

ムラサキツユクサが教えてくれた内部被ばくの脅威

茨城大学名誉教授 小林 正典

本報告は、わたしが原発再稼働ストップと廃炉を説明するときのためにまとめたものです。
これから咲き始めるツユクサという花は、つぎの写真のような清楚な花ですが、



内部被ばくのメカニズムを教えてくれたムラサキツユクサはそのツユクサではなく、つぎの写真のような花です。人間が、原爆や原発などによって、自然界には存在しなかった放射性核種を人工的に創り出してしまったことが、生きものには大変な脅威であると教えてくれました。



ヨウ素 131、セシウム 134、セシウム 137、ストロンチウム 90 などの人工放射性核種も、カリウム 40 やラドンなどの自然放射性核種も、生物や人体に対する影響は、それらが放射する放射線が

その種類も含めて同じならば外部被ばくについてはまったく同じであります。内部被ばくという観点からはまったく異なるものであることが、ムラサキツユクサを用いた実験から証明されました。

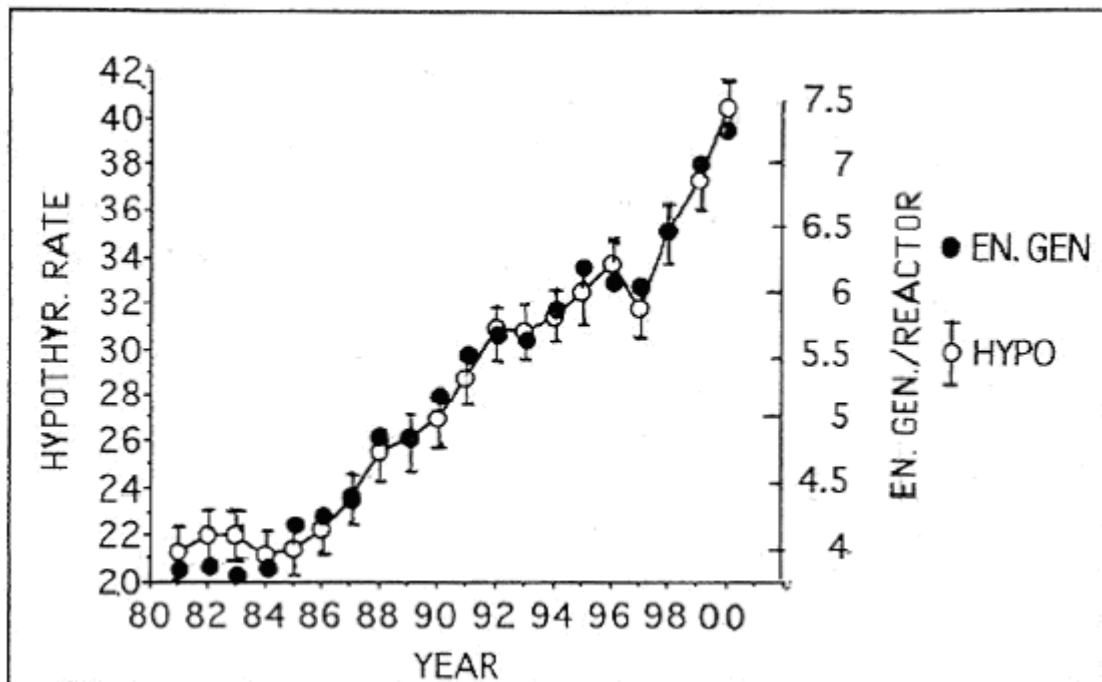
人工放射性核種には、生体内で著しく濃縮され、蓄積や沈着を起こすものが多く、それゆえ大きな内部被ばくをもたらします。それに対して、自然放射性核種は生命誕生から自然界に常に存在していたことから、生物がその被ばくを避けるために、その進化の過程でその体内濃度を一定に保つ機能を獲得し、余分なものはすみやかに排出してしまいます。

さてみなさん、原発の敷地内に煙突のような、高い排気塔が存在するのを不思議に思ったことはありませんか。その排気塔からは、原発の稼働に関係なく常時、気体放射性廃棄物が大気に放出されています。その気体放射性廃棄物の中の人工放射性核種は、原発周辺に降下してそこに生きている生きものの中に取り込まれ、濃縮され、蓄積や沈着による内部被ばくを引き起こします。ムラサキツユクサには青色の花のおしべに付いているたくさんの毛がありますが、その細胞の中の遺伝子が被ばくすると突然変異を起こして、その色が青からピンクに変色して、人工放射性核種の存在を教えてくれたのです。その突然変異頻度は、原発が稼働中では多くなり停止中では少なくなり、原発の風下では多くなりそれ以外では少なくなりました。それらの結果は統計的に有意差があることがわかりました。

このような内部被ばくは、ムラサキツユクサだけではありませんでした。アメリカでは、原発の排気塔から放出されている気体放射性廃棄物の低レベル放射能と小児の白血病等との関わりについて、The Radiation and Public Health Project (放射線と公衆健康プロジェクト) がデータを収集しました。琉球大学名誉教授 矢ヶ崎克馬先生が在職時に公表していた「内部被曝についての考察」(www.cadu-jp.org/data/yagasaki-file01.pdf) の中から主なものを紹介してみます。

小児の歯中のストロンチウム 90 含有量は、原子力発電年間稼働率上昇とともに直線的に増加しています。小児の歯の中に蓄積したストロンチウム 90 はベータ線を放射して内部被ばくを引き起こします。小児がんの発がん率と小児の歯中のストロンチウム 90 の含有量は西暦の年に対する変化において、両者の増減は良く一致し、体内に取り込まれたストロンチウム 90 から放射されたベータ線が、小児がんを誘発していることが示されています。自閉症の小児数と原子力発電による発電量との関わりは、自閉症小児数は 2 年ほどの遅れはありますが、発電量に強く依存しています。新生児甲状腺機能低下症(○)と原子力発電による発電量(●)の関わりは、全く1つのカーブで表すことができるほど、完璧な相関があります。つぎの図はそれを示しています(横軸:西暦の年数、縦軸:左が甲状腺機能低下症の割合(○)、右が原子力発電による発電量(●))。原発の排気塔から放出されたヨウ素 131 が体内に取り込まれ濃縮され、そこから放射されたベータ線が甲状腺機能低下症を引き起こしたものの考えられます。

これらのことから、気体放射性廃棄物が体内に取り込まれ濃縮されて、放射された放射線による内部被ばくが深刻な状況であることがわかります。日本ではこのような調査はなされていないように思います。



原発の排気塔から放出されている気体放射性廃棄物の放射能のレベルは極めて小さくて、最大でも年間 0.05 ミリシーベルトであります。法令に定められた一般公衆の線量限度(年間1ミリシーベルト)の20分の1以下であります。しかし、ムラサキツユクサとアメリカの放射線と公衆健康プロジェクトの結果は、この低レベル気体放射性廃棄物が原発周辺のありとあらゆる生きものを内部被ばくという恐怖にさらしているのだ、と教えてくれました。

日本で暮らしている人々はまったくその恐怖を知らずにむしろ知らされずに、暮らしているのではないのでしょうか。これは、最近の原発再稼働の裁判で問題となった人格権侵害に関係します。この事実を知ったいま、それをできるだけ多くの人々にお知らせし、原発再稼働ストップそしてすべての原発廃炉の声を、もっともっと大きくして、政策を転換させる声にしてゆきましょう。

以下では、上述した内部被ばくの研究を分かりやすく説明するための文献として、市川定夫著「新・環境学 現代の科学技術批判 I、II、III」藤原書店、「低線量被ばくの影響と JCO 事故健康被害」講師：市川定夫・埼玉大学名誉教授 講演録 2003.8.25 臨界事故被害者の裁判を支援する会、などを参考としました。

自然放射性核種からの被ばくを避けるために進化過程で獲得した適応

この地球上には、生物が現れる以前から、自然放射性核種が存在していました。その代表的なものがカリウム 40(カリウム 40 の放射能半減期は 12 億 4,800 万年であり、地球誕生時には、現在の16倍近く存在していました。)であります。

私たちは、常に自然放射線を浴びており、その内訳は、宇宙から飛来する宇宙線が年間ほぼ

390 マイクロシーベルト、地殻中(コンクリートなど、地殻中の資源を材料とした建材などを含む)の自然放射性核種からの放射線が年間 480 マイクロシーベルト前後、そして食物などを通じて体内に入った自然放射性核種から受ける分が年間ほぼ 290 マイクロシーベルト、空気中のラドンから年間約 1260 マイクロシーベルトとなり、合計で世界平均年間 2400 マイクロシーベルトとなります。

ただし、地殻からの体外被ばくは、地域の地質によってかなりの差異があります。一方、宇宙線の量は、平地であるかぎりあまり変わらないし、食物を通じての体内被ばくも、食品が広域に流通している現在では、あまり大差がありません。

自然放射線のうち、体内被ばくと、地殻からの体外被ばくは、自然放射性核種からのものでありますが、その大部分がカリウム 40 によるものであります。カリウム 40 は、天然に存在するカリウムのうちの 1 万分の 1 強を占めており、この元素が環境中に多量存在し、生物にとって重要な元素でありますから、カリウム 40 が否応なしに体内に入ってきます。しかし、カリウムの代謝は早く、どんな生物もカリウム濃度をほぼ一定に保つ機能をもっているため、カリウム 40 が体内に蓄積することはありません。

カリウムを早く代謝し、その体内濃度を一定に保つこうした生物の機能は、自然放射性核種カリウム 40 が常に存在していたこの地球上で、生物がその被ばくを避けるために、その進化の過程で獲得してきた適応の結果と考えられます。

カリウム 40 に次ぐ被ばくをもたらしている自然放射性核種は、ラドンの核種であります。ラドンは、いわゆるラジウム温泉が出る地域に多く存在し、こうした温泉に入ると、湯気とともに出てくるラドンが肺内まで入りますが、ラドンが希ガスであるため、体内に取り込まれたり濃縮されたりすることではなく、すぐ肺内から出て行きます。ラドンは、通常の地域でもわずかながら地中から出ており、とくに降雨のあと多く出ます。ラドンの内部被ばくは心配ありません。

市川定夫先生が主張する人工放射性核種と自然放射性核種の生物影響の違い

天然のヨウ素とカルシウムはともに、100%が非放射性であります。生物は、この非放射性のヨウ素に適応して、哺乳動物なら、それを甲状腺に選択的に集めて成長ホルモンをつくるのに活用する性質を獲得しています(成長ホルモンをより多く必要とする若い個体ほど、甲状腺にヨウ素を速く集めます)。また、ヨウ素は、海には豊富に存在しますが、陸上には乏しいため、進化の途上で陸上に生息するようになった植物は、ヨウ素を効率よく高濃縮する性質を獲得しました。つまり、現在の高等植物がヨウ素を空気中から体内に何百万倍にも濃縮したり、哺乳動物がヨウ素を甲状腺に集めるのは、いずれも天然の非放射性ヨウ素に適応した、みごとな能力なのです。

カルシウムは自然界に大量に存在し、生物にとって重要な元素の一つとなっています。天然のカルシウムには放射性のものが存在せず、それゆえ生物は、この元素を積極的に取り込んで、骨、歯、鳥の卵殻、貝殻、エビやカニの甲羅などをつくっています。つまり、カルシウムをこれら組織に蓄積、濃縮しているのです。

ところが、人類が原子力発電によって、放射性ヨウ素をつくり出すと、進化の途上で獲得した、こうした貴重な適応が、たちまち悲しい宿命に一変し、その放射性ヨウ素をどんどん濃縮してしまい、

ついには体内から大きな被ばくを受けてしまいます。

放射能事故などのときにヨウ素剤を被ばく直前に飲みますが、それは体の中にヨウ素を十分に蓄えておき、新たに吸い込むことになりそうな放射性ヨウ素を、蓄積せずにすぐに排出してしまうようにするためであったことがよく理解できます。

ストロンチウムも同じです。この元素の自然界での存在量はわずかでありますが、この元素と化学的性質が同じカルシウム(元素周期律表の同じ縦の列に属する元素は、共通の化学的性質を持ち、同族元素と呼ばれる)が大量に存在し、生物にとって重要な元素の一つとなっています。天然のカルシウムには放射性のものが存在せず、それゆえ生物は、この元素を積極的に取り込んで、骨、歯、鳥の卵殻、貝殻、エビやカニの甲羅などをつくっています。つまり、カルシウムをこれら組織に蓄積、濃縮しています。このカルシウムと化学的性質が同じストロンチウム 90 も、これら組織に沈着し、濃縮されてしまいます。したがって、原子力発電によってストロンチウム 90 を作り出すと、28.8 年という長い放射能半減期をもつこの人工放射性核種がこれら組織に沈着し、濃縮されることになってしまいます。

しかも、ストロンチウム 90 には、さらに3つの深刻な問題があります。その1つは、カルシウムやストロンチウムに対して、これら骨や歯などの組織の代謝が極めて遅いことです。そのため、物理的半減期が長いだけでなく、生物学的半減期も長くなります。第2に、ストロンチウム 90 が放出する放射線がベータ線のみであり、そのため、骨に沈着、濃縮されると、骨髄などその近辺の組織に集中的な被ばくをもたらすこととなります。第3の問題は、この核種が崩壊するとイットリウム 90 という、この核種よりもはるかに強力なベータ線を放出する核種が生まれ、その放射能半減期が短い(2.69日(64.5時間))にもかかわらず、ストロンチウム 90 以上の吸収線量を与えるために、生物学的影響が大きく増幅されることとなります。

ムラサキツユクサの研究

原発の排気塔から放出された極々微量な放射性物質をムラサキツユクサがキャッチしましたが、その研究を分かりやすく説明してみます。そのためには、まず基礎的なことから始めます。

放射線とは、高い運動エネルギーをもって流れる物質粒子(イオン、電子、中性子、陽子、中間子などの粒子放射線)と高エネルギーの電磁波(ガンマ線、X線のことで電磁放射線)を総称しています。放射性物質は放射性崩壊を起こすことで不安定な原子核の構造から安定した原子核の構造に変化しようとしませんが、その際に粒子放射線と電磁放射線(主にアルファ線、ベータ線、ガンマ線)を放出します。放射線は、直接的あるいは間接的に、物質中の原子や分子を電離または励起させます(物質にエネルギーを与えます)。放射線は人体に悪影響を及ぼすことがあり、強度によっては死に至らせるため、放射線防護のために各国で法律が制定されています。また、放射線は人間の五感では感じるできないため、放射線測定のための測定器を用いて検出や測定を行います。

人の体は約 10^{28} 乗個(0 が 28 個も並んだ数)もの原子からできています。そしてその原子

から約 60 兆個の細胞がつくられています。その細胞の多くは直径が $10\sim 30\ \mu\text{m}$ の大きさであり、それを構成している分子内の化学的結合エネルギーは、数電子ボルト程度であり非常に小さい。

原発から拡散した放射性物質が体の中に取り込まれて、そこから放射された放射線は、この数電子ボルト程度の化学的結合エネルギーよりも約 100 万倍も大きいエネルギーをもっています。それが生物の体の中の細胞組織を照射しながら進行する際に、分子の結合部の電子をたたきだして分子をイオンにしてしまう電離作用を起こします。

その電離作用の悪影響は、(1)分子をつないでいる結合を切り離すこと、(2)たくさんある水を分解して有害な水酸遊離基(OH)を作ること、の2通りがあります。

一度に大量の放射線を浴びたときの悲劇は、1990年9月30日に茨城県那珂郡東海村でJCO(株式会社ジェー・シー・オー)(住友金属鉱山の子会社)の核燃料加工施設で起きた臨界事故で起き、お二人が亡くなりました。最初は元気そうだった患者が、信じられないような経過で病態が悪化していくプロセスには共通点がありました。それは人体の中で細胞分裂が旺盛な骨髄、腸、皮膚などで分裂が停止して、組織の補給が止まってしまうことで、血液や消化器や皮膚が崩壊していったのです。体の普通の組織では単に一つの細胞がやられるだけのものが、幹細胞が分化してそれぞれの組織の細胞を常に補給する必要があるこれらの部分では、元になる一つの幹細胞の分裂機能が破壊されることで、たとえば毎秒 200 万個という生産がされる必要のある赤血球ではたちまちに貧血を引き起こすことになるわけです。このように生物の体には、特に放射線に弱い組織やしくみがあることが放射線被ばくの本質なのです。

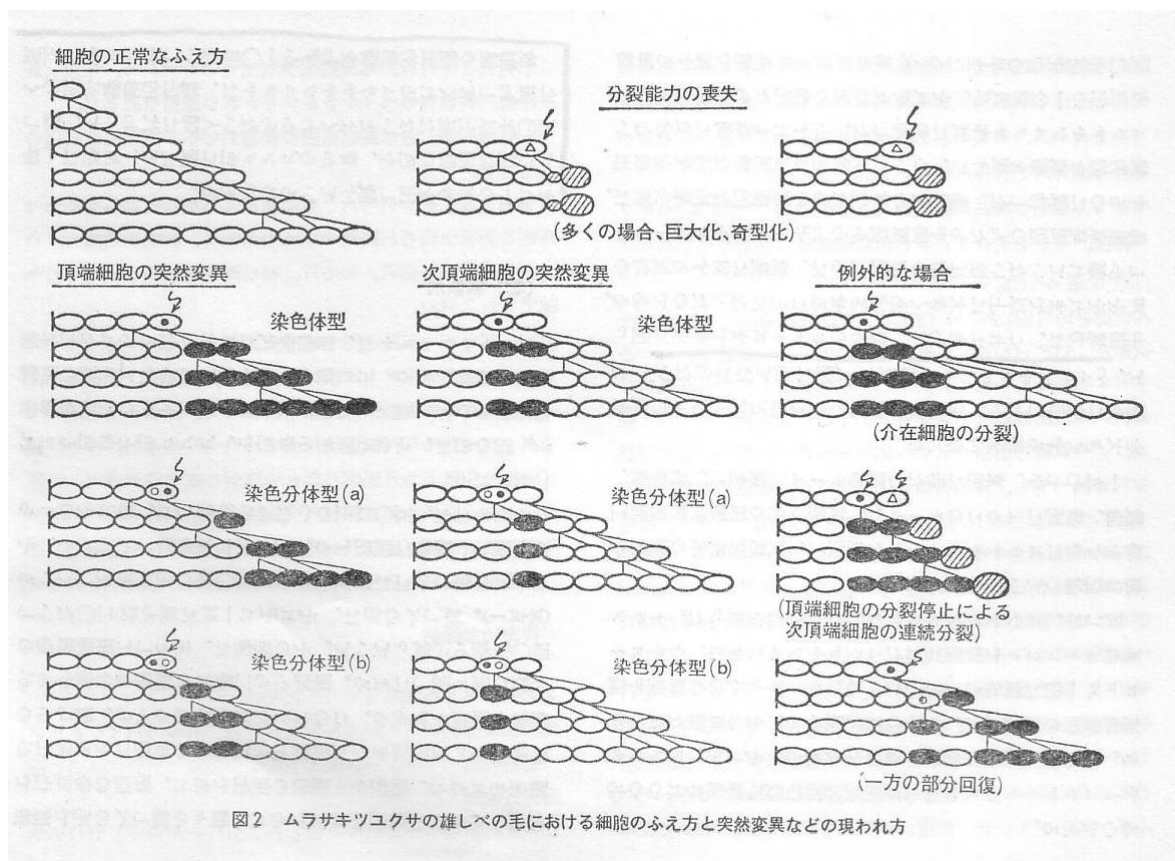


ムラサキツユクサの 6 本のおしべ。

1 本のおしべには約 50~90 本の毛が密生しており、その 1 本の毛は一列に並んだ 20~40 細胞から成っています。

放射線にやられた細胞が死んでしまわないで、細胞分裂を司る遺伝子の中のDNA分子が放射線で切れてしまい、遺伝情報が間違っただけで伝えられ、その遺伝情報が次の細胞に受け継がれていく時に突然変異が起きます。微量の放射線では細胞が殺されるよりも、遺伝情報が破壊されて悪い突然変異が起きる危険が主体になります。

これを厳密に実験で検証したのが、市川定夫先生のムラサキツクサの研究です。ムラサキツクサの花には6本のおしべがあって、それぞれに写真のように50~90本の毛が密生していて、その毛はわずか20~40個の細胞が横に並んでいるだけの細いものです。そして、その毛が成長するのは先端の細胞が分裂することにかぎられているというきわめて珍しい特徴があります。そして、ムラサキツクサは花色についてヘテロ、つまり、青い色素をつくる優性遺伝子一つと、ピンク色の色素をつくる劣性遺伝子一つをもっています。そのために、ムラサキツクサのおしべの毛の優性遺伝子が放射線でやられると、たちまちその細胞はピンク色になるという仕組みがあります。微量放射線の検出に最適の生物測器となります。



20~40個の細胞が横に並んでいるおしべの毛の発達、主として頂端細胞の分裂の繰り返しによります。頂端から2番目の細胞も分裂しますが通常1回限りです。このような特徴があることから、何らかの原因によって頂端または頂端から2番目の細胞にある変化が誘発されると、細胞分裂能力の変化であれ、細胞の奇型化であれ、あるいは染色体異常であれ、突然変異が起

きると変異が起きた細胞から先だけにその子孫が増えていくことになります。おしべの数と毛の数から考えると、花を100個調べると約100万個の細胞の突然変異の頻度とその誘発時期を知ることができることになります。

市川先生は、1965年から1967年の2年間にアメリカのブルックヘブン国立研究所で宇宙開発のためにムラサキツユクサを用いた被ばく実験の基礎をつくり、帰国後に茨城県大宮町の丘陵地に作られた放射線育種場のガンマーフィールド(現在の名称は独立行政法人 農業生物資源研究所 放射線育種場)にて、低いレベルの放射線の実験を行って、1971年に6.9ミリグレイ(6.9ミリシーベルト)でも、ムラサキツユクサの株が優勢遺伝子に障害を受けて、ピンクの花をつける突然変異がそれ以上の線量と比例する割合で生じることを発表したのは、1972年にはスパロー博士は2.5ミリグレイ(2.5ミリシーベルト)でも突然変異することを発表しました。当時知られていた線量の20分の1の低線量でも突然変異が起こることが明らかとなりました。

1974年から、ムラサキツユクサの実験株を、静岡県立相良高校で生物学を教えていた永田素之教諭の手で、浜岡原発周辺に植えて、117日間に64万本のおしべ毛を観察して、特定の場所で統計的に有意な突然変異が起きていること、それが原発の運転や風向きに呼応していることを発表しました。

1976年から、島根県にある島根原発周辺、福井県の高浜にある高浜原発周辺、1977年から同じ福井県の大飯にある大飯原発周辺でも同様な実験が始まって、1978年から東海村の原発周辺でも始まりましたが、どこでやっても同じような結果がでてきました。

しかし、そのころはまだ原発周辺でなぜ突然変異が起こるのかの謎解きはできていなかったようです。それが1978年に偶然にその謎が解けました。

1959年にアメリカの核兵器関係の工場で、大量の放射性ヨウ素漏れの事故が起こり、放射性ヨウ素がものすごく濃縮されるということがあったようでしたが、その資料は公開されてきませんでした。それが、1978年公開されることになりました。市川先生は講演旅行でたまたまワシントンに立ち寄ったときに、偶然にもその機会に出会い、ブルックヘブン国立研究所のIDナンバーをもっていたために、一般に公開する前に、すごく分厚いファイルの中からその資料を見ることができたとのことです。それは、放射能事故後1週間前後で植物の種類によって違いますが、作物、自然の草、木も含まれますが、植物種によって放射性ヨウ素を200万倍から650万倍にも濃縮してしまうという報告であったとのことです。その他にも、350万から1000万倍にも濃縮してしまうという報告があったとのこと。植物種によっては、放射性ヨウ素を200万から1000万倍に1週間程度で濃縮してしまうということが、20年近く公開されていなかった報告を見て判明したことになります。

それで、それまで1974年から静岡の浜岡で実験して、東海でも後に行われて、突然変異が実際に原発の周りで増えるのかの謎解きとして、市川先生は自然界には放射性核種のない元素だったらムラサキツユクサは安心して、どんどん体内に入れて蓄積しそれを濃縮しているはずだと、

考えたようです。

さらに、当時は原発で発生した気体廃棄物を排気塔からできるだけ高いところに放出して、人が住んでいるところにはあまり降りてこないようにしていたようです。その中の放射性希ガスと放射性ヨウ素の放出比は1万対1の比率であったそうです。そして、浜岡 1 号炉が試運転を始めた 1974 年 8 月 13 日以降の環境放射線量(空間のガンマ線量)は、試運転開始前から平均で年 0.071 ミリシーベルト上昇していたとのこと。その上昇は放射性希ガスによるものであり、放射性ヨウ素はほとんど寄与していない。しかし、放射性希ガスは化学的に不活性であるために、生体内には蓄積や濃縮されることはないが、微々たる量の放射性ヨウ素はムラサキツユクサの中では 200 万から 1000 万倍まで濃縮されたのです。

このようにして、市川先生は原発周辺でムラサキツユクサのおしべの毛の青色を、ピンク色に変化させる突然変異を引き起こしたのは、原発の排気塔から大気に放出された放射性ヨウ素であることをつきとめました。

微量でも人工放射性核種が生体内に取り込まれたら、それらは濃縮されます。ヨウ素 131 以外の放射性ヨウ素も濃縮されます。また、ストロンチウム 90、セシウム 134、セシウム 137 など、生体内に沈着または蓄積される人工放射性核種も多くあります。これら人工放射性核種が生体内で濃縮、沈着、蓄積されるということは、より大きな放射線を至近距離から受けることになり、内部被ばくは重大で深刻となります。そのことをムラサキツユクサは教えているのです。

上述した、アメリカでの新生児甲状腺機能低下症と原子力発電による発電量の関わりでの完璧な相関は、極々微量な人工放射性核種の濃縮が原因でした。排気塔から放出されたときは、空間線量の測定に与える寄与はほとんどないものでした。しかし、原発の周辺でこのような恐ろしいことが現実に起きているのです。にもかかわらず、アメリカで原発は稼働しています。それが規制されない世の中の仕組みとなってしまうています。

日本でも同じようなことが起きているはずですが、調査がされず知らないだけとされます。自然界には存在しなかった人工放射性核種による内部被ばくの恐怖です。

これは経済優先の政策が招いた人格権の侵害と言えるのではないのでしょうか。

ムラサキツユクサは人工放射性核種の生物濃縮の真の怖さを教えてくれました。

あなただからこそできる、こころの底からの声を広げる時です。

原発再稼働ストップそしてすべての原発廃炉！

この報告を利用してくださることを願っています。その利用の承諾は不要です。

何かご意見などありましたらお知らせください。

連絡先 koba@mx.ibaraki.ac.jp (送信時には正を削除のこと)

(2015 年 4 月 30 日)