$D_S \to \tau\nu_\tau$ 崩壊による τ 粒子の直接検出

F研　岡田謙介

平成7年2月1日

目 次

1 はじめに **3**

2 WA75 実験 **4**

2.1 実験の概要 4

2.2 解析 5

2.3 解析結果 7

2.4 $Ds \to \tau\nu_\tau$崩壊のチャーム粒子候補への混入 8

2.5 混入している $Ds \to \tau\nu_\tau \to \mu\nu_\mu\nu_\tau$崩壊の個数の予測 8

3 精密測定 **10**

3.1 測定方法 10

3.2 kink parameter の導入 10

3.3 測定結果 12

4 バックグラウンド **19**

4.1 μ粒子の信頼性 19

4.2 バックグラウンドとなるもの 20

4.3 バックグラウンドのまとめ 22

5 結論 **23**

6 謝辞 **23**

7 参考文献 **23**

A 検出効率 M.C.simulation **24**

A.1 チャーム粒子候補としての検出効率 24

A.1.1 event generation 24

A.1.2 on_line selection 24

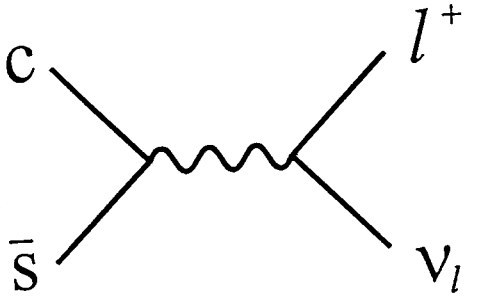
A.1.3 off_line selection 24

A.1.4 emulsion scanning 25

A.2 $Ds \to \tau\nu_\tau$崩壊の検出効率 29

1　はじめに

我々の世界は、陽子、中性子に代表されるクォーク族で構成される粒子と、電子を初めとする三世代のレプトン族及び幾種類かのゲージボゾンにより成り立っている。三世代のレプトンのうち最も質量の大きな物は τ 粒子で、1975 年に SLAC で $e^+ - e^-$ の対消滅からそれまで既知の粒子では説明のつかない現象が捕らえられ、その存在が初めて確認された [1]。しかし未だに τ 粒子の生成から崩壊までの直接検出には、成功していない。
c quark と$\bar{s}$ quark で構成されるチャーム粒子の Ds 中間子は、次のダイアグラムで表される様にふたつのクォークの対消滅によって崩壊し、崩壊の娘粒子がレプトンだけになる崩壊をすることができる。



この形式は、π 中間子の μ^+ 粒子と ν_μ への崩壊と全く同じであり、崩壊率は弱い相互作用の理論で計算することができる。それによると三世代のレプトンへの崩壊率は、おおよそ電子: μ 粒子: τ 粒子 $= 10^{-5}$: 1: 10 となっている。電子への崩壊率が他に比べて特に小さいのは、電子の質量が他に比べて特に小さいのでヘリシティによる抑制が強く効くためである。μ 粒子への崩壊は、我々の WA75 実験で初めて検出されている [2]。WA75 実験は、原子核乾板・カウンタ複合実験装置と原子核乾板半自動解析装置を駆使して、ビューティ粒子生成・崩壊を原子核乾板中に捕え、寿命を測定する事、また高い統計精度でチャーム粒子を捕獲し、その諸性質を調べる事を目的として 1981 年から欧州国際原子核研究所（CERN）で行われた実験である [3]。既に解析は終了しており多数のチャーム粒子候補が捕らえられている。私は、$Ds \to \mu\nu_\mu$ 崩壊から Ds 中間子の τ 粒子への崩壊の数を見積り、emulsion の再解析を行い $Ds \to \tau\nu_\tau$ 崩壊の検出によって τ 粒子の直接検出を試みた。

2 WA75 実験

2.1 実験の概要

WA75 実験のセットアップを図 1 に示す。入射粒子は、350GeV/c の π^- 中間子が用いられた。emulsion ターゲットの厚さは、1.85cm である。emulsion ターゲットの下流には、入射粒子と emulsion の衝突によって生成された粒子の飛跡を捕える vertex detector がある。続いて μ 粒子以外を止めてしまう為に Dump がおかれている。2nd run では、Dump の代わりにハドロン カロリーメータが使われた。Dump を突き抜けた μ 粒子は後ろに控えている空心磁石と飛跡検出器組み合わせによって、運動量を測定される。

Dump にたどり着く前にビューティ、チャーム粒子と K 中間子、π 中間子のうちで崩壊しその娘に μ 粒子が含まれるものがある。ビューティ、チャーム粒子が μ 粒子を含む崩壊をする割合は 10% 程度であるが、それらを含むイベントの濃縮という点で μ 粒子による trigger が役にたっている。trigger された μ 粒子に次の節で述べるような条件をつけて、ビューティー、チャーム粒子イベントの濃縮を行っている。emulsion から Dump の入り口までの距離は、約 90cm と短くビューティー、チャーム粒子候補の娘の K 中間子、π 中間子が μ 粒子に崩壊する暇がないので、一つの事象に付随する μ 粒子の信頼性は、極めて高い。

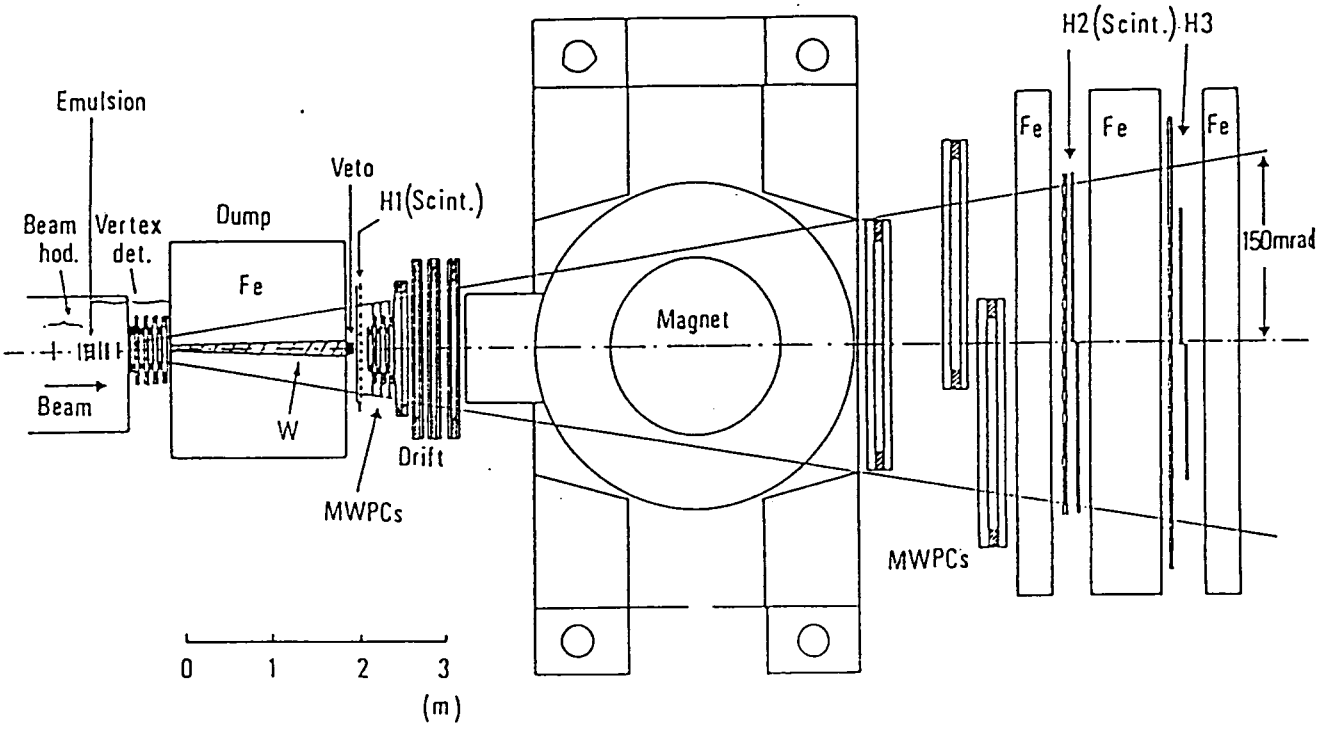


図 1: WA75 set up

2.2 解析

μ 粒子で trigger された反応は、ほとんどが一次衝突点で生成した π 中間子や K 中間子の崩壊した事象である。ビューティ粒子やチャーム粒子の崩壊からの μ 粒子は、ビームに対する横向き運動量が大きくなるので (図 2) 大きなものを選ぶ事で事象の濃縮を図った。こうして残った事象について、 Dump の上流にある Vertex detctor から予想される一次衝突点を emulsion で探索した。多くの π 中間子が崩壊して μ 粒子になった事象は、 π 中間子は μ 粒子に崩壊するときにほとんど角度を変えないために一次衝突点から μ 粒子が直接発生しているように見える。このような反応はこの時点で解析を終了し、それ以外の反応は、次の段階の解析を行った。

一次衝突点から発生したビームに対する角度が 150mrad 以内の荷電粒子は、 emulsion の中を追い下げて、 μ 粒子の生成源を確かめた。中性粒子は、 emulsion に写らないので追い下げられないが、荷電粒子に崩壊すれば vertex detector で捕えられるので角度の合う崩壊がないか探索した。

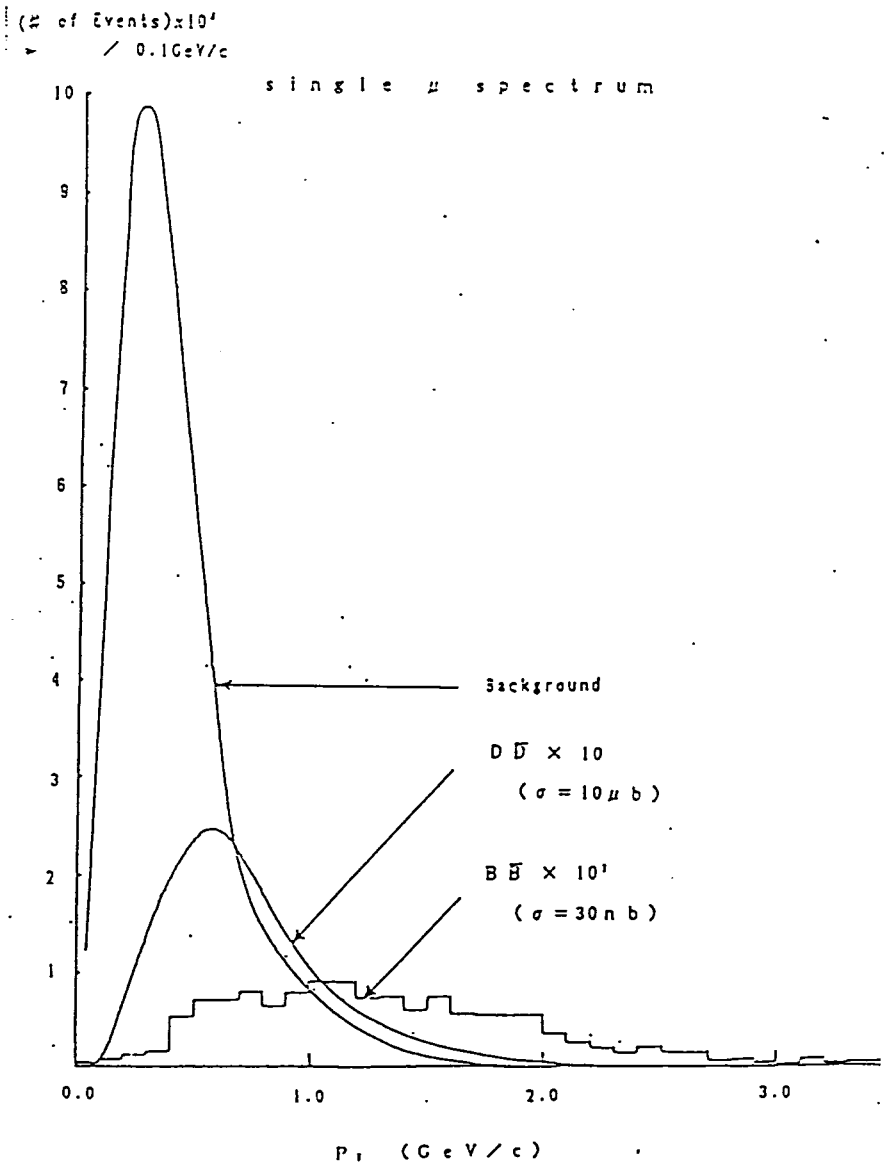


図 2: beam pt_μ の分布

2.3 解析結果

照射実験は、総計 80ℓ の emulsion に 4.5×10^8 反応を蓄積し、1.5×10^6 反応を trigger した。off_line selection で残った 9925 反応の emulsion 解析の結果、一次衝突点の分析で残った反応は 1000 反応弱で、その中から 482 反応のチャーム粒子候補を検出した (表 1)。この内 trigger に使われた μ 粒子が見つかっている反応は、339 反応である。この図で C1 や N2 は、崩壊の形式を表していて C1 は荷電粒子の崩壊で娘粒子に荷電粒子が一本だけという意味で N2 は中性粒子が娘粒子が 2 本の荷電粒子に崩壊したという意味である。

With Muon	Single		With partner					Total
			N2	N4	C1	C3	C5	
	N2	67	29	7	26	22	0	151
	N4	4	1	1	2	0	0	8
								159
	C1	66	25	8	26	14	1	140
	C3	22	7	1	3	4	0	37
	C5	3	0	0	0	0	0	3
								180
No Muon	Single		With partner					Total
			N2	N4	C1	C3	C5	
	N2	31	2	0	4	1	0	38
	N4	9	0	0	1	0	0	10
								48
	C1	57	3	1	3	2	0	66
	C3	22	2	0	0	0	0	24
	C5	5	0	0	0	0	0	5
								143
	Total							482

表 1: チャーム粒子候補

2.4 $Ds \to \tau\nu_\tau$ 崩壊のチャーム粒子候補への混入

$Ds \to \tau\nu_\tau$ の崩壊は、初めの π^- 粒子と emulsion との反応で作られた Ds 粒子の運動量（約 50GeV/c）に比べて、Ds 中間子と τ 粒子の質量の違いからくる τ 粒子の Ds 粒子に対する横方向運動量（最大 0.182GeV/c）がとても小さい [5]。親の運動量に対する子供の横方向運動量の比が、emulsion 内での飛跡の折れ曲がり角 (kink 角) として現れるので、これは数 $mrad$ となる。前章で述べたチャーム粒子の解析では、条件のいいもので kink 角 $10mrad$ が検出限度であるので、$Ds \to \tau\nu_\tau$ の崩壊は発見出来ない。

しかし幸いな事に τ 粒子は、質量が $1.78GeV/c^2$ で寿命も $0.3ps$ とチャーム粒子とほぼ同じ振る舞いをするので、その崩壊は表 1のチャーム粒子として捕らえられている。

次にチャーム粒子候補の中から $Ds \to \tau\nu_\tau$ 崩壊を検出する上で、τ 粒子のどの様な崩壊に注目するかが問題となる。この実験では運動量が測られているものは μ 粒子だけなので、τ 粒子の μ 粒子への崩壊を探索することにした。

τ 粒子の μ 粒子への崩壊は、1prong の崩壊となるので $Ds \to \tau\nu_\tau$ 崩壊の探索には、表 1の μ 粒子付き c1 崩壊が対象となる。

2.5 混入している $Ds \to \tau\nu_\tau \to \mu\nu_\mu\nu_\tau$ 崩壊の個数の予測

既に発表されている $Ds \to \mu\nu_\mu$ 崩壊の数 8.5 個からチャーム粒子候補に含まれる $Ds \to \tau\nu_\tau$ 崩壊の個数のおおよその見積りをした。弱い相互作用の理論からそれぞれの崩壊分岐比は、

$$\frac{B(Ds \to \tau\nu_\tau)}{B(Ds \to \mu\nu_\mu)} = \frac{m_\tau^2(1-\frac{m_\tau^2}{m_{Ds}^2})^2}{m_\mu^2(1-\frac{m_\mu^2}{m_{Ds}^2})^2} = 9.7$$

という比になる。これに τ 粒子の μ 粒子への崩壊分岐比 $B(\tau \to \mu) = 0.18$ がかかり、さらにチャーム粒子候補として観測される確率が異なるので考慮しなければならない。Appendix で述べる simulation を行い、$Ds \to \tau\nu_\tau$ 崩壊に続く $\tau \to \mu$ 崩壊は、$Ds \to \mu\nu_\mu$ 崩壊に比べて emulsion の中でチャーム粒子として崩壊が捕えられる確率は、0.25 倍であるという結果を得た。
従ってチャーム粒子候補の中に含まれる $Ds \to \tau\nu_\tau \to \mu\nu_\mu\nu_\tau$ の数は、

$$N_{Ds-\mu}^{obs} \cdot \frac{B(Ds \to \tau\nu_\tau)}{B(Ds \to \mu\nu_\mu)} \cdot B(\tau \to \mu) \cdot \frac{\varepsilon_{\tau-\mu}}{\varepsilon_{Ds-\mu}} = 8.5 \cdot 9.7 \cdot 0.18 \cdot 0.25 \simeq 4\text{個}$$

となる。

$Ds \to \tau\nu_\tau$ 崩壊の探索は、μ 粒子へ c1 崩壊しているチャーム粒子候補の親を詳しく調べ $Ds \to \tau\nu_\tau$ 崩壊の小さな折れ曲がりを検出することで行う。検出効率は、emulsion の中で Ds 粒子及び τ 粒子のそれぞれの飛跡の角度をどれだけ押さえられる

emulsion の中で Ds 粒子及びτ粒子のそれぞれの飛跡の角度をどれだけ押さえられるかが重要である。図3に simulation で作った $Ds \to \tau\nu_\tau$崩壊の kink 角 $[\theta_{Ds\to\tau}]$ 対 Ds 粒子とτ粒子の飛跡のうち短い方の長さ $[Min(FL_{Ds}, FL_\tau)]$ のプロットを示す。図の中の直線は$\theta = \sqrt{2} \times \sigma / FL$ の直線で、飛跡の両端を$\sigma = 0.3\mu m$ 、$0.5\mu m$ の精度で押さえた場合に角度精度がどの程度決まるかを表している。この測定精度は emulsion において妥当な値である。一次衝突点の近くは生成した他の粒子の為に測定困難である。図には $400\mu m$ 以下は角度決定困難として直線をひいた。この直線より右上にあるものは角度精度より大きい事を意味し、検出可能であると考えられる。

実際には、長く飛んでいる飛跡は何点も測定する事でさらに角度精度を上げる事が可能であるし、逆に短いものは emulsion の状態によってこの直線より悪くなる事があると考えられる。またお互いの飛程も関係するので、あくまで概算として検出効率を図より見積もると 7 割程度となる。従って 4 個の 7 割で 3 個程度は発見出来るであろうと考えられる。

上記の考察をふまえて顕微鏡を使った精密測定をおこなった。

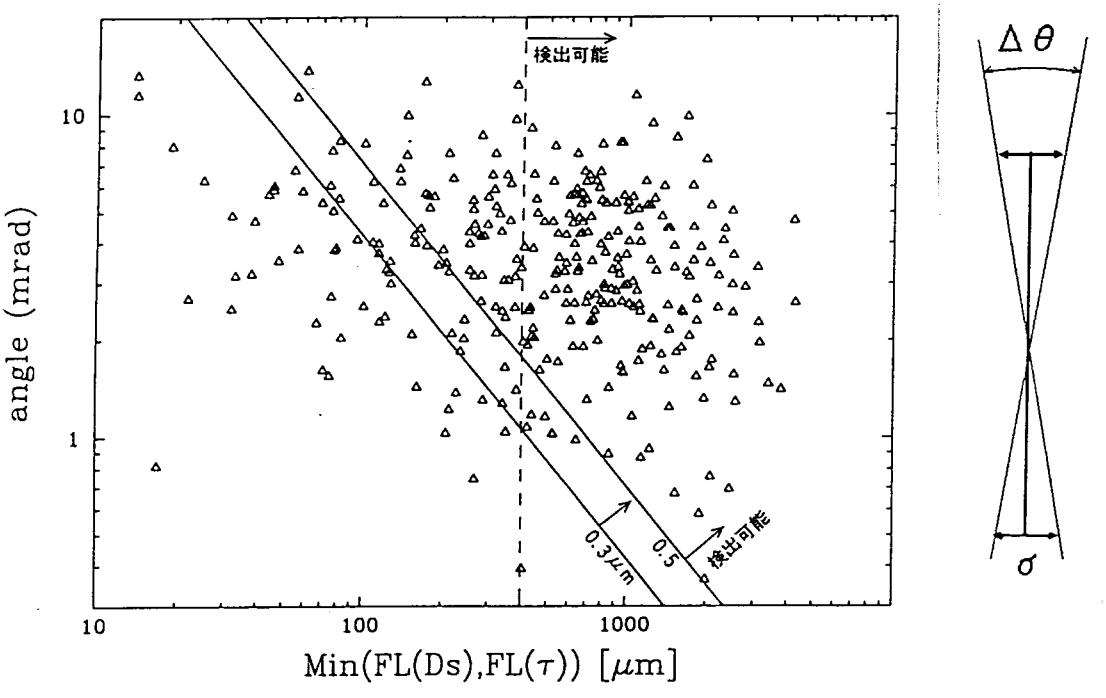


図 3: $Min(FL_{Ds}, FL_\tau) - \theta_{Ds\to\tau}$

3 精密測定

3.1 測定方法

飛跡の三次元座標を約 $70\mu m$ おきに測定した。測定は、顕微鏡の視野を CCD カメラで写し、CRT 画面上で emulsion の飛跡を構成する銀の粒の位置を記録した。CRT 画面のピクセルの大きさは約 $0.3\mu m$ で、銀の粒の大きさは約 $1\mu m$ である。厚み方向の位置は鏡筒の動きから読みとった。こちらは、被写界深度から限界があるが対象となる飛跡はビームに対する角度がたかだか 150mrad 程度なのであまり問題にならない。飛跡は emulsion の歪みとともに、ビームに垂直な方向に平行移動しているので、そのまま emulsion のなかで座標をとってもその歪みが見えるだけである。そこでビームのπ中間子の飛跡の座標を同時にとることで補正をした。運動量が 350GeV/c もあるため多重散乱をほとんど受けず、飛跡は直線だと考える事ができる。ビームのπ中間子は、数多くほぼ平行に走っているので見分けをつけられる。

ここで一次衝突点とμ粒子への崩壊点の距離によって二通りの方法を使い分けた。この距離が短い時には、一次衝突点からμ粒子への崩壊点まで顕微鏡の一つの視野内に目的の飛跡と補正の為のビームπ中間子の飛跡の組を入れることが可能である。距離が長い時、どのビームπ中間子を選ぼうと二つの飛跡の座標を読み取る為には、emulsion を移動させなければならなくなる。後者の場合は前者の測定の誤差に加えて更に emulsion を載せたステージの誤差をかぶる。今後ステージを使った測定を V-stage scanning 、ステージを使わない測定を 1 view scanning と呼ぶ。一点の測定精度は、V-stage scanning で $0.55\mu m$ 、1view scanning で $0.25\mu m$ を平均で達成している。図 4 は、測定結果をプロットしたもので、これは実際に 1 view scanning で見つかった $Ds \to \tau\nu_\tau$崩壊候補である。+印のトラックは深さが $3500\mu m$ でμ粒子に崩壊している。他の 2 本のトラックは同じ一次衝突点で生成されたハドロンである。このイベントについては、測定エラーは約 $0.3\mu m$ である。

3.2 kink parameter の導入

Ds 中間子からτ粒子への崩壊の小さな kink 角を客観的に取り扱うために測定したひとつひとつの event に対して、次の kink パラメーターを導入した。

$$r = \frac{\theta_{kink}}{\delta(\theta_{kink})}$$

θ_{kink}は、一次衝突点からμ粒子の kink までの間を 2 つの部分に分け、それぞれを直線で最小自乗法で合わせたときのお互いの角度である。kink 角の誤差$\delta(\theta_{kink})$ は、2 つに分けたそれぞれの部分の長さ及び測定精度の関数となっている。図 5は、前節で紹介した反応に kink パラメータの値を重ねたものである。四角の大きさが r の値、位置が二つに分けた場所を示している。

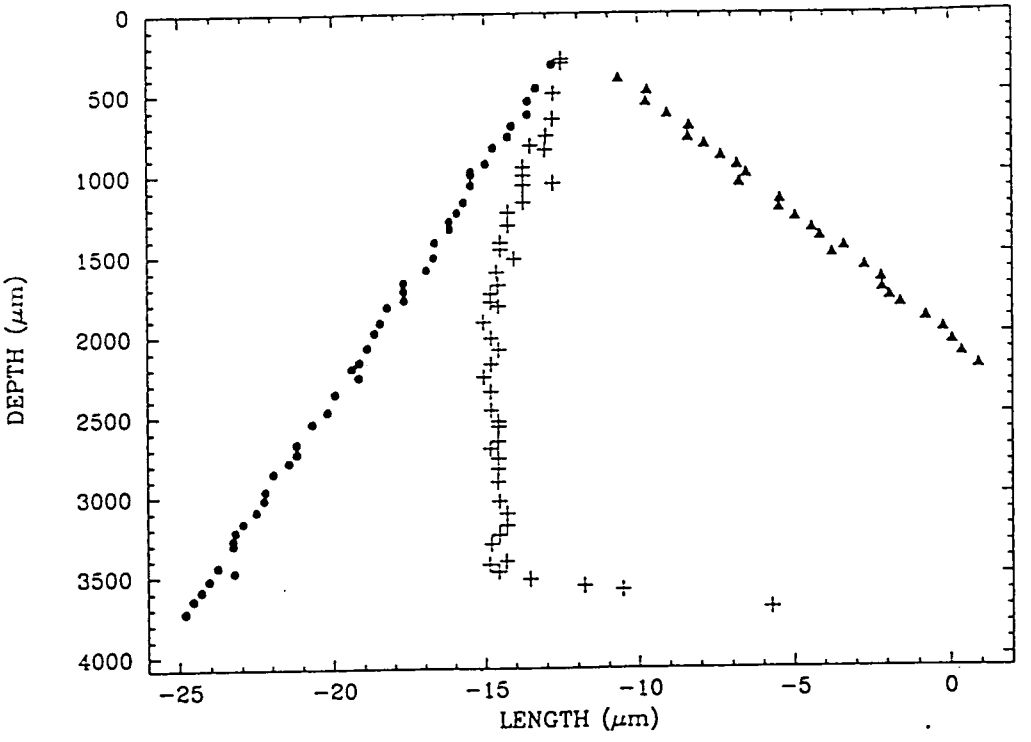


図 4: 精密測定のプロット

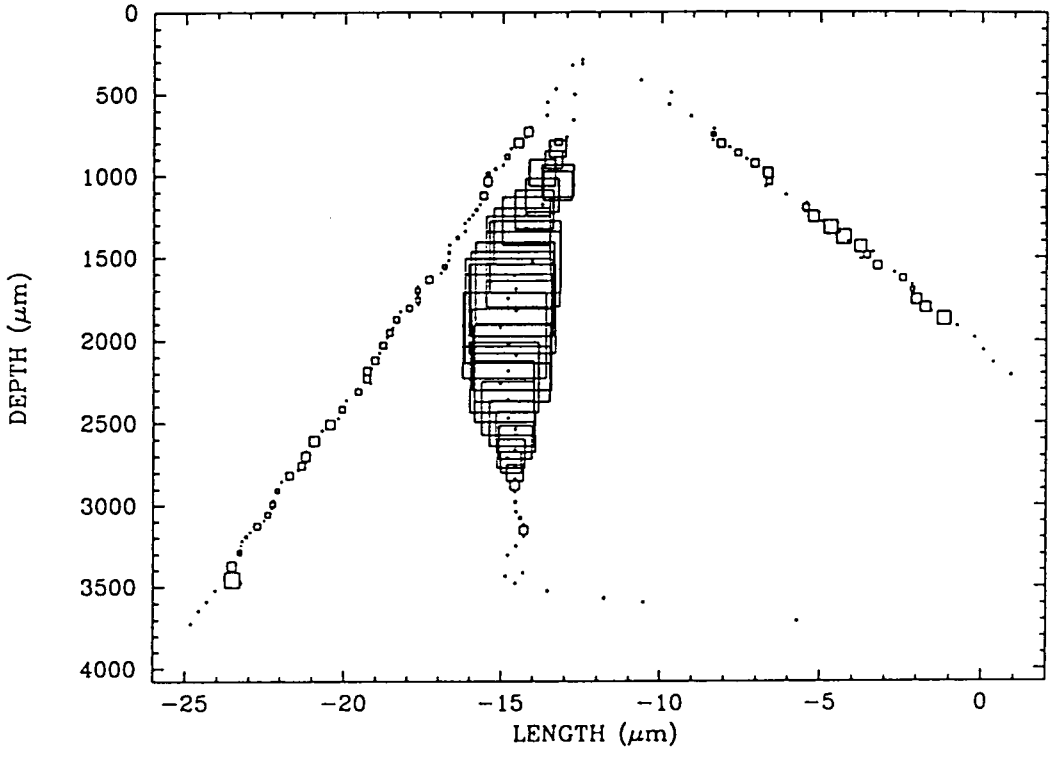


図 5: kink パラメータ

他の二本のトラックに比べ中央のμ粒子に崩壊するトラックは、大きな値をとっていることが一目で分かる。これは二直線の角度決定精度に比べて十分に大きな kink 角を持っている事を示している。一本の飛跡に付き、kink パラメーターの最大値をとる所を最も曲がっている可能性の高い所と解釈し、その最大値を比較した。

3.3 測定結果

精密測定は、1prong のチャーム粒子候補から一次衝突点よりμ粒子までの飛程が $800\mu m$ 以下のものと emulsion の歪が大きくて測定が出来ないものを除いて、81 個について行った。1 view scanning と V-stage scanning の内訳は、45:36 である。図 6に kink パラメータの分布を示す。図 4で例にとった $Ds \to \tau\nu_\tau$候補は、1view scanning で r=11.7 となっている。
kink パラメータが大きく飛びでている反応 (1view scanning で $r \geq 6$ 、V-stage scanning で $r \geq 7.5$) 五個を $Ds \to \tau \to \mu$崩壊の候補とした。この条件での検出効率は、1view scanning で 39%、V-stage scanning で 46%程度と見積もれた (Appendix) 。$Ds \to \tau \to \mu$崩壊候補についてのデータを表 2 に示す。$Pt_{\tau\to\mu}$は、μ粒子のτ粒子に対する横向き運動量である。候補の 4 、5 は V-stage scanning で見つかった。
図 7〜図 11に $Ds \to \tau \to \mu$崩壊候補 1,2,3,4,5 のプロットを載せる。3 番目のものは、Ds 中間子の飛距離が短いので分かりにくいが impactparameter が $2\mu m$ と他の一次衝突点で生成した粒子よりも特別大きな値をもっていることが見える。候補の 4,5 は、一次衝突点からの放出角が大きいので回転させて Ds 中間子からτ粒子への崩壊を見やすくしてある。

候補	1(1view)	2(1view)	3(1view)	4(V-stage)	5(V-stage)
kink パラメータ	13.6	11.7	8.8	24.6	24.4
$P_\mu(GeV/c)$	17.23	17.13	24.23	26.35	12.31
$\Delta\theta_{\tau\to\mu}(mrad)$	47.8	44.1	31.0	22.0	30.0
$Pt_{\tau\to\mu}(GeV/c)$	0.82	0.75	0.77	0.58	0.37
$\Delta\theta_{Ds\to\tau}(mrad)$	5.6	1.9	4.5	1.85	4.56
$FL(Ds)/FL(\tau)$ (μm)	750/1750	1700/1600	500/3200	4700/4000	2700/3500
対となる charm	no candi.	C1	no candi.	N2	no candi.
Ds 粒子の放出角 (mrad)	32	2.2	22	57	50
P_τの見積り (GeV/c)	37	40	58	81	59
τ粒子の寿命の見積り (ps)	0.28	0.23	0.33	0.29	0.35

表 2: $Ds \to \tau \to \mu$崩壊の候補

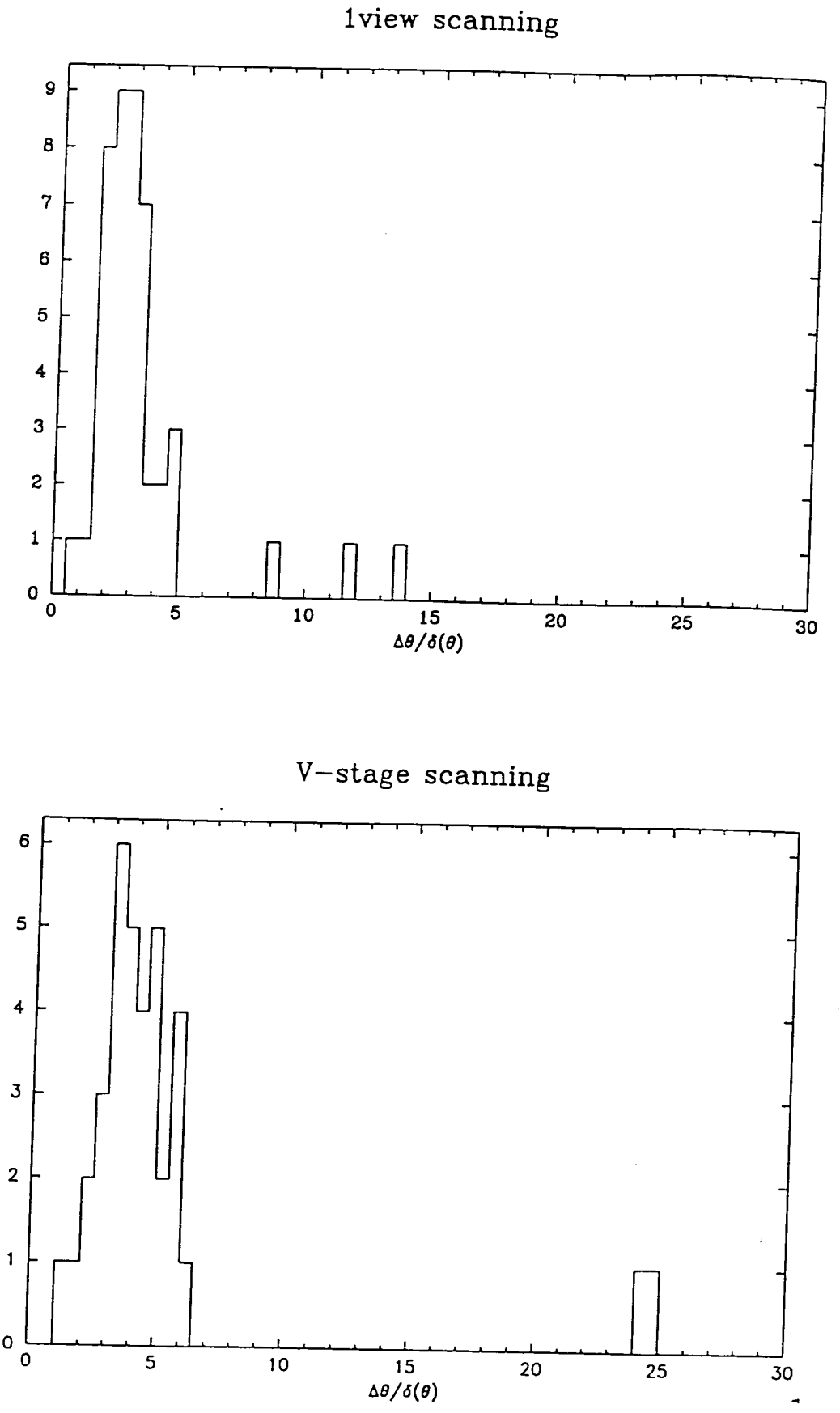


図 6: kink パラメータの分布

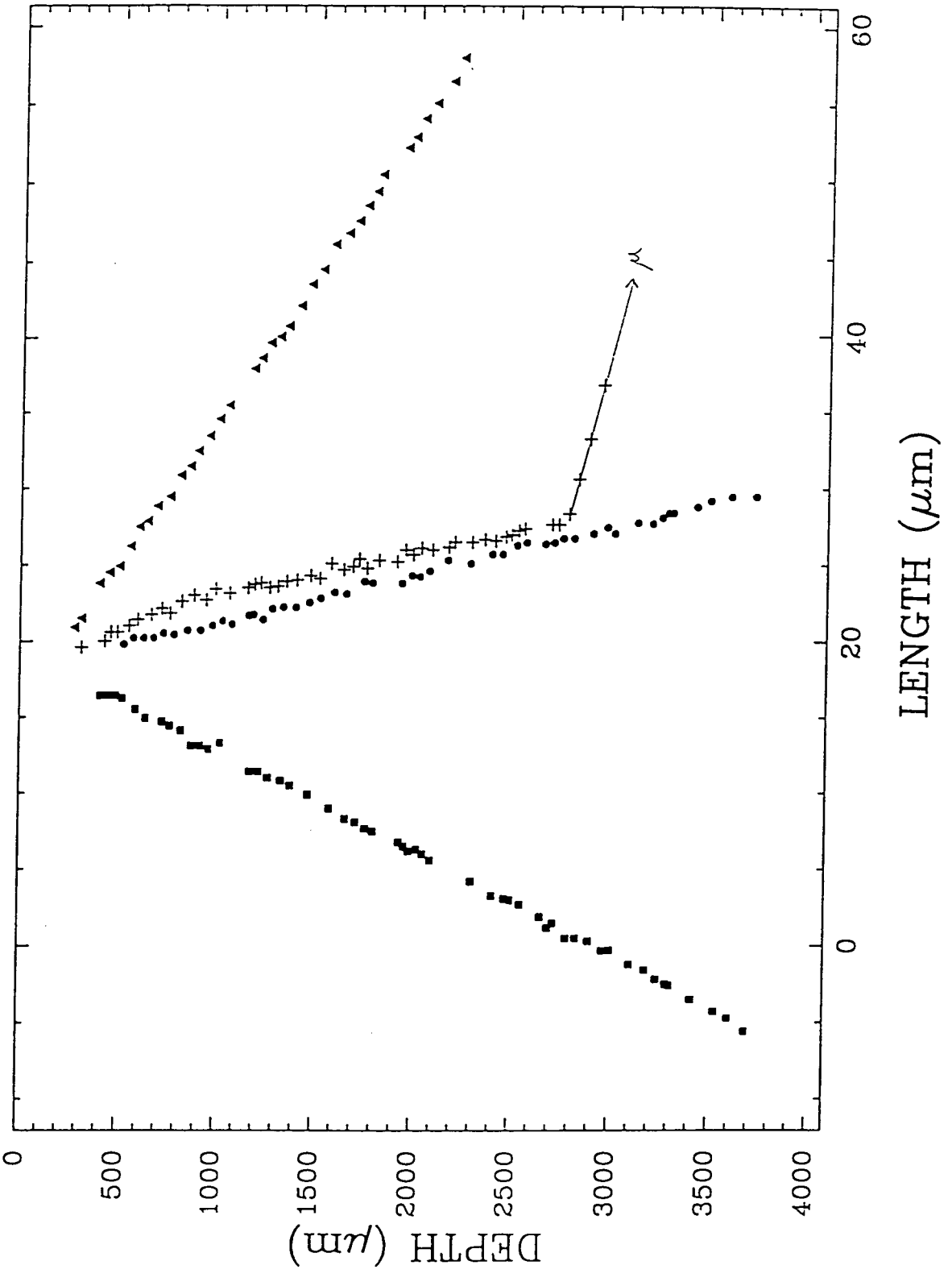


図 7: $Ds \to \tau \to \mu$崩壊候補　1

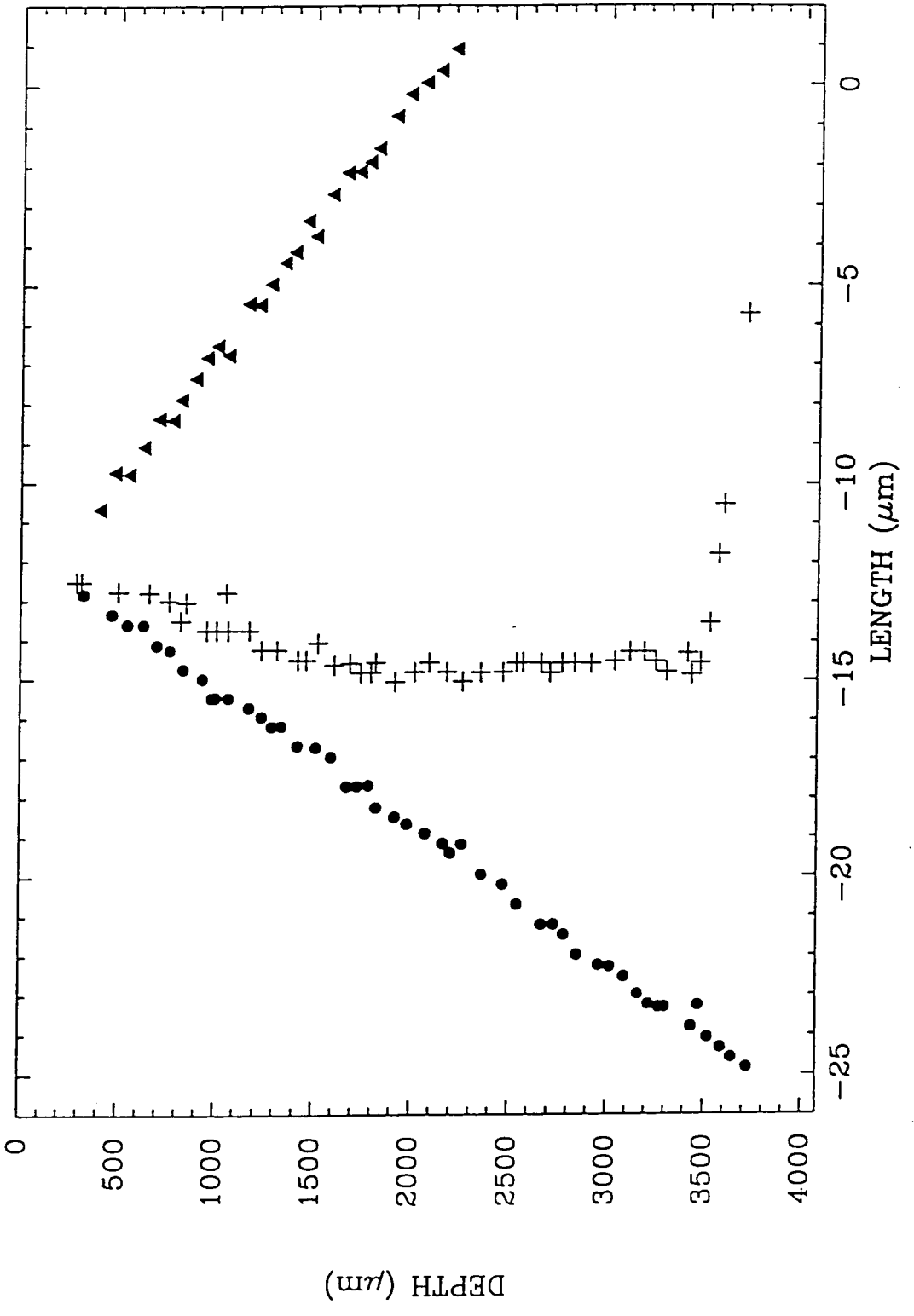


図 8: $Ds \to \tau \to \mu$崩壊候補　2

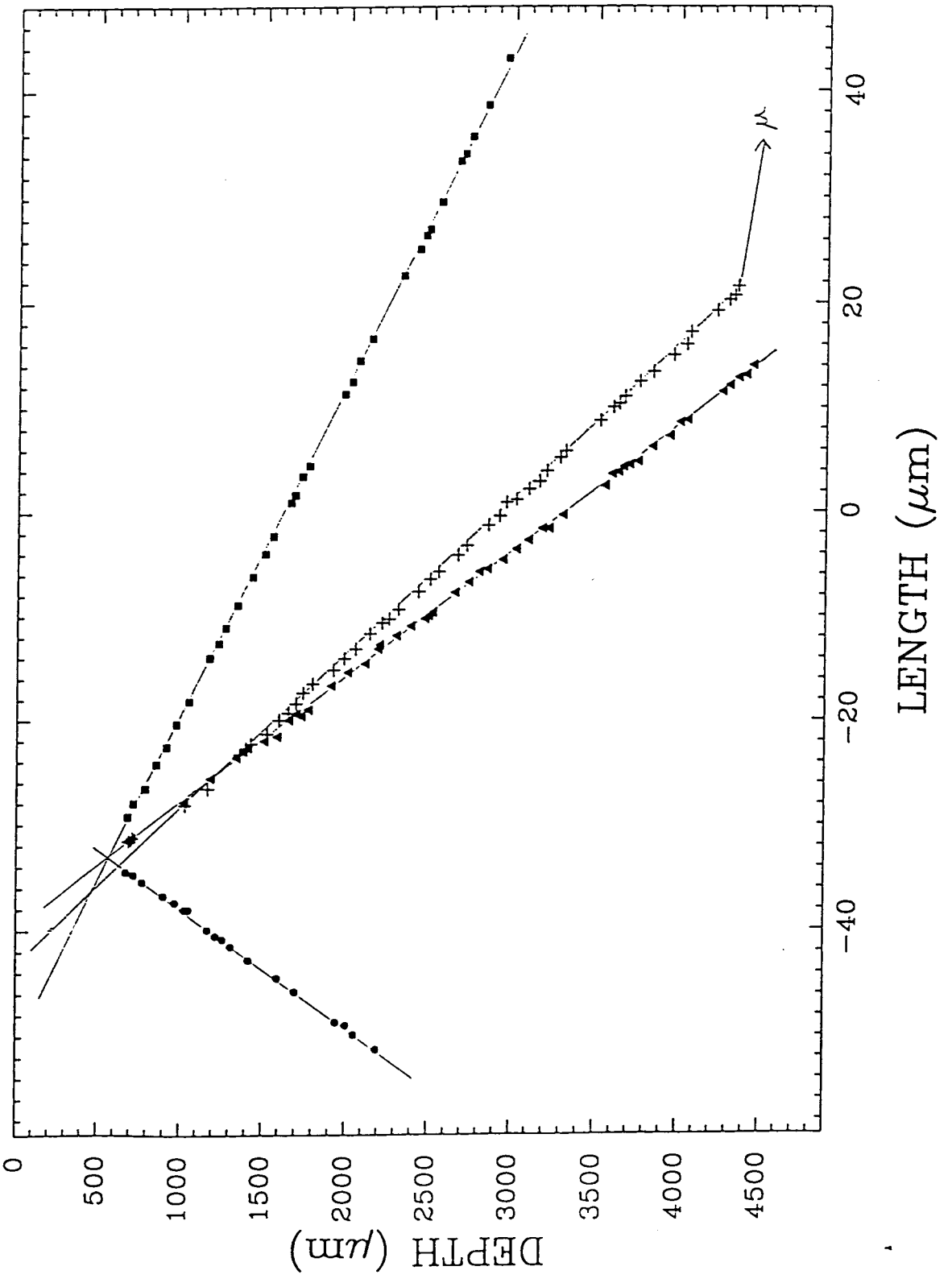


図 9: $Ds \to \tau \to \mu$崩壊候補　3

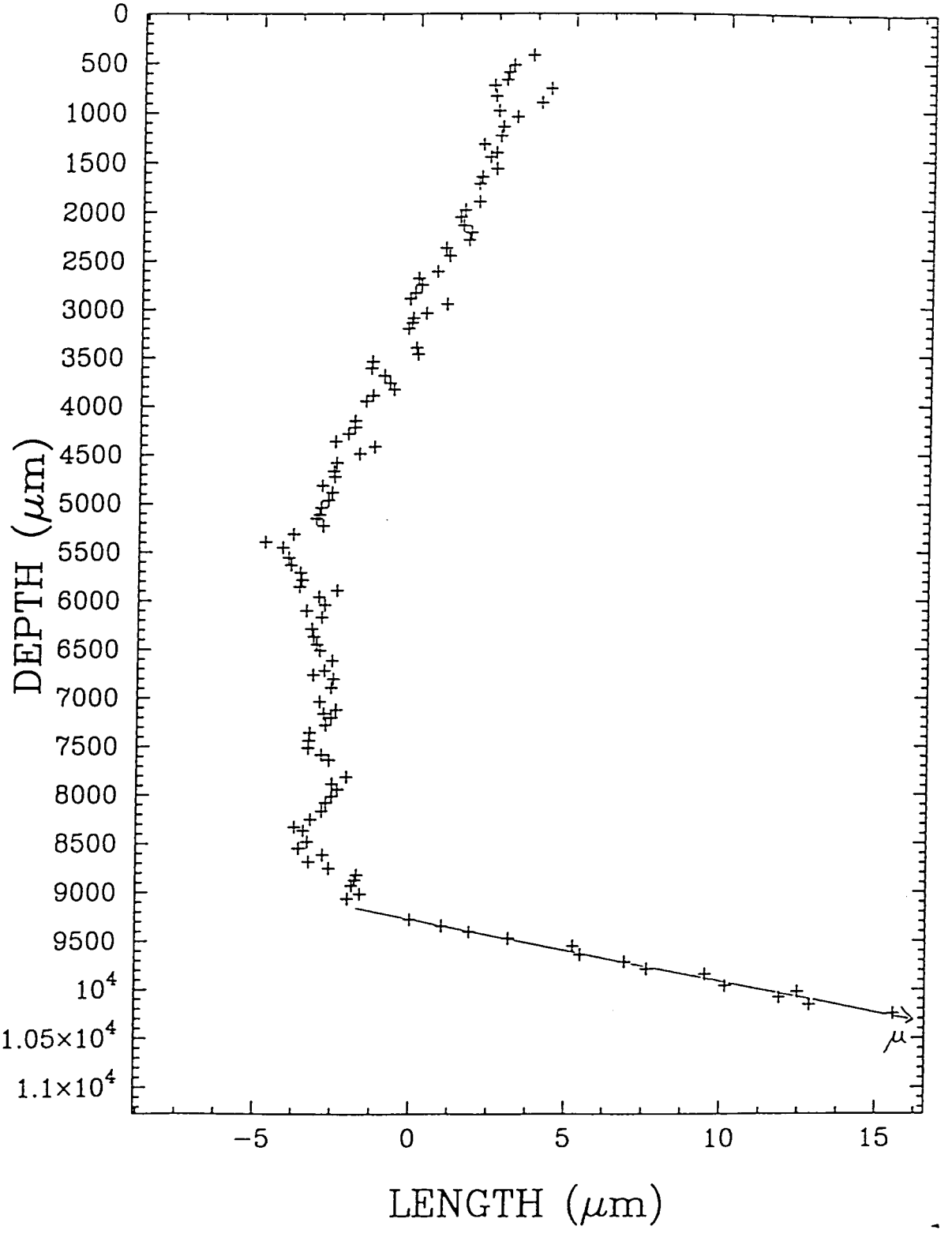


図 10: $Ds \to \tau \to \mu$崩壊候補　4

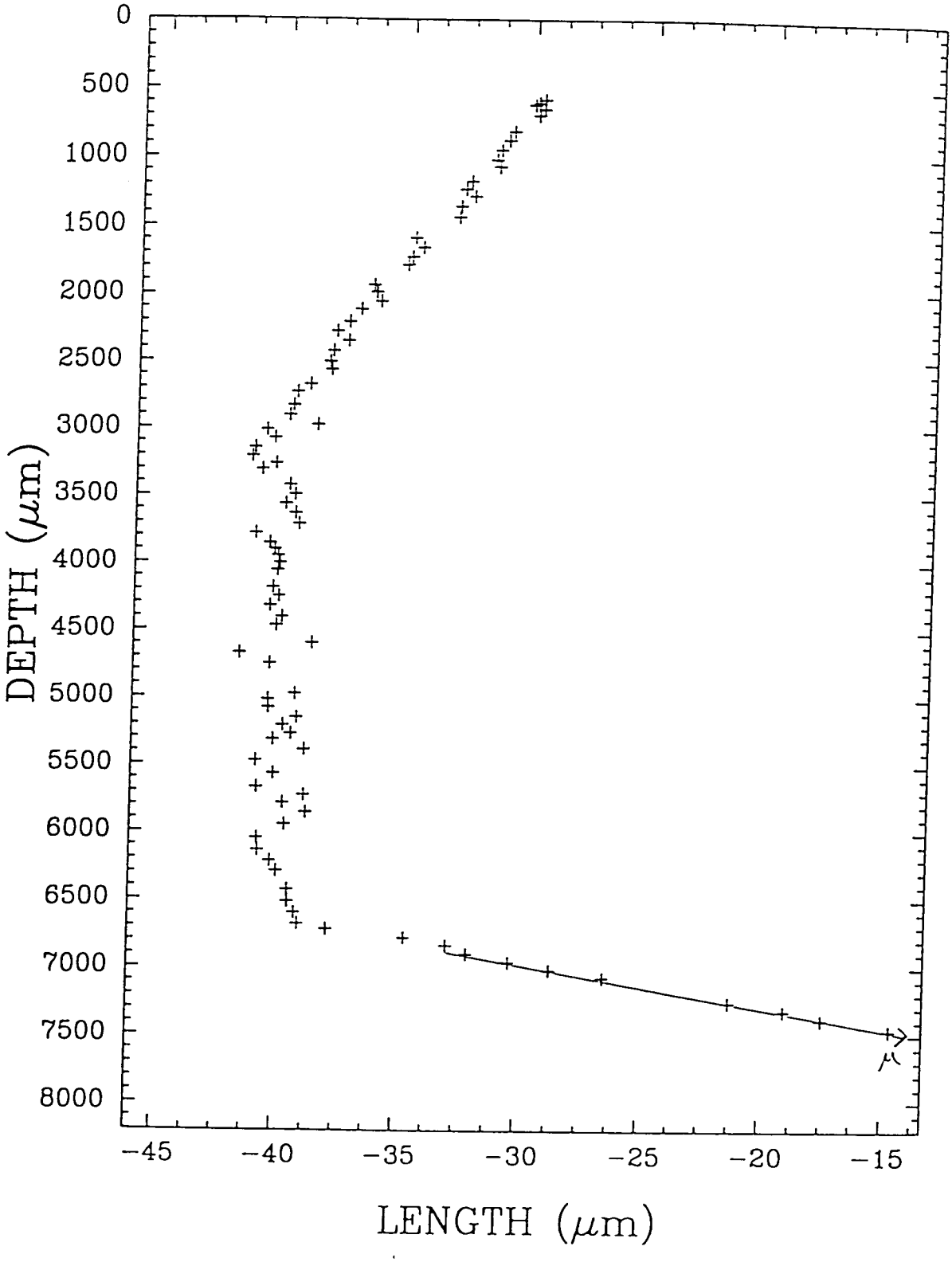


図 11: $Ds \to \tau \to \mu$崩壊候補　5

4 バックグラウンド

前節で $Ds \to \tau \to \mu$崩壊の候補としたものにそれ以外のバックグラウンドがいくつ含まれているかを以下に考察する。

4.1 μ粒子の信頼性

WA75 実験では前述の様に emulsion 標的の後方にμ粒子以外の粒子を止めるために 1st run では Dump 、2nd run においては hadron Calorimeter が置かれた。Dump 、Calorimeter 中でμ粒子は通り抜けるまでに大きく散乱されてしまう。そのため Dump の前で捕えたμ粒子の生成源とは別の粒子の飛跡に誤って Dump 後の $\mu-on$ スペクトロメータで捕えたμ粒子をつないでしまう事が有り得る。μ粒子付き cl 崩壊のチャーム粒子とされているものについて、μ粒子の識別が誤っていた場合について考察する。
μ粒子の識別の手順は、まず$\mu-on$ スペクトロメータで捕らえたμ粒子の角度と Dump の出口の位置から次式により Dump の前のμ粒子の角度θ_cとその誤差$\delta\theta_c$の予想値が計算された。

$$\theta_c = \omega\theta_1 + (1-\omega)\theta_2$$

$$\delta\theta_c = \sqrt{1-\omega}\cdot\delta\theta_2$$

上式においてωは、Dump の長さ l、emulsion 標的から Dump 中央までの距離 X_0に依存する量、$\omega = (1 + l^2/12X_0^2)^{-1}$である。$\theta_2$は$\mu - on$ スペクトロメータによって測定されたμ粒子の角度で、θ_1はθ_2から予想される Dump 前での角度である。θ_1とθ_2の関係を図 12に示す。$\delta\theta_2$はμ粒子の Dump 中の電磁多重散乱によるθ_2の誤差である。1st run においては、$X_0 = 189cm$ 及び $l = 200cm$ であった。この予想したθ_cと Dump の上流の vertex detector で捕えられた粒子の角度とを比較して角度差が $4\delta\theta_c$ 以内 $S = |\theta_c - \theta_{VD}|/\delta\theta_c \leq 4$ に収まっているもの全てをμ粒子の可能性のあるものとして判断している。

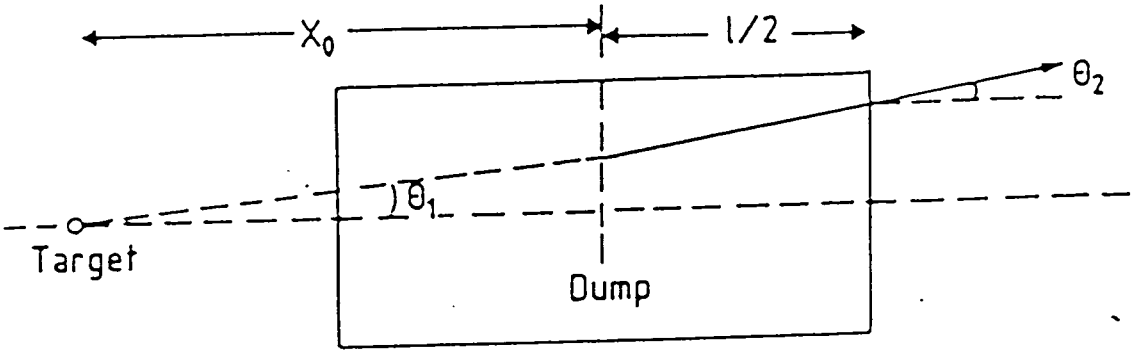


図 12: emulsion 標的と Dump の関係

上記の手続きによるμ粒子との識別の判断がどれほど信頼のおけるものか確かめる為に M.C.simulation を行った。まず一次衝突点で生成された粒子を LUND M.C. FRITIOF ver 1.6 で emulsion を構成している原子について足し合わせたものを使って再現し、生成された粒子の内の一つのπ中間子をμ粒子に崩壊させた。次にμ粒子の Dump 中での電磁多重散乱と電離損失を simulate し、その後μ粒子がこの反応が解析の対象となるための条件を満たすか否かの判断をした。そして Dump 後のμ粒子の角度と位置から上記と同様の手続きを行って、μ粒子の本当の親にμ粒子の識別がされない確率を求めた。1st run と 2nd run のどちらにおいても一次衝突点で生成されたπ中間子がμ粒子に崩壊した場合、何本かの粒子にμ粒子としての識別をしてしまう事があっても親のπ中間子にμ粒子としての識別がされずに他の一次衝突点で生成された粒子をμ粒子として判断してしまう確率は、0.2%以下という結果になった。
emulsion 中での一次衝突点の確認の際、μ粒子として識別されたものの内一本でも生成した粒子の角度と一致していればその時点で解析は修了してしまう。だから今一次衝突点の確認で落とされなかった反応がひとつあったときにこのμ粒子がつなぎ間違いで$\mu - on$ スペクトロメータで捕えたμ粒子は一次衝突点で生成された他の粒子の崩壊からのものだったという可能性は、この 0.2%である。ところが Dump の前で粒子の角度を測定する vertex detector の飛跡再構成の効率が 60%程度と低いので、本当の親の飛跡の再構成をしくじるとすぐにμ粒子の識別を誤った反応が現れてしまう。
そこで emulsion 中で一次衝突点で生成された粒子の角度を測定して飛跡の再構成率を見かけ上 100%にする事を行った。

先の 5 例の $Ds \to \tau \to \mu$崩壊候補について一次衝突点で生成された粒子の角度を再確認したところ、候補 3 でμ粒子の識別が c1 崩壊後の粒子の他に一次衝突点で生成された粒子にもついてしまった。候補 1 、2 、4 、5 ではμ粒子と識別されるのは、c1 崩壊後の粒子のただ一本のみであった。
候補 3 はμ粒子識別の誤りである可能性が他の 4 例よりも高いので以下のバックグラウンドの議論からは、除くことにする。

4.2 バックグラウンドとなるもの

μ粒子の識別を誤りであった場合を考える。この時最も期待値が大きいものとして低運動量の粒子が電磁多重散乱をしてその後 emulsion との弾性散乱を起こしたというものである。初めの多重散乱が Ds 中間子からτ粒子への崩壊の小さな折れ曲がりの様に見え、次の弾性散乱がμ粒子の崩壊だと見誤った場合である。この場合の期待値は、初めの 4.5×10^8個の衝突に次の確率を掛けて求められる。

$$(\text{他の}\pi\ decay) \times (off_sel) \times P(\mu - miss\ aso\ \&\ 1ry\ unmatch) \times P_{int} \times P_{ruthaf}(p, \theta)$$

初めの 2 項は、実際の反応の取扱いと同じであるから、emulsion 中で一次衝突

点を探索した反応数と等しくなって 10000 反応となる。それに上で求めたμ粒子の識別の誤りの確率 $P(\mu - missaso\&1ryunmatch) = 0.002$ を掛けてやると 20 本となりこれはこの実験でμ粒子が一次衝突点で生成された粒子の崩壊したものであるにも関わらず、違う粒子につなげられてしまったものの総数である。
これに連続崩壊に見えるような確率をかける。emulsion 標的の厚みは 1.85cm で一次衝突点の位置は一様に分布しているから発生した粒子の飛程を 1cm とすることは、妥当である。π中間子の弾性散乱の平均衝突距離は 121cm なので $P_{int} = 1/121$ となる。
それから一次衝突点で生成された粒子の内運動量が 8GeV/c 以下である割合を LUND の simulater を使って出した。8GeV/c は電磁多重散乱によって $Ds \to \tau$崩壊として精密測定で検出されてしまう運動量の限界である。結果は $P_{ruthaf}(p, \theta) = 0.46$ となった。
従って電磁多重散乱と弾性散乱を起こしμ粒子の識別を誤って $Ds \to \tau \to \mu$のバックグラウンドとなる期待値は 0.076 個となる。

μ粒子の識別が正しい場合のバックグラウンドとして最も可能性の高いのは、チャーム粒子が弾性散乱を起こし続いてμ粒子に崩壊したというものである。これは測定した総飛程が 32cm であるのでそれを弾性散乱の平均衝突距離 121cm で割って期待値は、0.26 個となる。

またτ粒子には違いないが $Ds \to \tau \to \mu$の連続崩壊のバックグラウンドとして D 中間子の $D \to \tau \to \mu$崩壊が考えられる。$Ds \to \tau$崩壊との比は弱い相互作用の理論から次式で与えられる。

$$\frac{B(D \to \tau\nu)}{B(Ds \to \tau\nu)} = \frac{m_D}{m_{Ds}} \cdot \frac{\tau_D}{\tau_{Ds}} \cdot \frac{|V_{cd}|^2}{|V_{cs}|^2} \cdot \frac{(1 - \frac{m_\tau^2}{m_D^2})^2}{(1 - \frac{m_\tau^2}{m_{Ds}^2})^2} \cdot \frac{f_D^2}{f_{Ds}^2}$$

ここで D 中間子と Ds 中間子の崩壊定数を等しい $f_D = f_{Ds}$と仮定し、D 中間子と Ds 中間子の一次衝突点での生成率を D 中間子の方が 2 倍多いと仮定すると $D \to \tau \to \mu$ 崩壊は、$Ds \to \tau \to \mu$崩壊の中に 5.6%は含まれると見積もれる。

4.3 バックグラウンドのまとめ

その他考えられる微々たるものを加えると候補1、2、4、5に対してバックグラウンドの期待値は、0.4個以下と考えられる。また$D \to \tau \to \mu$の連続崩壊は、0.2個程度含まれていると考えられる。表3にバックグラウンドとして考えられるものをまとめる。

バックグラウンド	コメント	期待値
m.s + e.int + miss aso.		0.076
e.int + charm decay		0.27
$D \to \tau \to \mu$	τである	0.2
(K decay and e.int) + miss aso.	$\gamma c\tau_K > \lambda_{e.int}$	0.00003
(charm h decay and e.int) + miss aso.	charm 少	0.00083
(charm h decay and e.int) + $h \to \mu$	h の寿命	0.0067
m.s + charm decay + miss aso.	charm 少　運動量大	0.046
m.s + K decay + miss aso.	$\gamma c\tau_K > \lambda_{e.int}$	0.00018
e.int + e.int + $h \to \mu$		0.003
e.int + e.int + miss aso.		0.0014
$B \to (charmor\tau) \to (\mu ormissaso.)$	Beauty 極少	0

表 3: $Ds \to \tau \to \mu$崩壊のバックグラウンド

5 結論

私は、emulsion-counter 複合実験 WA75 において emulsion の精密測定を行い、すでにこの実験で検出されている Ds 中間子のμ粒子への崩壊から予想される Ds 中間子のτ粒子への崩壊の観測を試みた。その結果四例を検出しそれについてバックグラウンドの考察をし確かにτ粒子の生成から崩壊までを見届けたという確証を得た。この候補の数は、$Ds \to \mu\nu_\mu$崩壊から期待される値とも矛盾がない。

6 謝辞

本論文をまとめるにあたり、名古屋大学物理学教室の丹生潔名誉教授、丹羽公雄教授、星野香助教授、中村光廣先生をはじめ、F 研の皆様と WA75 実験の共同研究者の方々には多大な助言と御指導をいただき深く感謝いたします。

7 参考文献

[1] Evidence for Anomalous Lepton Production in $e^+ - e^-$ Annihilation
M.L.Perl *et al.* Phys.Rev.Lett. 35 (1975) 1489

[2] The full leptonic decay fraction of $BR(Ds \to \mu\nu)$ の測定
小林正広、博士論文　名古屋大学理学研究科 (1992)
THE OBSERVTION OF THE MUONIC DECAY $Ds^\pm \to \mu^\pm\nu_\mu$
Aoki *et al.* Prog.Theor.Phys.89 (1993) 131

[3] A HYBRID EXPERIMENT TO SEARCH FOR BEAUTY PARTICLES
Aoki *et al.* Nucl.Instrum & Methods. A274(1989)64

[4] 350GeV/c π^--エマルション核相互作用におけるチャーム粒子対生成断面積
手塚郁夫、博士論文　名古屋大学理学研究科 (1992)

[5] K.Kodama et al.(E653 Coll.) Nucl.Instr. & Meth. B93(1994)340.

[6] Review of Particle Propaties
Phys. Rev. D50(1994)part I

A 検出効率 M.C.simulation

A.1 チャーム粒子候補としての検出効率

M.C.simulation を行い $Ds \to \tau \to \mu$の連続崩壊の $Ds \to \tau$崩壊はみつからずに、μ粒子への崩壊だけがμ粒子付き c1 崩壊としてチャーム粒子候補に捕えられる確率を $Ds \to \mu$崩壊の検出効率と比較して求めた。M.C.simulation は、ふたつの崩壊に対して相殺される部分は除き検出効率の比に影響があると考えられる手続きについてのみ行った。

A.1.1 event generation

チャーム粒子の発生は、次式に従うようにした。

$$\frac{d\sigma_{c\bar{c}}}{dX_F dP_t^2} \propto (1-\mid X_F \mid)^n \cdot e^{-b \cdot Pt^2}$$

X_F:重心系でのチャーム粒子の規格化された beam 方向への運動量成分
Pt:チャーム粒子の beam に垂直方向への運動量成分

n,b の値は当実験において求められた $n = 3.7 \pm 0.5, b = 0.77 \pm 0.44$ を使った。この値は、これまでの他の実験と矛盾しない。

$Ds \to \mu\nu_\mu$崩壊、$Ds \to \tau\nu_\tau$崩壊は、重心系で等方的であるとして崩壊させ、続く$\tau \to \mu\nu_\mu\nu_\tau$崩壊は、$\tau$粒子が偏極していることを考慮にいれて崩壊させた。図 13 にμ粒子の運動量の Ds 粒子に対して垂直な方向の成分の分布を示す。

A.1.2 on_line selection

Dump/Calorimeter での電磁多重散乱と電離損失、$\mu - on$ スペクトロメータ での磁場による曲がりを考慮しμ粒子の飛跡を追いかけて、μ粒子の trigger を simulate した。$Ds \to \tau \to \mu$崩壊からのμ粒子と $Ds \to \mu$崩壊からのμ粒子は、運動量分布が $Ds \to \mu$崩壊の方が高いので on_line selection での効率は、$Ds \to \tau \to \mu : Ds \to \mu = 0.8 : 1$ 程度となった。

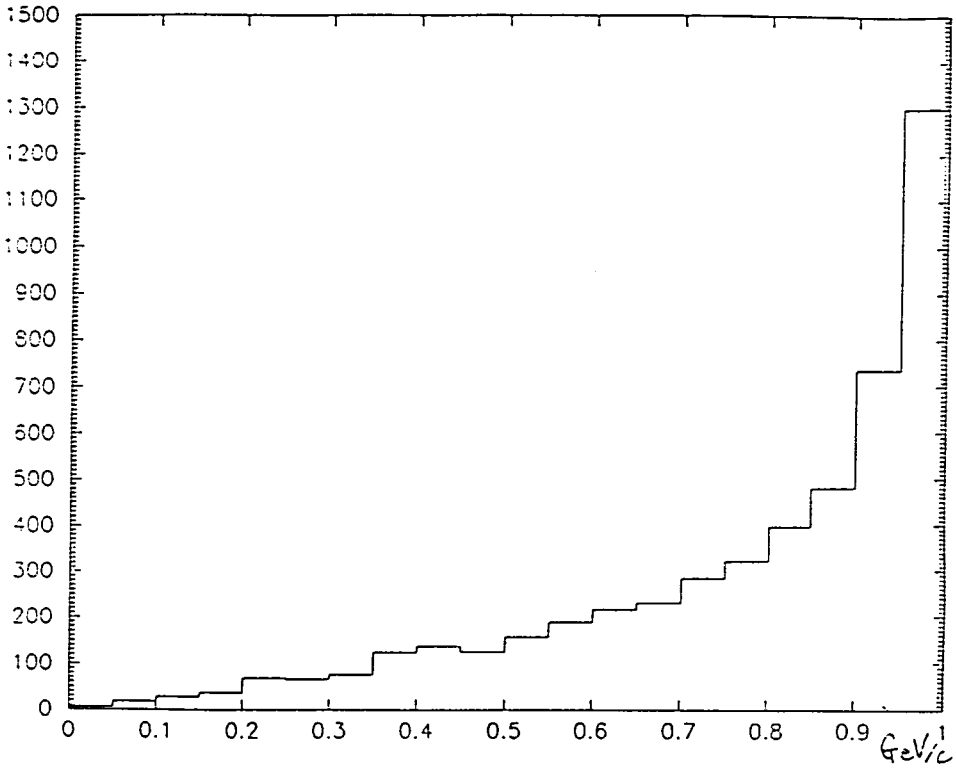
A.1.3 off_line selection

ここでは、μ粒子の運動量の beam に対する横向き成分による選択をした。図 13 で示した Ds 粒子に対するμ粒子の横向き運動量の分布の違いが大きく効いて、それぞれの off_line selection での効率は、$Ds \to \tau \to \mu : Ds \to \mu = 0.4 : 1$ 程度となった。図 14にふたつの崩壊の娘のμ粒子の beam に対する横向き運動量を示す。

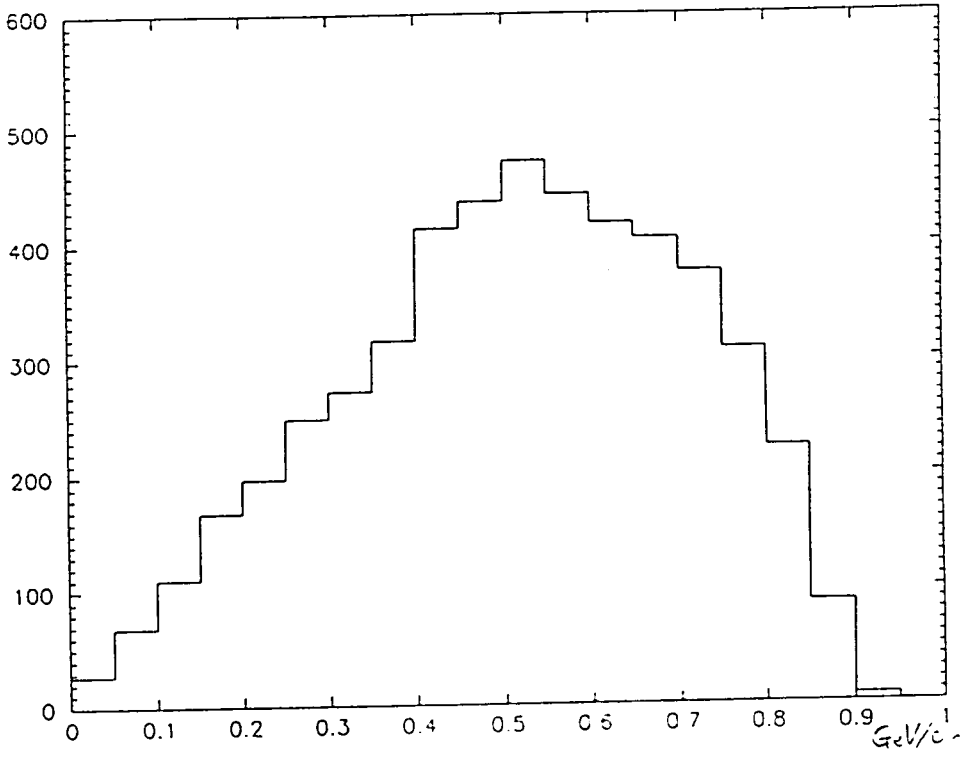
A.1.4 emulsion scanning

emulsion 内での崩壊の探索は、一次衝突点の検出効率はどちらの崩壊でも同じと考えられるので、検出効率の違いは一次衝突点からμ粒子への崩壊までの飛距離のみによりもたらされる。一次衝突点とμ粒子への崩壊が両方とも 1.85 cm の emulsion の中に含まれているかどうかと、検出効率の一次衝突点からの粒子の飛跡の追い下げの距離による依存性を考慮した。図 15に一次衝突点からμ粒子までの飛距離の分布を示す。太線は、scanning 後の分布である。ここで $Ds \to \tau \to \mu : Ds \to \mu = 0.7 : 1$ 程度となる。

以上より $Ds \to \tau \to \mu$崩壊と $Ds \to \mu$崩壊の検出効率の比は、0.25 : 1 となる。

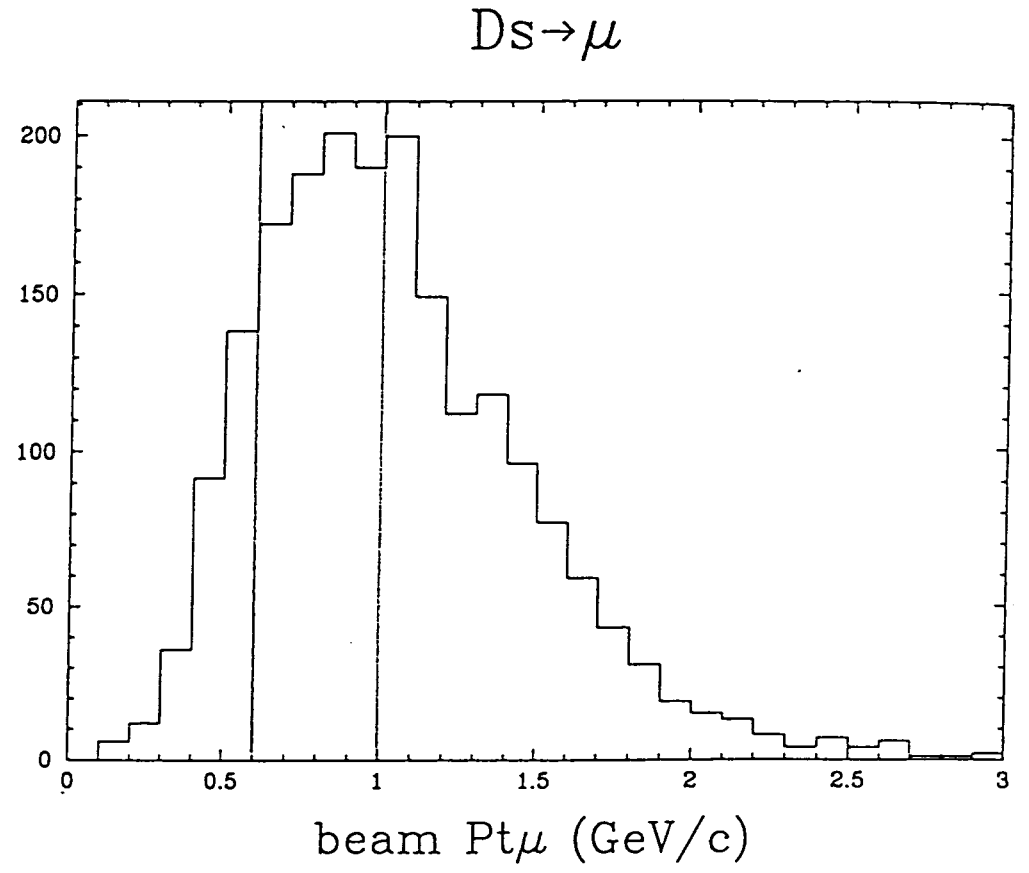


$Ds \to \mu$崩壊



$Ds \to \tau \to \mu$崩壊

図 14: μ粒子の Ds 中間子に対する横運動量



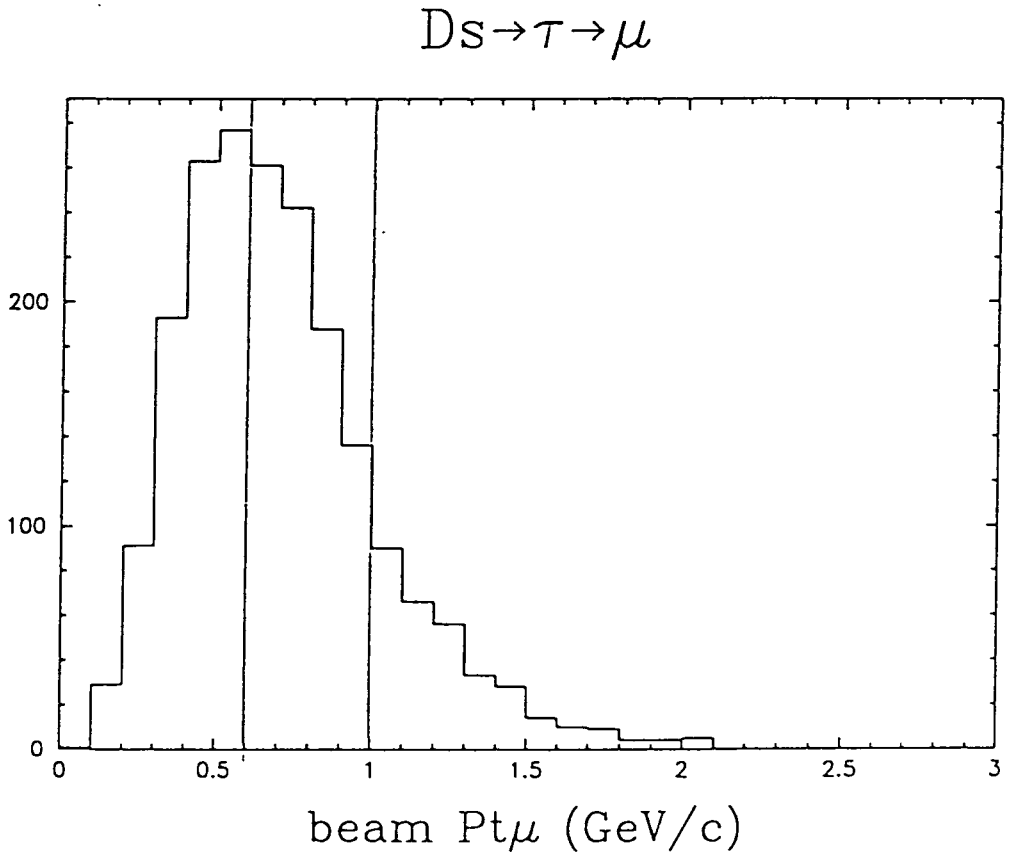
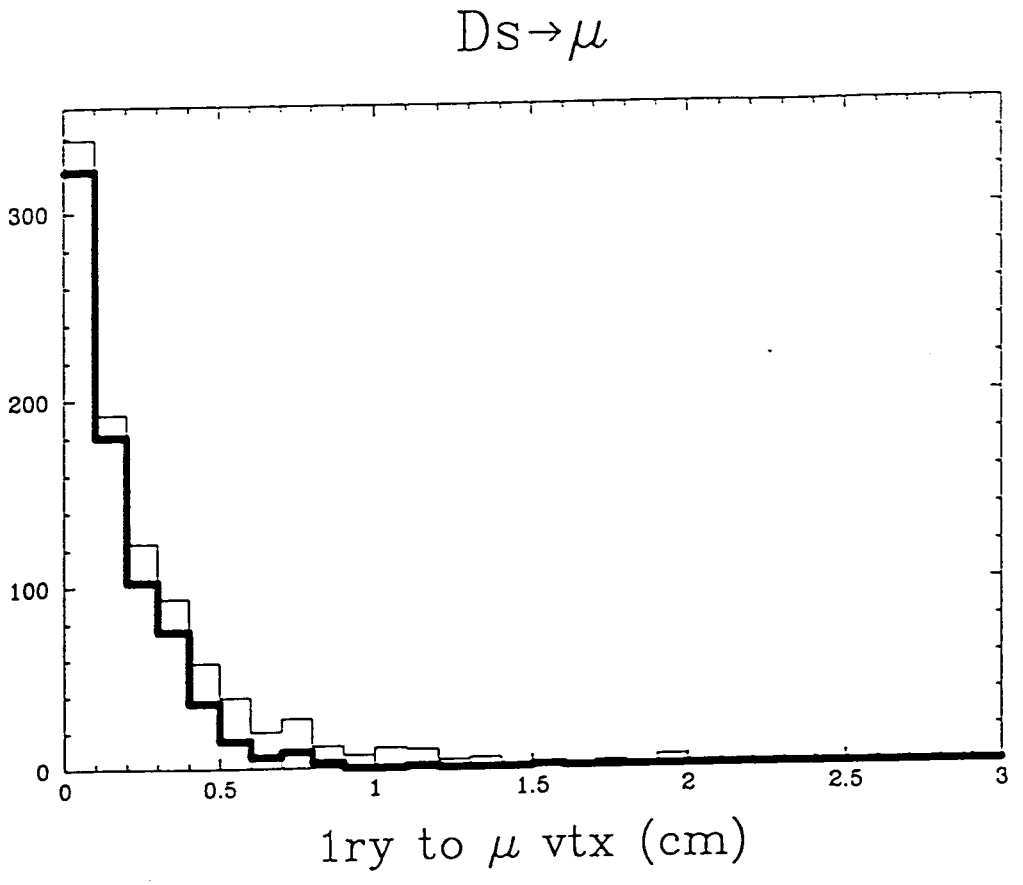


図 15: μ粒子のビームに対する横向き運動量



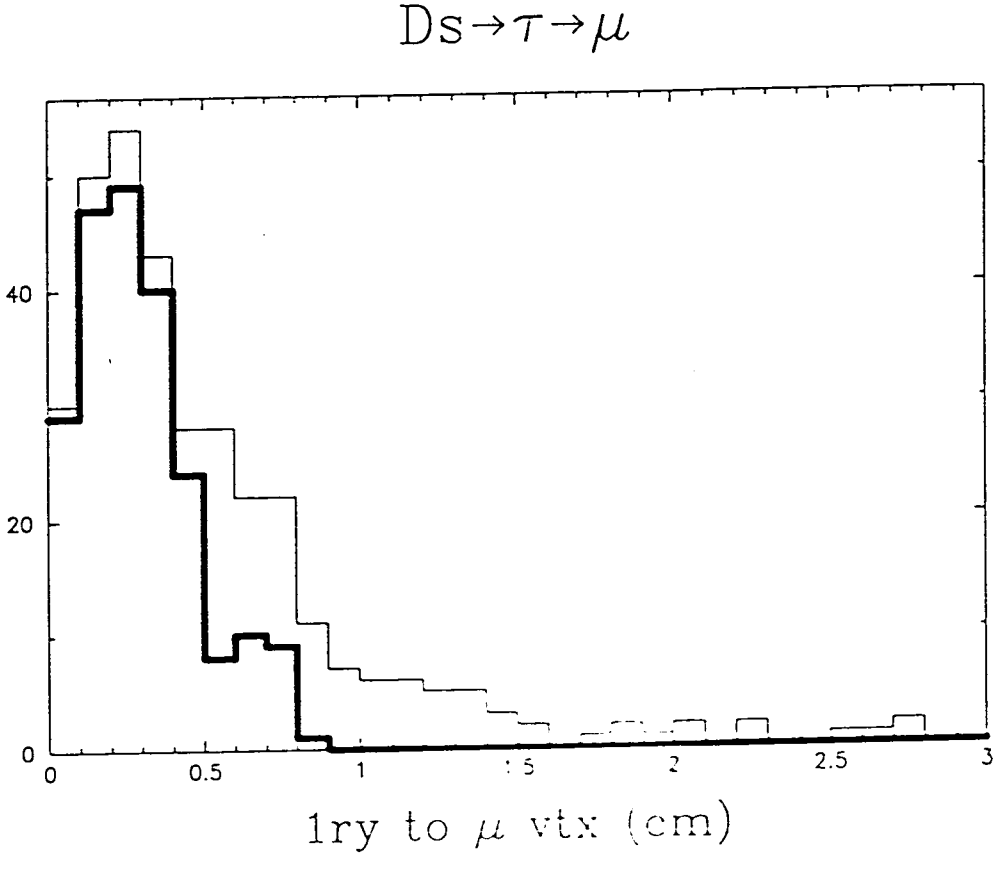


図 16: 一次衝突点からμ粒子の崩壊までの距離

A.2 $Ds \to \tau\nu_\tau$ 崩壊の検出効率

前節までの手続きで μ 粒子付き c1 崩壊のチャーム粒子として捕えられる $Ds \to \tau \to \mu$ 崩壊が simulate 出来た。これに測定誤差を付けて精密測定を simulate した。図 17にその kink パラメータの分布を示す。これより 1view scanning では $r \geq 6$ で検出可能なのが 39%、V-stage scanning では、$r \geq 7.5$ は 46% になった。

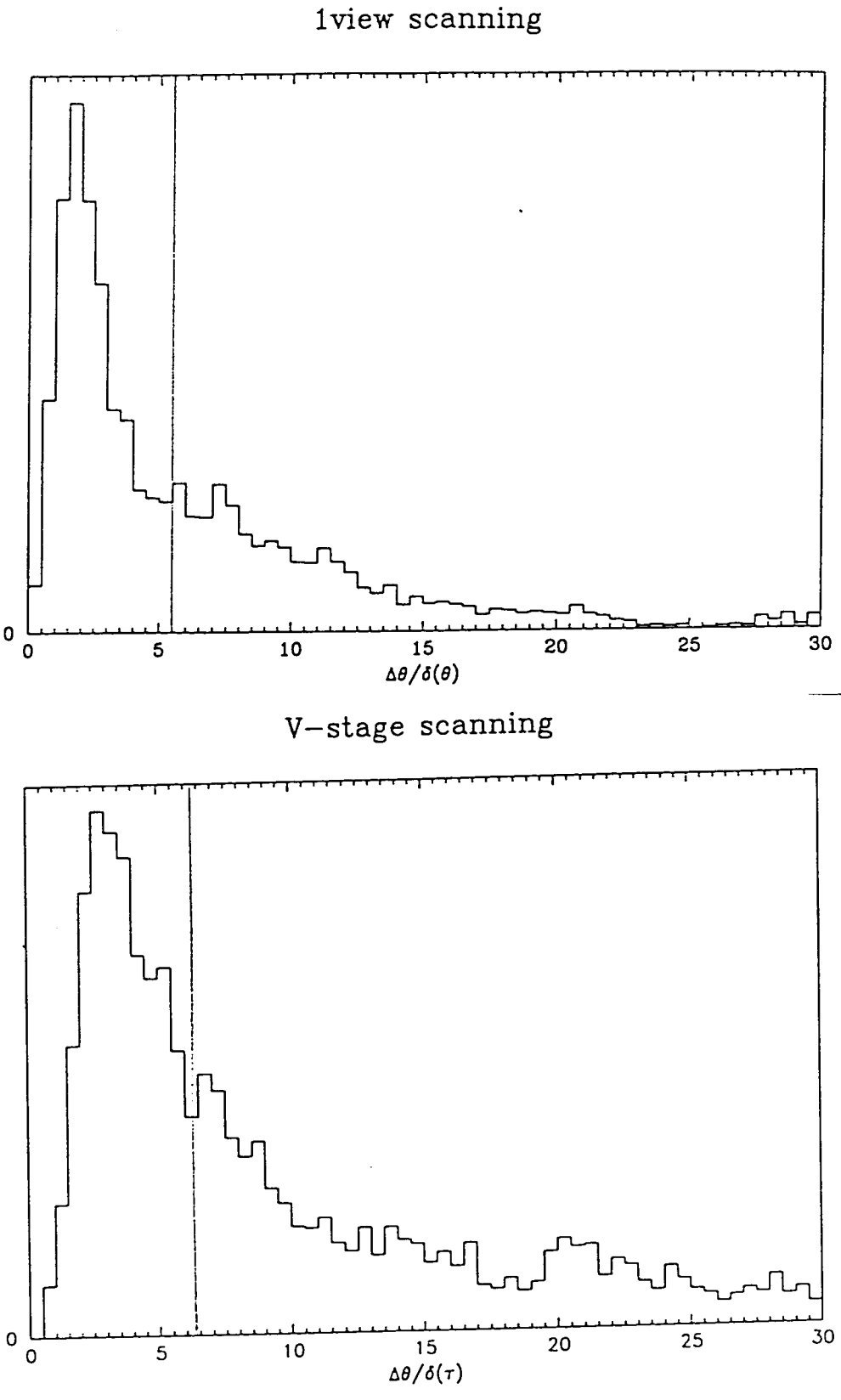


図 17: $Ds \to \tau$ 崩壊の kink パラメータ分布 (simulation)