

## 放医研のさらなる発展を祈りながら



もし機会があるのであれば今とは少し違った形での  
研究生生活を送りた

いとの願いが次第に強くなり、長い間お世話になった  
放医研を2月1日

付で退職いたしました。昭和38年春、大学卒業と同時  
の放医研入所以来

36年弱、最近の研究者のあり方からいえばやや異例と  
いえる放医研一筋

の生活をしてきたわけで、特別大きな感慨を覚えてい  
ます。私個人とし

ては環境科学分野の研究者として放医研生活を始め、  
放射毒性学という

生物医学の一分野の研究にも関連し、最後の3年弱を  
科学研究官・研究

総務官とし隆盛の臨床医学分野も対象とした研究運営  
に携わり、原子力

留学や国際機関での勤務なども含めて種々の貴重な経  
験をすることがで

きたことを大変に喜んでいますが。ただし、これはあく  
までも現在の心

境、思い返せばそれぞれの時点で研究上の問題に思い  
悩んだり、研究所

運営にかかわった日々においては研究職の時とは違っ  
た仕事に戸惑った

り、経験が多様であったことも事実です。それでもこれまでどうにかや

ってこられたのは、よき先輩と所員の皆様のご支援によるものと深く感

謝しております。

研究総務官として務めた期間は数年前に実施された所内の機構改革を

定着させ、目的である研究活性化にそれを活かすことを意識しました。

研究評価にかかわる仕組み作りは、またそれを用いての外部研究者によ

る研究評価ならびに所内での研究レビューは、その意識の上で行ったつ

もりです。せっかくの新しい組織も、そこでの研究も、さらなる改革の

努力を怠ると容易に新鮮さを失うように思います。科学や研究のあり方

が複雑となっている今日、客観的な研究評価に基づいて進歩のための正

しい改革がなされるとの認識が必要であり、そのため従来になかった部

分で若干の緊張感を持って研究が進められることは重要な意味を持つと

考えられます。だからといって、研究者の主体性と自律性の重要性は少

しも変わらないこと、どちらかといえば以前にも増して強く求められて

いることはいまさら強調する必要もないと思います。

放医研の研究について言えば、放射線と放射性核種による環境科学、

生物医学、医学利用の3部門においてそれぞれ相当の成果をあげてきた

ことは、昨年までに行われたそれら3部門の外部評価によっても認めら

れました。とはいえ今後もこのままでよいかといえば問題があろうと考

えます。毎年のように目的課題が増大していく中で研究者の数は限られ

ています。3部門の有機的結びつきを強め、さらなる総合性が発揮され

る必要があります。部門間で率直な会話をすすめ、各部門が関心の対象

を少し広げ相互にカバーし合う努力をすることが必要だと思えます。時

の放医研のシンボルとなる事業を全体で応援し、長い目で見たとき結果

的に3部門がバランスのとれた形になっているよう、総合研究所として

のさらなる発展を心から願っております。そして、医学ということで安

全面に特段の配慮をしながら、無限の可能性を持つ研究の面白さを充分

に楽しんでいただきたいと思います。

(前研究総務

官 稲葉 次郎)

## 環状染色体を指標とした線量推定法

二動原体等の染色体型異常は電離放射線にほぼ特有の現象であり、そ

の線量効果関係からX線やγ線で0.02 - 8Gyの線量域で線量推定が可能

な指標と考えられている。骨髄障害に対する適切な治療法を持たなかつ

た時代は 5Gy以上の高線量は致死線量であり、事実上 8Gy以上の線量推

定を行う必要はなかった。しかしチェルノブイリ事故やその後の放射線

事故においては、5-10Gy以上の被ばく者も骨髄移植やサイトカイン療法

等により生存可能であることが立証された。こうした治療法の進歩によ

り8Gy以上の高線量域の推定が可能な方法が必要となってきた。そのよ

うな状況の下で我々は英国NRPBと共同で従来の染色体分析法の改良研究

を進め、20Gyまで線量推定ができる簡便法を開発することに成功した。

5 -10Gy以上の高線量を被ばくしたリンパ球は細胞分裂誘起剤で刺激

しても染色体が見える分裂中期にはいる前の時期でストップしてしま

い、コルセミド処理を行っても十分な数の分裂中期細胞を集積すること

ができない。最近Ser/Thrホスファターゼ阻害剤であるオカダ酸によ

り、核内でほぐれた状態にある染色体を強制的に凝縮させて、染色体着

色法で染色体異常を検出することにより、高線量域の推定が可能な方法

がGotohらにより発表された。この方法は高等技術を伴う分子生物学的

手法と高価なDNAプローブを必要とする。我々はGotohらの方法を改良

し、ギムザ染色した標本で環状染色体を検出する簡便な高線量域の線量

推定法を開発した。オカダ酸は高線量（～40Gy）照射されたリンパ球に

おいても染色体凝縮を誘発することができるが、この染色体凝縮像をギ

ムザ染色すると、動原体部位の同定が困難なため二動原体や断片の検出

は難しくなる。しかし凝縮された染色体が中期細胞の染色体に比べて細

いため、環状染色体（無動原体のものも含む）はより容易に検出できる

（図1）。環状染色体の出現頻度は二動原体よりずっと低いため高線量

になっても出現頻度が飽和せず、20Gyまでは線量の増加に伴って上昇す

る（図2）。この線量推定法は特殊な器材や技術を必要とせず、緊急時

には地域の病院等で簡便かつ迅速に行うことができるという特長を持

つ。

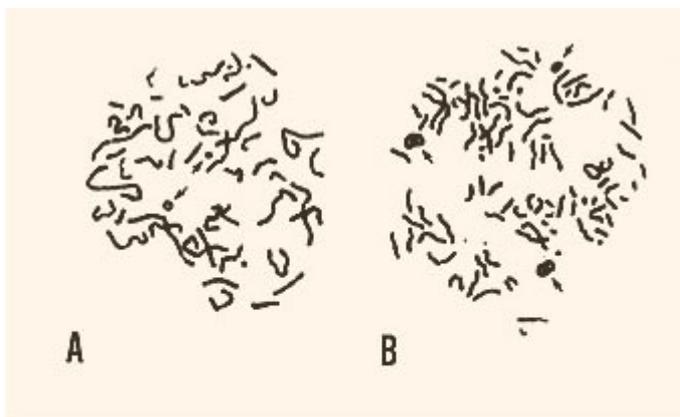


図1 オカダ酸で誘発されたリンパ球の染色体凝縮。AはG2/M期の細胞、BはM期後半の細胞。Aの細胞には2個の環状染色体、Bには3対の環状染色体が存在する(矢印)。

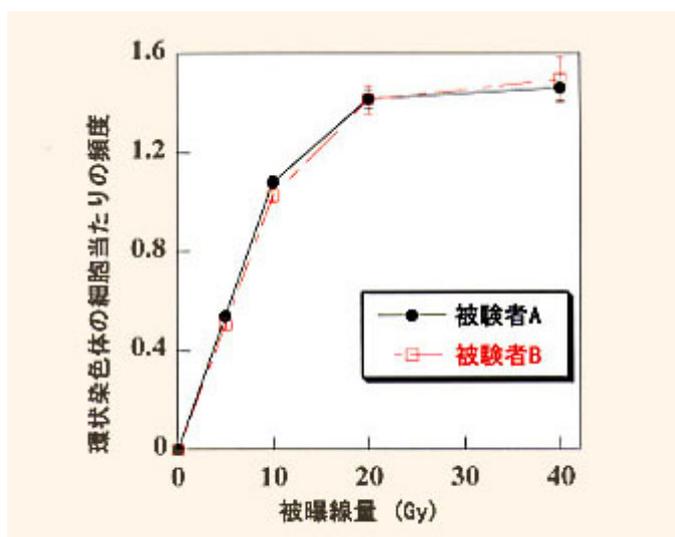


図2 環状染色体の線量効果関係

0.02Gy以下の線量域では環状染色体の線量効果関係は二動原体よりも

顕著であると報告されている。上記の線量推定法に自動分析技術等を導

入して膨大な数の細胞を分析することができるようになれば、0.02Gy以

下の低線量域での線量推定法が確立できると思われる。

(障害基盤研究部 神田

玲子、早田 勇)

## マルチトレーサーの開発と利用

重粒子線とは一般に電子より重い粒子を高速に加速し、高エネルギーをもた

せたものをいい、放医研ではがん治療に役立てています。このような高エネ

ギーの重イオンの核が通り道に置かれた物質（ターゲット）中の原子核と、確

率はわずかですが、衝突したり接触したりすると、その程度に応じて互いに壊

されて、図1に示すようにターゲットや重イオン核より小さい質量数をもつ、

多種類の原子核が作られます。これらは、多くの場合不安定な核、すなわち

放射性同位元素（RI）となります。

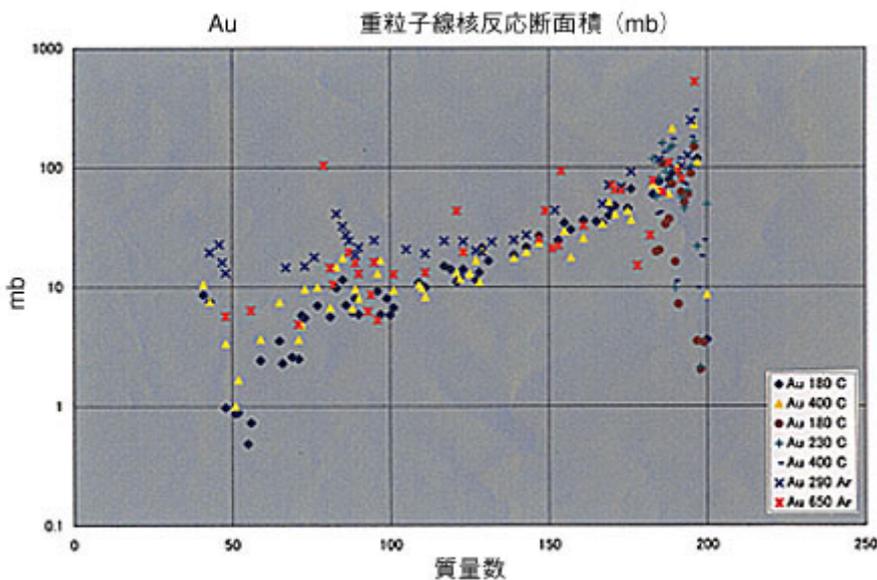


図1 HIMACの $^{12}\text{C}$ ビームで照射した $^{197}\text{Au}$ 中に生成する原子核の質量分布

RIは $\gamma$ 線などの放射線を放出する性質をもっていますが、その化学的性質は

同じ元素の安定同位体と同じです。放射線は高い感度で検出できるので、ある

元素の反応や移行を放射線をたよりに追跡（トレーサ）することができます。

マルチトレーサー法とは、多数の元素のRIを用いることにより、その物理的・

化学的挙動の同時追跡を可能にするトレーサー技術であり、理化学研究所では

重粒子線の上記のような反応で多種類の元素のRIが同時にできることに着目し

て、1991年から「マルチトレーサー」と名づけて多くの機関との共同研究に

よって開発してきました。

マルチトレーサーの製造は理化学研究所リングサイクロトロンを用いて行わ

れ、ターゲットとしては、金、銀、ゲルマニウムなどが標準的に用いられてい

ます。重イオン照射後、ターゲットを酸に溶かし、じゃまになるターゲット物

質を化学的に除去すれば、安定同位体をほとんど含まない、いわゆる無担体の

状態で、多数の元素のRIのみを含むマルチトレーサー溶液が得られます。図2

にこれまでに製造されたマルチトレーサーにその $\gamma$ 線放出体が含まれる元素を

示します。

H																				He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne			
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar			
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
Fr	Ra	**																		
*:ランタノイド		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
***:アクチノイド		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

図2 マルチトレーサーにガンマ線放出体が含まれる元素

マルチトレーサー法の特徴は、一回の実験で十数種から数十種類の元素につ

いて情報を得ることができる高い能率性です。同時に、これらの情報が完全に

同一の条件で得られることです。多数の元素の挙動を比較する場合、試料差、

個体差の大きい地球環境試料や生体については、同時に完全に同一の条件下で

多数の元素についてデータが得られることは、きわめて重要です。また、マル

チトレーサー法ではRIが無担体で得られるため、ヒ素や水銀のように毒性の高

い元素を正常な固体に投与して追跡しようとするとき、投与量が微量ですみ毒

性をほとんど無視することができるのです。そして、マルチトレーサーは多く

の元素について、情報が得られてしまうため、必ずしも意図していなかった元

素について予想もしなかった新しい事実が見つかる意外な発見の可能性、いわ

ゆるセレンディビティーをもっています。これは、目的に応じて個々に入手し

たRIのみを自分で混ぜたのではおこりえないことです。さらに、マルチトレー

サーは、シングルトレーサーとしても貴重な $^{28}\text{Mg}$ や $^{47}\text{Ca}$ などを含んでいま

す。

これまでに、マルチトレーサー法を用いて、各種元素について、新しい化学

分離法の開発、地球環境における挙動の研究（海洋における粘土や堆積物への

吸着反応、土壌中のフミン酸との錯形成反応、酸性雨の土壌に対する影響な

ど)、植物体（イネ、ダイズ、シダ、キノコなど）への取り込みや分布の研究

究、病態モデルを含むさまざまな動物におけるミネラルの動きに関する研究が

活発に行われています。

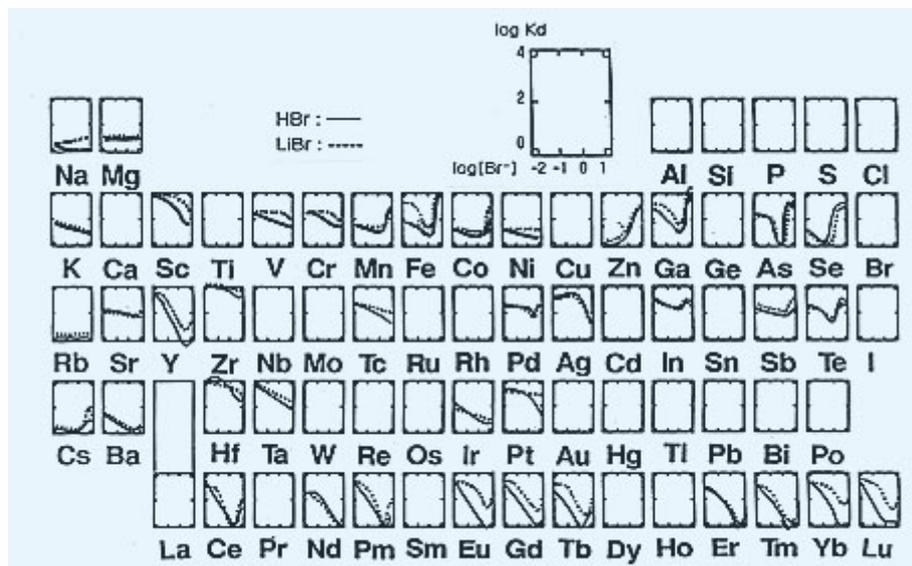


図3 元素の活性炭への吸着に対する臭化物イオン濃度依存性

例として図3に、マルチトレーサーを用いて行った各種元素の繊維状活性炭へ

の吸着に対する臭化物イオン濃度依存性の研究結果を示します。濃い臭化物イ

オン水中での、ヒ素やセレンの高い吸着性は、マルチトレーサーを用いたこと

ではじめて発見されたものです。

(放射線科学研究部 柴田 貞夫)

研究部 柴田 貞夫)

## 静電型ビーム位置モニタ

シンクロトロンでは、ビームを高いエネルギーにまで加速することが

できる。このためにビームがシンクロトロンリング中を何回も回れるよ

うにし、回転する毎に加速空洞を通過して、その都度ビームは加速され

る。何回もビームがリングを回ることによって高いエネルギーにまで加

速することができる。たとえばHIMACで最高エネルギーの800MeV/uま

で加速するためには、約1秒かかって80万回転させる必要がある。そし

てこのとき、ビームは地球2回半もの距離を走ることになる。その間ビ

ームはシンクロトロンの細い真空容器に沿って走る必要があり、それは

横方向で±10cm、縦方向で±2.5cmの空間である。この空間から一度

でも加速中にずれると、ビームは真空容器に当たり、無くなってしま

う。このようなことを防ぐために、加速中のビーム位置を測定し、必要

があればビーム軌道を補正する。従ってこのためのモニタは加速中ずっ

と使うため、ビームを何かの物質に当てて測定することはできない。つ

まりビームには何の影響も与えないで、ビーム位置を正確に測定する必

要がある。（厳密には量子力学の観測問題でのように、測定すれば原理

的に必ずビームに影響を与えてしまうのであるが、実際にはこの影響が

非常に小さいために無視できる様になっている。）このために静電型ビ

ーム位置モニタをHIMACシンクロトロンでは利用している。

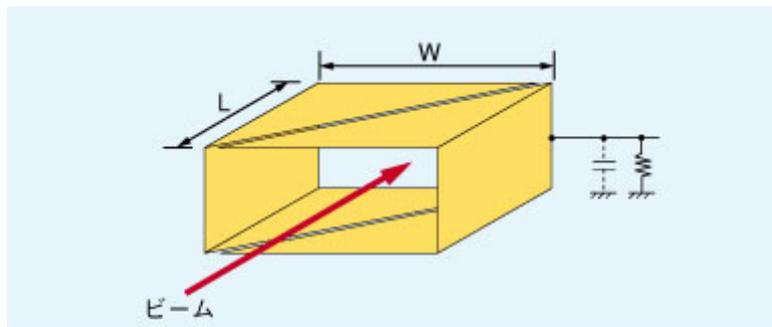


図1 水平方向のビーム位置を測定するためのモニタ電極の構造。上下部分が三角形にカットしているのは、ビーム位置のズレに比例した信号出力を得るため。

ビームは加速されながらシンクロトロンの真空容器の中を走るのだが、

このときビームと同じ電荷量で反対符号の電流が一緒に真空容器の内面

を流れている。この壁電流を作る誘導電荷を利用すれば、ビーム自体に

は影響を与えないで、その位置を測定することが可能になる。今、ビー

ムが真空容器の中心からズレたとすると、ビームが近寄った所の真空容

器の内面に強く誘導電荷が現れ、離れた方では小さくなる。つまりビー

ム位置を知りたければ、この電荷密度のアンバランスを測定すれば良い

わけである。後はいかに正確に測定するかである。このために真空容器

の内面に電極板を取り付け、真空容器内面との間に高抵抗を取り付けて

おく。そばをビームが通るとき誘導電荷がこの高抵抗を通して電極板に

流れ込むが、そのときに抵抗の両端に生じる電圧を測定することにより

誘導電荷の大きさを知ることができる。つまりこのような電極板を左右

に配置すれば、左右の信号のアンバランスからビーム位置ずれがわか

り、水平位置モニタとして利用できる。また、上下に電極を配置すれば

垂直位置モニタとなる。

HIMACシンクロトロンではこの型のモニタを利用して、加速中におけ

るビーム軌道のコントロール、及びリング一周のビーム軌道のズレの測

定に利用している。特に後者の測定値はビーム軌道のズレを補正するた

めに利用され、ビーム強度を最大にする場合には必要不可欠になってい

る。

このようなモニタを実際のシンクロトロンで利用する場合は大きな問

題が出てくる。それはシンクロトロンが大電力の装置からできていて

(たとえば加速空洞に発生する高周波電圧は最大5kVにもなる)、そこ

から発生するノイズも大きい。ところがこのような大電力の装置のすぐ

そばにビームモニタを置かざるを得ず、しかもモニタ信号は10 $\mu$ V程度

と非常に小さな信号を扱う必要がある。このように小さな信号を利用し

てビーム位置を測定するために、実際の利用ではノイズの混入を極力避

けるための工夫をしなければならない。

(医用重粒子物理・工学研究

部 金澤 光隆)

## ●シリーズ：放射線とつきあうために…5



## 地域によって異なる 自然放射線の線量

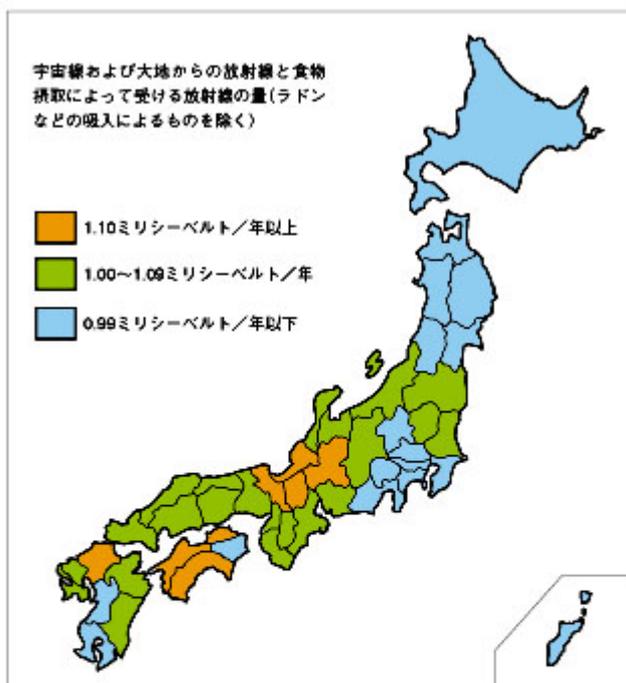
私たちが生活している身の回りには、すでにいろいろな放射線があっ

て、自然界の中に存在する放射線（自然放射線）と、人工的につくり出

される放射線（人工放射線）とがあります。今回は自然放射線に絞っ

て、私たちが自然界の放射線にどの程度曝されているかについて述べた

と思います。



自然放射線の国内分布（年間）

日本各地の自然放射線（宇宙線および大地からの放射線）と食物摂取によって受ける放射線の量。放射性物質を含む花崗岩の多い関西地方のほうが、火山灰の層でおおわれている関東地方などより、大地からの放射線量はほぼ50%多く、“西高東低”の傾向にあることが確かめられている。（放医研調べ：1988年）

### 自然放射線

自然の中の放射線は、人類の有史以前、地球ができたときから存在し

ています。これを区別すると地球の大地からの放射線、宇宙から降っ

てくる放射線、私たちの体の中に取り込まれた放射性物質からの放射線

等があります。

## 大地からの放射線

大地を構成している岩石や土壌の中には、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線を放出す

る放射性核種が天然に存在することは既に触れましたが、その中にはウ

ランやトリウム他にカリウム-40などの自然放射性物質が含まれてい

ます。人々がこれ等の物質から受ける体外被ばく（放射線を体の外から

受けること）による放射線の量は、日本国内では花崗岩地帯の多い関西

地方が高く、関東ローム層地帯は一般に低い傾向があり、おおむね、年

間0.2~0.6ミリシーベルトの範囲にあって、地域により大きな差があり

ます。日本全体では平均して年間約0.34ミリシーベルト程度です。

世界には、日本より遙かに放射能の高い地域があり、インドのケララ

地方ではおよそ10万人の人が年間約4ミリシーベルトの放射線を受けて

いると言われますし、中国やブラジルでももっと高い線量を受けるとこ

ろに多くの方が住んでいます。大地からの放射線による体外被ばくの世

界平均は年間0.48ミリシーベルトといわれています。

## 宇宙線

地球の外、すなわち宇宙からも放射線は降り注いでいます。この放射

線は宇宙線といわれ、地球の大気層まで届く一次宇宙線の大部分は高速

の陽子線です。この一次宇宙線は大気層に入って空気を構成している酸

素や窒素などの原子核と衝突して、高エネルギーの中間子、電子線、 $\gamma$

線などの二次宇宙線を生じます。これ等を合わせた宇宙線の量は、高度

や緯度によって異なりますが、日本では平均して年間約0.3ミリシーベル

ト程度です。これ等の放射線は地磁気の影響を受けますので緯度の高い

ほど、高度が高いところほど宇宙線の量は増加します。全世界の人口分

布を考慮した平均では、年間0.38ミリシーベルトとなっています。

また、ジェット機で10,000mの上空を太平洋1往復すると、0.06ミリ

シーベルトくらいは被ばくすると思われます。

### 体内放射性物質からの放射線

カリウムは身体にとって必要な元素ですが、天然のカリウムの中には

0.012%の放射性のカリウム-40を含んでいます。食物等に含まれてい

るカリウム-40等の自然放射性物質は、体内に入ると一部は排泄されま

すが、一部は体内に残ります。また、ラドン以外のウラン、トリウム系

列の吸入により娘核種の一部は体内に残り、人の体の中には、いつもほ

ば一定の自然放射性物質がたまっていることになりま  
す。カリウム-40

の経口摂取及びウラン、トリウム系列の吸入による被  
ばくは、それぞれ

年間0.17ミリシーベルトになります。したがって、大  
地放射性核種の吸

入、経口摂取による被ばくの合計は年間0.34ミリシー  
ベルトとなりま

す。

ラドンガスやトロンガスによる被ばく線量は以外に  
大きく全世界の平

均値は年間1ミリシーベルト以上にもなります。特  
に、ラドンは屋内で

の吸入による影響が大きいのですが、建築素材や換気  
率、風、気温、気

圧等外気の状態に大きく左右されます。

このように私たちは、常に自然の放射線に曝されて  
いますが、地域に

よって大きな差があり、世界の人口分布を考慮した、  
自然放射線による

世界の年間平均被ばく線量は2.2ミリシーベルト程度に  
なります。

(研究総

務官 河内 清光)

## 所内一般公開ご案内

放射線医学総合研究所では、毎年科学技術週間に合わせて所内を一般に公開し、研究活動を紹介しています。平成11年の実施概要を下記の通りご案内します。



写真は、昨年の所内一般公開の風景。

### ■テーマ：「どこまで知っていますか」

放射線の科学、環境、医療 —その最先端」

### ■場所・日時：

<本 所>

千葉市稲毛区穴川4-9-1

4月18日（日）10時～17時

<那珂湊放射生態学研究センター>

茨城県ひたちなか市磯崎町3609

4月18日（日）10時～16時

### ■問い合わせ先：

<本 所> 企画室 電話 043-206-3026

<那珂湊放射生態学研究センター>

管理課 電話 029-265-7141

■内容：

<本 所>

(1) 講演

1. 「がん診断で活躍する核医学・放射線診断」
2. 「宇宙活動と放射線医学」

(2) がんに対する重粒子線臨床研究と画像診断の最前線について

1. がん治療一般に関する医師による相談コーナー
2. 重粒子線臨床試行の経過をパネルで紹介
3. がんの最新画像診断

(3) 体験コーナー

1. 目で見る放射線コーナー
2. 持ち物の元素分析

(4) 各部の活動と成果をパネルや実物で紹介

本部棟、講堂、第1研究棟、第3研究棟、内部被ばく実験棟、重粒子

線棟、重粒子治療推進棟

(5) 公開施設等

重粒子線棟、内部被ばく実験棟肺モニタ室、緊急被ばく医療施設、サ

イクロトロン棟操作室、高速ラセンCT搭載車

(6) ビデオ放映

1. 「私達の幸福を願って ― 新世紀に取り組む放医研」

2. 「重粒子線がん治療」
3. 「放射線を目で見よう」
4. 「放射線への扉」

<那珂湊放射生態学研究センター>

(1) 各部の活動と成果をパネルや実物で紹介

水槽棟、第1研究棟、第2研究棟、第3研究棟

(2) 公開施設等

水槽棟、第1研究棟（生物実験室、測定室、生物化学実験室）、第2

研究棟（コウ素曝射実験室）、第3研究棟（測定室、機器分析室）



金井達明氏が受賞されました

■受賞者：金井達明氏（放射線医学総合研究所）

■履歴：

学歴

昭和49年3月31日

東京教育大学大学院理学研究科

原子核実験専攻 修士課程修了

昭和58年1月31日 理学博士

学位取得（博2第116号筑波大学）

職歴

重粒子治療センター ビーム測定・開発室長

■受賞理由：

[重粒子線治療照射における物理・工学的手法の確立](#)

HIMACのがん治療装置は世界で初めての本格的治療を目指した重イオ

ン治療装置であり、治療にあたっては粒子・エネルギー・照射方法など

の基本的条件を決定していく必要があった。重粒子線の物理・生物学的

特徴を系統的に調べ、安全かつ効果的な治療がどのようなものになるか

を具体的に示していく必要があり、特に、治療装置のリッジ・フィルタ

ーの設計のためには、系統的な物理・生物学的知識が必要となってい

た。これらを踏まえた前治療実験を系統的に行い、照射法の検討・照射

ビームの設計など理論的予測・実証を行ってきた。これらの結果に基づ

き、HIMACの治療照射系の設計・建設を行い、平成6年6月から重粒子

線治療は開始された。現在では500人を超える患者の治療が行われ、期

待された治療効果が得られている。このように、重粒子線治療の物理・

工学的手法を確立した。