

## 第6章 検出した反応の描像

原子核乾板ターゲットで検出したニュートリノ反応に対して、反応点探索の過程で生じた偏りを、ニュートリノ反応点からの発生粒子数について M.C.simulation と比較して分析した。

### 6.1 発生粒子の解析

ニュートリノ反応点を検出した全 262 反応について、タウニュートリノ反応探索の為に net scan による飛跡の再測定を行った。以降で対象とする反応は、飛跡の再構成においてアラインメントが問題なく行われた 203 反応である。残りの 59 反応については、今後のオフラインソフトの改良を待たなければならない。203 例の内訳は ecc200 で 63 反応、ecc800 で 58 反応、bulk で 79 反応、bulkecc は 3 反応である。

net scan の用語は前述したものもあるが繰り返すと、一枚の原子核乾板の飛跡の位置と角度の情報を「マイクロトラック」と呼び、認識面を一枚ずつの「プレート」と呼ぶ。複数の乾板に接続された一連の飛跡を「トラック」とする。トラックに含まれるマイクロトラックの数が「セグメント数」で、3つのマイクロトラックで構成されたトラックを「3セグメントトラック」などと称す。

タウニュートリノ反応探索の領域は、タウ粒子の飛距離を考慮して一次反応点から下流側に  $2.6 \times 2.6 \times 10\text{mm}$  である。各ターゲットタイプ毎のマイクロトラックを測定した位置を図 6.1 に示す。bulk type に対しても 1 プレートの飛跡の認識は上流の約  $100\mu\text{m}$  のみを使って飛跡を測定した。マイクロトラックの測定点のビーム方向の密度は ecc200 が最も高く 2 点/1.4mm、次いで bulk で 2 点/1.58mm、ecc800 は 2 点/2mm である。

アラインメント精度の分布を図 6.2 に示す。平均値は ECC で  $0.3\mu\text{m}(\text{space})$ 、BULK で  $0.4\mu\text{m}(\text{space})$  と BULK は ECC よりも悪い値となっている。多重電磁散乱は ECC の方が BULK より大きい。BULK の精度が悪いのは乾燥時の局所的な歪が ECC の乾板よりも大きい為だと考えられる。

マイクロトラックの検出効率の分布を図 6.3 に示す。角度領域毎に分けて表示し

た。角度の大きい飛跡は検出効率が低い側に分布する傾向にある。

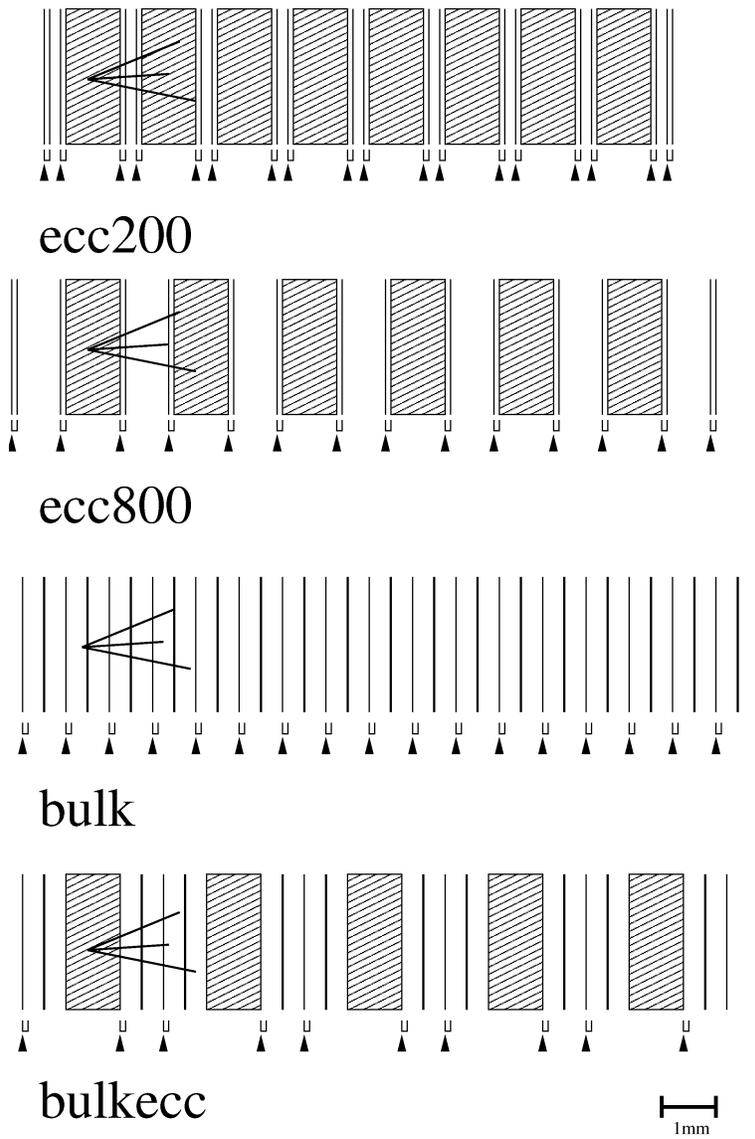


図 6.1: マイクロトラックを測定した位置を（黒三角）で示す。

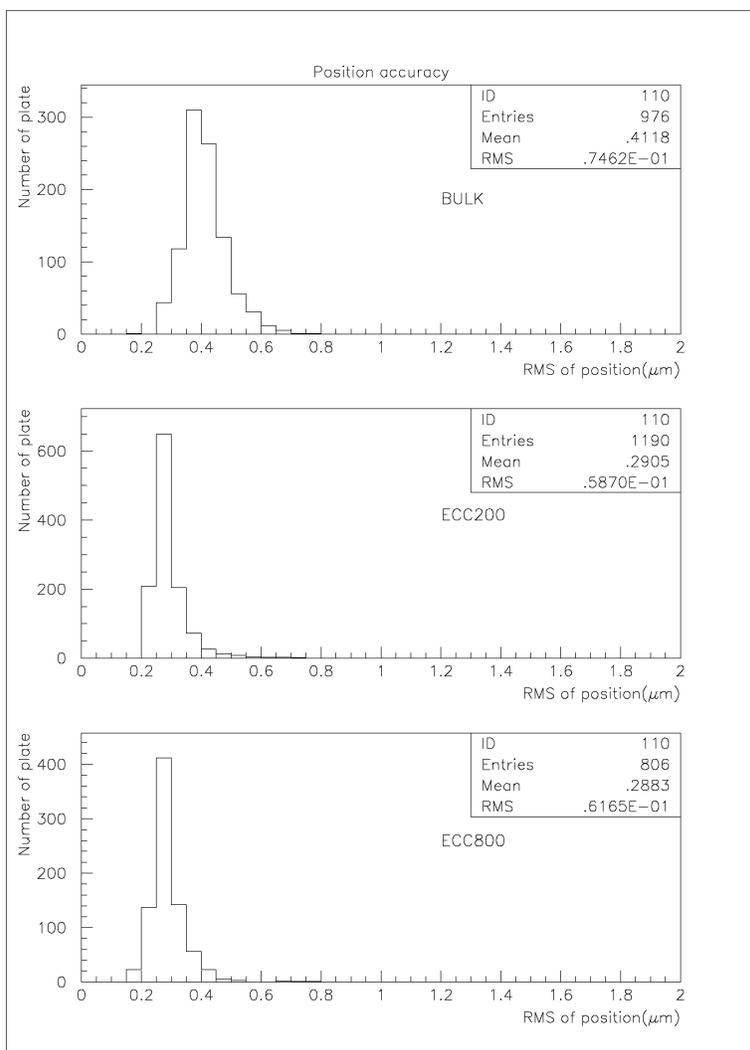


図 6.2: アラインメントの精度の分布

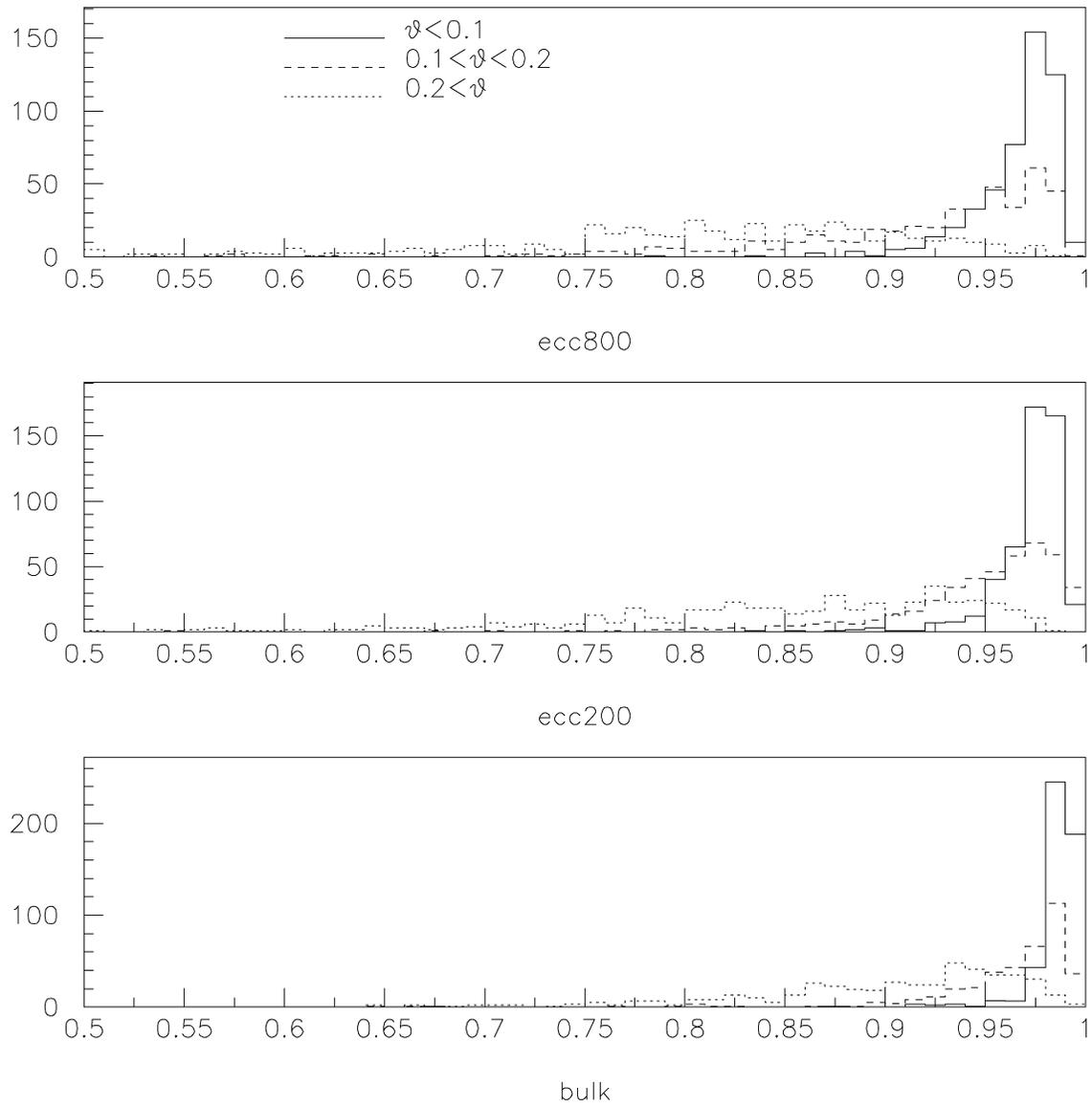


図 6.3: 角度別の net scan data 検出効率 (再構成を含む) の分布

### 6.1.1 ニュートリノ反応で作られた粒子

反応点から発生する粒子を次の条件で選出した。

- 反応点に対する最接近距離 ( $IP$  と略す) が  $15\mu\text{m}$  以下であること。
- 2セグメント以上繋がっていること。
- つながりが、直線と見なせるもの。

この条件で 203 事象に対して、反応点から発生した粒子として 990 本の飛跡を選出した。 $15\mu\text{m} < IP < 500\mu\text{m}$  より求めた、途中から発生したとされる飛跡密度は  $6400 \text{ 本}/\text{cm}^2 \cdot \text{pl}$  であり、これから 203 反応の  $15\mu\text{m}$  以下に混入してくる本数は  $6400 \times (15 \times 10^{-4})^2 \pi \times 203(\text{ev}) \times 2(\text{pl}) = 18 \text{ 本}$  となり約 2% であると見積もられる。

bulk 中の反応は手動解析によって直接反応点を確認することができるので、79 個についての確認を行った。結果を表 6.1 に示す。反応点の近傍を突き抜けている飛跡によるものを「through」と分類し、飛跡が存在しない場合は「fake」と分類した。「fake」の原因は全て真の発生粒子の飛跡の二重カウントによるものであった。ここでの「true」は反応点で発生した  $\pi^0$  の崩壊によるガンマ線の電子対生成を含んでいる (期待値 12pair)。確認できた電子対は 5pair であった。期待値に対して少ないのは肉眼による識別で極近傍で発生したものを見逃していることも一因であると考えられる。

「through」と「fake」の割合は  $9/370=2.4\%$  でバックグラウンドの見積りと一致している。

total	370
true track	361
through track	2
fake track	7

表 6.1: bulk の手動解析

ニュートリノ反応点で発生した粒子の検出効率の角度依存性は図 6.3 の各ターゲットタイプの検出効率を用いて、発生粒子の飛跡選出の条件から表 6.2 となる。

以上により 203 反応、990 本の粒子から、発生粒子数分布と角度分布が得られた (図 6.4、図 6.5)。図の点線は各ターゲットの角度別の検出効率を考慮して補正した分布である。以降の分析には補正をかけた分布を用いる。

$\theta$ [rad]	0 ~ 0.1	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.4
type			
ecc200	0.998	0.994	0.951
ecc800	0.998	0.985	0.915
bulk	1.000	0.997	0.981

表 6.2: 発生粒子の飛跡の検出効率の角度依存性

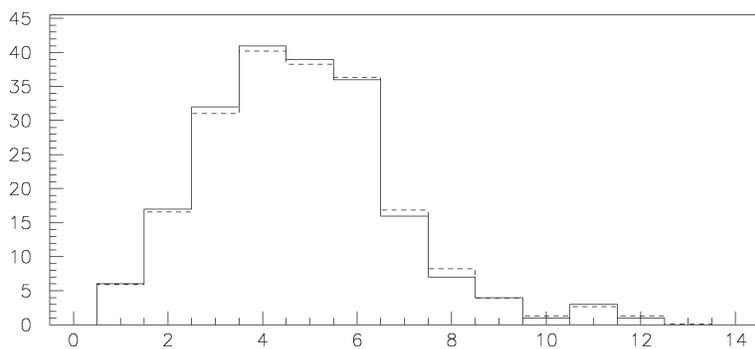


図 6.4: 反応毎の発生粒子数分布 (点線は検出効率補正後)

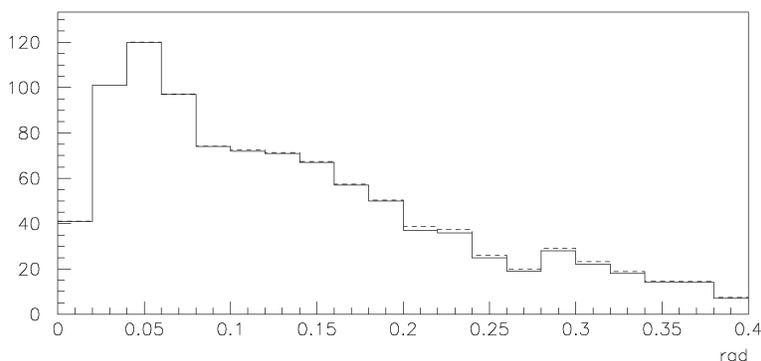


図 6.5: 発生粒子数角度分布 (点線は検出効率補正後)

### 6.1.2 M.C. simulation との比較

予想されるニュートリノのエネルギー分布に従ってM.C.simulation(PHYSIA5.7[13])を行った。ミューニュートリノと電子ニュートリノを同数生成し、反ニュートリノは反応断面積を考慮してニュートリノの半数生成した。各反応毎の生成粒子数の分布をデータと比べたものを図6.6に示す。点線がM.C.simulationの分布である。ここでは反応選別の際にSFTで発生粒子数が3本未満の反応は探索を保留していること、net scan法において3本以上の飛跡の一点収束を要求していることから、発生粒子数が少ない反応は抑制されていると考えて5本以上のところでM.C.simulationの結果を規格化した。発生粒子数に対する偏りは5本以上のところを1としたとき表6.3となる。

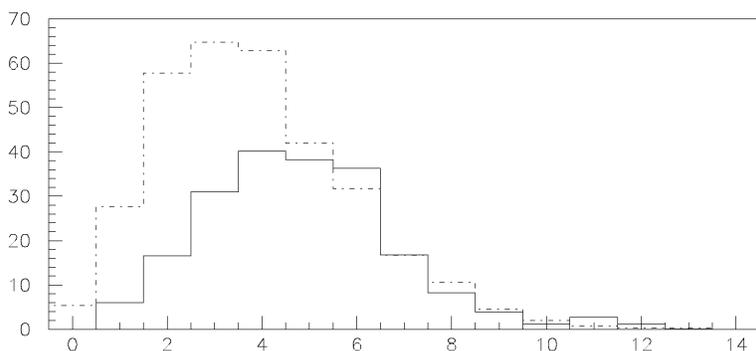


図 6.6: 発生粒子数の期待値との比較 (点線が M.C.simulation でデータと 5 本以上のところで規格化した。)

#track	0	1	2	3	4	5>
比率	0	0.22	0.29	0.47	0.64	1

表 6.3: 発生粒子数に対する偏り (5 本以上を 1 として)

角度分布に関して比較したものを図6.7に示す。点線がM.C.simulationによるもので実線のデータと良く一致している。表6.3に示した発生粒子数に対する偏りは、角度分布に対して影響がなかった。

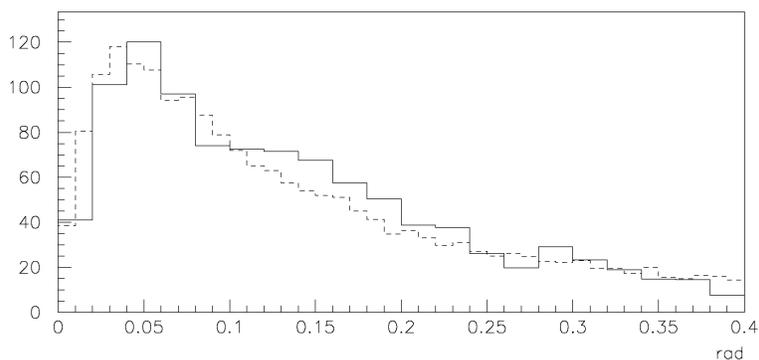


図 6.7: 発生粒子の放出角度分布 (点線が M.C.simulation)

## 6.2 タウニュートリノ反応に対する影響

以上に述べた通り、発生粒子数が少ない反応の検出は抑制されている。これがタウニュートリノ反応に対してどのように影響するかが問題となる。定性的に、荷電カレント反応は中性カレント反応に比べて荷電レプトンの分だけ本数が増える。またタウニュートリノの平均エネルギーは電子、ミューニュートリノと比べて高いので発生粒子数は多くなるであろうと考えられる。しかし、タウ粒子が短い距離で崩壊した場合は一点に収束する粒子数が減少してしまうため、反応点検出に対する影響は一概には言い切れないので M.C.simulation を行って影響を見積もった。

表 6.3 で示した偏りを用いると、ミューニュートリノ荷電カレント反応に対して 63%、中性カレント反応に対して 52%が残った。タウニュートリノ荷電カレント反応については 66%となり、この発生粒子数に対する偏りはタウニュートリノ反応を抑制する方向には働いていないと言える。

ニュートリノ荷電カレント反応全体に対してタウニュートリノの含有量を 5%と仮定すると、203 反応の中に、 $203 \times 3/4 \times 0.05 \times 1.1 = 8.4$  程度のタウニュートリノ荷電カレント反応が含まれていると予想される。