

後継者育成

The 2nd International School on Beam Dynamics and Accelerator Technology (ISBA19) と加速器研究者育成の課題

栗木 雅夫*

The 2nd International School on Beam Dynamics and Accelerator Technology (ISBA19) and
the Issue of Training of Accelerator Researcher

Masao KURIKI*

Abstract

The second International School on Beam dynamics and Accelerator technology (ISBA19) was held from 19 to 25 October at Hiroshima International Plaza, Higashihiroshima, Japan. The aim of the school is a gateway of accelerator study for graduate students and young researchers in Asian region, giving an opportunity to study foundation of beam dynamics and technologies for accelerator studies. We report the school, concentrating on a new curriculum, Hands-on training for accelerator simulation. We also discuss issues on education in the accelerator field.

1. はじめに

2019年10月19日から25日の七日間にわたり、第二回ビーム力学と加速器技術のための国際スクール(The 2nd International School on Beam dynamics and Accelerator technology, ISBA19)が、広島県東広島市の広島国際プラザで開催された。本スクールはIINASプログラムの一つとして、広島大学、高エネルギー加速器研究機構、日本加速器学会の協賛を得て、開催された。アジア地区を中心とした学生、若手研究者に加速器の基礎となるダイナミクスと各技術を学ぶ機会を与え、本格的な加速器研究への入り口となることを目指したもので、昨年に続き第二回目の開催である。

加速器における人材育成の背景とその課題については、すでに昨年の報告¹⁾で詳しく述べているので、それをここで繰り返すことはしないが、素粒子物理学などの分野との違いは指摘しておきたい。研究者の育成は大学がその役割をになっているが、日本において加速器を専攻するコースを設

定している大学院は非常に限られているため、加速器研究者は慢性的な供給不足にある。ちなみに、このような事情は海外では一般的ではない。加速器の発展を牽引してきた欧米はもとより、近年では中国やインドなどにおいて、大学院レベルで加速器の教育を積極的に進めようとしている。日本は加速器研究における人材育成では大きく遅れを取っているのである。この問題意識がISBAの背景にあることをここでは強調しておきたい。

ISBA19は大学加速器連携ネットワークによる人材育成等プログラム(IINAS)の事業として実施された。本プログラムの趣旨には「日本が加速器科学における国際競争力を維持し続けるためには、高い専門性と広視野並びに国際的通用性を持つ若手研究者を育成することが急務であり、高エネルギー加速器研究機構(KEK)は加速器科学分野のCOEとして、当該分野の発展と人材育成に主導的役割を果たす」と記されており、人材育成が加速器科学の維持・発展に必要な不可欠であるという問題意識は当スクールの趣旨とも共通する。

* 広島大学大学院先端物質科学研究科 Hiroshima University, Graduate School of Advanced Sciences of Matter
(Masao Kuriki E-mail: mkuriki@hiroshima-u.ac.jp)



図1 ISBA19のポスター。宮島の大鳥居を背景に、ISBA18のスクールにおけるスナップ写真を配した。

ISBA19の狙いは、加速器を構成する重要な素であるビームダイナミクス（しばしば縦糸と表現される）、各要素技術（しばしば横糸と表現される）の基礎的な部分を講義の主眼として、国際的な環境のもとで集中して学ぶ機会を学生に提供することにより、加速器研究への誘因、それを開始するきっかけとすることである。多くのスクールがそうであるように、知識やスキルの習得とともに、人的なネットワークの形成も重要な目的の一つである。大学院生や若手研究者にとって海外や国際的な環境で講義を受ける機会はそう多くはない。そのような環境で新しい知識を得て、新しい友人や講師などと知り合うことは、多くの学生にとって将来の進路を決定する上で重要なファクターとなる。また、大学の教員としては、やる気満々の海外の大学院生に刺激を受けて、日本の大学院生が少しでも将来の進路について野心的に考えてくれたらという思惑もある。

2. ISBA19の概要

本スクールには、組織委員長として広島大学の栗木雅夫、KEK側のパートナーとして Alexander Arishev氏（KEK）、さらに各国、地域のパートナーとして Gao, Jie氏（IHEP, China）、Abhay Deshpande氏（SAMEER, India）、Yujong Kim氏

（KAERI, Korea）、そして Hwang, Ching-Shian氏、Chen, Jin-Rong氏（NSRRC, Taiwan）という体制で臨んだ。当初の予定としては、海外からの参加者として、中国、韓国、台湾、インドから各4名の学生、各1名の講師、広島大学を含む日本国内から24名の学生、そして国内から5～6名の講師を予定していた。また、日本滞在中のロシア人学生2名の参加も予定していたが、渡航そのものが取りやめになった関係で不参加となった。また健康上の問題と手続き上の事情からインドからの2名が残念ながら不参加となり、最終的には学生数は全体で36名となった。会期は昨年の5日間を二日間延長し、全体で7日間とした。図1に配布したスクールのポスターを示す。背景には広島県を象徴する宮島の大鳥居を配し、そこに昨年度のISBA18の様子を切り貼りした。広島という地域での充実した日々を期待させるように意図している。

会場となったのは、広島県東広島市の広島国際プラザ（Hiroshima International Plaza, HIP）である。国際協力事業団（JICA）と広島県国際センターが共同で運営する施設であり、国際交流事業などで来日する外国人や行事に参加する日本人のための宿泊施設である。「国際人材の養成を目的とする研修の場合」（HIPのホームページより）国籍を問



図2 広島国際プラザにおける集合写真.

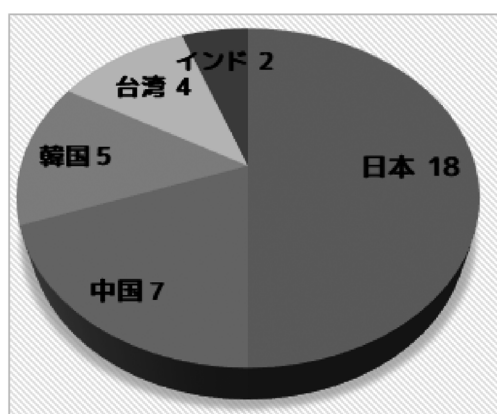


図3 参加学生のパイチャート、居住地による.

わずに割引が適用され、実質的に一泊三食付きで6000円で滞在が可能である。講義室や研修室など設備も整っており、限られた予算でスクールを運営するには好適な施設である。図2に広島国際プラザで撮影された集合写真を示す。

図3は参加学生の地域別人数のパイチャートである。地域の表示は住所による。日本からの学生はほぼ予定通りの18名であった。昨年度は低調で学生集めに苦労したが、今回は各機関、大学から広く応募者があり、さらに原子核・素粒子分野から多くの応募があったことが特徴である。その要因としては、昨年度の参加者が後輩などの関係者に呼び掛けてくれたことではないかと推測する。大学院のコースが希少な現状では、この流れは加速器人材育成へのパスとして重要であり、今

後取り組みを強める必要がある。

中国からは4名を予定していたが、応募者が昨年度に続き20名程度で、厳しい選考を強いられた。その過程で、中国側から予算支出の打診があり、渡航費や滞在費など多くの部分を中国側が負担するという条件で7名の参加を認めることとした。韓国でも事情は似ており、4名の定員のところ倍の応募があり、韓国側の負担を条件に5名の参加となった。インドからは4名の募集に対して8名の応募があり、4名を選考したが、直前になり健康上の問題、および手続き上の問題で2名が欠席となった。

事務局はKEKの加速器から石川 銀、岡 美智代、草間仁美の各氏、KEKの国際企画課からハイス由乃氏、そして広島大学先端研から土居寿美江氏という昨年度とほぼ同様の陣容であった。ハイス氏は予算執行、石川氏は航空券の手配とビザ申請続き、各種問い合わせへの対応、岡氏は休憩時の飲料や会場との折衝、遠足伝統文化行事の手配、草間氏は全体の予算管理、WEB管理、写真撮影、現地事務局業務の統括、そして土居氏は広島大学側との連絡、ノベルティグッズの提供、などを担当した。特に、石川氏、岡氏、草間氏の3名には会場事務局に常駐してもらい、日々発生する多様な業務に対応してもらった。この場を借りお礼申し上げたい。

表1 ISBA19 のカリキュラム. 各講義は90分. 全体で16の講義, 実習, そして学生による成果発表が行われた. 加速器科学の全体像, 加速器の歴史, 個々の加速器の動作原理, ビーム力学, RFや加速管などの重要コンポーネントについて基礎的部分を重点的に網羅するとともに, それをシミュレーションによる加速器設計に適用することを意図した.

Day	Title	Lecturer	Affiliation
1	Accelerators in modern sciences	M. Kuriki	広島大
	Foundation of beam dynamics I	Y. Kim	KAERI
	Foundation of normal conducting accelerator	M. Kuriki	広島大
	Particle Generation (electron, positron, and ion)	M. Kuriki	広島大
2	Foundation of beam dynamics II	Y. Kim	KAERI
	Foundation of Linear accelerator	J. Gao	IHEP
	Foundation of superconducting accelerator	T. Saeki	KEK
	Accelerator application	H. Yamada	PPL/立命館
3	Foundation of synchrotron and storage ring	K. Yokoya	KEK
	Foundation of Colliders	K. Yokoya	KEK
	Foundation of Synchrotron Radiation	J. Chen	NSRRC
	Foundation of FEL	T. Tanaka	理研/Sp8
4	Excursion to Hiroshima and Miyajima		
5	Introduction of accelerator simulation	Y. Kim	KAERI
	Tutorial of ASTRA, particle tracking simulation	A. Deshpande	SAMMER
	Hands-on training 1 (3 hrs)		
6	Foundation of beam diagnostic	A. Aryshev	KEK
	Post processing	A. Aryshev	KEK
	Hands-on training 2 (3 hrs)		
7	Hand-on, Preparation for presentation (3 hrs)		
	Hands-on training, presentation (3 hrs)		



図4 筆者による講義風景.

3. カリキュラム

ISBA18²⁾ から ISBA19 における最大の変更点は, 4日から6日という講義期間の延長と実習の導入である. 表1にカリキュラムを示す. 講義は中日に遠足 (Excursion) をはさみ, 前半3日間, 後半3日間にわたって行われ, 全体で16コマの講義,

12時間の実習 (学生による成果発表を含む) が提供された. 図4は著者による講義風景. 講義の詳しい内容については, ISBA19のWEB page³⁾を確認いただくとして, ここでは主に今回から新たに導入された実習について述べる.

実習のテーマは, ASTRA⁴⁾ というシミュレーションコードを用いて, RF電子銃と加速管からなる小型線形加速器を設計するというもの. 時間が限られているので, 電子銃や加速管の電磁場フィールドはマップとして与えられており, また機器の配置 (いわゆる台本) もこちらで用意した. シミュレーションを流すこと自体は30分もあれば終わってしまう. しかし与えられた初期パラメータでは加速位相は意図的にずらされていて, そのままではうまく加速されない. さらにビームサイズも小さくしてあり, 空間電荷効果による発散力をソレノイドでうまく抑制してやらないと, そのほとんどは失われる. 位相空間や通過粒子数を



図5 実習に取り組む学生を見守る A. Deshpande 氏.



図6 グループで実習に取り組む学生達.

見ながら、RF 位相、ソレノイドを調節することで、粒子損失とエミッタンス増大を抑制し、ビームを加速・輸送することができるのである。

シミュレーションの実施のために必要な知識を供給する講義として、四つの講義を提供した。その一つは Y. Kim 氏による“Introduction for Accelerator Simulation”で、加速器設計におけるシミュレーションの一般論を説明したものだ。それに続き A. Deshpande 氏による“Tutorial for ASTRA”という講義が行われた。これは題目が示す通り、ASTRA の具体的な機能とその使用法を説明するものだ。この二つの講義の後、学生は第一回目の実習（3 時間）に取り組んだ。課題に実際に取り組めると、コードの具体的な使い方から、物理についての様々な質問が出されるため、実習を主に担当した Y. Kim 氏と A. Deshpande 氏はほぼ付きっきりであった。図5は実習に取り組む学生達を見守る A. Deshpande 氏である。講義としては、ともに KEK の A. Aryshev 氏による“Beam Diagnostics Introduction,” および“Postprocessing on Simulation”が実習のために用意された。これらはシミュレーションで得られる多くのパラメータを実際にはどのように取得するのかというビーム計測手法と、様々なビームパラメータをシミュレーションの結果からどのように引き出すのか、という実地的な知識を提供するものだ。

実習は4人グループをひとまとまりとして行われた。スクール7日目の午前中を取りまとめと資料作成の時間として、午後にグループごとに20分で成果発表を行ってもらった。この日はスクールカリキュラムの最終日にあたる。全部で9グループだったが、そのうち6グループが及第、さ



図7 懇親会で交流を深める参加学生.

らにそのうち3グループはかなり内容をよく理解していた印象であった。図6はグループで実習に取り組む学生達の様子である。

4. Social Events

ISBA19ではSocial eventsとして、バンケット、遠足、そして祝賀会が行われた。バンケットはなるべく学生間の親睦を早めにとという意図のもと、20日の夕方（スクール二日目）に、近隣のレストランで行われた。図7は懇親会で交流を深める学生達の様子である。バンケットを早めに行い、交流を促進するという意図はそれなりに意義があったものと思う。

ISBA19の中日に当たるスクール四日目には、広島市平和記念公園および宮島（厳島）への遠足が行われた。当日は新天皇即位に伴う休日だったこともあり、道路混雑もなく交通は非常にスムーズであった。平和記念資料館は昨年リニューアルを終えたばかりで、展示全体が刷新されていた。これまでの展示に加え、被爆者の人生を想像させる展示を意図しているように感じられた。犠



図8 原爆ドーム前における集合写真.

死者14万人(1945年12月までの死亡者数, 広島市による推計)という数そのものは大きなインパクトを持つが, その一人一人にはかけがえのない人生があり, それが一つの爆弾により終わらされたという事実に向き合うことが原爆犠牲者への慰霊と歴史の風化の前で必要なことである, と訴えようとしているように感じた. 現在も市内にある広島女学院では体育館が原爆により倒壊し, その中にいた多くの学生達が内部に閉じ込められ, 救助を試みる旧友の目の前で生きたまま焼き殺されている. 先日ノーベル平和賞を受賞したICAN(核兵器廃絶国際キャンペーン)の主要メンバーであるサーロー節子氏は, そこにいた人である.

学生達は資料館を見学した後, 平和ボランティアガイドによる公園ツアーに参加した. 毎年の原爆忌(8月6日)に開催される平和記念式典が行われる慰霊碑と原爆ドームが有名なモニュメントだが, それに加えて韓国人犠牲者の慰霊碑, 平和の鐘, 原爆の子の像, など多くのモニュメントがあり, それぞれにドラマがある. 原爆の子の像は, 若くして原爆症で亡くなった佐々木貞子さんの級友達が寄付を集めて建立したものである. 貞子さんは健康の回復を信じ千羽鶴を折り続け, 1300羽以上の鶴を折ったところで他界した. 原爆の子の像に毎年おびただしい数の折り鶴が奉納される

のは, 彼女と同じように他界した犠牲者の慰霊のためである. 図8は原爆ドーム(旧産業奨励館)前における記念撮影.

午後は宮島を訪問した. 江戸幕府の初代大学頭, 林羅山の三男である鷲峰により, 松島, 天橋立とならび日本三景と称された場所である. 平清盛の庇護により現在のような壮大な規模の社屋を備えるようになり, 軍神としての信仰が注目されるが, スクールのポスターにも示した海上の大鳥居が象徴するように, もともとは海上交通の安全祈願のために崇められていたと言われている. 瀬戸内海は近世まで北前船に代表される日本列島交通の大動脈で, 周辺海域の航海の安全は当時の人々にとっては大きな関心事であったことは想像に難くない. 瀬戸内は朝鮮通信使の道でもあり, 国際的なイベントでそのような歴史を学ぶ意義は小さくない. 因みに, 宮島は島全体が聖域とされており, ある時期までは禁足地(祭礼などの理由がない限り立ち入りが制限された地域)であった. 現在ではそのような禁忌はなくなったが, 今でも島内に墓地は存在しないという. 図9は宮島の社殿で撮影した集合写真. いい写真であるが, 大鳥居が修理中で撮影に適さないのも, 苦肉の策の産物である.

遠足から帰った日の夕方, 八本松ひよっとこ愛



図9 厳島神社社殿における集合写真.



図10 参加者と愛好会のメンバーが入り乱れてのひょっこ総踊りの様子.

好会によるひょっこ総踊りが催された。これは昨年の ISBA18 開催期間中に HIP の催しとして開催されたひょっこ総踊りの鑑賞会が ISBA のスタッフ、学生に大変好評だったことから、ISBA19 の伝統文化鑑賞会として開催したものである。お囃子に合わせて八本松ひょっこ愛好会のみなさんが踊りながら入場し、観客の周囲を輪になって踊り続けた。最初は神妙な面持ちだった学生達も、ユーモラスな踊りに表情が緩む。ひととおり踊りが終わったところで、栗木が英語と日本語でひょっこ総踊りの説明を行い、愛好会の指導のもとひょっこ総踊りのステップを学んだあとは、参加者全員による総踊りが行われた。最初は顔を見合せ様子を伺っていた参加者も、次々に踊り

の輪に飛び込み、最後には、図10に示されているように激しいステップを踏む猛者も登場した。ひょっこ総踊りの魅力を言葉で説明することは困難であるが、仮面をつけた異形の者達が踊る様子がユーモラスである一方、神秘的な雰囲気を醸し出し、単純なリズムの繰り返しと相まって、一種の恍惚感を与えることであろうか。その感覚は見ていなくても味わうことができるが、一緒に踊るとより強く感ずることができる。

最終日の夕方には、ISBA19 の打ち上げとして祝賀会が催された。会場はバンケットと同じ近場のレストランである。そこでは学生のキャリア形成を意識し、学生への表彰を行った。この学生表彰および祝賀会の財源は PPL の山田廣成氏の寄付によるものである。学生表彰として、二名および二グループに賞を授与した。個人を対象としたものは、山田氏が講義において課したレポートに対するもので PPL Platinum award および PPL Gold award として INGYO, Jeon 氏 (KAERI) および OKAZAKI, Hiroki 氏 (日本大) に各々贈呈された。続いて、実習の成果発表に対する賞として PPL White Award が Thomson 組: TENG Shan-you (National Tsing Hua U.), YAN Jiawei (SINAP), KOJIMA Kunihiro (広島大), PARK Jeonghwan (Seoul National U.) の各氏に、PPL Blue Award が Rubbia 組: YANG Yuqing (SINAP), NAKAZAWA Yuga (茨城大), LEE Jaeyong (KAERI), NAKAJIMA Shu (住友重工) の各氏に、各々贈られた。



図11 ISBAの可能性について熱弁を奮うIHEPのGao Jie氏。

祝賀会では、各国・地域の講師、そして学生からISBA19に参加した感想を述べてもらった。最初は学生を代表して各々一人に話してもらおうとしたのだが、みんな喋りだしたら止まらず、結果としてはほぼ全ての学生が感想を述べていた。各国の講師、学生からはISBAの取り組みが非常に有意義であることが述べられ主催者としては至福の瞬間であった。ここではIHEPのGao Jie氏の意見を紹介したい。

Gao Jie氏曰く、ISBAのスクールが他の類似したスクールと異なるユニークな点は次の二点である。基礎的なレベルではあるが加速器研究を対象としたスクールであること、そして地域をアジアに限定していることである。欧州や米国にはシリーズ化された加速器研究を対象としたスクールとしてCERN Accelerator School (CAS) およびUS Particle Accelerator School (USPAS) がある。一方それに該当するようなスクールはアジア地域には存在しない。超伝導技術やプロジェクトに特化したスクールは存在するが、そのようなスクールはどちらかというと既に加速器研究を開始している者がより特定の技術やプロジェクトへの理解を深めることには貢献するが、加速器を研究していないものを加速器研究に誘うということには大きく貢献するものではない。ISBAはこのようなアジアにおける加速器スクールの真空地帯に突如として登場したのである。まだISBAはCASやUSPASに比べると小規模であり、その影響力も限定的であるが、各国・地域が予算を拠出し共同で開催できるような体制がとればCASやUSPASに引けをとらないものへと発展することは十分に可能である。むしろアジアの加速器研究

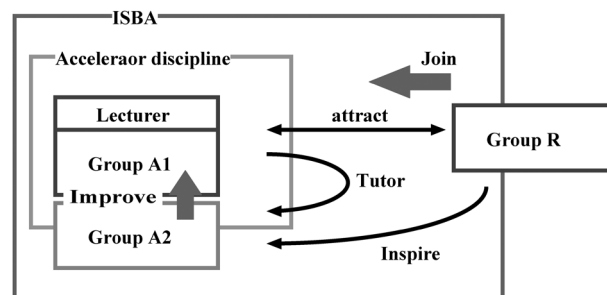


図12 ISBAにおける研究者育成の概念図。やる気のある加速器学生A1および加速器に興味のある周辺分野学生Rの働き掛けによって加速器にまだ興味のあまりない学生A2を刺激し、A1化を図る。

の将来を考えると必要なことである。図11は熱弁を奮うGao Jie氏。

5. まとめとこれからの課題

以上のように、ISBA19³⁾は昨年度に行われたISBA18²⁾の成果と課題の検討を踏まえた上で開催された。まだ課題は多いが、期間を延長し、実習を取り入れたことはスクールの意義を大いに高めたといつてよい。懇親会を二日目に実施したことは学生間の親睦を深めることに貢献したと思われる。また、中日に遠足と伝統文化鑑賞会を実施したことも気分を刷新し後半のスクールへの集中を促す役割を果たしたと思われる。

一方、課題としては実習の具体的中身、そして実施方法が挙げられる。学生のアンケートによると、実習を評価する声が多い一方、時間に比して内容が多すぎる、中身よりもシミュレーションプログラムに慣れるのに時間を取られてしまった、などの意見が多かった。それらの意見への対応として、現在は二日間にわたり合計6時間の実習を行っているのを、四日間で合計6時間、へと変更するという案がある。意図としては、1回の実習時間を短縮し、回数を増やすことで学生間、そして講師と学生間でやり取りする時間を確保でき、理解度の足りない学生がキャッチアップしやすくなる、というものである。チュートリアルなどは実習に先行する必要があるが、十分にカリキュラム編成は可能であると思う。来年は是非このようなやり方を試してみようと思っている。

最終日に行った祝賀会では学生表彰を行ったこともあり大いに盛り上がった。この盛り上がりは単なる享乐的なものではなく、既に紹介したGao

Jie 氏の言葉にもあるようにスクールの意義を再確認し、さらに ISBA の発展へも広がるものでその意義は小さくなかったと評価している。

昨年度の加速器学会誌への報告では、図12に示しているように、講師に加えて、すでに加速器を研究しているやる気のある学生 (A1) と周辺分野で加速器に興味のある学生 (R) が、未だに加速器研究に興味をもてない学生 (A2) を引き上げる、というモデルについて話した。今回は周辺分野 (素粒子原子核) からの応募学生が倍増していたが、その理由は昨年の参加者による宣伝や勧誘である。今後も加速器研究の入り口として、広い学生の要望にこたえるカリキュラムの編成に努めていきたい。そのことが将来的には加速器研究者の人材育成につながり、ひいては加速器を用いた科学研究全体の維持・底上げに繋がると信ずるものである。

謝 辞

まずは、「大学加速器連携ネットワークによる人材育成等プログラム」(IINAS) の実現に努力された方々に感謝を申し上げる。本事業は適切な課題に対して適切に対応するための枠組みとして

非常に有益である。今回、スクールの実施にあたり、関係各方面の協力をいただいた。高エネルギー加速器研究機構の山口誠哉加速器施設長、道園真一郎応用超伝導加速器センターセンター長、古川和朗研究主幹には、ISBA への人的・予算的支援に協力いただいた。同国際企画課からは予算執行において協力頂いた。光子発生研究所 (PPL) の山田廣成氏には、講義とともに学生表彰、祝賀会の実施費用に協力いただいた。高エネルギー加速器科学奨励会からは若手育成のための予算的支援をいただいた。広島大学からは人的および物資の提供による協力をいただいた。また、講師の皆様には謝金を支給せずは無償で講義をしていただいた。全ての協力していただいた方々に感謝する。

参考文献

- 1) 栗木雅夫：加速器 **16**, 55 (2019).
- 2) ISBA18 Indico web page, "<https://conference-indico.kek.jp/indico/event/56/>".
- 3) ISBA18 Indico web page, "<https://conference-indico.kek.jp/indico/event/84/>".
- 4) ASTRA web page, "<http://desy.de/mpyflo/>".