

AYUMI ESSAY

逆システム学の窓

児玉龍彦／Tatsuhiko KODAMA

東京大学先端科学技術研究センターシステム生物医学ラボラトリー
(兼任：東京大学アイソトープ総合センター長)

Vol.41 “チェルノブイリ膀胱炎”

——長期のセシウム137低線量被曝の危険性

【逆システム学とは？】

医療のようなシステムを一つの数値で評価する成果主義はすでに日本医療に破滅的な結果をもたらしている。しかし、いたずらに悲観になることより、社会全体のシステムを理解するところから足元から課題にチャレンジをはじめることが大事と考える。逆システム学とはさまざまなデータから人体や社会のシステムを理解し、現場からのチャレンジの指針を与える科学の方法論である。

◎福島原発事故は、膨大な量のセシウム137飛散を引き起こした。汚染は、飯館村など30km以遠、福島、郡山など福島都市圏、我孫子、柏など東葛6市にも広がる。食品の汚染では、神奈川県相模原市、山北、松田両町のお茶が出荷停止となり、静岡県産のお茶はパリの空港で汚染が検出されている。心配されるのは、東北、関東の108名の母乳を分析したところ、福島県内の7名の母乳から2〜13ベクレル/Lのセシウム137が検出されたことである。

セシウム137は、核実験以前には地球上に存在しなかった。強いγ線を放出し、1987年のゴイアニア被曝事故では死亡例も知られる。人体内では、腎臓から尿中に排泄される。日本バイオアッセイ研究センターの福島昭治所長は、チェルノブイリ現地の研究者と、膀胱癌の百万人あたりの発症が、86年26人から01年43人に増加していることを発表し、その前癌状態として、増殖性の“チェルノブイリ膀胱炎”が広範に引き起こされていることを報告している。

前立腺肥大で手術を受けた際に切除された164名の膀胱病理像を、高いセシウム線量(5〜30 Ci/km²)、中間的線量(0.5〜5 Ci/km²)、非汚染地域の住民の3群にわけて検討して、そのメカニズムとして、NFκBとp38MAPキナーゼの活性化、NO産生増加を介していることを示している。これら3群のヒトの尿中のセシウム137は、それぞれ、6.47、1.23そして0.29ベクレル/Lで、上記の福島県内の母乳と同じレベルであり、長期被曝が前癌状態を作り出すという報告は重要である。

今回のセシウム137汚染は3月15日に大半が、21日から数日で一部が放出された一過性のものであり、除染でかなり除けるという特徴がある。

食品の汚染も一過性にピークを迎える。検出体制を急いで整備し、セシウム137で汚染された食品の摂取を避けることが緊急の課題となっている。現在、原発事故に従事している作業員や、飯館村など高汚染地区に住み続けている人は、セシウム137を吸着するベクテンなどの予防投与を検討する必要がある。

我々は子孫への責務を負っている。核実験による低レベル放射能を検出しアメリカでの公開実験を通じて核実験禁止の流れを生み出した、猿橋勝子博士に学ぶ必要がある。人間の生み出したものは、人間の努力で除去できないわけではない。現在の少量の高い線量の放射性物質を想定している法体系を、低線量のものが膨大に放出された福島原発事故に対応できるように変え、我が国の医学界も総力をあげ取り組む体制を整える必要がある。また損害賠償において被害者立証はいわば不可能であり、加害者(東電、政府)による被害全面賠償が必須であることを示している。

■深刻化するセシウム137の汚染

福島原発事故は、広島原爆の20個分といわれる膨大な量の放射性物質を飛散させた。早期のヨウ素131の小児の甲状腺癌に続いて最も心配されるのは、半減期30年のセシウム137による長期慢性被害である。

セシウム137の汚染の広がりによって、避難の勧告された原発30km圏よりさらに遠い飯館村、伊達市、南相馬市の一部などで新たな住民退避勧告が出されている。福島、郡山、二本松などの福

島県の都市部でも1μシーベルト/時を超える汚染地域がまだら状にあることが発見され、この地域では東北自動車道を走る車の車内でもかなりの線量が検出される。福島県以外でもホットスポットが発見され、中でも柏、我孫子など東葛6市では小学校、公園などで、平均0.3〜0.6μシーベルト/時の汚染が報告されている。

食品の汚染の発見も続いている。神奈川県産のお茶は、相模原市と松田、山北両町で基準を超え、8割のお茶が出荷停止になった。パリの空港の検

査で、静岡県産のお茶からセシウムが検出されている。

福島原発からの放射性物質のうちヨウ素 131 は半減期 8 日ですでに検出限界以下の地域が多く、半減期 30 年という長期に残存するセシウム 137 の被曝が最大の問題となってきた。

■セシウム137とは何か？

セシウム 137 は、1940 年代以前には地球上にはほとんど存在しなかった。ウランの核分裂で作られるため核実験と原爆で多量に放出された。近年では原発事故が放出源となっている。そのためワインの年代鑑定に用いられ、19 世紀に製造されたものといわれたジェファソン・ボトルが、1940 年代以降の贋作とわかったジェファソン・ボトル事件などが有名である。

セシウム 137 は強い γ 線と β 線を放出し、食品照射や癌の放射線治療に用いられる。半減期が 30 年と長期にわたり放射線を放出するので危険である。1987 年ブラジルのゴイコニアでは、閉鎖された医療機関から放射治療機器内のセシウム 137 が持ち出され、光る金属として興味をもち接触した 250 名が被曝し、4 名が死亡するというゴイコニア事件が起こっている。体内に入ると胃腸から吸収され、肝臓、筋肉に分布し、100 日から 200 日で腎臓から尿中へ排泄される。尿路系への障害が注目されている。

■“チェルノブイリ膀胱炎”

我が国での化学物質の健康被害を検討する中心的機関として国により設立された日本バイオアッセイ研究センターは、様々な物質の炎症惹起性や発癌性を検討している。その研究所長の福島昭治博士は、チェルノブイリ周辺におけるセシウム 137 の長期被曝の影響について検討を進めておられる。

2004 年、福島博士らは、増殖性の異型性変化を特徴とする“チェルノブイリ膀胱炎”という概念を提唱した¹⁾。ウクライナでは、30 Ci/km²以上の地域は強制避難となっている。それ以下の低い線量の長期被曝がどのような健康被害をもたらすかを多年にわたり解析しておられる。そこで膀胱癌

が百万人あたり 26.2 人(1986 年)から、43.3 人(2001 年)に 65%増加していることに注目し、15 年以上、比較的高い線量(5~30 Ci/km²)、中間的線量(0.5~5 Ci/km²)区域に住んでいる住民について、膀胱の病理組織的検討を開始した(「サイドメモ」参照)。

福島博士らは、良性の前立腺肥大の手術のときに一部切除される膀胱の病理組織の検討を進めた。その結果、セシウム汚染地域の住民の膀胱には、高い線量でも中間的線量でも、増殖性の異型性の病変が起こっていることを発見し、“チェルノブイリ膀胱炎”と名付けた。

なぜこのような特徴的な増殖性の異型性変化がおこるのか？ 免疫組織学的検討から、p38 MAP キナーゼの活性化と、NF κ B の p50 と p65 の細胞内増加が発見された。これは低レベルのイオン化された放射性物質による慢性被曝が引き起こしたものと考え、被曝地域における住民の膀胱の病理組織を緻密に解析すると、ほぼ全例からこのような増殖性の異型性変化が発見されたが、非汚染地

サイド メモ

土壤汚染をチェルノブイリと 福島で比較する

土壤汚染について、チェルノブイリのキュリー(Ci)/平方キロと、福島のベクレル(Bq)/kg の換算は次のとおり。1 平方メートルは 5 センチ掘る標準法で比重 1.6 とし、80 kg と計算すると、1 Ci/km²は、4,625 Bq/kg である。

1 Ci は 37 ギガ Bq(=3.7×10¹⁰ Bq)である。チェルノブイリでは、30 Ci/km²以上が居住禁止区域、5 Ci/km²以上が居住制限区域である。本文中で紹介した福島論文での区域分けは、2 万 3,125 から 13 万 8,750 Bq/kg を線量の高い区域、2,312.5 から 2 万 3,125 を中間的線量区域としている(表 1)。

浪江町の高いところでは、14 万 Bq/kg もあり、これは 30 Ci/平方キロを超える。

飯舘村は、3,300 から 58,000 Bq/kg で、高い区域、中間的領域が大半である。

福島市は、4,900 から 15,000 Bq/kg で中間的領域である。

南相馬市も、3,000 から 12,000 Bq/kg で中間的領域である。

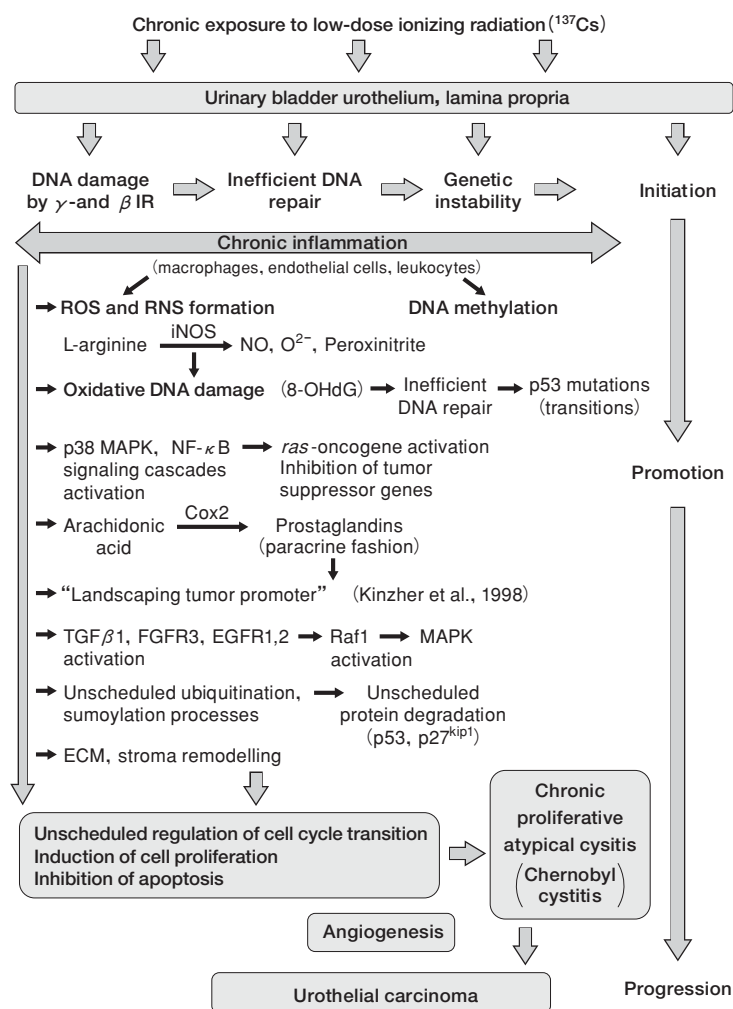


図1 “チェルノブイリ膀胱癌”の発症メカニズム²⁾

区患者の膀胱ではみられなかった。

福島博士らは、2009年にこれらの被曝地域患者に膀胱癌発症が増加していることを報告し²⁾、そのメカニズムを図1のようにまとめている。

■チェルノブイリの尿と福島の母乳のセシウムレベル比較

膀胱への低い線量でのセシウムの長期被曝が引き起こす膀胱の慢性炎症が、前癌状態であるという福島博士らの報告は大きな意味をもっている。

チェルノブイリの小児の甲状腺癌の場合は、ヨウ素131が甲状腺に集まりやすいという特徴から最初から疑われていたにもかかわらず、広く認識されるのに10年かかり、ほぼ終息した20年後

にWHOなどにより因果関係があることがコンセンサスとされた。膀胱癌で最初の報告が18年後であり、発癌メカニズムが23年後に明らかになってきたことは、低レベルの放射線被害の証明がいかに難しいかを再確認させるとともに、しかし地道な測定と、検討の重要性を示している。

すでに福島、二本松、相馬、いわき各市の女性からは母乳に2～13ベクレル/kgのセシウム137が検出されることが厚労省研究班の調査で報告されている。この濃度は、福島博士らのチェルノブイリの住民の尿中のセシウム137にほぼ匹敵する。福島博士の報告では、表1のように、6ベクレル/Lとほぼ同じレベルである²⁾。

そうすると、これまでの「ただちに健康に危険

表 1 チェルノブイリ周辺における前立腺肥大手術患者の尿中セシウム137のレベル²⁾

	Group 1	Group 2	Group 3
No. of patients	55	53	12
Contamination levels in soils (Ci/km ²)	5~30	0.5~5	NC
¹³⁷ Cs levels in urine (Bq/L)	6.47±14.30	1.23±1.01	0.29±0.03

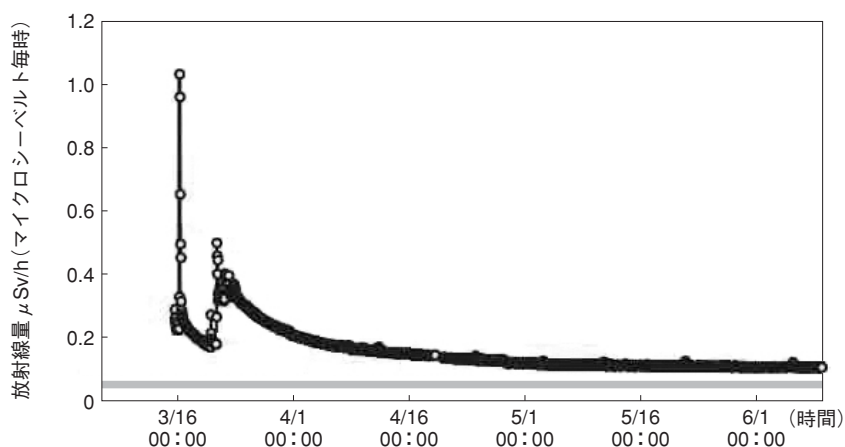


図 2 茨城県水戸市における環境放射線水準

はない」というレベルではなく、すでに膀胱癌などのリスクの増加する可能性のある段階になっている、ということである。そもそも、母乳にセシウム 137 が検出されることが異常だと思わなくなっている行政当局、研究者の判断に猛省を促したい。

■急がれる除染

今回の原発事故によるセシウム飛散は一過性のものである。図 2 に水戸での空間放射線量の記録を示すが、3 月 15 日に大きなピークがあり、3 月 21 日からしばらく持続的な放出があったが、この 2 回以降は大きな放出はないことを示している。

この傾向は、今回の事故による汚染では共通してみられる。今の放射能汚染はかなりの部分が、原発から放出された微粒子に付いて、土壌の粘土分に付着したセシウム 137 からの放射によると思われ、土壌の除染が鍵となる。

土壌のセシウム 137 汚染は、まだら状の特徴があり、ホットスポットと呼ばれる汚染の高い地域の除染が重要である。地域的にみると原発から北

西方向に飯館村から二本松、郡山、福島市など人口密度高い地域に多量の飛散がみられる(「サイドメモ」参照)。

一方 3 月 21 日の飛散は、南西方向にもみられ、柏、我孫子、流山市などの東葛 6 市、さらに神奈川県、山北、松田両町、さらに静岡県などまで飛散している。いずれも山岳地帯にぶつかる前の土地や、盆地に高い集積がみられ微粒子の飛び方の特異性を反映し、複雑な分布を示している。

さらに、我々(東京大学アイソトープ総合センター)が南相馬で行っている幼稚園、保育園の除染では、平均 0.5μシーベルト/時の幼稚園で、雨樋下などで毎時 5~10μシーベルト、滑り台下で 2.5μシーベルトなど 5~10 倍のミニホットスポットが見つまっている。放射能は測定しやすい特徴があるので、高いところから除染していくことにより、効果的な除染が可能である。

放射線障害は、細胞増殖の盛んな子ども、免疫障害のある病人に起きやすいことから、保育園、幼稚園、小学校、中高等学校と年齢の若い児童の接触、吸入可能性あるところから除染が急がれる。

■現行法があわない——急がれる法体系の整備

ところが、こうした除染を始めようとするところの放射性同位元素による障害の防止法(いわゆる障防法)が実情にあっていない。現行の「障防法」は高い放射性物質が少量あることを前提に、「高い線量」「封じ込め」「取り扱い区域の限定」を基本としている。

しかし、1万ベクレル/kg以下のものは取り扱い規制をしていない。そこで、「薄めてしまえば問題ない」という対応がとられやすい。実際、少量の放射性物質は希釈放出、つまり薄めて下水に捨てるのが基本となっている。これは全体量が少ないことが前提である。だが、今回の福島原発事故では、低い線量の放射性物質が膨大に放出されたことが問題となっている。例えば、各地の汚水処理場で、8,000ベクレル/kgの汚泥が500トンといった想定外の規模で溜っている。東北大学のアイソトープセンターの解析では、土壌のセシウムは粘土層に付着している。この汚泥の粘土層はセメント作りに用いられるため、濃縮の可能性が高く注意が必要である。また汚染除去が広範になる場合は洗剤などを大量に使用すると、洗剤入りの放射性物質が多量に下水に流入することになる。洗剤使用量には注意が必要である。

この場合、空間的に封じ込めるのは不可能である。一部の府県では汚水処理場を放射線管理区域にするとしているが、現行法の管理区域は扱える放射線核種の指定など厳しい条件がある。例えば東大には20カ所以上の管理区域があるが、福島で飛散しているセシウム、テルルなど扱える施設は4カ所しかない。現行法では、また廃棄物にも厳しい基準を敷いているが、膨大ながれき、汚泥が超法規的に扱われようとしている。実際には、放射線が弱いので、ある程度距離をおけば被害が起こりにくくできる。むしろ飛散、吸入しないようにすることが大事である。そこで南相馬などで短期的に考えているのは、地元の同じ区域内で学校、病院から離れた地区の地下に埋めることなどである。さらに高い線量も低い線量も一律除去するのでなく、なるべく高い線量のものを子ども、病人が触れやすい地域から除去するという方針である。

早く福島原発の除染を進めるために、全国の関係者の総力を上げる体制を作るべきである。

■被災者の立証は不可能である——東電、政府の責任

東電の清水前社長と、経産省の海江田大臣は、国会答弁で、「政府による強制避難など被害の立証できるものは賠償する」として、立証のされたもののしか賠償しないという方針を述べている。しかし強制避難は極めておかしい事態を生み出している。筆者が除染に加わっている南相馬市では、海側は毎時0.2から0.3μシーベルトと線量が低いのに、山側では30km以遠でも毎時0.6μシーベルトの学校もある。0.6μシーベルトの学校内のミニホットスポットでは6μシーベルトくらい出てしまい、それを除染している。今、20~30km圏では政府により学校の休校が強制されている。南相馬市民7万人は、緊急避難で一時1万人まで減ったが、原発事故の落ち着きとともに現在3万人を超える人が戻ってきている。しかし市の7割を占める原発から20~30km圏では、学校が休校のため市がスクールバスで子どもを30km以遠に送迎し、1日あたり百万円の費用がかかっている。

ところが30km以遠のほうが飯館村に近く線量が高いのである。20~30km圏の学校については、政府は一律規制をやめ自治体の判断にまかせるべきである。賠償と強制避難を結びつけるのをやめ、住民の避難コストは東電と政府で支払うべきである。今でも、子どもだけは福島市、郡山市の親戚などに避難させている一家もあるが福島市のほうが南相馬市より倍以上空間線量が高い場合も多い。子どもの健康と生命を守るのに、全力をあげる必要がある。

■我が国の科学技術の粋を結集して

——猿橋博士の偉業に学ぶ

粘土層の付着したセシウム137をどう取り除くかが、これからの最大の課題となる。それには原発から飛散したアルカリ金属であるセシウムがどのような化学物質となっているかの分析が必要である。セシウムはルイス塩基と反応して錯体を形成する。カリウムと似ているが、配位数が多く

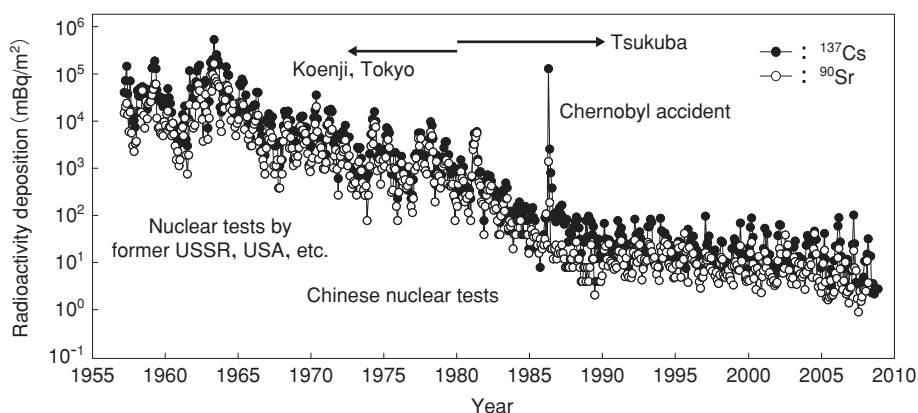


図3 1957年以降におけるセシウム137(^{137}Cs)とストロンチウム90(^{90}Sr)の月間降下量³⁾
(気象研究所地球化学研究部“環境における人工放射能の研究 2009”より)

なる傾向があり、それをういた分離法も開発されつつある。

我が国の土壌では、1960年代の核実験まで多量のセシウムが沈着した。広島・長崎の原爆による放射性物質の残存が分からなくなったのは除染されたからではなく、その後、原爆の千倍の放射能を放出する水爆実験などがアメリカ、ソ連、中国、フランスで行われた結果、多量のセシウムが飛散したことによる(図3)³⁾。

我が国の農林試験場では、1950年代以来のセシウム137の定量記録がある。それによると、日本の田畑では土の50%が40年で入れ替わる。セシウム137の半減期が30年、これを合わせて17年で放射活性が半分になる。

この事態の解明に挑戦したのが、我が国の女性科学者、猿橋勝子博士である⁴⁾。1962年、猿橋博士は微量の放射能検出に取り組み、アメリカの権威フォルサム博士と微量の検出の公開実験を行う。6カ月後、フォルサム博士は猿橋博士の実験精度に敬意を表し、翌年アメリカ政府は成層圏内の核実験中止を発表する。

20年後、氏の業績を記念した「猿橋賞」の式典で博士は、「世の中を変える研究というのは純粋な心から生まれるのです」と述べている。

心にこの言葉を留めてセシウム除染を進めよう。人が生み出した物を人が除染できなわけがない。福島におけるセシウム除染は、次の世代への日本の科学者の責任である。

謝辞：貴重な情報を提供いただきました日本バイオアッセイ研究センター 福島昭治所長に深謝いたします。ただし本文の文責が筆者にあるのはいうまでもありません。

文献/Web

- 1) Morimura K, Romanenko A, Min W, Salim EI, Kinoshita A, Wanibuchi H, Vozianov A, Fukushima S.: Possible distinct molecular carcinogenic pathways for bladder cancer in Ukraine, before and after the Chernobyl disaster. *Oncol. Rep.*, **11**: 881-886, 2004.
- 2) Romanenko A, Kakehashi A, Morimura K, Wanibuchi H, Wei M, Vozianov A, Fukushima S.: Urinary bladder carcinogenesis induced by chronic exposure to persistent low-dose ionizing radiation after Chernobyl accident. *Carcinogenesis*, **30**: 1821-1831, 2009.
- 3) http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ge/2009Artifi_Radio_report/index.html
- 4) <http://nosumi.exblog.jp/9594331/>

(次回のテーマは「関節炎の生物製剤治療」の予定です)

* * *