

Radio logical Sciences

# 放射線科学

2007.04  
Vol.50

第50卷 第4号



特集

「放射線防護研究は今」



写真説明

放射線防護の対象はヒト以外の生物種にも広がりつつある。

放射線防護研究センター・環境放射線影響研究グループでは、

選定した「指標生物」やモデル生態系に対する放射線の影響の解析を進めている。

背景写真は細菌を捕食する原生生物。(8-9ページ参照)

Contents

04 卷頭言

独立行政法人 放射線医学総合研究所  
理事長 米倉 義晴

06 特集「放射線防護研究は今」

はじめに／放射線防護研究センター センター長 酒井一夫

1. 環境の防護／環境放射線影響研究グループ

2. 年齢による感受性の違い／発達期被ばく影響研究グループ

3. 放射線の生物影響のメカニズム解明／生体影響機構研究グループ

4. 自然放射線による被ばくの問題／規制科学総合研究グループ

5. 放射線防護における国際的な動き／規制科学総合研究グループ

6. リスクコミュニケーション／規制科学総合研究グループ

7. おわりに／放射線防護研究センター センター長 酒井一夫



26 連載 RS SPECIAL SERIES 『ICRPの線量係数とそれらの関連報告書の紹介』

9. 内部被ばく個人モニタリング

ICRP Publication 78

名古屋大学医学部保健学科 石榑信人

34 隨想

市川龍資

35 編集後記

## 「放射線科学」の再出発にあたって

「放射線科学」は昭和43年4月に初めて刊行されていますので、この4月から40年目を迎えることになります。昭和60年4月号からは、放射線医学総合研究所（放医研）編集委員会の下部組織である「放射線科学編集協力部会」のもとに刊行されてきましたが、平成13年の独立行政法人への移行に伴ってこの部会が廃止され、その後は編集協力委員会による運営という形をとっていました。このたび、放医研の機関紙としての位置付けを明確にするために、放射線科学編集委員会規定を定めてこの委員会のもとに再出発することになりました。放射線に関するさまざまな研究成果や国内外の情報を幅広く掲載する専門誌としてその内容を充実させることにしており、今後も有効に活用していただきたいと願っています。

放射線と社会との関わりがますます重要になりつつあります。人類が自らの意思で放射線を利用できるよ

うになってから百年余りが経過し、その恩恵は社会に広く浸透してきました。医療分野をはじめとする放射線の積極的な利用は、人々の健康や社会に大きな貢献をもたらしています。これから社会にとって、放射線とどのようにして新たな共生関係を構築していくのかが重要な課題になるのは疑いのない事実です。そのような中で、放射線に関する幅広い話題を扱う本誌の役割にも期待が寄せられます。

最近、次世代の社会を支える新しいイノベーションの創出が議論されています。安倍政権は、2025年までを視野に入れた成長に貢献するイノベーションの創造のための長期的戦略指針として、「イノベーション25」の策定を重点的に進めることを表明し、これに対応して総合科学技術会議や日本学術会議などで意見のとりまとめが行われています。その具体的な内容についてはそれぞれの資料を参考にしていただくとし

て、どの時代においても20年程度先の目標に向かうロードマップを作成することは科学技術の進む方向を定める上で重要なアプローチです。

現在、悪性腫瘍の治療法として重粒子線治療が大きな注目を集めていますが、放医研でその概念設計を始めたのは1984年であると聞いています。最近、CT装置の高度化によってきわめて細かなサンプリングが可能になり、気管支や大腸、大血管などの内腔を描出する仮想内視鏡技術がさかんに利用されていますが、その基本となる三次元立体画像表示法は1970年代後半に既に医用画像に応用されていました。また、がん診断法として急速に普及しているポジトロン断層撮影（PET）についても、それまで脳のブドウ糖代謝を測定するために利用されていたフルオロデオキシグルコース（FDG）を悪性腫瘍のイメージングに応用したのは1981年のことでした。現在の先進的な

医療技術の多くについて、20年以上も前にその萌芽的な研究が行われていたことを再認識するとともに、今から20年後を見据えた長期的な視野にたった研究のできる環境を整えることが重要であると考えます。

競争的資金に依存する最近の研究は、どうしても短期間のプロジェクト型研究にならざるを得ないところがあります。しかしながら、新たな革新的技術を生み出す力は、整備された基盤技術の継承と自由な発想に基づく研究者の養成にかかっています。放射線に関連する科学技術は、まさにそのような背景の下にこそ発

展できるものであり、本誌がたとえわずかでもそれに貢献できればと願っています。



独立行政法人  
放射線医学総合研究所  
理事長 米倉義晴

## 特集

## 「放射線防護研究は今」

## はじめに

放射線防護の目的は、「放射線被ばくを生ずる有益な行為を不当に制限することなく、人に対する適切な防護基準を作成する」ことにある（国際放射線防護委員会1990年勧告より）。これに資する情報を提供することが放射線防護研究の目的である。今、放射線と人間とのかかわりが大きく展開する中で、放射線防護研究は新たな局面を迎えている。歴史的に見ると「防護される側の対象」は、まずは医療関係者であった。次いで医療以外の分野の放射線作業者へ、そして一般公衆へと広げられてきた経緯があるが、これがさらにヒト以外の生物種にも対象が広げられようとしている。一方、「防護の対象となる放射線」は、もっぱら人工放射線であり自然放射線は対象外とされてきた。しかしながら、高い高度での航空機の利用や、放射性物質を含む鉱石の産業利用などの拡大の中で自然放射線も防護の対象となってきている。防護の基礎となる、生物影響研究の分野でもここ何年かの間に大きな進展が見られた。感受性を決定する仕組みが次第に明らかになり、集団ごとに感受性を評価することの重要性が指摘されている。また、多くのデータを集めてもなお不確かな残る低線量の影響を評価する上で、メカニズムに基づいた議論が行われ、従来の基本原理の意義が再検討されつつある。一貫性のある防護体系の構築のためには各国の歩調を合わせた取組みが欠かせない。このため国際連携がこれまで以上に重要となっている。そして、放射線防護は専門家だけのものではなく、一般の人々の放射線に対する理解の上に構築されるべきものであるとの認識がますます高まりつつある。この点で、専門家以外の関与と適切な情報発信が重要視されている。以上のように、様々な側面で大きく展開しつつある防護研究の最新の動きを、放射線防護研究センターの活動を通して紹介したい。

放射線防護研究センター センター長 酒井一夫

## 1. 環境の防護

環境放射線影響研究グループ  
グループリーダー  
吉田聰

## ヒト以外の生物種へ

放射線や放射性物質が発見されて以来、放射線防護のための仕組みは、基本的にはヒトを対象に作られてきた。研究の面でも同様である。放射線の生物影響研究にヒト以外の生物を用いることは多いが、その成果はヒトに還元されることが前提であったし、環境中の放射性物質の動きを知るのは、ヒトへの移行を評価することが目的であった。しかし、近年の環境問題への意識の高まりと共に、放射線が環境そのものに与える影響を評価するこ

とが国際的に重要な課題となりつつある。

1992年の国連地球サミットでは、環境と開発に関するリオ宣言およびアジェンダ21行動計画が採択され、持続可能な開発に向けた取り組みが具体的に示された。この中に、一般的な環境問題を扱う国際会議では初めて放射線に関する内容が盛り込まれ、これが環境の放射線防護への取り組みを加速することとなった。国際放射線防護委員会（ICRP）、国際原子力機関（IAEA）、国連科学委員会（UNSCEAR）等の国際機関で、この問題に関する議論と合意形成のための努力が進められている。例えばICRPは、人を守るために防護体系においては環境も十分に守られているはず、と言う立場を取ってはいるものの、環境問題に取り組む重要性を認識して国際的な議論を先導している。Publication 91（2003）では、ヒト以外の生物種の防護に対するICRPの基本姿勢を示し、その後、2005年には環境の防護に関する第5委員会が新たに設立された。まもなく刊行予定のICRP主勧

告にも環境防護に関する新しい章が加わる予定である。

関連する研究も開始された。ヨーロッパではECの資金援助のもと、FASSETやERICAと呼ばれるプロジェクトにて、関連データベースの整備および環境リスクアセスメントとマネージメントの手法開発が進んでいる。しかし、環境生物は微生物から大型動植物まで多種多様であり、線量評価や影響評価に必要なデータの多くが欠落している。評価すべき環境も国によって大きく異なり、欧米のデータベースを日本がそのまま利用することは難しい。

こうした中、放医研も、前中期計画の「放射線等の環境リスク源による人・生態系への比較影響研究」の中で関連研究を進め、平成18年度からの第2期中期計画では「放射線安全・規制ニーズに対応する環境放射線影響研究」の中に「環境生物・生態系に対する放射線の影響に関する研究」を立ち上げ、本格的な取り組みを開始した。

## 環境の防護とは

「環境」という言葉で思い描くものは人によって様々である。ヒトも環境の一部であるし、ヒト以外の生物しかいないような場所も数多く存在する。また、極端な場合は生物がない非生物相のみで構成される世界もあり得る。いったいどの様な環境を守ろうとするのか。環境の放射線防護を議論する際にまず問題になることであるが、実は明確な答えはない。風土、文化、宗教、そして個人の倫理観などによって考え方方が異なるからである。しかし、身近な自然と共に生きてきた我々日本人にとっては、傷つけることで将来のヒトの健康に影響が及ぶような環境を想定することが最も分かり易いのではないか。

ヒトの防護体系をヒト以外の生物種にそのまま当てはめることはできない。生物に放射線が当たると分子レベルから生態系レベルまで様々な影響が生じる可能性がある（図1-1）。現在ICRPは生物個体に対して、急性致死影響、健全性への影響、生殖可能性の低下、検出可能な

DNA損傷等をエンドポイントとしてその発生頻度を抑制し、これら個体レベルの影響が、個体群、群集、生態系レベルに及ぶことを無視できるほど小さいレベルに管理することを提案している。

環境中の生物は多種多様で、それら全てについての影響評価は不可能である。このためリファレンス動植物を定めて影響評価体系を構築することが検討されている。ヒトの防護における標準人に相当する概念である。現在検討されているリファレンス動植物は、シカ、ラット、カモ、カエル、マス、カレイ類、ハチ、カニ、ミミズ、マツ、イネ科植物、褐藻類海藻の12種類である。

環境生物の放射線防護に関する実際の取り組みが始まっている国がある。例えば米国エネルギー省（USDOE）では、環境移行モデルや実測によって得られた生活媒体中の放射性核種濃度を元にして指標生物の被ばく線量が計算され、その値を、繁殖率への影響が出ないとされる線量（1-10 mGy/day程度に設定）と比較する手法が開発されている。しかし、これは主としてスクリーニング



図1-1: 分子レベルの影響から生態系影響に至るまでの概念  
(ICRP Publication 91の図を元に作図)

を目的としたものであり、より現実的な評価のための課題は多い。

### 放医研が選定した「指標生物」

放医研では、陸域生態系と水域生態系を研究の場とし、その中から数種類の生物を選定し、線量評価および影響評価に関する研究を重点的に開始した。これまでに選定した生物は、藻類、メダカ、ミジンコ、ミミズ、トビムシ、菌類、針葉樹である（図1-2）。選定に当たっては、

- 1) 化学物質の毒性試験等に既に用いられている、
- 2) ICRPのリファレンス動植物候補に入っている、
- 3) 日本の生態系で重要な役割を果たしているがデータが少ない、
- 4) 放医研における研究実績がある、等を基準とした。すなわち以下の通りである。

藻類、ミジンコ：毒性試験に利用されている。水域生態系において重要な役割を果たしている。

メダカ：毒性試験に利用されている。放医研における研

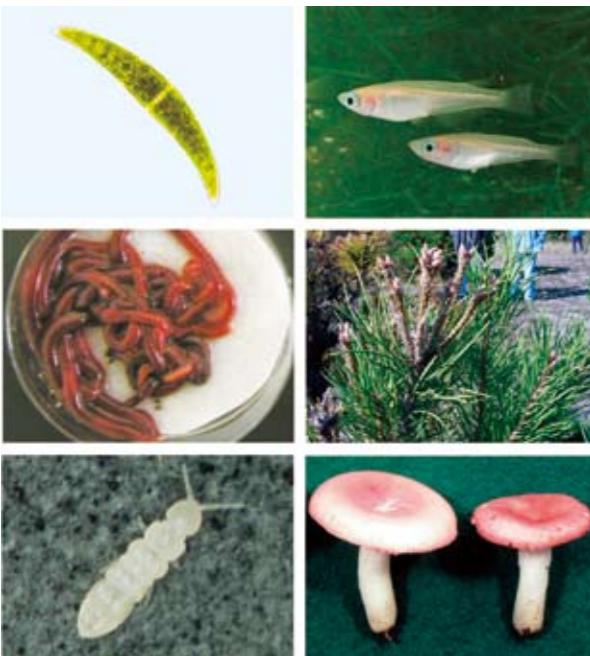


図1-2: 放医研にて研究を開始した生物種の例

究の歴史がある。

ミミズ、トビムシ：毒性試験に利用されている。ミミズはICRPのリファレンス動植物の候補である。土壤生態系において重要な役割を果たしている。

菌類：土壤生態系において重要な役割を果たしている。放医研における研究実績がある。

針葉樹：マツはICRPのリファレンス動植物の候補である。陸域生態系の代表的な構成生物である。広葉樹に比べて放射線高感受性である。

線量評価については、生活媒体から生物への放射性核種や関連元素の移行を評価し、個体内での分布を把握する研究を行っている。影響評価については、まず、X線や $\gamma$ 線の急性照射に対する線量-効果関係を致死、細胞死、成長阻害、繁殖阻害等のエンドポイントを使って明らかにする研究を開始した。例えばトビムシ (*Folsomia candida*) の半致死線量は 1360 Gy と非常に高いが、繁殖阻害を観察すると 50%繁殖阻害線量が 22 Gy まで下がることが明らかになった。また、化学物質等の毒性試験に既に用いられている生物は、それらの標準試験法に準じた影響評価を行うことで、放射線以外の環境負荷因子との影響の比較が可能となる。現在は、より低線量率の連続照射についても実験を開始している。

### 個々の生物種を越えて、「生態系」への影響を探る

生態系は複雑なシステムであり、影響を受ける個体や個体群がこの中で一定の機能を果たしている。即ち、ある生物が影響を受けるとその生物と強く関わっている他の生物が間接的に影響を受ける場合がある。また、構成生物や系の機能の一部が影響を受けることによって、系内の物質循環が変化し、被ばく線量も変化し得る。

生態系への影響は実験的な検証が非常に難しく、国際的にもほとんど研究例がない。放医研ではこの問題にアプローチするためにモデル生態系を用いた生態系影響評価に

関する研究を進めている。最初に取り組んだのは、生産者としてのユーグレナ、消費者としてのテトラヒメナ、分解者としての大腸菌の3種の微生物が共存する水圈微生物生態系（川端マイクロコズム）である（図1-3）。この系は最初に基質を必要とするがその後は光を当てるだけで1年以上安定に維持することができる。これに放射線等の有害因子を負荷すると、個々の生物の直接影響だけでなく、被食-捕食関係に由来するような間接効果を観察することができる。これまでに、モデル生態系中の生物の個体数が有害因子の負荷によって変化する程度を定量化するための影響指数を開発し、放射線と他の有害因子の影響を比較することも可能となった。また、実験を再現するためのモデル生態系個体群動態シミュレータ（SIMCOSM）が開発され、

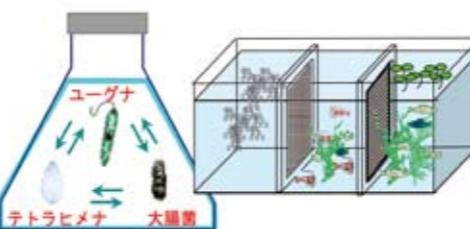


図1-3: 生態系の影響を評価するための3者マイクロコズム(左)と水槽サイズのモデル生態系(右)

個体群・群集動態の数理解析が行われた。

現在、より多くの水圈微生物で構成されるモデル生態系（栗原マイクロコズム）、および、藻類、ミジンコ、小魚類等で構成される水槽サイズのモデル生態系（図1-3）の開発と利用を開始しており、実環境に近い状態での影響評価と機構解析が可能になりつつある。またこれらは、生態系内での物質の動態解析と線量評価研究にも利用される予定である。

### 分子遺伝子レベルの解析手法を用いたアプローチ

放射線の影響を分子遺伝子レベルで明らかにするための研究も開始している。放医研で開発された網羅的遺伝子発

現解析手法（HiCEP）は、DNAマイクロアレイ等とは異なり、対象生物の遺伝子情報が無くても、遺伝子発現の様子をピーク高さの変化として捉えることができる。遺伝子情報が整っていない環境生物には最適の手法といえる。現在、植物培養細胞、トビムシ、原生動物等に対する試験を行っており、線量依存性の遺伝子発現も数多く見出されている。将来的には、特定の遺伝子や遺伝子のセットを放射線影響のバイオマーカーや生物線量計として用いるなどの応用を目指している。一方で、遺伝子発現という応答が何らかの影響に至るには非常に複雑な段階を経るものと考えられ、解明すべき点は多い。

変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法（DGGE）を用いて、土壤細菌群集の種組成の変化を捉える試みも開始している。土壤からDNAを抽出し、16S rRNA遺伝子を標的に細菌群集の網羅的検出を行うことで、個々の細菌の種類は不明であるが、放射線の照射による群集構造の変化をバンドパターンの変化によって直感的に捉えることが可能である。

### 今後の展開

前述の通り、ICRPは新勧告の中に環境の放射線防護に関する章を盛り込む予定である。しかし、概念的な記述が大部分で、新たな規制に繋がるような具体的な数値等は示されない。ICRP自身も更なる議論が必要と認識しているためであろう。この分野に関する取り組みが始まつたばかりの我が国では、これにも増して活発な議論が必要である。一方で、大型再処理施設の稼働や将来の廃棄物地層処分場の立地等を考慮すると、我が国の風土に応じた基礎研究を進めることが強く望まれる。

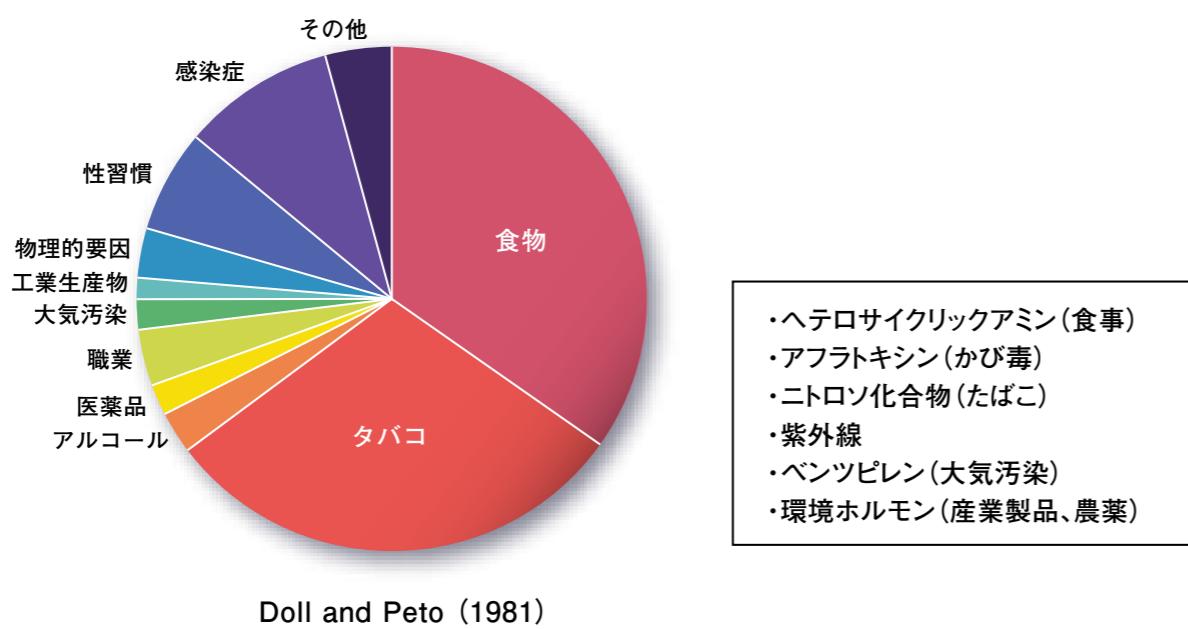
環境生物は多種多様で何が出てくるのか分からず期待感がある。放射線に強いもの、弱いもの。何らかの形で放射線を感じることができる生物もいるだろう。これまで十分に解明されていない極低線量率放射線の生物影響機構についても、環境生物の応答に多くのヒントが隠されているように感じる。

## 2. 年齢による感受性の違い

発達期被ばく影響研究グループ  
グループリーダー  
島田義也

### 子どもの被ばく影響を考慮する必要性

私たちの生活環境には、種々の健康をおびやかす種々の因子があふれている。がんに関するものでは、タバコと食生活が2大原因である（下図）。タバコには1000種以上の化学物質が含まれ、その中のニトロソアミンやベンツピレンは強力な肺がんの誘因物質であることが明らかとなっている。食品の中にも、肉のこげ成分のヘテロサイクリックアミン、フライドポテトのアセトアルデヒド、ピーナッツやピスタチオのカビ成分であるアフラトキシン、飲料水中のヒ素など多種多様な発がん物質が存在し、乳がんや大腸がん、肝がんの原因となっている。また、肝炎ウイルスなどのウイルスやピロリ菌などの細菌もヒトの発がんの原因となっている。このような多くの物質のヒトへの発がん性はWHOの研究機関である国際がん研究センター（IARC）で評価されデータベースとしてまとめられており、2004年までに、900種類の物質について調べられ、放射線はヒトへの発がん性があると判断されるグループ1に分類される。



さて、子どもの健康リスクについてである。1997年、8カ国環境大臣サミット（G8）において、「子どもの環境保護に関する8カ国環境リーダーの宣言書」が提出され、各国で子どもの問題に積極的に取り組むことが同意された。現在、化学物質の小児への影響を把握するためには、子どもの行動様式、代謝、免疫系の特異性に関する調査研究が進められてきた。子どもは小さな大人ではなく、子どもの行動様式、生理状態などを考慮した新たなリスク評価体系の必要性が指摘されている。

放射線の健康影響については、近年、医療の発達とともにない診断、治療の医療被ばくの線量が増えてきており、社会的関心が高くなっているのは周知の事実である。特に子どもについては被ばく後長い人生を生きること、組織が活発に増殖していることを考えると、放射線による子どもの発がんリスク情報を提供することは重要であることはいうまでもない。原爆被爆者の疫学データをもとに、子どもは大人に比べ数倍リスクが大きいというデータが示されている。

### 放射線発がん

放射線被ばくによる発がんリスクは、原爆被爆者の方々や医療被ばくの患者の調査をもとに評価されている。放射線による発がんの相対リスクが高い臓器は、骨髄、乳腺と甲状腺。また、被ばくによるがん死亡者数を考えると、胃や大腸、肺などもリスクの高い臓器と考えられる。発がんのパターンは、造血系腫瘍（白血病）とそれ以外のがん（固形がんとよばれる）では異なっている。原爆被爆者の白血病の発生パターンは、被ばく後6-7年をピークとし、それ以降減少し、被ばく30年以降に発症リスクは非常に小さくなる。一方、白血病以外のがんは10年くらい経つから発生し、被ばく後の年数とともに増加する。被ばくの線量との関係は、白血病は直線2次モデル、固形がんは、直線モデルが適合するという違いもある。また、一般に被ばく時の年齢が高いとリスクはさらに小さくなり、反対に若いと高くなる。20年前のチエルノブリ事故では小児に高頻度で甲状腺がんが発生したことが問題となった。このようなヒトのデータはリスク評価の基本となる貴重なデータではあるが、ヒト集団調査では取得できないデータも多い。例えば、子どもにおける中性子線や重粒子線のデータや低線量率連続被ばくなどの情報である。また、ヒトは放射線以外の発がん要因にも暴露される環境で生活しているので、健康影響はこれらの要因との複合暴露として解釈すべきで、放射線の影響だけを抽出するには難しいこともある。従って、疫学の結果を正しく解釈するには、動物実験やメカニズムに基づいた解析が必要となる。そこで我々は、多くのマウスやラットを用いて、発がん実験を始めている。

### 今後の展開

繰り返しになるが、母親の健康診断のためのPET診断、妊婦のがん治療、子どものX線CTなど、胎児・こ

どもが被ばくする機会が増えてきていることを考えると、そのリスクを正しく評価することがますます求められている。

胎児期の被ばくの影響は、着床前期（胎生8日）、器官形成期（胎生8日～8週）そして胎児期（8週以降）で異なる。着床前期の被ばくは致死効果が最も高い時期で産児数が少なくなる。しかし、生まれてきたこどもは正常に発達成長すると考えられている。マウスやラットの実験から比較的低線量（150mSv以下）の線量で受精卵が死ぬことがわかっているので、この時期の被ばく影響は流産である。器官形成期は体の主な臓器が形成される時期で、この時期の被ばくは先天性奇形や発育遅延を誘発する。サリドマイドや風疹ウイルス感染によって障害の発生リスクが高いのもこの時期と一致する。8週以降の胎児期の被ばくでは、奇形が起こることは少なくなるが、脳への影響が問題となる。被ばく線量に応じて、妊娠8-15週の被ばくによって重度奇形や小頭症、精神遅滞が発症する。ただし、精神遅滞にはしきい値があるが、そのしきい値線量は120mSvと推定されている。

胎児期被ばくのもう一つの心配は、がんである。妊娠中にX線診断を受けた母親から生まれたこどもに小児がんが1.4倍ほど高いことが英国のスチュワート博士によって報告されている。しかし、原爆被爆者の調査では、小児がんの増加は認められていないので、胎児期被ばくによる発がん率の増加は決着がついていない。大人のがんについては、胎児期の被ばくが小児期の被ばくと比べてリスクが特に高いということはなさそうだが、結論を出すには今後の追跡調査の結果を待つことになる。

放射線医学総合研究所では、B6C3F1マウスを用いた被ばく時年齢の動物実験結果を蓄積してきた。このデータの上に、まだ全く情報のない重粒子線や中性子線などの新しいデータを積み上げて、さらに、近年開発された発がんしやすい遺伝子改変マウスを用いて、子どもの放射線リスクについてさらに理解を深めていきたい。

### 3. 放射線の生物影響のメカニズム解明

生体影響機構研究グループ  
グループリーダー  
根井 充

#### なぜメカニズム研究が必要か

放射線防護研究の中で現在、生物学的研究が直面している最も重要な課題の一つは低線量・低線量率放射線のリスク評価である。特に発がんリスクはその影響の及ぶ範囲が広いことから喫緊の課題である。(図3-1)は線量に対する放射線発がんの発生率を模式的に示したものである。これまでのリスク評価は主として広島・長崎の原爆被爆者についての疫学調査に基づくものであり、従つて中線量高線量率被ばくのデータが中心である。これらのデータに基づいて図中破線のように線量・リスク関係を低線量域に直線回帰して推定するのがいわゆる放射線防護におけるしきい値無しの線形モデル（LNTモデル）である。

しかしこのモデルは必ずしも十分な科学的データに裏

付けられたものとは言えず、モデルの妥当性を検証する研究が強く求められている。同様に低線量率放射線被ばくのリスクについても、現在のところ実用上線量線量率効果係数（DDREF）を2、すなわち一定以下の線量率（0.1 mSv/min以下）では発がんリスクが半減すると仮定されているが（図中太線）、これについても必ずしも支持する科学的知見は十分とは言えない。

最近、15ヶ国との共同研究として原子力施設等の放射線作業従事者における発がんリスク調査が実施された。詳細な内容は今後の発表を待たなければならぬものの、調査対象の90%が50 mSv以下（平均19.4 mSv）と低線量被ばく者が大多数であることから、大変意義深い調査である。その調査結果は白血病を除く全がん死亡の過剰相対リスクが $0.97 \text{ Sv}^{-1}$ と原爆被爆者のデータに基づく評価（ $0.32 \text{ Sv}^{-1}$ ）よりも大きな値を示すものであった。

しかし統計的な信頼区間の幅が広く、たとえ線量線量率効果を加味しても、必ずしも原爆被爆者のデータに基づくLNTモデルと矛盾するものではなかった。本調査は線量が正確に測定された低線量率放射線の長期被ばく者の大きな集団についての調査ではあったが、これまでのところ統計変動が大きいためにLNTモデルを検証するものとはなっていない。

疫学データから低線量域での放射線リスクを実証することは困難であることから、実験動物や細胞培養系を用いて低線量放射線の生体に対する影響のメカニズムを明らかにし、これにより低線量放射線のリスク評価に科学的知見を提供しようとする試みが行われている（図3-2）。障害発生のメカニズムに関する知見は、特に実験動物を用いて得られるデータをヒトに当てはめる際に必ず求められるものである。低線量放射線の生体影響のメカニズム研究（機構研究）は、国の専門家会議の場

でも積極的な推進が謳われている。

たとえば、原子力安全委員会・原子力安全研究専門部会では今後の原子力の重点安全研究計画をまとめており、放射線影響分野（放射線リスク・影響評価技術）の項で、「放射線生体影響に関する研究については、安全規制における放射線の健康影響の判断が十分な安全ゆう度をもってなされているかを定量的に確認していく必要がある。さらに、どの程度の線量の放射線を受けたときに、どのような影響が現れるかを科学的観点から把握していくことが求められる。そのためには、最新の生命科学の知見や研究手法を取り入れた機構解明の研究も必要である」と述べている。特に低線量放射線のリスク評価に関しては、「放射線の健康影響の中でも、低線量放射線の影響については、しきい値の問題等が議論されている。線量と効果との定量的な関係、影響をもたらす機構を明らかにするとともに、これらのデータを総合的に解析評価することにより、低線量放射線の生体への影響を明らかにしていくための研究が重要である」と述べており、機構研究の重要性を指摘している。一方、原子力安全委員会放射線障害防止基本専門部会低線量放射線影響分科会においても、「しきい値問題を含めて低線量影響の科学的基盤を確立するためには、分子レベルから個体レベルにわたる機構論的な解析が必須である。放射線発がんの分子機構および放射線に対する生体防御の機構、並びにその破綻の結果として生じる発がんを明らかにすることにより、次にその機構が発動する線量域を解析することで、発がんの機構がどのような線量効果関係を持つかを明らかにすることが出来る」と述べており、低線量放射線影響の機構研究の推進が強調されている。

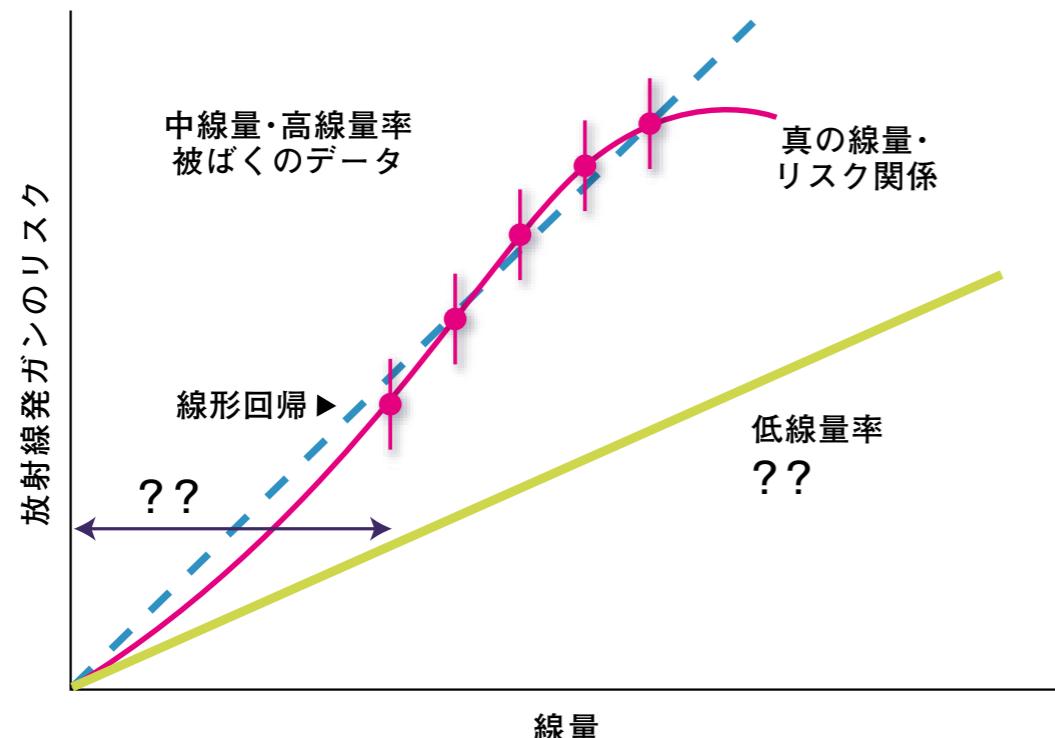


図3-1：放射線発がんリスクの線量依存性の模式図。(低線量および低線量率放射線のリスク評価については科学的裏付けが十分とは言えない。)

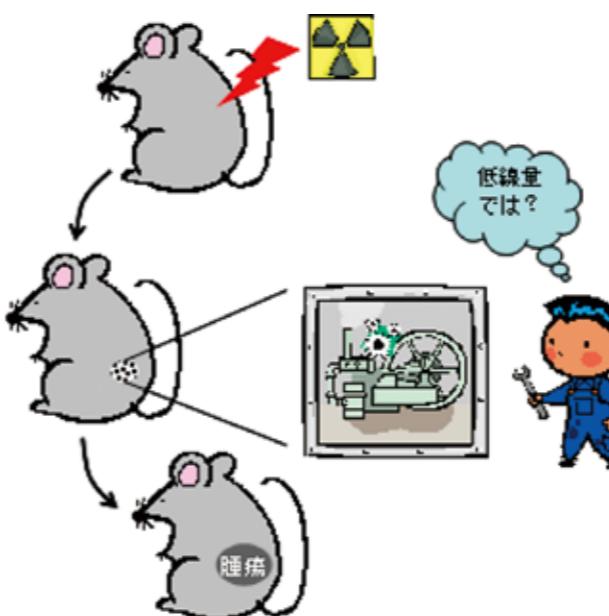


図3-2：放射線リスク評価のためのメカニズム研究。

## 放射線防護研究センターにおけるメカニズム研究とその防護への反映

放射線防護研究センターでは放射線規制の妥当性を検証する観点から、放射線生体影響のメカニズム研究を実施している。特に放射線発がん機構、突然変異誘発機構、発生・分化異常誘発機構、低線量放射線応答機構の解明により、規制科学に必要な科学的知見を提供することを目指している。以下ではその概要と低線量放射線リスク評価への寄与の道筋について述べる。

### 1) 発がん機構

放射線発がんの機構を解明することは低線量放射線リスクを科学的に評価するための最も有効なアプローチの一つであるが、がんの種類は多様であり、また多段階のがん発症プロセスにおいて多様な因子がかかわっていることから非常に複雑である。当研究グループでは特に発がんにおける放射線の間接効果について研究を実施し



図3-3: 発がんにおける放射線の間接効果を調べるための実験系。thy1.2マーカーを発現するマウスから胸腺を除去して放射線照射する。一方、thy1.1マーカーを発現するマウスから非照射のまま胸腺を取り出して照射マウスへ移植する。その後リンパ腫の発症を待ち、thy1.1マーカーを発現する非照射マウス由来の胸腺から発症したリンパ腫を放射線の間接効果によるものと考える。これまで、15例中12例で間接効果によるリンパ腫を観察している。

ている。(図3-3)に示す通り、予め胸腺を取り除いたマウスにX線を照射しておくと、後から移植した非照射マウス由来の胸腺からリンパ腫が発生することが、これまでに放医研における研究から明らかにされている。これは移植胸腺を取り巻く微小環境が放射線によって変化していたために発がん効果をもたらしたと考えられ、発がんにおける放射線の間接効果と呼ばれている。一般的に放射線の標的はDNAと考えられており、鎖切断等DNAへの放射線作用はどんな微小な線量であっても1ヒットで直接あるいは水分子を介してDNAに損傷を引き起こし得る、そして損傷したDNAをもつた一つの細胞ががんを引き起こし得るという放射線化学的、放射線生物学的知見がLNTモデルを科学的に支持している。しかし間接効果は1細胞中のDNAに対する1ヒットでは説明できない放射線発がん機構があることから、その前提を根本から覆している。本研究では発がんにおける放射線の間接効果が放射線リスクにどのように関与するかを明らかにすることを計画している。

### 2) 突然変異誘発機構

発がんにおける放射線の間接効果が放射線のリスクにどの程度寄与するかは今後評価する必要があるが、その一方で種々のDNA修復系の異常が高い発がん率をもたらしているという事実は、放射線によって生ずるDNA損傷の修復異常による突然変異誘発が放射線発がんの重要なステップであることを示している。非相同末端結合(NHEJ)は哺乳類細胞ではDNA二本鎖切断の主要な修復機構であるが、相同組換え修復に比べて誤修復を引き起こす頻度が高く、放射線誘発突然変異の要因の一つと考えられる。本研究では遺伝子改変細胞を用いてNHEJの分子機構を明らかにするとともに、NHEJにおいて放射線誘発突然変異頻度を変動させ、ひいては低線量放射線リスクを修飾する要因を解明することを計画して

いる。見出された低線量放射線リスク修飾因子は、低線量放射線高リスク集団を同定する際の個人レベルでの診断を支えるための科学的根拠と成り得るもので、究極的には医療被ばく等に対する放射線防護に重要な貢献を果たすことが期待される。現在まで、NHEJに機能することが明らかにされたあるいは示唆されているいくつかの遺伝子について、それぞれを完全に破壊させたヒト由来細胞株の樹立に成功した。そして、その中の一つであるXRCC4<sup>-/-</sup>細胞では、放射線誘発DNA二本鎖切断の修復が正常(野生型)細胞に比べて遅いことを確認している(図3-4)。今後これらの遺伝子破壊細胞の特性を詳細に解析することにより、NHEJが有する放射線リスクの要因を明らかにしていくことを計画している。

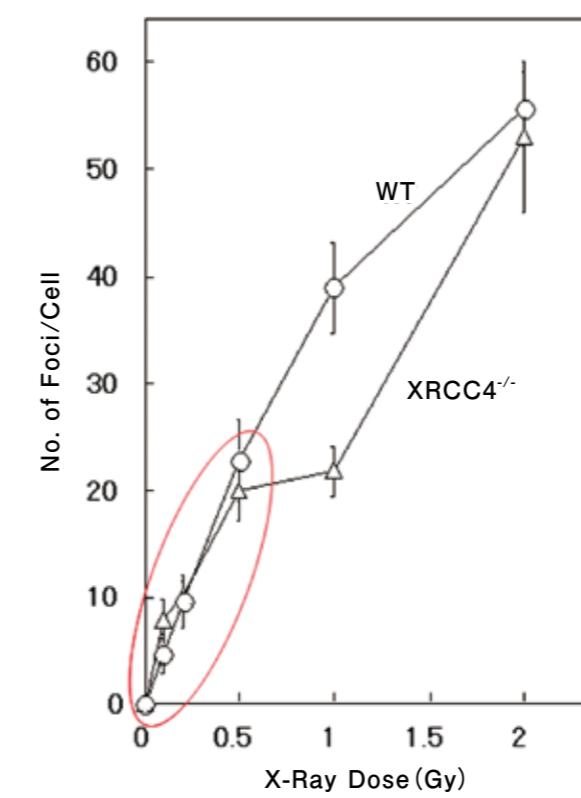
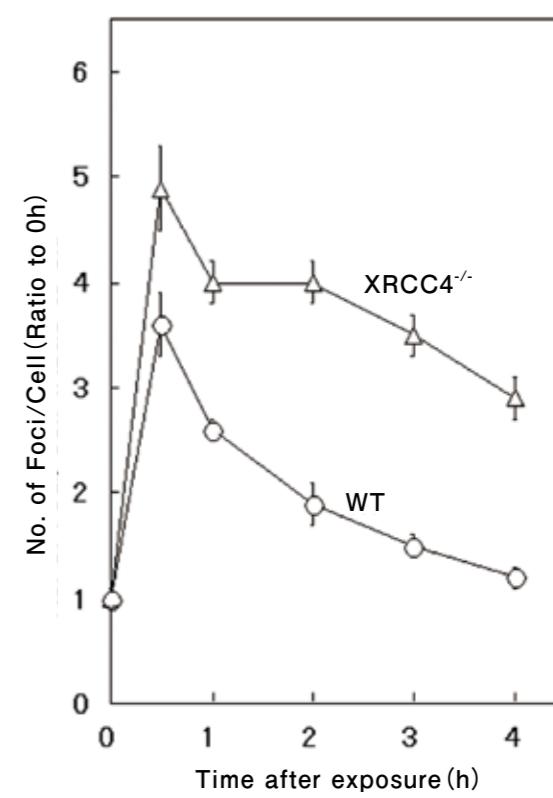


図3-4: NHEJに機能する遺伝子XRCC4の破壊細胞における $\gamma$ H2AXフォーカス数。 $\gamma$ H2AXフォーカスはDNA二重鎖切断部位と密接に関係している。左図は照射1時間後の結果で、野生株と同様に、0.5Gy以下の低線量域でフォーカス数は線量にほぼ比例していることを示している。右図は3Gy照射後の経時変化



### 3) 発生・分化異常誘発機構

低線量放射線によって引き起こされる障害は、がん等の確率的影響だけではない。胎児期被ばくによる奇形発生等、発生・分化異常の障害は確定的影響としてしきい値を有するとされているが、これまでに低線量域における評価は十分なされていない。本研究では特に神経冠細胞の分化異常等について低線量放射線の影響を評価することを計画している。神経冠細胞はマウスの発生初期に背中側で神経管から派生し、腹側へと移動しながら、真皮から表皮に入ってメラノblast、メラノサイトへと分化する。十分分化したメラノサイトは毛包に局在して毛の色を与える。しかし受精9日目に放射線を照射すると、神経冠細胞の分化が異常を来たし、十分なメラノサイトが供給されずに腹部に白斑を形成する。この白斑の出現頻度や大きさを測定することにより、神経冠細胞の分化異常に対する放射線の効果を定量的に評価できる。(図3-5)は0.1 Gyという低い線量の放射線(Feイオン線およびSiイオン線)が顕著に神経冠細胞の分化異常を引き起こしていることを示している。現在、妊婦の0.1 Gy以下の被ばくでは発生・分化異常の障害は現れないとさ

れているが、本研究の結果はもっと低い線量でも生じうることを示唆するものである。

### 4) 低線量放射線応答機構

放射線適応応答等、低線量放射線に対する生体応答現象は低線量放射線に特有なリスク修飾機構の存在を意味していることから、その機構解明は放射線規制の重要な科学的根拠となる。本研究では低線量放射線に対する生体応答に関する遺伝子を同定し、低線量放射線に特有なリスク修飾因子を決定することを計画している。本研究では、放射線発がんに直接関連する影響として突然変異を指標とした放射線適応応答を解析している。また、これまで放医研で独自に研究が進められてきたマウス胎児の発生異常を指標にした放射線適応応答も同時に解析しており(図3-6)、これらの放射線適応応答の分子機構を解明する目的で、適応応答条件下で発現変動する遺伝子を解析している。マウス胎児の発生異常を指標とした放射線適応応答が発現しているときに変動する遺伝子の機能を調べたところ、変動する遺伝子の多くは細胞間および細胞内情報伝達に関わる機能に分類されることがわかった。突然変異を指標とした放射線適応応答について

もHiCEP法を用いて変動遺伝子を解析しつつあるが、やはり情報伝達関連の遺伝子が多く変動していることが示唆されている。このように現象として全く異なる放射線適応応答が、その背景において共通の機構が働いていることが示唆されている。今後は放射線適応応答の分子機構および放射線適応応答が引き起こされる条件と程度を明らかにすることによって低線量放射線のリスク修飾要因を同定する計画である。

### メカニズム研究におけるモデル構築

低線量放射線の発がんリスク評価を目的として機構研究を行う場合、最終的な目標は放射線発がんモデルの構築である。しかしこれまでのところ、放射線発がんのメカニズムについてのデータが不足しているため満足なモデル構築には至っていない。放射線発がんの機構を因数分解するように、多様な機構を個々にモデル化していくプロセスが必要がある。例えば、放射線誘発突然変異は放射線発がんの重要なステップであり、その機構モデル構築の試みが当センターを含めて精力的に行われてい

る。しかし突然変異誘発機構といっても、DNA二本鎖切断の誤修復のみではなく、ゲノム不安定化を含む巨視的機構もあり、また放射線適応応答やバイスタンダー効果等、低線量放射線に特有な現象も放射線誘発突然変異機構の一部として組み入れる必要がある。しかしそのメカニズムについては未知の部分が多く、まだモデル構築には至っていない。更に、突然変異を介さない放射線発がん機構モデルも提案されている。このように不確定な要素を含む複雑な生体反応系を、いかに単純化して十分な精度を有するモデルを構築するかは非常に困難な問題である。

近年マイクロアレイを始めとして網羅的ゲノム解析技術が実用化され、放射線発がんに相關する遺伝子発現あるいはゲノムの変化が解析できるようになった。これらの手法を用いて低線量放射線発がんに関わる諸々の機構をモデル化する試みが現在なされている。遺伝子の言葉で記載されるモデルは情報量に富み、また動物実験で得られるデータをヒトに活用する上で直接適用しうると考えられる。今後の放射線防護研究にとってこのようなモデル構築は重要な役割を果たすことが期待される。

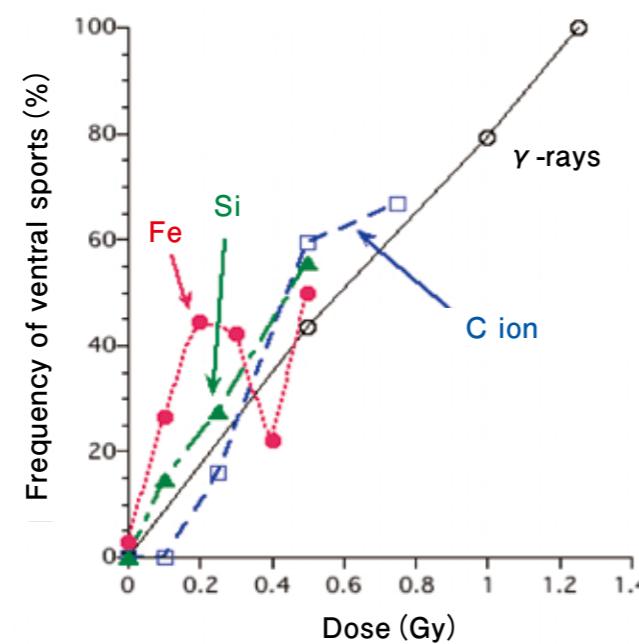


図3-5: 胎児期に放射線照射した際の白斑出現頻度の線量依存性。Fe、Si、C ionはそれぞれ鉄イオン線、シリコンイオン線、炭素イオン線による照射を示している。

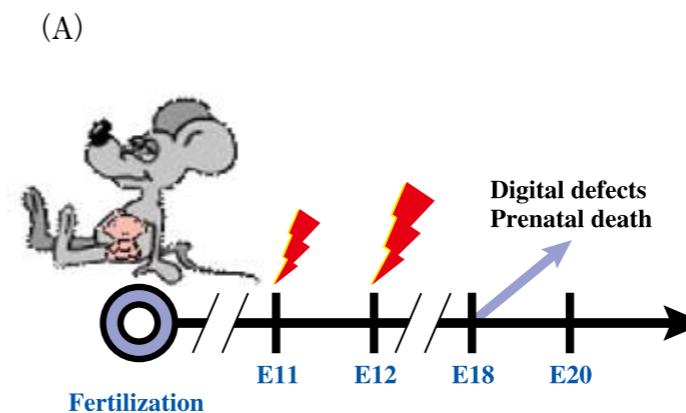
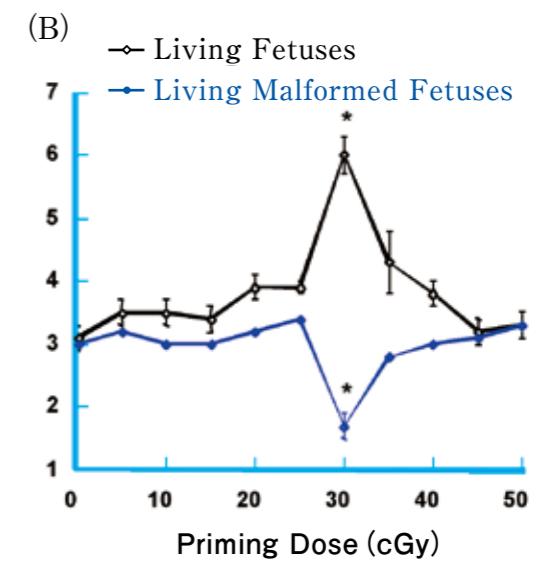


図3-6: マウス胎児の発生異常を指標とした放射線適応応答。受精11日目に30cGyの線量で照射することにより、受精12日の高線量放射線によって生ずる胎児死亡率が減少し、四肢形成異常の頻度が低下する。



## 4.自然放射線による被ばくの問題

規制科学総合研究グループ  
グループリーダー  
米原英典

放射線防護の理念は、レントゲンによるX線発見の直後に生まれ、これまで主に人工放射線による被ばくを対象に進展してきた。現在では、人工放射線による被ばくについては、ごく低い線量の被ばくまで、その確率的影响を容認できるレベルに抑えるために、厳格に規制されている。一方、自然放射線は、物理的にも、そして人体への影響についても人工放射線と何ら違いはないのであるが、多くの被ばく状況が認識されずに存在してきた。鉱山のラドンのように影響が証明された事例を除くと、従来はほとんど防護の対象とされていなかった。ところが特に欧米においては、住居のラドンによる被ばくが1980年代中ごろになって注目され、社会的な問題となつた。ICRP 1990年勧告では、住居のラドンは介入の対象として、防護の対象として明確に示された。他の自然放射線の被ばくについては、自然起源の放射性物質(NORM)の産業利用、職場におけるラドン、ジェット機の乗務、宇宙飛行による被ばくを職業被ばくとして管理するように勧告された。これらの自然放射線源については、特に欧州においては、すでに何らかの規制の対象となっている。

NORMの利用については、現在さまざま産業で原材料として用いられているが、そのうち鉱石を材料としたもので、例えばモナサイト(健康用具、塗料、希土類)、リン鉱石(リン安、石膏、リン酸肥料)、チタン鉱石(酸化チタン、石膏)、バストネサイト(研磨材)、ジルコン(耐火物)など比較的高濃度のウラン系列、トリウム系列の自然放射性核種を含んでいて、中にはそれを利用する過程において、被ばく線量が問題となるような物質もある。人工放射性物質が、この濃度未満では、規制の対象としないでよいという免除レベルは、 $10 \mu\text{Sv/y}$ という線量規準で判断されるが、この規準を自然放射性物質に当てはめると $0.01\text{Bq/g}$ になるが、この値は普通のコンクリート中の濃度と同等の低いレベルである。自然放射性物質の場合は、 $10 \mu\text{Sv/y}$ の100倍の、 $1 \text{mSv/y}$ を基準と

しなければ、実際に規制することも到底できない。そこでIAEA(国際原子力機関)では、自然放射性物質を規制対象から外すための規準は、人工放射性物質のように線量規準で考えるのではなく、通常の環境に存在する分布の最大値で考えて、 $1 \text{Bq/g}$ という規準を示した。このように、自然放射線は、人工放射線と同じように産業で利用していても、人工放射線と同じように規制することは不可能で、異なる規準で防護を考えることになる。しかし、自然放射性物質について、ある濃度を超えるものをすべて一律に規制することは難しく、放射線審議会では、これらの物質を、制御しやすさや人為性の観点から、カテゴリーに分類して、それぞれに合った対応をするという方針を示している。実際の規制に関しては、現在検討中であり、今後さらに利用実態に関する調査が必要である。現在利用されているNORMの実態のデータベース構築やその被ばく線量評価の研究は、規制科学総合研究グループと環境放射線影響研究グループで実施されている。

ラドンの健康影響については、これまで欧米において、社会問題となり、対策レベルを設定して、対応している国も多い。その影響に関する研究については、鉱山の疫学調査および細胞や動物を用いた実験研究での肺がんへの影響について明らかにされた。しかしながら、住居内ラドンの研究では、各国で実施されたほとんどの疫学調査では、有意なリスク増加が検出されなかった。最近、欧州や北米において、これらの疫学調査データを統合して解析した結果、住居のラドンのレベルまでの肺がんリスクの直線性が認められることや、北欧諸国での平均値のレベルである $100 \text{Bq/m}^3$ においても、有意なリスクの増加が観察されるという報告が出され、ラドンによる健康影響に対する懸念が増加している。この状況の中、世界保健機関(WHO)が、屋内ラドンリスクとその対策のための国際プロジェクトを開始して、対策レベルなど低減化に関するガイドラインを発行する予定である。わ

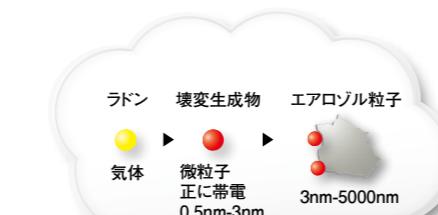
が国の住居のラドン濃度は、これまでの全国調査の結果から世界の平均値が $40 \text{Bq/m}^3$ 程度とされるのに対し、平均値がおよそ $15 \text{Bq/m}^3$ 程度とされている。しかし、住居のラドン濃度の分布は、対数正規分布に従うことが知られているので、欧米などで設定されている対策レベルよりも高い濃度の家屋も存在する。放射線防護は、集団より個人の防護を重視する傾向にあることから、日本においても、対策レベルを設定して、それを超える家屋についての対応を実施する必要がある。ラドンに関する研究は、これまで放医研で長年にわたり実施されてきたが、継続して、環境放射線影響研究グループと規制科学総合研究グループで、被ばく実態、リスク評価、規制に関する研究を続けている。

航空乗務員の宇宙線被ばくについては、欧州においてすでに規制の対象としている国が多い。1996年の放射線防護指令においてEU加盟国に対し、年間被ばく線量が $1 \text{mSv}$ を超える航空機乗務員の宇宙線被ばく対策を

事業者が行うように、2000年5月までに法令、規則、管理規程等の必要な措置の導入を要求し、それを受けて、各国において法的措置が取られた。わが国でも、文部科学省に検討ワーキンググループが設置され、そこで検討結果を受けて、放射線審議会が被ばく管理や教育訓練などについて、事業者への自主管理を求めるガイドラインが出された。実際の線量管理や教育に関する対応策については、現在規制科学総合研究グループと環境放射線影響研究グループが事業者とともに検討している。

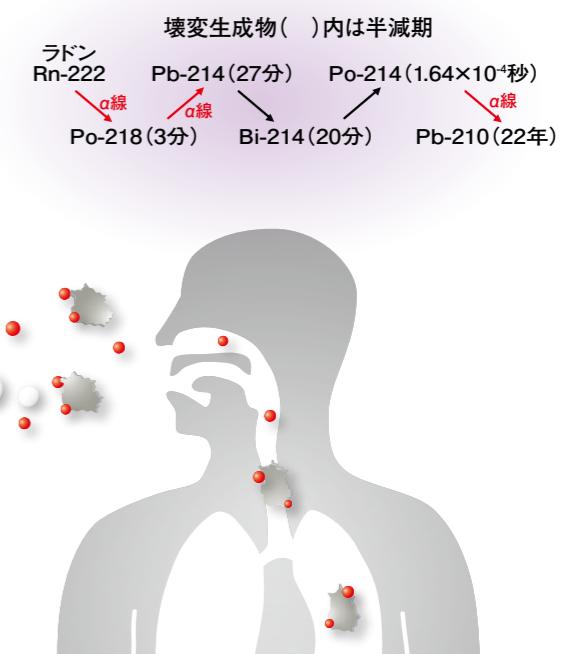
自然放射線被ばくについては、被ばくの実態を明らかにするとともに、このように、自然放射線の被ばくについてマスコミなどを通じて、一般国民に情報が入ると、不安に感じたり、混乱を生じることも考えられる。このような制御可能な自然放射線による被ばくをどのように管理するかについては、今後の重要な課題である。

### ラドン壊変生成物被ばくメカニズム



### 線量評価

部位別(口腔、気管支、肺)の沈着割合を詳しく調べることが重要



## 5. 放射線防護における国際的な動き

規制科学総合研究グループ  
グループリーダー  
米原英典

我が国を含め多くの国において、放射線防護の安全基準の拠りどころとしているのは、ICRPの勧告である。ICRPは専門家で構成される所謂NGO組織であるが、放射線防護の基本的な理念や基準を示したICRP勧告は、国際的に権威として考えられている。放射線防護の考え方や基準の策定や、実際の放射線防護の基準として法令や規則に取り入れられるまでの過程は、右図のように多くの国際機関や組織が関連し、相互に情報の交換が行われている。

放射線影響に関する科学的知見を国際的にまとめているのは、原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)である。UNSCEARは、1955年の第10回国際連合総会において、大気圏核実験による地球規模的環境放射能汚染の広がりを防止するため、人体と環境への原子放射線の影響に関する情報の収集と知識の普及を目的として、設立された。UNSCEARは、加盟国や専門機関から提供される資料を収集し、これらを分析整理して、1958年に最初の報告書を刊行し、その後多くの報告書が刊行された。特に1977年、1982年、1988年、1993年、2000年には、放射線・放射能の環境中の分布から人体影響までを包括的にまとめた報告書を刊行している。放医研は、UNSCEARの会合に、長年にわたり、わが国の代表団のメンバーを派遣し、特に1985年と1986年に当時の熊取所長が、また2004年と2005年には、佐々木前理事長が議長を務めた。また放医研では、これまで日本全国の研究者からのコメントをまとめて提出することや事務局からの要請で科学的情報を収集するなどの活動においても貢献してきたが、現在も国内対応委員会を設置して、規制科学総合研究グループが中心となって対応している。

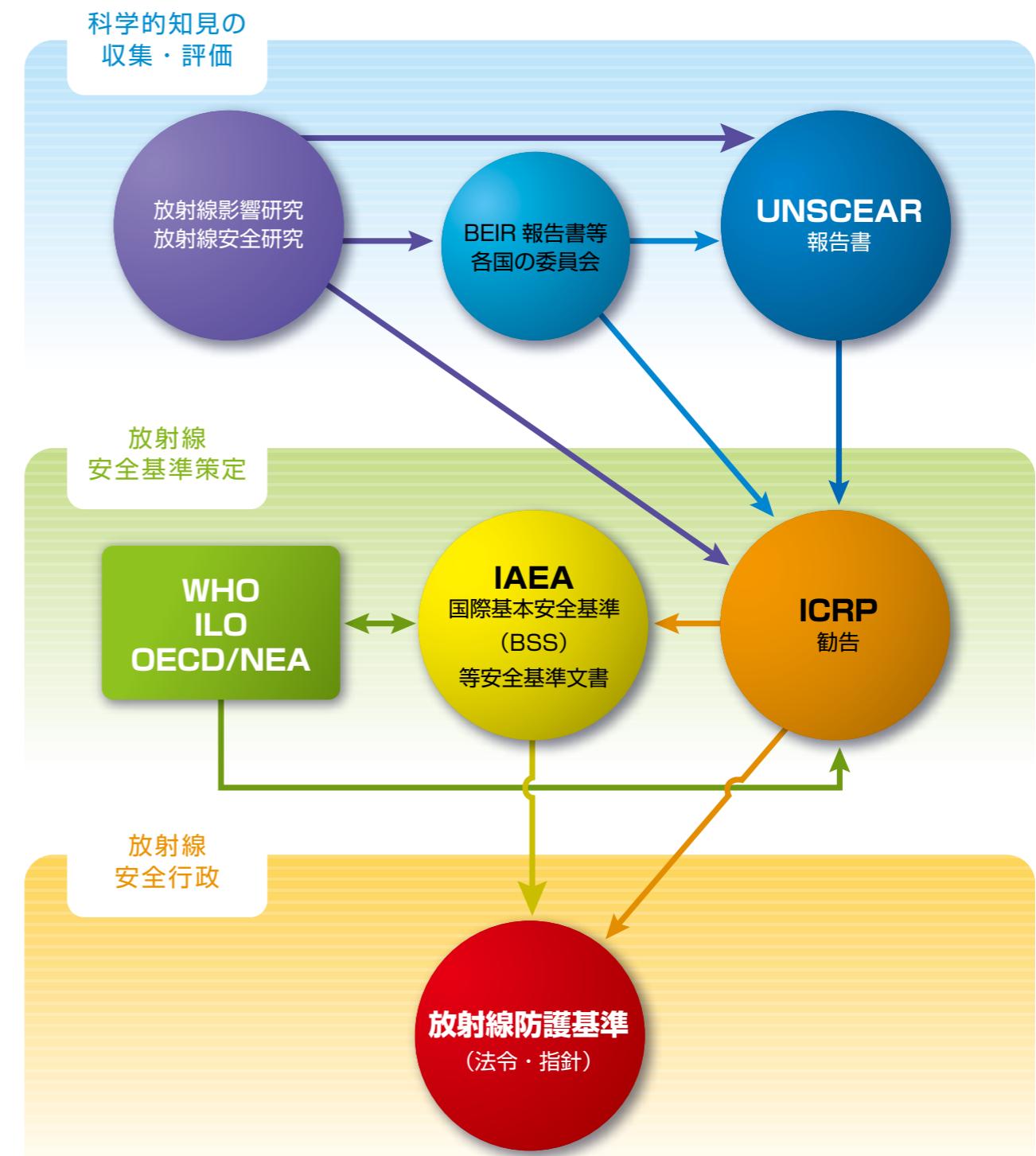
経済協力開発機構(OECD)の原子力機関(NEA: Nuclear Energy Agency)には、1957年に設置されたCRPPH(放射線防護公衆衛生委員会)という委員会があ

る。放射線防護に関する様々な活動を行ってきたが、最近の活動でICRP新勧告案について、規制者や利用者、環境保護団体などステークホルダーの意見を積極的に取り入れるための会合を、アジア、米国、欧州で開き、地域特有の問題点を検討するために、重要な役割を果した。

国際原子力機関(IAEA)は、原子力に関する様々な国際的な役割を果たしているが、放射線の利用に関する基準や放射線防護の基本原則については放射線安全基準委員会(RASSC: Radiation Safety Standard Committee)が担当している。ICRP勧告に示された考え方や防護基準を法令に取り入れる検討を行う体制がない国でもしっかりととした放射線防護基準を取り入れられるように、多くの具体的な安全要件や安全指針などの文書を策定している。それらの基本となる安全基準をOECD/NEAや世界保健機構(WHO)などと協同でまとめたものが、国際基本安全基準(International Basic Safety Standards, BSSと呼ばれる)であり、多くの国で法令などに取り入れられている。

現在は、人的交流、物流や情報のグローバル化がかなり進んでいるため、放射線防護基準の統一化の重要性が増している。しかし、その一方で、これまで欧州が中心で検討されてきた放射線防護の考え方や基準について、文化、宗教、経済状況などにおいて差異が大きいと考えられるアジア諸国にそのまま適用して良いのだろうかという議論もある。

このような状況の中、2007年3月に、ICRPの新勧告が採択され、またIAEAのBSSも改訂される動きがある。科学的根拠に基づき、しっかりととした理念を構築することが今後も重要な課題である。規制科学総合研究グループでは、ICRP新勧告策定において、コメントをまとめるなどの活動を行ってきたが、今後も放射線防護に関する国際機関と連携して、その動向を把握して研究の方向性や求められる調査研究課題を検討する。



## 6.リスクコミュニケーション

規制科学総合研究グループ  
リスクコミュニケーション手法開発チームリーダー  
神田玲子

昨今“安全と安心”はワンフレーズで使われることが多い。これは、安全であれば安心するはずという考え方から、安全と安心には別々のアプローチが必要という考え方へ転換した表われとも言える。

### 安全を担保する放射線規制、 安心を支えるリスクコミュニケーション (リスクリテラシー)

従来放射線を始め、リスクを伴う科学技術については、行政の適切な規制により安全が担保されれば、当然一般公衆は安心するもの、と考えられていた。しかし現実には、安心が個人ごとの尺度に資するものであるため「安全だが不安」という事態が起こりうる。こうした状況については、公衆が科学技術に熟知していないからだとして、教育・啓蒙活動が行われてきた。原子力PA (Public Acceptance) はそのよい例である。

原子力白書のはしがきに「国民の理解」という言葉が出てくるのは、昭和40年版（1966年発行）からである。事故等を経験していないにもかかわらず（原子力船むつの放射能漏れ事故は昭和49年）、他分野に先駆けて国民の理解を重要視していたのは、原子力に対する複雑な国民感情を配慮したことと思われる。原子力平和利用の推進を国民が受容するため行われたPAでは、「絶対安全＝リスクゼロ」を保証するなど、必ずしも科学的情報の正確な理解をねらったものではなかった。

1990年頃からは、科学技術の進歩に伴う社会的課題の解決・意思決定には、科学技術等の専門家による判断のみならず、一般市民の意見をも反映していくプロセス（ステークホルダー関与）が必須であるとの考え方が主流となってきた。これまで施策等を受容する側であった市民が、施策決定に何らかの関与を持つことになり、今まで以上に科学的情報の正しい理解が必要となってきた。その方策の一つがリスクコミュニケーション（RC）である。

化学物質排出移動量届出制度（PRTR制度）や食の安全に関する問題等が契機となり、外来語RCが日本にも定着しつつある。さらにここ2-3年は、「リスクリテラシー」という新語も登場した。どちらもかなり広範な分野でそれぞれの使い方をしているため、明確に定義することは難しいが、共通項としては、前者は「リスクに関する双方向の情報伝達・共有」であり、後者は「リスクを的確に分析し、行動を起こす能力」というところだろうか。

### リスクコミュニケーションの目的と成果

例えば原子力施設立地の場合、『環境・健康リスク』等を正しく評価することは専門家のミッションである。次いで評価結果の伝達を行う際、従来のように単に『大丈夫です』という言葉、あるいは専門家等の価値観によって取捨選択された情報を一方的に伝達するのではなく、双方に意見交換することにより、環境・健康への影響や、問題への対応についての理解レベルを上げるのである。これをRCの第1の目的とすると、第2の目的は、規制者・事業者・一般公衆・専門家間で信頼関係を構築することである。

この点は、RCがこれまでのPAと大きく区別される点である。コミュニケーションの過程では、客観的事実だけでなく政策も対象となるし、住民が漠然と感じている不安や不信感も重要なテーマとなる。理解や安心感が高まることもあるが、一時には不安が強まることもあるかもしれない。しかしこうした意見交換の過程を経ることにより、ステークホルダー間の信頼関係が構築される。OECD/NEAが行った放射線防護分野におけるステークホルダー関与事例の検討結果からも、RCによって構築されたステークホルダー間の信頼関係がリスクの社会的受容や合意形成に不可欠であることが示唆されている。

### 正しい知識の重要性

RCの多様な活動の中で、私たち自然科学者が担うべき役割は、リスク情報に関する科学的に正しい理解促進である。知識によって比較的簡単にリスク認知度は上昇する（安全と思っていたものが危険であると認知する）。だから知識不足による放射線・放射性物質の様々な取り扱い等には、教育効果が大きい。一方、リスク認知を下げる方向に効果が表れるのには、時間がかかる。放射線恐怖症（=放射線はどんなレベルであろうとも危険だと心配する）の場合、個人レベルでの弊害（被ばく事故に遭遇した際、心理的影響を介した健康影響が重篤化する、放射線治療・診断、航空機利用などを避けるなど）、集団レベルでの弊害（世論に基づく厳しい放射線規制がもたらす社会的負荷など）が生じうる。この緩和には、正しい知識が必要であることはもちろんあるが、性急な“説得”型情報伝達では効果がなく、むしろ研究者への不信（中立性へ疑惑など）を誘発する。

### 規制科学総合研究グループの活動

平成18年度に、規制科学研究総合グループは「 Chernobyl事故の影響」「ICRPの新勧告案」「航空機被ばく」をテーマとするダイアログセミナーを開催した。この“規制者・事業者・公衆・専門家参加型”で行ったセミナーの隠れた主題は「不確実性を伴う低線量放射線の健康影響について、何の情報をどのように説明したら関係者が共有できるのか」について、実践によって明らかにすることである。既にいくつかのハードルが見えてきた。

科学的情報に安心醸成への即効力はなく、RCの活動を通じて、規制者・事業者・公衆・専門家間で相互に信頼関係が構築されることが、規制、規制の遵守あるいは規制の根拠となる科学的情報の正当性を保証し、ひいて

は安心につながると思われる。よって科学的に不確実性を伴う情報は、不安増大につながる可能性もあるが、あえてこれを開示し、この問題に誠実に対処している状況を説明することが、信頼関係構築に重要と考えている。しかしこの「急がば回れ」は、事業者等では受容し難いらしく、セミナーでは「知識偏重はかえって不安になる」「科学的に不確かなことは言わないで」と言う声が聞かれた。

また、個々人によって異なる不安とその原因に研究者として寄り添うための方策や、健康影響が心配される場合や放射線に対して既にバイアスがかかっている場合の対応について、今後試行錯誤しながら経験値を高めて、解決することを目指している。



## 7.おわりに

放射線防護研究センター  
センター長  
酒井一夫

放射線防護研究センターの活動を通して放射線防護研究の最近の動向を紹介した。環境の防護へ、宇宙線を含めた自然放射線へ、そして未解明の低線量影響の機構解明へと、防護研究が「未踏の領域」へと足を踏み入れようとしている状況をお伝えできたとすれば幸いである。また、放射線防護研究センターが、これまではともすると、それぞれ独立して進められる傾向のあった環境影響研究、生物影響研究、そして機構解明研究の融合を目指しつつ研究を進めていることを知っていただければ幸いである。

さて、本特集を終えるにあたり、今回は取り上げなかつた分野においても放射線防護が大きく展開しつつあることに触れておきたい。

放射線防護の対象が医療関係者に始まり、次いで医療以外の放射線作業従事者や一般公衆へと拡張され、さらにヒト以外の生物種へと広がりつつあることは、特集中で紹介されている通りである。防護の概念は医療の分野で始まったものではあるが、患者の被ばくに関しては線量限度を適用しないという特別の配慮がなされてきた。放射線を利用するこのメリットがリスクを上回るという大前提があったからである。ところが、放射線の医学利用が急速に広がる中で、この大前提が必ずしも明白ではない状況が生じつつある。対象となる疾患が「目の前」にある治療や、疾病が疑われる状況での診断とは異なり、無症状の健常人が対象となることのある検診の場合にメリットとリスクのバランスをどう考えるか、メリットが大きいことをどう担保するかが問われている。

画像診断の技術が向上し画像の品質が高まる一方で被ばく線量が高くなり、「診断だから低線量」と片付けることができなくなりつつあることも背景のひとつである。

以前は医療被ばくにおける対象といえば患者本人のことであったが、ここにも変化が生じている。放射性物質を投与されたり、刺入されたりした患者の世話をし、面倒を見る家族の被ばくをどう考えるかが問題となってい

る。このような状況での被ばくは「健常者の自発的な被ばく」と分類することができよう。同じ分類には、医学・生物学分野での研究開発の中でのボランティアへの放射性物質の投与などが含まれる。家族の絆という人間関係や、医学の進歩、新規医薬品の開発という社会のメリットとの関係の中で、「健常者の自発的な被ばく」をどう考えるかが問われていると言えよう。

このように、人間や環境と放射線の関わりが広がり深まる中で、放射線防護研究も自然科学的な側面に加え、社会科学的な側面も含めて広く深く展開しつつある。放射線防護研究センターでカバーできる範囲を越える部分も少なくないが、放医研内の他のセンターとの連携を視野に入れつつ、放射線にかかわる安全と安心というアウトカムを達成したいと考えている。



## 9. 内部被ばく個人モニタリング ICRP Publication 78

(作業者の内部被ばくの個人モニタリング)

名古屋大学医学部保健学科  
石榑信人

## はじめに

モニタリングの一般原則については、ICRP 第4専門委員会の方で、その時々の基本勧告と整合させるために見直しが図られ、その結果が報告書として刊行されてきた<sup>13)</sup>。一番最近のものは、1997年刊行の Publication 75 “General Principles for the Radiation Protection of Workers”<sup>3)</sup>である。本稿で紹介する Publication 78 “Individual Monitoring for Internal Exposure for Workers”<sup>4)</sup>は、1988年刊行の Publication 54 “Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: Design and Interpretation”<sup>5)</sup>の全面的改訂版であり、上記 Publication 75 に準拠すると同時に、本シリーズで既に紹介された Publication 68 “Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers”<sup>6)</sup>と対をなす内部被ばく個人モニタリングに関する報告書である。

## モニタリングの目的と種類

モニタリングという用語には、測定と測定結果の解釈の両者が含まれている。つまり、摂取量の評価は、全身や特定の器官、あるいは排泄物に含まれる放射性核種の量の測定に基づいているが、さらに、摂取時期、経路、摂取物の物理化学的性状等の推定、適用するモデルの選択といった解釈を経て初めて可能となる。

こうした個人モニタリングの実施には一定の費用と労力とを要することは言うまでもない。さらに測定のために作業者の拘束をも伴う。このため個人モニタリングを全作業者に対して行うことは現実的ではない。個人モニタリングの実施が正当化されるのは、防護の適切なレベルを達成し、そのことを立証するのにモニタリングが役立つと言う点にこそ見出されなければならない。つまり個人モニタリングの対象となる作業者は、線量限度に対し有意な割合の線量を日常作業において被ばくする可能

性のある者、あるいは事故時に重大な被ばくをする可能性のある場所で作業する者である。本刊行物において、放射性核種の摂取に関する個人モニタリングの主な目的は次のようにまとめられている。

- 管理あるいは規制上の要件が遵守されていることを証明するために、預託実効線量、あるいは必要に応じて預託等価線量を評価すること
- 作業管理と施設の設計に寄与すること
- 事故被ばく時における適切な健康監視と医療処置の開始及び支援にとって有益な情報を提供すること
- そして、個人モニタリングにはその目的に応じ、次の4種類があるとされている。

## 1) 日常モニタリング

継続する作業に関連するもので、個々の作業者に対して定期的に行われるモニタリングである。個人線量のレベルを含む作業条件が満足な状態にあることを実証し、規制要件の遵守を確認する性格をもつものである。あらかじめ決められた日時に行われるため、摂取の時間パターンを仮定する必要がある。モニタリングの頻度は、実効半減期と検出下限レベルとを勘案し、摂取時期が不明であることから生ずる不確かさが容認できるレベル以下となるように選ばれねばならない。

## 2) 作業関連モニタリング

特定の作業に適用されるモニタリングである。摂取の可能性のある時期や放射性核種の物理化学的性状について、日常モニタリングよりは具体的な情報がある場合が多い。経験の少ない作業の管理に関して速やかな決定を下すためのデータの提供が主な目的である。

## 3) 特殊モニタリング

現実に起きたかあるいは起きた疑いのある異常な状況に適用されるモニタリングである。その目的は、線量のよりよい推定値を得るために事象の状況を再構築することにある。緊急事態においては、このことを通じて救済

措置の支援に有益な情報が提供される。

## 4) 確認モニタリング

作業の条件が満足すべきものであることを確認するため臨時に行われるモニタリングである。測定結果は通常定性的に解釈される。なお、第4専門委員会の報告書 Publication 75 では確認モニタリングという区分は設けられていない。日常モニタリング自体確認という性格が強いが、日常モニタリングとは別に、あるいは定期的なモニタリングが計画されていない場合に確認のため臨時に行われるモニタリングとしての確認モニタリングという区分は必要と思われる。

## 測定の方法

内部被ばく個人モニタリングの測定は、①ホールボディカウンタ等体外計測装置による全身や特定の器官の放射性核種の量の測定、②糞便、尿あるいは鼻スメア等生物学的試料に含まれる放射性核種の分析、③パーソナルエアサンプラーによる作業者の呼吸域の空気中放射能濃度の測定、の3種類の方法の一つを用い、あるいは組み合わせて行われる。このうち①の方法は直接法、②と③の方法は間接法と呼ばれる。また、我が国では②の方法をバイオアッセイ法と呼んでいるが、近年 ICRP のタスクグループ内の検討では、①も含めてバイオアッセイと総称されることが多い。

測定方法の選択に際しては、幾つかの条件が考慮されねばならない。それらは、放射線の種類、体内分布の特徴、生物学的・物理的半減期、モニタリングの頻度、検出感度、使用できる施設の種類などである。日常モニタリングでは通常一つの方法が適用されるが、例えばプルトニウム同位体のように測定も結果の解釈も難しい核種に対しては、複数の方法の組み合わせが用いられる場合もある。どの方法によっても適切な感度が得られる場合には、精度の観点から優先順位は、体外計測による直接

測定、排泄物の分析、パーソナルエアサンプラーによる測定、の順となる。作業関連モニタリングでは、経験が無かったり経験の少ない作業の適切な管理に対して有益な情報を多く提供するため、複数の方法の組み合わせがしばしば用いられる。また、摂取が疑われる事象の場合、例えば鼻スメアのようなスクリーニング目的の測定が行われる場合がある。

上記①、②、③各方法について、本刊行物にはそれぞれ数パラグラフの記述がなされているが、測定技術の直接の取扱は ICRP の守備範囲ではなく、むしろ IAEA (国際原子力機関) の Safety Series など<sup>78)</sup>がガイダンスを与える役割を果たしている。本稿では個別の方法についての記述は割愛させて頂く。

## 摂取／移行／排泄モデル

前章で述べた全身や特定の器官、あるいは排泄物に含まれる放射性核種の量の測定値を摂取量や預託実効線量に置き換えて解釈するためには、放射性核種の体内における挙動に関する知識が必要となる。本刊行物には、摂取後の特定の期日における放射性核種の全身あるいは臓器残留量と尿中あるいは糞中排泄量とを計算するために用いられるモデルの概要が記述されている。

ここで気をつけなければならないのは、生物学的な過程を詳細に記述することがモデルの目的ではなく、実効線量に支配的に関与するコンパートメントにおける長期間の残留を比較的容易な数学的操作によって予測するためにモデルが開発されていると言うことである。従って、摂取直後の初期段階における排泄量などの信頼できる推定値が、これらのモデルを用いて得られることを期待してはならない。

図1は、放射性核種の摂取経路、体内での移行過程そして排泄経路の概要を図式化したものである。摂取経路には、吸入、経口、経皮および創傷侵入が考えられている。

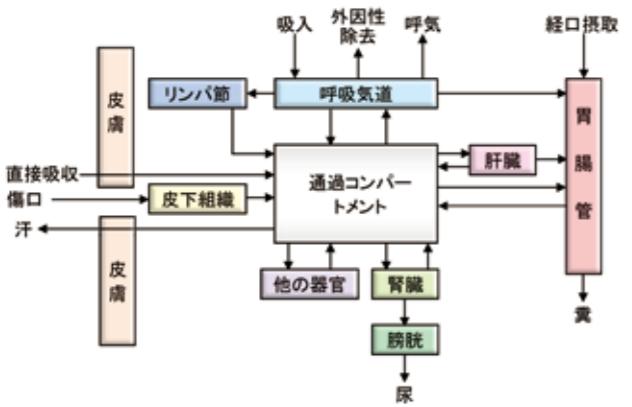


図1：放射性核種の動態を表すために使用する一般的なモデル

このうち本刊行物では、吸入と経口摂取が扱われ、さらに参考として通過コンパートメントへの直接注入（静脈注射）の場合の計算結果も与えられている。

吸入摂取は、呼吸に伴い空気が気道内を往復する過程において放射性粒子が気道壁に沈着することにより始まる。気道壁に沈着した物質は、時間が経つと、あるものは気道壁から吸収され、血管を透過して血中に入り、血流に乗って他の組織へと運ばれる。他のあるものは、気道壁の粘液纖毛運動によって口の方へ運ばれ、胃腸管へ飲み込まれる。またわずかではあるが、リンパ液の流れに乗りリンパ節へ運ばれるものもある。こうした吸入摂取を扱うモデルは ICRP Publication 66<sup>9)</sup> に記述されており、その概要は既に本シリーズにおいて紹介された<sup>10)</sup>。

胃腸管へは、食物あるいは飲料の経口摂取により直接到達するか、あるいは上述のように気道壁の粘液纖毛運動によって気道壁沈着物質が口の方へ運ばれ、胃腸管へ飲み込まれることにより到達する。また、組織系に移行した物質の中には胆汁排泄などにより胃腸管に移行するものがある。本刊行物で使用されている経口摂取を扱うモデルは、ICRP Publication 30<sup>11)</sup> に記述されているものである。なお、ICRPは内部被ばく線量評価に用いる新しい消化管モデルを開発し、Publication 100<sup>12)</sup> として刊行した。その新しいモデルおよび本刊行物で用いられており Publication 30 のモデルの概要は、本誌の先月号において紹介されている<sup>13)</sup>。

このように吸入あるいは経口摂取された放射性核種のうちある割合のものは血液に吸収される。血液に吸収された放射性核種のプールとしての細胞外液は通過コンパートメントと呼ばれる。このコンパートメントから

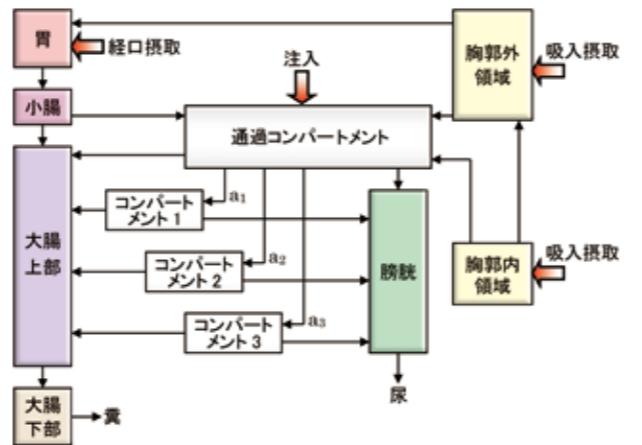


図2：組織コンパートメントから通過コンパートメントへの還流のないモデル。水素、コバルト、ルテニウム、セシウム、カリホルニウムに使用

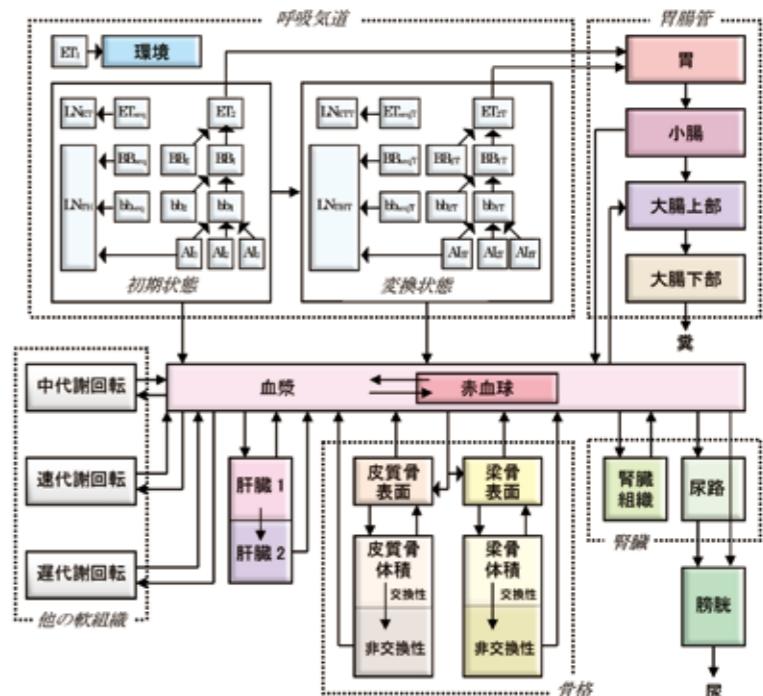
元素	体内動態モデル		糞に対する尿の排泄比
	ICRP Publication	比	
水素	56	a)	
鉄	69	b)	
コバルト	30 part 1	6:1	67
ストロンチウム	67	b)	
ルテニウム	30 part 2	4:1	67
ヨウ素	56	b)	
セシウム	56	4:1	67
ラジウム	67	b)	
トリウム	69	b)	
ウラン	69	b)	
ネプツニウム	67	b)	
プルトニウム	67	b)	
アメリシウム	67	b)	
キュリウム	71	b)	
カリホルニウム	30 part 4	1:1	c)

表1：Publication 78で使用されている体内動態モデルと糞に対する尿の排泄比

a) 排泄経路は体内動態モデルにおいて考慮されていない。  
 b) 排泄経路は体内動態モデルの一部として示されている。  
 c) ICRP刊行物に示されておらず、デフォルト値1:1が使用されている。

つ以上のコンパートメントから成ると仮定された。放射性核種は通過コンパートメントからそれぞれの組織コンパートメントへ、 $a_1$ 、 $a_2$ 等の割合で移行し、そこから  $T_1$ 、 $T_2$  等の半減期で除去されると仮定された。また、数学的操作を容易とするために、各組織コンパートメントから通過コンパートメントへの還流はないものと仮定されている。本刊行物において、このようなモデルが適用されている元素は、水素、コバルト、ルテニウム、セシウム、カリホルニウムである。

身体各組織の構造や生理機能は一生に亘り変化し続ける。このことは骨格において特に顕著である。公衆の構成員を対象とした線量係数を定めるに当たり年齢依存性の体内動態モデルの開発が必要であった。このためには、ヒトでの観察データは限られており、他の動物種における年齢依存データや物質代謝を司る一般的な生理機能に関する知識を編みこむ必要がある。上記の古典的なコンパートメントモデルは、観察データの変化と生理的な変化とを関連付けることができず、体内動態の年齢依存性を表現することはきわめて難しいモデルである。1980年代中ごろより、Leggett 等<sup>14)</sup>、Priest<sup>15)</sup> により向骨性核種に対する年齢依存性線量評価モデルの開発が始められた。そこでは、古典的コンパートメントモデルではなく体内動態の変動に関わる生理学的要因を考慮した生理学的物質動態モデルが検討された。ICRPは Leggett 等のモデルを元に幾つかの元素の年齢依存性の生理学的物質動態モ

図3：呼吸気道モデル、胃腸管モデルと結合された生理学的物質動態モデルの例。  
ストロンチウム、ラジウム、ウランに適用。

モデルを開発し、線量係数および残留率／排泄率の計算に使用した。本刊行物において、このようなモデルが適用されている元素は、鉄、ストロンチウム、ヨウ素、ラジウム、トリウム、ウラン、ネプツニウム、プルトニウム、アメリシウム、キュリウムである。図3に例としてストロンチウム、ラジウムおよびウランに適用されるモデルを示した。

## 残留率／排泄率の計算値

本刊行物の ANNEX には、モニタリング測定結果を  
摂取量あるいは実効線量に置き換えて解釈するために用  
いる残留率／排泄率の計算値が数表およびグラフとし  
て与えられている。対象核種は、<sup>3</sup>H、<sup>59</sup>Fe、<sup>57</sup>Co、<sup>58</sup>Co、  
<sup>60</sup>Co、<sup>85</sup>Sr、<sup>89</sup>Sr、<sup>90</sup>Sr、<sup>106</sup>Ru、<sup>125</sup>I、<sup>129</sup>I、<sup>131</sup>I、<sup>134</sup>Cs、  
<sup>137</sup>Cs、<sup>226</sup>Ra、<sup>228</sup>Ra、<sup>228</sup>Th、<sup>232</sup>Th、<sup>234,235,238</sup>U、<sup>237</sup>Np、  
<sup>238</sup>Pu、<sup>239,240</sup>Pu、<sup>241</sup>Am、<sup>242</sup>Cm、<sup>244</sup>Cm、<sup>252</sup>Cfである。

特殊モニタリングに使用する数表の例を表2に、日常モニタリングに使用する数表の例を表3に示す。ともに1 Bq の  $^{239,240}\text{Pu}$  を一回吸入摂取した場合の肺中放射能、一日当たり尿中／糞中排泄量の値である。これらの表の使い方は次の章で述べる。

グラフとして与えられているのは  $1\text{Bq}$  の放射性核種を一回摂取してから 10000 日までの残留率／排泄率の計算値である。但し、縦軸は刊行物のページ上で 8 柄分が 43 mm の高さに表示されており、グラフ上での数値の読み取りは必ずしも容易とは言えない。

他に計算値として、(i) 1年間で合計 1 Bq を、つまり毎日  $1/365$  Bq ずつを毎日連続的に摂取した場合の残留率／排泄率の平衡値と平衡に達するまでの期間、(ii) 1年間の合計摂取量が預託実効線量 20 mSv を与える放射性核種の量を日割りで毎日連続的に摂取した場合の残留率／排泄率の平衡値が与えられている。

最初に述べたように本刊行物は1988年刊行のPublication 54の全面的改訂版であるが、Publication 54で取り上げられていた核種のうち8元素、9核種について計算値の記載がない。また上述のように掲載グラフも利用者にとってあまり使い易いとは言えない。本刊行物とPublication 54の両方で与えられた全ての核種、およびこれらに加え、<sup>65</sup>Zn、<sup>86</sup>Rb、<sup>141</sup>Ce、<sup>140</sup>Baの4核種について、吸入摂取された放射性核種の残留率／排泄率が計算され、数表およびグラフとして放医研刊行物<sup>16)</sup>に掲

載された。また計算値はデータベース化され、放医研の  
下記ホームページ上

(<http://www.nirs.go.jp:8080/anzendb/RPD/gpmdj.php>) にも公開されており<sup>17)</sup>、自由にアクセスできる。このデータベースにおいて、摂取経路は吸入と経口、評価対象は ICRP の標準作業者と ICRP の勧告する公衆の構成員、吸入摂取の場合の粒子径は、作業者:0.1, 0.3, 1.0, 3.0, 5.0, 10  $\mu$  m、公衆:1.0  $\mu$  m である。表示されるグラフの例を図 4 に示す。1 日から 1000 日までの任意の日数の数値データも表示させることができる。

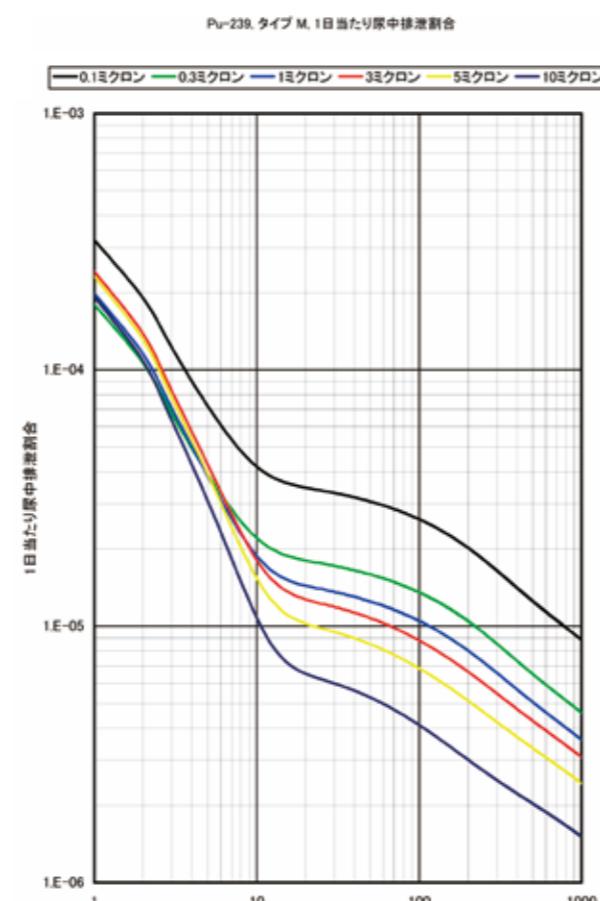


図4：放医研のホームページ上に公開されているグラフの例

## 計算値の使用法

特殊モニタリングあるいは作業関連モニタリングが適用される場合、摂取した可能性のある日時は概ね分かれている。摂取量は表2に示した特殊モニタリングのための数表を用い、次式によって計算することができる。

$$\text{摄取量} = \frac{M}{m(t)}$$

ここで、M はモニタリング測定値、 $m(t)$  はその測定量に対する摂取  $t$  日後の値である。数日間に亘り一連の測定値が得られた場合には、例えば最小二乗フィッティングにより摂取量の最確値を求めることとなる。このよ

$$\text{摄取量} = \frac{M}{m(T/2)}$$

摂取後の時間(日)	タイプM			タイプS		
	肺中放射能	一日あたり尿中排泄量	一日あたり糞中排泄量	肺中排泄量	一日あたり尿中排泄量	一日あたり糞中排泄量
1	5.8E-02	2.3E-04	1.1E-01	6.4E-02	2.3E-06	1.1E-01
2	5.6E-02	1.3E-04	1.5E-01	6.3E-02	1.4E-06	1.6E-01
3	5.5E-02	7.8E-05	8.0E-02	6.2E-02	8.3E-07	8.4E-02
4	5.4E-02	5.3E-05	3.4E-02	6.1E-02	5.9E-07	3.5E-02
5	5.3E-02	3.9E-05	1.3E-02	6.1E-02	4.5E-07	1.4E-02
6	5.3E-02	3.0E-05	5.4E-03	6.0E-02	3.7E-07	5.7E-03
7	5.2E-02	2.4E-05	2.3E-03	6.0E-02	3.1E-07	2.5E-03
8	5.1E-02	2.0E-05	1.2E-03	5.9E-02	2.7E-07	1.3E-03
9	5.0E-02	1.7E-05	7.6E-04	5.8E-02	2.4E-07	8.2E-04
10	5.0E-02	1.5E-05	5.8E-04	5.8E-02	2.3E-07	6.5E-04

表2: ANNEXに与えられた数表の例: 吸入摂取された<sup>239,240</sup>Puの特殊モニタリングに使用

モニタリング間隔(日)	タイプM			タイプS		
	肺中放射能	一日あたり尿中排泄量	一日あたり糞中排泄量	肺中排泄量	一日あたり尿中排泄量	一日あたり糞中排泄量
360	1.2E-02	5.4E-06	1.7E-05	3.2E-02	1.6E-07	3.7E-05
180	2.2E-02	7.1E-06	6.7E-05	3.8E-02	1.6E-07	1.1E-04
120	2.8E-02	8.1E-06	1.3E-04	4.2E-02	1.6E-07	1.9E-04
90	3.3E-02	8.7E-06	1.9E-04	4.5E-02	1.7E-07	2.5E-04
60	3.8E-02	9.5E-06	2.8E-04	4.9E-02	1.7E-07	3.5E-04
30	4.6E-02	1.1E-05	4.3E-04	5.5E-02	1.9E-07	4.9E-04
14	5.2E-02	2.4E-05	2.3E-03	6.0E-02	3.1E-07	2.5E-03
7	5.4E-02	5.3E-05	3.4E-02	6.1E-02	5.9E-07	3.5E-02

表3: ANNEXに与えられた数表の例: 吸入摂取された<sup>239,240</sup>Puの日常モニタリングに使用

ここで、T はモニタリング間隔である。表 3 の日常モニタリングのための数表には、モニタリング間隔が T の時の  $m(T/2)$  の値が与えられている。特殊モニタリングと同様に、このようにして評価された摂取量に Publication 68 の線量係数を乗ずることにより、預託実効線量を評価することができる。

以上のようにして体外計測や排泄物の分析結果から預託実効線量が求められる訳であるが、実際の作業は比較的の煩雑であり、また ICRP の刊行物に記載されているデータは限られている。放医研において、体外計測法等の測定結果から放射性核種の摂取量と預託実効線量とを計算・評価するための「MONDAL」と呼ばれる PC 用ソフトウェアが開発されている<sup>18)</sup>。そこで使用されているモデルは本刊行物や Publication 68 と同じものである。現在は Version 3 まで進んでおり、預託実効線量に加え組織等価線量も求めることができるようになっている。このソフトウェア MONDAL3 は、放医研から CD-ROM により無償で提供されている。参考までにその GUI 画面を図 5 に示す。

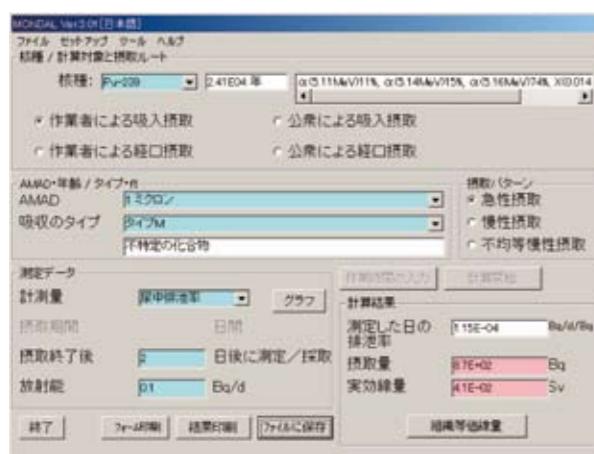


図 5: ソフトウェア MONDAL3

## おわりに

モニタリング測定結果の解釈に関する国際相互比較が EURADOS (ヨーロッパ線量測定グループ)、IAEA などの主催により、ヨーロッパを中心に行われてきた。すなわち、同一の被ばくシナリオとモニタリング測定結果を幾つかの異なる機関に配布し、摂取量と預託実効線量／組織等価線量とを報告させる計画である。回答を寄せたのが専門家といわれる人たちであったにも拘わらず数値は極めて大きく分散していたとのことである。専門家とは言え、モデルの変更や修正に追随できておらず、また ICRP 刊行物に記載された線量係数等とモデルとの関連が正しく理解できていないために、一組のモニタリング測定結果の解釈に当たって旧いモデルと新しいモデルとを混用する例が見られたようである。ICRP ではこうした現状を重要視し、摂取／移行／排泄モデル、線量係数、および本刊行物で扱われている残留率／排泄率の計算値を一冊に集めた刊行物を準備中である。さらに、その刊行物の記述内容が誤解無く使用されるよう、実例を含むガイドラインドキュメントも準備している。ここ 1、2 年のうちに刊行される予定であり、それらを紹介する機会もまた訪れるかも知れない。

## 参考文献

- ICRP : ICRP Publication 12 "General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers - A Report by Committee 4 of the International Commission on Radiological Protection", Pergamon Press, Oxford, 1969.
- ICRP : ICRP Publication 35 "General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers", Ann. ICRP 9 (4), 1982.
- ICRP : ICRP Publication 75 "General Principles for the Radiation Protection of Workers", Ann. ICRP 27 (2), 1997.
- ICRP : ICRP Publication 78 "Individual Monitoring for Internal Exposure for Workers", Ann. ICRP 27 (3/4), 1997.
- ICRP : ICRP Publication 54 "Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: Design and Interpretation", Ann. ICRP 19 (1-3), 1988.
- ICRP : ICRP Publication 68 "Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers", Ann. ICRP 24 (4), 1994.
- IAEA : Safety Series No. 114 "Direct Methods for Measuring Radionuclides in the Human Body", IAEA, Vienna, 1996.
- IAEA : Safety Reports Series No. 18 "Indirect Methods for Assessing Intakes of Radionuclides Causing Occupational Exposure", IAEA, Vienna, 2000.
- ICRP : ICRP Publication 66 "Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection", Ann. ICRP 24 (1-3), 1994.
- 石榑信人 : ICRP の線量係数とそれらの関連報告書の紹介 5. 呼吸気道モデル, 放射線科学, 49 (10), 361-368, 2006.
- ICRP : ICRP Publication 30 Part 1 "Limits for Intakes of Radionuclides by Workers", Ann. ICRP 2 (3/4), 1979.
- ICRP : ICRP Publication 100 "Human Alimentary Tract Model for Radiological Protection", Ann. ICRP 36 (1/2), 2006.
- 稲葉次郎 : ICRP の線量係数とそれらの関連報告書の紹介 8. 人消化管モデル, 放射線科学, 50 (3), 132-138, 2007.
- Leggett, R. W. and Eckerman, K. F. : A Model for the Age-Dependent Skeletal Retention of Plutonium. In: Radiation Risk Protection (Kaul, A. et al., Eds) Vol.1, pp.454-457, 1984.
- Priest, N. D. : An Age-Related Model for the Dosimetry of Alpha-Emitting, Bone-Surface-Seeking Radionuclides in Man. In: Age-related Factors in Radionuclide Metabolism and Dosimetry (Gerber, G. B. et al., Eds) pp.183-191, 1987.
- Ishigure, N. : "Monitoring Data for Intake of Radionuclides - Acute Intake by Inhalation", [ISBN 4-938987-06-6], National Institute of Radiological Sciences, 1999.
- Ishigure, N., Nakano, T., Matsumoto, M. and Enomoto, H. : Database of Calculated Values of Retention and Excretion for Members of the Public Following Acute Intake of Radionuclides. Radiat. Protection Dosimetry, 105, 311-316, 2003.
- Ishigure, N., Matsumoto, M., Nakano, T. and Enomoto, H. : Development of Software for Internal Dose Calculation from Bioassay Measurements. Radiat. Protect. Dosimetry, 109, 235-242, 2004.

## 川島芳子と尾崎秀実

——市川龍資——

清朝の王族肅親王の第14王女顯珍は日本名を川島芳子といい、1932年上海事変が起った頃は上海において活躍していた。彼女が閑東軍に協力していたのは、おそらく清朝の再建を目的としたものと思われる。上海事変のきっかけとなった日本人殺害計画にも関与したそうである。天津に残っていた皇后婉容が躊躇するのを躊躇として無理矢理車のトランクに押込み脱出させるという離れ業を演じたエピソードが有名である。驚くべき精神力と実行力を備えていた女性と思われる。

作家村松友視の祖父村松梢風の書いた「燃える上海」という著作の中で、梢風が川島芳子を初めて見たときの印象を次のように書いているという。「…自動車が停っていた。運転台には一人の美少年がいた。折襟、バンド付きの洒落た服を着て、紺ラシャの学生帽に似た金モールの華美な徽章をつけた帽子を冠っているその少年の顔は、白い牡丹の花びらのような色で、まっ黒い服や形のいい鼻や口許が素晴らしい魅力的だった…」

日本の敗戦により彼女は悲惨な運命をたどることになるが、彼女と同時代に上海で活躍していた尾崎秀実も終戦を目前にしながら死刑になるという悲運の人だった。尾崎秀実については以前（本誌38巻12号1995）に「愛情は降る星の如く」という題で少し書いたことがある。この題名は彼が獄中から妻と一人娘の楊子さんに送りつけた200通を越える書簡某が1947年に出版されたときの名である。

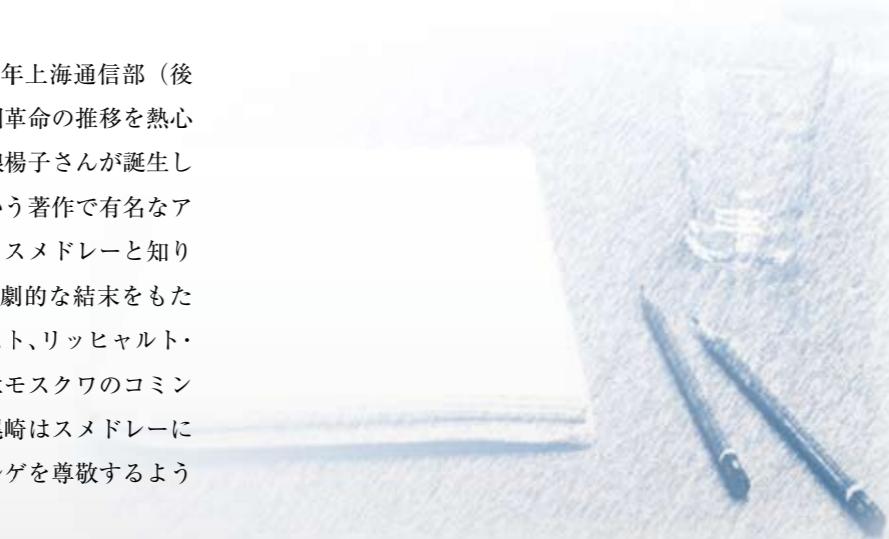
大阪朝日新聞社にいた彼は1928年上海通信部（後の上海支局）に派遣された。彼は中国革命の推移を熱心に調べたそうである。翌年春に一人娘楊子さんが誕生した。その頃「女一人大地に行く」という著作で有名なアメリカのジャーナリスト、アグネス・スメドレーと知り合う。1930年には尾崎の人生に悲劇的な結末をもたらすことになるドイツのジャーナリスト、リッヒャルト・ゾルゲが上海にやって来た。ゾルゲはモスクワのコミニテルン本部の優秀なスパイだった。尾崎はスメドレーに紹介されてゾルゲに会い、次第にゾルゲを尊敬するよう

になったという。ゾルゲは日本の北満やシベリアに対する政策を尾崎から聞き出すことに努力したそうである。尾崎は近衛文麿首相の側近としてブレーンの働きをするようになっていたからである。どうして尾崎秀実がゾルゲに協力するようになったのか、ぼくにはよくわからないが、戦争末期の1941年秋ゾルゲも尾崎とともに検挙され、1944年死刑になった。

「愛情は降る星の如く」はベストセラーになり、涙なくして読めないという評判だった。ぼくももちろん読んだ記憶がある。昭和18年正月に書かれた手紙には、彼が一人娘の成長を祝つてつくった俳句が入っていた。「めでたさは楊子十五の春なれや」この句には誰しもが涙を誘われたことであろう。

その頃ぼくが在学していた東京府立第十五中学校は、旧青山師範の古い校舎の半分を使っており、あと半分を府立第十九高等女学校が使っていた。尾崎楊子さんはこの第十九高女にいた。同じ時期のことである。このことを前述の拙文（本誌）に書いたところ、それを読んだ塙本ルリ子さん（放医研第二代所長塙本憲甫先生のお嬢さん）から手紙をもらった。そこには、ルリ子さんが尾崎楊子さんと小学校の同級生であり、その後も親交があること、楊子さんが、あの頃は本当につらかったと述懐されていたことが書かれていた。

ICHIKAWA RYUSHI (元放医研科学研究官)



編集後言

新装「放射線科学」の第1号をお届けいたします。理事長の巻頭言にも紹介されているように、本誌は放医研の機関誌として再出発することになり、新たに組織された編集委員会のもとで編集を行っています。最先端の研究成果の紹介をしたい、これを支える技術も紹介したい、外国からの研究者を通じて国際連携についても触れたい、そして放医研の将来を語りたい…。盛り込みたい内容は山ほどありますが、毎月の締切りという現実を考えなければならないのがつらいところです。

編集作業を進める中で、多くのご意見をうかがいました。改めて「放射線科学」の40年という歴史と伝統の重みを感じています。これまでの歩みを受け継ぎながら、新たな試みを加えて、放医研の活動を内外に広くアピールする誌面作りを目指したいと考えています。読者の皆様の、御意見、御要望を事務局までお寄せください。もちろん、寄稿も歓迎いたします。

次号予告

## 特集「幹細胞」

高橋千太郎 理事  
立野 知世 広島県産業科学技術研究所  
安倍 真澄 重粒子医科学センター  
森 雅彦 放射線防護研究センター

〈最近の成果〉「SPF近交系マウスの解剖学的特性」  
上野 渉 基盤技術センター

## 《編集委員会》

委員長 酒井 一夫	金澤 光隆	石井 伸昌
委員 福村 明史	小橋 元	立崎 英夫
白川 芳幸	高田 真志	鈴木 敏和
津浦 伸次	菊池 達矢	杉森 祐樹
加藤 博敏	長谷川純崇	
事務局 近江谷敏信	神田 玲子	

## 放射線科学

## 第50巻第4号

2007年4月15日発行

## 《編集・発行》

独立行政法人 放射線医学総合研究所  
〒263-8555 千葉市稻毛区穴川4-9-1  
電話 043(206)3026 代表 Fax.043(206)4062 Eメール info@nirs.go.jp

(禁無断転載)



<http://www.nirs.go.jp>