

放射能、放射線、放射線被曝のその影響

今中哲二 京都大学原子炉実験所

1. 放射能、放射線とは

◇ 元素の発見

- その昔、中世のヨーロッパでは“錬金術師”がいて、物質の化学変化を利用して“金”を作ろうとしたが、うまく行かなかった。
- 錬金術などを通じて得られた知識から、自然界の物質は、水素、酸素、鉄といった（92種類の）元素の原子の組み合わせで出来ていることが分かった。
- 元素の性質をいろいろ調べて比べてみると、元素の並び方に周期性があることが分かった（1869年、メンデレーエフ）。すべての物質は、原子番号1番の水素（H）から92番のウラン（U）の組

◇ 元素が崩壊した（錬金術の発見）

- 19世紀末の2大発見：1895年、レントゲンのX線の発見。1896年、ベクレルの放射能の発見。
- 2大発見を契機に、20世紀のはじめに原子の仕組みが大いに研究された。

分かったこと(1)

- 原子は、中心の（+の電荷をもつ）原子核とそのまわりの（-の電荷をもつ）電子でできている。
- 原子核は（+1の電荷をもつ）陽子と（電荷をもたない）中性子がくっついてできている。電子の電荷は-1である。
- それぞれの元素では、原子核の中の陽子の数が決まっています（水素は1個、ウランは92個）。同じ数の電子が原子核のまわりにある。
- 中性子は、普通は原子核の中で陽子をくっつける“接着剤”の役割をしている。

分かったこと(2)

- 原子核には、陽子の数が同じ（つまり同じ元素）で、中性子の数が違っているものがあり同位体と呼ばれる。
- 同位体のうち、陽子の数と中性子の数のバランスが悪い同位体の原子核は、時間的に一定の割合で崩壊する（放射性同位体）。これが放射能の正体！
- 陽子の数が多いと、原子核はアルファ線（陽子2個と中性子2個でできた粒子）を出して崩壊する（アルファ崩壊）。中性子が多いと、ある中性子が（陽子と電子）に分かれ、ベータ線（電子）を出して崩壊する（ベータ崩壊）。
- アルファ線やベータ線を放出した後の原子核では、陽子と中性子のくっつき方が落ち着く際に、余分なエネルギーがガンマ線として放出される。

分かったこと(3)

- X線とガンマ線はともに、光と同じ電磁波だが、光に比べてエネルギーが大きい。ガンマ線は原子核から放出され、X線は真空管などの機械を用いて発生させる。

2. 放射線に被曝すると

◇ 放射線の生体組織への作用

放射線がもっているエネルギー（数万から数百万電子ボルト：eV）は、生物が細胞内でやりとりしているエネルギーや DNA の結合エネルギー（数 eV）に比べてべらぼうに大きい。放射線が生体組織に飛び込むと、組織を構成している分子・原子と衝突したり電子をはじき飛ばしたりする。その結果、放射線の軌跡に沿って DNA などの分子結合が直接切断されたり、ラジカルや活性酸素の生成などを通じて間接的な傷害が生じる。

DNA が傷を受けると、多くの場合は修復機能によって修復されるが、傷が大量であったり致命的な場合には、細胞死が起きる。傷が修復されても、配列が欠損したり間違ったりした場合には、突然変異や染色体異常といった形で傷害が残り、場合によっては後々ガンにつながる。

◇ 被曝レベルとその傷害

➤ 急性放射線障害（確定的障害）

一度にたくさん被曝すると、多くの細胞が破壊されて、早期（数時間から数週間）に臨床症状が現われる。被曝量が多いと、回復せずに死に至る。

急性障害による死亡例

- 広島・長崎原爆被災者：原爆当日は無傷だった人々が、一週間後くらいから3カ月後にかけて次々と亡くなった。
- チェルノブイリ原発事故：事故現場に居合わせた原発職員、消防士ら約300人が急性放射線障害で入院し、そのうち28人が死亡したとされている。
- 東海村 JCO 臨界事故：1999年9月の JCO 事故では、作業員3人が入院し、そのうち2人が亡くなった。

➤ 晩発性放射線障害（確率的影響）

放射線による傷（主として DNA の傷）が、後々になって、被曝した本人のガン・白血病またはその子供の遺伝的障害として現われる。

被曝によるガン・白血病の例

- キュリー夫人が白血病で死亡した（1934年、66歳）。
- その昔、放射線専門医の白血病死亡率が他の医者より大きかった。
- ラジウム夜行時計の塗装作業員に骨ガンが多発した。
- 広島・長崎被爆生存者の追跡調査では、被曝量にほぼ比例してガン・白血病が増加した。
- 小児白血病になった子供の履歴を調べると、胎児の時に X 線を浴びた子供が多かった。
- X 線造影剤（トロトラス）を静脈注射された人々に肝臓ガン、白血病が多発した
- ウラン鉱山の労働者に肺ガンが多発した。
- ソ連の再処理工場（マヤック）労働者に、肺ガン、肝臓ガン、白血病が増加
- チェルノブイリ周辺の子供たちに甲状腺ガンが増加した。
- 世界15カ国の原子力産業労働者約40万人の追跡調査で、ガン死が増加していた。

広島・長崎の最近のデータでは、非ガン死（循環器系、呼吸器系など）も有意に増加している。

3. 自然放射線

< 電事連パンフレット >

人類は太古の昔から、放射線と共存してきました！

図 1

自然界から受ける放射線の量
1年間に1人あたりの世界平均 2.4 ミリシーベルト



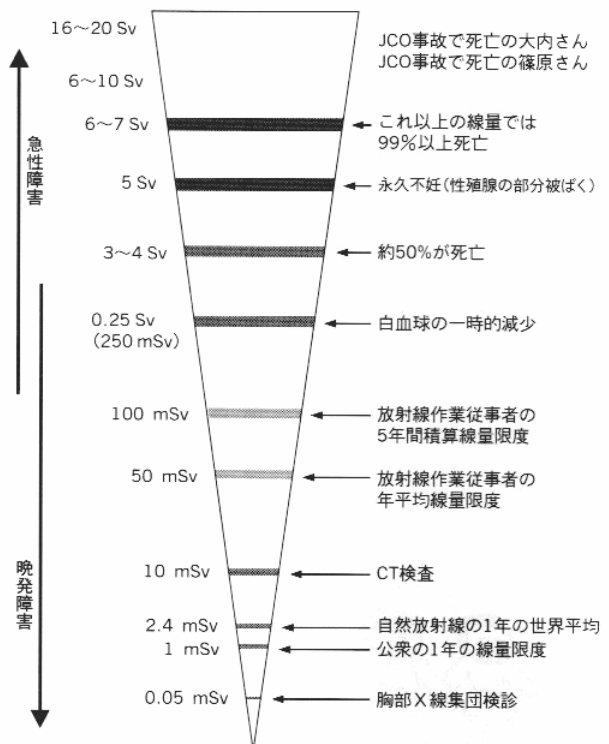
つまり、生物は「自然放射線」という“害因”の中で進化してきた。

今中の見解

- ◇ 放射線を測ってきたものの実感として、自然放射線はかなり強力(私たちのまわりは放射能だらけ)である。
- ◇ 生物は進化の過程で、たとえば、“DNA 修復機能”といった自然放射線に対する適応力を獲得した。
- ◇ しかし、適応が完璧である必要はなく、「自然放射線では大きな影響はない」程度の修復能力であろう。

図26 被ばく線量と健康障害の関係

図 2



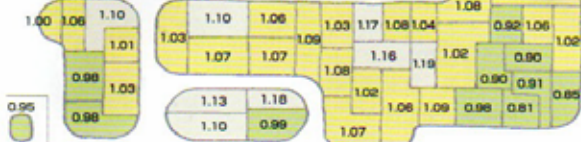
* 1 Sv(シーベルト) = 1,000 mSv(ミリシーベルト)

● 自然放射線は地域によって差があります。

宇宙、大地からの放射線と食物摂取によって受ける放射線の量
(ラドンなどの吸入によるものを除く)

- 0.99以下
- 1.00~1.09
- 1.10以上 (ミリシーベルト/年)

図 3



出所:放射線医学総合研究所調べ(1988年)

3. 低レベル被曝の影響をどう考えるか(1)

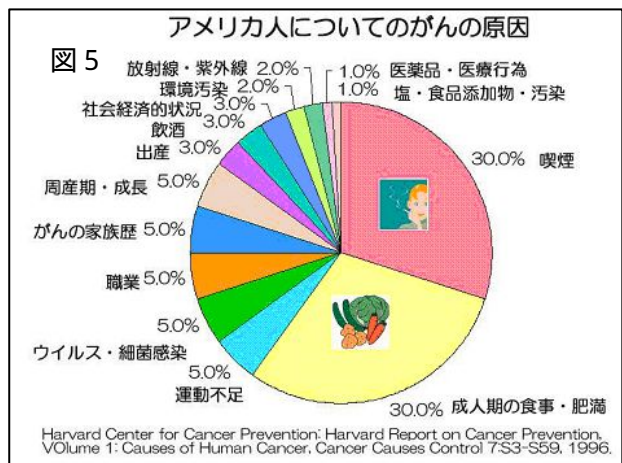
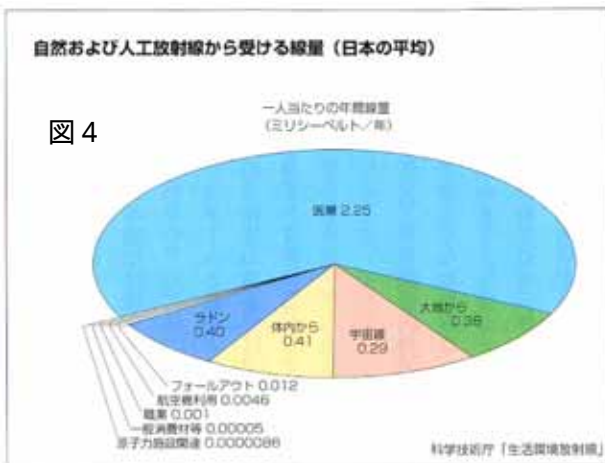
放射線生物学の進歩や実験データの蓄積によって、放射線被曝とその生物影響についていろいろなことが分かってきた。しかし、「どれくらい浴びたらどれくらいガンになる危険があるか」というリスク評価は、最終的には人のデータに基づくしかない。

計算 その1:自然放射線によるガン死

- ▶ 昨年の米国科学アカデミー報告 (BEIR-VII) を参考に、1ミリシーベルトの被曝によりその後ガン死する確率を1万分の1 (0.01%) とする。
- ▶ 生まれてから50歳まで、年間1ミリシーベルトの自然放射線を受けると50ミリシーベルトの被曝となり、それにともなうガン死リスクは0.5%である。
- ▶ 日本では年間約100万人が死亡するので、そのうち0.5%が自然放射線被曝によるガン死とすると5000件となる。
- ▶ 日本全体のガン死は年間約30万人で、そのうち1.6%が自然放射線によるガン死である。

計算 その2:医療被曝によるガン死

- ▶ 図1を見ると、日本人の医療被曝量は年間2.25ミリシーベルトで、自然放射線の2.25倍である。
- ▶ 従って、医療被曝にともなうガン死は毎年1万1000件になる。



計算 その3:自然放射線レベルの違い

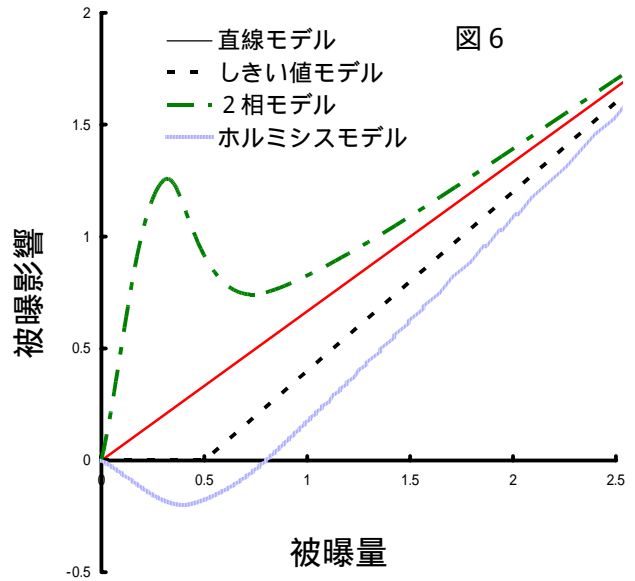
- ▶ 地質の違いから、関東より関西の方が、自然放射線の強いことが知られている。その違いを年0.2ミリシーベルトとすると、大阪のガン死率は東京に比べ約0.1%大きいことになる。
- ▶ 一方、男性の標準化ガン死率 (2000年人口動態統計) は、10万人当り大阪245件で、東京213件で、15%も違っていた。その違いが自然放射線レベルの差によるとは考えがたい。
- ▶ 図2に示されるように、発ガンにはさまざまな要因が関係しており、自然放射線レベルの発ガン影響を、人間集団を対象に疫学的に観察することは非常に困難であろう。

3. 低レベル被曝の影響をどう考えるか(2)

◇ 線量・効果関係モデルについての論争

自然放射線程度の被曝影響を、人間の集団において直接キチンと観察することは困難なので、「被曝量とその影響に関するモデル」を仮定することによって、低レベル被曝の危険度を見積もることになる。代表的なモデルは次の4つである。

- 2相モデル: 低レベルほどこわいというモデル
- 直線モデル: 低レベルにもそれなりの影響があるというモデル
- しきい値モデル: 低レベル被曝は無害だというモデル
- ホルミシスモデル: 低レベル被曝は身体に良いというモデル



◇ 始見・効田開ぼに開オズ中除ニ一カいノつか

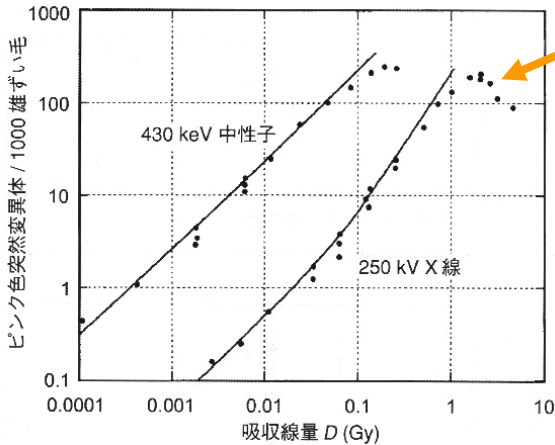


図7 単一エネルギーの430keV中性子と250kVX線によるムラサキツユクサにおけるピンク色突然変異の誘発 (Sparrowら、1972) ICRP Pub92

ムラサキツユクサ突然変異

DNA 2本鎖切断

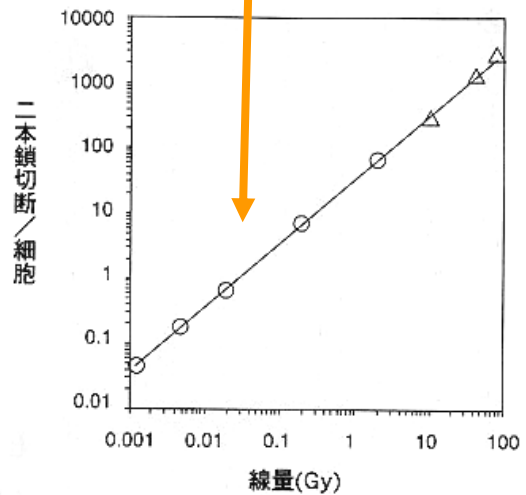
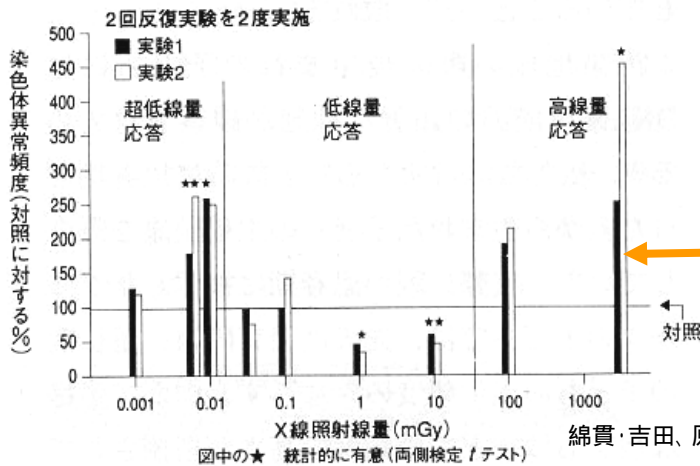


図8 放射線によるDNA2本鎖切断 線量・効果関係 受ける? 受けない? エックス線CT検査. 高木学校 2006



DNA 組みこみマウス脾臓細胞の染色体異常

図9 X線照射後の染色体異常頻度 (3)より

- ◇ 人間集団を追跡調査した疫学データいくつか
 - 広島・長崎原爆被爆者の発ガン追跡データ

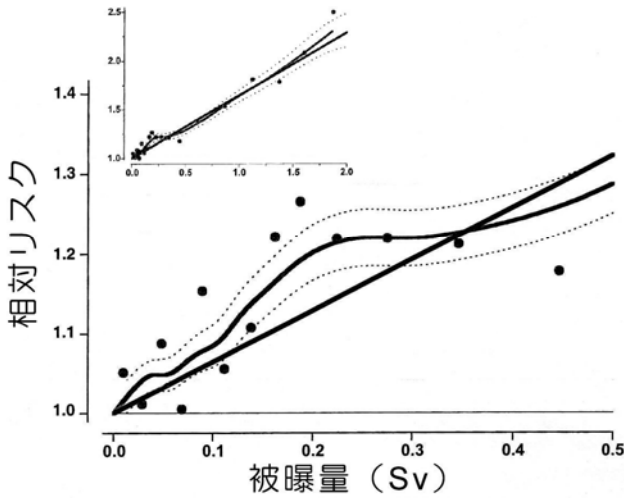


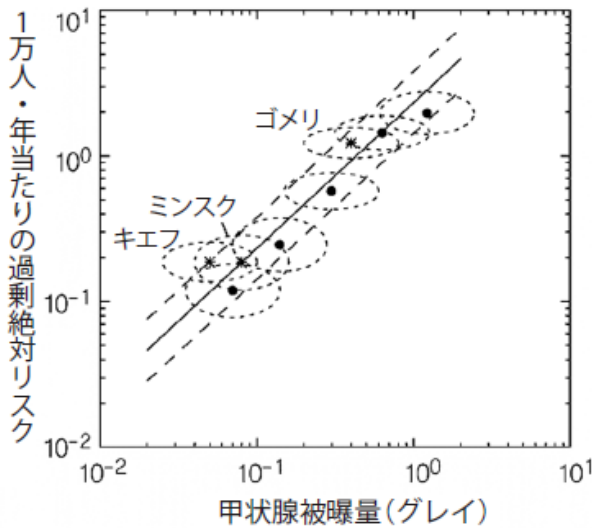
図10 (1958 - 1994) Pierce ら 2000

広島・長崎データのメリット

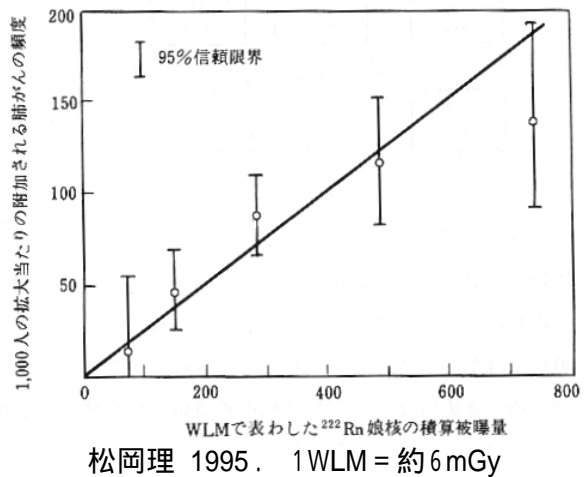
- 男女・年齢に偏りの少ない、人数の大きな一般集団であること
- 戸籍制度を利用して生死の追跡がたしかであること
- 個人別に被曝量が推定されていること
- 全身にほぼ均等な被曝であったこと

調査結果

- 直線しきい値なしモデルを示唆



● 図11 チェルノブイリ子ども甲状腺ガンデータ



● 図12 ウラン鉱山労働者の肺ガン

◇ 低レベル被曝影響評価に関する暫定的結論

- とりあえず、データがしっかりしている中レベル、高レベルでの疫学データに基づいて、直線モデルを用いて低レベル被曝でのリスクを見積もっておくのが賢明なアプローチであろう。
- 被曝年齢や、短時間か長時間か、部分か全身か、外部か内部かといった被曝様式の違いは、リスクの修飾要因として考えることにする。

終わりにひと言

ものごとの捉え方や理屈の組み立て方は、専門家、ジャーナリスト、市民運動、被害者、裁判関係者でそれぞれ違って当然ですが、どこへ行っても「科学的」というコトバと「専門家」がはびこっているのが気になっています。「科学的方法」はそれなり事実の解明に有効ですが、原子力開発を進めるかどうかは、社会的な判断であって科学的判断ではありません。専門家の役割は、自分が判断することではなくて、社会的判断のための客観的な情報を提供することだと思っています。

スリーマイル島原発周辺でのガン増加を示す新たな論文

今中哲二

京都大学原子炉実験所

1979年に発生した米国スリーマイル島原発2号炉(TMI-2、PWR、96万kW)事故から、今年の3月28日で18年が経過した。今年の2月、TMI周辺でガンが増加しており、その原因は事故時に放出された放射能であろう、という論文が発表された(S. Wingら、*Journal of Environmental Health Perspective*, Vol.105, January 1997)。TMI原発周辺でガンが増えているという話はずいぶん前から聞いていたが、その後の流れをきちんとフォローしておらず、不勉強で申しわけないが、Wing論文の内容について紹介しておきたい。

Wingらがその研究に取り組んだ動機のひとつは、TMI周辺住民の被曝量が、これまで定説とされたきた値よりかなり大きかったのではないかという疑問である。TMI事故の調査にあたった大統領委員会の報告では、周辺住民の最大被曝量は、自然放射線による年間被曝量レベルである、1ミリシーベルト程度とされている。しかし、事故直後に多くの周辺住民が、皮膚紅斑、おう吐、脱毛といった急性の放射線障害のような経験をしていたり、最近行われた周辺住民の染色体異常の検査に基づくと、事故直後の被曝量が600～900ミリシーベルト

トに達したという結果も得られている。

解析方法・結果

Wingらは、TMI周辺16kmの住民約16万人を対象に、まずその居住区を69地区に分け、事故前の1975年から事故後の1985年までの、各地区でのガン発生データを調べている。25ヶ所の病院・診療所の記録を調査した結果、対象期間に合計5493件のガン発生記録が見出された。やっかいな問題は、各地区住民の被曝量の見積もりである。ガン発生率と事故による被曝との関係を解析しようというのであるから、被曝量のめやすになるものが必要である。そこでWingらは、事故時の放射能放出パターンと気象条件に基づいて被曝量を計算している別の論文の値を使って、各地区に平均「相対被曝量」を割り当てている。つまり、その論文の「絶対値」はあてにならないが、地区間の「相対値」はそれなりに信頼できるだろう、という考え方である。各地区は、相対被曝量0のグループから相対被曝量範囲1300-1600のグループにまで、9つの被曝量範囲にグループ分けされ解析の対象とされた。

表1 スリーマイル島原発周辺住民の相対被曝量とガン発生率の解析結果

ガンの種類	対象期間	相対被曝量当りのガン発生増加(%) ± 標準偏差	
		モデル1	モデル2
全ガン	1981-1985	0.020 ± 0.012	0.034 ± 0.013
	1984-1985	0.023 ± 0.014	0.035 ± 0.015
肺ガン	1981-1985	0.082 ± 0.032	0.103 ± 0.035
	1984-1985	0.084 ± 0.035	0.099 ± 0.039
白血病	1981-1985	0.116 ± 0.067	0.139 ± 0.073
	1984-1985	0.133 ± 0.077	0.148 ± 0.084

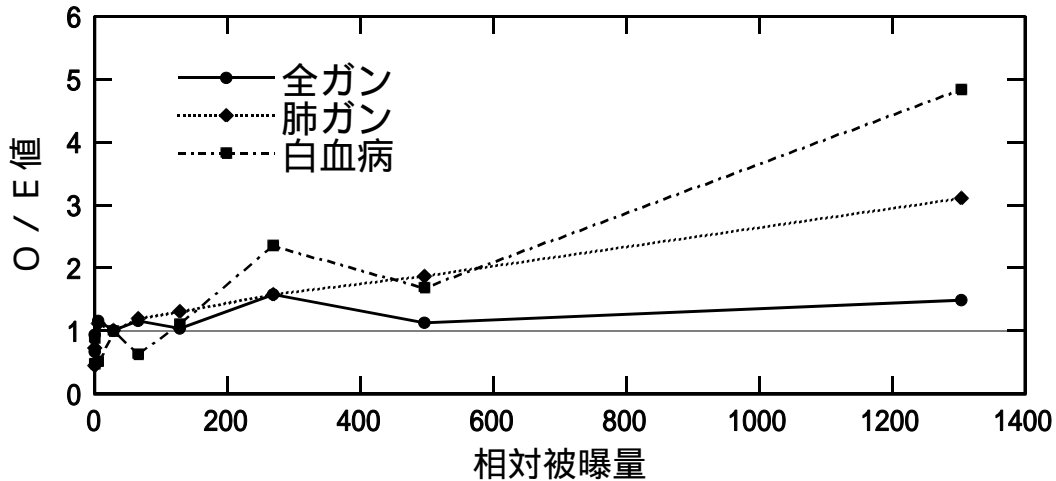


図1 相対被曝量とガン発生率の関係（1981～85年、モデル2）

また、データの解析にあたっては、各地区の男女構成や年齢分布の違い、さらには生活習慣の違いといった被曝量以外の要因が、解析結果に「見せかけ」の影響をもたらさないよう注意を払う必要がある。Wingらは、男女構成と年齢分布について、各地区の条件が同じになるようデータ補正を行うモデル（モデル1）と、モデル1の要因に加えて収入と高等教育レベルについてもデータ補正を行うモデル（モデル2）とを用いている。収入や教育レベルの「見せかけ」効果については、事故前のデータの解析を行ってその効果の大きさを計算し、それに基づいて事故後のデータ補正を行っている。解析の対象期間は、被曝から発ガンまでの潜伏期を考慮し、1981～85年の5年間と1984～85年の2年間の2つである。

表1に解析結果を示す。表の値（相対被曝量当りのガン発生増加）は、相対被曝量とガン発生率との関係を示すグラフ上で、実際のデータと統計的に最もよく一致する直線を引いたときに、その直線の勾配がいくらになるかを示している。勾配の値がプラスであれば、被曝量とともにガン発生率が増加する関係にあり、マイナスであれば

逆の関係である。±記号の後ろについている標準偏差は、その勾配値の統計的ばらつきの大さを示すもので、たとえば 0.0020 ± 0.012 とは、勾配の本当の値は $0.0008 \sim 0.0032$ の間にある可能性が大きい、ということを示している。表の値は、ばらつき範囲を考慮してもすべてプラスの範囲に入る。つまり、Wingらの解析結果は、全ガン、肺ガン、白血病のいずれについても、被曝量とともに発生率が増加することを統計的に有意に示している、ということになる。

図1は、論文の解析データのうち、1981～85年のモデル2による相対被曝量とガン発生率の関係をプロットしたものである。縦軸のO/E値がガン発生率を示している。O/Eとは、（観察値）÷（期待値）のことで、この値が1（図の細い実線）であれば、その区分のガン発生率は調査集団全体と同じであり、1を越えていればそれより大きいことを示している。相対被曝量の小さいところは判りづらいが、いずれのガンにおいても、被曝量とともに発生率がほぼ直線的に増加していることが認められる。

Wing論文の問題提起

表 1 に示した解析結果を基に、相対被曝量 1600 が 1 ミリシーベルトに相当すると仮定して、1981 - 85 年のモデル 2 について、1 ミリシーベルトの被曝によるガンの増加割合を計算してみると、全ガンで 54%、肺ガンで 165%、白血病で 222%ということになる。ちなみに、広島・長崎の被爆生存者追跡調査データから得られている増加割合は、1 ミリシーベルト当り全ガン 0.041%、肺ガン 0.063%、白血病 0.521% (寿命調査報告第 11 報より) であり、Wing らの値の方が 400 ~ 2600 倍も大きな値である。この矛盾を説明するための仮説としては、

・ T M I 周辺住民の被曝量は、定説に比べ 数 100 倍から数 1000 倍大きかった
B . T M I のような低線量被曝 (ミリシーベルト程度) の発ガン効果の現れ方は、広島 ・ 長崎のような高被曝量 (数 100 ミリシーベルト程度) の場合とは全く異なっており、 単位被曝量当りの効果は低線量の方がはるかに大きい
といったことを思いつくが、今の段階で結論にまで踏み込んだことを言うのは難しい。とりあえずは、これからの課題ということでお茶を濁しておきたい。

本稿の読者が Wing 論文の内容で不思議に思われるのは、ガン調査の対象期間が、12 年も前の 1985 年までにしか過ぎないことであろう。実は、Wing らが用いているガン発生と相対被曝量データは、1990 年と 1991 年に発表された Hatch らの 2 つの論文 (*American Journal of Epidemiology*, Vol.132, September 1990, *American Journal of Public Health*, Vol.81, June 1991) と同じ

ものである。Hatch らは、周辺住民が T M I 電力会社を訴えた裁判の和解で設置された T M I 公衆基金の要請により、周辺住民の疫学調査に取りかかったものであった。Hatch らは、はじめの論文では、事故による被曝とガン発生増加との関係は認められないと結論し、後の論文では、T M I 周辺では一時的にガンの増加は認められるが、その原因は精神的ストレスであろう (今中は 6 年前この論文を読み、煮え切らないことを言っているな、と思ったがそのまま忘れていた) と述べている。Hatch らの結論を受けて、T M I 公衆基金はその後の調査を継続しなかったのであろう。

Wing らは、Hatch らの結論に疑問を抱き、Hatch らのデータを再解析したところ、全く正反対の結論に至った、というわけである。Wing らと Hatch らとでは、被曝量区分や解析対象期間の設定など解析方法に若干の違いはあるが、最も大きな違いは取り組みの姿勢であろう。Hatch らの研究では、定説どうりの被曝量によってガン影響が現われることなどあり得ないと、はじめから決めてかかっていたようである。同じ素材を用いて同じ料理を作ったが、料理人の腕と微妙なレシピの違いで全く違う味になってしまった、というところであろうか。料理の味なら変わっても当然であるが、事実の一つである。

いずれにせよ、Wing らが主張しているように、1985 年以降の調査にただちにとりかかる必要がある。

セラフィールド再処理工場からの放射能放出と白血病

京都大学原子炉実験所 今中哲二

昨年 12 月、多くの反対の声を無視して六ヶ所村の再処理工場がウラン試験に入った。この機会に、英国の原子力発祥の地であり世界有数の再処理工場があるセラフィールド(旧名ウィンズケール)からの放射能放出と周辺での白血病問題について振り返ってみた。

1. シースケール村での白血病多発

テレビドキュメンタリー：セラフィールド再処理工場周辺で子供の白血病が増えていると最初に報じたのは、1983 年 11 月に英国で放送された「ウィンズケール・核の洗濯工場」というテレビドキュメンタリーだった。地元 TV 局が再処理工場の取材に入ったところ、敷地から 3 km ほどのところにあるシースケール村で子供の白血病が増えているという話を聞きつけた。シースケール村は人口約 2000 人で主に再処理工場労働者が住んでいる。テレビ局取材チームは、1956 - 83 年の間に 22 歳以下の白血病が 7 件発生していたことを確認した(表 1)。その白血病発生率は、イングランド平均の 10 倍に相当し、テレビ報道は大きなセンセーションを引き起こした。ブラック報告：英国保健省は、ブラック卿を委員長とする 7 人のメンバーからなる専門家委員会を結成して問題の調査に当たらせた。半年あまりの調査を終え、いわゆるブラック報告書¹⁾が発表されたのは 1984 年の 7 月だった。その内容は、「シースケール村での子供の白血病発生率は明らかに大きい。しかしながら、放射能放出による被曝で予

測される白血病増加は 0.01 ~ 0.1 件にすぎず、セラフィールドからの放射能が白血病の原因とは考えられない」というものであった。工場からの放射能放出と被曝リスクの解析にあたったのは英国放射線防護局(NRPB)であった²⁾。オックスフォード大学のドレイパーらは、ブラック報告以降 1990 年までのデータにおいてもシースケール村での白血病増加が継続していることを確認している(表 2)。

ガードナー論文：ブラック委員会のメンバーであったサザンプトン大学のガードナーらは、シースケール村での子供白血病増加の原因を明らかにするため、「症例・対照溯り研究」を実施した。まず、シースケール村を含む西カンブリア地方で 1950 ~ 85 年に発生した 25 歳以下

表 1 シースケール村の白血病例¹⁾(1955 ~ 1983、25 歳未満)

	性別	生年	診断年	死亡年	白血病の種類
1	女	1947	1955	1956	急性リンパ性
2	男	1957	1968	生存*	急性リンパ性
3	男	1957	1960	1960	急性骨髄性
4	男	1958	1978	1979	慢性骨髄性
5	男	1964	1968	1970	慢性リンパ性
6	女	1968	1971	1971	急性リンパ性
7	女	1974	1979	生存*	急性リンパ性

*1983 年時点、シースケール村の 25 歳未満人口は約 800 人。

表 2 シースケール村と周辺地域の白血病・非ホジキンリンパ腫発生率³⁾(1963 ~ 1990、15 歳未満)

シースケール村		(シースケール村を 除いた)郡地域		カンブリア地方全体	
数	発生率*	数	発生率*	数	発生率*
6	470.7	26	26.0	76	42.5

*100 万人年当り

の白血病 52 症例と、症例とほぼ同じ環境下において白血病にならなかった対照例 564 件を選び出した。そして、症例と対照例について、医療放射線被曝歴、魚を食べる量、浜辺で遊ぶ時間といった、白血病と関連しそうなさまざまな要因の過去履歴を調べて比較したのである。1990 年に英国医学雑誌 (BMJ) に発表された論文⁴⁾によると、統計的な有意性が認められ白血病の原因として推測されたのは、「生まれた場所のセラフィールドからの距離」と「妊娠時に父親が再処理工場で働いていたかどうか」という要因だった。なかでも、父親が 100 ミリシーベルト以上の被曝歴をもっていた場合の相対危険度は 6.24 (95%信頼区間 1.51 ~ 25.76) という大きな値であった。

ガードナー論文をうけて、子供が白血病やリンパ腫になった 2 家族が、工場所有者である原子燃料会社を相手に損害賠償裁判を起こした。1992 年にはじまったその裁判は、ガードナー教授が 1993 年 1 月に死亡したこともあって、1993 年 10 月に原告側の敗訴に終わった。疫学的に相関関係が認められても因果関係の証明にはならないとして斥けられたのだった。

その後の疫学研究：オックスフォード大学のキンレンらは、大規模産業開発にともなって建設された新興住宅地で「人口混合効果」により子供の白血病が増加しているという説を発表し、シースケールの白血病の原因も人口混合効果であると主張している⁵⁾。

大規模な疫学研究を行ったのはニューカッスル大学のディキンソンらで、1950 ~ 91 年の間にカンブリア地方で生まれたすべての子供 27 万 4170 人 (父親がセラフィールド労働者 1 万 7319 人、その他 25 万 6851 人) を対象に、25 歳になるまでの白血病と非ホジキンリンパ腫を調査する「固定集団追跡調査」を実施した。

固定集団調査は偏りが入りやすく、信頼度が大きいとされている。2002 年に発表されたディキンソン論文⁶⁾によると、父親がセラフィールドで働いていた場合の子供の白血病リスクは、その他の集団の 1.9 倍で、しかも父親の被曝量とともに有意に増加していた。生まれた場所をシースケール村に限ると、相対リスクは 9.2 という大きな値であった。さらにディキンソンらは、キンレンらが主張する人口混合効果に関する補正をしても、相対リスクは減らなかったと述べている。

疫学論争とは別に、欧州議会内の緑グループが結成した欧州放射線リスク委員会 (ECRR) は、ストロンチウムやプルトニウムによる内部被曝が従来考えられてきたより約 300 倍危険であるという内容の 2003 年勧告⁷⁾を発表し、シースケール村での白血病の原因は再処理工場からの放射能による内部被曝であると主張している。ECRR の主張は興味深いものの、汚染や被曝に関する具体的なデータの分析が不十分であり、私の判断では仮説の域に留まっている。

2 . 放射能放出と被曝量

ブラック報告は、白血病の原因が放射能放出であるためには、シースケール村の被曝量が 40 ~ 400 倍ほど大きい必要があると結論している。そこで、ブラック報告が依拠している NRPB 報告を含め、セラフィールドからどれくらいの放射能が放出され被曝量評価がどのように行われてきたのか、これまでの文献をあたってみた。調べて驚いたのは、放射性廃液がまるでタレ流し状態で放出されていたことと、周辺的环境と住民に対する放射線モニタリングデータがほとんど見あたらなかったことである。

放射能放出：図 1 a は、原爆プルトニウム生産

用再処理工場の操業がはじまった 1952 年から 1990 年までの液体放射能の放出量である⁸⁾。運転開始当初、高レベル廃液はタンクにためられたが中レベル以下の液体放射能はそのまま海に放出されていた。1964 年には発電用原発の再処理工場が動きはじめている。1974 年にセシウム 137 の放出が急増したのは、プールに貯蔵されていた使用済燃料の腐食が進み、その汚染水をそのまま放出したためである。図に示した全期間のセシウム 137 の放出量は 4 京 1000 兆ベクレル (約 110 万キュリー) におよび、この量はチェルノブイリ事故で爆発した原子炉から放出された量の 2 分の 1 から 3 分の 1 に相当している。一方、プルトニウムの放出量は 610 兆ベクレル (1 万 6000 キュリー) で、重さにすると約 27kg となる。この量は、長崎原爆で使われたプルトニウムの約 2 個分である。その他の放射能を含め大変な量の放射能が、英国とアイルランドの間の狭いアイリッシュ海に放出された。1970 年代後半のアイリッシュ海での魚のセシウム 137 濃度は 1 kg 当り 1000 ベクレルを越え、海草のルテニウム 106 濃度は 1kg 当り 1 万ベクレルを越えていた。

図 1 b は気体放射能の放出量である。原爆用

プルトニウム生産炉が空気冷却であったため、最初の 5 年間は空气中微量成分であるアルゴン 40 が放射化されて出来るアルゴン 41 の放出量が飛び抜けている。1957 年のセシウム 137 のピーク (22 兆ベクレル) は 1 号炉の火災事故にともなう放出である。図には示していないが、この事故によるヨウ素 131 の放出量は 7500 兆ベクレルと評価されている。この図で最も着目して頂きたいのは、「プルトニウム (ジョーンズ)」と「プルトニウム (NRPB)」の比較である。ジョーンズらの 1995 年論文のプルトニウム放出データは、1984 年の NRPB 報告に比べて、はじめの 10 年間は 100 ~ 300 倍、それ以降は約 10 倍も大きな値である。

被曝量評価: 1950 年生まれて 20 歳になるまでシースケール村にいた人の、セラフィールドからの放出放射能による被曝は、1957 年の火災事故の寄与も含めて、白血病の誘発が問題となる骨髄線量として 3.5 ミリレムであり、その間の自然放射線被曝の 13% にすぎない、と NRPB 報告は評価している。図 1 のような大量放射能放出データを眺めると、私の直感では信じがたいほど小さな数字である。そこで、NRPB 報告を子細に読み込んでみると、評価の秘訣は被曝

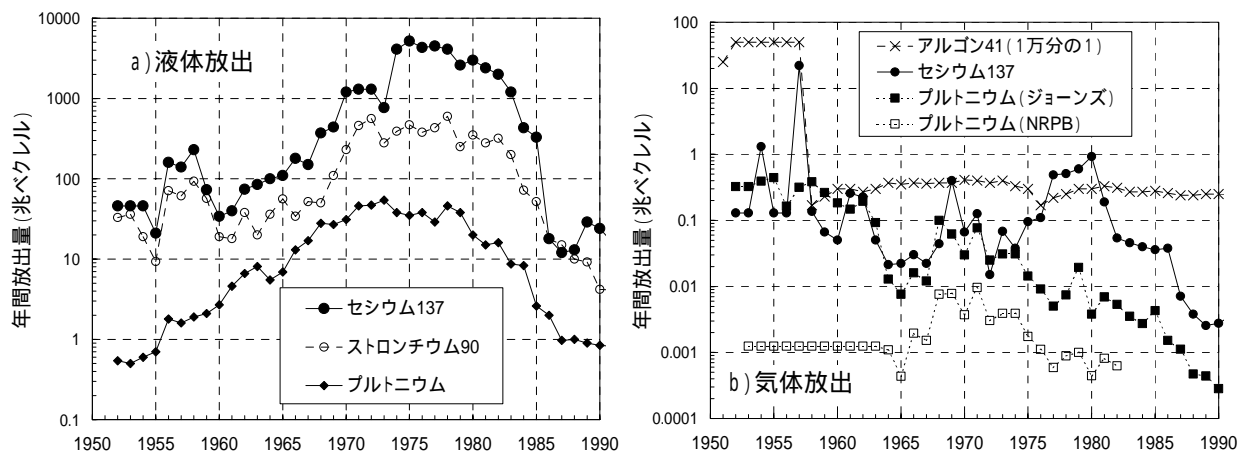


図 1 セラフィールドからの放射能放出 (1952 ~ 1990)。(a) ; 液体放出、(b) ; 気体放出。プルトニウム (NRPB) は文献 2 で、それ以外は文献 8。アルゴン 41 の放射能量は 1 万分の 1 にして示してある。

モデルにあることが判明した。すなわち、NRPB の評価はもっぱら、放出、拡散、沈着、移行、摂取といったプロセスをモデル化することによって得られているが、計算結果はモデルで採用するパラメータの値によって大きく変わってくる。通常は、環境モニタリングデータと比較しながら計算モデルの確かさをチェックするが、セラフィールドについては「幸いなことに」運転当初の環境モニタリングデータがほとんどなかった。NRPB 報告には、シースケール村での空間線量率測定データが全く示されていないし、モデルで用いた海産物の汚染データについても、1950 年代のデータは皆無に近く、魚の汚染データはセシウム 137 で 1963 年以降、プルトニウムでは 1974 年以降のデータしか使われていない。

セシウム 137 による内部被曝については、住民の全身計測を行って直接測定することが最も確かな評価方法である。ブラック報告は、シースケール村の青少年 112 人の全身計測を実施したが大きな汚染はなかったと述べている。しかし、この全身計測はブラック委員会が出来たあとに実施されたもので、放射能放出が急減した後の段階での測定であった。セシウム 137 の体内半減期が約 100 日であることを考えると、そのデータから 10 年前の評価はできない。結局、ブラック報告が根拠としている NRPB の被曝量は、モデルの確かさが検証されていない評価値であった。

そこで、最近の文献データと比較しながら 1955 年の気体放射能によるシースケール村での被曝を見積もってみよう。ジョーンズらの 1991 年の論文⁹⁾によると、1988 年のアルゴン 41 とプルトニウム等 (アメリシウム 241 を含む) の気体放出にともなう被曝は、それぞれ 55 マイクロシーベルトと 5.6 マイクロシーベルト

とされている。図 1b のデータから、1988 年のアルゴン 41 とプルトニウム等の放出は、それぞれ 2400 兆ベクレルと 6 億ベクレルである。1955 年のそれぞれの放出量は、50 京ベクレルと 4400 億ベクレル(ジョーンズ)であるから、単純な比例計算により 1955 年の被曝は、アルゴン 41 により 11.5 ミリシーベルト、プルトニウム等により 4.1 ミリシーベルト、合計で 15.6 ミリシーベルトとなる。一方、NRPB 報告の 1955 年の被曝量は、すべての気体放射能、液体放射能を含め 0.3 ミリシーベルトである。すなわち、ジョーンズらの論文データに基づくなら、アルゴン 41 とプルトニウム等の気体放出だけで NRPB 報告の 50 倍となった。

液体放射能による被曝についても、海産物の摂取パラメータを変えるだけで被曝量が 30 ~ 100 倍違ってくることは NRPB 報告自身が認めている。

シースケール村の子供たちの本当の被曝量が、ブラック報告で考えられた値より 50 ~ 100 倍大きかったとしても不思議はないと言えよう。汚染レベルのバラツキ、生活習慣や体質の違いなどを考えるなら、さらに 10 倍大きな被曝をうけた人がいたかも知れない。結論として、シースケール村の白血病の原因は、セラフィールドから放出された放射能であると考えておくのが、もっとも素直な判断であろう。

1) Black, Investigation of the possible increased incidence of cancer in West Cumbria, HMSO 1984. 2) NRPB-R171, 1984. 3) Draper, BMJ 306 p89, 1993 4) Gardner, BMJ 300 p423, 1990. 5) Kinlen, BMJ 310 p763, 1995. 6) Dickinson, Int. J. Cncer 99 p437, 2002 (情報室通信 339 号参照) 7) 情報室通信 360 号(2004 年 6 月)参照 8) Jones, IAEA STI/PUB/971, 1995. 9) Jones, Radiat. Prot. Dosim. 36 p199, 1991.

チェルノブイリからの放射能汚染によりスウェーデンでガンが増えている？

京都大学原子炉実験所 今中哲二

チェルノブイリ・フォーラム

昨年9月、IAEAやWHOなど国連8機関とウクライナ、ベラルーシ、ロシア各政府の専門家で構成されている「チェルノブイリ・フォーラム」が、事故から20年を総括する国際会議をウィーンで開催した⁽¹⁾。その記者会見の内容を日本の新聞各紙は、「チェルノブイリ原発事故による総死者4000人」という見出しで報道した。それをみて私は一瞬、「これまで事故で亡くなった人が4000人」という話かと思ったが、記事を読むと、「これからガンでなくなる人を含め、事故で死亡する人が全部で4000人」ということであった。各紙は、「従来言われていた数字に比べて大幅に下回った」と報じていたが、私としては、「ずいぶん値切ってきたな」と感じた次第である。

早速、IAEAのホームページから報告書と資料をダウンロードし、「新たな評価」なるものの中味を調べてみた。まず4000人の内訳であるが、これまでに確認されている死者約60人（急性放射線障害死28人、急性患者でその後亡くなった19人、子ども甲状腺ガンの死者9人）で、晩発性影響であるガン死が3940件ということであった。ガン死の検討対象となっているのは、1986-87年の事故処理作業員20万人（平均被曝量100mSv）事故直後の30km圏避難住民11.6万人（同10mSv）高汚染地域住民27万人（同50mSv）を合わせた約60万人である。10年前のIAEA会議でのガン死数見積りは約9000人であった。結局わかったことは、今回の4000人という「新たな評価」は、新たなデータや被曝量評価に基づいたもので

はなく、単に、前回の9000件という数字から、今回は検討対象から除かれている汚染地住民680万人（同7mSv）についてのガン死5000件をさっ引いただけ、ということだった。

私たちが、チェルノブイリ事故直後の1987年に、旧ソ連やヨーロッパ各国の汚染データを集めて評価した将来のガン死数は13万~42万件であった⁽²⁾。私たちの19年前の評価は、低レベル汚染地域を含む旧ソ連ヨーロッパ部7450万人（平均被曝量20mSv）とヨーロッパ各国4億9000万人（同1.5mSv）を対象としたものである。チェルノブイリ・フォーラムと私たちの評価は、ガン死数を見積もる方法はどちらも似たようなものである。最も大きな違いは、どこまでの人々を対象とするかという、チェルノブイリ事故を考える際の想像力の違いである。

もともと人々の4分の1がガンで死亡することを考えると、40万件のガン死が出るとしても、ヨーロッパのような低レベル汚染地域でそれを実際のデータとして観察することは無理だろうと思っていた。しかし、そのような判断が誤りであったかも知れないことを示す論文が一昨年秋、イギリスの公衆衛生疫学の専門誌に発表された。スウェーデンの汚染地域でのガン増加を報告したトンデル論文である^(3,4)。その概要を紹介する。

トンデル論文

チェルノブイリ原発で大事故がおきたことを世界が知るようになるきっかけは、1986年4月28日早朝にスウェーデン南部のフォルスマルク原発で環境放射線モニターに異常な放射

能が発見されたことであった。スウェーデン政府の問い合わせを受けてソ連政府はその日の夜、チェルノブイリ原発で26日に事故がおきたことを認めた。スウェーデンには、4月28日から29日にかけて降った雨がかなりの汚染をもたらした。旧ソ連被災3カ国の法令に従えば「汚染地域」と指定される、セシウム137の汚染レベル1平方m当たり37kBq以上の面積は、スウェーデンで1万2000平方kmに達した。

スウェーデン・リンコピング大学病院の公衆衛生疫学トンデルらのグループは、チェルノブイリからの放射能によって、スウェーデンの汚染地域でガンが増加するかどうかを調べてみようという大胆な疫学研究を企画した。スウェーデンには、そのような調査に取り組むための基本的な条件が整っていた。すなわち、詳細な汚染測定データ、正確な住民登録、それに確かなガン診断登録制度である。

トンデルらはまず、スウェーデンの中部・北部で汚染を受けた7つの州を調査対象に選び、スウェーデン放射線防護局が作成したセシウム137の汚染地図を用いて、行政の最小単位である「地区」を6つの汚染レベルに区分した(図1)。次に、7州の住民登録を基に、1986年に60歳以下であって、1985年12月31日と1987年12月31日に同一住所に登録されていた住民

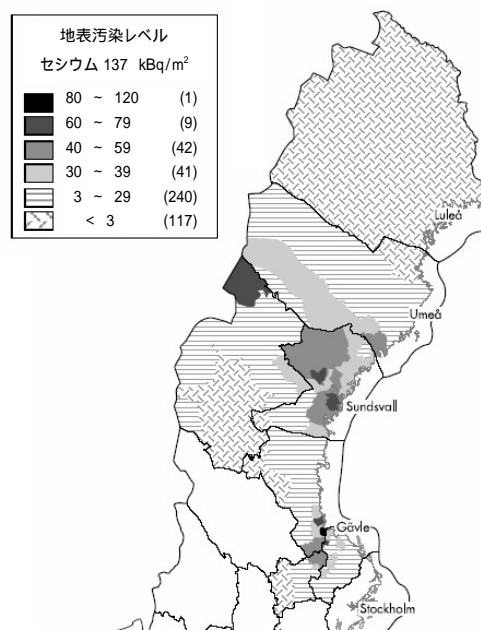


図1 .セシウム137による地表汚染区分 . 括弧内の数字は地区の数 .

すべてを対象集団として選び出した。(ガン発生率の大きい高齢者を除外することにより、調査集団のガン発生バックグラウンドを小さくした。)その結果、性別、年齢、先行する2年間の居住地に関する情報を備えた、114万3182人の固定追跡調査集団が得られた。

スウェーデン・ガン登録データを基に、1988年から1996年の9年間に調査集団で発生したガンを調べると、全部で2万2409件のガン発

表1 . 汚染区分ごとの住民数とガン発生数 .

セシウム137汚染 レベル、kBq/m ²	住民数 1988年1月1日	ガン発生数 1988-1996	相対リスク (95%信頼区間)
<3	359 509	6 691	1.00
3-29	527 812	10 378	1.05 (0.99-1.11)
30-39	92 323	1 827	1.03 (0.95-1.12)
40-59	124 862	2 744	1.08 (0.94-1.23)
60-79	21 625	401	1.10 (0.89-1.34)
80-120	17 051	368	1.21 (0.98-1.49)
合計	1 143 182	22 409	0.11* (0.03-0.20)

* ; セシウム137汚染100kBq/m²当りの過剰相対リスク(ポアソン分布に基づく直線回帰係数) .

生が見つかった。調査結果は表1にまとめてある。「相対リスク」とは、最低汚染レベル(<3 kBq/m²)を「非汚染地域(対照群)」とみなし、その区分でのガン発生率を1として、他の汚染レベルでの発生率を比較した値である。

95%信頼区間というのは、観察データを基に「真の値」がその区間のどこかにあるだろう統計的に判断できる範囲である。もしも、相対リスクの信頼区間域が1以上であれば、そのグループのガン発生率は基準グループ(対照群)に比べて「統計的に有意に大きい(偶然におきたのではない)」とすることができる。表1からわかるように、いずれの汚染レベルの相対リスクも信頼区間に1を含んでおり、個別の汚染レベルでは、基準グループとの間で統計的に有意な違いを示していない。

しかし、表1の値をよく眺めると、汚染レベルとともに相対リスクが次第に大きくなる傾向が認められる。トンデル論文でもっとも注目されるのは、「相対リスクの変化傾向」を調べた結果で、表1の右下にある0.11(0.03-0.20)という値である。この値は、「セシウム137汚染100kBq/m²当り過剰相対リスク」を示している。この値の95%信頼区間域がゼロより大き

いことは、セシウム137の汚染レベルとともにガン発生率が「統計的に有意に」増えていることを意味している。

図2は、表1の相対リスクを図にプロットしたものである。「統計的に有意」といった用語を出さなくとも、セシウム汚染レベルとともにガン発生率の相対リスクが増えているようすが、きれいに見て取れる。トンデルらは、ガン発生率増加の原因が本当にチェルノブイリからの汚染であるなら、114万人を対象に1988~96年の間に観察された2万2409件のガンのうち、849件がチェルノブイリからの放射能汚染によるものだ、と見積もっている。

見せかけ因子の検討

疫学調査とは、生身の人間集団をいくつかに分け、それぞれの集団の観察結果を比較して、ある要因(ここではセシウム137汚染レベル)とその影響(ガン発生)との関係を明らかにしようとする試みのことである。しかしながら、ガンを発生させる要因には、放射能汚染だけでなく、喫煙、食習慣などいろいろあってそれらが複雑に絡みあっている。したがって、疫学調査結果に統計的に有意な「相関関係」があつて

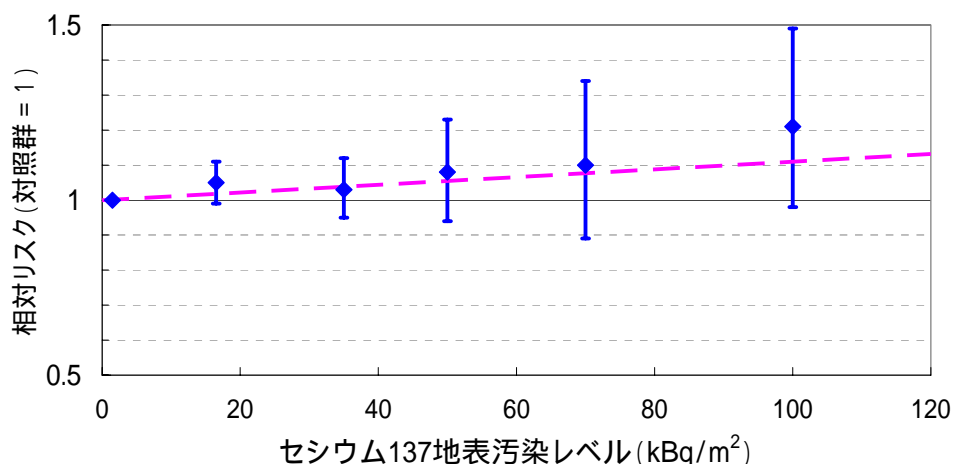


図2 .スウェーデン汚染地域でのセシウム137による地表汚染レベルとガン発生相対リスクの関係:1988-1996年.

も、それが「因果関係」であるとは限らない。

トンデルらも、自分たちの調査結果が「見せかけ因子(交絡因子)」によるものかも知れないと検討している。彼らが考慮した見せかけ因子は、人口密度、元々のガン発生率地域差、および喫煙である。表1の相対リスクは、それらの見せかけ因子について補正済みの値である(人口密度は相対リスクに最大で10%影響、元々の地域差の補正には1986-87年のデータを利用、喫煙については肺ガンのみの解析結果を利用)。解析結果に大きな影響をもたらすような「見せかけ因子」は認められていない。

結局、チェルノブイリ事故による放射能汚染レベルとガン発生率の増加に有意な関係が認められ、その原因として第1に考えられるのが、汚染にともなう低レベル放射線被曝である、というのがトンデル論文の結論である。

トンデル論文の意味

昨年9月、アルメニアのエレバンで開かれた放射線生物学エコロジーの小さな国際会議に筆者が参加してみると、偶然トンデルも参加していて、彼の論文について詳しく議論する機会があった。論文を発表するに際しては、いろいろと曲折があって苦労したらしい。

トンデル論文でまず気になるのは、被曝量を評価していないことである。中途半端に被曝量を評価すると、論文審査員に揚げ足を取られる材料になるので、今回の論文ではあえて省いたようだ。筆者の大ざっぱな見積もりでは、100kBq/m²のセシウム137汚染があったとして、はじめの2年間で受ける被曝量は10~20mSv程度であろう。表1の100kBq/m²当り0.11という過剰相対リスクをSv当りに変換すると、1Sv当り5~10の過剰相対リスクになる。広島・長崎被曝生存者の追跡調査データでは1

Sv当り約0.5なので、トンデルらはその10~20倍のリスクを観察したことになる。この違いについてトンデルは、10mSvといった低レベル被曝では被曝量・効果関係が直線ではなく、極低レベルで効果が大きくなるモデルを仮説として考えていた。

トンデル論文のもうひとつの論点は、放射能汚染が起きて2年から10年後という比較的短期間にガンの過剰が観察されていることである。トンデルによると、放射線がガンを引き起こすプロセスにはいろいろあって、低レベル被曝の場合は、前ガン状態にある組織に対するプロモーション(促進)効果が大きいのかも知れないとのことであった。

トンデル本人も筆者も、チェルノブイリからの放射能汚染によってスウェーデンでガンが増えていることが「証明された」とは考えていない。それが、本稿の表題に?が付いている由縁である。まどろっこしい言い方になるが同時に、スウェーデンでのガン増加の原因はチェルノブイリ事故による放射能汚染である、と考えるのが最も合理的な説明であると思っている。

スウェーデンの汚染地域114万人の間に850件のガンが増えたのであるなら、旧ソ連を含むヨーロッパ全体では、その100倍として約8万件のガンが増えたであろう。そして、今後増える分を含めて、全部でその10倍のガンが発生するとするなら、チェルノブイリ事故によってヨーロッパ全体に80万件のガンがもたらされる、と言ってもよいであろう。

(1)振津かつみ、原子力資料情報室通信 No.379 2006年1月。(2)瀬尾健ほか、京都大学原子炉実験所第21回学術講演会 1987年3月。(3)M.Tondel et al. J Epidemiol Community Health 2004;58:1011-6.(4)M・トンデル 科学社会人間 No.95:3-7 2006年1月。

チェルノブイリ事故による死者の数

京都大学原子炉実験所 今中哲二

この4月は事故から20年ということで、チェルノブイリがテレビ、新聞などで大きく取り扱われた。チェルノブイリ問題に長らくかかわってきた専門家ということなのか、私のところには昨年の暮れ頃から多くのマスコミ関係者が取材にやってきた。彼らからまず聞かれたのは、「今中さん、チェルノブイリ事故では結局何人くらい死んだんでしょうか？死者4000人というチェルノブイリ・フォーラムの報告をどう思われますか？」ということだった。

この20年間チェルノブイリのことを調べてきて私は、(原発事故) (放射能汚染) (被曝影響)という単純な図式でチェルノブイリという厄災の全体はとらえられないこと、科学的アプローチで解明できることはその厄災の一部でしかない、ということを経験に銘じるようになった。それで、「チェルノブイリで何人死んだなんてことは私には分かりません。ただ、事故処理作業に携わった人が将来への展望をなくしてアル中になって死んだら、彼もチェルノブイリの犠牲者でしょうね」という言い方をして、「死者数の評価」は意識的に回避してきた。本稿では、「単純図式」の方に戻って、昨年9月のチェルノブイリ・フォーラム報告をたたき台にしながら、チェルノブイリ事故による「死者の数」を考えてみる。

チェルノブイリ・フォーラム

昨年9月ウィーンのIAEA(国際原子力機関)本部で、チェルノブイリ事故の国際会議が開かれた。主催は、IAEA、WHO(世界保健機構)など国連8機関にウクライナ、ベラルーシ、ロシアの代表が加わって2003年に結成された

「チェルノブイリ・フォーラム」(以下、フォーラム)であった。フォーラムは、この20年間の事故影響研究のまとめとして、「放射線被曝にともなう死者の数は、将来ガンで亡くなる人を含めて4000人である」と結論した。この発表を受けて世界中のマスコミが「チェルノブイリ事故の影響は従来考えられていたより実はずっと小さかった」と報じた。

IAEAはこれまで、チェルノブイリ事故に関する大きな国際会議を3回開いている。

●1986年8月:チェルノブイリ事故検討専門家会議・ソ連代表団の詳細な報告は、それまでの秘密主義に比べ西側専門家を驚かせたが、事故の原因は「運転員の規則違反」とされ、原子炉の構造欠陥は不問にされた。石棺を建設中で事故処理はほぼ終了したと報告された。

●1991年5月:国際チェルノブイリプロジェクト報告会・放射能汚染対策を求める運動に手を焼いたソ連政府が、IAEAに対し「調査と勧告」を求めた。重松逸造委員長のもと国際チェルノブイリプロジェクトが1年間の調査を行い、「汚染に伴う健康影響は認められない」とされた。ベラルーシやウクライナの専門家の抗議は無視された。

●1996年4月:チェルノブイリ10周年総括会議・事故による健康影響は、1990年頃から急増をはじめた小児甲状腺ガンのみで、その他の影響は認められていないとされた。

事故の発生以来IAEAの専門家たちは、チェルノブイリ事故の規模とその影響を出来るだけ小さく見せかけるための努力を続けてきた、と言っていいだろう。表1に、フォーラムによる死者数の内訳を示しておく。

表1. チェルノブイリ・フォーラムによる総死者 4000 人の内訳

これまでに確認された死者： 約 60 人	<ul style="list-style-type: none"> ● 放射線急性障害 134 人のうちの死亡・・・28 人 ● 急性障害回復者 106 人のその後の死亡・・・19 人 ● 小児甲状腺ガン約 4000 人のうちの死亡・・・9 人
ガン死者： 3940 人	<ul style="list-style-type: none"> ● 1986-87 年のリクビダートル 20 万人から・・・2200 人 ● 事故直後 30km 圏避難民 11.6 万人から・・・140 人 ● 高汚染地域居住者 27 万人から・・・1600 人

リクビダートルの死者

フォーラムが言うところの「これまでの死者」とは、被曝が原因であると彼らが認めた死者数である。逆に言えば、フォーラムによって確認されていない死者は含まれていない。この春、「ザ・サクリファイス(犠牲)」というドキュメンタリービデオを見た。1986 年に動員された事故処理作業員(以下、リクビダートル)とその家族を記録したものである。体調が徐々に悪化し最後には骨髄がダメになるという病名不明の病気で本人は 1999 年に 38 歳で死亡した。一緒にチェルノブイリに行った彼の仲間も次々と死亡したそうだ。ザ・サクリファイスで描かれたことが本当かどうかを確認することは私には出来ないが、手元のデータを眺めながらリクビダートルの死者数について考えてみた。

リクビダートルの数は 60~80 万人といわれ、そのうち 1986 年と 1987 年に作業にあたった約 20 万人が大きな被曝を受けたとされている。ウクライナ、ベラルーシ、ロシアそれぞれでリクビダートルの国家登録が行われているが、ある程度キチンとした追跡調査が報告されているのはロシアだけである。ロシア居住のリクビダートルのうち 6 万 5905 人(平均被曝量 120 ミリシーベルト)を対象に 1991 年から 1998 年までを追跡した結果によると、その間の死亡は 4995 件(7.6%)であった⁽¹⁾。事故処理作業時の平均年齢は約 35 歳で、(私と同世代である

ことを思うと) 8 年間で 7.6%という死亡割合は感覚的にかなり大きい。それでも、同年代ロシア人の人口統計から予測される死者数との比(SMR)は 0.82 であった。つまり、リクビダートルの死亡率は一般の人々より小さく、彼らに過剰な死亡は認められていない。ただ、SMRの経年変化をみると、1991 年に 0.65 だったものが、1997 年に 0.90 まで増えており、一般の人々に比べもともと健康だったリクビダートルの死亡率が甚だしく上がったことを示している。さらに指摘しておきたいのは、この観察期間に旧ソ連諸国が社会的・大変動に見舞われたことである。1991 年末のソ連の崩壊、それにとまなう社会的・経済的混乱が人々の健康にも大きく影響し、ロシア人男性の平均寿命は、1990 年に 63.8 歳だったものが 1994 年には 57.7 歳まで下がるというほどの異常事態であった。なかでもリクビダートル平均年齢(35~44 歳)の死亡率は、この期間にほぼ 100%増加している⁽²⁾。こうした変動を考えると、SMR 値だけからリクビダートルの過剰死亡を判断するのは難しい。

一方、ロシア国家登録データの解析結果では、被曝量が増えるとともにリクビダートルの死亡率も増加するという関係性が認められている。(統計的有意にはちょっと届いていないが)全死亡に関する 1 シーベルト当りの過剰な相対死亡率は 0.31 であった。ここではとりあえずこの値を採用すると、平均被曝量 120 ミリシーベルトの集団での過剰死亡は $0.31 \times 0.12 =$

約4%となり、1991～1998年の4995件の死亡のうち200件が被曝によるものとなる。この数字は1998年までなので、「これまでの死亡」ということでは、1999～2006年の死亡も勘定に入れる必要がある。年齢増加にともなう死亡率上昇を考慮し、この間の死亡数を1991～1998年の2倍とすると、「被曝によるこれまでの死亡」は約600件ということになる。さらに、この数は、6万5905人を対象とするものだから、60万～80万人のリクビダートル全体ではその10倍として約6000件となる。これが、放射線被曝によるこれまでのリクビダートルの死亡数である。

将来的に60万～80万人のリクビダートルすべてが亡くなったとして、その4%を事故処理作業にともなう被曝が原因とすれば、全部で約3万人ということになる。

ガン死者数の見積もり

フォーラム報告では、表1に示したように、ベラルーシ、ウクライナ、ロシアを合わせて2002年までに約4000件の小児甲状腺ガンが発生し、そのうち9人が死亡したとしている。これらの甲状腺ガンは、「実際に観察された数字」である。最終的に甲状腺ガンの数は2万～5万件くらいに達するだろう。幸い甲状腺ガンの致死率は小さいこともあって、ここでのガン死数の見積もりの議論には甲状腺ガン死は除いておく。

フォーラムの死者の大部分をしめるガン死

とは、モデルをあてはめて計算された数字であって、そのモデルで用いる仮定によって結果が大きく変わってくる。フォーラムとしては、昨年9月のウィーン会議で総死者4000人という数字を発表して20周年に向けての先手を打ったつもりだったのだろうが、ベラルーシやウクライナの専門家やNGO、さらにはベラルーシ政府からも報告書のへの抗議を受け、ついには報告書修正版を出すに至っている（内容はほとんど変えず表現を柔らかくしたものになった）。また、フォーラムの身内というべきWHOやIARC（国際ガン研究機関）からも、今年になってもっと大きなガン死数推定値が発表され、フォーラムの面目は丸つぶれの状況にある。表2は、この間に発表された、いろいろなガン死数をまとめたものである。フォーラムの4000件が最低で、グリーンピースはその20倍以上の9万3000件という値を出している。

ここで、ガン死数見積もり計算について簡単に説明しておこう。「被曝によって将来ガン死する確率はその被曝量に比例する」という考え方が基本になっている。たとえば、1シーベルトの被曝を受けたとき、ガン死する確率は0.1（10%）だとしてしよう。被曝量が0.1シーベルトであれば、ガン死確率は0.01（1%）となる。したがって、0.1シーベルトの被曝を受けた人が1万人いたとすれば、被曝が原因となりその集団でガン死する人の数は、 $10000 \times 0.01 = 100$ 件となる。

「被曝データとガン死リスクモデルに基づ

表2. チェルノブイリ事故によるガン死数の見積もり

評価者	ガン死数	対象集団	被曝1シーベルト 当りガン死確率
フォーラム(2005)	3940件	60万人	0.11
WHO報告(2006)	9000件	被災3カ国740万人	0.11
IARC論文(2006)	1万6000件	ヨーロッパ全域5.7億人	0.1
キエフ会議報告(2006)	3万～6万件	全世界	0.05～0.1
グリーンピース(2006)	9万3000件	全世界	-

いてガン死数を予測する」というと仰々しいが、要は、「対象集団の人数」、「平均被曝量」、「ガン死リスク係数」の3つの掛け算が基本である（男女・年齢での感受性の違いとか、被曝量に比例しないモデルを使うこともあるが）。

表2に明らかなように、フォーラムの数字が小さいのは、対象集団が被曝量の比較的大きな60万人に限定されているからである。WHOの9000件は、フォーラムの4000件に、汚染地域住民680万人（平均被曝量7ミリシーベルト）に対する5000件を加えたものである。IARCの1万6000件は、ガン死数評価の対象をヨーロッパ全体40カ国（約5.7億人）に広げたものである。キエフ会議基調報告⁽³⁾は、さらにアジアや北米の汚染を含めた、いわば地球全体の汚染を対象とした被曝評価に基づく推定である（といっても、汚染の大部分はヨーロッパ地域である）。グリーンピースの評価は、まずベラルーシのガン死数を2万1400件と推定し、それが世界全体の23%に相当する（ベラルーシに沈着したセシウム137の割合）として求められた数字である。

どの評価が正しくてどれが間違っているとは一概に言いがたいが、フォーラムの4000件が小さめであることは明らかであろう。本稿では、チェルノブイリ事故にともなう放射線被曝による全世界のガン死数は、2万～6万件としておこう。そのうち15%、3000～9000件がこれまでに発生したとする。

結局、先に見積もったリクビダートルの死者（これまでに6000人、最終的に3万人）を合わせると、チェルノブイリ事故による放射線被曝にともなう死者数は、最終的には5万～9万人ということになる。

間接的な死者

チェルノブイリ事故では約40万人が住んでいた家を追われ、500万以上の人々が汚染地域

での暮らしを余儀なくされている。汚染地域では産業が衰退し社会的インフラの崩壊が進行している。汚染地域からは、被曝では説明できないほどの健康悪化が報告される一方、IAEAの専門家らは、放射能汚染よりも「精神的ストレス」の方が健康に悪い、と繰り返している。ソ連崩壊にともなう混乱がロシアの人口統計を悪化させたように、チェルノブイリ事故が被災者に間接的な健康影響を与えていることはたしかであろうが、その死者数を見積もるのは困難である。今春ウクライナから来日したシチエルバクによると、家計の担い手がチェルノブイリ事故を原因として死亡したと政府から認定され、ウクライナでは現在1万7000の家族が社会的保障を受けている。多くの間接的な死者がこの数字に含まれていると思われる。筆者はその割合を見積もる方法をもたないが、ここでは「間接的な死者数は、被曝による死者数と同じ程度」と仮定しておこう。

これからは、「今中さん、チェルノブイリ事故ではどれだけの人が死んだんですか？」と聞かれたら「いまの“私の勘”では、最終的な死者の数は10万人から20万人くらい、そのうち半分が放射線被曝によるもので、残りは事故の間接的な影響でしょう」と答えることにしよう。もとより雑ばくな議論であり、いい加減な仮定の基にはそれに見合った結論しか出てこないことは承知であるが、「よく分からないので無いことにしよう」と結論するよりましな試みではないか、と思っている。

1. Maksioutov, KURRI-KR-79, p.168, 2002.
2. Notzon, JAMA, 279 p.793, 1998.
3. <http://www.ch20.org/publications/torch.pdf> .

本稿は、トヨタ財団助成研究「チェルノブイリ原発事故の実相解明への多角的アプローチ：20年を機会とする事故被害のまとめ」（代表・今中）の一環としてまとめたものである。

（2006.8.29 加筆）