目 次

1　目的

Cathode 読み出し MWPC は、垂直に入射してくる放射線に対しては比較的簡単な解析で良い位置分解能を得る事ができる。しかし、斜めに入ってくる放射線に対して同じ解析を用いても、良い結果は得られない.

そこで、入射角度を考慮に入れた解析方法を用いることで、分解能が良くなるか調べる。

2　実験装置

2.1　Chamber

Cathode 読み出し MWPC とは、cathode 面が 2 つとその間に anode 面が 1 つ張ってあるもので、それぞれの面は wire 面である。wire の方向は下図にある通りである。今回用いたチェンバーは、wire 間隔が 2.5mm、各面の間隔が 8mm である。また、チェンバー内部の gas は Ar-isoC_4H_{10}(7:3) を用いてある。

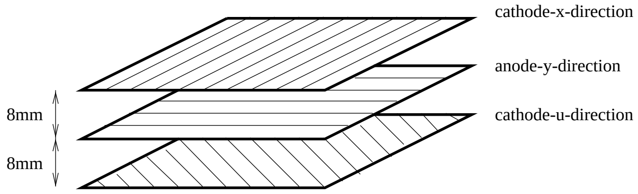


図 1 : cathode と anode の面

2.2　原理

チェンバーに入ってきた粒子は、Ar 分子を電離して電子を発生させる。その電子が anode-cathode 間の電位差で加速して avalanche を起こしながら、anode に集まる。

anode 上に電荷が発生すると、cathode 上にも誘起電荷が分布する。これを読み込むのが Cathode 読み出し Chamber である。

読み込み方は、wire 5 本分を 1 つの pad に入れて読み込む。

また、今回は解析の単純化のために u 方向は用いていない。

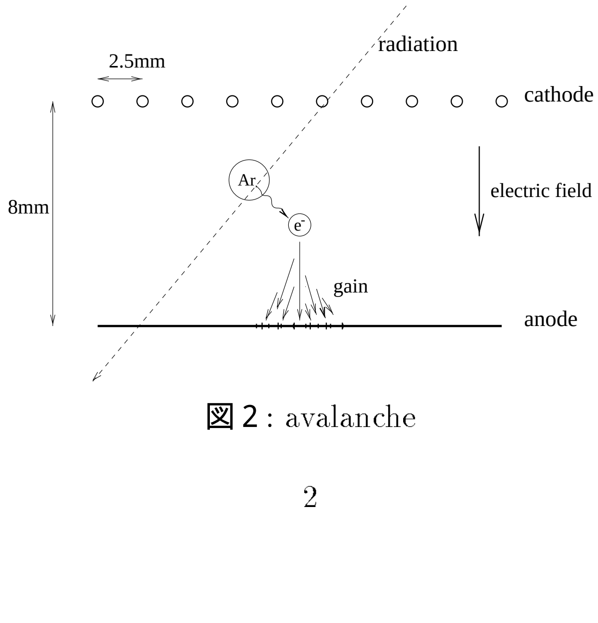


図 2 : avalanche

2.3 配置

今回の実験では位置分解能を求めるために、Chamber を 3 台用いて宇宙線を測定した。その配置は図の通りである。

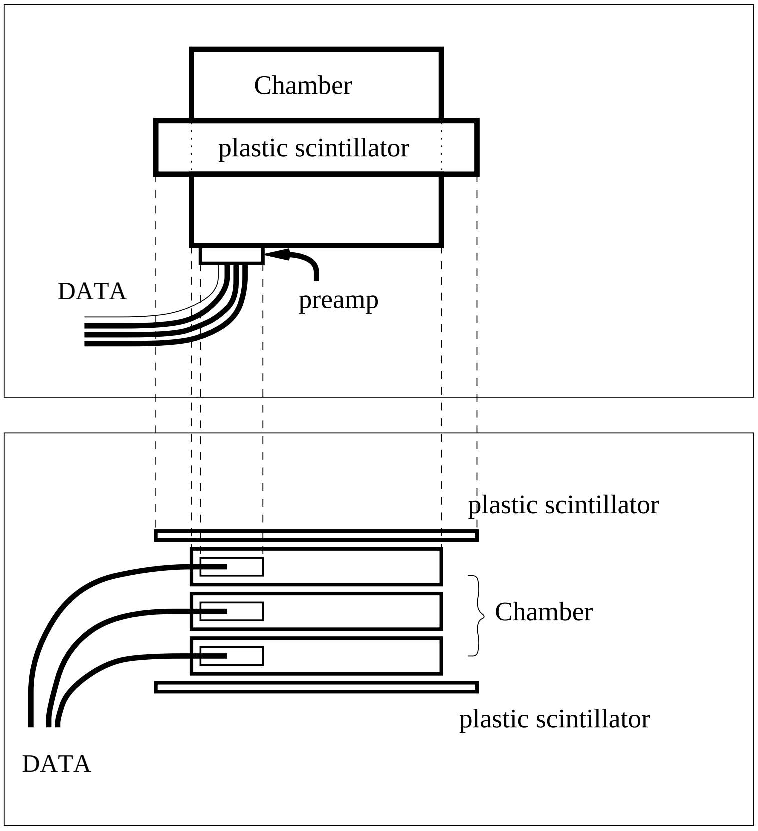


図 3（上図）: 上から見た配置
図 4（下図）: 横から見た配置

上下のプラスチックシンチレーターでゲートをとって測定する。

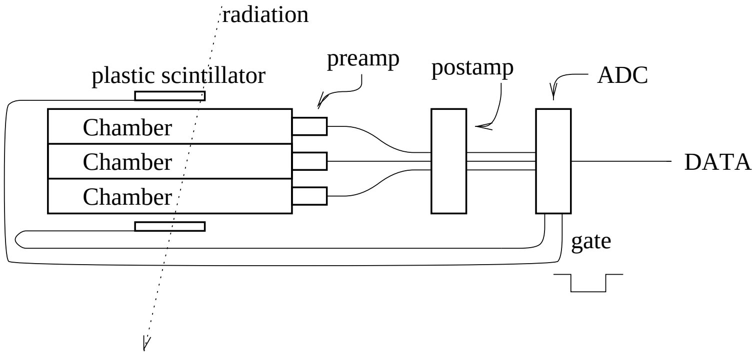


図 5 : : 回路系

3　解析方法

3.1　電荷分布 (1)

原理のところでも述べたように、cathode 上には誘起電荷が分布する (図 6)。

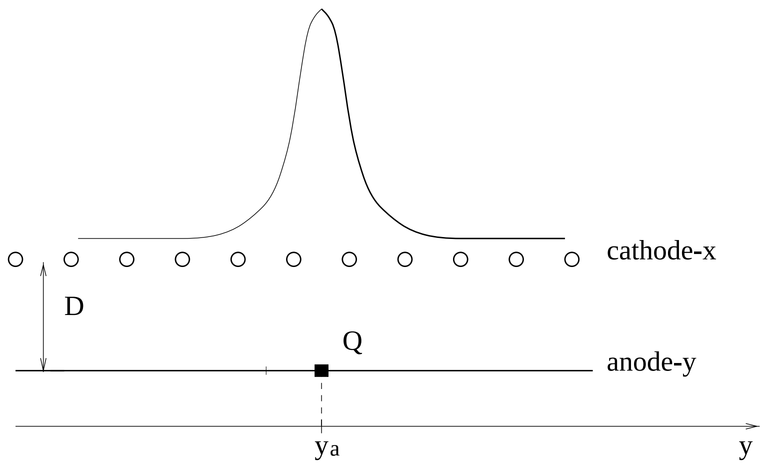


図 6 : 点電荷による誘起電荷分布

anode 上に発生した電荷を点電荷として、cathode 面を無限導体平面とみなすと、この誘起電荷分布は解析的に解く事ができて、次のように書ける (ただし、y 軸への射影である。)。

$$\rho(y) = -\frac{Q}{4D}\frac{1}{\cosh\left(\frac{\pi(y-y_a)}{2D}\right)} \tag{1}$$

ρ : 誘起電荷分布
Q : anode 上の電荷
D : cathode-anode 間の距離
y_a : avalanche の発生した位置

ただし D については、実際は 8mm なのだがここでは 7.3mm としてある。解析上ではこのほうがよい結果を得ることができて、effective gap という。7.3mm という値は点電荷とした時の解析における最適値である。

3.2　Charge Ratio Method

Charge Ratio Method とは、上に述べた理論的な電荷分布を用いて avalanche の位置を求めようというものである。具体的には以下のようにする。

読みだし口 (pad) から得られる電荷を $q(i)(i = 1, 2, \ldots, n)$ とする。
R という量を以下に定義する。

$$R = \frac{q(m) - q(m-1)}{q(m) - q(m+1)}$$

ここで、$q(m)$ とは電荷が最大のものであり、$q(m+1)$、$q(m-1)$ はその両隣の pad の電荷である。

理論的な電荷分布はわかっているので、位置と R の理論値の関係を求め、グラフにする（図７）。これと、実験値を使って求めた R とを比較して、avalanche の位置を求める。

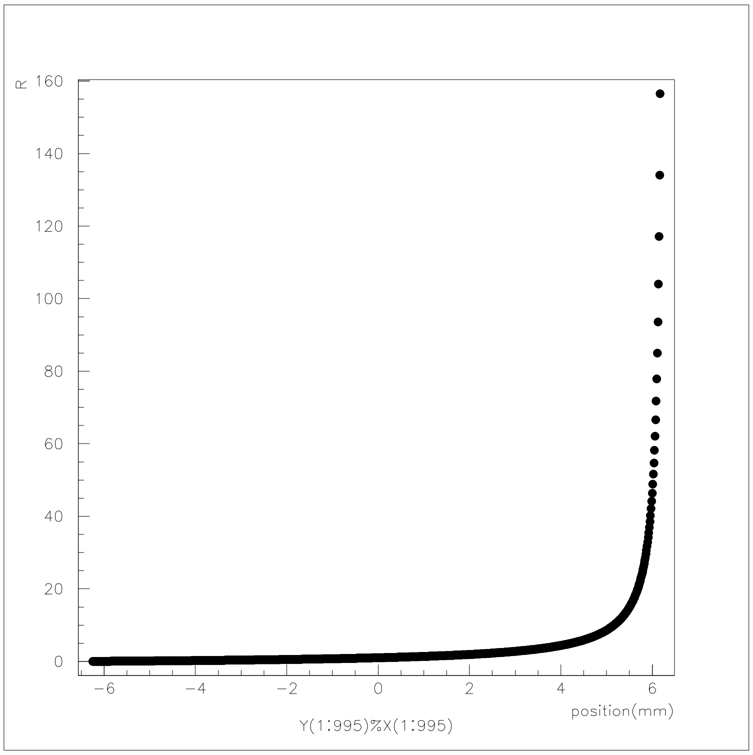


図７: 位置と R 理論値の関係

横軸 0mm は pad の中心で、± 5.0mm のところがその pad の両端である。

Charge Ratio Method は電荷の差を用いるので、すべての pad に共通してかかってくるような noise には影響されない、という利点がある。

3.3 電荷分布 (2)

3.1 では anode 上に発生した電荷を点電荷とした。しかし、図を見ればわかるように電荷はある長さに分布しているとしたほうが、より現実的である。この補正を考慮に入れることで位置分解能が良くなるか調べるのが目的である。

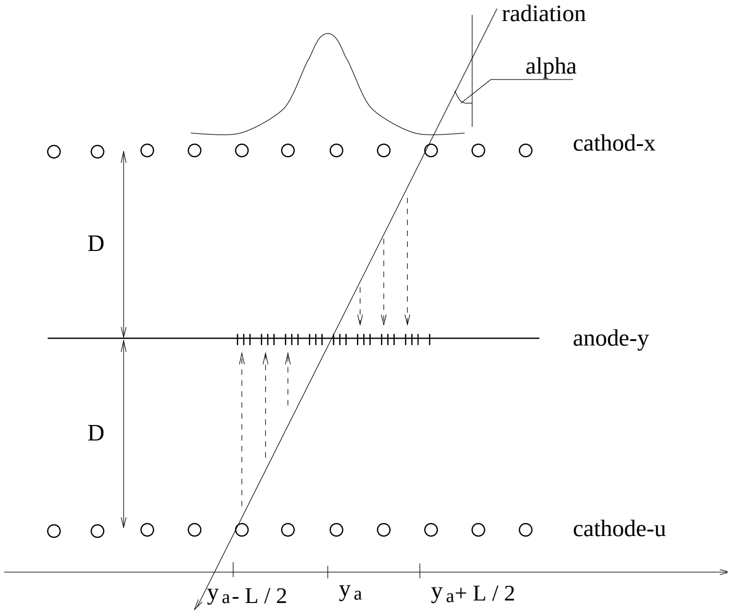


図 8: 拡がった電荷による誘導電荷分布

anode 上の電荷分布は長さ L で一様だとする。cathode 上の誘起電荷分布は、式 (1) を avalanche の位置について積分すればよい。結果は (Q は同じとして)、

$$\varrho(y) = -\frac{Q}{\pi L}\arctan\left[\frac{\sinh\left(\frac{\pi L}{4D}\right)}{\cosh\left(\frac{\pi}{2D}(y-y_a)\right)}\right] \tag{2}$$

ϱ : 誘起電荷分布
Q : 全電荷
$L = 2D\tan\alpha$
α : 入射角度

である。

L の長さは簡単に決まるものではないが、ここでは上のようにした。

当然 $L \to 0$ の極限で式 (2) は式 (1) に一致する。

effective gap については 7.3mm で固定してある。

実際にどれくらい誘起電荷分布が異なるかを図に示した。

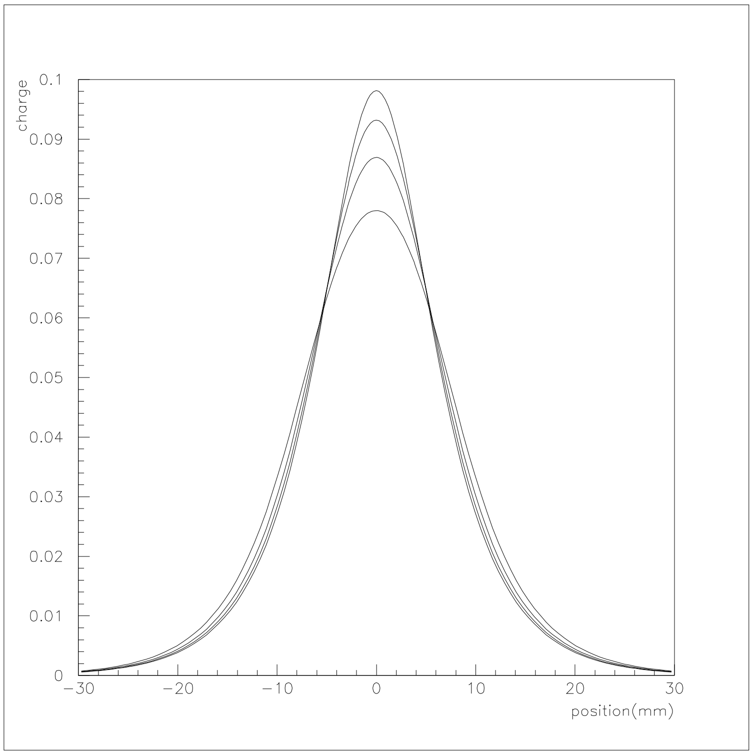
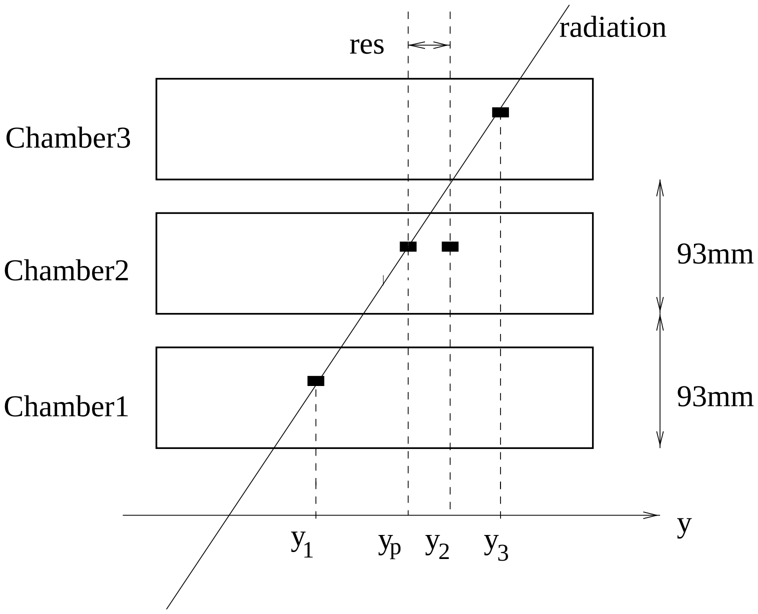


図９：誘起電荷分布の違い（上から入射角度が０度、２０度、３０度、４０度）

3.4 位置分解能

Chamber の位置分解能を調べる方法を述べる。



y_1, y_2, y_3 : Charge Ratio Method で求めた各 Chamber での位置

y_p : y_1 と y_3 を結んだ直線 (軌跡) と Chamber2 の交点

残差 : $res = y_p - y_2$

図 10: 分解能

残差分布の sigma を位置分解能のかわりとする (本当の位置分解能はだいたい $0.81 * 2.355 * sigma$ である)。

また、式 (2) を用いるためには入射角度を知らなくてはならないが、それにはまず、式 (1) を用いて出した粒子の軌跡から角度を求めて、改めて式 (2) を適用することにした。

4 結果

まず、残差分布は図11のようになった。これは計測された全てのイベントを含んでいる。左図が式(1)から出したもので、右図が式(2)から出したものである。

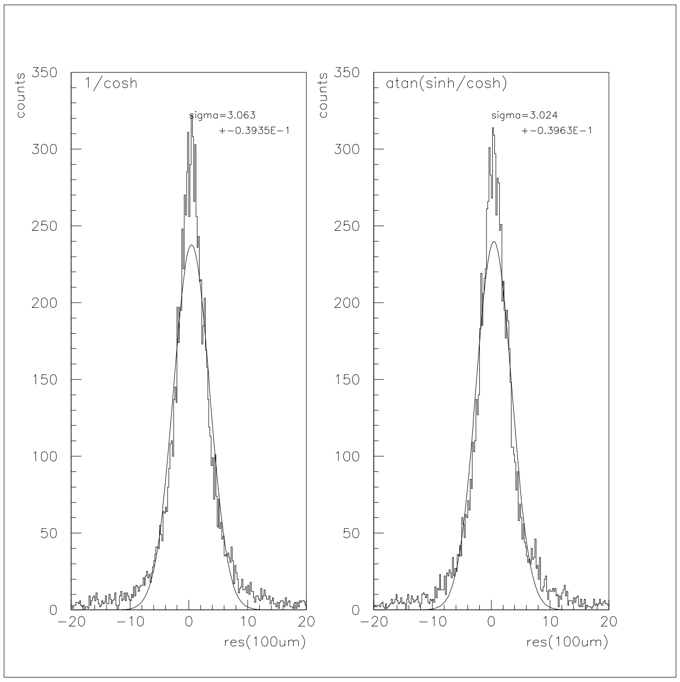


図11：残差分布(全イベント)

各イベントを0度から2.5度ずつ、20度まで分類した残差分布のsigmaをプロットしたのが次の図12である。

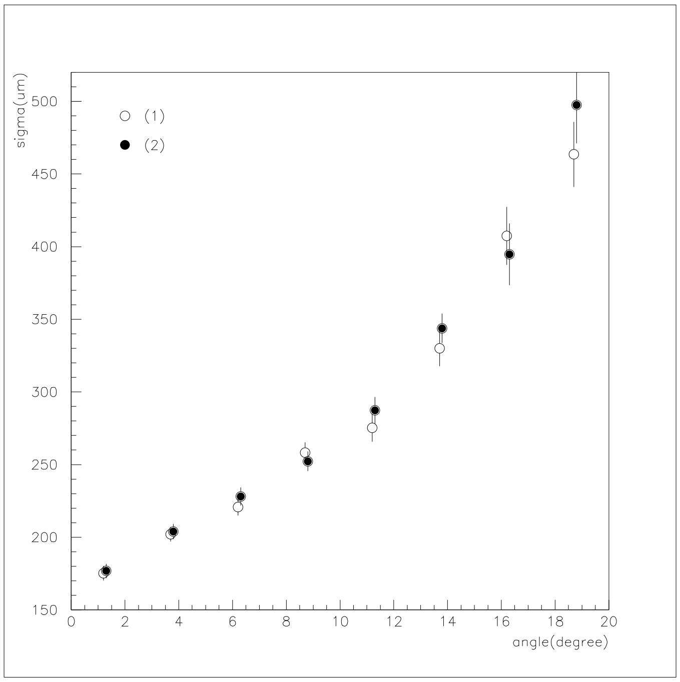


図12：$0 \sim 2.5$度、$\cdots$、$17.5 \sim 20.0$度のsigma

5 考察

図 12 の通りで、分解能を良くすることはできなかった。
しかし、今回の解析では検証が不十分な問題点がいくつかある。

1. anode-cathode 間の effective gap は一定でよいか。
2. anode 上の電荷の長さはどれくらいに設定するべきか。
3. anode 上の電荷は一様でよいか。
4. cathode-x だけで解析していることが影響するか。

等である。

1.effective gap は、実際に装置の中でおきている事とモデルとの間に生じる違い、不都合を押し込めるパラメーターみたいなものなので、粒子の入射角度に依存していてもおかしくない。

2.anode 上の電荷分布の長さも effective gap と同じようにパラメーターとすればもう少し複雑な対応ができるようになるかもしれない。

3.anode 上の電荷分布については、なんとか調べる方法があればよいが、しかしここをいじると解析の簡単さという利点は保てなくなりそうな気がする。

4. これは例えば、粒子が斜めに入ってくる事を考えるのだから、複数の anode 上に電荷が生じるかもしれない、といったことであるが今回はこれは判らない。

分解能をよくすることはできなかったが、まだ改良の余地は残されていると思う。