“100ミリシーベルト以下は影響ない”は原子力村の新たな神話か？

今中哲二

いまなか　てつじ
京都大学原子炉実験所

原発で起こりえる“最悪の事態”とは，炉心に蓄積された膨大な量の放射能が遮るものなく環境に放出される状況のことである。私たちが経験した最初の最悪の事態は，言うまでもなく1986年4月26日未明に旧ソ連ウクライナ共和国で起きたチェルノブイリ4号炉事故であった。チェルノブイリ4号炉(電気出力100万kW)の事故では，核分裂連鎖反応のコントロールに失敗し，停止するはずの原子炉で出力暴走が発生した。原子炉は建屋もろともに爆発・炎上し，中性子減速材である黒鉛の火災が発生して約10日間にわたり大量の放射能放出が続いた[1]。

今年3月11日午後2時46分，東北地方太平洋沖地震が起きたとき，福島第一原子力発電所(1号炉46万kW，2〜5号炉78.4万kW，6号炉110万kW)の1〜3号炉は運転中で，4〜6号炉は定期検査のため運転を停止していた。地震の発生により1〜3号炉は自動停止したが，送電線の倒壊により外部電源を喪失した。直ちに，非常用のディーゼル発電機(1〜5号炉各2台，6号炉3台)が起動したが，約40分後に津波が襲来し，6号炉の1台を除き非常用発電機がすべて運転停止した。ここに，福島第一原発の1〜5号炉で，原子炉安全設計指針において“想定する必要がない”とされた長時間の全交流電源喪失が発生した[2]。

原子炉の核分裂反応が停止しても，注水ポンプが動かず膨大な放射能から発生する残留熱を除去できなければ炉心の燃料が高温になり溶融に至る。その際，燃料被覆管材料であるジルコニウムが水と激しく反応して大量の水素が発生する。溶融燃料からはガス状や揮発性の放射能が遊離して格納容器内に充満し，“最悪の事態”を防いでくれるのは格納容器の気密性だけとなる。3月11日午後9時23分，政府の原子力災害対策本部は，福島第一原発周辺3 km圏内の住民に避難指示を出し，12日午前5時44分その範囲を10 km圏に拡大した。

3月12日の朝，テレビやラジオで原発事故のニュースを追いかけながら私は，1〜3号炉で“スリーマイル島原発のような事態が起きているな”と判断し成り行きを心配していた。1979年3月の米国スリーマイル島原発2号炉事故では，2次給水系の停止で1次系の除熱ができなくなり，原子炉の圧力逃がし弁が開きっぱなしになって冷却水が2時間あまり流出した。炉心燃料がむき出しとなり約半分が溶融してしまったが，幸い原子炉容器や格納容器の破壊は免れて最悪の事態には至らなかった。

3月12日午後3時36分，1号炉で水素爆発が発生し建屋の屋根が吹き飛んだ。“スリーマイルを越えてしまった”と感じながら，格納容器がどうなったのか，爆発シーンを繰り返すテレビ画面を私は注視した。幸い，格納容器は壊れていないようで，まだ“最悪の事態”には至っていなかった。同日午後6時25分，周辺住民の避難指示は20 km圏に拡大された。

“最悪の事態になってしまった”と私が実感し

Is “No health hazards at below 100 mSv” a new myth of Genshiryoku-mura (nuclear-power interest community in Japan)?
Tetsuji IMANAKA

たのは，3月15日午前11時の記者会見で枝野官房長官(当時)が「4号炉については，現在，火災が生じている……使用済み核燃料がこの大きな意味での4号炉の中にございまして，そちらがこの間の経緯の中で熱を持って，そして，そこから水素が発生をして，いわゆる水素の爆発……が起こったものと推察をされております」「2号炉の方で「ポン」というような音がした……圧力部分(原子炉格納容器)の一部が若干の破損をしたのではないか」[3]と発言したときである。格納容器が壊れたとは，放射能の大量放出を防ぐ最後の壁が崩れたということである。また，定期検査で炉心から燃料を取り出していたはずの4号炉での水素爆発とは，使用済み燃料プールの水がなくなってしまい，大量の使用済み燃料の溶融と放射能放出を意味していた(いまでは，水素の発生源は4号炉使用済み燃料プールではなく，3号炉の水素が排気筒経由で流れ込んだことになっている)。

「放射性物質が遠方にも微量が飛ぶことは否定できない。しかし，これは人体に影響を及ぼすようなレベルのものではない。当然，遠くに行けば行くほど薄まっていくので……それはごく微量で，人体に影響を及ぼすような数値のものではないと報告されている」[4]と発言する枝野長官をテレビで見ながら私は，“チェルノブイリがこの日本でほんとうに起きてしまった”と茫然とし，なんだか自分が映画の世界に放り込まれたような感覚にとらわれた。

すぐに健康には影響ありません？

事故当初，放射能汚染の影響についてテレビやラジオに出てくる専門家は，枝野官房長官のように，「すぐに健康には影響ありません」と繰り返した。放射線被曝についての知識をもたない人でも，この言い回しをいぶかしく聞いていたことだろう。「では，後になったらどうなの？」と。放射線被曝にともなう健康影響は，一度に大量の被曝を受けたときに多数の細胞が機能を喪失してじきに症状が現われる“急性障害”と，被曝量は少なくても細胞の受けた傷が何年何十年も後になってガンや白血病となって現われる“晩発性障害”の2つに分類される。急性障害については，それ以上でなければ症状が現れることがない“閾値”があり，ガンや白血病といった晩発性障害については閾値がなく，被曝量が少なくてもそれなりのリスクをともなうと考えられている。ICRP(国際放射線防護委員会)は，前者を“確定的影響”と呼び，その症状の重篤度は被曝量に依存する。後者は“確率的影響”と呼ばれ，重篤度ではなくリスク(発生確率)が被曝量に依存する。ICRPの報告によると，骨髄が一度に被曝して造血機能の低下が臨床的に認められるという確定的影響の閾値は500 mSv(ミリシーベルト)であり，全身に均等な被曝を受けた後にガン死するという確率的影響のリスク係数は1000 mSvあたり5%とされている[5]。枝野官房長官ら政府の責任者が取り組むべきことは，欺瞞的言辞で“安心”をばらまくことではなく，放射能汚染についての情報を速やかに発表し，避難や除染といった“確率的影響”をできるだけ減らす措置を早急に実施することだったはずである。

20 km圏内をはじめ福島第一原発周辺の放射能汚染についての情報がほとんど発表されなかったこともあって，3月末に私たちは飯舘村で放射能汚染の独自調査を実施した[6]。東京からレンタカーを借り，まず3月28日に福島市に到着するとJR福島駅前での空間放射線量率は1～4 μSv/hであった。自然放射線による空間線量率は普通0.05 μSv/h程度なので，その20～80倍に相当する。放射性物質の取扱いを規制する“放射線障害防止法”にもとづくなら，0.6 μSv/hを超えるおそれのあるような場所は放射線管理区域に指定し，人や物の出入りを厳重に管理する必要がある。3月29日には飯舘村の放射能汚染調査を行い，村全域に汚染が広がっていることを確認したが，空間放射線量率の最高値は村南部の長泥曲田地区での30 μSv/hであった。私の職場には研究用原子炉(KUR，熱出力5000 kW)があり，私自身原子炉建屋内で作業することもあるが，20 μSv/hを超える

場所は“高線量率区域”としてみだりに立ち入らないよう定められている。3月末当時，福島市内では若者が何事もなかったかのように通りを歩き，飯舘村ではお年寄りたちが普通の生活を続けていた。

100 mSv 以下は影響ありません？

飯舘村や福島市，さらには郡山市などでの広範な放射能汚染が判明し，避難地域の拡大や除染の必要性が明らかになると，テレビやラジオに出てくる専門家の論調は，「すぐに健康には影響はありません」から「100 mSv 以下で健康影響は観察されていません」，あるいはさらに踏み込んで「100 mSv 以下では影響ありません」へと切り替わった。この変化の裏で何があったのか，私はいまだに理解しかねているが，そうした“100 mSv 以下心配無用説”は，これまでに蓄積されてきた放射線被曝影響に関する基本的な科学的知見に反していると私は考えている[7]。

「100 mSv 以下で健康影響は観察されていません」という専門家の話を総合すると，その最大の根拠は広島・長崎の被爆生存者追跡データにあるようだ。広島・長崎の被爆生存者については，米国が設置した旧 ABCC（原爆傷害調査委員会，現在は日米共同運営の放射線影響研究所）によって 1950 年の国勢調査の付票をもとに約 12 万人の固定集団が設定され，60 年にわたって追跡調査が行われている[8]。その調査結果は，寿命調査報告（LSS：Life Span Study）として逐次発表され，ICRP などによる被曝リスク評価の基礎データとなってきた。もっとも最近の報告「寿命調査第 13 報（1950～1997）」によると，個人線量の見積もりが行われている 8 万 6572 人の調査対象者のうち，47 年の調査期間に亡くなったのは 4 万 4771 人で，うち 9335 人が固形ガン，582 人が白血病など血液系腫瘍による死亡であった[9]。広島・長崎ガン死データの解析結果は従来から，放射線被曝の線量効果関係について“直線・閾値なし（LNT：Linear Non-Threshold）モデル”が妥当であることを強く示唆してきた。表 1 は，

表 1―解析対象範囲を変えたときの 1 Sv あたり過剰相対リスク[8]

解析対象被曝量（Sv）	1 Sv あたり過剰相対リスク（標準誤差）	p 値*
0～4	0.47（0.05）	＜0.001
0～2	0.54（0.07）	＜0.001
0～1	0.47（0.10）	＜0.001
0～0.5	0.44（0.12）	＜0.001
0～0.2	0.76（0.29）	0.003
0～0.15	0.56（0.32）	0.045
0～0.125	0.74（0.38）	0.025
0～0.1	0.64（0.55）	0.30
0～0.05	0.93（0.85）	0.15

*；片側検定値

LSS データ全体（0～4 Sv）から被曝量の大きなグループを順に除いてゆき，解析範囲を低い被曝量域にずらしながら固形ガン死の過剰相対リスクを求めたものである。被曝量の大きなグループ（200 mSv 以上）を含むときの統計的有意性は明白であるが，有意性の判定に用いる p 値は，たしかに 100 mSv 以下の被曝量域では通常の判定基準である 0.05 より大きく，約 5 万人の死亡を含む広島・長崎データでは，“100 mSv 以下において統計的に有意なガン死増加は観察されていない”と述べることは間違いではない。しかし，表 1 に示されているガン死リスク係数（線量あたりの過剰相対リスク）を素直に眺めるなら，データ全体に対しては“被曝量は小さくとも，被曝量に比例してガン死リスクが増加する”という LNT モデルがよく適合していることは明らかであろう。少なくとも，“100 mSv 以下で過剰相対リスクの値が急にゼロになる”という閾値モデルは成立しがたい（逆に 100 mSv 以下ではむしろリスク係数は大きくなる傾向が認められる）。

世界の主流は“直線・閾値なし”

放射線防護に関する ICRP の勧告は，各国の放射線防護基準のもとになってきたが，原子力開発の歴史の中で ICRP が果たしてきた役割についてはさまざまな批判がなされている[10]。その一方，ICRP の報告書や勧告が，米国科学アカデミーの BEIR 委員会報告[11]や国連科学委員会（UNSCEAR）報告[12]ともども，放射線被曝影響という科学分野に

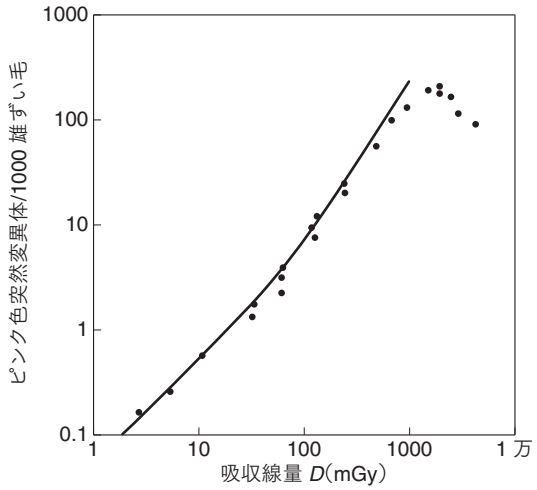

図 1―ムラサキツユクサの雄しべの毛の変化を指標とした，250 キロボルト X 線による被曝量と突然変異率との関係（文献 11 より作成）

おいて基本的な情報を提供してきたことも確かであろう。100 mSv 以下での被曝影響について，ICRP は最新の勧告で以下のように述べている[5]。

「約 100 mSv 以下の線量においては不確実性がともなうものの，ガンの場合，疫学研究および実験的研究が放射線リスクの証拠を提供している。……基礎的な細胞過程に関する証拠は，線量反応データと合わせて，次の見解を支持していると委員会は判断する。つまり，約 100 mSv を下回る低被曝量域でのガンまたは遺伝性影響の発生率は，関係する臓器および組織の被曝量増加に比例して増加すると仮定するのが科学的に妥当である，という見解を」。すなわち，低被曝量における疫学データが不十分であっても，生物実験データや細胞レベルでの知見を合わせて検討するなら，100 mSv 以下の被曝に対して LNT モデルを適用するのが適切であると ICRP は明確に述べている。BEIR 委員会や UNSCEAR も基本的に同じ見解である。

LNT モデルが妥当であるなら，放射線被曝に安全量は存在しない。広島・長崎データにおいて 100 mSv 以下で統計的に有意なガン死影響が認められていないことは，被曝影響がなかったということではなく，他の要因によるガン死に被曝影響がまぎれてしまい，統計的に有意な増加としては観察されなかったと解釈すべきである。

放射線は目に見えず私たちの身体はそれを直接感じることはできないが，放射線が存在することを疑う人はいないだろう。それは自然界の観察結果と合理的な思考から出てくる結論だと私は思っている。図 1 は，1972 年に報告されている，Sparrow らがムラサキツユクサに X 線を照射し，雄しべの毛の変色によって突然変異を観察した結果である[13]。吸収線量 2.5 mGy（ミリグレイ，ここでは mSv と同等と考えてよい）から突然変異率の増加が認められ，100 mGy までほぼ直線的に増加する。それ以上では線量効果関係の傾きが若干増加し，1000 mGy を超えると突然変異率は飽和してしまう。もちろん，ムラサキツユクサの突然変異と人間のガン発生を直接比べることはできないが，放射線被曝によって細胞レベルで生じている初期イベントについて，低被曝領域での直線的な線量効果関係を支持するデータである。Rothkamn らは，人間の線維芽細胞を X 線で照射し，DNA 二重鎖切断（DSB）の修復プロセスに関与するタンパク質の発現を蛍光染色法で観察した結果を報告している[14]。その報告によると，照射線量と細胞あたり DSB 頻度の関係は，1 mGy から 100 Gy の間で直線的に増加し，その傾きは 1 Gy あたり 35 個の DSB であった。DNA 切断の大部分は修復されるが，修復されなかったり修復エラーを起こした細胞が，後々になってガンや白血病の発生につながるのであろう。

自然放射能による被曝について“微弱で健康には影響していない”と一般の人々は感じているであろう。自然放射線レベルの放射能を測定してきた私の感覚から言えば，自然放射能はかなり強いものである。日本の場合，場所によって異なるが，私たちは平均で年間 1 mSv の自然放射線被曝を受けている。ICRP の LNT モデルに従って，1 mSv あたり 5×10^{-5} というガン死リスク係数を 1 億 3000 万人に適用すると“自然放射線により毎年 6500 件のガン死”ということになる。一方，2007 年の日本のガン死数は 34 万件であり，自然放射線はその約 2% をもたらしているという計

算になる。しかし，ガンの原因には放射線以上にさまざまな要因が関係していることを考えると，この計算の妥当性を人間集団のデータで疫学的に検証することは不可能であろう。

生物学の飛躍的な進展とともに，低レベル被曝領域での放射線に対する生物の反応について，“放射線適応応答”，“バイスタンダー効果”，“ゲノム不安定性誘導”といったさまざまな興味深い現象が報告されている[15]。しかし，これらの現象が低線量被曝でのリスクにどのように関係し，線量効果関係をどのように修飾するかはいまのところ明らかではない。私としては，“とりあえずLNTを採用して考える”のが，さまざまな批判に耐えうるもっともタフな立場だろうと思っている。

原子力産業労働者データ

最近，原子力産業労働者の疫学追跡調査で，累積被曝量とともにガンが増加したという報告がいくつか発表されている。

2005年にCardisらは，世界15カ国で行われてきた原子力産業労働者の疫学調査をひとつにまとめて解析した結果を報告している[16]。平均個人被曝量19.4 mSvの約40万人の集団において，平均12年の観察期間中2万4158件の死亡があり，そのうち(白血病を除く)ガン死6519件，白血病死196件であった。ガン死の過剰相対リスクは1Svあたり0.97(95%信頼区間：0.14～1.97)と統計的に有意であった。

2009年にMuirheadらは，英国の被曝労働者国家登録にもとづく疫学調査を報告している[17]。その報告によると，17万4541人の被曝作業者を平均22年追跡した結果，2万6731件の死亡があり，そのうちガン・白血病死は8107件であった。累積被曝量は平均24.9 mSvで，ガン死の過剰相対リスクは1 Svあたり0.275(90%信頼区間：0.02～0.56)と統計的に有意であった。

一方，広島・長崎LSSデータにもとづく固形ガン死の過剰相対リスクは，被曝時年齢30歳の場合で1 Svあたり0.47(90%信頼区間：0.37～0.57)となっている[9]。広島・長崎被爆者の被曝は原爆が炸裂した際にほぼ瞬間的に放射線を受けたものだが，原子力産業労働者の被曝は長年にわたって蓄積されたものである。被曝の受け方の違いにもかかわらず，原爆被爆者と原子力産業労働者でほぼ同じレベルの被曝リスク係数が得られていることは興味深い。

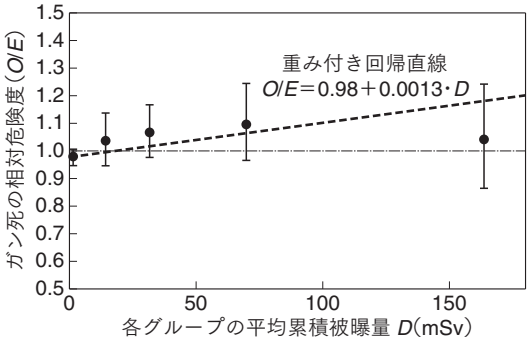

図2―放射線疫学調査第Ⅳ期調査[18]における，5つのサブグループの平均累積被曝量と(白血病を除く)全悪性新生物による死亡に関する観察死亡数(*O*)と期待死亡数(*E*)の比(*O*/*E*)のプロット
重み付き回帰直線は今中の計算。

図2に，もうひとつの原子力産業労働者データを示しておく。1991年から放射線影響協会が実施している，日本における放射線業務従事者疫学調査の最近の結果[18]を私がプロットしてみたものである。その報告では，20万3904人を平均10.9年間追跡した結果，1万4224件の死亡が確認され，そのうち5711件が悪性新生物による死亡であった。図2に明らかなように，累積被曝量とともにガン死率は増加する傾向があり，その増加傾向は統計的に有意($p=0.024$)であった。しかし，報告書の結論としては，喫煙の影響が大きい肺ガンを除いて解析するとp値は有意でなくなるため，「低線量域の放射線が悪性新生物の死亡率に影響を及ぼしている明確な証拠は認められなかった」と述べている。

ガマン量は自分で決めよう

福島第一原発事故によって，福島県はもちろん，宮城県から関東一円にわたって無視できないレベ

ルの放射能汚染が生じてしまった。私たち皆が放射能汚染と向かい合わざるをえない時代になったと思っている。すなわち，汚染についてのキチンとした情報をもとに，被曝量とそれにともなうリスクについて皆が理解し，どこまでガマンするかを自分たちで決めなければならない。原子力村の人たちが自分たちの権益を守るため，「100 mSv以下で影響はありません」といった個人的意見を述べるのは勝手であろうが，少なくとも汚染対策に責任をもつべき人々が依拠すべき見識ではないだろう。低レベル被曝の影響について未知な部分があることは確かだが，よくわからない部分に対しては予防原則の考え方で臨むのが行政のとるべき基本姿勢である。放射線被曝に関する日本の法令は，一般公衆に対して年 1 mSv という線量限度を定めている。この値は，長年にわたる経験の中で ICRP が，年あたり 10^{-6} から 10^{-5} の範囲のリスクは公衆の個々の構成員のだれにとっても多分容認できるであろう，として勧告値としたものである[19]。私としては，年 1 mSv であっても東京電力由来の被曝は不愉快であるが，放射能汚染に対するガマン量のひとつの目安だろうと思っている。

文献

1—今中哲二・原子力資料情報室:「チェルノブイリ」をみつめなおす，原子力資料情報室(2006) http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/tyt2004/Cherbooklet.pdf

2—原子力対策本部: 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書，2011 年 6 月 http://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/iaea_houkokusho.html

3—首相官邸ホームページ(官房長官記者発表，3 月 15 日(火)午前)http://www.kantei.go.jp/jp/tyoukanpress/201103/15_a3.html

4—朝日新聞: 枝野官房長官の会見全文(3 月 15 日午前 11 時) http://www.asahi.com/politics/update/0315/TKY201103150218_03.html

5—国際放射線防護委員会 2007 年勧告: ICRP Publication 103, 日本アイソトープ協会(2009)

6—今中哲二・他: 科学，**81**(6), 594(2011) http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/Fksm/Kagaku2011-06.pdf

7—今中哲二: 科学，**75**(9), 1016(2005) http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/etc/Kagaku2005-09.pdf

8—放射線影響研究所要覧: http://www.rerf.or.jp/shared/briefdescript/briefdescript.pdf

9—D. L. Preston et al.: Radiation Research, **160**, 381(2003)

10—中川保雄: 放射線被曝の歴史，技術と人間(1991)

11—Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR VII PHASE 2 Report, National Research Council of the National Academies USA, 2006

12—UNSCEAR(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)2000 Report http://www.unscear.org/reports.html

13—A. H. Sparrow et al.: Science, **176**, 916(1972)

14—K. Rothkamn & M. Löbrich: PNAS, **100**, 5057(2003)

15—原子力安全委員会低線量放射線影響分科会: 低線量放射線リスクの科学的基盤: 現状と課題，2004 年 3 月 http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/houbou/houbou001/ssiryo5_1.pdf

16—E. Cardis et al.: British Medical J., **331**, 77(2005)

17—C. R. Muirhead et al.: British J. Cancer, **100**, 206(2009)

18—放射線影響協会: 原子力発電施設等放射線業務従事者等に係る疫学的調査(第Ⅳ期調査 平成 17 年度から平成 21 年度)，2010 年 3 月 http://www.rea.or.jp/ire/gaiyo

19—国際放射線防護委員会 1977 年勧告: ICRP Publication 26, 日本アイソトープ協会(1977)