

Vietnam School on Neutrinos 2024 参加体験記

京都大学

佐々木 駿斗・林 洸樹

sasaki.hayato.65s@st.kyoto-u.ac.jp・hayashi.koki.78e@st.kyoto-u.ac.jp

神戸大学

曾根 貴将・和田 伸一郎

tsone@stu.kobe-u.ac.jp・swada@stu.kobe-u.ac.jp

2024年(令和6年)9月2日

1 概要

2024年7月16日から7月26日までベトナムの Quy Nhon, International Centre for Interdisciplinary Science and Education (ICISE) にて行われた Vietnam School on Neutrino に参加させていただいた。日本とベトナムのニュートリノ研究者が協力して開催する本スクールは今回で8度目を迎え、現地のベトナム人参加者に加え、日本や台湾、インドなど各地から集まった物理学を学ぶ学生が交流し、講義や実習に励んだ。日本からは5名の高エネルギー物理学を専攻する学生が参加し、単にニュートリノの知識や実験スキルを磨くだけでなく、英語での講義やコミュニケーション、異文化交流を通して新たな知見を得る大変有意義な機会となったと感じている。

本スクールは主に講義、トレーニング(ソフトウェア・ハードウェア)、ミニプロジェクトのパートから構成されていた。各パートの執筆を以下のように担当した。

- 佐々木：概要，講義，ベトナムでの生活
- 林：ミニプロジェクト
- 曾根：ソフトウェアトレーニング
- 和田：ハードウェアトレーニング，謝辞

スクール序盤に参加者は ν_e , ν_μ , ν_τ , ν_s の4つのグループに分けられ、トレーニングやミニプロジェクトにはそのグループで取り組んだ。

2 講義

スクールの午前中には主に講義が行われた。講師陣の顔ぶれは非常に多様であり、スクールの organizer であ

る日本の研究者や Son Cao 氏の他にも、いかにも「熱血講師」という強烈な印象を残してくれた Bhubaneswar 物理学研究所 Sanjib Kumar Agarwalla 氏、リモートでも高度な議論を披露していただいた Erlangen 宇宙素粒子物理学センター Alba Domi 氏など、世界中のたくさんの研究者による講義を受けることができた。

講義の内容は理論から検出器まで多岐に亘った。スクールの序盤は標準模型やニュートリノ振動についての基礎的な講義で復習に近い感覚であったが、後半になるにつれ高度な理論トピックや宇宙論に絡んだ内容などが展開されていき、英語によるそれらの説明を聞き取り理解することは大変ではあったがよい経験となった。一連のカミオカンデ実験に関する講義では、ニュートリノ振動提唱当時の実験家達の苦悩の一端を垣間見ることができ、単なる知識の授受に留まらず、「実験現場で活動すること」「学問分野の過渡期に立ち会うこと」とは何かが伝わってきた。上海交通大学 Junting Huang 氏には私が参加する AXEL 実験に密接に関わる講義を行なっていただき、世界中の実験の現状を知ることができた。総じて、ニュートリノを中心に高エネルギー物理学全体の話題を広くカバーする10日間に亘る素晴らしい講義の数々であった。

講義中は学生からの質問も活発に行われ、講師との議論を深めていた。特にスクールの後半になっても集中力を持続し、積極的に質問する台湾の学生の姿が印象的だった。私を含む日本人学生も、英語で自分の疑問を的確に伝えることは簡単ではなかっただろうが、失敗を恐れずもっと積極的に質問できるとよかったと振り返って感じる。

講義の後には、あまり素粒子物理学に明るくない学部生のベトナム人参加者に対して、標準模型や対称性について説明する機会があった。日本語でも前提知識が少ない相手に分かりやすい説明をすることは容易ではない

が、それを英語で行うことはおよそ初めてと言ってもよい体験であった。資料を受動的に読む・聞く、時間をかけて書くだけでは感じられない、「相手が何を言いたいのか、相手に分かるように伝えるにはどうする必要があるか」ということを意識する中で、「学習科目」としての英語ではなく「コミュニケーションツール」としての英語を体感することができた。

日本以外からのスクールへの参加者は理論を専攻している学生が多く、ニュートリノ実験の歴史や現状を伝える今回の講義によって新たに実験研究に興味を抱いた学生も多かったようである。改めて講師の方々に感謝の意を表したい。

3 ソフトウェアトレーニング

3.1 概要

ソフトウェアトレーニングは大きく以下の2回に分けて実施された。

1. アイスキャンによるニュートリノ事象選別
2. NEUT を用いたニュートリノ事象のシミュレーション

このトレーニングは2015年にノーベル物理学賞を受賞された梶田隆章氏が実際に使用していた計算機を使って行われた。我々学生は実際に現場で運用されている解析やシミュレーションの一端を体験することができた。以下では上記2つの講義の内容に即して詳しく述べていく。

3.2 ニュートリノ事象選別

この講義では東京大学宇宙線研究所の三浦真氏に指導をいただいた。講義をスムーズに進めるために事前にソフトウェアの導入が推奨されていた。普段から神岡の計算機を利用している参加者はもちろん、コンピュータの扱いに慣れている参加者は事前に準備が整っており特に問題はなかった。しかし、実際には理論専攻の参加者が多く、コンピュータの扱いに不慣れでこの時点で苦戦している参加者が散見された。私のグループでは結局、実装に成功したコンピュータの前に一堂に介してトレーニングを行った。

トレーニングの内容はランダムに表示されるニュートリノイベントディスプレイを観察し、それが電子事象かミュオン事象なのかを判別するというものであった。実際にはトレーニングと言うほど堅苦しいものではなく、レクリエーションに近く皆楽しくやっていたように思えた。最後に20個の事象を選別してその正答率をグ

ループ毎に競うということもした。正答率の高いグループから順に景品が用意されており、私のグループは同率一位だったためポスターカードをいただいた(図1)。

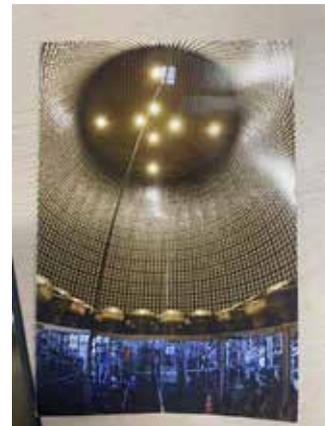


図1: 景品のポスターカード。

3.3 NEUT シミュレーション

京都大学の Tran Van Ngoc 氏が担当されたトレーニングでは、「NEUT」の導入と運用方法について学習した。「NEUT」は、核子崩壊探索におけるニュートリノバックグラウンドを予測するためにSK独自に開発されたシミュレーションプログラムパッケージである。

この講義では、シェルスクリプトの実行や実際にコードを書き換えてROOTファイルを作成したりとより実用的なトレーニングを行った。Linux上での作業やC++のコーディングに不慣れな人にとっては中々難しい内容ではあったが、Ngoc氏をはじめ地元の大学院生の方が適宜サポートしてくれたためその点は非常に良かった。

4 ハードウェアトレーニング

ハードウェアトレーニングでは、宇宙線ミュオン検出の方法について、3回に分けてグループごとに学習した。

プラスチックシンチレータ4枚を鉛直方向に重ね、荷電粒子が通過した際に発生した光を波長変換ファイバーを介してMPPCで検出し、その信号をオシロスコープで観測した(図2)。また、事前にオシロスコープの閾値を変更することで1光子分の波高(mV)を把握しておくことで、ミュオンのエネルギー損失(2 MeV/cm)に対応する閾値を決め、4枚のシンチレータのうち3枚のコインシデンスを取ることで宇宙線ミュオンの信号をオシロスコープで観測した。

ハードウェアトレーニングはソフトウェアトレーニング同様、グループのメンバーと仲が深まる機会だった。



図 2: オシロスコープで見た信号の波形。

オシロスコープ等の実験装置の使い方を若干知っていたこともあり、その使い方をグループの仲間に説明する場面があった。その時にも、どう話せば拙い英語でも伝わるのか試行錯誤し、私の場合は仲間の疑問に対して正面から目を見て身振り手振りを加えることで低い英語力を補いながら、お互いに疑問点をぶつけあう殴り合いのような会話をを行った。結果として、その後のミニプロジェクトでも活発な議論をすることが出来た。大事なのは小手先の文法技術ではなく、相手と会話をしようという強い意志から出る英単語の羅列だと思った（初の海外はそれが精いっぱいだった）。

5 ミニプロジェクト

5.1 概要

講義や様々なトレーニングと並行して、私たちは「ミニプロジェクト」と呼ばれるグループワークに取り組んだ。各グループがリストの中からテーマを選択し、最終日のセッションで活動の成果を発表する。国籍も母語もバラバラの学生が5人で一つの目標に向かって取り組むという体験は、困難の連続でありながら楽しく学びの多いものであった。テーマはニュートリノに関するものが複数用意されており、私達のグループ ν_s は「JUNO 実験がニュートリノ質量順序問題に与える感度および観測期間の関係を計算し、他の振動実験とどのように協力して物理を求めののかを考える」というテーマに取り組んだ。また、他のグループのテーマは以下のように決まった。

- ν_e : ニュートリノ振動実験におけるパラメータ縮退を理解し、その対処法を考える。
- ν_μ : ニュートリノのエネルギー再構成に制限を与えている要素を理解する。
- ν_τ : ニュートリノ振動実験における CP 位相の影響を計算し、「Earth matter effect」の影響を考える。

基本的にホテルへ帰宅してから寝るまでの時間を利用して課題を進めた。ホテル屋上のカフェで Quy Nhon の夜景を眺めながら雑談を交えて進めたり、皆が寝静まった後に一人ホテルのロビーで作業を進めたりといった感じである。プレゼンの日が近くなるとグループでの打ち合わせや個人の作業時間が増えていき、まさにミニプロジェクトへ向けて全力といった雰囲気になった。

5.2 取り組み

私はグループテーマの中でも「JUNO 実験が質量順序問題に与える感度を求める」という部分を中心に取り組んだ。はじめに指導教官の Junting Huang 氏から紹介された論文を読み、JUNO 実験の概要と規模を勉強した。次にコードを C 言語で作成し感度を計算した。

JUNO 検出装置において1年でどれだけの数のニュートリノが検出され、その数がニュートリノの質量順序によってどのように変化するかということを調べる。観測装置の分解能の効果を含めてエネルギー分布を補正し、その違いが統計的にどれだけ有意なものとなるのかを計算した。図3に計算の結果を示す。この二つの分布に統計検定を行いその有意差を求めた。最終的に、7年程度の実験によって 3σ の信頼度で質量順序が決まるという結果を得ることが出来た。

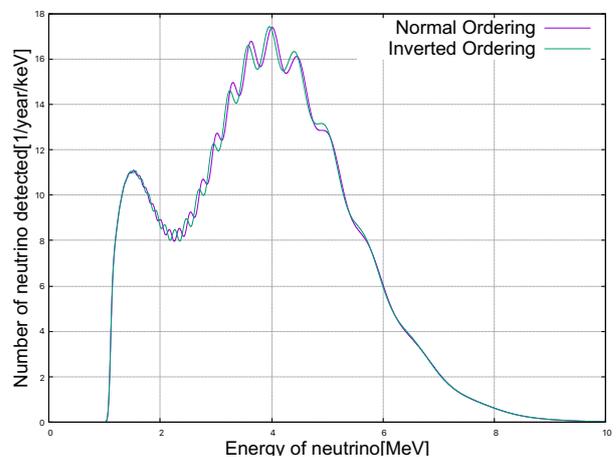


図 3: JUNO 実験1年の観測における、質量順序と期待されるニュートリノ観測数の計算結果。

5.3 発表

最終日は各グループが成果を発表し合う。図4のように、25分のプレゼンの後に質疑応答を行う形式である。私達のグループは最終順であり、各グループの気合いの入った発表を聞くうちに少しずつ緊張していった。いざ始まると不慣れな部分がありながら楽しく終えることができた。質疑応答では自分の担当部分について複数質問



図 4: 著者（林）のプレゼンの様子。

があり、自分の考えを英語で表現し説明するという良い経験になった。

6 ベトナムでの生活

ここからはベトナムでどのように過ごしていたかを伝えていく。

滞在先のホテルはスクール側が手配してくれており、朝食もそこで用意された。部屋はベトナムの学生と相部屋であり、英語でのコミュニケーションに当初は不安があったものの、ルームメイトは私の英語の拙い部分にも真摯に向き合ってくれ、終始親切に接してくれた。彼は日本の食事や建築、アニメなどに造詣が深く、大変話が弾んだ。また、彼には料金の安い洗濯屋を手配してもらったり私が体調を崩した際に薬を分けてくれたりと様々な面で助けられた。

スクールが行われた ICISE は自然に囲まれた美しい景観の場所にあった（図 5）。昼食と夕食はここで提供され、食事の度に様々なベトナム料理を楽しむことができた。ICISE のすぐ近くにはビーチがあり（図 6）、休憩時間によく訪れた。また、海水浴を楽しむ学生もいた。他にも、ICISE の敷地内にはノーベル賞受賞者の名前の書かれた碑があったり、放し飼いにされる犬、鶏がいたり、歩き回るだけでも楽しい場所であった。

休日や遠足の日にはベトナム観光をすることができた。博物館や史跡、夜市などを見てまわり、現地の飲食店での食事を楽しめた。ベトナム人学生 10 名程とともに街を歩き、建物や交通などについて会話し、記念写真（図 7）を撮った。

謝辞

Son 氏を始め、Vientam School on Neutrino に関係する多くの方々のサポートのおかげで、いくつか問題は発生しながらも大変有意義な時間を過ごすことが出来ました。英語どころか日本語もおぼつかない時がある日本人集団でしたが、聞き取りやすい英語でコミュニケーションを図ろうとくださった講師の方々や他国の学生の行動は嬉しく、不安でいっぱい心がとても軽くなりました。ニュートリノで国を繋いでいくこの素晴らしいスクールが、今後 10 年 20 年とニュートリノ研究の発展とともに続いていくことを心から願っています。改めて、関係者の皆様に感謝申し上げます。



図 5: ICISE の風景。



図 6: ICISE 近くのビーチ。



図 7: 現地学生との記念写真。筆者（佐々木）は上側左から 2 番目。