



国際機関活動報告

「IAEA/PACT programme officeでの2年間」

印象記

「第48回粒子線治療研究グループ (PTCOG) 国際会議報告」



▲国際原子力機関・PACT事務局から派遣されたモロッコの首都ラバトの大学病院にて。アフリカで放射線治療の研修ができる施設はとて少なく、各地から医師や技師が集まり、研修後は自国に戻っていく



▲ハイデルベルク城とネッカー川に架かる古橋 (PTCOG48開催地 ドイツ・ハイデルベルク)



▲第48回粒子線治療研究グループ国際会議 (PTCOG48) 辻井会長、3年間お疲れさまでした



▲当所正面玄関前に設置されている国際原子力機関 (IAEA) の協力センターと認定された銘板

Contents

- 04 **国際機関活動報告**
IAEA/PACT programme officeでの2年間
重粒子医学センター病院 治療課
今井 礼子
- 10 **印象記**
第48回粒子線治療研究グループ (PTCOG) 国際会議報告
理事
辻井 博彦
重粒子医学センター 重粒子線がん治療普及推進室 藤田 敬
- 15 **印象記**
第26回PIXEシンポジウム
併催:第3回共用施設 (PASTA&SPICE)共同研究成果報告会
第4回静電加速器利用ワークショップ
基盤技術センター 研究基盤技術部
今関 等
- 20 **関連研究施設紹介**
放射光施設SAGA-LSの現状
九州シンクロトロン光研究センター加速器グループ
江田 茂
- 24 **解説**
炭素線治療における
NIRS-ETOILE合同シンポジウム 2009
Bleddyn Jones
University of Oxford.
訳: 重粒子医学センター運営企画室/国際オープンラボラトリー運営室 伴 貞幸
重粒子医学センター長 鎌田 正
理事 辻井 博彦
- 31 **お知らせ** -公開シンポジウム- UNSCEARの最新動向と放射線防護研究の展望
分子イメージング研究センター 第4回 画像診断セミナー
- 33 **SR Salon Photograph**
三井 正紀
- 34 **随想**
市川 龍資
- 35 **編集後記**

重粒子医科学センター病院
治療課 医長
今井 礼子



今井 礼子 (Reiko Imai)

はじめに

2007年9月下旬から2009年9月下旬までの2年間、オーストリアの首都ウィーンに本部のある国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency) 原子核科学・応用局 (Department of Nuclear Science and Applications)、PACT (Programme of Action for Cancer Therapy) 事務局で日本政府からの派遣という形で radiotherapy adviser として勤務しました。

IAEA

IAEA は <Atoms for Peace> を理念に掲げて 1957 年創立された、原子力を軍事転用されないための保障措置と原子力の平和利用の促進を進める国際機関です。現在加盟国は 150 カ国です。2005 年に原子力エネルギーの平和利用に対する貢献ということでノーベル平和賞を当時の事務局長 (Director General) モハメド・エルバラダイ氏と IAEA が同時受賞しました。日本は全加盟国中、拠出金第 2 位であり、さらに各省庁、民間企業、日本原子力機関などから定期的に人的派遣を行うなど、その活動に貢献しています。2009 年 12 月には日本人の天野之弥新事務局長が就任する予定です。天野

之弥氏は前ウィーン国際機関日本政府代表部全権大使でいらっしゃいました。IAEA には事務局長以下 6 局がありそれぞれ事務次長 (Deputy Director General) を筆頭に、管理局 (Department of Management)、技術協力局 (Department of Technical Cooperation)、原子力局 (Department of Nuclear Energy)、原子力安全局 (Department of Nuclear Safety and Security)、原子核科学・応用局 (Department of Nuclear Science and Applications)、保障措置局 (Department of Safeguards) があります (図 1)。IAEA は別名 Nuclear Watch Dog と言われているように、日本で一番広く知られているのはおそらく、保障措置局の活動でしょう。イランや北朝鮮の核施設への査察の様子などがテレビのニュース番組などで放送されたことがあります。しかし、保障措置分野以外にも IAEA は様々な分野で活動しています。原子力局では原子力発電に関する技術や安全性向上のための支援、原子力安全局では原子炉施設に関する国際的な安全基準の作成および普及をはじめとする国境を越えた安全性の確保に関する支援、協力を行っています。医療、鉱工業、農業、食品と栄養、環境等の人々の日々の生活に近い分野における放射線、放射性核種の応用利用を中



2008年第52回IAEA総会にて

心に支援活動を行うのが私の所属していた原子核科学・応用局です。技術協力局は途上国 (加盟国でなければ支援は受けられません。) からの要請に基づきこれら分野の支援に関する予算の分配を行っているところです。具体的には、加盟国中の途上国が特定の分野に関してプロジェクトを作り支援を申請します。その申請に対し、それが適切であるかどうか、実現するために何が必要か、などを各部局の technical officer (いわゆる Professional staff といわれる技術専門職) を交えて話し合いながらプロジェクトの採択から実行まで進められます。この技術協力局で分配される予算は、通常予算 (おもに人件費、会議費、情報配布費、保障措置実施費等で用いられる) とは別に技術協力基金として別途、加盟国からの拠出で賄われます。日本はここにも多額の拠出をしています。

PACT

私の所属していた PACT 事務局 (Programme of Action for Cancer Therapy Office、<http://cancer.iaea.org/index.asp>、http://cancer.iaea.org/documents/PACTBrochure_Small.pdf) は、原子核科学・応用局 (NA 局) 局長直轄組織であり、2004 年に設置されたばかりの新しい組織です。2005 年にエルラダイ事務局長がノーベル平和賞の賞金の一部を PACT に寄付し話題にもなりました。PACT は、端的に言えば発展途上国の包括的がん治療の向上をサポートすることを目的としたプログラムです。がん征圧を目的にその国の cancer control plan に基づいて予防から終末期医療までの一連のがんに関わる医学分野全般をサポートすることがねらいです。よって、カバーする領域は、途上国の national cancer control plan 自体の立案の相談から、予防教育、検診の導入、放射線治療装置の導入、緩和医療に関する支援まで、まさに、がん治療の A to Z と、とても広がっています。放射線治療と核医学診断に関しては従来から NA 局ヒューマンヘルス部が担ってきた長い歴史があります。PACT はこの枠を取りこみ、さらに超えた活動をしています。これまで IAEA が行ってきた途上国支援の形態の基本は、途上国側が分野ごとの申請書を作成し IAEA/技術協力局 (TC 局) に提出し、それに基づき TC 局が予算を分配し、その分野の関係部署が技術的サポートを行う、というもので現在も基本的にこの方法により技術協力基金は分配されています。途上国が何をしたいか、何が欲しいかをまず IAEA に伝え、供与する有形無形の物資 (機器の供与、トレーニングや国際学会参加費の負担など) の決



PACTパンフレット

定は主に IAEA 内部での連携 (各局の technical officer - TC 担当者) により、決まります。IAEA の関与する範囲は医療分野の場合、がん治療のなかでも放射線治療と核医学診断に関わることが主でした。それに対して PACT は途上国からの要請を受け、まずその国のがん治療の実態を知るために、IAEA 内外からがん予防、がん患者登録、放射線治療、緩和ケアなどがん治療の専門家 10 名前後を集めチームを作って出向き、実態を調査します。その結果を元にそれぞれの国の実態に合わせた支援計画書を作成し様々な角度から提案を行ないます。この方法の最大の利点は、効率的ながん治療支援ができるということです。その国が欲しいものの順番とその国にとって必要なものの順番が、必ずしも一致しないこともあるからです。多くの途上国のがん治療はある分野だけが弱点であるということは稀で、全ての分野が不十分であるということが多く、しかし、その中でも何が緊近の問題であるかを見極め、限られた予算のなかで、優先順位をつける必要があります。放射線治療装置ではなく、まずがん登録や緩和ケアの充実から進めることもあります。PACT では TC 局や、NA 局ヒューマンヘルス部などに協力を仰いだり、放射線の安全面や放射線同位元素の輸送、廃棄に関する法律に関してなど IAEA 内の専門のセクションに相談したり、と、IAEA 内での連携を保つと同時に、IAEA 外の機関、世界保健機構 (WHO) や国際対ガン連合 (UICC) などの国際機関や国際的ながん拠点病院、がんセンターへ積極的に協力を要請し、IAEA 外の専門家とも連携を図っています。このことにより、がん治療のより広い分野へのアプローチが可能になります。また、PACT は IAEA の通常予算や技術協力基金、特別拠出金に頼るばかりではなく、自ら資金獲得に動いています。PACT にはフェンディングのプロが 2 名おり、彼らは積極的に先進加盟国や国際機関、企業等からの資金援助の獲得を行っています。資金や物資だけではなく、例えばアメリカ国立がんセンター (NCI) で行われるがん専門家トレーニングコースに PACT が途上国から参加希望者をノミ

ネートし NCI が参加費を負担する、という交渉を行う、というようなこともしています。端的に言えば、PACT は自らが外にむかって働きかける、機動性柔軟性が求められるプログラムです。このような従来の IAEA にはないプログラムですので、PACT の支援を申しこむ国は現在 60 か国を超えています。

PACT は現在 PACT 支援モデル国 (PACT model demonstration countries, PMDS countries) として 6 カ国 (ベトナム、スリランカ、イエメン、タンザニア、アルバニア、ニカラグア) を定め重点的に支援を行っています。たとえばタンザニア、ニカラグアには MDS Nordion というカナダの会社との協力でコバルト治療装置の導入の支援、ベトナムにはインド政府からの寄付によりインド製コバルト治療装置を設置しました。タンザニアでは、OPEC からの提供資金を専門家の教育や病院の整備などにあてられることになりました。各国専門家には、がんの疫学、がん登録、放射線治療、がん予防教育、緩和ケアなど、たくさんの分野でのトレーニングの機会を提供しています。PACT メンバーは 1 年に数回これらの国を訪れ、成果と進行状況の確認を行い、丁寧なフォローを行っています。

PACT の構成メンバーは私がいたときは、Massoud Samiei 氏というイラン人の Head 以下、ファンド集めの専門家、cancer control programme の専門家、担当国と事務的なやり取りをする事務官、ホームページ作りなどを担当する IT 専門家、など 10 名程度しかいませんでした。医療の専門家は私一人で、帰国する前にもう一人キューバ人の医師がきました。

私が訪れた途上国の放射線治療の実情

私の PACT での役割は、PACT へ支援を要請している国へ実際に赴きその国の放射線治療の実情を評価したり、PMDS countries における放射線治療分野の進捗状



アルバニアの治療室はずっと工事中でした

況のフォローアップをしたり、が主でした。途上国を訪れ、最初は日本とのあまりのギャップに驚いたり、憤りを覚えたり、何をしても改善しないのではないかと投げやりな気持ちになったりもしました。国際支援とは何か、と考えさせられることが何度もありました。

- 某 A 国では医師達が一番今必要としているのは直線加速器治療装置 (リニアック) だと聞きました。しかし訪れてみてわかったのですが、A 国では子宮頸癌治療に不可欠な特殊な放射線治療装置が国で 1 台しかないのですが、故障して動いていませんでした。修理する予算がない、ということでした。子宮頸癌は A 国の女性の罹患率第一位のがんです。A 国にはリニアックには劣りますが、その代わりとなるコバルト治療装置が不十分な数ながらもありますのでリニアック購入は緊急の問題ではありません。患者さんのことを考えたら、まずは子宮頸癌用治療装置の修理だと思うのですが、A 国のある医師はこう言いました。<リニアック治療装置がなければ、臨床試験ができないから論文が書けない。だからリニアックを IAEA に買ってほしい。> その国が IAEA に要求するものと、その国にとって必要なものが、必ずしも一致しないという例でした。これは実際に行ってみなければわからなかったことでした。

- 小国の某 B 国では古い外部放射線治療装置が国で 1 台だけ、放射線治療医が 2 名、物理士が 1 名、技師が数名で治療をしていました。基礎的な知識の不足からくる技術的な問題点が多々認められました。IAEA は彼らにトレーニングを受けるよう機会を積極的に提供し続け



モンテネグロで 1 台の放射線治療装置

てきていますが、彼ら自身の都合がつかず、ほとんどトレーニングにもっていません。しかし、彼らは一様に <治療技術がよくないのは、治療装置が古いからである。IMRT (高精度放射線治療) ができる装置を買ってほしい。> と言っていました。装置が古いから、というのは、途上国に行くときよく聞きましたが、必ずしもそれだけが問題だろうか、と思ってしまうようなことでした。

- 経済発展の渦中にある某 C 国の病院では某アジア第一位の経済大国から贈られたある高精度放射線治療装置がありました。その国でただ 1 台の貴重な治療装置でしたが、使いこなせる技師や医師がいないために使われていない状態でした。なぜそのような装置が贈られたのか経緯はわかりませんが、フォローもなかったためお蔵入り状態となっていました。その後、C 国はその装置を動かすために某 D 国 (寄贈した国ではない) から専門家を雇って稼働を開始した、ということでした。C 国の医師がその装置を使えるようになるにはもう少し時間が必要のようでした。その C 国のある地方都市のがん治療病院を訪れた時は、体育館のような広い部屋に、男女の区別なくベッドが置かれ、さらに、2 人の患者が 1 つのベッドと一緒に寝ている、という状況を見ました。外国人専門家を雇ってまで高精度放射線治療を動かすことと、2 人の患者が 1 つのベッドを共有していることが混在する、ということに、驚いてしまいました。

PACT でただ一人の臨床経験のある医師であったので、訪れた国々に関するレポートは、現場の医師としての観点から伝えるように努めました。大層なことではなく、基本的なことが大事である、と伝え続けたつもりでした。手持ちの装置を最大限に生かして使う技術を習得してもらうべきだ、先端医療器械を買っても問題はなにも解決しない、と主張し続けました。物を買うよりも、トレーニングが先である、と言い続けました。



ベトナム南部の病院にて

途上国側の希望に沿わない意見になってしまったこともあり、間に立つ事務官を困らせてしまったこともあったようです。

途上国の問題として、専門家を育ててもある程度まで育つと国から出て行ってしまおうという、brain drain の問題があります。私が関わった国の中にも、医者や物理士がいなくなってしまう国がありました。IAEA のトレーニングコースを IAEA からの支援で (参加費や移動費を IAEA 負担で) 何度も受講している人々で、なんとも割り切れない思いがしました。IAEA は個々の事情にまで関与することはできないので、仕方のないことなのですが、このような状況ではその国の実情は改善しないので、国々で対応策を提示してもらったらどうか、というような提案をしたこともありました。

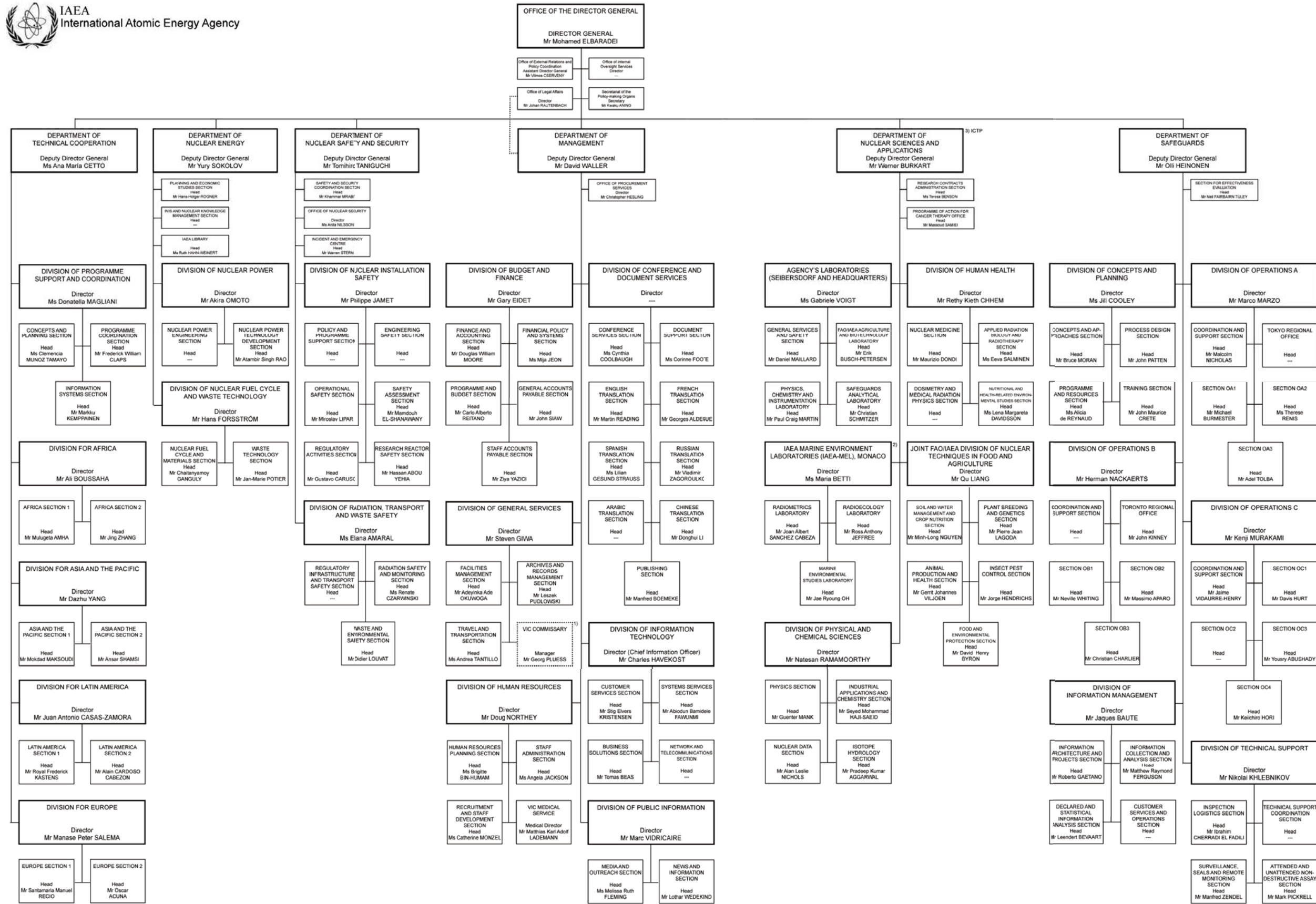
どの国もおおむね現場の医師や技師たちは危機感をもっているのですが、それがなかなか管理者にまで伝わりません。さらに上層部になると政治的な配慮もありますので、現場の要望とは異なる要望、意見になっていることもあります。実際に訪れることでそのギャップを知ることができた場合は、現状を報告するように努めました。PACT ではただ一人の医師で、英語のつたなさもあり上手く伝えられず、もどかしい思いも何度もしましたが、NA 局ヒューマンヘルス部の 4 名の放射線治療医達と、医者として意見を分かち会えた時はとてもうれしかったことを覚えています。

終わりに

たった 2 年間の勤務でしたが、NIRS で最先端の重粒子線治療に関わっていただけでは決して得られない経験をさせていただきました。今は途上国と呼ばれる国々ですが、時がたてば変わっていきます。粒子線治療の分野でいつかこれらの国々をサポートできるようなことがあればいい、と今は考えています。



スリランカの病院にて



Status: 18 March 2009 Please direct questions to the Division of Human Resources

- 1) Not charged to Regular Budget
2) With the participation of UNEP and IOC
3) The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (Abdus Salam ICTP), legally referred to as 'International Centre for Theoretical Physics', is operated as a joint programme by UNESCO and the Agency.

図1: IAEA 組織図

印象記

第48回粒子線治療研究グループ(PTCOG) 国際会議報告

理事

辻井 博彦

重粒子医科学センター 重粒子線がん治療普及推進室
藤田 敬



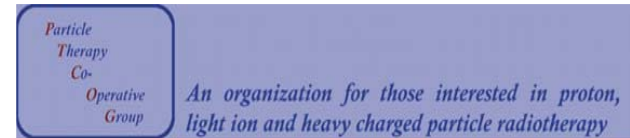
辻井 博彦 (Hirohiko Tsujii)

1.はじめに

2009年9月28日から10月3日まで、ドイツ・ハイデルベルクにて開催された第48回粒子線治療研究グループ(PTCOG)国際会議について報告する。

参加者は、開催国ドイツをはじめ、アメリカ、イギリス、中国、フランス、イタリア、日本、韓国、ロシア、南アフリカ、スウェーデン、スイス等からの粒子線治療に携わる研究者及び医療関連機器会社員等であり、延べ約700名が参加した。

なお、筆者はPTCOG会長として参加した。



2.会合の概要

本グループは、粒子線治療に関心のある研究者が集まって、臨床情報をはじめとする研究情報の交換を行うために設立された組織で、30年以上の歴史がある。設立



PTCOG48 Abstract集(表紙)

当初は参加者が50名前後の比較的小さな国際会議であったが、世界規模での粒子線治療の普及に伴い、これに従事する研究者や事業者等の参加メンバーが急増し、現在は同分野を代表する国際会議に位置づけられている。以前は年2回開催されていたが、2007年5月開催の第46回(開催国:中国)以降、年1回の開催となり、また普及に伴い人材育成を重視し、会期前半に教育的プログラム(Educational Session)を設定し運営されてきた。会議のプログラムは、腫瘍学、物理学、加速器工学、生物学など粒子線治療に関連する分野がカバーされている。

本グループには、13か国33機関の代表により構成された委員会(Steering Committee)があり、下部組織としてPublication Sub-CommitteeとEducation Sub-Committeeがある。第45回会議にて、筆者は第4代会長(任期3年)に選出され、第46回を中国山東省淄博にて、第47回をアメリカフロリダ州ジャクソンビルにてそれぞれ開催し、今回は任期最後の会合となった。

3.ホスト施設及び会場紹介

(1) Heidelberger Ionenstrahl- Therapie (HIT)

ドイツがんセンター及び重イオン科学研究所(GSI)の協力の下、パイロットプロジェクトとしてハイデルベルク



HIT

HIT周辺図と建屋外観

ハイデルベルク大学附属病院

ドイツがんセンター

ルク大学附属病院に2005年より建設開始された炭素線・陽子線共用の治療施設である。欧州初の医療専用炭素線治療施設で、世界初の炭素線ガントリーが設置されている。年1300名以上の患者治療をめざし、治療開始に向け準備中であったが、去る11月2日に開院式が行われた。主にラスタースキャンニング照射による頭頸部がん治療を目標としているが、体幹部治療のための機器開発も行われている。430 MeV/n シンクロトロンを有し、治療室は水平ビーム照射2室、回転ガントリー照射1室の計3室の構成である。

なお、今回の実行委員長はハイデルベルク大学医学部放射線腫瘍学科 Jürgen Debus 教授である。

(2) Kongresszentrum Stadthalle Heidelberg

会議は、ハイデルベルクの歴史的な古い町の中央に位置する由緒ある建物 Kongresszentrum の Stadthalle で行われた。コンサート会場にも使用されることから、特に音響面で優れた施設であった。また、眼前にはネッカー川が横たわり、滔々とした流れの上流を辿るとそこには古橋が眺められる、景観もすばらしい会場であった。

4.開催状況

(1) Educational Session

PTCOG48は、9月28日8:00に実行委員長 Debus 氏のあいさつで開会した。3年目を迎えたこの教育的プログラムが、ホストの趣向を織り交ぜて3日間に渡り繰



Debus実行委員長からの歓迎あいさつ



教育講演を行う鎌田センター長

り広げられた。主なテーマは下記のとおりである。

- ・ 加速器及び照射技術における物理学
- ・ 各部位毎の臨床応用及び少分割照射
- ・ 放射線治療における生物学
- ・ スキャンニングビーム対応も含めた治療計画



会場Kongresszentrum

- ・粒子線治療のQC、QA
- ・線量計算手法、放射線遮蔽等

放医研からは、重粒子医科学センターより鎌田センター長が骨軟部肉腫について、山田(滋)医長が消化管腫瘍について、筆者が肺がん及び照射分割回数について、それぞれ講演を行った。

各国の演者は今後も教育的プログラムで中心的存在となるメンバーにて構成されていた。スキャニング照射の普及に伴い、プログラムもブロードビーム対応との二本立てが基本となってきている。3日間を通しての教育講演は32件で、延べ参加者は440名であった。

(2) Sub-Committee (Education/Publication)

① Education Sub-Committee

9月30日午後から教育に関する小委員会が開催され、第46回からのEducational Sessionの取組及び参加者数等について、委員及び傍聴メンバーにより評価を行い、次回の方針について協議した。この小委員会に臨むに当たって、放医研にて事前協議を行っていたため、その内容を提示し委員に意見を求めたが、概ね放医研案が了承された。

② Publication Sub-Committee

教育小委員会に引き続き開催された出版小委員会では、Task Group Iにて進めている『Shielding Design and Radiation Safety of Charged Particle Therapy Facilities』(取りまとめ役：Nisy Elizabeth Ipe)の最終原稿を向こう2ヶ月で仕上げ、来年初頭にはHPにアップする予定で進捗することが確認された。

(3) Steering Committee

前項のそれぞれの小委員会での議事が各議長から報告されて、本委員会にて了承された。各小委員会の議長の下、それぞれの計画工程に従い、具体的に進捗すること



Steering Committeeでの活発な意見交換

が確認された。

次に、第51回ホスト施設選出では、4候補(Marburg, Korea National Cancer Center, Westdeutsches Protonentherapiezentrum Essen, Catania)のプレゼンテーションによるアピールの後に選挙が行われ、KNCCが選ばれた。施設をあげて歓迎する姿勢がうけたようである。

また、次期(第5代)会長選出が今回の委員会の大きな議題であったが、歴任者等からの強い推薦もあり、フランスキュリー研究所のAlejandro Mazal氏が選出された。

その他、予算に係る報告及び審議、名誉会員の選出等が行われた。

(4) HIT見学

会期中の9月30日と10月2日の2回に分けて、ホスト施設の見学が行われた。まず、固定ビーム治療室にてロボット治療台が紹介され、位置決め動作の実演があった。続いて、回転ガントリーの機械室では、総重量約600トンの巨大な構造体を目の当たりにし、トラス構造部の剛性を実感した。炭素線にて世界初であり、当所の次世代照射開発にとって、この見学は非常に有意義であった。ガントリー治療室では、陽子線の回転ガントリーと比較してかなり懐が広いと感じた。最後に加速器室ではイオン源からシンクロトロン、ビーム輸送系まで見学することができた。電磁石の端子箱カバーが、そのまま中を視認できるアクリル製であったことがドイツの設備基準を伺わせ印象的であった。

(5) Scientific Session

10月1日8:30からのDebus実行委員長あいさつに引き続き、筆者よりPTCOG委員長として開会の式辞を述べ、その後ドイツがんセンター及びハイデルベルク大学病院より歓迎のあいさつがあり、本Sessionが開始された。マルチモーダルな臨床腫瘍学に、他分野の治療法



HIT炭素線回転ガントリー(HITのHPより)

を取り混ぜ、粒子線治療の役割を模索するというホストのユニークな取組が展開され、世界各国の演者が登場した。主なテーマは下記のとおりである。

- ・世界各地の治療施設の展望
- ・臨床成績
(肺がん、前立腺がん、骨軟部肉腫、脳及び頭蓋底腫瘍、小児がん等)
- ・物理学者に向けたワークショップ
(ビーム照射技術開発及び応用、回転ガントリー開発、治療計画システム等)
- ・粒子線生物学
- ・先進医療としてのQA
- ・IGPT(Image Guided Particle Therapy)における治療計画及びその課題
- ・物理学及び生物学からの新しい取組
- ・宇宙放射線医学
- ・分割照射回数の短縮について
- ・世界各地の新治療施設紹介

放医研からは演者として、重粒子医科学センターより鎌田センター長、山田(滋)医長、長谷川医長、森研究員が参画し、筆者とともに各分野での取組について講演



開会あいさつする辻井会長



臨床の講演を行う長谷川医長

を行った。講演内容は以下のとおりである。

- 辻井：NIRS Perspective, Clinical Results with Hypofractionated Carbon Ion Treatment
- 鎌田：Carbon ion radiotherapy for bone and soft tissue sarcoma
- 山田：Carbon-ion therapy for patients with pancreas cancer
- 長谷川：Carbon Ion Radiotherapy for Head-and-Neck Tumors Invading the Skull Base
- 森：Intrafractional and Interfractional Range Variation in Charged Particle Therapy of Lung Cancer, Mode of imaging
- P.Fossati：Clinical GyE the NIRS approach and dependency of RBE from dose per fraction (イタリアCNAOからの協力研究員)

また、群馬大学中野教授より、次回(PTCOG49)実行委員長としての開催概要説明(放医研と共催)があり、その中で群馬大学重粒子線照射施設GHMCの紹介と調整状況も報告された。本Sessionの3日間の講演は101件である。

(6) ポスター発表

10月2日の昼間にポスター発表があり(展示期間10月1日~3日)、臨床、生物、物理・機器、治療計画、QA/QC等の分野から162件の展示があった。放医研から6件、群馬大学から5件出展された。



ポスター展示風景

今回、優秀ポスター賞が設けられ、MGH関係者を含む3件の表彰が本SessionのSteering Committee報告の一環で行われた。この取組は来年日本でも実施予定で、今後定例化したいものである。

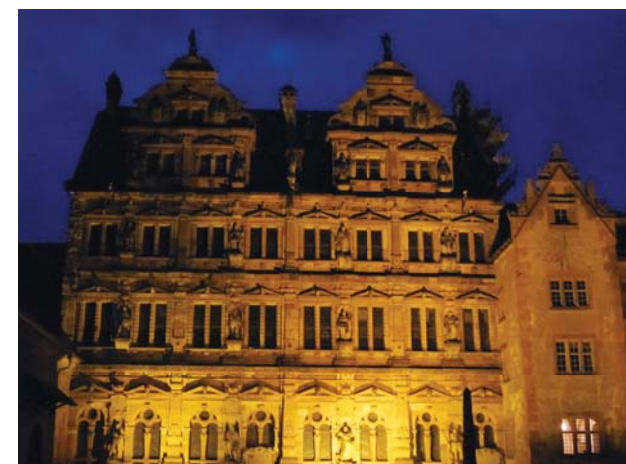
5. 当地紹介と歓待

(1) ハイデルベルク

ドイツ西南部、バーデンビュルテンブルク州の都市で、人口約14万人。ライン川の支流ネッカー川がオーデンヴァルト山地からライン河谷平野に出る谷口に位置する。ハイデルベルク大学のほか、核物理学や分子生物学、天文学、医学の研究センターがあり、ドイツにおける学術・文化の中心地である。ライン・ネッカー郡の行政中心地でもある。ネッカー川左岸のケーニッヒシュツール山麓にある古城、ハイデルベルク城(13世紀の城砦が起源)の下に、河川沿いに延びた旧市街には、聖霊教会(15世紀)をはじめとする教会や市庁舎、古橋(18世紀末)、マルクト広場など古い建造物が多数残存し、国際的観光地となっている。



歓迎会場 Kulturbrauerei



ライトアップされたハイデルベルク城

(2) ホストによる歓迎

9月28日夜、当地で最古のビール醸造所の一つであるKulturbrauereiにて歓迎会が開催された。また、10月1日には古城街道に位置する当地のシンボル、ハイデルベルク城にて懇親会が開催され、テラスからの素晴らしい夜景と城郭にて歴史を肌で感じながら、各国からの参加者との懇親を深めることができた。

6. おわりに

筆者がこのPTCOGに参加した当時に比べ、施設数・会合参加者数ともに確実に増えており、今や施設数は30を超え、会員数も1000名規模になった。今後、この数は増えるものと予想され、粒子線治療が、がん治療の中で確実に根付いていることを実感させてくれた会議であった。



古城街道の街、ハイデルベルク

印象記

第26回PIXEシンポジウム

併催:第3回共用施設(PASTA&SPICE)共同研究成果報告会
第4回静電加速器利用ワークショップ



今関 等 (Hitoshi Imaseki)

基盤技術センター 研究基盤技術部
今関 等

はじめに

平成21年11月18～20日の3日間に渡って、第26回PIXEシンポジウム(以下、シンポジウム)を、放医研で成功裡に開催できました。参加人員は当日参加も含めて、120名(うち、所内の参加者は32名)と記録的な参加者数でした。演題は、10セッション44課題(特別講演2課題)が報告されました。参加機関は、大学等の公的研究機関で、26機関の他、PIXEを営業業務とする2つの民間企業が参加されました。

PIXEシンポジウムは、日本におけるPIXE分析および関連分野の研究を促進するとともに、PIXE研究協会会員相互の交流および国際的交流を図り、学術・文化の発展に寄与することを目的として、PIXE研究協会共催のもと国内のPIXE関係機関の持ち回りで毎年開催されていて、今年度で26回目を迎えます。今回は放医研が幹事役となりましたので、共用施設である「PASTA&SPICE」の共同研究成果報告会(年1回開催)



写真1:PIXEシンポジウムin NIRSの案内板

を併催し、PASTA&SPICEの共同研究の成果報告としては11課題が発表されました。講演願いました演者の方々や関係各位のご協力に感謝いたします。以下に、シンポジウムでの発表内容を簡単に紹介し、印象記とさせていただきます。



写真2: 会場の様子

プログラム

米倉義晴放医研理事長および石井慶造 PIXE 研究協会会長の開会の挨拶の後、最初のセッション「基礎と関連技術」が始まりました。以下、プログラムの順番とは異なりますが、分野別に概要を記します。

セッション名: 基礎と関連技術

基礎と関連技術に関するセッションは、3回のセッション分かれて報告されました。基礎と関連技術 I では、橋本悠太郎（東北大学）から、運転者の経験と技量に頼るしかなかったダイナミトン加速器の運転パラメータの最適化を自動化するため、各機器のデジタル制御化を進めて、最適値をパソコンによる自動サーチで行えるようになったという「ダイナミトン加速器自動制御システム」の報告がなされました。ついで、藤木広太「サブミリ PIXE を用いたマウス脳の元素画像分析」、松山成男「東北大学マイクロビームシステムの高性能化」、濱田尚希「PIXE を用いたミクロン CT の高解像力化」、川村悠「PIXE ミクロン CT のためのスパイラルスキャンの導入」と、東北大学のマイクロ PIXE カメラ装置に関連した報告が4題報告されました。ミクロン PIXE への意欲的な取り組みが感じられたセッションでした。

基礎と関連技術 II では、西山文隆（住重試験検査株式会社）「住重試験検査(株)におけるバンデグラフ加速器施設の整備状況 (II)」と藤川誠（佐々木太郎記念 PIXE 分析センター）「PIXE 専用小型サイクロトロンにおける中性子の発生」は、PIXE 分析をビジネスとして立ち上げようという起業計画の中間報告であり、苦闘の様子が伺えました。その他に、佐藤隆博（日本原



写真3 米倉放医研理事長挨拶

子力研究開発機構)「マイクロ PIXE と STIM を用いた微小試料の三次元分析」、石川 剛弘（放医研）「Micro scanning PIXE における照射量測定システムの開発その 1」等、システム開発に関する報告がありました。中でも Sarinrat Wonglee（東工大）「Development of a target positioning system for wavelength-dispersive PIXE analysis using a laser position sensor」は、数少ない波長分散型 PIXE 分析技術分野における、試料の位置調整技術に関連する試みとして注目されました。

基礎と関連技術 III では、中江保一（京大）「デジタル録音の X 線計測への応用」、河合潤（京大）「焦電結晶小型 X 線管」、国村伸祐（京大）「微弱 X 線源を用いた超高感度小型全反射蛍光 X 線分析装置」と、X 線蛍光分析法に関する報告があり、シンポジウム参加者の関心分野が粒子線以外にも拡がりつつあることが感じられました。その他に、本田あさみ（京大）「永久磁石を用いた散乱イオン除去によるプロトンでの軽元素の計測」は、Al などの軽元素の検出効率を上げる提案の一つとして注目されます。また、及川将一（放医研）「放医研静電加速器施設 PASTA の現状」では、放医研の装置が共用施設として、外部のユーザにも徐々に拡がり示しつつある状況が報告されました。

セッション名: 環境科学への応用

環境科学への応用に関する報告は、本シンポジウムでも最も発表件数が多く、その研究分野も多種多様であることから、PIXE が環境生態研究に非常に有効な研究手段であるという事実を物語っているものと思われます。環境科学 I では、羽鳥悦脩（東北大）「マイクロビーム分析法を用いた石炭灰の個別粒子分析」、大倉暁（東北



写真4 PIXE 研究協会石井会長挨拶

大)「PIXE ミクロン CT による生きたままのショウジョウバエの 3 次元断層画像撮影法の開発」、齊藤勝美（NS 環境(株)中央技術研究所）「CCA 防汚処理材の Cr、Cu、As の濃度分布」、宮田賢（住重試験検査株式会社）「PIXE と NAA による大気浮遊粒子の微量元素分析における比較」が報告されました。

環境科学 II では、竹中光（放医研）「メダカ担がんモデルの微量元素マッピングの試み」、武田志乃（放医研）「PIXE 分析による各種分析標準の適性評価」、吉富友恭（東京学芸大学）「水生生物の鰓組織における元素分布」、鈴木享子（東京学芸大学）「イトウの飼育環境と耳石・鱗における Sr 分布の関係」が報告されました。

環境科学 III では、世良耕一郎（岩手医大サイクロトロン）「Bangladesh における水系汚染と食品のリスク評価 - 第一報 -」、岩田吉弘（秋田大）「イオン交換樹脂を用いた標準物質によるマイクロビーム PIXE システムにおける分析感度の定量化」、堀井善弘（東京都鳥しょ農林水産総合センター）「 μ PIXE によるメジロザメ科サメ類における脊椎骨の微量元素マッピング」、同じく堀井善弘「キンメダイ属 2 種の耳石中微量元素組成の検討」が報告されました。

環境科学 IV では、Catella Guillaume（東北大学）の「Single-Particle Analysis of Aerosol in Indoor Working Environment」、cascade impactor によって捕集された職場（化学系実験室）におけるエアロゾルの個別粒子を PIXE、RBS 及び off-axis STIM で分析した結果が報告されました。

セッション名: 生命科学への応用

生命科学の分野では、マイクロ PIXE を用いた生体内の元素マッピングを試みた報告が多くありました。

生命科学 I では、高橋温氏（東北大）「マイクロ PIXE 法による乳歯エナメル質の元素分析」、高橋希佳氏（京都府立大学）「二次元マッピングによる茶葉の断面と表皮の Al 濃度分布」が報告されました。そして本シンポジウムの趣旨からは少し外れますが、マイクロビームを用いた生物研究として、小西輝昭氏（放医研）「マイクロビーム細胞照射装置 (SPICE) の開発と現状」、磯野真由氏（首都大学東京大学院）「マイクロビーム細胞照射装置 (SPICE) を用いた神経幹細胞の放射線障害に関する研究」、鈴木雅雄氏（放医研）「プロトン照射で誘導されるヒト正常細胞の突然変異に対する適応応答」の 3 題の SPICE に関連する共同研究成果報告がありました。

生命科学 II では、大村至氏（順天堂大学）「PIXE による頭髪微量元素定量と異同分析」、小岩義典氏（順天堂大学）「PIXE による頭髪の微量元素測定に対する異同分析の検証」、松崎晋一氏（群馬大学）「肺内のアスベストと炎症性蛋白発現に関する In-air micro-PIXE を用いた解析」、時田佳治（群馬大学）「ヒト赤血球を用いた大気マイクロ PIXE 測定試料の作製」が報告されました。

生命科学 III では、三浦吉範氏（岩手医科大学）「栄養材の形状が各種ミネラルの吸収に与える影響の検討」、原田聡氏（岩手医科大学）「放射線感受性マイクロカプセルの H₂O₂ を用いた改良と、その抗腫瘍効果増強と副作用軽減」、水野和恵氏（東京大学）「コンベンショナル PIXE・マイクロビームスキニング PIXE を用いた白金含有高分子ミセルの細胞内取り込み量評価」、伊藤友紀氏（東北大学）「粒子線治療効果を上げるための抗がん剤のがん細胞への集積度の研究」が報告され、臨床検査・栄養学や抗がん剤等の医学でも臨床に近い分野への PIXE 分析の展開について議論されました。

生命科学 III では、三浦吉範（岩手医科大学）「栄養材の形状が各種ミネラルの吸収に与える影響の検討」、原田聡（岩手医科大学）「放射線感受性マイクロカプセルの H₂O₂ を用いた改良と、その抗腫瘍効果増強と副作用軽減」が報告されました。

セッション名: 考古学への応用

唯一の考古学への報告は、原祐一氏（東京大学）「砥部焼に使用された染付顔料と東大病院出土漆器に使用された顔料の研究」でした。広島城跡や東大病院で出土した磁器や漆器の分析を行い、顔料や釉薬の差異から製造時期や産地を同定する試みについて報告されました。

特別講演

特別講演は、2 題行われ、今関等（筆者）「Van de Graaff, PASTA&SPICE と携わって来て」、西山文隆氏（広島大学）「わたしの PIXE25 年史」が講演されました。両名とも今年度で退職するというので、これまでの研究歴、特に PIXE に関連した内容の講演でした。なかでも西山文隆氏は、講演に先立ち、「PIXE 分析にありがちな Pitfalls (落とし穴) - 信頼できるデータを得るために -」という小冊子を会場で配布するなど、これまでの PIXE 分析法のデータの信頼性に関する研究分野での先生の貢献度の大きさが推し量られる、とても内容の濃い講演でした。

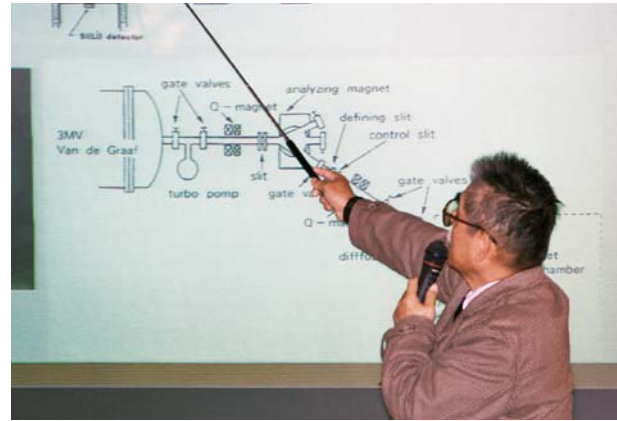


写真5: 講演の様子(筆者)



写真6: 特別講演の様子(広島大学 西山先生)

また、PIXE 研究協会運営委員会 & 総会が、2日目のお昼休みを利用して行われ、以下の点が決められました。

- (1) PIXE2010が、来年6月27日から7月2日に、英国サリー大学で開催される。
- (2) 2011年に、第17回BiO-PIXEを、仙台で開催する。
- (3) 今回のPIXEシンポジウムの発表内容のように、若

- 干の拡大を図る。
- (4) 停滞しているPIXEの標準化(定量化)計画を進めるため、準備委員会を発足する。
- (5) 以上の計画、インフォメーションを円滑にするためPIXE研究協会のHPを充実させる。
- (6) 次回、第27回PIXEシンポジウムは、京都大学で行う。

おわりに


我々、PASTA&SPICEという共用装置を提供し運営する側にとって、利用者からの要望に常に応える努力をすることは、とても重要なことでもあります。とりわけ所外のPIXEを利用する研究者の動向とその要求内容は、とても新鮮で刺激的であり、新しい発見に満ちています。今回、PIXE研究協会のPIXEシンポジウムを、放医研との併催というかたちで、「共用施設(PASTA&SPICE)共同研究成果報告会」をさせて頂き、静電加速器棟のPIXE分析用加速器システム(PASTA&SPICE)を共用施設として、国内外の多くの研究者に、紹介する貴重な機会を得ることができました。今後とも、我々の施設への御理解と応援をよろしく御願ひ致します。

本稿は、著者(今関)の記憶および第26回PIXEシンポジウム要旨集からの部分的な引用によって作成しました。内容等に誤りあれば、全て著者の責任です。

なお、本報告会のプロシーディングスは、International Journal of PIXEにおいて、来年度出版される予定です。



写真7: シンポジウム参加者



第26回 PIXEシンポジウム

(併催) 第3回 共用施設(PASTA&SPICE)共同研究成果報告会
第4回 静電加速器利用ワークショップ

■ 日 程:平成21年11月18日(水)~20日(金)

■ 会 場:独立行政法人 放射線医学総合研究所
重粒子治療推進棟2階 大会議室

■ 施設見学:静電加速器棟(PASTA&SPICE)

TOPICS: PIXE及び関連分野の基礎と応用

放射線医学総合研究所構内案内

- ☆ 基礎と関連技術
- ☆ 考古学への応用
- ☆ 環境科学への応用
- ☆ 生命科学への応用

※ 会場周辺において新棟建設中につき、所内を通行する際十分気をつけて頂きます様宜しくお願い致します。

主催: 独立行政法人放射線医学総合研究所 PIXE研究協会

第26回PIXEシンポジウム開催準備事務局
 基盤技術センター 研究基盤技術部 今関 等
 Secretary General: Hitoshi IMASEKI
 Dept of Technical Support and Development, Fundamental Technology Center, NIRS
 URL: <http://133.63.22.22/microbeam2008/pxe26/> e-mail: infopixe@nirs.go.jp

写真8: シンポジウムポスター

放射光施設SAGA-LSの現状

九州シンクロトロン光研究センター 加速器グループ
主任研究員
江田 茂



江田 茂 (Shigeru Egata)

はじめに

放射光は非常に広い波長域、高い輝度といった実験光源としての優れた特質を持っています。この放射光を九州地域における産業、学術研究等様々な分野に広く提供することを目的に、佐賀県は1999年鳥栖市の丘陵地に九州シンクロトロン光研究センター SAGA Light Source (SAGA-LS) の建設を決定しました。九州ではビームエネルギー 1GeV を超える初めての高エネルギー

加速器の建設となりました。また外部ユーザーに広く利用されることを前提とした供用放射光施設建設は自治体事業としても国内初めての事例となりました。2004年秋に入射用リニアックの調整に入り、同年11月には蓄積リングのコミッショニングが開始されました¹⁾。2005年末に放射線発生施設としての国の施設検査に合格し、正式な加速器運転を開始し、その後2006年2月に組織としても正式に開所しました。2008年夏に増加

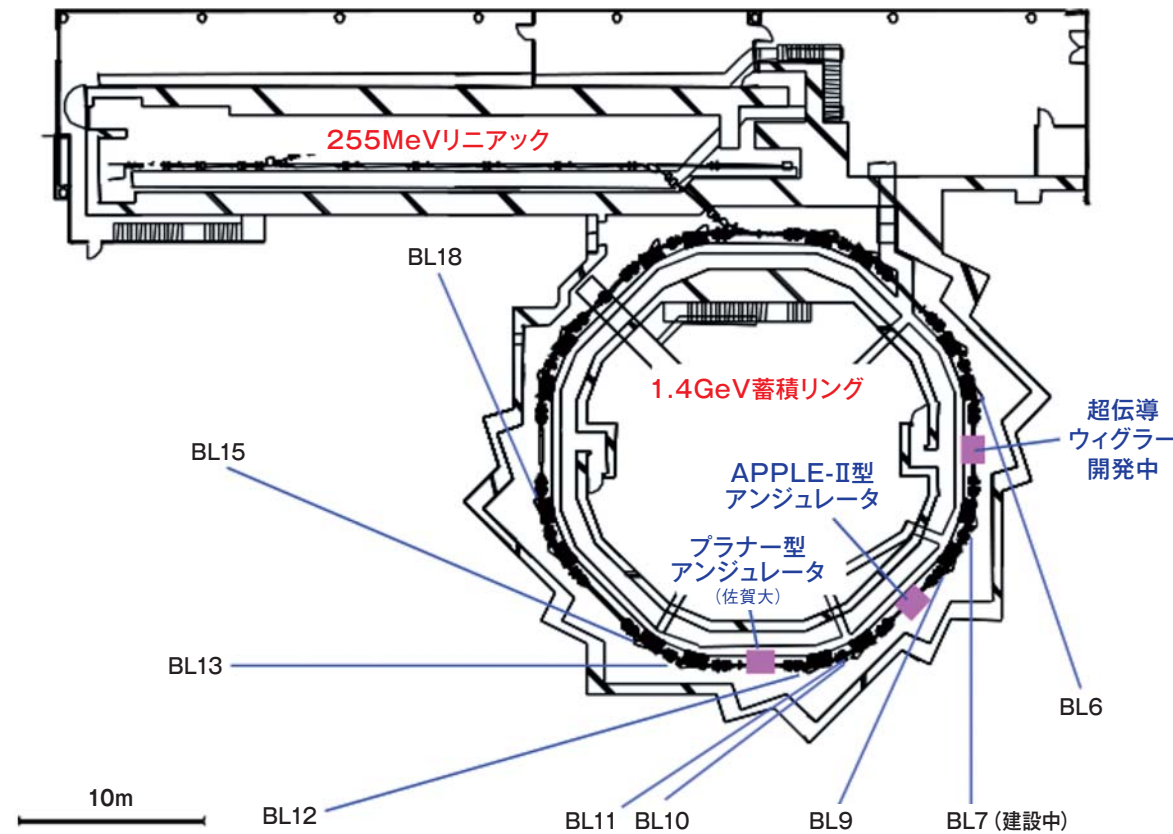


図1：SAGA-LS光源加速器の構成。入射用電子リニアックと電子蓄積リングからなり、蓄積リングで電子ビームを蓄積後、偏向電磁石及び挿入光源から発生した放射光が各ビームライン(図中青線)に供給されます。図では実験ホール増築エリア(図中下側)が省略されています。

する利用ニーズに応えるため建設面積にして約1.4倍の建屋増築工事が行われ現在に至っています²⁾。

施設現状

加速器

加速器の構成を図1に示します。入射用リニアックと蓄積リングから構成され、リニアックで255MeVに加速された電子ビームは、トランスポートを介して蓄積リングに入射され、リング内で1.4GeVに加速された後ビームエネルギーが保持され、この状態でユーザーに放射光が提供されます。蓄積リングの偏向電磁石と長直線部に設置された挿入光源から発生した放射光は、ビームラインを介して実験者の利用するエンドステーションに導かれます。加速器の運転は、1週間を単位として、月曜加速器のマシスタディ、火曜～金曜ユーザー運転(10時間/日)のサイクルで定期的に行われています。

蓄積リングは8回対称の磁石列で構成され、この中に設置された超高真空(10⁻⁸Pa)のダクト内を電子はほぼ光速で周回します。蓄積リングは設備規模を抑えつつ放射光の輝度を向上させる設計となっています。放射光は電子の軌道が曲がる偏向電磁石と挿入光源と呼ばれる蓄積リング長直線部に設置した光源装置から発生します。図2にSAGA-LSの放射光スペクトルを示します。偏向電磁石はSAGA-LSの基本光源です。放射光は電子が偏向電磁石の磁場によって円運動する際に接線方向に集中して放射されます。赤外域から20keV程度の硬X領域の光を同時に発生します。また挿入光源としては現在アンジュレータと呼ばれるものが2台(佐賀県1、佐賀大学1)設置されています。アンジュレータは周期的な永久磁石列をビーム軸に対抗して配置し、対抗磁石列間距離を制御することによって特定波長で輝度を高める装置です。偏向電磁石に比べピーク輝度は3桁向上します。SAGA-LSでは特に真空紫外から

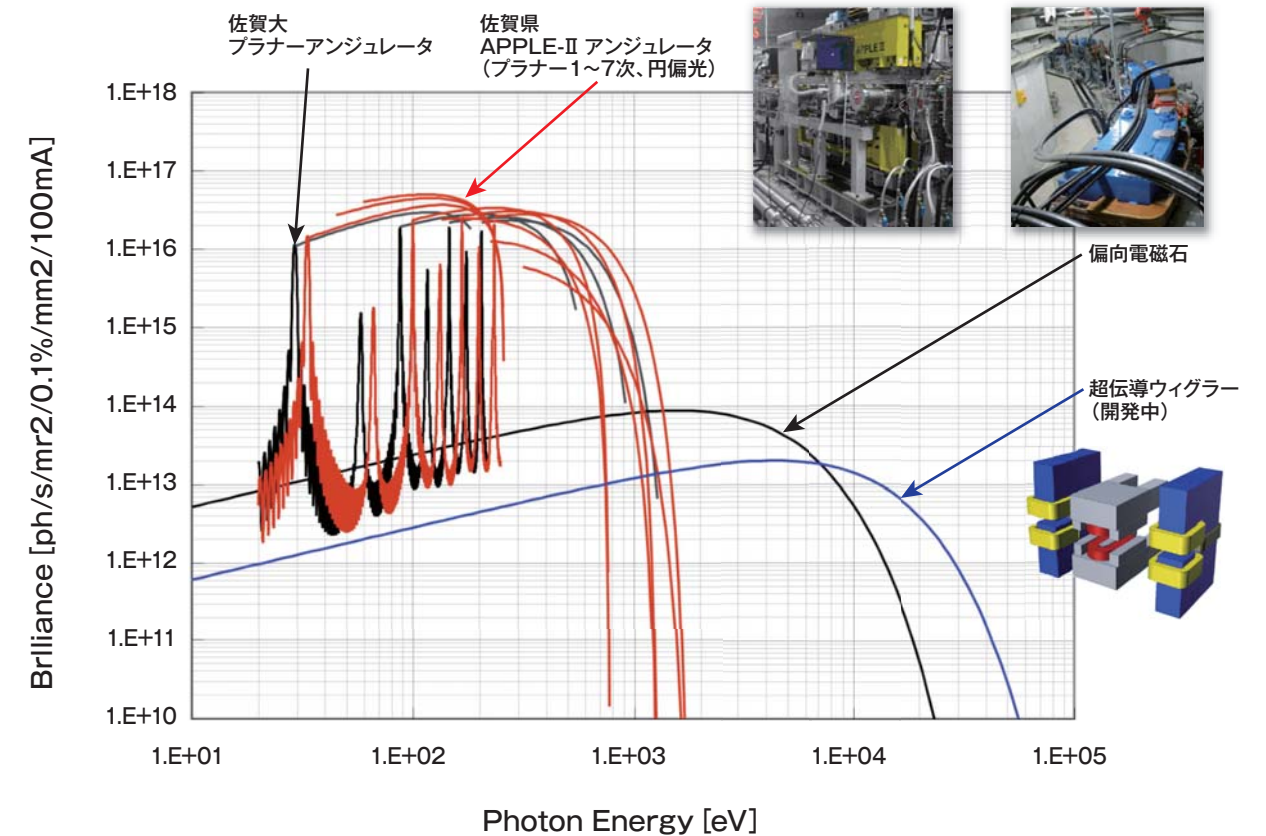


図2：SAGA-LSの放射光スペクトル。



図3: 実験ホール現状。ホール南側テラスから撮影。図中BM、PL、APL2は利用している放射光光源を意味しそれぞれ、偏向電磁石、プラナー型アンジュレータ、APPLE-II型アンジュレータに対応します。

表1: ビームライン内わけ

BL	光源	光子エネルギー	実験手法	組織	状況
BL06	偏向電磁石	30eV-1200eV	XAFS,SAXS	九州大	運用
BL07	超伝導ウィグラー	4.2keV-37keV	XRD,XAFS	佐賀県	建設中
BL09A	偏向電磁石	白色(>3keV)	LIGA	佐賀県	運用
BL09B	偏向電磁石	10eV-50eV	光励起	佐賀県	運用
BL10	APPLE-IIアンジュレータ	30eV-1200eV	PEEM, ARUPS	佐賀県	運用
BL11	偏向電磁石	3keV-23keV	XAFS,SAXS	佐賀県	運用
BL12	偏向電磁石	40eV-1500eV	XPS,XAFS	佐賀県	運用
BL13	プラナーアンジュレータ	15eV-600eV	ARPES	佐賀大	運用
BL15	偏向電磁石	3keV-23keV	XAFS,XRD,イメージング	佐賀県	運用
BL18	偏向電磁石	~92eV	照射、多層膜反射	ニコン	運用

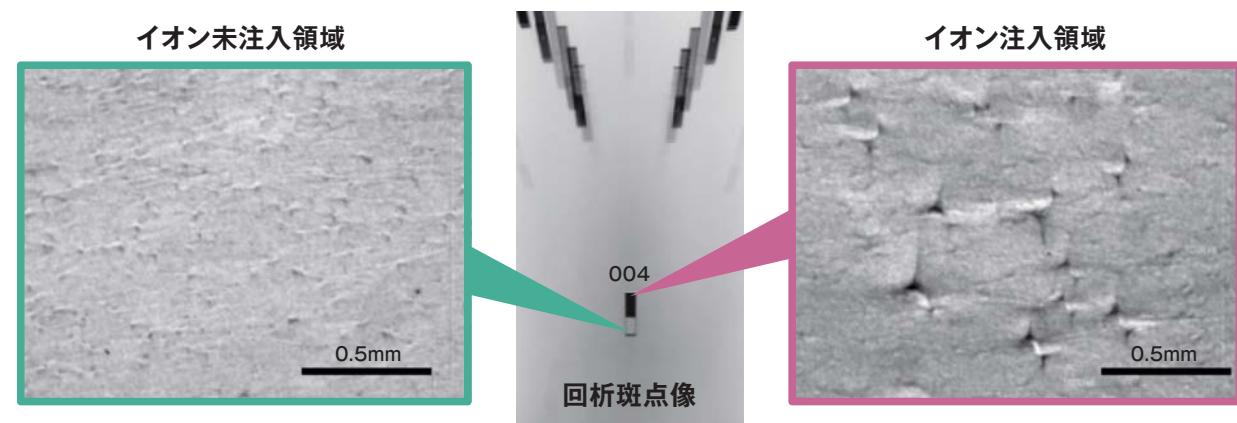


図4: 放射光を使った解析例。イオン注入の有無に対するSiC結晶の白色X線トポグラフィ像。非晶質化抑制と同時にらせん転位の一部分が大型化した様子が示されています。

軟 X 線領域において輝度を高める設計となっています。佐賀県のアンジュレータは偏光を重視し APPLE-II 型³⁾ と呼ばれる磁気回路を採用しました²⁾。これにより直線偏光から円偏光まで変更することが可能になりました。また偏向電磁石よりも 2.7 倍強い磁場を発生する超伝導ウィグラーを現在開発中⁴⁾で、これにより 40keV 程度のより硬い X 線の発生が可能になります。

ビームライン

実験ホールのビームライン設置状況を図3に示します。放射光を利用するビームラインは現在8本が稼動中で1本が建設中です。内わけを表1に示します。表からわかるように真空紫外から硬 X 線に及ぶ広い範囲の波長で利用されています。多くのビームラインは放射光の広い波長域の中から分光器によって特定の波長を選択し利用しています。また一度に広範囲の波長域の放射光を照射する白色ライン (BL9A) もあります。ビームラインは開所時4本 (佐賀県 BL9,12,15、佐賀大学 BL13) でスタートし、2008年にBL18 (ニコン)、2009年にBL10,11 (佐賀県)、BL6 (九州大学) が建設されました。また現在前述の超伝導ウィグラーのためのビームラインBL7が建設中です。

開所以来放射光の特徴が生かされ、産業応用から学術研究まで様々な実験、分析が行われています。利用機関も大学、公設試、民間企業と多岐にわたり、様々な成果^{5,8)}が得られています。例として県有ビームラインBL9Aにおいて行われた白色トポグラフィ実験⁹⁾の結果を図4に示します。これは放射光の広い波長域、高い平行性を生かした実験で、既存光源を利用した測定に比べイメージング分解能が大幅に向上し、測定時間は2桁改善されます。実験はイオン注入によるSiC基板の結晶性(欠陥)の変化を明らかにしたもので、このようなSiC基板は、自動車等過酷な環境下で使用される次世代パワー半導体デバイスへの応用が期待されています。

まとめ

2006年開所以来SAGA-LSでは定常的なユーザー運用を行いつつ、光源性能の向上を継続的に行っています。放射光光源として偏向電磁石に加え、アンジュレータの運用が開始されています。またより高エネルギーのX線提供を目的に超伝導ウィグラーを開発しています。光源の整備に連動してビームライン建設も進み、開所時に比べ倍増しました。超伝導ウィグラーラインも建設中

です。様々な波長域で多岐にわたる利用が進められており、今後更なる放射光応用の展開を目指しています。

【参考・引用文献】

- 1) 富増多喜夫、江田茂、岩崎能尊、高林雄一、吉田勝英、大垣英明、“佐賀シンクロトロン光源の建設と立ち上げ”、加速器学会誌「加速器」3, 151-158 (2006)
- 2) S. Koda, Y. Iwasaki, Y. Takabayashi, T. Kaneyasu, “STATUS OF SYNCHROTRON RADIATION FACILITY SAGA-LS”, Proceedings of the 6th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 34th Linear Accelerator Meeting in Japan, to be published, Tokai (2009)
- 3) S. Sasaki, “Analyses for a planar variably-polarizing undulator”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A347, 83-86 (1994)
- 4) S. Koda, Y. Iwasaki, Y. Takabayashi, T. Kaneyasu, T. Semba, Y. Murata, M. Abe, “DESIGN STUDY OF SUPERCONDUCTING WIGGLER FOR SAGA-LS STORAGE RING”, Proceedings of the 6th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 34th Linear Accelerator Meeting in Japan, to be published, Tokai (2009)
- 5) 平成18年度研究成果報告会実施報告書、鳥栖 (2007)
- 6) 平成19年度研究成果報告会実施報告書、九州シンクロトロン光研究センター・早稲田大学ナノ理工学研究機構合同シンポジウム報告集「シンクロトロン放射光とナノテクノロジー」早稲田 (2008)
- 7) 平成19年度九州地区ナノテクノロジー拠点ネットワーク九州シンクロトロン光研究センター成果報告書、九州シンクロトロン光研究センター (2008)
- 8) 平成20年度研究成果報告会実施報告書、九州大学超高压電子顕微鏡室・九州シンクロトロン光研究センター合同シンポジウム、福岡 (2009)
- 9) 石地耕太郎、大谷亮太、川戸清爾、平井康晴、白神智、長町信治、“イオン注入SiC結晶の転移構造観察”、平成20年度研究成果報告会実施報告書、九州大学超高压電子顕微鏡室・九州シンクロトロン光研究センター合同シンポジウム、福岡、116-117 (2009)

Prof. Bleddyn Jones MSc MD FRCP FRCR (Bleddyn.Jones@rob.ox.ac.uk)
Gray Institute for Radiation Oncology and Biology¹ & 21C Institute of Particle Therapy Cancer Research²,
University of Oxford.

1.Old Road Campus Research Building, Roosevelt Drive, Oxford OX3 7DQ.
2.Particle Physics, Denys Wilkinson Building, Keble Road, Oxford OX1 3RH.

訳：
重粒子医科学センター運営企画室長
国際オープンラボラトリー運営室長
伴 貞幸

重粒子医科学センター長
鎌田 正

理事
辻井 博彦



要約

日本で先進的に行われている炭素線治療の臨床成績は、特にX線治療では困難な多種のがんに対して非常に有望であることを示している。炭素線治療がすばらしい局所制御率を示すとともに、炭素線特有の線量分布から予期されるように放射線障害が著しく軽減化されることも特筆されるべきである。しかし、(物理学的線量から生物学的線量への)放射線生物学的転換法、線量-分割の最適化、あるいはどのような形式の加速器システムと照射システムを使うべきなのか等々の未解決の問題も多く残っている。費用対効果も大きな問題であるが、炭素線治療はX線治療よりも分割照射回数がかなり少ない点で有利である。日本とヨーロッパ本土において普及する粒子線治療は、人に優しい放射線治療をさらに最適化させる研究を大きく飛躍させると思われる。

序

炭素線は鮮やかなブラッグピークを持ち、陽子線より高い生物学的効果を示すことから、炭素線治療は荷電粒子線治療の中でも最も有望な方法であると言える^{1,3)}。2009年3月16-17日にリヨンで開催された「イオンビーム線治療に関するシンポジウム」は放医研(日本)とETOILEセンター(フランス)の合同で企画組織された。放医研は1957年に国立研究所として設立され、がん治療、放射線防護、画像診断および緊急被ばく医療を推進するために臨床、放射線生物学、物理学の分野にまたがる包括的な放射線科学研究を行っている。1986年、放医研は千葉で炭素線治療プログラムを開始することを決めた。1993年にはカナダ人が設計した二重シンクロト

ロンシステムが設置され、1996年に臨床治療が開始された。千葉で得られた優れた臨床成績は日本とドイツで更なるイオン線治療プロジェクトを導入するきっかけとなり、間もなくヨーロッパでは幾つかのイオンビームセンターに引き継がれることになった。最近4年間で放医研はオーストリア、バヴィア(イタリア)、ヒューストン(アメリカ)、そして今回のリヨンで計4回の合同シンポジウムを開催してきた。今回のシンポジウムには、放医研から研究者、医師、事務員の20名とフランスからの多数の参加者に加えて、イタリア、ドイツ、オーストリアからも比較的多くの参加者があった。スイス、ベルギー、スペインからは各々複数の参加者が、オランダ、アメリカ、インド、英国からは各一人の参加者があり、合計参加者は150人であった。

開会の挨拶で、在仏日本大使館(パリ)の藤吉一等書記官が日仏間の150年に及ぶ輝かしい二国間交流に触れ、特に法律、政治、粒子線物理から航空宇宙の領域にまで至る幅広い分野で交流のあることが強調された。2006-2010年における日本政府の科学政策の再調査によると、「科学と技術」が国民の利益に直接に貢献することが必要であると強調されている。特に、医学分野においては難治性疾患における治療改善が要求されており、それを受けて癌の放射線治療は年々増加して来ている。日本政府は重粒子線治療の最新の成果を普及させることを望んでおり、他の国々にも重粒子線治療を開始することを奨励している。

ETOILEプロジェクトディレクターであるJacques Balosso教授は、リヨンのETOILEセンターの概観を紹介し、2014年から大規模な医学研究が開始される

ことを紹介した。目的は、(がん登録と疫学研究に基づく)フランスで1年あたりおよそ750人の患者の)承認された疾患に粒子線治療を行うだけでなく、ランダム化された研究における裏付けによって治療されたすべての患者での前向き研究を使って、より広い疾患に応用するための根拠を出すことである。陽子と炭素イオンの比較は研究方針上、最も重要な課題となるであろう。彼は、フランスでは患者選択のために国立腫瘍委員会を設立するべきであると提案した。詳細はwww.centre-etoile.orgで得ることができる。

パリのオルセーでの陽子線治療の収容能力の拡張と同時に、フランスはノルマンディーのケルンでも積極的なプロジェクトに乗り出している。そのサイクロトロンはブリュッセルのIBA会社のそばで建設中の建屋に設置される計画であるが、臨床目的では初めての400MeV以上まで炭素イオンを加速することができるように設計されている。このセンターは2013年に開始されることが予定されており、そこでは臨床研究と技術開発が主業務となるが、少数の臨床業務も日常的に行われることになっている。その結果、フランスは今後20年の間に癌の放射線療法を改善するための大きな貢献をすることが期待される。

本シンポジウムでは主に放医研研究者からの発表について討議された。最初に辻井教授が放医研の重粒子線治療の概要を説明し、その中で日本政府が1994年から進めた2回の対がん10カ年計画についての説明もなされた。日本政府が資金援助した二つの粒子線治療センター(筑波の陽子線と放医研の炭素線)に続いて5つのセンターが設立され、さらに3センターが建設中である。従って、日本では10か所のセンターで治療を行うようになり、日本の人口の1200万人あたりに一つのセンターがあることになる。10センターのうち、4センターでは360度の回転ガントリーを備え、3センターは炭素線照射を行うことになっている。

最近、日本政府は(放医研の)臨床結果を調査して、より人に優しいがん治療を行うために1人の患者あたり約30,000ドルの治療費を徴収する高度先進医療に承認するという画期的な措置を取った。

日本以外で炭素イオン治療を唯一試みているのはダルムシュタットのドイツ国立物理学研究所でのプロジェクトがあり、このプロジェクトも成功している。ここでの治療は年間に20日を1ブロックとしての3ブロックしか行われていない。すなわち、19日間に19回の分割照射が行われているのだが、非常に良い成績を挙げている。

ダルムシュタットで使われた各癌の連続した断層に線量を照射するラスタ点走査法は日本の照射法よりも優れている。この多領域間の共同プロジェクトが非常に成功したことにより、ドイツ癌研究センターに隣接しているハイデルベルグ大学病院に大きなフル稼働型の炭素イオン施設が設立されることになった。そこでは、2009年の後期で癌患者を治療することが期待されており(訳者注:2009年11月に最初の治療が開始された)、同時に、ヘリウムから炭素までのイオンと陽子を比較するための多面的かつ多領域にわたる学術的研究も行われることになっている。

日本における臨床結果

“人に優しいがん治療”の目的は放医研の多くのプロジェクトの基本概念である。下記の理由から、放医研では陽子線よりも炭素線を選んだ。

- ・ビームはエネルギーが低いままかなりの深さまで入るために散乱線量が非常に少ないこと。
- ・癌の中でより高いエネルギーを放出し、正常組織へはより低い照射線量をもたらす、大きくてシャープなブラッグピークを持つこと。
- ・局所で増大するイオン化密度により非常に複雑なDNA損傷が形成されること、あるいは細胞内酸素圧に依存しないことや、DNA修復機構がよく働かないことなど、生物学的に種々の有利性があること。

1996年以来、放医研では4500人ものがん患者が治療されており、優れた成績を挙げている。ドイツでも治療患者数は少ないものの良い成績が得られている^{4,5)}。本シンポジウムでは、以下の癌についての最新の臨床成績が示された:

1. 頭蓋底腫瘍

放医研の臨床成績は世界的に見ても他のセンターと一致している。(頭蓋底腫瘍は)稀な腫瘍のカテゴリーに属し、その中では選択バイアスが大きいにも関わらず、陽子線治療と比較して5年での局所制御率(78%)がわずかに高い。脳幹、視神経、あるいは脊柱に重篤な副作用は観察されていない。これらの腫瘍が非常に稀な疾患であることから、このカテゴリーでの治療数はまだ少ない(ちょうど患者数100人を越えたところである)。

2. 頭頸部癌

手術後に再発した110例を含めて、種々(扁平上皮癌、腺様嚢胞癌、粘表皮癌、悪性黒色腫、腺癌、肉腫、腺房

細胞癌)の328頭頸部癌に炭素イオン治療を行った結果、5年局所制御率は70%であった。頭頸部癌の中で最も多い悪性腺腫は80%の局所制御率であった。扁平上皮がんの5年局所制御率は60%であったが10年までの局所制御率は30%と安定していた。

唾液腺腫瘍の多くの患者では首の同じ側だけが照射されるので、X線治療の場合と同様にひどい皮膚障害が予想されたが、急性の皮膚障害は大幅に減少していた(重篤な障害は無かった)。

ほとんどの治療において脊髄損傷のリスクがなく、難聴になる例も無かった。

粘膜の悪性黒色腫ではよりよい局所制御率が観られた(腫瘍ボリュームが60cm³以上での局所制御率が40%、60cm³未満では60%であった)。このように良い成績はエックス線治療によっては達成されることができない。転移性の高い悪性黒色腫では付随的な化学療法が慎重に検討されている。

3. 肉腫

583人の骨軟部組織肉腫では5年局所制御率が78%、5年生存率は57%であった。これらの患者には、手術が不可能なほどに重篤な患者あるいは手術後化学療法を受けた患者をも含んでいる。主要な副作用は皮膚反応であるが重篤な例は無かった。10cm以上の神経が照射されると稀に坐骨神経痛が発症するのだが、重粒子線治療では坐骨神経痛がほとんど発症していないことは特筆すべきである。仙骨脊索種の重粒子線治療では人口肛門や尿路変更手術が必要となる副作用も観られなかった。

4. 原発性肝細胞癌と肝臓転移癌

重粒子線治療では、外科手術で得られたベストの(局所制御率)成績と同等あるいはそれ以上であり、しかも死亡率が低いという結果が出ている。2分割照射治療に進歩が観られた。直径5cmより大きい腫瘍での5年生存率は14%と悪かったが、5cm以下の腫瘍でのそれは53%であった。結腸直腸癌の肝臓転移癌の治療では、36、40、または44GyEqでの1回照射も行われている。これまでに、癌胎児性抗原(CEA)とCA19-9血清マーカーのレベルは正常範囲にまで低下し、数週間後のPET取り込みの改善が観られたが、なによりも、急性の副作用がまったく観察されなかったことに感銘を受けた。

5. 局所再発直腸癌

このケースにおいては、X線療法は通常、姑息的治療法として使用されるが、炭素線治療では73GyEqのような大線量を16分割で照射することが可能である。最近の分析では、局所制御率94%、5年生存率が約40%という成果が得られている。後者は外科手術での最も良い成績と同等で、通常の放射線療法での生存率3-16%よりもはるかに上回っている。

6. すい臓癌

この4年間の治療を解析すると、局所進行癌の47人の患者に炭素イオンとGemcytabineを用いての化学療法との併用で1年生存率は44%であった。しかも、X線治療の場合に比べて、重粒子線治療では急性障害は非常に少なかった。外科手術だけでは50%の再発率があるので、手術可能な腫瘍を持つ22人の患者に30-35.2GyEqの炭素線を8回に分けて照射した。この2番目のグループにおいて、1年局所制御率は86%、生存率は100%であった。全体的に観て、3年生存率は30%もあったが、照射後に外科的切除を行った場合の生存率は51%にまで上がった。グレード1の急性障害がわずかに観られたが、グレード2-4の急性障害は全く観察されなかった。

7. 子宮癌

子宮癌は主に非常に大きな局所性線種で、その治療には今まで小線源治療が行われていた。最近では、炭素線治療が主となってきている。小腸下部、膀胱、および直腸下部に可能な限り照射野を合わせることによって(エックス線治療では不可能な状態)、照射野の反対側が広くなり大動脈リンパ節を防護することができる。5年局所制御率は64%、生存率は46%であった。66人の患者を用いてのフェーズII研究では、グレード4の急性障害が1件だけ観察されたが、その1件は糖尿病患者での瘻官の結腸フィステル形成が原因であった。腫瘍周囲の大きな残余物を外科的手術によって取り除くと、その場合の局所制御率は46%から69%まで上昇した。

8. 前立腺癌

20回の分割照射よりも16回の分割照射の方が急性障害が少ないと言う結果が出ている。集団の60%は“高リスク”患者から成っている患者集団に57.6GyEqを4週間に16回の分割照射をした場合に直腸と膀胱にグレード2の障害が各々1.9%と4.8%現れた。これらの

結果は3次元原体照射法(3D Conformal)や強度変調照射法(IMRT)でそれぞれ報告されている4-5%、7-11%よりもはるかに少ない値である。局所制御率は97.5%であり、生存率95%で、生化学的検査値は正常値の89%であった。高リスクカテゴリー患者の生存率は米国でのエックス線治療に基づくRTOG研究で得られた値よりも高くなっていた。

51.6Gyを12回に分けて照射するという新しいプロトコルは2年前から導入されて、これまでに生化学的検査での異常あるいは重大な急性障害は全く観察されていない。

現在ある多くの粒子線がん治療センターで分割照射試験が可能であるので、本シンポジウムで報告された日本人患者での粒子線分割照射試験の結果は非常に重要である。

ランダム化試験研究の展望

何人かの演者が、放医研は現在までに最適な線量を決定するための試験であるフェーズIを終了したばかりで、次にはたくさんの患者を対象にしてのいくつかのフェーズII研究が始まると述べた。それに関連して、将来のランダム化臨床試験の見込みについて以下の討論がなされた。エックス線、陽子線または両者の組み合わせによる効果と炭素イオンによる効果を比較するための試験研究が最終結論を出すまでにどれだけの時間が必要であるかを決める必要がある。必然的に、各々の新しいセンターは公的に承認された研究を開始する前に、予備的な臨床試験から得た結果を他の機関ですでに得られた結果と比較しなければならない。最適な線量を明らかにし、他の制癌療法と比較した場合の費用対効果率を正しく査定するためのフェーズIIIにあたる試験研究もしなければならない。統計的検出力を上げるためには十分な患者数を確保する必要があり、そのためには多国籍間での試験研究が必要であることは言うまでもない。

放射線生物学

日本、ドイツ、およびフランスから興味ある研究成果が報告された。物理的線量から生物学的反応を判定することはイオンビーム療法を行う上で必要とされているが^{6,7)}、それらの変換法を確立したいとする方針には国によって微妙な違いがある。もう一つは、現存のデータセットを使い、生物学的反応の解析結果を物理線量に戻るように変換し、正常組織の許容限度と腫瘍制御ガイドラインを再分析することである。

現在、放射線生物学は1または2次元の試験管内レベルで研究されているのが主流である。しかし、臨床で使われる線量勾配によって生物学的効果の大きさが変動するので、放射線生物学も3次元研究に発展させる必要がある。

線量勾配についての研究においても、細胞生存率を決める試験管内実験で使う線量は、1-4回の分割照射によるがん治療に必要な線量よりもはるかに少ないことに実験レベルでの限界がある。結局は、臨床治療で得られる結果が人に用いるための正しいパラメータを得ることができる唯一のものになるであろう。たとえそうであっても、細胞レベルおよび組織レベルの実験は、生物学指標を使って粒子ビーム間の相互比較をするための重要な項目についての知見を得るために必要になる。特に、中性子のRBE値が炭素イオンのRBE値に非常に近いので、中性子照射研究から得られた過去のデータは利用しなければならない。

以前の中性子RBEと炭素線RBEが同じになるところの条件を基準にして⁹⁾、日本人研究者は、陽子、ヘリウム、炭素、および鉄のイオンを使って、LETの範囲全体をカバーする新しいLET-RBEモデルを開発している。これは本質的には経験的なモデル化であるが、LETが増大するとRBEも上昇し、途中でRBE値は減少に転じるという重要な知見が3つの培養細胞系で確認された。その転換点位置、曲線の幅、およびY軸の高さは重要な指標になる。LET値が非常に高いところではRBE値は1より小さくなっていくが、そのLET値は治療に用いるLETをはるかに超えている。そのように高いLETは放射線防護/天文学の分野で関心の持たれる材料となるかも知れない。

分子生物学的研究としては、幾つかの特定遺伝子の発現と早期に発現するアポトーシスおよび遅れて発現するアポトーシスの研究、および細胞に炭素線照射後のDNA修復に関する成果が報告された。これらの研究は患者をより適切に選択することと線量修飾方法を考える上で役にたつかも知れない。例えば、DNA合成抑制剤または放射線増感剤を使うことによってX線感受性が変動することは良く知られているが、炭素線照射がX線感受性を修飾することも考えられる。癌の治療法として、イオン線以外のすべての術後薬物療法を考察することは重要である。サセックス大学のPenny Jegou教授を(著名研究者として)放医研に招聘していることは、放医研におけるDNA修復機構を解明する研究を推し進めるであろう。

イオンビーム治療にかかる費用

ドイツには法令で粒子線治療法を促進することが決められている地域もあり、その地域にある健康保険会社から費用対効果を考慮することの要求が出ているために、費用対効果については他のどの国よりもドイツで良く研究されている。

炭素線治療には約 19,500 ユーロの費用がかかるが、この費用は他の有効とされている薬物療法に比べて決して高いものではない。実際に、再発性直腸癌治療に Cetuximab を使って治療すると 60,000 ユーロもかかるのを最高にして、Herceptin による治療では 36,000 ユーロ、Temazolamide と Avastin の併用療法では 25,000 ユーロ（これは人工股関節をつけるのとほぼ同額）もかかる。しかし、Jakel 等⁹⁾の研究によると、脊索腫にイオン線を照射後に外科的手術を施すという最も有効と考えられる治療を行っても約 27,000 ユーロしかかからないことが示されている。何回かの外科的手術を受けていた 10 人の脊索腫患者では、1 人当たりの手術にかかった平均コストは 100,000 ユーロを超えていた。20 回または 16 回の分割照射を行った場合、各々の局所制御率が 70% または 65% 以上であれば費用対効果が高いと思われる。他の著者¹⁰⁾も勧告しているように、もっと一般的な癌についてはどうかということを含めて、費用対効果については更なる研究が必要である。

物理学における開発

放医研において使われている統合的生物物理治療計画は、拡大ブラッグピーク (SOBP) における炭素線を得られるのと同じ 80keV・ μM^{-1} の LET (線形エネルギー付与) における中性子に換算した結果に基づいている。こ

の条件では SOBP 末端に行くに従って RBE (生物学的効果比) は約 3 になる。個々の腫瘍に合わせたビーム形の設定と機器の調整および個々の線量測定のために、治療計画が出来上がるまでには 1 週間もかかる。それで、その都度調整しなければならない機器を無くし、3 次元スキャンニングビーム照射が将来可能になれば、多くの時間的遅れを無くし、待ち時間も短縮することができるようになる。

放医研で使われている品質保証システムについての報告があった。機器の老朽化と仕事量の増大によって年間の故障は多くなりつつある。しかし、2007 年度の 1 年では 6 時間を超えてシステムがストップしたのは 2 件しか無く、他の故障はすぐに復旧した。

ほとんどの故障は治療台を制御するモーターなどの機械類の故障によるものであった。回転ガントリーが使われるようになる 2010 年までには、患者をより速やかに治療するためのすべての対応が確立されるところであった。

フランスでは、90° 磁石によって重量を軽くし、全寸法も 30% 縮小した超低温ガントリーが研究されている。その研究には 200 万ユーロの追加費用が見積もられているが、原型はすでに考案されている。4.5° K という超低温にまでするには 2 日もかかるために、急冷化するための制御が大きな問題となっている。

リアルタイム・イメージングの改良も今後の課題である。改良型リアルタイム・イメージングでは最新の PET スキャン、最新のシンチレーター検出器および陽子線レントゲン写真術を使って線量分布をチェックすることができるようになった。

(呼吸等によって) 位置が移動する腫瘍を放射線治療

するのが非常に難しいことが、腫瘍の移動に合わせて波動するシンクロトロンビームを使った高解像度 CT スキャンによって図解された。放医研では、1992 年以来、呼吸と同調した放射線療法を行っている。

病院で使用し易くするためによりコンパクトなシンクロトロン作製の研究が英国と日本で進行している。

ヨーロッパにおけるセンター

イオンビーム粒子センターの将来の計画について、フランス、日本に加えて、オーストリア、ドイツ、イタリアからも報告された [要約についてはテーブル 1 を参照]。このリストはヨーロッパにおける陽子線療法のための種々のプロジェクトを含んではいない。ロンドンに本拠を置く管理コンサルタント業代理店である Price Waterhouse Coopers 社がキール大学のプロジェクトに助言をしたことも今回明白にされた。

CERNによる研究とインフラストラクチャーの整合

この分野で働く作業者のコミュニティを作成するために、100 万ユーロ未満の欧州連合 (EU) 補助金によって、2002 年に ENLIGHT ネットワークが形成された。以来、CERN が調整役として進めてきた状況が Manjit Dosanj 博士によって簡潔にまとめて報告された。この出資は 2005 年に終了となったが、EU は下記のプロジェクトへの支援を続けている。

・PARTNER と呼ばれる Marie Curie プロジェクトに 560 万ユーロが支援されていて、このプロジェクトでは当該分野における 10 カ国 25 人の若い研究者に与えられている (www.cern.ch/partner を参照)

・臨床、生物学、物理学、およびテクノロジーを融合することが目的である ULICE と呼ばれるインフラストラクチャーに 840 万ユーロが支援されている (www.cern.ch/enlight を参照)。

これらのプロジェクトは優秀な CERN の科学者との効果的かつ密接な協力を可能にし、コンピューター網および他の先端技術あるいは使用可能な科学的ノウハウへのアクセスをも可能にしている。

考察

イオンビームセンターの数は通常のエックス線治療施設数に比べたら非常に少ないが、その数は増加している。しっかりした臨床成果を出すためには十分な数の患者を集める必要があり、そのためには共通の選択基準と評価基準を使ってデータ収集と解析をするための国家間の共

同システムを作ることが必須である。

現在、各国は、自分たちのアイデアとシステムで研究を続けることを試みており、ラスタ走査を使っての強度変調イオンビーム療法などの技術改善が進行されている。その結果、ビーム物理学、線量測定、および放射線生物学的見地からの考察を考える上で各施設に共通な品質保証が必要となっている。

これらは、克服すべき重要な問題であり、人類に利益をもたらす重要な目標である。

日本において行われた治療過程 (分割照射治療) を減少することの成功は放射線治療にかかる総コストを考えると大きな意味がある: 即ち、1 回または 4-15 回の (分割照射) 治療は治療費を大幅に抑制し、イオン線治療が世界中で広く使われる手助けとなる。重粒子線治療が受け入れられるためには、臨床研究は非のうちどころがない完全なものであり、確かな信頼を持って可能な限りどの患者でも受け入れなければならない。

この分野でのランダム化研究の倫理面についての議論を続けるためには一般の人々からもっと関心を持ってもらうことが必要で、ある程度の公開の場で議論するように計画すべきである。これはすでに胚研究と移植等の場合でも問題になったように、(その時と) 同様な包括的な議論と議論を続けることは、放射線癌治療をうまく方向づけるために役に立つであろう。治療統計、生活の質 (QOL)、症状のあった期間をより多く査定することも大事である。それは、異なる方針が用いられるフェーズ II 研究、例えば分割 (照射)、治療 (部位) の大きさと周りの組織、異なる呼吸同調技術、種々の放射線生物学的モデル、他の補助的な治療に加えての陽子/炭素線とエックス線との組み合わせ等でランダム化を使うことが可能となるはずである。

日本が、例えば肺癌と胃癌の治療のために模範的なスクリーニングプログラムを作ったことは大変に良かったと思われる。より小さな腫瘍をより多く見つけることは、イオンビーム療法で徹底的に治療できるという利点がある。例えば、すい臓癌の治療成績をさらに改善するために、早期診断に結び着くスクリーニングプログラムから最終的な治療法が迅速に決定されるようになる。

種々の国々が自らのシステムしか使わないのではないかとこの複雑な問題がある。したがって、物理学的線量から生物学的線量へ変換するための放射線生物学課題には共通のアプローチが必要である。より広範囲に応用するためにはより簡単で、より信頼できる世界的な枠組が必要である。

表 1: シンポジウムで発表されたヨーロッパにおけるイオン線治療計画。詳細は、www.ptcog.web.psi.ch/newptcentres.html を参照のこと。

計画名	国/市	治療開始年	治療室数 [年間治療患者数]	ウェブサイト
Med -Austron	Austria, Wiener Neustadt	2014?	3(1000+)	www.medastron.au
Heidelberg Ion Beam Centre	Germany, Heidelberg	2009	3(1000)	www.dkfz-heidelberg.de
Etoile	France, Lyon	2014?	3(1000)	www.centre-etoile.org
Archade	France, Caen	2012	2(~400)	www.archade.fr
University Klinikum & NROCK	Germany, Kiel	2012	3(年間治療回数:48,000)	www.uk-sh.de
Rhone Klinikum	Germany, Marburg	2010	4(2000)	www.rhoen-klinikum-ag.com
CNAO	Italy, Pavia Pavia	2010	3-4(2000)	www.cnao.it

粒子線治療を国際機関によって世界的に管理することは、治療法へのアクセス、治療法の質、および治療の有効性を公明正大に保証することになり、価値のある今後の目標である。また、世界的な情報収集と分析、試験研究、組織化を共に進めることが非常に望ましい。CERN モデルはこの点で模範的で、たぶん、IAEA と WHO のように「放射線と健康」に関する活動を扱っている国際機関と連携し、さらには全世界の政府間協定を締結することを推し進めるべきである。粒子物理学者がそのような組織によって順調に研究の進展をとげて来たので、物理学をがん治療に応用するにも同様な全体の労働倫理と調整機関を必要とする。

今では、放射線障害を大幅に減少させ、より効果的にがんを治療する見込みが出てきている。将来、最も優れた外科技術と物理学が提供する放射線技術が結びついて、臨床放射線学技術と分子生物学的方法で患者に最適な治療法を選択することになり、その結果、人類に大きな利益をもたらすことになると思われる。

要約

- ・日本で進められている炭素イオン療法の成績は今後も非常に期待される。
- ・重粒子線治療は、放射線治療の成績(特に、治療関連の副作用を減らすこと)を改善することと癌全体を制御するうえで最もよい方法である。
- ・費用対効果の問題は、エックス線療法よりも照射回数をずっと少なくすることにより改善されている。
- ・重粒子線治療を正確にしかも科学的に裏付けるための、および治療効果を最適化するための研究が更に必要である。
- ・炭素イオン治療法の使用を規格化するためには国際的な枠組みが必要である。

著者謝辞:

本シンポジウムでは多くの優秀な演者から講演をしていただいた。演題の詳細は ETIOLE のウェブサイト (www.centre-etoile.org/nirs-etoile) 上でご覧いただきたい。

参考文献

- 1) Jones B & Burnett NG. The future for radiotherapy : protons and ions hold much promise. British Medical Journal 330 : 979-980, 2005
- 2) Jones B. The case for particle therapy. Brit J

Radiology, 79, 24-31, 2006.

- 3) Jones B. 2008. The potential clinical advantages of charged particle radiotherapy using protons or light ions. Clin Oncol (R Coll Radiol) , 2008 ; 20 : 555-63.
- 4) Tsujii H, Mizoe J, Kamada T, Baba M, Tsuji H et al. Clinical results of carbon ion radiotherapy at NIRS. J Radiat Research, 2007 ; 48 Suppl A1-A13.
- 5) Schultz-Ertner D & Tsujii H. Particle radiation therapy using proton and heavier ion beams. J Clin Oncol, 2007 ; 25, 953-64.
- 6) Scholz M, Kraft G. Track structure and the calculation of biological effects of heavy charged particles. Adv Space Res.18 : 5-14,1996
- 7) Beuve M, Alphonse G, Maalouf M, Colliaux A, Battiston-Montagne P, Jalade P, Balanzat E, Demeyer A, Bajard M, Rodriguez-Lafrasse C. Radiobiologic parameters and local effect model predictions for head-and-neck squamous cell carcinomas exposed to high linear energy transfer ions. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2008 Jun 1;71(2) : 635-42.
- 8) Kanai T, Furusawa Y, Fukutsu K, Itsukaichi H, Eguchi-Kasai K, Ohara H. Irradiation of mixed beam and design of spread-out Bragg peak for heavy-ion radiotherapy. Radiat Res. 1997 147 : 78-85.
- 9) Jäkel O, Beate L, Combs SE, Daniela Schulz-Ertner D & Debus J. On the cost-effectiveness of carbon ion radiation therapy for skull base chordoma., Radiotherapy and Oncology 2007, 83, 133-138.
- 10) Pijls-Johannesma M, Pommier P & Lievens Y. Cost-effectiveness of particle therapy : Current evidence and future needs. Radiotherapy and Oncology 2008 ; 89, 127-134.

訳者謝辞

本文は、Br J Radiol Nov ; 82 (983) : 884-9. Epub2009Aug3 に発表された「Joint symposium 2009 on carbon ion radiotherapy」を日本語訳し、著者の Bleddyn Jones 教授と Br J Radiol の出版元から転載許可を得て掲載した。

お知らせ

—公開シンポジウム— UNSCEARの最新動向と放射線防護研究の展望

背景と目的：UNSCEAR（原子放射線の影響に関する国連科学委員会）は、1955年以降、我が国をはじめ各加盟国及び各国際機関の専門家が参加し、放射線の「線源と影響」についての最新の科学的知見を取りまとめた。これらの知見は国際放射線防護委員会（ICRP）の基礎データとして活用されるなど、放射線防護の高度化に貢献してきている。

本シンポジウムでは、UNSCEARの活動の普及と放射線防護研究の一層の活性化を目的として、2008年のUNSCEAR会合に出席した日本代表団等から、最近発行された2006年報告書や近々発行される予定の2008年報告書の作成にかかる議論の内容や問題点を紹介していただくとともに、総合討論で今後の放射線防護研究の方向性を展望する。

平成 22 年 1 月 30 日 (土) 13:30 ~ 17:00 (開場: 13:00)
 東京大学本郷キャンパス工学部 11 号館 1 階講堂
 東京都文京区本郷 7-3-1

—公開シンポジウム—
UNSCEARの最新動向と放射線防護研究の展望

入場無料

<プログラム>
 1. 「UNSCEARの活動の現状と今後」 米倉 義晴 (放射線医学総合研究所)
 2. 「がん、非がん影響の疫学研究」 児玉 和紀 (放射線影響研究所)
 3. 「ラドン線源から健康影響まで」 吉永 信治 (放射線医学総合研究所)
 4. 「公衆被ばくおよび放射線事故からの被ばくに関する最新の検討」 中野 政尚 (日本原子力研究開発機構)
 5. 「職業被ばくに関する最新の検討」 吉澤 道夫 (日本原子力研究開発機構)
 6. 「医療放射線被ばくに関する最新の検討」 鈴木 元 (国際医療福祉大学)
 7. 「チェルノブイリ事故による健康影響に関する最新の検討」 丹羽 太貴 (放射線医学総合研究所)
 8. 「人以外の生物への放射線の影響に関する最新の検討」 酒井 一夫 (放射線医学総合研究所)
 9. 「放射線防護研究の今後の展望」 総合討論

会場最寄り駅
 本郷三丁目駅 (東京メトロ丸の内線) 徒歩8分
 本郷三丁目駅 (京浜東北線) 徒歩8分
 湯島駅又は根津駅 (東京メトロ千代田線) 徒歩8分
 東大前駅 (東京メトロ南北線) 徒歩1分

主催：内閣府原子力安全委員会 協力：日本保健物理学会 後援：原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR)、
 外務省 (予定)、文部科学省 (予定)、経済産業省原子力安全・保安院 (予定)、日本放射線影響学会 (予定)、
 日本原子力学会保健物理・環境科学部会、独立行政法人放射線医学総合研究所

プログラム

座長/下 道園	
久住静代 原子力安全委員会委員 挨拶	
1	UNSCEARの活動の現状と今後 米倉 義晴 (放射線医学総合研究所) 20分
2	がん、非がん影響の疫学研究 児玉 和紀 (放射線影響研究所) 20分
3	ラドン線源から健康影響まで 吉永 信治 (放射線医学総合研究所) 20分
4	公衆被ばくおよび放射線事故からの被ばくに関する最新の検討 中野 政尚 (日本原子力研究開発機構) 20分
休憩 15分	
座長/金子 正人	
5	職業被ばくに関する最新の検討 吉澤 道夫 (日本原子力研究開発機構) 20分
6	医療放射線被ばくに関する最新の検討 鈴木 元 (国際医療福祉大学) 20分
7	チェルノブイリ事故による健康影響に関する最新の検討 丹羽 太貴 (放射線医学総合研究所) 20分
8	人以外の生物への放射線の影響に関する最新の検討 酒井 一夫 (放射線医学総合研究所) 15分
9	放射線防護研究の今後の展望 (総合討論) 司会 酒井一夫 (放射線医学総合研究所) 40分 パネリスト 演者全員
金子正人 日本保健物理学会長 挨拶	

日 時	2010年1月30日(土)13:30~17:00	会 場	東京大学本郷キャンパス 工学部11号館1階講堂
主 催	内閣府原子力安全委員会	参 加 費	無料
協 力	日本保健物理学会	参 加 申 込	ご氏名、ご所属を前日までに下記問い合わせ先にお知らせください。
後 援	原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR)、 外務省 (予定)、 文部科学省 (予定)、 経済産業省原子力安全・保安院 (予定)、 日本放射線影響学会 (予定)、 日本原子力学会保健物理・環境科学部会、 独立行政法人放射線医学総合研究所	問 合 せ 先	独立行政法人放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター規制科学総合研究グループ 043-206-3099 UNSCEAR@nirs.go.jp

お知らせ

独立行政法人放射線医学総合研究所
第4回 画像診断セミナー

放射線医学総合研究所分子イメージング研究センターではPET (Positron Emission Tomography) を中心とした画像医学関連分野の知識の醸成とPETを用いた病態解明、診断と治療評価、医薬品開発などの有用性を広く理解していただくことを目的に、画像診断セミナーを開催しています。

第4回となる今年度は、2010年2月22日(月)、23日(火)

に開催いたします。本セミナーには、化合物の標識合成法や動物を用いた基礎検討、そして臨床研究へ進めていくまでのノウハウが盛り込まれています。さらに、座学だけでなく実際の施設・設備を用いてイメージング技術を疑似体験することで、理解を深めるカリキュラムとなっています。

みなさまのご参加をお待ちしております。

講義内容

2月22日(月)9:30~

- ・分子イメージング研究概要と研究の世界動向
- ・PET分子プローブと創薬
- ・見学実習: 7T-MRIを用いた形態・機能イメージング技術の実際
小動物PETを用いたイメージング技術の実際
- ・PETを用いた薬物動態解析の実際

2月23日(火)9:00~

- ・精神・神経疾患のイメージング
- ・PET臨床データ定量解析法
- ・腫瘍イメージング
- ・新規PETプローブ開発の実際
- ・放射線防護
- ・安全なPET分子プローブ製造技術
- ・PET臨床研究の実際・進め方
など

放医研の施設で実際に、分子イメージング研究のノウハウを伝授します。



第4回 日本核医学会認定学術集会
日本核医学専門技師機構認定研究会
画像診断
セミナー
2010年
2/22, 23
開催

お問い合わせ先
独立行政法人放射線医学総合研究所 分子イメージング研究センター 運営企画ユニット
TEL: 043-206-4706 FAX: 043-206-4079 E-mail: mipo@nirs.go.jp
募集要項の送付をご希望の方は、E-mailにてご連絡ください。

※本セミナーは、昨年度より「日本核医学会認定学術集会」・「日本核医学専門技師機構認定研究会」として登録されています。

<p>日時: 2010年2月22日(月)、23日(火) 会場: 独立行政法人放射線医学総合研究所 募集定員: 15名程度 ※定員は、実験室の関係で増減する場合があります。 あらかじめご了承ください。 申込方法: 応募関係書類の郵送にて申し込みを承ります。 募集要項は、下記ホームページからダウンロードいただけます。 http://www.nirs.go.jp/exchange/training/invitation/ja158.shtml 郵送でご案内をお送りすることもできますので、ご希望の方はメールなどにてお問い合わせください。</p>	<p>問い合わせ先: 独立行政法人放射線医学総合研究所 【申し込み/運営に関すること】 企画部 人材育成・交流課 人材育成係 TEL: 043-206-3048 FAX: 043-251-7819 Email: training@nirs.go.jp 【その他/研修内容詳細に関すること】 分子イメージング研究センター 運営企画ユニット 企画・研究推進室 TEL: 043-206-4706 FAX: 043-206-4079 Email: micpro@nirs.go.jp</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

SR Salon Photograph

新旧交代



255系(左)と183系(右)の最後の並び 千葉駅にて

千葉県内の主要都市を結ぶ“さざなみ”号をはじめとする、いわゆる房総特急と呼ばれる列車は、1972年に、総武本線の東京～錦糸町間の開業(現在の総武線快速)と、千葉県内の主要路線が電化完成した年に、急行から特急に格上げされた時に誕生した列車である。そして、このときに登場したのが、183系特急型電車である。以来、幕張電車区に配置され、ホームライナー号として走るなど、長年にわたり、房総特急とともに走り続けてきた。

しかし、その183系も、老朽化により、新型車両に順次交代されていく運命にある。ある日、私は、その183系を撮影すべく、千葉駅にいた。目的は、もちろん間もなく引退する183系を写真に収めるためである。その日は同じような目的を持ったファンが多数おり、皆、東京駅から到着したホームライナー号を撮影していた。その後、新宿駅行きの“しおさい”号を撮影するため他のホームに向かった。一方、私は何となくもっといろいろなアングルで撮影したかったので、ホームに残り、ファンが少なくなったホームでカメラのセッティングをしていた。

その時、隣のホームに、房総方面の仕事を終えた255系特急型車両が回送でやってきた。それは感動的かつ感慨的な出会いだった。なぜならば、この255系は、ホームライナー号から引退する183系の後継車両となるからだ。

255系は、ぴったりと183系の隣に停車し、まるで、語り合うかのように並んでくれた。その時間わずか1分。その場に居合わせた数人のファンと共に夜間撮影したうちの1枚である。2つの列車は少しの時間をあけて、どちらも幕張電車区に帰って行った。

もう、定期列車で183系電車が千葉駅にやってくることはない…。

重粒子医学科学センター病院事務課 三井正紀



随想 クールベが終生手放さなかった自画像 市川龍資

東京の京橋にあるブリヂストン美術館では、所蔵する絵画を X 線撮影し、興味深い結果の得られた例を報告書にして出版したことがある。ほくはこの美術館へ行ってこの報告書を手入れしたいと申出たが、もう全部売りつくされてしまっていた。学芸員の女性が、美術館所有のこの報告書を見せてくれた上、もしゼロックスコピーしたければ、ここのコピー機を使って良いと言ってくれた。もちろんほくは全ページをコピーさせてもらった。

この報告書は 1993 年に数日間特別展示会を開いた時の出品写真をとりまとめて解説したもので、「隠された肖像—美術品の科学的調査」という題名がついていた。ファン・ゴッホの「モンマルトルの風車」、ヴァン・ドンゲンの「シャンゼリゼ大通り」などが X 線撮影により絵の下にもう一枚の絵（肖像画）が描かれていたことが解明されていた。

世界各国にある美術館はいづれもその所蔵する絵画の X 線撮影による調査を行っていて、絵の下にもう一つの絵が見つかることは珍らしくないという。理由はいくつもあって、画家が貧しさ故に新しいキャンパスを買うことができず、一度描いた自分の絵の上に新しい絵を描き、自分の創作欲を満たしたケースもあり、無名の古い絵を入手して、その上に自分の絵を描いたケースもある。このケースでは下に現われた絵が大変な名画であることもあって、ボチチェリの未発見の絵が見つかった場合もあったのである。オランダのゴッホ美術館では、ゴッホの絵の下に、しばしばゴッホの知られていなかった作品が発見されることがあったそうである。

報告書「隠された肖像」にあるヴァン・ドンゲンの「シャンゼリゼ大通り」の絵の X 線写真については、放射線科学 vol.140 no.7 (1997) に書いたことがある。

今回は、ギュスタヴ・クールベの描いた極めて珍しい運命的な自画像について述べることにした。1855 年パリで開かれた万国博覧会と併せて美術展が開かれることになり、クールベも「画家のアトリエ」など 13 点を美術展に送った。ところが、「オルナンの埋葬」と「画家のアトリエ」の二大作品が拒否されてしまった。憤慨したクールベは、

この美術展（サロンと呼んでいた）に対抗して独力で自分一人の展覧会を開いた。この個人展覧会の出品作品は油絵 40 点で、その中には現在オルセー美術館にある有名な「画家のアトリエ」などと共に、あまり知られていない作品であるが、「傷ついた男」(1844 年作)が入っていた。この絵は題名が変わっているが、この絵自体も初めて見る人をあっと驚かせる程異常な自画像であった。描かれているクールベは、夕暮の森の中で大木の根元によりかかるように仰向けに倒れていて、彼自身は目を閉じているように見える。白いシャツの左胸の部分は血に染っていて、胸を刺された傷があるように見える。彼の右手の傍には剣が木にたてかけてあるのがわかる。瀕死の状態の自画像である。このような自画像は他に例のないものである。

アメリカン・エクスプレスの会員雑誌インプレッション・ゴールドの 1995 年 12 月号に「X の眼差し」という一文が載っていて、ヴェルツブルク大学物理学教授ウィルヘルム・コンラット・レントゲンが陰極線の実験をしているとき、X 線を発見したというお決まりの文章が述べられていた。それはどうでも良いが、ほくは挿絵として入っていた二枚の写真に眼を奪われた。一枚は上述の「傷ついた男」というクールベの自画像であり、もう一つはその絵を X 線撮影したものであった。この X 線写真は「傷ついた男」と違い、クールベが胸のあたりに女性を腕で抱きかかえている姿が写っている。ほくにとって初めて見る写真であった。短い註がついていて、それによるとこの写真は 1972 年に写されたものだそうで、彼の抱いている女性はクールベの子供の母親であり、この絵の制作中に女性はクールベの許を去ったのだそうである。クールベがこの絵の上に「傷ついた男」を描いた事情がこのことによって理解できる。X 線で現われた彼の顔は優しい平和な表情を感じさせるのに対し、「傷ついた男」の顔の表情は深い絶望と哀しみをあらわしている。彼は終生この絵を手放さなかったという。

ICHIKAWA Ryushi (元放医研科学研究官)



正面玄関ロビーには水槽で飼育されているメダカが常時展示されている

編集後記

読者の皆さん、師走の折、何かとお忙しいことと思いますが、本年最終の 12 月号をお届けします。本誌は、お陰様で皆さんのご支援により本年も滞ることなく発刊することが出来ました。お礼申し上げます。当研究所の今年 1 年を振り返りますと、最も大きな出来事としては、重粒子線がん治療装置 (HIMAC) を用いたがん治療の臨床研究が 1994 年の開始以後、15 年目を迎え、がん治療症例数が 5000 例を超える実績を収めたことが挙げられます。HIMAC のがん治療は、今後とも「切らずに治せる人に優しいがん治療」として、さらに推進して行きたいと考えます。

さて、今月号は先ず、国際機関での活動報告として、国際原子力機関 (IAEA) において 2 年間にわたる人的な面での貢献について掲載しました。当所では今後とも国際機関における支援や協力などの活動に力を注いでいきます。次に、当所の共用施設として運用中の PIXE 分析専用加速器システム (PASTA) とマイクロビーム細胞照射装置 (SPICE) の共同研究成果報告会の発表内容を誌上で紹介しました。所外の関連研究施設の紹介記事では、佐賀県鳥栖市に設置されている放射光施設について、加速器や施設運用の現状などをご紹介することが出来ました。また、本年 3 月にフランス・リヨンで開催された NIRS-ETOILE 合同シンポジウム 2009 について、オックスフォード大学の Bleddyn Jones 教授が学術誌に公表された内容を許可を得て掲載することが出来ました。本シンポジウムは、本誌 (09 年 4 月号) に紹介済ですが、海外の著名な方からの解説記事は示唆に富み興味有る内容となっています。それでは、皆さん来年もどうぞよろしく願いいたします。(OM)

次号予告

特集 「科学技術カフェ 2009 in Chiba 開催報告
～科学の千葉へのさきがけ～」

基盤技術センター 研究基盤技術部/企画部 人材育成・交流課
中村秀仁

最近の成果 「MR 粘弾性率分布イメージング」

千葉大学大学院工学研究科 人工システム科学専攻
菅 幹生

最近の成果 環境移行パラメータの推定法の開発
土壌-土壌溶液分配係数と土壌-作物移行係数

放射線防護研究センター 廃棄物技術開発事業推進室
石川奈緒 田上恵子 内田滋夫

《編集委員会》

委員長	酒井 一夫		
委員	内堀 幸夫	小橋 元	立崎 英夫
	白川 芳幸	菊池 達矢	鈴木 敏和
	高田 真志	長谷川純崇	杉森 裕樹
	玉手 和彦	神田 玲子	
	金澤 光隆	石井 伸昌	
事務局	岡本 正則		

放射線科学 Radiological Sciences Vol.52 No.12 2009

第 52 巻 第 12 号

2009 年 12 月 15 日発行

《編集・発行》

独立行政法人 放射線医学総合研究所
〒263-8555 千葉県稲毛区穴川 4-9-1
電話 043 (206) 3026 Fax.043 (206) 4062 Eメール info@nirs.go.jp
本誌 URL: <http://www.nirs.go.jp/info/report/rs-sci/index.shtml>
(禁無断転載)

放射線科学
Radiological Sciences

第52巻 第12号

2009年12月15日発行 《編集・発行》独立行政法人 放射線医学総合研究所
〒263-8555 千葉県稲毛区次川4-9-1
電話 043(206)3026 Fax 043(206)4062



<http://www.nirs.go.jp>