

物理学フィールドワーク実施報告

—スーパーカミオカンデとカムランドの見学—

理科（物理） 朝 倉 彬

1. はじめに

行の高等学校学習指導要領では、「原子」の大項目があり、旧学習指導要領では原子分野が選択履修分野の1つから現行では必修の取り扱いとなった。この原子分野は、現代物理学に位置付けられている量子力学や素粒子物理学、相対論、宇宙論の入り口になっている。様々な興味深い現象や、比較的新しい分野のため身近に感じられる・資料が多く残存している科学史としてもこの分野を学ぶ意義は大きい。

しかしながら、初めて学ぶ生徒からすると、今までの古典物理学を礎にすることや、可視化しにくく「…仮説」「…論」など理論が少しばかり先行している分野のため「食わず嫌い」になる傾向がある。また、最新の研究成果や研究が遂行中の内容もあり、今まで「このように考えてこの公式を得た」のような形態で話が進まない点が、物理履修者にとって面食らう事態を引き起こすようだ（本当は、この点が一番面白いと感じて欲しい）。

一方、現代物理学分野の実験的検証は、近年非常に功績が目覚ましい状況である。以前唱えられていた説に対して、大型実験設備を用いて詳細にデータを習得し解析を進めることで理論研究の裏付けを行ってきている。また、今まで観測できずにいた現象も大型実験設備で可能にし、このような裏付けや観測による日本人ノーベル物理学賞の受賞を導いている。

本稿では、本校3年生の物理選択者を対象とし、8月26日に実施したスーパーカミオカンデとカムランドの見学と、その後の「発信活動」も含め、全体を通して「物理学フィールドワーク」として報告する。

2. 事前準備

2.1. 「物理学フィールドワーク」グループ発足

6月の本校理科教科会にて、現在の学習内容の課題等について簡単に話合う場面があり、著者の「スーパーカミオカンデのような施設が見学できたら原子分野などの取り組み方も変わるのではないか」という発問から始まった。ちょうどその頃、奈良女子大学・お茶の水女子大学理系女性教育開発共同機構が2015年度に設置され、同機構より附属学校園への予算的支援事業の通知をいただいた。この通知を受け、本校理数教育推進委員会より「物理学フィールドワーク」として予算申請を行った。書面およびヒアリング審査を経て「支援妥当」の許可を得た。

機構より支援していただくことにより低負担で生徒に呼びかけることが可能になった。このため、本来なら受験勉強に集中するためこのような企画に参加しづらい3年生・

物理選択者に限定して参加を呼びかけることにした。7月中旬に呼びかけて8月下旬の実施という応募期間が非常に短期間かつ急な募集にも関わらず物理選択者28名中18名の参加希望があった。中には「非常に興味があるが、やはり大事な時期であるので」と連絡をくれる不参加の生徒もいた。

2.2. 生徒の事前学習

生徒の事前学習として、教科書の「原子」分野と関連書籍の通読を課した。本校で現在使用している教科書¹では「資料学習」として高エネルギー加速器研究機構(KEK)、「参考」としてスーパーカミオカンデ、東海村から神岡へのニュートリノ振動実験(T2K)などがそれぞれ1ページずつ紹介されている。他の教科書²でも「Column」としてカムランドの実験施設が紹介されており、教科書の通読は非常に良い事前学習になる。さらに、授業ではまだ取り扱っていない分野であるため今後の授業の予習の意味も大いにある。生徒は実際に見学に行くことになるときちんと読み、その分野の質問をしたり、見学前日の宿舎でも友人と一緒に学習したりするなど積極的に事前学習に取り組んでいた。後述のアンケートからもこの事が見受けられる。

2.3. 見学等の準備

企画側の準備としては、「見学の手配」と「行程の設定」になる。

見学の手配は、飛騨地域に点在する最先端科学研究施設の見学をされるSSH指定校等のサポートをしている団体の「宇宙まるごと創生塾飛騨アカデミー」の支援をいただいた。カミオカンデ等は、神岡市茂住地区の旧炭坑内に設置されているため、施設までは低公害バスの入坑のみが認められている。そのようなバスの手配や、見学施設を管理している東京大学・東北大学、旧炭坑を管理している管理会社のスケジュールの確認と日程の調整・確定、講義者の依頼など一括して行っていただいた。また、入坑するにあたり必要な書類等のやり取りも行っていただき、見学等を申請する側にとってスムーズに手配ができた。このような窓口があるため、スーパーカミオカンデ等の飛騨地域にある研究施設は、毎年20校ほどのSSH指定校や関連団体の見学を受け入れている。

行程に関しては表1のように設定した。参加者が受験生であることを鑑み、できるだけ時間的制約が少ないスケジュールにした。そのため、夕方に集合し富山まで移動し、富山市内で前泊をして翌日の朝に神岡へ向かうことにした。富山までは2015年3月に開業した北陸新幹線を利用するとわずか2時間ほどで到着できる。富山からは車で約1時間の移動なので、講義・見学をして夕方には富山へ戻り、夜には帰京することができる。夏休み中であり、新幹線と宿舎の手配は少々難航したが、無事にほぼ希望通りの行程が組むことができた。

1 高城堅志郎・植松恒夫ほか『物理』啓林館(平成24年3月検定済)

2 國友正和ほか『物理』数研出版(平成24年3月検定済)

3. フィールドワーク当日

3.1. 当日の概況

フィールドワーク前日は、台風 15 号が九州地方に上陸し、関東地方も交通事情の悪化も懸念されたが特に大きな混乱もなく全員が定刻通りに集合できた。移動は新幹線のみのため特に問題もなく宿泊地に到着した。

フィールドワーク当日は、飛騨アカデミーの計らいにより宿舎までチャーターバスを回送していただき、公共交通機関を使用するより安価な条件で直接研究施設まで向かうことができた。研究施設へ向う道路の眼下には神通川が流れていて、公害問題が生じた地域だと再認識した生徒も多いようだった。

東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設(図 1)に到着後は、表 2 のスケジュールのように進行した。施設のセミナー室にて東京大学の池田一得先生、および東北大学の中村健悟先生から素粒子やニュートリノの基本的な知識から研究施設(スーパーカミオカンデ、カムランド)の概要、研究内容や成果等についてそれぞれ講義を行っていただいた(図 2)。実際の研究内容など、書籍等で読んだことがあってもなかなか難しい点もあるが、このように第一線で研究活動をされている研究者が高校生向けに講義をする内容は、非常に理解しやすく、かつ誤解がないように丁寧に説明してくれる。「ニュートリノ振動」や「二重 β 崩壊」などのキーワードは講義中度々登場し、秀でた研究成果や現在進行中の研究での問題点など、研究している人だからこそわかる「すごさ」や「大変さ」を少しながら共有できた部分があった。生徒たちも教科書の内容と重複する事柄から講義内容が進められたため聞きやすく、講義途中も質問などをして積極的に受講していた。講義後には、同施設の広報を担当している武長祐美子博士より短時間であったが自身の大学受験等の経験や現在に至るまでの進路選択などをお話していただいた。生徒にとっては、非常に有意義な時間であったことは間違いない。

同施設のセミナー室も生徒にとっては物珍しい場所であっただろう。たくさんの数式が書かれていたホワイトボード、遠隔地とつながることができる TV 会議システム、実物の光電子増倍管などがあり、すでに「最新の研究が行われている空間」に訪れた感覚になったと思う。

昼食をとり、午後からはいよいよ研究施設の見学である。講義をしていただいた施設からバスで 10 分程度のところに坑口(図 3)がり、ここで保安員の方と合流しヘルメットを装着したのち、さらにバスで約 2km ほぼ直進の坑道(図 4)を通ったところに大型水チェレンコフ宇宙素粒子装置(スーパーカミオカンデ)がある。ここでも研究者 1 名が説明役(図 5)として、コントロールルーム(図 6)、超純水発生装置、タンク上部(図 7)などを説明していただいた。もちろん、光電子増倍管が並んでいるタンク内部は見学できないものの、タンク上部に立ち、ほんの少しの光も遮蔽するための黒幕や、光電子増倍管の校正用装置などを見ると実感する。ここでも案内役の研究者と生徒との活発な質疑応答があり、その 1 つ 1 つに丁寧に答えていただいた。

《スケジュール》

8/25 (火)

- 18:00 大宮駅「まめの木」集合
- 18:30 大宮駅発 はくたか 573 号
- 20:31 富山駅着 ここから徒歩 7 分ほどでホテル
- 20:45 ホテル着 (各部屋 2 名ずつになります)
【各自就寝準備などして、早めに就寝してください】

8/26 (水)

- 06:15 起床
- 06:45 朝食 (場所は現地で指示します)
- 07:40 ホテル玄関前集合
- 07:45 専用バスにて神岡へ (約 1 時間程度かかります)
- 08:45 茂住除雪センター駐車場着→東京大学宇宙線研究所へ
- 09:00 講義 (東京大学 90 分+東北大学 90 分)
- 12:10 昼食 (隣の公民館「夢館」でお弁当)
(見学準備, お手洗い等を済ませて集合)
- 12:50 茂住除雪センター駐車場→バスで跡津坑口へ
- 13:10 2 班に分かれて SK, KamLand 見学
- 15:30 見学終了, 富山駅へ (1 時間程度かかります)
- 16:30 富山駅着 … 自由行動
- 17:40 再集合, 新幹線ホームへ
- 17:59 富山駅発 はくたか 574 号
- 20:26 大宮駅着 - 解散「気をつけて帰ってください!」

表 1 物理フィールドワーク行程表

お茶の水女子大学付属高校(8/26)の詳細スケジュール

参加人数：21名(生徒18名、引率3名)

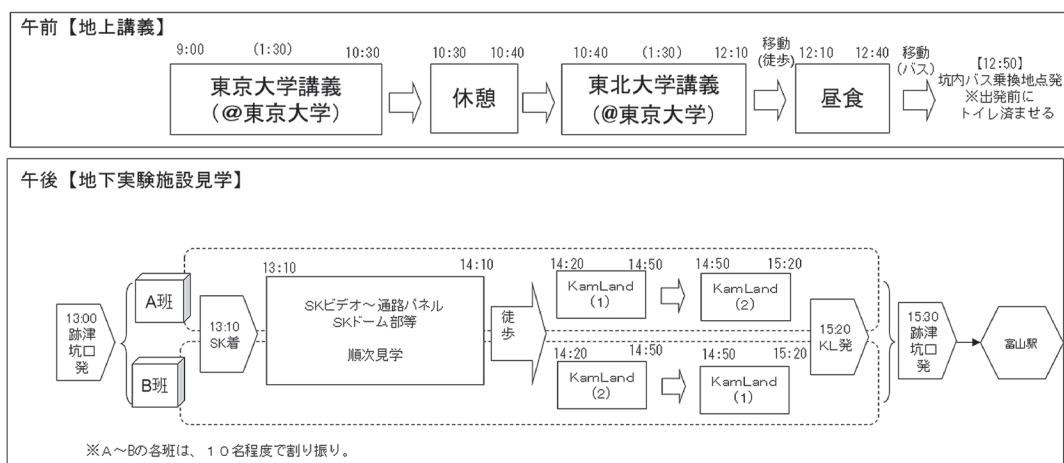


表 2 講義・見学スケジュール



図 1 セミナー棟の入口



図 2 セミナー室での講義のようす



図 3 跡津坑口



図 4 コントロールルーム前から坑口を見る



図5 研究員の説明



図6 コントロールルーム



図7 タンク上部

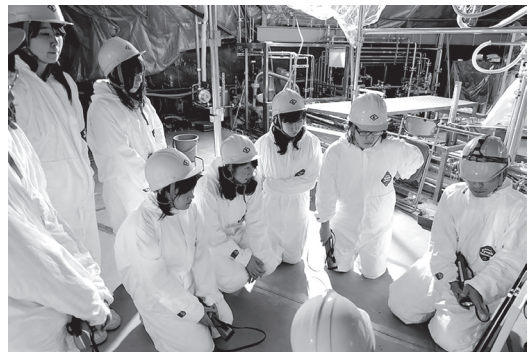


図8 カムランドーム上部で説明を聞く

次に、東北大学ニュートリノ研究センター神岡液体シンチレーター反ニュートリノ検出器（カムランド）の見学も行った。こちらは2グループに分かれ、それぞれに研究者1名が説明役として同行していただいた。カムランドは旧カミオカンデが設置されていた場所にあり、こちらにもニュートリノ検出装置である。装置自体はスーパーカミオカンデと比較すると小さく感じるが、純水ではなく液体シンチレーターを用いたニュートリノ検出をしており、より低いエネルギーを観測できる装置である。また、キセノン溶解液体シンチレーターを用いた二重 β 崩壊事象の観測も進めている。今回の見学でカミオカンデの跡地でこのような研究が進められていることを初めて知ることとなった。カムランドにおいては、ドームエリア（図8）、コントロールルーム、純化装置室などを見学することができた。こちらは10名ほどのグループで行動していたため、質問も気軽にでき、施設内の移動中も研究者の方と常に誰かが話しているような状況であった。

2時間以上に及んだ坑内にある研究施設の見学を終え、坑道の入口に戻ってきた時は、名残り惜しい気持ちもある反面、光が遮断され、非常に静かで暗く低い気温である坑内の異様な空間から無事に「帰還」した安堵感も同時に味わえた。

3.2. 見学直後のアンケート

帰りの新幹線の中でアンケートを配布し後日回収した。「3年で物理を選択した理由」

「今回のフィールドワークに参加して、印象的だったこと」「今回のフィールドワークに参加して、自分にどのような変化があったか」の3点について以下に列挙する。

- 3年で物理を選択した理由 () 内数字は複数人回答数 (以下同様)
 - ・受験科目として必要だったから。(9)
 - ・物理を学ぶことで、世の中の原理を学ぶことができると思ったから。
 - ・物体を観察し、推測し、それを実験で確かめられる過程に面白味を感じたから。
 - ・生物は大学に入学したら勉強できるので、高校で物理を勉強しようと思った。(2)
 - ・志望学部がはっきり決まらなかったから選択肢の多い物理にした。
 - ・自力では勉強できないと思ったから。
 - ・生物が苦手だったから、生物より易しいと思ったから。(2)
 - ・単位のため。
 - ・大学で単位を落とすたくないために、基本的なことは身につけたかったから。
 - ・理科4科の中で一番苦手で、わかれば楽しいのに苦手なまま卒業したくなかったから。
 - ・物理が好きだから。(2)
- 今回のフィールドワークに参加して、印象的だったこと
 - ・思っていたよりも、はるかにスケールの大きい施設だったこと。(2)
 - ・こんなに大きい施設で、ニュートリノというとても小さいものを研究しているのはなんて面白いのだろうと思った。
 - ・スーパーカミオカンデの施設の内部見学。(4)
 - ・予習をしている段階では、そのスケールの大きさを理解するのが難しかったが、実際に自分の目で見て、わからないことを質問することで理解が深められた。(2)
 - ・世界最大級のニュートリノ研究が日本でされていること。
 - ・純水のタンクを用いて観測が行われていること。
 - ・地元(つくば)の研究所とつながりがあったこと。
 - ・素粒子などに詳しくない私は他人事だったが、実際の研究の場で、大きい規模で研究し続けている方達を見て、いつ発見できるかわからないことに人生かけている姿勢がすごい。
 - ・原子物理というと、ミクロの世界のように感じるけど、実際には私たちが想像もできないようなマクロな世界の解明を担っていると知ったこと。
 - ・実際に宇宙からの信号をモニターで見たこと。
 - ・研究員の方に一つ一つ丁寧に説明をしていただきながら見学できたことは非常に貴重な経験になりました。(3)
 - ・素粒子やニュートリノについて、今まで難しそうだと思っていましたが、今回このフィールドワークをきっかけにまず自分で学び、その後講義を受け、実際に目で見るといのように理解を深めることができました。
 - ・研究員のみなさんが楽しそうだったこと、研究に誇りを持っていると感じたこ

と。(2)

- ・ 研究員の方がたくさんの時間をかけて、毎日研究していること。
- 今回のフィールドワークに参加して、自分にどのような変化があったか
 - ・ なんとなく聞いていたニュートリノが身近なものになった。
 - ・ 今までよくわからなかったニュートリノについての知識が深まった。
 - ・ 物理にさらに興味が持てた。
 - ・ 物理に対するモチベーションが上がった。
 - ・ 研究は一見地味だけど、研究している方たちがキラキラしていて、好きなことを研究できるのはいいなと思った。私もそうなりたと思った。
 - ・ 研究がかっこいい！
 - ・ 私が学びたい「化学工学」に少し近い分野のことを詳しく知れて良かった。1年のときにKEKを訪問していたので、つながりが見えてとても面白かった。
 - ・ 未発見のことを真摯に探究している姿に感銘を受け、自分もそうなりたと思うようになった。
 - ・ 様々な分野に興味を持ち、積極的に学びたいと思うようになりました。
 - ・ 今まで宇宙にはあまり興味を抱かなかつたけれど、講義や見学を通じて宇宙解明に人生を捧げる人がいることを知って、その神秘的かつ偉大な雰囲気を感じることができた。
 - ・ 自分の好きなことを仕事にして、一生懸命に研究する方達を見て、これから辛いことがあるだろうけど、夢を簡単に諦めずになりたいと思った。
 - ・ 素粒子と宇宙の関係が全然ないと思っていたが、実は密接であったということ。
 - ・ 富山（岐阜）に対してのイメージ。
 - ・ 物理的思考が広がった気がする。
 - ・ ミクロの世界まで少し意識することができた。
 - ・ 今までは、原子物理という分野が世の中でどのように応用され、役立っているのかよく分からなかったが、物理学フィールドワークを通じてこの分野に興味を持ち始め、もっと追求したいと思った。
 - ・ 自分の中で、これからの将来進む道の選択肢が1つ増えました。研究もいいなと思いました。

4. フィールドワーク後の活動

4.1. 文化祭でのポスター発表

フィールドワーク実施後の約3週間後に本校の文化祭にてポスター発表を行った(図9)。ポスターは、参加生徒全員による「1人1テーマ」で今回の物理学フィールドワークを振り返ってもらったものと、代表者によるスーパーカミオカンデとカムランドの概要説明の2点作成した。

生徒全員に作成してもらったポスターは、「自身の興味関心が高く、現地に行かないと味わえないもの」という題材で、400～500字＋写真の構成でテーマが重複しな

いように調整の上作成した。生徒らを取り上げたテーマの例としては「光電子増倍管」「10000本のケーブル」「ガスボンベの中身」「ニュートリノ検出に重要な水!」「カムランド潜入!」「ハイパーカミオカンデ計画」「ニュートリノ測定原理」という見学した際に説明していただいたものや、「カミオカンデがある場所」「山の中にあるカミオカンデ」「飛騨の気候」「北陸新幹線」等の研究施設の立地に関する事項、「自分のやりたい事に一生懸命」「優しい東北大学の先生」と説明をしてくれた先生のインタビューと多岐に渡った。

代表生徒が作成したスーパーカミオカンデとカムランドの概要説明のポスターは、素粒子、研究施設、現在行われている研究についてそれぞれ記載している。現地の研究者に直接話を伺っているため、施設の説明だけではなく最先端の研究成果に触れられている点や、この研究がいかに行われているかなどの視点も組み込まれているため、パンフレットなどの説明とは一味違う仕上がりになった。

4.2. 附属中学校での発表

上記のポスター発表等を見聞きいただいた附属中学校の先生のご好意により、1月に中学校3年の希望者に向けて「高校生から学ぶスーパーカミオカンデとニュートリノ」というテーマで2時間ほどの座談会（授業）を実施した（図10）。この座談会は、中学3年の「セレクト講座」の時間に行われ、生徒自身の興味・関心が高い教科・科目の授業を受講する形式の時間中に行った。座談会には中学生7名（男子4名、女子3名）、中学教員1名、フィールドワークに参加した高校生3名と理系女性教育開発共同機構より2名の見学者で実施した。始めに自己紹介などをしながらスーパーカミオカンデやニュートリノの概要を伝え、文化祭で作成したポスターを用いて高校生らがフィールドワークの内容を中学生の質疑応答に答えながら進めるという非常にアットホームな会となった。

中学生からするとスーパーカミオカンデの研究内容は「難しい」と捉えられたようで希望者は少なかった。しかし、少人数であったためにさまざまな質問があり、それに高校生が答える形式をとったため中学生は非常に満足度が高い授業になった。



図9 文化祭でのポスター発表



図10 附属中での座談会

以下に座談会に参加してくれた生徒の感想の一部を掲載する。

- ・貴重なお話しをして下さりありがとうございました。僕はカミオカンデは都会のど真ん中にあるかと思っていたけれど山奥のしかも地上から1 km 下にあると聞きとても驚きました。その他にも値段の高さに僕はとても衝撃を受けました。
- ・ニュートリノについて今までニュースで軽く聞いたことあるぐらいだったので、今回、分かりやすい説明をしていただいたので、多少理解できたかと思えます。カミオカンデの設備などを見て、とてもお金がかかっていることが分かりました。これからも色々な新しい発見をしていまだ解明されていないことも解明して行ってほしいと思えます。
- ・ニュートリノとカミオカンデといったものはニュースや新聞でちょっと聴いたり ちょっと見たりと言うくらいでした。なので今回はほとんど0からのスタートということで 本当にたくさんの事を学ぶことができました。ニュートリノとは一体なんなのか、なぜそれを見つけ、質量を測れたのがすごいのかなどが学べて頭が良くなった気がします。特に興味を持ったのがスーパーカミオカンデで、ニュースで見たものが実はとても巨大なサイズで中に水が入っているということも初耳ですごく興味が持てました。いずれできるハイパーカミオカンデでは2倍のサイズ×2個という大規模なものですが、これからどうなるか気になります！！
- ・ニュートリノの説明からとても難しく、説明を理解することだけで、いっぱいいっぱいになってしまいました。特に、中学校では、原子には「陽子と中性子と電子がある」というところまでしか学習しなかったの、とてもパニックになってしまいました。しかし、カミオカンデの話になると、だんだんと面白くなってきて、ニュートリノの性質を少しは理解できたと思えます。なぜ山に作ったのかなど、ニュースになったところから疑問に思っていたことが、解決できて良かったです。
- ・私はもともと社会科に行く予定だったところ、直前に理科に変えました。今では本当に、理科に変えてよかったと思っています。ニュートリノやカミオカンデの仕組みなどは、とても難しく、なかなか理解できなかったのですが、理科の学習の中で、こんなに興味をそそられたのは初めてでした。まだ謎だらけの「ニュートリノ」について、もっと知りたい、と思いました。私が一番印象に残っているのは、カミオカンデのニュートリノの検出方法です。まず、見えないニュートリノを水中の電子と衝突させることで、観測できるようにしよう、というアイデアが、独創的で、すごいと思いました。見えないものをどうしても知りたいという研究者の底力を感じました。カミオカンデの検出方法とは対照的なカムランドの検出方法に、胸を打たれました。目指している目的地は同じ「ニュートリノ」でも、まったく違った視点からのアプローチは、とても興味深いと思いました。ニュートリノの観測としては、カミオカンデの方法の方が、効率が

良いのかもしれません、カムランドの検出方法の方が、よりニュートリノの秘密に迫っていけるのではないかな、と思いました。

5 おわりに

この活動は、本来のフィールドワークとは言えないだろう。しかし、予備調査（事前学習）を行い、実際に現地へ行き関係者（研究者）にインタビューや質疑応答を経て、発信活動をするとともに、物理学の最先端の研究の魅力を伝えるという一連の活動をまとめて「物理学フィールドワーク」と称した。

中学生との座談会は魅力を伝えるという意味では効果的であっただろう。2015年ノーベル物理学賞を梶田教授が受賞したため、メディアでは大きくスーパーカミオカンデなどが取り上げられた。その後に座談会を実施したため「ニュートリノ」などの単語は知っているものの、詳細はよくわからないというのが実態であることが感想から窺える。座談会は、フィールドワークに参加した高校生の説明や思いが、中学生の頭の中の「？」によくフィットし、理解を深めさせると同時に研究者の思いも伝わったことと思う。

今回のフィールドワークは、支援決定後からの募集になったため、十分な事前学習の指導などが行えなかった。しかし、3年生・物理選択者対象としたため、将来、医師や理工系の研究者を目指す生徒が多く積極的に取り組んでくれた。それに応えるように、東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設の研究者およびスタッフの方をはじめとした研究施設関係者の皆様から熱心に説明をしていただいた、改めてお礼を申し上げます。また、支援をしていただいたお茶の水女子大学理系女性教育開発共同機構によって、3年生を対象としてフィールドワークを実施できた。改めてここに感謝の意を表す。