

会議報告

CYC2019 報告

神田 浩樹 *

Report of CYC2019

Hiroki KANDA *

1. はじめに

第22回サイクロトロンとその応用に関する国際会議(The 22nd International Conference on Cyclotrons and their Applications: CYC2019)は2019年9月22日から27日の日程で、南アフリカ共和国のケープタウンで開催された。この国際会議は3年に1度開催されているが、今回のホスト研究機関の iThemba LABS がこの会議をホストするのは2回目、前回は1995年とのことであった。今回参加された先生方にも1995年の会議に参加された方が多く、その当時の(主に観光の)興味深いお話を聞かせていただくことができた。

南アフリカと聞くと治安が悪いという印象が強い。それを考慮してか、空港からホテルまでの交通手段についても iThemba LABS の職員の方の車で送迎という形で対応していただいた。空港からダウンタウンに向かう幹線道路沿いには薄汚れた小さな家が密集している集落が見え、スラムを形成していると教えてくれた。この日はちょうど雨がちで、昼とはいえ薄暗く、気持ちは浮かないのであった。

会場の The Westin Cape Town はケープタウンの国際会議場に隣接しておりスラムのイメージとは程遠い、明るく開かれた場所にあった。ケープタウンは観光やビジネスで外国からの訪問者が多く南アフリカの中では比較的経済的に潤っており、治安も良いとのことであった。たしかに会場近くのホテルやショッピングセンターは人でにぎわっており、街並みは清潔で治安は安定している

ようであった。筆者の宿泊したホテルは会場から徒歩で5分のところにあつて、基本的にホテルと会場を往復する生活をしていたことから、治安の悪さを感じることもなく過ごすことができた。翌日は昨日までの曇り空とは打って変わって晴天となった。近郊の Table Mountain もビルの合間から見ることができた。夕刻に開催されたレセプションの会場へ向かう道から見ると、雄大な Table Mountain が頂も平らに眼前に広がっていた。気候もさわやかで、会議への出席に向けて気持ちも盛り上がってきた。

2. 会議報告

会議は The Westin Cape Town の地下1階のフロアを使って行われた。会場のボールルームは600人収容とのことであるが、今回の会議の参加者は総計194人であつてゆったりと着席して報告を聞くことができた。ボールルーム前のホワイエには企業のブースとポスター用のパネル、コー



図1 Table Mountain の眺望.

* 大阪大学核物理研究センター Research Center for Nuclear Physics, Osaka University
(Hiroki Kanda E-mail: kanda@rcnp.osaka-u.ac.jp)

ヒーブレーク用のテーブルが用意されていた。

会議のトピックを大まかに分けると、サイクロトロンを擁する研究所の現状報告やアップグレード計画、医療応用やアイソトープ製造、イオン源技術、大強度化のための技術、制御技術、ビームダイナミクスやシミュレーションであった。また技術開発の中でも FFA (Fixed Field Alternating gradient accelerator) に関しては独立したセッションが全15セッションのうち2個割り当てられており、力が入られている様子が見えた。なお FFA はこれまで FFAG と呼ばれていたものだが、最近になって略称を変更したと FFA 関連セッションの座長を務めていた森義治氏より紹介された。若手研究者のセッションも設けられていた。結果的にはこのセッションで報告したのは1名のみであったが、若手研究者を encourage しようという意図が強く感じられた。

会議の最初のセッションで会議の International Organizing Committee および Scientific Programme Committee の委員長であり、かつ、このセッションの座長を務める Lowey Conradie 氏による開会のあいさつがあり、その後南アフリカの歴史と iThemba LABS の成り立ちについて簡単な説明があった。経済や政治での混乱が大きいアフリカの地において原子核物理学や加速器物理学など最先端の科学技術（しかも経済規模のそれほど大きくない国には開発や維持への理解を得ることはなかなか困難であろう）がどのようにアフリカに光を照らし希望 (iThemba とは現地のコサ語で希望を意味するそう) を与えるかについて深く考えさせられた。

以下いくつかの報告について簡単に紹介する。研究所の現状やアップグレード計画では超伝導電磁石の使用と大強度化が最近の潮流であり技術開発が世界中で進展していることが多くの報告から伺われた。最近の潮流のまとめとして重要なのは Luciano Calabretta 氏によるレビューであった。このレビューでは世界におけるサイクロトロンの販売状況が加速粒子のエネルギーや強度毎に示され、各メーカーの世界市場におけるシェアなど興味深い統計が提示された。さらに、サイクロトロンの大強度化とその目的・用途がエネルギー毎に示され、現在のサイクロトロン開発の潮流が非常に分かりやすく報告された。また、大強度サイク

ロトロンへの高効率な入射のアイデアとして永久磁石を用いた磁氣的スパイラルインフレクターが紹介された。このインフレクターの基本デザインは INFN-LNS で完了しており Isodar サイクロトロンの入射システムとして設計の最適化が行われているとのことであった。

超伝導電磁石の使用については多くの検討が行われており、RI 製造のためのサイクロトロン (Victor Smirnov 氏の報告や Yi-Nong Rao 氏の報告) や陽子線治療のためのサイクロトロン (Oleg Karamyshev 氏の報告) など、サイクロトロンを小型化し電力消費を抑えることで加速器の製造や利用のハードルを下げることを目的としているとのことであった。これらはいずれも鉄心や鉄のヨークを用いた超伝導電磁石を使用するものであったが、一方で、若手研究者セッションの HuiWen Koay 氏による報告は鉄心を全く使用しない高温超伝導電磁石を使用したサイクロトロンの設計に関するもので、磁場の容易な変更と高い再現性を持たせるという超伝導技術の野心的な応用であった。

シミュレーション技術については、最近の AI 技術の応用としてシミュレーション時間を短縮するアイデアが Andreas Adelman 氏によって報告された。これは surrogate (代用) models と名付けられており、計算に時間を要する OPAL 等のシミュレーションの結果を AI に学習させて結果を予測させることで時間短縮を図るというものである。確かに OPAL の計算では大量の super particle の運動と電磁場についての微分方程式を数値的に解くために計算結果を得るためには長い時間を要することから、少々の計算条件の変更の度にシミュレーションをすることは得策ではない。Adelman 氏の報告によれば AI と OPAL の計算結果の一致が十分なレベルに達するまで開発が進んでいるとのことであった。Adelman 氏は OPAL の開発状況についても報告しており、残留ガスとの相互作用や電磁場によるストリッピングの効果によるイオンの価数変化などの新機能を開発中とのことであった。この残留ガスとの相互作用については、Pedro Calvo 氏によるポスターで詳細に報告されていた。このシミュレーションモデルは小型の超伝導サイクロトロンにより H^- イオンを 8.5 MeV まで加速を行い ^{18}F や ^{11}C の製造を行う

AMIT サイクロトロン設計のために開発されているとのことで、正式版のリリースが待たれる。

FFA 関連の技術開発状況の議論に力を入れている今回の会議であるが、CIAE や RAL といった施設の将来計画には FFA の建設が含まれており、大強度、高エネルギービームを得るための加速器として設計が進められているとのことであった。FFA 開発の現状については Jean-Baptiste Lagrange 氏がレビューを行った。FFA の安定性に関する研究が進み、さらに OPAL, SCODE, Zgoubi といった空間電荷効果を取り入れたサイクロトロン用のシミュレーションコードによって、大強度ビームへの影響を調べることも行われているとのことであった。また、FFA の基礎となるビーム光学の複数の概念が提案され、それぞれに対する検討の現状が報告された。Horizontal excursion FFA として分類されるスパイラル型のフォーカス型とデフォーカス型のセクター電磁石を組み合わせた Spiral FFA が、RAL の ISIS-II 計画における陽子を 1.2 GeV まで加速するための加速器として設計されているとのことであった。CIAE の FFA を含む将来計画は Tianjue Zhang 氏によって報告された。これは CIAE の 100 MeV サイクロトロン (CY-CIAE-100) を入射器として使用し、800 MeV リングサイクロトロンのブースターと最終段の FFA を建設して陽子を 2 GeV まで加速するという計画である。この FFA は加速用 RF を固定周波数とし、高温超伝導電磁石によって作られる等時性の磁場によって CW モードでの加速を可能とすることで、高い到達エネルギーを得るとともに 3 mA という大電流ビームの加速による、電力効率の向上も目指している。この計画はビームダイナミクスの計算のみならず、実現のために必要な高温超伝導電磁石や高周波空洞の R&D まで進められているとのことであった。

また固定磁場の電磁石を用いた円形加速器を周回する粒子の軌道を単純なフーリエ級数で表し、それを逆に解いて必要な磁場を決定するというユニークな試みについて Thomas Planche 氏による興味深い報告があった。例として、単純な円運動からセクター分離型のサイクロトロン、スパイラル型のセクター電磁石を持つサイクロトロン、FFA の内部の理想的な軌道を元に磁場を決定し、シミュレーションコードによって軌道を計算して

表1 Contribution 数の種別、地域別集計 (IOC のサマリースライドより)。

CYCLOTRONS 2019 Contribution Counts by Region

#	Region	Invited Oral		Contributed Oral		Poster		Total	
1	Europe	7	50.00%	25	65.79%	25	36.76%	57	47.50%
2	Asia	5	35.71%	6	15.79%	35	51.47%	46	38.33%
3	North America	2	14.29%	5	13.16%	1	1.47%	8	6.67%
4	Africa	0	0.00%	2	5.26%	3	4.41%	5	4.17%
5	Middle East	0	0.00%	0	0.00%	4	5.88%	4	3.33%
Total Contributions		14	11.67%	38	31.67%	68	56.67%	120	



チェックした様子が報告された。

会議の最終セッションにて会議の統計情報が International Organizing Committee から報告された。会議の contribution はオーラル、ポスター含めて 120 とのことであった。地域別だとヨーロッパが最大の割合を占めており 47.50%、次いでアジアが 38.33%、北米、アフリカ、中東と続く (表1)。国別でのトップ5 は中国で 16.67%、次いで日本、韓国がどちらも 10.83%、スイスが 10.00% で、ロシアが 9.17% とのことであった。ヨーロッパから南アフリカへは直行便があることの利便性と、歴史的なつながりが強いことからヨーロッパからの参加者が多いことが伺われた。一方で中国、日本、韓国から南アフリカへのフライトはヨーロッパもしくは南アジアでの乗り継ぎが必要になるにもかかわらず多くの研究者が参加しており、サイクロトロンや加速器そのものや応用の研究のアクティビティが高い様子が示されている。会議の終わりに次回のホスト機関が決定したことが紹介された。次回は 2022 年に北京の CIAE にて開催されることとなり、代表の Tianjue Zhang 氏から CIAE の様子、会場となる北京市内の様子が美しい写真と共に紹介された。

3. おわりに

会議が終了したのは 27 日の正午を過ぎたあたりであった。会場のホテルには最終日の昼食を提供していただき、多くの参加者と閉会の名残を惜しみつつ午後の予定を話し合いながら南アフリカでの最後の食事を楽しんだ。日本国内の大学・研究機関・加速器開発企業から参加していたメンバーの多くは午後から夕方にかけて Table Mountain の登山を目指しているとのことであったが、



図2 Boulders Beach のペンギンのコロニー。

登山から戻るのが夕方遅くになると聞き及んで同行はあきらめた。筆者は19時発の航空便で帰路に就く予定であったため、16時にホテルを出るつもりで送迎の予約をしていたのである。

とはいえ空港への送迎の車が出る午後4時までの間、無為にホテルで過ごすのももったいない。そういうわけで筆者はケープタウン近郊の Boulders Beach という海岸に弾丸ツアーで出かけることにした。Google Map によればケープタウンから Boulders Beach までは車で1時間程度であった。ホテルのコンシェルジェに相談したところ、確かにタクシーで40分から1時間だと時間について太鼓判を押してくれた上にタクシーの手配もしてくれた。

午後1時から1時間で Boulders Beach に出かけ、1時間滞在し、1時間で戻ってくればなんとか空港への車の出発に間に合う。1時間の滞在の目的



図3 集合写真。

は、南半球にしかない鳥、ペンギンのコロニーを見に行くことである。ペンギンと言えば好奇心が強くて人を警戒しない可愛い奴らという漠然としたイメージを持っていたのだが、それは人間を見たことのない南極にいるペンギンたちの話であった。こちらにコロニーを作っているケープペンギンは気性が荒いらしく、なんと看板には「噛みます (Penguins bite)」と書いてあるのであった。幸いにも噛まれることもなく無事コロニー見物を終え、帰路に就くことができた。

筆者の携帯電話の壁紙は Boulders Beach で撮った、多くのペンギンが逍遙している海岸の写真である。