

パストゥール通信

特集：放射線とがん

2012年 新春号



新春を迎えて

理事長 渡辺 好章



東日本大震災ならびに連動して生じた原子力発電所事故は人間社会のさまざまな事象に大きな影響を与え、その余韻はいまだに続いています。しかしながら、このような大きな衝撃を造り出した自然界は、まるで何事もなかったかのように季節の歩みを着実に進め、気がつけば新しい年を迎えております。大自然の持つ懐の深さに改めて畏敬の念を抱く次第です。

人類の自然現象へのあくなき探究心は、最初は天体の動きを中心とした「大宇宙」に向かい、その結果、物理学ならびにその応用である工学技術は跳躍の進歩を遂げ、20世紀には大宇宙も人類にとって身近なものとなった感がありました。人類最初の宇宙飛行士であるガガーリンの言葉に「地球は青かった」という一節があり

ますが、この言葉には、自然現象を克服してあこがれの大宇宙との接点を見出した人類が、悠々と回り続ける地球の偉大さに抱いた感動が表現されていると思います。この感動とは裏腹に、宇宙から見た地球は、人類は一つの運命共同体である宇宙船地球号の搭乗員であること、そしてこの宇宙船の中ではエネルギーや食糧などの全てが完結されていなければならないことの認識を改めてわれわれに迫ってきます。地球号を将来にわたってどのように安全に運転していくのが大震災以降のわれわれに投げかけられた課題でしょう。

21世紀の科学には、大宇宙という壮大な世界を考えると同時に、「小宇宙」であるわれわれの体内の不思議にも目を向けた展開が必要とされると思います。大宇宙探究で解明された地球が包含する自然システムの完結性と同様に、生命体内には小宇宙としての懐の深さがあるように思えます。本年も生命科学を中心とした小宇宙に対する新たな自然科学の大きな進展が期待されるところです。本研究センターも微力ながら小宇宙の解明に努力を続ける所存です。みなさまのご理解とご協力を引き続きお願いする次第です。

chapter

1

放射線で 癌はどのように 発生するか



訊ねる人 パストゥール通信編集部

Q 津久井 淑子

答える人 分子免疫研究所 所長

A 藤田 哲也

昨年3月11日に、私たちは未曾有の大震災を経験しました。東日本大地震とそれによる大津波など、今まで見たこともないような自然の猛威に国中が震え上がりました。

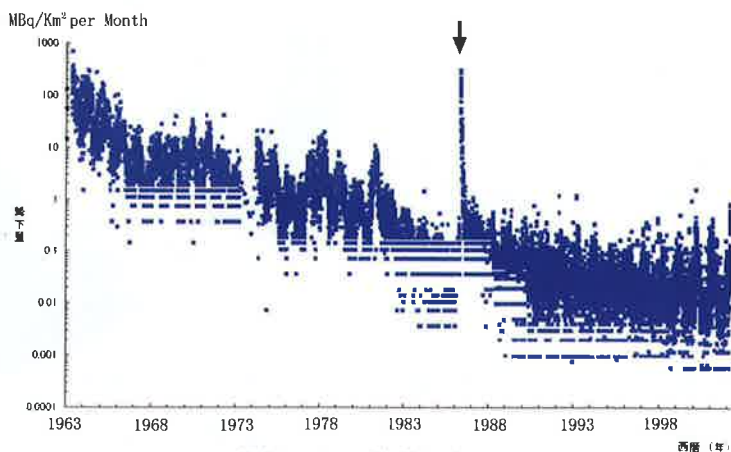
そして、その恐怖が去らぬ間に、今度は原発事故という、人間の作ったものによる脅威に曝されています。目では確認できない放射線という恐怖。風評も交えて、俄かに、その見えないものへの恐怖は爆発的に拡大しつつあります。この際、事実を、しっかりと理解し、正しく行動することが重要だと思います。放射線は私たちの目には見え、五感に訴えるものはなにも持っていません、それでいて時間が経てば癌という、やっかいな、命に関わる病気を起こしてくれる可能性があるということです。まさに、得体の知れない未知との遭遇が、私たち一人一人の目の前に迫っている、という感じです。

そこで、ここでは、特に放射線と癌との因果関係について考えてみたいと思います。未曾有とはいえ、原子炉の事故には前例があります、その教訓に学ぶことが重要です。そこで、先ず質問をさせていただきます。



1986年にチェルノブイリ原発事故が発生しました。その放射性物質が気流に乗って図1に示されて

いるような量で日本に上陸、落下し(図1↓)そのために特に東北地方に乳癌が増えた(図2↑)というデータを発表された方があります。この主張を裏付けるため、この大気汚染(図1↓)が観察された10~12年後(1995~1997年)の2年間、実際に東北6県で乳癌死亡がピュンと増えたことを示すグラフ(図2↑)が付けられています。ここで引用されている著書¹⁾で、肥田舜太郎さんは「広範な地域に大量の死者を出した原因は地理的な関係から大気汚染以外には考えられない」と結論しておられます。そして、AOL NEWSのこの発信者は、この著書の紹介に続けて、チェルノブイリの生き残りと言われるナタリー・マソロバさんのメッセージとして「できるだけ早く逃げてください、待ってはいけません」という言葉を伝えています。それらをどのように解釈すればいいのでしょうか?東北地方に留まっていたは本当にいけないのでしょうか。心配になってきました。



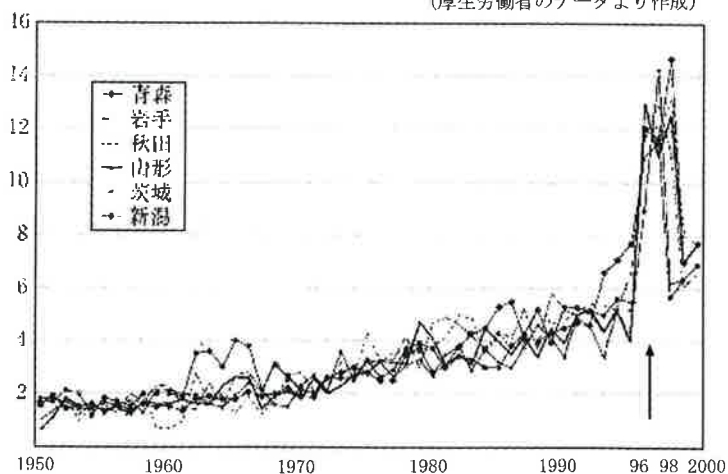
●図1 日本に降下したセシウム137の経年変化

文部科学省の環境放射能調査の結果をもとに作成された「日本の環境放射能と放射線」、横軸は西暦1963年から1年刻みで2002年までの〔年〕。縦軸は1平方キロメートルあたりに1ヶ月間に落下したセシウム137のMBq量

青森・岩手・秋田・山形・茨城・新潟

人口10万人当たりの年間乳癌死者数

(厚生労働省のデータより作成)



●図2 東北6県の乳癌死者数

青森、岩手、秋田、山形、茨城、新潟で報告された乳癌死者数。厚生労働省のデータによるとされている。縦軸は10万人あたりの死亡者数。横軸は西暦1950年から1年刻みで2000年までの年単位の日盛り。

そこで、編集部から、ヒトの癌がどのように発生してくるかを50年に亘って研究してきた藤田哲也先生の見解を聞いてみたいと思います。



藤田哲也：私は、病理学教室在職中、発生学に興味がありましたので、ヒトの胃癌や肺癌や膀胱癌や乳癌など成人の癌(癌腫)の発生と、その原因との間の因果関係について、時間軸の上で、どのように関連し、どのように進行するかをしらべてきました。広島や長崎の原爆のみでなく、自然放射能の高いウランウム鉱山で働いていた人や職業的にラジウムやレントゲン線を扱っていた人たちの癌の発生も対象でした。夜光時計に塗る蛍光塗料にラジウムを混ぜて良く光るようにしたものを筆で塗布するさいに舌で舐めて穂先を整えるのは一般的でしたから、その職人さんの多くが長年経つとラジウムの内部被曝で癌に罹りました。また、化学物質として発癌性の高いアニリン染料を使い続けていた染物職人の膀胱癌や、毒ガス材料としてのナイトロジェンマスタードを大量に吸い込むような環境で徴用工を働かせていた軍事工場もあり、それらの人々に晩年の肺癌、食道癌も多発しました。これらは、ある時点から発癌性に気付かれ、それからは、そのような環境に暴露されることはなくなりました。この後は、対応が医療的見地からのものに切り替えられ、これらの人々の間で、それ以来、どのような時間経過で胃癌や肺癌や膀胱癌や乳癌など成人の癌が発生してきたか、医学的なデータが蓄積されてきています。

これらの観察事実²⁾から確実に言えることは(図3)、ヒトの癌腫(胃癌や肺癌や膀胱癌や乳癌など上皮から発生する成人の癌)では、初発から癌死まで平均でも25年ていどの時間がかかり、

しかも個人々々のバラつきはかなりの程度存在する、ということです。とくに、乳癌は成長や進行の遅いものが多いので、平均では自然史の経過が30年を越える、と考えて間違いではありません。もちろん、この自然史の大部分は潜在的な初期癌・早期癌なので、患者さんが癌と診断されてから30年が経過する、ということではありませんが。

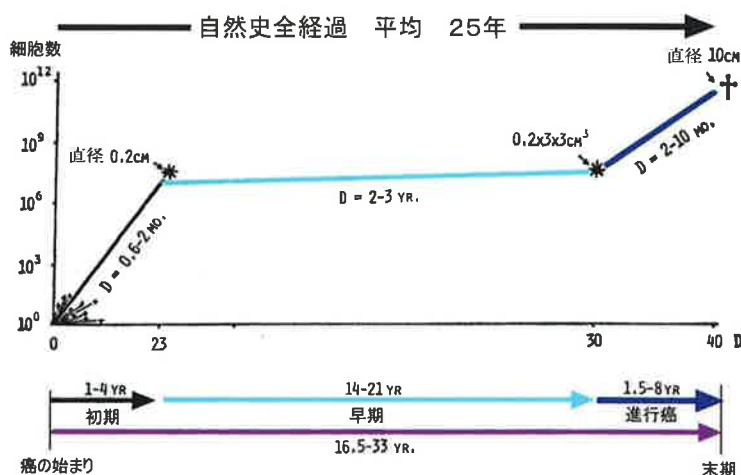
この事実からすると、図2の↑のようにチェルノブイリの降灰から10年から12年でピョンと乳癌死の率が上がり、2年後に、また平常時の死亡率に復帰した、という現象は、この降灰と乳癌発生ピークとの間に医学的な発癌の因果関係を想定することが、まったくできないということを示明らかに示しています。

また、この図1を見て、読者も不思議に思われるでしょうが、チェルノブイリのピークより左側に(とくに左端の1963年にかけて)、チェルノブイリと比肩できるピークが目白押しに並んでいるという事実があるのに乳癌発生の統計(図2)を見ると、死亡率は低いままです。じつは汚染の量は全部のピークの下の面積を足し合わせたものに比例するのですから、チェルノブイリの降灰のピョンとした一本のピークはとても1970年以前の汚染量には及びもつきません。図1左端のピークの重畳ぶりをみるとこの頃のアメリカ・ソビエト・フランスの原子爆弾実験が撒き散らした放射性核物質の量に驚かされますが、実は、これより左、1963年以前(どうしたわけか図には出ていません)に、降った量は大変な量なので、これを考えると、過ぎたこととはいえ、恐怖に襲われます。しかし、これらは、不思議に、乳癌死亡率に目立ったピークは作っていないのです。

この図1、図2のデータからの、科学的には全

く根拠の無い誤った判断から、「すぐ逃げなさい」というアドバイスに短絡するのは、非科学的です。これは、「いま住んでいる家やコミュニティを捨てて、新たな生活をゼロから始めなさい」ということを勧めることになるので、とうてい見過しえない間違ったアジテーションだ、と私は思います。住環境を変えるストレスを、軽く見すぎています。この全人的ストレスの方が、すでに癌を持っている方や生活弱者には、はるかに致命的に働くことを忘れてもらっては困ります。

しかし、じつはこのような放射線への創られた恐怖情報は日本だけではなくありません。ヨーロッパでも全く同じと言える誤解がまことしやかに広められています。ただ、この研究³⁾をおこなったスウェーデンのトンデルさんやリンドグレンさんが悪いわけではありません。放射線とヒト癌の発生についての知識を欠いているのに両者の因果関係を結論しようとした人たちが周りにいたのが間違いだっただけです。チェルノブイリのすぐ風下にあったスウェーデンでは、1986年の



●図3 ヒトの癌腫についての自然史の半定量的モデル

これは、私たちが消化器の臨床医や臨床病理医の協力をえて、十数年かけて調べたデータに基づく人胃癌の自然史の全経過についての半定量的モデルである(文献2)。全体を通して見ると、初期(1~4年)と早期(14~21年)と進行癌期(1.5~8年)に分かれている。癌細胞は全経過に涉って倍々ゲームで増えていく。しかし単位になるダブリングタイムDの長さは各時期で同じではない。各時期には、成長の場に応じ、異なった成長パターンをとる(文献2参照)。初期、早期には細胞数が未だ少ないので癌の塊りは全く目立たない。しかし進行期になると細胞数はすでに10億(直径1 cm)を越え次の一回のダブリングで20億となり、40億、80億、160億...と増えていくので、その成長は肉眼的にも爆発的となるのである。そして急速に、手の打ちようのない末期へと突入する。しかし、癌の本当の起始細胞が出現した時期はそんなに最近ではない、本当の起始細胞の出現は図の最下端に書かれているように、今を去ること16.5年ないし33年前なのである。これを平均でいうとおおよそ25年である。

原発事故後、2日間続いた豪雨によって空中のセシウム137が大量に降下しました。トンデルさんらは汚染の高度な地区に住んでいた60歳以下の1,137,106人について汚染地図をもとに被爆量を算定し、スウェーデンの完備した癌登録制度を活用して1988年から1999年に診断された33,851件の悪性腫瘍と汚染度との関連を統計的手段を活用しながら推算しました。その結果、「チェルノブイリ事故2年後から4年間は癌と診断された人の数は平時に比べて有意に増加した。ただし、この間にも甲状腺癌や白血病が増えたという証拠はない。しかし、これに続く8年間には、どのタイプの癌症例にも有意の増加はなかった。」と報告しているのです。被爆後2年目から11年目までの内、最初の4年間だけ悪性腫瘍の有意の増加があったというのは、ヒト癌の発生と自然史の経過を考慮に入れると(図3)、先に指摘したのと全く同じように、スウェーデンのこの時期の汚染の増加は、癌を発生させたかどうかという観点からみて、全く関係がないと言えることは明らかです。この汚染地域でも、最初の6年間、住人は自らの酪農産物の摂取制限はもちろん、市販も制限され、多くは元のコミュニティを引き払って退去・疎開を強制されるチャンスも多かったことと考えられます。だから、実際に癌の発生が増加したとは考えられませんが、当然、このストレスが自然免疫の低下を介して進行期(ないし末期)にあった癌患者のQOLの悪化、病勢の急速な進行など、癌の顕在化や癌死の増加として癌登録データの上に癌患者の数的増加の形で現れたものと推定されます。トンデルさんたちも、これが真の癌発生事象の増加とは考えておらず、プロモーション(促進現象)が強化された結果、既に存在していた癌の病勢が速く進行したのではなかろう

かという推察を述べています³⁾。

しかし、驚くべきことに、多くの日本の学者が、トンデルさんのデータをもって、「原子炉爆発後の低線量の被曝は、間違いなく多くの悪性腫瘍を発生させる」証拠であるとして癌の恐怖を煽るような言動を示しているのです。これは大きな過ちであると私は考えます。しかし、これは日本人だけではありません。

ECRR(欧州放射線リスク委員会)に属しているバズビーさんというイギリスの学者などは、もっと高圧的で、トンデルさんらの論文を根拠に推算し、「今後、癌の発症例は10年間で10万人に及ぶだろう、福島原発から20km以内に住む人々をいま直ちに退避させれば、この人数は著しく減らせるだろう。」IAEAは日本の文部科学省のデータを使い、汚染レベルを著しく低く報告している。今後、あらゆる政治的判断は欧州放射線リスク委員会の勧告をもとになされるべきである。今回の事故において故意にデータを公表しないものや、健康への影響を過小評価するメディアについては調査し、法的制裁を加えるべきである。」と、脅迫的ともとれる発言を公的にしているのです。これらの学者はトンデルさんの論文の結論を、「低線量でも癌が増える」としているのですが、これは、とんでもない誤解です。癌発生の自然史を考慮に入れば、このような結論には全くもって達しませんし、トンデルさんたちもそんな結論を出しているわけではないのです。



今回の福島原発事故では、子どもたちは白血病や甲状腺癌に、大人たちはあらゆる癌になる可能性があると呼ばれています。実際、放射線で癌が発生するならば、放射線がどのように体に影

響を与え、それが癌化するのか、そのメカニズムを教えてください。

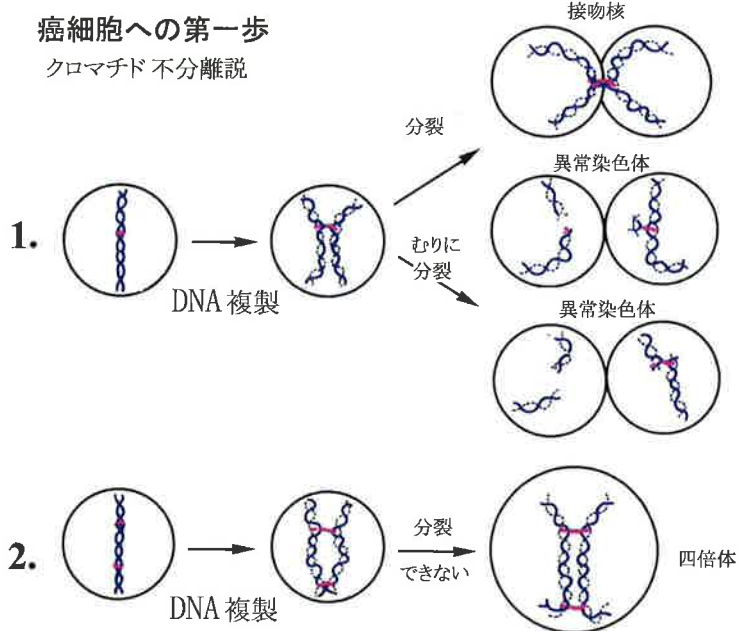


そのためには、ヒトの癌の発生について、とくに癌細胞の発生のメカニズムと癌生長の自然史を正しく理解しておく必要があります。これは少し難しい話になりますが、辛抱して聞いてください。

癌は細胞の病気です。初めは、貴方自身の増殖細胞から出発するのですが、癌に成るように

方向付けをされた直後の癌の祖先細胞は(起始細胞と呼びます)正常細胞と比べても、一見なんの変化も無い細胞のように見えます。しかし、染色体が1箇所だけ異常になっています。

正常細胞との本当の違いは何処にあるのか、現在でも100%は明らかになっていません。しかし、癌の起始細胞になる増殖細胞では染色体を構成する二重鎖DNAの中で二本のDNA間をリンクするような分子変化(図4の中で赤で示された構造、クロスリンケージ)が生じていると



●図4 癌起始細胞の染色体クロスリンケージ仮説(クロマチド不分離説)

癌起始細胞の特性を説明する仮説の一つとしての染色体クロスリンケージ説では最初の、癌の起始細胞の染色体DNAに二本鎖の間を架橋する分子間クロスリンケージが出現すると考える。図では染色体1本だけを例として示している。毎回DNA複製後に細胞分裂が起こるが、分裂は力学的過程であり複製後に2本のペアになっているクロマチドは左右に引かれる。リンケージが存在するため分離が不可能になっているクロマチドを無理に引き剥がそうとすることで二重鎖切断DSBないし、それに関連した染色体不安定性が毎分裂ごとに発生する。この集積が癌細胞を作り出すのである。一方、細胞数も倍々ゲームで対数的に増加する。この二つの現象(染色体の多発性損傷と過度な細胞数増加)が相俟って、癌という病気を作り出すのである。

いう仮説が有力です。私はこの説に全面的に賛成しています。このような細胞ではDNA複製の後、細胞が分裂しようとする(図4中央)、ちょうど結合双生児を左右に引き剥がすような状態となり完全な分裂は不可能になっているのがわかります。その結果の一つは、右端一番上の「接吻核(kissing nuclei)」の状態になるもので、正に結合双生児そのものの形です。これを強いて分離すれば図4の右端二番目・三番目に示されているように二重鎖切断(Double Strand Break, DSB)の状態になってしまいます。しばしば、その一部は新しい断片的染色体になり娘細胞のどちらかに取り込まれますが時には核の外で別個に小さな核をつくることもあります。いずれにせよ、娘細胞核は二つとも染色体が異常となり異型細胞と呼ばれる状態になります。これが癌細胞になっていくのです²⁾。

染色体にクロスリンケージのような傷ができると、それはDNAの傷ですから、修復されない限り、染色体の複製に際しては必ず複製され娘細胞に伝えられます。このようにして、一旦クロスリンケージをもつようになった染色体は娘細胞

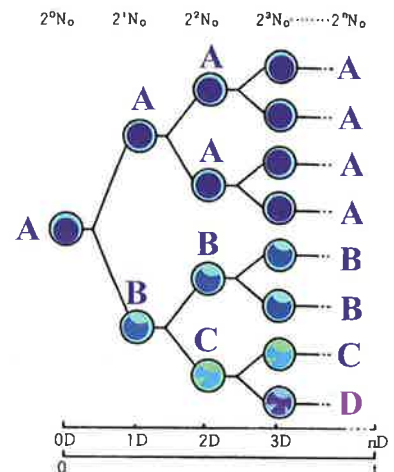
でも再び異常分裂を起こし、代々、新たな傷を増やしていきます(図5下端)。

癌になってしまった細胞でのDNAの異常は1箇所ではなく多数です。この複数の染色体異常は、癌の起始細胞が多数回の分裂を繰り返す間に次々と集積されてきたものです。図5の一番下の系譜D(色が変わっています)はこれがA⇒BとB⇒C、C⇒Dと3回起こった状態を示しているのですが、実際は癌細胞が生きている限り分裂を続けるので、これが何回となく繰り返されるのです。その結果、形も機能も異常な癌細胞が出現してきます。

このように、染色体のクロスリンケージ仮説²⁾は癌の起始細胞の進行性「染色体不安定性」のなりたちを説明するための学説で、まだ100%確立された説ではないのですが、末期癌に向かって進展しつつある初期・早期癌を構成する細胞の中に、現実に、顕微鏡像として、検出される特徴的な細胞変化を作り出すメカニズムを説明でき、そして、その結果として、高度に変異した癌細胞の染色体が作り出されることを考えると、癌細胞の発生が分子レベルで理解できる合

●図5 癌細胞の数的倍加と染色体異常の蓄積

癌細胞は分化して一定時間後には死ぬという能力を失い、際限なく倍加を繰り返す。その数的増加は倍々ゲームで進行する。それを簡単に数式で表すと一番上の列にあるように最初に存在した起始細胞の数を N_0 とすると(普通は1個からで $N_0=1$ である)、 n 回倍加したときの細胞数は $2^n N_0$ で与えられる。この間に経過した時間は1回のダブリングに要する時間を D (ダブリングタイム)として nD で計算できる(下端)。正常細胞は例え増殖を繰り返しても図上半分のAで表現されるようにどこまで行ってもゲノムはAで安定しているが、癌の起始細胞B→Cでは最下列の系譜に示すように殆ど毎回、変異を集積しB→C→D→のように進行し、遂に悪性の癌細胞に成っていくという経過を迎える。これが染色体の不安定性である。



理的な説明といえるでしょう。

このような(図4に示されたような)染色体のクロスリンケージが実際、アルファ線やベータ線やガンマ線あるいはレントゲン線のような放射線の照射によってできることは実証されています。

これがどうしてできてくるのか、少し難しいですが、分子のレベルで見えていきましょう。

放射線がつくる癌細胞

DNAが図4に示されているような、2本の相補的な鎖が振じり飴のように巻付いてできた分子であることはよくご存知でしょう。そして細胞が増殖して数を増やすときには、この振れが巻き戻り、それぞれ、相補的な鎖状分子を合成し、それによって親と同じDNAを2本に増やし(これをDNA複製と言います、図4中央の細胞はDNA複製後の状態です)、細胞分裂を可能にしていることもよくご存知だと思います。言ってしまうと簡単なことのようにですが、DNA複製は、とても複雑な作業です。蓋をした浴槽の中で1000メートルもある紐を解き、それぞれ、新たに編んで親と同じものを2本にする、といった作業ですが、繋がったままではとても巻き戻せないで、細胞はDNAに切れ目を入れて巻き戻しながら少しずつ編んでいきます。その結果、どうしても一部に振れ過ぎのところ(超螺旋)ができてしまいます。振れ過ぎの解消が必要です。また、このような歪みはDNA複製の完了時にも生じています。細胞は、このような振れの解消のために2重鎖を切って振れを戻し、瞬間的に繋ぎもどすトポイソメラーゼというタンパク酵素系を発達させています。これとは別に、DNAが傷ついたときに修復するのにも、いったん2重鎖を切る(DSB)というプロセスが必要に

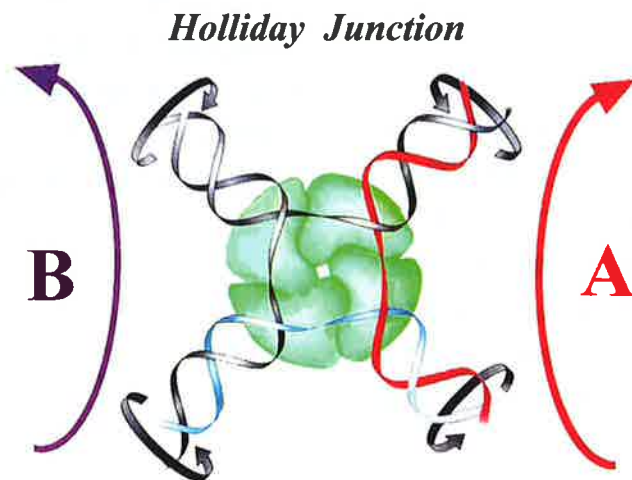
なるので、細胞はその修復のための酵素系も完備しています。これらはDNA複製とDNA修復という、生物に最重要な機能に含まれる必須のプロセスとして、38億年以上の歴史をもっているシステムです。これらの作業中には、しばしばホリデイ連結⁴⁾(Holliday Junction 図6)と呼ばれるクロスリンケージ構造が一時的に発生します。図6を見てください。A、Bの2本のDNA鎖の間にクロスリンケージができていよう。これが、正常なDNA複製の完了や、重いDNA障害からの回復の際にしばしば通過する状態なのです⁵⁾。普通はこの状態が出現しても、完備したRecQヘリケースなどの酵素群を駆使することによって繋ぎ換えが実行され瞬時にクロスリンケージを解消します。回復システムが正常ならば、この複雑なプロセスがなんなく乗り越えられるのですが、もし、放射線の爆撃を受け、このシステムが壊れているとDNAは、クロスリンケージを持ったまま複製を完了してしまうことになります。化学的発癌物質でも同じような障害が起こります。クロスリンケージが残った細胞は癌の起始細胞になります。

このように説明すると、すこしでも放射線が当たったり、化学発癌物質が来ると必ずクロスリンケージなどのDNA障害が残るのかと、お考えになるかもしれませんが、決してそういう単純・機械的なものではありません。生物では38億年も前から強力な修復システムを発達させていて殆ど全てのDNA障害やホリデイ連結を完璧に修理します。運悪く修復システムの機能がひどく壊されているか、働きが悪くなるような障害を受けて回復しきれずDNAに傷が残っても、生物はすばらしい順応力で、あらゆる手段を召集して修復を完遂しようとします。そして、万策尽きたときにのみ、クロスリンケージが残り、癌

の起始細胞が出現してしまうのです。

ここまで見てくると、少しでも放射線が当たったり、発癌性の化学物質があると必ずクロスリンケージなど癌発生の初期現象が誘発されてしまうようなものではないことが、お分かりだと思います。修復力、順応力は驚異的なもので、放射線の圧倒的な集中攻撃でもない限り、修復はほぼ完璧です。むしろ或るレベル以下の放射線には順応力の方が勝り、健康にはベターなストレスになると考える学者が多くいます。生命のな

い物質に放射線を照射したら、たとえ弱くとも劣化以外の反応は考えられないでしょう。しかし、生命体は違います。生命は順応力によって生き延び、放射線とともに進化してきました。恐らく年間百ないし二百ミリシーベルト程度以下の弱い放射線は、人類の長い体験から、癌の起始細胞をつくることは殆ど無く、むしろ生命にはプラスになるだろうという意見もあります。今こそ、弱い放射能は「絶対悪」ではない、という事実を証明するような、自然放射線や温泉療養の



●図6 正常な増殖細胞にもクロスリンケージが一過性に出現する

正常な増殖細胞にもDNA複製に際して、2重鎖切断(DSB)は常に発生し、相同組み換え(Homologous Recombination, HR)による、その状態からの回復時に、図のようなホリデイ連結(Holliday Junction)と名付けられた構造が一過性に出現する⁵⁾。よく見ていただくと、これは2本の2重鎖DNA(AとB)の間を繋ぐクロスリンケージに他ならないことが分かるだろう。このように一過性に出現するクロスリンケージは全く生理的なものである。生理的なDNA複製の際に見られる他にも、障害によってDNA2重鎖が両方とも切れてしまうような状態(DSB)に陥ってしまうと、そこから、HRIによって正常な構造に復帰するときもホリデイ連結は必発的に出現する。従って、正常・異常時を問わず、細胞はこのような一時的な構造から回復するための修復酵素RecQヘリカースなど完璧な酵素システムを備えている⁵⁾。だから、正常にDNA合成を終えた細胞には絶対にクロスリンケージは残らない。大量の放射線によって細胞核内に処理しきれないほどのラジカルが作られるとか、重篤なDNA障害を受ける、などして、この酵素システムの働きが不完全になってしまった場合に、初めてクロスリンケージが残存する可能性が生じるのである。

効果などの科学的観察を積み重ねて欲しいものだ、と私は考えています。



癌の発生までの時間を考えると、本当に影響が出てくるのにはずいぶんと間があるということがわかりました。ということは、時間を経てからの発症時、放射線とのはっきりとした因果関係がわかるものなのでしょうか？



それは分かりません。起始細胞ができるときのメカニズムが化学発癌とは異なりますが、起始細胞がいったんでてしまうと、それは染色体の変化ですので、以後の、癌への進行は似たり寄ったりの経過を辿ります。タバコでできる肺癌も、放射性微粒子を吸い込んでできた肺癌も本質的に類似した癌細胞から構成されています。癌の発生には、それら全てが総合的に働きます。また、自然史の経過中に、慢性炎症のような促進的な刺激が付け加わるとか、強い身体的心理的ストレスが来るとかすると、いずれの場合にも最終的な癌への進行は加速されます。

文 献

- 1) 肥田舜太郎、鎌仲ひとみ:「内部被曝の脅威」。ちくま新書 2005.
- 2) 藤田哲也:「がん—予防の基本」。
・財団法人 安田記念医学財団 刊、2011.
<http://www.yasuda-mf.or.jp>
- 3) Tondel M, Lindgren P, Hjalmarsson P, Hardell L, Persson B: Increased incidence of malignancies in Sweden after the Chernobyl accident — A promoting effect? Am.J.Industr.Med. 49, 159-168 (2006)
- 4) ワトソン「遺伝子の分子生物学」。第6版。中村桂子監訳。東京電機大学出版局。2010.
- 5) 石川冬木:染色体機能異常と発がん。「がん研究のいま ①発がんの分子機構と防禦」。P.81-102, 東京大学出版会 2006.

chapter

2

東日本大震災救援医療チーム、 JMATに参加して

ルイ・バストゥール医学研究センター

臨床病理研究部部长（土橋医院院長） 土橋 康成



それは何時もの病院出張で、京都駅午後2時49分発JR奈良線快速に乗車した直後の事だった。発車後直ぐに車両が鴨川橋梁上で徐行となった。何か起こったのだろうか？見上げると京都駅に入線しようとする下りの新幹線がプラットフォーム手前の高架上で止まっているのを認めた。いささか怪訝には感じたものの、その時点で何が起っていたのかを知ることは出来なかった。午後3時半過ぎ、JR木津駅前の公立山城病院に到着。病理検査室に入った。

「先生、ご存知ですか？大変な事が起こっていますよ。」技師さんが直ぐに教えてくれた。彼に導かれて技師室のテレビに見入ると私が未だ見た事のない恐ろしい映像が流れていた。テロッ

プは東北地方で大きな地震があり、津波が押し寄せているとの情報を繰り返し伝えていた。しかし津波の規模については情報がひどく錯綜していたのを思い出す。

想定外

平成23年3月11日金曜日午後2時46分18秒のことであった。われわれの想像を遥かに超えた規模の地震、津波、そして引き続いて原子力発電所の致命的損壊が発生していたのだ。今日“想定外”の3文字が屢々用いられているが、我々がとても稀少にも経験することが出来た今回の大震災は、要するに日本の政治と行政のみなら



ず、科学の敗北の結果でもあったと受け止めている。正しく想定出来なかったのは、我々に観察力、分析力、想像力、洞察力などが不足していた為と反省しなければならない。そして科学だけは「喉元過ぎて熱さ忘れる」であってはならないと思った。

JMATへの参加

3月11日以後のテレビやインターネットが続々伝える震災被害は誠に甚大かつ悲惨なものであった。現在を生きる医者の一員として、わたしはもう居ても立ってもいられなくなっていた。たまたまの事ではあるが、わたしの身内には放射化学の研究者や福島第一原子力発電所の建設に携わった者がおり、今回の大震災と原子力発電所損壊とが他人事ではあり得なかったのである。その時、京都府医師会のメーリングリストを通じて日本医師会が組織する医療救助隊、JMAT(Japan Medical Association Team)へのボランティア参加募集があった。わたしは躊躇無く直ちに申し込み、派遣待機状態に入った。広域災害の際には都道府県はあらかじめ調整を行いグループ分けにより派遣先を決めているとのことで、京都府が支援を行うのは福島県と決められていた。そして京都府医師会からのJMAT派遣先として福島



●図1

県会津若松市といわき市が決められた。いわき市は被災損壊した原子力発電所から30Km内の地域を含むものであった(図1)。

いわき市へ派遣

JMAT参加申し込みから暫くして京都府医師会本部から連絡が入った。わたしの派遣先はいわき市に決められた事、京都府医師会第5次派遣隊いわき(3)班として、わたしと同じく自らの意思で参加する医師4名、看護師2名、薬剤師1名の計7名で構成されるチームに入ること、そして出発は3月28日(震災発生後の17日目)早朝。空路福島空港に向い、そこから先はあらかじめ手配されたタクシーを使うとのことであった(図2)。そして自院は臨時休診とする張り紙を出した。

頼れる仲間達

出発当日、いわき(3)班の各員はお互い初めての顔合わせであった。わたしはグループ内最年長とのことでリーダーの指名を受け、3日間にわたる医療支援活動に取りかかった。このような場合、各員は少なくとも自らの意思でJMATに参加したという点において共通点があるので、寡黙であっても頗る意思疎通が良かった。そして



●図2

事実、素晴らしい仲間達であった。活動2日目、思いがけず京都府立医科大学名誉教授、元日本外科学会会長、現東京都病院経営本部顧問の高橋俊雄先生が現地本部に駆け付けられた。先生はわたしに外科学を教えて下さった恩師であり、ご出身が福島県二本松市とのことで、この度の震災に接し、居ても立ってもいられなくなってやって来られたと語られた。先生は私達のグループに入って下さり医療支援活動を行われた。

避難所巡回

いわき市では市医師会館に現地本部が設けられていた。現地本部長を務められていたいわき市医師会長木田光一先生(図3手前)は自らも被災者であり、ご自宅も損壊したとのことであるが、医師という職業の特殊性と医師会長という職責から、ご自宅の復旧に優先させて、朝から晩まで市内全域の医療支援活動の采配に当たっておられた。毎夕刻、我々京都府チームの他、福岡、富山、愛知、福島などから参加したチームが一同に会合を持ち、その日の患者状況や経験事項などについての情報交換を行うと共に、翌日の避難所巡回診療の当番割りなどを決定した(図3)。いわき市で巡回診療の対象となった避難所は50カ所を超えていた。



●図3

避難所状況

体育館や公民館、校舎などが避難所となっていた。3月下旬ではあったが、体育館の固い木の床から上がってくる寒気はとても冷たく5分もしない内に足下は冷え上がった。避難民は段ボールや発砲スチロール、あるいは畳敷きで寒さを凌いでいたが、十分な防寒が出来るものでは凡そなかった。この住環境では感冒、気管支炎、肺炎、高血圧の悪化などが起こって当然であった(図4)。畳の部屋のある公民館と固い木の床の体育館とでは居住性が全く異なっていた。だから公民館に避難出来た人々は幸運であったと言える。そもそも体育館はスポーツをするところではあるが、人がその上で生活出来るものでは無かったのである。そのような避難所でのJMAT活動中、時折余震が経験されたが避難民の方々は冷静であった。

避難所医療

避難所での医療は問診を綿密に行い、あとは血圧測定や聴打診に頼る原始的、基本的方法で行われた。通常検査機器を持たないので、血液検査や心電図検査は出来なかった。しかしさらに



●図4

問題であったのは夫々の患者情報が正しく管理されていなかったという事である。震災時こそ、臨時的にICカードを発行し、避難所電子カルテを作成し、各患者毎に症状と診療状況が記録され、次にやって来る医療チームに引き継がれることを願うものである。

心のケア

避難所によってはとても暗い雰囲気のある所に気付いた。後で調べて見るとそこは原子力発電所近くからの避難民が収容された避難所である事が分かった。地震、津波、さらに追い打ちをかけられて原子力災害で避難を余儀なくされた人々は心の傷が深かったのである。将来への希望を失いかけた人々には心のケアが特に必要であると考えられた。避難所の外に繋がれ、必ずしも全ての避難民に受け入れられていなかった被災犬も哀れであった(図5)。

統合的情報処理こそ必要

地震、津波災害に対して科学が果たす役割は極めて大きいと思っている。

今回の震災で特に必要と考えられたのは、迅速で正確な現地情報収集と情報の統合、共有であっ

た。先に述べた患者情報の管理についても、避難所毎に避難民カルテというもののが是非とも必要であった。問診とか、医師間での口頭での申し送りといったやり方だけでは余りに不正確で能率が悪かったのである。従って災害時医療情報処理といった学問分野が出来て良いように思われた。

ようやく進みつつある災害復興には未だ未だ困難が待ち受けていることと思われる。国民一人一人が今回の貴重な災害経験から学べることを学び、被災地の復興に心を寄せなければならぬと思う。

本稿を終わるにあたり、東日本大震災で亡くなられた方々のご親族およびご縁の方々に改めて心よりのお悔やみを申し上げます。

謝 辞

東日本大震災JMAT派遣の計画派遣を担当され、わたしに参加の機会を与えて下さった京都府医師会理事濱島高志先生に深謝致します。

また京都府医師会第5次派遣隊いわき(3)班として一緒に仕事をさせて戴いた下記の皆さんに感謝申し上げます。

岩瀬加代子先生(いわせ内科クリニック)
井上重洋先生(京都府心身障害者福祉センター附属リハビリテーション病院)
原田左智夫先生(丸太町病院)
毛利貴子先生(京都府立医大医学部看護学部)
大木麻衣さん(京都九条病院)
楠本正明さん(舞鶴市医療政策監)

●図5



白河市に於ける放射線から 健康を守る学習会 奮闘記

ルイ・パストゥール医学研究センター 宇野 賀津子

3.11の地震、津波、そして原発事故

地震、津波、原発事故の映像をみながら、京都にいて、私に出来ることは何か、研究者として何か出来ないか、と考えていました。原発事故以降、放射線の影響に関して、ネット上では色々な意見が乱れ飛んでいました。特に低線量放射線に関しては、マスコミでも、笑ってすまされないような間違った意見が飛び交っていました。また、科学者と称する人が、福島県は危険だから、子どもは少なくとも皆避難すべきという一方、低線量放射線はむしろ健康に良いという方もいて、色々な情報が錯綜していました。原発事故に対する深刻な評価はむしろ外国から、入ってきました。

あまりの情報の混乱に、少しでも正しい情報を発信したいと、友人の坂東昌子さん(元物理学会会長・愛知学院大名誉教授、現NPO法人あいんしゅたいん代表)と低線量放射線研究会を立ち上げました。幸い私のもとには、女性研究者や高校の同級生のメイリングリストなどから、色々な情報が入ってきました。また坂東さんの元にも、物理学会や素粒子論グループからの情報が入ってきました。これらの情報をもとに、毎日のように坂東さんや松田卓也先生(神戸大名誉教

授、宇宙論)と議論しました。がんリスクということでは、当研究所の藤田哲也先生、放射線ということでは長谷川武夫先生と議論しました。またパストゥールビル、5階におられる内海博司京大名誉教授(原子炉)や丹羽大貫京大名誉教授(放生研)にも、特に低線量放射線の生物への影響について、色々と尋ねました。さらに、専門書から一般書まで、放射線の影響を大きく言われる方から、それほどでもないと言われる方までの、反原発からやや推進派?と思われる本を、手当たり次第に買って読みました。この間に読んだ本は、50冊をゆうに超えます。また広島・長崎の原爆被害者の疫学調査や、チェルノブイリ事故のがんリスクの論文も調べました。

そんな中で、低線量放射線の影響が、がんや老化へのリスクとなれば、これまで自身が行ってきたがんと免疫の研究、がんの進展を抑制する食事、抗加齢食や生活の研究が役に立つのではと思うようになりました。また、ルイ・パストゥール医学研究センターで長年行ってきた生きがい療法学学習会の経験も役立つように思いました。そして、情報発信には小回りがきくということで、私も理事の一人である、あいんしゅたいんのホームページに、作ったスライドを掲載することにしました。

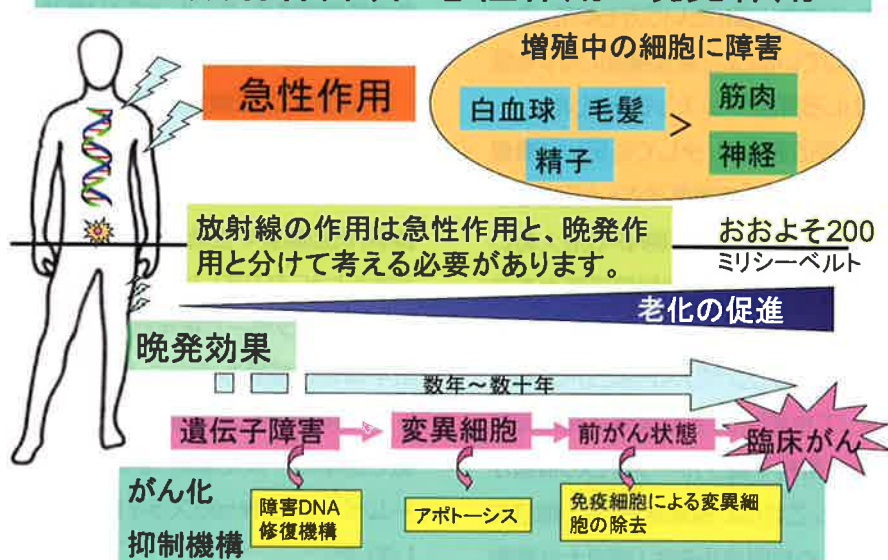
低線量放射線の 影響情報発信とその影響

まず、3月29日に「低線量放射線の影響：理解を深めるために」を、掲載しました。
(<http://jein.jp/blog-einstein/666-blog-77.html?showall=>) このスライドへのアクセス件数は11月末で9000件を超え、またその後7月半ばに出した更新版である「低線量放射線の生物への作用を検証する：がんリスクと免疫の役割」は同様に5000件を超えてよんでいただきました。更新版は、理研(和光市)での講演や京都大学での講演でお話したものを掲載したのです。理研での講演の内容は、その後、福島で、放射線計測をされていた志水隆一先生の目に触れることとなります。そして日本学術会議の放射線計測・説明会チームに加わってほしいとの要請を受けたのです。

低線量放射線の生物への影響

放射線の生体への影響は、図1に示されるように、高線量と低線量では大きく違ってきます。4シーベルトもの放射線を一度に浴びると50%の方が死に至ります。しかしながら、200ミリシーベルト以下ですと、即時的な影響は認められません。ただ、将来がんになるリスクが増すかもしれないと言われています。放射線リスクを煽る方は、放射線により遺伝子(DNA)が傷つき、それが子どもたちに、修復不可能な傷を負わすというものでした。私は生物、特に今、陸上で生きている生物は、進化の過程で、放射線や酸素による障害を克服するシステムを作ってきたもので、そんなに柔じゃないよと、思いました。そしてDNAの修復機構について、調べました。図2に示されるように、むしろ私たちの身体では、DNA

図1 放射線障害：急性作用と晩発作用



はしょっちゅう傷つき、そのほとんどは修復されている事がわかりました。単鎖切断はほぼ100%、2本鎖切断でも大半が修復されていることが明らかになりました。さらに、そこで修復されずのこった細胞は、細胞のチェック機能によって大半はアポトーシス(静かなる細胞死)へ追い込まれることも明らかにされています。この時に重要な働きをするのがp53と言われる遺伝子です。これは代表的ながん抑制遺伝子でもあります。さらにそれでも残った変異細胞は、最後の砦、免疫細胞によって除去されます。従って低線量放射線のがんリスクということになれば、免疫機能の低下もまた、大きなリスクとなることが明らかにされました。

もう一つ、知ってほしいのは、放射線によるDNA障害はもちろん、放射線そのものが直接DNAを障害することもあります。大半は、体内の水分子にあたって、活性酸素が生じ、DNA

を傷つけることです。「活性酸素」の害、これこそ抗加齢医学の対象です。私たちが、これまでに抗加齢医学会で議論してきた抗加齢食の知識も役立ちます。

生物・医学者と物理学者の 意見交流

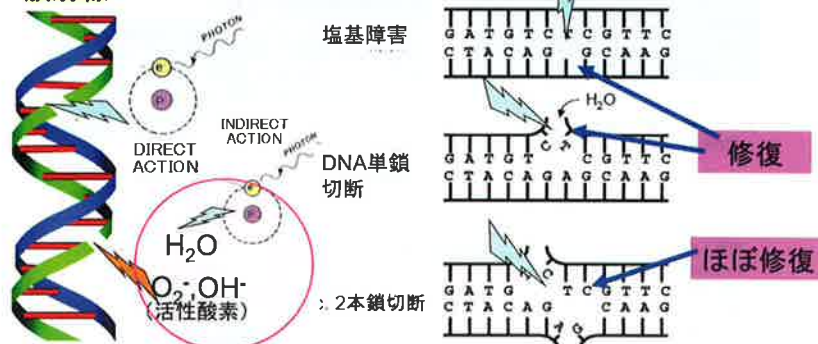
物理畑の坂東さんと議論していて思ったのは、低線量放射線の影響に対する認識のちがいです。研究所で藤田哲也先生とお話していると、そりゃタバコの方がもっとがんリスクが高いといわれ、私もそう思うのですが、坂東さんや松田さんは「何故、放射線とタバコを並列して比較できるの?」と言いました。そこで、放射線の障害作用の大部分は活性酸素であることを話し、やっと理解してもらったのです(図3)。さすが、坂東さん、松田さん、この事を理解してもらってからの低線量放射線の生体への影響の理解と、

200 ミリシーベルト 以下の場合

遺伝子障害の修復: 1日1細胞あたり最大50万回

図2 放射線による遺伝子(DNA鎖)障害 → ほぼ修復

放射線によるDNA(遺伝子)障害の7割は、活性酸素による放射線



水に放射線があたり活性酸素が出来て遺伝子を傷つける

傷つけられた、遺伝子(DNA)
単鎖切断はほぼ100%修復
二重鎖切断もほぼ修復

これまでの考えの修正は早かったです。一気に私たちの溝が埋められました。

その後、大文字の送り火で陸前高田の被災松を燃やす、燃やさない、の騒ぎがおこりました。放射能汚染を心配するあまり薪の受け入れを断る、それを知った市民の非難を受けて再度受け入れを決める、さらに、薪の表皮からわずかな放射性セシウムが検出されたからと再度断念する、というドタバタ劇が起こってしまいました。後日福島へ行ったとき、このことは、とても傷ついたとある福島の方が言われました。低線量放射線の影響についてほど、科学者と呼ばれる人達の意見が極端に揺れ、混乱を招いたことはありません。初期の科学者や行政、そしてマスコミの対応の混乱が、人々に混乱を巻き起こし、科学者や行政への不信感を助長しました。科学の成果が正確に伝わらないどころか、一部の科学者は被災地支援を標榜しながら科学的根拠に乏しい主張を繰り返し、この不信感を増長させました。その結果、被災地の人々を苦しめ、風評をさらに

大きくしてしまいました。そして、その中で多くの科学者は現状に疑問を持ちながらも声を潜めてしまいました。

今からでもできる 低線量放射線の影響軽減策

私自身、低線量放射線の影響を過大に伝え、パニックを煽る研究者に憤りすら感じました。十数年前に経験したエイズパニックを思い出しました。エイズウイルス(HIV)感染のリスクを過剰に言うことにより、多くの感染者が傷つきました。その頃血友病の方の半分ぐらいはHIVに感染していた事が明らかになっていましたので、学校に通う血友病の方はHIVの陰性証明をだしてくれないと、学校へ来てもらっては困ると言われ、登校すら危うくなりました。患者と接点のある医師たちは、一生懸命日常生活では感染することはありまないと、説明してまわりました。この時期エイズ教育に係わった私は、この経験を通じて、リスクを過大にいうも過小にいうも、無責

図3 私達の身の回りの活性酸素

放射線も、タバコも、肥満も、活性酸素を発生、遺伝子や細胞を傷つける！→がん、心臓病、動脈硬化、脳梗塞、胃潰瘍——

活性酸素の効果

殺菌・消毒作用
抗がん作用
生理活性物質の合成
情報伝達

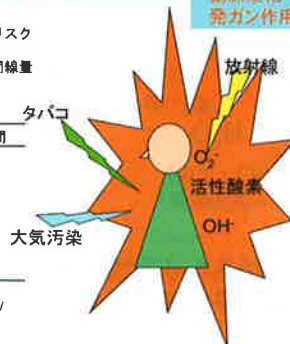
活性酸素の罪

老化現象
各種疾患
動脈硬化
発ガン作用

タバコ20本/日吸って暮らすリスク
＝空間線量28マイクロシーベルト/時の場所で暮らすリスク
タバコ20本/日吸う配偶者と一緒に暮らすリスク＝空間線量
7マイクロシーベルト/時の場所で暮らすリスク

健康へのリスク	生命喪失期間
タバコ20本/日吸って暮らすリスク	6年
過体重(肥満15%)	2年
事故	207日
自然災害	7日
放射線 (3ミリシーベルト/年)	15日
放射線 (10ミリシーベルト/年)	51日

ミシガン大学の推計 参照<http://www.umich.edu/~radioinfo/introduction/risk.htm>



任と思いました。

リスクを過大に言うことは、事の本質を見誤る、今からでもできる事があるのに、それもできなくなってしまうと思いました。低線量放射線の影響が、がんリスクとなれば、ストレスの方が悪影響を及ぼすのに、そんなに恐怖を煽ってどんな益があるのと思いました。

先にも述べましたように、放射線・活性酸素や種々の要因で傷ついた遺伝子は、日夜修復され

ています。修復されず、変異した細胞はアポトーシスという静かなる細胞死によって、自殺に追い込まれ、除去されます。さらにはそこをくぐり抜けた変異細胞は、最後の砦、免疫系により排除されます(図4)。従って、免疫系の低下は、がんリスクを上昇させます。特に通信でも何度も紹介しているナチュラルキラー(NK)細胞は、日夜出現するがん細胞除去の最前線で働く免疫細胞の一つです(図5)。図6に宇野のIFN- α 産生能

図4 がん化のプロセスと多段階の抑制機構

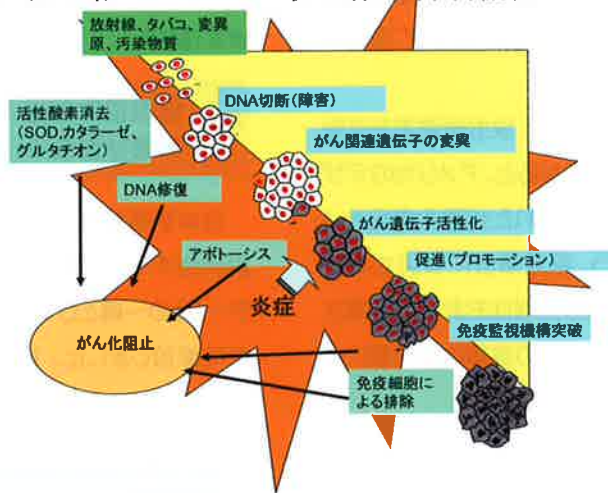


図5 ナチュラルキラー(NK)細胞は、日夜出現するがん細胞除去の最前線で働く免疫細胞の一つです！

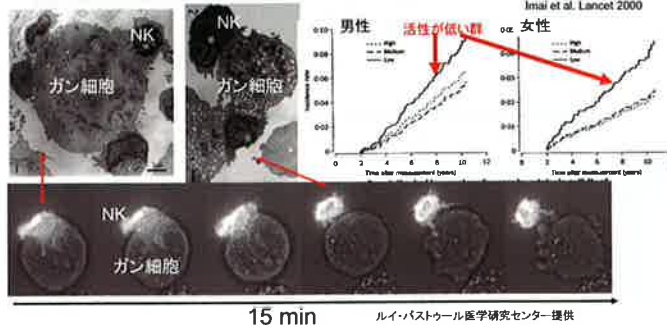
NK細胞はストレスに弱い細胞です。

がん細胞を攻撃するNK細胞

NK活性の低い人は、

11年の間に発癌した人の比率が高い！

Imai et al. Lancet 2000



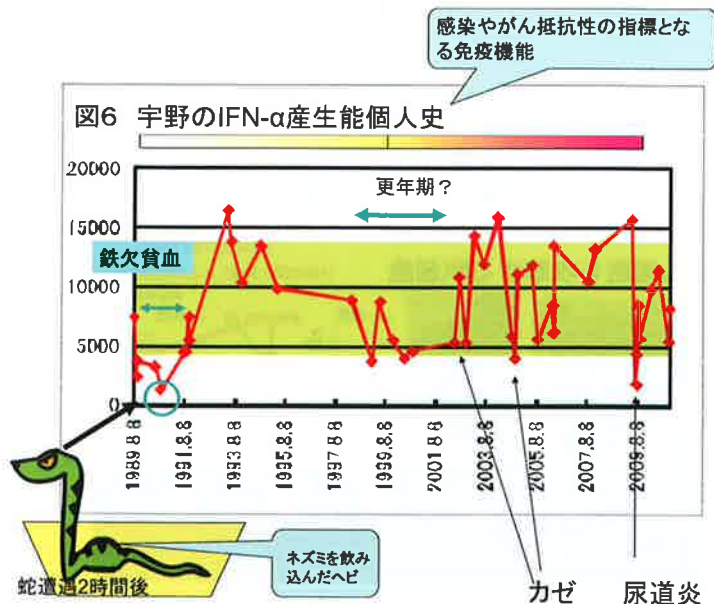
の個人史を示しました。IFN- α 産生能は、ルイ・パスツール医学研究センターで長年にわたり測定している独自の免疫機能検査です。この低下もまたがんリスクが増大することを私達は明らかにしています。風邪や尿道炎など、体調の悪い時に意識して測定していますので、スパイク状に低下が認められます。しかしながら、この個人史のなかで、最低の値は、京都大学の動物学教室で、マウス小屋の掃除をしていて、ケージに忍び込んだ蛇に出くわしそれはもう怖い思いをした2時間後に測定した値です。その日は一日どきどきしていました。この経験を通じて、私自身恐怖による免疫機能低下は、何にも増して強大であることを実感しました。

免疫機能低下を防ぐ食事、放射線障害を克服する食事はということになると、アメリカのデザイナーフード計画で推奨された抗酸化食品ということになるでしょう。原発事故に被災された方々には、抗酸化食品の摂取はおおいに推奨されるべきでしょう(図7)。この食事は放射線によ

る老化への影響の克服にも有用です。がんになるリスクは貧乏くじ(当たりくじと表現する方もいますが)を引いてしまったととえられます。残念ながら、一枚でも当たるヒトもあります。でも貧乏くじは、できるだけ引かないようにするのが望ましいです。一方では、この一連のスライドに示したように、貧乏くじを打ち消すくじもあるのです。打ち消すくじを増やすような生活で放射線の晩発効果を克服しましょう。また年を取ると、がんというのは、ほとんどのヒトに存在するものです。定期的健診を受けて、がんを早期発見すれば、現在では多くのがんは、克服できます(図8)。

低線量放射線の 影響学習会 in 白河

日本学術振興会 産学協力研究事業に係る説明会チーム(通称:学振—放射線計測・説明会チーム)の一員として、福島県白河市にての学習会に参加しました。10月、11月、12月と毎月



2-3カ所で放射線から健康を守る学習会を開催、結果的に白河市全域で開催する事になりました。学習会は、夜6時から、9時すぎまで開かれました。基本的内容は以下の通りで、チームリーダーの志水隆一阪大名誉教授と越川孝範大阪電気通信大教授の指導のもと、以下の学習会が進められました。

- (1) 低線量放射線の生物への影響と食の重要性
宇野賀津子(レイ・パストゥール医学研究センター)
- (2) 放射線と環境汚染、その除去方法
佐瀬卓也(徳島大)
- (3) 地区周辺の放射線測定結果から
木村吉秀(阪大)、永井滋一(三重大)
- (4) 放射線と医学
長谷部光泉(東邦大、放射線科)or
宮崎 真
- (5) 質問にお答えします! Q&A 全員
- (6) 個別相談(希望者)

我々チームの特徴はなんといっても、単に講演をするだけでなく、この学習会に先立って、事前に地区を回り、車内および学校や集会所などでは降りて特に念入りに放射線の計測をしていることです(図9)。測定された空間線量は0.1～0.7 μ Sv/h程度、学校のグラウンドは0.1～0.5 μ Sv/hの範囲にあり、特にグラウンドの除染効果が現れていることを、計測時に私たちは実感していました。校庭の汚染土は運動場の中央に埋めたとのこと。子どもたちにとって一番放射線の低いところはグラウンドともいえ、しいていえば、おおいにグラウンドで遊ぶのがいいということですね、となりました。このことは講演するものの確信となりました。

学習会でも計測チームは、実際に測定した結果を報告。グーグルマップの上に、計測値が表示されました。小学校の校庭(0.1～0.2 μ Sv/h)や、雨樋の下ホットスポットなど、実際の航空写真の上に、数字が表示されました(図11)。その後プログラムは進化して、写真も組

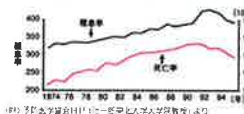
図7 抗酸化食品 → 放射線障害、がん抑制に効果が期待!

- フィトケミカル(植物性食品に含まれる物質)
- ・カロテノイド(β カロテン、ルテイン、アスタキサンチン、リコピン)
- ・ポリフェノール(アントシアニン・ケルセチン・ルチン・カテキン・イソフラボンなどのフラボノイド等)
- ビタミン(ビタミンA、ビタミンE、ビタミンC)

米国のデザイナー・フード計画

- ・1980年フード・ファイト(Food Phyte)計画に続き1990年より米国で実施
- ・機能性野菜・果物、胚芽成分の摂取
- ・動物性脂肪・蛋白質、塩分制限
- ・米国では、がん、減少傾向

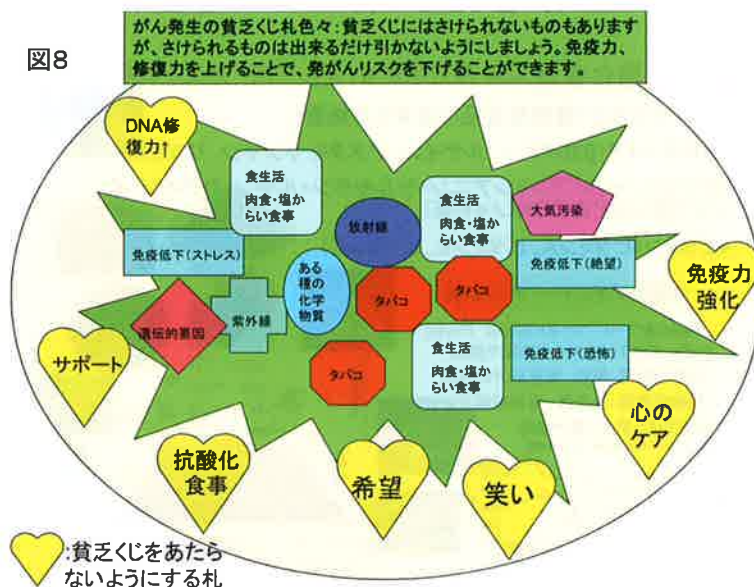
図8 図4 アメリカのがん罹患率・死亡率の推移



み込めるようになり、放射線量の高い位置の写真も同じ画面に表示されるようになりました。住民の方々にとっては身近な場所だけに、納得という様子。サーベイメーターですでに測定されている地域も最近では多く、ホットスポットについてもかなり詳細に把握されていました(図12)。また今回の計測で、ホットスポットといわれるところの特性が、かなり明らかになってきました。まさに雨が集まって流れ落ちるところです(図10)。1~8 μ Sv/hといった数字でした。除染の専門家の徳島大佐瀬先生は、初期は全体グレイであったところから、最近ではパンダ状にかわってきていると説明されました。従って、ホットスポットというところを、いかにそっと取り除くかが、廃棄物を少なくして、放射線量を低下させるために必要かということでした。実際サーベイメーターを30センチほど離すと、数字は大きくさがるので、本当にスポット的に高いところがあることがわかりました。そのために

は高圧洗浄機などよりは、デッキブラシか、カナブラシでこすって少量の水で洗い、廃液は吸い取る。また、ホットスポットを形成している、落ち葉や砂なども、移植ごてで最小限の範囲でとって、ちょっと丈夫なビニール袋にいれ少し掘った穴に入れ、子どもや動物が散らかさないよう、上から5~10センチも土をかければ(これで厳重保管ということになる)かなりの除染効果があがるとのことでした。もし、放射性汚染物を収集するということができれば、そのとき出せばいいとの事でした。高圧洗浄より廃棄物も少なく、周辺にまきちらさない家庭のできる方法として、現実的対応だと思いました。(佐瀬先生には、シミ取りの要領ですよと言われました。)実際高圧洗浄は、廃液が多量に出て、隣人とのトラブルの原因にもなっているとのことでした。避難圏周辺の高線量のところでは、方法も異なってくるでしょうが、この方法は、東京辺りでも気になる場所があれば、誰でもできる方法とし

図8



て役立つやり方だと思いました。

講演会では、宇野は「低線量放射線の生物への影響と食の重要性」ということでこれまでお話してきたように、低線量放射線の影響のかなりの部分は活性酸素によるものであることや、がん化を抑制する何段階もの生体の防御システムを紹介しました。そしてがん化のリスクは、今後の生き方しだいが変わること、その際、食、特に抗酸化作用のある野菜をしっかり食べる事はとても重要なこととお話しました。また福島出身の佐瀬先生は、福島の空気と水はもう大丈夫なこと、外干しも大丈夫なことを具体的データをもって説明されました。また、除染の方法

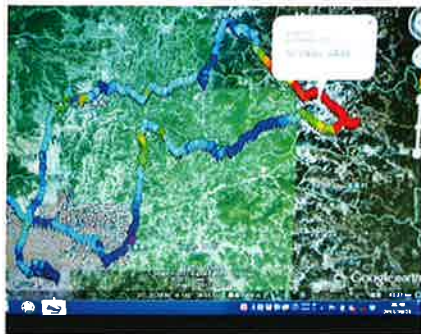
も、アスファルトでは上から0.3mm位までしか放射能は検出されないで(ほとんどしみこんでいない)、大型重機でアスファルトをはがすような方法は汚染物の拡大に繋がること、むしろデッキブラシで表面をこそげるような方法の方が現実的であることを示されました。また計測の時に見つかった雨樋の下のようなホットスポットについても同様の方法の除染が有効であることをお話しされました。佐瀬先生のお話は、非常に具体的であり、それなら自分たちにもできるということで、多くの方が納得された様子でした。また長谷部先生は放射線科の医師として、ご自身のお仕事を紹介され、放射線医学の



●図9 放射線計測をする越川、永井先生
(運動場 $0.2\mu\text{Sv/h}$)



●図10 雨樋の下、ホットスポット
($4\mu\text{Sv/h}$)



●図11 グーグルマップに示された放射線量



●図12 幼稚園に掲示された放射線量

進展が医療に大きく貢献したことを紹介されました。多分自分が一番放射線を浴びているといいつつ。

今回は、チームリーダーの志水、越川先生(阪大)、放射線計測の木村先生(阪大)、長井先生(三重大)、佐瀬先生(徳島大)、長谷部先生(東邦大、放射線科)、というすごいチームでいきました。昼に測った放射線の値がグーグルマップに表示されるという方式は、住民の方にもとても身近なものと思っていただいたようです。阪大の先生方の作られた、計測システムです。ともかく、始まる前は緊張した面持ちの方々が、終わる頃には皆様ニコニコして帰っていかれて、よかったなと思いました。中には、少しパニックに陥っているかたもおられたのですが、講演会のあとの個別相談で、長谷部先生と話されたのち、私の方にこられて、子どもの肥満も却ってよくないのですねと言われました。子どもにもっと野菜を食べて、これからは外でも遊ぶと言っておられました。これたときよりは、少し微笑みもみられるようになって、帰られました。こういうのをみていると、本当に、チームで行ってよかったと思いました。もちろん、これは白河という、福島県内では比較的放射線量の低い目だったところだからだったかもしれません。住民の方々には地区ごとにかなりサーベイメーターが行き渡っていて、幼稚園では先生が毎日測られて掲示されてもいました。時とともに、ニーズは異なってきますが、その時々に応じた適切な情報発信が科学者からなされるべきだと思いました。低線量放射線の正しい知識の一般向け講演会に加え、今回の個別対応のような地域ごとがきめ細かい活動の両面が必要と感じました。

もう一つとても印象に残ったのは、行く先々

の学校で、子ども達が、皆、一様に見知らぬ私たちに、元気な挨拶をしてくれたことです。にこっと笑って、「こんにちは」と皆が言ってくれました。都会では挨拶する子どもが減っているだけに、子どもの明るさが印象に残りました。

改めて、このような計測に参加して、今回の事故がとても大変なものであると言うことを実感しました。校庭の除染はできても、その周囲の山はとてもできません。雨降る毎に少しずつですが、校庭にも流れ込んできます。でも一方で、山々の木々が大量の放射線を受け止めてくれたとも考えられます。福島の方々は今から先まだまだ、放射線と向き合って生きて行かねばならないと思いました。多分、白河あたりの放射線量は、健康への影響もあったとしても、わずかででしょう。むしろその何倍も、風評やストレスによる被害の方が大きいかも知れません。問題点は問題点として伝え、解決可能な部分は順次解決して行くことで、皆様に前向きになっていただくことが必要と思いました。学習会に参加された人は、かなりの方がそうであり、また学習会を通じてそうなったと思いました。チームリーダーの志水先生、越川先生の、住民に寄り添った活動というものの、重要性を改めて認識しました。

学習会が終わると、講師一同脱兎のごとく会場をあとにしました。たいていは最後まで質問攻めに会っている佐瀬先生はあとに残して。というのはホテルのラストオーダーが9時半で、この時間を過ぎると食事ができなくなるおそれがあったからです。(実際以前来たとき、初日は、晩ご飯が食べられなかったとのことでした。)9時半ぎりぎりに手当たり次第にとにかくラストオーダーをして、ほっと一息という状態でした。時には、あれもこれも売り切れといわれつつ。

私自身は、その現場での活動の一翼を担えた

こと、本当によい勉強をさせていただけたと思っています。志水先生が、ぼくの功績は、このチームに佐瀬先生と宇野を引き込んだこと、と言

われました。3.11以前なら考えもしなかった関係者の組み合わせに、チームの一員となったもののそれぞれが、その役割をかみしめていました。

白河市長から、学振チームは 感謝状をいただきました！



左から... 岡崎白河市健康増進課課長、宇野、鈴木白河市長、
長澤学振課長、志水先生、佐瀬先生、永井先生

放射線とその防護

ルイ・パストゥール医学研究センター 室長

京都府立医科大学 特任教授 医学博士 長谷川 武夫

1)はじめに

放射線は第二次世界大戦後に平和的利用が加速され、工業、理学、農学、医学、電子工学等の分野で多大な貢献をし、更には原子力利用の時代に入り、一般社会にもその貢献度は大きく、近い将来には、更に放射線の利用は増加すると考えられております。しかし、その一方で、放射線の取扱いを知識無しに安易に扱うと、放射線による無駄な被曝が問題となります。しかし、我々の生息する地球表面は原爆実験や原子炉事故による放射能汚染の他に宇宙からも放射線は降り注ぎ、体重60kgの人間で一分間に約200発近い放射線が全身に当たっております。このような自然放射線による被曝は地上に居る限り、地上の一部を除いて、どの地域に移住しても避ける事は出来ません。更に2011年の東日本大震災により発生した我が国の原子炉事故は自然放射線を増加させる状況となり、国家体制で放射線汚染の拡大防止と国民の健康維持に各界が協力して対応する必要があります。放射線による健康被害も論じられる時期に放射線を取扱う従事者は一般の人々にも十分理解出来る説明ができるような放射線に関する知識と取扱いの技

術が要求され、国家体制で放射線の取扱いが制御されております。一方、放射線のその一部はレントゲン博士によってX線として発見され、X線診断に不可欠な診断情報を提供し、X線CT装置に利用されています。その他の γ 線等は核医学、放射線治療等、人類の健康維持に多大な貢献をしております。2011年の東日本大震災による原子炉事故は緊急作業従事者以外に一般人にも不用な被曝を及ぼしかねない状況となり、放射線に対する理解の重要性が指摘されています。本文は一般の人々にも放射線を理解して頂くと共に放射線関連の従事者を目指す人や緊急作業に従事する人々にとっても有力な知識を短時間で習得できる内容を記載しています。

2)放射線とは

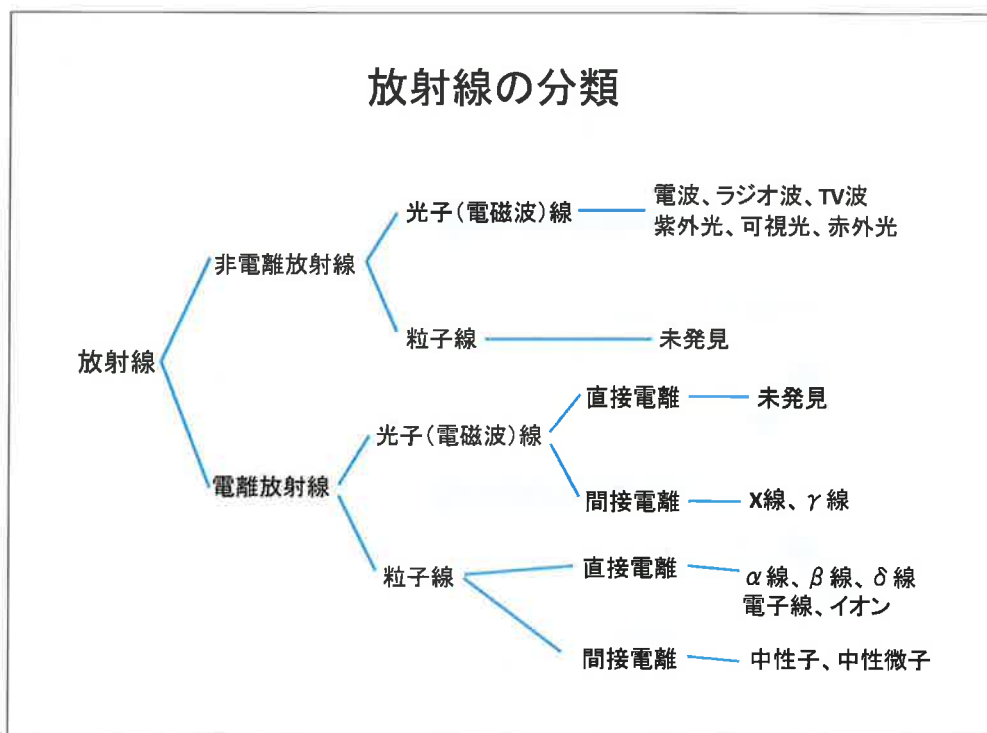
一般的に医療放射線、工業用放射線と呼ばれる放射線は電離作用(放射線が物質を構成する原子に衝突すると軌道電子にエネルギーが加わり、原子から軌道電子が放出される現象)を有しております。放射線の中には電離作用の無いものも存在します。放射線を分類する時、放射線は電離作用が有る(電離放射線)か、電離作用が無い(非電離放射線)かで分類すると図1の様な分

類が出来ます。非電離放射線と呼ばれる放射線には光子(電磁波線)と粒子線が含まれます。非電離光子には電波、ラジオ波、TV波、紫外線、可視光線、赤外線等が含まれます。一方、非電離放射線の粒子線は現時点では発見されていません。つまり、電離を起こさない粒子状の放射線は発見されていません。次に電離放射線について説明します。電離放射線にも非電離放射線と同様に光子線(電磁波線:光状放射線)と粒子線が含まれます。電離放射線である光子線(電磁波線)は直接電離放射線と間接電離放射線に分類されます。間接電離放射線にはX線やγ線が含まれます。現時点では直接電離光子線(電磁波線)

は発見されていません。つまり、直接電離を行う光子線は発見されていません。次に電離粒子線について説明します。電離粒子線は直接電離粒子線と間接電離粒子線に分類出来ます。

直接電離粒子線にはα線(原子核から放出されるヘリウムの原子核: ${}_2\text{He}^4$)、β線(原子核から放出される電子線)、電子線(加速器からの電子線:核外発生電子線)、δ線(2次電離電子線)、イオン(軌道電子を失った原子)等が含まれます。一方、間接電離粒子線には中性子、中性微子等が含まれます。中性子線は電荷を持たない粒子線なので、原子や原子核からの電荷の影響を受けず、原子核内に容易に進入し、核反応を誘

●図1 放射線の種類



発します。その為に低速度の中性子はウラン原子を核分裂させる能力を持っております。しかし、荷電粒子線では電荷によって電子(負又は正に帯電)や原子核内の核子(原子核を構成する核子である陽子や中性子)と相互作用し、その電荷の影響を受け易く、エネルギーの移動が起こり、方向を変えたり停止が容易に発生します。つまり、荷電粒子は遮蔽(放射線を食止める作用)が容易である事を示します。

3)放射線と放射能

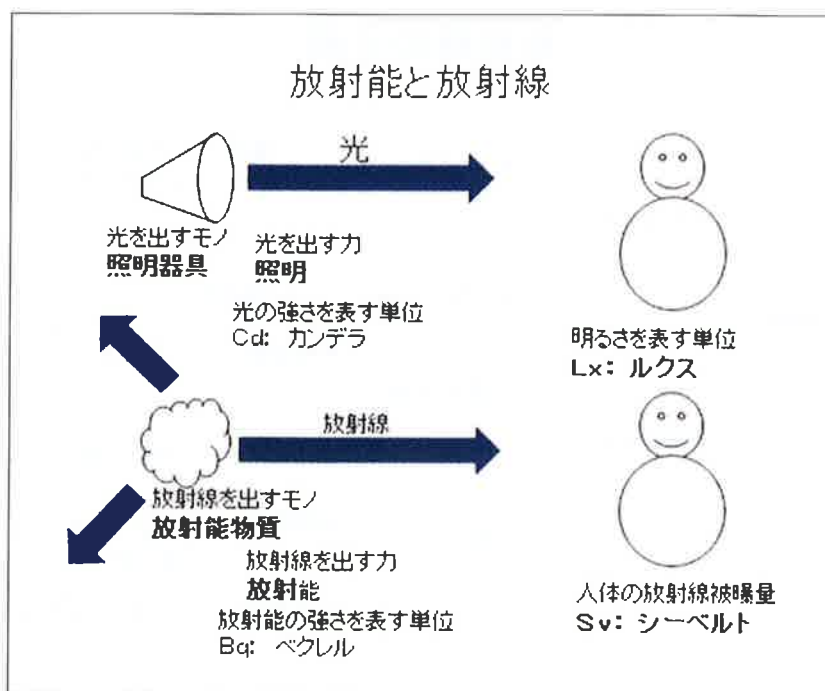
放射能とは放射線源(放射性物質)から放出される放射線量を示し、1秒間に何発の放射線が放出されるか(Bq,Ci)を示します。また、放射線とは放射性物質から放出される電磁波や粒子

線を言います。放射線が体に当たり被曝する強さは、被曝線量(Sv)で表します。つまり、一般的な照明機器で説明すると、放射線源(放射性物質)は電球に相当し、その放射線放出量(Bq,Ci)は照明機器では放出光の強さはcd(カンデラ)で表します。放射線の被曝(Sv)は照明機器では明るさの度合いLx(ルクス)で表します(図2)。

4)核分裂(原子炉)について

ウランには色々な質量数の同位体(原子番号が等しく、質量数が異なる元素)が存在しますが、原子炉で利用されるウランは原子番号92、質量数が235の U^{235} であり、核燃料としてはウラン以外に原子番号が94、質量数が239の Pu^{239} (プルトニウム)があります。一個の U^{235}

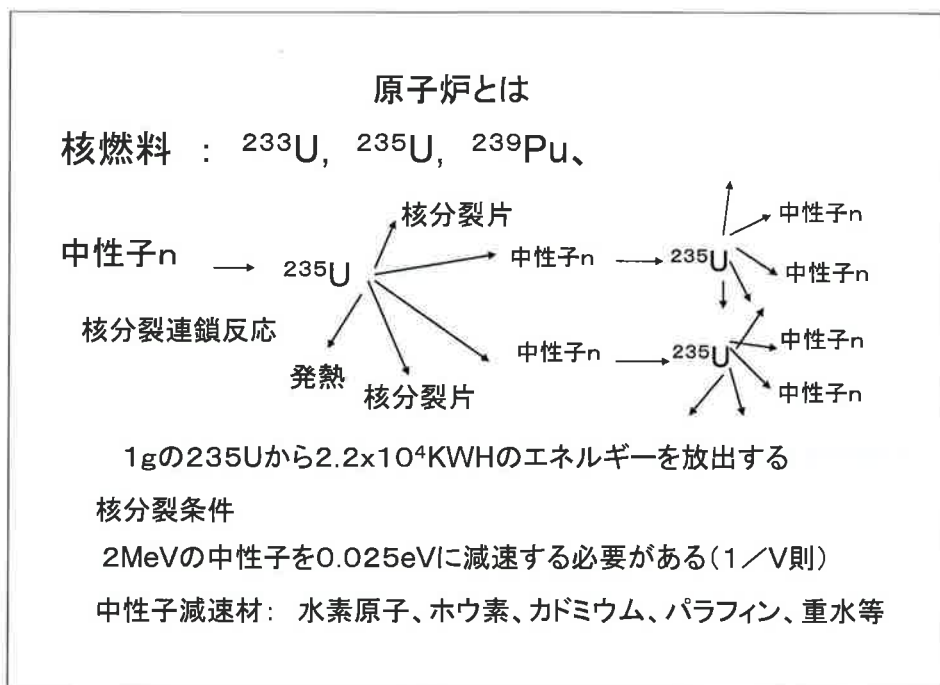
●図2



が核分裂すると $200\text{MeV}(=200 \times 10^6 \text{eV}: 1 \text{eV}$ は電子が真空中1ボルトで加速して得られるエネルギー)のエネルギーを放出します。つまり、1グラムの U^{235} に含まれる原子の数はアボガド数 $/235 = 6 \times 10^{23} / 235 = 2.5 \times 10^{21}$ 個となり、1個の U^{235} からは 200MeV のエネルギーが放出されるので、1gの U^{235} からは $200 \text{MeV} \times 2.5 \times 10^{21} = 5 \times 10^{23} \text{MeV}$ ($1 \text{MeV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{J}$ なので) $= 5 \times 10^{23} \times 1.6 \times 10^{-13} \text{J} = 8 \times 10^{11} \text{J}$ ($1 \text{W} = 1 \text{J}/\text{s}$ なので) $= 8.16 \times 10^{11} \text{WS} = 2.2 \times 10^7 \text{WH} = 2.2 \times 10^4 \text{KWH}$ のエネルギーが得られます。このエネルギーは石炭の4トン分に相当します。ウラン235の原子に中性子が衝突すると、核分裂が発生しますが、それには条件が必要です。その条件とは中性子のエネルギー(中性子の速度)に関係します($1/V$ 則:速度

の遅い程、反応確率は増加する)。つまり、中性子の速度が高速度になると核分裂の発生は激減します。例えば、野球のピッチャーとバッターの関係に良く似ています。早いボールを投げるとバットとの相互作用する時間は低下し、遅いボールは相互作用の時間(確率)が増加しヒットやホームランが発生します。原子核の世界でも同様に遅い粒子は相互作用も大きく発生します。一個のウラン235の核分裂によって、 2MeV ($2 \times 10^6 \text{eV}: 2$ 百万電子ボルト)という高エネルギーの中性子が2個放出されます。もしも、この2個の放出中性子のエネルギーが 0.025eV と低エネルギーであれば、中性子周辺のウラン235と反応し、更に2個の中性子が発生し、中性子は鼠算式に増えて、核分裂連鎖反応が発生する事になります。(図3)

●図3



そこで、核分裂で発生した高エネルギーの中性子(2MeV)を減速して0.025eVまでエネルギーを低下させ核反応確率を上げる必要が有ります。一般的には中性子の減速材として水素原子、カドミウム、ホウ素、水素原子を含む水やパラフィン等が用いられます。水素原子の原子核は陽子で構成され、陽子の周囲を軌道電子が周回している原子が水素です。その水素核である陽子は中性子より僅かに軽い為、中性子と衝突すると、ビリヤードでの玉突きと同様にエネルギーの殆どを陽子に与え、中性子はエネルギーを失い、減速されます。中性子からエネルギーを貰った陽子には電荷が有る為、飛程内(放射線の物質内通過距離)で周囲の原子と相互作用を発生して容易に停止します。中性子は減速しないと停止せずに原子核内に進入し核反応を起こしたり、核内中性子によって散乱されます。従って、中性子はX線やγ線の様に鉛やコンクリートでは遮蔽出来ないのです。2011年の我が国の原子炉事故では冷却効果と中性子遮蔽効果を期待して、大量の水が原子炉にかけられました。また、中性子は電荷が無い為、電場の影響を受けずに容易に原子核内まで進入するため、進入した中性子は原子核を崩壊させ、不安定な元素(放射性同位元素:放射性物質)を生成します。この様に生成される放射性同位元素(Radioisotope:RI)は医学、工学、理学、農学分野で利用されます。

5) 医療用放射線

医療用放射線にはエックス線(レントゲン線、X線)、電子線、ガンマ線(γ線)等が用いられています。X線は真空ガラス管球内に陰極のフィラメント(熱電子を発生さす)と陽極の標的(加

速電子をX線に変換)を封入したX線管球(管球内は真空)から発生します。X線管球からのX線を人体に照射すると、人体を構成する原子間で吸収、散乱、透過等によって、X線フィルム(現在はイメージングプレートを使用:人体を透過したX線が電子分布として記録され、画像化される)上に透過X線の画像を提示します。この装置は一般X線撮影装置、バリウム造影剤によるバリウム透視装置、血管造影装置、CT断層撮影装置、X線治療器等に利用されています。電子線は加速器(電場や磁場を利用して荷電粒子である電子を加速する)から放出され、放射線治療器として利用されます。ガンマ線は不安定な原子核から放出される光子線(電磁波線)であり、放射性同位元素から放出されます。半減期(放射性同位元素からの放出される放射線の量は経過時間と共に減衰します。放射線の放出量が半分になる時間を半減期と呼びます:各原子は固有の半減期を有し、半減期には数分の1秒から10の数十乗年のものもあります)の経過と共に放射性物質からの放出放射線量は低下します。核医学では人体に短半減期(数時間以内)のガンマ線放出の放射性同位元素を投与し、臓器に集積する速度から臓器の機能検査や形態検査を行います。近年は半減期が数分の陽電子放出核(陽電子が消滅する時に0.511MeVの消滅線を180度方向に2本放出する)を利用したPET(Positron Emission Tomography)が診断に利用されています。PETで利用する放射性医薬品は短半減期であるため、配達による運搬が困難であるために使用施設内のサイクロトロン(荷電粒子円形加速器)で核反応を利用して生成し、生成直後に施設内で利用します。従って、検査の予約時間を遅れて受診すると、検査には短半減

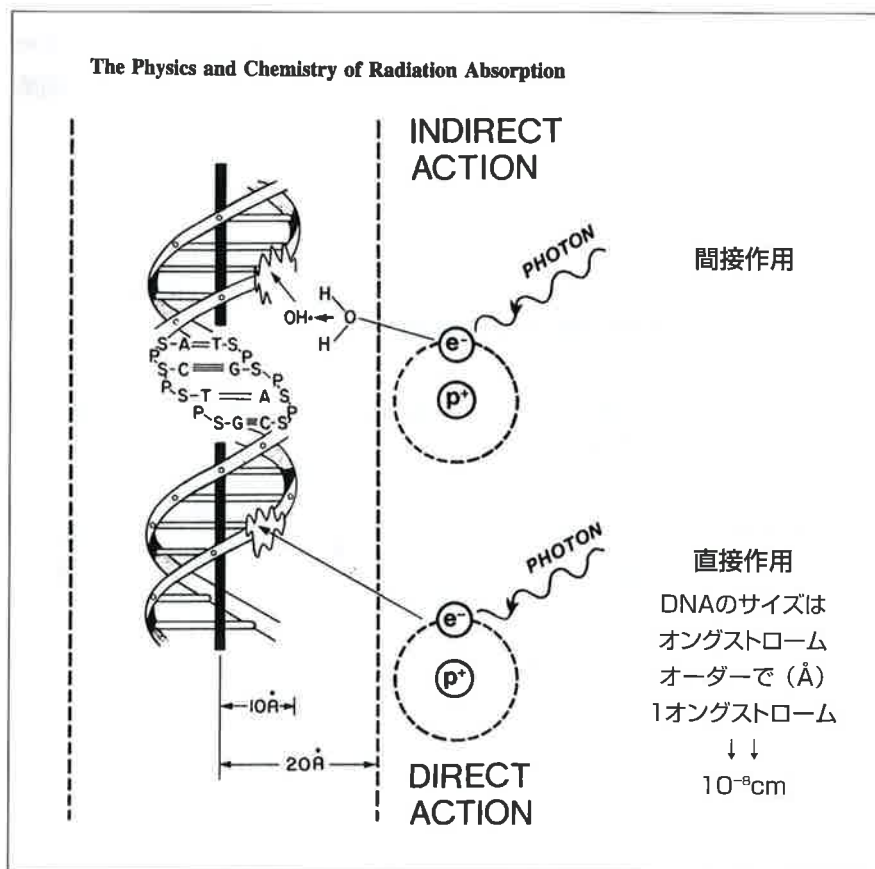
期の放射性核種を用いるため、画像を得る事が出来なくなり、診断不能となります。また、長半減期のガンマ線放出同位体は放射線治療（コバルト治療器、ラジウム治療器等）に利用されています。

6) 放射線の生体作用機序

放射線が生体細胞に照射されると、細胞に放射線損傷（染色体の損傷・DNAの損傷）が発生します。DNAに損傷が起こると、細胞は細胞分

裂が出来なくなり、細胞死が発生します。放射線治療はこの原理を利用したものです。放射線によって発生したDNA損傷は細胞の持つ修復作用によって多くが修復されます。しかし、中には修復に失敗し、DNA上に損傷を持つ生存細胞は細胞死やDNA異常が発生します。この異常なDNAを持つ細胞は癌化したり、異常情報伝達を行ったりして、個体に有害な結果をもたらします。ある一定量以上の放射線が細胞に照射されると、被曝細胞には直接効果と間接効果が発生し、DNA損傷が発生します（図4）。

●図4

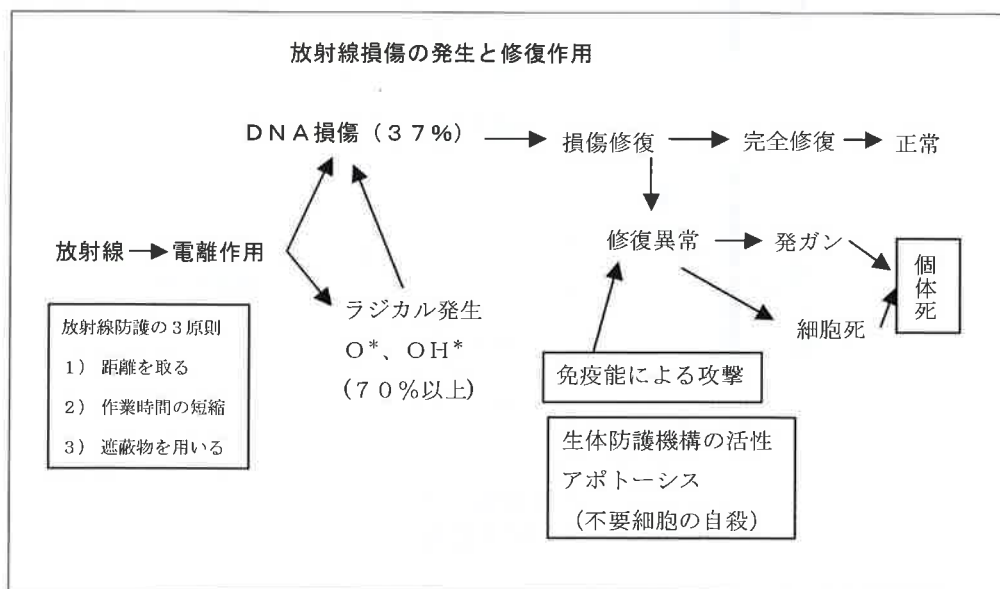


直接効果(作用)とは放射線が直接にDNAに衝突し、電離(軌道電子を弾き出す)や励起(軌道電子の軌道が膨れ上がる)によってDNAが損傷を受けるもので、その確率は $1/e$ (e は自然対数 $=2.718281\dots$)となり、約37%の確率となります。つまり、碁盤の目に豆を落として、碁盤の目の中に止まる豆の確率は37%である事が判ってきました。逆に放射線の数が一定で、発生する障害から標的(DNA)の大きさが確認出来ます。従って、放射線による直接作用の確率は37%ある事になります。一方、間接効果(作用)とは放射線によって遊離基(化学反応種:ラジカル)が入射放射線の飛程に沿って発生し、発生したラジカルはDNAの螺旋構造に損傷を与えます。ラジカルは分子間を移動し、任意の場所で化学反応を発生させて、DNA損傷を発生します。従って、ラジカルは移動して作用するため、障害発生範囲が

直接効果より大きくなります。直接作用によるDNA損傷の確率が37%であったのに対して、間接作用によるDNA損傷の確率は70%以上になります。この様に発生した生体障害は急性障害と慢性障害に区別できます。急性障害には白血球障害、毛髪障害、精子障害等があり、慢性障害には臓器不全、癌化、老化等の障害があります。

放射線損傷を受けても、細胞の修復作用が働き、DNAは数秒から数十分で修復されます。また、損傷が修復されずに癌化したり、変異した細胞(変異性細胞)は生体の持つ防護作用によって除去されます。生体防護作用には不都合な有害細胞を自殺に追いやるアポトーシスと呼ばれる細胞自殺(DNAを断片化させて死亡させる)と免疫能による防護作用があります。免疫能の作用は免疫細胞によって変異細胞を除去するもので、体外からの進入物(細菌やビール

●図5



ス)の他、変異した異常細胞を識別し、特異的に攻撃し死滅させる作用によって、健康は維持されます。この様に放射線によって損傷を受けても、生体自身が持つ回復能と免疫能やアポトーシスによって生体に有害な変異細胞を除去する作用が働き、放射線による異常は発生しないのが正常な状態です(図5)。疲労やストレスによって免疫能が低下したり、薬剤治療によるラジカルの蓄積は放射線の障害を発生しやすい状態を作ります。放射線や薬剤により発生するラジカルはラジカルスカベンジャー(ラジカル除去剤:SH基を有する化合物)によって、軽減できます。

7)ラジカルとは

ラジカルは遊離基(化学反応種)と呼ばれ、生体に障害(DNA損傷)を与えます。人間を構成する水分(H_2O)は体重の80%近くを占めています。放射線がこれらの水分子に当たると、水は活性酸素ラジカル(O^*)と水酸基ラジカル(OH^*)を発生します。特に酸素ラジカルは反応性が強く、DNA損傷能が大きいため、細胞毒性を示します。活性酸素ラジカルは細胞毒性が強いため、癌治療にも利用されます。また、発生したラジカルは分子間を自由に移動するため、放射線の飛程(通過跡)の周辺にも広範囲に作用します。発生したラジカルはラジカルスカベンジャーによって除去する事が可能です。このラジカルスカベンジャーの摂取によって、低線量被曝なら放射線損傷を軽減できます。このようなラジカルはストレス、恐怖、酒、たばこ等によっても発生しますので、日常生活で不要なラジカルの発生を予防する工夫が必要です。風邪にかかったり、その他の疾患にかかると体内

にラジカルが生成され、疾患とラジカルが関係していると考えられます。ラジカル除去によって治る疾患もある事を考えると日常からラジカルを体内に生成させない工夫が必要です。

8)ラジカルスカベンジャーとは

ラジカル(遊離基)除去能を持つ薬剤の総称であり、SH基(チオール基)を有する薬剤が主なものとなります。SH基は放射線のエネルギーを分散させ、障害を軽減させると考えられています。また、抗酸化作用を持つ薬剤も酸素ラジカルスカベンジャーとして放射線防護効果があります。SH基を有するラジカルスカベンジャーにはシステイン、システアミン、グルタチオン及びその誘導体があり、抗酸化作用を持つビタミン系のスカベンジャーにはビタミンC(アスコルビン酸)、ビタミンE及びこれらの誘導体等があります。

9)放射線量と生体反応

放射線障害には急性障害と慢性障害のある事は前項で説明しましたが、どれだけの放射線量が障害発生に関与するかを説明します。放射線の影響は細胞分裂能の高い程、細胞が未分化なもの程、将来細胞分裂を行うもの程、大きく現れます(ベルゴニー-トリボンドーの法則)。人類は1945年以後、核爆弾の開発によって、地球は汚染され、日本国内も汚染され、何処で生活しても、宇宙から来る放射線と自然鉱石からの放射線と地球規模の汚染(原爆実験、チェルノブイリ原発事故)による放射線から被曝します。その量は年間2.4mSv(mSvは1000分の1Sv)で、航空機に乗る人(成田-ニューヨー

ク間)は宇宙線が加わり0.2mSvの被曝を受けます。生体障害が発生する限界量は過去の事例

から250mSvと考えられています。以下に放射線被曝量と発生障害を一覧表で示します。

放射線強度	障害程度	線量	障害内容
自然放射線	無し	2.4mSv	年間自然被曝量
低 線 量	無し	0.6mSv	1回の胃透視検査被曝
		10mSv	ブラジル(ガラパリ)の自然被曝
		~200mSv	臨床症状は見られない
		250mSv	胎児奇形発生(妊娠初期)
軽 度 線 量	出現	1Sv	吐き気、放射線縮酔
		2Sv	白血球減少、男性不妊
		3Sv	発熱、出血、脱毛、女性不妊
重 度 線 量	出現	4Sv	吐き気、半致死線量
		5Sv	白内障の発生
致死的線量	出現	5~10Sv	放射線治療(局所照射)
		10Sv	1~2週間で全員死亡(全身照射)
		50Sv	組織に壊死発生(局所照射)
		100Sv	1時間以内に死亡(全身照射)

細胞分裂を起こす細胞程、放射線感受性である事はベルゴニー・トリボンドーの法則と呼ばれ、放射線治療の組織感受性に貢献しています。神経細胞は分裂能が低いため、放射線感受性が低く、放射線火傷では神経組織が温存するため、一般の火傷(神経組織も死亡している)よりも強い痛みが特徴になります。

10)放射線の単位

放射線を数やエネルギーで評価するために色々な単位が用いられております。

1)Bq(ベクレル)とCi(キュリー)

まず、放射線の数(エネルギーを無視)を示す

単位にBq(ベクレル)やCi(キュリー)があります。1Bqは1秒間に放射崩壊によって放出される放射線の数を示します。また、1Ciは1秒間に 3.7×10^{10} 個の放射線量(崩壊数)を示します。従って、BqとCiの間には $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ の関係があります。つまり、 $1\text{Bq} = 2.703 \times 10^{-11}\text{Ci}$ になります。

2)R(レントゲン)とC/kg(クーロン／キログラム)

RやC/kgは照射線量と呼ばれ、空気中に放射線によって幾らの電離が発生したかを示す単位です。RとC/kgの間には $1\text{R} = 2.58 \times 10^{-4}\text{C/Kg}$ の関係があります。電気素量(電子一個の電荷:e)は $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ であるから、1Rで生

成される電離電子の量は $2.58 \times 10^{-4} \text{C} / 1.6 \times 10^{-19} \text{C} = 1.61 \times 10^{15}$ 個生成された事になります。Rは以前に使用された単位で、現在はC/kgが用いられています。

3) Gy (グレイ)

Gyは吸収線量と呼ばれ、物質1Kg中に1J(ジュール)のエネルギーを与える放射線の量を示します。つまり、 $1 \text{Gy} = 1 \text{J} / \text{kg}$ となります。

4) Sv (シーベルト)

人間を対象とした単位です。線量当量としても使われ、単位はSv(シーベルト)で示されます。吸収線量(Gy)が同じでも、生物学的効果は異なるので、人体に付いて定義した量で、ICRU(International Commission on Radiological Units and Measurements)によって提唱されています。吸収線量をD、線質係数をQ、線量当量をHとすると、 $H = DQ$ の関係があり、ここでNは吸収線量の空間時間分布係数(外部放射線に対しては $N=1$ となる)を示します。線量当量 $H = DQ \text{ (Gy)} = DQ \text{ (J} \cdot \text{kg}^{-1}) = DQ \text{ (Sv)}$ の関係となります。線質係数Qは放射線のエネルギーに関係し、放射線が物質を通過する時、 $1 \mu \text{m}$ あたりに何KeVのエネルギーを失うかを示す線エネルギー付与(LET)と関係しています。これらの関係を以下に示します。

線質係数(Quality Factor):放射線の種類、エネルギーで変化する。

LET (KeV/ μm)	Q Value
3.5以下	1
7.0	2
23	5
53	10

5) rem (レム) (Roentgen Equivalent man)

1R($2.58 \times 10^{-4} \text{C} / \text{kg}$)の放射線を照射した時、同じ生物学的効果を示す量を示します。remとSvの間には $1 \text{rem} = 0.01 \text{Sv}$ の関係があります。以上の放射線の単位で4Gyや4Svは意味のある数値になります。4Sv(4Gy)とは50%人間に死亡が発生する量であり、半致死線量= LD_{50} と呼ばれます。例えば、70Kgの人間が4Gyを全身被曝すると $70 \times 4 = 280 \text{J}$ (ジュール)となり、カロリーに換算すると $280 \text{J} / 4.18 \text{Cal} = 67$ カロリーとなります。つまり、4Gyの放射線量は280ジュールであり、また67カロリーに相当します。この67カロリーは37℃の人間が60℃のコーヒーを3cc(3ml)飲んで受けるエネルギーに相当します。また67カロリーは70kgの人間を40cm持ち上げるエネルギーに相当します。この放射線量4Gyが30日間に50%の人間を死亡させる半致死線量のエネルギーになります。この量は一年間の日常被曝の2000倍に当たり、一般の人がこの量を被曝するには2000年以上の年月が必要です。人体に何かの影響が現れる放射線の量は前述の様に、一般的に $250 \text{mSv} = 0.25 \text{Sv}$ なっています。この放射線量以下なら臨床的所見が現われ無いので、被曝は測定器の値でしか判断できません。従って、自然放射能から一般の人に障害が出るには100年以上の被曝期間が最低必要になります。放射線によるDNA損傷は生体の持つ修復作用によって修復され、障害は消失しますが、稀に修復失敗によって細胞に変異が発生し、発ガンや老化する可能性もあります。被曝から発病までの潜伏期は20年とされています。そこで、放射線作業従事者が現場で作業するに従って、その年代の許容被曝線量が決められており、緊急被曝して、そ

の年代の被曝量を超える場合はその年数の間作業から離れる事で、被曝管理がなされます。放射線の危険性は交通事故、血管疾患等の病死等に比べて、遥かに危険性は低いとされています。米国では放射線の危険性は交通事故、ピストル事故、喧嘩による死亡以下とされています。

11) 人体に対するシーベルト値

被曝線量を見る時、瞬間的な被曝か、継続的

な被曝かで同じ被曝でも障害は異なります。継続的被曝は1時間当たり(Sv/hr)とか、年間被曝量(Sv/y)で示するのが一般的です。更に被曝した放射線の種類によっても影響は異なります。そこで、シーベルト値はシーベルト値=吸収線量(Gy)×放射線種係数×組織種係数で示されます。以下に放射線種係数(放射線加重係数)と組織種係数(組織加重係数)を示します。

放射線種係数(放射線荷重係数)

放射線の種類	放射線種係数
光子(X,γ線):全エネルギー	1
電子(β線)、μ粒子:全エネルギー	1
中性子:10KeV以下	5
10KeV~100KeV	10
100KeV~2MeV	20
2MeV~20MeV	10
20MeV以上	5
反陽子以外の陽子線	5
α線	20
核分裂片	20
重原子核	20

組織種係数(組織荷重係数)

器官・組織	組織種係数
生殖腺	0.20
骨髓(赤色)	0.12
結腸	0.12
肺	0.12
胃	0.12
膀胱	0.05
乳房	0.05
肝臓	0.05
食道	0.05
甲状腺	0.05
皮膚	0.01
骨表面	0.01
残りの器官・組織	0.05

(ふくしま原発事故:対策必携ガイド:近代消防社:ブックレット22)より引用

12) 抗酸化作用と免疫能活性作用

放射線は染色体(DNA)に直接作用し、DNA

に損傷を与えます。この確率は37%とされています。また、放射線はラジカル(化学反応種:遊離基)を生成し、ラジカルは分子間を移動して間接的にDNAに損傷を与えます。ラジカルによる

DNA損傷の発生確率は70%以上と考えられています。この直接作用と間接作用によって発生するDNA損傷は生物のもつ修復作用で数秒から数十分で修復され、正常に戻ります。しかし、修復失敗によって変異した細胞も出現します。この変異性細胞に対しては免疫担当細胞(リンパ球)が特異的に攻撃し除去されます。更に生体防護の一種であるアポトーシス(生体にとって不要な細胞に対して自殺させるプログラム細胞死)によって変異細胞は取り除かれるので発ガンも低下します。放射線の障害から逃れるにはラジカルの除去と免疫能の活性維持が重要になります。ラジカルの除去にはラジカルスカベンジャー(SH基化合物:システイン、システアミン及びその誘導体)やビタミン類(ビタミンC、ビタミンE及びその誘導体)が有効です。これらのスカベンジャーはラジカル除去能を有しております。また、免疫能の活性維持には抗酸化作用や免疫活性化作用を持つ多糖類(β グルカン)やポリフェノール類(カテキン)の摂取が有効です。

13) 黒酵母抽出グルカンと放射線防護効果

黒酵母にはグルコース誘導体である糖鎖(β -グルカン)が多く含まれております。グルコース誘導体にはグルカン(黒酵母、パン酵母)、クレスチン(カワラタケ実子)、レンチナン(シイタケ)、シゾフィラン(スエヒロタケ菌糸)等があります。今回は β グルカンを含む黒酵母に付いて、放射線防護効果を実験動物によって実証したデータを紹介します。 β グルカンには免疫能活性化作用があり、活性化した免疫細胞は変異性細胞を攻撃するため、発がんの抑制が期待できます。また、 β グルカンには抗酸化作用も

あり、そのため放射線防護効果も期待できます。これらの作用は放射線による腸管障害を軽減させ、死亡マウスを減少させました。 β グルカン(黒酵母エキス)は放射線による腸管障害を防護するため、放射線照射マウスの体重減少を抑制し、死亡マウスも軽減させました。従って、日常の食事で β グルカンを含む健康食品を摂取する事で抗酸化作用や免疫能活性化作用を高め、放射線やストレスに耐性を築く事が期待できます。

14) 危険な放射性同位元素と放射線

放射線はX線管球や加速器を除外すると、放射性同位元素から放出されます。放出される放射線は α 線(アルファ線)、 β 線(ベータ線)、 γ 線(ガンマ線)、中性子線(ニュートロン)、陽子線(プロトン)、中性微子(ニュートリノ)等です。

α 線(アルファ線)とは

α 線はヘリウムの原子核であり、電荷は+2、質量数は4であり、質量エネルギーは3727.3 MeV(電子の質量エネルギーは0.511 MeVです)と大きく、重粒子に分類されます。 α 線が物質に入射すると直線で短い飛程を示し、停止後は周囲の自由電子を捕獲してヘリウムガスとなります。 α 線が放出された後の娘核は原子番号Zが-2、質量数Aが-4減少します。 α 線は電離能が大きく、生体作用も強く、5 MeVのエネルギーが有っても、飛程は空気中で3~4 cm、水中で数 μ mと短いので、物質に入射すると表面で全てのエネルギーを放出して停止するため、内部被曝(核種の体内摂取)が問題となります。逆に α 線の遮蔽は容易である事が分かります。この様に飛程(物質中を通過する経路)が短

い事は測定器の表面膜で停止し、検出器が作動しない事も考慮する必要があります。

β 線(ベータ線)とは

β 線には $+\beta$ と $-\beta$ があります。何れも電子線であり、核内から発生した電子を β 線と呼んでいます。加速器等(原子核以外)から放出される電子を電子線と呼んで区別しています。 β 線も電子線も同じエネルギーであれば、生体作用も同じです。つまり、高速電子が減速されるとX線が発生しますので、両線共にX線を発生します。従って、 β 線の遮蔽にはX線の遮蔽やX線の発生を抑える物質(プラスチック等)も必要です。両電子は電離作用を持ち、生体作用も持っており、放射線治療に利用されております。

γ 線(ガンマ線)とは

最初の項で説明した様に、間接電離の電磁波(光子)です。物質中の飛程は長いので、鉛ブロックや高密度コンクリート(重コンクリート)が遮蔽材として用いられます。100KeV程度の γ 線は検出が容易であり、半減期が短い同位元素から放出される約100KeV程度のエネルギーの γ 線は診断用に利用されます。

中性子とは

電氣的に中性で、質量エネルギーは939.6 MeV、電場や磁場の影響を受けないため、原子核内に容易に入射します。原子核内に入射した中性子は核内中性子と散乱したり、陽子を弾き出したりして、核反応を発生させます。核反応の発生確率は中性子のエネルギー(速度)に逆比例するので、核反応の効率を上げるために、中性子を減速する必要があります。中性子の質量より、僅かに軽い陽子(938.2MeV)に

中性子が当たると、エネルギーは陽子に取られ、中性子は減速します。飛び出た陽子は電荷が有るため、電子同様に遮蔽は容易です。中性子の減速に有用な陽子とは、水素原子の原子核であり、原子核を構成する核子です。従って、陽子を含む物質が中性子減速材になるので、陽子=水素は水、パラフィン、重水等に多く含まれるので、これらが中性子遮蔽材となります。陽子以外にカドミウムやホウ素が中性子減速や遮蔽に用いられます。原子炉事故では冷却と中性子遮蔽に水が用いられます。

陽子(プロトン)とは

電荷を持った核子で、質量エネルギーは938.2MeVを有し、電離作用も大きいので、放射線治療にも利用されております。原子核内では中間子によって中性子と結合して原子核を形成する粒子です。電荷が有るため、加速器でそのエネルギー(速度)を増大できます。

中性微子(ニュートリノ)とは

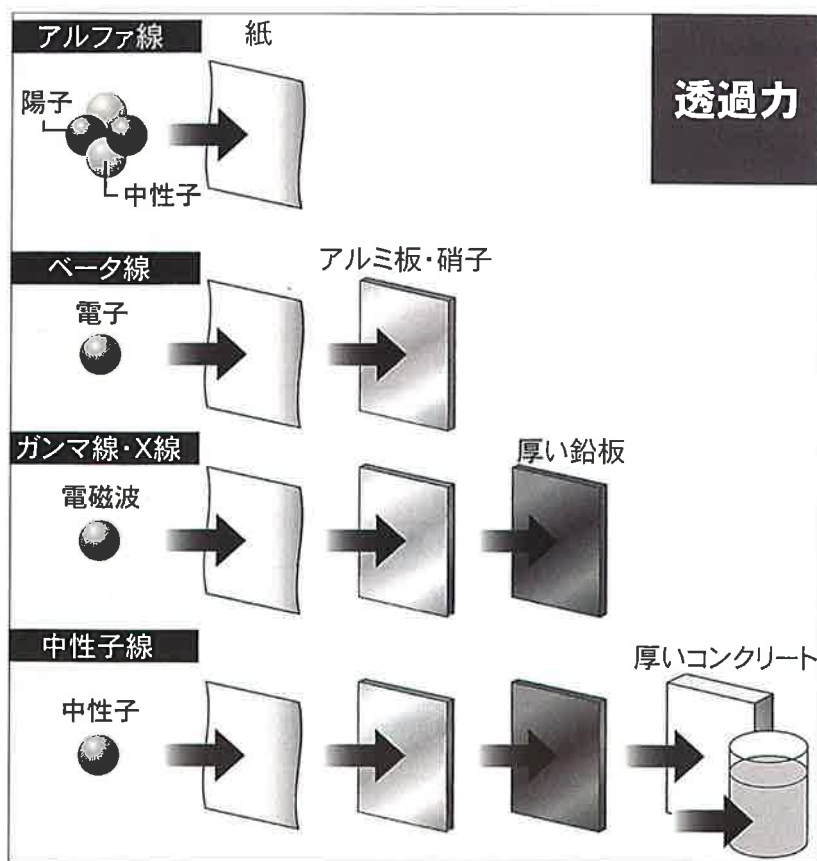
β 崩壊する時に連続エネルギーの形で放出される中性の粒子であり、小柴博士によって存在が確認され、ノーベル賞を受賞した粒子で、物質との相互作用が微弱なため、発見が遅れていました。以上の放射線の他に軌道電子が放出されるので電子も放射線として発生します。一般に原子炉から生成される放射性核種(前述の放射線放出核種)には核分裂片と呼ばれる質量数が95(Mo,Kr,Sr等)と140付近(Ba,La,Te,I,Xe,Cs 等)の放射性物質や宇宙線によって生成される ^{14}C 、更に核燃料(^{235}U , ^{239}Pu 等)が放射性同位元素になります。Sr(ストロンチウム)やCs(セシウム)、Ba(バリウム)等は人体の骨組織に取り込まれ、長期内部被曝の原因

となります。I(ヨウ素)は甲状腺(ホルモン合成臓器)に特異的に取り込まれます。チェルノブイリ原子炉事故で飛散した高濃度の放射性同位元素はヨウ素131(半減期:8日)、セシウム137(半減期:30年)、ストロンチウム90(半減期:30年)、プルトニウム241(半減期:14年)ジルコニウム95(半減期:60日)、モリブデン99(半減期:66時間)、ルテニウム103(半減期:40日)、セリウム141(半減期:30日)、バリウム140(半減期:14日)等が含まれます。

15) 各放射線の透過力

α 線は重荷電粒子であるため、飛程(物質中を通過する距離)は短く、紙やアルミ箔で停止します。 β 線や電子線は厚みのあるアルミ板やガラス板で停止します。 γ 線やX線は厚い鉛板や鉛ブロックで停止します。中性子は透過力が強く、厚みのある重コンクリートや水、パラフィンで停止します。(図6)

●図6



(ふくしま原発事故対策必携ガイド:近代消防社:ブックレット22)より引用

16)放射線の検出法

放射線検出器に利用される物質には気体（PRガス、Qガス、空気、アルコール気体）、液体

（液体シンチレーター、液体窒素、純水）、個体（プラスチック、半導体、個体シンチレーター、原子核乾板）があります。放射線による励起作用と電離作用を利用しています。検出器と材料、原理、検出放射線を示します。

検出器		材 料	検出原理	検出放射線	特 徴
GM計数管		Qガス	電離（放電）	β 線、 γ 線	エネルギー判別不可
比例計数管		PRガス	電離（比電離）	β 線、 γ 線	エネルギー判別可
2 π ガスフローカウンター （比例計数管）		PRガス	電離	α 、 β 、 γ 線検出可能	試料を測定器内に設置
電離箱	空洞電離箱	空気	電離	β 線、 γ 線、C/ kg、Gy、Sv	照射線量
	空気壁電離箱				
	指頭形電離箱				
	ポケット線量計				
ロングカウンター		$^3\text{B}^{10}$	電離	中性子	広範囲エネルギーの検出可
シンチレ ーション カウンター	液体シンチレーター	光電子増倍管 （励起光の検出）は 高感度光素子	$^3\text{B}^{10}$ を含むと 中性子検出可	α 線、 β 線、 γ 線	エネルギー判別可
	気体シンチレーター			α 線、 β 線、 γ 線	エネルギー判別可
	個体シンチレーター			β 線、 γ 線	エネルギー判別可
半導体検出器		半導体	電離	α 線、 β 線、 γ 線	エネルギー判別可
ローリッツエン		空気	発生電荷	β 線、 γ 線	エネルギー判別不可
BF3カウンター		$^3\text{B}^{10}$ 、PRガス	電離	中性子	核反応利用
熱蛍光線量計		CsI	励起	γ 線	（加熱操作）
化学線量系		イオン	酸化・還元	γ 線	大線量用
ガラス線量計		ガラス	励起	X線、 γ 線	プレドーズ
泡 箱		液体窒素	電離・飛程測定	高エネルギー放射線	高エネルギー
霧 箱		アルコール気体	電離・飛程測定	α 線、 β 線	飛程測定
原子核乾板			電離・飛程測定	高エネルギー	飛程測定

放射線検出器は放射線の電離と励起を利用しています。電離によって電離電流が流れ、高感度電流計で検出可能です。また、電離によって化学反応(酸化や還元)が物質の色を変色さす化学線量計が利用されています。励起現象は全ての物質に共通して発生する現象で、放射線によって軌道電子がエネルギーを受けると、軌道が膨らみ、励起軌道になるが、励起が収まると余ったエネルギーを光として放出して安定化します。この励起光や蛍光作用を光電子増倍管で検出して放射線の量を測定しています。光電子増倍管は超微弱な光を電子に変換(アインシュタインが発見した光電効果を利用)して、光電子に電圧を加えて加速し、数100万倍に増幅し、パルス信号で出力する装置で、この画像装置は天体望遠鏡にも利用され、人間の目では確認できない僅かな数億光年(1光年は光が1年掛けて到達する距離:光は1秒に30万km=地球7.5回周回します)からの極微小な光も検出します。光(電磁波線)は線源から距離の逆二乗に比例して減衰する事を考えると、数億光年の光が如何に微弱であるかが理解できます。

17) 放射線の防護法

放射線を防護する方法は次の3要素が基本になっています。①作業時間を短縮する。②放射線源から距離をとる。③遮蔽物を用いる、が放射線防護の3原則です。人類は250mSvまでの被曝では臨床上何も所見が出ない限界量であるから、緊急作業に対して、250mSv以下になるように作業時間を決めて、従事者が入れ替わり緊急作業に付く必要があります。また、遠隔操作を利用して、放射線源から離れると距離の逆二乗で被曝量は低下します。つまり、距離を2倍

に広げると被曝量は1/4に軽減します。次は遮蔽物による放射線の減衰を行い、被曝量を軽減出来ます。ただし、中性子は①作業時間の短縮、②距離を取る、の二項目は利用出来ませんが、 β 線や γ 線の様に遮蔽には問題があります。それは中性子に電荷が無いからです。電荷が無いから原子を構成する軌道電子や原子核内の陽子からのクーロン力が作用せず、中性子は原子核内まで自由に通過するからです。その為に、中性子の遮蔽には玉突き原理を利用します。中性子と同じ重さの物に衝突すると、エネルギーを全て相手に与えて、中性子は停止します。実際は中性子と同じ質量の核子は中性子しか存在しないので、中性子が飛び出して、遮蔽した事になりません。そこで、中性子より僅かに軽い陽子を利用します。中性子が陽子に衝突すると、中性子は殆どのエネルギーを陽子に与えて、減速されます。中性子が弾き出した陽子は電荷があるため、原子の電場で容易に停止します。中性子の遮蔽に有効な陽子を含む物質には水素、水、パラフィン等があります。その他の金属ではCd(カドミニウム)やB(ホウ素)になります。

18) 家庭で可能な放射線防護

汚染物質である放射性同位元素は極微小な粒子であり、空気中を自由に浮遊し、水に混入してもコロイドを形成し吸着性が強くなったり、大きな粒子は沈殿したりします。このような微小粒子(放射性同位元素)が体内に侵入しない工夫が必要です。

食物について

葉っぱの大きな野菜や微粒子が根元に収束する構造の野菜は雨や散水によって、空気中の

放射性微粒子が葉の根元に収束しますので、葉の根元は切り取って廃棄する事で放射性微粒子をある程度除去できます。また、食用の葉の部分は効率良い洗浄を行えば、放射性微粒子の体内侵入を防げます。その他の根菜類は洗浄を十分に行うと共に皮を除去すれば、ある程度の放射性微粒子の体内侵入を防止できます。

高濃度汚染地域での注意

●家屋内での防護法

外気が侵入し難い工夫として、①隙間のテープによる目張りを行う。②空調機フィルターの頻繁な清掃や交換を行う。③洗濯物は野外で干さない。④部屋の中央にいる様にして、外気から距離を取る。⑤外出から帰ったら、上着は野外で叩いて、付着微粒子を除去してから入室する。この様に、不要な放射性微粒子との接触を避ける工夫も必要です。(図7)

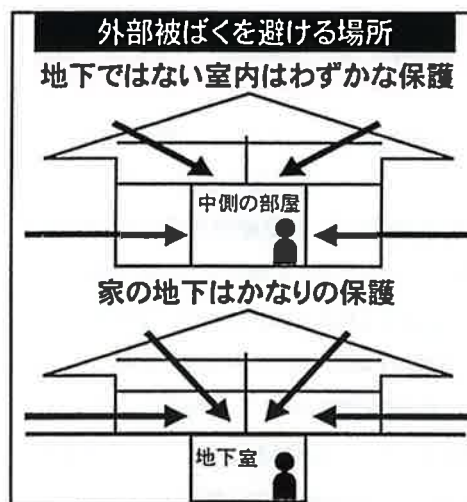
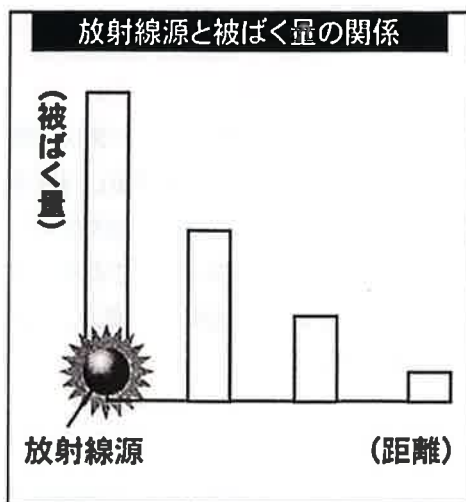
●水道水からの防護法

大きな容器にフィルターを通した水道水を貯留し、放射性微粒子の沈殿を待ってから、上澄み液を摂取する。特に沈殿する大型の放射性物質は放射能が強い傾向が有り、特に体内への侵入を防止する工夫が必要です。

●外出時の防護法

①空気中の浮遊放射性粒子の吸入を予防するため、細かなフィルター効果のあるマスクを外出時は着用する。②帰宅時は外側の衣類を室外で脱ぎ、叩いて放射性微粒子を落としてから入室する。③皮膚が外気に触れない様に覆い等で全身を囲む工夫をする。④雨や水たまりの水分が体に付着しないように、ゴム長靴やビニールカップ等で予防する。⑤帰宅後はウガイと手や外気と触れた皮膚部分を水洗する。(図8)(図9)

●図7



(ふくしま原発事故対策必携ガイド 近代消防社:ブックレット22)より引用

●緊急避難時の予防法

放射性微粒子は微小な隙間に入り込み、除染が困難な物質です。特に毛髪には魚の鱗状のヒダがあり、このヒダに放射性微粒子が入り込むと除染は困難となるので、外気(特に汚染雨)に触れない工夫が必要です。除染を容易にする工夫として皮膚や毛髪にクリームや黒酵母抽出液等を予め塗っておき、除染を容易にする必要があります。従って、このような放射性微粒子の性質を理解した上で対応策を練る必要があります。①雨天の場合は外気や雨水が皮膚や毛髪に付着しない様に覆いが必要です。②ゴム長靴、手袋、マスク等で雨水の付着を防止します。③移動は原則的に日中に行う(夜は外況が不明であり、思わぬ汚染をする危険性があります)。④身体の外気と接触する可能性のある皮膚にはクリームや黒酵母抽出液等を塗り、汚染物が付着しても除染が容易に行える状況を作る。(図10)

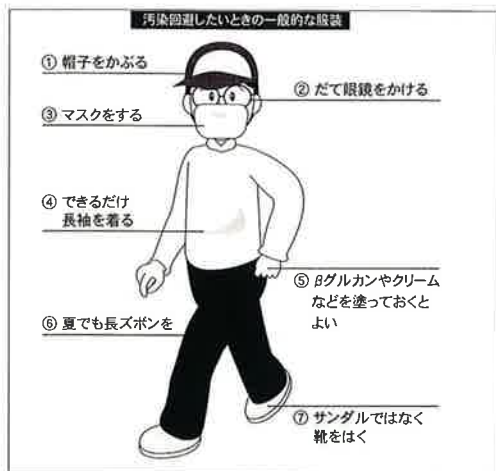
19) パニックと免疫能低下

日本は地上初の原子爆弾の投下を受けた国であり、その壮絶な実態は世界中に知れ渡り、核兵器廃絶運動が進んでいる中で、2011年の我が国での原子炉事故は東日本大震災の津波被害と同様に大きな問題です。大震災からの復興のために、一人一人が如何に協力出来るかが課題になっている時期に、緊急作業従事者は例外として、一般の極微量の被曝を危険視し、パニックに陥る事は日本国に更なる損害を与えると共に、パニックによって免疫能が低下するために、体力は低下し、種々の病気を発症し、社会状況は更に悪化する事になりかねません。免疫能は環境ストレス、タバコ、暴飲暴食、大気汚染、紫

●図8



●図9



●図10



図8、図9、図10

(ふくしま原発事故・対策必携ガイド:近代消防社:ブックレット22)より引用

外線、放射線等のストレスで低下します。これらのストレスを解消するには国家は国民全員の希望をサポートする事で、心のケアを行い、国民個人は抗酸化食事、免疫力強化剤等の摂取に努力し、国家的な事業と捉える事がが必要です。そこで現場の状況を開示する事によって、憶測や不安を払拭し、国民全体の問題として理解と協力を得る事が必要となるのです。

20) おわりに

過去の放射線事故(原子炉事故)を取り上げた時、問題となったのは、一般公衆のストレスと無知による恐怖であったと思います。この状況を打開するには教育と情報周知を徹底し、放射線とは何であるか、また放射線の特徴を教える工夫と対応策を早急に始動させる事が重要と思います。国民一人一人が心で祈るだけでなく、簡単に行動に移す事の出来る事から行動して、不安社会を乗り切る努力も必要です。地球規模の災害の恐れはないと思います。津波被災者と福島原発の緊急作業従事者のために、全国民の力を結集し、この危機を乗り越える必要があると考えます。

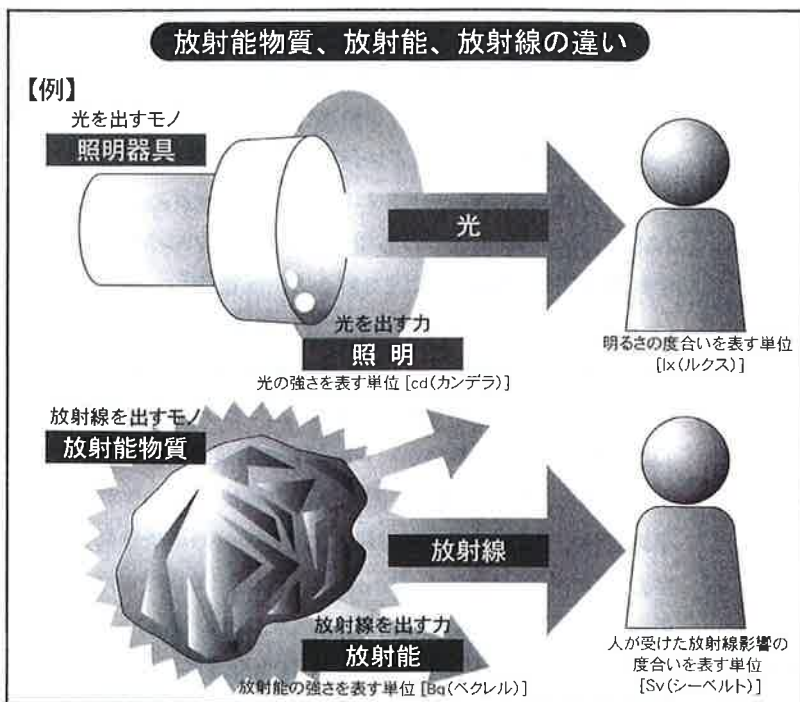
文 献

- 1)放射線医学物理学：西台 武弘
文光堂(1997)
- 2)放射線基礎医学：第9版、菅原努監修
金芳堂,(2001)
- 3)フクシマ原発事故、対策必携ガイド、
近代消防ブックレットNo.22：長谷川武夫
近代消防社,(2011)
- 4)Radiobiology for the Radiologist,
Eric J.Hall
J.B.Lippincott Company, (1988)



放射線と放射能の違い

放射能物質を含むモナザイトやウランなどの鉱石は、目に見えない光を発することができます。これを一般的に「放射線」と呼び、この放射線を出す能力のことを「放射能」といいます。



参考資料：(財)日本原子力文化振興財団：「原子力」図面集-2002-2003年版-(2002)

● 講演会

- 2011 1.7 谷川真理『腰痛予防』(給食調理員研修、精華町役場)
- 2.25 谷川真理『メタボリック症候群』(職員研修、精華町役場)
- 3.26 宇野賀津子『災害時の心のケアに学ぶ そして今、私に出来ることは何かを考える』
(第229回生き甲斐療法京都学習会 長岡京市)
- 4.6 藤田哲也『がんとは何か～あなたにできるがん予防』
(第5回がん認知症患者と在宅医療・介護を考える会 静岡)
- 4.12 藤田哲也『病理学と病因論』(同志社大学、生命医科学研究会特別講義)
- 4.20 宇野賀津子『20世紀科学の発展は女性のライフサイクルをどう変えたか』
(京都大学人間健康科学科特別講義)
- 5.10 宇野賀津子『免疫力を測って、健康管理に生かそう!』(同志社大学)
- 5.27 谷川真理『新人のメンタルヘルス』(新人研修、精華町役場)
- 6.6 宇野賀津子『低線量放射線の影響:生体が獲得してきた放射線から身を守るシステム』
(理化学研究所 和光市)
- 6.7 宇野賀津子『多項目ビーズアレイの可能性と現時点での限界 120%の結果を
引き出すためにLuminixテクノロジーセミナー～ガン・免疫・代謝研究を加速す
るMultiplex Assayとその応用～』(東京コンファレンスセンター品川)
- 6.14 宇野賀津子『末梢血でどこまで解かる免疫機能』
(第62回大和免疫・アレルギー研究会 近畿大学医学部奈良病院)
- 6.24 谷川真理『女性の健康』(女性職員研修、精華町役場)
- 7.3 宇野賀津子 シリーズ 東日本大震災にまつわる科学 - 第1回公開講演討論会
『放射線はどれくらい怖いかな～低線量放射線の生物への作用を検証する～
がんリスクと免疫の役割』(京都大学理学部セミナーハウス)
- 7.15 宇野賀津子『がん、老化、放射線と対峙するヒトの免疫機構』(ゆうゆう会 岡山)
- 8.18 宇野賀津子『低線量放射線の影響』(いわき3地区での学振—放射線計測
説明会反省会 大阪大学先端イノベーションセンター)
- 8.26 谷川真理『食中毒予防』(職員研修、精華町役場)
- 9.16 谷川真理『ストレスって何?』(消防研修、精華町消防署)
- 9.19 宇野賀津子『低線量放射線の影響と食の重要性』(JA白河)
- 10.16 宇野賀津子『20世紀科学の発展と女性役割の変化』
(女性研究者技術者全国シンポジウム)
- 10.19-21 宇野賀津子『低線量放射線の生物への影響と食の重要性』
(放射線から健康を守る学習会 日本学術振興会 産学協力研究事業に係る説明
会チーム 白河市 泉岡集会所、大信農村環境改善センター、小田川行政センター)
- 11.15 宇野賀津子『21世紀を生きるあなたへ:理系を目指すあなたへのメッセージ』
(立命館守山高校)

11.16-17	宇野賀津子『低線量放射線の生物への影響と食の重要性』 (放射線から健康を守る学習会 日本学術振興会 産学協力研究事業に係る 説明会チーム 白河市 サンフレッシュ白河、白河産業プラザ人材センター)
11.18	宇野賀津子『低線量放射線の影響、生体が獲得してきた放射線から身を守る システム』(JA白河指導員研修)
11.25	谷川真理『女性の健康』(職員研修、精華町役場)
12.1	宇野賀津子『女性とは何か』(京都大学人間健康科学科 特別講義)
12.10	宇野賀津子『女と男を決めるのは何か? 心と体と社会の進化』(JASSサイエンスカフェ)
12.14-15	宇野賀津子『低線量放射線の生物への影響と食の重要性』 (放射線から健康を守る学習会 日本学術振興会 産学協力研究事業に係る 説明会チーム 白河市 東公民館、表郷保健センター)
12.17	宇野賀津子 シリーズ 東日本大震災にまつわる科学-第6回公開講演討論会 再び低線量放射線の影響を考える『"放射線の健康影響、放射性物質の除染に 関する説明班"に加わって 福島での経験から』(京都大学、基礎物理学研究所)

● 国内学会・研究会 他

2011	1.14	平成22年度厚生労働科学研究費補助金 政策創薬研究事業 第2回「人工ガンマグロブリンの製剤化への安全性と臨床試験に向けた評価系 の確立」成果発表会(東京) 宇野賀津子
	1.27	関西医科大学RI実験室 共同研究打合せ(大阪) 長谷川武夫
	1.28	第16回 MPO研究会(仙台) 宇野賀津子
	4.28-30	第100回日本病理学会総会(横浜) 土橋康成
	5.20	第32回癌免疫外科研究会(和歌山) 長谷川武夫
	5.25-27	第76回日本インターフェロン・サイトカイン学会学術集会、 第19回マクロファージ分子細胞生物学国際シンポジウム(大阪) 宇野賀津子
	5.27-28	第11回日本抗加齢医学会総会(京都) 藤田哲也、宇野賀津子、谷川真理
	6.1	BIO-RADラボラトリーズ(株)電気泳動トレーニング受講(大阪) 木村賢一、山本研介
	6.17	第53回日本老年医学会(東京) 谷川真理
	6.24-25	第17回国際癌治療増感研究会 長谷川武夫
	7.2	第13回関西ハイパーサーミア研究会:菅原努先生追悼記念研究会(京都) 宇野賀津子、長谷川武夫
	7.11-12	日本乳酸菌学会2011年度大会(大阪) 岸惇子、赤谷薫、山本研介、十河政信
	7.16	遠隔病理診断ネットワークにかかるシンポジウム(大津) 土橋康成
	8.11	平成23年度スーパーサイエンスハイスクール生徒研究発表会(神戸) 宇野賀津子
	8.28	第1回AIDS文化フォーラム in 京都 プレイベント(京都) 谷川真理
	9.1-2	「食の機能性・安全性、そして安心を科学する」フォーラム(神戸) 岸惇子、赤谷薫

9.8-10	第28回日本ハイパーサーミア学会(名古屋) 長谷川武夫、坂元直行、谷川真理
9.9-10	第10回日本テレパソロジー・バーチャルマイクロコピー研究会(京都) 土橋康成、宇野賀津子、津久井淑子
9.16-18	第66回日本体力医学会大会(山口) 川合ゆかり
9.22-24	第69回日本癌学会(大阪) 宇野賀津子、長谷川武夫
10.2	第18回農医工学研究会(東京) 谷川真理
10.3-5	第70回日本癌学会学術総会(名古屋) 宇野賀津子、長谷川武夫、谷川真理
10.7	Bio-Plex技術セミナー(大阪) 宇野賀津子、長谷川武夫、野瀬三佳
10.14-15	平成23年度日本遠隔医療学会(旭川) 土橋康成
10.27	平成23年度第2回食品・バイオ技術セミナー(京都) 十河政信
10.28	「SSH研究成果発表会」岡山ノートルダム清心女子高校 宇野賀津子
11.21-22	第50回日本臨床細胞学会秋期大会(神戸) 土橋康成
11.22	第2回フードフォーラム(神戸) 山本研介、十河政信
11.24	日本乳酸菌学会2011年度秋期セミナー(神奈川) 山本研介
11.25-26	平成23年度厚生労働科学研究費補助金 政策創薬事業「人工ガンマグロブリンの 製剤化への安全性と臨床試験にむけた評価系の確立」班会(千葉) 宇野賀津子
11.27-29	第40回日本免疫学会(幕張) 宇野賀津子

● 国際学会・シンポジウム

2011	6.24-25	第17回国際癌治療増感研究会(仙台) 長谷川武夫
	8.3-5	International Academy of Digital Pathology(ケベック) 土橋康成
	10.9-11	9th Joint Conference of the International Cytokine Society and the International Society for Interferon and Cytokine Research(フィレンチェ) 宇野賀津子

● バイオ・ソサエティ

・医学入門講座(12日間)

2011	10.3	ゲノム医科学 田代啓(京都府立医科大学 分子医科学教室ゲノム医科学部門教授)
	10.4	薬物動態学 掛見正郎(大阪薬科大学 薬剤学教授)
	10.5	臨床病理学 土橋康成(当研究センター 臨床病理研究部部长)
	10.11	臨床薬理学 中田徹男(京都薬科大学 臨床薬理学分野教授)
	10.12	がん入門 三木恒治(京都府立医科大学泌尿器外科学・腫瘍薬剤制御学講座教授)
	10.13-14	統計学 八木克巳(京都府立医科大学名誉教授)
	10.17	①基礎免疫学 宇野賀津子(当研究センター インターフェロン・生体防御研究室室長) ②臨床免疫学 谷川真理(百万遍クリニック 内科部長)
	10.18	放射線の生体への影響 長谷川武夫 (当研究センター ハイパーサーミア医科学研究室室長)

10.19	感染症学 藤田直久(京都府立医科大学 感染制御・検査医学准教授)
10.20	生命学と脳科学 藤田哲也(京都府立医科大学名誉教授)
10.21	薬理学 大熊誠太郎(川崎医科大学薬理学教室教授)

● センター活動

2011	1.4	仕事始め
	1.24-28	徳澄祐悟(仏高校生)研修
	2.25	分子免疫研究所、京都市実地検査
	3.7	第46回評議員会
	3.8	第63回理事会
	3.25	タケダクリニック訪問(水口浩、野瀬三佳)
	4.5	たけだ診療所訪問(水口浩、野瀬三佳)
	6.15	藍野病院訪問(水口浩、野瀬三佳)
	6.20	第47回評議員会
	6.21	第64回理事会
	7.1	科学研究費補助金説明会参加(京都大学・津久井淑子)
	7.4-8.15	フランス留学生ナイジェル、ピエール、京都府立医科大学で研修
	8.1	渡邊好章新理事長就任
	8.16	堀場製作所見学(ナイジェル、ピエール、津久井淑子)
	8.22	同志社大学生命医科学部見学(ナイジェル、ピエール)
	9.16	文部科学省実地検査
	10.3	バイオ・ソサエティ入門講座開始(~21日)
	10.18	倫理委員会
	12.19	消防訓練
	12.28	仕事納め

● その他

2011	4.14	お茶に放射線防護効果 伊勢新聞4月14日号 長谷川武夫
	4.25	私の被曝量が知りたい AERA 2011.4.25号 宇野賀津子
	7.22	放射能に打ち勝つ「抗酸化力」ってなんだ? 週刊朝日7月22日号 長谷川武夫
	6.13	放射性物質から体を守る食品・お茶のカテキンの効果 AERA No.28 長谷川武夫
	6.16	黒酵母のβ-グルカンが免疫能を高める。わかさ 第7号(わかさ出版) 長谷川武夫
	9.26	放射線の害を防ぐ食品がいくつかあり、中でも食物繊維の一種「β-グルカン」は期待大 夢21 No.9(わかさ出版) 長谷川武夫
	8.22	フクシマ原発事故 対策必携ガイド(近代消防社) 監修 長谷川武夫
	10.25	低線量放射線の影響はこれからの生き方で変えられる 大学ジャーナル Vol.96 宇野賀津子



フランスからこんにちは！



パストゥールの皆さんは私にいろいろなマシンの
使い方とか細胞はどうなっているか詳しく、分かり
やすく教えてくれました。それは必ず私の将来
にとってプラスになると思います。これからどうな
るか分かりませんがこの経験を生かせるはいい
と思います。

皆さんと楽しく、明るく、面白くすごした5日間はあると
いう間でした。

パストゥール研究所に研究修でできるとも幸せです。
皆さん何もわからずに私に親切にして頂き
ありがとうございました。

徳澄 祐恒, Hugo Tokuzumi



今年は1月にフランスの高校生トクズミ ユーゴ君が5日
間、研修に来ました。顕微鏡を覗くことが気に入った様子
で、微生物等の観察を楽しんでいました。

また夏には、例年通り二人の学生が来日しました。ナイ
ジェル・マルクスさん(写真向かって左)とピエール・アドリ
アン・パイソンさん(同右)。

初めて当研究施設を離れて京都府立医科大学で7月4日
から8月中旬まで研修を行い、その後、堀場製作所、同志
社大学生命医科学部なども見学しました。



ナイジェル
Naïger

ピエール・アドリアン
Pierre Adrien

募金ご協力者

2011年度

出口 紅 様 山元 博 様

どうもありがとうございました。