

ニュートリノの反応断面積測定

氏本郁也 笹木遥 林春向

1.実験目的

ニュートリノは、その極微な反応断面積に起因して物質透過性が著しく高く、通常の検出器サイズでは有意な事象数の獲得が困難である。本研究では、この希なニュートリノ相互作用を観測することを目的としている。

2.理論

本実験で注目するニュートリノの相互作用は、荷電カレント反応である。これには特に以下のものがある

(a)CCQE: $\nu_l + n \rightarrow l^- + p.$

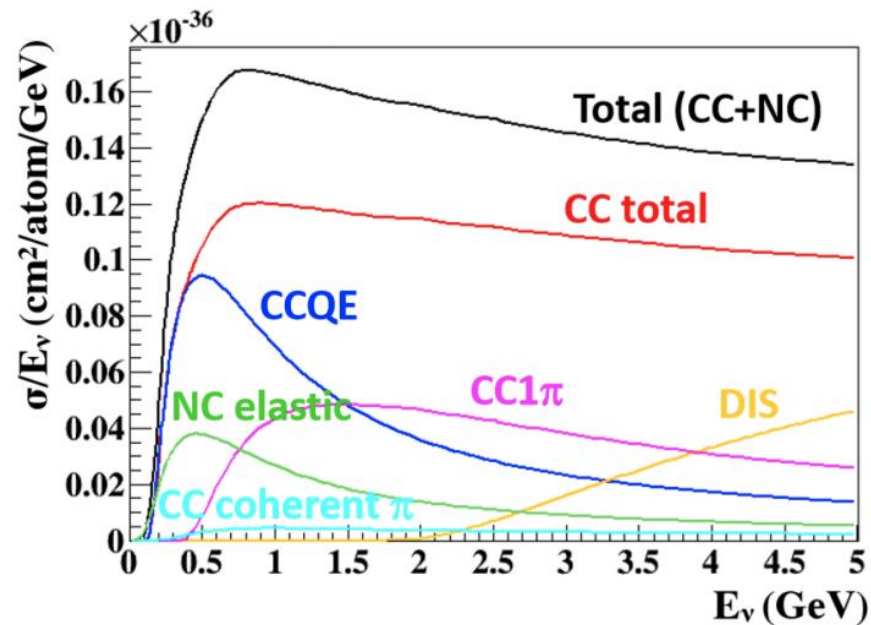
(b)CC1 π : $\nu_l + N \rightarrow l^- + N' + \pi.$

(c)CC coherent π : $\nu_l + A \rightarrow l^- + A + \pi^+.$

(d)Deep Inelastic Scattering: $\nu_\mu + N \rightarrow \mu^- + N' + X.$

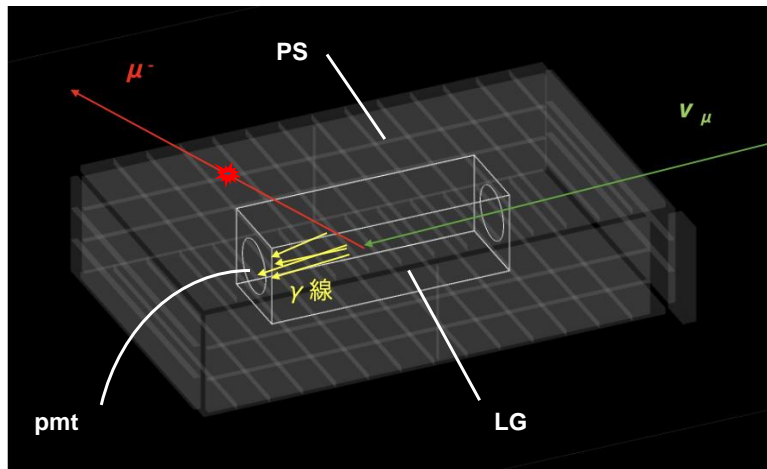
本実験で使用させていただいたニュートリノビームは1GeV程度であるので、反応としてはCCQE反応および、CC1 π 反応が主な反応となる。

本実験ではCCQE反応についての断面積に注目する。



3.実験の概要

ニュートリノビームを鉛ガラス(LG)標的に当て、CCQE反応で生じる μ^- を測定することで、CCQEの散乱断面積を求める。



μ^- がLGを通った時に発生するチェレンコフ光による信号と、 μ^- がプラスチックシンチレータ(PS)を突き抜けたことによる信号を用いることで、CCQE反応による μ^- を測定する。

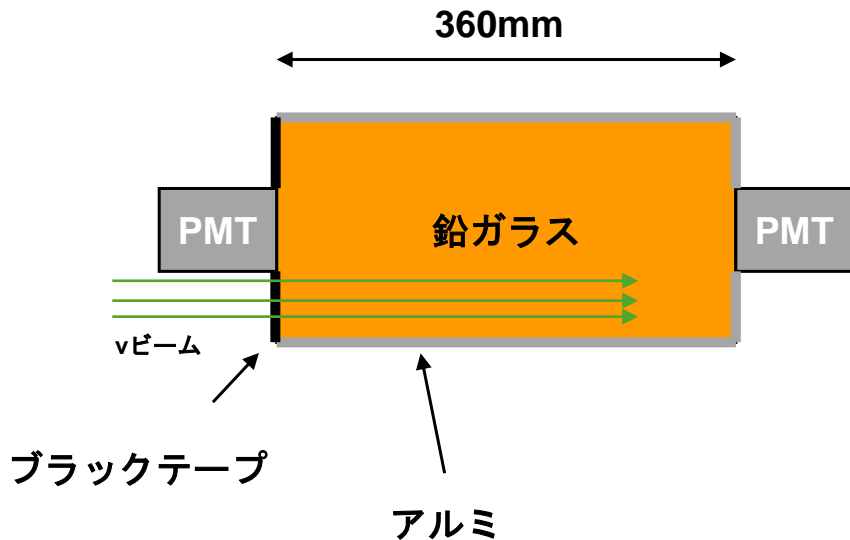
→LGとPS 1枚が反応したイベントをCCQE反応と考える

測定装置セットアップ

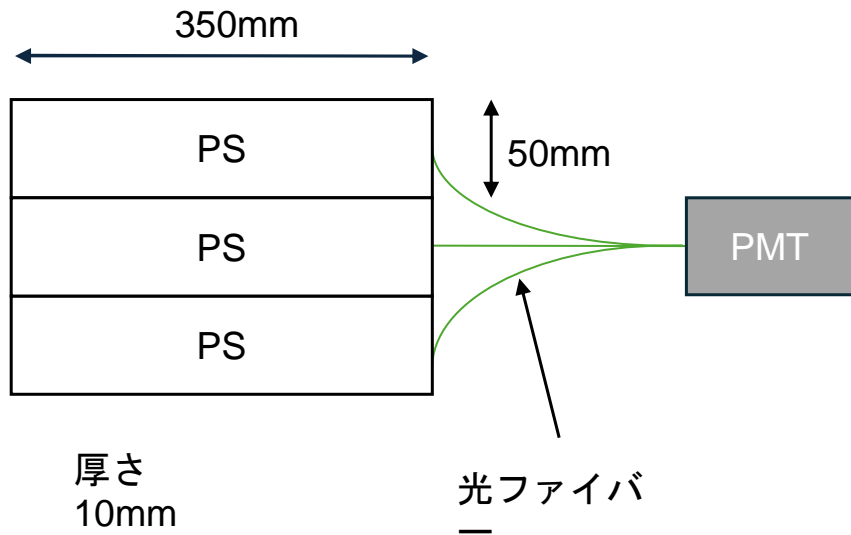
鉛ガラス+PMT

当初は前後にPMTをつけ、チェレンコフ光の光量差から μ の進行方向を特定する計画。
PMTの故障によりPMT一つで実験。ビームの進行方向のみ。

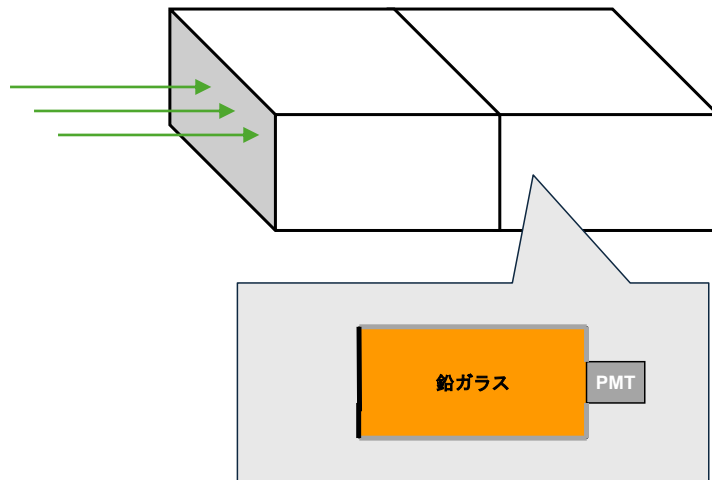
側面はアルミで覆い、なるべくPMTに光が届くようにした。



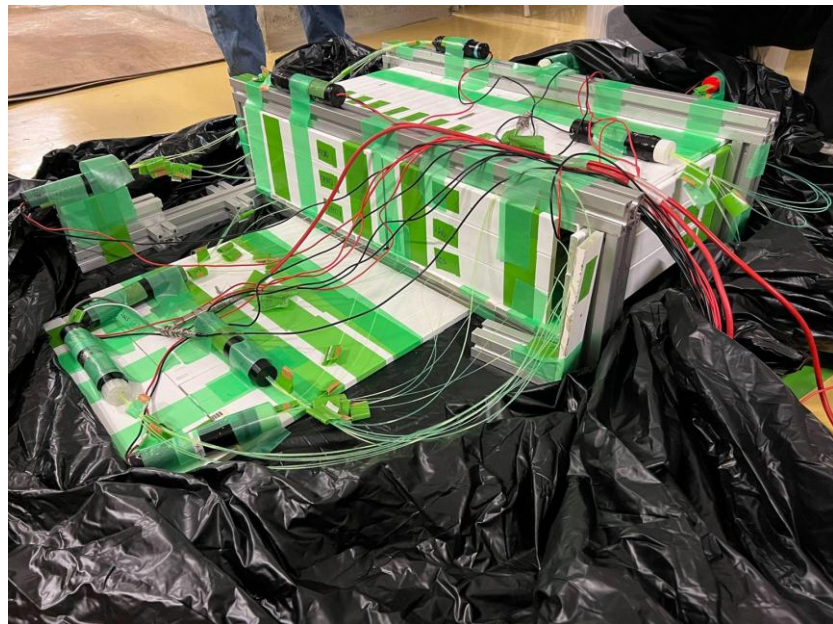
Veto用プラスチックシンチレータ



細長いPSを並べて板を作り、PMTの数の制約のため、板単位でPSからの光をまとめて1つのPMTへ。
下の図のようにPSの板10枚を用いて直方体を10分割するように設置。

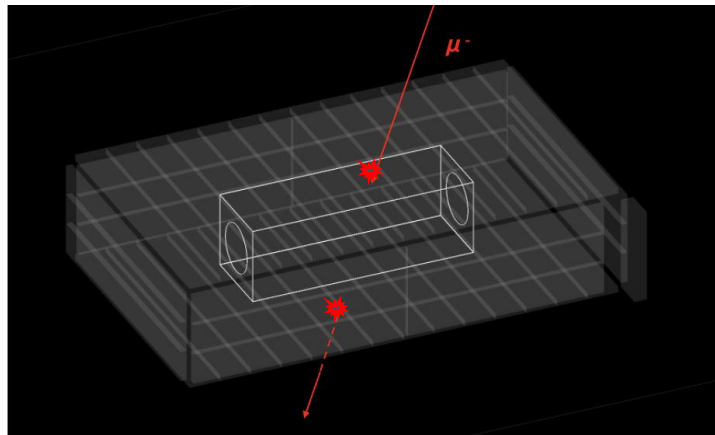


実際のセットアップ

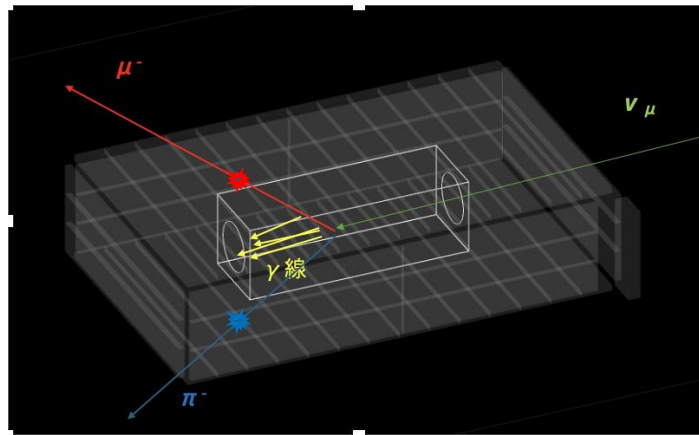


PSを用いたveto方法

ノイズとなる反応



サンドミュオンが貫通する場合
PSが2枚以上反応

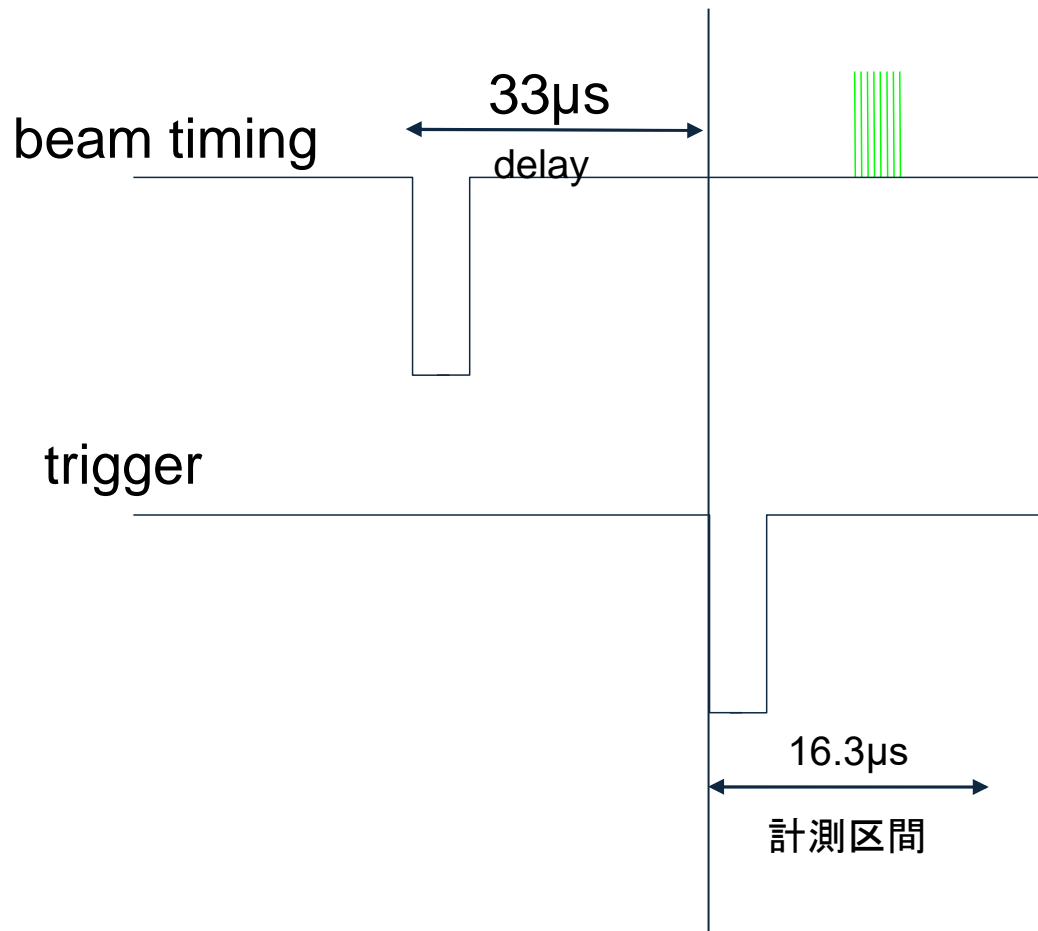


LG内部でCC1 π 反応が起きる場合
LGのPMTとPS2枚が反応

→LGとPS 1枚が反応した反応のみを取り出すことで、これらのノイズをvetoする。

データ取得

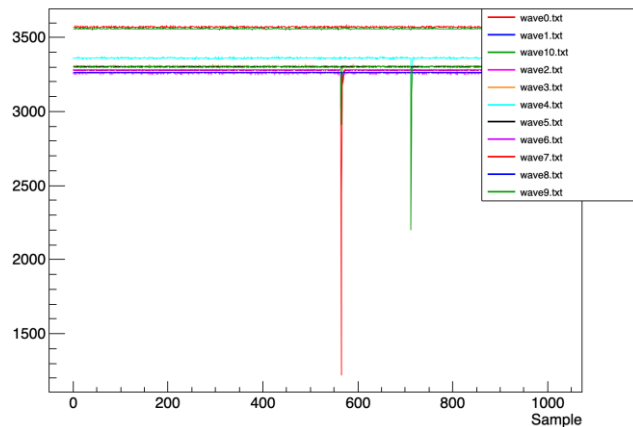
PSのPMTとLGのPMTは
アンプをかけて、CAEN
デジタイザーにつないだ。
データ取得のタイミング
はbeam triggerをdelayさ
せて、その信号から、
16.3 μ sの間の波形を記録
した。



4. データ解析

ビームが発射されたタイミングの信号をトリガーとして、LGと10個のPSにつけたPMTからの信号をspillごとに記録。

8つのbunchにわけ、信号の積分値などをrootファイルとして記録。



左図は記録した生の波形。

前半の信号をbaseline決定のために使用、後半の信号を8つのbunchにわけ、記録する。

左図はサンドミュオンが2回貫通していると考えられる。

信号の閾値の設定

ビームが稼働していない時のデータをBGとして信号の閾値の設定に利用。

各PMTからの信号をヒストグラムにし、ガウス関数でフィッティングしてmeanと σ から閾値を設定。(調整中)

```
case 0 : return 48.79 ; // LG (5.00 $\sigma$  | Mean: 15.92, Sig: 6.57)
case 1 : return 12.34 ; // PS1 (5.00 $\sigma$  | Mean: 2.02, Sig: 2.07)
case 2 : return 65.76 ; // PS2 (5.00 $\sigma$  | Mean: 16.85, Sig: 9.78)
case 3 : return 62.74 ; // PS3 (5.00 $\sigma$  | Mean: 15.55, Sig: 9.44)
case 4 : return 62.34 ; // PS4 (5.00 $\sigma$  | Mean: 15.70, Sig: 9.33)
case 5 : return 12.03 ; // PS5 (5.00 $\sigma$  | Mean: 2.65, Sig: 1.88)
case 6 : return 11.98 ; // PS6 (5.00 $\sigma$  | Mean: 2.27, Sig: 1.94)
case 7 : return 10.49 ; // PS7 (5.00 $\sigma$  | Mean: 1.87, Sig: 1.72)
case 8 : return 16.14 ; // PS8 (5.00 $\sigma$  | Mean: 2.57, Sig: 2.71)
case 9 : return 10.03 ; // PS9 (5.00 $\sigma$  | Mean: 2.56, Sig: 1.49)
case 10: return 50.84 ; // PS10 (5.00 $\sigma$  | Mean: 14.99, Sig: 7.17)
```

結果

| === 2. LG + 1 Partner Coincidence Analysis === | | | |
|--|-------|---------|----------|
| Condition: (LG exists) AND (Total Hits == 2) | | | |
| Partner | Count | Rate(%) | Location |
| PS10 | 29 | 22.66 | 下手前 |
| PS9 | 19 | 14.84 | 下奥 |
| PS4 | 17 | 13.28 | 手前 |
| PS2 | 13 | 10.16 | 右手前 |
| PS5 | 12 | 9.38 | 上奥 |
| PS7 | 12 | 9.38 | 上手前 |
| PS3 | 8 | 6.25 | 奥 |
| PS8 | 8 | 6.25 | 左手前 |
| PS1 | 5 | 3.91 | 右奥 |
| PS6 | 5 | 3.91 | 左奥 |
| Total LG+1 Events | 128 | 100.00 | |
| --- Group Summary (Based on Location Name) --- | | | |
| Contains 'Tema'e' (手前) | 79 | | |
| Contains 'Oku' (奥) | 49 | | |

求めた閾値と各イベントのデータをまとめたrootファイルから、測定したいイベント(CCQE)と思われるイベントを抽出、その時に反応したPSの位置も記録。

4 σ の場合

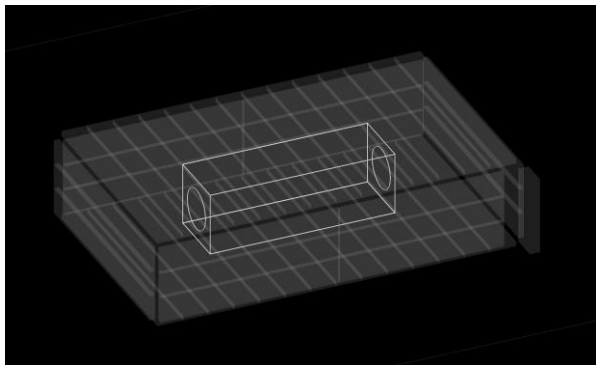
結果

| === 2. LG + 1 Partner Coincidence Analysis === | | | | |
|--|-------|---------|----------|--|
| Condition: (LG exists) AND (Total Hits == 2) | | | | |
| Partner | Count | Rate(%) | Location | |
| PS10 | 12 | 25.00 | 下手前 | |
| PS5 | 9 | 18.75 | 上奥 | |
| PS9 | 8 | 16.67 | 下奥 | |
| PS2 | 4 | 8.33 | 右手前 | |
| PS4 | 4 | 8.33 | 手前 | |
| PS7 | 4 | 8.33 | 上手前 | |
| PS1 | 3 | 6.25 | 右奥 | |
| PS3 | 2 | 4.17 | 奥 | |
| PS8 | 2 | 4.17 | 左手前 | |
| Total LG+1 Events | 48 | 100.00 | | |
| --- Group Summary (Based on Location Name) --- | | | | |
| Contains 'Temaē' (手前) | 26 | | | |
| Contains 'Oku' (奥) | 22 | | | |

5σの場合

シミュレーション

Geant4で実験装置を再現し、NEUTでシミュレーションしたニュートリノ反応を組み込み、LG内で発生したCCQE反応を再現する。その際、どのPSが反応するかの割合を記録する。



下の表はシミュレーションにおいて、ニュートリノビームを打ち込み、LGでニュートリノ反応が起きたときの各面1枚のみが反応する場合の割合を示したもの(試行回数:1000)と実験値での比較。

| | シミュレーション | 実験値 |
|-------------|----------|--------|
| bottomback | 0.271 | 0.167 |
| topback | 0.239 | 0.188 |
| back | 0.149 | 0.042 |
| bottomfront | 0.114 | 0.25 |
| Topfront | 0.086 | 0.083 |
| rightback | 0.055 | 0.063 |
| leftback | 0.051 | 0 |
| rightfront | 0.020 | 0.0833 |
| leftfront | 0.012 | 0.0417 |
| front | 0.004 | 0.0833 |

シミュレーションだと
76%が前方のPSと反応。
実測だと約46%

いずれの場合もビーム方向に対し手前側のPSに
ミュー粒子がぶつかるような反応が多い。

→予想と逆

改善点

実験装置

- ・ 鉛ガラスを増やし、統計量を増やす
- ・ PMTを両面につけ、粒子の進行方向を記録
- ・ PSを細分化しveto性能を上げる

解析

- ・ フィッティング関数の調整
- ・ 積分範囲の調整

謝辞

指導教員の中家さん、木河さん、TAの大谷さん、青柳さんをはじめとする高エネの院生の方々、

また、J-PARCの利用に関してお世話になったKEKの方々

ありがとうございました。