



## 特集

第17回 放医研 公開講座

## 放射線のリスク・宇宙の放射線・重粒子線がん治療

## 最近の成果

- バナデート: p53依存性アポトーシス制御による新しいタイプの放射線防護剤
- 緊急被ばく医療標準カルテの紹介
- REMAT(緊急被ばく医療支援チーム)線量評価班のキエフ訓練



▲ 第17回放医研公開講座は、2010年9月17日、千葉市美術館にて「放射線のリスク・宇宙の放射線・重粒子線がん治療」とのテーマで開催しました。写真は講演中の会場の様子です。3名の演者により分かり易い内容の講演があり、会場が満席になる123名と多くの皆さんにご参加頂き盛会の内に終了しました。



▲ 公開講座の会場となった千葉市美術館



▲ 公開講座で公演中の神田チームリーダー（左）、内堀室長（中央）、今田医師（右）



新治療研究棟の前の緑地に咲いているツワブキの花

## Contents

特集 / 【第17回放医研 公開講座】

### 放射線のリスク・宇宙の放射線・重粒子線がん治療

#### 04 リスク学事始め～放射線を正しく怖がる～

放射線防護研究センター 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 神田 玲子

#### 07 宇宙における放射線 -人類の新たな放射線環境への挑戦-

基盤技術センター 研究基盤技術部  
放射線計測技術開発室 内堀 幸夫

#### 11 消化器がんに対する重粒子線治療 -肝臓がんを中心に-

重粒子医科学センター病院 今田 浩史  
重粒子医科学センター病院  
安田 茂雄、山田 滋、篠藤 誠、大西 和彦、鎌田 正、辻井 博彦

#### 最近の成果

#### 15 バナデート:p53依存性アポトーシス制御による 新しいタイプの放射線防護剤

放射線防護研究センター 生体影響機構研究グループ 田中 薫、王 冰  
東京理科大学 理工学部 応用生物科学科 森田 明典、池北 雅彦

#### 最近の成果

#### 20 緊急被ばく医療標準カルテの紹介

緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部 障害診断室 富永 隆子  
(平成22年2月よりIAEA Incident and Emergency Centreに派遣)  
緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部 障害治療室 蜂谷 みさを  
緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部 障害診断室 立崎 英夫  
緊急被ばく医療研究センター 明石 真言

#### 最近の成果

#### 23 REMAT(緊急被ばく医療支援チーム) 線量評価班のキエフ訓練

緊急被ばく医療研究センター 被ばく線量評価部  
外部被ばく評価室/REMAT線量評価 鈴木 敏和

#### 28 お知らせ1 放医研 第5回放射線防護研究センターシンポジウム 「放射線防護における規制科学研究とその展望」

お知らせ2 放医研 第10回重粒子医科学センターシンポジウム  
重粒子線がん治療と先進技術に関する国際シンポジウム

#### 30 随想 市川 龍資

#### 31 編集後記

特集 / 【第17回放射医研 公開講座】放射線のリスク・宇宙の放射線・重粒子線がん治療

リスク学事始め～放射線を正しく怖がる～

How to judge radiation risk reasonably

放射線防護研究センター 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 チームリーダー  
神田 玲子



神田 玲子 (Reiko Kanda)

はじめに

「放射線を正しく怖がる」は、著名な物理学者であり、随筆家でもあった寺田寅彦先生の言葉をもじってつけた副題です。寺田先生は、滞在先の軽井沢で浅間山の噴火に遭遇した際、噴火しても登山を続ける一団や全く無頓着な学生を目にして、「ものをこわがらな過ぎたり、こわがり過ぎたりするのはやさしいが、正当にこわがることはなかなかむづかしい」と書き記しています(「小爆発2件」より)。

噴火や地震などの災害、交通事故、あるいは食中毒など私達の日常生活を取り巻くリスクは数え切れないほどあります。その中には自分でリスクを許容するか、あるいは回避するかの判断をせまられる場面もあります。

例えば、飛行機に乗ると言うことは、飛行機事故のリスクを許容することです。予防接種を受けるということはその副作用のリスクを許容することです。逆に予防接種を受けないということは、予防できるはずの感染症に罹るリスクを許容することです。上記の例のように、噴火によるリスクを許容して登山するということは「こわがらな過ぎる」、つまりは回避すべきリスクを許容したといえるでしょう。

では、放射線をはじめ、日常生活のリスクを正當に怖がり、適切に許容する、あるいは回避するにはどうしたらいいか多くの方が無意識に行っている判断行為を振り返りながら、より科学的な判断をするのに役に立つリスク情報をお伝えしたいと思います。

身の回りのリスク

リスクとは、「人間の生命や経済活動にとって、望ましくない事象の発生確率およびその結果の大きさの程度」のことです。最近では、家族関係や家計に関する望ましくない事象についても、家族リスク、家計リスクと呼ぶことがありますが、本稿では、リスクの大きさの推計が比較的シンプルな環境・健康リスクや事故・犯罪・災害リスクについて扱います。

(身の回りのリスクの例)

- ・地球温暖化など地球規模の環境問題
- ・化学物質による健康被害
- ・原子力施設などの放射能汚染被害
- ・地震、台風など自然災害の被災
- ・大気汚染、騒音などの公害
- ・火災による被害
- ・飲み水の安全性の低下
- ・食品の安全性の低下

リスクの大きさ

上記のようなリスクのうち、事故や災害、犯罪のリスクの大きさは、統計データから推定され、主に死亡率で表現されます。

たとえば、2004年には、林業の労働災害により亡くなった方が69名いました。当該労働者数は86,486名ですので、林業の労働災害リスクは $69/86,486 = 8 \times 10^{-4}$ と求められます。また殺人で年間1419人が亡くなっていますので(2004年のデータ)、これを日本の全人口で除して、殺人のリスクは、 $1,419/127,776 \times 10^3 = 1 \times 10^{-5}$ と推定されます。航空機事故や原子炉事故のように大変まれな事象の場合、年毎に集計すると推定値が大きくなります。また推定されたリスクは、国や時代により変化します。

放射線や化学物質による健康被害は、その量によって影響の種類や大きさが変わります。そのため生体が受ける量をまずは推定し、その量に応じたリスクを推定します。また死亡率では表現できないリスクもあります。私たちが受ける放射線の量について図にまとめてみました(図1)。

放射線の量は、物理的な量、防護の目的で使われる量など数種類もあって大変理解しにくく、専門家でも混同しがちです。それでも、以下のことを覚えておくと、病院などで放射線検査の説明を聞く際の助けになります。

・Gy(グレイ)：物質が受けたエネルギー量を表す単位

- ・Sv(シーベルト)：がんや遺伝的影響のリスクに応じて重み付けされた線量の単位
- ・X線やγ線では、1Gy = 1Sv
- ・日常生活で受ける放射線は少量なので、mGy(1Gyの1/1000)やmSv(1Svの1/1000)で表わされる

放射線のリスク

放射線の生体影響は、皮膚障害や不妊、白内障のように、比較的高い線量を被ばくしたことで生じる確定的影響と、がん・白血病や遺伝性影響といった低線量でも生じる可能性がある確率的影響の2つに大別できます。

確定的影響の特徴は、被ばく量がある値を超えるとでてくるということです。この値を「しきい値」と言います。これまで知られているしきい値の最小値は100mGyです。日常生活で受ける放射線で100mGyを超えることはほとんどなく、確定的影響のリスクはないということが出来ます(表1)。

一方、確率的影響は、100mGy以下の低線量でも発生することが否定できない影響であり、しきい値がないと考えられています。発がんや、被ばくしたヒトの子孫にあらわれる遺伝性影響が含まれますが、遺伝性影響については、これまでヒトでは観察されていません。以上のことから、日常生活での放射線のリスク

といえば発がんの増加と考えていいでしょう。

原爆被爆者のデータから、生涯にがんが死亡する確率は、全身被ばく1Svあたりでおよそ5%増加すると推定されています(低線量の場合)。疫学研究からは100mSv以下のリスクの増加については確認できていないため、世界中で低線量によるがんリスクの疫学調査が行われています。また国際放射線防護委員会は、胎児や小児の被ばくによるがんリスクは、集団全体でのがんリスクに比べて最大で約3倍高いと評価しています。

リスクに基づく判断

このようにリスクを数値化すると、安全・危険の境界があって、それ以下なら安全で、逆に超えると危険であると考えがちです。またリスクがゼロではない=危険と考える方もいるかもしれませんが。大まかの目安として、許容できるリスクのレベル(年間死亡率)は、職業リスクの場合1人/1000人( $10^{-3}$ )以下、日常生活リスクでは1人/100000人( $10^{-5}$ )以下であると言われてしています。しかしこうした数値などで安全・危険の境界を固定する考え方は、昨今の複雑なリスク社会にはあまり合致しません。いくつか個別の事例を考えながら、リスクと折り合うための考え方について整理してみます。

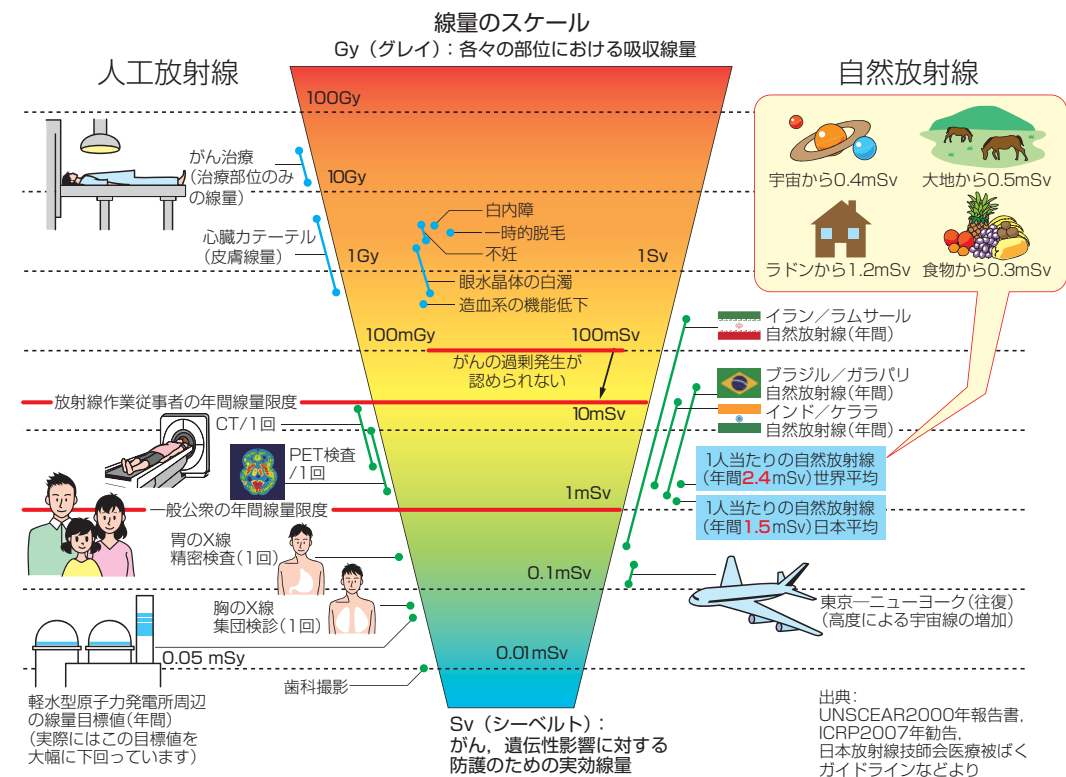


図1:日常生活で受けている放射線

表1: 確定的影響を生じる最小の放射線量(しきい値)

影響	臓器/組織	影響発現時間	しきい値(Gy)
一時的不妊	精巣	3~9週間	~0.1
永久不妊	精巣	3週間	~6
	卵巣	<1週間	~3
造血系の機能低下	骨髄	3~7日	~0.5
皮膚発赤	皮膚(広い部位)	1~4週間	3~6
皮膚の火傷	皮膚(広い部位)	2~3週間	5~10
一時的脱毛	皮膚	2~3週間	~4
白内障(視力障害)	眼	数年	~1.5

例1: 自然発生によるがんリスクと比べる

日本人の30%ががんで死亡しています。よって、日本人一人あたりの平均がんリスクは30%であると仮定し、このベースラインと放射線誘発によるがん死亡率を比較してみます。生涯にがんで死亡する確率は、全身被ばく1mSvあたりでおよそ0.005%増加すると推定されています(低線量の場合)ので、0.06mGy相当の胸部X線検査を受けると、患者個人のがんリスクが30%から30.0003%に増加する(ほとんど増加しない)ことになりますし、10mGy相当のCT検査を受けると30.05%まで増加します(図2)。

例2: リスクとベネフィットを比較する

では10mGy相当のCT検査は危険で、0.06mGyの胸部X線検査は安全といえるのでしょうか。CT検査によりがんが見つかり、早期の段階で治療をできれば、がんリスクを逆に下げることができます。

自動車による死亡事故が日常化している、多くの人が自動車を利用するのは、リスクを上回るベネフィットがあると個人が判断しているからです。

予防接種の副作用を気にするお母さんも多くいますが、その副作用のリスクが、感染症を予防するという

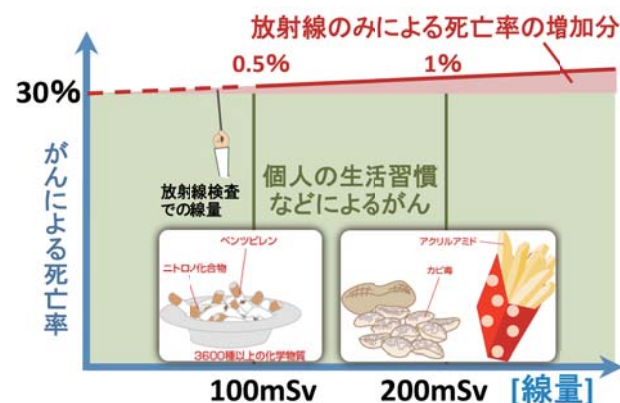


図2: 放射線によるがんの増加

ベネフィットに比べてどうかを判断する必要があります。別の言い方をすると、予防接種をしないことで感染症に罹るリスクと予防接種をすることのリスクを比較するという事です。

例3: 変化するリスクとベネフィット

平成17年5月、日本脳炎のワクチンで、急性散在性脳脊髄炎という重い副反応がでることにより、国は積極的な接種推奨を控えることにしました。しかし昨年からは低リスクのワクチンを使うようになり、再び積極的推奨に戻りました。

また昔は小中学校で行われていたツベルクリンやBCG、胸部X線検査は、現在問診票によって結核感染が疑われる例のみ精密検査をするという方法に変更になりました。これは日本での結核罹患率の減少に伴い、予防接種や検査のメリットが少なくなり、検査の費用やリスクと見合わなくなったことによります。

このように、リスクとベネフィットのバランスは時代や地域によって変わります。

最後に...

個々のリスクのおおよその大きさを知ることは、正しく怖がることに役立ちます。さらにリスク同士あるいはリスクとベネフィットの比較に基づく合理的な判断により、ある程度のリスクは許容できるようになります。

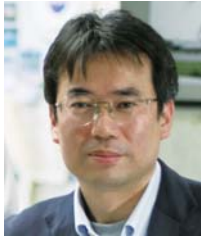
しかし他のリスクは許容できても、放射線に関してはゼロリスクを要求したり、健康人目線では許容できていた低リスクが、患者になったとたん許容できなくなることもあります。

受け手の価値観や個人や社会の状況などによっても左右されるこうした主観的リスクと客観的リスクの差異を、一人一人が意識することから、リスクとの新たな付き合いが始まると思います。

特集 / 第17回放射線公開講座「放射線・宇宙の放射線・重粒子線がん治療」

「宇宙における放射線」

—人類の新たな放射線環境への挑戦—  
Space Radiation in Low Earth Orbit



内堀 幸夫 (Yukio Uchihori)

基盤技術センター 研究基盤技術部  
放射線計測技術開発室 室長  
内堀 幸夫

宇宙を飛び回る宇宙線

地上においても宇宙線(宇宙からやってくる放射線)が常に降り注いでいます。皆さんの手のひらの広さに、1秒間に数個の宇宙線が通過します。これらの宇宙線のほとんどがミューオンと電子とよばれる素粒子です。宇宙からやってきた高エネルギーの陽子や重イオンが空気とぶつかってバラバラに空気中の窒素や酸素等を壊し、様々な素粒子(2次宇宙線といいます。)を発生させます。地上の空気の層はとて厚い(放射線にとっては水の厚さで10mに相当する。)ので、これらの素粒子は地上に到達する前に寿命が尽きて別の

素粒子に変わるか、エネルギーを失って大気に吸収されますが、寿命が長くて、かつ、あまり物質と反応しないミューオンやガンマ線(とそれが変化した電子)が地表近くまで到達します。

一方、宇宙ではこのような空気がありませんので、高いエネルギーを持った陽子や重イオン等の宇宙線は国際宇宙ステーション等の宇宙船に直接飛び込みます。また、これらの宇宙船の壁と反応して2次宇宙線を発生させることもあります。これらの1次宇宙線や2次宇宙線が宇宙飛行士を被ばくさせるのです。

国際宇宙ステーションが飛ぶ高度(350~400km)

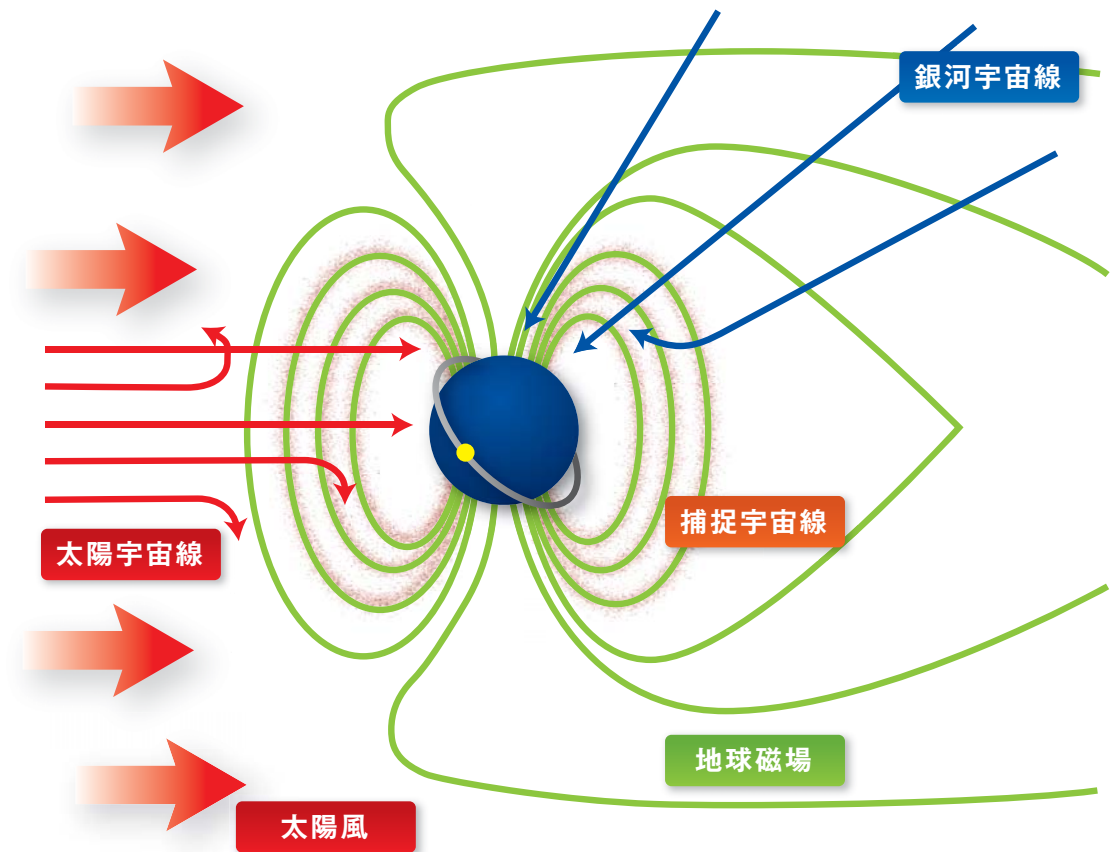


図1: 地球の近傍における宇宙線環境 (出典: 宇宙航空研究開発機構 JAXA ホームページなどを参考に制作)

では、宇宙線の源は主に3種類あります。まず、銀河系内の特別な天体（超新星残骸等）からやってくると考えられている“銀河宇宙線”は陽子や重イオンからなり、常時、宇宙船内に飛び込んでいます。次に、銀河宇宙線等が空気と反応して発生した陽子や電子が地球の磁場に捕まってヴァンアレン帯とよばれる放射線の強い領域を作っています。この“捕捉宇宙線”はブラジル上空で宇宙船の軌道高度まで下がっていて、宇宙船がこの領域を通過するたびに、陽子線の数が増加します。最後に、太陽の爆発現象（コロナ質量放出、CME）に伴って発生する“太陽宇宙線”が時おり発生します。（図1）これらは、太陽活動や飛翔体の高度によって強度が変化します。太陽の活動は11年周期で増減を繰り返して、この原稿を書いている2010年は活動が極小から極大へ向かう途中にありますが、今回の周期はこれまでの傾向と異なり、少し太陽活動が弱いようです。太陽の活動が

活発だと、太陽風というプラズマが太陽系の惑星空間に放出されます。これらのプラズマは磁場を伴い、銀河宇宙線を妨げるため、極大期には10-20%程度、銀河宇宙線が減ります。なお、太陽プラズマ自体はエネルギーが低く、放射線としての影響はありませんので、太陽活動が活発なところは宇宙放射線（宇宙線と宇宙放射線という言葉が出てきますが、放射線としての振る舞いを考えるときには宇宙放射線とよぶことにします。）の影響が一番少なくなります。一方、太陽宇宙線の源であるCMEは太陽活動が活発な頃に比較的多く発生します。CMEの発生強度や領域により異なりますが、太陽宇宙線は数十分から十数時間続きます。ですので、太陽活動の低い時期は、平均的には宇宙放射線の影響は小さいのですが、CMEに伴い突然放射線が増えることがあり、数十年に渡る観測の間に非常に大きな線量の増加が数度検出されています。

### 宇宙放射線にさらされる宇宙飛行士

国際宇宙ステーションで活動する宇宙飛行士は、飛翔体の壁によって、低いエネルギーの宇宙線からは守られていますが、高いエネルギーの宇宙線、あるいは、船壁で発生する2次宇宙線を妨げる方法はありません。さらには、船外活動時には、船外スーツを着用しますが、低いエネルギーの宇宙線しか止めることができません。

宇宙船内の中でのエネルギースペクトラム（強度分布）は、図2のような両対数グラフで書くことができます。

これらの放射線により、宇宙船内では地上よりも100倍程度高い放射線（1日あたり0.5~0.8ミリシーベルト、高度や太陽活動により変動）に曝されています。また、生物学的には、宇宙放射線の中には地上にはほとんど存在しない高いLET（長さあたりに落とすエネルギーの大きさ）を持つ重イオンが存在し、DNAの2重らせん構造をズブズバに切り裂き、深刻な損傷を与えることとなり、修復が困難になります。結果として、細胞の致死あるいは修復の不良のためのがん化が起きる可能性がでてきます。

現在、放射線によるがん治療の一つとして粒子線がん治療が、放射線医学総合研究所（放医研）等の機関において実施されています。陽子や炭素イオンビームによって腫瘍細胞を攻撃することで、一般的な放射線では治りにくい種類のがんも治療する事が可能になっています。これらの研究から陽子や炭素イオンを照射された細胞の応答についての知識が増えていますが、宇宙放射線として存在する鉄など非常に高LETの重イオンの影響について、現在も新たな知見が得られているところです。

さらに、月面基地や火星探査が、NASAやJAXAにおいて計画されていますが、月には空気が無く、磁場も無いので、もちろん地球とも、国際宇宙ステーションとも宇宙放射線環境は異なり、特に、太陽宇宙線の影響が大きいと考えられます。また、火星探査の場合にも、火星の磁場が弱いこと、また、空気が薄いことから厳しい放射線環境と推定されています。宇宙放射線を遮蔽するために大量の材料を宇宙船で運ぶことはできませんので、地下に居住空間を作る事が計画されています。火星への往復には、短くても18ヶ月程度かかり、その間の長期間にわたる宇宙放射線被ばく、さらに、CMEが発生した場合の対策も議論されているところです。

### 宇宙放射線と放医研

先にも述べたように、宇宙放射線、特に、重イオンや2次宇宙線である高いエネルギーの中性子は、地上の自然環境には存在しない放射線であり、その影響について、まだ、十分な知識を人類は持っていません。現在、宇宙放射線を模擬するために、素粒子研究やがん治療に利用されている高エネルギー粒子線加速器によって発生させた陽子線や重イオン線を利用して研究が進められています。特に生物学的な影響が大きな重イオンについての研究は、米国ブルックヘブン国立研究所（BNL）にあるNASAが建設した施設（NSRL）、ドイツの重イオン研究所（GSI）の施設と放医研のHIMACと世界で3カ所です。そのために、世界中の研究者が放医研に滞在し、HIMACを利用して実験を行っています。HIMACでは研究者が実験しやすいようにサポート体制が充実していることと、医療用加速器のためにとっても安定な運転が行われていることが大きな理由のようですが、放医研が成田空港から近くアクセスしやすいこと、日本の料理が世界的に高い評価を受けていることも理由かもしれません。

いずれにしろ、米国や欧州のたくさんの研究者が、がん治療が行われていない真夜中や週末に、重イオンビームを利用した、物理工学及び生物学実験を行っています。例えば、宇宙放射線検出器の校正実験が実施され、検出器の開発・改良にも役立っています。また、世界各国の宇宙機関が国際宇宙ステーション等で使用している宇宙放射線検出器の比較・校正実験（ICCHIBANプロジェクト）も放医研を中心として組織・実施され13ヶ国21機関が参加しています。（図3）これらの一連の実験により、数々の問題点も明らかになり改良がなされ、検出器の信頼性が向上し、さらに標準化が進んでいます。JAXAが開発したPADLESという検出器もHIMACにおいて校正実験が行われ、信頼性が証明されました。

さらに、生物学実験も、DNA、遺伝子、細胞のレベルからマウス、ラット、メダカ等の個体を対象とした実験が行われています。特に宇宙環境を模擬するために、長時間低線量率の照射実験等で、他には例のない研究成果が得られています。次の世代への影響など、時間がかかりますが、重要な研究も課題として残っています。

放医研では、前述のHIMACだけではなく、陽子を数マイクロメートルの位置精度でコントロールし

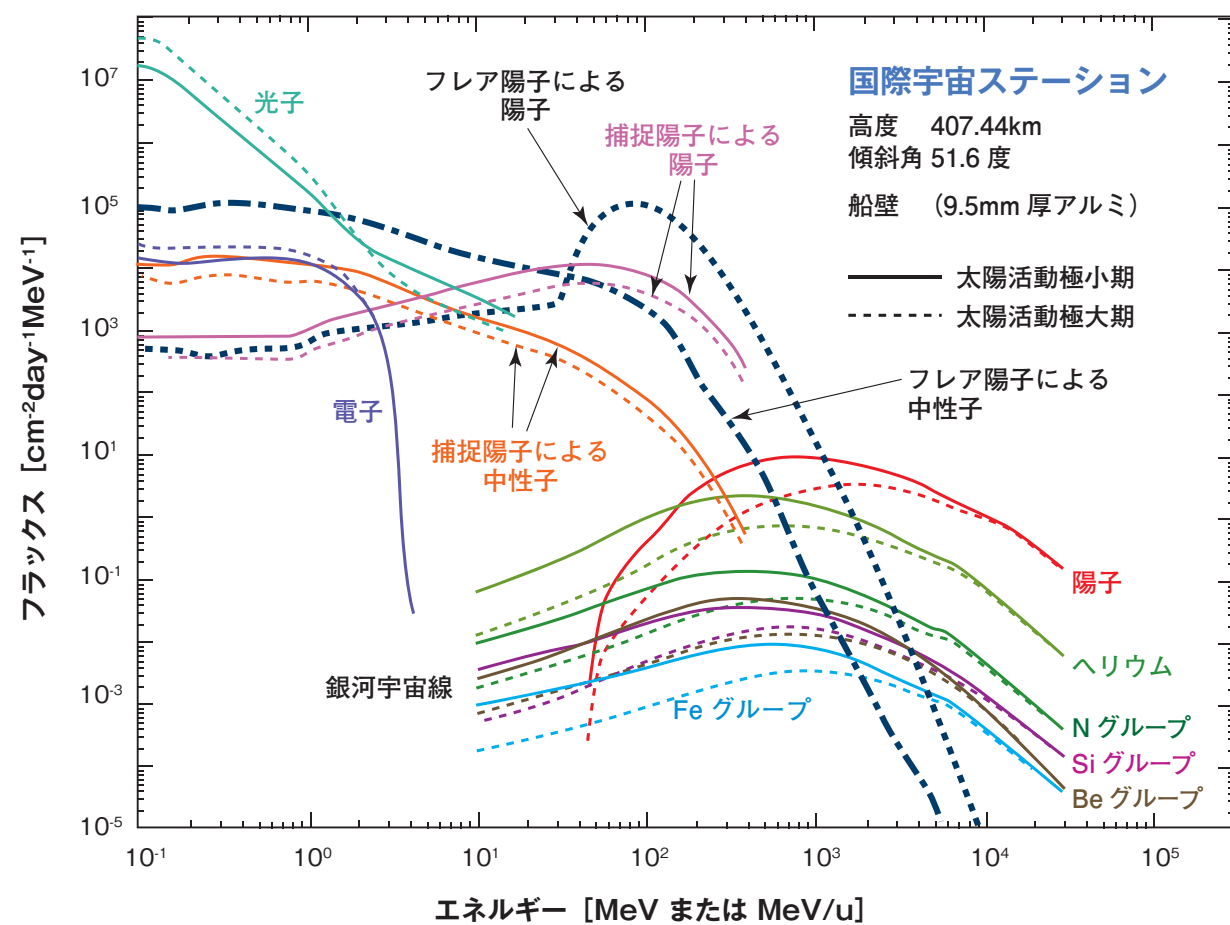


図2: 国際宇宙ステーションの中における宇宙放射線のエネルギー強度分布。  
（宇宙開発事業団有人サポート委員会宇宙放射線被曝管理分科会報告書 平成13年12月より引用）

て、個々の細胞に照射可能なマイクロビーム施設 (SPICE) や中エネルギーの中性子を SPF (特定の病原菌がない) 環境で照射できる施設 (NASBEE) 等、世界的見ても特徴的な放射線照射施設における研究が進んでいます。例えば、照射していない細胞が近隣の照射された細胞から何らかの信号を受け取って照射された細胞と同様の生物効果を示す現象や、事前に低線量(率)で高LET粒子を細胞に照射するとそれに引き続く高線量のX線に対する細胞応答が異なる現象が観測されており、宇宙放射線のリスクを見積もる上で、重要な成果が次々に得られています。

終わりに…

宇宙放射線環境は、地上とは全く異なる放射線環境で、まだ、十分な知見を人類は持っていません。しかし、今後、宇宙開発は進み、月面基地や地球軌道上の宇宙ホテルの建設も近い未来に実現できるかもしれません。すなわち、一握りの宇宙飛行士だけでなく、一般の旅行者も宇宙旅行を楽しむ時代が近づいています。宇宙放射線による影響・リスクを正確に理解して、正しく宇宙放射線を怖がることのできるよう、世界中の英知を集めてこれらのチャレンジングな研究を進めていきたいと考えています。



図3: ICCHIBANプロジェクトにおいて集められた検出器(上図)とNASAの検出器への照射準備の様子(下図)

特集 / 第17回放射線公開講座「放射線のリスク・宇宙の放射線・重粒子線がん治療」

消化器がんに対する重粒子線治療

— 肝臓がんを中心に —

Carbon ion radiotherapy for liver cancer



今田 浩史 (Hiroshi Imada)

重粒子医学センター病院 医師

今田 浩史

重粒子医学センター病院

安田 茂雄、山田 滋、篠藤 誠、大西 和彦、鎌田 正、辻井 博彦

はじめに

本邦での部位別がん死亡数(2007年)における消化器がんの占める割合は男性では54%、女性では53%となっており、男女ともに50%を超えています。当院では、消化器がんのうち、先進医療として肝細胞がん、直腸がん術後骨盤内再発、臨床試験として食道がん、大腸がん肝転移、膵がんを対象として重粒子線治療を提供しています。当院における重粒子線治療では炭素イオン線を用いており、シンクロトロンで光速の約80%まで加速したものを照射しています。入射された重粒子線はブラッグピーク(図1)と呼ばれる高線量のピークを形成し、線量が表面で少なく体内深部

で大きくなることにより線量集中性に優れ、がんへの選択的照射治療が可能となっています。本稿では部位別がん死亡数で第4位となっている肝臓がんスポットをあて、疫学、各種治療法、重粒子線治療の治療成績やその特性について述べます。

肝臓がんの疫学

第18回全国原発性肝臓がん追跡調査報告(2004~2005年)によると、原発性肝臓がんのうち94%を肝細胞がんが占めます。肝細胞がんは肝細胞由来の上皮性悪性腫瘍であり、その原因として、C型肝炎ウイルス、B型肝炎ウイルス、アルコール、アフラトキシン(カ

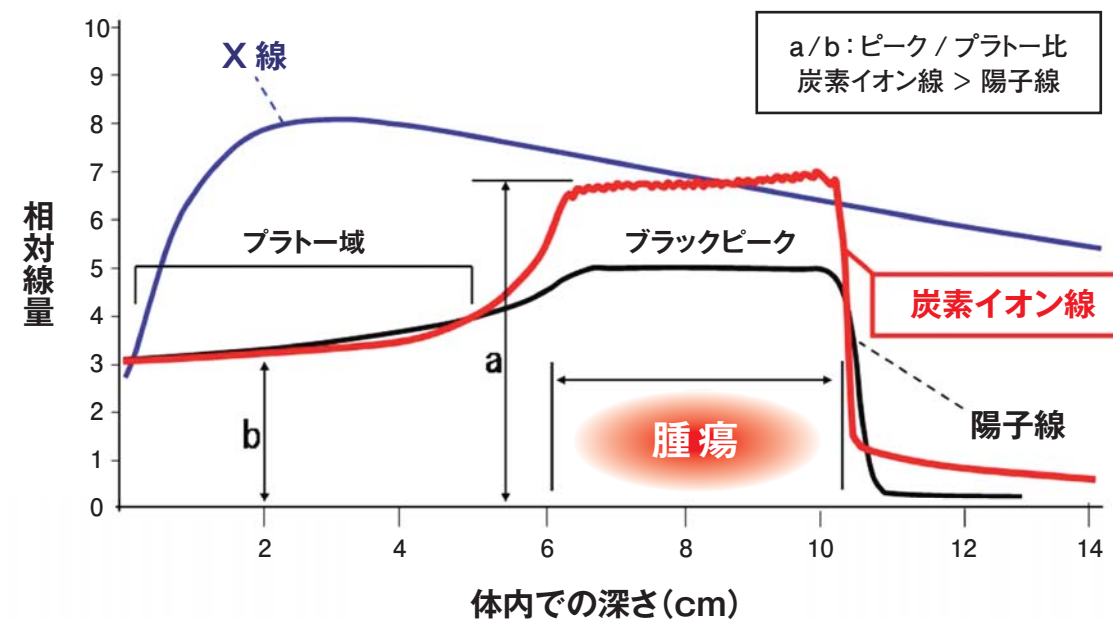


図1: 各種放射線の線量分布曲線

び毒の一種)、経口避妊薬、自己免疫性肝炎、ヘモクロマトーシス(鉄代謝異常により臓器障害をきたす疾患)などがあります。肝細胞がんの多くは肝炎ウイルスを病因としており、C型肝炎ウイルス感染(HCV抗体陽性)が68%、B型肝炎ウイルス感染(HBs抗原陽性)が15%となっています。C型肝炎ウイルスの場合は慢性肝炎から肝硬変というステップを経てがんすることが多いのに対し、B型肝炎ウイルスでは、それ以外に、慢性肝炎の状態やほぼ正常肝からでも発がんがみられることが特徴として挙げられます。

### 肝細胞がんに対する治療法

前述したとおり、本邦では肝細胞がんは common disease であり、各種治療法が発達しています。治療法としては肝切除術、経皮的局所療法、肝動脈カテーテル療法、肝移植、放射線療法、全身化学療法などがあります。このように多種多様な治療法の中から、腫瘍の状態(個数、大きさ、脈管侵襲の有無など)や肝予備能から適切な治療を選択することになります。

当院では、肝予備能が良～中程度であり、単発病変もしくは多発病変であっても同一照射野内で治療可能な症例を重粒子線治療の対象にしていますが、近年は各種治療法を組み合わせた集学的治療の重要性が高まってきており、同一照射内で治療不可能な多発症例であっても集学的治療により根治が見込める場合は治療対象としています。

### 肝細胞がんに対する炭素イオン線治療

肝細胞がんに対し放射線治療を行うことは、肝臓は放射線への忍容性が低いことから以前までは困難であると考えられていました。ところが、近年の照射機器の進歩に伴い局所に絞った照射が可能となったため放射線治療の研究が進んできており、そのひとつとして炭素イオン線を利用した重粒子線治療が挙げられます。炭素イオン線は、前述のごとく高い線量集中性に加え生物学的効果比が約3倍とX線や陽子線よりも高い生物効果を有するため、根治性と低侵襲性を兼ね備えた治療法として注目されています。

肝細胞がんに対する炭素イオン線治療の臨床試験は1995年4月から開始され、2001年3月までに第I/II相臨床試験を行い、線量増加と少分割化(照射期間の短縮)が図られました。2001年4月から2003年3月まで52.8GyE/4回照射に総線量・分割回数を固定して第II相臨床試験を行い、その有効性と安全性が確認されました。2003年4月から2005年8月まで第I/II相臨床試験で2回照射法での線量増加試験を行い、2005年9月より高度先進医療となっています。臨床試験の概要と治療成績を(表1)に示します。大半の臨床試験は線量増加試験であり、十分な線量で治療されていない症例も含まれたことや、特に初期の臨床試験では、他の治療後の無効例もしくは再発例か、既存の治療法では十分な治療効果が期待できないと判断された症例が大部分を占めていたにもかかわらず、良好な局所制御を収めました。また、短期少分割照射が可能であることが示されたことは、炭素イオン線治療の大きな利点になると考えられます。

本稿ではまず、全症例の経過観察期間が5年以上となった52.8GyE/4回照射法の臨床試験成績(69例)を中心に述べます。

有害事象では、治療に関連した死亡、および治療が直接引き起こしたと考えられる肝不全は見られませんでした。炭素イオン線治療の肝機能への影響を評価するために、肝予備能の国際的な評価指標となっているChild-Pugh score(表2)を用いて、治療前後の変

化を検討しました。炭素イオン線治療に伴う点数の上昇は、早期(治療開始後3ヶ月以内)、晚期(治療開始後3ヶ月以降)とも多くの症例において1点以内に留まり(図2)、特に臨床的に意義の高い晩期で2点以上増加した症例の割合は52.8GyE/4回照射では約10%と少なくなっていました。(ただし、炭素イオン線治療そのものの影響を評価するため、観察期間内に、肝機能に影響を与える可能性のある他疾患(胆管胆石嵌頓など)を罹患した症例や肝内病変(局所再発や他部位再発)に対し追加治療が施行された症例は解析対象から除外しました。)このように、肝機能への影響は軽微であることが明らかになりましたが、その理由として照射を受けていない肝臓の領域が代償性に働き肝機能の保持に寄与することが考えられています。その他、皮膚および消化管においても重篤な有害事象は認めませんでした。

治療効果では、局所制御率は3年、5年ともに94%でした。腫瘍径別(最大腫瘍径5cm以下or5cm超)にみても、局所制御率はそれぞれ3年、5年ともに94%であり、有意差はありませんでした。また、単発、3-5cm、Child-Pugh score 5-6点の3条件を満たした16例の累積粗生存率は3年75%、5年63%でした。ほぼ同条件の肝切除症例の累積生存率が3年81%、5年67%であることを踏まえると、重粒子線治療は安全で侵襲が少なく、かつ治療効果の高い治療法と考えられます。

表1:肝細胞がんに対する炭素イオン線単独治療(分割回数別の局所制御率)

試験内容		第I/II相	第I/II相			第II相
分割回数		15	12	8	4	4
総線量(GyE)		49.5~79.5	54.0~69.6	48.0~58.0	48.0~52.8	52.8
病変数		24	34	24	28	47
最大腫瘍径(cm)	中央値	5.0	3.7	3.1	4.6	3.7
	細部	2.1~8.5	1.5~7.2	1.2~12.0	2.2~12.0	1.2~7.5
1年局所制御率(%)		92	97	91	89	96
3年局所制御率(%)		81	86	86	89	96

表2:Child-Pugh スコア

	1点	2点	3点
血清ビリルビン(mg/dl)	<2.0	2.0~3.0	>3.0
血清アルブミン(g/dl)	>3.5	3.0~3.5	<3.0
腹水	なし	コントロール可能	コントロール困難
精神神経症状	なし	軽度	重症
プロトロンビン時間(%)	>80	50~80	<50

## 肝門部肝細胞がんに対する炭素イオン線治療

肝門部肝細胞がんは脈管が近接していることから侵襲の大きさや合併症を考慮し、慎重に治療法を選択することが求められます。以下に肝門部肝細胞がん例に対する重粒子線治療の成績を紹介します。

対象は、肝門部肝細胞がんに対し52.8GyE/4回の重粒子線治療を施行した18例であり、肝門部型の定義は門脈本幹から2cm以内に腫瘍が存在するものとしてしました。

有害事象は、Grade4の晩期の肝有害事象(National Cancer Institute-Common Toxicity Criteria version 2.0による)は見られず、胆管閉塞による閉塞性黄疸は認めませんでした。その他、皮膚および消化管においても重篤な有害事象は見られませんでした。局所制御率は、3年、5年ともに88%、累積粗生存率は3年44%、5年22%であり、治療関連死は見られませんでした。腫瘍径別にみると局所制御率は5cm以下(13例)で3年、5年ともに91.7%、5cm超(5例)で3年、5年ともに80%でした。局所再発例はそれぞれ1例ずつであり、有意差はみられませんでした。

重粒子線治療は肝門部型肝細胞がんにおいても良好な局所制御が得られており、症例数が限られているものの、これまでのところ胆管閉塞などの重篤な有害事象を認めていません。肝切除術あるいは経皮的局所療法施行困難・拒否例などの症例において、有効な治療の選択肢になり得るものと考えられます。

### おわりに…

消化器がんに対する重粒子線治療として今回は肝細胞がんを取り上げ紹介しました。肝細胞がんに対する重粒子線治療は、腫瘍径によらず安全で高い局所制御を期待でき、有効な治療選択肢のひとつです。ウイルス慢性肝疾患を背景とした肝細胞がんでは、同時性、異時性の多発をきたす特性を考えると、集学的治療を行うことを前提に他施設と連携しながら、がん治療成績向上の一翼を担えるよう取り組んでいきたいと考えております。

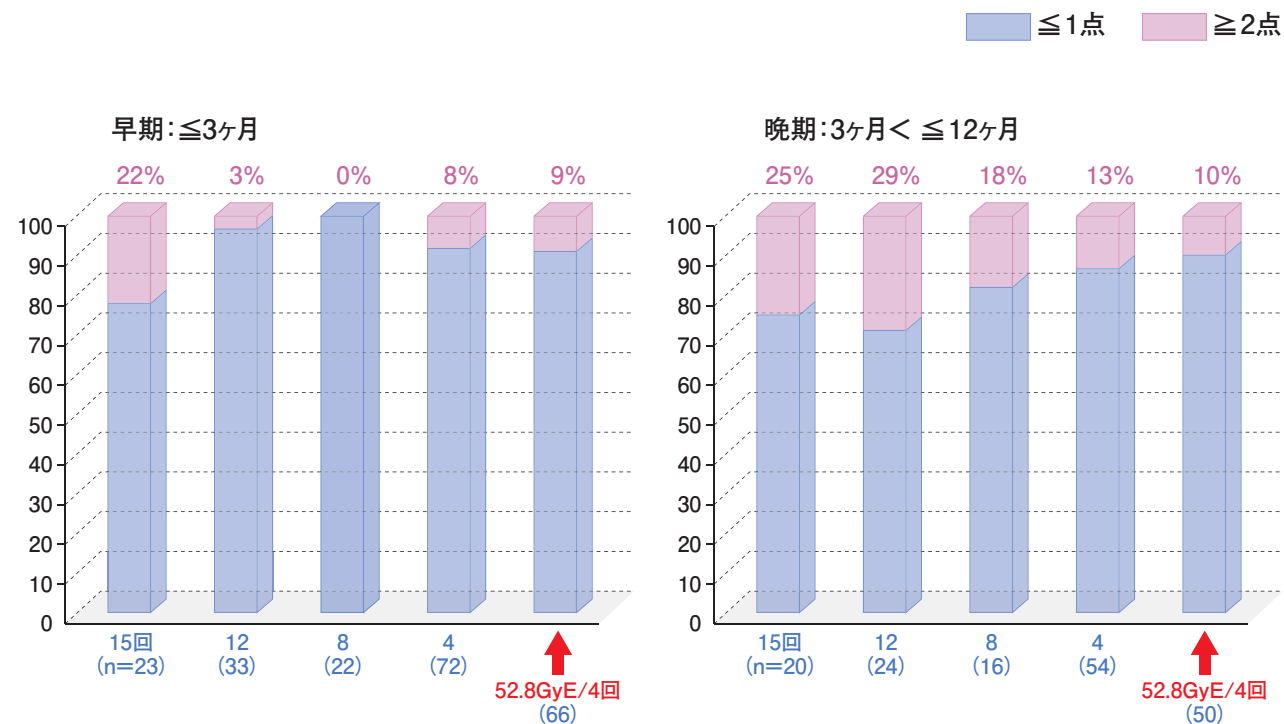


図2: Child-Pugh score の治療開始後の変化

## 最近の成果

### バナデート: p53依存性アポトーシス制御による新しいタイプの放射線防護剤

Vanadate: A Novel Type of Radioprotector Acts by Inhibiting p53-Mediated Apoptosis

放射線防護研究センター 生体影響機構研究グループ

主任研究員 田中 薫

主任研究員 王 冰

東京理科大学 理工学部 応用生物科学科

助教 森田 明典

教授 池北 雅彦

### はじめに

放射線は、エネルギー、工業、医学など様々な分野で応用されています。安全対策はとられていますが、放射線を被ばくした場合、特に問題になるのが、放射線に対して高感受性の組織である骨髄や小腸の障害です。骨髄の被ばくによって、造血系の幹細胞が死滅(骨髄死)し、死に至ります。また、正常時には細胞を分裂・再生産することによってその機能を維持している腸は、被ばくによって元になる幹細胞に傷害が起こることで細胞の再生産が止まり、機能が完全に停止し(腸死)、死をもたらします。

高線量の被ばくから人命を守るため、放射線防護剤が開発されてきており、これまでは、マウスを使ったX線照射実験において、骨髄死を起こす線量(8Gy)を全身照射した場合に効果のある放射線防護剤が存在していました。しかしながら、腸死を起こすような高い線量(12Gy)で防護効果を示す放射線防護剤は発見されておらず、その開発が待たれています。

ここで、放射線防護剤とは何かと言うと、被ばく前に投与することにより、放射線による障害を低減させる薬剤であり、放射線治療における副作用軽減などの用途が見込まれています。従来の放射線防護剤は、アミフォスチンを始めとするチオリン酸化合物など、活性酸素除去剤が中心でしたが、近年、アポトーシス制御による放射線防護剤開発が試みられるようになりました。アポトーシス制御による放射線防護剤の狙いは、放射線高感受性組織における過度の細胞死を抑制することであり、p53阻害剤ピフィスリン-a (PFT a) など幾つかの例を挙げることができます<sup>1)-4)</sup>。

森田らは以前、オルトバナジン酸ナトリウム(バナデート)が、p53の立体構造を正常型から変異型に変えることにより、転写活性を阻害し、放射線誘発ア

ポトーシスを抑制することを見出しました<sup>5)</sup>。最近、筆者らは、バナデートがこれまでに報告された他のp53阻害剤と比べて優れた放射線防護効果を示すこと、また、それが従来から知られていたp53の転写依存的な経路だけでなく、近年明らかにされた転写非依存的な分岐経路をも阻害するという特性に基づくことを明らかにしました<sup>6)</sup>(図1)。



図1: 実験に用いたバナデート(sodium orthovanadate)と構造式

### p53を制御することによる放射線防護の有用性

前述のように、急性放射線傷害の原因となる高感受性組織として骨髄と小腸は特に重要で、これらの急性放射線傷害の多くは幹細胞のダメージに起因し、高感受性組織の過度の幹細胞死が機能不全として現れてきます。p53は、アポトーシスシグナリングの進行を早期の段階で断つことが可能な標的分子の一つとして期待でき、高感受性組織の放射線細胞死に、アポトーシス、とりわけp53依存性アポトーシスが寄与しているとの立場で研究を進めました。

また、放射線防護剤の用途として、その応用が最も見込まれる放射線治療においても、p53制御は正常組



織とがん組織の選択性を図る上で有用な手段となりえます。多くのがん細胞ではp53に変異や発現抑制、あるいはウイルス由来因子による不活性化が見られ、p53機能が抑制されていることが正常組織との最も大きな違いとなっている場合が多いからです。更に、放射線療法のみならずDNA傷害性の抗がん剤を用いた化学療法の正常組織障害軽減も期待されます。

p53制御による放射線防護のデメリットとして、通常の排除機構を抑制することによる発がん促進の可能性が指摘されてきました。しかしながら、DNA傷害性ストレスに起因する発がん過程では、急性のp53依存性アポトーシスが発がん抑制に寄与していないことを示す研究結果が報告され、薬理的にp53を一時的に抑制することの有用性がより一層注目されています<sup>7)</sup>。

### これまでに報告されているp53阻害剤との比較

これまでにp53転写阻害効果の知られている化合物として、サリチル酸ナトリウム(サリチレート<sup>8)</sup>、塩化カドミウム、PFT $\alpha$ <sup>1), 2)</sup>、バナデート<sup>5)</sup>が報告されています。そこで、放射線誘発アポトーシスのモデル細胞として繁用されているヒトT細胞性白血病細胞株MOLT-4細胞を用い、これらの阻害剤の比較

検討を行いました。その結果、バナデート以外の阻害剤はp53転写を阻害するものの、この細胞の放射線誘発アポトーシスを十分に抑制することはできず、バナデートのみが優れた抑制効果を示しました(図2)。これをバナデートのみが他のp53転写阻害剤にない薬理効果を有しているものと捉え、この薬理効果の分子機構の解析を行いました。

### バナデートはp53によるアポトーシスをどのようにして制御しているのか?

バナデートはチロシンフォスファターゼ阻害剤として広く用いられており、森田らの以前の研究<sup>5)</sup>と今回の研究<sup>6)</sup>では、バナデートの抗アポトーシス効果におけるp53特異性の検証にも重点をおきました。種々のp53不活性化、欠損、ノックダウン細胞株を用いて解析を行った結果、いずれの細胞系においても、p53が機能しない細胞・細胞株では放射線やDNA損傷剤によるアポトーシスをバナデートが抑制することはなく、DNA損傷性ストレスにおけるバナデートの標的分子はp53であることが強く示唆されました。

ではバナデートはp53転写以外の何を抑制しているのでしょうか? 上述のようにp53特異的である以

上、p53が持つ何らかの機能を抑制していると考えられました。その手掛かりを得るため、p53依存性アポトーシスの要となるミトコンドリアでのアポトーシス変化を検証しました。その結果、バナデートはMOLT-4細胞の照射後のミトコンドリア膜電位の低下やBax、Bakの活性化を抑制できるのに対し、比較として用いたPFT $\alpha$ ではいずれのアポトーシス変化も抑制することができませんでした。

このミトコンドリアでのアポトーシス変化をもたらすp53経路には二つの経路があることが知られています。一つはp53転写活性化によるPUMAやNoxa等の標的遺伝子の遺伝子発現を介した「転写依存性経路」、もう一つは照射後に蓄積したp53がミトコンドリアのBcl-2ファミリー分子に直接結合することで誘導される「転写非依存性経路」です<sup>10)</sup>。他の阻害剤がp53の標的遺伝子発現を抑制できるにもかかわらず照射MOLT-4細胞のアポトーシスを抑制できないことは、p53転写阻害だけではこの細胞のアポトーシス制御に十分でないことを示しており、もう一つの経路である転写非依存性経路に対する抑制効果の有無がバナデート効果の決め手となっていることが示唆されました。これを裏付けるように、照射MOLT-4細胞のアポトーシスに対し、転写非依存性経路の特異的阻害剤

であるPFT $\mu$ <sup>3)</sup>を処理したところ、バナデートとほぼ同等のアポトーシス抑制効果を示し、本細胞の放射線誘発アポトーシス経路は転写非依存性経路が主経路であることが明らかとなりました<sup>6)</sup>。

更に、転写非依存性経路の実体である照射後のp53のミトコンドリア移行とBcl-2との結合をバナデートは抑制し、PFT $\alpha$ は抑制できなかったこと、また、p53をコードするTp53遺伝子を欠損しているSaOS-2細胞に、ミトコンドリア局在シグナルを付加した改変p53を導入した細胞株のアポトーシス誘導をバナデートが顕著に抑制したことから、バナデートはp53の転写だけでなく、転写非依存的な機能にも阻害効果を示すことが明らかとなりました<sup>6)</sup>。

### バナデートは腸死をも克服しうる強力な放射線防護剤

バナデートの放射線防護剤としての効果を調べるために、マウスを、①防護剤を与えないマウス、②バナデートを与えたマウス(投与量:マウス体重kg当たり20mg)、③強い放射線防護効果が知られているピフィスリン- $\alpha$ <sup>\*6)</sup>(以下、cPFT $\alpha$ )を与えたマウス、の3群に分けて、これらに骨髄死を起こさせる線量(8Gy)と、腸死を起こさせる線量(12Gy)のX線を

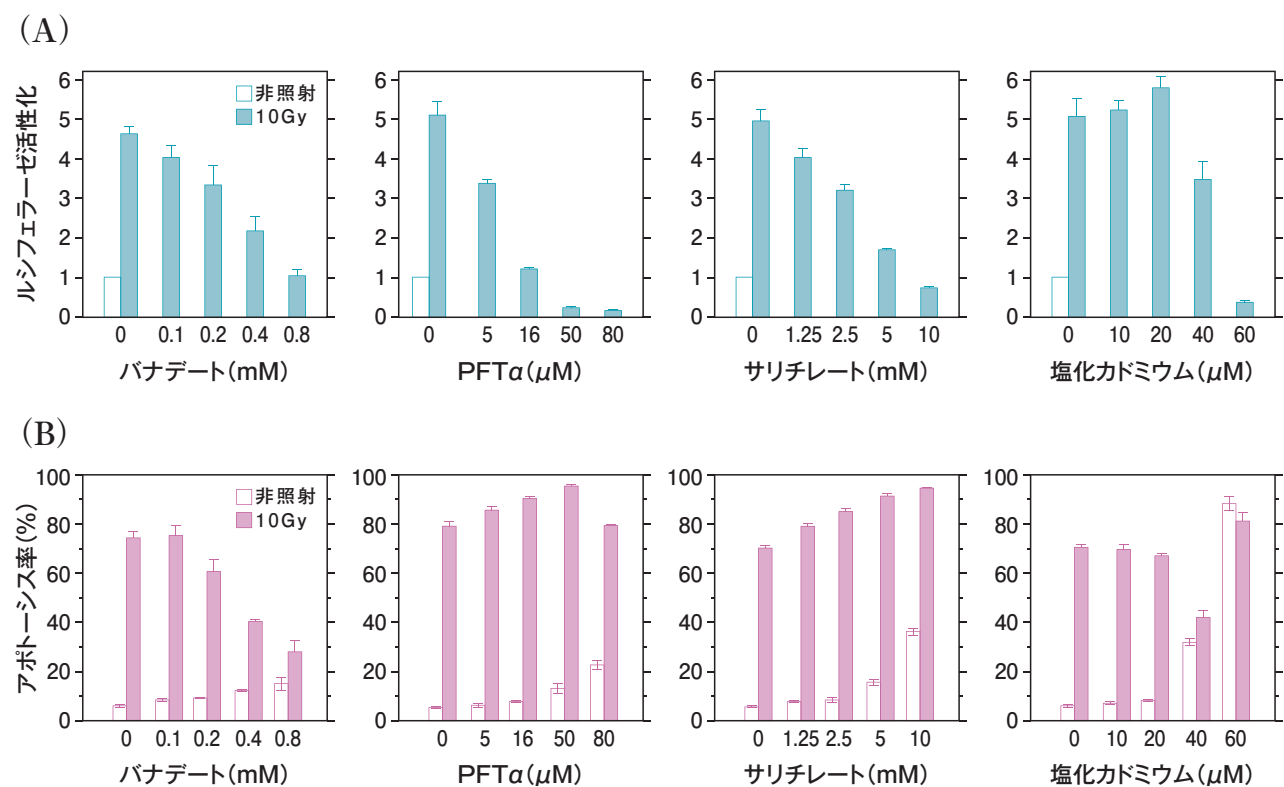


図2:これまでに報告されているp53転写阻害剤の放射線誘発アポトーシス抑制効果。各阻害剤処理は、 $\gamma$ 線照射直後にMOLT-4細胞培養液に添加して行った。A. ルシフェラーゼレポートアッセイ系を用いたp53転写活性の測定(処理後6時間)。B. アポトーシス率(%)。フローサイトメーターでアネキシンV-FITC陽性細胞を測定した(処理後18時間)。文献6)より改変。

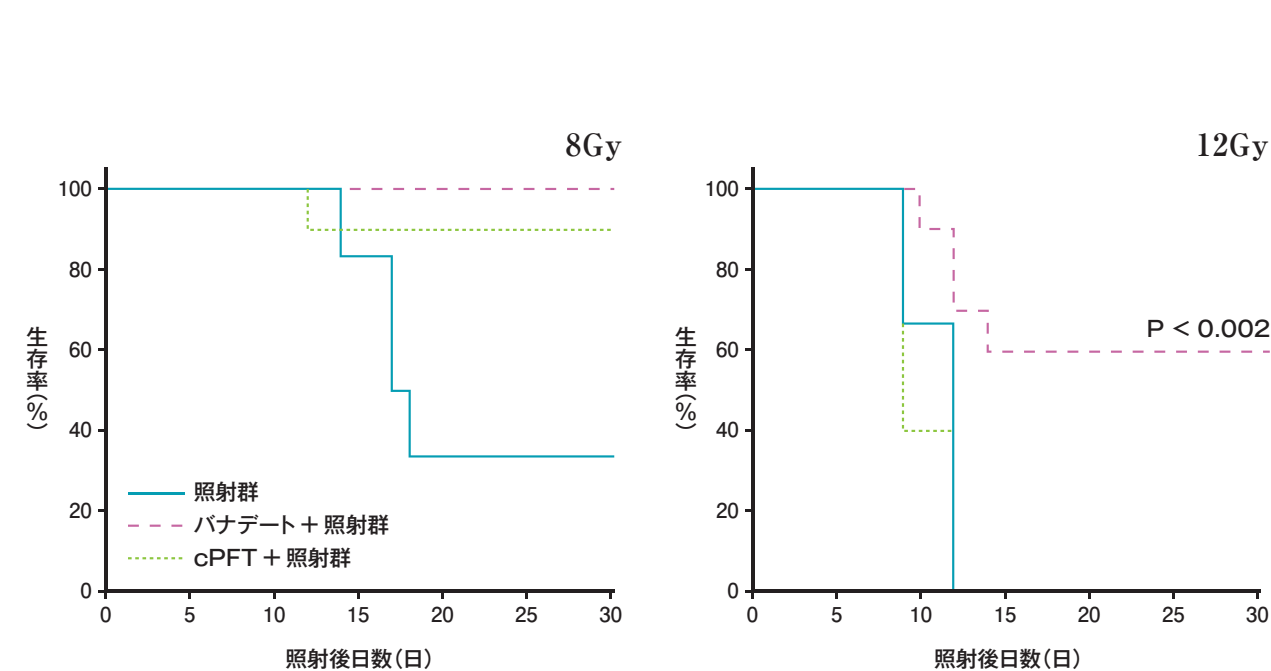


図3:3つの照射群の生存率比較。バナデートを投与した群がずば抜けて生存率が高いことが分かった。

全身に照射し、30日後の生存率を比較する実験を行いました。

結果、8Gy照射30日後の生存率は、防護剤を与えなかったマウスでは約3分の1しか生き残らなかったのに対し、照射30分前にバナデートを投与した群では、その生存率は100%でした。また、比較として用いたcPFT  $\alpha$ を与えたマウスでは90%のマウスが生き残りました(図3左)。一方、腸死を起こす線量であり、通常すべてのマウスが死亡する12Gyの照射に対し、バナデートを投与した群では、60%のマウスが生

き残りました。cPFT  $\alpha$ を投与したマウスはすべて死亡し、放射線防護効果が見られませんでした(図3右)。

病理学的解析について、8Gy照射マウスの骨髄形成不全(図4)、12Gy照射マウスの腸上皮における腺窩(管状のくぼみ)の消失や絨毛(粘膜表層の小隆起)の萎縮について(図5)検討したところ、バナデートを投与したマウスでは、非投与マウスやcPFT  $\alpha$ 投与マウスよりも病理学的な組織の異常の程度が小さく、生存率を裏付ける結果が得られました。防護効果の指標となる線量減少率(DRF)を計算したところバ

ナデートは1.5~1.6であり、これはこれまでに報告されている他の防護剤よりも高い値でした。

### 成果と今後の展望

この成果により、マウスを用いたX線照射実験において、放射線防護剤として、バナデートの有効性が極めて高いことが初めて明らかになりました。また、バナデートの防護効果は、バナデートが、p53転写依存性・非依存性の両経路を抑制し(p53両経路に有効な阻害剤はこれまでに報告されておらずバナデートが初めて)、p53の活性を低下させ、p53によって引き起こされる急性放射線障害を軽減させることによって起きることが分かりました。

この成果の応用として、放射線がん治療への応用が考えられます。治療前にバナデートを患者に投与することによって、正常組織を放射線から守ることができると考えられます。放射線治療において、がん細胞の多くはp53遺伝子に変化し、p53に非依存的に治療される(死滅する)ことが分かっています。つまり、バナデートは、p53によって引き起こされる急性放射線障害を軽減させるため、正常な細胞はバナデートによって守られ、がん細胞はバナデートの存在に関係なく放射線の影響を受けるので、治療効果を損なうことなく、正常細胞を護ることができると考えられます。

更に、照射後に活性化するp53が標的であることから、急性放射線障害の予防だけでなく、p53が活性化する前であれば被ばく後の急性障害の治療にも「緩和剤」として機能すると考えられます。細胞レベルでの効果は既に報告していますが<sup>5),6)</sup>、照射後のマウスにおける救命効果についても、現在研究を進めているところです。

バナデートは天然由来の化合物で食物から摂取しているため、安全性は高いと考えられますが、今後、毒性についての検討や投与量に関する検討を行うことで、放射線被ばく事故での救命での利用が期待されます。

### 参考文献

- 1) Komarov, P. G., Komarova, E. A. et al., "A chemical inhibitor of p53 that protects mice from the side effects of cancer therapy.", *Science*, 285, 1733-1737, 1999
- 2) Komarova, E. A., Kondratov, R. V. et al., "Dual effect of p53 on radiation sensitivity *in vivo*: p53 promotes hematopoietic injury, but protects from gastro-intestinal syndrome in mice", *Oncogene*, 23, 3265-3271, 2004
- 3) Strom, E., Sathe, S. et al., "Small-molecule inhibitor of p53 binding to mitochondria protects mice from  $\gamma$  radiation.", *Nat. Chem. Biol.*, 2, 474-479, 2006
- 4) Burdelya, L. G., Krivokrysenko, V. I. et al., "An agonist of toll-like receptor 5 has radioprotective activity in mouse and primate models.", *Science*, 320, 226-230, 2008
- 5) Morita, A., Zhu, J., et al., "Sodium orthovanadate suppresses DNA damage-induced caspase activation and apoptosis by inactivating p53.", *Cell Death Differ.*, 13, 499-511, 2006
- 6) Morita, A., Yamamoto, S., Wang, B., Tanaka, K., et al., "Sodium orthovanadate inhibits p53-mediated apoptosis.", *Cancer Res.*, 70, 257-265, 2010
- 7) Christophorou, M. A., Ringshausen, I. et al., "The pathological response to DNA damage does not contribute to p53-mediated tumor suppression.", *Nature*, 443, 214-217, 2006
- 8) Chernov, M. V. and Stark, G. R., "The p53 activation and apoptosis induced by DNA damage are reversibly inhibited by salicylate.", *Oncogene*, 14, 2503-2510, 1997
- 9) Meplan, C., Mann, K., et al., "Cadmium induces conformational modifications of wild-type p53 and suppresses p53 response to DNA damage in cultured cells.", *J. Biol. Chem.*, 274, 31663-31670 (1999)
- 10) Erster, S. and Moll, U. M., "Stress-induced p53 runs a transcription-independent death program.", *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 331, 843-850, 2005

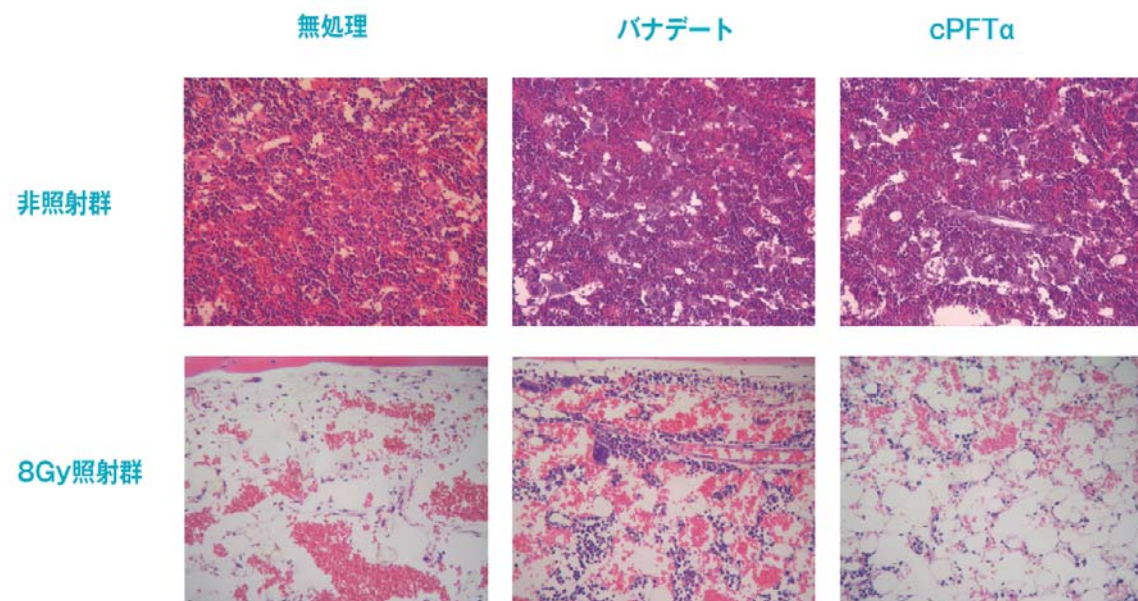


図4:バナデート投与群の方が無処理群、cPFT $\alpha$ 投与群に比べX線照射後に生き残った細胞が多い

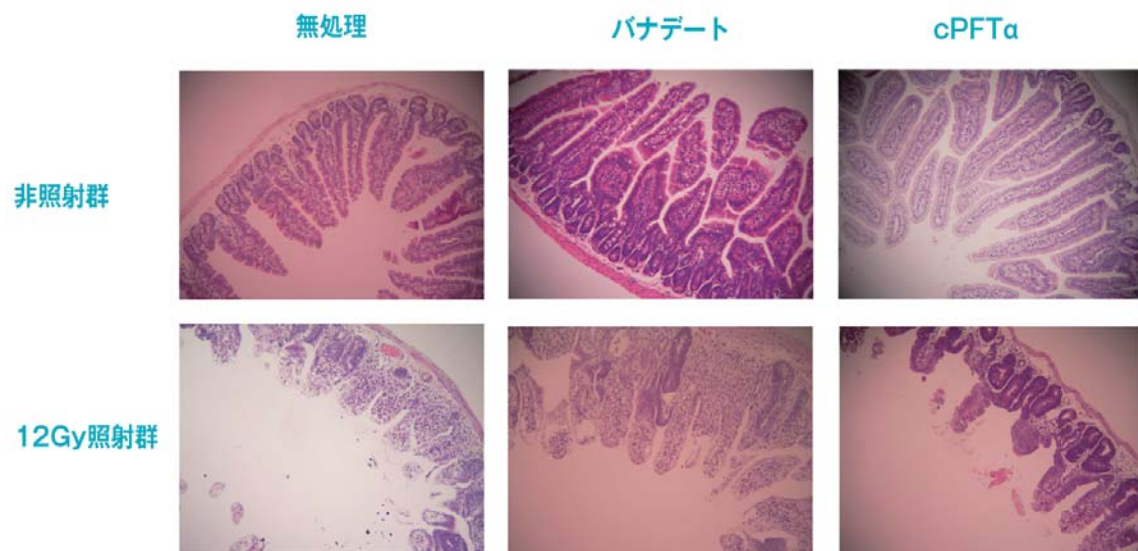


図5:バナデート投与群の方が無処理群、cPFT $\alpha$ 投与群に比べX線照射後に腸上皮の腺窩の消失や絨毛の萎縮が少ない

最近の成果

緊急被ばく医療標準カルテの紹介

Medical record for radiation emergency  
- an example for outpatient -

緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部 障害診断室 主任研究員  
(平成22年2月よりIAEA Incident and Emergency Centreに派遣)  
富永 隆子



富永 隆子 (Takako Tomimaga)

蜂谷 みさを<sup>1)</sup> 立崎 英夫<sup>2)</sup> 明石 真言<sup>3)</sup>

- 1) 緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部 障害治療室 主任研究員
- 2) 緊急被ばく医療研究センター 被ばく医療部 障害診断室 室長
- 3) 緊急被ばく医療研究センター長

緊急被ばく医療の背景

緊急被ばく医療とは、放射線により被ばくしたり、放射性物質により汚染を伴う傷病者の対応をする医療です。当然事故や災害に伴って起こるため、一般的な救急対応や外傷初療の対応が必要ですが、それらの医療対応以外に被ばくや放射性物質による汚染に対応する知識や除染技術、線量評価が要求される医療です。このため緊急被ばく医療は一般の病院や医療従事者にとってはなじみのない医療です。米国のエネルギー省 (Department of Energy, DOE) により運営されている REAC/TS (Radiation Emergency Assistance Center/Training Site) の放射線事故の統計によると1946年から2009年までの世界で起こった放射線事故は約500件であり、国際原子力機関 (IAEA) による放射線事故への医療対応は年間1~2件発生しています。このように世界的にみても医療を必要とする放射線事故はまれな事象であり、被ばく医療の専門家は世界的にも少ないのが現状です。

しかしながら、昨今の社会情勢において危機管理を行う上で核・放射線による事故、災害、テロ対策は避けられないものです。これはIAEAをはじめ世界中でN(核)/R(放射線)テロ・災害に対する医療対応のセミナー、講習会、研修会が開催されていることから重要な危機管理の一つだと理解できます。このN/Rテロ・災害発生時に傷病者の対応をするのも緊急被ばく医療です。

このような世界情勢の中、日本の緊急被ばく医療体制は原子力施設での事故・災害発生時への対応を中心として整備されてきた経緯があり、原子力施設立地県と非立地県とは、緊急被ばく医療の体制、教育、訓練に格差があることを認めざるを得ません。さらに原子力施設立地県においても指定された被ばく医療施設

とそうでない医療施設とでは、緊急被ばく医療に対する準備、計画に格差が生じています。

昨今のCBRNE (Chemical, Biological, Radiological, Nuclear and Explosive) テロ・災害への関心の高まりもあり、各地域のCBRNEテロ・災害対応も進んできていますが、全国的に見てN/Rテロ・災害対応は充分でないのが現実です。日本国内においてもCBRNEテロ・災害対応のセミナー、講習会が開催され、徐々に緊急被ばく医療の準備、計画も進みつつありますが、実際の被ばく医療対応については標準化されていません。そこで、我々緊急被ばく医療研究センターでは、放射線緊急時の実際の診療において、スムーズに診療が可能となるように資料の作成を試みました。

緊急被ばく医療標準カルテ

緊急被ばく医療の実際の対応としては、放射性物質による体表面汚染、内部汚染、外部被ばくによる高線量被ばくへの対応の3つに分けられます。これらの傷病者対応において、汚染検査や高線量被ばくの身体所見、線量評価、体内汚染の線量評価、除染など、被ばく医療特有の検査および処置があります。それら特有の記載内容を余すことなく記入でき、またカルテを記入していくことにより、必要な緊急被ばく医療の処置、検体採取、検査が行えるようにすることを目的に作成したものが「緊急被ばく医療標準カルテ外来用」です。

このカルテの作成に際して以下の点を考慮しました。

- ① 外来診療において標準的な被ばく医療を実施することができます。
- ② 見開き1ページで収まるようにしています。
- ③ 事故・災害の事後検証の資料となり、レジストリーへ活用できます。

このカルテは外来診療の記録であり、初期対応の

医療機関からさらに専門的な検査、治療を行うために被ばく医療機関へ転院する場合に、処置内容や所見などをFAXで送信することも容易になると考えられます。

次にカルテの構成ですが、以下のようになっています(図1)。

- ① 患者基本情報、来院時のバイタルサイン
- ② 放射線検出器の情報 (機種、型式、バックグランドレベルなど)
- ③ 汚染箇所の記載、処置内容、除染結果
- ④ 緊急被ばく医療の初期対応のフロー図とチェック項目
- ⑤ 診断、結果、治療計画

このカルテは主に放射線被ばくや汚染を主眼としており、外傷、熱傷などの他の傷病を合併している場合は通常のカルテ記載を行うことを前提にしているため、①では全身状態の記載としてバイタルサインのみを記載します。

②については、使用機器が傷病者や医療機関ごとに異なることが考えられ、体表面汚染密度の評価や事後検証でより正確に評価できるように使用機器の情報を記載する欄を設けました。

③の記載箇所は、出来るだけスペースをとるようにしました。さらにこのカルテが通常の診療記録と

異なる点としては、診療のフロー図(④)を盛り込んでいることです。多数傷病者発生時には、同時に複数の傷病者を受け入れる診療所、救急外来は一時混乱を来すことが予想されます。また、放射線事故・災害の発生は稀であることから対応者も常に十分な知識があるとは限りません。このため、円滑に事故・災害対応を行う、あるいは対応の流れを整理するための資料として放射線緊急事態の傷病者対応のフロー図がREAC/TSのホームページ<sup>1)</sup>からダウンロード可能ですが、診療中、カルテ記入時に診療の補助的役割を果たせるよう、カルテには初期対応のフロー図を盛り込んでいます。

さらに事故・災害の記録が統一されていれば、事故対応後にデータを検証し、事故の全体像を把握することが容易になると思えます。このため全国的にこのカルテが利用されれば、きわめて稀な放射線事故・災害のレジストリーとしての利用も可能です。

この外来用緊急被ばく医療標準カルテは、外来診療における記録を目的としています。しかし、緊急被ばく医療において、高線量被ばくや内部汚染を伴っている場合は入院診療での経過観察、検査、治療の継続が必要となります。また、外来診療においても数日~数週間の継続した診療が必要になることもあります。こ

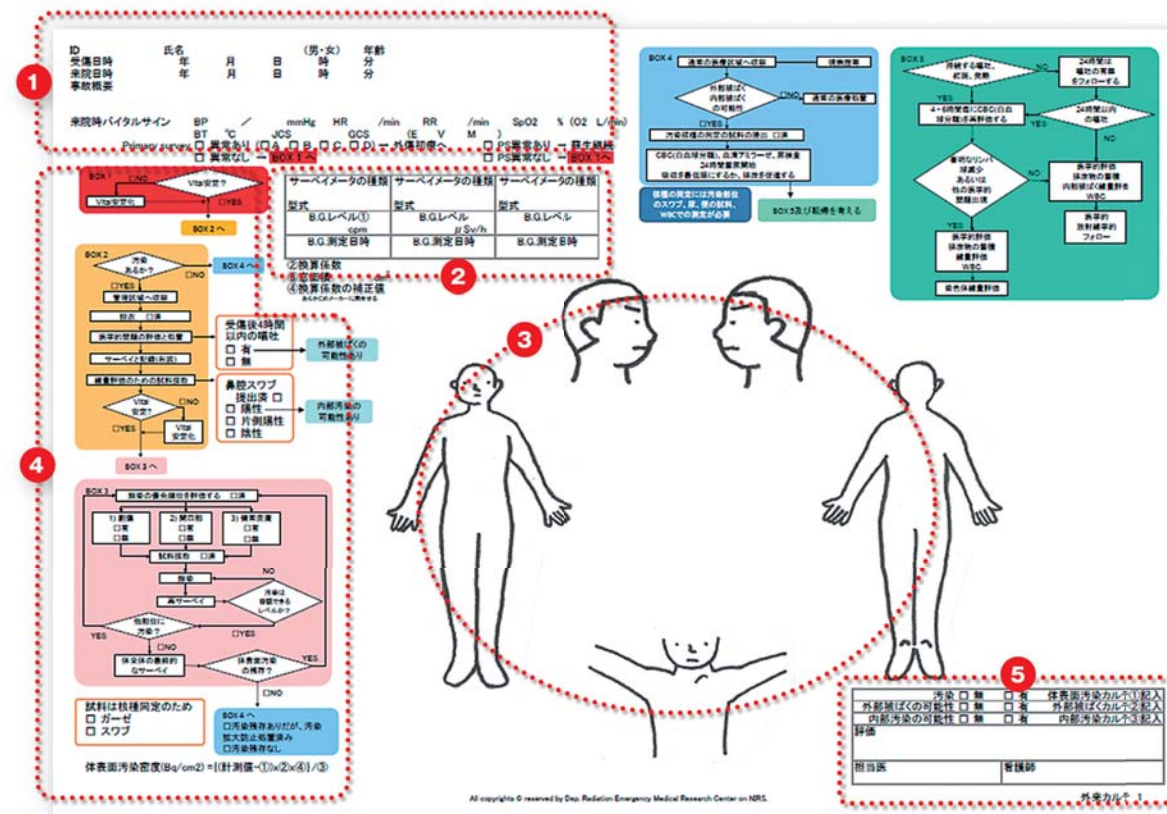


図1:緊急被ばく医療標準カルテ 外来用

のため、中・長期に渡る診療内容を緊急被ばく医療に特化して記録する「緊急被ばく医療標準カルテ」も作成しましたが、これは別の機会に報告します。

### 他の被ばく医療記録用紙との比較

TMTハンドブック<sup>2)</sup>(図2)は、ヨーロッパを中心にSCN/CEN (Belgian Nuclear Research Center), Norwegian Radiation Protection Authority, Health Protection Agency, Radiation and Nuclear Safety Authority, World Health Organization, Enviro Consulting Ltd., Central laboratory for Radiological Protectionからの専門家により悪意のある放射線を利用した災害、事故に対応するためのガイドラインとして執筆されています。しかし、これにはN/Rテロ・災害対応について詳細に解説されていますが記録用紙は提示されていません。

IAEAの「核・放射線緊急時の医療対応のための一般的な方法」<sup>3)</sup>には緊急被ばく医療対応について、体表面汚染、内部汚染、高線量全身被ばく、局所被ばくについて一般的な対応方法が項目別に解説されており、記録用紙も複数ページに渡るものが提示されておりますが、項目別のため、全ての記録が数ペー

ジに渡ることになります。今回提示するカルテは、この点を改善し1ページにまとめてあります。

### まとめ

汚染した傷病者を受け入れる医療機関は、通常の救急医療対応のほかに緊急被ばく医療対応を必要としますが、放射線事故・災害はまれな事象であるだけに、ストレスなく対応できるよう事前に準備しておくことが肝心です。そこで、放射線緊急事態での初期対応をスムーズに行うために緊急被ばく医療標準カルテを作成しました。

### 参考文献

1. <http://orise.orau.gov/images/reacts/reacts-chart-final%20web.pdf>
2. C. Rojas-Palma, A. Liland, A. N. Jerstad, G. Etherington, M. R. Perez, T. Rahola and K. Smith (Eds.) TMT Handbook, NRPA, Norway (2009).
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency, EPR-MEDICAL 2005, Vienna (2005).

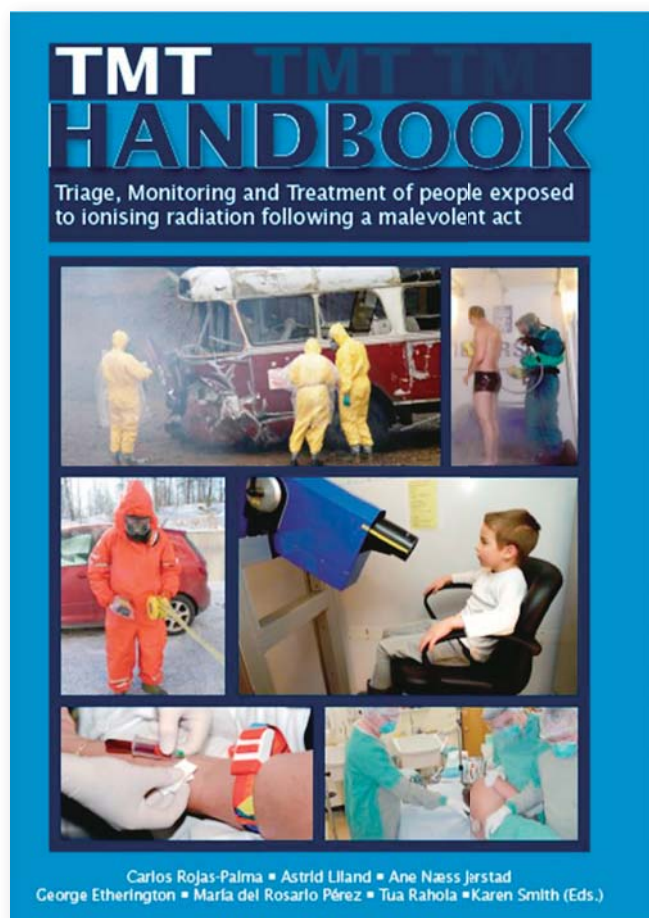


図2:TMT Handbook  
ヨーロッパの専門機関が協賛して放射線緊急事態への対応をまとめている。

### 最近の成果

## REMAT (緊急被ばく医療支援チーム)

### 線量評価班のキエフ訓練

The Kiev training of the REMAT dose evaluation team



鈴木 敏和 (Toshihazu Suzuki)

緊急被ばく医療研究センター 被ばく線量評価部  
外部被ばく評価室 室長  
REMAT線量評価 班長  
鈴木 敏和



写真1:宿营地

REMAT (Radiation Emergency Medical Assistance Team) は2010年1月に放医研が立ちあげた緊急被ばく医療支援チームであり、放射線事故・テロを専門とする海外支援部隊です。医療班、線量評価班、防護班、総務班の4班から構成され、2010年7月時点での任命者は医師7名を含む42名です。放医研は災害対策基本法第39条第1項の規定に基づく指定公共機関でもことから、国内の原子力災害時には原子力災害対策特別措置法の規定に基づいて緊急被ばく医療派遣チームを派遣しますが、REMATは同チームの構成員をほぼ包含する形で人選されました。

線量評価班の主たる役割は、①体内汚染核種同定と預託実効線量評価、②空間線量率計、光子スペク

トルに基づく1cm線量当量評価、③表面汚染の線質評価と安全性判断等により得られた情報の医師への的確な供給です。これらはすべて現地での対応となることから計測機器には高い機動性と情報伝達能力が求められます。線量評価班では携帯型γ線スペクトル測定器として、電気冷凍機内蔵のGe半導体スペクトロメータ (ORTEC製 Micro Detective及びCanberra製 Falcon)、LaBr<sub>3</sub>(Ce) スペクトロメータ (Canberra製 Inspector-1000)、CsI(Tl) スペクトロメータ (MGP製 HDS-100/GN) を装備しており、この多くは bluetooth を介してスペクトルデータを直接 PC に取り込むことが出来ます。呼気汚染測定には個人携帯用に開発された Si 半導体型 α・β 連続エアモニタ (Thermo製 RADNose) を用いており、表面汚染測定では α・β・γ 線の同時測定とフィルター板による線質特定が容易な小型 GM 汚染サーベイメータ (Thermo製 RADEye B20) を採用しました。この汚染サーベイメータは、自然BGから事故時相当の100mSv/hまでの線量率範囲を1台でカバーする小型 NaI(Tl) γ線サーベイメータ (Thermo製 RADEye PRD-ER) と共に現地派遣の全隊員が装備しています。通信面ではインマルサット衛星通信システムに加え、3G+GSMを用いたデータ・画像の伝送システムが整備されています。

2010年の6月14日から19日までの6日間、REMATでは線量評価班の実践能力向上を目的として、ウクライナのチェルノブイリ実汚染ゾーン内で放射線・放射能計測訓練を実施しました。これには計測資機材の国際搬送に係る社会実験も併せて行われ、事前に関係省庁、税関、両国大使館との綿密な調整が行われました。線量評価班からは3名が参加、6月12日に成田を発って、現地に到着したのは30時間後でした。訓練は TESEC<sup>1)</sup> の緊急時放射能測定訓練プログラムを利用して行われましたが、宿营地

(写真1)はチェルノブイリ事故後に廃棄されたドニエプル川近傍のキャンプ場にあり、キエフ市街から40kmほど北へ上った森林地帯の中央部に位置しています。主たる給水は井戸水で、井戸周辺の土壌からは1分測定で $^{137}\text{Cs}$ が検出されました。現地で作成した unfolding 型  $\beta$  線スペクトロメータによる分析では $^{137}\text{Cs}$ と $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ が依然として残っていたものの、空間線量率は想定外に低く、地上1.0m点では $0.07\mu\text{Sv/h}$ 前後で日本と大差はありませんでした。更に想定外であったのが通信・電源事情です。北緯50度という高緯度の為、衛星通信は十分な電界強度が得られず使用不可で、三度に及ぶ長時間の現地停電により現地の携帯電話基地局も停止しました。再開後も電波状態は悪く、主たるデータ通信はGSMモードが使用可能

であった延べ3日間のうち、現地時間05:00-07:00間に行ったFOMAローミング通信に限定されました。訓練プログラムは3日間の講義と3日間の実技で、参加メンバーは放医研の3名に加えてSEIKO EG&G社が独自に派遣した1名も加わり、日本チームを結成しました。他はカナダから参加のカナダ軍統合緊急時対応部隊8名、AECL<sup>2)</sup>1名、DRDC<sup>3)</sup>3名がカナダチームを結成しました。中東から参加予定であったチームは事前に急遽、キャンセルされました。訓練はチェルノブイリ事故の原因とその後の処理に関する解説から始まりましたが、事故処理時の放射線計測・評価担当者からの講義であったことから、既存の報告書等では記載されない実務ベースの内容で、学ぶべき点も多々ありました。

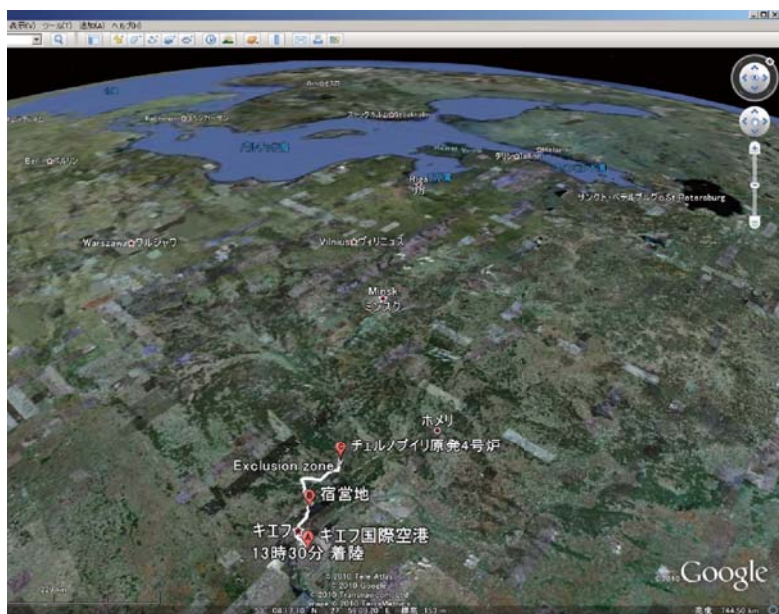


写真2: Exclusion zone

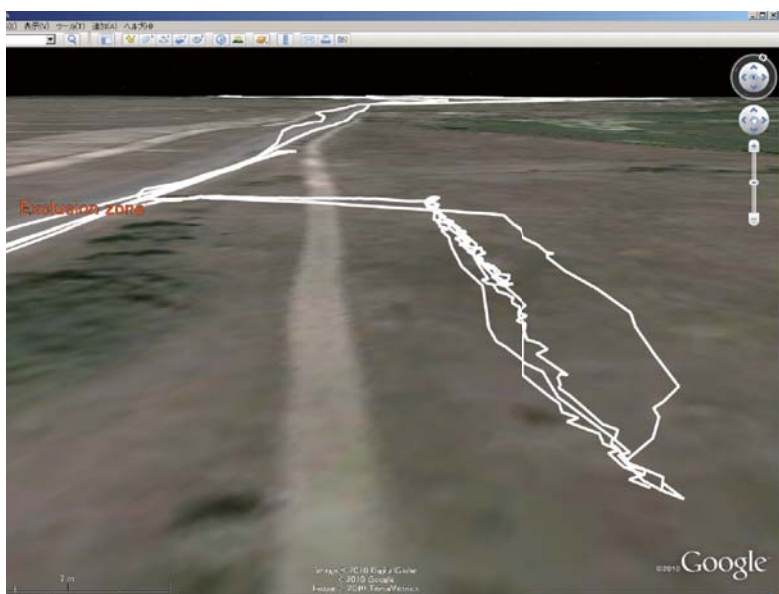


写真3: 実測エリア

実測訓練対象の汚染地区は宿营地から車で3時間ほど北に向かったチェルノブイリ原子力発電所近傍の除外区域(Exclusion zone)内にありました。(写真2)

空間線量率は $0.7\mu\text{Sv/h}$ 程度でしたが、訓練上、汚染防護服が支給されました。

国内であれば100%ポリエチレン不織布であるTyvek製の防護服とシューズカバーが一般的ですが、防護服素材は包装用不織布、シューズカバーは2重に重ねたゴミ袋でした。

写真3のGPSトレースデータに示す通り、道路から20mほどブッシュ内に入った地点を対象として1mごとに10点の計測ポイントを設け、地上1m位置での空間 $\gamma$ 線線量率と、地表面30cm位置での $\alpha$ ・ $\beta$ 線表面汚染密度を計測しました(写真4)。図

1は各計測ポイントの空間線量率であり、平均の $0.58\mu\text{Sv/h}$ は日本国内平均値の10倍程度であり、非常に少ないという印象でした。図2は同一計測点の表面汚染密度を示しますが、平均で $6.1\text{Bq/cm}^2$ 、最大で $8.2\text{Bq/cm}^2$ (内、 $\alpha$ 線寄与分は $1\text{Bq/cm}^2$ )でした。これは我が国の放射線障害防止法に鑑みても表面汚染密度限度を超えるものではありませんでした。この汚染は個人用 $\alpha$ ・ $\beta$ 連続エアモニタに装着されていたフィルターを現地の $\beta$ 線スペクトロメータで測定した結果、図3に示すように $\beta$ 線成分は $^{137}\text{Cs}$ と $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ が主体であることが判明しました。図4にはエアモニタの空気汚染密度トレンド測定結果を示しますが、汚染地区に入っている時間帯の放射能濃度が一般環境中の3倍以上であることがわ

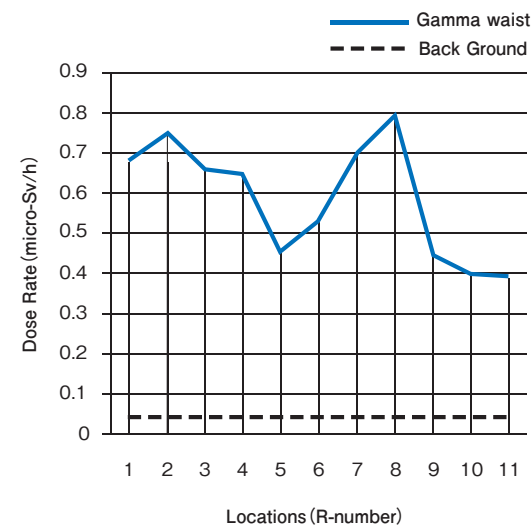


図1: 空間線量率分布

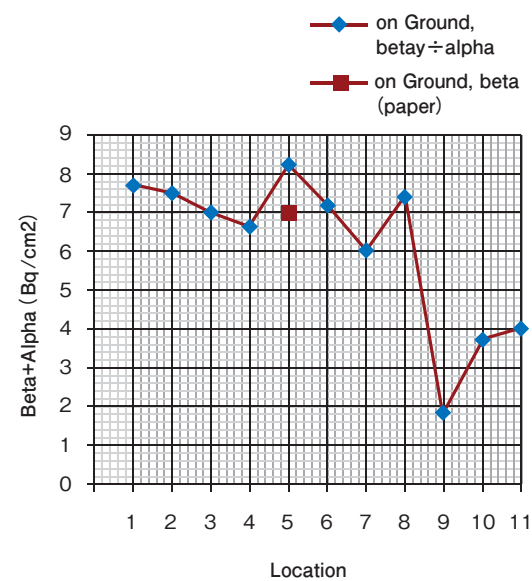


図2: 表面汚染密度分布



写真4: 実測状況



写真5: チェルノブイリ4号炉



写真6: チェルノブイリ原子力発電所 展示室



写真7: プリピャチ市内

かります。

プッシュ内計測ポイントに続いて事故を起こした RBMK 型 4 号炉 (写真 5) に移動しました。入口ゲート付近での  $7.5 \mu\text{Sv/h}$  を最大に大部分のエリアは  $1 \mu\text{Sv/h}$  以下でした。広島型原爆の 500 倍も  $^{137}\text{Cs}$  を放出しながら、蒸気爆発で数千メートル上空にまで FP が吹き飛ばされたため、現場から 130km しか離れていない南方のキエフに降り注いだ放射性物質の量は 1200km 離れたスウェーデンのイエブレの 10% といわれています。そのため原子炉北方ほど汚染が強く、それらのエリアへの立ち入りは出来ませんでした。興味深いのは  $\gamma$  線スペクトルで、管理事務棟 2 階の展示室 (写真 6) に持ち込んだ LaBr<sub>3</sub> シンチレーションスペクトロメータは起動するや否や一直線に 662keV ピークを刻みましたが、土壌等での散乱のためコンプトンの低エネルギー領域が大きく膨らんでいました。

原子炉の北西 3km には放棄された機密都市プリピャチ (写真 7) がソビエト連邦時代の面影を強く残した廃墟として存在しますが、グラファイトと共に飛び散ったホットパーティクルは至る所にホットスポットを残し、持参した表面汚染サーベイメータは最大で 77.3kcpm のスポット汚染を検知しました (写真 8)。図 5 はプッシュ内計測ポイント No.9 地点とプリピャチ市内の高汚染スポットにおける  $\gamma$  線スペクトルを LaBr<sub>3</sub> スペクトロメータで計測したのですが、 $^{137}\text{Cs}$  が  $\gamma$  汚染の主体であり、一部にウラン起源の  $^{226}\text{Ra}$  も観測されました。

図 6 は訓練期間中の DMC2000 型個人線量計のトレンド記録データですが、10 日間の積算線量は  $45 \mu\text{Sv} \pm 1 \mu\text{Sv}$  (3 名データの平均) で、主たる線量寄与は航空機被ばくでした。ここで、成田空港とキエフ Boryspil 空港での手荷物 X 線検査時のデータは



写真8: 表面汚染サーベイメータの指示状況

除外してあります。尚、チェルノブイリ除外地区内での線量は  $3 \mu\text{Sv}$  でした。図 7 は放医研地下のヒューマンカウンター室内に設置されている 6ch Ge- 全身計測システムを用いて、帰国直後に計測された体内  $\gamma$  線スペクトルです。これによれば、出発前の計測では存在しなかった  $^{137}\text{Cs}$  が  $19\text{Bq} \pm 2\text{Bq}$  (3 名データの平均) 体内に認められました。この量は  $^{40}\text{K}$  の体内量 (約 4000Bq) 変動分以下であり、最悪条件として  $5 \mu\text{m}$  の AMAD で吸入摂取を仮定しても預託実効線量は  $0.31 \mu\text{Sv} \pm 0.03 \mu\text{Sv}$ 、経口摂取とすれば  $0.29 \mu\text{Sv} \pm 0.03 \mu\text{Sv}$  と自然 BG による 1 日の外部被ばく線量の半分以下でした。

本訓練は通信上の問題を除けば、REMAT としてほぼ満足のゆくものでした。しかし、現場での制限された生活環境や実汚染環境下での活動は隊員に想定以上の心的負荷を与えており、実派遣ではメンタルケアプログラムの事前策定も考慮に入れる必要性を痛感しました。

### 謝辞

REMAT 計測班として現地での訓練とデータ取得に携わって頂いた放射線防護研究センターの田上恵子さん、基盤技術センターの高田真志さん、出国前と帰国後に体内放射能を計測して頂いた緊急被ばく医療研究センターの仲野高志さんには深く感謝致します。

### 説明

- 1) European Centre of Technological Safety (TESEC), Kyiv, Ukraine,
- 2) Atomic Energy of Canada Limited
- 3) Defense Research and Development Canada

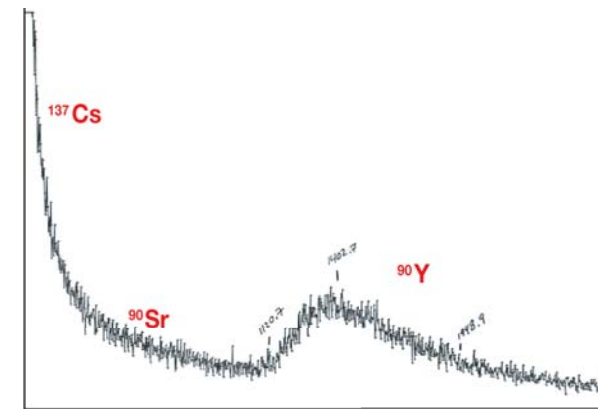


図3: フィルターに付着したβ線核種のスペクトル

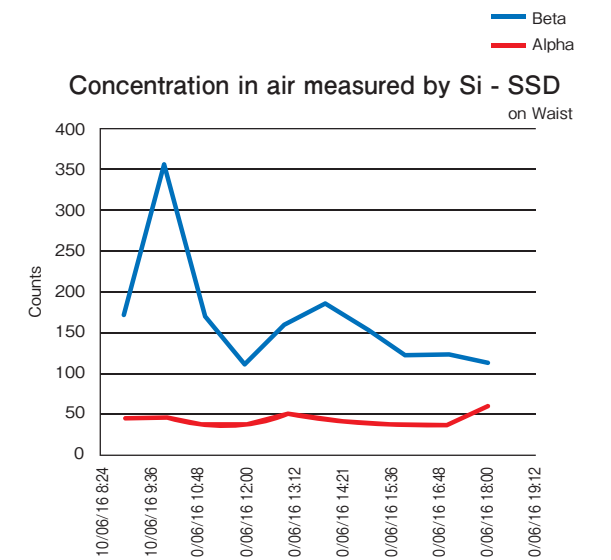


図4: 空気汚染密度の時系列変化

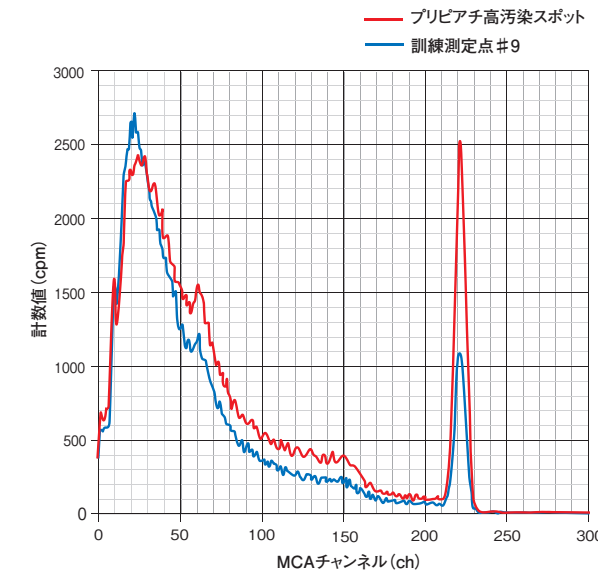


図5: プッシュ内計測ポイントNo.9地点とプリピャチ市内の高汚染スポットにおける $\gamma$ 線スペクトルをLaBr<sub>3</sub>スペクトロメータで計測した出力波高分布

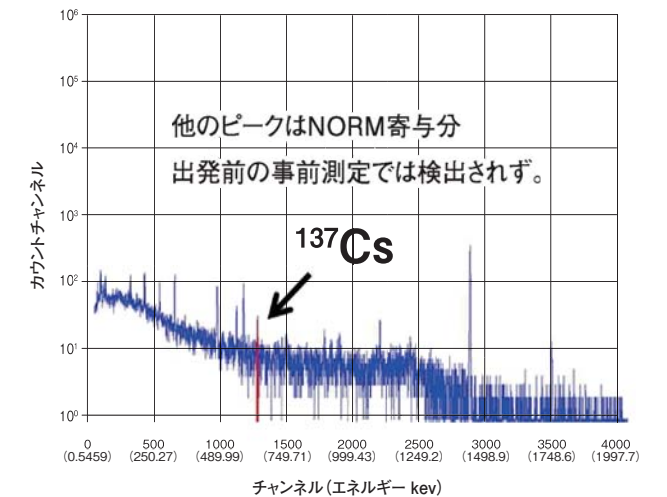


図7: 全身計測システムにより観測された体内放射能スペクトル

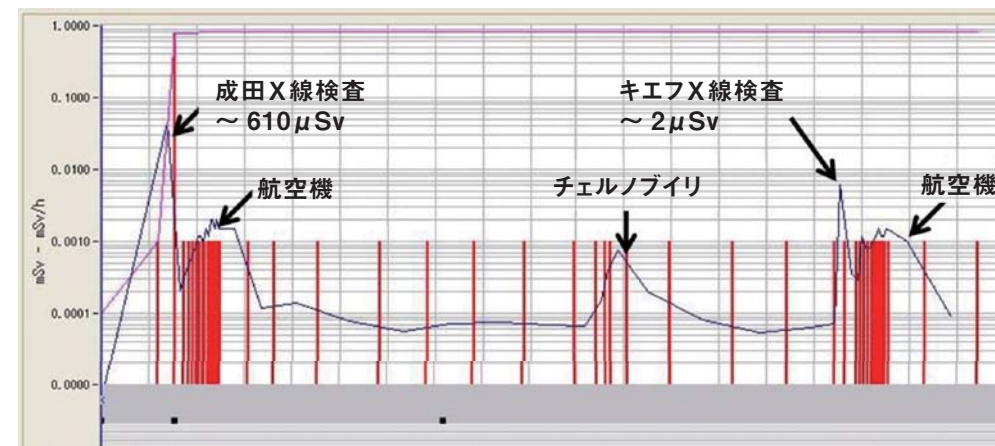


図6: 訓練期間中の個人線量計トレンドデータ

**お知らせ**

**放医研 第5回放射線防護研究センターシンポジウム**  
**「放射線防護における規制科学研究とその展望」**  
 Regulatory Sciences in Radiation Protection and their Perspective

放射線の人体への影響および障害の予防に関する研究は、放射線医学総合研究所の重要な社会的使命であります。この使命を果たすべく、放射線防護研究センターでは放射線影響の解明と、より合理的な規制への反映を目指した研究を実施しております。

その一環として、当研究センターの活動を所内外の関連研究者の方々に知っていただくとともに、より効率的な研究推進に向けてご意見やご批判を賜ることを目的として、毎年、放射線防護研究センターシンポジウムを開催してきました。

今年度は、中期計画の最後の年度にあたり、放射線防護研究センターの5年間の研究の成果をご紹介します、新たな中

期計画を展望することを目的で「放射線防護における規制科学研究とその展望」というタイトルでシンポジウムを開催することになりました。

今中期計画では、科学と社会との橋渡しの役割を果たすため、放射線防護における規制科学研究という新たな研究分野に取り組みました。シンポジウムの1日目は、第1部「放射線防護における規制科学研究の現状」としてセンターの5年間の成果を紹介します。2日目は第2部「放射線防護研究の将来の展望」として、国際的な研究の最前線の動向を紹介いただき、さらにパネルディスカッションで放射線防護研究の将来について、議論していただきます。

多数の皆様のご来場をお待ちしております。

**独立行政法人 放射線医学総合研究所**  
**第5回放射線防護研究センターシンポジウム**  
**放射線防護における規制科学研究とその展望**  
 Regulatory Sciences in Radiation Protection and their Perspective

2010年12月13日(月)～12月14日(火)  
 独立行政法人放射線医学総合研究所  
 重粒子治療推進棟 2F 大会議室  
 December 13-14, 2010  
 Lecture Hall,  
 Research Building for Charged Particle Therapy  
 NIRS, Chiba, Japan

**★12月13日 9:00-17:10** **★12月14日 9:00-17:00** **入場無料**

**第1部 放射線防護における規制科学研究の現状**  
 1. 規制科学の役割  
 米原英典 (放医研) / 久住静代 (原子力安全委員会)  
 渡辺 祥 (文科学) / 酒井一夫 (放医研)  
 2. 環境放射線と規制科学  
 保田浩志 (放医研) / 石川徹夫 (放医研) / 吉貝 隆 (放医研)  
 川口勇生 (放医研)  
 特別講演 自然放射線による健康と規制  
 下 道 謙 (藤田保健衛生大学)

**Part II Future Perspective on Regulatory Sciences in Radiation Protection**  
 1. Research for Low Dose Radiation Effects  
 Wolfgang Weiss (BFS)/ Mitsuo Neno (NIRS)  
 Antone Brooks (Washington State Univ.)  
 Masami Watanabe (Kyoto Univ.)  
 Suminori Akiba (Kagoshima Univ.)  
 2. Research for Protection against Various Exposures  
 Yoshiya Shimada (NIRS)/ Keiichi Akahane (NIRS)  
 Hidenori Yonehara (NIRS)/ Emilie Deventer (WHO)  
 Satoshi Yoshida (NIRS)/ Francis Brechignac (IRSN)

**3. Sciences and Radiation Protection**  
 Ohtsura Niwa (BioMedics Japan)  
 Christopher Clement (ICRP)/ Yuji Inoue (MEXT)

**4. Future Perspective on Research for Radiation Protection**  
 Panel Discussion (14日の発表・討論は英語で行います。)  
 後援: 日本アイソトープ協会、日本放射線影響学会、日本保健物理学会、日本原子力学会、保健物理・環境科学部会(予定)

※事前登録は不要です。  
 お問い合わせ: 独立行政法人 放射線医学総合研究所  
 企画部 人材育成・交流課 研究推進係 Tel: 043-206-3024 Fax: 043-206-4061  
 E-mail: kokukou@nirs.go.jp http://www.nirs.go.jp/

**放射線医学総合研究所**  
**第5回放射線防護研究センターシンポジウム**  
**「放射線防護における規制科学研究とその展望」**  
 Regulatory Sciences in Radiation Protection and their Perspective

会 期: 2010年12月13日(月)～14日(火)  
 主 催: 独立行政法人放射線医学総合研究所  
 会 場: 放射線医学総合研究所  
 重粒子治療推進棟 2F 大会議室

参加費: 無料  
 事前登録: 不要  
 ※14日の講演・討議は英語で行います。

事務局: 放射線医学総合研究所  
 企画部人材育成・交流課国際係、研究推進係  
 TEL: 043-206-3024  
 FAX: 043-206-4061  
 E-mail: kokukou@nirs.go.jp

プログラム等の詳細は以下のWEBサイトをご参照ください。  
<http://www.nirs.go.jp/index.html>

**お知らせ**

**放医研 第10回重粒子医学科学センターシンポジウム**  
**重粒子線がん治療と先進技術に関する国際シンポジウム**  
 International Symposium on Heavy Ion Radiotherapy and Advanced Technology

放射線医学総合研究所は、世界初の医療用重粒子線がん治療装置(HIMAC)を研究・開発し、1994年から重粒子線による臨床試験を開始しました。今年治療開始から16年目にあたりますが、当所の重粒子線がん治療が優れた成績を上げていることは世界中から認められているところです。また、2003年10月には、研究成果が厚生労働省によって「高度先進医療(現在の先進医療)」に承認され、世界で初めてその有効性と安全性の証明に成功いたしました。

わが国では死亡原因の第1位をがんが占めており、最近では毎年 30万人以上のがん死亡者と 60万人以上のがん罹患者がいるとされ、しかも年々増え続けています。高齢化が進むにつれ、様々な分野の方々の間で、切らずに治せて QOL

の高い重粒子線がん治療への期待が高まっていることを強く感じております。

そのような一般の方々にも国内のみでなく世界における重粒子線がん治療の現状を知っていただきたく、今回のシンポジウムでは、世界各地の専門家をお招きし、それぞれの立場から講演していただくことを企画いたしました。国内外の既存、建設中、計画中の主要重粒子線がん治療施設25施設が一堂に会するのは初めてのことで、画期的な試みといえます。また、当研究所からは、骨軟部組織、肺、直腸、前立腺、頭蓋底、肝臓、子宮、頭頸部、膀胱等の治療の最新成績と、次世代の治療施設のための革新的な研究・開発について詳しくご報告する予定です。

当シンポジウムでは、講演内容について、研究・治療等に携わる専門家だけでなく、一般の皆様にもご理解いただくことに努めております。演者の方々には、なるべくわかりやすくお話しいただけるよう依頼するとともに、全ての発表につき同時通訳を行います。

当シンポジウムの開催が重粒子線がん治療の更なる普及と新たな発展につながりますよう、多数の皆様のご来場をお待ちしています。

**独立行政法人 放射線医学総合研究所**  
**第10回 重粒子医学科学センターシンポジウム**  
**重粒子線がん治療と先進技術に関する国際シンポジウム**

William Chu (LBNL)  
 Marco Durante(GSI) (NIRS)  
 Jean Bourhis(Institute Gustave Roussy)  
 Mack Roach(UCSF)  
 Juergen Debus(HIT)  
 Masao Marukami(Hyogo Ion Beam Center) (NIRS)  
 Hong Zhang(IMP)  
 Takashi Nakano(Gunma Univ.)  
 Roberto Orecchia(CNAO)  
 Jacques Balosso(ETOILE) (Univ. of Marburg)  
 Takahide Totoki(Saga-HIMAT)  
 Ramana Mayer(Med Austron)  
 Ralf Kamf(Univ. Kiel-SH)  
 Guo-Lian Jiang(Fudan Univ.) (KIRAMIS)

Chul-Koo Cho(KIRAMS)  
 Robert Foote(Mayo Clinic)  
 Yuko Nakayama(Karagawa Cancer C.)  
 Cheng-Yen Chang(Taipei Veterans General Hospital)  
 Ahmad W. Kamil(USA)  
 Huancong Zu(Tsinghua Univ.)  
 Belal Mofteh(KACST) (Sun Yst-Sen University Cancer Center) (NIRS)  
 (NIRS)

主催: 独立行政法人放射線医学総合研究所  
 会場: 一橋記念講堂  
 東京都千代田区一ツ橋2-1-2

参加費: 無料  
 事前登録: 要 (12/1～受付予定)  
 ※全ての発表について同時通訳有

事務局: 放射線医学総合研究所  
 企画部人材育成・交流課国際係、研究推進係  
 TEL: 043-206-3024  
 FAX: 043-206-4061  
 E-mail: kokukou@nirs.go.jp

プログラム等の詳細は以下のWEBサイトをご参照ください。  
[http://www.nirs.go.jp/news/event/2011/01\\_12.shtml](http://www.nirs.go.jp/news/event/2011/01_12.shtml)



## 「雨夜の品定め」と秘剣さざ波 市川龍資

源氏物語はその内容がはるか遠い昔のものであるにもかかわらず、いつの時代にも現代小説として通用する新鮮さをもっている。有名な「雨夜の品定め」と呼ばれる部分(帯木の巻)は男性から見た女性観を述べたものであるが、現在の原子力時代にも立派に読者の興味を惹く内容を含み、またこの女性観が、もともと女性作者によって書かれていることを考えると、紫式部が人間の生きかた、男と女との心情の通じ方について深い洞察力をもっていたことがわかる。

源氏が宮殿の一室に泊りこんでいた。親友の頭の中將(源氏の妻葵の上の兄)がやってきた。さらに左馬の頭と藤式部の丞も来て、女性論がはじまる。左馬の頭が言うには、女性をその出身によって上流、中流あるいはそれ以下に分けてみた場合、中流階級の家で育った娘に立派な女性が多くいて宮仕えして幸運を得る例があるという。また、下の階級でも、草深い家に住む愛らしい女性や、ふつうの平凡な家にすぐれた教養のある女性がいることもあって興味深いという。因みに紫式部は中流階級の出身である。また、左馬の頭は、妻というものについても意見を述べる。つまり伴侶としての女性をきめることは容易ではないという。世間の夫婦はいずれも互に我慢し合って生活しているのだそうで、主婦は家政も大事だが、夫の話し相手もできなくてはならない。愛らしいばかりで役に立たない妻もいるし、いつもは気に入らないが、いざという時、見事な処理のできる妻もいる。このように妻選びは難かしいのだという。

源氏は、これらの女性論にもっぱら聞き役をつとめ、雨の夜を過ごした。左馬の頭が言う「いつもは気に入らないが、いざという時見事な処理のできる妻もいる」という言葉は、紫式部の平安時代も、江戸時代も現代の世にも通用するようである。藤沢周平の小説「女人剣さざ波」という作品は興味深い。

浅見俊之助は家老筒井兵左衛門に呼び出され、密命を受ける。筒井の政敵本堂修理が松葉屋という茶屋の離れで何者かと密談を重ねているらしいことを知り、その相手を探れという。俊之助が松葉屋によく出入りしてい

ることを知ったからである。俊之助が松葉屋に遊びに行くようになったのには理由があった。彼の妻邦江が不美人で気に入らなかったのである。妻をかえり見ず、茶屋に行き思いがけず幼馴染のおもんに会い、親しくなっていた。母の満尾は俊之助に対し、「女子は心ばえですよ。邦江は申し分ない嫁です。眼を開きなさい。」ときつく叱ったことがあった。

おもんの協力で俊之助は本堂の密談相手を探り出し、筒井家老に報告する。本堂の悪事の秘密が暴かれ失脚した。しかし本堂の配下の恐い剣客遠山左門がおもんを斬り、茫然とする俊之助に、遠山は明日暮れの七時半(午後五時)一本松で果たし合いに応じよと言う。本堂修理の報復である。逃れられないと知った俊之助は、帰宅して青い顔をしている。剣の腕はまったく駄目で、何もできずに斬り倒されることは明らかだった。邦江は事情を問いただし、夜遅くまで考えこんでいた彼女は夜中ひそかに家を抜け出し、遠山の家に行く。顔を見せた遠山に夫俊之助に代って自分が果たし合いをしたいこと、時刻を明け七時半(午前五時)に変えて欲しいことを頼んだ。遠山は彼女が女剣士で、さざ波という秘剣を受けついでいると聞き驚いて承諾する。

朝露の中で死闘が続いていた。邦江は全身に血を流し、遠山は右手首の傷口から白い骨が見えていた。遠山は打ち込もうとして右小手を切られ、引こうとして同じ右小手を切られるのを繰り返していた。岩に寄せるさざ波のようだった。遠山が上段に振りかぶろうとしたとき、彼の右手が手首から離れ落ち、その瞬間邦江の剣が遠山の胸を貫らぬいた。書き置きを見て駆けつけた俊之助は、遠山が倒れ、邦江が松の木の根元にもたれて首を深く垂れているのを見た。「死ぬな!」と叫んで邦江を背負い家に向う俊之助の首すじがおびただしい涙で濡れるのを感じた。家に帰ったら去り状を下さいませという邦江に俊之助は、ばかいかえ、これからは仲良くせんとと言う。

紫式部は藤沢周平の愛読者だったのだろうか。

ICHIKAWA RYUSHI (元放医研科学研究所)

## 編集後記

“放射線科学”11月号をお届けします。お陰様で10月、11月号は早めに寄稿があり、編集作業も比較的順調に進みましたので、著者他関係者には感謝します。事務局は、毎号記事を欠かさず載せ所定の頁を満たし発刊する務めがありますので、原稿が整って編集・校正を終え入稿となった時には本当に一安心致します。なお、本誌もそうですが、書籍一般では4頁単位で製本する頁構成となるため、総頁数は4の倍数に合わせる必要があります。各原稿が所定の頁数に丁度収まるよう編集するには、記事ごとに少し工夫が要る訳です。

また、この度、本誌事務局では読者の皆さんにアンケートをお願いしましたところ、多くの皆さんから回答を頂きました。アンケートの結果は確認致しましたが、ご意見や感想、或いは発刊についてのご支援等々を頂きましたので、回答頂いた読者の皆さんにお礼申し上げます。アンケート結果は、現在、とりまとめているのですが、大変貴重な意見として今後の本誌の編集や刊行および広報業務の進め方などに役立てていきたいと思います。

11月号は、特集記事として9/17に千葉市美術館を会場として開催した「第17回公開講座“放射線のリスク・宇宙の放射線・重粒子線がん治療”」を掲載しました。本公開講座はこれまで所内で開催してきましたが、今回初めて所外の会場で開催しました。当日、美術館では著名な日本画家の特別展が開催中のこともあり、参加者の皆さんもアートとサイエンスのコラボレーションと言いますか、通常の講演会場とはまた違った雰囲気の中で講演を聴いて頂けたと思います。お陰様で本講座は満席となり盛会の内に終えることができました。また、次回の公開講座も来年2月18日に同じ会場の千葉市美術館で開催する予定です。(OM)



旧変電所脇の花壇に咲いている  
ニチニチソウ

## 次号予告

### 特集 「日本-ヨーロッパ合同シンポジウム-イオン線がん治療」および「カロリンスカ研究所-放医研 イオン放射線科学に関する合同シンポジウム」

- 1) カロリンスカ研究所-放医研合同シンポジウム印象記  
スウェーデンカロリンスカ研究所 腫瘍・病理学部医療放射線物理研究ユニット  
アンダース・ブラーメ、アネリー・メイヤー
- 2) 参加報告記  
重粒子医学センター 粒子線生物研究グループ 平山 亮一

### 報告記 「生物学者のための疫学研修会」 ～特に放射線被ばく後の発がんリスクについて～ 1) 生物学の立場から 2) 統計学(疫学と生物学の橋渡し)・疫学の立場から

《編集委員会》

委員長……酒井 一夫

委員……白川 芳幸 内堀 幸夫 高田 真志 玉手 和彦 金澤 光隆 小橋 元 長谷川 純崇  
菊池 達矢 神田 玲子 石井 伸昌 立崎 英夫 鈴木 敏和 杉森 裕樹

事務局……岡本 正則

## 放射線科学 Radiological Sciences Vol.53 No.11 2010

### 第53巻 第11号

2010年11月25日発行

《Editing and Publication 編集・発行》

National Institute of Radiological Sciences  
Anagawa 4-9-1, Inage-ku, Chiba, Japan 263-8555  
tel: +81-43-206-3026 fax: +81-43-206-4062 e-mail: info@nirs.go.jp  
URL: http://www.nirs.go.jp/info/report/rs-sci/index.shtml  
Copyright© 2010 National Institute of Radiological Sciences

独立行政法人 放射線医学総合研究所  
〒263-8555 千葉市稲毛区穴川4-9-1  
電話 043(206) 3026 Fax.043(206) 4062 Eメール info@nirs.go.jp  
本誌 URL: http://www.nirs.go.jp/info/report/rs-sci/index.shtml  
(禁無断転載)





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

