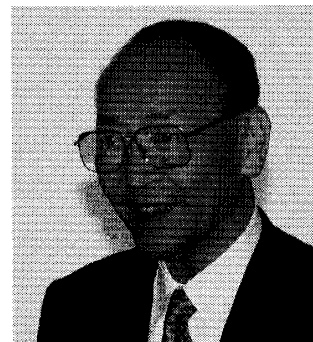


チャーム粒子と宇宙線研究

丹生 潔

丹生です。私も古い人間なのでトランスペアレンシーを使ってやります。一応、話は先ほど言われたようにチャームです。

私は原子核乾板という実験装置を使って、ずっと一貫して研究をやってきました。私は戦前・戦中派です。研究の始まりは、戦争がまだ終わっていないときに、理研の仁科研究室に旧制の第一高等学校から研究補助ということで学徒動員の一環として派遣されて、こういう仕事に興味を持って始めることになったわけです。派遣された先は、仁科研の宇宙線研究をやっていた部門で、ちょうど関戸弥太郎先生がその一番大将でやっておられたのです。最初は、戦争で動員されて招集されたりして欠けた技術者とか若い研究者の穴埋めということで、古い計算尺を使って宇宙線のデータの統計処理、ミューオンの強度の日変化の分析とか、そういうことをやらされてきたわけです。そういう中で興味を持って、仕事を始めたわけです。



チャーム粒子と
宇宙線研究

'65.11.07

基礎研究会

丹生 潔

[Slide 1]

[slide 2,3,4] は私の履歴ですけれども、旧制の一高から始まって、ずっとあります。私は一高から東大に行かないで、旧制の名古屋大学へ行ったわけです。その頃、玉木英彦先生が私たちの物理の先生だったわけですが、なにも一高から東大に行かなくていいと言われました。名古屋大学はちょうど創設されたばかりで、非常に優秀な若い先生が元気よく仕事をされているから、そういうところに行ってみるのもいいんじゃないかという誘いがあったので行ったわけです。そのあと、実はそのころみんなかかっていたのですけれども、私もひどい結核をやって休学を何年もしました。入学したのは1945年、戦争が終わる前ですが、卒業したのは1953年で、結局旧制は3年で終わるところを8年間かかってようやく卒業したのです。

そういう状態でしたので、私は、実験をやりたいかったのですが、そのころの宇宙線研究というのは、山の上へ上がって鉛を担いで実験装置を作つてというふうな、相当体力のいる実験が多かったものですから私はとてもそれはできないなと思っていたら、ちょうどC. F. Powellたちが原子核乾板という実験手段を開発し、それを用いて π 、 μ を見つけたということがあって、素粒子実験に使えるということで、日本の中でも外国で露出した乾板を日本に分けてもらって、顕微鏡を覗いて分析をするという仕事がちょう

ど始まったところだったのです。それで、机に座って顕微鏡を覗きながら現象を見ていると仕事ができるということで、これなら私でもやれるかなと思って飛びついたわけです。

原子核乾板は、あらゆる荷電粒子の軌跡を見ることができます。[slide 5]にあるように、こういう点々が直線とか曲線が写っています。点の1つが1ミクロンです。そういう精度で素粒子の振る舞いを観測できるということで、これは面白いと思って取り付いて以来一貫してきたのです。

[slide 6] は電子の飛跡の例です。これを見ると、電子がこう走ってきてここで止まっているということがわかるわけです。これは止まったところで何もないから、たぶん負荷電の粒子が吸収されて止まったのであろうということが想像できるわけです。それが面白いということでもあります。これらは低エネルギーの電子です。宇宙線の中のエネルギーの高い粒子はプロトンが多いわけですが、そういうものが入ってきて、原子核乾板のなかの原子核と衝突すると [slide 7] のようにたくさんの湯川中間子ができるわけです。

03.04.18 NIU 年・学職歴	研究歴	道具手段	協力者	協力企業機関
1943	旧制一高・理	学徒動員 理研 宇宙線観測分析	計算尺	
1945	名大物理	病氣休学・留年 5年		
1952	卒業研究 ・乾板の歪分析 ・新素粒子検出 (ストレンジ)	原子核乾板(1670-1700) 顕微鏡		
1953	名大理旧制大学院 研究 ・プラスチック 気球開発	ポリイソブレン布 接着器(自作)		長浜ゴム
1954	・テスト 飛揚 ・宇宙線観測実験	原子核乾板 (1670-1700)		米子気象台 神戸大
1955	・宇宙線観測実験 ・ジェットシャワー 解析 ・中間子多重発生 模型検討	エレクトロニクス scan back法 外国文献 タイパー-計算機 (手回し)	計算機	神戸大
1956	原子核研究所助手 (共同利用研) ・大気球による ジェットシャワー観測 (横運動量一定 法則検証) ・中間子多重発生の 火の玉模型提唱	プラスチック気球 原子核乾板 (1670-1700) 光学顕微鏡 タイパー-計算機 (手回し)	スキャナー 計算機	藤倉航装 積水化学
1958	* 火の玉模型論文 発表 (1961) 仁科賞受賞 ・乗鞍岳に於ける 空中ジェットシャワー観測		英文タイパー	
1960~	・チャルメラ(ホルン)と 富士山に於ける 空中ジェットシャワー観測	国産原子核乾板 国産X線フィルム 大型真空包装器		富士フィルム 小西六 宇宙線観測所
1964	原子核研究所 助教授			富士山測候所 浅間神社
1968~	・航空機による ジェットシャワー精密 観測	精密型ECC エレクトロニクス X線発生器		日本航空 富士フィルム
1971	名古屋大学教授 * チャーム粒子発見 (理論的裏付け 小川修三 広島大教授)	光学顕微鏡	スキャナー (三雲)	

[Slide 2]

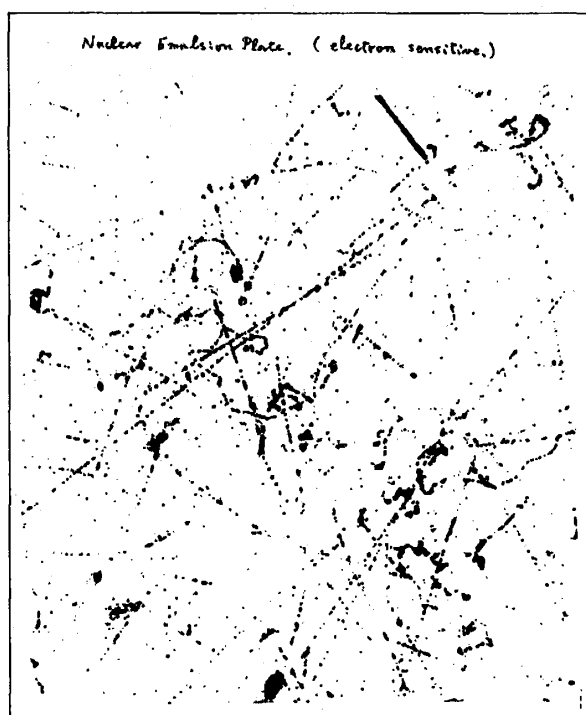
03.04.18 NIU 年・学職歴	研究歴	道具手段	協力者	協力企業機関
1971 名古屋大学教授	・チャーム粒子発見	光学顕微鏡	スキャナー (三雲)	富士フィルム
1972～	・両面塗布原子核 乾板開発 ・長焦点対物レンズ 開発 ・航空機と気球に搭載 した174307チャンネルで チャーム粒子収集 ・加速器実験用 薄型原子核乾板開発 ・加速器(FNAL)に ECC露出 ・原子核乾板の 自家塗布技術導入 ・大型精密ステージ 開発		大学院生 (星野)	千代田光学 日本航空 宇宙科学研 富士フィルム
1973 星野 香 助手任官	(小林、益川 6 コーク横型提唱)			
1974	・乾板自動測定器開発 開始 (米国ではJ/ψ発見)		大学院生 (丹羽)	浜松ホニクス 日本DG
1975	・加速器(FNAL)に露出 した原子核乾板で チャーム粒子検出 *チャーム粒子の種類 により寿命差がある ことを発見	光学顕微鏡	(丹羽)	
1977～	・米国FNALで 複合実験開始申込み ・複合実験用乾板標的 設計と組立法開発 ・取替え乾板法開発 大乾板と標的とを X線μで関係付け ・乾板塗布室を FNALに建設 ・乾板半自動解析装置 実用化		星野助手他 (大学院生) 星野・丹羽他 (大学院生)	
1978	・加速器(CERN)に露出 したECCでチャーム 粒子の対発生を検出 ・加速器(CERN)に露出 したECCでチャーム 粒子の対発生を検出		星野助手他 (大学院生) (丹羽)	浜松ホニクス 日本DG
丹羽公雄 助手任官			愛教大 牛田助教授	
1979	・FNAL複合実験開始 E531		大学院生 (渋谷)	
1980	*E531実験チャーム 粒子の種類別寿命測定 (宇宙線チャーム粒子 の結果を再確認)			

[Slide 3]

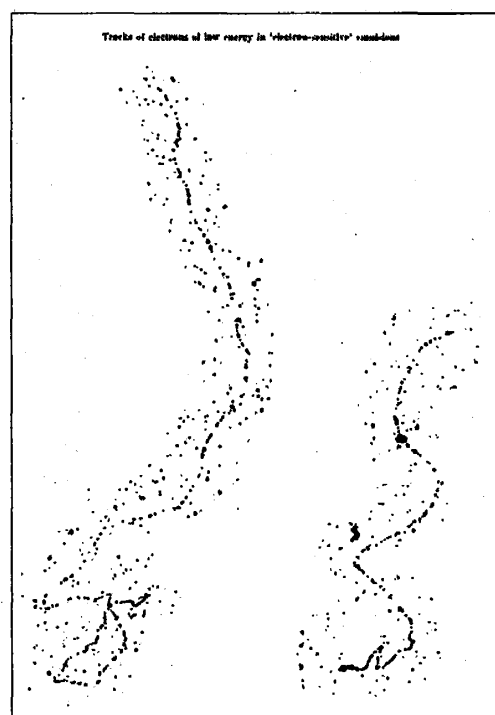
03.04.18 NIU 年・学職歴	研究歴	道具手段	協力者	協力企業機関
1981	・加速器 (CERN) に露出した ECC で、多数のチャーム粒子の対発生を検出 ・ CERN の加速器でビューティ粒子検出複合実験申し込み (NA19 後に WA75) ・実験 WA75 に用いる標的駆動機を製作 ・標的乾板解析促進のためのミグレート展開法の開発		大学院生 (柳沢)	
	* FNAL 実験 E531 でニュートリノ振動の上限提示		物理金工 (河合 他) 大学院生 (佐々木) 技術員 (中村)	物理金工 三鷹光機
1982	・ FNAL 実験ハドロンのチャーム粒子生成研究実験 E531-II 実施			
1985	* CERN 実験 WA75 でビューティ粒子 1 例検出			
1987	・ CERN 実験 WA75 でチャーム粒子 2 対計 4 個の同時発生を検出		大学院生 (中沢)	
丹羽公雄 助教昇格				
1988	・原子核乾板全自動解析機の実用化 ・ CERN 重イオン実験用長尺原子核フィルムの開発 ・同駆動装置の開発 ・ニュートリノ振動検出複合実験を計画 (後に CERN 実験 WA95 として実現)		大学院生 (青木)	高橋写真 物理金工
中村光廣 助手任官				
1989 丹生停年退官				

[Slide 4]

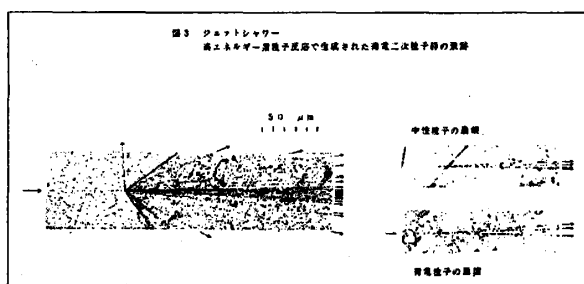
エネルギーが高くなるとこの角度の広がりが狭くなり、エネルギーが低いとぱっと 4π に広がるという感じになっているわけですが、こういう様相を見るだけでいろいろなことが想像できるわけです。なかには短寿命の粒子があって、中性の粒子が途中は軌跡が見えなくて、あるところからぱっと軌跡が見え出します。それから荷電粒子はつながっているのですけれども、あるところで、これは原子核との衝突ではなくて、崩壊をするとこのように一本で入ってきたものが 3 本に分かれるとか、そういうことが手に取るようにわかるわけです。



[Slide 5]



[Slide 6]



[Slide 7]

本当は原子核乾板を用いる実験は面白いんだけど、顕微鏡を覗いていちいちスケッチして何かをやるので非能率だったので、加速器実験の方がどんどん進んでくるとこれは泡箱に比べても非能率だということで、ヨーロッパのほうでは捨てられたわけです。だけどその頃の日本では大きな加速器がなかったので、宇宙線でもうちちょっとやろうということで、今見せたような原子核乾板の固まりのなかでいろいろと軌跡を追うのではなくて、原子核乾板が1ミクロンの空間精度を持って

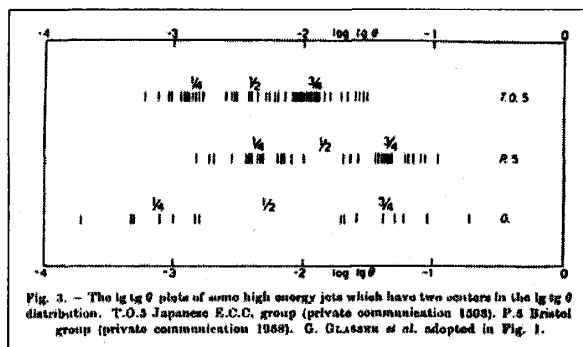
いるということを最大限に利用して、超高エネルギーに至るまでの中間子が多重発生する現象を詳しく調べることにしました。そのためにはどうしたらいいかということを考え、最初は西村純先生と組んで、emulsion chamber という形にしてやりました。それは乾板といろいろな物質をサンドイッチにした装置なのです。そういうものを使って実験を始めることになったわけです。

その前の時期に、幸いに原子核乾板だけだと重さがそんなに重くないので、小さな風船に付けある時間飛ばして空から飛び込んで来る宇宙線をとらえ、そのあとで回収してそれを顕微鏡で覗けば面白いことが見つかるということで、私は大学を卒業して旧制の大学院にいたときに、原子核乾板だけを気球につけて飛ばす実験を始めたわけです。神戸大学の皆川先生が指導されていたグループに入ってやったわけですが、ポリエチレンでつくった風船を、自分たちが手作業で作るところから仕事を初めたのです。[slide 8,9] は第1回目の実験とその成功を報じた新聞です。神戸から飛ばして米子の沖で回収したのですが、[slide 8] 左と中は飛ばすところです。回収するときは、風船の下についているナイロンのワイヤーをヒーターで焼き切って、[slide 8] 右のようにパラシュートで落としました。そして回収したあとで、顕微鏡を覗くという仕事をしたわけです。

宇宙線をこういう原子核乾板で調べていると、入ってきたプロトンが原子核と衝突して中間子を作っている多重発生現象が見えます。それらは素粒子同士の反応ではないのですが、エネルギーが非常に高いと素粒子反応に似たようなことになっているということがわかってきました。飛び出してきたたくさんの中間子の角分布を非常に精密に調べてみますと [slide 10] のようになります。角度は対数で取ってありますけれども、[slide 10] の中、下のようにこういうグループとこういうグ



[Slide 8]



[Slide 10]

大気球ついに上昇成功

待望の三万メートルへ

成層圏を水平飛行

航空界の偉大な冒険者、フリス・アレンは、その偉大な冒険の果てに、ついに大成功を収めた。彼は、大気球「フリス」を用いて、成層圏を水平飛行し、三万メートルの高さまで上昇した。この偉業は、人類の航空史上、最も偉大な功業の一つと見なされている。

フリス・アレンは、大気球「フリス」を用いて、成層圏を水平飛行し、三万メートルの高さまで上昇した。この偉業は、人類の航空史上、最も偉大な功業の一つと見なされている。彼は、大気球「フリス」を用いて、成層圏を水平飛行し、三万メートルの高さまで上昇した。この偉業は、人類の航空史上、最も偉大な功業の一つと見なされている。

三地点から気球の発信電波をキャッチ

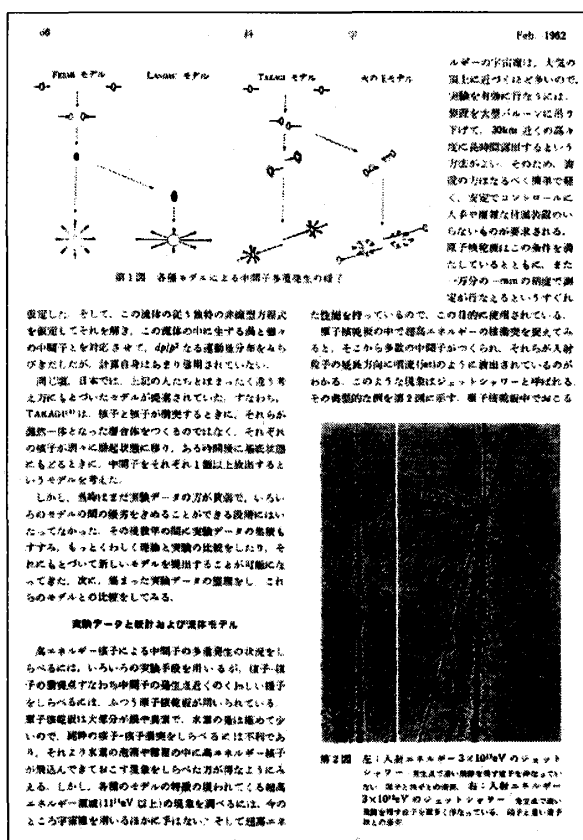
フリス・アレンは、大気球「フリス」を用いて、成層圏を水平飛行し、三万メートルの高さまで上昇した。この偉業は、人類の航空史上、最も偉大な功業の一つと見なされている。

伝説に即座

フリス・アレンは、大気球「フリス」を用いて、成層圏を水平飛行し、三万メートルの高さまで上昇した。この偉業は、人類の航空史上、最も偉大な功業の一つと見なされている。

フリス・アレンは、大気球「フリス」を用いて、成層圏を水平飛行し、三万メートルの高さまで上昇した。この偉業は、人類の航空史上、最も偉大な功業の一つと見なされている。

[Slide 9]



[Slide 11]

ループのちょうど2山になっているようなことが多かったので、これは何か中間子が発生するときのメカニズムにいろいろと特徴があるのではないかということで分析をしていましたところ、二重火の玉モデルということで論文を1つ書くことができたわけです。それが私のドクター論文だったわけですが、同じようなことを考えた人が、世界中にあと2カ所いました。ポーランドの emulsion 屋と、当時アメリカにいたイタリア人のコッコーニという人が、同じようなことを考えていてそちらの論文が先に出たわけです。

実は、日本でこういうモデルのことを最初に話をしたのはこの基研なのです。1955年頃基研で実験屋と理論屋が共同して、いろいろとどういう宇宙線研究をやったらいいかということを経験した研究会有ったのです。私は風邪を引いたあとだったので最初から参加できなくて、終わりに参加してこういう話をしました。それが最初でした。

その当時は、中間子多重発生については、Fermi とか Landau とかいう大先生が、[slide 11] 上左のようにそれぞれのモデルを出しておられたわけです。持っていたエネルギーを重心系で見ると、どこか1カ所に固まって、それに力学などを考慮するとこんな風になるのではないかという話をされていたわけです。しかし私は実験屋の目で、先ほどお示ししたようなジェットシャワーのいろいろな形を分析している中でどうもそれとは違うということに気が付き、それを説明するためにはどうしたらいいかということで一つのモデルをつくったわけです。先ほど、世界で3カ所と言ったわけですが、そういう2山モデルのもうちょっと突っ込んだ話をしたのは、私の論文だけです。

その当時、Fermi モデル、Landau モデルは最初は一塊になってそれが蒸発するとか何とかという形で中間子ができるというモデルだったのですが、日本で高木修二さんがそうじゃなくてそれぞれのバリオンが excite して、それが decay してできるんじゃないかということを出されたのです。しかし、私のモデルは高木さんのモデルとはちょっと違って、入射した核子とは別に2つの中間子の塊ができてそれが崩壊するというモデルだったわけです。そのモデルは、今では、核子がクォークでできているということを考慮しないと、近代的にならないのですが、それについては、まだ私も手を触れないでいます。

そういう話のなかで、[slide 12] のような新聞記事がありました。小柴先生も同じようなことを議論しておられて、小柴先生のは excited baryon のモデルですが、こういうことが学会で議論されておりました。

南部：これは何年ごろですか。

丹生：昭和43年ですか。

そういう研究の延長として、原子核乾板をもっと有効に使って、超高エネルギー領域、風船とかで観測できる 10^{13} とか 10^{14} eV くらいの入射エネルギーの現象をもうちょっと詳しく調べてみようということを私が名古屋大学へ移るちょっと前から始めたわけです。作った装置は、[slide 13] 上にあるように厚さが $800\ \mu\text{m}$ とか1ミリぐらいのプラスチックの板の両面に emulsion を薄く塗布したものです。そこを通過する粒子の座標を精密に測って実験をやりました。基本的にはそういう構造なので、もうちょっと複雑にしまして、外から入ってくる粒子があるところで反応して、そのなかに含まれている π^0 成分を詳しく調べるといのが最初にやったことです。 π^0 はすぐ2 γ に分かれて、それがある程度走ると2つの γ 線が空間的にはなれてゆくわけです。それを鉛の中に入射させると、個々の γ 線が起こしたカスケードシャワーが分離して観測できるわけです。その当時、まだ荷電粒子についてこういう高いエネルギー領域で運動量を精密に測定する方法がなかったのですが、カスケードシャワーの分析というのは、西村さんが精密な理論をつくっておられて、それを使いますと TeV 領域でも、エネルギーが数十%の精度でわかるということがわかっていますから、それを組み合わせて [slide 14] のような装置をつくりました。[slide 15] 上は実物の写真です。これは $20\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ 、高さが 20 cm ぐらい、それから重さが30キロぐらいあります。それを大風船につけて高空で宇宙線に当てました。後には風船は回収が100%といかないうえ風船の数も限られているので、実際に飛ばす数は少なくなりますから、そうじゃなくてもっと安定に飛ばせるということ考えたのです。ちょうど日本航空が貨物の輸送を始めたころで、貨物機は太平洋をずっと回って、3、4日で帰ってくるような航路を運用していたので、それを使わせてくれと交渉しました。ちょうど荷物が入らない、普通の客便ですとトイレがあるような狭くなった場所が空いているので、そこを使わせてくれということでただで乗せてもらって、実験を始めたのです。

その実験を始めてすぐに、非常におもしろい現象が見つかりました。それは [slide 16] に示す現象

宇宙線と中間子発生

驚愕的な2つの新説

「H量子」か「アレフ粒子」か

衝突瞬間の秘密に迫る

宇宙線と中間子発生

驚愕的な2つの新説

「H量子」か「アレフ粒子」か

衝突瞬間の秘密に迫る

宇宙線と中間子発生

驚愕的な2つの新説

「H量子」か「アレフ粒子」か

衝突瞬間の秘密に迫る

[Slide 12]

Fig. 2 Pile of "2-fold emulsion tracker"

an ideal optical performance which has a long working distance of more than 1 mm. This was solved by the effort of the Tiyoda Optical Co. Ltd.

4. Compact emulsion chamber which led us to discover charm particles.

Fig. 3 shows the concept of a compact emulsion chamber installing this type of target which was exposed to cosmic rays at airplane altitude. It consists of 3 parts: the veto to the shower from upper atmosphere, the target of the primary particles which serve as the analyzer of charged secondary particles of jet showers, and the analyzer of cascade showers

Fig. 3 Schematic illustration of the compact emulsion chamber used at the airplane altitude.

[Slide 13]

from $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ decays. Actual design of the compact emulsion chamber which made us possible to discover charm particles is shown in Fig. 4.

The target part was a pile of 49 sheets of 2-fold emulsion trackers plus 5 lead plates of thickness of 1 mm. Total thickness of the target was 7.3 cm, and this corresponds to 0.1 interaction mean free path. It is possible to observe cross-sectional view of secondary tracks at each 1 mm along the shower axis. Any kink or trident due to charged hadrons and any veto or veto (4-prong decay vertex) due to neutral hadrons could be examined down to several cm from the primary vertex.

The analyzer was a multiple sandwich of lead plates, 2-fold emulsion trackers, and some set of x-ray films. Even a single minuscule ionizing track passing through this part could be observed at each 0.2 radiation length. An electron or a γ ray incoming to this part is clearly discriminated by inspecting a cascade core which it induced in this part. Energy of individual electron or γ ray could be estimated analyzing each cascade shower initiated by them.

To veto showers from upper atmosphere, we put a multiple sandwich nearly same as the lower analyzer on the top of the chamber. Assembling of all the elements in a container was carried out with enough precision, and x-ray was applied on 4 sides of the chamber through fine line slits.

Size: 15cm x 15cm x 18cm

Lead Plate Spotting Layer

Upper Chamber

Lead Plate (0.5 mm) 7
Lead Plate (0.5 mm) 4
Emulsion Tracker and x-ray film 15

Middle Chamber

Emulsion Tracker 49
Lead Plate (0.5 mm) 5

Lower Chamber

Lead Plate (0.5 mm) 5
Lead Plate (0.5 mm) 4
Emulsion Tracker and x-ray film 15

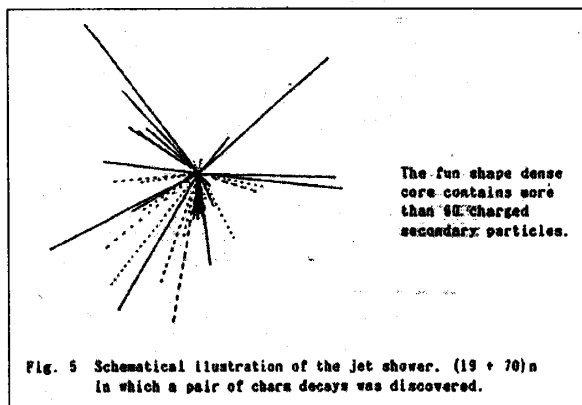
Fig. 4 Setup of the compact emulsion chamber used at the airplane altitude.

[Slide 14]

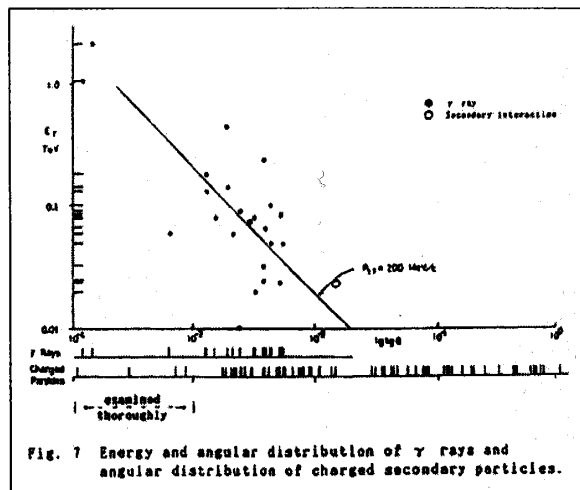
the emulsion cloud chamber for cosmic experiment with balloon and aeroplane

the emulsion cloud chamber for accelerator experiments

[Slide 15]



[Slide 16]



[Slide 17]

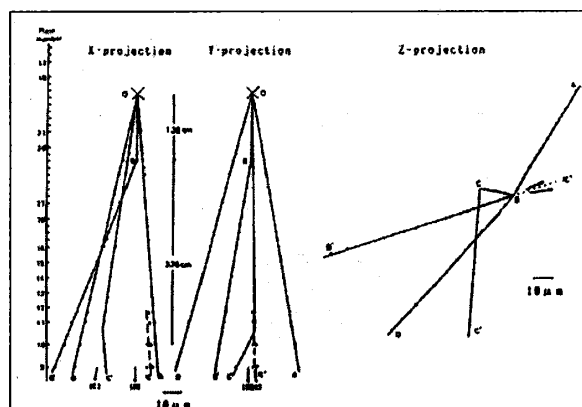


Table 1 Mass and decay time of X-particle.

Parent X	Assumed Decay mode	Mx GeV	τ_x sec
OB	$X \rightarrow \pi^0 \pi^+ \pi^-$	1.74	2.2×10^{-14}
	$X \rightarrow \pi^0 \pi^+ \pi^-$	2.15	2.7×10^{-14}
	$X \rightarrow \pi^0 p^+$	2.95	3.6×10^{-14}
	$X \rightarrow \pi^0 \Sigma^+$	3.5	4.2×10^{-14}
OC	$X \rightarrow \gamma^0 \gamma^+ \gamma^-$		$< 1.9 \times 10^{-12}$

of the charged hadron B' was estimated to be 0.99 ± 0.1 TeV/c assuming the Pt balance. Table 1 shows the mass and decay time of the parent particle assuming the identity of the hadron B'. Because of high Pt value, this is not a strange particle, and because of the decay time in the order of

[Slide 18]



[Slide 19]

です。このように、これはプライマリーが写っていませんけれども、下に扇形になったところが中間子が非常にたくさん出ているところです。先ほど、プラスチックの板に両面塗ったと言いましたが、普通はプラスチックの板で現象が起こってしまうのですけれども、たまたまこの現象は塗った乳剤のなかで現象が起こっていたものですから、こういう起こった場所がわかったわけです。それを詳しく調べてみると、[slide 17] のようになります。横軸が対数化された角度です。荷電粒子の成分の方は先ほど言った2つの塊があるように見えます。 γ 線の部分は、前方だけしか観測されていません。縦軸には γ 線がつくったカスケードシャワーから計ったエネルギーが取ってあります。これを見ると、普通1つのローカルな重心系からばっと等方的に出たような状態ですと1桁の範囲に固まるはずなのが、その中心から1桁以上離れた図の左上に高いエネルギーを持った2個の γ 線があったので、これは何か新しいことが起こっているのではないかということで、その部分を精密に調べてみると[slide 18] 上のようなことがわかったわけです。

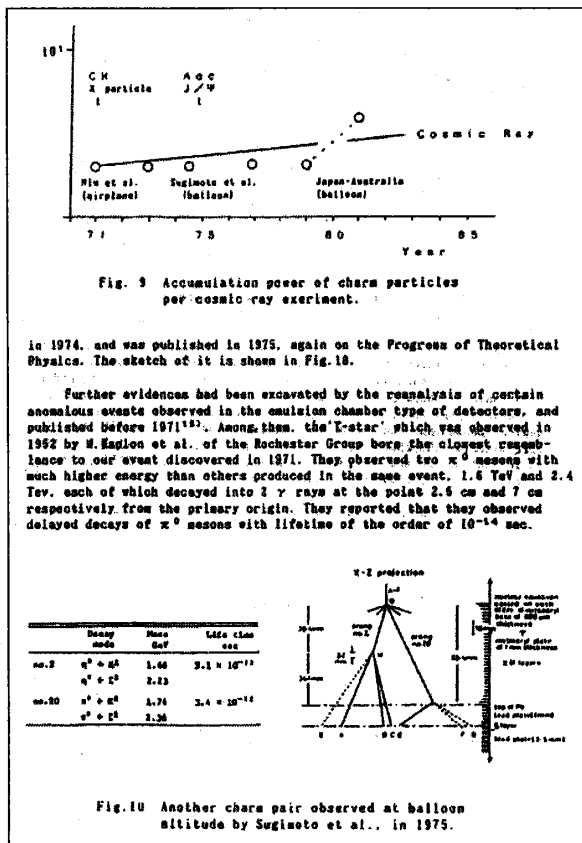
最初に最前方に出ていた荷電粒子がだいたい1.4センチくらい走ったところでキンクを起こして、元の進行方向の延長に近いようなところの下流にカスケードシャワーがあるということがわかったわけです。このキンクを検出したのは、その当時、この顕微鏡視きの仕事をお願いしていた三雲さんという女性の方です。[slide 18] 上左の図は進行方向を横から見た図です。それから[slide 18] 上右は進行方向がこの面に直角な図になっています。

現象を理解するためにこういう図を作るということを、私が方針を立てて三雲さんに作ってもらったところ、この上に直角に入ってきて左にはねられた荷電粒子の、ちょうど方位角で反対の方向に、 γ 線からのカスケードシャワーが2つあるということがわかりました。それを coplanarity というのですけれども、それが成り立つのは2体 decay の場合です。これが2体 decay だとすると、その親のエネルギーがどれだけになるか、それからどういう mass になるかということが計算できるわけです。その計算をやってみますと、[slide 18] 下ようになります。荷電粒子ということはわかっているけれども、粒子の種類はわかりませんから、 π とかプロトンとかKとか、適当に仮定するわけです。 π^0 のエネルギーは正確にわかって角度もわかりますから、それから力学的なバランスで荷電粒子の energy も運動量も推定できて、invariant mass を組むと今度は[slide 18] 下中の値になります。それから寿命を計算すると[slide 18] 右に示すようなオーダーになるということにはわかったので、これは何か新しい粒子ではないかということを物理学会で報告いたしました。

その時は、ううん？と言われたのですけれども、その後今は亡くなられた小川修三先生が核研に来られたときにこの話を非常に詳しくお話ししました。そうすると、小川先生はだいぶ考えておられたのですけれども、広島に帰られてから数日経って電話がかかってくるまで「これは寿命から言っても質量からいっても、自分たち名古屋の理論グループが前から考えていた第4の粒子としてもおかしくない」という電話がかかってくるのです。もしそうだとすると、これは新しい量子数を持っているわけだから、単独ではできなくて必ずペアでできないといけないということを指摘されたのですけれども、私たちはその前に既に、実はこの隣の荷電粒子がこうきて、ここで、これは鉛の中なので、あんまり詳しいことはわからなかったのですけれども、キンクしているということがわかっていたので、それはありますよということをすぐに電話で返事をしたわけです。そうすると、やっぱりこれは確からしいということで、小川さんたちはさっそく理論的な分析を始めて、実は論文は、私たちのこの実験の報告よりも先に理論の論文が出たということになったわけです。

当時の新聞に、[slide 19] のような記事が出ました。実はこのイベントが見つかった後に、オーストラリアで宇宙線の国際会議があることになっていたもので、そこで報告しようと思って準備していたところ、西村純先生が、たぶん新聞記者から何かを聞かれて、話されたと思うのです。共同通信の記者が勝手に取材に来ましたので、そこで話をしましたところこういう記事になって出たわけです。共同通信ですから、ニュースの配布先は地方の新聞だったのです。その特ダネだったものですから、全国紙の『朝日新聞』などは遅れて取り上げて、結局『朝日新聞』は[slide 19] 下のような小さな記事だけ出したという、そういう事情がありました。

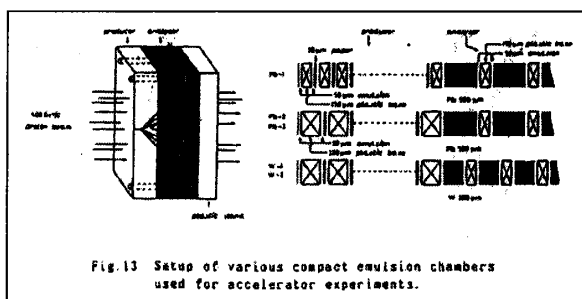
[slide 20] この一例が最初に見つかったわけですが、その後宇宙線データの再解析というか、外国でおこなわれた実験などの再解析のなかでいくつかのこれと同じだと考えていいという例があったので、それを論文にされた方もいるわけです。1974年の終わりになってから、同じ宇宙線を使って、今度は気球実験で私たちと同じかたちの、emulsion chamber を使った実験グループが2例目の[slide 20] 下のような現象を見つけたわけです。やっぱり、エネルギーの高い荷電粒子が2つ下流のあるところでキンクを起こし、左の方は π^0 が出て、右の方はキンクがあった後、こういう2つの γ 線



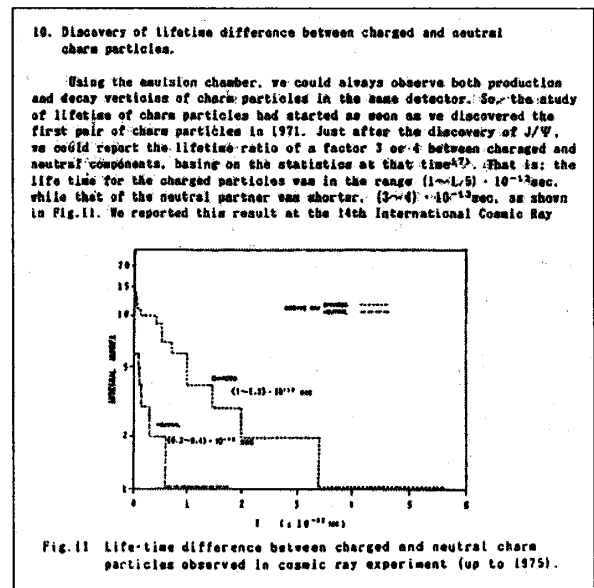
[Slide 20]

が出ているのが、鉛の中でわかったわけです。こっちは、どうも π^0 じゃなくて η^0 らしいということが、この energy momentum の測定でわかったということが出ています。ただしこれは、J/ψ が見つかったとほぼ同時のころでした。ですから J/ψ が見つかるまでには、発見したイベントは 1 例しかなかったのです。

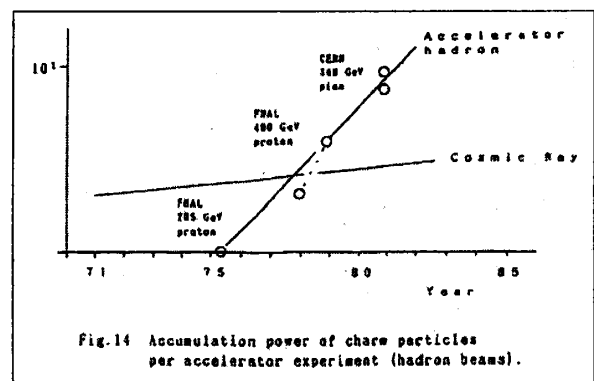
けれども、そのころには、宇宙線の過去のデータなどを集めて、それらしいという現象を含めて分析をしたところ、その Life-time は、荷電成分と中性成分とで違うということが、たった 10 例あまりのデータの分析から [slide 21] のようにはっきり出てきたわけです。中性のほうは、 0.3×10^{-12} 、それから荷電のほうは、だいたい 10^{-12} 秒だという分析ができていました。これは 1975 年の宇宙線国際会議で報告したわけですが、少数例であって、そんなのはまだはっきりしていないということだったわけです。第一、荷電成分と中性成分のライフタイムが違うなんていうのは、そもそもおかしいという意見もだいぶあってほとんど信用されなかったわけです。



[Slide 22]



[Slide 21]

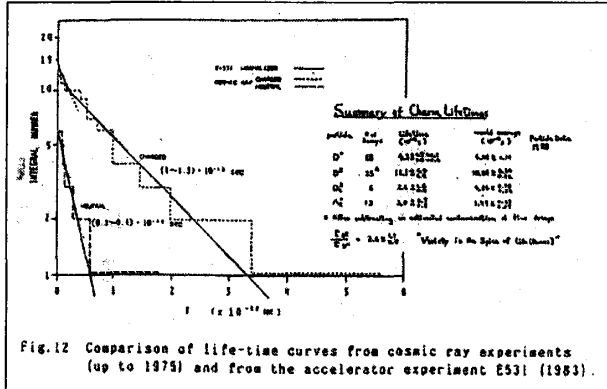


[Slide 23]

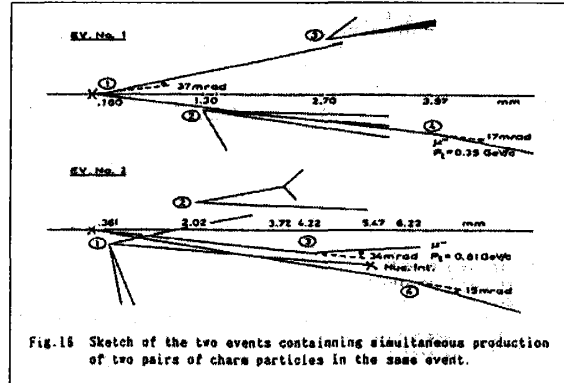
だけれども、私たちはこの宇宙線でやってきた実験を確かめるために、実はそのころから Fermi

Lab. などを使えるようになりましたので、Fermi Lab. のほうに宇宙線観測用に作ったものを、加速器用にモデルチェンジをして、それを持って行って実験をするということを始めました。エネルギー領域は2桁ぐらい下ですから、それに合うようにこじんまりとしたコンパクトな測定器をつくって実験を始めました。[slide 13,14] では横に置いてあったのを、どっちが横か縦かわからないですけども、このように emulsion と、それから鉛板をはさんだものを加速器ビームの下流に置いて実験を行いました。

宇宙線ではなかなか現象の集まりが悪かったのですけれども、加速器で実験が始まったら横軸に年度をとった [slide 23] のように急速にデータが集まり出して、宇宙線と似たようなパターンの現象がどんどん集まり始めたわけです。



[Slide 24]

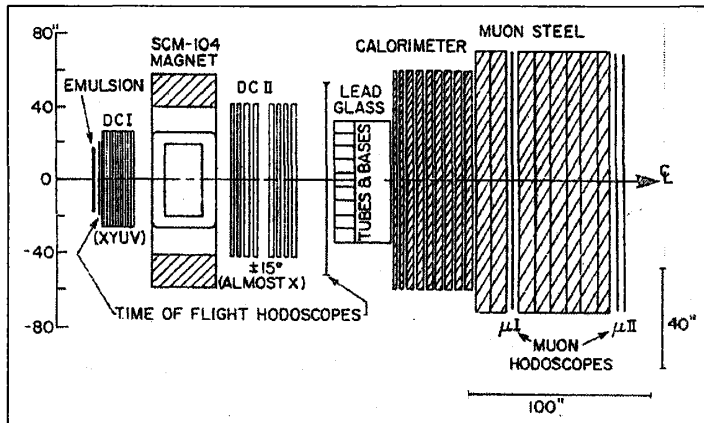


[Slide 25]

これをもうちょっと進めて、CERN の加速器も使って実験をしましたが、最終的には Fermi Lab. でやった neutrino beam を使ったチャーム粒子の研究の中で統計がうんと増えて、チャーム粒子の種類別寿命を正確に測定することができるようになったわけです。これは私たちが参加したからできた実験なのです。実験装置のほうはあとでお示ししますが、これで D^0 、 $D^{\pm}$ 、それからこれは D_s 、 $D_s^{\pm}$ 、それから Λ_c 、それぞれ別々に測定をして寿命まで計算しました。こういうものを全部総合して、直線で表してこれを [slide 24] に示すように宇宙線のデータに重ねると、このようにぴったりと合っているという結果まで私たちが出しました。

こういう加速器を使った実験に転出して、その後、チャームを越えてビューティ粒子までも含めた研究をしようということが始まりました。実はその中で、ビューティ粒子はなかなか見つからなかったのですけれども [slide 25] に示すような現象が見られました。それはチャーム粒子が2ペア、同じ反応から出ていたというものです。こういうチャームペアの多重発生が2例発見されています。

私たちは外国では見捨てられた実験技術を日本の技術革新で最高のところまで持ち上げて、いろいろと実験をして、最初に見つけた反応がやっぱりチャーム粒子である、しかも中性、荷電両成分の寿命が数倍も違うんだということを他よりも先に指摘することができたわけです。

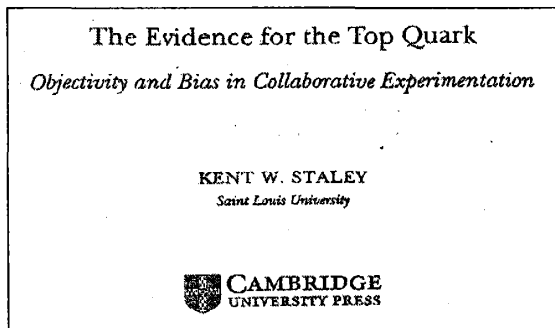


[Slide 26]

先ほど見せなかった加速器実験の実験装置を [slide 26] に示します。このようなカウンターと組み合わせた実験装置でやったわけですが、emulsion はこのような大きな装置の中の左端のほんの小さな部分でしかないのです。後はカウンターで、このマグネットで二次粒子の方の運動量がわかる、それからこちらでミューオンの飛んできた方向とエネルギーを計るという装置ですけども、心臓部はこの乾板にあるわけです。

私たちはそのあとも、こういう emulsion とカウンターとの複合装置をさらに発展させて、ニュー

トリノ反応の研究も CERN でやりました。その中で、 ν_τ は見つからなかったのですけれども、私たちの実験は、カミオカンデと違って、タウニュートリノミューが走っているあいだに、ニュートリノタウに変わって、それが interaction で τ 粒子ができるというところを見極める実験ですから、appearance 実験といえますけれども、そういう形で今次の実験を CERN で準備しているところです。



[Slide 27]

[slide 27] 実はこのような日本でやられてきた話は、なかなか外国では評価されていなかったのですけれども、昨年アメリカの科学史をやっている人が [slide 27] に示すこういう本を出版しました。これは『Top Quark』という題ですから、小林・益川の理論に始まって、top quark が見つかるまでの歴史を科学的に分析した本ですけれども、そのなかのあるページに私たちが見つけた、その当時は X 粒子と言っていたのですけれども、X 粒子と Quartets モデルということが、日本で私たちが見つけてから、J/ ψ が見つかるまでの間に相当分析が進んでいたんだ

ということを取り上げて [slide 28] に示すように話をつなげております。

この人も言っていますけれども、日本ではそういう理論的分析はあったのに、アメリカの人たちは非常に冷淡でというか、ぜんぜん自分たちの論文のなかで cite していないということで、それはおかしかったのではないかと述べておられます。そういうことが、私たちの仕事でした。

いま話した内容を述べた文献をここに置いておきます。4つあります。一番厚いこれが、1998 年に名古屋で国際会議をやったときのものです。「原子核乾板を使った実験で得られた成果」という題の国際会議ですけれども、そのときに私が報告した論文です。もう 1 つは、最初のチャーム粒子を国際会議で報告したときの論文で、Progress に載せてもらったのです。その当時はまだ、実験の論文は本論文としては取ってくれなかったのでデータとして出して、あとの詳しい話は国際会議の報告の中にあり原子核研究所の所内レポートとなっています。あともう 1 つは、私が定年になってから物理学会誌に書いた、今話したようなことをもうちょっと詳しく述べたものです。それからもう 1 つは、最後に話しましたアメリカの Staley という科学史の方ですけれども、その方が書いた本の私たちと小川先生の分析に関連したところだけなのですが、ご関心のある方はどうぞ 1 部ずつ取っていただきます。

配布文献リスト

1. Discoveries of naked charm particle and of lifetime difference among charm species carried out using Compact ECC (Emulsion Cloud Chamber), K. Niu, Proc. The first Int. Workshop on Nuclear Emulsion Techniques, 12-14 June, 1998, Nagoya Congress Center and Nagoya University, Nagoya, Japan, Edited by K. Hoshino: [available as preprint DPNU-01-01].
2. A Possible Decay in Flight of a New Type Particle. K. Niu, E. Mikumo and Y. Maeda, Prog. Theor. Phys. **46** (1971), 1644-1646, and Conf. Papers, 12th Int. Conf. on Cosmic Rays, 16-25 Aug. 1971, Hobart, Tasmania, Australia (1971) Vol. 7, 2792-2798.
3. 素粒子実験に甦る原子核乾板の技術, 丹生 潔, 日本物理学会誌, **45** (1991), 25-32.
4. The Evidence for the Top Quark, I-5, The X-particle and Quarters. (p. 23-27), Kent. W. Staley (Saint Louis University), Cambridge University Press (2004).

討論

菅本 : ご質問はありませんか。

南部 : 2つあるのですけれども、まず写真なんかに使われている emulsion は、どこでつくられていたのですか。

丹生 : 一番最初は、やっぱり日本でできていなかったのがイギリスの会社のものを輸入して使ったのですけれども、輸入のときにいろいろなトラブルがあって、これはやはり国産でないといけないということで、日本の富士フイルムと小西六にお願いして開発してもらったわけです。富士フイルムのほうが先に成功して、それからあとはずっと国産のものを使っています。

5. THE X-PARTICLE AND QUARTETS

Japanese physicists intensified their scrutiny of the Nagoya model in 1971 when a group led by Kiyoshi Niu of the University of Tokyo seemed to find evidence for a new, short-lived particle with a mass of approximately $2 \text{ GeV}/c^2$ (Niu, Mikumo, and Maeda 1971).¹⁴ Recording cosmic ray events with nuclear emulsions flown on an airplane, Niu's group found an extremely energetic event that could be reconstructed as a massive new particle decaying into a neutral pion and another charged hadron. They calculated the estimated mass of the unknown particle X according to two different plausible decay modes. Assuming the X had decayed to a neutral pion-charged pion pair, they estimated the mass of X to be $1.78 \text{ GeV}/c^2$. For decay into a neutral pion-proton final state, they estimated a mass of $2.95 \text{ GeV}/c^2$. This particle later came to be referred to as the X -particle.

This single cosmic-ray event initiated a flurry of articles appearing in *Progress of Theoretical Physics (PTP)*. As Shuzo Ogawa pointed out (Ogawa 1985), *PTP* published fifteen articles in the years 1971–3 that were directly related to the X -particle event. In the United States, on the other hand, the X -particle seems to have received very little attention. During 1972, there were no citations of Niu et al.'s 1971 paper in either *Physical Review Letters (PRL)* or *Physical Review D (PRD)*, the two most prominent journals in the United States that publish papers on elementary particle physics.

The fifteen articles in *PTP* can be divided into two general categories: those that examined the X -particle specifically in order to identify it from the standpoint of various theories, and those that considered quartet models of fundamental particles more generally, citing the X -particle as a motivation for doing so. In both categories, the Nagoya model was of central importance.

Analyses of the X-Particle. At Hiroshima University, Takemi Hayashi, Y. Koide, and Shuzo Ogawa had produced a modified version of the extended Nagoya model (in their version, the baryons p , n , λ , and the hypothetical heavy p' were formed from B^+ and lepton-antilepton pairs – conceived to be

[Slide 28]

南部：それはいつごろですか。

丹生：昭和 35 年。

杉本_△：1960 年代の始めぐらいでしょうか。

丹生：そうですね、1960 年。

江沢：富士フイルムに頼んだのは、仁科研のほうが早いでしょう。

丹生：そうですね。だけどそのときはまだ electron sensitive ではなかったんです。これをやるには、electron sensitive、あらゆる荷電粒子、あらゆるエネルギーの荷電粒子が映らないといけないということで、そういう目的でもう一回再開発してもらったのです。

南部：それからもう 1 つは、いわゆる H quantum、いまはどのようにそれを解釈されますか。

丹生：火の玉ですね。私がモデルを出してから、長谷川俊一氏がちょっと詳しく分析すると、火の玉が 2 つじゃなくて 4 つとか 6 つとかいろいろとあるのではないかということ进行分析されたわけです。一時的には、それは新しい考え方だということで、少し議論があったのですが、その後今では何もありません。

南部 : quantum というのは。

丹生 : 別々の中間子が出るんだけど、そのあいだに、私のモデルですと、火の玉の大きさは小さいものから大きいものまでいろいろとできるわけですが、彼は、単に大きくなるのではなくて、要するに一塊、ちょうど α 粒子みたいな感じで、ぽつぽつと別なものができるのだという考え方があったのです。その後、その考え方は向いていません。

南部 : 武谷三男さんが非常にそれを評価して宣伝された。

丹生 : そうですね。

坂東 : そうすると、先ほどの火の玉現象というか、そういう現象論的には、そういうのは今でもはっきりして、それがどういう origin かということが分析されていないという感じですか。

丹生 : そうです。

坂東 : その中の quantum number とか、ストレンジネスがどうだとか、そういうことは。

丹生 : そこまでは進めていません。私の論文では、他のポーランドとコッコーニの論文ではいついていないところまで、ちょっと相互作用のメカニズムのところまで少し言及しているのですが、私自身もそれ以上、クォークモデルが確立してからはその改良というのはやっていないのです。けれども、それをつつけば、いままでわかっていなかったことがわかるのではないかと私自身は思っていますから、これから少し調べてみようと思っています。

杉本_夫 : 宇宙線に関するお2人の講演で共通のところは、宇宙線というのは、さっき、この人（坂東さん）が言いましたけれども、信用ならないと思われていた。しかし、その後新しい技術を使って実験をすると、加速器でもカミオカンデでもそうなのですが、宇宙線のなかにもまだ発展的なところがあるという話ですよね。その話は、ほかの分野にもありまして、例えば太陽物理などはみんなわかってしまったからということで、アメリカでは流行らなくなりました。それに対し日本では衛星でX線の観測と結びつけて、うんと進めました。その後、太陽物理は一回死んだけれども、日本のなかで生き返って、日本が中心になっているわけです。そういうことというのは、いろいろとあると思うのです。それはこれまでの話で、私がいま言いたいのは、今後ともまだあるのかという質問です。それはやってみないとわからないということが正直な答えなのでしょうけれども、それじゃ答えにならない。あるとしたらどういうことに注意をしておられたのでしょうか。

丹生 : そういう話は私の後継者である丹羽公雄氏が、私が開いた道をずっとさらに進めて、タウニュートリノの検出までやって、この前、仁科賞をもらっています。彼はさらにその道を進めて、今度はニュートリノ振動を appearance の形で見つけようということで、いま、仕事を進めています。彼はそのほかにもいろいろと考えていて、たぶん計画は持っていると思いますけれども、それは本人から聞いていただければいいと思います。

菅本 : よろしゅうございますか。ではもう1問。

中 : 当時の研究に使った原子核乾板は自分たちで作ったと聞いているのですが、実際に自分たちがやったのでしょうか。

丹生 : 乳剤の塗布を自分たちでやりました。最初は富士フィルムに頼んでいたのですが、例えばヨーロッパ、アメリカで実験しますね。そのときに富士フィルムで作って持っていくと、そのあいだに宇宙線が映るわけです。そしてバックグラウンドが増えて、現象が見えにくくなるということがあるので、実験場所で乾板をつくるということがどうしても必要だということで、私たちは富士フィルムから学んで、乳剤を現地で塗布し新鮮な乾板を用いることを自分たちでやるようにしました。

荒船 : 丹生先生の 2 fire model というのは、私は初めは知らなかったのですが、Yang の fragmentation model という scale model を Lab. 系に直した論文があります。その論文には「私の論文は丹生の論文を数式的にきちんとしただけである」という、計算だけかもしれないのですが、そういうコメントがついています。それからチャームに関しては、小林誠さんに聞いたところでは、名古屋ではチャームの解析でクォークが4種類あるということは常識になっていたんだと。私たちは常識ではなかったのが遅れていたのですが、だからその先をいけて小林・益川がにつながった。

丹生 : 私の話の最後でお示した本のなかに、そういうことが非常に詳しく書いてあります。その方は真面目にあらゆる論文を見逃さずに全部読んで、そのうえで本を書かれていると思います。

菅本 : 話題は尽きないのですが、このあたりで丹生先生、どうもありがとうございました。