



“細く、長く” －中性子捕捉療法(BNCT)のあゆみ

独立行政法人国立病院機構香川小児病院 院長

中川 義信

本財団は重粒子線治療に代表される粒子線治療と、中性子捕捉療法 (BNCT) を中心に据え、広くがんの診断・治療に対する研究の支援、援助を目的としています。私自身は財団が推進する 2 本柱の一つ、BNCT の世界に身を置いており、それが縁で理事の一人としてお手伝いをさせていただいています。もともと BNCT は 1968 年、当時東京大学脳神経外科の助手であった畠中 担先生がアメリカ留学でその基礎を学び、帰国後に開始した治療法です。その後 20 年以上にわたり、まさに一人の研究者により研究が進められました。その結果、国内のみならず外国からも多くの患者さんが治療を希望して来日していました。こういった患者さん達の受け皿として、また研究推進のために財団の創設を思いつかれたと聞いています。残念ながら畠中先生はまさに財団の創設に向けて走り出したところで脳出血のために亡くなりました。当時すでに重粒子線治療に関しては放射線医学総合研究所が機能しており着実に実績が積み上げられていました。しかし中性子捕捉療法の分野では畠中先生を班長とする研究組織の一つでしかありませんでした。研究費が途絶えればまさに研究そのものが継続できなかつたかもしれません。そのような時に財団が創設され、研究に対する強力なバックアップが開始されたことは誠に力強い限りでした。武蔵工業大学研究炉で基礎が築かれた研究は、京都大学原子炉実験所、日本原子力研究所 2 号炉、4 号炉へと引き継がれ、治療研究を行うグループも徳島大学、京都大学、川崎医科大学、筑波大学、大阪大学、大阪医科大学へと広がりを見せています。財団は BNCT 推進特別委員会を設け、側面より支援を続けて参りました。その成果が日本中性子捕捉療法学会の発展に寄与し、原子炉に代り加速器を利用した BNCT へと今まさに実ろうとしています。

政権与党が自民党から民主党に変わり、目玉の政策として事業仕分けが行われました。この中で成果の見えにくい、あるいは成果を得るのに時間のかかる多くの研究が仕分けされ、予算を削られ、廃止に追い込まれると聞いています。しかし BNCT は 40 年以上に亘り細々と研究が続けられ、漸く世界に誇れる成果が上がってきたと言っても過言ではありません。この間原子炉分野でも様々な研究開発が行われ、改良が加えられました。BNCT に欠かすことのできないボロン化合物に関しても多くの研究者が研究を続けてきました。まさに“細く長く”脳神経外科、放射線医学等の医療分野から原子炉・核物理学分野、薬学・化学分野にまで至る裾野の広い研究分野だということです。放射線が発見されて未だ 100 年余りにしか過ぎません。科学の進歩のスピードと比較しても BNCT に関する 40 数年間の研究期間は決して長いものとは言えません。国による事業仕分けの際には、特に科学分野においては長期的な視点に立った仕分けも必要ではないかと思えます。多くの研究者により築かれてきた BNCT が、今後若い研究者に引き継がれ、さらに改良が加えられ、人類に役立つ治療法として発展して欲しいものです。

事業活動報告

第6回医用原子力技術研究振興財団講演会報



広島大学大学院 放射線腫瘍学
永田 靖

平成21年12月5日(土)午後
1～5時、広島県民文化センター
において、医用原子力技術研究振

興財団主催、広島大学共催の第6回医用原子力技術研究振興財団講演会「原子力(放射線)利用技術の医療への貢献—人にやさしい放射線医療—」が開催された。市民の関心が高かったためか、当日は開始前に小雨のちらつくあいにくの天候であったが、約400人の熱心な市民・関係者が参加された。

講演会は、医用原子力技術研究振興財団 森亘理事長の開会のあいさつで始まり、その中で「広島という被爆地において、新たに原子力の平和利用ということについて考えてもらえる本日の講演会が誘致されたことへ、広島大学と関係各位、県・市、協賛各社、関係団体、参加された市民への感謝」が伝えられた。

第一部は「放射線による画像診断の進歩と安全管理」としてJA尾道総合病院の伊藤勝陽院長代行の司会で、「画像診断の最前線」として滋賀医科大学放射線医学の村田喜代史先生が、病理診断にかなり近づいた最新画像を提示された。また「PETでとらえるがんの画像診断」として京都大学画像診断学の中本裕士先生から、FDG-PETを中心とした癌の機能診断の現状が紹介された。また大分県立看護科学大学の草間朋子先生より「放射線診療と安全管理」について特に医療領域における放射線安全管理についてわかりやすく御講演頂いた。

それに引き続く第二部においては、「放射線によるがん治療」として京都大学阿部光幸名誉教授の司会で、広島大学放射線腫瘍学の永田靖より「高精度放射線治療」について国内外の最新装置と広島県での普及状況、そして「広島高精度放射線治療センター」の必要性について紹介した。その後に静岡がんセンター陽子線治療科の村山重行先生から「陽子線治療について」前立腺癌、肝癌、肺癌、頭頸部癌

の治療成績を中心に紹介され、最後に放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院の鎌田正先生から、「重粒子線治療について」として1994年以來の炭素線を用いた過去の優れた治療成績と将来展望についての講演を受けた。

第三部は質問コーナーとして放射線医学総合研究所河内清光名誉研究員と永田との共同司会によって、演者と座長が全員登壇し、フロアからの質問状に回答した。質問内容は圧倒的に放射線治療に関連した内容が多く、「広島の高精度治療施設や粒子線治療施設は何時できるのか?」とか「自分が放射線総合医学研究所で重粒子線治療を受けるには、どのような手続きが必要か?」とか、「よい放射線治療を受けられる施設はどこか?」「高精度放射線治療には健康保険が適応されるのか?」等の質問が数多く寄せられ、パネリストが時間の限り丁寧に回答された。

最後に広島大学浅原利正学長により閉会のあいさつがあった。「特に広島で、この放射線に係る企画があったということは、広島市民にとっては非常に意義のあることであり、21世紀の原子力の医療への応用、やさしい放射線医療というのは、平和利用の中でも我々が非常に期待できる、また広島市民、県民が意義をもって受け止めることができる大切な取り組みだろう。」と締めくくられた。

本講演会が追い風となって、広島県内に高精度放射線治療センターが実現し、また粒子線治療装置が導入されることになれば、広島県の放射線治療はおおいに活性化され、本講演会の開催意義は非常に高いものであったといえよう。



◆粒子線がん治療等に関する施設研究会

第21回「粒子線がん治療等に関する施設研究会」と第31回「普及用小型医療加速器を用いた粒子線がん治療施設普及方策検討会」の合同勉強会を平成21年11月19日（木）に開催しました。会場は日本航空会館2Fの201会議室で、以下の講演が行われ、参加者は両研究会で45人でした。

1. 講演 テーマ：～重粒子線がん治療の現状～

（独）放射線医学総合研究所
重粒子医科学センター長 鎌田 正氏

（独）放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院における重粒子線がん治療の実績等について、詳細な解説をしていただきました。



2. 講演 テーマ：～PTCOG48(ハイデルベルグ開催)への参加報告～

（独）放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター
重粒子線がん治療普及推進室長 北川 敦志氏



第48回粒子線治療国際会議（Particle Therapy Co-Operative Group）の参加報告として、同会議の成り立ちをはじめ会の概観を粒子線治療の最近の話題を取りまぜて解説していただきました。

（本号16ページ参照）

3. 講演 テーマ：～医療用加速器へのエネルギー貯蔵装置の適応について～

国立大学法人 筑波技術大学産業技術学部教授
佐藤 皓氏



各地で建設の進んでいる医療用炭素線・陽子線シンクロトロン加速器において、負

荷平準化のための目的でSMES^{*1}を導入した場合の経済効果について解説していただきました。たとえばSMES装置を新規製造する場合の、年間維持費を500万円と仮定すると契約電力料金^{*2}にもよりますが、27年～63年で設備費が回収される。実証試験の終わったSMES装置が有効利用できれば、新規制作の場合の半分以下の年限で設備費が回収される効果が期待される。典型的な例で1施設当たり810MWhの節約となる。

このような医療用加速器が近い将来1都道府県に1施設建設されることを想定すると、年間約40GWhの節約となる。施設設計段階から導入する場合には、受電設備容量をピーク電力ではなく平均電力にすることが可能であり、建設費の低減効果も期待できるとの講演内容でした。



研究会の会場内

◆平成21年度「粒子線がん治療に係る人材育成プログラム」

第1回「粒子線がん治療入門セミナー」

平成19年度から5ヶ年事業としてスタートした文部科学省委託事業「粒子線がん治療に係る人材育成プログラム」も3年目に入り、「粒子線がん治療入門セミナー」も今年度から東京地区と関西地区の年2回開催となった。多くの人々、特に若い人達に粒子線がん治療に関心を持ってもらうことと、次年度公募する「粒子線がん治療に係る人材育成プログ

^{*1} SMES: Superconducting Magnetic Energy Storage ; 超伝導磁気エネルギー貯蔵装置

^{*2} 電力会社と需要家との間での交渉により契約金額が異なる。

ラム」の存在を関連する人達に広報する目的で、平成21年11月14日（土）、平成21年度第1回「粒子線がん治療入門セミナー」を大阪科学技術センター大ホール（大阪市西区）にて開催した。

参加者は99名で、その内訳は、医師4名、医学物理士2名、診療放射線技師25名（内3名は医学物理士の有資格者）、看護師1名、学生11名、その他（公務員、研究員、会社員等）56名であった。



第1回入門セミナー会場内



第2回入門セミナー会場内

◆線量校正事業

平成21年度治療用線量計校正事業の実施

平成21年度の校正件数は2,802件（線量計:888台、電離箱:2,030本）であった。平成20年度の実績（校正件数:2,523件）と比較すると、約11%の増加となり、過去最高の校正件数となった。校正件数が増加した理由として、(1) 線量計校正の重要性の認識が高まった事、(2) 補正予算により照射装置（リニアック）の更新や新規購入が多かった事（線量計を同時購入）などが考えられる。

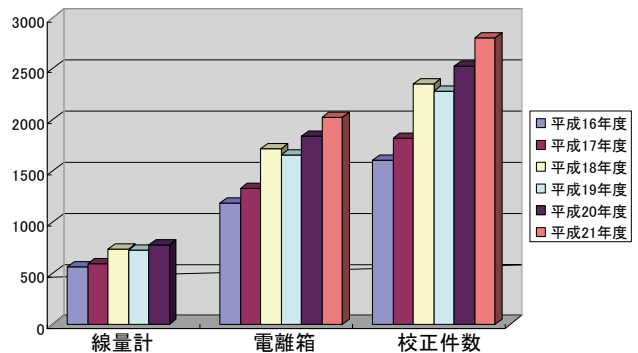
◆平成21年度「粒子線がん治療に係る人材育成プログラム」

第2回「粒子線がん治療入門セミナー」

平成21年度第2回「粒子線がん治療入門セミナー」を平成22年2月6日（土）、日本科学未来館7階みらいCANホール（東京都江東区）にて開催した。

参加者は、153名で、その内訳は、医師8名、診療放射線技師19名、看護師2名、学生10名、その他（公務員、研究員、会社員等）114名であった。今回は医学物理士としての参加者はいなかった。

年度別治療用線量計校正実績



井上 武宏 氏

大阪大学 大学院医学系研究科 放射線治療学講座教授でラジオアイソトープ総合センター長の井上武宏氏は、平成22年4月16日、胸部大動脈解離のため逝去されました。享年58歳。

井上教授は「粒子線がん治療に係る人材育成プログラム」の協働機関の唯一座学を担当する機関代表として、「基礎研修」、「入門セミナー」の企画・運営に携わると共に自身講師としてユーモアに富んだ講演で参加者の心をつかみ育成に努められました。ご冥福をお祈り申し上げます。

脳腫瘍に対する中性子捕捉療法

独筑波大学大学院人間総合科学研究科
脳神経外科学
筑波大学付属病院脳神経外科
山本 哲哉

はじめに

脳腫瘍に対する放射線治療には、標準的に行われているものから、臨床研究として行われているもの、確立された技術、新しい技術と様々なものがあります。また、放射線治療の対象となる脳腫瘍もさまざま、放射線に対する反応やその発生部位、増殖の特徴は腫瘍の種類によって全く異なります。いかに新しい技術・治療法であっても万能ではなく、したがって腫瘍の特徴に合わせた治療法の選択（適応）を抜きにして、「どの放射線治療が優れているか」を考えることはできません。本稿では、通常の放射線治療では十分な治療効果が得られない膠芽腫という悪性脳腫瘍の疾患としての特徴から、これに対する治療として中性子捕捉療法が検討されてきた経緯とその現状について解説します。

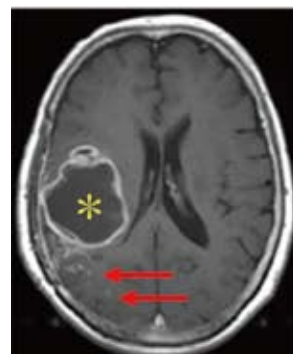
放射線治療の精度と治療の範囲

脳腫瘍治療では、X (γ) 線を用いた放射線治療が通常用いられています。治療は、転移性腫瘍や手術不能例に放射線治療だけを行う場合や、手術を行ったうえで、補助療法として追加する場合があります。一般に放射線の脳腫瘍に対する効果は、多くの線量を用いるほど高くなる（線量依存性）ので、高線量の治療を行えば脳腫瘍の増大防止効果（局所制御）の確率が高くなります。しかしながら高線量を用いる場合には、よほど精度よく治療を行わないと、周りにある正常の脳組織に対する放射線の量が多くなり、局所制御に見合った神経機能や生存期間への良い影響を得られにくくなります。近年の脳腫瘍に対する放射線治療は、コンピューターによるシミュレーション処理速度の向上やロボット技術などの工学の進歩により、その精度が飛躍的に向上しました。それが現在用いられているライナックやガン

マナイフ、強度変調放射線治療装置、サイバーナイフ、トモセラピーといった治療法です。

しかしながら、脳腫瘍の中にはこれら最新の高精度で、線量集中性の高い放射線治療機器を用いても満足な治療成績には程遠い種類の腫瘍があります。それが、膠芽腫（こうがしゅ）に代表される悪性神経膠（こう）腫です。膠芽腫が、他種の腫瘍と違うところは、その“浸潤（しんじゅん）”という厄介な特徴です。浸潤というのは、腫瘍が中心部の塊から移動して、顕微鏡レベルでの腫瘍細胞1個や小集団として、正常脳組織に向かって広がる性質のことをいいます。つまり膠芽腫では、腫瘍の塊だけに放射線を集中させても駄目で、塊の周りの脳の中に浸潤腫瘍細胞（塊から2~3cmの範囲に広がる）が含まれる部分をも治療のターゲットにしなくてはならないという状況に対処しなくてはなりません。しかし、精度の高い最新治療機器を使って塊の部分の治療を行っても、悪性度が極めて高い膠芽腫は浸潤腫瘍から容易に再発します。逆に、浸潤腫瘍をすべてカバーした広い範囲を治療すれば、正常脳の障害が避けられないというジレンマが生じます。浸潤範囲が5 mm程度と少ない転移性脳腫瘍や、浸潤がない良性髄外腫瘍（髄膜腫、聴神経腫瘍）は膠芽腫のようなジレンマがなく、前述の高精度放射線機器を利用した治療により、飛躍的に成績が向上しています。

（図の説明）造影剤をつかった頭部MRI。向かって左側の白く縁取りされた不整形な円形部分（*）が腫瘍の塊である。通常、周囲の浸潤腫瘍は画像では見えないが、増殖が進んでくると小さな白い点として画像の上でも判別できる（赤矢印）。



膠芽腫 転移性脳腫瘍 良性髄外腫瘍



(図の説明) 膠芽腫、転移性脳腫瘍(肺がんや大腸がんの脳転移)、良性髄外腫瘍(髄膜腫や聴神経腫瘍)の腫瘍中心部の塊(濃い色の円)と浸潤腫瘍(薄い色の円)の範囲の関係を示す。膠芽腫では腫瘍の周囲2~3cmの範囲に浸潤腫瘍細胞が広がっている。これは通常、左右半分の大脳半球全体に相当する広い範囲となる。転移性脳腫瘍では、浸潤の範囲は5mm程度である。良性髄外腫瘍は脳組織の外部から発生する腫瘍で、脳に接することはあっても、通常浸潤はない。

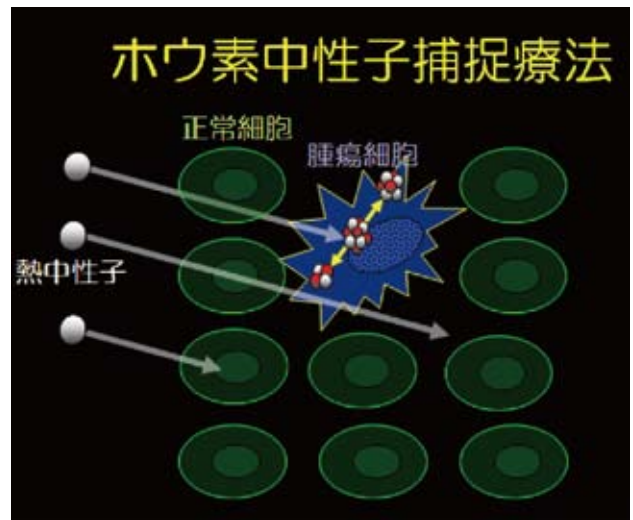
膠芽腫に対する最も信頼性の高い臨床研究の治療成績は、生存期間中央値は14.6カ月、2年生存率26.5%です。この研究では、手術を行った後に、X線分割照射とテモダールという薬剤の投与が行われていますが、様々な重症度の患者の治療結果の平均であることを考慮しても、やはり満足できる数字ではありません。この結果には放射線治療が行いにくい浸潤という特徴が同時に手術による完全摘出をも難しくしていることや、放射線・化学療法剤への反応が悪いということも関係しています。この腫瘍の局所制御には、これまでの臨床データからみて、おおむね90-100Gy^{*3}の放射線が必要ですが、これに対し正常脳に安全に照射できる放射線はたかだか60Gy程度です。したがって、この腫瘍の放射線治療を前進させるには、腫瘍細胞に対し高い線量の放射線を照射し、周りの正常脳には放射線を半分程度に抑えられるような、腫瘍選択性の高い方法が必要となってきます。

中性子捕捉療法とは

膠芽腫では、より高い線量の放射線を、正常脳組織を避け、浸潤腫瘍細胞にも選択的に照射することができれば、高い治療効果が期待できます。ホウ素中性子捕捉療法(Boron neutron capture therapy: BNCT)の“ホウ素中性子捕捉”とは、“ホウ素”が“中性子”を捉えやすい性質があり、その際に核分裂で生じた粒子線を治療に用いる、といった原理にもとづいた名

*3 Gy: グレイ;放射線の照射線量の単位

称です。治療に用いる粒子線はアルファ線とリチウム粒子で、発生源のホウ素原子を中心としたごくの狭い範囲(9ミクロン以内)に効果を及ぼし停止する性質が最も重要です。なぜなら、がん細胞の大きさはちょうどこの狭い範囲に収まる大きさであり、“ホウ素”をがん細胞の中に入れておくことができれば、がん細胞だけを攻撃し、すぐ隣の正常細胞、脳であれば神経細胞に障害を起こすことなく治療ができるからです。また、“ホウ素”は実際には「安定なホウ素同位体¹⁰B」で、中性子は「低エネルギー中性子(熱中性子)」を用います。この治療にホウ素¹⁰Bが用いられるのは、¹⁰Bの中性子捕捉率が高い(反応断面積が大きい)、言いかえると中性子を最も効率よく吸収して減速・停止させ先ほど述べた核反応を起こす性質をもつからです。例えば、1999年にウラン濃縮過程で発生した東海村の臨界事故の際、中性子の反応を止めるのにホウ素の注入が行われたのはこの性質を利用したものです。



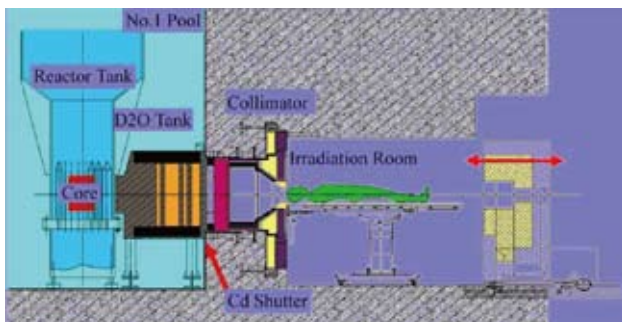
(図の説明) ホウ素と熱中性子の反応で、アルファ線とリチウム粒子が発生する(赤球と白球で描かれた粒子)。これらの粒子線が周囲にエネルギーを与え、停止するまでの距離は腫瘍(がん)細胞の径と同程度である。ホウ素が存在しない場所での熱中性子と生体組織では、窒素や水との反応により陽子線やガンマ線といった放射線が発生するが、ホウ素の反応による粒子線と比較して、周囲へもたらすエネルギー量はかなり小さい。ホウ素が効率的に腫瘍細胞に取り込まれ、腫瘍細胞だけを選択的に治療できるかどうか、この治療の成否に重要である。

実際には、中性子が照射された組織では、組織内の窒素や水との反応により陽子線やガンマ線といっ

た放射線も発生します。この反応はホウ素の有無に関係なく、腫瘍にも正常組織にも起きます。しかし、ホウ素を取り込んだ組織では、前述のアルファ線とリチウム粒子が発生するので、腫瘍への放射線の効果が数段高くなるわけです。正常脳組織がある条件で耐えうる放射線の量は判っているので、臨床研究では通常、この線量（耐容線量）を超えない条件（正常脳に対し1回線量で10～15GyE*⁴以下）とする治療が行われています。

中性子捕捉療法を行っている施設

国内で中性子捕捉療法を行っている施設は、茨城県にある日本原子力研究開発機構と大阪府にある京都大学原子炉実験所の2か所にある研究用原子炉です。もともと研究用原子炉は物理学の実験や各種放射化分析、シリコン照射等に用いられています。中性子捕捉療法を行う JRR-4 では、ヒトの照射に適した中性子エネルギーの取り出し、病巣の深さによる微調整、取り出す中性子ビームの口径、照射量の把握や安全のための測定機器、患者用の照射ベッド、照射シミュレーターなどの付属機器を整備して医療照射に対応できるよう配慮されています。将来的には小型の加速器を利用した中性子発生装置を使っての治療研究も予定されており、京都大学原子炉実験所内の研究施設で準備が進められています。



（図の説明）茨城県にある日本原子力研究開発機構内の研究用原子炉 JRR-4 と照射室のカットモデルを示す。中性子捕捉療法では、原子炉の炉心の隣に照射室と照射用ベッドが配置されている。中性子は金属と重水（図中 D2O Tank の斜線部とオレンジ色、Cd Shutter）を通過する際、照射に適したエネルギーに調整される。

中性子捕捉療法の効果

脳腫瘍に対する中性子捕捉療法は1960年代から行われている研究で、これまでに治療に用いる薬剤の開発、中性子源である原子炉およびビームラインの改良、さらにより安全で効果的な条件の模索などといった研究が進められてきました。しかし、一般的な放射線治療のように、コンピュータ上で治療計画を行い、覚醒した状態の患者が短時間に治療を終えられるようになったのは1990年代後半からで、現在はその初期の治療成績がちょうど出揃った時期といえます。

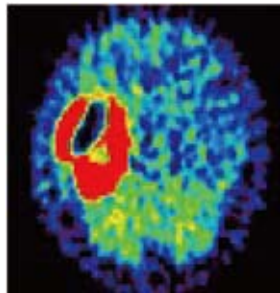
各施設から報告された治療成績を見ると、脳腫瘍に対する中性子捕捉療法の治療結果はおおむね良好で、生存期間中央値にして20ヶ月以上の報告がなされています。しかしながら、これらはすべて数十例のケーススタディーであり、標準治療との完全な比較や、ランダム化試験ではないため、この治療法を広く推奨するところまでは到達していません。現時点では、複雑な原理の上に成り立っているこの治療法が一定の治療効果を発揮することは確実で、より大規模の臨床研究をはじめ、治療施設の改良や利便性の向上、薬剤の開発といった今後の研究開発にゴーサインをだした、といったところであろうと考えています。当施設での膠芽腫に対する中性子捕捉療法は、中性子の脳組織での減衰を重視し、原則として深部（7cm以上）を除いた腫瘍を適応としています。これまで治療を行った初発膠芽腫15例（平均観察期間23ヶ月）の評価では、再発をきたすまでの期間（無増悪期間）および全生存期間の中央値はそれぞれ11.9ヶ月、25.7ヶ月で、2年生存率は53.3%でした。これは、標準治療と比べて生存期間で約1年、2年生存率で約2割良い数値です。中性子捕捉療法は正常組織に対する影響を軽減できることから、ほぼ全例に初回の治療で放射線治療が施されている再発の悪性神経膠腫に対しても治療が可能で、画像上の腫瘍体積が平均約60%減少したと報告されています。神経膠腫のほかに悪性髄膜腫に対する治療研究も行われています。

*⁴ GyE: グレイエクイバレント=X線・γ線と等価な吸収線量

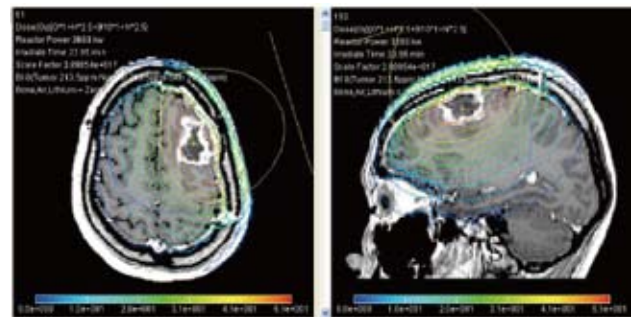
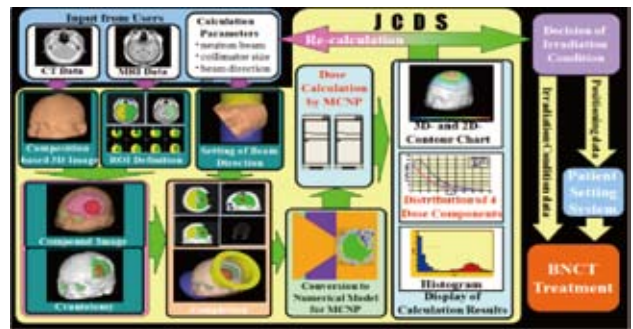
中性子捕捉療法の実際

中性子捕捉療法では、ホウ素¹⁰Bのある部分だけにミクロの照射が起きるので、その治療の成否は用いるホウ素薬剤の腫瘍選択性に依存しています。したがって、悪性神経膠腫、悪性髄膜腫などのホウ素薬剤の腫瘍内移行が良好で、腫瘍内ホウ素濃度が高い腫瘍がこの治療の良い適応となります。以前、本誌第8号でも紹介された¹⁸F-BPA-PET、すなわちホウ素薬剤BPAをフッ素¹⁸Fでラベルして用いるポジトロンCT検査を用いると、治療前にホウ素の腫瘍内移行を評価し、治療計画を立てることができます。腫瘍の大きさにもよっても異なりますが、一般に腫瘍でのBPAの取り込みが正常脳の2倍以上であれば治療効果が期待できると考えられます。

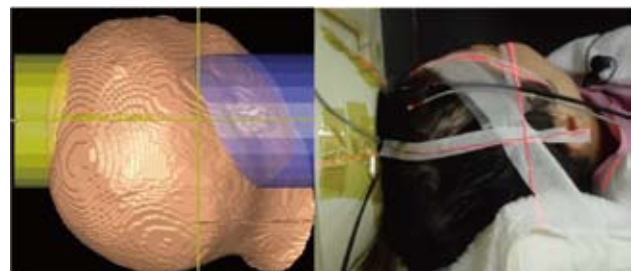
(図の説明) ¹⁸F-BPA-PETの画像。図中の赤で示される部分に腫瘍があり、ホウ素が取り込まれていることが確認できる。本例のように、腫瘍でのBPAの取り込みが正常脳の2倍以上であれば治療効果が期待できる。(東京医科歯科大学成相直先生のご厚意による)



中性子捕捉療法の治療計画作成や、標準的X線分割照射・その他の放射線治療との比較により適応を検討する際には、個々の症例で頭部の形状にあわせた中性子散乱計算と核反応のシミュレーションが必要です。日本原子力研究開発機構JAEAと筑波大学との共同開発による中性子捕捉療法専用の治療計画システムJCDS (JAEA Computing Dosimetry Systemの略)は国内で開発された唯一のシミュレーションシステムで、現在国内の臨床研究で広く用いられています。JCDSはCTデータから頭蓋内外の組織を中性子の挙動が大きく異なる骨、軟組織、空気、腫瘍の4つにカテゴリー分けした後に中性子輸送計算を行い、その計算画像をMRI画像上に重畳させて表示します。この際、中性子捕捉療法でホウ素の反応で発生する選択的粒子線量(ホウ素線量)のほか、同時に発生する非選択的線量(窒素線量、速中性子線量、ガンマ線量)をそれぞれ算出し、Dose-volume histogramや線量コンター図*5、照射時の頭位ポジショニングに必要な3次元データを出力します。



(図の説明) 中性子捕捉療法専用の治療計画システムJCDS (JAEA Computing Dosimetry System)の概略(上)とその計算結果画面(下)。



(図の説明) 照射の様子。実際の照射室の画像である。治療計画で予定された位置に、レーザーポインターを用いて頭部の位置を合わせたうえで治療を行う。

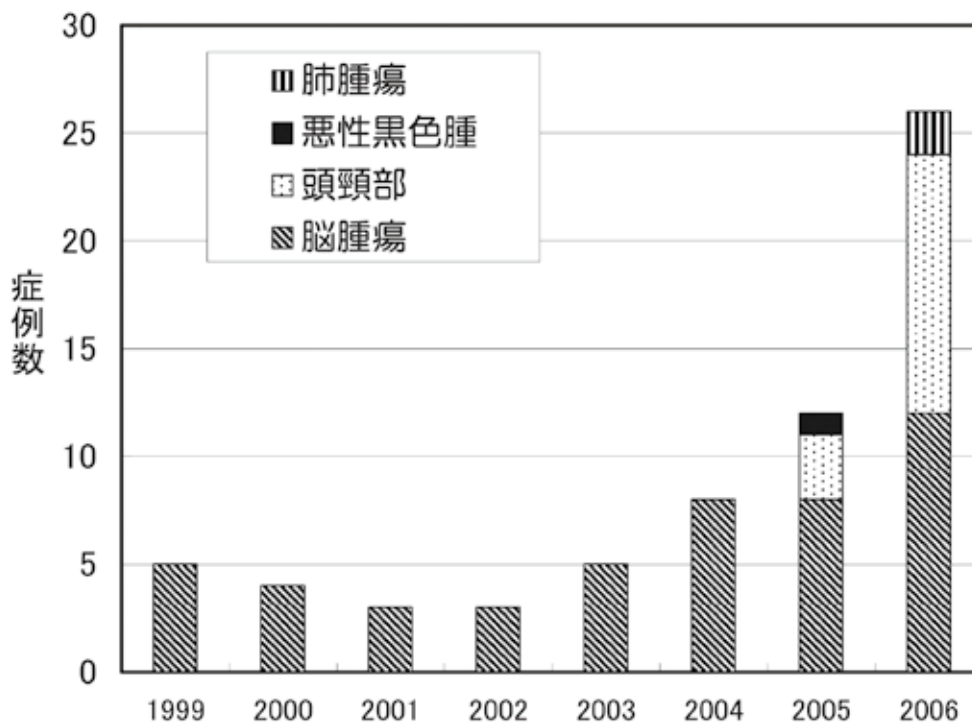
治療の当日は、まず中性子照射に先立ってホウ素薬剤を点滴投与します。次に、照射位置に頭部をセットしたのち、中性子照射を行います。この間、時間ごとに採血を行いながら血中濃度をモニターします。照射中の実際の中性子量と、血液中のホウ素濃度から、予定された治療線量に見合った照射時間を計算し、通常30分程度の1回の中性子照射で治療を終了します。治療後は特別な身体制限はありませんが、病院に戻って経過観察を行います。

*5 線量を等高線表示した図

適応の拡大と今後の課題

中性子捕捉療法の効果は腫瘍組織におけるホウ素分布と中性子分布に依存するため、“ホウ素薬剤分布”、“中性子線量分布”が治療効果向上のカギとなります。ホウ素薬剤の分布が不均一になると腫瘍組織内に放射線量の低い部分ができてしまいます。これは腫瘍組織内の細胞密度、腫瘍血流、細胞周期の変化に伴って起きてくると考えられ、対策として集積機序の異なるホウ素薬剤の複数併用、薬剤投与量の増加、投与時間の延長などが試みられています。また、全く新しいドラッグデリバリーシステムやホウ素薬剤が開発されており、これらの実用化に向けた取り組みが始まっています。また、現在の中性子捕捉療法では、原子炉施設の構造上の制限から側方からの一ビームによる照射でしか治療が行えません。一般の X 線治療の精度向上には多方向照射や強

度変調法、マルチリーフコリメータなどの技術が取り入れられており、これらの一部は中性子捕捉療法にも有用であると考えられています。近年病院併設型の治療施設実現を目指して、小型の加速器中性子源の開発も進んでいます。病院併設型の加速器中性子源が実用化されればマシンタイムの確保が容易になり、また利便性も向上するものと期待されます。また近年は、膠芽腫以外の脳腫瘍だけでなく、悪性髄膜腫、転移性悪性黒色腫などの頭蓋内適応疾患、頭頸部がんの治療が始まっており、さらに腹部臓器腫瘍、骨・軟部腫瘍、肺癌、縦隔腫瘍などへの応用も期待されています。近い将来、中性子捕捉療法の研究成果が、通常の治療では効果が得られにくいがんの治療の切り札として役立つのことを、心から期待します。



(グラフの説明)

改良が開始される以前（～2006）の JRR-4 での治療実績と 2005 年以降脳腫瘍以外の治療がおこなわれるようになってきた事を示す。

ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)による 鼻腔悪性黒色腫の治療を受けて

宮本 一 (73才発病、現在77才)



平成18年初めの頃(73才)より鼻がつまりだし、3月になって時々出血を伴うようになりましたので、関西電力病院耳鼻咽喉科の藤田医長の診察を受けました。「ちょっと厄介な事になるかも知れませんね。細胞検査もしておきましょう」と言われ、京大病院の検査室にまわされました。その結果、「右鼻腔悪性黒色腫(メラノーマ)」と診断されました。

治療方法は外科手術が一般的で、化学療法(抗癌剤)や放射線治療は有効ではないとの事。

当時、関西国際空港株式会社、株式会社きんでんの会長等、まだ現役として勤務していましたので、外科手術で人前に入るのが憚られる様になる事に大変危惧しました。

平成7年より6年間ほど関西電力勤務時代(専務、副社長として)政府の原子力委員会の平和利用専門委員として、食品、植物、物性、医療などに対する放射線の平和利用普及促進に従事していました。陽子線、重粒子線についていささかの知識がありましたので、平素お世話になっている京都大学の神田啓治先生にご相談したところ、「メラノーマなら切らずに治せるBNCT法があり、かなりの実績もあるので、元神戸大学の市橋先生を紹介しましょう」とご指示下さいました。

市橋先生は「現役を引いたので、現在専門家でご活躍中の岡山倉敷の川崎医科大学附属病院放射線治療科平塚純一先生のところへいらっしゃい」とご親切にご紹介いただきました。

京都西陣病院のPET検査、CT検査等の資料書類を持参して平塚先生にお会いし、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)の原理と実績について伺いました。

癌細胞が好んで取り込む必須アミノ酸のフェニルアラニンにホウ素を結合させた化合物を点滴投与し、蓄積したホウ素へ中性子を照射する。

これにより癌細胞内のホウ素が原子核反応を起こして分裂しがん細胞を死滅させる。一方、正常細胞は悪影響を受けないという夢の様な治療法で、今までにかなりの成功をおさめていると聞き、希望の光を見つけた思いがしました。関電病院の藤田先生も興味を示され、相談の結果、このBNCT法を受ける決意をしました。

その頃、熊取の京大原子力研究所は改修工事中で、東海村の(独)日本原子力研究開発機構原子力科学研究所研究用原子炉JRR-4の照射室で照射を受ける事となり、4月25日26日川崎病院の平塚先生、栗飯原、森田両耳鼻科医、関電病院の藤田先生、私と妻6名で東海村に参りました。

JRR-4は多目的に使用するのでBNCT治療専用には作られておりません。そのため、前日の25日には患部の顔と体の固定方法を念入りにチェックして下さいました。

4月26日早朝、村立東海病院から原子力科学研究所へ行き、ホウ素化合物の点滴を受けながら、原子炉起動準備完了を落ち着かぬ不安な気持ちで待ちました。いよいよ照射室に入り、約1時間身動きせず我慢の時を過ごしました。その間、スタッフの皆様はモニターを見ながら頭のずれの修正を指示しながら、無事照射終了しました。小休止の後、常磐線、新幹線を乗り継ぎ、夕刻には川崎医学大学附属病院へたどり着き入院しました。私自身はさほど苦しくもありませんでしたが、先生方は心労からか、お疲れのご様子でした。それからの1週

間は痛みとか不快感もなく、朝、目やにが出るとか、多少口内の異和感がある位で、顔のはれも引き5月3日には退院出来ました。丁度連休中で、自宅で静養しましたが、その後しばらくは口内炎で苦しみました。1週間毎に関電病院、1ヶ月毎に川崎病院で診察していただきながら、悪化する事なく順調に回復していました。

ところが、照射後6ヶ月半経った頃再発、平塚先生、栗飯原先生、藤田先生との相談の結果、再度BNCT照射を受けることとなり、その年の平成18年12月12日に実施いたしました。4月に経験していましたが、さほどの心配もなく終了し、この度は関電病院で21日間入院、経過を診ていただきました。前回の反省のもと、薬剤の濃度、照射量等に幾分の変化を加えられたと聞いています。

退院後も関電病院、川崎病院に通院し、その後の病状の変化を看ていただいております。今回は口内炎が前回よりややひどい程度で、勤務・ゴルフもし、生活自身以前とあまり変わりなく安心していました。しかし平成19年夏8月25日再々発が見つかり、このときはいささかショックでした。先生方との相談の結果、これ以上のBNCT治療は見あわせ、インターフェロンと外科手術をという事になり関電病院に入院しました。20日間のインターフェロン注射後、10月10日北野病院耳鼻咽喉科福島医長の執刀により約3時間全身麻酔で摘出手術を受けました。顔面に傷跡を残さない様、口唇からの鼻腔手術でした。術後23日間の病院生活、その後は2～3日毎、半年後には1週間毎に通院し(今では2週間毎)たまるゴミを除去しながら経過を看ていただき、仕事も遊びも元に戻って生活を楽しんでおります。平成21年10月10日には手術後丸2年を、発病から3年半が経過し、ほとんどメラノーマの不安から開放されつつあります。

BNCTだけでは完治しませんでした、その後のインターフェロンの効果もあり、BNCT法は手術切除範囲が小さく、他への転移を防ぐのにも有効だったのではないかと、福島、藤田両先生に言われ、私もそう信じています。

多くの先生方のご尽力とご好意、献身的に看護し、励ましてくれた妻に心から感謝しています。メラノーマになった原因は不明ですが、心身ともに過労を蓄積せず、規則正しい生活をする事で免疫力を高め、有意義な老後生活を送りたいと思っています。



独立行政法人日本原子力研究開発機構
東海研究開発センター原子力科学研究所
研究用原子炉 JRR-4

第7回日本中性子捕捉療法学会学術大会

- 会期 [学術大会主題] 『加速器 BNCT 元年』 平成 22 年 8 月 5 日 (木) ～ 8 月 6 日 (金)
[市民公開講座主題] 『医学といのち』 平成 22 年 8 月 6 日 (金) 14 時～ 17 時
- 会場 [学術大会・市民公開講座]
学習院大学 目白キャンパス 西 2 号館 〒 171-8588 東京都豊島区目白 1-5-1
第 7 回大会事務局 学習院大学理学部 化学科
大会長 中村浩之、事務担当 山本夏水
E-mail : jsnct7@gakushuin.ac.jp URL: <http://jsnct07.umin.jp/index.html>
- 市民公開講座 『医学といのち』
学術大会後、学際生命科学「東京コンソーシアム」シンポジウムを公開市民講座として開催。本シンポジウムでは、中川義信先生(国立香川小児病院・院長)、福田寛先生(東北大学加齢医学研究所・所長)、平塚純一先生(川崎医科大学・教授)、宮武伸一先生(大阪医科大学・准教授)のご講演あり。

粒子線治療

◆国内の粒子線施設建設の進捗状況

・群馬大学重粒子線医学センター



群馬大学は群馬県との共同で同大学医学部附属病院内に設置を進めてきた重粒子線照射装置の整備をほぼ終了し、本装置の医療機器製造承認を3月9日付で許可されたのを受けて3月16日より重粒子線治療を開始した。治療は前立腺がんを対象に10例を実施し、その結果をもとに厚生労働省の先進医療の認定取得を目指す予定。先進医療の承認を受けた後、一般の患者治療を始める時期は今年夏ごろからと予定している。

群馬県は、県民が治療を受ける際の経済的負担を軽減するため金融機関から治療費を借り入れた際に利子の一部を補給する制度も創設する。(重粒子線治療推進事業: 県民が平等に、質の高いがん医療を受けられるように、重粒子線治療費負担軽減を図るもの; 群馬県 HP)

両者の治療開始の発表はがん患者に質の高い医療を提供する準備が整ったことを新聞紙面を通して広く報道された。

掲載紙面のリストを下記に示す。

平成 22 年 3 月 8 日	上毛新聞
平成 22 年 3 月 12 日	上毛新聞
平成 22 年 3 月 15 日	東京新聞
平成 22 年 3 月 17 日	上毛新聞
平成 22 年 3 月 17 日	NHK 朝のニュース
平成 22 年 3 月 18 日	日本経済新聞

平成 22 年 3 月 18 日	朝日新聞
平成 22 年 3 月 18 日	読売新聞
平成 22 年 3 月 18 日	毎日新聞
平成 22 年 3 月 18 日	上毛新聞
平成 22 年 3 月 19 日	日刊工業新聞

・福井県陽子線がん治療センターの建設進捗状況



本年3月には建屋が完成し、機器の搬入・設置もほぼ終了しました。現在は機器の単体試験を継続中です。4月～5月中旬にかけての週末には、一般県民の方々、福井県が協定締結している保険会社への施設公開等を行っています。今後、5月末には管理区域設定・加速器ビーム調整に入り、平成23年3月に治療開始を予定しています。

(<http://www.fukui294.info/youshisen/>)

・名古屋市陽子線がん治療施設整備事業



起工式写真 (写真右端、河村名古屋市長)
(平成 22 年 3 月 2 日開催)

名古屋市では、平成21年9月18日に必要性や採算性などを再検討するため事業を一時凍結しました。その後は、10月24日に「公開討論会」を開催し、専門家や市民の皆様の意見を聴くなどして、最終的には平成22年1月4日をもって凍結を解除し、再び事業を進めることとなりました。関係の方々にはご支援いただきありがとうございました。

平成22年3月2日に起工式を行い平成24年度治療開始を目指して、現在、整備を進めています。

・財団法人 メディポリス医学研究財団 がん粒子線治療研究センター



平成20年7月に着工した鹿児島県指宿市の財団法人メディポリス医学研究財団がん粒子線治療研究センターが完成し、平成22年4月3日、落成記念式典と施設内覧会が行われた。今後は装置の調整などを行い、平成23年4月から本格的に粒子線治療を開始する予定。同センターは、回転ガントリー3基が設置された地下1階地上2階建ての陽子線治療施設である。

・九州国際重粒子線がん治療センター

九州初、民間主体では日本初の重粒子線がん治療施設となる、「九州国際重粒子線がん治療センター(愛称:サガ ハイマツト)」の事業計画が、平成22年1月29日に開かれた、九州を中心とした産学官の代表者らで構成する九州国際重粒子線がん治療センター事業推進委員会(委員長=古川康佐賀県知事)で承認された。

平成19年4月、古川康佐賀県知事が「先端的が

ん治療施設の誘致」をローカルマニフェストの一つに掲げて当選して以来、産学官の共同プロジェクトとして調査、検討が進められてきた、同センターは、平成22年度によいよ建設へと動き出す。

計画によると、建物の建設・管理を行う九州重粒子線施設管理株式会社(平成21年4月設立)と治療装置の整備・管理、治療、人材育成などを行う一般財団法人佐賀国際重粒子線がん治療財団(平成22年2月設立)が、車の両輪となってセンターの建設、運営を行うになっています。センターの開設場所は、平成23年春に開通予定の九州新幹線新鳥栖駅前の区画整理事業地の一画で、平成25年春の開院を目指す。治療室は3室で、当初、水平+垂直、水平+45度の2室でスタートして、現在(独)放射線医学総合研究所で開発が進められている次世代型の実用化を見極めながら、水平+垂直の1室を追加する。事業費は約150億円とされ、佐賀県から約20億円の補助金が予定されているものの、大部分を民間からの出資と寄付金で賄う計画となっている。



▲センターのイメージ

◆国内の粒子線がん治療の現状

平成22年度4月現在、国内の粒子線治療施設は8施設となった。この施設で行われている粒子線治療の統計値を表1に示す。炭素線5,456件、陽子線6,059件、合計では11,515件にまで到達した。これらの施設では広報誌やHPで治療実績を公表しているものもあるので参考にしていただきたい。当財団のHPからもリンクが張ってあるのでアクセスしてください。

表 1 国内粒子線治療施設 治療実績

施設名	治療ビーム線種	統計日付	累積値 (*1)
放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院	炭素イオン線	2009/7/31	4,818
筑波大学陽子線医学利用研究センター	陽子線	2009/12/9	1,586
国立がん研究センター東病院	陽子線	2009/12/9	680
静岡県立静岡がんセンター	陽子線	2009/12/9	852
兵庫県立粒子線治療センター	陽子線	2009/11/9	2,382
兵庫県立粒子線治療センター	炭素イオン線	2009/11/9	638
南東北がん陽子線治療センター	陽子線	2010/2/28	503
群馬大学重粒子線医学研究センター	炭素イオン線	2010/3/16	開始
若狭湾エネルギー研究センター (*2)	陽子線	2009/12/8	56

* 1 累積値は PTCOG PSI <http://ptcog.web.psi.ch/ptcentres.html> から部分引用した。

* 2 若狭湾エネルギー研究センターは平成 21 年度末で臨床は終了する。

臨床治療は福井県陽子線治療センター（仮称）に移管される予定。

◆国内の粒子線がん治療施設の導入計画（導入決定施設を含む）

国内で平成 22 年 3 月初めまでに、粒子線がん治療施設の設置状況、その施設建設計画や導入方針が報道された地域を新聞紙名と発行日付とともに図 1 に示した。

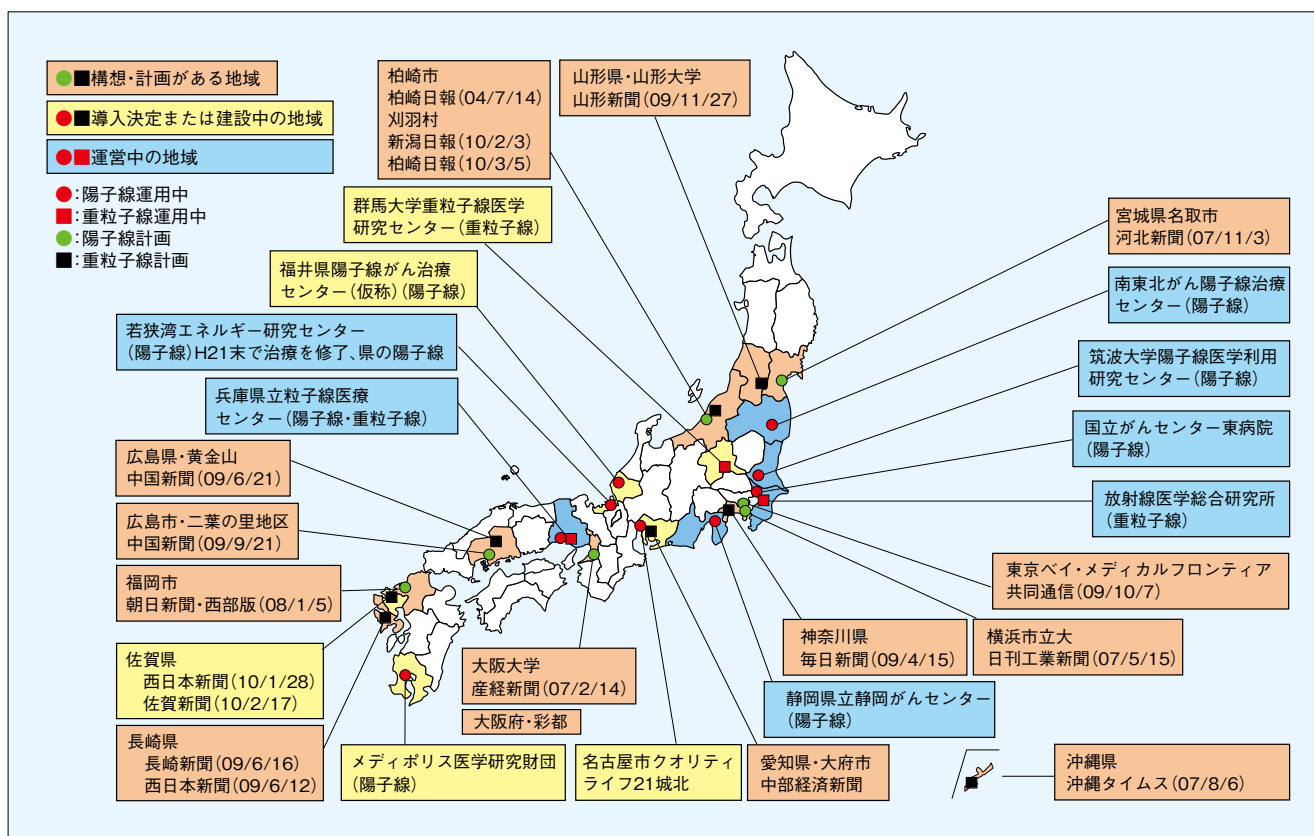


図 1 全国の粒子線がん治療施設と導入計画に関する主なニュース発信
（平成 22 年 3 月上旬までの報道を掲載）

●国内の粒子線治療施設計画

平成 21 年度末現在の粒子線治療施設計画を表 2 にまとめた。表 2 に示されている重粒子線治療施設計画で用いられる装置は放医研が普及推進している小型普及重粒子線加速器を採用している。

表2 国内の粒子線治療施設建設計画

事業主体（所在地）	施設名称（一部仮称を含む）	線種	工事開始	治療開始
群馬大学・群馬県 （群馬県前橋市）	重粒子線医学センター	炭素イオン線	平成19年2月	平成22年3月
放射線医学総合研究所 （千葉市稲毛区）	重粒子医科学センター病院内 新治療棟	炭素イオン線	平成21年1月	平成22年4月建屋竣工
神奈川県 （横浜市旭区）	県立がんセンター内 名称不明（重粒子線治療装置）	炭素イオン線	未定	平成26年度目標
佐賀県 九州重粒子線施設管理株式会社 （鳥栖市）	九州国際重粒子線がん治療 センター	炭素イオン線	平成22年度中	平成25年春目標
福井県 （福井市）	福井県陽子線がん治療センター （仮称）	陽子線	平成20年	平成23年3月
（財）メディポリス医学研究財団 （鹿児島県指宿市）	がん粒子線治療研究センター	陽子線	平成19年9月	平成23年4月
名古屋市 （名古屋市区）	陽子線がん治療施設	陽子線	平成20年12月	平成24年度

◆海外の粒子線がん治療実施状況

●世界の治療施設と活動状況

世界で稼動している粒子線治療施設は30施設ある。その内、稼動している陽子線施設は27施設あり、重粒子線治療施設は4施設ある。

地域別に整理すると以下となる。

(1) 日本

陽子線治療施設5、重粒子線治療施設2が施設稼動している。

(2) 欧州ロシア地域（EU+RU）

欧州および東欧諸国には陽子線治療施設12、重粒子線治療施設1が施設稼動している。

(3) アメリカ合衆国・北米大陸（USA+Canada）

アメリカ合衆国、カナダにおいて陽子線治療施設7施設稼動している。重粒子線治療施設は1施設が稼動していたが現在は後述の様にシャットダウンされた。

(4) アジア・南アフリカ地域（Asia+Africa）

陽子線治療施設はアジアに2施設・南アフリカに1施設稼動している。重粒子線治療施設はアジアに1施設が稼動している。

●世界の地域別粒子線治療統計

世界で重粒子線治療において実績をあげた施設はこれまでに4施設ある。アメリカ合衆国のLBLにおいて行われたが1992年にプロジェクトが終了しその後日本とドイツにプロジェクトが引き継がれた。LBLの実績を含め、最近の日本・ドイツの治療実績を図2に示す。

前述(1)から(4)の地域27施設の陽子線治療統計は50,902件であり、これに対して重粒子線治療の地域別治療統計は6,970件である。これらをまとめて図2に示す。

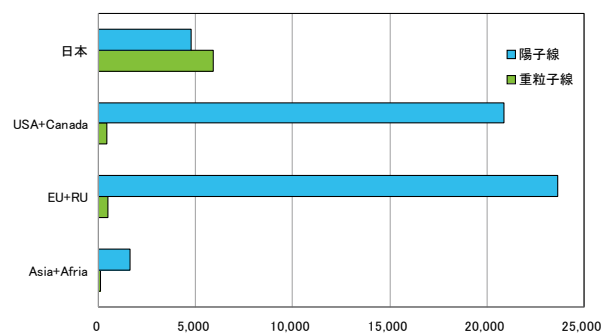


図2 世界の粒子線治療施設の地域別統計

●粒子線治療施設導入計画の動向

世界の陽子線治療施設計画、重粒子線治療施設計画を表3にまとめた。

アメリカ合衆国においては新規陽子線治療施設計画が活発に発表されている。表3以外でも構想段階のニュースが発表されている。アメリカ合衆国の計画は全てが民間計画であるのが特徴である。表3において（*）を付した計画は既に着工されたものを示している。

重粒子施設計画においては、日本、ドイツ、イタリア、オーストリアにおいて5件が着工または計画発表されている。

表3には掲載されていない重粒子線施設計画も他にも存在するが、先行計画の実績を眺めながら具体的な計画に移行して行くものと推察される。群馬大学以外の日本の計画は表2を参照。

表3 世界で計画中の粒子線治療施設

WHO, WHERE	COUNTRY	PARTICLE	MAX. CLINICAL ENERGY (MeV)	NO. OF TREATMENT ROOMS	START OF TREATMENT PLANNED
Gunma University, Maebashi*	Japan	C-ion	400/u synchrotron	3	2010
NRoCK, Kiel	Germany	p, C-ion	430/u synchrotron	3	2012
Med-AUSTRON,Wiener Neustadt	Austria	p, C-ion	400/u synchrotron	3	2013
HIT, Heidelberg*	Germany	p, C-ion	430/u synchrotron	3	2009
PTC, Marburg*	Germany	p, C-ion	430/u synchrotron	4	2010
CNAO, Pavia*	Italy	p, C-ion	430/u synchrotron	3, 4	2010?
UPenn, Philadelphia, PA*	USA	p	230 cyclotron	5	2010
Northern Illinois PT Res.Institute, W. Chicago, IL*	USA	p	250 SC cyclotron	4	2010
Oklahoma City, OK*	USA	p	230 cyclotron	4	2009
HUPBTC, Hampton, VA*	USA	p	230 cyclotron	5	2010
CPO, Orsay*	France	p	230 cyclotron	3	2010
RPTC, Koeln	Germany	p	230 cyclotron	5	?
WPE, Essen*	Germany	p	230 cyclotron	4	2009
Trento	Italy	p	230 cyclotron	2	2011?
PMHPTC, Protvino*	Russia	p	250 synchrotron	1	2010
CCSR, Bratislava	Slovak Rep.	p	72 cyclotron	1	2010?
CMHPTC, Ruzomberok*	Slovak Rep.	p	250 synchrotron	1	2010
Skandion Clinic, Uppsala	Sweden	p	250 cyclotron	2	2012?
PSI, Villigen*	Switzerland	p	250 SC cyclotron	1+2	2009
SJFH, Beijing	China	p	250 synchrotron	2	2010
Chang Gung Memorial Hospital, Taipei*	Taiwan	p	235 cyclotron	4	2011
iThemba Labs	South Africa	p	230 cyclotron	3	?

* : 建設中

出典 <http://ptcog.web.psi.ch/> Hpより

第48回のPTCOG国際会議の参加報告

(独)放射線医学総合研究所重粒子医科学センター
重粒子線がん治療普及推進室 室長 北川 敦志

1. はじめに

第48回粒子線治療国際会議に出席したので、会議の概観と、粒子線治療の最近の話題を取りまぜて報告します。

粒子線治療国際会議 (Particle Therapy Co-Operative Group: 以後「粒子線治療国際会議」) の成り立ちについて簡単に説明します。これは1984年に陽子線治療の臨床試験を実施する機関を中心として、年二回学会会合を開催したのが始まりで、中性子線や重粒子線も含めて施設間の情報共有を図っていました。その時の国際会議の略称は、「Proton Therapy Co-Operative Group」と呼んでいました。2002年からは名称を重粒子線も含め、「Particle Therapy Co-Operative Group」に変え、2006年から2009年には放医研の辻井理事が委員長を務めるなど、名実ともに粒子線治療全体をまとめる国際会議となりました。

開催地はハイデルベルグ市、会場はハイデルベルグコンベンションセンター、会期10月1日から3日にて執り行なわれました。ただし、この3日間の本

会議に加えて、それに先立つ3日間、教育セッションが開かれて、粒子線国際会議全体としては6日間の構成でした。

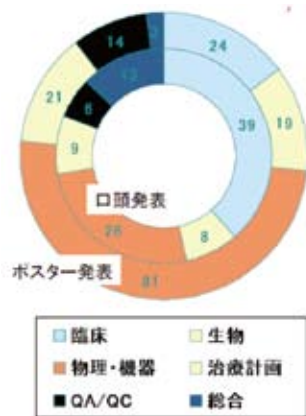
今回は、主催者発表によれば850名でした。構成は、主催国からの参加者が6割程度となることが普通でした。今回については、主催者からの統計が出



ていないので、第47回の統計で見ますと、国別ではアメリカ、ドイツ、日本からの出席者が毎回多い傾向にあります。職種は、医師、医学物理士、技術者で、他にメーカーの営業担当の参加もありました。

2. 今回会議におけるトピックス

発表には、口頭発表とポスター発表があり、単純な演題数の比較では、口頭発表が101件、ポスター発表が162件でした。これは一部キャンセルされたものも含みます。



口頭発表について言えば、臨床が1/3より一寸多いぐらい。ポスター発表については、物理、機器の発表がかなり多かったと思います。臨床、生物、物理・機器治療計画、QA/QC、総合の発表件数を上のグラフに示します。

トピックスは人材育成で、もう一つは照射分割回数の短縮です。また、かなり議論がありましたのが呼吸同期スキヤニング照射、そして新治療施設の様々な発表もトピックスであったかと思えます。ただこれは主催者が意図した会議の構成とは違って、筆者の眼から見た、「こういうところに重点があったな」と言うものであることをご承知おきください。

2.1 人材育成

人材育成重視の要因は何かと考えると、世界各地に粒子線施設の普及が進み、既に30施設以上になったことが一つの背景ではないかと思えます。当然のことながら、粒子線治療は他のX線治療に比べても専門性が高いことから、独自の人材育成を重視せねばならなくなっていることと関係しています。また、一般のX線やガンマ線の治療で、世界各地の放射線治療分野での事故がここ数年多発していたことも関係しています。

本会議では具体的な対応として、前々回より、本会議と別に、3日間の教育セッションを設けました。そして、人材育成について、初心者が入りやすいようにしようという配慮をすることになりました。今

回の教育セッションの内容としては、45分の講義27題を実施して、新しい人が入ってきた場合に、統一された知識を身につけてから本会議のさまざまな専門性の高い議論に進んで行けるという構成にしています。46、47、48回と教育セッションを実施して、今回で3回目ということになります。この取り決めで、次の49回についても同じような重点の置き方がなされると思っております。

さらに、今回力を入れた点としては、早朝7時から基礎講義を実施して、医学、物理、生物、一日ずつ、本会議の前に講師が講演するという取り組みです。ただ7時となりますと、ホテルによっては朝食が7時からしか出ないので、「早すぎて行けない。」とか、苦情も在りました。

2.2 照射分割回数の短縮

照射分割回数の短縮について、放医研における炭素線の一層の照射分割回数の短縮が常に強い関心を集めていました。放医研では、肺一日、肝二日に続いて、前立腺などで短縮がなされています。生物学的な研究による裏付けはどうか目も注目されていきました。これに対して、陽子線についても照射分割回数の短縮のさまざまな取り組みが報告されました。陽子線では、光子線照射と併用したブースト照射による臨床試験が多く、その中で照射回数、分割回数の短縮が発表されていました。

2.3 スキヤニング照射

スキヤニング照射、特に呼吸同期を行った場合のスキヤニング照射について多くの発表がありました。どのような照射方法であろうと、粒子線治療において照射の役割は同じで、診断によって決定された任意の形状の三次元標的領域内にどのように一様な線量で照射を行うかということに尽きると思えます。そのためにはもともと細かったビームを横方向に広げて、さらに深さ方向に重ね合わせるということになります。研究開発のポイントには、呼吸性移動をどう正確に検出するか、治療計画をどう最適化するか、そして移動の補正をどう行うかなどがあります。

しかし、照射に合わせて、照射時間が一時間もかかったのでは実用化になりませんから、照射の高速化をどのように行うかというのも研究開発のポイントかと思えます。これらについて議論がなされました。

2.4 新治療施設・建設計画

トピックスの四番目として、新治療施設があります。これは、PTCOGのHPで公開していますので興味のある方は脚注のURL^{*6}にアクセスして見てください。HPには研究所や病院が施設の名称で示され、地名や、使う粒子線の種類、予定の開始時期などをまとめ表を公表しています。以下、私が収集した情報も追加して報告いたします。

- ドイツの計画：ハイデルベルグ市にあります、Hidelberg Ion Therapy Facility (HIT)、ヒットと呼ぶ施設で、2009年11月2日に開所式が行われました。11月中に、第1号の患者照射を行うと聞いております。これが今まさに動き出そうとしている新治療施設で、施設訪問の様子については後述します。同型の施設は、マールブルグ、キール、上海でも建設予定です。
- イタリアの計画：イタリアの国家プロジェクトで、CNAO（クナオ）と呼ぶ計画があり、パヴィア市において建設が進んでおります。この施設で使うビーム種としては、炭素線と陽子線が予定されていますが、2010年の最初の患者は陽子線で照射を行うと発表しています。この施設は、ヨーロッパのCERN研究所の技術を用いた独自の強い施設ですが、入射器について言えば、HITと同じくドイツの重イオン科学研究所（GSI）にて開発した入射器を導入しています。
- オーストリアの計画：MedAustron計画はオーストリアの国家プロジェクト的計画であり、技術はCNAOと同様に、CERNの加速器技術をかなり導入し、その設計デザインをベースにして、最終的な仕様決定を2009年に行って、2014年に治療開始が予定されています。
- 中国の計画：中国蘭州に世界で4番目に重粒子線治療を始めた中国科学院近代物理研究所（IMP）があります。100MeV/uの低いエネルギーで100人程の治療を実施し、200MeV/u以上の高いエネルギーの治療も2009年3月に始まりました。ここでは、予備実験を進め、将来的には病院設置型の施設を作る計画があります。詳しいパラメータは未定です。
- 韓国の計画：Korea Institute of Radiological and Medical Sciences (KIRMS) 韓国原子力医科学院が進め

^{*6} Particle therapy facilities in a planning stage or under construction: <http://ptcog.web.psi.ch/newptcentres.html>

ている計画です。韓国原子力医科学院はソウルにありますが、施設は釜山に作るという計画です。来年、韓国政府からの予算が認められる見通しと聞いています。これは2015年治療開始予定と聞いています。

- 米国の計画：メイヨークリニックに計画があります。開始年については、現在未定です。しかし、アメリカ国内でこのような動きが出てきたということは、重粒子線の発展にとって非常に好ましいと、筆者は見ております。
- フランスの計画：フランスにはETOILEセンター構想があり、ローヌ-アルプス地方の3大学病院と2公立がんセンターからなる公立の共同構成体で、フランスで重粒子線治療を実施するための推進母体となっています。2010年末にはETOILEセンターの建設を開始、2013年末から2014年始めの間にはセンターで最初の患者治療を行う計画となっています。
- 群大計画：群馬大学の計画では建設自体が順調と聞いております。8月中旬に加速器のビーム調整を始め、9月初めには、すでに治療室にビームが届いたということです。今後、治療室において、色々な治療照射のためのコミッショニングが行われて行く予定です。ビームを通し始めてから一か月も経たないうちに、照射室にビームが通って、必要な強度が得られたというコミッショニングのスピードは、筆者としても今までに記憶のない順調な仕上がりという印象がいたします。来年3月には治療を開始できる状況になると思います。
- 佐賀計画：佐賀の計画は県と民間との協働事業として進みつつあります。プランとしては2012年あるいは2013年に治療を開始しようとしているところです。

各地域ごとの重粒子線の計画動向として、まず日本の各地で建設が検討されてはいますが、未着手のところが多いということが言えます。

ドイツはシーメンス主導で建設が進んでいますが、筆者から見た印象としては、GSIの寄与が薄くなっていくので、今後どのような形で実際に治療をして行くかがちょっと見えてこない印象があります。

他のヨーロッパ、イタリア、フランスは独自志向が強い印象が伺えます。

アジアについては、購入による調達をかなり考えているところがあります。中国の、蘭州は独自開発をまだ模索している様子もありますが、韓国では全

部を独自開発するというよりは、かなりの部分の調達を検討しているようです。

また、アメリカにつきましては、もう独自開発ということはほとんど聞かれませんが、購入による調達をどこも計画、検討しているようです。

● 陽子線治療施設計画

陽子線の計画は沢山あります。今回の会議で、新しく治療を開始し仲間に加った発表が沢山ありました。ミュンヘンとオクラホマが新たに治療開始し、2009年の3月及び2009年7月に治療開始となりました。今、建設中のもので、2009年から2011年にかけて、10を超える計画が進んでいます。

3. ハイデルベルグ大重粒子線治療施設訪問

会議期間中、ハイデルベルグの装置について施設見学ツアーが催されました。以下、概要と特徴を説明します。

ヨーロッパ初の重粒子線治療専用施設で、日本以外で初めての重粒子線治療専用施設となります。目的としては、炭素線と陽子線及びその他重粒子線の併用施設であるということですが、筆者は、普及について言えば、これがネックになるのではないかと判断しています。もし炭素線と陽子線を両方治療に使いたいのであれば、炭素線専用と陽子線専用を二個並べて作ったほうが、効率的で安いと筆者は常々思っております。

特徴としてはGSI開発のラスタースキャンニングによる照射法を導入しております。ただし、この照射法を使うときの呼吸同期はまだ完成していないということです。もう一つの特徴は、世界初の重粒子線用のガントリーを一基装備していることです。ガントリーの駆動部分以外の磁石はGSIによって先行してR&Dで開発され、それを回転する土台に載せたということです。ただし、マールブルグ以降、キール、上海ともこのガントリーは導入しないということを決めておりますので、今の時点で、世界初であって世界一個のガントリーになるという状況です。

加速器では、イオン源装置は独自開発ではなく、フランスのGANIL研究所によって開発が行われた電子サイクロトン共鳴型のイオン源を購入しています。今2基設置されていますが、3台目の追加が必要

とも言っています。理由としてイオン種を切り替えるときに時間がかかるからとのこと。マールブルグでは当初のハイデルベルグの設計通り2台ですが、キールでは、設計を書き換えて、最初から3台入れるそうです。線形加速器はGSIの研究開発によるもので、ダンフィジックが製作しました。ダンフィジックはシーメンスに買収されました。シンクロトロンにつきましては、GSIのデザインによるものでシーメンス製作です。

加速器に対しまして治療室というのは、シーメンス主体で作っている部分だと思えます。さすがに医療機器メーカーだけあって、洗練された治療室になっています。照射に関する装置形状はきわめて患者さんの目から見て好ましい感じになっていると思えますので、これらがきちんと動くことが今後重要かと思えます。

4. 会議運営、次回開催について

粒子線治療国際会議として重要な項目に運営委員会があります。運営委員会で重要な委員長の交代があり、辻井博彦氏から、フランスのキュリー研究所のアレ・マザール氏になりました。

出版小委員会では遮蔽に関する報告書を発刊する計画が出されています。また、教育小委員会報告としましては、教育セッションの開催状況を踏まえて、次回に向けた取り組みを検討しました。

第51回開催地について、選挙の結果、韓国国立がんセンターが会議場所に決まりました。開催地は高陽市の国際エキシビジョンセンターで、開催期間は2012年の春です。この韓国国立がんセンターでは、IBAの陽子線のサイクロトロンを導入し陽子線治療を行っています。

来年第49回の会議の主催機関は群馬大学と、教育セッションは放医研になっております。実行委員長は中野隆史重粒子線医科学研究センター長で、開催地は前橋と千葉の分散開催が行われます。開催期間としては5月17日から22日、最初の三日間が千葉で、後半の本会議三日間が前橋で行われます。

群馬大学では、重粒子線がん治療施設調整運転の最終段階にあり、来年3月には初治療が行われる予定です。その成功をぜひこの会議で報告したいと準備していることと思えます。

お知らせ

◆平成 22 年度文部科学省委託事業 「粒子線がん治療に係る人材育成プログラム」 からのお知らせ

人材育成プログラムでは平成 22 年度研修者を募集中です。詳細は、人材育成プログラムのサイト <http://pt-jinzai.com/> をご覧ください。

基礎研修では、研修者とともに同一の基礎講義を受講することができます。

- 1) 第 1 回粒子線がん治療入門セミナー
(受講料無料) < 5 月中旬頃募集開始予定 >
日時：平成 22 年 7 月 3 日 (土)
10:20 ~ 16:50 (10:00 開場)
会場：名古屋国際センター ホール
(<http://nic-nagoya.or.jp>)
名古屋駅から徒歩 7 分
(名古屋駅地下街「ユニモール」と直結)
名古屋市営地下鉄桜通線
「国際センター」駅下車すぐ
募集：先着 150 名
対象者：将来、粒子線治療施設で働く意欲のある方。粒子線治療に興味のある方。
- 2) 第 2 回基礎研修 (受講料無料)
< 5 月下旬募集開始予定 >
日時：平成 22 年 8 月 2 日 (月) ~ 6 日 (金)
場所：国立大学法人 大阪大学
银杏会館 (吹田キャンパス内)
- 3) 第 2 回粒子線がん治療入門セミナー
(受講料無料) < 10 月初旬募集開始予定 >
日時：平成 22 年 12 月初旬
場所：東京地区 (会場未定)

当財団のサイトをリニューアルしました。

「切らずに治す重粒子線治療」のコンテンツを当財団のサーバーに移動しました。
ぜひ当財団の URL にアクセスしてください。

「医用原子力だより」(PDF ファイル) は当財団のホームページでもご覧になれます。

<http://www.antm.or.jp>

※無断転載を禁じます。

「医用原子力だより」第 11 号は平成 22 年 10 月に発行の予定です

◆第 49 回粒子線治療世界大会 (PTCOG49) の開催のご案内

第 49 回粒子線治療世界会議 (PTCOG49) が群馬県と千葉県で下記日程にて開催されます。

この粒子線治療世界会議は、粒子線治療を推進している物理工学から医学生物学に渡る広い分野の研究者が集まって学術的に情報交換を行う国際会議で、プログラムは、生物学、物理学、臨床医学など粒子線治療に関連する全ての分野がカバーされています。

また、群馬大学では平成 19 年 2 月に重粒子線照射施設の建設が開始され、現在、建屋が完成し、重粒子線照射装置の搬入が終了しており、会期中には見学ツアーを行う予定です。

下記 HP で参加登録の受け付けを開始しました。

皆様のご参加をお待ち申し上げます。

○会期・場所

[教育ワークショップ]

2010 年 5 月 17 日 (月) ~ 5 月 19 日 (水)

ホテルザ・マンハッタン (千葉)

[学術会議] 2010 年 5 月 20 日 (木) ~ 5 月 22 日 (土)

グリーンドーム前橋 (群馬)

○HP

<http://heavy-ionshowa.gunma-u.ac.jp/~ptcog49/index.html>

第 49 回粒子線治療世界会議 (PTCOG49)

会長 中野 隆史

編集後記

暦で言えばすっかり「春」にもかかわらず、この寒さである。最近では春らしくない陽気が多く、季節が消えつつあるように感じられるが、季節とはうらはらに今年も神戸の方から、季節語にある「春告魚」と言われるイカナゴのクギ煮が届きました。

関西ではイカナゴが出始めると春を感じるようになるそうです。財団は、このたび新公益法人制度に対応するため、前段階である新法適合機関「評議員設置特例財団法人」に移行する予定です。今後、新役員体制で法人の自立性の向上、情報開示による透明性の向上を高め、新法人に移行していく予定です。

平尾 泰男

「医用原子力だより」 第 10 号

平成 22 年 5 月発行

編集・発行

(財) 医用原子力技術研究振興財団

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-8-16

電話 (03) 3504-3961 FAX (03) 3504-1390

E-mail : info@antm.or.jp

URL : <http://www.antm.or.jp>