

## ■ 談話室

## 第10回リニアコライダーに関する国際加速器スクール

KEK 加速器研究施設

照 沼 信 浩

nobuhiro.terunuma@kek.jp

2017年1月8日

## 1 はじめに

第10回リニアコライダーに関する国際加速器スクールを12月9日から19日の日程でKEKつくばキャンパスと教育研修所である帝人アカデミー富士（静岡県裾野市）で開催しました。このスクールは2006年に神奈川県葉山町で第1回を開催したのを皮切りに、欧州、アメリカ、アジアの持ち回りで毎年開催してきました。第1回からのすべてのスクールの情報が[1]にまとめられています。

スクールの組織は ICFA Beam Dynamics Panel と Linear Collider Collaboration の下で構成されており、主要な加速器研究機関から推薦されたメンバーによる国際組織委員会(13名)とカリキュラム委員会(12名)、そして開催地の実行委員会からなります。2016年は再び日本での開催となり、KEKが運営を担当しました。

講義はリニアコライダーの基礎から世界最先端の超伝導高周波加速技術開発に至るまで幅広く網羅しており、先端加速器研究開発の道を目指す大学院生など若手研究者には最適のプログラムといえます。また加速器に限らず幅広い分野からの参加を歓迎しており、先端加速器技術の裾野が広がるとともに、リニアコライダー計画の意義が広く理解されていくことを期待しています。

今回のスクールでも、まずオンラインで受講希望者の応募登録を行い、締め切り後、欧州、アメリカ、アジアの地域毎に組織された選考委員会が受講者を決定する、これまでと同じ受講者選考システムを踏襲して学生を選考しました。今回の応募者は146名に達しました。富士山麓での開催ということが効いたのかも知れません。最終的に50名（海外28名、国内22名）が選考されました（図1）。男子38名、女子12名です。国内参加者のうち半数は高エネルギー物理研究室からの参加者でした。日本での開催でもあり、広く大学の研究室に呼びかけたところ、先端加速器技術に興味を持つ多くの学生の参加を得ることができました[2, 3, 4]。

## 2 スクールの内容

## 2.1 講義と自習

この LC 加速器スクールは、リニアコライダーの大部分を占める主線型加速器の高周波技術を深く学習するコースと、ビーム源からダンピングリング、最終収束システムなどのビーム制御技術を深く学習するコースを二軸とした講

義構成となっています。さらに開催地域やその時々の特ピックスを取り入れて講義の充実を図ってきました。日本開催の今回は、高エネルギー物理研究室からの参加者が増えることを期待して、加速器と検出器の共有部分（Machine Detector Interface, MDI）や検出器の講義を取り入れた第3のコースを設けました。結果から見ると、高エネルギー物理研究室から参加した学生も高周波コースやビーム制御コース、また加速器専攻の学生も MDI のコースなど、日頃の研究とは異なるコースを自ら選択しており、この機会を生かしたいという学生の意欲を強く感じました。

講義日程を表1に示します。前半は ILC と CLIC の全体について解説する共通講義が設けられました。後半ではコース別に分かれてより深く学習することになります。スクール最終日には試験を行い、上位成績者を表彰しました。講義の詳細と資料は[5]を参照ください。



図1：集合写真。

表1：スクール日程。

12月8日(木)	KEK 集合
12月9日(金)	共通講義, KEK 施設見学
12月10日(土)	共通講義
12月11日(日)	バスで富士へ移動。 午後:共通講義
12月12日(月)~12月14日(水)	コース別講義, 準夜:自習
12月15日(木)	エクスカージョン
12月16日(金)~12月18日(日)	コース別講義, 準夜:自習
12月19日(月)	試験. Banquet/表彰式
12月20日(火)	解散, 帰国

この LC 加速器スクールでは、午前と午後の講義に加え、夕食後に夜10時までの自習の時間が設定されています。ここでは講師が出した宿題に取りかかりますが、講師も教室に留まっており、学生の質問を受けたり、補足的な解説をしたりと自由な雰囲気理解を深める時間となっていました。深夜まで自習する熱心な学生も多くいました（図2）。



図2：自習風景。

## 2.2 KEK 施設見学

初日の午後 KEK 施設見学を行いました（図3）。SuperKEKB のリングと Belle-II 検出器、エネルギー回収型線型加速器（cERL）、そしてリニアコライダー技術開発を行っている超伝導リニアック試験施設（STF）と先端加速器試験施設（ATF）をまわり、専門家の解説を受けました。各加速器担当者の方々には、加速器スクールの学生が見学するという事で多大なご協力を頂きました。特に SuperKEKB では、当日まで予定されていた空洞の電力試験を早めに切り上げるなどのご配慮を頂きました。この場を借りて改めてお礼申し上げます。

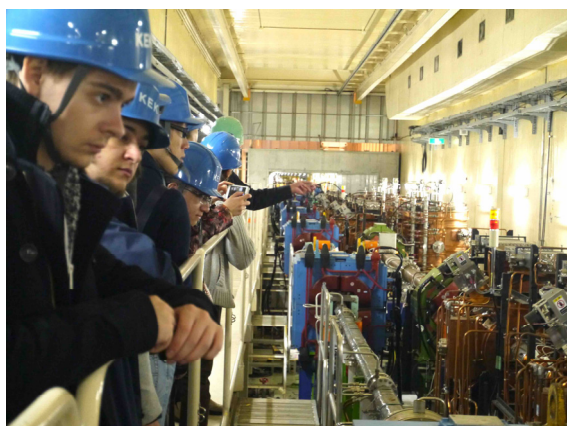


図3：KEK 施設見学。SuperKEKB リング。

## 2.3 Excursion

例年、スクールの中日に一日 Excursion を設けています。海外の学生の多くは初めての日本訪問でもあり、楽しみにしていたようです。12/15 にバスで小田原城と忍野八海を

訪れました。講師とスタッフを含めて総勢 70 名です。小田原城では TV や映画で見たサムライの世界を興味深く見て回り、記念にサムライや忍者、着物姿などの仮装体験をして楽しみました。講師の方々もノリノリでした。それまでのスクールの疲れを解消することができたようです。

## 2.4 最終試験と表彰式

11 日間の長きにわたったスクールの最終日には、それにふさわしい 4.5 時間にもおよぶ最終試験が待ちっていました。朝 8 時に開始され、コース毎に用意された試験問題に取り組みました。ほとんどの学生は時間一杯まで黙々と取り組んでいました。ちょっと遅めの昼食を取り、Banquet までの数時間、ようやく自由行動となりました。この間、講師陣は採点と集計に忙殺されていました。Banquet 会場では学生と講師が談笑する様子が多く見られました。Banquet の最後に最終試験の上位成績者 13 名（A、B コースは上位 5 名、C コースは上位 3 名）を表彰しました。表彰状と副賞として加速器の専門書が贈呈されました（図 4）。



図4：最終試験成績上位者（左）の表彰。

## 3 謝辞

第10回リニアコライダーに関する国際加速器スクールを開催するにあたり、岡田 KEK 研究担当理事をはじめ多くの方々の御支援とご協力を頂きました。深くお礼申し上げます。このスクールの運営にあたっては、KEK の「加速器科学国際連携経費による若手人材育成事業」、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の「日本・アジア青少年サイエンス交流事業（さくらサイエンスプラン）」、総研大の「国際研究集会開催支援事業」からの支援を受けました。

## 参考文献

- [1] <http://www.linearcollider.org/school/>.
- [2] 小柴裕也, 高エネルギーニュース 35-4 (2017) .
- [3] 関谷泉, 高エネルギーニュース 35-4 (2017) .
- [4] 森川祐, 高エネルギーニュース 35-4 (2017) .
- [5] <http://agenda.linearcollider.org/event/7333/timetable/>.

# 10<sup>th</sup> International Accelerator School for Linear Colliders に参加して

早稲田大学 先進理工学研究科

小柴 裕也

advanced-yuya@asagi.waseda.jp

2016年12月21日

## 1 はじめに

2016年12月9日から12月19日にかけて10<sup>th</sup> International Accelerator School for Linear Colliders (以下 LC スクール) が日本の高エネルギー加速器研究機構 (KEK) と帝人アカデミー富士で開催された[1]。今回の LC スクールは日本で開催されたこともあり、早稲田大学からは私を含め4人の大学院生が参加させて頂いた。私達早稲田勢は皆Aコースに参加した。

## 2 講義内容

今回の LC スクールは、KEK での施設見学、最終日のテスト、Banquet 以外は講義漬けの日々である。私が専攻した A コースは Collider Beam Physic がテーマであった。講義で使用する資料は、講義の前に専用サーバーにアップロードされており、各自が PC に資料をダウンロードして講義に臨むスタイルである。さて典型的な一日の流れを示そう。

Breakfast	07:30-08:30
Morning lecture	08:30-12:00, including 30min break
Lunch	12:15-14:00
Afternoon lecture	14:00-18:00, including 30min break
Dinner	18:30-20:00
Homework	20:00-22:00

一日のうち8時間程度を座学に費やしている。これほど集中的に勉強したのは大学受験以来ではなからうか。しかもただでさえ高尚な内容を英語で受講するのである。さらに毎日 Homework があり、それが最終日のテストに繋がるのでおざなりにするわけにもいかない。まだ内容についていくことができる、または講師が日本人で英語だとしても何を言っているのかわかりやすい、という状況ならばよいが、講師が外国の方で内容が難しい講義はそれなりに辛いものがあつたというのが正直な感想である。他のコースの方に話を聞いてみても、日本人にはやはり英語の壁は大きいようであつた。私は英語が得意な方ではあるが、それでも日本語に比べると聞き取るのに集中力を要する。A コー

スの講義内容は、加速器内での粒子の運動を記述するのに重要になる転送行列や、ビームの振る舞いを記述する Twiss パラメータ、典型的な加速器の電磁石配置である FODO ラティスにおけるビームの振る舞いから始まり、電子源、陽電子源、最終収束系、ダンピングリングに関する講義内容であつた。私としてはダンピングリングの講義が最も難しく感じた。Homework では講義中に示される式に数値を代入することである程度こなすことはできたのだが、なぜそのような式になるのかや、物理的な意味の理解が浅いままになってしまっているのが勉強し直したい。特にダンピングリングはビームの質と言われるエミッタンスを小さくする(つまり高品質にする)大切な要素だと思うので理解を深めたい部分である。図1に講義風景を掲載する。

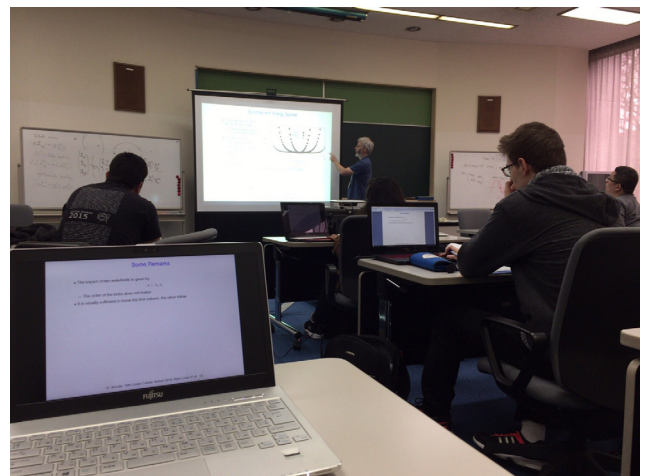


図1：講義風景。

## 3 勉強の合間に

第一線で活躍する先生方から加速器物理を丁寧に教わる機会は貴重であり、LC スクールはこの点ではかなり良い。とはいえ、多くの時間を座りっぱなし、パソコンに並ぶ英語と数式とにらめっこでは集中力も続かず、疲労も溜まるものである。そのような環境の中、我々の(少なくとも私の)リフレッシュとなつたのは卓球とクラブ W 杯、そして Excursion であつた。施設に卓球台があつたのは幸運であつた。前章の一日のタイムスケジュールを見て頂くとわかるが、食事の後、講義あるいは Homework が始まるまでに時

間的な余裕がある。その時間に卓球をすることでかなりのリフレッシュになった。海外の参加者とプレーする時もあり、友好を深めるきっかけにもなった。LCスクールで加速器の理解が進んだことは言うまでもないが、それと共に卓球も上達してしまった。もう1つの幸運はサッカーのクラブW杯がちょうど日本で開催されていたことである。準決勝と決勝を皆でワイワイ観戦することができたのである。幸運にも鹿島アントラーズが決勝まで勝ち進み、リアル・マドリードとの対決が実現したのである。さらに決勝戦では一時リアルをリードする展開になり、結果は2-4で惜敗したが、大盛り上がりであった。

Excursionもかなりのリフレッシュになった。ちょうど全体日程の中間にExcursionが設けられており非常に良いタイミングであったと思う。小田原城では武将、忍者、和服のコスプレが用意されており、武将のコスプレは日本人よりも海外の先生の方が、迫力があって似合っていたように思う。図2に我々の写真を掲載し、図3にコスプレした参加者の写真を掲載する。初めて日本を訪れた参加者も多いと思うが、彼らにとっても思い出に残る良い体験になったのではないだろうか。



図2：コスプレする筆者ら（筆者は左から2人目）。



図3：Excursionを楽しむ参加者。

## 4 最後に

LCスクールは非常に良い経験になった。最後のテストは満足する点数ではなかったが、基礎から学び、未知の領域にも触れ、刺激的な11日間であったことは間違いない。全体を通して感じたこととして、日本人は日本人同士で固まり、ヨーロッパ人はヨーロッパ人同士で固まるような光景が多かった。言語のハードルはあるだろうが、何か日本が置き去りのような感覚に陥ってしまった。今後ますます国際競争が激しくなっていくと思われる中、日本が衰退してしまわぬように、それぞれがそれぞれのフィールドで頑張っていかなければいけないと感じた。グローバル人材という言葉を目にすることがあるが、少子高齢化が進む中今後ますますそのような人材が大切になるのだろう。私も学位を取った後、海外に出てみたいと改めて感じた。

## 5 謝辞

最後にLCスクールをとりまとめてくださったKEKの皆様、講師を務めてくださった先生方、勉強に集中できる環境を整えてくださったスタッフの皆様にご感謝申し上げます。このような素晴らしい機会を与えてくださりありがとうございました。

## 参考文献

- [1] 照沼信浩, 高エネルギーニュース 35-4 (2017) .

# 10<sup>th</sup> International Accelerator School for Linear Colliders 参加報告

九州大学大学院理学府物理学専攻 素粒子実験研究室

関谷 泉

i\_sekiya@epp.phys.kyushu-u.ac.jp

2017年(平成29年)2月6日

## 1 はじめに

私は12月9日から12月19日までの11日間、KEKと帝人アカデミーで行われた10<sup>th</sup> International Accelerator School for Linear Colliders [1] (以下、LCスクールと表記)に参加しました。私は検出器を研究しており、加速器技術をよく知りませんでした。このスクールに参加して、加速器技術の仕組みや考え方について学ぶことができました。

## 2 講義

最初の3日間は共通講義が行われました。共通講義では、加速器全般、検出器技術、リニアコライダの歴史や概要、展望などが説明されました。加速器に関する講義は初めて聞く事柄も多く、とても興味深い内容でした。

その後、専門コースに分かれて講義が行われました。私が所属したのは高周波加速空洞を中心とした講義が行われるBコースで、常伝導加速技術(NCRF)や、超電導加速技術(SCRF)、加速空洞の制御技術(LLRF)や、高周波源や電源について学びました。専門的で発展的な内容が多く、講義についていくのがやっとでしたが、加速空洞について理解の糸口を得ることができました。特に、佐伯先生のSCRFの講義は、加速管の材料の選択・設計、組み立て後の洗浄の手順など、門外漢の私にもとっつきやすい内容で、とてもわかりやすい構成でした。どの講義でも、数多く質問が飛び交い、とても充実した講義でした。

## 3 KEK site visit

12月9日午後、KEKの実験施設の見学会が行われました。2つのグループに分かれてバスに乗り、STF,

ATF, CFS, SuperKEKB, cERLを順番に巡りました。それぞれの施設で実験されているスタッフの方に、内部を案内していただき、実験内容や成果などを非常にわかりやすく教えていただきました。危険防止用のヘルメットをかぶり、ビームラインや加速リングの側を通ったり潜り抜けたりしながら見学するのは初めてで、とても貴重な体験でした(図1)。また、実際に装置を見せていただいたおかげで、後の講義の理解が深まったと思います。



図1: STF cryomoduleの模型。中身もあり、私を含めみんな興味津々で覗き込んでいた。

## 4 遠足

12月15日に、小田原城、忍野八海、富士急ハイランドへ遠足しました。小田原城では天守閣の見学、甲冑・打掛・忍者衣装を着て写真撮影を行いました。滅多に着る機会のない衣装に、全員楽しそうに写真撮影をしていました(図2)。忍野八海では数グループに分かれ、ガイドさんの案内に従って湧水池を巡りました。とても美しい池ばかりで、心が安らぎました。最後に富士急ハイ

ランドで、飛行シミュレータを用いたアトラクションを体験し、園内の散策やお土産を購入しました。ここまで外にできることがほぼなく、座学ばかりでしたので、この遠足でリフレッシュして気持ちを切り替えられたと思います。



図 2: 小田原城天守閣。天守閣を背景に、全員が様々なポーズで写真撮影をしていた。

LC スクールに参加されたみなさま、私を推薦し送り出してくださった研究室のみなさま、私を励ましてくれた友人たち、KEK site visit で案内してくださったスタッフの方々、遠足でお世話になった各施設のみなさま、その他様々な面で支えてくださったみなさまに心より御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 照沼信浩, 高エネルギーニュース **35-4** (2017).

## 5 今後の抱負

LC スクールに参加し、得られたものが二つあります。一つは、これからの加速器研究のきっかけです。スクールに参加する前は、加速器について勉強しようと考えても、自分が加速器のどの分野に興味があるのかすら曖昧でした。このスクールに参加し、講義を受け、様々な分野から参加した友人と会話するうちに、自分が興味を持つ分野を見つけることができましたと思います。

もう一つは、語学力の重要性です。講義はすべて英語で行われ、講師や友人への質問も英語で行わなくてはなりません。コースが分かれた後のより専門的な講義では、加速器に関する知識不足も相まって、講義スライドを辿るのがやっとの有様でした。最先端の分野を学ぶに当たり、英語の重要性を改めて痛感しました。

## 6 謝辞

このスクールに参加するにあたり、お世話になった様々な方に感謝申し上げます。講師の方々には、とても興味深く刺激的な講義をしていただきました。私の拙い英語での質問にも的確に答えていただきました。KEK の LC スクール担当の事務の方々には、私の変則的な参加手段に関して、大変お世話になりました。また、帝人アカデミーのスタッフの方々にも、食事や荷物の発送など、非常にお世話になりました。

# LC School 2016 の参加報告

KEK 加速器研究施設

森川 祐

yu.morikawa@kek.jp

2017年1月25日

## 1 はじめに

私はKEK加速器研究施設のAccelerator Test Factory(ATF)グループの技術職員として2016年4月より働き始めた。着任以前は加速器と関わったことがなく、常に新しい知識・技術を学びながら業務にあたっている。そんな中、2016年12月9日～19日の11日間で開催されたLC School [1] に生徒兼スタッフとして参加する機会を得た。

このSchoolではKEKやCERNの各分野の専門家が一堂に集まって今後の大型LC計画に向けたLectureを提供してくれる貴重な機会となっている。私としてもATFグループの技術職員として詳しく学びたかったBeam MonitorやAlignmentなどの技術や、今後の大型LC計画であるILCやCLICについてみっちり学ぶことができ、実りあるSchoolとなった。

## 2 活動内容

### 2.1 Lecture

前述のとおり、私はより詳しくBeam MonitorやAlignmentなどの技術について学びたかったので、これらを含むCコースを選んだ。

最初に全コース共通でILCやCLICについてのLectureを受け、その後各コースのLectureに進んだ。LC計画の共通講義で特に印象に残っている内容は、「ILCでは加速空洞に超伝導空洞を採用しているため、常伝導空洞のCLICより加速勾配が小さくなる反面、BeamのBunch間隔を大きくできる」ということだ。このILCとCLICの違いは後のCコースのLectureでも度々指摘された。この違いによりILCとCLICとではBeam診断方法やFeedbackなどで求められる技術も異なると強調されていた。このように、最初にLinear ColliderではどのようなBeam性能が求められているか、ILCとCLICでどのような差があるかを知ることで、その後のCコースのLectureでも、どのような技術が求められているのか理解しやすかった。

CコースのLectureはテーマが広く、講義もBeam Monitor, Feedback, Magnet, Timing System, Alignmentなど細かく分かれていた。どのLectureでも先端の研究内容だけではな

く、エレクトロニクスなど周辺分野の技術分野の発展も絡めて話が聞けたのは貴重であった。

私としてはこれからの業務に関わってくるAlignmentの方法論や、Beam Position Monitor, Feedback等の具体的な回路とその回路の限界を学べたことは非常に実践的であった。Alignmentの講師はCERNのAlignmentチームに所属されている方で、大型加速器をAlignmentするための工夫を教わる事ができた。LHCなど大型加速器ではセクション毎にワイヤーや水管傾斜計を使って加速器の基準位置の異常を監視する体制を敷かれているとの説明があった。講義を聴きながらATFでもこのような技術が活かせないかとの想像が膨らんだ。また、全Lectureを通して、ATFで行われている実験内容が多く登場し、私の仕事内容をより深く理解するとともに、自分が世界的な研究に携わっているということに改めて実感した。

### 2.2 Presentation

Cコースでは講義を受けるだけでなく、講師を前にして一人15分の英語でのPresentationがあった。Presentationの内容はILC又はCLICのTechnical Design Review内の1項目の概要を説明することであった。私は事前に全く知識の無かったILCのTiming制御を説明することにした。このPresentationの準備ではCコースの生徒で誰がどの分野を選択するか打合せをし、皆で夜遅くまで(長い人で夜明けまで...)発表資料を準備するなどして仲間意識が強くなったのを感じた。私の場合、ルームメイトがDESYのTiming制御のエンジニアであったため、Timing信号について彼に多くのこと教わる事ができた。本番では英語に苦戦しつつも、ルームメイトの協力や徹夜に近い努力のおかげでどうにか乗り越える事ができた。知識の充実に喜びを覚えつつも、Presentationの達成感と疲労感から最終日に行われるテストを前に燃え尽きた感もあった。

### 2.3 Excursion

ExcursionはSchool中盤を超えた7日目に行われ、小田原城や忍野八海などを観光した。このExcursionの頃には、仲良くなった人も増えて、会話を楽しみながら観光できた。

私の場合、主には仲良くなった海外の生徒と観光した。海外の生徒の中には日本の歴史小説を読んだことのある生徒もいて、私も歴史小説を読んでいるので、小田原城ではどの武将が一番強かったのかなど日本の歴史談義を楽しめた。Excursion 中は日本文化などについて英語の質問攻めにもあったせいか、英会話の良いトレーニングにもなった。

## 2.4 Final Examination

最終日には Lecture の理解度をチェックするテストが行われた。このテストの得点で C コースからは上位 3 位までが表彰されることになっていたが、何と私のルームメイトが 1 位で表彰された。私は彼と一緒に卓球などをして遊んでいたが 3 位にも入れなかった…。いずれにせよ最終テストがあることで、Lecture の復習に身が入り、知識がより定着したと感じた。

## 3 日常生活

School は最初の 2 日間は KEK で、3 日目からは富士教育研修所で行われた。この富士教育研修所では基本的に 2 人 1 室で宿泊することとなった。私のルームメイトは前述の DESY でエンジニアをしているポーランド人で、私と同じ C コースであった。彼とはとても仲良くなることができ、Lecture では相談しあい、休憩時にはトランプゲームや卓球を楽しんだ。また、お互いの国の文化や、言葉を教えあった。School 終了後には私の家に宿泊してもらい (図 1)、日本流の (主に回転寿司と PlayStation VR による) おもてなしを味わってもらった。

またこの富士教育研修所は運動施設も充実しており、卓球台からテニスコートやバスケットコート、さらにはゴルフコースまであり、休憩時には卓球をするなど息抜きをした。最終日のテスト後にはゴルフコースに出て初めてのゴルフをした。School では卓球やゴルフの腕前も上達した (図 2)。

## 4 今後の抱負

School では Linear Collider の概要から、職場ですぐに活かせる具体的な技術まで幅広く学ぶことができた。ただし、私にとって短期間にこれだけ多くの Lecture を受けるのは容量オーバーの感があり、すべての内容を理解できたとは言えない。むしろ、School を意義あるものにするため、今後 School で学んだ知識を実践しながら、使える知識・技術に昇格させることが重要だと考えている。この School で学んだことを復習しつつ、実際の Alignment や Beam Monitor などの業務で活かしていきたい。

## 5 謝辞

まず貴重な Lecture を提供してくれた講師陣に感謝したい。次に School を陰から支えてくれていたスタッフに感謝したい。

最後に、この School に参加させてくれた ATF グループに感謝したい。私は他の生徒とは違い、すでに KEK に給与を貰い働いている立場にいる。ただ勉強に集中することができたのは ATF グループの理解があつてのことだと考えている。



図 1：我が家にルームメイトを招く。



図 2：ゴルフプレイ。全員ほぼ初心者だったが、最後は少し様になってきた。

## 参考文献

- [1] 照沼信浩, 高エネルギーニュース 35-4 (2017) .