



“水”あれこれ・・・(4)

長尾 博之

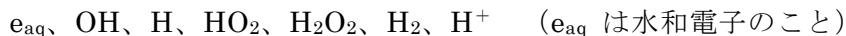
本年3月11日の東日本大震災から早や7ヶ月が経過し、その間、急ピッチで復旧作業が進められてきているとはいえ、被災者にとって満足のいく状態まで回復したとは未だ全く言えない。まして、大津波の影響で、原子力発電所の冷却水喪失などによる炉心冷却効果の喪失などから発生した水素ガスによる大爆発が生じ、放射性のヨウ素-131 (^{131}I) や セシウム-137 (^{137}Cs) が環境に放出されるという、我国の原子力発電にとっては痛恨の事態となった。

この事態に遭遇して、筆者が最も強く、且つ情けなく感じたのは、マスコミの態度である。報道の仕方である。今回の大震災では、15,000人弱の死者のみならず、5,000人前後の行方不明者が出たとされている。既に7ヶ月も経っていることを考えると、なんと合計2万人前後の死者が出たと考えるべきであろう。かたや福島原発の水素爆発の結果としては、一人の死者も出ていない。にも拘らず、大震災の一週間後位からは、毎日、原発のことばかりを報道して、大津波による死者や物的損害については誠にお粗末な報道しかなされなかった。原発に関する報道も、その殆どが放射線被曝に関する間違っただけの報道で、真に情けない限りである。

このような状況の中で、一つ救いが感じられるのは、義務教育の中で放射線が取り上げられるようになったことであろうか。ただそれとて、ただ単語の解説に終わる程度のもので、放射線や放射性物質の地球的起源や宇宙的起源にまで遡れるのは一体何時のことになるのだろうか。そこで本稿では、放射線や放射性物質が如何に我々の生活に密着した存在であるかについて、2, 3の例を挙げながら考えていきたいと思う。

1) はじめに

本稿の主題である“水”と放射線との間に何らかの関係があるのであろうか。実は大ありなのである。人間の身体は体重の約70%位が水でできている。従って放射線に被曝するとは、放射線が人体の中の水に当たるということと同義である。決して細胞膜が破壊されるとか遺伝子の鎖が切れるとかいうことではない。では放射線が人体内の水に当たるとどうなるか。水が放射線分解して、 10^{-6} 秒以内に、次の7種の化学種が水の放射線分解生成物として、水の中に生成する。



の7種である。

常時、放射線に曝されている人体の体液中にも、これらの化学種が生成し、時間の経過と共に、まわりのイオン種や有機物質と反応して消滅していく。ところでこれらの中で「OH (ヒドロキシルラジカル)」と「 H_2O_2 (過酸化水素)」は、共に強力な酸化剤で、人体への悪影響を心配される向きもあるかと思うが、何のことはない、これらは一時話題となったいわゆる“活性酸素”そのものであることにお気づきであろうか。これらは、放射線が無くても、空気(または酸素)を吸っただけで、体内に出来てしまうものである。出来てからは、生命活動に必要な酵素反応を促進するとか、細胞内での情報伝達のメッセンジャーになるとか、細菌などの外敵をやっつけるとか、極めて重要な働き手となる。ただし、過ぎたるは及ばざるが如しで、人体が必要とする以上に活性酸素が生成した場合、毒性物質になってしまう。マスコミはこれに定量性を与えずに、ただ騒ぎ立てるだけのように見えるのが困ったところである。

たしかに我々は“大量”の放射線被ばくが人体にとって極めて有害であることを経験的に良く知っている。しかし“毒にならない薬はない”の譬えの通り、人類にとって必要不可欠な太陽光線にしても、多量に浴びれば日射病をひきおこし、場合によっては皮膚がんの原因ともなると言われている。放射線の場合も同じであると考えてるのが先ずは自然の発

想ではなかろうか。今や我々は自然の放射線について豊富なデータを持っているし、さらに蓄積しつつある。つまり、微量の放射性物質や放射線は極めて自然のものであり、人類はその発生以来、常に放射線との共存下で進化してきたという認識が定着しつつある。この認識からすると、冒頭の発想はどこかおかしいと言えそうである。ようやく20年ほど前になって、冒頭の考えは“常識”ではなく“迷信”であったと主張する学者が現れた。米国ミズーリ大学の生化学の教授であった T.D. ラッキー氏である。氏はこれまで世界中で行われてきた膨大な量の実験研究の結果を整理して得た結論として、自然放射線による被ばく量の少なくとも2桁程度大きな被ばくまでは、人体にとって有害どころか極めて有益である、即ち、発がんも抑制すれば寿命も伸びると主張したのである。以後、この効果は“放射線ホルミシス”と名付けられ、わが国も含め世界中で追試実験やメカニズムの解明研究が行われるようになった。ここでは、先ず、低レベル放射線被ばくの原因の代表ともいえる自然の放射線あるいは放射性物質とはそもそも何者で、どこから来たのか、という点について、その生成の起源にまで遡ってみたい。自然放射線の誕生の物語は、宇宙創成の壮大なドラマそのものである。次いで、上記ラッキー氏のレポートの内容について解説すると共に、放射線ホルミシスに関するその後の研究動向や世の中の動きについて紹介する。

2. 自然放射線の起源

2.1 “初めに光ありき”

以下に述べる地球誕生までのシナリオは、地球物理学の大家である東大の竹内均、松井孝典の両氏の著書^{1,2)}から拝借したものであることを予めお断りしておきたい。宇宙はある瞬間、火の玉として誕生した。いわゆるビッグ・バンである。これは今からおおよそ150億年前と考えられている。その瞬間から宇宙は膨脹しつつ冷えはじめ、時間が流れ始めた。この頃の光のエネルギーは物質のエネルギーの約2千万倍もあった。旧約聖書流に言えば、まさに“初めに光ありき”と言うわけである。時の経過、温度の低下に伴い、エネルギーは次第に物質へと転化しはじめる。その結果、宇宙は水素とヘリウムの裸の原子核と自由な電子で満たされた、いわゆるプラズマ状態になった。この状態では、光さえ真っすぐには進めず、従って宇宙は不透明であった。それから数十万年たって、宇宙の温度が1万度以下になった頃から、自由な電子がなくなり、宇宙は中性の水素とヘリウムの原子で満たされ始めた。宇宙は透明に晴れ上がり始めたわけである。宇宙がさらに拡大し、温度が低下し、水素とヘリウムの空間分布にむらが生じると、これらが集って銀河や星をつくるのが可能になった。銀河系の大きさの質量の集りができたのは、ビッグ・バンから約1億年後である。その中でさらにむらが生じ星が生まれた。それらの星の内部では水素が核燃焼(核融合)し、その寿命の終りに近づくと、水素の燃えかすといってよいヘリウムが中心部にたまっていく。やがてこれも反応して炭素、酸素その他の鉄までのさらに重い元素がつくられた。これらの星の寿命は、太陽よりも重い場合にはたかだか数千万年であり、その一生の終りには超新星となって爆発する。この爆発の火の玉の中では、鉄からウランにいたるすべての重い元素がつくられ、それまでに星の内部でつくられていた水素から鉄にいたる元素とともにまわりの空間に放出された。わが太陽系のもととなった元素の集合ができ、原始太陽がつくられたのは今から50億年前、つまりビッグ・バンから百億年もたってからであるので、この頃の宇宙はすでに太陽系にみられる元素存在度の元素で満ちあふれていたわけである。これらの元素は、大部分が水素で占められるガスと岩石質のちりの塊として空間に漂っていた。このちりの塊はすでに相当量の水や炭酸ガスなどの揮発性ガスを含んでいただけでなく、微量の有機物質まで含んでいたことが知られている。ウランにいたる不揮発性の重い元素が含まれていたことは言うまでもない。このちりの塊が集って微惑星がつくられ、微惑星同志の衝突の結果として地球が生れたのは、これよりさらに5億年後の、今から45億年前(46億年前とも言われる)である。地球誕生当初の地球内外

部での劇的な元素の再配分の過程や、太陽系では地球独特の海や大気の生成のメカニズムについては紙面の都合で割愛するが、放射能的には、太陽系誕生以前につくられた放射性同位元素のうち、大部分の比較的寿命の短いものは、地球誕生時には既に崩壊して無くなってしまっており、残された極めて長寿命のもの、つまり半減期（放射能が1/2に減衰するに要する時間）が少なくとも億年オーダー以上のもののみが地球誕生に関与し、現在に至っていることになる。その後の地球内部の温度・圧力条件下では、核融合反応によって新元素がつくられることは無いからである。これらの地球誕生に関与した長寿命の放射性同位元素は地球にとって極めて重要な働きをしている。つまり、これらが放射線をだして娘の同位元素に変化する際に放出する熱（崩壊熱）が地球内部の温度を保つ熱源となっている、言い換えれば、地球が“生きている”ことの原因力となっているからである。この様に、宇宙の創造に伴って作り出され、現在も地球に存在する長寿命の放射性同位元素の種類は、実はそんなに多くはない。代表的なものは、ウラン、トリウム、カリウム (^{40}K) であり、ウランとトリウムを除いたほぼすべてを表1に示した³⁾。表中の“同位体存在比”とは、天然の元素の中に含まれるその同位体の占める重量割合を表すもので、例えば、高価な白金 (Pt) の指輪を買えば、その中には ^{190}Pt という放射性白金が、常に0.013%含まれていると言うことである。また、半減期の項をみると、最も寿命の短い ^{40}K にしても、その半減期はおよそ13億年である。つまり、10億年たってもその量は半分にもならないわけである。一方、人類の原形が地球上に出現したのはほんの数百万年前のことであり、現代人に通じる新人が現れたのはおよそ4万年前のことにしかすぎない。要するに、これらの宇宙起源の放射性元素は人類の大先輩であるだけでなく、人類の発生以来、現在を通して、更に遠い未来に至るまで我々が地球という惑星の、もっとも不変の環境条件を形成しているといえる。

表1 壊変系列を構成しない一次天然放射性核種

元素	核種	同位体存在比 [%]	半減期 [億年]
カリウム	^{40}K	0.0117	12.8
ルビジウム	^{87}Rb	27.83	472
インジウム	^{115}In	95.7	5,100,000
テルル	^{123}Te	0.89	120,000
ランタン	^{138}La	0.089	1,120
セリウム	^{142}Ce	11.1	50,000,000
ネオジム	^{144}Nd	23.8	21,000,000
サマリウム	^{147}Sm	15.1	1,060
ガドリニウム	^{152}Gd	0.20	1,080,000
ルテシウム	^{176}Lu	2.61	379
ハフニウム	^{174}Hf	0.16	20,000,000
レニウム	^{187}Re	62.60	430
白金	^{190}Pt	0.013	6,900
その他	(^{48}Ca , ^{50}V , ^{82}Se , ^{100}Mo , ^{113}Cd , ^{128}Te , ^{130}Te , ^{148}Sm , ^{186}Os , など)		

2.2 ウラン、トリウムは子沢山

地球上の天然の放射性元素は、表1に示されたものにウランとトリウムを加えたものだけかと言うとそうではない。例えば、かつては自然放射能の代表の座をほしいままにしていたラジウム (Ra) の姿が見当たらない。実は、宇宙起源のウランとトリウムは、地球に落ちてから営々として多くの種類の放射性元素を産みだし続けているのである。例えば、現在我々が天然のウランと言っている元素は、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U の3種のウラン同位元素の混合物であるが、このうち宇宙起源のものは ^{235}U と ^{238}U の2つであり、残りの ^{234}U は ^{238}U の曾孫にあたる放射

性元素である。放射性であるかぎり、 ^{234}U 自体も崩壊して、 ^{230}Th 、 ^{226}Ra ...と次々と娘をつくり出していき、 ^{235}U も同様に一連の娘の放射性同位元素をつくりだす。またトリウムは 100 %が放射性の ^{232}Th からなり、これも同様に一連の子孫をつくり出している。このように次々と子孫の放射性同位元素をつくり出すものは、天然には ^{238}U 、 ^{235}U 、 ^{232}Th の 3 つだけであり、これらの子孫の一連の元素群のことを、夫々、ウラン系列、アクチニウム系列、トリウム系列と呼んでいる。これらの系列中の同位元素は、みな半減期が比較的短いので、すぐに無くなってしまいそうなものであるが、親の ^{238}U 、 ^{235}U 、 ^{232}Th が存在する限り、無くなる後から新しく作り出されるので、われわれにとっては常に一定の濃度として存在する“自然の放射性同位元素”（放射平衡という）として認識される。天然のラジウムや、最近とみに話題とされるラドンガスも、すべて上記の宇宙起源の 3 種の同位元素の崩壊生成物であり、由緒正しき家柄の出というわけである。

2.3 宇宙線も創造主

上記以外の自然放射能として、トリチウム（三重水素、 ^3H ）と炭素 14 (^{14}C) の名前には最近よくお目にかかる。これら両元素の半減期は、夫々、12.3 年および 5,700 年と比較的短いので、宇宙起源であるはずがない。それにも拘らず、水や炭酸ガスや有機物の構成元素として身近に豊富に存在する。実は、これらは宇宙線の働きによって、地球の上空で間断なくつくられ続けているのである。宇宙線は電荷を持った高エネルギーの粒子の流れで、宇宙空間のどこからか地球めがけて絶え間なく降り注いでいる放射線の一種である。この宇宙線が地球に到達すると、そのあるものは大気中の酸素や窒素などの原子核と衝突し、それらを破壊して中性子をつくり出す。この中性子が周囲の窒素原子の核に吸収されて、ある時は ^3H を放出して ^{12}C を作り出し、またある時はプロトンを放出して ^{14}C を生成する。 ^3H や ^{14}C はこのようにして常時作り出されているために、これらの環境濃度が短半減期にも拘らず一定に保たれているわけである。（厳密に言えば、死亡した動植物や大気に触れにくい岩石中の ^{14}C は、その半減期に従って放射能が減衰していく。これが年代測定の手段として使われているのは良く知られているとおりである。）宇宙線はこれら 2 つの同位元素以外にも ^7Be 、 ^{22}Na 、 ^{32}Si 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{36}Cl 、 ^{39}Cl 、などの様々な放射性同位元素をつくり出しながら、自然の代表的放射線の一つとして地上に絶え間なく降り注いでいる。

表 2 日本各地の自然放射線の強さ
(ミリレントゲン/年)

2.4 自然放射線と生活との関わり

我々の生活環境として、空気や水や太陽からの光があるように放射線も存在する。前節で述べたように、これらの中では放射線が一番の先輩格である。前節ではこの自然放射線の起源について一通り眺めてみたので、本節では少し具体的に、どの様な放射線あるいはその発生源である放射性物質（以下、放射能と記すこともある）が、我々の生活に密接に関わっているかについて、我々をとりまく環境の側から眺めてみたい。

1) 大地から。 我々の生活の基盤である

自然放射線の強い 5 地域		
① 福井県敦賀市明神町	170	(140)
② 福井県美浜町奥浦	166	(136)
③ 福井県敦賀市(市街地)	148	(118)
④ 岐阜県中津川市	143	(113)
⑤ 群馬県片品村	139	(109)
自然放射線の弱い 5 地域		
① 青森県十和田市	34	(4)
② 神奈川県箱根町	34	(4)
③ 神奈川県秦野市	39	(9)
④ 青森県名川町	39	(9)
⑤ 東京都東村山市	41	(11)
<注> () 内は大地からの自然放射線		

大地を構成する岩石や土壌には、比較的多量のカリウムが含まれている。この天然のカリウム (K) は³⁹K、⁴⁰K、⁴¹Kという3つのカリウムの同位元素が混合したもので、このうちの⁴⁰Kが、前節で述べた宇宙起源の放射性同位元素の代表的なものである。この⁴⁰Kは、表1からも分かるように天然のカリウムの中に重量比にして0.012%も含まれており、この値は地球上のどこからカリウムを採ってきても変わらない。⁴⁰Kの放射能としての特徴は、極めて高いエネルギーのベータ線やガンマ線を出すことである。物質を透過する力の強いガンマ線で比較すると、人工放射能として最近良く知られるようになったセシウム137 (¹³⁷Cs) やコバルト60 (⁶⁰Co) よりも高いエネルギーのガンマ線を出す。従って、地中には多種の自然放射能が含まれているにもかかわらず、地上で我々が受ける自然放射線被ばく量のうち、地中起源のもののかかなりの部分は⁴⁰Kから来る。

実際に、大地からくる放射線はこの⁴⁰Kとウランおよびトリウムの一連の娘の放射性同位元素群から来るもので占められる。これらは地上に広く分布しているが、その分布のしかたは必ずしも一様ではない。例えば、日本のように決して広いとはいえない国土面積の中だけでも、大地のガンマ線レベルには大きな地域差がみられる。平均して、関東地方は低く、近畿・中国地方は高い。近畿・中国地方が高い理由は、この地方の大地が花崗岩でできているためである。この岩石には自然放射能が比較的高い濃度で含まれている。一方、関東地方は、火山灰が岩石層を厚く覆っており、この火山灰中の自然放射能濃度が低いために、放射線レベルが低くなっているわけである。低い関東地方でも、場所によってかなりの差がある。変わった例として、東京は銀座通りの歩道上のガンマ線レベルは高いと言われている。歩道の敷石が花崗岩でできているからである。この反対に、アスファルト舗装の車道上は低いこととなる。国立放射線医学総合研究所の阿部史朗氏らのグループが1967年から11年をかけて日本各地の1,115地点について自然放射線レベルを測定した結果が報告されている。その中から、最も自然放射線の強い5地域と弱い5地域の放射線レベルを表2に示した⁴⁾。表中の括弧の中の値は、その地域の自然放射線レベルから宇宙線による寄与分 (30ミリレントゲン/年) を差し引いたもので、大地からの寄与分のみを示している。日本の中だけでも大地からの放射線は強い地域と弱い地域とで30倍以上もの違いがある事が分かる。

話を⁴⁰Kにもどしたい。カリウムは人間の生命活動にとって必須な元素の一つである。人間は大地から植物その他を経由してカリウムを摂取し、その体内濃度を常に約0.2%に保つようにしている。例えば、体重60 Kgの人は120 gのカリウムを持ち、前述の同位体存在比を使って計算すると、そのうちの約141 ng が⁴⁰Kという事となる。つまり、人間も微量とはいえ放射線を出している存在ということになる。勿論、自分自身をも常に自らの放射線で照射しているわけである。カリウムと同じように体内調節機構が働いて体内の濃度が一定に保たれている元素にルビジウム (Rb) がある。この元素は⁸⁵Rbと⁸⁷Rbの二つの同位元素の混合物であるが、このうち⁸⁷Rbは表1にあるように宇宙起源の放射性同位元素で、天然のルビジウム元素のなんと27.8%をも占めている。ルビジウムは人体内に常に0.3 g存在するのでその放射エネルギーは馬鹿にならない。大体カリウムの1/8程度となる。

2) 水環境から。 我々の生活環境の中で、もう一つ重要なものに水環境がある。海水にはじまって雨水、湧水、河川や沼湖の水、さらには水道水などである。これらの水の中にも多くの自然放射能が含まれている。特に海水は地球を構成する殆どすべての元素を溶かし込んでいるので、あらゆる種類の自然の放射性同位元素を含んでいることになる。例えば、ウランにしても、これを海水から採取しようとする試みがなされるほど含まれている。面白いことには、このように多くの放射性物質を溶かし込んでいる母体である水そのものが放射性であると言うことはあまり認識されていない。水分子が水素と酸素からできていることは誰でも知っているが、このうちの水素が放射性の水素同位元素であるトリチウム (³H)を含んでいるのである。このトリチウムの起源は、前節で述べたとおり、宇宙線によ

って大気中で常時つくりだされているものである。これに触れた地表水を飲んでる生物の体内の水は、生きてる限り一定濃度のトリチウムを持っていることになる。ちなみに、炭酸ガス (CO₂) もトリチウムと同様に大気中で常時生成する放射性の炭素14 (¹⁴C) を一定濃度で含んでいる。炭酸ガスは炭素同化作用によって植物に取り入れられ、植物を構成する有機物の骨格元素として固定される。従って、植物を食べる動物の体の中の脂肪や蛋白質などすべての有機物質中の炭素は、微量とはいえ一定濃度の¹⁴Cを含んでいる。

3) 大気から. 近年、自然放射線による被ばくの中で最も大きな割合を占めるのは、放射性のラドン (Rn) ガスの吸入によるものとされている。ラドンガスの本体は、ウラン系列の中間で生成する²²²Rnとトリウム系列の中間に生成する²²⁰Rnの混合物であるが、²²⁰Rnは半減期が55.6秒と短く、すぐに減衰してしまうため、被ばくに対する寄与の殆どは²²²Rnによると考えられる。地表近くの土壌や岩石の中で生成する²²²Rnは希ガスの一種であるため、周囲の物質と何等反応することなく微細な隙間を通過して地表に出てくる。地表に出た後は上空に向かって拡散し、そのうち消滅してしまうのであるが (半減期は3.824日)、地表に建物があると床下に溜まるとともに床の隙間を通過して部屋の中に侵入する。日本の木造家屋のように風通しのよい住居の場合には、屋内に²²²Rnガスが滞留することは少ないが、欧米のようにコンタリートや石造りの住居の場合、気密性が良いため屋内の濃度が比較的高くなる。特に地下室の濃度は馬鹿にならない。数年前、米国で省エネのため、住居の気密性をさらに高くするとともに窓の開閉を極力少なくすることが流行ったが、その結果、室内の²²²Rn濃度が有意に高くなり問題になったことがある。

逆に、ラドンガスは健康に良いとして積極的に利用している例が、原安協常任理事の市川龍資氏によって報告されている⁵⁾。オーストリアのバートガシュタインを中心とする地域は極めて高濃度のラドンガスが地中より出てくるため、これを利用した有名な保養地となっている。大きなホテルにはラドン温泉浴室があり、近郊には大型プールほどの屋内または屋外のラドン浴場がある。これがいわゆる“クアハウス”であり、このほか町内の各所にラドン吸入施設が設けられているそうである。特筆すべきは、近郊のベックシュタイン山の中腹に掘られたトンネル式のクアハウス (Kurhaus Heilstollen / 横穴式治療施設) で、トンネル内のラドン放射能濃度は約3,000 pCi/l (110 Bq/l)もあるそうである。日本の家屋内の濃度は0.5 pCi/l (0.002 Bq/l) のレベルであるので、これと比較していかに高いかが分かる。このトンネル内に置かれたベッドに2時間ほど寝ているだけということをして10回繰り返すのが現地での通常の療養法だそうであるが、市川氏によればこれだけで約10レムの被ばくになるという。わが国のラジウム温泉における被ばくとは比較にならない大きさである。

4) 天空から. 地球上の何処にいても宇宙線による被ばくを逃れるこ

表3 自然放射線源からの平均年実効線量当量/人の推定値

とはできない。宇宙線の強度は地上2万メートルぐらいまでは上空にいくほど大きくなる。ジェット機で高空を飛ばば被ばくが多くなると言われる所以である。以上をまとめて、自分自身を含めた生活環境から受ける自然放射線による被ばく線量は、表3に示したとおり年間 約2.4ミリシーベルト(mSv)、昔の単位で言えば、240ミリレムとなる⁶⁾。この値は、UNSCEAR (原子放射線の影響に関

放射線源	年実効線量当量 (mSv)		
	体外被ばく	体内被ばく	合計
宇宙線			
電離性成分	0.30	----	0.30
中性子成分	0.055	----	0.055
宇宙線生成核種	----	0.015	
原始放射性核種			
⁴⁰ K	0.15	0.18	0.33
⁸⁷ Rb	----	0.006	0.006
²³⁸ U 系列	0.1	1.24	1.34
²³² Th 系列	0.16	0.18	0.34
合計	0.8	1.6	2.4

する国連科学委員会)の1988年報告書に記載された評価値で、現時点では最も権威ある値といえる。なお、この評価値は北半球中緯度地帯の代表値ということであるので、わが国の自然放射線による線量もこの値に非常に近いといえる(実際には1.5 mSv)。ちなみに表中のウラン系列の放射能による体内被ばくが1.24 mSvと他に比べて格段に大きい、この数値の大部分(1.1 mSv)は上述の ^{222}Rn によるものである。ウラン系列の放射能による体内被ばくが1.24mSvと他に比べて格段に大きい、この数値の大部分(mSv)は上述の ^{222}Rn によるものである。

以上、縷々述べてきたように、地球誕生以来、45億年という気の遠くなるような時の流れの間に、地上の放射線が跡絶えたことは一瞬としてなく、その量も人類発生以降の数百万年の間では殆ど変化していない。人類はこの様な環境で発生し、間断ない放射線の照射を受けつつ、また、放射性同位元素の一部をその体内に取り入れることすらしながら進化してきた。こう考えてくると、直感的にも低レベルの放射線まで有害であるとはとても言えないのではなかろうか。

多くの住民を、その必要もないのに避難させるなど、いつもながらの反対派と乳幼児を抱えた母親群のヒステリーぶりにはあきれ返るばかりである。

(この稿、次号に続く)

参考文献

- 1) 竹内 均「惑星の科学」NHKブックス494 昭和62年 日本放送出版協会
- 2) 松井孝典「水惑星はなぜ生まれたか - 宇宙論的地球観とは何か」ブルーバックス B689 昭和61年 講談社
- 3) 日本アイソトープ協会編「アイソトープ便覧」改訂3版、821頁(59年)丸善、他
- 4) 朝日新聞 昭和56年2月23日 朝刊
- 5) 市川龍資 放射線従事者中央登録センターニュース, No.12, p2 (1986)
- 6) 笠井 篤 エネルギーレビュー 1989.9, p48