

健康文化

## 放射線ホルミシス

石田 健二

### はじめに

私は以前、南山堂医学大辞典第19版で「放射線ホルミシス」を次のように紹介した。「ホルミシス *hormesis* とは、多量であれば毒性を示す物質や作用源が少量のときには生体を刺激して生理学的に有益な効果を生じることを意味する。この言葉は、もともとギリシャ語の *horme* すなわち “興奮” に由来しているが、1943年に Southam, C.M.と Ehrlich, J.によって、多量であれば菌類の成長を阻害するオーク樹皮抽出物が、少量では菌類の成長を促進するという現象に対して用いられたのが最初である。現在は、作用源の種類を問わず生物にプラスの効果が生じることを意味する言葉として使われている。このような作用源の一つとして1980年に、Luckey, T.D.は放射線が含まれると考え、これを“放射線ホルミシス効果”と呼んだ。この効果は、哺乳類細胞・動物では0.01~0.1Gy付近の線量域で現れ、免疫機能の向上、疾病への抵抗力の増加、発癌抑制、放射線に対する抵抗力の獲得、寿命延長、発育成長の促進などが生じると報告されている」。

福島の原子力発電所の事故から1年以上が過ぎたが、未だ、放射線に対する人々の不安は消えていない。このような時に、「微量な放射線なら悪い影響ばかりではない」、というような話を書くのは如何なものかと最初、躊躇したが、同時に、「放射線の影響を多面的に考える一助になれば」との思いが湧いた。本稿でもう一度「放射線ホルミシス研究の歩み」を振り返ってみよう。

### 1. 「放射線ホルミシス」との出会い

電力中央研究所（以後は電中研と略す）は約25年前、米国保健物理学会誌（1982年12月号）で、「電離放射線による刺激効果」と題した論文を見つけた。著者のLuckeyは「低線量放射線が生物に及ぼす影響は、高線量放射線とはまったく異なり、逆に、生理学的に有益な効果をもたらす可能性がある」と主張し、放射線は悪者以外の何者でもないとする現在の“放射線パラダイム”に一石を投じた。電中研では、地元の反応を知りたいと思い、論文のコピーを米国の電力研究所（EPRI）フロイド・カラー理事長に送った。このことが“放射線ホル

ミス”と長く付き合うきっかけとなった。

## 2. ホルミシスをめぐる議論

### (1) Oakland 会議

EPRIはDOE(米国エネルギー省)と共同で、カリフォルニア大学(UCLA)にLuckey論文の検討を依頼した。同大学では1985年8月に、オークランドで「第一回放射線ホルミシス国際会議」を開催することにした。同会議には100名以上の専門家が集まった。「放射線ホルミシス効果の有無」をめぐり活発な議論が闘わされた。仏国H.Planelは、「鉛で環境放射線の強度を約6分の一まで下げてゾウリムシを飼育したら、増殖率は、逆に、下がる」と報告した。米国B.Cohenは、「気中のラドン(Rn)濃度の高い地域に住む人の方が、逆に、肺がんによる死亡率は低い」と報告した。本会議の開始前には、「放射線は有害」と考えていた人が多かったが、会議が進むにつれて「そうでもないか」、と思う人が増えたという。本会議が研究者に与えた「刺激効果」は大きかった。

### (2) Frankfurt 会議

Oakland会議の翌年、1986年4月にチェルノブイリ原子力事故が起こると、人々の放射線に対する不安は高まる。独フランクフルトでの「第二回放射線ホルミシス国際会議(1987年5月)」は、このような状況の中で開かれた。米国S.Wolffは、「5~10mSvの微量のX線をヒトのリンパ球に事前照射しておく、その後1500mSvという高線量の放射線を照射しても、染色体異常の発生頻度は期待値よりも、逆に、低くなる」と報告し、生物には、放射線に対して「適切に対応(適応応答といっても良いだろう)」する能力があることを示した。日本からは坂本東北大学教授が、「低線量放射線の全身照射によってマウスに移植した皮膚がんの増殖を抑制できる」と報告し、低線量照射による“医療応用”の可能性を示唆した。

その後、国連科学委員会(UNSCEAR)は1989年、今後の重要な検討課題の一つとして、「低線量放射線の刺激効果(放射線ホルミシス効果)」を取り上げた。国際放射線防護委員会(ICRP)も、「ホルミシス効果は、未だ、放射線の防護基準に適用できる段階ではないが、慎重に追跡する必要がある」と、高い関心を示した。

一方、国際原子力機関(IAEA)と世界保健機関(WHO)は共同で、「低レベル放射線の健康影響国際専門家会議(セベリア会議)」を1997年に開催した。約600人ももの専門家が集まり、「放射線影響は直線仮説(LNT)に従うという放射線防護上の仮説の是非」について、激しい議論が展開された。そして同年、

日、米、仏およびカナダの話し合いによりオタワ大学に国際低線量放射線研究センター（ICLDRR）が設立された。また2年後の1999年には、米国エネルギー省（DOE）が「細胞レベルで低線量放射線の影響を調べる“研究プロジェクト”」を立ち上げた。放射線ホルミシス研究を国際的に進める機運が醸成されたと言える。

### 3. 電中研の対応

#### （1）放射線ホルミシス効果検証プロジェクトの立上げ

電中研は慎重だった。放射線ホルミシス研究を日本でも本格的に立ち上げるべきかどうか判断する前に「自分たちの手で放射線ホルミシス効果といえる事例を一つでもよいから見つけてみよう」、と考えた。そして1988年に、岡山大学、および東北大学の研究生となり、ラットやマウスを使ってホルミシス効果を確認する予備実験を行った。その結果、自然放射線量（年間で約1mSvオーダー）の数10～数100倍の強さの放射線（本稿では低線量放射線と言わせていただく）をラットやマウスに照射すると、小動物の体内に存在する①活性酸素を消去する酵素（SOD）の活性化、および②免疫を担うTリンパ球の活性化、という二つの異なる“放射線ホルミシス効果”が生じることを確認した。私たちはこの結果を一般の方にも知ってもらいたいと思い、日本版サイエンス誌（日経サイエンス）4月号（1991年）に、「ごく微量の放射線は健康に良いか」、と題して発表した。

その後、国内の大学および研究機関を訪ね、「低線量放射線に対する生体応答を調べるプロジェクト研究」への参加を呼びかけた。その働きかけが1993年に身を結んだ。東北大学、東京大学、東邦大学、京都大学など“14”の大学および研究機関の参加を得て、①老化抑制効果、②がん抑制効果、③生態防御機構の活性化、④遺伝子損傷修復機構の活性化、⑤原爆被災者の疫学調査、を五本柱とする「放射線ホルミシス効果検証プロジェクト」を立ち上げることができた。このプロジェクトでは、できるだけ早く成果を出したいという気持ちと、実験のし易さから、「低線量放射線の1回、または数回の照射」を共通の照射方法とすることが、決められた。

成果は約10年という短期間で得られた。実にさまざまな“ホルミシス効果”が確認された。その一例として、電中研が主体的に取組んだ①老化抑制効果、および②がん抑制効果の検証結果を取上げ、以下でその概要を紹介する。

#### （2）老化抑制効果

##### 1) ラドン温泉効果の検証

ラドン温泉は、古くから「若返りの湯」とも呼ばれている。私たちもラドンの刺激効果には興味を持っていた。そのため、島根県にある池田鉱泉より採取した高濃度の“ラドン泉水”を噴霧し、これをウサギに90分間吸入させ、老化の“指標”である体内の、①SOD酵素の活性度、および②過酸化脂質量、がどのように変化するか調べてみることにした。その結果、ラドン泉水を吸入させたウサギでは、普通の水を噴霧して吸入させたウサギ（対照群）に比べて明らかに、①SOD酵素の活性度は高まり、②過酸化脂質量は減少することが確認された。これまでは経験上の知見であった「ラドン温泉の若返り効果」の一端が、科学的に裏付けられた一瞬だったと思っている。

## 2) 糖尿病発症の抑制

活性酸素の影響を受けて起こる病気は“活性酸素病”と総称される。糖尿病もこれに含まれる。私たちは、低線量放射線によってSOD酵素の活性度が高まるのなら、余分な活性酸素が消去されて、糖尿病の発症が抑制されるのではないかと考えた。そこで、健常なラットに特殊な物質（アロキサン）を投与して人為的に糖尿病を発症させる一つの実験系を用い、低線量照射したラットの血糖値が上がるか、下がるか、または健常な状態を維持するか、調べてみることにした。その結果は期待どおりだった。アロキサンを投与する前に、約500mSvの低線量放射線を照射しておくこと、血糖値の有意な上昇は見られなかった。低線量放射線の照射によって糖尿病の発症が抑えられたものと評価している。

## (3) がん抑制効果

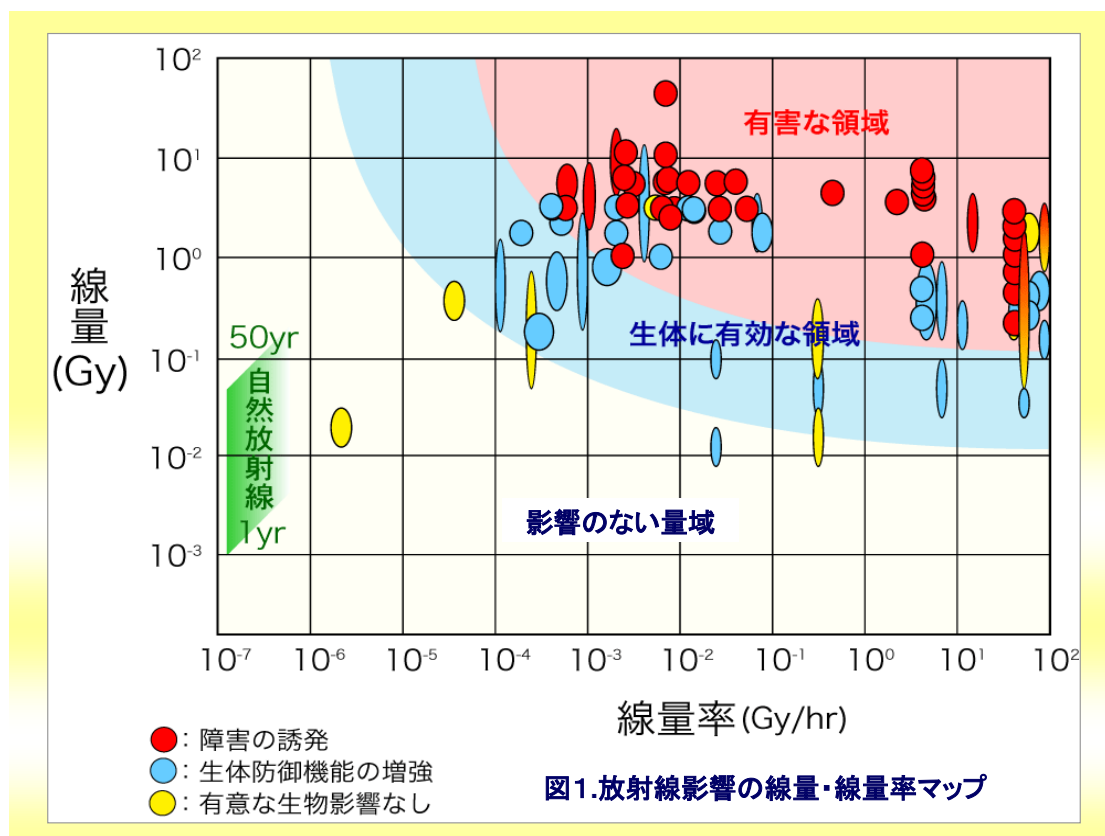
### 1) がん転移と増殖肥大の抑制

低線量の放射線照射で免疫機能が昂進するのなら、体内の異物である“がん”の「転移」、および「増殖肥大」を抑える効果が期待される。私たちは、健常なマウスを使って、「扁平上皮がん由来の腫瘍細胞を大腿部皮下に移植し、肺に転移する状況」、および「乳がん由来の腫瘍細胞を大腿部皮下に移植し、腫瘍が増殖・肥大する状況」を、追跡・調査した。その結果、がん転移については、「150mSvの低線量放射線を1回照射することで、肺への転移率が、非照射群よりも約40%下がること」、また腫瘍の増殖肥大については、「1回あたり40mSvの低線量放射線を週3回、4週間にわたって照射することで、増殖肥大が、非照射群に比べて有意に抑制されること」が、確認された。

### 2) がん治療への応用

放射線を使ったがん治療といえば、通常、「1回約2,000mSvの“高線量放射線”を週5回、これを6週間にわたって合計で約60,000mSvを病巣に照射」して“がん細胞”を殺す方法を意味する。しかし、坂本東北大学教授は、腫瘍が

発見された時点で、既に、他所に転移している可能性がある悪性リンパ腫の患者に対して「1回100mSvの“低線量放射線”を週3回、これを5週間にわたって合計で約1500mSv照射」という新たな照射の方法を試行、治療効果を格段に高めることができたと言う。



#### (4) 総合評価「線量・線量率マップ」

その後の研究で生物は、“線量”だけでなく“線量率”によっても異なる影響を受けることがわかってきた。電中研ではこれまでの成果も含め、外部発表されている多くの実験結果を、横軸に“線量率”、および縦軸に“線量”をとった1枚の図上（当所では“線量・線量率マップ”と称している）に分類・整理してみた。その結果が図1だ。この図から言えることは、放射線の生物影響は、線量と線量率の組み合わせによって、「①有害、②影響が見られない、③生体に有益、という三つの領域に分かれる」ということであり、放射線の影響は必ずしも悪いばかりではなさそうだとの思いを持つに至った。

#### おわりに

日経ハイテク情報（1993.10.18）から直接引用する。「工学の世界でもホルミシスと解釈できる現象は多い。この場合、毒物（放射線）を不純物と置き換え

ると分かりやすくなる。江崎玲於奈博士の“エサキ・ダイオード”はその典型である。当時 p 型、n 型半導体を作るために、ゲルマニウムなどの結晶に微量の不純物を加えていた。結晶の品質を損なう不純物は、本来望ましいものではない。江崎博士はわざと不純物が多い p-n 接合を持つダイオードを作り、量子力学の予言に基づくトンネル電流が流れることを発見した。邪魔者のはずだった不純物を増やす発想はホルミシスにほかならない。

電中研では、現在、研究の焦点を「低線量・低線量率放射線影響のメカニズム解明とリスク評価」へと、シフトさせている。しかし筆者個人としては、放射線ホルミシス効果が医療分野に応用され、今は常識外れと思われている“放射線ホルミシス”という概念が、いつか、社会に受け入れられることを願っている。

#### 「参考文献」

1. 電力中央研究所、「放射線ホルミシスー研究の意義と取り組みー」、電中研レビュー、No.33,1996.3
2. 電力中央研究所、「低線量放射線生体影響の評価」、電中研レビュー、No.53,2006.3

(電力中央研究所・研究アドバイザー)