

## 第2回 粒子線の線量－効果関係に関する国際ワークショップ

去る2月16日から18日の3日間、放医研 国際宇宙放射線医学研究センターの地下1階セミナー室で、第2回粒子線の線量－効果関係に関する国際ワークショップ (International workshop on dose-effect relationship of particle radiations) (WS2000) が開催された。

人間が宇宙環境で長期滞在できる期間を制限する因子として宇宙放射線被曝は重要である。地上高度400km前後における宇宙ステーションでの被曝は約1ミリシーベルト/日と推定されている。これは現在の日本での職業人被曝許容量 (50ミリシーベルト) のままでは50日以下しか滞在できないこととなる。さらに、将来火星へ有人飛行すれば、全行程2.5年で1シーベルト (銀河宇宙線のみ) の被曝が予想されている。長期間にわたる宇宙放射線被曝の影響を調べることをもとにして、人類の宇宙環境利用に対する適切なガイドラインを設定する努力が必要と思われる。宇宙における長期滞在ではペイロードに対する宇宙放射線の低線量被曝が問題になる。特にHZE重粒子は線エネルギー付与 (LET) が高いため、生物効果が強くまた遮蔽も困難である。また、微小重力もなんらかの変化があると考えられ、宇宙放射線自体に起因する影響を増強ないし軽減する可能性がある。従って、宇宙放射線に起因する細胞損傷についての理解を深めることが必要である。

一昨年7月に開催されたワークショップの目的は、宇宙居住空間での放射線に対するリスク評価の基礎となる生物学的基礎データの集積、宇宙線被曝における障害軽減化及び、宇宙医学研究の推進を行っていくための国際協力、国際討議であった。国際スペースステーション計画にあるように、今後多くの国がこの目的のために参画していくことが考えられる。それとともに、多くの国々の理解もまた、必要になる。

さらに第2回目のワークショップでは、何が宇宙放射線学の問題点となっているかについて活発な討議を呼び掛け、さらに踏み込んで国際共同研究の可能性を討議した。参加したメンバーは米国NASA、LBL、BNL、ドイツDLR、GSI、カナダ宇宙庁、ロシアIBMP、中国LIH、イタリア及び国際原子力機関、奈良県立医科大学、藤田保健衛生大学、京都大学、東北大学、通総研、理研、東京大学、宇宙開発事業団からのアクティブに活動している方々に集まって頂き盛大な感であった。また、ここで、中国からの宇宙放射線研究者の参加、また、特に国際原子力機関の参加は歴史史上初めてのことであり、新たな歴史が加えられたとも言ってよいだろう。具体的な国際協力研究の進め方について、一般的事項、物理学的問題点、生物学上問題点について討議した。予め、物理、生物のまとめ役としてそれぞれのRapporteurを物理では、ローレンスバークレー研究所のジャック・ミラー博士、生物ではブルックヘブン国立研究所のマルセロ・バスケス博士を選び、また総まとめ役には宇宙開

発事業団にて、長く国際関係を手掛けた長岡俊治博士にお願いし、素晴らしいまとめ役を演じていただいた。ここにあらためて感謝します。最後に、参加者全員のコンセンサスが得られ、非常に実りのあるワークショップとなった。

2007年の有人火星ミッションの決定時期までには、胸をはってそのための可否判断が出せるような、力強いデータ作りを目指し、がんばりたいと思います。



International Workshop on Dose-Effect Relationship of Particle Radiations, February 16-18, 2000

実行委員長（国際宇宙放射線医学研究センター 馬嶋 秀行）

## 分子画像医学研究を推進する画像診断棟が完成

高度診断機能研究ステーション 総合研究官 棚田 修二

画像診断棟が完成した。同棟の完成により画像診断装置が整備され、これまで培ってきた技術をさらに高度化する研究が推進されようとしている。そこで高度診断機能研究ステーションに棚田修二総合研究官をたずねて、画像診断研究の現状と今後の目標についてお話をうかがった。

「放医研で行う画像診断研究の大きな柱は2つあり、1つは重粒子線によるがん治療に関連するがんの診断。2つ目は脳科学研究で、アルツハイマー型痴呆、精神分裂病関連等です。当ステーションでは以前からポジトロン断層撮影（PET）主体で研究を進めてきました。その一番の特徴は、PET用の放射薬剤の研究開発に力をいれ、日本はもとより世界的にみてもトップレベルの優れた合成技術を開発していることです」。

例えば、アルツハイマー型痴呆では、神経受容体そのものの画像化ではなく、炭素-11で標識したMP4Aを開発し、ヒト脳内のアセチルコリン分解酵素活性の分布をPET画像として現すことに成功している。また、精神分裂病では炭素-11標識放射薬剤SCH23390を製造合成し、PET画像により正常者と比較検討している。

「脳の場合は、投与する薬剤の量をできるだけ少なくするために、比放射能（Specific Activity）の高い薬剤を使いたいわけです。今後は、こうした放射薬剤のより一層の高比放射能化を目標にしています。また、その製造合成に手作業の時間が多くなると、それだけ被ばくが多くなりますから自動合成システムにし、放射性医薬品メーカーの基準であるGMP（Good Manufacturing Practice）に沿ったかたちにします。これは研究所レベルでは放医研が初めてです。そのノウハウを日本国内に約30あるPET施設に広めていきたいと思っています」。

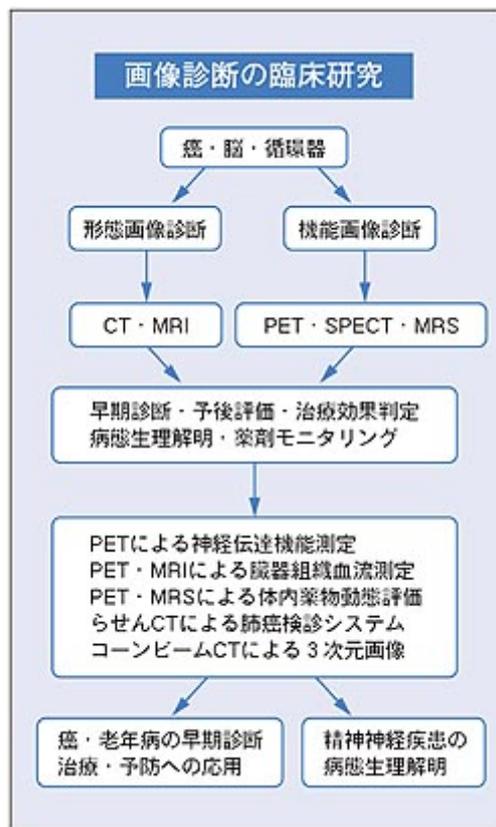
「しかし、PET用に開発された放射薬剤だけでは、その研究施設数が少ないわけですから十分普及させることはできません。そのためにSPECT（シングルフォトン断層撮影）用の放射薬剤を開発していきます。これはPETに対比される同じような核医学の検査法ですが、一般病院で行われていて1200施設ほどあります。ただ、装置も違えば、使うRIも異なり、PETの場合はポジトロンを出すRIですが、SPECTはガンマ線をだすRIを使います。最も使われているのがテクネチウム99mという金属元素のRIで、SPECT関連の検査では8割くらい使われています。次に多いのがヨード123で標識した放射性薬剤です。こうしたものに技術を移転しなければ一般病院では使えませんのでその開発も行い、臨床の場で役立つかたちにしたい」。

「また、昨年4月に発足した第4ユニットでは、主に核磁気共鳴（NMR）を使った研究を主体にしています。そして最終的な目標は、分子画像医学研究です。目に見える異常が人体に出る前に、その分子情報を画像として見ようというものです。そこに起こる何らかの変化・信号を核医学、NMR医学で捉えようとするものです」。

「平成12年度から2つの新研究が立ち上がりました。1つは、3次元PETの先に見ている新しいPET装置を開発しようというもので、次世代PETと名付けています。こうした装置は、感度を上げれば分解能が落ちる、分解能を上げれば感度が悪くなるものですが、この次世代PETでは現在の最高の分解能を保ったまま感度も上げようというものです。2つ目はコーンビームCTです。X線CTでは20cmの範囲を検査しようと思えば、厚さ1cmのCT画像では20回のスキャンが必要ですが、コーンビームCTでは1回ですむ。しかもその回転速度を1秒以下にしてスキャンしようというものです。例えば、肝臓の中に造影剤を入れて検査すると、時間の経過とともに造影剤の変化が立体的に見えるわけです。これを4次元CTと名付けています。こうした研究は5年計画で行いますので、5年後には成果が出せると思います」。

「以上のようなことが研究目標となりますが、放医研として特に力をいれたいと思っているのは脳科学と合わせて、老年病の診断です。昨年暮れにアルツハイマー病の新しい治療薬が日本で発売されましたが、MP4Aを使ってPETで検査しますと、この薬が効いているかどうか画像で見える。言ってみればまさに分子情報を見る形になると思うのです。特に脳の場合、客観的な指標として血液中の薬の濃度を測定するのですが、その血中濃度と効き目が必ずしも平行しないということがわかっている。血中濃度が半分になったら効き目も半分になるかというと、必ずしもそうではない。おなじように効いていることもある。ですから、脳の中に実際どれだけ薬があるかが見られれば一番いいわけです。そこで今最も期待されているのがこの薬剤であり、PETなのです」。

「そういう面で、今後、核医学の果たす役割が大きいのではないかと思います。早期治療のための情報をできるだけ早く提供し、放医研の果たすべき役割を早急に遂行したい。放医研が最も進んでいる領域では、放医研が核になって推進し、それを役立てる形で広めたい。そのための研究棟だと理解していただければと思います」。



## 日本女性科学者の会 出前理科実験教室 「もっと知りたい身近な放射能」開かれる

1月29日、やや暖かく感じられた土曜日の午後、日本女性科学者の会主催、科学技術振興事業団支援、放射線医学総合研究所協力による放射線教室が、放医研講堂で行われ、中・高校生、理科教師などを含め、総勢78名の一般人参加がありました。女性科学者の会会員による宇宙線や身の回りの放射線の話、青森県六ヶ所村読書愛好会のメンバーによるメッセージと活動紹介の後、霧箱模型による放射線を目で見る実験と「はかるくん」やサーベイメータを使った身近な自然放射線の測定などが行われ、どの参加者も最後まで熱心に取り組んでいました。実験に用いた霧箱は、教室終了後希望者に配布されました。

本会は従来、若者の理科離れを少しでもくい止めようと、「出前理科実験教室」を各所で開いていますが、放射線に特化した催しは初めてということでした。多数の参加者の来訪は、現在、一般の方々の放射線への関心が非常に高いことを示していますが、大学人を中心とした知的資産と、放医研の物的資産がうまくマージして有効利用された上、原子力立地県との交流が加わった、大変ユニークなPA活動になったといえましょう。放医研からあらかじめ案内を出した穴川町内会会員の参加もあり、放医研の積極的な放射線知識普及活動に対しても好感が寄せられました。



## 酸素分子シートビームの開発

### はじめに

HIMACシンクロトロンで加速される重イオンビームの二次元断面形状（プロファイル）を非破壊的にモニターするために、表記「酸素シートビーム発生装置」を、KEK田無分室グループ、理科大グループと放医研との三者共同で開発しています。

### 1. 分子ビーム源

基本的なアイデアは、「分子線の超音速ジェット噴射」と「スピン（磁気モーメント）を持つ中性分子（原子）は勾配磁場により偏向・収束させる事ができる」という性質を利用するものです。第一のアイデアはカントロビッツとグレイにより発明されたもので、高圧気体を細いスリットを通して真空中に噴出させると、断熱膨張によって速度の良くそろった低温（暴れの少ない）の超音速ジェット流を作ることが出来ます。この流れをさらに円錐形のスキマーで取り出してやると「超音速分子ビーム」となります。第二のアイデアの基本的な技術は、デュノワイエ（1911）、シュテルン&ゲルラッハ（1922）、ラビ（1931）等が分子構造を探る基礎技術として発案したものです。

### 2. 酸素分子を用いる

酸素分子を考えて見ます。通常酸素分子は電気的には（もちろん）中性ですがスピン1を持っており、勾配磁場中では+1、-1、0の三つの状態（量的には各々1/3）に相当する磁場モーメントを持つこととなります。よって、上記のように得られた酸素の超音速分子ビームは、適当な勾配磁場分布を持つ電磁石によって（例えば+1の状態に着目して）イオンビームを偏向・収束させる要領で、表記のように薄いシート（厚さ1mmで幅15cm程度）状に整形することが（原理的に）可能です。この際、-1の粒子は発散力を受けて広がってしまいますし、0の粒子も収束作用を受けずに（やはり）広がります。つまり、+1のスピンを持つ酸素分子だけを選択して、収束ビームとして取り出すことができます。このシートビームの開発では、概ね「超音速酸素分子ビーム源」と「収束電磁石の開発」及び「分子ビームの厚さ測定技術」の三つがポイントになっています。

### 3. モニターへの応用

得られたシートビームをシンクロトロンを周回している重イオンビームと交叉させてもシンクロトロンの高真空度（ $10^{-9}$  Torr）には影響を与えません。シンクロトロンへの応用としては、この点が真真空的に非常に重要です。この際、重イオンビームの断面上の（イオン密度の）濃淡に応じた電子・イオンペアが生成されます。この中、生成されたイオンを二次元検出器（MCP等）に投影させると、最初の断面上の濃淡（プロファイル）を精度良くかつ非破壊で（シンクロトロンのビーム加速に影響を与えること無しに）知ることが出来るようになります（参考図）。この技術

は、シンクロトロン加速の最適化に繋がるだけでなく、将来的には（加速中の）ビーム損失をギリギリまで押さえる必要のある「高エネルギーの大強度シンクロトロンの開発」にも欠かせないものとなるでしょう。また、分子線トラップや超低温分子をめぐる基礎物理研究用の有力な手段としての可能性もあります。

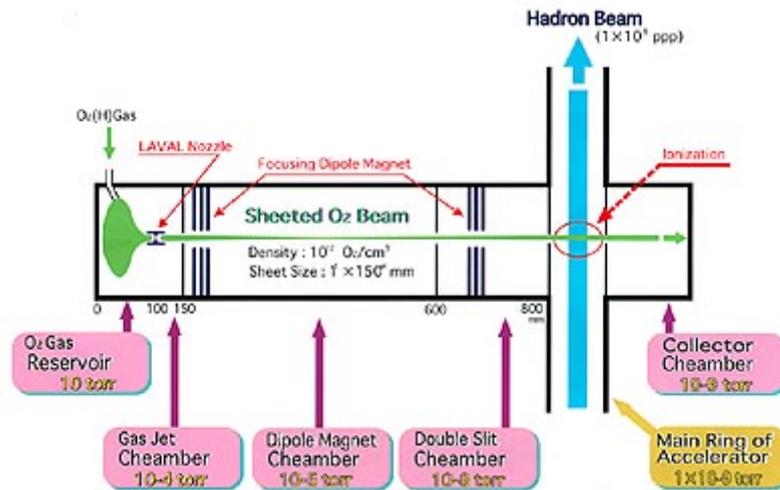


図 酸素シートビーム（緑色）がシンクロトロンの周回ビーム（青色）と交叉する。

(医用重粒子物理・工学研究部 佐藤 幸夫)

## 放射線シリーズ

### 放射線の利用（3）

#### 『がんの放射線治療』

X線は、発見された翌年にはがん治療に使われています。先人は、当初からその威力に注目していたと思われます。がん細胞を破壊する力は、一つ間違えば、正常細胞に対して障害を引き起こすことになりかねません。しかし、障害を起こすといわれる放射線がどうしてがんを治せるのでしょうか。今回は、がんの放射線治療について紹介します。

がんとは一体何者でしょうか。本来、人体の組織や臓器は、必要な大きさになれば細胞分裂が適切に制御されて、一定の大きさで成長が止まるように遺伝子情報が組み込まれています。ところが、長い年月にわたる慢性的な刺激により細胞の遺伝子が傷つくと、自制を失った特定の細胞が際限なく増殖し、がんを形成します。

このがんを治療するにはいくつかの方法があります。基本的にはがん細胞を人体から取り除くこととなりますが、まず第1に外科手術により、がん組織を直接取り除く方法と、放射線によりがん細胞を破壊する放射線治療があります。この二つの方法は、がんが体の一部に限局している場合に有効で局所療法といわれています。がんが局所から周辺に向かって浸潤し、さらに遠くまで転移しているような場合には、局所療法では不十分です。その場合は、抗がん剤などでがん細胞を叩く化学療法や、身体の免疫力を高め、がんの増殖を抑えようとする免疫療法などの全身療法に期待せざるをえません。

この中で放射線治療は、手術のように直接、臓器や組織を取り除くわけではなく、うまくいけば臓器の機能を温存できて身体に優しいがん治療法といわれています。そのため世界の先進国では、がん患者の50%以上が放射線治療を受けているといわれますが、日本では、放射線治療を受けるがん患者は20%に満たないといわれています。世界で唯一の戦争による原爆被災国民である日本人は、放射線の恐ろしさを身にしみて知っているからだと思います。しかし、がんの放射線治療を原爆と同じと考えるのは行き過ぎで、もう少し冷静に判断して上手に放射線とつきあう必要があります。それでは、なぜ放射線でがんを治せるのでしょうか。

一般に、同じ組織や臓器にあるがん細胞と正常細胞を比較すると、がん細胞は細胞分裂が盛んで際限なく増殖します。そこに同じ種類の放射線を同じ線量だけ一様に照射すると、正常細胞よりがん細胞に対する障害が強く現れます。例えば、大人と子供に対する放射線感受性を比較したとき、子供の放射線感受性が高いのと似ています。また、一般に、正常細胞の方が障害から回復する能力が高い性質があるため、一定の時間をあけて複数回に分けて適量の放射線を照射すると、効果的にがん細胞を殺すことができます。

しかし放射線治療も、理屈どおり単純に成功するとは限りません。当然、がん組織を破壊する前に、正常組織が障害を起こすような場合もあるからです。その大きな理由は、人体のさまざまな組織や臓器によってそれぞれ放射線に対する感受性が異なるからです。人体のいたるところに発生するがんは、つねに周囲の組織や臓器と絡み合っていますから、それ程簡単にがんだけを照射できるわけではありません。大切なことはがんだけを狙って放射線を照射し、正常組織には可能な限り照射しない工夫が必要です。

ある臓器のがんを放射線で治そうとするとき、そのがんを照射するときに透過する正常組織の放射線感受性が高く、がんを治すのに必要な線量をかけられずに治療できないこともあります。したがって、がんの所在を正確に突きとめ、周辺臓器との位置関係を正確に把握した上で、綿密な3次元治療計画を行って、正常組織への照射を極力低減させる工夫をします。そして、がん細胞を死滅させるのに十分な線量を照射できれば、治療の成功する確率は高くなります。

一般に行われている放射線治療には、密封小線源治療と、外照射治療があります。密封小線源治療は古くからラジウム ( $^{226}\text{Ra}$ ) の針を使って優れた成績を残してきましたが、最近では、イリジウム ( $^{192}\text{Ir}$ )、コバルト ( $^{60}\text{Co}$ )、金 ( $^{198}\text{Au}$ ) 等のRIが使われ、医療従事者の被ばくを少なくするために、遠隔操作で線源を組織内あるいは、腔内に挿入する照射治療が行われています。外照射による放射線治療は、コバルト治療といわれた時代もありましたが、最近の日本では、ライナックやマイクロトロンといわれる加速装置を使って、加速した電子で発生させたX線による治療に置き換わっています。また、これ等の治療装置では、一般に電子線による治療を行うことも可能で、がん病巣の場所により使い分けています。



ライナック（線形加速器）治療室

(研究総務官 河内 清光)

## 五十肩について

## 《五十肩とは？》

五十肩は「50歳前後に好発する事」、「夜間の痛みと運動制限」を特徴としています。原因ははっきり解明されていませんが、肩関節を構成する腱や滑液包などの軟部組織が老化で退行性変性を起こし、そこに外傷や過剰な使用、無理な体位、動作が加わり炎症が起きるのではないかと考えられています。全く肩が動かなくなるのを凍結肩と呼びます。

## 《放っておいても治る？》

治りません。

初期の痛みが激しいときに無理に動かすと、炎症が広がり返って痛みがまします。早期に整形外科で治療を受けることが大切です。初期は安静固定が原則で、消炎鎮痛剤、筋弛緩剤などの内服薬を使います。必要に応じて関節にステロイド、ヒアルロン酸ナトリウムなどを注射します。症状に合わせて温熱療法、冷電法も併用されます。

症状が長期持続する場合は、上記の治療の他に関節の拘縮を防ぐための体操療法、理学療法が必要となります。これも医師、理学療法士の指導のもとで行うことが早期回復に結びつきます。きちんとした治療を受ければ3カ月から6カ月、遅くとも1年以内には良くなります。

良く見られるケースは、五十肩は運動療法が第一と誤解して無理矢理動かし過ぎて症状を悪化させることです。気を付けましょう。



(健康管理室 海老原 幸子)