

放射線の安全を考える

岩見神経内科医院 岩見億丈

日本神経学会認定医、社会医学系医学博士(京都大学)、
原発事故後は放射性物質焼却に関する研究を行う

安全という言葉は多くの場合、文学的に使われている。使う人間の心情によって意味が変わっているのである。ここで筆者が論じなければならないのは実用的意味で安全とは何かということである。科学的意味での安全という議論は行わない。何故なら「科学的」という言葉は現代一般人においては西洋中世の神という言葉と等しいものであるからだ。議論に窮した時の昨今の常套句は「あなたの主張は科学的でない」というものである。現実には科学研究をしている者でさえ、具体的な事例や議論の前提になる一般的仮説を省みることなく、安易に「科学的」という言葉を使って自説を主張していることがしばしばある。科学者の学会は一つの権威となり、西洋中世の教会と同じ役割をして、真理の探究を妨げている。この点には宗教的信仰と同じ病が存在する。神に対する信仰は「己が信ずる神」への信仰によって腐敗する。同様に科学的真理に対する探求は「己が行う科学的行為」によって腐敗する。現代の科学者の世界は自己利益確保のための闘争や自我の驕慢の場になってしまっているのだ。

さて、筆者は日常生活において実用性のある安全について考えたいと思う。実用性があるというのは、自分や家族の命を守れるという意味である。

リスクという疫学用語は、ある集団を観察した時に、ある一定期間に疾病に罹患した人数または疾病で死亡した人数を、その期間に追跡調査された全体の人数で割った値として定義される。発生割合(死亡割合)と呼ばれることもある。さて、日本における1年間の交通事故死は2016年が3904人、2017年が3694人であった。現在の日本人口は約12700万人

であるので、1年間に交通事故死する日本人の割合は100万人に30人(3×10^{-5})である。この死亡リスクを用いて、80歳までに交通事故で死亡するリスクを年齢、地域、運転免許の有無等による死亡率の違いを無視して単純に求めると、 $1 - (1 - 3 \times 10^{-5})^{80} = 0.0024$ である。生涯を通して1万人に24人という死亡リスクは安全であると多くの人は考えるのだろうか。80歳まで1万人に1人の死亡リスクとなるためには、年間の交通事故死亡リスクは現在の24分の1である年100万人に1.25人まで減らなければならない。自動車を使うことによってもたらされる利便性が全くないならば、自動車は人類の敵でしかない。また、道路を横切って轢かれてしまう野生動物や猫などにとっては有害以外の何物でもない。一方、多くの人は自動車の利便性を抜きにして人生を送ることはできないように感じている。自動車等の利便性を利用して自分の人生をたぶん豊かにしているのだらうと日常をふり返らずに考えている。しかし、のしイカ状態でアスファルトに横たわる動物の死骸を車の上から見る度に、誰でも自分の人生が貧しくなっていくのを感じたはずである。

医療行為には説明と同意が必要である。CT検査やMRI検査を行う際に病変の情報を増やすために造影剤を患者に投与することがある。造影剤の副作用による致死的副作用のリスクは100万回に1ないし2回前後と考えられている。このリスクを患者に説明せずに造影剤を投与し不幸な結果になった場合、現在の司法は投与を指示した医師に過失を裁定する。100万回に1回のリスクを医師が己の感性で安全と判断することは許されない。望まれる医療従事者側

の姿は以下のようなものである。「造影剤を使わないMRI検査で腫瘍の可能性が高い病変が見つかったが、この病変の病理学的な性質をさらに明らかにするために造影剤検査を行いたい。しかし、造影剤には副作用があり健康を害することがある。副作用発現時最大限の努力をして治療に努めるが、それにもかかわらず100万人に1人ないし2人が副作用で死亡すると考えられている。利益と不利益を考慮し造影剤検査を受けるか否か御判断いただきたい。」患者は造影剤を用いずにMRI検査を数ヶ月後再検することを選ぶかもしれない。逆に造影剤を用いることに同意し、より早く確定診断に至ることを求めるかもしれない。ここで学ぶべきことは、100万に1回というかなり小さい致死リスクであっても、必ず具体的なリスクの数値を挙げて説明し同意が必要であると司法が判断していることである。これは基本的人権が侵害されないためである。

放射線の実用的な安全値の議論をする前に、労働衛生上の実用的な安全について見ておくのは思考の整理に役立つ。日本産業衛生学会は、職場における環境要因による労働者の健康障害を予防するための手引きに用いられることを目的として、有害物質の許容濃度等の勧告を発行している。この許容濃度の基本的考え方は以下の1)から9)の如くである。(括弧の中は筆者が補足した文であり、産業衛生学会によるものではない。)

1) 許容濃度等は、労働衛生についての十分な知識と経験をもった人々が利用すべきものである。(濃度値だけをもって労働者の健康を考えてはならない。)

2) 許容濃度等は、許容濃度等を設定するに当たって考慮された曝露時間、労働強度を越えている場合には適用できない。(濃度だけでは人体への負荷量が把握できない。)

3) 許容濃度等は、産業における経験、人および動物についての実験的研究から得られた多様な知見に基礎をおいており、許容濃度等の設定に用いられた情報の量と質は必ずしも同等のものではない。(次の4を参照。)

の4を参照。)

4) 許容濃度等を決定する場合に考慮された生体影響の種類は物質等によって異なり、ある種のものでは、明瞭な健康障害に、また他のものでは、不快、刺激、中枢神経抑制などの生体影響に根拠が求められている。従って、許容濃度等の数値は、単純に、毒性の強さの相対的比較の尺度として用いてはならない。

5) 人の有害物質等への感受性は個人毎に異なるので、許容濃度等以下の曝露であっても、不快、既存の健康異常の悪化、あるいは職業病の発生を防止できない場合がありうる。(許容濃度は集団に対する目安であり、職業病の発生が起きないかは健診等によっても監視すべきものである。)

6) 許容濃度等は、安全と危険の明らかな境界を示したものと考えてはならない。従って、労働者に何らかの健康異常がみられた場合に、許容濃度等を越えたことのみを理由として、その物質等による健康障害と判断してはならない。また逆に、許容濃度等を越えていないことのみを理由として、その物質等による健康障害ではないと判断してはならない。(濃度は重要な健康阻害要因であるが健康障害は多因子的に判断すべきである。)

7) 許容濃度等の数値を、労働の場以外での環境要因の許容限界値として用いてはならない。(小児や老人では別な基準が必要である。)

8) 許容濃度等は、有害物質等および労働条件の健康影響に関する知識の増加、情報の蓄積、新しい物質の使用などに応じて改訂・追加されるべきである。(勧告値は新しい知見により書き換えられるものである。)

9) 許容濃度等の勧告をより良いものにするために、個々の許容濃度等に対する科学的根拠に基づいた意見が、各方面から提案されることが望ましい。(様々な批判を受け入れて改善すべきである。)

上記の日本産業衛生学会勧告から学ぶべき点は、許容濃度が安全と危険の明らかな境界を示したものでないこと、濃度だけによって有害作用を判断して

はならないこと、個人の特性を考慮すべきであること、新しい知見を加えることを怠らないこと、様々な批判を受けて改善すべきであることなどであろう。

放射線の実用的な安全性を考える上でなくてはならないのが、放射線による健康障害の具体的なリスク値である。放射線の健康障害の研究は発がんに関するものがほとんどで、感染症や心筋梗塞などの血管障害に関する知見は十分にない。そのため、以下では発がんに限ってリスクを検討する。しかも、内部被ばくの研究も十分に行われていないため、外部被ばくに限ってのリスクの検討しかできない。リスクの評価値が得られた後に、どの程度のリスク値であれば安全と判断するかが問題になる。アメリカの環境保護局(EPA)は環境における様々な有害物質の規制値を公表してきた。EPAが有害物質の規制値を決める際の判断基準は、一生の間のリスクが 10^{-4} から 10^{-6} の範囲にあるということで、EPAは 10^{-4} 以下を選んできたことになる。日本の交通事故死亡に適應してみると、現在の事故死亡リスクの1/24までリスクを減らさなければ自動車は使用してはならないことになり、現在のままでは違反である。筆者は、安全と危険の線引きをするためにリスク値を決めるのではなく、どの程度のリスクがある安全なのかという実用的な概念を構築することを提案する。つまり、一生のリスクが 10^{-4} (1万人に1人)となる放射線曝露のレベルをこのリスク値 10^{-4} と共に示すことが、実用性のある安全性であると考えてのである。具体的なリスク値を常に付帯して示すことで、リスク値 10^{-4} を危険と考えなければならない状況における対処法が明らかになるからである。

さて、放射線被ばくによる健康被害、特に発がんに関するデータで最も信頼がおけるものは広島・長崎の研究と以前は言われていたため、国際放射線防護委員会(ICRP)の2007年勧告はこの研究を重視し被ばくによる発がんのリスクを算出している。ICRP 2007年勧告では線量・線量率効果係数(DDREF)を2

としている。DDREFは、低線量被ばくや慢性の繰り返し被ばくによる健康被害を評価するために案出された係数である。一方、電離放射線の生物影響に関する委員会 VII(BEIR VII)ではDDREFを1.5とし、ICRPより4/3倍ほど発がんリスクを大きく見積もっている。しかし、広島・長崎のデータに基づくDDREFのベイズ統計推定値は1.3(95%信用区間0.8-2.6)であり、1.5や2にする根拠が薄弱である。2011年以後、広島・長崎の研究人口数と同等ないしそれ以上の集団を対象とした大規模な低線量被ばくに関する疫学研究が発表され、DDREFを2とする根拠が崩れている。日本産業衛生学会はDDREF=1と2を同等に扱ったがん死亡リスクを2012年に勧告していたが、その後の改訂でDDREF=1を基本とするに至った。BEIR VIIおよび日本産業衛生学会によって計算された、1万人当たり1人の過剰がん死亡生涯リスクをきたす放射線の外部被ばく量を表1から3に示す。BEIR VIIの原典の計算値はDDREF=1.5によるため、これをDDREF=1相当に変換し表に示した。

表1 1万人当たり1人の過剰がん死亡生涯リスクをきたす電離放射線単回曝露値(mSv) (日本産業衛生学会の許容濃度の勧告DDREF=1による)

曝露年齢(年)		18	28	38	48	58
男性		0.9	1.1	1.4	1.9	3
女性		0.7	0.9	1.2	1.7	2.6

表2 1万人当たり1人の過剰がん死亡生涯リスクをきたす電離放射線単回曝露値(mSv) (BEIR VIIの報告値をDDREF=1に変換したもの)

曝露年齢(年)	0	10	20	30	40	50	60
男性	0.6	0.9	1.3	1.7	1.8	1.9	2.1
女性	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3	1.4	1.6

表3 1万人当たり1人の過剰がん死亡生涯リスクをきたす電離放射線の毎年の繰り返し曝露値(mSv/年)

	日本産衛学会		BEIR (DDREF=1変換後)	
曝露年齢(年)	18~67	48~67	18~65	0歳から一生
男性	0.03	0.15	0.039	0.020
女性	0.03	0.13	0.028	0.013

リスク計算のための基準集団が産業衛生学会では日本人であり、BEIRではアメリカ人であるので、2つの評価値は完全には一致しないが、十分な整合性がとれていることがわかる。年齢が小さいほど、放射線による発がんリスクが大きくなることに注意したい。また、がん発症のリスクはがん死亡のリスクの約2倍大きいことにも注意が必要である。単回曝露では20歳前後の人間が1mSvを1回外部被ばくするだけで 10^{-4} の過剰がん死亡生涯リスクとなる。慢性の繰り返し被ばくの場合、最も感受性が高い0歳の女性が 10^{-4} の過剰がん死亡生涯リスクを被らないためには、1年間の外部被ばくは0.013mSv未満にしなければならない。生まれたばかりの人間が 10^{-4} という被ばくによるがん死亡リスクを回避するためには、原爆や原発に伴う環境汚染からの外部被ばくは年0.013mSv未満にするというのが結論である。

ICRPは1年間の公衆被ばく限度を1mSvとしているが、何故0.013mSvの80倍も高いのだろうか。ICRPの委員であった佐々木康人らは、ICRP勧告の根拠の一つに1万人に1人の過剰死亡を社会は容認できるだろうということを挙げている。しかし、ここに欺瞞がある。佐々木らのいう過剰死亡リスクは1回の単回曝露1mSvによって20歳前後に生ずるリスクである。環境からの公衆被ばくは一生続くものの、1回の単回曝露で議論をすり替えているのだ。ICRPは利益相反がある原発産業に多大な配慮をしている。ICRP勧告の中で原発産業からの干渉を排除した唯一のものは、生物医学研究のための実験に協力して被ばくする志願者に対する線量拘束値（ある線源からの個人線量に対する予測的な線源関連の制限値）である。社会への便益が少ない場合には、一生のうち1回に限り0.1mSv未満とすることをICRPは勧告した。ICRPの委員の中に一生のリスク値は 10^{-5} 未満とすべきだという意見があったのだろう。

2001年、EPAが公表したアメリカのユッカ山脈

での放射性物質の廃棄に伴う規範では一般住民の被ばく限度を1万年の間1年につき0.15mSvとしている。この数値はEPAが他の有害物質で基準としてきた生涯 10^{-4} というリスク値まで達していない。EPAも放射線被ばくに対する安全性のレベルを何らかの理由で下げている。

欧州放射線リスク委員会(ECRR)は1年間の公衆被ばく限度を0.1mSv以下とすることを勧告したが、この値も実用的な安全には達していない。ICRP、EPA、およびECRRに共通する実用的な誤りは、小児のリスク値を用いて公衆被ばく限度を設定するのではなく、全年齢の平均的なリスクで公衆被ばく限度を設定していることである。EPAとECRRの被ばく限度は中年成人集団へ適応すべき値である。同様の誤りは多くの著名な医学書に見られる。公衆被ばく限度は、「公衆」という限りは、集団の中に属する最も感受性が高い集団に対して設定しなければならないものである。感受性が高い集団を守ってこそ、公衆被ばく限度と呼べるのである。

福島原発事故後、100mSv未満の被ばくによる発がんリスク増加は疫学的に証明することが困難だという誤った古い情報が日本政府や御用学者により日本中にばらまかれた。証明が困難という表現を、100mSv未満では全く害がないという表現にすり替える学者まで現れた。それを利用し、福島原発事故後の被ばく裁判では、国側弁護士はここに示した100mSv未満のリスク値を否定する陳述をしているが、その根拠は統計学の誤用でしかなく、その否定は国際的に通用していない。2011年以後の医学会には5mSv前後の被ばくで発がんが増加することを明確に示した複数の疫学研究がある（参考文献7を参照）。また、医療で用いるCT検査では2～8mSvの被ばくを受けるが、可能な限りCT検査を行わないことが世界の臨床家の常識である（例えば『The Merck Manual of Diagnosis and Therapy』という有名な実践的医学書にも明記されている）。CT検査を

行う際には被ばくの具体的リスク値を説明しなければならぬとすれば、当然の帰結として原発事故による環境汚染のために生じる被ばくの具体的リスク値を国民に説明しなければならないことになる。100万回に1回の有害事象を説明せずに行った医療行為が司法で罪と判断される時代に、放射線の具体的リスク値を曖昧にして安全を唱えることは犯罪と言える。

福島原発事故後も、未だに日本政府は原爆製造の妄想に駆られ原発に固執している。しかも、原発事故周辺の国民には、時代遅れである国際的基準の公衆被ばく限度年1mSvさえ保証せず、この値を遙かに超えた被ばくを強制しているに等しい状態が続いている。しかし、原子力村が消滅する頃には、公衆の外部被ばく限度年0.013mSv未満という値すら、さらに小さい値で置き換えられるのは間違いないだろう。

参考文献

1. 日本産業衛生学会。許容濃度等に関する委員会 電離放射線の過剰がん死亡生涯リスクと対応する線量レベルの評価値(暫定)の提案理由(2012年度)。産業衛生学雑誌2012;54, 243-266.
2. 日本産業衛生学会。許容濃度等の勧告(2015年度)産業衛生学雑誌2015;57,146-172.
3. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII PHASE 2. The National Academies Press, Washington, 2006.
4. ICRP。国際放射線防護委員会の2007年勧告(日本アイソトープ協会訳)。丸善、東京、2009.
5. European Committee on Radiation Risk (ECRR). 2010 Recommendations of the European Committee on Radiation Risk. The Health Effects of Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation. Green Audit Press, Aberystwyth, 2010.
6. Cart RL. Environmental radiation protection standards for Yucca Mountain, Nevada. HP; US EPA. 2002. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/wm02papr.pdf>.
7. 岩見億丈。低線量被曝による発がん。HP;再処理/岩手の環境/放射性廃棄物。2017. <http://sanriku.my.coocan.jp/170111LOWDOSE.pdf>
8. 佐々木康人, 安田仲宏。放射線防護基準の変遷。HP;日本アイソトープ協会。2012. <https://www.jrias.or.jp/disaster/pdf/20120213-134623.pdf>

連載 論文レビュー(1)

国際コホート研究：放射線量モニタリングを受けた労働者の電離放射線と白血病およびリンパ腫による死亡リスク(INWORKS)

東京電力福島第一原発事故や被ばく労働問題を考える手がかりとして、今号から被ばくに関連する研究論文のレビューを掲載する。

低線量の被ばく労働により、白血病の発生が報告された国際調査の結果を、2015年にフランス放射線防護・原子力安全研究所に所属するKlervi Leuraud博士らが、医学雑誌「The Lancet Haematology」に発表した。本研究は、国際原子力労働者研究(INWORKS)の一環で、1943～2005年の英・米・仏3カ国における原子力関連施設従事者の合計30万8297名を対象としたコホート研究。コホート研究とは、一定期間に集団を追跡し、疾病の発生率を比較して、要因との関連を調べる研究。

対象者の赤色骨髄(造血機能を持つ骨髄)への平均累積被ばく線量は15.9mGy※1、年間平均被ばく線量は1.1mGyだった。白血病(慢性リンパ性白血病を除く)による死亡の過剰相対リスクは、2.96/Gy(90%信頼区間1.17～5.21;ラグ2年間)※2であった。これは、被ばく1Gyごとに白血病によって死亡するリスクが3.96倍(1+過剰相対リスク2.96)に増加するということである。

これまでは、原爆被爆者のような高線量率(短時間に高線量の被ばく)のデータが多く研究されてきたが、本研究では原発労働者の低線量率(長期低線量被ばく)の解析によって、低線量被ばくのリスクが示された。低線量被ばくと白血病の間に正の相関関係があり、低い線量でもリスクは直線的に増加することが明らかになった。(片岡遼平)

Ionising radiation and risk of death from leukaemia and lymphoma in radiation-monitored workers (INWORKS): an international cohort study (2015) Lancet Haematol, vol.2, e276-281.(e:電子版)

※1 Gy(グレイ):放射線の吸収線量を表す単位。
Sv(シーベルト):被ばくの影響を表す単位で、グレイに修正係数をかけたもの。

※2 真の過剰相対リスクが1.17～5.21の間に含まれる確率が90%。
ラグとは、曝露から疾病発生までの時間で、ここでは白血病の最低潜伏期間が2年であることに基づく。