

ベクレルとシーベルト

金澤 右

岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 放射線医学

Becquerel (Bq) and Sievert (Sv)

Susumu Kanazawa

Department of Radiology, Okayama University Graduate School of Medicine, Dentistry and Pharmaceutical Science

はじめに

本年3月11日の東日本大震災では、東京電力福島第一原子力発電所事故の影響の長期化が懸念されている。この問題においては、原子力発電所の構造や東京電力あるいは監督省庁の災害時への対策の不備が指摘されるとともに、私たちの日常生活に放射線がどのような影響を与えるかが最大の焦点となっている。その際に頻出するのが放射線の単位であり、ベクレル、シーベルトといった普段聞き慣れない言葉が盛んに報道され、国民は不慣れなその単位で示される数値の多寡に一喜一憂している。

私自身は臨床放射線医学を専攻する身であるが、放射線防御も放射線科専門医の業務の一つであり、本稿において放射線そのものについて概要を示すとともにベクレル、シーベルトの持つ意味について簡単に解説したい。

放射線とは

放射線は広義には可視光線、電波や紫外線なども含むが、通常は物質と反応して電離を起こすものを狭義

に放射線（電離放射線）と呼んでいる。「電離」とは簡単に言うと物質を通過する際に原子から電子などがはじき飛ばされる現象であり、この「電離作用」が人体に様々な影響を与える。

電離を起こす放射線にはアルファ線、ベータ線、ガンマ線、X線、中性子線など様々のものがあるが、このうちアルファ線、ベータ線、中性子線は粒子の性質を持つために粒子線と呼ばれ、ガンマ線、X線は電磁波である。また、ガンマ線とX線は性質がほぼ同じであるが、X線が高速の電子を真空管の一種であるX線の陽極に当てて人工的に発生させられるのに対して、ガンマ線は放射性同位元素から放出される。アルファ線、ベータ線もガンマ線と同様に放射性物質から放出される。中性子線は原子を構成している粒子の一つである原子核から出てくるものであり、原子炉内でウランなどの原子核が核分裂を起こすと中性子線が発生する。このように原発事故において問題となる放射線はアルファ線、ベータ線、ガンマ線、中性子線である。

これらの放射線の電離作用は、細胞に対して酵素機能低下、遺伝子損傷、細胞分裂の遅れなどの影響を与えるが、外見上特別な異常が見られなくてもアポトーシスや発がんなどの様々な健康上の問題を誘発する。人体への影響は放射線に被曝して数週間以内に出てくる急性障害と数カ

月から数年後になって影響が出てくる晩発障害に分けられる。これらの影響は、受けた放射線の種類や量、全身被曝か局所被曝かにより異なってくる。急性障害の例では全身に一度に1,000ミリシーベルトの放射線を被曝すると嘔吐・吐気が起こり、4,000ミリシーベルトでは半数が死亡する。広島原爆投下においては、投下地点より1キロメートル離れた時点での屋外線量は6,200ミリシーベルトであったと考えられている。

ここで放射線の性質の違いに触れる。アルファ線は放射性物質が放出するアルファ粒子の流れだが、アルファ粒子は陽子2個、中性子2個でできた粒子でヘリウムの原子核と同じである。他の放射線に比べると突き抜ける力は弱く薄い紙1枚でストップしてしまう。しかし、短い距離の間に遮った物質に全エネルギーを与えることとなり、また、ヘリウムの原子核はほかの粒子より質量が高いため人体への影響は大きい。ベータ線は放射性物質から放出される電子または陽電子の流れで、アルファ線に比べると物質に及ぼす影響力は弱い。ただし、透過力はアルファ線より大きく空気中で数十センチから数十メートル到達する。ガンマ線は電磁波なので、電波と同じように空間を伝わって拡がっていくとともに物質の中を比較的よく通り抜ける。ただし、ベータ線同様にアルファ線に比べると物質に及ぼす影響力は弱

平成23年4月受理
〒700-8558 岡山市北区鹿田町2-5-1
電話：086-235-7309
FAX：086-235-7316
E-mail：susumu@cc.okayama-u.ac.jp

い、中性子線は人体に及ぼす影響はアルファ線とベータ線・ガンマ線の中間くらいと考えられている。

ベクレルとシーベルト

急性障害の例としてすでにシーベルト値を示したが、シーベルトは人体に影響を与える量としての意味を持っている。簡単に言うと人体側からみた放射線被曝の量と言って良い。一方、ベクレルは放射性物質からみた単位であり、かつてはキュリーという単位が用いられていた。放射線を出している物質を放射性物質と呼び、それが放射線を出す能力を放射能と言っている。放射性物質では原子核が不安定であり、放射線を出して安定な原子核に変わるが、これを原子の「崩壊」と呼んでいる。放射能の強さは1秒間に原子核が崩壊する数で示され、その単位がベクレルとなる。1秒間に1個の原子核が崩壊すると1ベクレルとされる。つまり、ベクレルは放射能の強さであり、崩壊で放出されて人体への影響に大きく関与する放射線の種類やエネルギーの強さには関係しない。実際には、原子が1個崩壊すると言っても放射性物質には様々な種類があり、それぞれの放射性物質により崩壊の仕方も多様であり、出てくる放射線も異なる。例えばウランの崩壊ではアルファ線や中性子線が主として放出されるのに対して、セシウムではベータ線やガンマ線が放出される。これらを考えると人体への影響はベクレルの値では直接的に語れないのである。しかし、ベクレルの値は崩壊の活動性を示しているのであり、原発事故においては重要な指標となる。これらの放射線の存在はもちろん目に見えるものではないが、比較的簡単に計測することができる。なぜなら電離しているので電気信号として容易に検出できるから

である。計測器(図1)により毎分のガイガー計数値(counts per minute: CPM)が示され、CPM値に、0.00833をかけると、マイクロシーベルト/時として換算される。

ベクレルが原子核の崩壊する放射能の単位とすると、シーベルトは人体に影響を与える放射線量を評価する単位といえる。シーベルトは(放射線のエネルギー×放射線荷重係数×組織荷重係数)として表される。まず、放射線のエネルギーであるが、グレイ(Gy)という単位で表される。簡単に言うと放射線にあたったものが単位質量あたりに放射線から受けるエネルギーの量を示している。従ってグレイはジュール/キログラムとしても表記され、1グレイは物質1キログラムあたりに1ジュールのエネルギーを受けたとすることを意味している。因みに1ジュールは1気圧下に20℃の水1グラムを0.24℃上昇させるエネルギーに相当する。放射線荷重係数とは放射線の種類による影響の違いを示しており、ベータ線、ガンマ線、X線が1であるのに対してアルファ線が20、中性子線が5~20とされている。組

織荷重係数は臓器などの組織別の放射線の影響の受けやすさを示している。例えば肺、胃などは0.12であり、食道、甲状腺は0.05であるが、全身の総和は1となる。このようにシーベルトという単位は人体への放射線の影響を三つの要素を加味して表現している。どういう放射線を受けたかをいちいち考えなくてもシーベルトで表した数字が同じなら影響も同じと考えることができ、極めて便利な単位である。

今回のような原発事故の場合にはどのようにシーベルト値を計算するのだろうか。それは、放射性同位元素をフィルターに吸着させ空気中単位体積あたりの放射性同位元素の種類と量を計測することにより計算される。土壌、飲料水も同様である。また、シーベルトは通常1時間あたりの量で公表されている。その線量が1年間を通じて同じ場合には、年間量はその値に24時間×365日、すなわち8,760をかければよい。原発事故ではセシウム137とヨウ素131が特に人体に影響を与えるとして問題になるが、これらは原子力発電の燃料に



図1 放射線の測定に用いられる GM サーベイメータ (奥) とガンマ線用シンチレーションサーベイメータ (手前)

使うウランなどが核分裂反応を起こして生成される放射性物質である。放射性物質の量が半分になるまでの期間（半減期）は、セシウム137の場合、およそ30年、ヨウ素131は約8日である。セシウム、ヨウ素とも自然界に多くの同位元素が存在し、大半は放射線を出さない。

どのくらいで安全か？

皆が関心を持つのは、現在、そして将来的に今回の原発事故が人体にいかなる影響を与えるかであるが、前述のように急性障害と晩発障害の両面から考えるべきである。原発問題では、急性障害は主として事故処理作業に関わる人々に起こる可能性があると考えて良い。その場合、250ミリシーベルトではほとんど臨床症状は出ず、500ミリシーベルトでリンパ球の一時的減少が起こり、前述のごとく1,000ミリシーベルトで危険限界量すなわち急性放射線症発症の

可能性が高くなるとされている。チェルノブイリ原発事故（1986年）では134人が急性放射線症と診断され、28人が3ヵ月以内の放射線被曝が原因で亡くなった。リクイデータ（事故清算人）と呼ばれ除染作業に従事した者が約60万人いたとされ、これらの人々は年間平均170ミリシーベルトの被曝をしたとされるが、これらの人々の経過観察でがんや白血病が有意に多く発症しているということはないとされている。広島、長崎の原爆については、放射線影響研究所が被曝者12万人を対象に1950年から追跡調査を行ってきたが、その結果200ミリシーベルト以上の放射線を受けた場合、線量が増えるに従ってがんの発症が増加することがあきらかになった。チェルノブイリ原発事故の追跡調査では事故後4年たってから小児甲状腺がんがベラルーシ、ウクライナ、ロシアの三ヵ国で約1,800人発症した。ただし、治療経

過は比較的良好で死亡者は9名とされている。最も汚染の著しい地域では事故後70年間で80～160ミリシーベルトの被曝があると考えられているが、今のところ小児の甲状腺がん以外に放射線に直接関係のある病気の増加はみられていない。

現在我が国の避難指示基準は数日間で50ミリシーベルトとされるが、今後の長期的な住民の健康的影響を考えて、年間推定被曝線量が20ミリシーベルトを超える地域では避難指示がなされるとのことである。これは、毎時平均約2.2マイクロシーベルトに相当し、かなり厳しい基準といえる。福島第一原子力発電所周辺の住民の方々の気持ちを考えると誠に痛ましい。二度とこのような事故が起こらないことを切に願うとともに、放射線に対する正しい知識の必要性を再認識させられる。