

話 題

第1回日本加速器学会年会・ 第29回リニアック技術研究会を振り返って

佐藤 勇*

第1回日本加速器学会年会と第29回リニアック技術研究会は、歴史に残るような猛暑の中で、8月4日から3日間、日本大学理工学部船橋校舎で開催されました。日本加速器学会年会は第1回の開催であり、又、リニアック技術研究会と一緒に開催することも初めてであります。更に、加速器学会年会は、今年2月に開催された評議会で行事手続きを得てから実施する必要があり、開催までの準備期間が半年と短く、その上、年会と研究会を同時に開催する違和感と開催趣旨の不徹底さから参加者が少ないのではという危惧がありました。しかし、幸いにも、会員数が約500名の加速器学会と同好会形式のリニアック技術研究会に、約450名を超える研究者、技術者並びに大学院生が大学、研究所、企業から参加されました。

このことは、現代科学における加速器の持つ重要性を十分に認識された方々の積極的な参加と年会・研究会を成功させようという関係者の呼びかけの努力によるものと大いに感謝しております。

さて、日本には電子、陽電子、陽子、重粒子を線源とするシンクロトロン、サイクロトロン、マイクロトロン、ベータートロン、ストレージリングなどのリング加速器やリニアック、RFQ、ペレトロン、タンデム、バンデグラーフ、コッククロフトなどの直線加速器など多種多様で大小様々の加速器があり、現在その総数は千台を超え、保有数では世界第2位にあります。

これらの加速器は理、工、農、医学などの学術研究用から工業、農業、医療などの産業用に広がり、素粒子から超分子まで物質科学や生命科学の先導的基礎研究を担うと共に、金属探傷、高分子品質向上、非加熱殺菌、害虫駆除、放射性同位元素生成、医療検診、ガン治療など人間社会の日常生活に密接した必需装置として重視されています。産業規模としては必ずしも大

きいとは云えませんが、代替えがない先端的装置として、今後益々発展するもの期待されています。ここで、世界における加速器発展と日本の加速器発展の経緯について紙面の許すかぎり触れたいと思います。

加速器関連者は、だれでもご承知のように、サイクロトロンは、1931年にLawrenceによって世界最初に実用化された加速器ですが、しかし、加速エネルギーの増大に伴って、加速粒子の回転と加速高周波にズレができ、加速エネルギーに上限があることが明らかになると、粒子が一定磁場中を渦巻き状に回るサイクロトロンから加速粒子が常に円軌道を回るように軌道電磁石の磁場を変え、加速粒子の回転周期に同期させ加速周波数をかえるシンクロトロンが1945年にVekslerとMcMillanによって考案されました。シンクロトロンでは、円軌道を回る荷電粒子を加速高周波電場ポテンシャルが包み込み、ポケットの役割を果たして荷電粒子を安定に加速する作用（位相安定性）が別々に見つけられました。この考えはサイクロトロンにも適用され、1946年には米国のバークレーに加速エネルギーの増大とともに高周波加速の周波数を下げるシンクロサイクロトロンが建設され、陽子は910 MeVまで加速できるようになりました。更に、加速するサイクロトロンでは、集束条件と加速周波数を変えることによって位相安定性を保つAVFサイクロトロンが考案されました。

最初のシンクロトロンは軌道電磁石がサイクロトロン電磁石の延長上にあり、軌道電磁石は弱集束方式でした。1950年と1952年にChristofilosとCourantが磁場勾配の大きい強集束の軌道電磁石を考案し、この強集束軌道電磁石を交互に並べてシンクロトロンに適用すると、シンクロトロンの製造コストや運転コストが縮小されることが明白になりました。

日本では、1953年に北垣俊男先生がシンクロトロン

* 日本文学量子科学研究所

Laboratory for Electron Beam Research and Application Institute of Quantum Science, Nihon University
(E-mail: Isato@lebra.nihon-u.ac.jp)

ンの強集束軌道電磁石の偏向と集束の機能を完全に2極電磁石と4極電磁石に分離した軌道電磁石で構成する先進的なシンクロトロン方式¹⁾を提案し、シンクロトロンの閉軌道条件を満していることを証明して、100 GeV 級陽子シンクロトロン実現の可能性を示唆しました。この方式ではシンクロトロンの設計と制作上の制約が大幅に緩和されて、大型計算機を駆使することにより大小様々のシンクロトロンの設計が容易になりました。この方式は米国のフェルミ研究所のTevatronやKEKの陽子シンクロトロンでその有用性が実証され、その後に建設されるシンクロトロンはこの方式を採用するようになりました。

欧米では、戦前戦後を通じて加速器の重要性を認識し、加速器をプロフェッショナル学問分野として研究開発を奨励してきました。米国では、1953年に国家プロジェクトとしてブルックヘブン国立研究所に33 GeVの強収斂型陽子シンクロトロン(AGS)の建設を開始していましたが、1955年にカルフォルニア大学のババトロンでセグレによって反陽子生成が確認されると、高エネルギー加速器の重要性が改めて認識され、高エネルギー加速器の建設に拍車がかかりました。AGSが1960年に完成すると、新粒子が次々に発見され、これらの研究成果はフェルミ研究所の大型陽子シンクロトロン(Tevatron)建設計画やスタンフォード線形加速器センター(SLAC)の2哩電子リニアックの建設計画を促進しました。ソ連でも同様に国家プロジェクトとして大型加速器開発を進め科学水準の高さを誇ってきました。西欧ではこれに対抗し、スイスのジュネーブにヨーロッパ合同原子核研究所(CERN)を設立して、1955年に28 GeV陽子シンクロトロン(CPS)の建設を開始し1959年に完成させました。又、1970年には、この加速器に接続する400 GeV陽子シンクロトロン(SPS)の建設し、更にルビアらは反陽子を効率的に冷却する方法に成功して、弱い相互作用のゲージ粒子(W, Zボゾン)の発見に大きく貢献しました。西欧各国では、更に独自の国家プロジェクトとして加速器の研究開発を積極的に進めるとともに、加速器の利用・応用研究を強力に支援しています。

一方、日本の加速器発展の経緯を振り返ると、紆余曲折があり、必ずしも順風満帆とは云えませんでした。特に、戦後の混乱期には戦前に建設されたサイクロトロンは戦争直後にGHQによって海に投棄され、原子核実験や加速器研究は全く出来ない時期がありました。その後、規制が緩和され、加速器を保有できるようになり、1954年と1955年には大阪大学と京都

大学にサイクロトロン、1958年と1961年には東京大学原子核研究所にシンクロサイクロトロンと電子シンクロトロンがそれぞれ完成し、放射性同位元素の生成、原子核実験、高エネルギー物理実験ができるようになりました。その当時の日本は、まだ電力事情が悪く、特に複雑な加速器構成の電子シンクロトロンは、入射ビーム輸送系などの電磁石電源が不安定で、加速ビームが安定するのは終電車から始発電車までの数時間でした。このような不安定な加速ビームを使って実験するグループには本当に気毒な状態でした。1960年代後半から半導体の本格的な普及により、各種電源は徐々に真空管回路からトランジスタ回路に切り替わり、更に大型の高性能交流安定化電源が製品化され、各種装置の電圧や電流は高精度に制御できるようになりました。特に、大型の高性能交流安定化電源を導入した結果、1970年代には電子シンクロトロンの安定性は大幅に改善されて、その本領をようやく発揮できるようになりました。

戦後の日本における大型加速器の建設は欧米より約15年遅れ、その上、国内では加速器の重要性がなかなか認識されず、加速器を単に電磁気学を活用した装置と考える人や、加速器の研究は学術研究に値しないという人もおりました。1960年代になると、欧米の加速器による実験成果が日本でも少しずつ認知されるようになり、1962年には日本学術会議が大型加速器の建設を含む「原子核研究の将来計画」を政府に勧告し、低エネルギー原子核実験用のサイクロトロン、リニアック、タンデム、バンデグラーフなどの加速器が大学や国立研究機関に建設されるようになりました。当時は素粒子・原子核理論が全盛の時代であり、加速器研究者も少なく、加速器に関する研究は、物理学会、応用物理学会、原子力学会、電気学会などの軒先を借りて細々と発表される時代でした。加速器に関する情報は、同好者が集まって交換をするか、或いは国内外の学術雑誌に発表される論文を通じて直接意見を交換する以外方法はありませんでした。従って、加速器の日常運転や改善、改良に関する多くの情報を研究者や技術者が共用しようという発想はありませんでした。

高エネルギー物理学の研究者の努力が実り、1964年には巨大加速器の基礎研究のための経費が計上され、東京大学原子核研究所に素粒子研究所設立準備室が設立されました。又、東京都に集中している研究施設や文教施設を地方に移転する計画が立案され筑波に学園都市が誕生することになりました。

しかし、1960年代後半になっても依然として、国

内の加速器関連施設に従事する研究者や技術者は、孤立状態に置かれ、各研究機関間の情報交換は非常に少なく、国内加速器に関する技術交流の必要性を強く感じ、特定なテーマを取り上げて研究会を開くことを試みましたが、旅費の制約が厳しく不可能でした。そこで、原子核研究所の電子シンクロトロンを維持・改善する助手や技官と一緒に、研究所のライトバンを借用して、東北大学原子核研究施設の300 MeV リニアックや日本原子力研究所の120 MeV リニアック視察を行いました。しかし、1台のライトバンに長時間のすし詰め旅行でしたので、このような視察は2度と出来なかったことを覚えています。

米国では、1966年にスタンフォードに全長3 kmの電子リニアック(SLAC)が完成しましたが、しかし、ビーム加速の試運転で予期しないビーム不安定現象に遭遇した報告には強い衝撃を受けました。SLACでは、周期構造に起因するビーム発散現象に万全な対策を施した加速管を設計製作し、リニアック計画を進めていたからです。この新しいビーム不安定性の発現には、SLACスタッフ総掛かりでその抑圧方法を検討し、速やかに対応処置をした見事さに感動しました。又、静止質量が小さい電子加速器には、色々なビーム不安定性が顕著に発現することを強く認識させられました。特に、これ以降、電子加速器では電子ビームの色々な不安定要因が重要な研究テーマとなりました。

1969年には文部省の学術審議会が素粒子研究所の建設を含む「学術振興に関する基本的施策」を文部大臣に答申し、1971年には、高エネルギー物理学研究所が創設され、筑波学園都市に8 GeV陽子シンクロトロンが建設され、1976年に8 GeVの陽子加速に成功しました。

しかしながら、この加速器建設については、その意義について色々意見がだされ、「世界的な観点と国内的な観点とを区別する必要がある。……即ち、KEKのPSは素粒子物理の先端を追求する道具ではあり得なかった。しかしその国内的な意味は全然異なる。日本の原子核、素粒子物理が仁科、湯川、朝永、坂田などの先覚者により実験、理論の両面において戦前から世界的役割を演じていたにも拘わらず戦後は少なくとも実験の面では著しく立ち後れの状態に陥ってしまった。この事態を挽回して、世界の水準にまで追いつくための第一歩としてKEKのPSは大いに意味がある²⁾と評価が下されているように、加速器の建設目的は実験装置の建設、或いは使用に関する経験の習得、研究者の教育、育成、自信の獲得にあったようです。

結果として、加速器に関わる研究者・技術者数も増えましたが、しかし、物理学会、他の学会にも色々な研究分野が広がり、この時点でも、物理学会などに加速器部会を設けることはやはり夢の夢でした。

国内の加速器に関する情報は依然として広がらず、意見交換や情報交換は個人レベルに限られていました。一方、欧米では学術雑誌以外に、学会や研究会では予稿集を発行しており、これは孤立した研究者・技術者にとっては、速報の情報源でした。更に、米国では大型加速器計画を企画すると専門家を招集しワークショップを開き、必ず設計報告書を作成する習慣がありました。これらの報告書は加速器計画や装置設計を詳細に知る上での非常に貴重な参考資料でした。又、欧米の研究所では、加速器の稼働状態や改良・改善作業を逐次報告書に纏めこれらを定期的に発行し世界中の主要な大学や研究機関に配布していましたが、これらの報告書からは加速器の稼働状態を窺い知ることが出来ました。

一方、日本の電子リニアックにおけるビーム不安定性の実態に興味を持ち、東北大学と共同で電子リニアックを保有する色々な研究機関の電子ビーム不安定の要因を測定させて頂きました。このことが動機になり、リニアックに係わる研究者や技術者が、加速器に共通な問題点、或いは個々の加速器に固有な特異現象に関する情報を交換するために一堂に集まろうという機運が生まれました。1975年7月にリニアックを保有する各研究機関の研究者や技術者がKEKに集まって頂き、リニアックに関する技術研究会を開くことになりました。

一方、KEKのPSが完成し、ブースターから陽子ビーム取りだしに成功したことから、1975年8月21日から3日間、第1回加速器科学シンポジウムが国立教育会館筑波分室で約300名が参加して開催された。このシンポジウムはパラレルセッション形式がとられ、加速器利用、加速器応用、加速器技術一般、放射線化学、サイクロトロン・バンデグラーフ、リニアック・電子ビーム、リニアック、医療への応用、制御、モニター、イオン源、偏極イオン源・高電圧、工業への応用、超伝導電磁石、電磁石、軌道解析・ビームライン、放射線計測、放射線遮蔽、将来計画などをテーマに120件が報告され予稿集も発行された。

加速器に関する情報が集中的に公開されるようになり、1976年12月には、KEKのPSが陽子ビームの12 GeV加速に成功したことにより、国内的な意義が達成され、経験の習得、研究者の教育、育成、自信を獲得すると、のど元過ぎるとなんとやらで、物理学会

に加速器部会を設ける機運は一気に萎んでしまいました。又、3年後の1978年に第2回が開催され、その後、2年に1回の開催が定着しました。しかし、2003年の第14回を最後にこの加速科学シンポジウムは解散し、加速器学会へ引き継がれることになりました。

リニアックについては、日常稼働する加速器に派生する色々な現象や故障を中心に、その対策や解決方法について、成功例や失敗例を率直に報告すると共に、リニアックに派生する色々な問題点を参加者が共有して解決することが、加速器発展に繋がることを意識して、技術研究会を設立することになりました。

第1回リニアック技術研究会は1976年7月22日から3日間、東北大学川渡合同セミナーセンターで親睦と交流も兼ねて開催されました。この研究会では、若手研究者の発表が目立ち、又パネルディスカッションとして「加速器の運転と保守」(コーディネーター：竹腰秀邦先生)が、特別講演として「Normal Mode Analysis of Linac Structure」(西川哲治先生)、「加速器の応用—明日へ展望を主として」(木村一治先生)、「 π -中間子によるガン治療その他」(熊谷寛夫先生)などが企画され予稿集も発行されました。

その後、リニアック技術研究会は毎年開催され、加速器は安定に稼働し実験や研究に役立つことが、その存在価値を高めると云う考えと日常業務から派生する加速器技術の向上や加速器の改良・改善が、新しい加速器要素開発の基盤であることが浸透して、加速器実学の重要性が認識されるようになりました。又、大学や研究機関に企業も参加して研究会を主催するようになり、その裾野も次第に広がって行き、加速器に関わる研究者や技術者は、以上のような経過を経て、確実に増えました。

現在、大学の研究室や附属研究機関、独立行政研究機関、大小企業の研究機関・施設・製造現場などで、新しい加速器の開発研究を目的する人、加速器を色々な研究に役立てるように性能向上を目指す人、加速器の製作に意欲を燃やす人、加速器を使って新しい研究を試みる人など多様であります。これらの人々がお互いに協調・融合し、情報交換できる状態でないと加速器の真の発展はないと確信します。

今回の年会・研究会では、このことに留意し、且つ日本加速器学会が発足した意義とこれまで継続されてきた技術研究会の特長を生されるように心掛けました。

年会・研究会は加速器に関わる全ての方々を包括する研究シンポジウムであることが理想的であります。特に、病院や大学で医療用加速器に係わる研究者や技

術者と加速器技術に関する情報交換を常に行うことは非常に重要と考えますが、しかし、それにはかなりの年月を要します。今回は、私自身力不足と準備不足で、このような環境にある研究者や技術者を一堂に会する状態にはほど遠い状態ですが、理想な年会・研究会に一步でも近づけるように試みました。どの分野の研究者や技術者でも年会・研究会に違和感なしに参加し発表できる方法を模索しました。参加者を十分に満足させる状態とは言えませんが、幸いにも、関係者の努力により、250件に迫る多くの研究発表が寄せられ、闊達なディスカッションと充実した情報交換が行われ、当初の目的は達成されたのではないかと感謝しております。

加速器は色々な科学を総合してはじめて成り立つ学問であります。一方、加速器は完成から数年経ないと性能が十分に発揮されないことも事実です。これは加速器がまだ色々な多くのノウハウに支えられていることを意味します。従って、まだ完成された学問でない証しでもあります。このノウハウが色々な角度から分析されて科学になり学問に進展することにより、加速器の更なる可能性が広がるものと期待しております。

加速器の発展は、加速器の開発研究と同様に加速器の実用化を重視し、加速器の研究開発、性能改善、技術革新、応用研究等が融合することによって促進されると考えて、これらの考えを今回の年会・研究会のキポイントにさせて頂きました。又、年会・研究会を完全なオープンシステムにすることは、年会・研究会の参加者を増やし裾野を広げることに繋がると考え、年会・研究会の運営を完全独立採算にして、参加費を払えば誰でも自由に年会・研究会で発表できることを原則としました。この趣旨を企業にご理解頂き企業展示の形式でご協力をお願いすることになりました。一方、経費削減のために、年会・研究会の開催通知、参加申し込み、予稿集書式などの情報は、全てNetworkを通じて行うことに徹しました。

研究発表形式は、口頭講演とポスターに分け、研究発表者にはリング加速器、直線加速器、加速器応用のどの分野でどの形式で発表するかを選択して頂きました。招待講演は、日本が抱える長寿とガンをテーマに「放射線治療と医療用リニアックの現状と展望」(中川恵一：東京大学医学部放射線科助教授)を話して頂きました。

懇親会では、来賓として小嶋勝衛(日本大学理工学部長：代理、安達洋 教授)と北垣敏男(東北大学名誉教授)が祝辞を述べられ、木原元央学会会長が挨拶と乾杯の音頭をとられ、最後に次回開催地(佐賀県立

九州SL)の富增多喜夫氏に挨拶して頂きました。又、来賓にお招きしましたが、ご都合によりご出席できなかった小柴昌俊(東京大学名誉教授)と平尾泰男(東京大学名誉教授)に、下記のようなコメントを頂きました。

「お招き有難うございます。然し持病になってしまった多発筋痛症のため夜の席はご遠慮しております。かつての私のグループも35年前に電子陽電子衝突実験の重要性を認識し実験を続けてまいりました。いま素粒子物理学にとってリニアークライダーは掛け替えの無い重要な実験を提供してくれるものだと理解しています。どうかご列席の皆様のご努力によって一日も早く実現するようにと願っております。」

小柴昌俊

「日本加速器学会第一回年会を心からお祝い申し上げます。本日、加速器の医学利用に関するシンポジウムの先約があり、出席できないことを非常に残念に思っています。小生が加速器に係わって既に50年、戦後の廃墟の中で手作りの加速器で始まった核物理学も高エネルギー物理学もその間大いに進展し、また加速器の応用も目覚ましく発展して、次第に物理学の一分野という位置付けには馴染み難くなってきてしました。今般、皆様の努力によってようやく長年の念願の「加速器学会」として発足できました。本当に喜ばしいことと存じます。加速器科学の今後の益々の発展を祈念しつつ、一言お祝いを申し上げます。」

平尾泰男

最後に、日本で最初の記念すべき加速器学会を日本大学理工学部で開催させて頂きましたことを感謝致しますとともに、日本加速器学会年会・リニアック技術研究会の合同開催に向けて、ご尽力されました多くの関連者に、この場を借りて深くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) T. Kitagaki, "Separate function strong focusing" Phys. Rev. (1953)
- 2) 「陽子シンクロトン実験の成果に対する評価」からの抜粋文、(1981年11月)
南部陽一郎(シカゴ大学教授)、北垣敏男(東北大学教授)、山口嘉夫(東京大学教授)



写真1 ポスター・セッション(榎 泰直氏 撮影)



写真2 階段教室(榎 泰直氏 撮影)



写真3 懇親会(榎 泰直氏 撮影)



写真4 通常発表 (榎 泰直氏 撮影)



写真7 懇親会 (榎 泰直氏 撮影)



写真5 通常発表 (榎 泰直氏 撮影)



写真8 昼食 (榎 泰直氏 撮影)



写真6 施設見学 (榎 泰直氏 撮影)



写真9 施設見学 (榎 泰直氏 撮影)