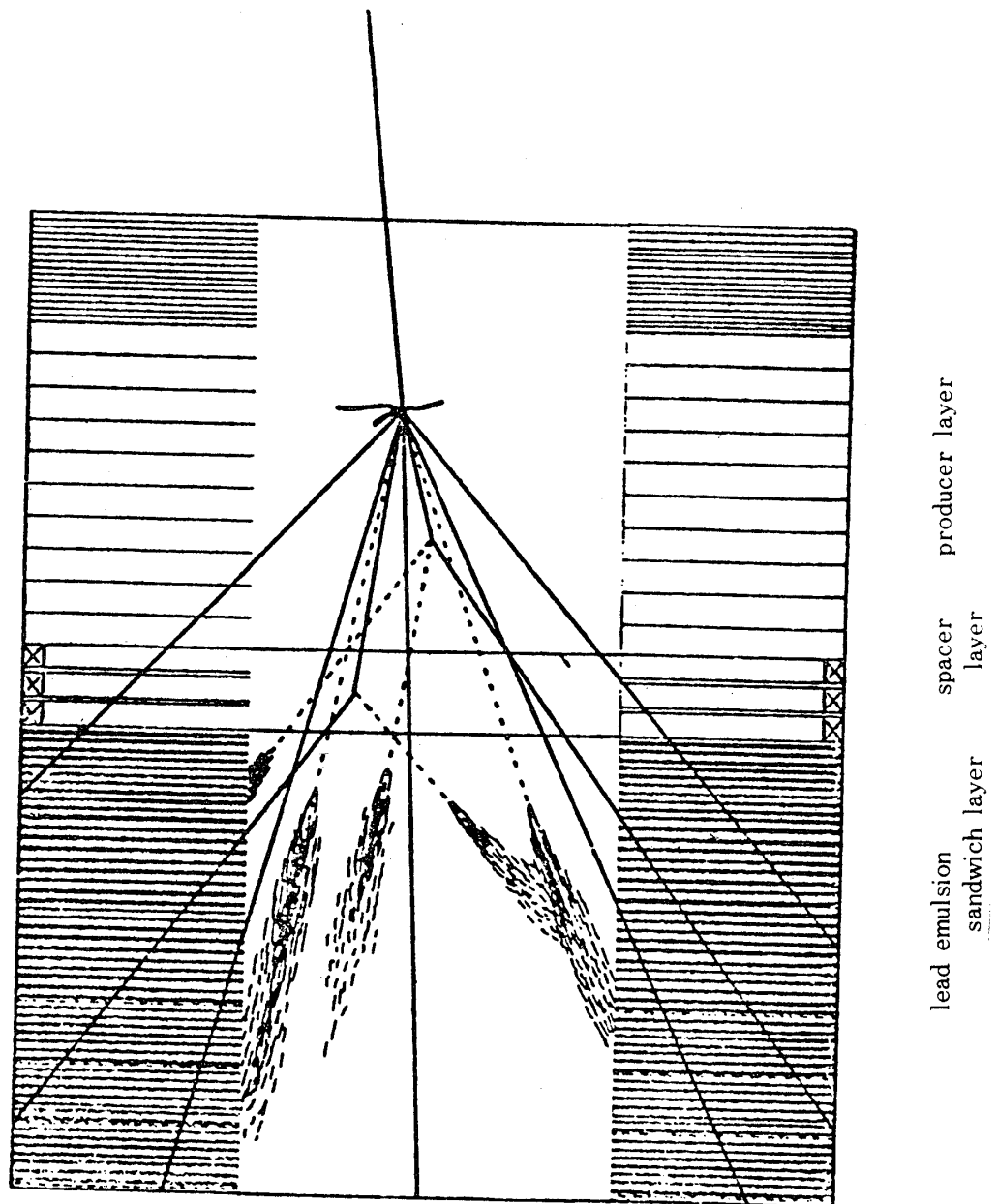
\* 宇宙研特別事業費による研究論文

\*\* 名古屋大学理学部

\*\*\* 東京大学宇宙線研究所

† 横浜国立大学教育学部

†† 愛知教育大学教育学部



第1図 発生層付エマルジョン・チェンバー

(ii) 空間層

(iii) E.C.C.

各部分は、原子核乾板やメタアクリル板等からできているが、その大きさは  $19.8 \text{ cm} \times 20.0 \text{ cm}$  である。

これら三つの部分の構造と役割を順序に従って説明する。

#### (i) 発生層

発生層は、(原子核乾板+メタアクリル板) × 2 + 原子核乾板+スペーサーをひとつの単位として、これを13単位、さらにその上に、原子核乾板とメタアクリル板を交互に積み重ねた構造になっている。ここで使用されている原子核乾板は、800 $\mu$ mのメタアクリル・ベースの両面に50 $\mu$ mの厚さにエマルジョンを塗布したもので、メタアクリル板は厚さ800 $\mu$ mである。またエマルジョンを保護するために、その接触する所には90 $\mu$ m厚の黄紙をいれてある。従って、発生層中では、スペーサーの部分を除いて、おおよそ1mmおきに track を観測できることになる。これで発生層全体の厚さは、15.6cmで、物質量は、大体0.19m.f.p. ある。

この層の中で起きた宇宙線現象をとらえ、原子核乾板により生じた二次荷電粒子の多重度や放出角の測定を行う。また発生層中のスペーサーは、もしこのスペーサーの中で、粒子の崩壊現象が起きれば、物質密度が極端に低いから、衝突と崩壊とを明瞭に区別できるので、そのためにいれてある。

#### (ii) 空間層

空間層は、スペーサーを重ね、途中で荷電粒子の追跡を容易にするために原子核乾板をいれた部分である。

宇宙線粒子は、非常に高エネルギーであるから、発生した二次粒子は前方に集中する。その分離を良くするために、この空間層を置いてある。

#### (iii) E. C. C.

原子核乾板と鉛板を交互に積み重ね、いくつかの層には、X-ray film を二枚重ねていれてある部分である。

この層では、発生した二次粒子のうち $\pi^0$ 中間子が崩壊して生じた $\gamma$ 線の起こす電磁カスケード・シャワーを検出する。またエネルギーの高いカスケード・シャワーはX-ray film によって、裸眼で観測できるので、これを event の scan に利用する。

また、二次荷電粒子の鉛中の電磁散乱の量を測定して、その運動量の測定を行う。

このような部分からできている発生層付エマルジョン・チェンバーであるが、使用している原子核乾板のベースは、フライスによって50 $\mu$ m以内の精度で、19.8cm × 20.0cm に加工しており、チェンバー全体は精度良く組立てられた黒いアクリルの箱の中に組立てられている。そのため、各 plate ごとに track を追跡する場合、乾板の edge を guide として使用できるので、追跡が容易になっている。

### 3. 新粒子の研究

新粒子の発見は、素粒子物理学の内容を豊かにし、その variety を利用して、素粒子の相互作用を明らかにしていくことができる。このため、新粒子の発見が素粒子物理学の発展のきっかけとなることがよくあり、それは strange 粒子の発見の時にも示された。

現在、我々の追求している新粒子は、丹生たちの最初の発見以来「X粒子」[1]と呼ばれている。そして、その発見の直後、小川たちによって「X粒子」は四番目の量子数を持つ粒

子——チャーム粒子であるという解釈がなされた [3].

その後、加速器による  $J/\psi$  粒子の発見や、 $\nu$  反応における dimuon 発生の例、 $e^+e^-$ ,  $rp$  反応における、崩壊幅の狭い大質量粒子の発見があいつぎ、チャーム粒子はそれらの現象を統一的に理解できるものとして、その存在は、ほぼ確立され、素粒子物理の中で実験、理論の両面で重要な問題のひとつになっている。従って、このチャーム粒子の性質を調べることは、重要な問題のひとつである。ところが、チャーム粒子は、弱い相互作用を通じて崩壊するにもかかわらず、質量が大きいため寿命が短かく ( $10^{-13}$  秒程度)、泡箱や counter ではその寿命の測定は不可能で、エマルジョンが、寿命測定のための唯一の測定器なので我々の実験の意義は非常に大きい。

現在まで、エマルジョン・チェンバーによる実験の結果、 $X$  粒子は、質量が  $2 \text{ GeV}/c^2$  程度、寿命は概略  $10^{-13}$  秒である。このように、 $\pi^\pm$  中間子やストレンジ粒子に比べて寿命の短い粒子を直接検出するには、エマルジョンを利用する以外に方法はない。宇宙線領域ではエネルギーが高いため、Lorentz の時間の伸びが大きく、短寿命粒子でも崩壊するまでに走る距離は比較的長くなるので、質量の大きくて、さらに寿命の短い新粒子を検出できる可能性がある。

今の規模で測定できる素粒子反応は、入射エネルギーが  $10 \text{ TeV}$  領域のものである。この場合、重心系で静止している粒子の運動量は、実験室系で  $\sim 150 \text{ GeV}/c$  であるから、質量  $2 \text{ GeV}/c^2$ 、寿命  $10^{-13}$  秒の粒子は、平均  $2.2 \text{ mm}$  走ることになる。もちろん、重心系で前方に放出された粒子は、もっと長い距離を走ることになる。

このような短寿命の粒子を、気球に搭載可能な機器で測定するには、原子核乾板を利用する以外に方法はない。さらに、発生層付エマルジョン・チェンバーでは、荷電粒子の振る舞いは発生層の中で決定でき、 $r$  線成分は E.C.C. により検出できるので、崩壊生成物のより多くを検出できるし、それぞれの運動量も測定できるので、ひとつの event から多くの情報を引き出すことが可能である。従って、新しい現象が起きた時、それを見逃さずに検出し、それが本当に新しい現象であるかどうかのチェックも厳重に行うことができる。

このような特徴を持った発生層付エマルジョン・チェンバーを宇宙線に露出するには、気球とか飛行機に搭載する方法がある。気球と飛行機の二つの方法を比較した場合、飛行機の高度は pfozter maximum 近辺で background が多く、宇宙線の flux が低いにもかかわらず長時間露出は困難である。それに対して、気球の場合は、background が少ないので、長時間露出も可能で、高度も高いので宇宙線の flux も高い。従って 1 chamber 当りの event 数は、10 倍程度気球の方が多く、高価な原子核乾板をより有効に利用できる (気球で飛行時間を延ばせれば、event 数をさらに増加させることは可能である)。

また解析を行う上でも、background の少ない気球実験が断然有利である。この background の少ない利点をさらに生かすために、塗布を実験の直前に行った新鮮な乾板を使用すべきで、我々の group では、塗布装置を使って乾板を実験の直前に製作して使用している。

#### 4. BEC - 6

BEC 6 は、1975 年 5 月に第 1 表に示した日程で、原子核乾板の製作、チェンバーの組

第1表 実験の日程

1976年	
5月3日	エマルジョン塗布開始
8日	終了
11日	チェンバー組立
18日	放球
19日	(水平飛翔時間 25.5h)
20日	回収
22日	現象

第2表 得られた衝突事例

入射粒子	例数
荷電2以上	12
荷電1	28
中性	3
確認不可能	8
合計	51

第3表 三次粒子の運動量

粒子	運動量 [GeV/c]	放出角 [rad]	$p_T$ [GeV/c]
20-1	42	$1.2 \times 10^{-2}$	0.50
20-2	28	$1.1 \times 10^{-2}$	0.31
20-3	34	$2.2 \times 10^{-2}$	0.75

立、放球及び回収、現像が行われた。前に述べたように background の点から新鮮な乾板を使用すべきであるが、今回の実験では塗布開始から現像まで、3週間たらずで完了した。三陸の基地から放球されたから、飛行機によってチェンバーを運搬する必要もなかったので、background の点ではさらに有利であった。

このように宇宙線に露出されたチェンバーは、一般的に次のような手順に従って解析が行われる。

- (i) E.C.C.の X-ray film を裸眼で scan

- (ii) 対応する原子核乾板の部分顕微鏡下で scan
- (iii) 見いだしたカスケード・シャワーを，チェンバーの上部へつないでいき，発生層の中で衝突を起こしているものを選び出す。
- (iv) このようにして選び出された発生層 jet について event ごとに，次のような解析を行う。

まず発生層中の荷電粒子の振る舞いについて調べる。

荷電 X 粒子が崩壊した場合，それは折れ曲りや，3 個以上の荷電粒子を生じる現象となり，中性 X 粒子の場合は，vee event などになる。これらの現象に注意しながら，それぞれの荷電粒子の追跡を行う。

このような手順に従って第2表に示すような発生層 jet を得た。この時，入射粒子の弁別も一応行っているが，これは grain count 等を行っていないので， $p$  と  $\alpha$  の区別が十分に行われていない可能性がある。

現在までは，素粒子の素過程に近い反応を調べることを第一の目的としているから，入射粒子が荷電1の粒子である event について解析を行った。現在まで27 event の解析を終了し，追跡した track の長さの統計は16 mに及んだ。そして，この解析中に見いだされた荷電粒子の二次現象は，第3表に示してある。この結果は，幾何学的衝突断面積を利用して計算した期待される個数と統計誤差の範囲で矛盾はない。

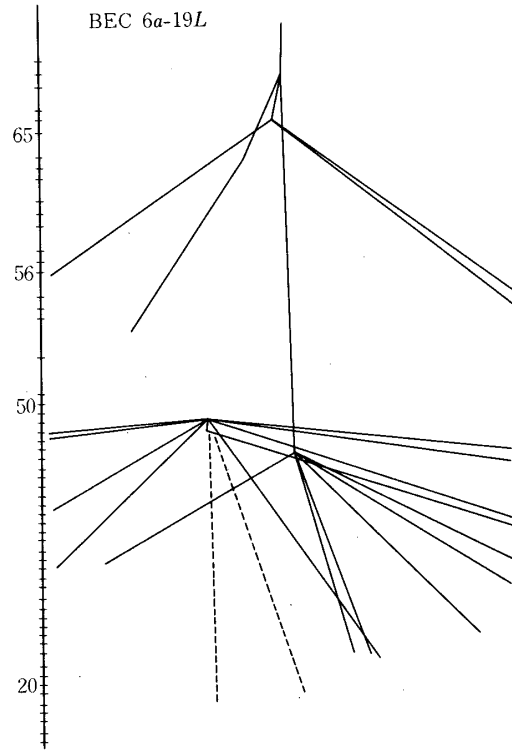
宇宙線領域では，新粒子の発生断面積は大きくなっていると予想されているにもかかわらず，また二次衝突の background を越えて，新粒子が多数発生していることはない。

## 5. BEC 6a - 19 L

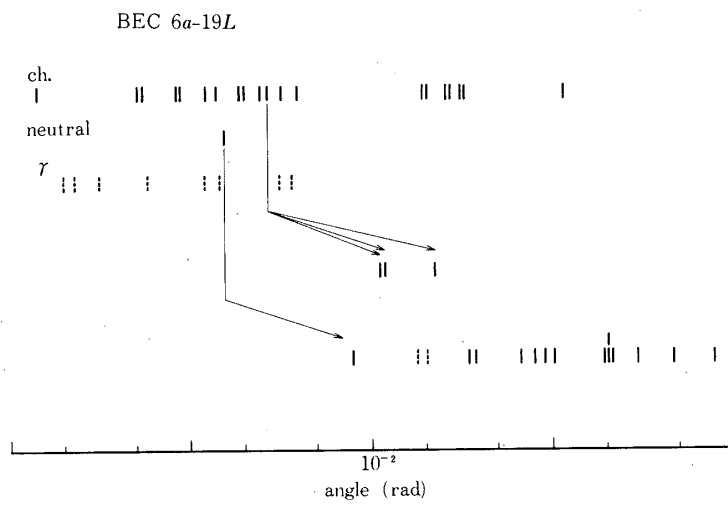
ここでは，28 events の中に見いだされた，X 粒子の発生を含んでいると思われる例，BEC 6a - 19 L について述べる。

この event の特徴的な部分を取り出したのが第2図である。この中で最も顕著なものは，1つの二次荷電粒子が3個の荷電粒子を生じている現象である。しかも，3本の荷電粒子の親の二次粒子に対する放出角が大きいことが注目された（第3図の  $\log \tan \theta$  plot 参照）。この現象の vertex は，メタアクリル・ベースの中で，最も近い下方のエマルジョンの層までの垂直距離は，440  $\mu\text{m}$  である。従って vertex を直接観測することはできないが，三次粒子の運動量を relative scattering 法で測定してみると，第3表の結果になり，横向き運動量の大きいことがわかる。つまり通常の衝突で期待されるよりも，大きな  $p_T$  を持っているので，質量の大きな粒子が多体に崩壊した可能性がある。さらに，3本の三次粒子の  $p_T$  のベクトル的なバランスを調べてみると，第4図に示してあるとおり，運動量測定の誤差を考慮しても，3本の三次粒子だけではバランスしていないので，検出されていない中性粒子が存在していることになる。この中性粒子の担っている  $p_T$  の大きさは，700 MeV/c である。

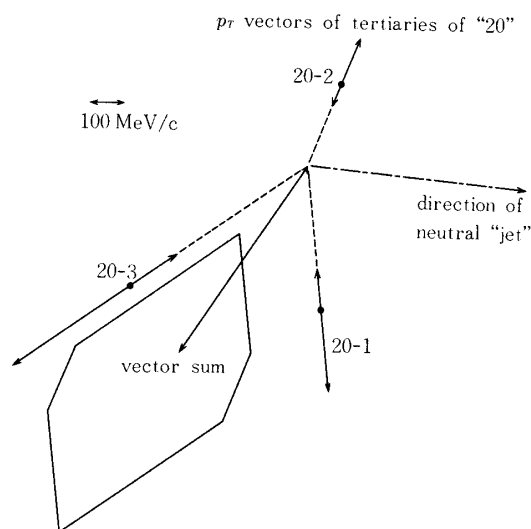
この二次現象を崩壊と考え，3個の三次粒子を  $\pi$  中間子と仮定すると，三体の不変質量は，1.5 GeV/c<sup>2</sup>，寿命は  $5 \times 10^{-13}$  秒となる。これらの値は，今まで観測されてきた X 粒子の質量や寿命と矛盾しない。また検出されなかった中性粒子の可能性としては， $\pi^0$  は崩壊し



第2図 BEC 6a - 19 L 側面図



第3図 BEC 6a - 19 L log tan  $\theta$  plot



第4図 三次粒子の横向き運動量バランス

第4表 二次現象

二次粒子	$n_s$	$n_r$	Vertexの物質	最初の乾板までの距離	発生点からの距離
荷電粒子20	3	0	メタアクリル	440 $\mu\text{m}$	0.79 cm
荷電粒子16	1	0	メタアクリル	190	1.7
中性粒子0	14	2	鉛	270	6.3
荷電粒子1	7	5	鉛	560	7.1

た $r$ 線をE.C.C.で検出できるから除外され、寿命の長い $K^0$ 、 $A$ あるいは $\nu$ などが考えられる。従って崩壊様式としては、 $X^\pm \rightarrow K^0 \pi \pi \pi$ とか、 $X^\pm \rightarrow K \pi \mu \nu$ とかが、中間子の場合に考えられる。

これが、 $X$ 粒子の発生例ならば、対発生しているから、もうひとつの相手があるはずである。その候補者としては、第2図や第4表に示されているような種々の二次現象がある。しかし、これらは、明らかなpb-jetであったり、折れ曲りであっても、その角度が小さかったりするものばかりである。ただひとつ中性粒子の起こしたpb-jetの三次粒子のうちの1本が2.6mm走ったあと、ポリスチレン・ベースの中で $3.1 \times 10^{-12}$  rad.の折れ曲りを示している。この折れ曲りの際の $p_T$ は、160 MeV/cで決して大きくはないが、E.C.C.の鉛の間にはさまっている150  $\mu\text{m}$ 厚の薄いポリスチレン・ベースの中で起こっていることや、二次衝突の個数が十分にあることから(期待値1.8個)、この折れ曲りは崩壊の可能性はある。そうすると、中性の $X$ 粒子が対発生の手相手として生じ、鉛板中で衝突を起こし(強い相互作用)荷電がかわり、崩壊したという解釈の可能性はある。この場合、中性 $X$ 粒子の寿命は、 $5 \times 10^{-12}$ 秒以下、三次粒子の荷電粒子の寿命は、走った距離から $10^{-13}$ 秒で、これ



も今までの観測と矛盾しない。

またこの中性 pb-jet を、ひとつの荷電粒子が3個の荷電粒子を生じた現象の、検出できなかつた中性粒子の起こしたものとみなせるかについては、第3図中に中性 pb-jet の方向を示しているが、 $p_T$  バランスを改善する方向ではないので、その可能性は一応排除される。

これが本物の X 粒子の発生の例だとすると、10～20 TeV の入射エネルギーの衝突で、30 程度の観測例に1例ぐらいの X 粒子の発生が見られることになり、加速器領域 (400 GeV/c) に比べて1桁以上の大きな頻度で、X 粒子が発生していることになる。

## 6. ま と め

前節で述べたように、宇宙線領域では X 粒子の発生頻度が加速器領域に比べて大きいので、宇宙線を使えば、X 粒子を能率良くとらえることができる。また宇宙線領域のより高いエネルギーを利用して、より新しい粒子、より新しい現象を観測できる可能性がある。

従って、新粒子や新現象の観測に適した発生層付エマルジョン・チェンバーを気球で宇宙線に露出して、多重発生現象の研究を続けることは非常に重要なことである。

1978年5月27日

## 参 考 文 献

- [1] K. Niu et al. Prog. Theor. Phys. **46** (1971) 1644
- [2] S. Kuramata et al. Proc. Int. Conf. Cosmic Ray 13 th (Denver) **3** (1973) 2239  
K. Hoshino et al. Proc. Int. Conf. Cosmic Ray 14 th (Munich) **7** (1975) 2442  
H. Fuchi et al. Proc. Int. Conf. Cosmic Ray 15 th (Plovdiv) **7** (1977) 382
- [3] T. Hayashi et al. Prog. Theor. Phys. **46** (1971) 1944