

## 年頭所感

## 新年おめでとうございます!

理事長 佐々木 康人



清々しい元旦に当たって、一年の計と決意を新たにされたこと  
と思います。今年皆様お一人お一人にとって平和で夢のある  
年となることを念じます。2001年はあっという間に過ぎ去った  
感があります。小学生殺傷事件、度重なる医療事故、同時多発  
テロとそれに続くアフガニスタンでの戦闘、肺炭疽の発生や狂  
牛病の日本上陸等々、暗いニュースが先ず思い浮かびます。ノ  
ーベル化学賞2年連続受賞、イチローの大リーグでの活躍といった快挙や皇室での  
内親王殿下お誕生の朗報など明るいニュースを数え上げてみても、先行きに暗雲を  
投げかける21世紀の幕開けとの思いをめぐいきれません。多発テロが文明の衝突を  
反映し、西欧中心のグローバリゼーションへの抵抗であったとすれば極めて21世紀  
的の事件といえます。1986年にイギリスで発見された狂牛病は、1996年変異型クロ  
イツフェルトヤコブ病の原因と考えられるに到り、ヒトの健康問題となり大きな不  
安を惹起しました。日本へ上陸が、かつてのイギリス/ヨーロッパにおける大恐慌の  
再来とならないことを祈ります。母牛の乳をヒトが利用する為に、子牛に人工乳と  
して骨肉粉を与えたことが事の始まりといわれています。人間中心の世界観を転換  
し、自然との共生を重視する必要性を示唆しているのでしょうか?放射線防護の世  
界でも環境保全が新たなテーマとして取り上げられ始めました。また、狂牛病の病  
原とされるプリオン蛋白の挙動、感染の仕組みには不明のことが多いといわれま  
す。ポストゲノムの蛋白質研究に密接に関連した、生命の根源に関わる21世紀的問  
題といえます。

景気の低迷は続き、平成14年度の放医研予算にも緊縮財政が厳しく反映されると予  
想されます。とはいえ、平成13年度第2次補正予算で建築、改修計画が加速されま  
す。生物研究棟の新築、内ばく研究棟、晩発研究棟の改修等の計画を前倒して進め  
ることになります。迅速な対応が必要ですので新年早々多忙を極めますが、嬉しい  
悲鳴の類といえます。

放医研創立(昭和32年7月)以来空前の変革であった、独立行政法人化(独法化)を経  
験して9ヶ月が経ちました。様々な困難を乗り越えつつ、大過なく円滑に移行出来  
ました。所員と文部科学省担当部局他所外の関係者の多大のご尽力、ご支援の賜物  
と感謝致します。中期計画で初年度に整備を約束している重要事項、個人評価体制  
の確立と技術職の創設についてもワーキンググループで精力的に検討して頂き最終  
段階にあります。初体験である企業会計基準に即った決算も含め、本年初頭は大車  
輪で業務を遂行しなければなりません。皆様のご支援・ご協力をお願い致します。

次第に明らかになりつつある独法の利点を最大限に生かして、様々な問題点を克服して果敢に研究所の運営に取り組みます。現在進行中の国立大学の法人化、特殊法人の改革の動きを見ると、先陣をきって独法化して良かったと思います。今年も一歩先んずることモットーに役職員が一丸となって頑張ります。

放医研の画像医学グループを外部から支援して下さる新潟大学中田力教授は、最新の一般向け著書「脳の方程式 いち・たす・いち」(紀伊国屋書店、東京2001年)の中で、脳の形は「熱対流(heat convection)の法則」に従って自己形成されたと論じています。物理学(前半)と生命科学(後半)の時代20世紀と脳科学(前半?)の時代21世紀を繋ぐ時宜を得た名著だと思いました。

核医学のパイオニアの一人ヘンリー・ワグナー教授は、一般向け著書「放射線との共生」(佐々木康人監訳、館野円訳、ユリシス出版部、東京1993年)の中で、核医学が国際平和に貢献すると主張しています。ポジトロン断層撮影(Positron Emission Tomography:PET)は心の化学を探索する手段であり、PETで見る脳内化学反応を人間の行動と関連づけることができます。その結果戦争の原動力である闘争欲や狂暴性をコントロールできるようになるということです。“Peace through Mind/Brain Science”と題する国際会議は浜松フォトニクス晝馬輝夫社長がワグナー教授に共鳴して創設されました。第9回国際会議が平成14年1月30日～2月1日に浜松市で開催されます。

脳科学の急速な進歩により人の心を明るくする手段が見つかることを祈ります。人々の心の動きに左右されるという経済市場がデフレスパイラルを回避し、両び好景気の訪れることを夢見て新春のご挨拶と致します。

---

## レドックス制御研究グループの中川秀彦さんが受賞



昨年11月30日より5日間、シドニーで行われたSFRR Australasia and SFRR Japan Joint Meeting(オーストラリア地域フリーラジカル学会・日本フリーラジカル学会合同会議)において、ポスター形式の研究発表のうち優れた発表に対して贈られる「Poster Presentation Award」を放医研・レドックス制御研究グループの中川秀彦主任研究員が受賞、SFRR Japanより授与された。

今回が第1回となる本会議は、国際会議でありながら地域同士の研究者の交流が強く意識されたユニークな会議で、『このような会議で賞を頂くことができ大変光栄に感じます。』と、中川さんは喜びを語った。

## 研究部紹介

## 放医研の幅広い研究を支える — 研究基盤部



研究基盤部は、研究所の基盤となる技術の維持・提供・開発に関すること及び共同施設・設備の管理・運営等に関することを実施するために平成13年4月の独立行政法人化に伴う組織の再編により新たに構成された組織です。当部は、技術支援・開発室、情報システム開発室及び実験動物開発・管理室の3室からなる組織であり、各室の主要業務は以下の通りです。

研究基盤部部長 湯川 雅枝

### ■ 技術支援・開発室

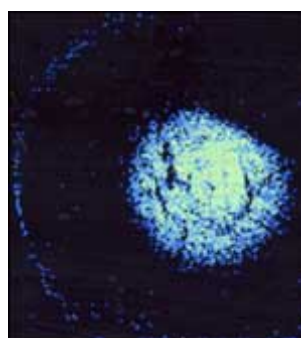
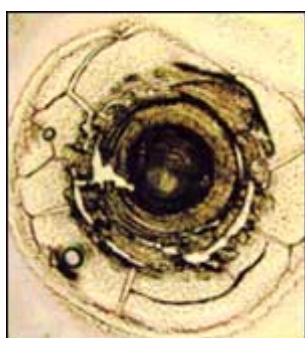
技術支援・開発室は、共同実験施設の企画・調整等、放射線発生装置の維持・管理・運用に関すること及び関連設備に関する技術支援・技術開発等に関することを業務としています。

#### (1) 共同実験施設

施設・設備の効率的使用を目的として、複数の部・グループで共用するために設置されたヒューマンカウンタ、遠心機、各種顕微鏡・分析装置・測定装置などを運用・維持・管理しています。これらの設備は、RI棟、第1研究棟など重粒子医科学センターを除くほぼすべての施設に点在しています。また、共同実験設備の運用方法、整備計画の検討及び企画・調整も行っています。

#### (2) 放射線発生装置

静電型加速器、各種X線発生装置、 $\gamma$ 線源・中性子線源等の放射線照射装置の運用・維持・管理及び技術開発を行っています。このうち、静電型加速器には微量元素同時分析を行うためPIXE装置が設置されています。本装置は生体内の微量元素の量・分布等の高精度での解析に供しており、研究成果に多くの貢献をもたらしているところですが、更に研究の発展のための技術開発も進めています。また、外部の利用が行えるようにするため共用化に向けての検討も進めることにしています。



## 顕微鏡像(厚さ20 $\mu$ m) マイクロPIXEによるイオウ(S)の元素マップ メダカ眼球切片の顕微鏡像とそのPIXE画像

### ■情報システム開発室

情報システム開発室は、電子計算機ネットワーク・システムの維持・管理・運用及び利用の推進に関する事並びに電子計算機ネットワーク・システムの利用及び開発に関する事を業務としています。

#### (1)所内ネットワーク

放医研の所内ネットワークは、平成5年度に光ファイバによる通信(FDDI)を幹線として全所的規模で整備を行いました。その後、スイッチ化(100Mbps-1000Mbps)を主にスター型ネットワークへの改良を加えつつ現在に至っています。

現在の登録ユーザー数は1,525名、接続計算機は2,550台となっており、毎年 10%～20% 程度増加しています。

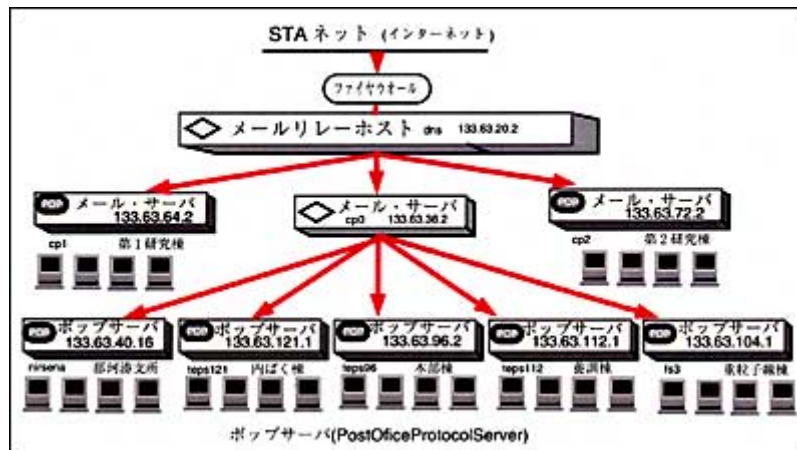
#### (2)計算機システム

計算機システムとしては、ファイルサーバ5台と計算サーバ6台を主体にし、かつウェブ、メール、FTP、ニュース、Samba、データベース等の専用サーバを加えて、ウェブ・FTPプロキシメールシステム、ウェブ・FTPプロキシシステム、WindowsクライアントのためのSambaシステム等が組みられています。

#### (3)計算科学の推進及びセキュリティ管理

負荷の高い処理をするため、『計算科学』を推進し、クラスタ型計算機の整備を進めてきました。現在は、合計22CPU+16CPUの『クラスタ構成』となって合計の理論性能30GFLOPS以上となり、整備当初の8倍程度の性能となっています。ここでは、DNAの放射線損傷のシミュレーションや、重粒子治療時の線量計算等が行われています。

また、ネットワークセキュリティに関しては、侵入検出装置、ファイヤウォール、ウイルスチェッカ等により、現在のところ、大きな被害は観測されていません。



STAネットワーク・システム(インターネット)

## ■ 実験動物開発・管理室

実験動物開発・管理室は、放医研の研究に必要な良質な実験動物の生産・維持・供給、実験動植物施設の維持・管理・運用等の業務を行っています。また、上記業務に関連して実験動物等の衛生管理及び疾病診断・衛生管理に関する研究開発とその応用、新種の遺伝子改変動物の創出及び実験動物に関する発生工学的技術の研究開発と応用等も実施しています。

### (1) マウスの維持・供給

清浄度が非常に高く遺伝的に均一なSPF・近交系マウスを衛生的な施設で維持・繁殖し、年間11系統・約15,000匹のマウスを研究者に供給しています。

### (2) 実験動物施設の管理・運営等

所内の実験動物施設(マウス、ラット、ウサギ、サル、イヌ、メダカ)において飼育器材の供給・管理を行い、効率的で衛生的な施設の管理運営を行っています。また、動物実験が、適正・円滑に推進するように相談・助言と技術支援を行っています。

### (3) 実験動物の開発・高品質化

発生工学技術を用いて遺伝子改変動物を作成したり、胚操作によって実験動物系統の維持・開発等を行っています。また、実験動物が感染症などの病気にかかっているか、衛生的な清浄度が保たれているかなどを調べるため、微生物学的・病理学的・分子生物学的方法による各種検査を行い、良質な実験動物が維持されるようにしています。さらに、無菌マウスを特殊な飼育装置で飼育繁殖させると共に外部機関から所内に導入される衛生的に不潔なマウスの清浄化を行っています。



SPF動物生産・実験棟(ビ  
ニールアイソレータによる  
無菌動物操作)



実験動物育種・繁殖室(マ  
イクロマニピュレーター操  
作)



実験動物診断棟(実験動物  
の衛生検査)



## 研究グループ

## 環境ラドンの動態から生物影響まで総合的に研究 — ラドン研究グループ —



ラドン研究グループは、独立行政法人放射線医学総合研究所放射線安全研究センターの基盤研究グループの1つとして平成13年4月に発足した。従前は複数の研究部に跨って実施されていたラドン研究が1組織にまとめられ、環境中での動態から生物影響までを総合的に捉えて実施することとなった。ここでは、研究グループとその研究の概要を紹介する。

放射線安全研究センター  
ラドン研究グループリーダー 山田 裕司

### ■ 研究の背景と目的

ラドン( $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$ )は、土壤中に含まれるウラン( $^{238}\text{U}$ )やトリウム( $^{232}\text{Th}$ )を起源としているため、地球上でヒトが生活するほとんどの空間に存在している。したがって、この空気を呼吸により体内に取り込んでいるヒトは、絶えずラドンによる被ばく問題と向かい合わされている。ラドンによる被ばく線量は1年間に世界平均で1.2mSv、医療被ばくを除く自然放射線被ばくのおよそ1/2を占めるといわれている。

ラドン吸入による生物影響としては、ウラン鉱山などその濃度が非常に高い場所での疫学調査で肺がんの過剰発生が、過去の研究により既に認められている。また、ラットを用いた動物実験においても高濃度では発がん影響が認められている。しかし、環境レベルでのラドン被ばく影響については未だ定かになっていない。逆に、プラスの効果があるとの意見もあったりする。このような議論は何もラドンに限るものではない。低線量・低線量率の放射線被ばくによる生物影響やリスクについては、今も議論の最中にある極めてホットなテーマでもある。

このような背景の中、本研究では、ラドンに特化し、その被ばく影響の解明を目指す。環境中のラドン動態調査研究や曝露による生物影響研究を通して、被ばく影響リスクを総合的に評価することを考えている。また、ラドン研究を通じて、高LET放射線の1つであるアルファ線による被ばく影響の機構解明にも貢献できればと考えている。

### ■ 研究体制・内容



環境ラドンの動態から生物影響、さらに線量・リスク評価までを実施するためには、放射線計測学、放射線生物学、保健物理学などの基本知識に加えて、ラドン被ばく問題特有の地球科学、エアロゾル科学、呼吸生理学、公衆衛生学、リスク解析学などの知識も要求される。現在の研究体制は、必ずしも万全ではなくかなりの偏りや層の薄さなど問題が多々あるが、下記に示す3つの切り口を研究課題として進めている。

### 1)各種環境における挙動と性状に関する研究

各種環境におけるラドン濃度レベルの実態把握・量的評価が中心であった従来の環境調査に加えて、本課題では被ばく線量評価に不可欠なラドン子孫核種の粒径情報や非付着成分比などの収集を重点に質的評価に努める。また、環境調査データが少ないトロンも調査対象に加え、計測・評価手法の開発も含めて積極的に調査研究を進める。調査フィールドは、国内に留まらず、海外にまでその範囲を拡げ、生物影響に関係する特徴あるデータを求める。

### 2)環境シミュレーション実験に関する研究

ラドンに起因する被ばくの中で、線量として寄与が大きいのは短寿命の子孫核種である。これらは空気中では浮遊微粒子として振る舞うことから、その性状・挙動を知ることは、被ばく線量を評価したり、被ばく低減のための防護策を講じる上で非常に重要である。このため人工的にラドン雰囲気制御できる場を利用して環境シミュレーション実験を行ったり、数値モデルを作成して数値計算シミュレーション実験を行ったりすることなどをこの課題では予定している。

### 3)生体への影響および線量・リスク評価に関する研究

環境ラドンによる被ばくはまさに低線量・低線量率の放射線被ばくである。本課題では生体に対するその被ばく影響を解明するため、細胞レベルでは培養細胞を用いた曝露実験、個体レベルでは疫学的な手法による発がん影響調査、あるいは、遺伝子レベルでのアルファ線照射影響の検索などを考えている。また、トロンについては、放射性半減期に起因する差異から線量評価上、ラドンとは同一に扱えない。濃度から線量に換算する方法について検討したい。

---

## ■ラドン実験施設・設備

平成12年8月にラドン実験棟(延べ床面積約300m<sup>2</sup>)が竣工し、その後、ホットラン運転に向けて実験設備の整備・試運転調整を行ってきた。平成13年11月に放射性同位元素の使用施設としての施設検査に合格し、現在、ラドンの発生源となるラジウム線源の作成を行っている。本実験施設の中心はラドン標準場と呼ぶ内容積が約25m<sup>3</sup>のウォークイン型のラドンチャンバである。ラドン濃度の他に、温度・湿度やエアロゾルなどの調整が可能なチャンバを利用すれば、実際の環境に近い雰囲気人工的に創出できる。このことから、様々な環境におけるラドン及びその子孫核種の性状・挙動の解明から各種ラドン測定器の応答特性を調べたり、さらには比較校正実験などを実施することを考えている。なお、施設建設の計画当初において

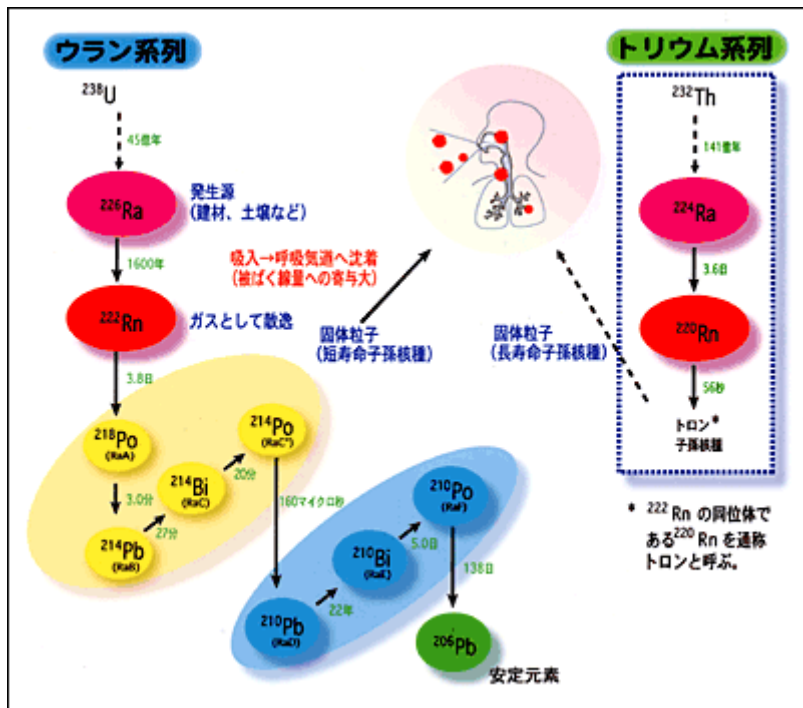
は、実験動物の曝露も可能な実験施設を目指していたが、予算および建築面積の関係上、規模を縮小せざるを得ず、当面は培養細胞を対象とした曝露実験から開始したいと考えている。



ラドン標準場とその付帯設備機器

■おわりに

環境ラドンによる被ばくの問題は、有史以前、否、地球上に生命が誕生した時点からの存在してきた問題である。一方で、低線量放射線の影響について特に活発な議論が続く今こそ、ラドン問題も絡めてその被ばく影響解明の好機である。しかし、本研究のような分野横断的なテーマについては、とても1研究グループだけで対応できるものではなく、放医研の内外からの応援が不可欠である。是非ともご支援・ご協力をお願いしたい。また、ここで紹介したラドン実験施設は可能な限り有効活用したいと考えている。比較校正実験や共同研究などの利用希望などに関して、ご意見・ご要望があればお寄せ下さい。



ラドン及びその子孫核種の崩壊図式とその役割

## 研究グループ

## レドックス制御の観点で生体の影響を研究

— レドックス制御研究グループ —



レドックス制御研究グループは、放医研の独立行政法人化に伴い発足した放射線安全研究センターのなかで、基盤研究グループの一つとしてこれまでの第一研究グループでの研究成果をふまえて新たに発足した組織です。本研究グループでは、放射線などによって生成する生体内ラジカルに関する研究、活性酸素や活性窒素などによる生体の障害やそれらに対する防御に関する研究をレドックス制御の観点から行っています。

放射線安全研究センター

レドックス制御研究グループリーダー 伊古田 暢夫

## ■レドックス制御とは

レドックスは酸化還元(reduction-oxidation、または oxidoreduction)を意味します。生体では放射線、紫外線、金属、有害物質などの外的要因や、低酸素状態(虚血)、炎症などの内的要因によるストレスに曝されると活性酸素・活性窒素・フリーラジカルが生成します。しかし、通常は生体内にある制御システムによってそれらが消去されるため恒常性が維持されています。酸化ストレスは生体内で発生する活性酸素や活性窒素の消去が不十分な時に生じます。活性酸素のなかで非常に反応性が高いヒドロキシルラジカル( $\cdot\text{OH}$ )は、放射線に被曝した時など生体内の水から直接生成すると考えられます。また呼吸により体内に入った酸素の一部(数%)は一電子還元を受けスーパーオキシド( $\text{O}_2^-$ )になり、さらにスーパーオキシドジスムターゼ(SOD)などにより、酸素と過酸化水素( $\text{H}_2\text{O}_2$ )になります。過酸化水素はカタラーゼやグルタチオンペルオキシダーゼにより水まで還元されます。しかし、過酸化水素が十分に消去しきれない場合には鉄や銅の働きによってヒドロキシルラジカル( $\cdot\text{OH}$ )が生成します。ヒドロキシルラジカルは過酸化水素に紫外線を照射することによっても生成します。このヒドロキシルラジカルの反応性は高く、例えば脂質を酸化してペルオキシラジカル( $\text{LOO}\cdot$ )を生成させ、過酸化脂質を増加させます。光増感反応により酸素から生じる一重項酸素( $^1\text{O}_2$ )も活性酸素の一種で皮膚や眼などで生成し、生体を損傷させます。また過酸化水素と塩素イオンからミエロペルオキシダーゼにより生成する次亜塩素酸イオン( $\text{OCl}^-$ )も活性酸素で、好中球などの食細胞で生成し、殺菌作用を示します。必須アミノ酸であるアルギニン(Arg)から一酸化窒素合成酵素(NOS)によって生成する一酸化窒素(NO)は、血圧調節や情報伝達などの生理作用を示します。しかし、一酸化窒素とスーパーオキシドから生成し生体に障害を与えるパーオキシナイトライト( $\text{ONOO}^-$ )などの活性窒素種が、放射線被曝

などによって増加すると考えられるため、酸化ストレス要因となっています。酸化ストレスの要因である活性酸素や活性窒素は、生体に障害を引き起こす作用と殺菌や情報伝達など生体に役立つ両方の作用を持っています。

活性酸素・活性窒素による生体成分の損傷は、DNAに対しては、塩基の酸化および鎖の切断、蛋白質に対しては、酸化やニトロ化による不活性化、脂質に対しては過酸化であり、これらが蓄積するとゲノム異常、発がんや老化などの種々の疾患が生じてきます。これに対して、レドックス制御とは生体の酸化還元状態を制御することによって様々な酸化ストレスから生体を守り、恒常性を維持することです。

---

## ■ 研究内容

本研究グループにおいては、4つのチームを組んで以下のような研究を行います。

(1)放射線障害のメカニズムを解明し、有効な放射線防護剤を開発するためには、放射線が生体に当たったときに最初に生成するラジカルについての研究が不可欠です。また、ラジカルは各種疾病の主要な原因物質の一つと考えられています。そこで、ラジカルを直接検出できるESR(電子スピン共鳴)法を生きたままの動物で使うための方法を開発しています。ここで開発された方法を中心として放射線照射による障害メカニズムをラジカル生成の面から明らかにするとともに放射線防御物質の生体評価を行います。

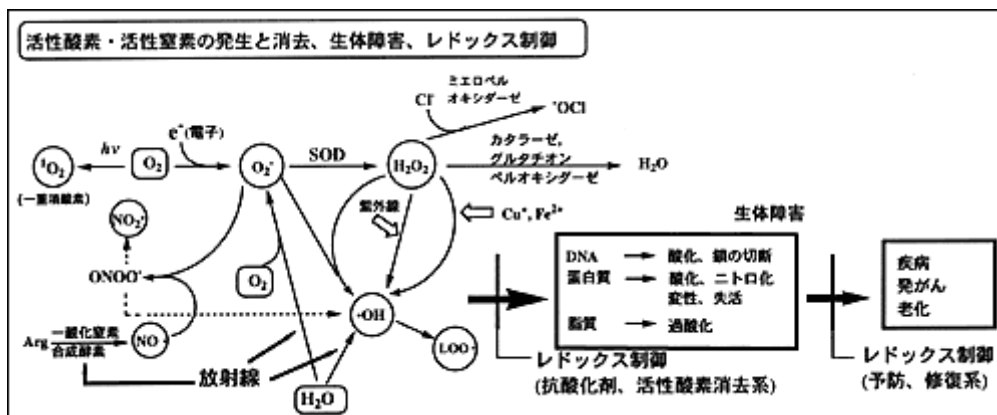
(2)放射線や活性酸素・活性窒素・フリーラジカルによる生体成分の障害を明らかにし、それらに対するレドックス制御化合物(抗酸化剤、活性酸素・活性窒素除去剤)を探索します。酸化ヌクレオシドやTBARS(過酸化脂質生成の指標)などの損傷マーカー、グルタチオンやビタミンEなどの抗酸化物質、SODなどの活性酸素除去酵素、酸化ストレスで誘導されるHO-1(ヘムオキシゲナーゼ)やNOSなどの定量、ならびにパーオキシナイトライトで処理したチトクロムcのレドックス機能変化やアポトーシスに及ぼす影響を調べます。またカルコン類やビタミン誘導体などの抗酸化剤を開発します。

(3)放射線・活性酸素により身体の細胞のDNAを維持する機能が不安定となり、発がんや老化を招くことが知られています。正常な細胞の中には多種多様な内在レトロウイルス類が含まれていますが、その中の一部は放射線障害によって活性化し、DNAの構造に異常を蓄積してDNAを維持する機構を不安定にすることが判ってきました。この内在レトロウイルスのライフサイクルの途中では、少量のウイルス型RNAのみならず、極微量のtRNA-cDNA複合逆転写物や中間cDNA等が一時的に現れます。これら中間体と呼ばれる極微量の物質の量を測定する新技術を開発します。その技術を利用して、人工の内在レトロウイルスを移した細胞や酸化還元状態を制御する能力を遺伝子操作により変化させた細胞を作製し、遺伝子の機能を解析することにより、放射線障害初期のレドックス状態の変化やDNAを不安定化する分子機構を明らかにします。

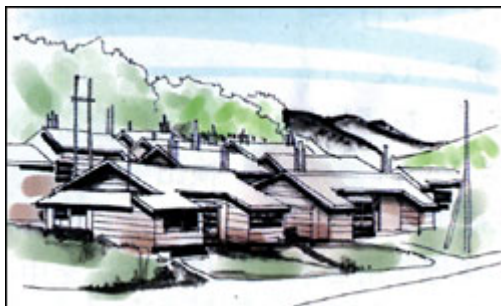
(4)原爆被曝者を対象とした疫学研究から、乳がんは白血病と同じ様に放射線に被曝すると発生しやすいことが知られています。乳腺の発達はホルモンの影響を強く受

け、特に妊娠中や授乳中の発達した乳腺は放射線感受性が非常に高く、これらの期間に被曝すると高い頻度でがんが発生する事が動物実験で証明されています。このメカニズムを明らかにするために、放射線被曝により生体内で発生する一酸化窒素を中心にして解析を行い、被曝による一酸化窒素の増加を抑制する化合物による放射線発がんの予防研究を行います。また、精巣も放射線感受の高い器官の一つで、その機能(例えば、精子形成)を正常に維持するには、ホルモン産生細胞、精子支持細胞や造精子細胞の細胞間相互作用が重要である事が知られています。これらの精巣内の細胞間情報伝達に対する放射線誘発一酸化窒素の影響を明らかにします。

以上のようにレドックス制御研究グループでは放射線などの酸化ストレスによる生体障害を、活性酸素・活性窒素・フリーラジカルの関与を通して、分子、細胞、組織及び個体レベルで明らかにし、それらに対するレドックス制御機構や防御物質に関する研究を行っており、早急に成果をあげるようグループ員一丸となって取り組んでいます。



## エッセイ ぱるす No.3 遠い日のこと



若い頃、私は内科医だった。インターンを終えて母校の内科医局に入り、先輩から軍隊まがいのトレーニングを受けていた昭和40年代初頭のことである。当時の北海道は医師不足で、若手の医局員には、地方の病院を支援するための半年間程度の出張が何度かまわってきた。

○…旧財閥系鉱山会社の炭鉱病院へ赴任した時のことである。第一日目の夜、私のために会社のお偉方が歓迎会を開いてくれた。当時はまだ炭鉱の景気が良く、接待に使う会社の倶楽部も豪勢で、和服姿の若い女性が三つ指をつけて迎えてくれた。良い所へ出張したものと喜んだものである。ところが、良かったのは最初だけで、次の日からは結構きついノルマが待っていた。病院に内科医は自分を入れて4人だけ、経験の乏しい私にも一人前の仕事が要求された。

○…毎日、午前は外来診療、午後は病棟の仕事とその合間をぬっての往診があった。病院の救急車に看護婦、運転手と三人で乗り、雪道を炭住とよばれる社員住宅へよく行った。雪でそこまで車が入らず途中から歩くことも珍しくはなかった。たどり着くと、苦しくて病院へ来られなかった筈の患者が麻雀をしながら、「寒気がするから注射を一本打ってくれ」などとのたまうこともあった。坑内に入る職員は三交代制で、昼間から集まって賭け事をしたり、酒を飲んだりしていても不思議には思われない世界であった。離れた別の場所には、白樺の木々に囲まれて、幹部職員のパワフルな社宅がゆったりと並んでいた。

○…病院当直の夜は、医師数が限られているせいで、内科医が外科的な仕事をもしなければならなかったことがあった。坑内では、時々小さな落盤事故が起こった。稀には、巻き込まれて坑内夫が亡くなることもあった。その時には、おまわりさんと二人で検死をした。粉塵で遺体が真っ黒なので、先ず水で体を洗ってから、外傷の有無を探らなければならなかった。その後には、会社の労務の人と一緒に、悲嘆にくれている遺族に報告をする辛い仕事が待っていた。

○…任期を終えて帰る時、餞別に石炭2トンもらった。病院のトラックで、私もろとも札幌まで運んでくれた。おおらかで、心あたたかな人々であった。

○…あの頃、それぞれの出張先で、いくつかの貴重な経験を積み重ねてもらった。

(重粒子医科学センター 村田 啓)



## 中性子生成二重分断面積の系統的測定

### ■はじめに

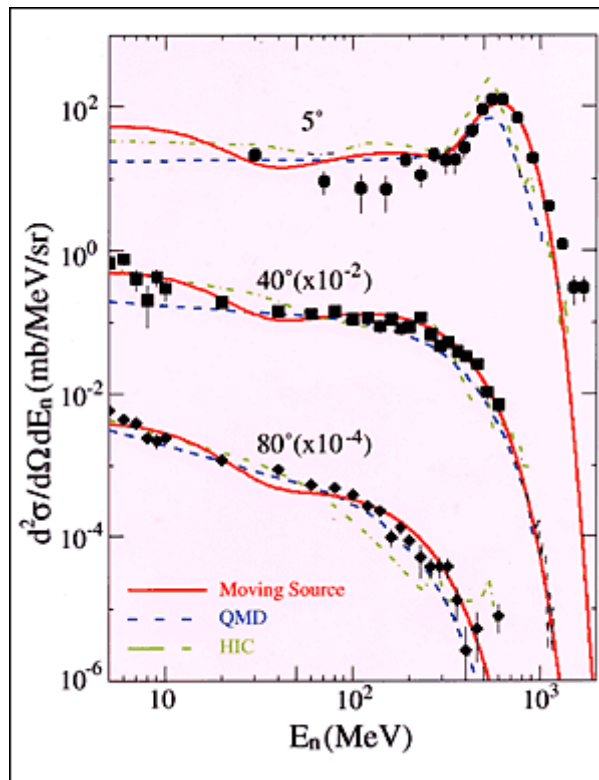
近年の大型重イオン加速器技術の発展に伴い、核子あたり数百MeVまで加速した高エネルギー重イオンビームや、入射核破碎反応により生成される不安定核ビームなどが得られるようになってきました。このような加速器施設は原子核物理学の研究分野のみならず、医学など数多くの研究分野にも利用されており今後、世界中で数多く建設が予定されています。また得られるビームは年々高エネルギー化、大強度化が進んでおり、放射線遮蔽設計が大変重要となります。遮蔽設計ではビームが止められたときに生成する二次粒子が重要となり、中でも透過力が大きい中性子は特に問題となります。そのため遮蔽設計では、中性子生成断面積の測定データが必要となります。しかしながら、放医研HIMACで得ることができる核子当たり数百MeVの重イオンビームを用いての系統的測定データはなく、これまで重イオン核反応モデル計算コードから得られる計算結果を基に設計が進められているのが現状でした。これら核反応モデル計算コードは不確定性を伴うため、実験的測定データが必要とされてきました。

我々は核子あたり290MeVから800MeVに加速された炭素からキセノンビームを薄い炭素、銅、鉛の標的に入射し生成される中性子の系統的測定を行ってきました〔1〕、得られた測定データはこれまで測られていない貴重なものです。

参考文献[1]:Y. Iwata et al, Phy. Rev. C 64, 054609 (2001).

### ■二重微分断面積

図は核子あたり600MeVに加速されたネオンを銅標的に入射した際に生成される中性子のエネルギー角度二重微分断面積です。ここで二重微分断面積とは、ある角度へ単位立体角及び単位エネルギーあたりに放出される中性子の生成確率に相当します。5度方向では入射核とほぼ同じ速度を持つエネルギー位置にピークが見られます。これは入射核内の中性子が標的と数回の衝突で飛び出してきたものと考えられます。また後方では比較的低いエネルギー領域に山が見られます。これは反応後の残留核から放出される蒸発中性子によるものと考えられています。これらスペクトルは半経験的なモデル(赤実線)により良く再現されることがわかります。この他、核反応モデル計算コード(QMD及びHIC)により得られた断面積と比較した結果、全ての入射核及びエネルギー、標的の組み合わせで測定データを再現できるコードはなく、今後これら計算コードは改善が必要であることがわかりました。



エネルギー角度二重微分断面積

## ■まとめ

得られた系統的測定データは高精度な計算コードの開発に利用され、また今後建設予定の加速器施設及び、スペースシャトルや宇宙ステーションの遮蔽設計においても大変重要な位置を占めることが期待されています。今後もさらに系統的データの収集を続けていくことを計画しております。

(加速器物理工学部 岩田佳之)

## SYMPOSIUM

## 「粒子線治療の基盤展開 -その普及化に向けて-」 第1回 重粒子医科学センターシンポジウム開催



昨年12月13・14日、放医研重粒子治療推進棟大会議室において、重粒子医科学センターのシンポジウムが開催された。同年4月より国立研究所から独立行政法人になり、内部の組織編成も変わった上で、重粒子医科学センターとしての最初のシンポジウムで、センター内での加速器物理学、医学物理学を中心とした実行委員会が生物研究

者、病院関係者の協力も得て企画したものである。

シンポジウムの趣旨は、当研究所で最大のプロジェクトとして臨床試験を過去7年間継続しつつあり、治療患者数が1000人を突破したHIMACにおける重粒子治療、その他日本の各地で展開しつつある陽子線治療、炭素線治療施設の現状を俯瞰し、特にその物理工学的側面を、検討することを目的とした。

プログラムは、7つのセッションに分かれ、13日は、(1)加速器の展開、(2)粒子線照射技術、(3)臨床への基礎研究1(物理、化学と生物)、(4)臨床への基礎研究2(治療生物)。14日は、(5)治療システムの構築、(6)二次ビームの利用、(7)各地の粒子線治療施設、と構成され、計32人のスピーカーによって講演が行われた。

各々のセッションではそれぞれ固有の現状および問題点が発表、議論された。例えば(1)では、今後治療施設を社会に普及させていくために必須の、加速器の小型化の技術開発、(2)では照射方法の高度化、(3)では粒子線治療に向けての物理化学生物の原理的追求の研究、(4)では現在治療に使われている現象論的腫瘍反応の問題点、また、個別の人間の放射線感受性の相違点を遺伝学的解析で明らかにしていこうというプロジェクトの計画などが、それぞれ真剣に議論された。(5)では現在、放医研で改良中の治療計画プログラムおよび位置決め技術に加えて、光子線治療における最近の著しい進歩であるIMRTや動態追跡治療の現状も発表された。(6)では放医研HIMACで建設が本格化してきた世界初の二次ビーム利用の現状、そして最後に、(7)で粒子線治療施設として稼働または建設中の柏、筑波、若狭、兵庫、静岡の計5カ所の進展報告が行われた。

発表を聞いて見ると、世界のトップを走っている我が国の粒子線治療の力強さを感じると共に、個別には非常に多くの問題、特に地方各施設は、制度的にぎりぎりの

綱渡りを強いられていることがよく解り、放医研としても、これから出来るだけの協力、努力を関係各位に働きかける必要があることが痛感された。

この期間中登録された参加者は、所内から73名、放医研外から130名、合わせて203名を数え、会場からややあふれる程に盛況であった。特に民間企業に属されている方々の参加者が60名を越えていて、現在各地に展開しつつある粒子線治療施設、また今後期待される新規施設建設計画への強い期待が感じられた。

実行委員長 曾我 文宣

## TOPICS

**「クリストフ・シュメルツァー賞」  
医学物理部の福村明史さんが受賞**

放医研重粒子医科学センター医学物理部の福村明史主任研究員が、平成13年11月26日にドイツでCristoph Schme1zer賞を受賞しました。

Cristoph Schme1zer博士(故人)は、ドイツの著名な物理学者で、重イオン線形加速器を開発し超重核合成の研究等に多大な貢献をした重イオン科学研究所(GSI)の創設者です。本賞は、博士の偉業を記念し、加速器の医学利用に関する分野において最も優れた学位論文研究を遂行した若手研究者に対して授与される国際的な賞です。

放射線の生体への影響を議論する際に、一般に基本的な尺度となるのは、吸収線量(被照射体の単位質量あたりに吸収されるエネルギー量、単位はGy)です。放医研HIMACで実施されている、世界初の高エネルギー炭素ビームを用いたがん治療においても、高い精度で吸収線量を評価することは最も重要な課題の一つです。

福村氏は、社会人大学院生として放医研での研究を基に「重粒子線がん治療における吸収線量評価に関する研究」(東北大学博士論文)をまとめました。この研究によって、治療用炭素ビームに対し実用的な絶対線量評価法が確立し、またその国際的な統一が図られたほか、シリコンダイオードや可視シンチレーション光の応用により、位置分解能の高い線量分布測定や迅速な飛程測定が可能となり、さらに線量分布計算などに必要となる核反応断面積等の貴重なデータも実験的に得られました。

こうした成果に対し、福村氏らは一昨年、日本医学物理学会奨励賞を受賞。さらに欧米の学術雑誌等でも取り上げられ、がん治療用カーボンビームに対する吸収線量評価法の確立により放射線医学や医学物理学の発展に大いに貢献したとして、このたび日本人としては初めてのCristoph Schme1zer賞受賞に至りました。

福村氏は、修士論文部門の受賞者であるドイツ人女性Konstanze Gunzertさんと共にフランクフルト郊外で開催された授賞セレモニーに招待され、ドイツの第一線の科学者や政府高官などの来賓を含む約200名の聴衆の前で受賞講演を行いました。ドイツ語による感謝の言葉で講演を締めくくると、会場より大きな拍手を受け、その様子は現地の新聞でも大きく取り上げられました。

福村氏はこの記事の取材の中で「今回の受賞は、博士論文の主査としてご指導いただいた東北大学の中村尚司先生をはじめ、数多くの放医研の関係者のお力添えの賜であり、放医研ニュースの誌上をお借りして改めて皆様に感謝申し上げたい。」とコメントしていました。



約200名の聴衆を前に受賞講演を行う福村主任研究員



## お知らせ

### 放医研一般講演会の開催案内

放医研の研究成果を広く一般の方々にご理解いただくために、一般講演会を来る2月27日に下記のとおり開催します。多くの方々の出席をお待ちしております。

日時 平成14年2月27日(水)13時より

場所 経団連会館・経団連ホール(14階)

日程 13:00～13:05 開会挨拶

13:05～13:15 理事長挨拶

13:15～13:20 座長挨拶

13:20～14:00 演題 「悪性骨軟部腫瘍に対する重粒子線治療」

— 切除不能例に対する挑戦 —

重粒子医科学センター病院 臨床検査室長 鎌田 正

14:00～14:40 演題 「放射線の爪痕」 — おこげとタバコと放射線

—

放射線安全研究センター低線量生体影響プロジェクト

ト

サブリーダー 島田 義也

14:40～15:00 コーヒーブレイク

15:00～16:00 特別講演

演題 「科学と技術のかかわり—日本の科学技術の実力—」

有馬 朗人先生(参議院議員、元東京大学総長)

16:00～16:40 演題 「我が国の緊急被ばく医療と放射線医学総合研究所」

緊急被ばく医療センター

緊急被ばく診療室長 明石 真言

16:40～16:45 閉会挨拶

# がん治療最前線

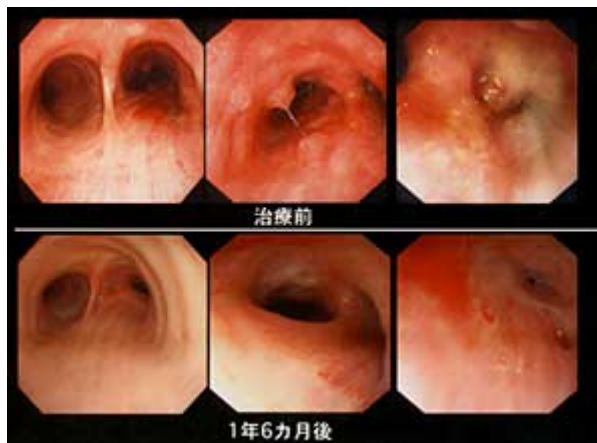
## 肺がん (2)

今回は肺癌について特に治療法に関するお話しをしました。このなかで、重粒子の利点は外科切除に匹敵する局所の治癒を期待できることと、治療による全身への侵襲が低いことであると述べました。高齢者や低肺機能(第1肺癌切除後の第2肺癌発生など)の患者さんは今後さらに増加してくると思われるので、これら手術のできない症例に対して、重粒子線治療は手術に替わる有効な治療法となるでしょう。それでは手術が可能な患者さんに対して、または I期以外の患者さんにとっても重粒子のほうが手術に優るといえることはあるのでしょうか？

局所を確実に切除することで治癒が期待できる末梢の I期肺癌であれば、手術も胸腔鏡で比較的簡単に行えます、手術は短時間ですみ、入院期間も1週間程度です。ただし痛みがまったくないというわけではありませんから、同じ効果が得られるなら手術は受けたくないとする患者さんもいるでしょう。また進行癌の場合、治療の時点ですでに癌が局所にとどまっていなくても多く、残念ながら外科療法だけでは治療成績は上がりません。切除と同じ程度の局所治癒が得られるのなら、手術より重粒子線治療のほうが体力を損なうことが少ない分よいかもかもしれません。

さらに積極的に重粒子の方が良い適応と考えられる場合もあります。その1つは局所進行癌のなかでもパネコースト肺癌に代表されるような局所に進展していくわりに転移がないタイプのもので、発生部位が肺尖部であるため、血管や神経を損傷せずに完全に切除することが困難ですが、重粒子であれば計画された範囲には確実に治療が行えます。このような、解剖学的に手の入れにくい部位に正確に治療を行える利点は、もともと放射線治療の長所のひとつですが、重粒子の強力な効果はむしろ外科的な発想での治療戦略をも可能にするでしょう。現在ロボットによる手術の研究が実用化に向けて行われていますが、外科医がメスの延長として重粒子線治療を考える時代も来るのではないかと思います。

もう1つは肺門といわれる気管支の中枢に発生した肺癌(ほとんどが扁平上皮癌)です。癌細胞の体積としては、それほど大きくないのですが、特に中央部の太い気管支の場合、手術には高度の技術が要求され、術後の急性期には危険性も高いものとなります。重粒子は呼吸機能ももちろん保たれますし、手術よりもはるかに低侵襲である、という長所があります。写真は右の主気管支に発生した扁平上皮癌ですが、病変の距離が長いので、手術なら右肺全摘と気管分岐部の形成術が必要です。重粒子線治療できれいに治っています。これらの症例はそれほど数が多くはありませんが、重粒子線治療のよい適応になると考え、臨床試験が行われております。将来、重粒子線治療が第一選択の治療となることを目指して研究を続けております。



主気管支に発生した扁平上皮癌の治療を行った症例

最後に診断について述べます。早期発見が重要なのはもちろんですが、質的診断がさらに重要となってきます。これは主に治療法の選択と、局所治療の場合には切除範囲(手術術式)、照射範囲の決定のためです。

治療法の決定には現在、画像診断が中心となっています。しかし臨床病期 I期の肺癌でも手術をしてみると25%近い症例で肺門や縦隔のリンパ節転移がみられます。また約5%にはすでに遠隔転移が存在しているといわれます。また病理病期 I期であっても2割以上の患者さんが5年以内に亡くなっています。このI期肺癌のなかでの予後の悪い集団を選別できれば、補助的な化学療法や免疫療法を追加することで治療成績を向上させるといった方法がとれるかもしれません。

このためには遺伝子診断が有用となります。生検材料の遺伝子情報から個々の癌の生物学的特質、すなわち浸潤やリンパ節転移、遠隔転移の程度が予測できればきめ細かい治療法の選択が可能となるでしょう。さらに薬剤や放射線に対する感受性の違いを遺伝子レベルで証明できれば治療法の選択にとどまらず遺伝子治療へも応用が期待できます。

病理組織学的な所見と臨床経過を照らし合わせて比較的予後の良い末梢の腺癌の存在が明らかになってきました。これを画像所見に戻って検討し、部分切除で治りうる肺癌がわかるようになってきています。さらに微小な浸潤範囲が決定できるようになれば、重粒子の治療にとっても大きな味方です。気管支の病変に対しても、気管支鏡だけでなく、気管支エコー、蛍光気管支鏡、拡大気管支鏡などの技術のおかげで診断精度は確実に上がると思われ、治療の成果に直結します。

以上、2回にわたってお話ししました。肺癌の治療成績はさらに向上するものと期待しています。

(重粒子医科学センター病院 山本 直敬)