

岡山大学自然科学研究科
先端基礎科学専攻
先端宇宙素粒子実習
見学・実験レポート

於　　：東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素
　　　　粒子研究施設

実施日時：2006年12月4日-6日

参加者：M2 池田一得,杉原真央,美馬覚,
　　　　尾古昌崇,坂本愛理

　　　　：M1 別宮智志,幸田康成,佐藤晴一,
　　　　石田啓介,那須忠昭,岡林佑介

講師　：東京大学宇宙線研究所
　　　　塩澤真人助教授 関谷洋之助手

T　　A：南野 彰宏(D3)

担当教官：岡山大学自然科学研究科
　　　　作田 誠

先端宇宙素粒子実習レポート

岡山大学大学院 自然科学研究科 数理物理学専攻

41418126 幸田康成

平成18年12月11日

0.1 3日間でわかったこと、感想

この3日間の実習を通して今まで宇宙線の測定の方法や、検出器の名前くらいは知っていたが実際に触ったこともなくそれらの検出器を実際に1から組み立てることができてすごく検出器の仕組みも理解できた。

具体的にはすべての組み立ての工程が新鮮だった、プラスチックシンチにライトガイドを取り付ける時に使用する特殊な接着剤があることも、シンチに巻くアルミマイラーの巻き方も様々あることもとても新鮮で楽しかった、そのなかで一番勉強になったところがシンチのキャリブレーションを行うためにしたモジュールの操作がとても勉強になった、普通は学生実験で使うものなのだが自分の場合はモジュールを使う実験に当たらず、今回の実習まで使い方があまりよくわかっていなかったが、この機会に悪戦苦闘はしたが使い方さまざまなモジュールの機能などを習うことができてとてもよかった。

そして鉱山内の実験施設の見学では初めはS Kだけを見学するのだと思っていたが、他にも様々な実験施設を見学することができ貴重な体験ができた、実験施設ごとに行っている研究は様々だけれども地下で研究を行う利点、そしてどのような工夫をして新しい研究をしているか実験施設ごとに知ることができてとてもいい経験になった。

0.2 実験で改良する方法

まず一つ目にこのプラスチックシンチの厚さが0.5 cmである、このプラスチックシンチの厚さをもっと厚くすることができればよりミュオンがシンチを通過する際に落とすエネルギーが大きくなりよりミュオンの検出の数が大きくなると思われる。

次にシンチの閾値を決定した際に適切な閾値であったかがどうか問題になる、次のページにシンチ1とシンチ2のカウント数とコインシデンスの数を地上の縦方向、横方向、地下1000m(線源あり)、坑道(<地下1000m)の測定結果を記す。

	ch1	ch2	coin	Time(sec)
地上（縦方向）	156503 223Hz	323681 462.5Hz	14705 21Hz	699.9
地上（横方向）	153665 220Hz	310665 445Hz	4318 6.2Hz	699.6
地下1000m （線源あり）	478092 191Hz	627013 250Hz	4100 1.6Hz	2500
地下 （<1000m）	345683 144Hz	458978 191Hz	1219 0.5Hz	2400

Table:各条件下でのカウント数と単位時間当たりの頻度

・地上での縦方向、横方向について

このことからまず地上では縦方向と横方向ではコインシデンス数が縦方向のほうが横方向に比べて3.4倍多くなったと考えられる、この考えられる要因として測定した場所が山に囲まれていた場所にあつたのでミュオンが山で止まった可能性などが考えられる

・地上でのコインシデンス数について

およそミュオンの頻度というのが1秒間に10cm×10cmに一発くらいなのでこのシンチの面積がおよそ165cm×60cmなので990Hzになる、しかし上の表を見ると縦方向でコインシデンス数は21Hzなので約40分の1になっている、この理由として低エネルギーのミュオンが捕らえられていないと考えられる、シンチの閾値を小さくすれば低エネルギーのミュオンも捕らえられると考えられる。しかし閾値を低く設定すればノイズが多くなり余計なものまでカウントしてしまうので注意する必要がある、この閾値もこのことを考慮して決定しているので、閾値を変更するのは注意しなければならない。環境バックグラウンドを少なくする方法として壁や床から離して測定することにより環境バックグラウンドを減らすことができると思われる

・地下のミュオンのカウント数について

地下1000mの場合のコインシデンス数は4100で頻度は1.6 Hzである、地上の場合（縦方向）と比べて約13分の1になっている、地下に到来するミュオンの数は地上に比べて数は減っているが通常地下1000mでは10万分の1なので非常にミュオンの数が多いと考えられる。

考えられる理由として部屋においてあった線源の影響が考えられる、線源の種類は中性子線源の Cf252 で、強度は今年の3月1日の時点で3.7 MBqである、12月6日の Cf の強度は計算により3.03 Mとなった。Bq線源は金庫の中に保管されていたが金庫の厚さを5cmほどと考えても中性子線は鉄に対して透過力が高いので、放射される中性子線の強度はほぼ変わらないとするとこの中性子線の影響でコインシデンス数が多くなったと考えられる。

・地下 (< 1000m) のミュオンのカウント数について

この場合地上（縦方向）のミュオンの頻度と地下 (< 1000m) のミュオンの頻度を比べると地下 (< 1000m) のミュオンの頻度が地上（縦方向）のミュオンの頻度の約40分の1となった、配られたテキストの地下の深さとミュオンの強度のグラフを参考に地下の深さを見積もると地上でのミュオンの flux が $0.8 \times 10^{-2} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sterad}^{-1}$ となる地下 (< 1000m) ではミュオンの頻度が40分の1なのでミュオンの flux が $0.2 \times 10^{-3} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sterad}^{-1}$ となるのでだいたい500 m w.e 位になると思われる。

岡山大学 自然科学研究科

M2 美馬 覚

学籍番号 : 41417132

1. 感想

実験に関しては検出器を1から作るのは初めての経験で非常に楽しかった。
実験も面白い内容であったと思う。

難点をいえば、宿が遠く遅くまでのこることができなかったこと。
見学の時間的余裕がなかったこと。

2. 改善点

環境バックグラウンドと宇宙線の信号を分離できる程エネルギー分解能がよくな
かった。

シンチレータの厚みを厚くすれば、改善が見込めると思う。

2枚のシンチレータの間に適切な厚さの鉄板を挟んで配置すれば、バックグラウ
ンドによる
コインシデンスがおこることを防げる。

シンチレータ間の距離を変更できればコインシデンス時の入射粒子の
角度を変更でき、データ解析時に役立つ。

鉛などを敷き下方などからくる放射線を止める。

大変御世話になりました。

美馬

神岡実習レポート

量子物質物理学研究室

石田 啓介

1. 3日間でわかったこと

宇宙線の実験は3年次実験で μ 粒子を測定して以来行っていなかったが、今回の実習で実験装置の組み立てや神岡施設の見学を通して改めて大変な実験であることを認識した。

3年次実験では出来合いの装置を使って測定を行ったが、今回の実習でシンチレータを平行にして正確に宇宙線を測定できるように一から装置を組み立てるのは大変な作業だった。

これまでスーパーカミオカンデは地下深くにエレベーターで降りていくと思っていたが実際は坑道で入っていくことが分かった。宇宙線の測定は坑内と坑道の途中で行ったが、地上よりもノイズが減り精度よく μ 粒子を検出できていることが分かった。

神岡施設の見学ではカムランドやスーパーカミオカンデの装置の内部を見ることはできなかったが、解説を聞いたり検出装置が並んでいるのを見て壮大な規模の実験だと感じた。また、重力波測定の装置では振動を極力抑えるため鏡を20Kに冷却したり、大きなサファイアを用いるなど随所に工夫が見られた。このような努力をしても重力波を検出するには膨大な時間がかかるのだから気が遠くなるような実験だと思う。

今回の実習が直接自身の研究には結びつかないが、他分野の実験を体験することでよい刺激になったと思う。

2. 実習で改良する方法

今回の実習は講習や施設の見学、実験の境界線があいまいで時間的にも余裕がなかったと感じた。まず、神岡施設についての安全講習や研究紹介は初日に行うか事前に岡山大学で行ってもよかったと思う。そうすれば2日目の午前中にシンチレータとライトガイドの接着ができ、午後にゆっくり坑内を見学できる。また3日目には坑道で測定を始めることができれば、測定結果を考察する時間もとれると思う。

実習とは関係ないが帰りの富山駅での濃飛バスとサンダーバードとの接続時間が非常に短かったので改善してもらいたい。

物性に携わっている人にはこのような機会でないとかミオカンデで実験することはできないので、来年以降はもっと物性の人にも参加してほしいと思う。

SK 実習 Report

41418130 那須忠昭

平成 18 年 12 月 11 日

1. 三日間でわかったこと。
2. この実験で改良する方法。

1.

三日間の SK 実習を通して、宇宙線の観測は π 中間子、 μ 粒子 など粒子の発見だけではなく、様々な情報を含んでいることを実際に見学することで実感できました。研究室でのセミナーや先生の話などでニュートリノ振動、超新星ニュートリノ、地球ニュートリノ、大気ニュートリノ、原子炉ニュートリノの大まかな概要程度は学んでいました。しかし、実際に実験している中で説明を聞くことでさらに理解できました。今、ニュートリノ原子核反応について研究しているので、ニュートリノが SK のタンク内での νe 弾性散乱反応、反応は少ないと思いますが $\nu O(16)$ 準弾性反応によるチェレンコフ光の観測の話が一番興味がありました。

坑内のシンチレータによる宇宙線測定について、研究室棟と坑内を比べると、21(Hz) から 0.5(Hz) まで μ 減っていること、それを観測することで鉱山内でなぜ観測するのか実感できました。

2.

・閾値について、今回使用したプラスチックシンチレータの厚さが 5(mm) だったため測定したい μ のエネルギーは 1(MeV) 相当でした。しかし、周りの放射線や HV による PMT 内の background も 1(MeV) 相当でかぶっていたため信号パルスの閾値を決めるのが困難でした。まず一つ目は厚さ 1(cm) にすることで、倍の 2(MeV) の μ を測ることにより閾値を精度よく決めやすくする。。

・次に地下 1000(m) で測定したときに置いていた線源について、線源は Cf で、強度は 3(MBeq) です。中性子線源なので、鉛遮蔽の効果は考えず計算します。次に中性子は 2(MeV) ぐらいのエネルギー損失をシンチレータにするため、入ってきた数だけ信号を読むと仮定します。測定した時間幅は 20(ns) です。二枚のシンチレータに 20(ns) 間に中性子が同時に入るとき信号を読むと、

$$20(ns) \cdot 3(MBeq)^2 = 18 \times 10^3 \sim 10^4 \quad (1)$$

次に立体角について考える。今、シンチレータと線源の距離が 50(cm) で、2 枚のシンチレータの距離が 40(cm) とすると、 $d=50, R=20$

$$\Omega = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + R^2}} \right) \cong 0.037 \sim 10^{-2} \quad (2)$$

よって

$$20(ns) \cdot (3(MBq) \cdot 10^{-2})^2 \cong 1.8(Hz) \quad (3)$$

地下 1000m で実際の測定値は 1.6(Hz) で、地上では 21(Hz) でした。地下 1000m では 10^{-5} 放射線が少なくなるのと今回の測定のエネルギー分解能を考慮すると、この 1.8(Hz) は適当であると考えられます。地下 1000m 以下の場所で 0.5(Hz) で地下 1000m のところで 1.6(Hz) で多くなった原因として、この Cf の線源の影響によるものであると考えられます。

神岡実習 Report

学生番号 41418124

岡林裕介

平成 18 年 12 月 11 日

1 3 日間で分かったこと

- 1) SK 実験施設をなぜ山の中に作ったのかの理由
 - ニュートリノを観測するのに他の様々な粒子が混ざっている back ground が多くなってニュートリノを観測するのが難しくなる。

- 2) μ は 1 秒間に 3 つくらいしかタンク内に入ってこない。(タンク上に 1000m くらい岩盤がある)

- 3) 大気ニュートリノの研究において、ミューニュートリノの振動現象が発見された理由
 - ミューニュートリノは、地球の全方向から一様に降り注いでくるはずなのに実験結果では飛んでくる角度によってニュートリノの数が一様でないことが分かったためにニュートリノ振動が起こっていることが分かった。

- 4) ニュートリノの反応頻度は、50 億個のニュートリノに対して 1 個の割合。

- 5) タンクの構造は、2 重構造になっていてそれによって μ が通過したかどうかが分かるようになっている。

- 6) 光電子増倍管は、1 個の光電子で 10^7 個くらいに増倍することができる。

- 7) SK では、大気、太陽ニュートリノが一日に 20 個くらい観測される。

- 8) 陽子崩壊の実験によって、崩壊するまでに 10^{34} 年以上かかることが分かっている。しかし、陽子崩壊はまだ観測されていない。

9) タンク内には、陽子が 10^{34} 個近くあり、その内の 1 個が崩壊しても捕まえられるほどの感度が SK にはある。

2 実験結果

実験場所 \ 測定内容	CH1	CH2	coincidence	timer
地上 (たて)	156503(223Hz)	323681(462.5Hz)	14705(21Hz)	699.9
地上 (よこ)	153665(220Hz)	310665(445Hz)	4318(6.2Hz)	699.6
地下 1000m(線源あり)	478092(191Hz)	627013(250.8Hz)	4100(1.6Hz)	2500
地下 < 1000m	345683(144Hz)	458978(191Hz)	1219(0.5Hz)	2400

3 実験で改良する方法

シンチレーションの厚さをもう少し厚めにしたほうがいいと考えられる。なぜならば、厚くすることによって μ がより多くのエネルギーを落としていくので、シンチレーションで多くの光子が生成されて信号がはっきりする。また、シンチレーションを設置する場所にも問題があった。コンクリートなどにも放射線源が含まれているので放射線の影響の少ない場所で実験をやればもっといい実験結果を得られたと思う。

先端宇宙素粒子実習レポート

提出日: 2006/12/11 学籍番号: 41417127 氏名: 坂本 愛理

1、3日間で分かったこと/感想

実際に現場に行って研究者の方から直に説明を伺ったり、自分の目で装置を見たりすることが出来て非常に有意義な時間を過ごすことが出来た。スーパーカミオカンデとカムランドは一度見させて頂いたことがあり、大学でも話を伺うチャンスは多いが、今回は、重力波の実験などもゆっくり見学出来て大満足だった。神岡坑山が様々な実験に好条件であることを再認識した。

2、実験(実習)で改良する点

今回用いたプラスチックシンチレータは厚さ5mmだったが、その厚さを増すと検出効率は \exp で効いてくる。またシンチレータの面積は大きすぎると均一な集光が難しくなりエネルギー分解能は下がるため、適切なシンチレータの寸法や形状を撰択しなければならない。

測定場所のひとつである第二純水装置室には線源 Cf252 があり、岩盤からの放射線もあったと考えられるが、特に天然放射線核種による放射線はランダムなので、大きな雑音源になったとは考えにくい。実験結果を見てもそれほどシングルイベントに効いているようには思えない。測定場所の厳選と、どのような環境であるか知ることは必要である。

測定場所を変えて岩盤の厚みとの関係を導く、偶然同時計測を考慮して3枚のシンチレータを用いて測定する、など発展的なことが出来る時間があれば、尚良かったのではないかと思う。

岡山で一度測定する機会を設けモジュールの取り扱いに慣れておけば、よりスムーズに実験が進んだのではないかと思う。

実験装置に対して人数が多過ぎた気がするので人数調整されるべきだ。

施設見学の時間について、説明して下さる方に予定時間を伝えておくのはもちろん、ある程度時間的余裕を持たせておかないと長引くのは必須だと思う。

実習前、実習に関する情報(連絡)がメールで幾度かに分かれて来たが、日程、交通手段、必要経費、実習内容、基礎知識、参考文献などを“実習のしおり”としてファイルで頂ければ、それを印刷すれば良いので便利だと思う。

宿泊先については入浴以外に関しては非常に快適で、ご飯も美味しく頂きました。神岡の旅館よりは茂住のドミトリーに宿泊するほうが便利だったかもしれないが、そうなると際限なく夜中まで実習が続きそうなので、その意味ではバスで通うのも悪くない。

以上。お世話になった方々有難うございました。

先端宇宙素粒子実習レポート

岡山大学自然 M2 尾古 昌崇

於 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設
H18,12,4-6

1 3日間の成果

1.1 宇宙線検出器の製作

まず、シンチレータとライトガイドの接合から行った。シンチレータは宇宙線が入射したときに発光する板であり、その光をライトガイドで集める。できる限り感度を良くするため、その接着剤も透過性が良いものを用いる。さらに接合面を並行にするために机を用い、その高さに合うようにライトガイドの形などを考慮し、高さと角度を調節した。

2日目に無事接着していることを確認し、今度はシンチレータ、ライトガイド共に外界の光を遮断するため、ブラックシートなどでそれらを覆った。その際に継目はブラックテープで補強した。最後に光電子増倍管を取り付けたが、安定が悪いためアングルを用いてしっかりとライトガイドに固定した。検出器と並行してそれら2つの検出器を上下並行に設置するための台をアングルで作成した。

1.2 地上でのテスト

地上で製作した検出器のテストを行った。検出器1号(サカモト)は光漏れもなく正常に宇宙線を検知していたが、検出器2号(ナス)はどこからか光漏れしてしているのか、ノイズが大きかった。そこで、懐中電灯などで漏れている位置(単にシートが破損していただけ)を確認しブラックテープにて補強した。以上で実験の準備が整った。

1.3 宇宙線と同時カウント

このように2つの検出器を用いるのは、ほぼ真上からの宇宙線をとらえるためであり、同時カウントした時に真上からきた宇宙線と判断する。このとき、偶然に異なる宇宙線が同時にカウントされることも考慮しなければならない。

1.4 宇宙線としきい値

宇宙線とそうでないものを判別するためにディスクリミネータを用いてしきい値を設定し、信号を分ける。このしきい値を変えていき、同時カウントをプロットしていく(ディスクリミネート曲線)とあるところでプラトーが出現する。このプラトー領域では要求される宇宙線のみを検出していると判断される。

1.5 地上・地下での対照実験

観測場所は地上、地下 1000m、地下 $x < 1000\text{m}$ で行った。下表では各々の場所で測定したシングルカウント、同時カウント、時間の値を示す。

Place	CH1(サカモト)	CH2(ナス)	Coin	Timer
Ground	156503	323681	14705	699.9
UG1000m	478092	627013	4100	2500
UG? < 1000m	345683	458978	1219	2400

絶対値ではわかりづらいので、これを 1 秒当たりのカウント (Hz) に書き換える。

Place	CH1(サカモト)	CH2(ナス)	Coin
Ground	223	462.5	21
UG1000m	191	250	1.6
UG? < 1000m	144	191	0.5

これを見ると、地上に比べて地下の方が降り注ぐ宇宙線の量が減っている事が明らかに見て取れる。しかし、地下 1000m と地下 $x < 1000\text{m}$ で比較するとなぜか岩盤が浅い方が宇宙線量が減っているように見える。後に原因が近くにあった中性子線源（一応遮蔽されていた）であることが判明した。本来は 1000m の方が宇宙線は少ないはずであるが、中性子線源によってカウントが増加していたと考えられる。

少なくとも、地上と地上 $x < 1000\text{m}$ とのデータ比較をする限り、数 100m の岩盤によって宇宙線は約 $1/40$ になっていたことが分かった。

2 実験での改良点

2.1 検出器の改良点

今回の実験ではディスクリミネート曲線によって宇宙線を感度良く検知するためのしきい値を求めたかったが、うまくプラトーが出ず、しきい値が決めづらかった。この原因として、シンチレータが 5mm と薄く、十分に粒子からエネルギーを得られていなかった事が考えられる。これを改善するため、厚いシンチレータを使うことが要求される。このとき、横からの寄与などを考慮すべきである。

今回の検出器はカウントを稼ぐために広いシンチレータを用いたが、その広さゆえにある程度の角度の幅が生じる。これを抑えるために 2 枚のシンチレータの距離を離すことが考えられる。

2.2 実験手法の改良点

今回は真上に向けて測定を行ったが、横方向など様々な角度で測定して角度依存性を見てみるとおもしろいと思った。

2.3 その他気づいたこと

その場所が実験に適しているかどうかの確認と事前の予備実験は重要だということをも身を持って感じた

3 最後に

今回の神岡実習では実験で直接指導して下さった東大宇宙線研の塩澤先生、関谷先生をはじめ、実習機会をくださった作田先生、原田先生に大変お世話になりました。ありがとうございました。

東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設実習

—宇宙線の測定—

岡山大学大学院自然科学研究科 数理物理学専攻 (物理系)

学籍番号 41418127

佐藤 晴一

December 11, 2006

1. 実習 (3 日間) で分かったことや感想.

- 地下に行くことで、宇宙線が減少した.
- SK での太陽ニュートリノ測定 (特に $\mu\nu$ 検出に関すること.)
- SK が 2 重構造になっているのは、muon と neutrino の選別のためにあるのだと分かった. (neutrino は外水槽でチェレンコフを出さずに、内水槽で出る.)
- SK 実験で ν_e と ν_μ をどう見分けているのか気になっていましたが、納得した. (チェレンコフリングのぼやけ具合で判定している.) 判定基準はどう決めているのか知りたい.
- neutrino の質量が 0 の場合でも、 ν_μ の天頂角分布が $\cos\theta = 0$ で増えていることが不思議に感じた. ($m_\nu = 0$ のときは、振動しないのでどの方向からとも一様だと考えられますが $\cos\theta = 0$ で増える原因は太陽から来る neutrino の影響ではないかと推測しています.)
- KAMLAND 実験結果は、Solar 実験の結果と比べて混合角の誤差が大きくなっています. 原因はなんであるのか気になった.
- 実験を行っている最中に、疑問・おかしいと思うことがあったら、すぐに指摘することの大切さを改めて感じた.

2. この実験の問題点と改良点.

[問題点]

- シンチレーション¹の厚さが 0.5mm であったので十分にミュオンがエネルギーを落とさなかった. (ちょうど環境バックグラウンド領域 $\sim 1[\text{MeV}]$ とかぶってしまった.) またそのことに伴って、muon と環境バックグラウンドの信号が separate しにくく、ディスクリカーブに plateau な領域が現れなかった.
- 実験場所の周辺に放射線源があることを知っていたのに、そのままの状況下で実験を行ってしまった.

[改良点]

- 実験を行う場所の環境 (どういう位置にシンチレーションを配置したか、放射線源はないだろうか etc) を細かく記録して実験後の解析に役立てる必要がある.
- muon と環境バックグラウンドとの信号をより separate しやすくするために、シンチレーションの厚さを 1cm 程度として muon が $\sim 2[\text{MeV}]$ 程度のエネルギーを落とすように試みる. ディスクリカーブがうまいこと書ける. threshold が適切に設定することができる. muon の信号がより正確に測定できると思う.

¹エネルギーの落とし具合: $\sim 2[\text{MeV}/\text{cm}]$

3. 最後に

3日間という短い期間でしたが、非常に良い経験をさせてもらいました。これまでカミオカンデという言葉だけを聞いてどんなところで実験を行っているのだろうといつも考えていました。どんなに素晴らしい成果もやっぱり地道な努力の積み重ねで得られるのだと改めて確認できました。塩澤先生、関谷先生、また実習中にお世話になった多くのみなさん本当に貴重な体験をありがとうございました。自身の研究への motivation も少し向上しました。

A 宇宙線測定結果 (地上, 地下 1000m, 地下 <1000m)

表 1 での Counts number 横の (\sim Hz) は, Counts/測定時間として計算しました。同表より coincidence のカウントは, (線源がありというハプニングがあったものの) 地下の方が地上に比べて少なくなった。これより山 (岩盤) は宇宙線を遮蔽する効果があると分かった。

地下 1000m で行った実験で近くに放射線源がありました。その線源は ^{252}Cf ($\approx 2.14[\text{MeV}]$ の中性子線源) であり今年の 3 月 1 日時点で $3.7[\text{Bq}]$ とのことです。本来ならこの放射線源による寄与がどのくらいあるのか解析すべきですが、まだ出来ていません。

表 1 Cosmic rays measurement result.

location	Scin. Counts (下)	Scin. Counts (上)	coincidence	測定時間 [sec]
地上 (たて)	156503 (223Hz)	323681 (462.5Hz)	14705 (21Hz)	699.9
地上 (よこ)	153665 (220Hz)	310665 (445Hz)	4318 (6.2Hz)	699.6
地下 1000m (線源あり!!)	478092 (191Hz)	627013 (250Hz)	4100 (1.6Hz)	2500
地下 <1000m	345683 (144Hz)	458978 (191Hz)	1219 (0.5Hz)	2400

先端宇宙素粒子実習 レポート

岡山大学大学院自然科学研究科 41417129 杉原 真央

1. 3日間でわかったこと、感想など

まず、いろいろな方が物理的見地からこのレポートを書くと思うので、私は教育的見地から今回の実習について考察してみようと思う。(私は高校教師志望)

私はSKのコラボレーターとして、また作田研究室の所属学生として半分スタッフのような働きもしていたが、それでも知識はまだまだ不十分で今回の実習から学んだことも多いと感じる。改めて、基礎実験・基礎知識の必要を感じた。

しかし、それでも今回の実習には素粒子とまったく関係のない専門の学生、日ごろは理論研究が主で、モジュールの類を触ったことのない学生も多くいた。この実習のコンセプトでもあるが、日ごろの研究生活では実習できない・体験できないことを行うということはとても大切だと考える。その結果、日ごろこのような実験・実習をすることのない学生が率先して実習に参加していたのはいい傾向だと考える。逆に何名かのモジュールの扱いになれていた学生にとっては退屈なものであったかもしれないが、それでもこの傾向とコンセプトは今後も続けるべきであると考えます。

ただし、そんな中でも、ある種の予備実験は必要であったと考える。あの巨大プラスチックシンチレータの工作は無理にしても、エレキの使用法など神岡に来る前に実習をしていれば二日目の実習も測定と考察までできたと考えられる。

また、実習期間中は常に時間との戦いでもう少し各部分でゆっくりと議論・考察ができればよかった。ただ、その時間不足をどこから補うかが問題で、今回の実習期間における大きな予定の狂いは一日目の見学時間の超過であったように思うが、見学をし、質問をしていたあの時間は実習と同等に有意義であったと考えられる。見学時間を少しは削ることも考えなければならないと思うが、それと同時にある程度の知識は実習前に学んでおく必要があるように考えられる。そうすれば、各実験装置で基礎的な話を省略して実験装置見学に入ることができるし、同時に見学において活発に質問も出たように思う。

来年も神岡で一連の実習ができるのであれば、やはり今回同様、何もない状況から検出器を作ることからはじめる実習がいいと思う。この実習で改めて感じたのは『実験は始めるまでが大変で重要で難しいが、そこが面白い』ということだから。(私や池田君はSKのcalibrationで重々承知であるが。)

2.改善点

移動も含めて三泊四日という短い日程のなかでできることは限られてくるが、いくつか今回の実習装置・実習内容の改善点を考えてみたい。

①再現性の確認

一連の実験(地上・地下 1000m・その中間)で実習をしたあと、もう一度地上に戻り実験を行うと地下 1000m およびその中間点での結果の考察に十分な情報が得られると考えられる。もしも、そこで一度目の実験が再現すれば検出器は一連の実験においてコンスタントであると言えるし、もし、コンスタントでないなら、ある段階から検出器の状況が変化したことになり、一連の実験結果の考察を根底から変えなければならない情報になるためである。

②横置きに対応させた設計

セミナー部屋という、広く平坦な場所ならばあの設計でもどうにか横置きにすることはできたが、狭い第二純水、坑道では横置きのセットアップは安定性などの問題から不可能である。横置きで十分な測定ができれば、たとえば坑道における岩盤からのバックグラウンドの考察にも有益な情報を得ることができたと考えられる。

③シンチレーターの厚みを大きくする

そうすれば、ダークノイズなどバックグラウンドと宇宙線ミュオン信号を区別できたかもしれない。そうすれば、ディスクリカーブによる閾値の決定もできたかも知れない。

④ダークノイズの測定

③と関連して。シンチレーター+ライトガイドを PMT に取り付ける前に PMT のダークノイズを測定していれば閾値を決めるためのヒントになったと考えられる。また、PMT の扱いになれていない学生はダークノイズの存在自体をわからず実習を行っていたかもしれない。

⑤同じものをもうひとつ作る。

そうすれば、実習の時間短縮につながり多くの実験結果から議論できる内容も増えると考えられる。ただ、その場合は二つの実験装置自体が本当にコンシステントであるかどうかを判断するのは難しいが。

以上の点を吟味して、来年度以降の実習がよりよいものになればと思います。

課題 1

三日間でわかったことは総じて言うところの実験においても高精度を導き出すためにはとりたい信号以外を極力抑えるということでした。宇宙線がノイズになるならば鉱山後に施設をつくることで1000mの土をつかって邪魔な宇宙線をおとしてやったり、熱振動が問題になるのなら10Kにまで温度を落とすことで熱振動を抑えたり、ほこりを入れないようにするためにクリーンルームの設備を厳重にしてやったりなど、きちんとしたノイズ対策があるからこそ世界に通用する結果がでるのだらうと思いました。

課題 2

実験の改善方法ですがミュー粒子がシンチレータに落とすエネルギーがノイズと混ざらないように10mm程度の厚さをもたせてやることとシンチレータのサイズをもう少し小さくしてやるのが考えられます。接着方法よりもサイズで苦労しているようにも見えましたし坑内に持ち込むときに振動でずれてしまった可能性もあります。今のサイズではクッション材で囲むことも難しいので接着面に振動があつてずれていても方法がないので仕方ないと思われます。あとは資料を事前に配布しておいて読む時間を作る必要があると思います。帰ってきてからでは慣れない場所での講義などで疲れがでておりなかなか読み切るまでの時間は得られませんでした。今回は決まってから間がなかったせいだと思いますので次回からは改善できると思います。

神岡実習レポート

学籍番号: 41417122

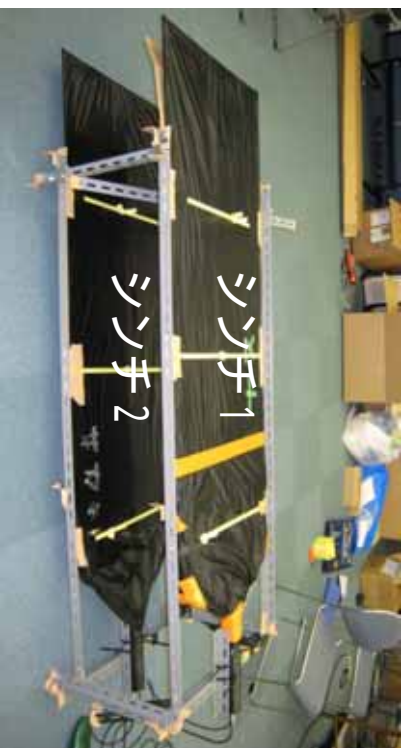
池田一得

1. 実習を通して学んだこと

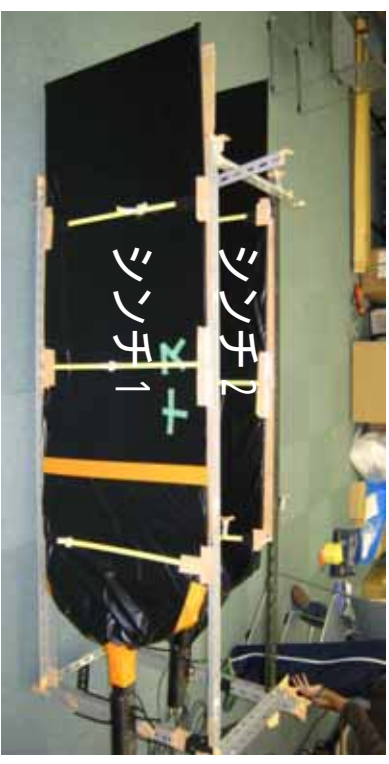
- 初日に重力波、カムラント、Xmassの実験を見学したが、どの実験でも、バックグラウンドをよく理解し自分たちの実験で求められているレベルまで落とすための工夫と、検出器を最高の状態で保つための努力がいろいろなところで見られた。自分の検出器に対する自信や愛情があるからこそそのような努力ができるのだということも、お話を聞いてよく伝わってきて、とてもよい刺激になった。
- 実験は、梱包を解くところから始まり、自分たちで協力しあいながらなんとかデータを取るところまでいけたのがとてもうれしかった。シンチレータをライトガイドに接着する方法、スライヤーを巻く方法など、どれをとってもやり方は一つではないということは工夫の仕方も自分次第だということでもやりがいがあったが、一方で一つ間違えれば自分の思うような結果が得られないという難しさもあり、作業を慎重におこない一つ一つ納得しながら進めていくことの大切さを改めて学んだ。

2. 実験結果

セットアップ	研究棟 上向き	研究棟 横向き	坑内	坑道
シンチ1	462 Hz	444 Hz	251 Hz	191 Hz
シンチ2	224 Hz	220 Hz	191 Hz	144 Hz
コインシデンス	21.0 Hz	6.17 Hz	1.64 Hz	0.508 Hz



上向き



横向き

2.1 実験結果から

> 研究棟で測定した上向きと横向きのデータから上方向から飛んでくる宇宙線の数が多いことを確認した。環境バックグラウンドはどちらも同じレベルであるとする、この差はもともとの宇宙線の角度分布と研究棟のある地形によるものであると考えられるが定量的な議論はできなかった。

> 研究棟の結果は、各PMTのシングルカウントより
($20\text{ns} \times 462\text{Hz} \times 220\text{Hz} = 0.0021$)、アクシデンタルコイン
シデンスでないと考えられ、ひとまず全て宇宙線によるものと考えると、坑道と研究棟では相対的に坑道のほうが宇宙線の量が約40分の1程度であることがわかった。地上でのフラックスは資料より $0.8 \times 10^{-2} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}$ であるので、坑道のフラックスは $2 \times 10^{-4} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}$ 程度であるとすると数100m w.e であるの見積もりができた。

2.1 のつづき

> 坑内での測定でコイソジデンスの数が多いが、中性子線源であるCf²⁵²が近くにあったことの影響を考える。この線源は今年の3月1日で3.7MBqであったので、12月6日の時点で3.03MBqと計算でき、自発核分裂の割合が3.09%、中性子放出数は3.79n/fission より、中性子強度は

$$3.03 \times 0.0309 \times 3.79 = 0.355 \text{ M n/sec}$$

である。正確な位置関係がわかっていないので、立体角として2つのシンチが覆う割合は各1%で計算することにする。20nsec の間にアクシデンタルに中性子が2つのシンチに入る確率は、

$$20 \text{ nsec} \times (0.36 \text{ M n/sec} \times 0.01)^2 = 0.3/\text{sec}$$

となるが、さらに1つの中性子が片方のシンチの表面で陽子を飛ばしてその陽子がもう片方のシンチに入ってコイソジデンスの信号を作ることもありうるので、Cfが近くにあったことでの上の実験結果を説明できることがわかった。

2.2 デイスクリカーブについて

図1. 横軸はCH1のデイスクリミネータ閾値、黒はCH1のシングルカウント、青はCH1とCH2のコインシデンスカウント。青からわかるように、今回のセットアップはシグナルが環境バックグラウンドに埋もれているので(宇宙線は0.5cmのシンチで1MeVのエネルギーを落とすが、例えばK40の1.3MeVの電子と区別がつかない)なかなかプラトーが見えない。そこでオシロを見ながらダークシグナルを拾わないで、かつコインシデンスの数も少なすぎない60mVを閾値として設定した。

図2. はSN比を調べるために、シグナルをコインシデンスカウント、BGを(シングルカウント-コインシデンスカウント)とし、縦軸にシグナル/BGをプロットしてみた。これより、閾値が60mVでSN比が最大となり、今回設定した閾値(-60mV)が妥当であったことを確認した。

図1. スケーラーの値

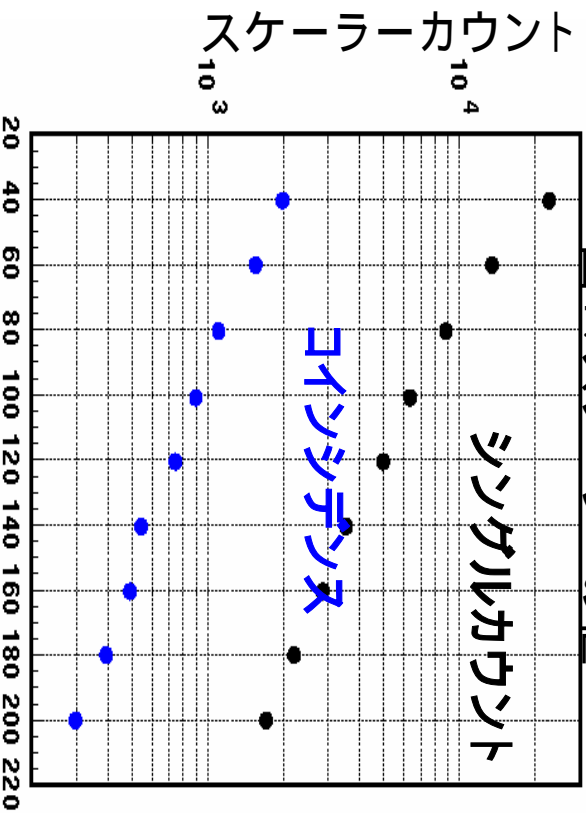
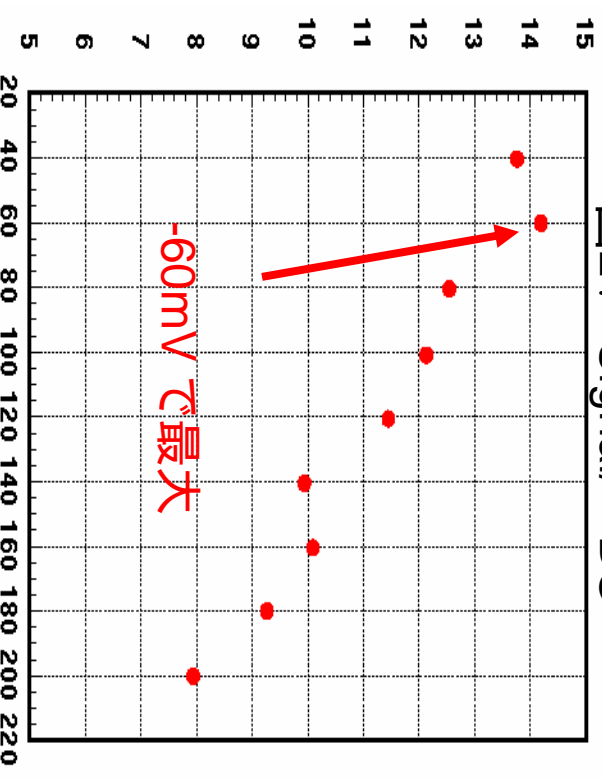


図2. Signal/ BG

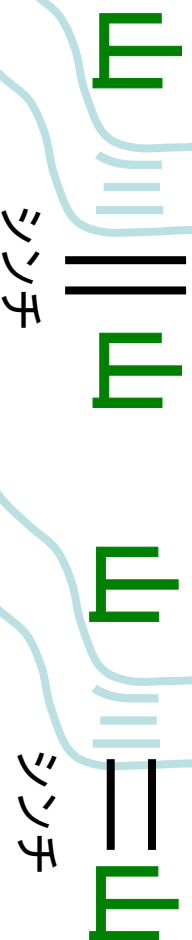


デイスクリ閾値[mV]

デイスクリ閾値[mV]

2.3 今後の課題について

- 一つ目は環境バックグラウンドを少なくすることで、そのためには、シンチを床から離すことが手っ取り早く、今回の装置を机の上において測定をして見たいと思う。さらにシンチの距離をもっと離すことも考えられる。ADCで実際にエネルギーを見るものバックグラウンドとの識別という意味で面白いかもしれない。お金があればもっと分厚いシンチを使ったり、3枚にすることも考えられる。
- 方向依存性については少なくとも以下の2方向の測定をしないと山の影響を調べることができないと思った。
- さらに角度を思うように変えることができるようなシンチの台を作ることも可能であると思う。



a) 今回のセットアップ

b) もう一方のセットアップ