

日本の自然放射線による線量

下 道國^{*1}, 真田 哲也^{*2}, 藤高 和信^{*3}, 湊 進^{*4}
Shimo Michikuni Sanada Tetsuya Fujitaka Kazunobu Minato Susumu

はじめに

環境中には、地球の誕生以来存在している自然放射線、自然放射性物質があり、これらはバックグラウンドと呼ばれる。このほか、環境中には過去に行われた大気圏内核爆発実験や、チェルノブイリ事故等に由来する放射性物質も存在するが、本稿ではこれらを含まない自然放射線、自然放射性物質に着目する。

自然の放射線・放射性物質は地域・空間並びに時間とともに変動し、変化に富んでいる。また、新たなデータが得られることにより数値が更新されることは避けられない。このような状況を考えれば、適宜、正しい値に基づく評価をしていくことは極めて重要である。

これらによる線量は、これまで、宇宙線、大地及び大気からの放射線、飲食物に由来する放射性物質、及びラドン・トロンとそれらの子孫核種などごとに評価がなされてきている。様々な方面で利用されているこの知見は、今では既に20年以上前のデータに基づいたものとなっている。この10年以内に最新のデータが加えられ、また再測定や評価の見直し等がなされたことによって、これまでの線量が改められた部分もある。これら線量についての詳論は他書に譲るとして、本稿では、線量に主たる影響を与える放射線と放射性物質、あるいはそれを含む物質と経路を対象としている。

自然放射線による線量は、それ自体で重要な知見である。同時に、通常時の放射線利用での線量評価、あるいは事故時の線量評価を正確に

行うときには欠かすことはできない知見でもある。このような認識の下、筆者らは最新のデータに基づき、我が国の自然放射線・自然放射性物質による線量を逐次検討してきている。本稿は、それらに基づいたものであり、環境放射線及び保健物理の分野での利用はもちろんであるが、専門外の多くの読者にも理解・利用されることを期待して、最新の線量について簡潔に紹介するものである。

1. 総論

日本における日本人の自然放射線と自然放射性物質、すなわち宇宙線と大地及び大気中からの放射線による線量、並びに飲食物の摂取及びラドン・トロンの吸入による年間の合計実効線量は、約 **2.2 mSv** (2.17 mSv) である。

その内訳は、外部被ばくでは、宇宙線による線量が **0.26 mSv** であり、この中には、宇宙線誘導核種による被ばく（線量は微量）、及び航空機搭乗時の被ばくは含まれない。大地及び大気中からの γ 線による線量は **0.29 mSv** である。このうち、大気中のラドン子孫核種に由来する分は 0.014 mSv (5%弱) である。なお、人工構造物中の自然放射線寄与分は考慮していない。

内部被ばくについては、飲食物の摂取による預託実効線量は **0.98 mSv** である。このうち、魚介類からの寄与が 0.64 mSv (65%) であるが、これに寄与する主な核種は ^{210}Po である。ほかの核種による寄与は 0.16 mSv である。また、 ^{40}K の体内平衡量は体重 60 kg の人で約

4,000 Bq であり、それによる線量は 0.18 mSv である。なお、飲料水中の核種及びカリウム以外の体内平衡量に達しているとみられる核種からの寄与は微量であるため含まない。吸入摂取では、ラドン・トロンによる実効線量は **0.64 mSv** であり、そのうちラドン子孫核種の寄与が 0.53 mSv (82.8%) と大きく、トロン子孫核種の寄与は 0.11 mSv (17.2%) である。これ以外の核種の寄与は微量のため含まない。

外部被ばくだけを 1 時間当たりの線量率で見ると、宇宙線による線量は、平均 29.7 nSv/h であり、大地及び大気中からの線量は、33.3 nSv/h である。

線量の幅あるいはばらつきは、宇宙線寄与分では最大と最小の差が 0.13% (緯度による違い)、大地及び大気 γ 線寄与分が $\pm 33\%$ (変動係数)、食品寄与分が $\pm 29.4\%$ (預託実効線量の変動係数)、ラドン・トロン寄与分は代表値の 1/2 から 2 倍程度の幅がある。合計線量では相当の幅が見込まれる。

外部被ばくの線量は、通常、空気吸収線量 [Gy] で測定され、これから実効線量 [Sv] が計算される。両者の関係は、 $1 \text{ Gy} = 0.748 \text{ Sv}$ である。ところで、サーベイメータ等の表示は、“1 cm 線量当量での [Sv]” である。1 cm 線量当量は吸収線量の 1.224 倍であるから、同じ Sv 単位で表わされた値も、1 cm 線量当量の値は実効線量の 1.64 倍大きい点に注意が必要である。

(公財)原子力安全研究協会による“新版 生活環境放射線 (国民線量の算定)” (平成 23 年 12 月) では、1 年の実効線量として、宇宙線寄与分が 0.3 mSv、大地放射線寄与分が 0.33 mSv、食品寄与分が 0.98 mSv、ラドン・トロン寄与分が 0.46 mSv、ほかの吸入摂取で 0.016 mSv、合計 2.09 mSv となっている。合計線量は本稿の方が 0.08 mSv 大きいのが、個別に見ると、宇宙線と大地放射線による寄与分が小さく評価され、ラドン・トロン寄与分が大きく評価されているという違いがある。その違いの主な

理由は、宇宙線寄与分では高度を加味していないこと、大地と大気の γ 線寄与分では平均値の求め方が違うこと、ラドン・トロン寄与分ではラドン濃度の違いと平衡係数 (各章参照) の見積もりが違うことにある。

2. 宇宙線による線量

(1) 宇宙線は放射線であるが、その源はどこにあるか特定できず、そのため大昔から次々と生じている超新星の大爆発で飛び散った残骸と考えるのが妥当である。最新の超新星爆発から現在の強度が決まるが、人類史の中では一定としても構わない。これを銀河宇宙線という。銀河宇宙線は高エネルギーであるからどこにでも入り込み、2 次的に中性子を含んだ粒子群を生むが、宇宙線にはこれらすべてが含まれる¹⁾。

銀河宇宙線と並んで被ばく源になるのが、太陽から届く粒子 (太陽宇宙線) である。太陽は宇宙の構成成分の 1 つに過ぎず、常時、太陽表面から太陽風と呼ばれる粒子 (陽子など) が放出されている。ただし、そのエネルギーは銀河宇宙線よりも 3 桁ほど低い 1 MeV 以下のエネルギーの粒子である。

太陽活動は、銀河宇宙線の地球近傍への入射を妨害するため、太陽活動が盛んな時には銀河宇宙線は地球に入りにくく、活動が低下している時は入りやすい。したがって、通常、地球上での太陽宇宙線による線量強度は、銀河宇宙線による線量強度の増減とは逆になる。

(2) 宇宙線の種類を図 1 に示す。ヒトの住む高度では、宇宙線が大気や機器の壁と衝突して生じる 2 次宇宙線成分 (2 次宇宙線が衝突して作る 3 次宇宙線以降の成分も含める) は、主に電子、中間子、中性子などであって、これらが支配的である。

宇宙線は高所ほど強いが、日本全体としては、高度 1,500 m 上昇するごとに被ばく線量率は約 2 倍になる。これは経験則であるが、全体の把握には役立つ。日本列島の海面での平均線量率は約 29.7 nSv/h (年間 0.26 mSv) であるが、

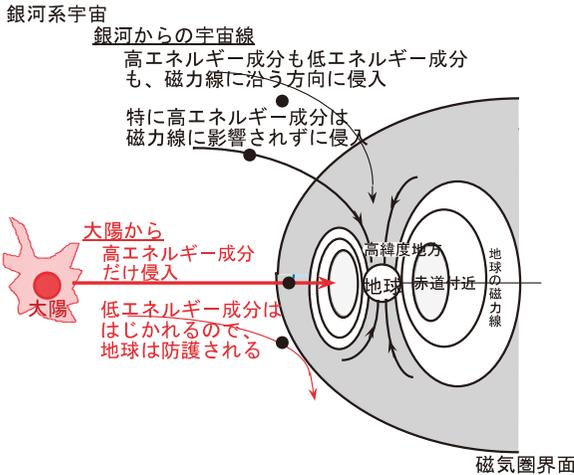


図1 宇宙線の種類

宇宙線全成分による線量率の高度分布

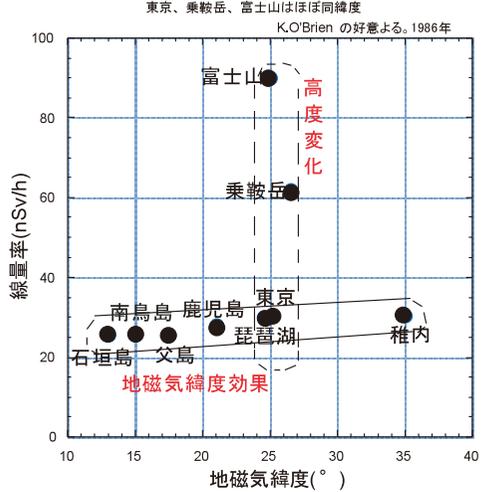


図2 宇宙線の日本各地の高度変化

日本の住民の99%は高度400 m以下に住んでいる²⁾ので、大多数の日本人の宇宙線線量は概ね36 nSv/h (年間0.32 mSv)以下である。

(3) 地球の自転軸に合わせて地理的緯度が決まるが、電磁現象に関わるのは地磁気緯度である。その磁場は地理的緯度と少しずれており、例えば、日本の地磁気緯度は地理緯度より約15度低く、逆にニューヨークは約15度高い。

日本列島の緯度による違いについては、列島の北端と南端の地磁気緯度の差をみる。その差は20度であるので、平均線量率の約29.7 nSv/hに対する線量率の開きは0.4 nSv/hとなり、地理緯度による違いは約0.13%程度と考えれば良い。図2に宇宙線の日本各地の高度変化を示す。

(4) 航空機に搭乗した時の被ばくは、航空機が地磁気的に高緯度を飛ぶ方が被ばく線量は高く、低緯度を飛ぶ方が低くなる。磁気赤道は最も低くなる。被ばく線量率は、太陽活動が盛んかどうか、どこからどこへ飛んだか、飛行高度はどうであったか等々に左右されるが、これらを考慮した平均被ばく線量率は大体±20%内の範囲に収まる。しかし、数時間以上搭乗する場合の実際の被ばく線量は、どの方向に飛ん

だかという飛行方向による差は小さく、飛行時間によって決まる。

例えば、通常、成田からニューヨークへ飛ぶ場合がほかのどの都市へ行くよりも線量が高く、片道約50 μSv以内の被ばくを受ける³⁾。なお、図3に示した線量率は、ポケット線量計(PDM-101)による測定値を2.7倍して表示している。これは岡野との同時測定³⁾で決めている。

(5) 宇宙空間での被ばく線量は大変大きい。有人宇宙活動での宇宙船内における線量は、通常では1 mSv/d程度とみられている。高線量を被ばくした例としてアポロ14号がある。アポロ14号は、太陽活動が極めて活発な時期の9日間の船外活動で11.4 mGyの被ばくを記録している。ここで、Sv単位の値はGy単位の2倍となる(地上とは異なる)ので、実効線量は22.8 mSvとなり、これはまれに起きる大線量率である。

(6) 宇宙線の検出には、全体をまとめて測る電離箱や、特定のエネルギー範囲のみ切り取って測るGe検出器等が利用される。

図4に示すように海や湖水に含まれる放射性物質は少ないので、ボートに電離箱を載せ、湖

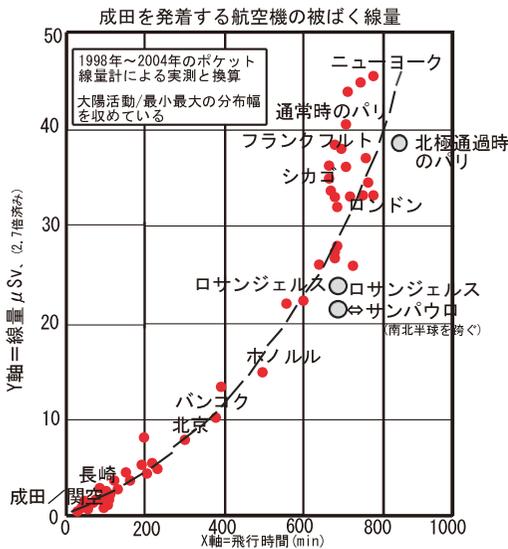


図3 成田発着便の航空機被ばく線量

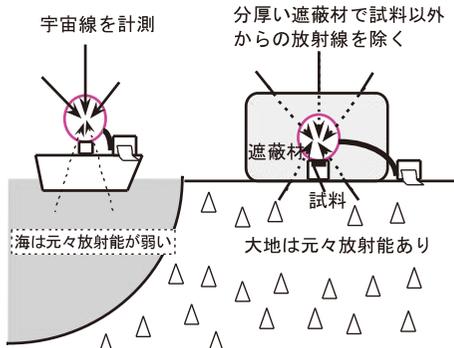


図4 宇宙線の計測法と大地と大気からの放射線の計測法

の沖合で測った値はほとんど宇宙線のみである⁴⁾。通常、宇宙線の寄与を除くために、分厚い遮蔽材で検出器の外側を覆うが、それでも若干の宇宙線が残る。そもそも遮蔽で宇宙線を完全に除くことはできず、宇宙服も宇宙線を皮膚の等価線量で約30%程度しか減弱させない。

(藤高和信)

3. 大地及び大気からのγ線量

福島第一原子力発電所事故(福島事故)以来、国、地方自治体、市民団体、個人レベルで

多くの放射線サーベイが実施されており、膨大な量の線量率データが蓄積されつつある。これらのデータはSv/h単位で表示されているものが多い。サーベイ実施者の関心の1つは“測定点での自然放射線量率(バックグラウンド)との差はどれくらいなのか?”ということにある。バックグラウンドとしては地球化学図から導出したもの⁵⁾と事故以前に実施された全国サーベイデータ⁶⁾がしばしば引用される。しかしこれらのデータは空気吸収線量率(Gy/h)で表示されている。ここでは空気吸収線量率で表示されている文献⁶⁾のデータを実効線量率及び1cm線量当量率(ともにSv/h単位)に変換したい。サーベイ実施者が自己の所有するデータと直接比較できるようにするためである。

森内らは自然起因の地表γ線に対する換算係数を評価している⁷⁾。実効線量については人体ファントムに対する等方照射、1cm線量当量についてはICRU球に対する平行ビーム照射の幾何学的条件の下に算定された。1(Gy)の空気吸収線量に対してそれぞれ0.748及び1.224(Sv)である。ここでは、これらの値をそのまま利用する。図5は文献⁶⁾のデータのうちサンプル数の少なかった北海道、秋田県、宮城県にデータを追加して⁸⁻¹⁰⁾実効線量率(上図)と1cm線量当量率(下図)に換算した結果である。

図5には鹿児島県の屋久島より南が含まれていない。沖縄本島は地質調査総合センターのウェブサイト¹¹⁾にウラン、トリウム、カリウム濃度で、薩南諸島は文献¹²⁾に、宮古島は文献¹³⁾に、また大東諸島は文献¹⁴⁾にそれぞれ空気吸収線量率(Gy/h)単位で載っている。

図5より日本の平均値は実効線量率が33.3nSv/h(年間0.29mSv)、1cm線量当量率が54.5nSv/h(年間0.48mSv)と評価される。同じSv/h単位でも両者の数字にかなりの開きがある。したがって、線量率の値を公表する際は実効線量率か1cm線量当量率かをそのつど明記する必要がある。

大気からのγ線の源はほとんどがラドン子孫

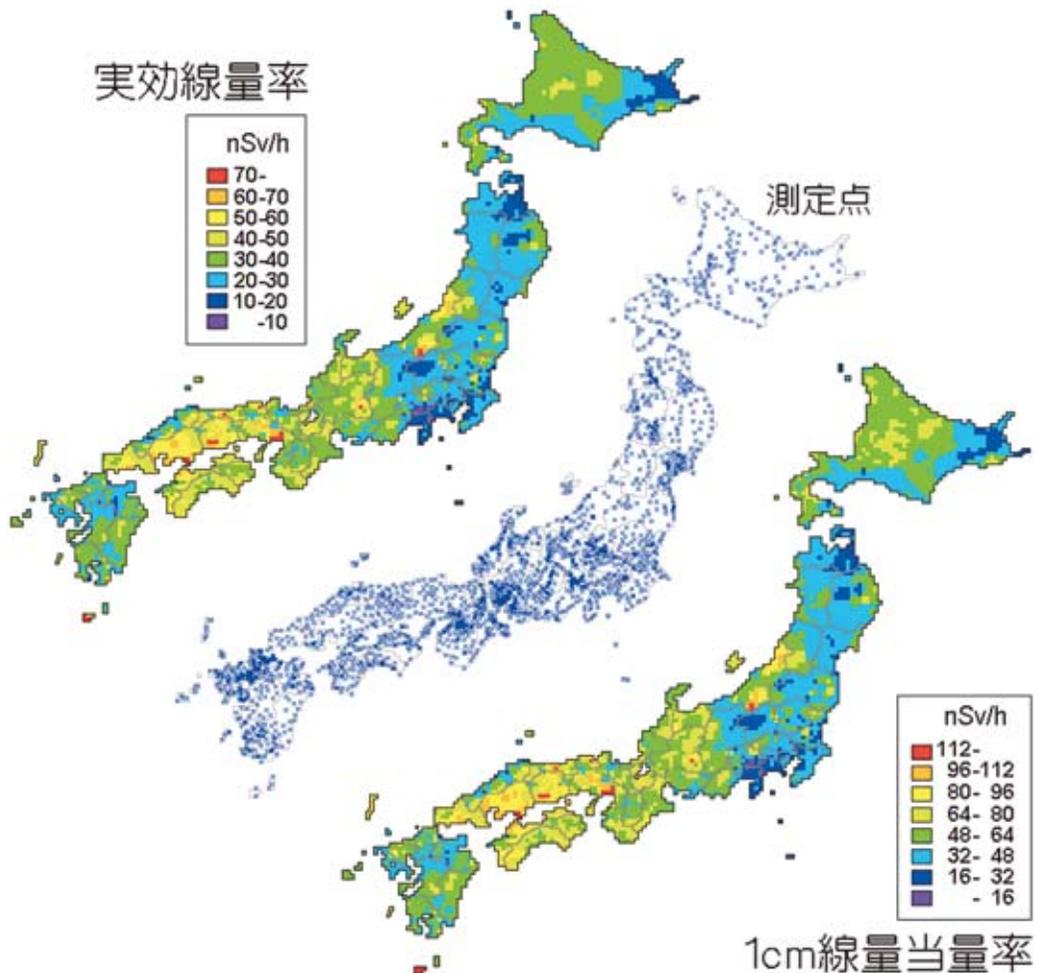


図5 自然起因の地表γ線量率

核種 (^{214}Pb , ^{214}Bi) である。地表面近傍でのラドン濃度と線量率の換算係数は文献15)から導出できる。ラドン濃度は時々刻々変動しているので、大気γ線量率も変動が激しい。しかしその寄与量は少ない。日本の平均ラドン子孫核種濃度¹⁶⁾をγ線量率に換算すると、上で述べた地表γ線量率平均の5%弱となる。

福島事故により放出された放射性降下物の影響が著しい地域は、福島県を中心とする関東・東北地方一帯である。この一帯の自然起因の線量率分布のなりたちを岩石学的に概観してみたい。

図5によれば東北地方における地表γ線量率は、阿武隈山地（主に福島県東部）、北上山地（主に岩手県東部）及び飯豊山地（新潟・山形県境）で高く、他では低い。一般に、火成岩は塩基性岩 → 中性岩 → 酸性岩の順に線量率が増加していく。これはマグマの結晶分化作用が進むに従って、不適合元素（液相濃集元素）である地表γ線放出元素（ウラン、トリウム、カリウム）がこの順序で濃縮されていくためである。上記の山地は酸性岩である白亜紀火成岩類が山塊の大部分を占めている。ほかの地域は第三紀及び第四紀に活動した塩基性から中性の火

山岩が基盤となっている。したがって、酸性岩地帯に比べるとかなり低めの線量率になる。

関東地方の土壌は第四紀の火山活動に由来する塩基性から中性の火山灰が起源である。特に南関東では富士火山に噴出起源を持つ塩基性の、また箱根火山起因の塩基性と中性の中間の性質を持つ火山灰が偏西風に乗って堆積、風化、粘土化した土である。(湊 進)

4. 飲食物からの線量

私たちの身の回りには宇宙線や地殻に含まれる放射性物質から放出される放射線が存在し、絶えず被ばくしている。宇宙から飛来する宇宙線を除く、地球上に存在する放射性物質からの放射線には、地球創生以来存在する自然放射性物質と、過去の大気圏内核実験や原子力施設等の稼働に伴い環境中に放出された人工の放射性物質がある。環境における放射線や放射能を評価する際にはこれらの放射性物質を区別し、さらに人工放射性物質については、福島事故前から存在するものと区別し評価することが重要である。

現在では大気圏内核実験は行われておらず、また原子力施設等からの放出も厳しく管理されているため、一般公衆の環境における被ばく線量は人工の放射性物質より自然放射性物質からの寄与がほとんどである。例えば、大気中のラドン子孫核種からの寄与は世界的に見ても少なくない。また、我が国のような医療先進国ではX線CT等の医療機器の普及により医療被ばくが近年増加傾向にある¹⁷⁾。

被ばくには外部被ばくと内部被ばくがあり、食物を摂取しそれに含まれる放射性物質による被ばく

は内部被ばくである。

Otaら¹⁸⁾は日本で流通する17種類、137試料の食品を対象に自然放射性物質と人工放射性物質の放射能濃度を測定し、それらからの預託実効線量を評価した。それによると、我が国の食品からの預託実効線量は0.80 mSv(カリウムを含まない場合)と見積もられ、食品群別に見ると魚介類からの寄与が0.64 mSvと最も大きい(表1)。これは自然放射性物質の1つである²¹⁰Poが魚介類に比較的多く含まれており¹⁹⁾、日本人が世界的に見て魚介類を多く食べる食習慣があること²⁰⁾が主な要因である。その他自然放射性物質として、²³⁸Uや²³²Thがあるが、それらによる預託実効線量は、Shiraishi²¹⁾らの報告では0.00022 mSv及び0.00022 mSv、Ota

表1 食品群別の年摂取量と預託実効線量(カリウムを除く)

食品群	分類	年摂取量	年間の放射能	預託実効線量
		kg/年	Bq/年	mSv
I	穀類	168	36	0.017
	いも類	22.8	7.9	0.0017
	砂糖・甘味料類	2.63	1.0	0.00069
	豆類	21.5	7.6	0.0016
	種実類	0.843	10	0.00063
II	野菜類	98.5	26	0.0060
	果実類	45.4	4.9	0.0020
III	きのこ類	5.44	7.4	0.0023
	藻類	5.33	42	0.014
IV	魚介類	32.2	550	0.64
V	肉類	28.2	6.0	0.0029
	卵類	13.3	5.5	0.0030
VI	牛乳・乳製品類	61.5	16	0.0044
	油脂類	0.803	0.17	0.00012
	菓子類	9.67	3.8	0.0014
	嗜好飲料類	60.8	110	0.087
	調味料・香辛料類	31.9	33	0.016
合計		609	870	0.80

ら¹⁸⁾の調査では0.00067 mSv, 0.00039 mSvといずれも低い。

過去に公表された国民線量の算定²²⁾では、食物摂取による自然放射性物質からの年間の実効線量は0.38 mSvと評価されており、先ごろ改訂された新版の国民線量の算定²³⁾の値(0.98 mSv)と異なっている。これは、放射性物質別に見ると²¹⁰Poの実効線量が0.082 mSvから0.73 mSvに変わったことが大きな要因である。当時の体内被ばくの線量評価は現在と異なり、体組織中の放射性物質濃度から計算される方法が採用されており、日本人の体組織中のそれらの実測値が乏しかったことによりやや過小評価であったと考えられる。

²¹⁰Poの預託実効線量は前述のように0.73 mSvであり¹⁸⁾高い値である。Yamamotoら²⁴⁾及びMomoshimaら²⁵⁾によると、西欧諸国と比較すると我が国の²¹⁰Poからの寄与は大きく、さらに国内においても地域的な特徴も報告されており、これは食習慣に起因すると推定される。

なお、²¹⁰Poは魚介類の肝臓等の内臓に多く含まれていることが明らかとなっており²⁶⁾、可食部(肉部)だけを食べた場合と魚全体を食べた場合では、²¹⁰Poの摂取量は異なる。

一方、人工放射性物質からの寄与は少なく、例えば、⁹⁰Sr、¹³⁷Cs及び²³⁹Pu+²⁴⁰Puからの預託実効線量は合計で0.0024 mSvであり¹⁸⁾、その割合は全体(0.98 mSv)の1%にも満たない。

必須元素のカリウムは毎日摂取されており、⁴⁰Kの1日の摂取量は81.5 Bq(全カリウムで約2.7g)で、線量係数は 6.2×10^{-9} [Sv/Bq]であるから、その実効線量は

$$81.5 [\text{Bq/d}] \times 365.25 [\text{d}] \times 6.2 \times 10^{-9} [\text{Sv/Bq}] \\ \times 10^3 = 0.18 [\text{mSv}]$$

となり、0.18 mSvと算出される²⁷⁾。

経口摂取には食物のほかに飲料水からの寄与がある。代表的な自然放射性物質には食物と同様にウラン、トリウムとラドンを含むそれらの系列核種がある。我が国のミネラルウォーター

ー、水道水、清涼飲料水及び輸入ミネラルウォーターを対象とした調査²⁸⁾では、²³⁸Uと²³²Thからの預託実効線量は、0.0015 mSv及び0.0000076 mSvと報告され、極めて低い値であることが明らかとなっている。

なお、輸入ミネラルウォーターには我が国の水道水や河川水の数十～数千倍の²³⁸Uを含むもの(数 $\mu\text{g/L}$)があり、近年、その輸入量が増加していることを考慮すると引き続き調査研究を行うことが重要である。(真田哲也)

5. ラドン・トロンの吸入による線量

ラドン(²²²Rn)、トロン(²²⁰Rn)は、生活環境のどこにでも存在している自然の放射性稀ガスである。ラドンはウラン(²³⁸U)の子孫核種として、地中でラジウム(²²⁶Ra)から生まれ、トロンはトリウム(²³²Th)の子孫核種として地中で生まれ、両者とも地表面から空气中に散逸している。海水や湖水に含まれるラジウムの濃度は土に比べて低い²⁹⁾ために、ラドンの発生量は陸上の1/1000以下と見積もられ、発生源としては無視できる。ラドン・トロンは壊変をして、空气中にそれぞれの子孫核種を作っている。ラドンの主な子孫核種は、短寿命核種(²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi)と長寿命核種(²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi, ²¹⁰Po)に分けられる。長寿命核種の初めの核種である²¹⁰Pbは、半減期が22.2年と長いのでそのほとんどは地上に沈着していて、大気中での長寿命核種濃度は短寿命子孫核種濃度の1/10,000程度²⁹⁾であり、線量評価では無視してよい。トロンの主な子孫核種は、すべて短寿命核種(²¹²Pb, ²¹²Bi, ²⁰⁸Tl)である。

屋外大気中のラドン・トロン濃度は、地質や土壌、地形、地表面状態、気象条件や気候に大きく依存する。また、同じ場所で、1日のうちで数倍の変化があることもまれではない³⁰⁾。ラドンは発生源の地表から数百mの高度まではあまり変化がないが、トロンは半減期が54.6秒と短いので、発生源から少し離れるだけで大きく変化する³⁰⁾。

ラドン・トロンは屋内にも存在し、その濃度は、ラドンで平均的には屋外よりも数倍高く、トロンではデータが少なく確定的に言えないが、少なくとも数倍から十倍以上はある³¹⁾。屋内濃度が高いのは、ラドン・トロンが建物の地下から建屋内に侵入してくるのが主原因であるが、ほかに建材等からの発生もある。また、室内濃度は建屋の扉・窓の開閉や換気状態によって大きく変わる³²⁾。人の生活実態には相当な違いがあるが、屋内の所在時間は屋外の4倍程（後述の所在係数は、屋内0.8、屋外0.2）と、大略見積られる³²⁾。したがって、濃度と所在時間の両方から、線量に主に効くのは屋内生活である。

線量算定には、次の式(4)を使用した。

$$E = QFTK$$

ここで、 E は1年の実効線量 (mSv/y)、 Q はラドン又はトロンの濃度 (Bq/m^3)、 F はラドン又はトロンの平衡係数 (-)、 T はその場所における所在時間 (h)、すなわち、所在係数に年間の時間 (8,760 h) を乗じた値、 K は線量換算係数 (mSv/h)/(Bq/m^3) である。

屋内ラドン濃度は、(独)放射線医学総合研究所と(財)日本分析センターの合同による全国調査³³⁾がある(図6参照)。ここでは、参考文献から算術平均濃度 $15.5 Bq/m^3$ とした。屋外濃度は参考文献から $5.4 Bq/m^3$ ³⁴⁾ とした。トロン濃度に関しては、全国調査はなく、研究機関等によって個別の値が散発的に報告されている状況である。その中から代表的な値として、屋内濃度 $29.6 Bq/m^3$ ³¹⁾、屋外濃度は参考文献から $3 Bq/m^3$ ³⁰⁾ としたが、濃度は大きくばらついている。

空気中のラドン・トロンとそれらの子孫核種は、呼吸により体内に取り込まれ、主に呼吸気道に影響を与える。ここで注意することは、ラドンとトロンはガスであることから、肺に溜まることはなく呼吸とともに排出されるので、ごく一定量しか存在しない。さらに、そのうちの

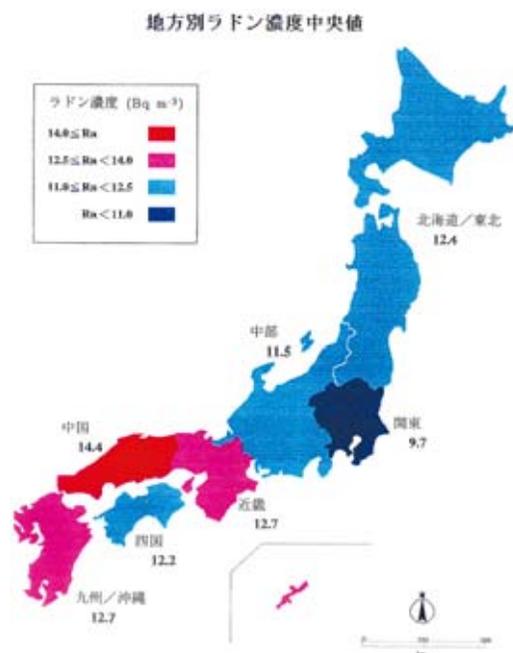


図6 全国屋内ラドン濃度

一部は体内に取り込まれるが、極めて微量である。一方、子孫核種は金属原子の核種であることから、吸入された子孫核種の大部分が呼吸気道に付着し、そこで α 線を出す。したがって、概略的な計算で線量割合を見積ると、ラドンの寄与を1とすると子孫核種の寄与はその約40倍となる。実際には、それぞれの核種濃度に依存するが、総じてラドン・トロンによる被ばくとは、それらの子孫核種による被ばくのことである。したがって、線量評価では、ラドン・トロン濃度とそれらの子孫核種濃度を関係付けた平衡係数を用いることによって、ラドン・トロン濃度をそれらの子孫核種濃度に変換することができる。平衡係数は、室内の空間的広さと換気状況により大きく変わるが、我が国での一般家屋での実測値 $0.2 \sim 0.8$ ³⁴⁾ を参考にして、ラドンの場合 0.5 とした。トロンの平衡係数は 0.013 ³⁵⁾ とした。

所在時間は、年間時間に所在係数を乗じて、屋内 7,008 時間、屋外 1,752 時間である。

表 2 濃度、平衡ファクタ、線量の変動幅

要素	平均値	変動幅
屋内 Rn 濃度	15.5	2~39
屋外 Rn 濃度	5.4	3.3~7.5
平衡ファクタ	0.5	0.2~0.8
線量	0.53	0.11~1.3

濃度：単位は [Bq/m³]、変動幅は 1σ、
 平衡ファクタ：単位 [-]、
 変動幅は最大と最小線量：単位は [mSv/y]、
 変動幅は屋内濃度のみ

線量換算係数は UNSCEAR 報告書を参考に
 して、ラドンは 9×10^{-6} (mSv/h)/(Bq/m³)、
 トロンは 40×10^{-6} (mSv/h)/(Bq/m³)³²⁾ を採用した。

以上から、屋内外を合せた平均的な 1 年間の
 実効線量は、ラドン（ラドン子孫核種）が 0.53
 mSv で、トロン（トロン子孫核種）が 0.11
 mSv であるから、両者を合計した実効線量は、
 0.64 mSv となる。表 2 にラドンの濃度、平衡
 ファクタ、線量について、平均値と変動幅を示
 した。これは大きめの評価である。

実際には、ラドン濃度は一様でない。屋内で
 もオフィスや公共施設等は住宅よりも濃度が高
 めである。地下街も濃度が高い。鍾乳洞のよう
 な地下トンネルは、地上の数～数百倍に上
 る³⁰⁾。温泉やその地域での被ばく量は、多くて
 も通常の屋内の数倍程度である³⁶⁾。（下 道國）

おわりに

東北地方太平洋沖地震とそれに伴う大津波に
 より、東京電力(株)福島第一原子力発電所の 4
 基の原子炉に重大な損壊が発生し、大量の放射
 性物質の漏洩を伴う大きな災害が発生した。こ
 の事故により放出された放射性物質が環境に与
 えた影響は、大変大きく広範囲に及んだ。放射
 性雲の大半は、この時期に卓越している西寄り
 の風により太平洋上に流れたが、一部は南東及
 び北東の風により東北及び関東地方に流れ、放
 射性物質の多くは降雨により地上に沈着した。

事故直後には、放射性雲の移動方向で空間線
 量率が上がり、放射性物質の降下により、空間
 線量率が定常的に上昇するとともに、水道水か
 ら¹³¹I が検出され、続いて農産物、海産物への
 汚染も報告された。事故直後から、環境への影
 響がどのくらいあるかという実態把握のための
 調査が行われ、現在も文部科学省、環境省、農
 林水産省、厚生労働省、各自治体、各種の事業
 体等により、福島県をはじめとした広い範囲
 で、空間線量率の測定、沈着放射能濃度と核種
 の同定、農産物や海産物のモニタリングが実施
 されている。

この事故による線量を正しく評価するため
 には、バックグラウンドによる線量が正確に評価
 されていなければならない。バックグラウンド
 には、自然放射線のほかに、アメリカ・旧ソ
 ビエト連邦・イギリス・フランス・中国など
 により過去に行われた大気圏内核爆発実験に由来
 する人工放射性物質、及びチェルノブイリ事故
 の残渣が含まれる。

本稿では、バックグラウンドのうち、核実験
 や事故に伴う放射線を除外し、自然放射線及び
 自然放射性物質を対象として、それに由来する
 実効線量を、最新のデータに基づいて述べてい
 る。今回算定した線量では、従来採用されてき
 た値の中で、特に内部被ばくによる実効線量が
 大きく変わっている。福島第一原発事故に由来
 する放射線による線量を評価する際に、これら
 は極めて有用な知見である。

参考文献

・宇宙線による線量

- 1) 富田二三彦, 月刊地球, pp.140-148, 海洋科学出版, 東京 (1998)
- 2) 総理府統計局, 平成 5 年 10 月 1 日現在推計人口, 東京 (1994)
- 3) Fujitaka, M., Takada, M. and Uchihori, Y., 11th International Congress of Natural Radiation Environment-11, CD 版, Madrid, May (2004)
- 4) 藤高和信, 放射能と放射線, p.14, 誠文堂新光社 (2011)

- ・大地及び大気からの γ 線量
- 5) 今井 登, 日本の自然放射線量, 日本地質学会, <http://www.geosociety.jp/hazard/content0058.html>
 - 6) 湊 進, 地学雑誌, **115**, 87-95 (2006)
 - 7) 森内 茂, 堤 正博, 斎藤公明, 保健物理, **25**, 121-128 (1990)
 - 8) 輪嶋隆博, 細川陽一郎, 他, *RADIOISOTOPES*, **46**, 291-297 (1997)
 - 9) 山下順助, 度会二郎, 久松俊一, *RADIOISOTOPES*, **50**, 435-441 (2001)
 - 10) 佐藤健一, 佐藤信俊, 他, 宮城県原子力センター年報, **6**, 13-16 (1987)
 - 11) 海と陸の地球科学図, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, <http://www.gsj.jp/database/geochemmap/data/data.htm>
 - 12) 田島義徳, 猩々伸博, 他, 鹿児島県環境センター所報, **14**, 54-63 (1998)
 - 13) 古川雅英, 床次眞司, 保健物理, **36**, 195-206 (2001)
 - 14) 古川雅英, 赤田尚文, 床次眞司, *RADIOISOTOPES*, **54**, 213-224 (2005)
 - 15) Beck, H.L., *J. Geophys. Res.*, **79**, 2215-2221 (1974)
 - 16) Oikawa, S., Kanno, N., *et al.*, *J. Environ. Radioactivity*, **65**, 203-213 (2003)
- ・飲食物からの線量
- 17) 放射線の線源と影響, UNSCEAR 2008 年報告書, 独立行政法人放射線医学総合研究所, 2011 年 9 月 30 日発行
 - 18) Ota, T., Sanada, T., *et al.*, *Jpn. J. Health. Phys.*, **44**, 80-88 (2009)
 - 19) 真田哲也, 原子力誌, **53**, 11 (2011)
 - 20) 農林水産省, 農林水産省ホームページ, http://www.maff.go.jp/j/syouan/tikusui/gyokai/g_kenko/tokucyo/index.html, 閲覧 2012 年 8 月 6 日
 - 21) Shiraishi, K., Tagami, K., *et al.*, *Health Phys.*, **78**, 28-36 (2000)
 - 22) 生活環境放射線 (国民線量の算定), 財団法人原子力安全研究協会 (平成 4 年 8 月)
 - 23) 新版 生活環境放射線 (国民線量の算定), 公益財団法人原子力安全研究協会 (平成 23 年 12 月)
 - 24) Yamamoto, M., Sakaguchi, A., *et al.*, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **279**(1), 93-103 (2009)
 - 25) Momoshima, N., Nakao, H. and Sugihara, S., *Radiochem. Acta*, **100**, 45-49 (2012)
 - 26) Yamamoto, M., Abe, T., *et al.*, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **178**(1), 81-90 (1994)
 - 27) Sugiyama, H., Terada, H., *et al.*, *J. Toxicol. Sci.*, **34**(4), 417-425 (2009)
 - 28) Shiraishi, K., Kimura, S., *et al.*, *Health Phys.*, **86**, 365-373 (2004)
- ・ラドン・トロンの吸入による線量
- 29) M. アイゼンバッド, 「環境放射能」阪上正信監訳, pp.123-162, 産業図書 (1979)
 - 30) 下 道国, 池辺幸正, 保健物理, **14**, 251-259 (1979)
 - 31) 米原英典, 馬 吉増, 青山 喬, 「トロンとその娘核種の性状と挙動に関する専門委員会報告書」, 京都大学原子炉実験所, p.75 (1995)
 - 32) UNACEAR Report (1993)
 - 33) Sanada, T., Fujimoto, K., *et al.*, *J. Environ. Radioactivity*, **45**, 129-137 (1999)
 - 34) 日本保健物理学会, 「ラドンの人体への影響評価専門研究委員会報告書」p.60, (1998)
 - 35) Quo, Q., Iida, T., *et al.*, *J. Nucl. Sci. Tech.*, **32**, 794-803 (1995)
 - 36) 下 道國, 小柳津東, 他, 温泉科学, **55**(4), 177-187 (2006)

(*1 元 藤田保健衛生大学,

*2 日本分析センター,

*3 元 放射線医学総合研究所,

*4 放射線地学研究所)