

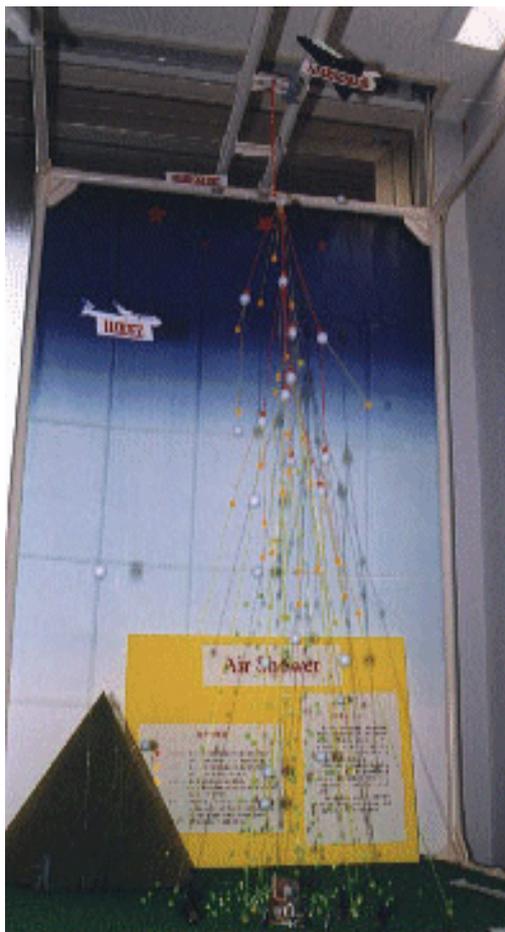


NO.33 (6月号)

視 点

国際宇宙放射線医学研究
センターの発足に当たって

国際宇宙放射線医学研究センターの発足に当たって



Air Shower。

宇宙線が大気中の窒素や酸素などの分子と衝突して発生する粒子のシャワーの模型。

人類が宇宙に進出する時代を迎えました。そもそも何のために宇宙へ行くのかという問い掛けに対しては、それが実利を生むからという模範回

答を用意することができますが、本当の理由は別かも知れません。人生数10年や半径5 m以内の幸せだけでなく、人類史の視点で将来を見るこ

とも大切だと思います。私が最も惹かれるのは宇宙と生命の進化ですが、

宇宙にはわからないことが沢山残っていて、それを知りたいと思うのは自

然です。またメカニズム探究は高級だが未開地探検は低級と思うのは全

くの誤解です。まずアメリカ大陸を発見しなければ、米国文明論は出番が

無かったのであり、探検や冒険を侮ってはならないと思います。宇宙利用

の前に宇宙探検でしょう。

スプートニク1号が軌道に乗ったのは、私が中学生になった時でした。

その直後の米国ヴァンガードロケットの無残な失敗、旧ソ連の破竹の宇宙進出等、新時代の開幕に強烈な印象を受けました。大学では宇宙空間を専攻して、最初はオーロラと地球磁場、次に電離層と大気潮汐を専門としましたが、ポスドクとして2年間過ごす内に大気圏、惑星進化へと

興味が移りました。その後放医研に入り、従前は別世界だった環境放射線モニタリングに参加して、地べたを這う土壌採取や機器測定など、とま

どうような作業が続きました。データ解析のために、それまで不熱心だっ

た地質、岩石、プレートテクトニクスもかじり、米国留学では宇宙線線量

計算に取り組み、その後5年間ラドン調査を担当してから第3研究グル

プの宇宙生物医学に移って、その延長上にこの新研究センターの仕事があります。

色々な分野を経験したことを私は良かったと思います。特に環境研究の場合は、即戦力になる特定技術に絞り込まないで、若いうちに周辺領域を散歩しておくことが後々のためになります。研究が大型化するとどうし

ても「狭く、深く」になってしまい、大型設備と心中する生活になりがちです

が、個人の領域を持つことも大切だと思います。

白状すれば私の弱点は、大学教養課程で分子生物ゼミに入っていた程度の生物知識しかなく、工学的な発想が弱く、実験の経験に乏しいこと、つまりギリシャ的な物思いに片寄ってきたことです。だからこそ実験家を切望する次第です。

今年度から発足した国際宇宙放射線医学研究センター (International Space Radiation Laboratory) は国際協力の事務機能を持ち、それをサポートする派遣職員や事務補助職員を採用しました。どうしても海外を相手にすると権利義務の関係を明確にし、協定や契約や条文に神経を使わなくてはなりません。いずれ弁護士を必要とする時代がくるでしょう。

研究者がそれを面倒がるのは当たり前ですが、独立法人化を控え、クールでスマートな形態を期待しています。また放医研直接雇用によるポスト

ク制度を創設しました。私自身がポストク経験者なので、同情を込めて期

待しています。共同実験に必要な国際支援要員も設置しましたが、ポスト

ク同様に重要な役割を果たすでしょう。研究センターには研究生まで含め

ると約70名が登録され、半数が常駐しています。これからよろしくお願

いし
ます。

(国際宇宙放射線医学研究センター 藤高 和信)

原子間力顕微鏡が拓くナノメートルスケールでのドシメトリ手法

重粒子線がん治療の評価の際、組織や器官といったマクロな系への影響評価につなげるために、細胞レベルで重粒子線の影響を研究することが重要となってきています。これを目的に従来から行なわれているマイク

ロドシメトリ手法は細胞に平均何個の粒子が平均いくらのLETで照射され

たかという情報をもとにして影響を評価するものであり、実験上統計的な

不確実性が存在します。

そこで我々は、重粒子線により細胞のどこにどれだけのエネルギーが付与されたかを、細胞よりも小さいスケールで計測する技術の開発を行なっています。このためにはナノメートルスケールで粒子の通過位置を測

定する手法が不可欠で、これには CR-39 固体飛跡検出器と原子間力顕微鏡を用いています。CR-39 は、重粒子線が通過した後にエッチング

処理を施すとエッチピットと呼ばれる穴が現出する検出器（特殊なプラスチック

板）であり、原子間力顕微鏡は、先端の曲率半径が数nmである探針で

サンプルの表面を走査し、サンプル表面の凹凸形状を1nm程度の分解能で画像化観察する顕微鏡です。（CR-39と原子間力顕微鏡による測定

手法の詳細は、放医研 News No.16, 1998年1月号、放射線 vol.24, No.2

(1998) 13-23、Nucl. Inst. and Meth. B142 (1998) 111-116、Nucl. Inst. and

Meth. B152 (1999) 349-356などを参照して下さい。)

図1は、6 MeV/nの炭素イオンを照射して、極短時間エッチングしたCR-

39検出器の表面を原子間力顕微鏡で観察したものです。3 μ m角に約

100個の炭素イオンの通過跡が個々のエッチピットとして画像化されており、

これは細胞の大きさ（10 μ m角）では、約1000個の照射がなされたものに

対応します。エッチピットの大きさは約50nmです。これが位置検出の分解

能に対応するので、位置検出の方法としても世界最高の分解能が得られ

ていることとなります。また、エッチピットの大きさがLET値に対応して

個々の粒子のLET（分解能は粒子のZやエネルギーに依存しますが、

HIMACから供給される重粒子線に対して大体1 keV/ μ m程度です。）

をも

算出することが可能です。この手法は、他の検出器で計数が困難になる

ような高強度ビーム条件下での計数、線量測定あるいはその検出器の

較正などに利用可能だと考えています。

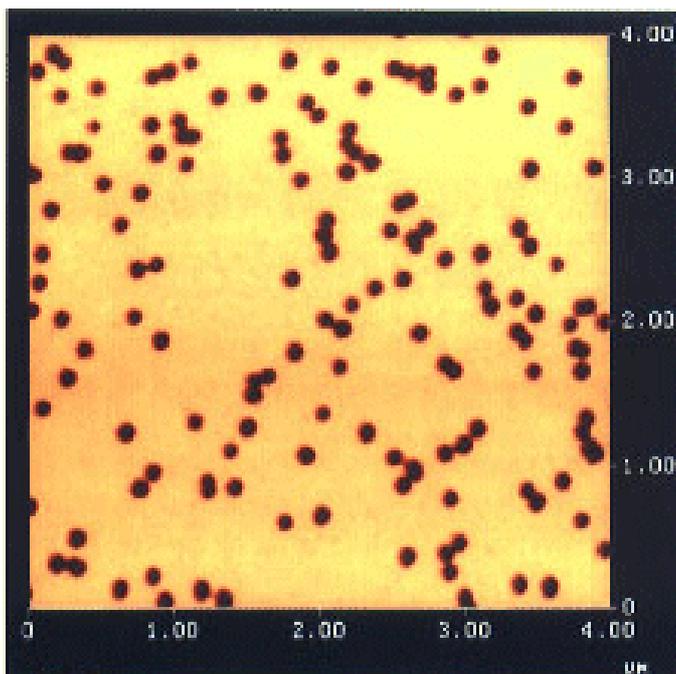


図1 6 MeV/n Cイオンを照射し、1分間エッチングしたCR-39のAFM像

図2は、フォトリソグラフィーの手法を用いてCR-39上にアルミのマークを

施してエッチング前後の位置合わせに使用し、CR-39上に固定した組織片

と照射後の粒子の通過位置を対応させた例です。この手法では、原理的に約100nm程度での位置合わせが可能ですが、現状では、細胞は細胞核

を染色するため光学顕微鏡で、エッチピットは原子間力顕微鏡で観察して

いますので、光学顕微鏡の分解能がその精度（1 μm 程度）を決定します。

（この画像は、東京大学 工学部 高橋浩之氏、雨宮邦招氏の協力により得られました。）

この手法を用いると細胞にLETがいくらの粒子が何個照射されたかを統計的な不確実性に寄らずに計測することが可能です。現在のところ、生物試料が「生きている」状態での測定には対応していませんが、同程度の分解能を有する電子顕微鏡による観察手法では、絶縁物質に対しては金属の蒸着などの表面処理を施し、真空中で測定しなければならず、

生存状態での観察は原理的に困難であるのに対し、原子間力顕微鏡手法は、表面処理も染色もしない試料を大気中や水溶液中で観察できるものです。この生存状態での観察ができるという優位な点を生かして生物試料が「生きている」状態での測定を検討しています。また、ナノメートル

の分解能を有するということから、DNAの画像化にも成功していますので、

さらに微細なレベル（ナノドシメトリ？）での放射線影響評価に発展させて

いくことを考えています。

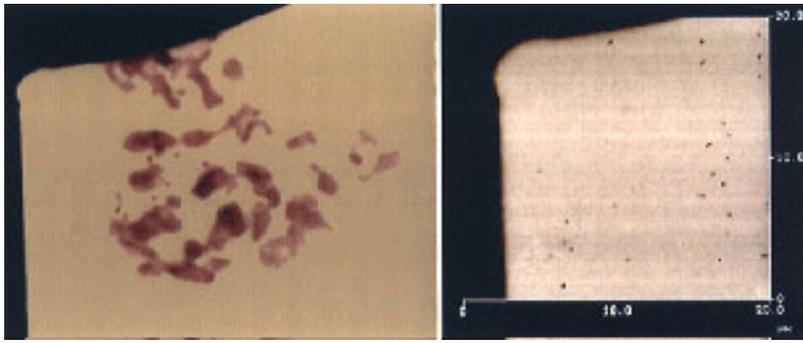


図2 細胞とアルミパターンの光学顕微鏡像（右）、パターンとエッチピットのAFM像（左）

（放射線科学研究部 山本幹男・科学技術特別研究員 安田仲宏・
技術補助員 蔵野美恵子・研究生 東京大学工学部 雨宮邦招）

HOT LINE

高度なネットワークの構築に向けて

放医研のコンピュータネットワークの構築は、昭和44年にはじまりました。

当時のシステムは大型のコンピュータをホストとして複数の端末を接続す

る集中型ネットワークであり、接続部所も限られ、共有データもわずかな

ものでした。

これが大きく変化したのは平成5年度に行った整備です。その特徴は外部ネットワークとの接続のために集中型から分散型ネットワークへ移行し、さらにネットワークの利用を促進するために原則として所内の全職

員をユーザーとして登録したことです。これによって今まで数十名だった

ユーザーが一挙に600名以上に増加しました。その後も年度ごとに放医研のネットワークは改良され、いまでは所内でのデータ処理だけでなく、

電子メールやホームページの閲覧にも対応できるようになりました。利用

実績も着実に伸び続け、現在OBなどを含めると放医研ネットのユーザー

数は1100名を超えています（表1参照）。

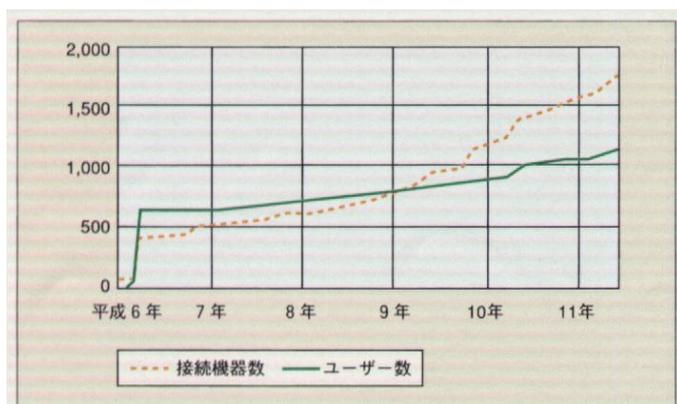


表1 NirsNet接続機器数及び登録ユーザー数の推移

しかし、一方では困った問題が起きてきました。それは利用者数、接続機器の増加、機器性能向上等により、ネットワークが飽和状態に達してしまっただけでなく、ネットワークの性能低下もまた起こりました。

そこでこれらの問題を解決し、さらに効率的なネットとするために平成9

年度から、サブネットのスイッチ化をはじめ、平成10年度にはデータ処理

用のコンピュータをクラスターにリングさせるネットワーク改良（各サブネット

のサーバを裏の高速ネットワークで接続）を行いました。改良後のネットワーク

では、それまでルータ超えが必要だったアクセスも、裏ネットを使って

高速アクセスが可能になっただけでなく、ユーザーの命令をその時点で

もっとも余力あるマシンに担当させたり、並列的に処理させることができます。

このサーバ専用高速ネットワークは高速のワークステーションにも繋がれ

ており、従来、半年ほどかかっていた処理が、クラスターリングにより1週

間に短縮することが可能になりました。

私たちはこのクラスターがお菓子のバームクーヘンに似ていることから

「バームクーヘン」の愛称で呼んでいます（図1参照）。あるいは「スーパー

コンの配置にも似ている」と思ってくださいの方もいらっしゃるかもしれませんが。

サーバ専用高速ネットワークを用いたクラスターリングは、性能の向上

ばかりでなく、保守の容易性、部分改良が可能などの特長をもち、陳腐化

しないシステムの維持が可能になりました。

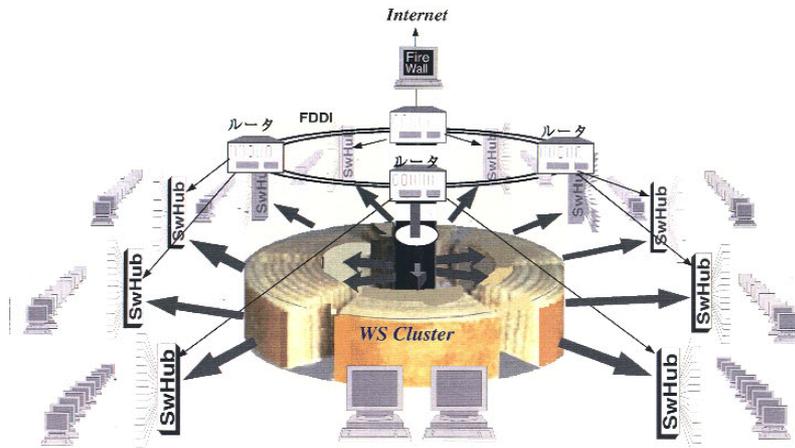


図1 各端末がコンピュータ群の周りを取り囲む「バームクーヘン型」ネットワーク。端末はルータを介さなくても、高速スイッチ（SwHub）で中央のコンピュータと結ぶことができる。

またインターネットアクセス（ワールドワイド・ウェブ、電子メール等）の利

用が活発になり、各パソコン端末が直接インターネットへアクセスすると、

利用が集中し応答が遅くなってしまいます。そこで各端末とインターネット

はプロキシ（代理）サーバを経て接続するように整備を行いました。これ

は同じデータの二重取得など無駄を省くために、所内の端末が一度取得

したデータはプロキシサーバが3日間保存し、その間に同じデータの請

求があればサーバから配布するようにしたものです。

同様に電子メールのやり取りも、データは一度メールリレーホストからメ

ール・サーバを経由して各端末につながるポップサーバに振り分けられ、

端末が受け取り可能な状態になった時にはじめて配送される仕組みになっています。現在、1日に流れるメールの数は多いときで8000通にも上る

のですからこうしたシステムは不可欠のものといえます。これらのプロキ

シーシステム、メールシステムもまた、サーバ専用高速ネットワークを用

いて、高速のデータ転送が可能となっています。

情報化推進室と医療情報室は、日々増大するデータ（現在の合計1.5テラバイト）の管理、合計2000台以上の機器の管理を行っており、現在の

スタッフでは、データやネットワーク管理で精一杯です。今後は、ネットワ

ーク担当、サーバ担当、研究・事務・医療アプリケーション整備開発担当

等に分業化して、スタッフを配置することが必要です。

これからのネットワーク改良においては、ネットワークを如何に高度に

利用するかを考え、こうした組織、体制の強化を積極的に進めて行くこと

が重要と考えています。（談）

（人材・研究基盤部 情報化推進室 本郷 昭三）

HIMAC news

リングイメージチェレンコフ検出器 (RICH)

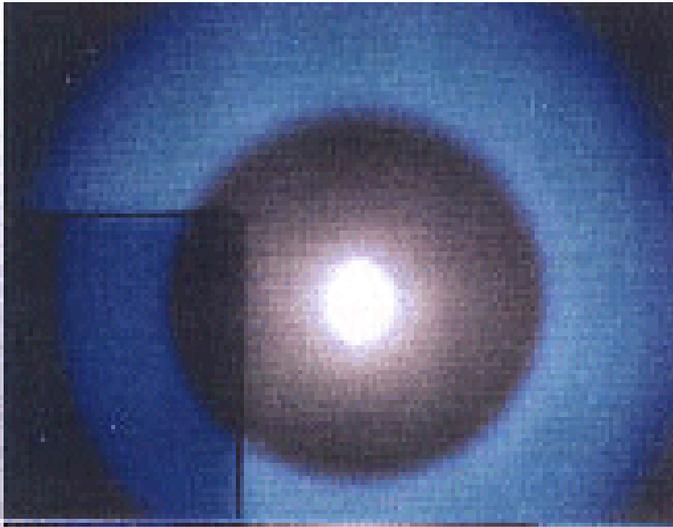


図1 重粒子入射時に放射されたチェレンコフ光のリング

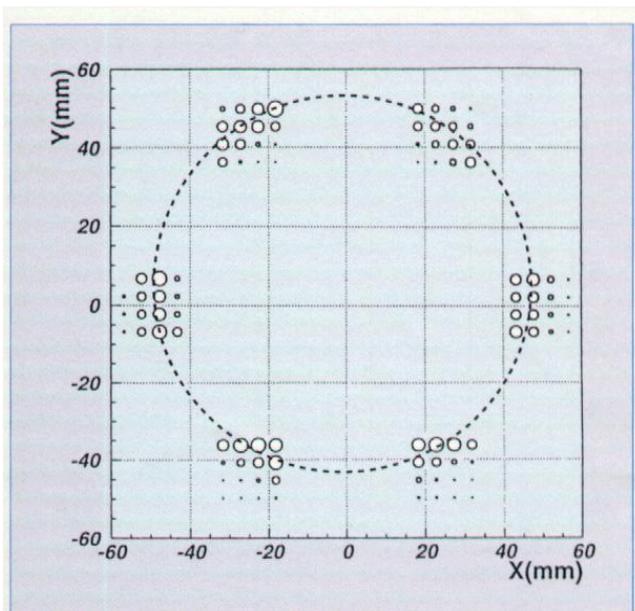


図2 光電子増倍管で検出されたチェレンコフ光の相対数

光の速さは一定で約 3×10^8 m/秒でありそれより速いものはないと習
つ

た人も多いと思うが、これは真空中の中でだけ成り立ち、物質中では光の
速度はその物質の屈折率で割った値になる。ところが、荷電粒子は物質

中に入射しても速度は変わらないので、HIMACのような加速器で高速に

加速された荷電粒子は物質中の光の速度を越えてしまう。この時、チェレンコフ光と呼ばれる非常に微弱な青い光が放射される。原子炉の冷却水が青く見えるのは、このチェレンコフ光による。このチェレンコフ光の放射

方向は物質の速度によって決まっているので、放射方向を測定すれば、物質の速度が精度良く決定できる。

HIMACで290MeV/核子に加速された 10^8 個程度の重粒子が合成石英に入射した時に放射されたチェレンコフ光をポラロイドフィルムを使って

らえた像を図1に示す。大きな青いリングがチェレンコフ光による像、中心の明るい円は重粒子ビームが直接ポラロイドフィルムを感光したもので

チェレンコフ光とは直接関係ない。左下の四角のかげは青い光だけを透過させる光学フィルターである。チェレンコフ光はビームの進行方向に対して一定の方向に放射されるので、このようにリング状にイメージを作る。

このリングの径を測れば、重粒子の速度がわかる。

ポラロイドフィルムで光を捉える代わりに、高速かつ高い効率で光を電気信号に変換する光電子増倍管を使用すると、一重粒子が発するチェレンコフ光を検出することができる。この光電子増倍管を多数用意すれば、

リング状のイメージも捉えることができ、すなわち、重粒子の速度がわかる。

このために16個のピクセル（4 mm \square ）を持つマルチアノード光電子増倍管

を6台用意して、96個のピクセルでチェレンコフ光リングを検出した。図2

は合成石英から10cm離れたマルチアノード光電子増倍管の各ピクセルの中心位置とそこで検出されたチェレンコフ光の相対的な数を示す。

400MeV/核子のエネルギーを持つ重粒子から約45度の方向に放射される。

一重粒子あたり30個程度の光子が検出されている。

この検出器によって、一重粒子の速度が精度良く決定でき、その粒子の電荷量がわかっているとして、エネルギーを0.5%程度の精度で決定できた。また、この検出器では、ビームライン上には非常に薄い(1mm)

の合成石英を置くだけでエネルギーを決定でき、ビームライン下流の照射物にほとんど影響を与えないことから、例えば、複合検出器の製作、あ

るいは、生物学的もしくは医学的な利用にも有効だと考えられる。我々は

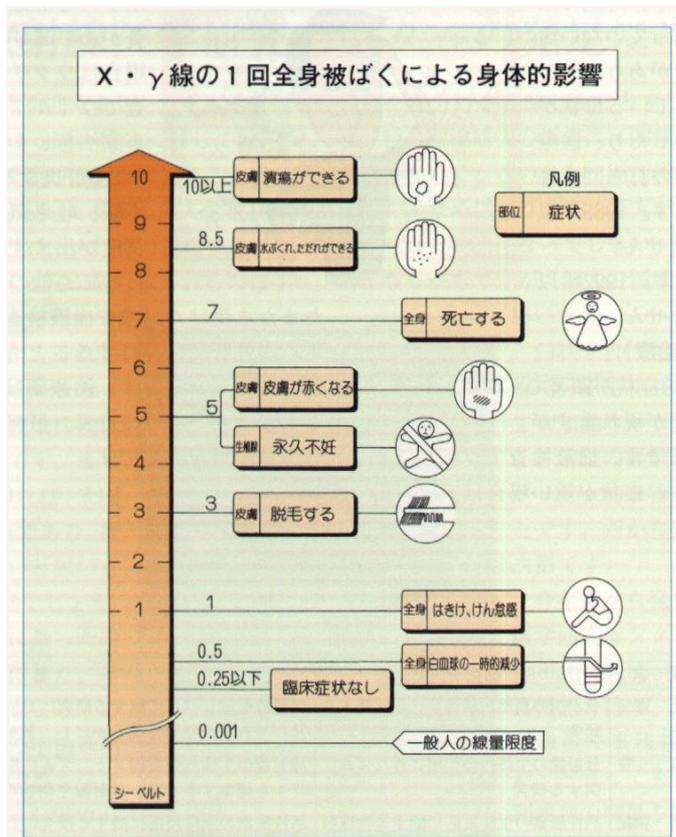
宇宙放射線の検出器としての利用を念頭に開発を進めている。

(国際宇宙放射線医学研究センター 内堀 幸夫)

●シリーズ：放射線とつきあうために…7



放射線の人体への影響（1）



このシリーズの最初にも述べたように、日本は世界で唯一の原爆被災国であり、放射線障害には強烈な印象が残っています。また、X線の発見以来、放射線やラジウムなどを利用する多くの研究者や医師等には、長期間にわたって過剰に被曝したことにより障害が発生しました。したがって、放射線の人体への影響を調べることは、放射線防護の観点からとても重要で、広島、長崎の原爆被災者の追跡調査や、動物実験による研究が積み重ねられております。

人体が高レベルの放射線を受けると、いろいろな影響（放射線障害）が現れ、この影響は、大きく身体的影響と遺伝的影響の二つに分けることができます。身体的影響は放射線を受けた本人だけに現れる影響であり、遺伝的影響とは放射線を受けた人の子孫に現れる影響のことです。

特殊な場合ですが、放射線を受けた胎児に現れる影響は、身体的影響になります。

■身体的影響

人が全身に高レベルの放射線を受けると、その線量の大きさによって影響の現れ方や、症状が異なります。50～250ミリシーベルトの被曝では、

血液中の白血球の一種で、特に放射線に対する感受性の高いリンパ球に染色体異常が見られますが、臨床上とくに問題となるような影響はみ

られません。1～10シーベルトの全身被曝になると、造血器官である骨

髄の損傷のために血液の生産が行われず、白血球の減少による細菌感染や、血小板の減少による出血などで数十日で生命が失われることとなります。十数シーベルト以上の全身被曝では、中枢神経の損傷により数分～数時間で生命が失われることとなります。

放射線と毛髪の抜ける脱毛の関係が取りざたされますが、皮膚が数グレイの線量を受けると脱毛の症状が現れます。3グレイ以下であれば一過性の脱毛ですが、それ以上の被曝になると永久脱毛の可能性がります。原爆の場合は、全身被曝であったり、放射性物質を含む灰が頭にかかって髪を洗うこともなく長時間にわたって、頭部の皮膚が被曝したことに

より脱毛が起こりました。

このように身体的影響にもいろいろな症状やレベルがありますが、白血球の減少のように数日から数週間以内に現れる早期の影響（急性効果）と、白血病を含む悪性腫瘍（がん）のように数年から十数年先に現れ

る影響（晩発効果）があります。後者は、放射線の被曝と症状の発現の間に長い年月が経過する上に、放射線以外の他の原因によっても、放

射線によるものと同じ症状が起こったり、また、相乗効果があったりして、

低線量の被曝でその因果関係をはっきりさせることは極めて難しい状況にあります。さらに、身体的影響の現れ方には、被曝した放射線の量が同じでも年齢、性別、個人によって差があり、特に、胎児や子供は大人に比べて放射線に対して感受性が高いと考えられています。

■ 遺伝的影響

生殖線が高レベルの放射線を受けると、生まれてくる子供に異常があったり、正常に生まれても後の世代に影響を及ぼすことがあります。この

遺伝的影響には、生殖細胞の遺伝子に変化して、元の性質と異なったものになる遺伝子突然変異によって起こる影響と、染色体そのものの切断や癒着、あるいは数が少なすぎたり多すぎたりする染色体異常による影響があります。概して、染色体異常の発現する頻度の方が高いので、その影響が大きいと思われます。このような遺伝子の突然変異や染色体の異常は自然にも起こっており、低レベルの放射線によって人工的に誘発されるものを識別することは非常に難しいとされています。しかし、高レ

ベルの放射線によって、突然変異や染色体異常の発生頻度は確かに増加します。

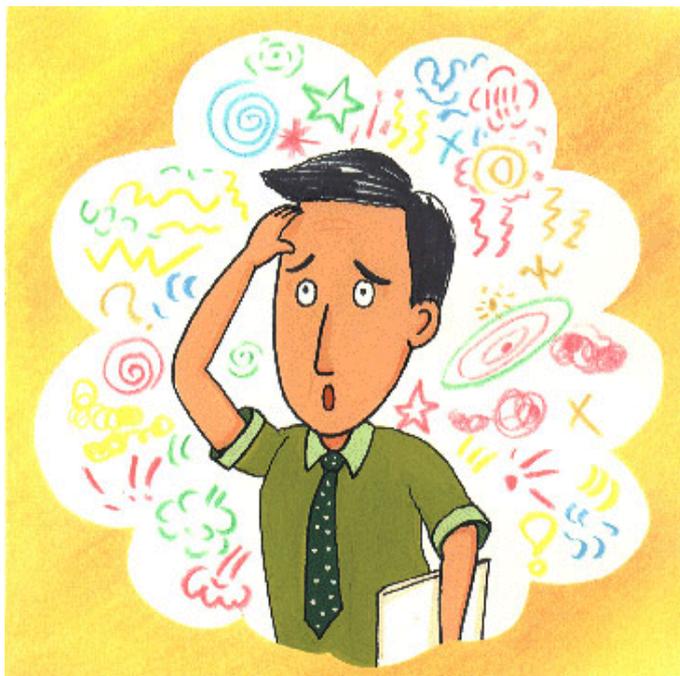
自然に起こる突然変異にもいろいろな種類があり、それぞれが、およそ10万分の1から1万分の1の確率で発生しています。

放射線による突然変異誘発の効果を表すのに、自然状態で1世代に生ずる突然変異の頻度を基準として、その頻度が倍になる線量を倍加線量と呼び、一つの目安にしています。現在のところ、倍加線量は0.5～2.5シーベルトと推測されています。

(研究総務官 河内 清光)

健康アドバイス

肝炎について



肝炎は自覚症状のない事が多く、成人病の盲点とも言われています。

急激に発症する場合がありますが、知らないうちに肝炎ウイルスに感染し、

長い潜伏期間を経て発症することもあります。肝臓は70%が障害を受け

ても自覚症状が出ないために感染に気づかず、人間ドックや定期検診で発見されることが多いです。

《肝炎の原因》

肝炎ウイルスによるものが肝炎全体の約75%を占め、残りはアルコ

ール過飲や薬のアレルギーによるものなどです。日本は欧米に比べて肝炎ウイルスの占める割合が多いのが特徴です。原因となる肝炎ウイルスはA型、B型、C型などがあります。A型ウイルスは経口感染します。外国で

生水を飲んだり、良く火の通っていない魚介類を食べて感染することがあ

ります。

B型はウイルスに感染している母親が出産するときに子供に感染したり、

医療従事者の針刺し事故、麻薬の打ち回し等血液を媒介にして感染します。1985年以降の輸血での感染はありません。

C型も血液媒介感染します。1992年以降の輸血での感染はありません。

《ウイルス性肝炎の症状と治療》

A型肝炎ウイルスは比較的症状が顕著で、黄疸、発熱、食欲不振、全身倦怠感などが現れますが、「重い風邪」と間違われることもしばしばです。

血液検査でウイルス感染を確認し、安静にします。症状が重い場合は入院も必要です。50歳代以降の人はほとんど抗体を持っていますが、それ

より若い人には抗体が無いので、不衛生な外国に行く時はあらかじめ病院で予防薬を注射すると良いでしょう。慢性化することはありません。

B型肝炎ウイルスは褐色尿、全身倦怠感、食欲不振が現れます。しかし、

感染しても無症状の「キャリア」になる場合があります。感染した可能性が

ある場合はワクチンを注射します。血液検査でウイルス感染を確認し、安

静と食事療法をします。

C型肝炎ウイルスは全身倦怠感、食欲不振、吐き気等が現れ、ひどくな

ると黄疸が出ます。しかし、症状が現れたとしても他の肝炎ウイルスより軽

く、たまたま受けた献血や血液検査で発見される事が多いです。慢性肝炎

に移行することもあるので発見されたら早期の治療が必要です。治療薬は

ありますが、予防薬やワクチンはまだありません。肝硬変、肝臓癌に移行

しやすいので注意が必要です。

(健康管理室 海老原 幸子)

科学技術庁 長官表彰受賞者

●業績表彰者

(1)所属／(2)氏名／(3)研究テーマ／(4)業績内容

●(1)人間環境研究部長／(2)藤元 憲三／(3)我が国の自然放射線レベル

に関する研究／(4)自然放射線レベルに関する研究において、大地ガンマ

線と屋内ラドンの関係及びそれらの特質を明らかにし、放射線防護研究の進展に貢献した。

●(1)国際宇宙放射線医学研究センター・第3ユニットリーダー／(2)山口

寛／(3)放射線の生体への作用メカニズムに関する研究／(4)放射線の生体への作用メカニズムに関する研究において、新たな作用機序モデルを提案するなど、放射線生物物理研究の進展に貢献した。

●(1)第1研究グループ・第2サブグループリーダー／(2)安西 和紀／(3)活

性酸素の生体反応に関する物理科学的手法を用いた研究／(4)活性酸素の生体反応に関する研究において、心筋細胞障害メカニズムの一つを明らかにするなど、放射線生物影響研究の進展に貢献した。

●(1)重粒子治療センター・高度診断機能研究ステーション 主任研究官／(2)村山 秀雄／(3)PET用検出器の開発及びPET画像の精度向上に関する研究／(4)高度診断機能研究において、陽電子放出断層撮影におけ

る検出器の開発及び画像の精度向上理論を確立し、放射線医学利用研究の進展に貢献した。

●(1)人材・研究基盤部・実験動植物開発管理室 生産係長／(2)早尾辰

雄／(3)実験小動物における生産技術の高度化の推進／(4)実験小動物における生産技術の高度化において、病原微生物汚染マウスの清浄化技術を確立するなど、動物実験による放射線生物医学研究の進展に貢献した。

●30年勤続精励表彰者

企画室 河合 徹、木村正子

管理部会計課 松本 登美子

技術安全部 門間静雄

放射線科学研究部 柴田貞夫

障害基盤研究部 小高武子

放射線障害医療部 川瀬淑子

重粒子治療センター管理課 橘 幸子

重粒子治療センター治療・診断部 森田新六

那珂湊放射生態学研究センター 黒澤勝治、石井紀明

●20年勤続精励表彰者

管理部会計課 黒澤正弘

人材・研究基盤部 松下 悟

内部被ばく・防護研究部 宮本勝宏、福津久美子、飯田治三

第1研究グループ 伊古田 暢夫

第4研究グループ 村松康行、内田滋夫

国際宇宙放射線医学研究センター 安藤興一

重粒子治療センター治療・診断部 北根 フサ子、山下曜子

高度診断機能研究ステーション 川上利彦

特別研究官 外山 比南子