Beyond The Era

再訪問

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター（CYRIC）訪問記

松﨑　浩之
Matsuzaki Hiroyuki

緑眩しい夏のある日，東北大学青葉山キャンパスにあるサイクロトロン・ラジオアイソトープセンター（以下，CYRIC：Cyclotron and Radioisotope Center）を訪問した（**写真1**）。CYRICには，1977年に理化学研究所の野崎正氏が訪問[1]しており，今回は，46年の歳月を隔てた再訪問，となる。1977年という年は，CYRICの中核装置である，AVFサイクロトロンが設置された，まさに，CYRIC発足の年にあたる。野崎氏の訪問記を拝読すると，新しいサイクロトロン加速器や，様々な応用研究への期待が述べられている中で，目を引く記述があった。それは，「核物理と加速器自身の研究と教育には40％未満のマシンタイムしか割り当てない」というものである。CYRICの理念として，設立当初からいわゆる学際領域への貢献が掲げられていたのである。そしてCYRICにおける数々の実績が，この理念が今日まで営々と受け継がれてきていることを証明している。

今回ご案内の労をとってくださったのは，現センター長の渡部浩司先生であった。渡部先生のブリーフィングでも，多部局連携，学際領域での貢献を強調しておられた。

一口に学際領域，と言っても様々な分野があると思うが，東北大学CYRICを特徴づけている柱の1つに医薬学領域との連携がある。東北大学では早くからPET（Positron Emission Tomography）を用い

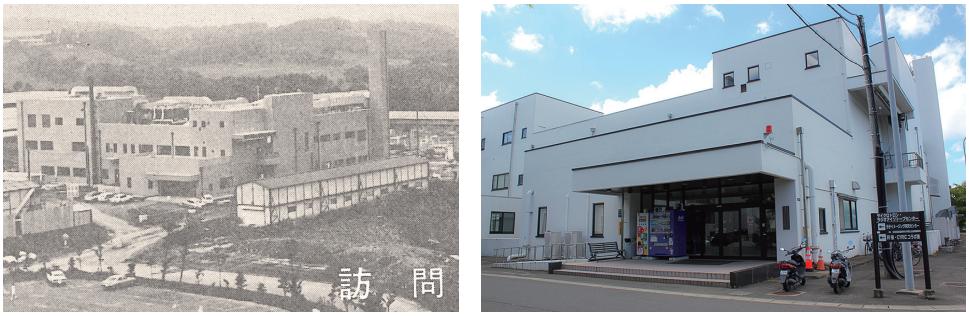

写真1　東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター建物外観
（左）1977年当時，（右）現在

[1] *Isotope News* No.280「訪問」（1977年10月号）
協会ホームページ「会員マイページ」からログインし「広報誌」内の「*Isotope News* ライブラリー」にて会員限定で公開している。
会員マイページ⇒ https://jrm.jrias.or.jp/mypage/login/login

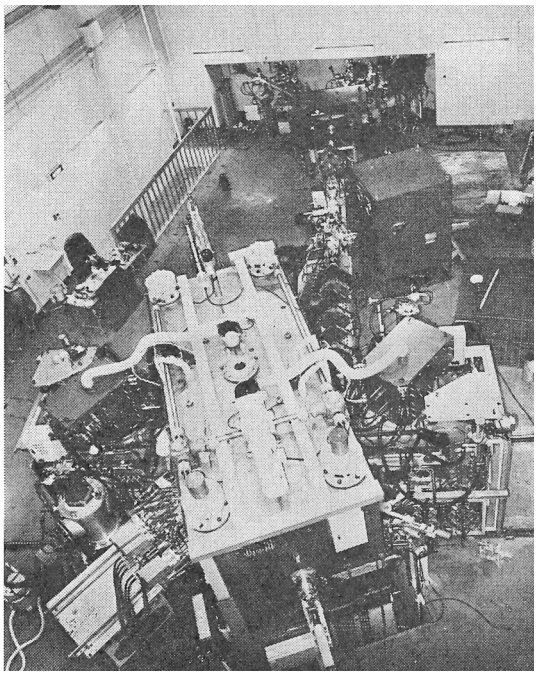
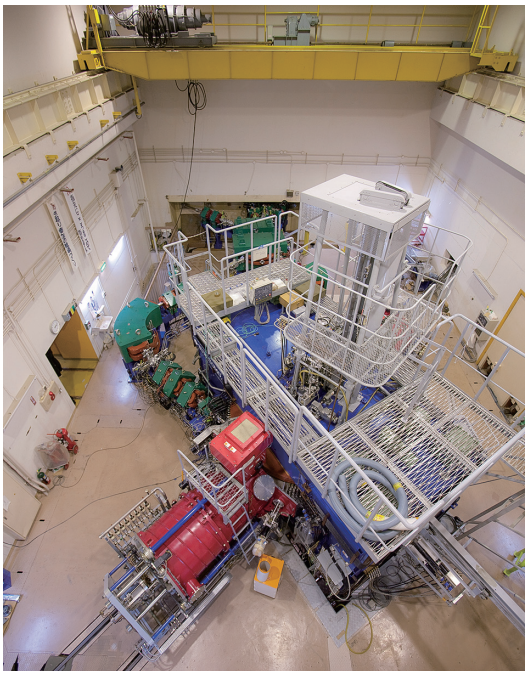

写真 2　サイクロトロン本体
（左）1977 年当時，（右）現在（930 型 AVF サイクロトロン）

た診断医学の研究が行われてきたが，CYRIC では，サイクロトロンで製造された PET 標識用 RI が，即座にホットラボに運ばれ，PET 製剤に合成，ただちに PET 装置で利用される，という一連のシステムが構築されており，日本のみならず，世界の PET 研究をリードしてきたという実績がある。今日では，PET はがん診断に欠かせない検査法として広く認識され，我が国でも保険適用がなされているが，これには東北大学 CYRIC の先駆的な研究が大きく貢献している。PET 自体の技術は，その検出精度・感度や適応範囲が日々進歩している。CYRIC では，近年，生体内分子の働きに注目した「分子イメージング」という考え方で，^{11}C や ^{18}F を利用したより高機能な PET 薬剤の開発や，標識 RI 製造過程における様々な課題解決のための研究を進めている。

更に，2020 年から始まった，DATE（Deuteron Accelerator for Theranostics mEdicine at Tohoku University）プロジェクトでは，国立量研機構，住友重工等と協力しながら，銅の放射性同位体（^{64}Cu（半減期 12.7 時間）と ^{67}Cu（半減期 61.8 時間））の大量製造と様々ながんの診断治療に有効な RI 医薬品開発に取り組んでいる。^{64}Cu は PET 標識 RI として利用可能なポジトロン放出核種であると同時に，治療に利用可能なβ線も放出するため，β線放出核種で同位体の ^{67}Cu と組み合わせ，診断と治療を同時に行える新しい医療技術の開発が期待されている。ここでポイントとなるのが，^{64}Cu と ^{67}Cu の大量製造である。CYRIC では，重水素を負イオンとして加速することによって大電流を実現し，炭素ターゲットへの照射によって大フラックスの中性子を生成する。これを亜鉛ターゲット（^{64}Zn 及び ^{67}Zn）に照射して，（n, p）反応によって ^{64}Cu と ^{67}Cu を得るとしている。本プロジェクトも，サイクロトロンを柔軟に活用できる，CYRIC ならではのプロジェクトであると言えよう（ちなみに，DATE プロジェクトは“ダテプロジェクト”と発音する。言わずと知れた戦国時代の東北の雄，伊達政宗にちなんでいる）。

ここでは PET 関連研究を例として挙げたが，こうした学際研究を優れたものとするためには，それを支える加速器や検出器等装置開発も重要である。ここで，現在 CYRIC に備わっている装置群を概観してみよう。

CYRIC における最初のサイクロトロン加速器は，K 値（イオンを加速する能力を示すパラメータ）= 50 MeV であったが，1999 年に K 値 = 110 MeV の 930 型にアップグレードされている（**写真 2**）。この 930 型 AVF サイクロトロンはイオン源もユニー

クな特徴を備えており，軽イオン用 ECR（Electron Cyclotron Resonance）イオン源，重イオン用 ECR イオン源に加え，負イオン源を備えている。2 台の ECR イオン源からは陽子，重陽子，He，C，N，O，Ne，Ar，Kr，Xe 等，多彩なイオンが生成されるほか，複数のイオン（C + N + Ne 等）を同時に加速するカクテルビーム加速も行っている。また，負イオン源を備えていることによって，負イオンを加速することができる。負イオンは，正イオン加速よりも大強度のビームを生成することができ，DATE プロジェクトでも利用される。

CYRIC にはもう 1 台小型のサイクロトロン CYPRIS-HM12 が設置されている（**写真 3**）。こちらは陽子の最大加速エネルギーは 12 MeV（重陽子は 6 MeV）と小さいが，60 μA（重陽子は 30 μA）の大電流を取り出すことができ，標識 RI 製造専用加速器として，^{11}C（半減期 20.4 分），^{13}N（10 分），^{15}O（2 分），^{18}F（110 分）等種々のポジトロン放出核種を生成し，PET 製剤に利用されている。ターゲットは気体及び液体に対応している。例えば，分子イメージング用のプローブとして用いられる ^{11}C はターゲットに窒素ガスを用い，^{14}N(p, α)^{11}C の反応で生成される。また，同じく分子イメージングで利用される ^{18}F は，^{18}O を含む液体の水をターゲットとして，^{18}O(p, n)^{18}F の反応で生成される。ビームの照射後は，気体か，液体かによって，異なる輸送システムで即座に薬剤合成ラボに輸送される。

サイクロトロンのビームは，単寿命の RI を製造するだけでなく，粒子線治療のための基礎研究にも利用されている。このための専用ビームラインを備えており，照射装置には，水平・垂直ビーム走査電磁石，散乱体チャンバー，エネルギー変調フィルターやレンジシフター等を備え，現実の粒子線治療のための技術開発から，医療機序に関わる基礎研究まで行われている。

そのほかにも，核物理学研究のための大型散乱槽，宇宙空間での宇宙線粒子が半導体集積回路に与える影響を調べるための大強度高速中性子ビームコースや半導体照射試験装置を備えている。

2 台の加速器周辺には，照射ターゲットをホットラボから照射室に送り，また回収するためのターゲットシャトル駆動システムがある（**写真 4**）（**写真 5**）。DATE プロジェクトでも，核種を製造するだけではなく，照射後のターゲット（Zn）から Cu を取り出し精製するホットケミストリーも必要であり，CYRIC における照射室とホットラボの連結システムが有効に活用される。

写真 3　CYPRIS-HM12 サイクロン

照射して生成された標識核種を抽出して PET 診断用放射性薬剤に合成する過程は，自動合成装置で行われ，作業者が被ばくすることが無い。合成薬剤は，pH，純度，無菌性等が迅速に検定され，基準を満たしたもののみが実際に PET 診断に用いられる。

PET 装置等のイメージング装置としては，小動物用 PET（島津製作所 Clairvivo-PET）（**写真 6**），小動物用 CT（島津製作所 Clairvivo-CT），プラナーイメージング装置（浜松ホトニクス PINK-5000）中動物用 PET/CT（島津製作所 Eminence SOPHIA）（**写真 7**）を持っている。

以上，2 台のサイクロトロンを中核として，様々な装置群が幅広い領域の学際研究を支えていることが分かる。

さて，本稿の冒頭で，核物理の研究に対するマシンタイムは制限されているとの記述を引用したが，その核物理の分野でも顕著な実績を積み上げてきていることを特筆したい。一例を挙げれば，精密な核計測を駆使した宇宙の起源における CP 対象性の破れ（物質と反物質の不均衡）の解明の研究では，原

写真 4　ターゲットシャトル駆動システムの制御盤

写真 5　高線量照射ターゲットを扱うホットラボの 1 つ

写真 6　小動物用 PET（島津製作所 Clairvivo-PET）

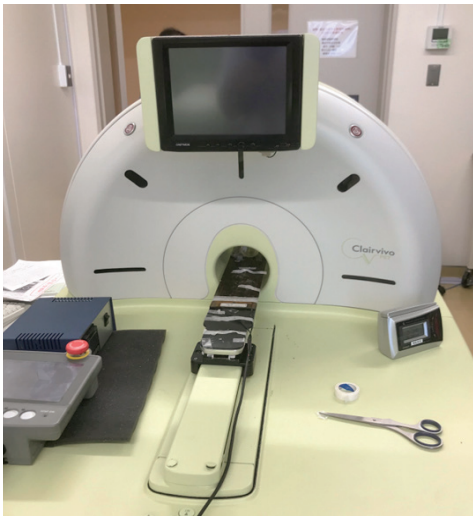

写真 7　中動物用 PRT/CT（島津製作所 Eminence SOPHIA）

子量最大の放射性元素フランシウム（Fr）を極度に冷却した量子状態に閉じ込め，Fr におけるわずかな電化分布の偏りの測定を試みた。このために，大強度 Fr ビームを生成するイオン源，生成した Fr ビームをレーザー冷却・トラップする装置，電化分布の偏りを測定するための電気双極子能率（EDM）測定装置等，先端技術の開発を成し遂げた。一連の研究成果は世界的にも大きな注目を集め，素粒子物理の歴史に貴重な一歩を刻んだと言えよう。この成果は，もちろん偉大なものであるが，ここで注目したいのは，この研究を遂行するにあたっては，イオン源開発，加速器技術，イオントラップ装置開発，測定装置開発といった複数の開発項目をすべて連携させることができた，という点である。

PET 関連研究にしても，Fr ビーム発生及びトラップシステムにしても，CYRIC には，加速器の決まりきった利用法にとどまらず，目的のために柔軟に多要素連携を実現していく土壌が根底にあると思われる。

CYRIC には放射線管理研究という，もう 1 つ重要な活動の柱がある。周知のように，現代社会においては，放射線や放射性同位元素（RI）は基礎科学・環境科学・医療等多くの分野で不可欠なものとなっている。CYRIC では，放射線・RI を安全に扱う技術を高め，その背景にある物理の理解を深める研究を進めると同時に，これを利用者への教育に生かしている。CYRIC は東北大学の放射線・RI 教育のセンターとしての役割を担うのみならず，国立大学アイソトープ総合センター会議の幹事校として，全国の教職員の教育活動にも貢献している。実際，センター内には，非密封 RI 実験フードがずらっと並んだ教室を有しており，設備の充実ぶりには目を見張るばかりであった。

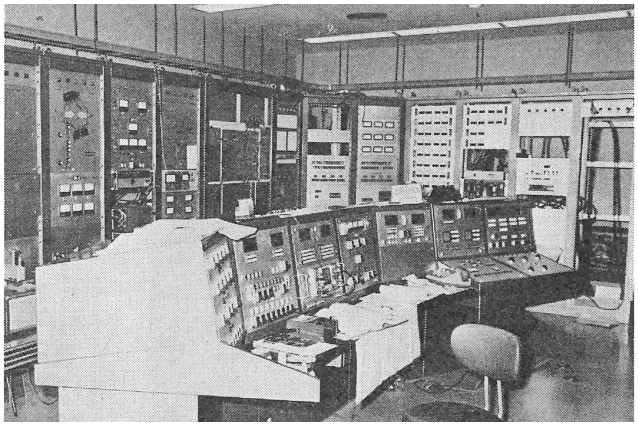

写真 8　制御室

（左）1977 年当時，（右）現在

以上のように，東北大学 CYRIC はサイクロトロン加速器を中核に据え，多彩な設備と機能を持つ学際研究拠点である，ということができる。渡部センター長の案内で，施設の数々を見て回った（**写真 8**）。上へ下への移動，はたまた別の建物への水平移動，と導かれるままにあちこち歩き回ったため，正直なところ，施設の全体構造は，よく理解できていない。しかし，46 年の歴史を刻んだと思われる年季の入った空間と，最近更新されたと思われる整然と整った空間が入り混じった印象を持った。プロジェクトによって柔軟に機器類が配置された結果かもしれない。聞けば，現在では，大学病院内に，RI 製造用加速器と薬剤合成用装置，ヒト用 PET 装置が置かれ，実際の臨床に用いられているという。もちろん，これは CYRIC での研究を基礎として構築されたものであろう。ただ，PET 診断の実用化，という側面だけ見れば，CYRIC の役割は一段落した，との見方もできる。一方で，実用に供していないだけに，自由な開発研究ができる，とも言える。そしてそれはひとえに研究者の発想と努力にかかっている。どんな優れた装置でも，それを生かす研究者の知恵がなければ陳腐化してしまう。CYRIC が現在でも先端研究を進められている背景には，研究者たちの不断の努力があるのだろう。そんなことを考えた訪問であった。

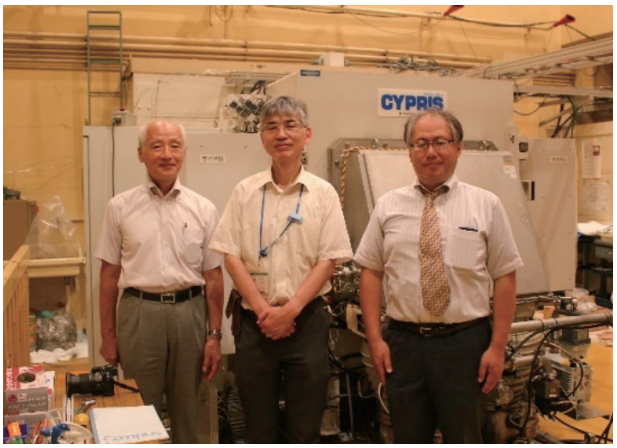

写真 9　CYPRIS-HM12 サイクロンの前で

左から上蓑義朋日本アイソトープ協会常務理事，渡部浩司センター長，筆者

今回の訪問にあたっては，お忙しい中，終始丁寧なご案内をしていただきました，渡部浩司先生に感謝致します。また，同道してくださった，上蓑義朋編集委員長，取材をサポートしてくださった，本誌事務局にお礼を申し上げます（**写真 9**）。

本稿を執筆するにあたり，東北大学 CYRIC のホームページ，外部評価報告書（2019 年），野崎正氏の前回の訪問記を参考にさせていただいた。

（東京大学　総合研究博物館）

センター長からのコメント

渡部　浩司 氏

この度は，東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター（CYRIC）にお越しいただき，たいへんありがとうございます。また的確に当センターの活動を記事にしていただき，感謝申し上げます。

46 年ぶりの再訪問ということですが，きっと 46 年前に本センターに在籍していた諸先輩方は，現在の CYRIC の活動を想像できなかったでしょう。これは時代の潮流に乗って変化したということはもちろんありますが，CYRIC の組織がこのような変化ができるようにあらかじめプログラムされたものです。異分野の専門家の集合体である CYRIC はその時々によって形態を変化できるようになっています。難を言えば，組織が小さいため，どこかに障害があると，とたんにすべてがストップしてしまいます。まさしく，自転車操業状態で，チェーンが切れたり，タイヤがパンクしたり，ブレーキが効かなくなったりを，直し直し運用してきました。そろそろアップグレードの時期です。きっと 20 年後の CYRIC は私がまったく想像していなかったセンターになっていることでしょう。

訪問施設大募集！！

本誌「訪問」欄に取り上げて欲しい施設・研究機関・病院等がございましたら，こちらまでお問合せください！