

福島原発事故により放出された放射性微粒子の危険性

——その体内侵入経路と内部被曝にとっての重要性

渡辺悦司 遠藤順子 山田耕作

2014年10月13日（2014年12月18日改訂）

この小論の目的は、各研究機関や大学の研究者たちによってすでに発表されている研究成果に基づいて、また民間市民団体などの調査によって明らかにされている事実に基づいて、福島第1原子力発電所の事故により放出された放射性物質の微粒子形態を分析し、放射性微粒子（一般に「ホットパーティクル」と呼ばれている）が人体に侵入する経路と内部被曝によって人体に及ぼす特別の危険性を解明することにある^{注1}。

チェルノブイリ事故では、事故後2年半が経過した頃から、健康被害が急速に顕在化したといわれている。アメリカの週刊誌『タイム』は、チェルノブイリ事故四周年にあわせて、ウクライナ汚染地区の医師を取材している。その証言は、「過去18ヶ月間に」（すなわち事故から2年半経過したとき以降）、①「甲状腺疾患、貧血症、がんが劇的に増加した」、②「住民は、極度の疲労、視力喪失、食欲喪失といった症状を訴え始めている」、③「最悪のものは、住民全体の免疫水準の驚くべき低下である...健康な人々でさえ病気が直りきらずに苦労している」、④「子供たちが最悪の影響を受けている」というものであった^{注2}。

その経過をたどるように、現在福島第1原発事故から3年半以上が過ぎ、福島と日本各地において事故による健康被害が広範囲に顕在化しつつある。メルトダウンと放射性物質の放出から始まり、内部被曝による健康被害にいたるまでには一連の過程がある。その経路を可能な限り具体的かつ全面的に解明することが、今ほど重要になっている時はない。われわれの論文が「被曝の具体性」（矢ヶ崎克馬氏）を明らかにする共同作業の一環を担うことができ、福島原発事故の放射能による健康被害を明らかにするための一助となれば幸いである。

われわれは、経済学者、医師、物理学者からなるチームであるが、本論文を作成するに当たり、各方面の多くの方々から協力や情報提供をいただいた。数値計算が専門の「市民と科学者の内部被曝問題研究会」小柴信子氏には、重要な図の作成やデータの加工などで論文作成にご協力いただき、加えて貴重なご意見や情報を提供していただいた。薬剤師の渡辺典子氏には、本論文に関

わる薬学・医学関係の内容を提供していただいた。生物無機化学者であり同研究会員でもある落合栄一郎氏には、重要な論点について討論していただき、意見を寄せていただいた。そのほか、産業医学センターの広瀬俊雄医師、神戸大学の山内知也教授には、われわれの問い合わせに快く回答をいただいた。とくにご協力いただいた方々をここに特記して深く感謝の意を表します。もちろん、本論文の内容についての責任はすべて筆者らにあることはいうまでもありません。

目 次

(ページ)

1. 放出された放射性微粒子に関する主要な研究成果	4
1-1. 予備的考察	4
1-1-1. 放出の諸形態	4
1-1-2. 炉心溶融の温度メカニズム	4
1-1-3. 微粒子形成の条件としての超高温——再臨界	7
1-1-4. 放射性微粒子の諸形態および形成諸過程	9
1-2. 観測時期ごとの研究の概観	9
1-2-1. 事故がピークにあった 2011 年 3 月 14/15 日、3 月 20/21 日に採取されたサンプルに基づく分析	9
1-2-2. 同じく 2011 年 3 月 14/15 日に採取されたサンプルに基づく分析 (つづき)	12
1-2-3. 爆発後の 2011 年 4 月 4 日から 11 日までに採取されたサンプルに基づく分析	13
1-2-4. 2011 年 4 月 28 日から 5 月 12 日までに採取されたサンプルによる分析	14
1-2-5. 2011 年 6 月 6~14 日および 6 月 27 日~7 月 8 日に採取された土壌の調査	16
1-2-6. 事故のピークを過ぎた 2011 年 7 月 2 日から 8 日までに採取されたサンプルの分析	17
1-2-7. 2012 年頃から現在まで : 「黒い物質」と呼ばれている黒色の粉塵	19
1-3. 以上から導かれる結論	21
2. 放射性ガス・微粒子の人体内への侵入経路	22
2-1. タンプリン、コ克蘭による問題提起	22
2-2. 1969 年の日本原子力委員会 (当時) の報告書	22
2-3. 内科学および薬学の教科書による肺内沈着の説明	25

2-3-1. 『内科学書』（中山書店）の叙述	25
2-3-2. 吸入薬の使用法についての薬剤師向け教科書の記述	25
2-4. 肺内に沈着した放射性微粒子による内部被曝の危険	27
2-5. とくにナノ粒子の危険	29
2-6. 放射性微粒子による内部被曝の特殊性、集中的被曝とその危険	29
2-7. 放射線の直接の作用と活性酸素・フリーラジカル生成を通じた作用（「ペトカウ効果」）	31
2-7-1. 放射線の直接的影響	31
2-7-2. 放射線の間接的影響	32
2-7-2-1. 生物無機化学からのアプローチ	32
2-7-2-2. 医学からのアプローチ	33
[がんをはじめ広範な疾患を引き起こす]	33
[心臓疾患]	36
[白内障]	36
[精神障害]	37
2-8. まとめ	38
3. 再浮遊した放射性微粒子の危険と都心への集積傾向	38
3-1. 福島など高度の放射能汚染地域における疾患の増加	38
3-2. 東京圏における放射性微粒子による汚染	41
3-3. 東京圏への汚染集積の諸要因	44
3-3-1. 福島事故原発の工事による放射性物質の放出	45
3-3-2. 焼却施設からの放射性物質の放出	45
3-3-3. 物流・交通機関による放射性物質の運搬と集積	46
3-4. 東京圏住民の健康危機の兆候は現れ始めている	47
3-4-1. がん発症の増加	47
3-4-2. 白内障と眼科疾患の増加	51
3-4-3. 住民とくに子供たちの健康状態の全般的悪化と免疫力の低下	53
3-5. 精神科医の見た原発推進政策の病理	54
4. おわりに	55
注 記	56

1. 放出された放射性微粒子に関する主要な研究成果

1-1. 予備的考察

福島原発事故自体についても、事故による炉心溶融（メルトダウン）と爆発、放射性物質の放出についても、その詳しいメカニズムは解明されていない。それだけでなく、政府も東電も、事故に関する基本的な重要データの多くを公表していない（例えば中性子線量の経時変化）。放射性粒子の形成と飛散についても事情はおなじである。このような状況下ではまず、事故過程について予断を持たずに、政府側を含めた各研究機関が公表している研究とそこで観測された事実を多少詳しく概観しておく必要がある。ただその前に、予備的に次の点を確認しておこう。

1-1-1. 放出の諸形態

事故原発からの放射性物質の放出には、少なくとも3つの形態（大気中・汚染水中・直接海水中）がある^{注1}^{注2}が、ここでは大気中への放出のみを問題にする。福島から大気中に放出された放射性物質は、種々の形態を取っており、その主要なものは、

- ①破砕された燃料棒および炉構造材のがれき、破片、粉塵（ミリ単位以上）
- ②微粉塵あるいは微粒子（ミクロン μm 単位およびナノ nm 単位）
- ③気体（ガス）

であった。①については、その多くが原発敷地内かその数キロ程度の範囲内^{注3}に落下した可能性が高いが、強風など気象条件によっては遠方に飛ばされる可能性もあり、きわめて危険で重要な放出形態であるが、ここでは取り扱わないこととする。広範囲に飛散した②③だけに問題を限定する。また気体③として出たものが冷やされて微粒子②に変化した条件も考察する。

1-1-2. 炉心溶融の温度メカニズム

まず、放射性微粒子がどのような経路で形成されたかを考えてみよう。出発物質の相が固体・液体・気体であるかによって、いくつかの過程がありえる。

- ①燃料棒が固体のまま爆発によって物理的に破砕されて放出される

②燃料棒が溶融して液状となり、爆発によって噴き上がり、霧吹きのように飛散する

③高温になって気化した放射性物質が爆発あるいは漏洩によって放出され、その後大気中で冷却されて微粒子が形成される

が考えられる。

われわれの見解では、おそらく①②③の過程がすべて程度の差はあれ現実には生じたが、それらの重要性の度合いを現段階で確定することはできないように思われる。

①についての重要な事実は、炉心溶融過程が初期段階で通過する温度においてすでに、燃料ペレットが固体のまま「微粉化する」という実験結果である^{注4}。炉内で何らかの爆発があれば、まだ溶融していない核燃料とそこに含まれる放射性物質は、そのまま微粒子として放出されることになる。他方、②の重要性が前面に出るのは、溶融物の塊の内部で爆発（おそらく核爆発）が生じるような場合、あるいは溶融物が溜まった水に落下して水蒸気爆発が生じ、それが溶融物を一気に噴き上げるような場合であろう。③については、さらに広く生じた可能性が考えられ、爆発によっても、また爆発がなくても破断部から漏洩したりすれば生じ、また人為的なベントでも生じる。金属が気化した後微粒子として固化・沈着する現象は、実感しにくいかもしれないが、溶接などの場合に現実には生じており、保護されていない溶接作業者に深刻な微粉塵被害を及ぼしている。他の例は、劣化ウラン弾の戦車装甲板への着弾である（この点は後述する）。

主要各元素の炉内での存在状態を表 1-1 に、炉心溶融に関連する各元素の溶融の温度プロセスを図 1 に、結果として生じた事態のまとめを表 1-2 に、それぞれ掲げてある（表 1-1/1-2 は佐藤修彰氏の論文^{注4}を参照した）。

表 1-1 溶融発生前の炉心における燃料内の燃料および核分裂生成物の存在状態

存在状態	UO ₂ 固溶体 (混晶)	複合酸化物	合金	気体等
元素 (類)	希土類 ¹	アルカリ金属 ⁵	モリブデン	キセノン
	アクチノイド ²	アルカリ土類 ³	パラジウム	セシウム
	アルカリ土類 ³	ジルコニウム	ルテニウム	テルル
	IV価金属 ⁴	モリブデン	ロジウム	ヨウ素

出典：佐藤修彰（東北大学多元物質科学研究所）「福島原発事故における燃料および核分裂生成物の挙動」

<http://www.applc.keio.ac.jp/~tanaka/lab/AcidRain/%E7%AC%AC35%E5%9B%9E/1.pdf>

注1：スカンジウム，イットリウム，ランタン，セリウム，プラセオジウム，ネオジウム，プロメチウム，サマリウム，ユウロピウム，ガドリニウム，テルビウム，ジスプロシウム，ホ

ルミウム、エルビウム、ツリウム、イッテルビウム、ルテチウムからなる

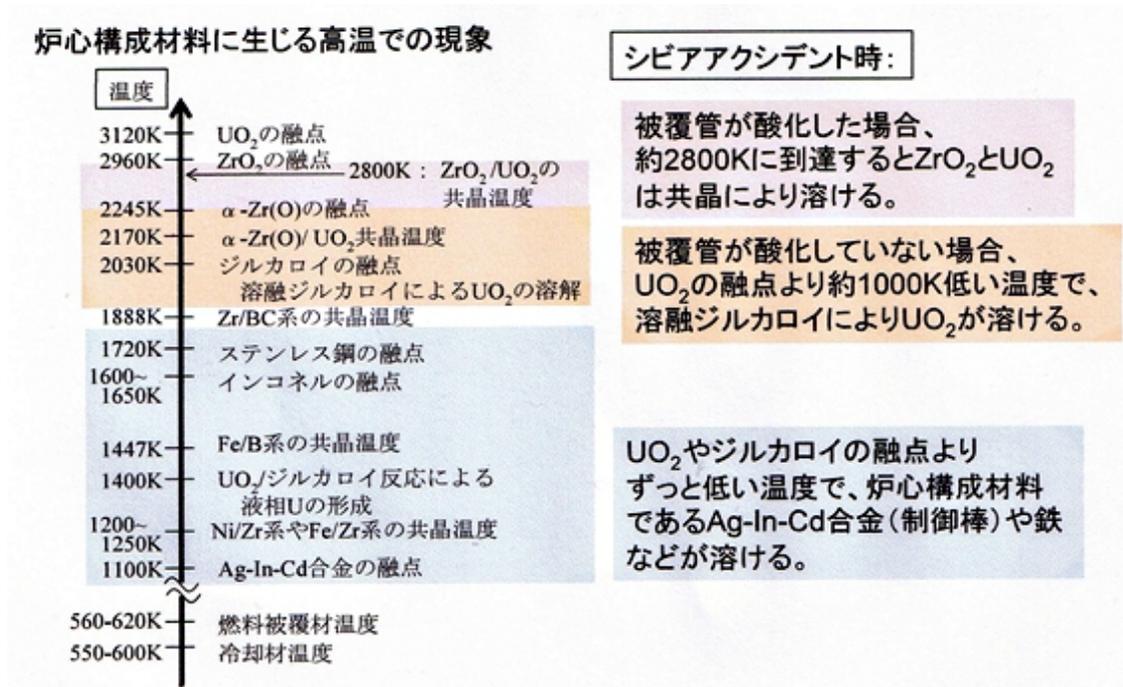
注 2：アクチニウム、トリウム、プロトアクチニウム、ウラン、ネプツニウム、プルトニウム、アメリシウム、キュリウム、バークリウム、カリホルニウム、アインスタイニウム、フェルミウム、メンデレビウム、ノーベリウム、ローレンシウムからなる

注 3：カルシウム、ストロンチウム、バリウム、ラジウムからなる

注 4：チタン、ジルコニウム、ハフニウム、ラザホージウムからなる

注 5：リチウム、ナトリウム、カリウム、ルビジウム、セシウム、フランシウムからなる

図 1 炉心溶融の温度メカニズム (温度は絶対温度 K で表されている)



(注意) $K = ^\circ C + 273.15$ あるいは $^\circ C = K - 273.15$ である。

工藤保「原子炉の炉心溶融」日本原子力開発機構 (2011年6月6日) より引用した。

http://jcast.in.coocan.jp/Pdf/20110606/1_CoreMeltDown.pdf

炉心溶融については以下の点を確認できる (事故過程の分析には立ち入らない)。

炉心溶融は、一般に言われているような一挙に生じる現象としてではなく、温度上昇につれて生じる一連の具体的過程としてとらえるべきである。450°Cで燃料ウランペレットは酸化が進み微粉化する。500~800°Cでセシウムなどアルカリ金属酸化物が気化する。900°C付近で (600°C付近から生じるとする説もある) 被覆管のジルコニウムと水蒸気が反応して水素を生じるとともに被覆管を破損する。核燃料の温度は、まずジルコニウムの融点である 1855°C (2028K)

を越え（ジルコニウムが酸化していない場合、ジルコニウムが溶融すると二酸化ウランは共に溶解する）、さらに二酸化ウラン・酸化ジルコニウム共晶（ジルコニウムが酸化している場合）の融点である 2527°C (2800K) を越え、あるいは二酸化ウラン単体の融点 2865°C (3138K) に達しそれを越えたと思われる^{注4}。

炉内での核反応を止める役割を果たした制御棒（銀・インジウム・カドミウム合金）は、燃料棒よりも顕著に低い温度 827°C (1100K) で溶融し、燃料棒よりも時間的に早い段階で溶け落ちてしまっていたことになる。すなわち、メルトダウンの進行の早い段階で原子炉内には、再臨界への歯止めがない状態が生じていた可能性が高いということである^{注5}。

炉心溶融を引き起こした熱源は、主に、核燃料の崩壊熱と考えられてきたが、合わせて水・ジルコニウム反応による発熱も考えられている^{注6}。

地震による配管の破断やメルトスルーによって原子炉が破損し炉の密封性が喪失したので、キセノンなどの希ガスは空気中に飛散した。沸点の低い放射性物質は気化してガス状となった（ヨウ素 [沸点 184°C]、セシウム [沸点 671°C] は制御棒が溶け落ち始める以前に、ストロンチウム [沸点 1382°C] は被覆管が溶け始める以前に）。

炉心溶融の後に生じた爆発は水素爆発とされているが、それだけではない可能性が高い。溶融炉心が溶け落ちて（メルトダウンして）水蒸気爆発が生じ炉心溶融物が吹き上げられたことも考えられ^{注7}、また炉心溶融物とコンクリートとの相互作用による水素・一酸化炭素爆発が生じた可能性も指摘されている^{注8}。

後述するが、最近、事故当時採取された放射性微粒子が、セシウムだけでなく、ウラン、ジルコニウム、モリブデンなどの原子を均一に含む合金・ガラス状の球体であることが解明された。このような配列は、爆発によってあるいは炉心溶融物内で、温度がメルトダウンの温度（上記 2865°C）を大きく超えて上昇した可能性が高いことを示している。

水素爆発の火炎温度は、空気との反応で 2040°C でしかなく^{注9}、このような高温を生じることができない。

1-1-3. 微粒子形成の条件としての超高温——再臨界

それができるのは核爆発・再臨界だけであると考えるのが自然であろう。微粒子の分析の結果によれば、再臨界あるいは核爆発が生じていたであろうことは、ほぼ否定できない（とくに 3 号機、おそらく 1 号機も）といえる^{注10}。この結論は、原子炉建屋上部の鉄骨が溶けて曲がりさらには溶け落ちるほどの熱が生じていたこと、爆発の前後に中性子線が観測されていたこととも合致する（爆発時の中性子線はその有無も線量も公表されていない）。

おそらく各種の爆発（再臨界＝核爆発、水素爆発、一酸化炭素爆発、水蒸気爆発）が、重なり合って生じたか、あるいは別々に何回にも渡って生じた（東電が公表していない爆発事象も含めて）と考えるのが自然であろう。また大規模な爆発にいたらない部分的な再臨界も生じていたかもしれない。爆発の各形態を対置・対立させて考え、あれかこれかという議論をするのは、合理的ではない。爆発形態が一つだけということは考えられず、また一つの爆発形態の存在が他の爆発形態の存在を否定する（あるいはその可能性を排除する）論拠にはならない。

放射性微粒子の中に検出されたこれらの放射性核種および原子炉構成物質は、この高温によって気化した可能性が高いと考えるべきであろう（表 1-2）。これらは、希ガスやヨウ素の大半を除き、大気中で冷却されて固体に戻り、集まって微粒子を形成し、さらに高温のプルーム中で、焼鈍された^{注11}と考えられる。これらの点で、福島事故で放出された放射性微粒子は、劣化ウラン弾の着弾時に生じる超高温中（最高 6000℃にまで達するとされる）で形成・放出される放射性微粒子と類似しているといえる^{注19}。

表 1-2 炉心溶融・破損後の燃料および核分裂生成物の挙動（佐藤修彰氏による）

元素	化合物	破損後の挙動	影響
ウラン	UO ₂	・酸化によりU ₃ O ₈ 微粉末を生成 ・被覆管破損より炉底にデブリ形成 ・水蒸気や冷却材により移動の可能性	サイト内および近傍に堆積
アクチノイド	固溶体	・PuO ₂ 粉末生成、U ₃ O ₈ と同様の挙動	同上
希土類	固溶体	・Ln ₂ O ₃ 粉末、U ₃ O ₈ やPuO ₂ より溶解性	同上
アルカリ土類	固溶体 ウラン酸塩	・BaO, SrOは海水等へ溶解	土壌、海洋を汚染
アルカリ金属	ウラン酸塩 ハロゲン化物	・酸化物として揮発(500～800℃) ・海水等へ容易に溶解	広範囲に拡散
Mo, Te, Tc等	金属 酸化物	・酸化物の揮発および溶解による移動 ・水蒸気混在下では金属揮発抑制	広範囲に拡散
ハロゲン	ハロゲンガス ハロゲン化物	・燃料破損時に揮発 ・海水等へ溶解(I, IO ₃)	広範囲に拡散

注記：佐藤氏はウラン等の「影響」を「サイト内および近傍」としているが、それにとどまらないことが明らかになっている（後述）。

ハロゲン：フッ素、塩素、臭素、ヨウ素、アスタチンからなる

出典：佐藤修彰（東北大学多元物質科学研究所）「福島原発事故における燃料および核分裂生成物の挙動」

<http://www.applc.keio.ac.jp/~tanaka/lab/AcidRain/%E7%AC%AC35%E5%9B%9E/1.pdf>

1-1-4. 放射性微粒子の諸形態および形成諸過程

放出された放射性微粒子にも多くの種類および形成過程がある。そのうち確認されているのは、

- ①爆発によって形成されたと考えられる合金状・ガラス状の粒子（およそ粒径 $2\mu\text{m}$ とされる）
- ②大気中に浮遊していたいろいろな粒径の既存のエアロゾルに放射性物質が付着して形成された微粒子
- ③微粉化した核燃料あるいは炉心溶融物が噴出した放射性微粉塵
- ④再浮遊した放射性微粒子やがれき・ごみ焼却による粉塵などが加わった二次的・三次的な再飛散微粒子

などである。

以下に、福島原発事故から放出された放射性微粒子に関して今までに観測されている主要事実を、観測時期順に、簡単に概観してみよう。

1-2. 観測時期ごとの研究の概観

1-2-1. 事故がピークにあった 2011 年 3 月 14/15 日、3 月 20/21 日に採取されたサンプルに基づく分析

気象庁気象研究所の足立光司氏らは、事故原発から 170km 南西の地点（同研究所、茨城県つくば市）において大気中の微粉塵を採取し、そこを通過した 2 つのプルーム（放射能雲）——2011 年 3 月 14/15 日および 3 月 20/21 日——から微粒子を採取し、第 1 プルームのサンプル中に、セシウム（134 および 137）を含む球状の微粒子を発見した^{注1 2}。この第 1 プルームは 3 号機の爆発によって生じたものと考えられる。これらの粒子は、鉄・亜鉛を含有し、微粒子の内部ではこれらの元素が均一に分布しており（*evenly distributed within the particle*）、合金（*alloy*）を形成していると判断された。さらに、塩素・マンガ ン・酸素・ケイ素などもわずかな量で含んでいた。微粒子は、乾性の固体であり、水に対しては不溶性であった。粒径は、他の捕捉微粒子に比較して大きく、約 $2\mu\text{m}$ （ 2.0 および $2.6\mu\text{m}$ ）であった。

矢ヶ崎克馬氏は、これらの事実から、次のように推論している。

(1) 福島原発で見られた爆発がこれら元素の沸点を超える「非常な高温」を伴っていたこと、すなわち「水素爆発ではなく核分裂」であったこと、

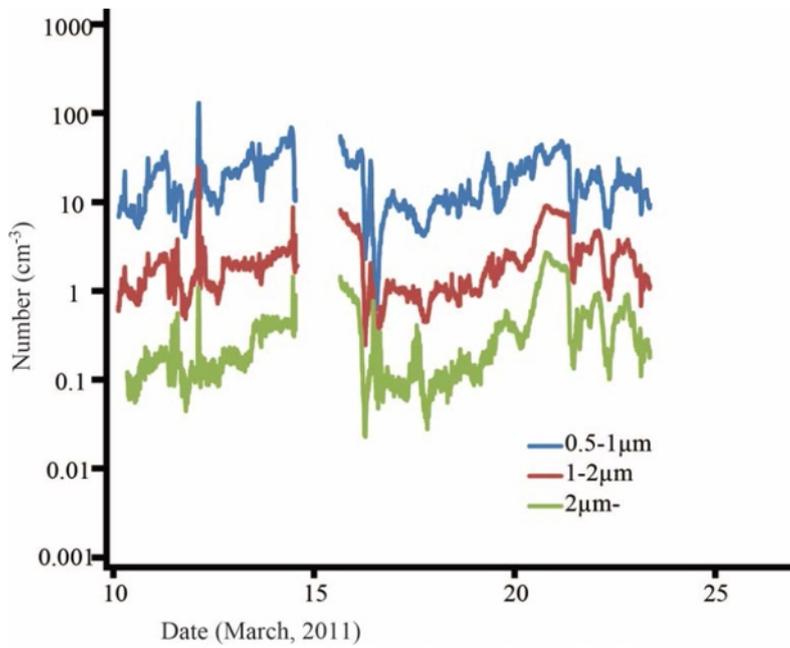
(2) 通常微粒子は沸点の高い原子から芯が形成され沸点の低い原子は外側にくっついていく形で生じる（成層構造になる）ので、微粒子内部の元素配置が均一になるためには、爆発の中で形成された粒子が外部放出されるまでに 500～1000°C程度の温度領域に分単位で保たれ「焼鈍」されて均質化したのではないかと注¹³。

われわれもこの指摘の通りであろうと考える。このような焼鈍が生じる条件もまた、核爆発による高温のプルームの内部において、あるいは溶融した核燃料の高熱によって生じたと考えられる。

他方、第2プルームから採取された微粒子は、以下に述べる兼保氏らの粒径分布に近く、しかも可溶性であった。足立氏らは、兼保氏の推論（後述）に従って、大気中にある硫酸塩エアロゾルにセシウムが付着したものであろうと評価している。

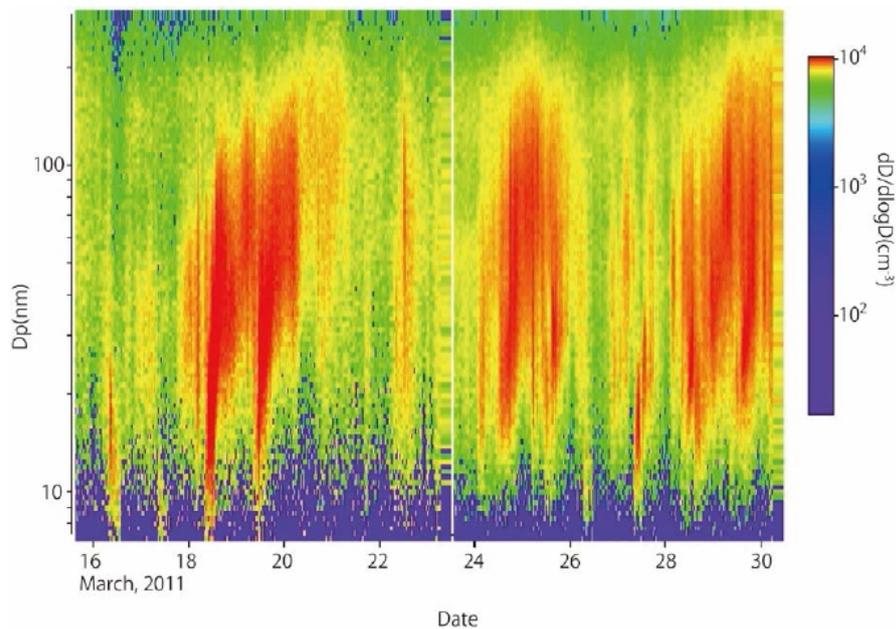
足立論文は3月11日から30日の間に捕捉された微粒子の粒径分布（原書S1およびS2、下図2-1および2-2）を掲載している。そこでは、直径2μmよりも小さな粒子、多くはサブミクロンサイズの粒子の数が圧倒的に多いことが示されている。この中には、足立氏が発見した粒径2μmよりも小さいサイズの「合金状」微粒子が含まれている可能性がある。これは非常に重要なポイントであるが、同論文では（一般に公開されている部分で見ると）この粒径の小さい微粒子に含まれる放射性物質について、独自の分析はなされていないようである。

図 2-1. エアロゾルの粒径ごとの数 捕捉数は $2\mu\text{m}$ -、 $1\text{-}2\mu\text{m}$ 、 $0.5\text{-}1\mu\text{m}$ ごとに約 10 倍程度多い



引用者注記：3月15日前後のデータの不連続は、地震（余震であろう）による電源供給の不安定（停電のことと思われる）があり機器が作動しなかった結果であると説明されている。

図 2-2. 足立氏が挙げている3月16日から30日における $7\text{--}289\text{nm}$ のエアロゾルの粒径分布の図



橙色の部分が粒子の多い部分である。直径 20~100nm 付近の粒子が多いことがわかる

出典 Kouji Adachi, et al; Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident; Supporting Information S1 and S2

<http://www.nature.com/srep/2013/130830/srep02554/extref/srep02554-s1.pdf>

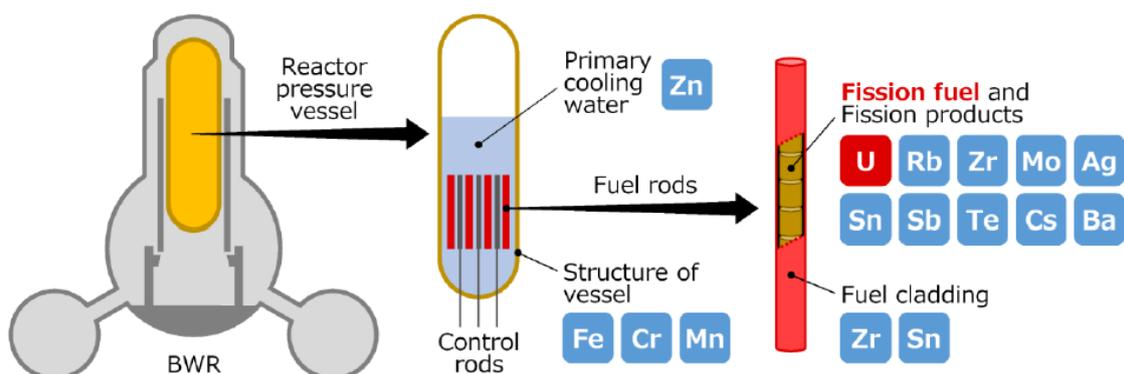
1-2-2. 同じく 2011 年 3 月 14/15 日に採取されたサンプルに基づく分析（つづき）

東京理科大学の阿部善也氏らの研究チーム（足立氏も参加した）は、上記 3 月 14/15 日に採取された球形セシウム含有微粒子（「セシウムボール」粒径約 2 μm ）を、シンクロトロン放射（兵庫県にある大型の放射光施設「スプリング 8」）によって分析し、球状の微粒子中に核燃料由来のウランを発見した^{注14}。

また彼らは、同微粒子中に、下図 3（原著 Figure S4）に由来を示した各元素が含まれることを発見した。またその中には、原子炉を構成する鉄だけでなくケイ素も含まれていた。このことは、メルトダウンした核燃料が原子炉を溶かし、さらには原子炉格納容器下部のコンクリートと反応を生じたことを示唆している。彼らは、このようなセシウムボールが、高酸化状態で（high oxidation state）、すなわち Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Mo^{6+} 、 Sn^{3+} などがガラス状マトリックスの形で、存在していることを突き止めた。彼らによれば、このような「ガラス状（glassy state）」の放射性物質は、水溶性のセシウム・エアロゾルとして放出されたものに比較して「長期間環境中に残存するであろう」という。

非常に重い元素である福島事故由来のウランが、172km も離れた関東平野で発見されたことは、微粒子による放射性物質の飛散がきわめて広範囲に及ぶことを示した。重力は粒子の半径 r の 3 乗に比例し、浮力を与える摩擦力はストークスの法則で粒子半径 r の 1 次に比例する。粒径が小さくなると浮力が支配的になり、それ故、重さに依らず遠くに飛ぶからである。

図 3 放出された放射性微粒子に含まれる元素の由来（阿部氏らによる）



引用者注：冷却水中の亜鉛 Zn は、配管の腐食防止剤として使われる。

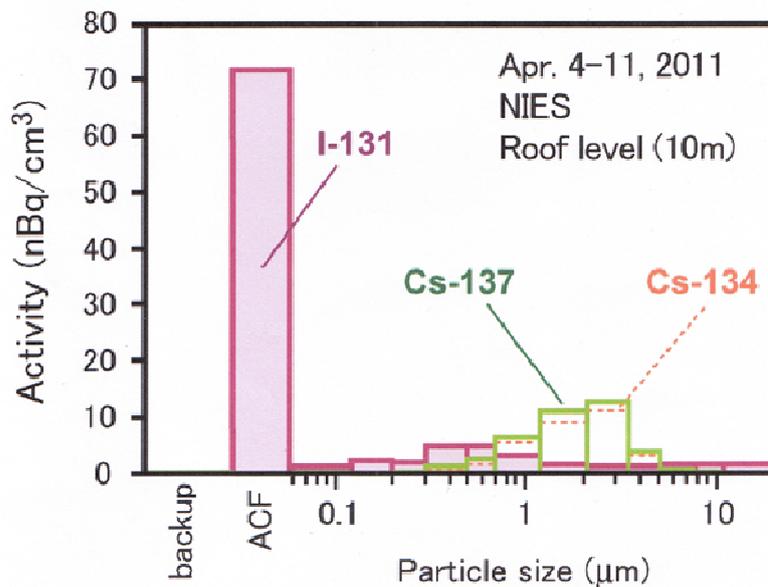
出典 Yoshinari Abe, et al; Detection of Uranium and Chemical State Analysis of Individual Radioactive Microparticles Emitted from the Fukushima Nuclear Accident Using Multiple Synchrotron Radiation X-ray Analyses; Analytical Chemistry

<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac501998d>

1-2-3. 爆発後の 2011 年 4 月 4 日から 11 日までに採取されたサンプルに基づく分析

国立環境研究所の大野利真氏らは、つくば市における 4 月 4 日から 11 日までの観測に基づいて、大気中の放射性ヨウ素 131、セシウム 134 および 137 の粒径分布を推計している（図 4）^{注1 5}。それによれば、ヨウ素 131 は、ほとんどがガス状で、一部が微小粒子であり、 $1\mu\text{m}$ 以下の微粒子もかなり多い。セシウムは、図 4 で見ると、 $2.5\mu\text{m}$ あたりにピークがあり、 $3.3\mu\text{m}$ 以下の微粒子であった部分が多い。大野氏らによれば、ヨウ素 131 はほとんどが乾性沈着（大気乱流や重力沈降により地表面に沈着）したのに対し、セシウム 137 は湿性沈着（雨滴の核になったり降雨に付着して雨とともに地表に落下）が「支配的である」という。

図 4 粒径ごとの放射能の分布



(ACFは活性炭繊維フィルターに吸着されたガスの放射能量)

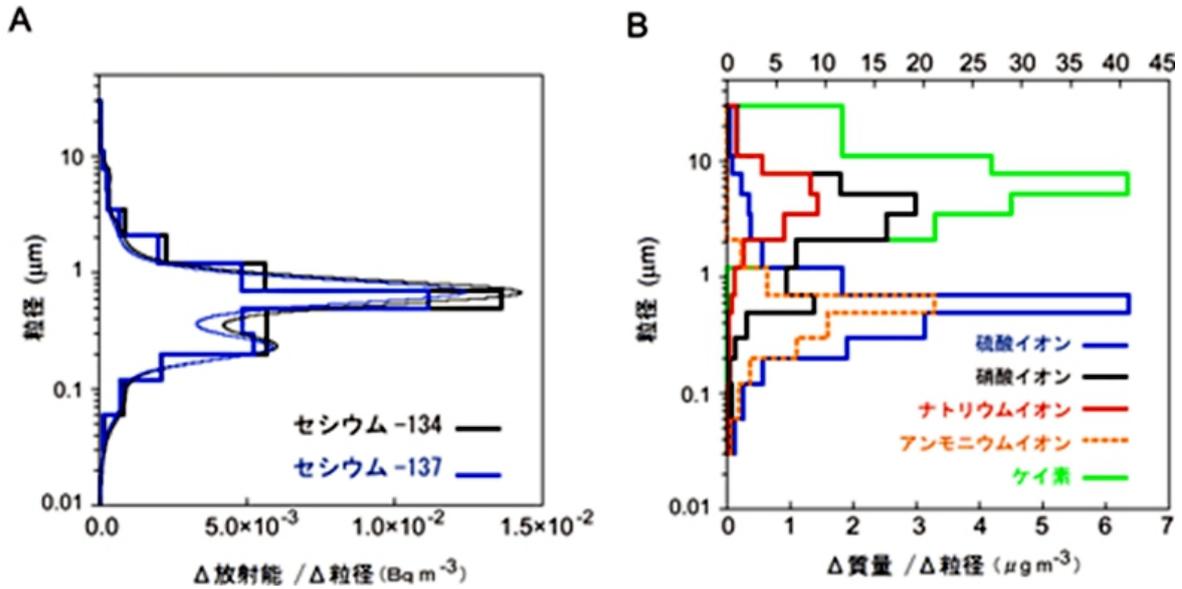
出典：国立環境研究所「放射性物質の大気輸送・沈着 シミュレーションの現状と課題」

<http://nsec.jaea.go.jp/ers/environment/envs/FukushimaWS/taikikakusan1.pdf>

1-2-4. 2011年4月28日から5月12日までに採取されたサンプルによる分析

産業技術総合研究所の兼保直樹氏は、上記環境研究所グループに続く時期（2011年4月28日から5月12日まで）に、同じくつくば市の同研究所において、大気中の放射性微粒子を吸引捕集し分析を行った^{注16}。それによれば、この時期には、すでに相対的に粒径の大きな微粒子は大きく減少し、とりわけ大野氏の発見した粒径2μm付近のピークは消えてしまっている。兼保氏らによれば、採取された放射性微粒子は粒径0.2-0.3μmと0.5-0.7μmに極大値を持つ「二極性の特徴的な分布」を示したとされる（図5）。

図5 放射性セシウムを含む粒子およびエアロゾル主要成分の粒径分布



茨城県つくば市における A : 2011 年 4 月 28 日～5 月 12 日の放射性セシウムを含む粒子の粒径分布、なめらかな曲線は計算により本来の粒径分布を復元したもの。B : 同期間の大気エアロゾル主要成分ごとの粒径分布（ケイ素のみ上軸）。 Δ は微少な変化量を表す。

出典：兼保直樹「風に乗って長い距離を運ばれる放射性セシウムの存在形態——大気中の輸送担体を解明」の図 1 より

http://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/nr20120731/nr20120731.html

さらに兼保氏は、放射性セシウムは「単独ではこのような粒径分布の粒子は形成できず、大気中に比較的豊富に存在する何らかの大気エアロゾル成分の粒子に付着するか含まれた状態で浮遊していた」と推論した。兼保氏は、このような放射性セシウム粒子の粒径分布（図 5 左）と同時に観測された他の主要物質の粒径分布（図 5 右）とを比較し、硫酸塩エアロゾルが放射性セシウムの輸送担体であろうと推定している。この点について、上記足立氏らは、すでに足立氏らが採取した 3 月 20/21 日の第 2 回目のプルームにおいてこのような傾向が出現していることを指摘して、兼保氏の推測を積極的に評価している^{注1 2}。

しかし、常識的に考えて、硫酸塩だけではなく、いろいろなイオンにも、少なくともほぼ同じ分布を示していたアンモニウムイオンや、一部は硝酸イオンにも、付着していたと考えるのが自然ではないだろうか。また、 $2\mu\text{m}$ より小さいサイズの合金状あるいはガラス状の球状微粒子が放出された可能性も、否定できないであろう。

一見して明らかなのは、兼保氏の粒径分布では、大野氏らの観測結果にあった $2\mu\text{m}$ 付近にあったピークがなくなっていることである。これは、観測地点が

ほぼ同じであることを考慮すると、観測時期の違いによるものが大きいと思われる。兼保氏の観測結果は、4月末以降の時期にはすでに粒径の大きな、おそらくは1-2-1 および1-2-2 で見た、事故初期の爆発に由来する微粒子の大部分がすでに沈着するか飛散してしまっていたことを示唆している。

1-2-5. 2011年6月6～14日および6月27日～7月8日に採取された土壌の調査

別なテーマであるが、文部科学省は、2011年9月30日、福島事故由来であると確認できるプルトニウム（238 および 239+240）が、原発から最大45km離れた福島県内各地の土壌から発見された、と発表した^{注17}。きわめて重い元素がこのような長い距離を飛んでいることから、プルトニウムは微粒子として飛散したと考えられ、プルトニウムの微粉塵あるいはプルトニウムを含む微粒子が広範に飛散したことは、疑いえない。しかも、この調査によれば、プルトニウム238単独では、茨城県と福島県の80km圏を越える4地点でも検出されており、これらについて政府は事故由来であることを認めていない。しかし事故原発からプルトニウムが流れた方向の4km程度のごく近傍でも、プルトニウム238しか検出されていない地点もあり、政府の評価はきわめて疑問である。プルトニウムが45kmよりもさらに広く飛散した可能性が高いというべきである。

ちなみに、米国環境保護庁（EPA）のデータは、グアム、サイパン、ハワイ、米本土のカリフォルニア州やワシントン州において、2011年3月15日～24日にかけて、環境中の放射性物質の濃度が、突然、統計が記載されている過去20年間になかったレベルに急上昇したことを示している。その中にはプルトニウム239、ウラン238、ウラン234も含まれており、福島原発から放出されたものと見られている^{注17}。

ストロンチウム（89 および 90）については、日本政府の調査は80km圏に広く飛散している状況を示している。この飛散も、ストロンチウムが微粒子となっていたことを示している。しかし、この場合も、政府は両方の同位体が検出された地点のみを事故由来としており、ストロンチウム89の半減期が約50日と短く、測定までの期間（土壌採取が事故の約3ヶ月後なのでそれ以上）に測定限界以下に減衰していた可能性を考慮すると、評価には上と同じ疑問が残る。

このように、セシウムやヨウ素と並んで最も危険な放射性核種のうちの2種、アルファ線を出し毒性が強く半減期（Pu239で2.4万年）も生物学的半減期（同200年とされる）もきわめて長いプルトニウムと、ベータ線を放出し半減期がセシウムと同様に長く（Sr90で29年）骨に蓄積して生物学的半減期がきわめて長く（同49年）いったん体内に取り込まれると生涯にわたる内部被曝を引き起

こすきわめて危険なストロンチウムとが、微粒子として広範に放出されたことは、政府の調査結果によって証明されている。

1-2-6. 事故のピークを過ぎた 2011 年 7 月 2 日から 8 日までに採取されたサンプルの分析

小泉昭夫氏（京都大学大学院医学研究科環境衛生学分野）ほかによるセシウム粒子の分析は、明らかに事故のピークが過ぎたと考えられる時期（2011 年 7 月 2 日から 8 日）に、事故原発に近く汚染が深刻な福島市内（北緯 37°45'42"・東経 140°28'18"）で行われた^{注18}。その結果は、4.9-7.4 μm と 0.7 μm 未満（0.46-0.7 μm および 0.47 μm 未満）という 2 つのピークをもつ粒径分布を示している（表 2）。また放射性微粒子のうち、数では 67%、放射エネルギーでは 77%が、肺内に沈着する可能性の高い粒径 5 μm 未満の粒子である点も重要である。

表 2 福島県における大気中放射性セシウムの粒度分布と経気摂取量推定

項目	アンダーセン式空気捕集装置 使用調査, 224 m ³		放射能量		
	粒度	粉じん量	(mBq/m ³)		
単位	μm	mg (%)	Cs134 (%)	Cs137 (%)	Cs134+137(%)
	11.4-100	0.7 (8.1)	0.4 (6.2)	0.3 (6.4)	0.7 (6.3)
	7.4-11.4	1.1 (12.8)	0.3 (4.6)	0.3 (6.4)	0.6 (5.4)
	4.9-7.4	1 (11.6)	1.0 (15.4)	0.4 (8.5)	1.4 (12.5)
	3.3-4.9	0.9 (10.5)	0.5 (7.7)	0.6 (12.8)	1.1 (9.8)
	2.2-3.3	0.6 (7.0)	0.3 (4.6)	0.2 (4.2)	0.5 (4.5)
	1.1-2.2	0.8 (9.3)	0.3 (4.6)	0.2 (4.2)	0.6 (5.4)
	0.7-1.1	1.3 (15.1)	0.8 (12.3)	0.4 (8.5)	1.2 (10.7)
	0.46-0.7	1.3 (15.1)	1.5 (23.1)	1.1 (23.4)	2.6 (23.2)
	0.46 未満	0.9 (10.5)	1.5 (23.1)	1.3 (27.7)	2.8 (25.0)
合計		8.6 (100)	6.5 (100)	4.7 (100)	11.2 (100)
吸入可能分	4.9>	5.8 (67.4)	4.8 (73.8)	3.8 (80.9)	8.6 (76.8)

出典：小泉昭夫氏（京都大学大学院医学研究科環境衛生学分野）ほか「福島県成人住民の放射性セシウムへの経口、吸入被ばくの予備的評価」表 3 より筆者作成

<http://hes.med.kyoto-u.ac.jp/fukushima/EHPM2011.html>

上記の兼保氏の分析を踏まえれば、次の点が確認できる。

大きい方のピーク（4.9-7.4μm）は、大気中に圧倒的に多い、土壌の主成分であるケイ酸の粒径分布に類似しており、土壌に沈着した放射性微粒子が再浮遊し飛散した可能性を示唆している。すなわち、この分布は、すでにこの時期には、事故原発からの一次的な放出が続いていただけでなく、放射性微粒子の再浮遊（resuspension）が本格的に始まっていたことを示していると考えられる。

ピークではないが 2μm 前後の粒径も 1 割程度を占めており、福島市のような汚染が深刻な地域においては、足立氏が発見したセシウム・ウランを含むボール状微粒子もまた広く再浮遊していた可能性も否定できないであろう。

2つのピークのうち小さい方の 0.46-0.7μm および 0.46μm 未満のピークは、

兼保氏が指摘した粒径分布（1-2-4）にはほぼ等しいが、全体の放射エネルギーの半分を占めている。1.1 μm 未満で見れば約6割を占めている。サブミクロンあるいはナノレベルの微粒子が過半であると推定できる。これは劣化ウラン弾の爆発によって放出される放射性微粒子のサイズである。すなわち福島事故が放出した放射性微粒子の健康影響は、劣化ウラン弾による健康影響と比較可能であることを示している^{注19}。

1-2-7. 2012年頃から現在まで：「黒い物質」と呼ばれている黒色の粉塵

2012年ごろから、強い放射線を放出する黒色の粉末状物質の目撃情報が、福島県南相馬市、東京都内各地などで相次いでいる^{注20}。この現象は現在でも観測され続けている。この現象は十分に解明されていない。また、法律上「放射性同位元素」としなければならないほど強い放射線を出すことが判明しているにもかかわらず、公的機関による本格的調査も行われていない。この「黒い物質」と呼ばれる粉末には、性質の違う2種類の微粒子があることが分かっている。一つは、鈴木三男東北大学教授や山内知也神戸大学教授が分析した「藻類」によってセシウムイオンが生物濃縮された粉体、もう一つは、早川由紀夫群馬大学教授が分析した「風雨による集積」の結果生じた粉体である。植物由来か鉱物質かの判断は間違いようがないので、2つの種類の「黒い物質」があるのが自然であろう。

両者とも強い放射線を発し、山内氏によれば、南相馬で採取されたサンプルの最高は1kgあたり340万ベクレル、東京で発見されたものの最高は24万ベクレルの放射性セシウムが検出されたという^{注21}。

早川氏によれば、黒い塵は「風雨の作用で地表のセシウムが寄せ集められた土」であり、ビルやアスファルトなど「人工構造物に取り囲まれた都市では容易に起こる」という^{注22}。われわれが見てきたように、放射性物質が最初から個々の原子レベルではなく微粒子として放出されたという事実を考慮すれば、このようなサイズの大きな粒子への集積は容易に説明できるであろう。

他方、山内氏は、調査したサンプルについて、足立氏の発見した放射性微粒子（1-2-1記載）とは「直接の関係はないと考えられる」という。平均粒径については、藻類は割れば細くなるので、粒径は測定しなかったとのことである（山内氏からの私信による）。早川氏についても粒径を明確に規定している資料を見いだすことができなかったが、数十から数百 μm で、われわれが上で検討してきた微粒子よりはかなり大きいと思われる。ただ重要なのは、山内氏の指摘するように「藻類なので踏みつぶせばいくらかでも細くなる」点で、時間的経過と共に微粒子化し、肺沈着の可能性が高い5 μm 以下の粒径に変化していく危

険がある。

原子力発電の専門家から反原発活動家に転じたアーニー・ガンダーセン博士とボストン化学データ社の社長で放射性同位元素についての専門的研究者であるマルコ・カルトフェン氏は、事故原発から 17km (放送のスク립トでは 10km だがおそらくマイルの誤植であろう) 離れた福島県浪江町で採取した塵の放射線分析を行い、それが直接に核燃料に由来する「ホットパーティクル」であることを発見した。その分析結果はインターネットで公開されている^{注23}。それによれば、粉体は、粒径 2~10 μm 、均質で一様な (homogenous and uniform) 粒体で、150 万ベクレル/kg という強い放射線を発し、セシウム 137 と 134 だけでなく高濃度のラジウム 226 が含まれていた (トリウム、鉛チタン酸塩、イットリウム・ランタン化合物、コバルト 60 も含まれていた)。鉛・希土類を含む微粒子の中には、粒径 1~2 μm という呼吸によって肺に沈着する可能性の高い粒子も見られた。彼らは、この粉体が、核分裂生成物だけでなく「燃焼しなかった核燃料の一部」をも含んでいる可能性が高いと考えている。

カルトフェン氏は、2014 年 8 月 3 日に、福島原発から 460km 離れた名古屋で採取された掃除機フィルターから、極めて強力な放射線を発する放射性微粒子 (粒径 10 μm) を発見した。それにはセシウム 137・134 だけではなく、コバルト 60、ラジウム 226 が検出された。放射線量が法外に高い (1 キログラムに換算すると 4000 京 Bq/kg) ことから、カルトフェン氏は、その粒子の少なくとも 80% は核燃料自体の破片であろうと評価している^{注24}。

京都大学大学院工学研究科の河野益近氏は、2014 年 8 月から 9 月にかけて、福島県南相馬市内および福島県各地で「黒い物質」を採取し、放射線強度を測定した。その結果によれば、南相馬では 16 万~99 万ベクレル/kg、福島市内でも 8 万ベクレル/kg が検出されている。これによれば、「黒い物質」は、現在も、多くの住民の生活空間において存在し、数多くの人々を、とくに戸外で遊ぶことの多い子供たちを確実に内部被曝に導いていると考えられる^{注25}。

表3 福島県南相馬市内と福島県内の土壌および「黒い物質」の放射線量

福島県南相馬市内と福島県内の土壌汚染と黒い物質		Bq/m ²	Bq/kg	測定日
土 壌	原町区原浪トンネル手前の土(wet)		1,620,000	2014年9月
	小高区川房・お墓の土(wet)---非居住---	658,000	10,600	"
	原町区相馬野馬追会場の土(wet)	131,000	2,270	"
黒い物質	原町区馬場の黒い物質(dry)		994,000	2014年8月
	原町区馬場の黒い物質(wet)		848,000	2014年9月
	小高区桃内駅の黒い物質(dry)---非居住---		467,000	"
	原町区大木戸のショッピングモールの黒い物質(wet)		164,000	"
	原町区日の出町・市立総合病院付近の黒い物質(wet)		160,000	"
土 壌	磐越自動車道・五百川PA(郡山市)	136,000	<2,092>	2014年7月
	磐越自動車道・新鶴PA(会津美里町)	55,700	<857>	"
	磐越自動車道・三春PA(田村郡)	41,500	<638>	"
	(磐越自動車道新潟PA)	102	<2>	"
黒い物質	安達郡大玉村・国道4号線玉貫交差点		108,000	2014年8月
	福島市・4号線と115号線の交差点		81,900	"
土 と 砂	国道4号線上り車線: 福島県立医大の西側		78,900	2014年8月
	国道4号線下り車線: 大玉村・玉貫交差点		35,600	"
除染碎石	原町区馬場・除染後の民家雨樋下の碎石(dry)		53	2014年9月
	原町区馬場・除染後の民家雨樋下の黒ずんだ碎石(dry)		481	"
※放射性セシウム40,000Bq/m ² 以上は放射線管理区域に相当 ※放射性セシウム10,000Bq/kg以上は放射性同位元素に相当 (ふくいち周辺環境放射線モニタリングプロジェクト、河野益近氏の資料より抜粋)				

出典:「フクロウの会」のホームページより

http://fukurou.txt-nifty.com/fukurou/files/2014_1010ozawa2.pdf

1-3. 以上から導かれる結論

以上検討した観測事実から次のように結論できる。

(1) 福島事故においては、放出された放射性微粒子は、主に、いったんは気化した物質が固化して形成された微粒子の形を取っていた。さらには、炉心溶融過程ですでに微粉化していた核燃料(核分裂生成物である多種の放射性物質が固溶している)が爆発により放出されて形成された微粒子もあった。

(2) 福島事故において、a) 粒径の点で、b) 不溶性・可溶性の点で、c) 合金・ガラス状か各種大気中エアロゾルへの付着かの点で、生成過程の異なるさまざまな種類の放射性微粒子が放出された。

(3) そのような性質の違いによって、これらの微粒子は人体内に侵入する

過程において異なった経路を辿ることになる。

(4) 早い時期から、遅くとも 2011 年 7 月には、放射性微粒子の再浮遊が本格的に始まっていた可能性がある。

(5) 福島から東京にかけて広く拡散している「黒い物質」は、ここで検討した福島原発から放出された放射性微粒子であるか、福島事故により放出された放射性物質に由来するものである。またこの事実により、足立氏らが発見した「ホットパーティクル」が、ごく少数の例外的な存在ではなく、広く存在する普遍的現象であることが証明されている。

2. 放射性ガス・微粒子の人体内への侵入経路

2-1. タンプリン、コ克蘭による問題提起

このような放射性微粒子による被曝の危険性は、すでに 1974 年に、タンプリンとコ克蘭らが「ホットパーティクル」として提起したものである。彼らは、微粒子によって（とくにアルファ線によって）被曝する場合には、近傍の組織の被曝量は莫大なものになるので、ホットパーティクルを問題にする場合の許容量を 11 万 5000 分の 1 に引き下げるよう提案した^{注26}。

当時の議論は、プルトニウムとアルファ線による影響が議論の中心であったが、現在ではセシウムやストロンチウムやウランなどについても、ベータ線やガンマ線についても、同じように当てはまるということが明らかになってきている。1-2 および 1-3 で検討したような各種の放射性微粒子が現実に発見されてきている現在、「ホットパーティクル」の危険性は、1974 年当時の議論よりも、もっと広く深刻に考えなければならない。

2-2. 1969 年の日本原子力委員会（当時）の報告書

これらの放射性微粒子の健康への影響の検討に進む前に、タンプリンが問題を提起する 5 年前の 1969 年に、日本において、当時の原子力委員会が、微粒子による内部被曝のメカニズムを検討し、その危険性を報告している事実があることを確認しておこう（「原子力委員会決定 昭和 44 年（1969 年）11 月 13 日プルトニウムに関するめやす線量について」^{注27}）。

萩原ふく氏はこの文書を発見して、ホームページ「No Immediate Danger」でこの重要な事実を指摘し、「ホットパーティクル」が福島事故で生成された可

能性を調査もせず否定した日本の ICRP 委員たちを強く批判している^{注28}。

この政府文書は、プルトニウムの微粒子の体内への侵入と内部被曝のメカニズムに関して、きわめて重要な指摘をしている。長くなるが引用しよう。

1 事故時に放散されるプルトニウムの形態

...燃料物質が原子炉建屋の外に放散されるような事故を考えるならば、そのときの放散されるプルトニウムの形態は、酸化物のかなり細かい粒子であると考えてよいと思われる。このような形態のプルトニウムが原子炉周辺の公衆と接触するのは、事故時に生じたエアロゾルが格納施設から漏れでて外界に放散されるときと考えられる... 仮想される原子炉事故の場合に、最も多くの人々が遭遇し、かつ、これらの人々が放射線障害を受ける危険性が最も大きいと考えられるのは、これらのエアロゾルを吸入することによってプルトニウムを体内に摂取する場合である。...

2 吸入されたプルトニウムの代謝

プルトニウムがエアロゾルとして大気中に放散された場合、吸入されたプルトニウムの一部は呼気とともに排出されるが、残りは呼吸器系の各部に沈着する。

(イ) プルトニウム粒子の呼吸器系への沈着

プルトニウム粒子の呼吸器系の各部への沈着の割合は、その粒子の径によって大きく左右され、さらに粒子の気道中での速度を支配する呼吸量によっても影響をうける。一般に、粒子径が大きいものは鼻咽腔に、中位のものには気管、気管支に、更に微細なものは終末気管支および肺胞の部分にまで侵入して、そこに沈着する。一般に、大気中に放出されるプルトニウムエアロゾルは、単一の粒子径のものではなく、種々の大きさのものが混在する。... (別図)

(ロ) プルトニウム粒子の沈着後の行動

呼吸気道の各部へ沈着したプルトニウム粒子は、それが PuO_2 のような不溶性のときは、一部は鼻汁とともに外部へ、残りは嚥下されて消化管へ移る。気管や気管支に沈着した粒子は、これらの部分の呼吸気道に存在する繊毛により粘液とともに上方へ送られ、咽頭部を経て消化管へ移行するが、このときの速度は非常に速く、数分及至数十分と推定されている。...終末気管支および肺胞に沈着した粒子は、その部位では繊毛による粒子の移動がないため、長い期間そこに留まる。肺胞の壁を構成する細胞の中には、粒子を貪食する作用をもつものがあるので、一部の粒子は貪食され、さらに、その一部は細胞とともに肺リン巴節へ移行しそこに長く留まるものと考えられている。

プルトニウムは、肺臓の各部でわずかではあるが血液中に吸収され、また、貪食されたプルトニウム粒子の一部は、リン巴を介して血液中へ入る。

血液中に入ったプルトニウムは、一部は肝臓へ、他は骨、骨髄に移行する。肺臓

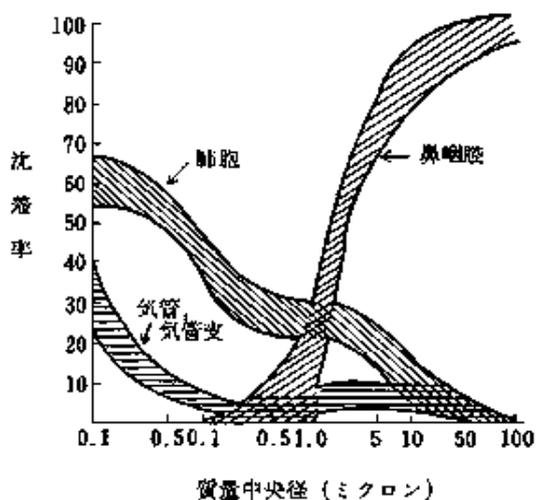
に沈着したものは緩慢に減少し、一方、肝臓、骨、骨髄、肺リン巴節では、極めてゆっくり増加する。...

3 問題とすべき臓器

...肺臓は、その機能の重要度からしても、また放射線感受性という点からも重要視すべきであり、とくに吸入後初期には、線量率も肝臓、骨等に比べて著しく高く、また、PuO₂の場合、肺胞のプルトニウムによる積算線量は肺リン巴節に次いで大きく、動物実験においても多数の肺癌が認められているので、肺臓は...問題とすべき臓器の一つである。...

また同報告には別図が付いており、これも重要である。「肺の各領域における沈着率の粒径分布の違いによる差」と題されており、とくに鼻咽喉への沈着率は最近の「鼻血」問題との関連で注目される。

(別図) 肺の各領域における沈着率の粒径分布の違いによる差



呼吸気量: 1450ml/分
分布パラメーター(幾何学的標準偏差): 1.2~4.5
対数正規分布

[注意: 図の横軸左下の2箇所のミクロンの表記(0.1と0.5)は、明らかに誤植で0.01と0.05としなければならないと思われる]

すでに今から45年前に、内部被曝の具体的なメカニズムを明らかにしようとするこのような見解が、政府報告として公式に表明されていたことは、驚くべきである。荻原氏は、この文書が現在までほとんど忘れ去られていた事実に言及している。最も重要な点は、この内容が、そこで述べられているプルトニウ

ムだけではなく、セシウム、ウラン、ストロンチウムほかの放射性物質について同じように当てはまることである。

2-3. 内科学および薬学の教科書による肺内沈着の説明

2-3-1. 『内科学書』（中山書店）の叙述

もちろん政府報告書のこのような内容は、医学の基本的な学説に沿ったいわば教科書的見解であって、決して特異なものではない。放射性微粒子の肺内沈着のメカニズムは、基本的に「じん肺」を引き起こす過程と同一であると考えられる。内科学の二大教科書のひとつ、『内科学書』（中山書店 第3版 1987年）は、「呼吸器疾患 13 じん肺」の項で次のように書いている。「一般に吸入された粉じんは、 $6\mu\text{m}$ 以上の大型粉じんの 80% は気道で捕捉され、肺胞腔に達するのは $2\mu\text{m}$ 以下の粒子である。 $0.2\mu\text{m}$ 以下の粒子はそのまま喀出されるか肺胞の食細胞により処理されるので、結局じん肺を起こす最も有害な粒子の大きさは $1\sim 5\mu\text{m}$ と考えられている。」^{注29}

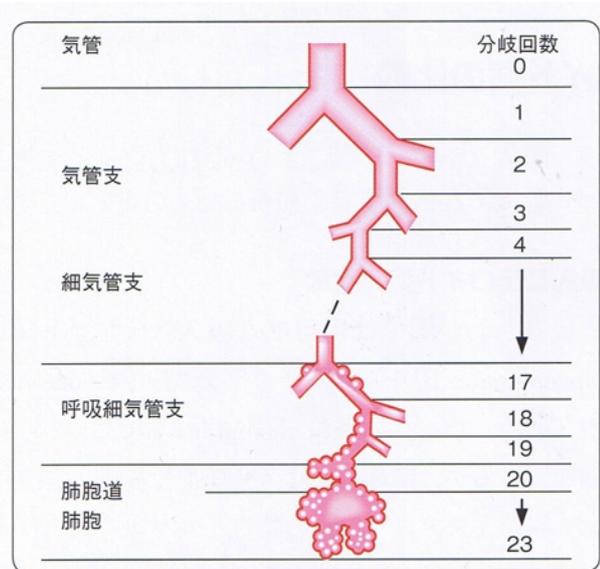
ただし、じん肺の場合は、微粒子は遊離珪酸（ SiO_2 など）などで、もっぱら細気道に固着してそこに炎症を起こし、肉芽腫が形成されたり、繊維化が生じたりすることが主な病態であるが、福島事故の場合は放射性微粒子であるから、肺に留まればそこで肺病変を起こし、もしも食細胞に捕捉されたときに崩壊をおこして食細胞が破壊されれば、リンパ管からのみでなく、肺胞の毛細血管から体内血流にのり、体内に入り込むことは容易に考えられる。

また『内科学書』は、「治療総論」の中に「b. 吸入療法 a) エアゾール粒子の大きさと付着部位」の項があり、「正常な機能をもった肺では、深くゆっくりした呼吸を行った場合、肺胞には $1\sim 2\mu\text{m}$ 、細気管支には $5\sim 10\mu\text{m}$ 、気管支には $12\sim 20\mu\text{m}$ 、上気道には $40\mu\text{m}$ 以上の粒子が付着する」としている^{注30}。

2-3-2. 吸入薬の使用法についての薬剤師向け教科書の記述

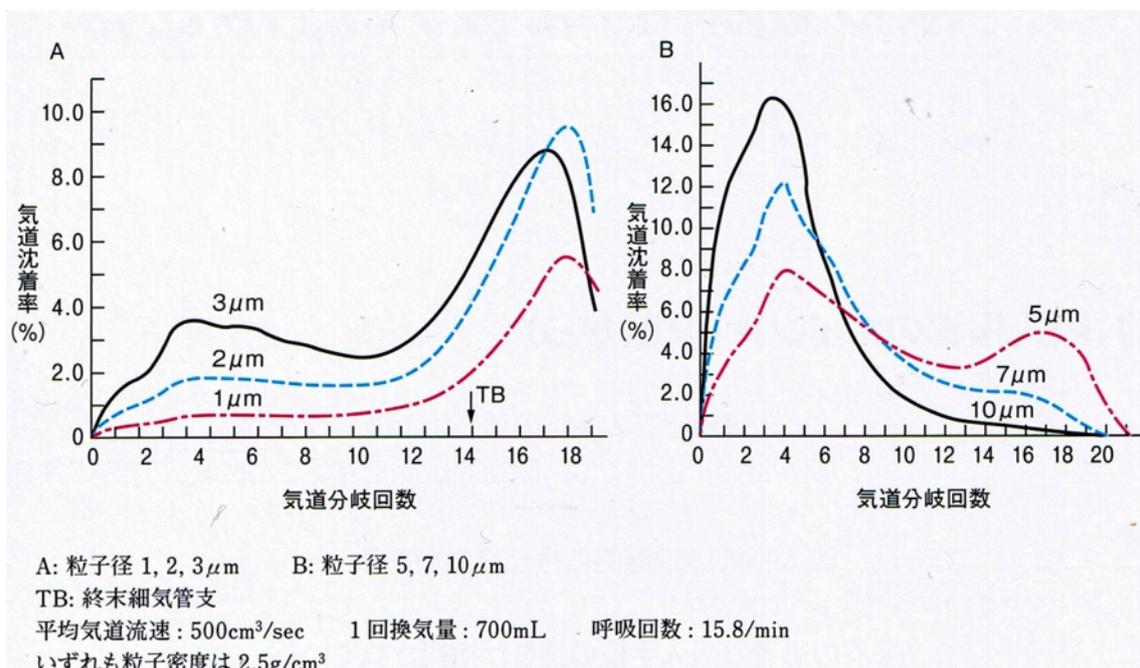
薬学関係の吸入薬に関する教科書^{注31}も同じ内容の記述をしている。最近では吸入薬の薬効を向上させるために、各製薬メーカーによって粒径を小さくする努力がなされている。その関連で、粒径と肺内沈着率が研究されており、粒径によって気道のどの部分に沈着する可能性が高いかも明らかにされている（図 6～8）。またそれによれば、粒径が小さい場合に、2-2 で引用した政府報告書の「別図」よりも肺内沈着率が高いことが分かっている。

図6 気道の分岐回数とその名称



福井基成監修 吸入指導ネットワーク編集 『地域で取り組む喘息・COPD 患者への吸入指導 吸入指導ネットワークの試み』フジメディカル出版（2012年）64ページ

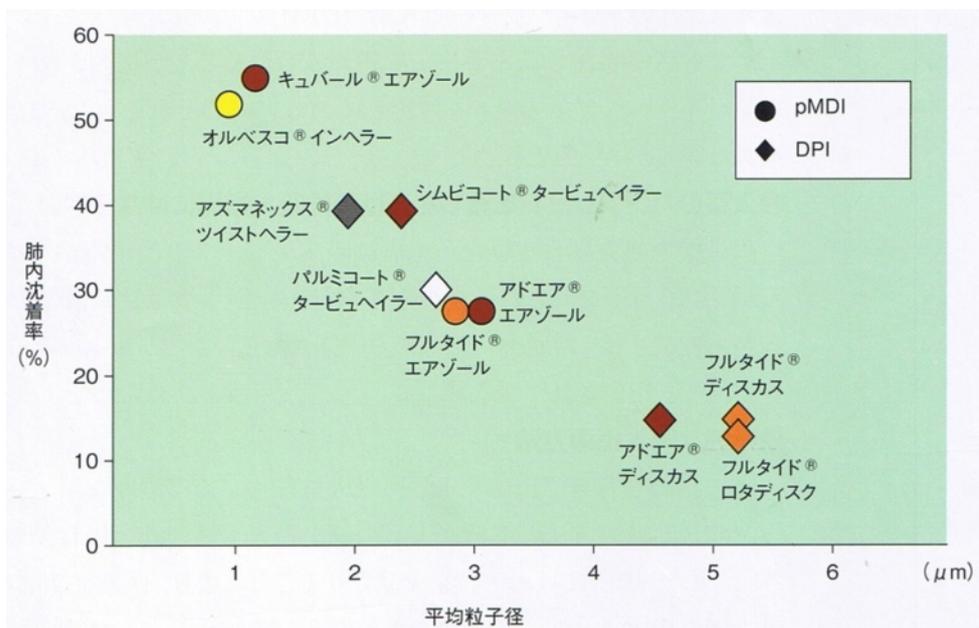
図7 Weibelのモデルを用いた球状粒子の気道への分布比率



出典: 福井基成監修 吸入指導ネットワーク編集 『地域で取り組む喘息・COPD 患者への吸入指導 吸入指導ネットワークの試み』フジメディカル出版（2012年）65ページ

原典: Gerrty T R et al: Calculation deposition of inhaled particles in the airway generation of normal subjects. J Apply Physiol 47(4): 867-873, 1979

図 8 剤形別による各吸入ステロイド剤の平均粒子径と肺内沈着率との関連



pMDI：定量噴霧式吸入器（液体）、DPI：ドライパウダー吸入器（固体）

引用者注：微粒子が液体でも固体でも傾向は変わらないことが分かる。

出典：福井基成監修 吸入指導ネットワーク編集 『地域で取り組む喘息・COPD 患者への吸入指導 吸入指導ネットワークの試み』フジメディカル出版（2012年）65ページ
 原典：Leach C L: Inhalation aspects of therapeutic aerosols. Toxicol Pathol 35(1): 23-26, 2007

2-4. 肺内に沈着した放射性微粒子による内部被曝の危険

肺に沈着した放射性微粒子はそこで内部被曝を引き起こす。タンプリンの警告で分かるように、微粒子による被曝は放射性核種の元素単位での被曝よりも影響が桁違いに大きい。主要な影響はもちろん肺がんであるが、がんだけでなく、活性酸素・フリーラジカルによる肺炎を引き起こす可能性もある。『内科学書』第8版（2013年）には、放射線治療によって生じる活性酸素・フリーラジカルが引き起こす「放射線肺臓炎」の項目が記載されている^{注32}。また、われわれが仙台錦町診療所・産業医学センターの広瀬俊雄医師にこの点を質問したところ「(活性酸素である) オゾン将我国の大気環境水準の濃度で実験的にウサギに曝露したところ、組織所見（電顕 [電子顕微鏡] 含めて）で、末梢気道に反応性の細胞の集積（クラスター）が確認され、その反映と思われる肺機能障害（クローズィングボリューム [呼気中の N₂ 濃度を測定して末梢気道閉塞の程度

を調べる検査法]を用いて末梢気道障害)を確認出来ている」という返答があった^{注33}。低線量であっても放射線から発生する活性酸素・フリーラジカルが末梢気道を損傷する裏付けとなると考えられる。

相対的に大きな(およそ $2.5\mu\text{m}$ 超)微粒子は、大量に鼻腔に付着した場合、局所的に毛細血管細胞を破壊し鼻血を引き起こす原因になるであろう。粒径の小さい(およそ $2\mu\text{m}$ 未満)放射性微粒子は、肺の最深部まで侵入して肺胞に沈着するので、長期にわたってそこに付着し、体内に取り込まれる比率も高く、内部被曝の危険が何倍も大きいと考えられる。足立氏が発見した $2\sim 2.6\mu\text{m}$ 程度の粒子は、どちらにも働くことができ、非常に危険な存在ということができる。気管に沈着した粒子は、喀痰(タン)として体外に排出されなければ、食道に入り、粒径が $0.1\mu\text{m}$ より小さければ消化器から吸収される可能性がある。

こうして肺から侵入した放射性物質は、血液とリンパ液を介して体内のあらゆる臓器、組織に侵入していくと考えられる。

以前より、粉じん作業には、肺がんを始めとする肺疾患のみでなく、食道がん・胃がん・大腸がんなどの消化器がん、肝臓がん、鼻・副鼻腔がん、脳腫瘍が明らかに多いと報告されてきた^{注34}。また、マクロファージなどの食細胞が破壊されるなどの細胞性免疫力の低下から、粉じん作業には全身疾患が有意に多いという報告^{注35}があった。

また、被曝労働の観点から見ると、アメリカ・エネルギー省関連核施設で働く被曝労働者約60万人に対する調査(1980~1990後半)について報告された2000年3月の「クリントン・ゴア教書」では、白血病、悪性リンパ腫、多発性骨髄腫を含む22種のガンについて、放射線起因性であることが明らかにされた^{注36}。

放射性微粒子が肺の奥深くまで到達し、そこに長く留まり、放射線を出し続けたならば、肺がんを始め、肺線維症なども含めた肺疾患を引き起こすであろう。しかし、放射性微粒子が肺には留まらず、肺胞マクロファージなどの食細胞に捕捉された後、肺門部(左右両肺の内側の中央部にあつて気管支・肺動脈・肺静脈が出入りする部位)や縦隔(胸腔内の中央にあり左右の肺を隔てている部分)のリンパ節などに長期に留まれば、悪性リンパ腫を発症する可能性があり、血流を介して骨髄に到達すれば、白血病や多発性骨髄腫などを引き起こす可能性がある。また、前述のように、いったん気道に入った放射性微粒子が喀痰などと共に飲み込まれ、消化器系に入り、がんを始めとする消化器疾患を引き起こすことも想像に難くない。さらに言えば、マクロファージに捕捉された放射性微粒子が崩壊を起こすことにより、マクロファージが破壊され、さらに再びその微粒子が別のマクロファージに捕捉されて再びマクロファージを破壊するというサイクルを引き起こすことによる免疫力の低下が生じることになる。

まさに、このサイクルは後述する福島県及び東京において見られる小児の好中球減少のメカニズムではないかと考えられる。つまりは、あらゆる疾患からの回復力の低下を引き起こす可能性を示唆している。このことは、チェルノブイリ事故後、人々にあらゆる疾患が増え、慢性疾患を有する人々の比率が急増したことの説明のひとつになり得るだろう。

2-5. とくにナノ粒子の危険

本論文で検討してきたとおり（1-2-1 から 1-2-4 までおよび 1-2-6）、福島原発事故において粒径 $1\mu\text{m}$ 未満（ナノレベル）の放射性微粒子が極めて多数放出されていたことは、観測によって証明されている。また、本論文で引用した兼保直樹氏らの観測によれば、放射性微粒子の粒径分布は、放射エネルギーで見て、大部分がナノ粒子であったことが明らかになっている（図 5）。さらに小泉昭夫氏らによるセシウム粒子の分析によれば、採取された放射性微粒子全体の中で、 $1.1\mu\text{m}$ 未満の放射性微粒子は重量で 40.7%、セシウム放射線量で 58.9% を占めている（表 2）。また「PM2.5」と並んで最近注目されるようになっている「PM0.5」で見ると、 $0.46\mu\text{m}$ 未満の粒子は重量の 10.5%、放射線量の 25% を占めている。粒子の絶対数で見れば、放出された放射性微粒子の中で、これらナノレベルの微粒子が圧倒的に多いと考えるべきであろう。

粒径がナノレベルのこのような放射性粒子は、ミクロンレベルの粒子よりも危険性が桁違いに大きいと考えられる。かつては「 $1\mu\text{m}$ 以下の小さな粒子は、その大半は肺にとどまらずに呼出されてしまう」と考えられていた（たとえば 1987 年発行の前掲『内科学書』第 3 版 803 ページ）。しかし、現在、 $0.1\mu\text{m}$ (100nm) 以下の微粒子は、肺胞から直接血液中に入り込み、また消化管からも皮膚からも体内に直接吸収されることが知られている^{注37}。ナノ粒子の危険性はまだ十分に解明されていない。とくに劣化ウラン弾の爆発で生じるような 5nm 程度の微粒子は、ガスと同様に作用するので、とくに危険であると警告されている^{注38}。しかもナノ粒子は、体内のあらゆるバリア（関門、例えば胎盤や脳血管）を通り抜けてしまい、胎児にも、脳にも直接入り込んでしまう可能性がある^{注39}。また、最近の非放射性的の重金属（コバルト・クロム）ナノ粒子を使った研究では、バリアを通り抜けなくても、バリア細胞間の信号伝達を攪乱し、バリアの向こう側の細胞の DNA を損傷することが明らかになっている^{注40}。

2-6. 放射性微粒子による内部被曝の特殊性、集中的被曝とその危険

ここで、内部被曝の人体への影響が今まで考えられてきた以上に極めて広い

範囲に及ぶという点を見てみよう。

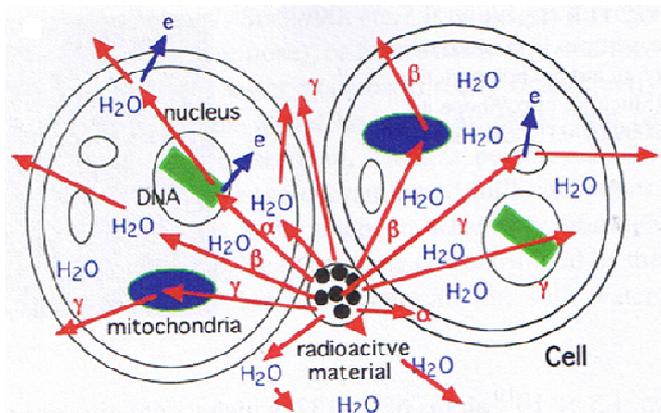
内部被曝は、多くの模式図では各1個の放射性元素原子によって生じる場合が描かれている。確かに可溶性粒子の場合には、含まれている放射性物質がセシウムの場合、各個の原子が体内に入り、内部被曝を起こすであろう。しかし同じセシウムを含む粒子でも不溶性の微粒子の場合、とくにナノ粒子になった場合には、徐々に体液に溶けて行くにしても、長期間粒子のままとどまり、集合体として周囲の細胞や組織を集中的に放射線によって攻撃して行くであろう。いわゆる「生物学的半減期」（そのようなものが存在するとして^{注41}）は、放射性核種が個々に原子レベルで存在するという仮定の下での数値であり、不溶性微粒子の場合には意味をなさない。また可溶性微粒子の場合でも、溶けるまでには時間がかかるので、微粒子中の放射性物質の「生物学的半減期」が1個1個の原子の場合より著しく長くなることは明らかである。

内部被曝は、各1個の放射性元素原子によって起こる場合もきわめて危険であるが、数個から数百億個^{注42}という多数の放射性原子を含む微粒子によって起こる場合は、桁違いに危険であると言わなければならない。さらに微粒子の粒径が小さくなればなるほど、粒子内部で他の粒子による遮蔽効果が少なくなるので、放射性粒子に近接する生体部分の被曝量は大きくなる。

食物より吸収した場合も同様である。放射性微粒子は動物にも同じように微粒子として取り込まれるので、動物の肉として食べた場合も、微粒子として肉に含まれていた放射性物質はそのまま微粒子として、原子単位で含まれていた放射性物質は原子として、体内に入ってくるであろう。植物性食品の放射能汚染も同じと考えるのが自然であり、肉などと同じように原子としてばかりでなく微粒子として取り込まれ、体内で被曝する可能性がある。

放射線の人体に及ぼす影響については、落合栄一郎氏の全面的な研究（『放射線と人体』講談社2014年）^{注43}があり、同書を参照されたい。落合氏は、はっきりと放射性微粒子による内部被曝の模式図（図9）を掲げており、注目される（図は英語版より引用、日本語版は141ページにある）。細胞の大きさと比較すると、落合氏は、ほぼ足立氏らが発見した放射性微粒子（粒径2～2.6 μm ）を考えていることが分かる。

図9 落合栄一郎氏による内部被曝の模式図



引用者注：図内で e は電子を表している。

出典：Ochiai, Eiichiro; Hiroshima to Fukushima — Biohazard of Radiation; Springer Verlag; 2014; 108 ページ

2-7. 放射線の直接の作用と活性酸素・フリーラジカル生成を通じた作用 （「ペトカウ効果」）

被曝とりわけ内部被曝の危険性は、従来、主に DNA に対する損傷だけが注目され、それが引き起こす健康障害も、主としてがんだけが語られてきた。しかし最近、この影響はさらに広く理解されなければならないことが解明されてきている。ここで各項の内容には踏み込むことができないが、全体像を掴むため项目的に列挙してみよう。

まず、放射線の作用は、主に2つあり、

（1）放射線による直接の作用、すなわち体内では 40 μm 程度しか飛ばないがその間にほぼ10万個の分子をイオン化する強力な破壊力を持つヘリウム原子核である α 線、10mm未満でおおよそ数mm飛び多くの分子をイオン化する高エネルギーの電子である β 線、1mほど浸透し疎らにイオン化し身体を突き抜けてしまう高エネルギーをもつ光子である γ 線など^{注44}

（2）放射線による間接の作用、すなわち放射線が生み出す活性酸素・フリーラジカルによる作用（一般に「ペトカウ効果」^{注45}と呼ばれている）とに区別される。

2-7-1. 放射線の直接的影響

さらに、(1) の放射線の直接の作用については、

① 遺伝子の損傷

1) DNA 鎖の切断や塩基の損傷

2) 遺伝子発現過程 (DNA メチル化、ヒストンタンパクのアセチル化・メチル化・リン酸化などエピジェネティクス [DNA の塩基配列の変化をともなわず、染色体の変化によって生じる、安定的に受け継がれうる表現型^{注4 6}]) の損傷

3) (修復されたとしても) 遺伝子の不安定化

② 細胞膜の損傷

③ 細胞膜にある各種チャンネルの損傷

④ ミトコンドリアの損傷、それによる慢性疲労性障害いわゆる「ぶらぶら病」

⑤ 細胞内の水分子のイオン化 (以下で検討する活性酸素・フリーラジカルによる損傷)

⑥ 最近クローズアップされてきた問題として細胞外基質 (細胞と常に情報を伝達し合い細胞にその機能を指示しているとされる細胞外マトリックス ECM)^{注4 6} の損傷。(われわれの見解では、放射線による ECM の損傷は、放射線による 1 個の細胞の損傷がその周辺の複数の細胞を損傷するという「バイスタンダー効果」を補説する可能性がある)。

これらは、外部被曝でも内部被曝でも同じように生じると考えられるが、内部被曝は細胞のごく近傍で起こるために桁違いに危険である。

2-7-2. 放射線の間接的影響

また、(2) の放射線の間接的作用については、放射線によって生じた活性酸素およびフリーラジカル (酸素分子および水分子さらには窒素分子の一連の還元種、過酸化水素、過酸化脂質、オゾンなど) が、基本的には放射線と同じ破壊的作用をいっそう広範囲に行うことが分かってきた^{注4 7}。生物無機化学からと、医学からの双方の観点から見てみよう。

2-7-2-1. 生物無機化学からのアプローチ

生物無機化学の面からの最近の研究により、活性酸素・フリーラジカルの生体への作用についても、がんだけでなくいっそう広く考えなければならないことが明らかになってきている。ここでは、2012 年に刊行された最新の生物無機

化学の代表的な教科書の一つ、山内脩らの『生物無機化学』（朝倉書店）を取り上げよう。同書は、一方では、生体が活性酸素・フリーラジカルを産生しその酸化損傷力を利用すると同時に、他方では、生体に備わっている解毒酵素（スーパーオキシドディスムターゼ **SOD** など）をはじめとする抗酸化システムがフリーラジカルを打ち消すという微妙なバランスにある点を指摘している^{注48}。酸化損傷力が抗酸化システムの能力を上回った場合、「酸化ストレス」が生じるとして、以下の諸過程を挙げている（252 および 358 ページ）。

- ①ヒドロキシラジカル・OH による DNA 鎖の切断、塩基の損傷
- ②スーパーオキシド ($O_2^{\cdot-}$) および過酸化水素 (H_2O_2) によるミトコンドリアの損傷 ([Fe-S] クラスタなど)
- ③ペルオキシ化による細胞膜脂質の損傷
- ④活性酸素種によるタンパク質の酸化
- ⑤ $O_2^{\cdot-}$ はリウマチ、心筋梗塞、糖尿病などさまざまな疾病の原因となる（例えば糖尿病患者の赤血球では **SOD** に多くの糖が結合し **SOD** の活性が低下する）
- ⑥老化の原因となる
- ⑦筋萎縮性側索硬化症（ALS、ルー・ゲーリック病）は活性酸素を解毒する酵素（**SOD**）の変異に由来する
- ⑧パーキンソン病を引き起こす可能性がある

などの点を指摘している。

放射性物質とくに微粒子による内部被曝は、活性酸素やフリーラジカルを生成し、まさに「酸化ストレス」を持続的に生み出し、これらすべての過程を促すであろう。活性酸素・フリーラジカルには、局所的な作用と全身的な作用とが考えられる。放射性微粒子によって生じる活性酸素・フリーラジカルはまずは局所的に強力に作用するであろうと考えられるが、全身的作用も伴うと考えられる。

2-7-2-2. 医学からのアプローチ

医学面からの最近の研究によっても、活性酸素・フリーラジカルが人体に与える影響をもっと広く考える必要があることが明らかになってきている。

[がんをはじめ広範な疾患を引き起こす] 活性酸素・フリーラジカルの影響に関する代表的研究者の一人である吉川敏一氏（京都府立医科大学名誉教授）によれば、フリーラジカル（吉川氏は活性酸素も含めた広い意味でこの

用語を使っている) が標的とする生体内分子は非常に広範であり、生体の反応も複雑であり、いったんフリーラジカルをめぐる生体のバランスが崩れると、がんをはじめ極めて広範な疾病を引き起こす可能性がある」と指摘している(表 4、図 10 および図 11)^{注49}。吉川氏がフリーラジカル生成の原因の一つとして大気汚染、喫煙、ショックなどとともに「放射線」を挙げ(図 10 左上)ていることは、とくに重要である。

表 4 フリーラジカルの標的となる分子

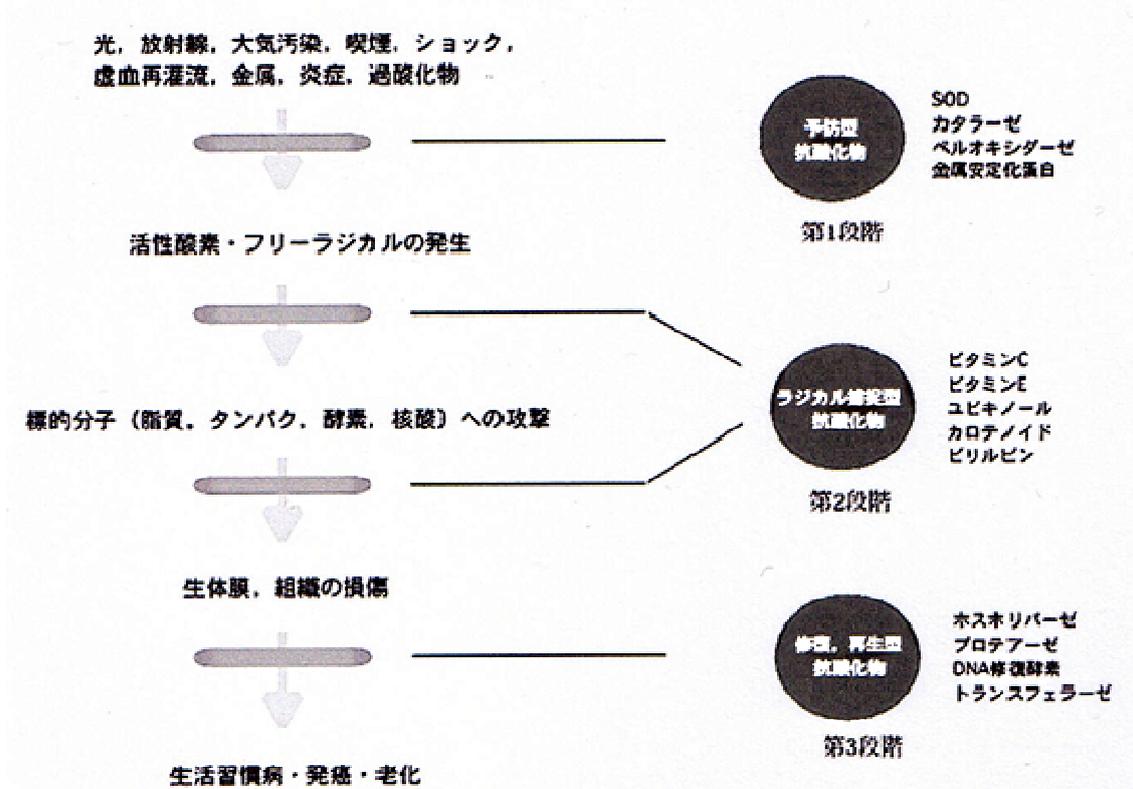
標 的	結 果
脂質	過酸化(ペルオキシデーション)、膜変化
核酸	細胞サイクル変化、突然変異、塩基修飾
アミノ酸	タンパク質変性、劣化、酵素抑制、原子間の交差結合(クロスリンキング)
炭水化物	細胞表面の受容体の変化
補因子*	代謝上の変化
ヒアルロン酸	脱重合(ディポリメリゼーション)
生物学的因子	$\alpha 1$ アンチトリプシンの不活性化、走化性因子、メディエータ、一酸化窒素

*酵素の十分な活性化に必要な無機・有機の物質のこと

出所：吉川敏一「フリーラジカルと医学」京都府立医科大学雑誌 120(6) 2011 年 385 ページの図 8 の筆者による翻訳

<http://www.f.kpu-m.ac.jp/k/jkpum/pdf/120/120-6/yoshikawa06.pdf>

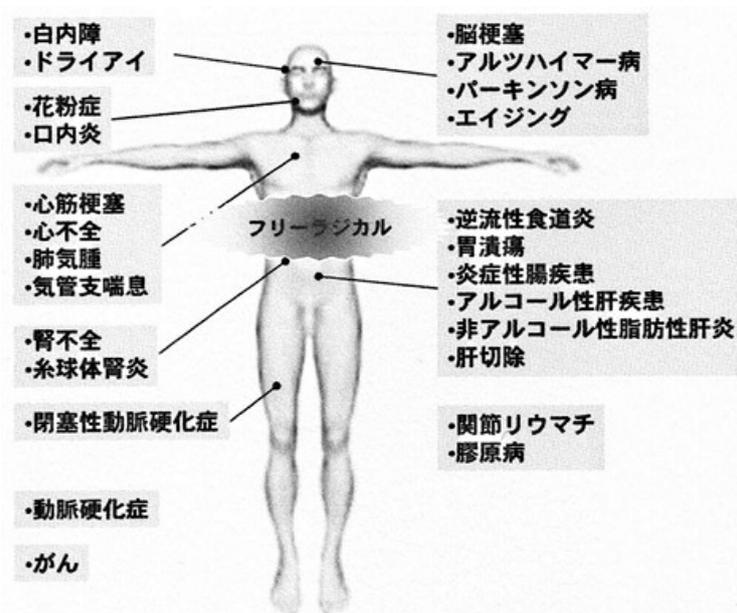
図 10 活性酸素・フリーラジカルに対する生体の防御機構



出典：吉川敏一氏（元京都府立医科大学教授）「フリーラジカルの医学」『京都府立大学雑誌』
126(6) 2011年 386 ページ

<http://www.f.kpu-m.ac.jp/k/jkpum/pdf/120/120-6/yoshikawa06.pdf>

図 11 フリーラジカルと疾患



出典：吉川敏一氏（元京都府立医科大学教授）「フリーラジカルの医学」『京都府立大学雑誌』126(6) 2011年 385 ページ

<http://www.f.kpu-m.ac.jp/k/jkpum/pdf/120/120-6/yoshikawa06.pdf>

【**心臓疾患**】また、吉川氏がフリーラジカルのもたらす疾患として心筋梗塞や心不全を挙げている（図 11 左上から 5～6 行目）ことも注目される。放射性セシウムはカリウムに構造が似ているので、カリウムに代わって筋肉に取り込まれやすく、心臓を損傷する危険性が高いが、放射線の間接的作用であるフリーラジカルもまた心臓に損傷を与える。この点は、福島において急性心筋梗塞による死亡が原発事故後に激増している事実（後述）から見ても、極めて重要である。

【**白内障**】吉川氏が列挙しているフリーラジカルによって発症が促される疾患の一つに白内障があるが、この点も重要である。われわれは、放射線被曝と白内障発症の関連についてすでに指摘し、危険を直視するよう呼びかけてきた^{注50}。白内障と被曝との関係は重要である（後述）だけでなく、若干特殊であるので、少し詳しく検討しよう。少なくとも次の3つの側面が考えられる。

（1）放射能汚染された環境での外部被曝。厚生労働省の文書が引用している資料では 8 mSv 未満でも影響が示唆されている^{注51}。したがって、低線量でも年数を経て蓄積すれば、十分発症の条件になり得ると考えなければならない。

（2）体内への放射性物質の蓄積による内部被曝。セシウム 137 との関連が実

証されており、体内蓄積 21～50Bq/kg で 15%の子供が発症した事例が報告されている^{注50}。体内蓄積した放射性物質の内部被曝による発症については、すでに指摘したように、放射線の直接の影響と、活性酸素・フリーラジカルによる間接の影響の両方があると考えられる。

(3) 外からの放射性微粒子の角膜への沈着による外部被曝（至近距離）と内部被曝（水晶体内への浸透）が結合した被曝。角膜は涙液によって常に洗われているが、放射性微粒子が付着することは十分に考えられる。医療現場でよく使われている『今日の眼疾患治療指針』の現行版によれば、「鉄、カルシウム塩、脂質の一部」などが角膜上皮に「沈着しやすい」とされている^{注52}。つまり、ここまで検討してきた各種の微粒子——①鉄・カルシウム・カルシウムに性質の似たストロンチウムの少なくとも1つを含む粒径の小さい不溶性の放射性微粒子（1-2-1）、②藻類など微生物にとらえられた、すなわち脂質を含む乾燥した細胞膜に被覆された、放射性物質粒子（1-2-7）、③可溶性の放射性微粒子（1-2-4）——などは、角膜上皮に沈着して水晶体を至近距離から攻撃し、水溶性の放射性物質の場合はさらに水晶体の内部にまで浸透し内側から攻撃することになる可能性がある。白内障治療薬として角膜から水晶体に浸透する点眼薬が開発されている^{注53}ことから分かるように、角膜から水晶体への浸透にはとくに関門のようなものがあるわけではない。

付け加えれば、放射性の白内障の場合、さらに次の問題が残っている。

(4) 放射線による白内障発症の機序は、急性症状として出現するものと何年か後に発症するものとは、発症機序が異なるのかもしれない。

(5) 放射線による白内障では、水晶体の混濁する部位が、その被曝形態によって異なるのかもしれない。

(6) 一般的には白内障は左右の眼においてほぼ同じ速度で進むことが多いとされるが、角膜に沈着した放射性物質による被曝の場合、左右で沈着の状況が違えば左右の進行度ははっきり異なることになるかもしれない。

(7) 白内障以外の眼科疾患も増加させている可能性がある。

(8) PM2.5 など他の環境要因との相互作用も考えられる。

[精神障害] さらに、最近の研究によれば、精神障害や精神疾患においても、ストレスなど心的な原因だけでなく、一連の化学物質が遺伝子の変異（エピジェネティックな変異も含む）を引き起こし、それが発症の重要な要因となることが明らかになってきている。吉川氏は、前掲図 11 において、アルツハイマー病やパーキンソン病とフリーラジカルとの関連について指摘している。

黒田洋一郎氏ほかの研究によれば、そのような化学物質とともに、放射性物質とりわけストロンチウム 90 がヒストン・タンパク質の内部のカルシウム結合

位置に入り込み、DNA と染色体タンパク質をその近傍にまで接近して損傷し、生殖細胞（とくに精子）DNA の変異やエピジェネティックな変異を引き起こし、自閉症など多くの精神障害・疾患の発症を促す重要な要因の一つとなる可能性があるという。また同氏は、ストロンチウム 90 がカルシウムに代わって神経細胞に取り込まれる危険性に注目している。「カルシウムは神経伝達物質の放出の引き金になるなど脳内のさまざまな機能を調節しており、結合部位も多いので、ストロンチウム 90 の内部被曝が精神疾患、神経疾患をふくむさまざまな脳機能の異常の原因となる可能性がある」と述べている^{注54}。

2-8. まとめ

放射線被曝とくに放射性微粒子による内部被曝は、極めて広範囲の疾患や障害の発症に直接間接に関与し、ほとんどあらゆる病気を増加させると考えなければならない。被曝とがんとの関連は極めて重要である。だが、被曝の影響はがんだけであると考えてはならない。重要なポイントは、被曝が、がんから始まり、種々の内科的、眼科的、整形外科的、精神神経科的な障害・疾患にいたる、非常に広範な健康破壊的影響を及ぼすということである。したがって、医学内部の各科ごとの機械的な分業の枠を越えた、有機的で全面的な研究が必要であろう。というのは、上記の各疾患や症状は相互に結びついており一体のものとしてしか理解できないからであり、それらを過去の一面的な知見によってばらばらに切り離し、被曝との関連の有無を従来から「公認」されてきた疾患だけに狭く考えるならば、現実の被曝の危険を見逃すことになるからである。

3. 再浮遊した放射性微粒子の危険と都心への集積傾向

ここでは、すでに多くの文献が発表されている福島については概観するだけにとどめ、都心と東京圏における放射性微粒子の危険性と健康への影響を中心に取り上げることにしたい。

3-1. 福島など高度の放射能汚染地域における疾患の増加

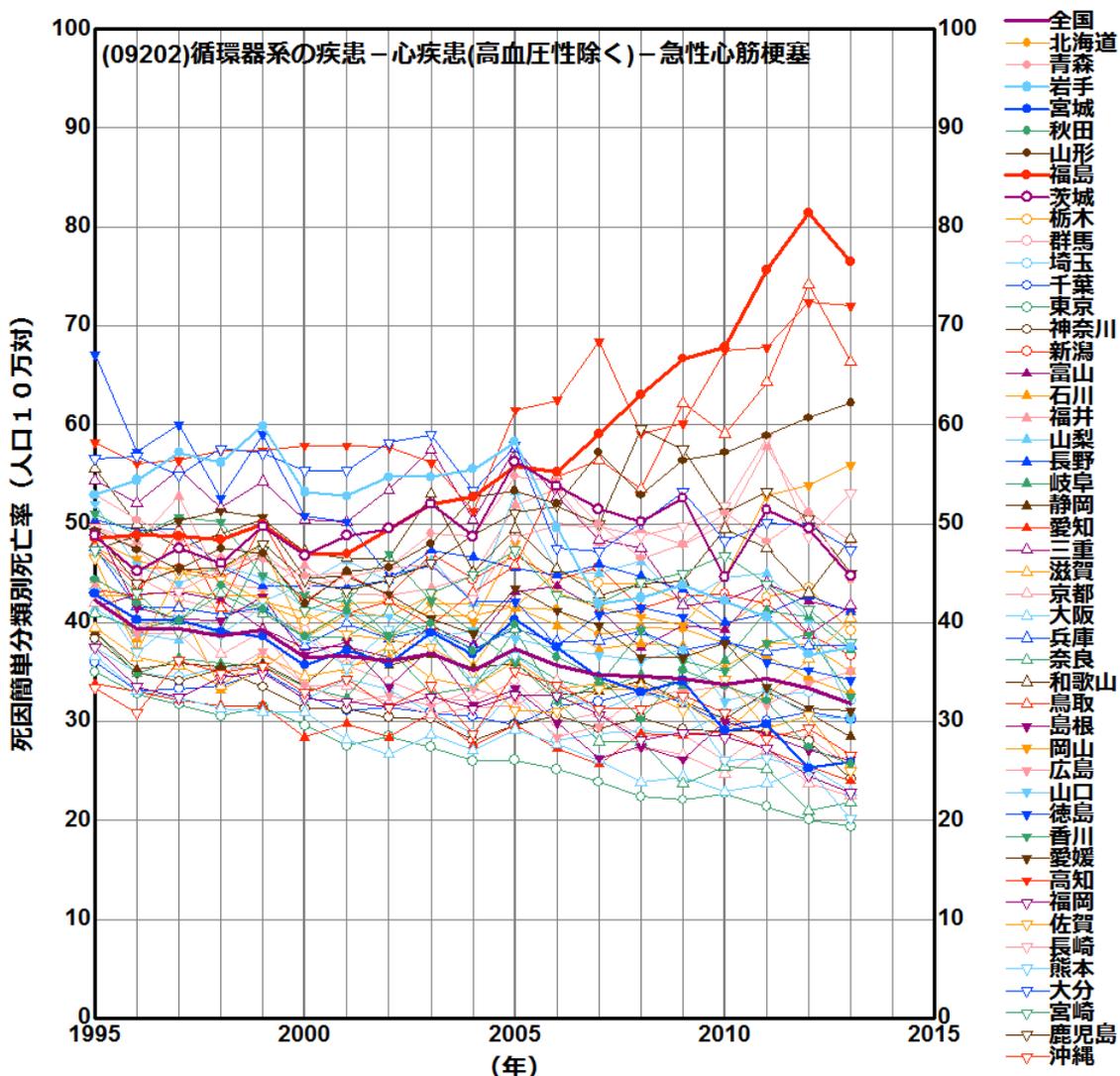
東日本大震災および原発事故後の高度に放射能に汚染された地域における疾患の顕著な増加については、すでに多くの報告で明らかにされている^{注55}。客観的なデータや多くの人々の生の証言を収集し、これらを総合して福島事故のも

たらしめている住民健康被害の全体像を明らかにしていくことが課題である。ここでは次の点を付け加えるだけにしたい。

2012年6月29日付けのNHKニュースでは、「東日本大震災後の1ヶ月間で東北大学病院が受け入れた心不全患者が震災前の3倍を超えていた」と報じられた。また、福島市の大原総合病院では、心筋梗塞と狭心症の患者数が、事故前の2010年に比較して、2011年で2.5倍に、2012年前半で1.6倍になったとされている（落合前掲書、英語版174ページ、和書274ページ^{注43}）。2012年3月の日本循環器学会では東北大学循環器内科の下川宏明氏が「東日本大震災では発災以降、心不全をはじめ、急性心筋梗塞と狭心症、脳卒中などの循環器疾患が有意に増加しており、特に心不全の増加は、過去の大震災疫学調査では報告例がなく、東日本大震災の特徴の1つである」と報告している。

福島県に関しては、震災以前から急性心筋梗塞の年齢調整死亡率は全国ワースト・ワンであった。しかし、東日本大震災発生以降は、全国的に見れば急性心筋梗塞による死亡率は減少しているにも関わらず、福島県では急性心筋梗塞が増加し続けている。この福島県内の急性心筋梗塞の死亡率とセシウム汚染値の濃淡の関係を解析した結果、「セシウム汚染が濃いところほど急性心筋梗塞の年齢調整死亡率が高いという傾向が見られた」という報告がある^{注56}。実際、福島県内では2011年の震災後に高校生3人が急性心不全で亡くなり、2014年9月には小学生が急性心不全で亡くなっている。また、2013年3月までに少なくとも3人の原発作業員が急性心筋梗塞または心臓発作で突然死している。福島県における急性心筋梗塞による死亡率は、原発事故のあった2011年以降急増し、突出して全国1位である（図12）。

図 12 厚生労働省『人口動態統計』に見る急性心筋梗塞による県別死亡率



「市民と科学者の内部被曝問題研究会」小柴信子氏作成。2011年までのグラフはOchiai, Eiichiro 前掲書 175 ページにある。

出典：<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/suii04/>

また、小児甲状腺がんについては、すでに 103 人の甲状腺がんまたはその疑いが見つかったが、「手術の終わった 57 名の甲状腺がんは、8 割が肺転移(2 名)や頸部リンパ節転移や局所浸潤の症状のある患者である」と報告された。東京大学先端科学技術センターの児玉龍彦教授は、その著書『内部被曝の真実』の中で小児甲状腺がんについて、以下のように述べている^{注57}。

「数万人集めて検診を行っても、なかなか因果関係を証明できない。エビデンスが得られるのは 20 年経って全経過を観測できてからである。これでは患者

の役には立たない。それでは、病気が実際に起こっている段階で、医療従事者はどのように健康被害を発見したらいいのか。ここで、普通で起こり得ない『肺転移を伴った甲状腺がんが小児に次から次へとみられた』という極端な、いわば終末型の変化を実感することが極めて重要になってくる…」と。

肺転移2名というのは、その始まりではないのだろうか。ちなみに、米国疾病管理予防センター（CDC）のがんの潜伏期間に関するレポート *Minimum Latency & Types or Categories of Cancer*（改訂2013年5月）では、小児甲状腺がんを含む小児がんの潜伏期間は1年となっている^{注58}。同文書のサマリーによれば、主要ながんの最短の潜伏期間は表5の通りである。「いま見つかった小児甲状腺がんは被曝によるものではない」という根拠はすでに崩れたと考えられる。

表5 米国疾病予防管理センター（CDC）による主要ながんの最短潜伏期間

がんの種類	潜伏期間(年)
中皮腫	11
全固形がん（中皮腫、リンパ組織増殖性がん、甲状腺がん、小児がんを除く）	4
リンパ組織増殖性がんおよび造血細胞がん（全種類の白血病、リンパ腫を含む）	0.4(146日)
甲状腺がん	2.5
小児がん（リンパ組織増殖性がんおよび造血細胞がんを除く）	1

出典：John Howard; *Minimum Latency & Types or Categories of Cancer*; World Trade Center Health Program; Revision May 1, 2013 7 ページ

<http://www.cdc.gov/wtc/pdfs/wtchpminlatcancer2013-05-01.pdf>

3-2. 東京圏における放射性微粒子による汚染

最近明らかになってきたのは、福島県とその周辺部だけでなく、東京圏とくに都心において放射性物質による汚染が集積する傾向が顕著になっていること、東京圏においていろいろな病気の多発が始まっている兆候が見られることである。まず前者から検討しよう（後者については3-4で検討する）。

例えば、政府の原子力規制委員会「定時降下物のモニタリング」が発表している「都道府県別環境放射能水準調査（月間降下物）」^{注59}においては、東京（新宿）で観測される降下量が関東地方の他の観測地点における数値よりも高くなる傾向がはっきり見られる（表6、図13）。放射性降下物の量は季節変動が大きいので、同じ月で比較する必要があるが、最新の8月の数字は、セシウム137について、次の事実を確認できる。

(1) 東京(新宿)における放射性降下物量が2013年8月まで減少した後、2014年には大幅な増加に転じていること(ちなみに同月の東京の降下量 7.7 MBq/km²すなわち Bq/m²は事故直後に大阪・神戸に降ったピークの値 7.9 にほぼ等しい)、東京に近い市原でも若干の増加を示している。

(2) 東京における放射性降下物量は、事故直後には北関東地区より明らかに少なかったが、2013年からひたちなかを除いて多くなり、2014年には、ひたちなかを含む関東の全観測地点の数字よりも大きくなっている。

表6 月間降下物調査結果が示す再浮遊放射能の都心への集積傾向

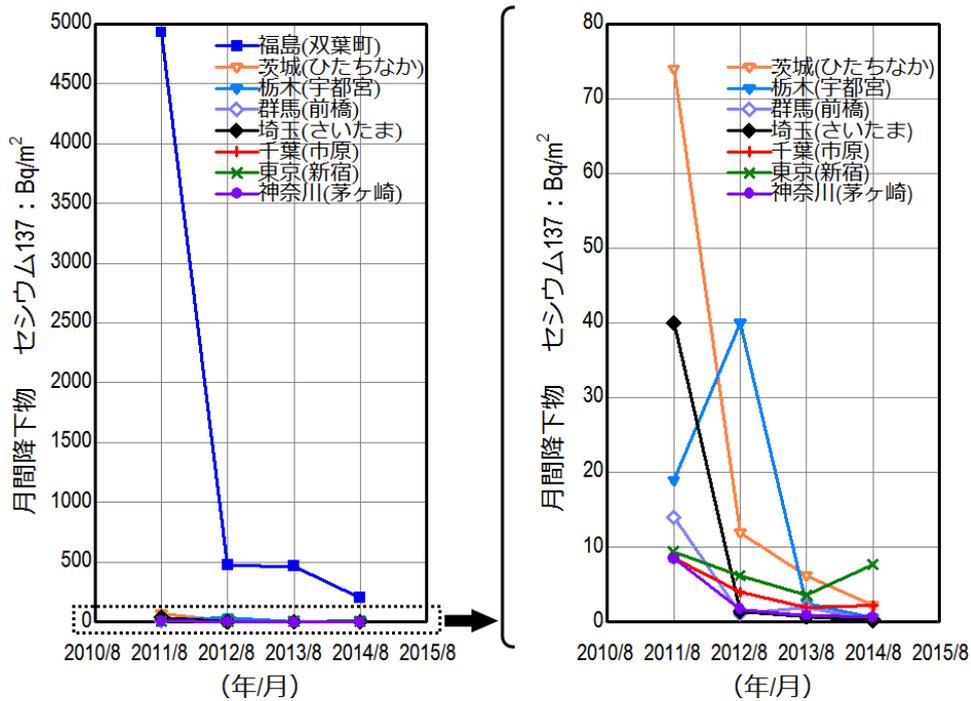
(セシウム 137 : MBq/km²すなわち Bq/m²)

観測地点	2011年8月	2012年8月	2013年8月	2014年8月
福島(双葉町)	4,930	474	467	200
茨城(ひたちなか)	74	12	6.2	2.2
栃木(宇都宮)	19	40	2.5	0.56
群馬(前橋)	14	1.1	2.0	0.36
埼玉(さいたま)	40	1.4	0.70	0.22
千葉(市原)	8.5	4.0	1.9	2.2
東京(新宿)	9.4	6.2	3.6	7.7
神奈川(茅ヶ崎)	8.5	1.7	0.89	0.70

出典：原子力規制委員会「定時降下物のモニタリング」における「都道府県別環境放射能水準調査(月間降下物)」より筆者作成

<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/195/list-1.html>

図 13 月間降下物調査結果（表 6）をグラフにしてみると



前掲小柴信子氏作成。

出典：表 6 と同じ

また、東京の降下量が他のすべての関東の観測地点の降下量よりも大きかった月を数えてみると、

- ①2011年 3月～12月には：ゼロ
- ②2012年 12ヶ月中には：ゼロ
- ③2013年 12ヶ月中には：1ヶ月（2月）
- ④2014年 8ヶ月中には：3ヶ月（3月、5月、8月）

であった。

上に加えて、関東の観測点で事故原発に最も近いひたちなか（茨城県）を除くと、東京の放射性降下物量がどの関東の観測地点の降下物量よりも大きかった月は、

- ①2011年 3月～12月には：ゼロ
- ②2012年 12ヶ月中には：2ヶ月（8月、10月）
- ③2013年 12ヶ月中には：8ヶ月（2月、3月、5～10月）
- ④2014年 8ヶ月中には：7ヶ月（1月、3～8月）

であった。

各年・各期間の平均した降下量も同じ傾向を示している（表 7）。

表7 各期間の月平均降下量 (セシウム137:月平均MBq/km²すなわちBq/m²)

地点\時期	2011/3-5	2011/6-12	2012/1-12	2013/1-12	2014/1-8	cf.2014/8
双葉町	1,179,867	5,034	5,579.6	3,545.3	1,157.5	200
ひたちなか	6,577	52.29	18.87	14.84	8.18	2.2
宇都宮	2,383	23.85	9.75	6.03	3.11	0.56
前橋	1,720	12.03	6.15	5.73	4.29	0.36
さいたま	2,063	29.14	6.58	5.17	1.72	0.22
市原	1,776	12.59	5.77	3.28	1.93	2.2
新宿	2,818	10.06	6.38	9.03	5.16	7.7
茅ヶ崎	1,270	10.56	3.07	1.70	1.00	0.7

出典：原子力規制委員会「定時降下物のモニタリング」における「都道府県別環境放射能水準調査（月間降下物）」より筆者作成

ただし2011年3月は19日からの観測結果。18日以前の数字は発表されていない。

<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/195/list-1.html>

しかも、東京新宿における放射性降下物量は、昨年2013年3月に、月間で42MBq/km²（2013年2月にも25MBq/km²）という事故直後2011年5月（74MBq/km²）以来最高の降下量を記録している。

現在でも、福島原発からは、冷却水の中にあるが内部は高温のままであるメルトダウンした炉心からの新規の放射性物質の放出が、汚染水中だけでなく、一部は大気中へも、続いていると考えられる。東電発表の数字（1時間あたり1000万Bq以下）^{注60}は、建屋上部等のダスト濃度を採取したもので、ガスとして放出されたものはほとんど捕捉されておらず、また建屋内からの再浮遊分が含まれ、真の放出規模を明らかにしているとは考えられない。ただ事故時に比べて大幅に減少しているのは事実であろう（東電の同発表によれば8000万分の1）。

従って、現在生じている降下物の大部分は、すでに放出された放射性物質の再浮遊による二次的三次的汚染と考えるべきであろう。上記の東京都心における降下量の変動もまた、再浮遊による結果であろう。しかし、再浮遊する放射性物質の源泉は、明らかに事故原発、それに近い福島県、汚染のひどかった北関東地域であろうから、東京への降下物がそれら北関東の観測地点よりも高くなる傾向は、風や雨などの気候条件や地形などの自然的条件だけでは説明できないように思われる。

3-3. 東京圏への汚染集積の諸要因

以下のような一連の人的要因が関連していると考えざるを得ない。

3-3-1. 福島事故原発の工事による放射性物質の放出

第1は、福島事故原発での廃炉工事による放射性物質の再浮遊と飛散である。東電は十分な準備や飛散対策をしないまま事故原発での廃炉工事を急いでいる。2013年8月中旬には、福島原発3号機のがれき処理作業によって大量の放射性物質の再放出事故（放出量は1兆1200億Bqに上ったといわれる）が起こった^{注61}。だが、このような事故は、他にも公表されないまま繰り返されている可能性がある。この昨年8月の飛散事故も、東電ではなく農林水産省の発表によって明らかになったのであり、東電は事故をそれまでひた隠しにしていた。この事実は深刻な結果をはらんでいるというほかない。とくに1号機の廃炉工事のための放射線物質飛散防止用建屋カバーの撤去工事など今後飛散事故が頻発したり、重大化する危険性に注目しなければならない^{注62}。福島原発事故直後3ヶ月間の平均降下量（表6）を見ても分かるように、東京は茨城（ひたちなか）に次ぐ降下量を記録している。福島で放出された放射性物質は、一度海上に出てから東風に乗る形で、東京に届きやすい自然的条件があると思われる。また都心に林立する超高層ビル群は低層雲の最底部（高度約100m）よりも高くそびえており、いわば雲の中に衝立のように立ちはだかつて、浮遊してきた微粒子の沈着を促している可能性もある。

3-3-2. 焼却施設からの放射性物質の放出

第2には、ゴミや産業廃棄物の焼却である。震災がれきの焼却を含めて、放射性物質で汚染されたゴミを焼却すれば、人口が密集してゴミ焼却施設も集中立地している東京圏の再汚染が進むことになるのは必然である。環境省が放射性物質を「99.99%除去できる」という「バグフィルター」が、微粒子ではなく焼却炉内で気化したセシウムを捕捉できないのは当然であって、環境省の主張は「虚偽」と言われても仕方がない。井部正之氏によれば、バグフィルターによるセシウム137の除去率は60%程度であり、約4割が外部に漏れている可能性があるという^{注63}。気体として放出されたセシウムは大気中で微粒子となるであろう。さらに、政府の現行の基準では、1kgあたり8000Bqまでの廃棄物は通常のゴミとして焼却処理できる。これは、高濃度の放射性廃棄物がゴミとして焼却されることによって、微粒子による深刻な二次汚染を生じさせていることを意味する。「福島老朽原発を考える会（フクロウの会）」のリネン吸着法（布

を張ってそれに付着する放射性物質を測定する)による降下放射能の調査によれば、東京都の日の出処分場のエコセメント化工場の近傍(日ノ出町二ツ塚峠)では、現実にセシウム 137 の付着(1時間あたり 1m^2 の布に 2.9mBq)が観測されている^{注64}。

3-3-3. 物流・交通機関による放射性物質の運搬と集積

第3は、物流や交通機関によって運ばれる危険である。政府は、福島県や周辺の汚染が深刻な地域の JR 線や高速道路や国道の再開を急いでいる。汚染がひどい地域を通った後に、これら列車やトラックその他の交通車両の除染が行われているという報道はない。これは、運転手や関連作業員の被曝だけでなく、物流や運輸により汚染が全国に拡大されている可能性があることを意味する。とりわけ物流や交通機関が集中する都心や首都圏に、付着した放射性微粒子が集積する客観的な条件となっていると考えなければならない。1台1台に付着する放射エネルギーはわずかでも、すべて集まれば莫大な量となるからである。

しかも、2012年5月に行われた原子力安全基盤機構の実測による調査^{注65}によれば、事故原発の近郊を通る国道6号線を通じた車両(側面、底面、タイヤハウス)に付着する放射性物質は、天候にかかわらず、平均で $2\text{Bq}/\text{cm}^2$ と算定されている。同調査は、ここから「国道6号を通る車両に付着する汚染は僅かである」と結論づけている。しかし、故意に小さく見せようとする数字の操作をはぎとり、 1m^2 に換算すれば2万 Bq であり、事故直後のひたちなかで観測された3ヶ月間の降下量に等しく、決して「僅かな」量どころではない。小型乗用車(プリウスなど)のコーティング処理表面積はおよそ 10m^2 なので^{注66}、実際の表面積をこれの2倍(20m^2)と仮定すると、通行によって1台あたり40万ベクレルの放射性物質が付着することになる。大型乗用車だとコーティング面積がおよそ 15m^2 なので60万ベクレルが付着することになる。トラックやバスだとその大きさに応じて、この数倍から100倍以上になるであろう。現在、国道6号線の通行量は、開通区間で、平日1万台前後であり^{注67}、通行車両の平均表面積を大型乗用車程度と仮定すると、通行車両により運ばれる放射性微粒子の量は、1日あたり60億ベクレル、1年間では2兆ベクレルを越えることになる。広島原爆のセシウム137放出量の40分1になるレベルである。表面積の大きいトラックやバスなどの通行が多いと、この数字はさらに何倍も多くなるであろう。

政府は、国道に続いて常磐自動車道も開通させようとしているが、これにより通過する交通量が飛躍的に増えるであろう。そうなれば、車両に付着して運ばれる放射性物質の量もまた飛躍的に増えることになろう。さらに、汚染の大

きい中通り（福島市、郡山市など）を通る東北自動車道、国道など幹線道路についても、程度は違うであろうが、同じことが言える。

JR 常磐線・東北線、東北新幹線など鉄道も、放射性微粉塵を運んでいるであろうし、列車の表面積は桁違いに大きいので、運ばれる放射性物質の量は、比例して大きいと考えられる。これらの車両の洗浄の際に放射性物質の除染が行われているとは考えられない。JR 東日本は、事故直後の 2011 年 10 月に、常磐線広野駅に放置していた車両を、除染せずに車両センターに移送し、その後常磐線の不通区間を部分開通させたが、これに対し JR の労働組合は乗務員の被曝に反対してストライキを行った^{注68}。JR は、2017 年春に常磐線を全線開通させようとしている^{注69}。前述のリネン吸着法による「フクロウの会」の調査によれば、福島県伊達市内では、鉄道の脇でのセシウム 137 の捕捉量（17.7mBq/m²・h）が、他の観測点の 2.8 倍から 4.7 倍と目立って多くなっており、鉄道の往来による粉塵が原因と推定されている^{注60}。

これら交通機関や物流は、多くが東京都心へと向かい、またそこから日本全体に広がるにしても一度は東京圏を通ることが多い。このように、放射性微粒子の再浮遊による被曝の拡大とくに東京都心への集積傾向は、きわめて深刻な問題である。

3-4. 東京圏住民の健康危機の兆候は現れ始めている

それは、東京圏におけるがんや心筋梗塞をはじめあらゆる病気の急増という破局的な結果をはらんでいるといっても過言でない。その兆候とでも言うべきものはすでに現れ始めている。

3-4-1. がん発症の増加

日本のがん統計は、すでに事故以前の 10 年間について、全がんで 51.3%増（年平均 4.26%増）という、がん罹患数の大幅な、危機的ともいえる増加を示している（国立がん研究センター「全国がん罹患患者数・率推定値」）。このような傾向の背景に、人口の高齢化、環境汚染（大気汚染、農薬、有害化学物質、食品添加物、遺伝子組み換え作物、電磁波、オゾン層破壊、薬害など）、労働環境や労働条件の悪化、社会矛盾の深刻化やストレスの増加などさまざまな客観的諸要因があることは明らかである。だがそれだけではない。これらと複合的に組み合わさる形で、広島・長崎への原爆投下、米ソなど核保有国による核実験、原発や核工場の運転による日常的な放出、繰り返されてきた核事故や原発事故など、歴史的に環境中に放出され蓄積されてきた大量の放射能が、発がん要因

として大きな役割を果たしていることもまた明らかである^{注43}。福島原発事故によって放出された放射性物質によって生じるがんの多発は、このトレンドの上に付け加わることになる。

日本政府のがん罹患者数統計は恐ろしく不備であり、現在の最新統計は事故前の2010年でしかない。また県別の統計は2007年までしか発表されていない。しかし、複数の個別の病院のがん統計は、東京を中心とする関東圏でがんが急増している可能性を示している。

東京都文京区にある順天堂大学付属順天堂病院のホームページに、血液内科について受診した患者数とその症例の統計が記載されている(表8)。それによれば、放射線との関連性の高く潜伏期間が0.4年と短い(上記CDCレポート)^{注58}とされる悪性リンパ腫、白血病など血液関連のがんが2011年以降2倍以上に増えており、がんの多発が、日本で最も人口の多い、東京を中心とする関東圏で現に生じ始めている可能性を示唆している。

表8 順天堂大学付属順天堂病院・血液内科の外来新規患者数およびその内訳

	2011年	2012年	2013年	2013/11
患者総数	230	822	876	3.8倍
悪性リンパ腫	86	231	231	2.7倍
血球数の異常	記載なし	153	174	(13.7%増)
貧血/貧血疾患	13	128	129	9.9倍
血小板減少症紫斑病/同症(ITPを含む)	20	83	105	5.3倍
骨髄増殖性疾患	24	41	48	2倍
MGUS/形質細胞腫瘍	19	41	41	2.2倍
骨髄異形成症候群	18	32	40	2.2倍
凝固異常/凝固異常症・血栓性疾患	7	26	25	3.6倍
急性白血病(骨髄性およびリンパ性)	10	15	22	2.2倍
リンパ・組織球系疾患	記載なし	9	9	
多発性骨髄腫	13	記載なし	記載なし	
その他	20	63	52	2.6倍

2011年と2012年・2013年では分類が若干違っている。A/Bと記している場合Aは2011年の分類、Bは2012・2013年の分類である。

出典：順天堂大学医学部附属順天堂医院 血液内科 診療実績より筆者作成

<http://www.juntendo.ac.jp/hospital/clinic/ketsuekinaika/kanja03.html>

もちろんこのような新規患者の急増は、病院施設の拡張によるものであらうとも考えられよう。そこで入院患者の総数を見てみると、2011年から2013年

に、209 人から 304 人へと 45.5%の増加であり、施設・人員の増強は（未確認であるがもしあったとしても）5 割程度でしかないと推定される。したがって、たとえ施設・人員増があったとしても、このような新規患者の 2 倍以上の増加は、説明できない。また、もし施設拡張があったとしても、そのような拡張自体が患者の急増を反映するものであろう。

血液関連のがんが急増する同じ傾向は、患者統計が利用できる順天堂病院以外の首都圏の 4 病院でも確認されている。『原発通信』第 716 号（遠坂俊一氏提供）の資料によれば、骨髄異形成症候群による入院患者数は、表 9 のように急増している。

表 9 首都圏の病院における骨髄異形成症候群による入院患者数（単位：人）

	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	増加率
NTT 東日本関東病院（東京都品川区）	28	56	76	80	2.9 倍 (13/10)
千葉大学医学部付属病院（千葉市）	9	28	17	24	2.7 倍 (13/10)
武蔵野赤十字病院（東京都武蔵野市）	2	3	10	11	5.5 倍 (13/10)
東京通信病院（東京都千代田区）	5	7	12	未公表	2.4 倍 (12/10)

『原発通信』第 716 号の資料により筆者作成。

出典：原データを掲載している各病院のサイトはそれぞれ以下の通りである。

<http://www.ntt-east.co.jp/kmc/guide/hematology/result.html>

http://www.ho.chiba-u.ac.jp/dl/patient/section/ketsueki_01.pdf

<http://www.musashino.jrc.or.jp/consult/clinic/3ketsueki.html>

<http://www.hospital.japanpost.jp/tokyo/shinryo/ketsunai/index.html#jisiseki>

さらに、国立がん研究センターが発表している「がん診療連携拠点病院 院内がん登録」統計は、今年 7 月にようやく 2012 年の統計が公表されたが、上記の個別病院統計と同じような東京における血液がんの急増傾向をはっきりと示している。表 10 は、2009 年に調査対象であった 17 病院について、血液がんの登録患者数の推移を示したたものである。事故前の 2009 年から 2010 年の増加率は、血液がん合計で 1.1%なので 2 年間に換算して 2.2%である。このトレンドと比較すれば、表 10 に示された 2010 年から事故後 2012 年への増加率 21.1%は、明らかに大きな加速といえることができる。また全国の血液がん患者数の増加率 14.3%と比較しても、東京における増加率は突出している。

表 10 「院内がん登録」統計による東京都内 17 病院の血液がん患者数 (単位：人)

	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	12/10 増加率
悪性リンパ腫	*1,456	*1,421	*1,519	*1,605	12.9%
多発性骨髄腫	*246	256	276	330	28.9%
白血病	*511	551	557	623	13.1%
その他の血液がん	*266	*278	357	477	71.6%
血液がん合計	*2,479	2,506	2,709	3,035	21.1%
全国血液がん計	31,506	34,684	*37,294	*39,632	14.3%

注記：*が付いているものは実数、それ以外は筆者の推計値である。

「院内がん登録」統計における東京都の調査対象病院は、2009 年の 17 施設から、2010 年に 20 施設に、2011 年および 2012 年の 25 施設に拡大している。国立がんセンターの統計は、この事情を考慮せずに各がんごとの合計値を計算している。したがって、年ごとの数値を比較するためには、2010、2011、2012 各年についても、2009 年に調査対象であった 17 病院に限定して計算する必要がある。

表 10 では、同統計「付表 1～6」に記載されている東京都全体の登録患者数から、各年ごとに新たに付け加わった病院の患者数を差し引いた数字を掲げてある。また、同統計では 10 以下の数字は、プライバシーを理由に伏字で表記されている。ここでは、伏せられた数字をすべて 5 であると仮定して計算した。これらの事情により、患者数には実数として確定することができないものがある。*が付いている以外の上記の数字はすべて推定した概数である。

上の方法で計算された東京都の数字は調査病院数とほぼ比例するので、2009 年から 2010 年の全国の患者数は、2012 年をベースとし、調査対象病院の総数（それぞれ 376、387、397、397 施設）に比例すると仮定して補正した。

出典：国立がん研究センター がん対策情報センター がん統計研究部 院内がん登録室「がん診療連携拠点病院 院内がん登録 全国集計報告書 付表 1～6」2009～2012 年版より筆者作成。各年の報告書は以下のサイトからダウンロードできる。

http://ganjoho.jp/professional/statistics/hosp_c_registry.html

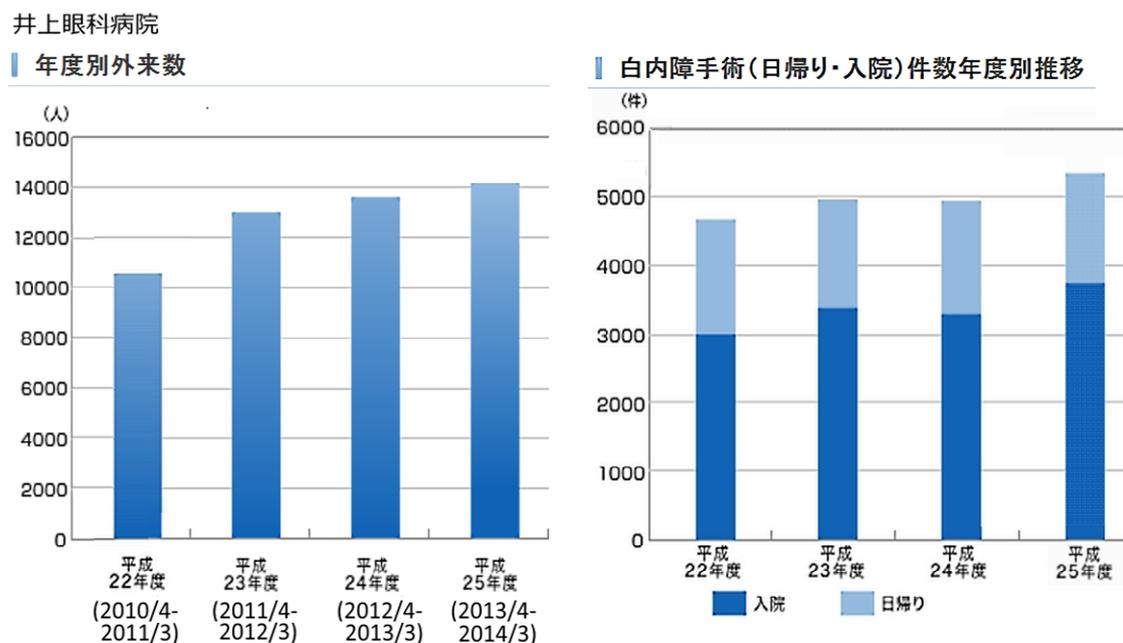
これらのデータは、潜伏期間が 4 年の固形がんが、今後すなわち 2015 年以降、多発する可能性を強く示唆するものである。しかも、ロザリー・バーテル氏が指摘するとおり^{注70}、放射線は、単に直接にがんを発生させるだけでなく、身体全体の免疫力を低下させてすでにある微小な潜伏期のがんの発症を促進し、しかも発症するがんを悪性化させる方向でも作用する。この点を考慮に入れるならば、首都圏における、血液がん以外のいろいろな部位のがんの多発もまた、差し迫っているだけでなく、すでに始まっている可能性が高いと考えるべきで

あろう。事実、上記の「院内がん登録」統計は、東京の全がんについて、事故前の2010年から2012年までの2年間に、患者数が5万2090人から5万8662人（調査病院により補正）へと12.6%増加したことを示している（全国では調査病院数の補正值54万4067人から59万856人へと8.6%増加）。

3-4-2. 白内障と眼科疾患の増加

もう一つの兆候は、東京圏における眼科疾患とりわけ白内障の増加傾向である。東京都内有数の眼科病院の一つである井上眼科病院の患者統計は、この傾向をはっきり示している（図14-1）。同じ井上眼科病院グループの西葛西・井上眼科病院の患者統計も、白内障手術件数のいっそう顕著な増加を示している（図14-2）。

図14-1 東京都井上眼科病院の患者統計



前掲小柴信子氏作成。

出典：平成22～24年度は、「災害情報ブログ」より引用。

<http://saigaijyouhou.com/blog-entry-1157.html>

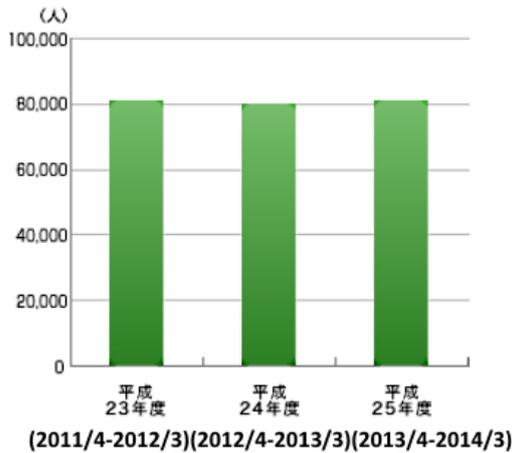
平成23～25年度は、井上眼科病院のホームページによる。

<http://www.inouye-eye.or.jp/about/statistics.html>

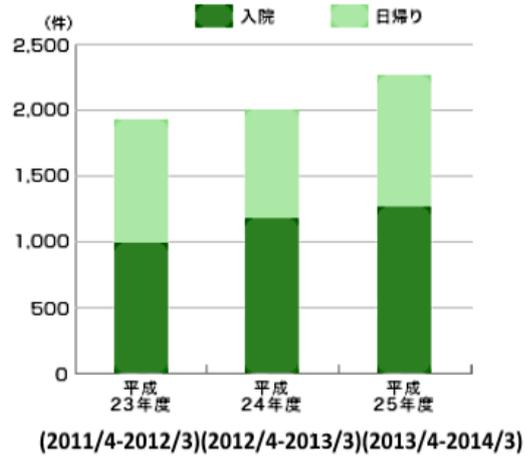
図 14-2 西葛西・井上眼科病院の患者統計

○ 西葛西・井上眼科病院

年度別外来数



白内障手術(日帰り・入院)件数年度別推移

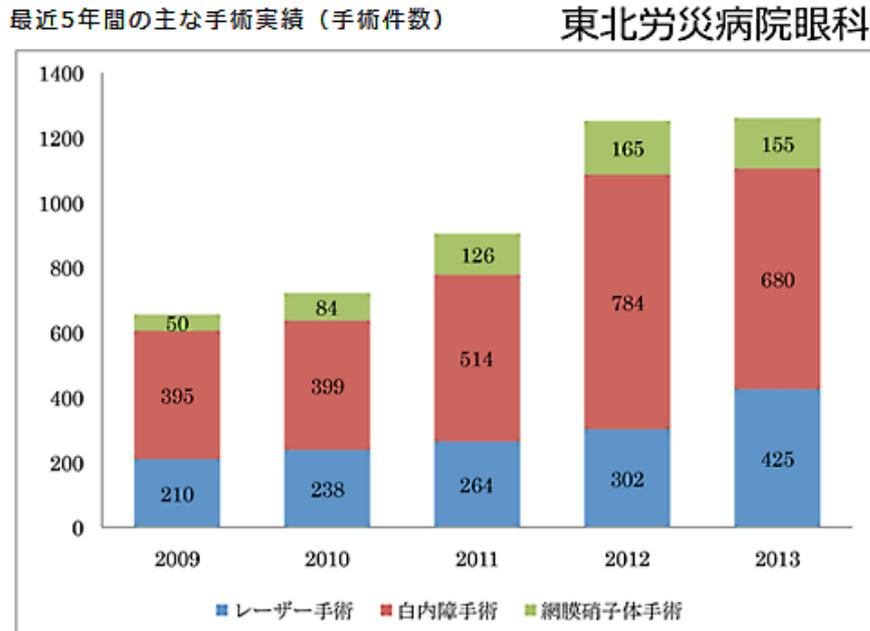


出所： <http://www.inouye-eye.or.jp/about/statistics.html>

さらに、白内障や眼科疾患については、現在明らかな受診抑制や手術抑制が行われており、手術を受けたくても受けられない状況が生じている。杏林大学医学部付属病院眼科では患者が増え、2012 年末以降「現在の眼科常勤医師では対応しきれない状況」^{注71}が生じているという。現実の白内障の発症数は、これらの統計の示しているところを上回る可能性が高い。

また、東京圏ではないが、東京圏と同じように福島に次いで汚染度の高い地域である宮城県仙台市およびその周辺でも白内障や眼科疾患が急激に増えていることが示唆されている。例えば、東北労災病院眼科の患者統計では、白内障手術数は、事故前の 2010 年から事故後の 2012 年までにおよそ 2 倍になっている (図 15)。

図 15 仙台市の東北労災病院眼科の手術件数の推移



出典：東北労災病院眼科ホームページ

http://www.tohokuh.rofuku.go.jp/patient/outpatient/cons_info/ganka/

これらの事実は、眼科疾患とりわけ白内障をめぐる極めて重大な事態が現に生じつつあることを示唆している。

3-4-3. 住民とくに子供たちの健康状態の全般的悪化と免疫力の低下

東京圏の子供たちの健康状態の深刻な悪化を示す兆候が出てきている。2014年3月まで東京小平市で医院を開業していた三田茂医師は、同市での医院を閉じ、岡山市に転居した理由について小平市医師会にあてた手紙の中で、次のように書いている。

…私は2011年12月から放射能を心配する首都圏の親子約2000人に、甲状腺エコー、甲状腺機能検査、血液一般、生化学を行ってきました。

10歳未満の小児の白血球、特に好中球が減少している。

震災後生まれた0～1歳の乳児に好中球減少の著しい例がある（1000以下）。

ともに西日本に移ることで回復する傾向がある（好中球0→4500）。

鼻出血、脱毛、元気のなさ、皮下出血、肉眼的血尿、皮膚炎、咳、等々特異的でないさまざまな訴えがあります。

小平は関東では一番汚染が少なかった地域ですが、2013年中旬からは子ども達の血液データも変化してきています。

東京の汚染は進行していてさらに都市型濃縮も加わっています。

市民グループの測定によると東大和、東村山の空堀川の河原の線量はこの1~2年で急上昇しています。

その他最近私が気になっている、一般患者の症状を記します。

気管支喘息、副鼻腔炎などが治りにくくなっている。転地すると著明に改善する。

リウマチ性多発筋痛症の多発。中高年の発症が増加している。

「寝返りがうてない」「着替えができない」「立ち上がれない」などの訴えが特徴的。

チェルノブイリで記載されていた筋肉リウマチとはこのことか？

インフルエンザ、手足口病、帯状疱疹などの感染症の変化。

当医院が貼り紙等で事故直後から放射能被曝の懸念をしていたことを知っているからでしょうか、多くの患者さんが「今までこのようなことはなかった」「何か普通とは違う感じがする」と訴えます。...^{注7 2}

とくに「10歳未満の小児の白血球とくに好中球の減少」は子供の免疫力の全般的低下を示す指標として注目される。

さらに住民全体の免疫力の低下が生じている可能性があり、新型インフルエンザやエボラ出血熱など各種の流行性の病気が危機的に蔓延する危険も高まっていると言わざるをえない。

3-5. 精神科医の見た原発推進政策の病理

政府は、被曝の現実的危険を真正面から見ようとせず、必要な対応も取ろうとせず、反対に汚染地域への住民帰還を進め、東京圏の住民と国民全体に放射線被曝を強要しながら、原発の再稼働を進め、さらには原発新增設・核燃料再処理も含め福島事故以前の原発推進路線に復帰しようとしている。このような政府の政策が続いて行くなれば、福島やその周辺地域はもちろん東京圏の住民さらには日本国民全体の破局的な健康破壊という結果は避けられないのではないかと危惧される。

現在進行中の福島事故の破壊的結果は、一般の住民に降りかかるだけではとどまらない。首相も政府閣僚も、天皇も皇族も、政府高官も高級官僚も、財界首脳も大資本家も、その本人と家族・親族の大部分は東京圏に暮らしており、影響は必然的に彼らにも及ぶであろう。

さらに、経済産業省の公式文書^{注7 3}に公然と記載されているように、福島事故のような原発の重大事故の起きる確率は、原子炉1基につき約500炉年に1回

であり、残存する原発 50 基について計算すれば約 10 年に 1 回となる。これとは別に、原発の立地点ごとの存在年数で計算しても、確率は現在の 18 立地点につき約 30 年に 1 回である^{注74}。つまり、原発を維持し続ければ、今後 10~30 年間に、再度福島のような破局的事故が生じる可能性が高いのである。

無知によるものなのか、意図的なのか、いかなる精神状態によるのかは分からないが、日本の政府と指導層は、彼ら自身の立場から見ても、自己破壊的な政策をとっているというほかない。

精神科医の久邇晃子氏は、破局的事故にもかかわらず原発に固執する政府の政策について、その「愚かさ」を指摘するだけでなく、さらに進んでその精神分析を試みている。久邇氏はそのような政策の中に「一種の病的な強迫行為」あるいは「心理学用語でいう『否認』の状態」を見いだしている。すなわち「安全でないと困るから安全であることにする。自分にとって都合の悪い事実は、無かったことにする。これが『否認』の状態であり、一種の絶望の表れ」であるという。さらに久邇氏は「自らを破滅させるようなことになるかもしれない綱渡りに乗りだし（しかも）硬直化してやめることが出来ない」という状況は「集団自殺願望」を「疑いたくなる」とも述べている^{注75}。付け加えるならば、久邇氏のこの発言は旧民主党政権時代に行われたものであるが、現在の安倍自民党・公明党政権についてはさらに的を射ていっそう直接に当てはまると言える。政府と原発推進勢力は、自分たち自身とその家族だけでなく、福島とその周辺地域の住民を、また東京圏の住民を、そして日本国民全体を、さらには世界の人類すべてを、このような「集団自殺」に強制的に巻き込もうとしているのである。

4. おわりに

福島原発事故により放出された放射性微粒子の危険性について、物理学・金属学・生物無機化学・医学・薬学など多様な観点から、可能な限り総合的に議論した。メルトダウンした原発からナノからマイクロン (10^{-9}m から 10^{-6}m) サイズの多様な微粒子が放出されたことが示された。そして、身体への侵入経路は微粒子の大きさによって異なり、それぞれに異なる危険性が具体的に明らかにされた。その結果、かつて、ホットパーティクルとしてプルトニウムで恐れられたのと同様の内部被曝の危険が、今回さらにセシウム、ストロンチウムなど多様な元素でも生じる現実的可能性が指摘された。また、劣化ウラン弾によって生じるのと同様のいっそう小さな微粒子により、血液やリンパ液を通じて

放射性微粒子が全身に拡散し、白血病・骨髄腫、さまざまながん、白内障や眼科疾患、免疫力低下など多くの重大な病気を引き起こす危険性が示された。

さらに、福島だけでなく、東京はじめ関東における放射性物質の再浮遊による深刻な汚染の現状を指摘するとともに、すでに在京の一部病院で放射性微粒子を含む被曝による疾患と思われる血液系疾患や白内障の増加が見られることを報告した。いま必要なことは、現状を注意深く直視するとともに、情報を組織的・系統的に集約することであり、この点でのみなさまのご協力を訴える。そして、原発の再稼働や被災地への帰還を進めることは決しておこなうべきではない。

注 記

注 1 本論文を作成するに当たって基礎となった作業は、以下の著作等にまとめられている。

①原発問題全般については、大和田幸嗣、山田耕作、橋本真佐男、渡辺悦司『原発問題の争点 内部被曝・地震・東電』緑風出版（2012年）。

②福島原発事故による放射性物質の放出量については、山田耕作、渡辺悦司「福島事故による放射能放出量はチェルノブイリの2倍以上——福島事故による放射性物質の放出量に関する最近の研究動向が示すもの」（2014年5月16日）「市民と科学者の内部被曝問題研究会」ブログ。

<http://blog.acsir.org/?eid=29>

③汚染水については、山田耕作、渡辺悦司「青山道夫氏の汚染水についての『科学』論文によせて——福島事故による放射性物質の放出量、汚染水に含まれる量、海水への漏洩、それらのチェルノブイリ事故・広島原発・核実験との比較について」（2014年8月13日、未公表）。

④放射線による内部被曝全般については、遠藤順子「遠藤順子医師講演 家族を放射能から守るために～国際原子力組織の動きと内部被曝」（2014年8月3日 北海道伊達市において行われた講演のビデオ映像）。

https://www.youtube.com/watch?v=rgUBXFeX-_o

⑤政府の放射線に対する基本的考え方と住民の汚染地域への帰還政策の批判については、澤田昭二ほか『福島への帰還を進める日本政府の4つの誤り 隠される放射線障害と健康に生きる権利』旬報社（2014年）、とくに同書所収の山田耕作著『放射線リスクに関する

基本的情報』の問題点」。

注2 アメリカの週刊誌『タイム』は、1990年4月9日号において、チェルノブイリ事故4周年の報道特集を組んでいる。それによれば、現場の医師の経験した事実として、健康被害が急速に顕在化してきたのは事故2年半が経過した以後であるという。「チェルノブイリ原子力発電所がメルトダウンを起こしてから4年が経過した。だがソ連での核破局の深刻な影響は、現在も深化し続けている。原子炉の周囲に広がる、ウクライナと隣国ベラルーシにまたがる広範囲の人口密集地帯は、高レベルの放射能に汚染されたままである。土地の汚染によって、極度の健康問題と経済的荒廃がもたらされている。」同誌は、事故炉から60km離れたウクライナの農業地区の取材記を掲載している。「ウラジーミル・リソフスキーは、ナローディチ地区中央病院の医師である。彼は、過去18ヶ月間（1年半）に、甲状腺疾患、貧血症、ガンが、劇的に増加したことを強調している。住民は、また、極度の疲労、視力喪失、食欲喪失といった症状を訴え始めており、これらはすべて放射線疾患の症状である。最悪のものは、住民全体の免疫水準の驚くべき低下である。『健康な人々でさえ病気が直りきらずに苦勞している』とリソフスキーは指摘する。しかも子供たちが最悪の影響を受けている。」「農民たちは、家畜の先天性欠損症が爆発的に増加しているのを目撃している。8本の足もち、下あごが変形し、脊椎骨の関節が外れた子馬が生まれている。写真家コスティンによれば、ビャゾフスカのユーリー・ガガーリン・コルホーズでは197匹の奇形の子牛が生まれたという。それらのなかには、目が無いもの、頭蓋骨が変形したもの、口が歪曲したのが見られた。マリノフカの農場では、事故後に、約200匹の異常をもつ子豚が生まれた。」さらに同誌は「永く続く放射線被曝にもかかわらず、自分の住居を去って避難民になることを拒否している住民も多い。多くの村々を強制的に一斉避難させる計画は中断されたままである。ウクライナ人の中には、非合法に避難区域に帰還した人々もいる。それらの人々にとっては、目には見えない放射性降下物が今後長期にわたって危険であることなど理解できないものであろう」と書いている。日本においては、反対に政府が避難を「拒否し」、反対に「放射性降下物の長期的な危険性」を公然と否定し、反対に、危険性を指摘する人々を「風評被害を煽る」ものだと批判することによって、住民をチェルノブイリでは避難地区となっている線量の汚染地域に居住させ続け、そのような地域にさらに住民の帰還を推し進めようとしている。

注3 アーニー・ガンダーセン氏は2011年8月21日、米国原子力規制委員会の報告を引用しながら「核燃料の破片は1マイル以上飛散した」と評価している。

http://www.youtube.com/watch?v=tSn_-NohjAA

注4 微粒子形成過程についての分析は、佐藤修彰（東北大学多元物質科学研究所）「福島原発事故における燃料および核分裂生成物の挙動」にある。

<http://www.applc.keio.ac.jp/~tanaka/lab/AcidRain/%E7%AC%AC35%E5%9B%9E/1.pdf>

また炉心溶融過程の温度分析は、工藤保（日本原子力開発機構 安全研究センター）「原子炉の炉心溶融 日中科学技術協会講演会『東電福島事故と中国の原子力安全』（2011年6月6日）にある。

http://jcst.in.coocan.jp/Pdf/20110606/1_CoreMeltDown.pdf

注5 原発推進を目的とする団体である「エネルギー問題に発言する会」は、石川迪夫氏を講師に招き限定した参加者だけで同氏の新著『考証・福島原子力事故一炉心溶融・水素爆発はどう起こったか』（日本電気協会新聞部 2014年）についての講演会を開催した。その質疑の中で参加者の一人は、「炉心が形状を保ったままかろうじて屹立していても、十字形の制御棒は溶け落ちていて存在していない。そのような状況で水を注入して再臨界の心配はないのか」と質問した。それに対して石川氏は「(注水による) 分断によって燃料形態が崩れれば、再臨界は、実際にはほとんど考えられない」と答えた。ということは、注水時に「燃料形態が崩れなければ」あるいは「崩れるのが一瞬でも遅ければ」、再臨界が起こることは十分に「考えられる」ということに等しい。この資料は、原発推進勢力内部において、再臨界の可能性が非公開の場では本格的に検討されているという事実を示している。

「第145回エネルギー問題に発言する会 座談会議事録 考証・福島原子力事故一炉心溶融・水素爆発はどう起こったか」（2014年6月19日）4ページ

<http://www.engy-sqr.com/lecture/document/145zadannkai-gijiroku.pdf>

注6 水ジルコニウム反応（900℃以上になると起こるとされる）による発熱は、崩壊熱に加わって、さらに高温を生み出したと考えるのが自然である。水ジルコニウム反応を崩壊熱に対置し、それによって崩壊熱による炉心溶融の事実を否定するために水ジルコニウム反応を利用しようとする試みが行われている。そのようなものとしては、『電気新聞』インターネット版による石川迪夫氏の著書『考証・福島原子力事故一炉心溶融・水素爆発はどう起こったか』の紹介記事がある。同紙は「炉心溶融は崩壊熱ではなく、ジルコニウム水反応に代表される被覆管などの炉心材料と冷却水の化学反応による、急激な発熱によるもの」であり「炉心溶融は崩壊熱により液状となって溶け落ちたのではなく、(注水によって) 炉心が急激に冷却されたことにより、バラバラと折れるように崩壊し、その後、ジルコニウム水反応を主体とした化学反応によって溶融に至った」「炉心溶融と水素爆発のタイミングはほぼ同じ」と書いている。『電気新聞』のホームページより引用。

http://www.shimbun.denki.or.jp/news/main/20140403_01.html

http://www.shimbun.denki.or.jp/publish/media/books/201404_koushou.html

しかし、このような評価は、メルトダウンが、1号機で地震発生から「5時間後」（3月11日20時半過ぎ）にはすでに始まっていたとする政府の原子力安全・保安院（当時）の評価や、同22時ごろとするエネルギー総合工学研究所の事故解析ソフト SAMPSON による解

析結果に反する。

NHK ニュースインターネット版 2011 年 6 月 6 日

http://www3.nhk.or.jp/news/genpatsu-fukushima/20110606/2110_hoanin.html

『検証福島原発 1000 日ドキュメント』（『ニュートン』別冊）2014 年 5 月 15 日、38 ページ

注 7 Ian Goddard; Fukushima Unit 3: Steam-Explosion Theory

<http://archive.lewrockwell.com/orig4/goddard2.1.1.html>

日本語訳は以下のサイトにある。

イアン・ゴッダード「福島第一原発 3号機：水蒸気爆発理論」

http://blog.livedoor.jp/pph2tm-ikenobu/archives/cat_10118083.html

注 8 岡本良次ほか「炉心溶融物とコンクリートとの相互作用による水素爆発、CO 爆発の可能性」『科学』2014 年 3 月号

注 9 水素の大手供給業者、岩谷産業の「水素とイワタニ」というサイトで解説されている。

<http://www.iwatani.co.jp/jpn/h2/faq/faq.html>

注 10 理化学研究所研究員であった槌田敦氏は、「臨界は簡単には起きないというのはウソであり」「5-10%低濃縮ウランは、水があれば核分裂を起こして爆発する」として、核爆発を主張している。

「事故から 1 年半、水素爆発のまま」 (2012/10/25)

<https://www.youtube.com/watch?v=scVL1tRdbLM>

「書き換えられた福島原発事故」 (2012/11/25)

<https://www.youtube.com/watch?v=dbg0qnWwPq4>

「東電福島第一原発事故 その経済的原因と今後のエネルギー」 (2012/12/11)

https://www.youtube.com/watch?v=ZBjnfR_5Z1I

講演要旨は以下のサイトにある。

<http://www.asyura2.com/13/genpatu32/msg/357.html>

核爆発を引き起こした具体的過程については、いろいろな説明が提起されている。アーニー・ガンダーセン氏は水素爆発が引き起こした振動による使用済み燃料プールの核燃料による核爆発を、クリス・バズビー氏はプルトニウム濃縮蒸気の核爆発を、ガンダーセン氏の引用している NRC 秘密報告書は原子炉内の再臨界爆発の可能性をそれぞれ提起している。これらはすべて説得的であるが、東電・政府が決定的データや設備の被害状況を今にいたるも公開していないため、本来は解明できるはずであるにもかかわらず、「仮説」の段階にとどまっている。しかしどのような過程を辿ったにせよ、再臨界・核爆発が生じた

事実自体はいまや否定できない。

注 11 北田正弘『新訂初級金属学』内田老鶴圃（2006年）第8章6節も参照のこと。ちなみに、北田氏は日立製作所（原発メーカー）の中央研究所勤務であった。

注 12 Kouji Adachi, Mizuo Kajino, Yuji Zaizen & Yasuhito Igarashi; Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident

<http://www.nature.com/srep/2013/130830/srep02554/full/srep02554.html>

注 13 矢ヶ崎克馬「矢ヶ崎克馬教授が あの福島原発事故の放射性微粒子の正体に迫る」
2014年7月4日

<http://www.sting-wl.com/yagasakikatsuma13.html>

注 14 Yoshinari Abe, Yushin Iizawa, Yasuko Terada, Kouji Adachi, Yasuhito Igarashi, and Izumi Nakai; Detection of Uranium and Chemical State Analysis of Individual Radioactive Microparticles Emitted from the Fukushima Nuclear Accident Using Multiple Synchrotron Radiation X-ray Analyses; Analytical Chemistry

<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac501998d>

注 15 大野利眞、森野悠、田中敦「福島第一原子力発電所から放出された放射性物質の大気中の挙動」保健医療科学 2011年 Vol.60 No.4 292、296 ページ

<http://www.niph.go.jp/journal/data/60-4/20116004003.pdf>

注 16 兼保 直樹（産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門 大気環境評価研究グループ 主任研究員）「風に乗って長い距離を運ばれる放射性セシウムの存在形態——大気中の輸送担体を解明」

http://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/nr20120731/nr20120731.html

注 17 文科省「文部科学省によるプルトニウム、ストロンチウムの核種分析の結果について」

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/017/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2011/10/05/1311753_3.pdf

アメリカへの飛散については、『サンデー毎日』（2011年6月12日号）「太平洋を越えたプルトニウムの謎」19～21 ページを参照。その他、この事実を早くから指摘した下記のブログも参照のこと。

<http://onihutari.blog60.fc2.com/blog-entry-44.html>

注 18 小泉昭夫、原田浩二、新添多聞、足立歩、藤井由希子、人見敏明、小林果、和田安彦、渡辺孝男、石川裕彦「福島県成人住民の放射性セシウムへの経口、吸入被ばくの予備的評価」

<http://hes.med.kyoto-u.ac.jp/fukushima/EHPM2011.html>

注 19 ロザリー・バーテル「劣化ウランと湾岸戦争症候群」嘉指信雄ほか編『ウラン兵器なき平和をめざして』（2008年）合同出版所収

注 20 「黒い物質」「黒い塵」「黒い粉」についての記述は多くあるが、ここでは志葉玲「首都圏を襲う超高線量の黒い物質（その1～3）」（2012年6月1、4、5日）を挙げておこう。

<http://reishiva.jp/report/?id=5888>

<http://reishiva.jp/report/?id=5891>

<http://reishiva.jp/report/?id=5896>

注 21 山内知也（神戸大学教授）「放射能汚染レベル調査報告書 首都圏における生物濃縮がもたらす高レベルの汚染」（2012年4月20日）

<http://tokyo-mamoru.jimdo.com/%E9%AB%98%E6%BF%83%E5%BA%A6%E6%B1%9A%E6%9F%93-%E8%B7%AF%E5%82%8D%E3%81%AE%E5%9C%9F-%E6%83%85%E5%A0%B1/>

また『東京新聞』2012年5月17日「江戸川区 路上に高濃度セシウム」も参照。

<http://onand.under.jp/genpatsu/index.php?%B9%BE%B8%CD%C0%EE%B6%E8%A1%A1%CF%A9%BE%E5%A4%CB%B9%E2%C7%BB%C5%D9%A5%BB%A5%B7%A5%A6%A5%E0%A1%A1%C1%F4%A4%E4%A5%B3%A5%B1%CE%E0%A4%C7%C7%BB%BD%CC%A4%AB>

注 22 早川由起夫（群馬大学教授）「『黒い物質』改め『路傍の土』」（2012年5月25日）

<http://kipuka.blog70.fc2.com/blog-entry-512.html>

注 23 Japan's Black Dust, with Marco Kaltofen; Fairewinds Energy Education Podcast July 10th, 2013; Podcast Transcript

<http://www.fairewinds.org/japans-black-dust-with-marco-kaltofen/>

日本語訳は、小林順一訳「放射線科学の世界的権威が明らかにする・日本の黒い塵、その正体（その1～5）」

<http://kobajun.chips.jp/?p=13069>

<http://kobajun.chips.jp/?p=13706>

<http://kobajun.chips.jp/?p=13975>

<http://kobajun.chips.jp/?p=14179>

<http://kobajun.chips.jp/?p=14201>

カルトフェン氏による詳細な説明は次のサイトにある。

<http://fukushimavoiced-eng2.blogspot.jp/2013/06/radiological-analysis-of-namie-street.html>

注 24 The Hottest Particle; April 3rd, 2014

<http://www.fairewinds.org/hottest-particle/>

日本語訳は以下のサイトにある。「黒い砂の正体はつまり核燃料」

<http://ameblo.jp/mhyatt/entry-11866091534.html>

注 25 「フクロウの会」のホームページにある。

http://fukurou.txt-nifty.com/fukurou/files/2014_1010ozawa2.pdf

注 26 小出裕章「プルトニウムという放射能とその被曝の特徴」

<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/kouen/Pu-risk.pdf>

タンプリン、コクランの当時の報告はインターネットで見ることができる。

Authur R. Tamplin, Thomas B. Cochran (1974.2), Radiation Standards for Hot Particles, A Report on the Enadequacy of Existing Radiation Protection Standards Related to Internal Exposure of Man to Insoluble Particles of Plutonium and Other Alpha-Emitting Hot Particles

http://docs.nrdc.org/nuclear/files/nuc_74021401a_0.pdf

注 27 原子力委員会の文書は、『原子力委員会月報』14 (12) で、以下の政府サイトにある。

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V14/N12/196901V14N12.html>

注 28 萩原ふく氏のサイトは以下にある。

<http://noimmediatedanger.net/contents/seminar1976/270>

注 29 山村雄一、吉利和編『内科学書』第3版 中山書店 1987年 881ページ

注 30 前掲『内科学書』第3版 803ページ

注 31 福井基成監修 吸入指導ネットワーク編集 『地域で取り組む喘息・COPD 患者への吸入指導 吸入指導ネットワークの試み』フジメディカル出版（2012 年）

注 32 小川聡総編集『内科学書』第 8 版（2013 年）第 2 巻 417 ページ。

注 33 公益財団法人宮城厚生協会 仙台錦町診療所・産業医学センター広瀬俊雄医師の本論文の共著者遠藤への私信

注 34 海老原勇「粉じん作業による系統的疾患」『社会労働衛生』10 巻 4 号 23-48,2013.3

注 35 海老原勇「粉じん作業と免疫異常」『労働科学』58 巻 12 号 607-634,1982.12。同「粉じん作業による全身疾患」『社会労働衛生』11 巻 1 号 41-55,2013.6。

注 36 石丸小四郎ほか『福島原発と被曝労働』明石書店（2013 年）206～207 ページ

注 37 ナノ粒子の体内への取り込みの問題に関する政府側の資料は、例えば、以下の文書に見られる。

環境省ナノ材料環境影響基礎調査検討会「ナノ材料の有害性情報について」

<https://www.env.go.jp/chemi/nanomaterial/eibs-conf/02/mat02.pdf>

研究の概要については国立環境研究所「ナノ粒子・マテリアルの生体への影響 分子サイズまで小さくなった超微小粒子と生体との反応」『環境儀』N0.46 2012 年 10 月号

<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/46/46.pdf>

注 38 ロザリー・バーテル前掲（注 19 参照）

注 39 安間武訳「あるナノ粒子は胎盤関門を通過する可能性がある SAFENANO 2009 年 11 月 20 日」

原著は SAFENANO 20/11/2009; Study indicates potential for certain nanoparticles to cross the placental barrier

注 40 「ナノ粒子は細胞バリアを越えて DNA を損傷するかもしれない ブリストル大学プレスリリース 2009 年 11 月 5 日」。これには安間武氏の要約がある。

http://www.ne.jp/asahi/kagaku/pico/nano/news/091105_nanoparticles_DNA_damage.html

原著は University of Bristol; Press release issued 5 November 2009; Nanoparticles may cause DNA damage across a cellular barrier

<http://www.bris.ac.uk/news/2009/6639.html>

注 41 落合栄一郎氏は、「生物学的半減期」が国際原子力組織（ICRP など）の作り出した虚構であって現実には存在しないと主張している。「落合栄一郎さん来日歓迎講演会『放射能は地球上の生命を徐々に蝕んでいる』」

<https://www.youtube.com/watch?v=ImuXpf9am-E&feature=youtu.be>

注 42 おおざっぱな計算だが、セシウム原子の半径が 256pm （ピコメートルすなわち 10^{-12} メートル）なので 0.256nm となり、 1nm に原子が 2 個並ぶ。 1nm の立方体にはセシウム原子が 8 個入ることになる。足立氏の発見した粒径 $2\mu\text{m}$ はおよそ直径 2000nm のので半径はその半分 1000nm である。球体の体積は $4\pi r^3/3$ なので、半径は $1\mu\text{m}$ の球体には $4\pi \div 3 \times 1000^3 = 4.19 \times 10^9$ 個の 1nm の立方体があることになる。それぞれ 8 個の原子が含まれるので、セシウムの原子数は 33.5×10^9 個すなわち 335 億個ほどになる。実際には他の原子も含まれるので、セシウム原子の数はずっと少ないものと考えられる。

小柴信子氏は、足立論文に基づいて、足立氏が採取した $2.6\mu\text{m}$ と $2\mu\text{m}$ の放射性微粒子中のセシウム原子の数をそれぞれおよそ 45 億個と 21 億個と推計している。

「足立論文に、直径 $2.6\mu\text{m}$ の微粒子から検出したセシウムの Bq 数から、微粒子に含まれるセシウムの質量濃度は、微粒子の密度を $2.0[\text{g}/\text{cm}^3]$ と仮定すると 5.5% とある。これに基づき 1 微粒子に含まれるセシウム原子数を計算した。

微粒子の体積は球の体積の公式より、 $9.2 \times 10^E(-12) [\text{cm}^3]$ 。

微粒子に含まれるセシウムの質量は、微粒子の体積 \times 微粒子の密度 \times セシウムの質量濃度なので、

$$9.2 \times 10^E(-12) [\text{cm}^3] \times 2.0 [\text{g}/\text{cm}^3] \times 0.055 = 1.0 \times 10^E(-12) [\text{g}]$$

セシウム 134(原子量 134)とセシウム 137(原子量 137)はほぼ同量検出されているので、セシウムの原子量 135.5 とすると、セシウムのモル質量は $135.5[\text{g}/\text{mol}]$ 。

1 微粒子に含まれるセシウムのモル[mol]は

$$1.0 \times 10^E(-12) [\text{g}] / 135.5[\text{g}/\text{mol}] = 7.5 \times 10^E(-15) [\text{mol}]$$

1 モルあたりの原子数は $6.0 \times 10^E(23)[\text{個}/\text{mol}]$ （アボガドロ数）なので、1 微粒子に含まれる原子数は

$$7.5 \times 10^E(-15)[\text{mol}] \times 6.0 \times 10^E(23)[\text{個}/\text{mol}] = 4.5 \times 10^E(9)[\text{個}]$$

足立氏らが発見した直径 $2.6\mu\text{m}$ の 1 微粒子に含まれるセシウム原子数は 45 億個となる。またもう一つの粒子の場合も同組成だとすると直径 $2.0\mu\text{m}$ なので、体積比は $1.3^3/1^3=2.197$ であり、45 億個の約半分の原子数となる。」（筆者への私信）

注 43 落合栄一郎『放射能と人体 細胞・分子レベルから見た放射線被曝』講談社（2014年）.同書の基礎となった英語版は、Ochiai, Eiichiro; Hiroshima to Fukushima –

Biohazard of Radiation; Springer Verlag; 2014 英語版には日本語版において割愛された重要部分（放射線と人類とは絶対に共存できないという氏の強い信条など）もあり、さらに内容豊かなものとなっている。

注 44 矢ヶ崎克馬「内部被曝についての考察」（「劣化ウラン廃絶キャンペーン」のホームページより）

<http://www.cadu-jp.org/data/yagasaki-file01.pdf>

注 45 われわれの前掲『原発問題の争点』第 1 章第 6 節「低線量被曝の分子基盤：ペトカウ効果とバイスタンダー効果」を参照のこと。「ペトカウ効果」の語義は、当初の「ペトカウの実験」という意味から、「放射線起因の活性酸素による細胞損傷メカニズム」「活性酸素及びその反応によって生じる過酸化脂質などにより引き起こされる、悪性腫瘍・動脈硬化症・心臓病・脳梗塞を含む多くの病気や老化」へと拡大してきた。この点については、Wikipedia 日本語版の「ペトカウ効果」の項目が興味深い指摘を行っている。

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9A%E3%83%88%E3%82%AB%E3%82%A6%E5%8A%B9%E6%9E%9C>

このような広義の「ペトカウ効果」解釈の基礎となった著作として、ラルフ・グロイブ、アーネスト・スターングラス著 竹野内真理訳『人間と環境への低レベル放射能の脅威』あけび書房（2011 年）がある。

注 46 エピジェネティクスの定義については、仲野徹『エピジェネティクス——新しい生命増をえがく』岩波書店（2014 年）21 ページ。

細胞外基質（細胞外マトリクス ECM ともいう）については、Extra Cellular Matrix; Mina Bissell: Experiments that point to a new understanding of cancer 参照。NHK のホームページにある。乳腺細胞をその基質から引き離して培養すると乳汁を産生しないが、また基質内に入れると産生するようになる、がん細胞を正常な基質内に入れると無際限な分裂が止まるなどの興味深い実験が紹介されている。細胞外基質が細胞に対しどう機能すべきかを指示しているのではないかという推論を行っている。

<http://www.nhk.or.jp/superpresentation/backnumber/140924.html>

デュヴィッド・サダヴァほか著 石崎泰樹ほか訳『アメリカ版 大学生物学の教科書 第 1 巻 細胞生物学』講談社（2010 年）73～75 ページも参照した。

関口清俊（大阪大学蛋白質研究所教授）「細胞外マトリクスの多様性とインテグリンシグナリング」も、細胞膜と細胞外基質との情報伝達の具体的メカニズムに関して重要な指摘を行っている。

<http://www.protein.osaka-u.ac.jp/chemistry/research/ECM.html>

なども参照した。

注 47 この際、落合氏の指摘するように、作用が強力で人体内に解毒する酵素がないヒドロキシラジカル・OH がとくに重要である。落合前掲『放射線と人体』158 ページ

注 48 山内脩・鈴木晋一郎・桜井武『生物無機化学』朝倉書店（2012 年）の 2.4 および 2.5 の各節 220～289 ページ

注 49 吉川敏一（元京都府立医科大学教授）「フリーラジカルの医学」『京都府立大学雑誌』126(6) 2011 年 385～6 ページ

<http://www.f.kpu-m.ac.jp/k/jkpum/pdf/120/120-6/yoshikawa06.pdf>

注 50 前掲『原発問題の争点』（注 1-①）、23～24 ページ。数値の原典は、崎山比早子「放射性セシウム汚染と子供の被曝」『科学』2011 年 7 月号。

注 51 厚生労働省「白内障と放射線被曝に関する医学的知見について」の文献 No.824 Cucinotta, F.A. et al.; Space radiation and cataracts in astronauts からの引用。宇宙飛行士のデータの解析による評価。

http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/rousai/dl/130726_3-21.pdf

注 52 田野保雄ほか総編集『今日の眼疾患治療指針（第 2 版）』医学書院（2007 年）所収、山田昌和著「角膜上皮の沈着物」154 ページ。

注 53 川合真一ほか編集『今日の治療薬 解説と便覧 2014』南江堂（2014 年）「眼科用剤 白内障治療薬」1020 ページ

注 54 黒田洋一郎ほか『発達障害の原因と発症メカニズム』河出書房新社 2014 年、第 9 章第 5 節（291～295 ページ）。この節の表題は「放射性物質（ストロンチウム 90 など）の内部被曝による、自閉症など多くの疾患・障害の発症の可能性とその予防」となっている。

注 55 われわれは、2012 年春頃までの福島事故による健康被害の状況について前掲『原発問題の争点』の第 1 章第 5 節（「福島原発事故による日本での内部被曝の進行」）で可能な限り全面的にまとめようと試みた。それ以後のデータについては以下を参照のこと。

①福島県における小児甲状腺がんの多発については、津田敏秀「2014 年 8 月 24 日福島県『県民健康調査』検討委員会発表分データによる甲状腺検査分まとめ」『科学』岩波書店 2014 年 10 月号、同「放射能による甲状腺がんの多発」『Days Japan』デイズ・ジャパン出版 2014 年 10 月号。

②福島県における心臓病の多発とそれによる死亡の放射能汚染との関連については、明石昇二郎「福島県で急増する『死の病』の正体を追う」『宝島』2014年10月号、福島県におけるがん死の多発については同じく明石昇二郎「福島県でなぜ『ガン死』が増加しているのか」『宝島』2014年11月号。

③福島県と周辺地域における死産および乳児死亡の増加については、ハーゲン・シュアブほか「東日本大震災／福島第1原発事故による死産と乳児死亡の時系列変化」『科学』岩波書店2014年6月号。

④鼻血については、福島県双葉町および宮城県丸森町の住民に対する2012年11月時点での質問票による健康調査で、対象の滋賀県長浜市木之本町と比較して「有意に多い症状」として鼻血などが報告されている。中地重晴「水俣学の視点からみた福島原発事故と津波による環境汚染」『大原社会問題研究所雑誌』 No.661/2013.11

<http://oohara.mt.tama.hosei.ac.jp/oz/661/661-01.pdf>

『ビッグ・コミック・スピリッツ』2014年6月2日号の「『美味しんぼ』福島の真実編に寄せられたご批判とご意見」の項に掲載された矢ヶ崎克馬、肥田舜太郎両氏の見解を参照のこと。

⑤小児の免疫機能の低下については、福島県の第13回「県民健康調査」検討委員会の資料においても、平成24年度の「健康診査」結果の中に6歳以下の女児の0.1%に好中球500/ μ L以下のいわゆる「無顆粒球症」が報告されている。

第13回「県民健康調査」検討委員会（H25/11/12）の資料3.「県民健康調査の実施状況について」

<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/6427.pdf>

⑥福島県周辺自治体における健康調査については、茨城県「取手市小中学校 心臓検診結果（2013/01/01）」

http://www.h7.dion.ne.jp/~touhyou/houshaedu/sinzou_toride.pdf

⑦福島原発事故による健康被害を可能な限り全体的に概観しようとする試みについては、落合栄一郎前掲書第10章を参照のこと。Ochiai, Eiichiro; Hiroshima to Fukushima — Biohazard of Radiation; Springer Verlag; 2014のChapter 15には、さらに詳しい紹介がある。

また、そのような試みの一つとして、前掲「遠藤順子医師講演 家族を放射能から守るために～国際原子力組織の動きと内部被曝」2014年8月3日のビデオ映像も参照いただければ幸いである。

https://www.youtube.com/watch?v=rgUBXFeX-_o

注 56 前掲『宝島』2014年10月号（注 53-②）

注 57 児玉龍彦著『内部被曝の真実』幻冬舎新書（2011年）83ページ

注 58 John Howard; Minimum Latency & Types or Categories of Cancer; World Trade Center Health Program; Revision May 1, 2013

<http://www.cdc.gov/wtc/pdfs/wtchpminlatcancer2013-05-01.pdf>

注 59 日本政府の原子力規制委員会「定時降下物のモニタリング」が発表している「都道府県別環境放射能水準調査（月間降下物）」は以下のサイトで閲覧することができる。

<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/195/list-1.html>

注 60 東京電力廃炉・汚染水対策チーム会合第 10 回事務局会議資料「原子炉建屋からの追加的放出量の評価結果（平成 26 年 9 月）」（2014 年 9 月 25 日付）では、1～4 号機の放出量の合計値は「0.1 億ベクレル/時以下」と評価している。言い換えれば、現在も最大で 1000 万 Bq/h が出続けており、一日では 2.4 億 Bq、年間では 876 億 Bq の放出が続いているということである。

<http://www.tepco.co.jp/life/custom/faq/images/d140925-j.pdf>

注 61 この放出事故についての報道は多いが、ここでは以下の 2 つを挙げておこう。

NHK ニュースインターネット版 2014 年 7 月 23 日

http://www3.nhk.or.jp/news/genpatu-fukushima/20140723/1753_houshutsu.html

東京新聞インターネット版 2014 年 7 月 24 日

<http://www.tokyo-np.co.jp/article/feature/nucerror/list/CK2014072402000185.html>

注 62 読売新聞インターネット版「放射能監視体制を強化…福島県」2014 年 7 月 31 日

<http://www.yomidr.yomiuri.co.jp/page.jsp?id=102725>

インターネット上にはこれに関する多くのブログがある。

<http://saigaiyouhou.com/blog-entry-3850.html?sp>

<http://www.asyura2.com/14/genpatu39/msg/507.html>

<http://www.asyura2.com/14/genpatu39/msg/445.html>

<http://saigaiyouhou.com/blog-entry-3311.html>

2014 年 7 月には、福島と関東地方から北海道にいたる広い地域で放射線量の異常な上昇が観測されている。

注 63 井部正之「静岡市の震災がれき試験焼却で明らかになった広域処理での放射能拡散増加の可能性」『ダイヤモンド・オンライン』

<http://diamond.jp/articles/-/30406>

ほかに同氏による「焼却炉のフィルターをくぐり抜ける放射能 拡大する管理なき被曝労

働（１）および（２）」『ダイヤモンド・オンライン』も参照。

<http://diamond.jp/articles/-/27576>

<http://diamond.jp/articles/-/26833>

注 64 青木一政（「福島老朽原発を考える会（フクロウの会）」事務局長）「リネン吸着法による大気中の粉塵の放射能調査」

http://fukurou.txt-nifty.com/fukurou/files/2010_1010aoki.pdf

注 65 原子力安全基盤機構「警戒区域内の国道 6 号線等の通過に伴う車両への放射性物質の影響及び運転手の被ばく評価に関する調査報告書」（2012 年 5 月）

<http://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000122709.pdf>

注 66 タイヤハウスを含む乗用車の表面積のデータは、見いだすことができなかった。ボディのコーティング処理の際の料金のベースとなる数字は、以下のサイトにあり、ここでは全表面積をそのおよそ 2 倍と仮定した。

SS=8.5m²未満（適合車種例：ワゴン R、ムーヴ）

S=8.6 m²以上 10.5 m²未満（適合車種例：ヴィッツ、フィット）

M=10.6 m²以上 12.2 m²未満（適合車種例：プリウス、BMW3 シリーズ）

L=12.3 m²以上 14.0 m²未満（適合車種例：クラウン、ベンツ E クラス）

LL=14.1 m²以上 17.6 m²未満（適合車種例：エルグランド、レクサス LS）

XL=17.7 m²以上（適合車種例：アストロ、ハマー）

<http://www.keepercoating.jp/proshop/02845.html>

注 67 国道 6 号線の通行量については、「国道 6 号通行量増加 震災前に迫る」『河北新報』オンラインニュース 2014 年 10 月 15 日を参照した。

http://www.kahoku.co.jp/tohokunews/201410/20141015_63022.html

注 68 動労千葉「JR 東日本 労働者への被曝を強制するな！」『日刊動労千葉』第 7205 号（2011 年 10 月 7 日）

http://www.doro-chiba.org/nikkan_dc/n2011_07_12/n7205.htm

注 69 『日本経済新聞』インターネット版 2014 年 5 月 22 日

http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK2202L_S4A520C1000000/

注 70 ロザリー・バーテル氏が寄稿したロシアのジャーナリスト、アーラ・ヤロシンスカヤの著作 Alla A. Yaroshinskaya, Chernobyl: Crime without Punishment; Transaction

Publishers (2011) への序文。

注 71 杏林大学医学部付属病院眼科「眼科初診についてのお願い」(2012年12月7日付け)

http://www.kyorin-u.ac.jp/hospital/introduction/news_detail-612.shtml

注 72 三田茂(三田医院)「私が東京を去った訳」小平市医師会あての手紙

http://blogs.yahoo.co.jp/hagure_geka/11743139.html

注 73 経済産業省 原子力委員会原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会「核燃料コスト、事故リスクコストの試算について」2011年11月10日付 表3の注記。

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/kettei/seimei/111110.pdf>

政府の「10年に1回」という重大事故確率は50基を稼働した場合のものである。福島第1原発4号機の事故で明らかのように、稼働していない原発も重大事故を起こす可能性があり、また自然災害が原発立地点全体を襲う可能性が高いという事情を考慮する必要がある。

注 74 原発立地点ごとの重大事故確率は、福島事故までの立地年数の合計約543年を、立地地点数18カ所で割って計算でき、約30年である。

付表 原発立地点の存在期間による重大事故確率の概算

原発立地点	完工時期	福島事故までの存在期間
泊	1989年6月22日	22年264日
東通	2005年12月8日	6年34日
女川	1984年6月1日	26年283日
福島第2	1982年4月20日	28年325日
福島第1	1971年3月26日	39年350日
柏崎刈羽	1985年9月18日	25年174日
志賀	1993年7月30日	17年224日
東海	1966年7月25日	44年229日
浜岡	1976年3月17日	34年359日
敦賀	1970年3月14日	40年362日
美浜	1970年11月28日	40年103日
高浜	1974年11月14日	36年117日
もんじゅ	1995年8月29日	15年194日
大飯	1979年3月27日	31年349日

島根	1974年3月29日	36年347日
伊方	1979年9月30日	31年162日
玄海	1975年10月15日	35年147日
川内	1984年7月4日	26年250日
以上合計		542年258日
重大事故確率	542.7年÷18立地点	30.15年に1回

Wikipedia 各項目より筆者計算。福島事故発生は2011年3月11日とした。閏年は考慮していない。新型転換炉「ふげん」(1978.3.20～2003.3.29に存在、現在廃炉作業中)は敦賀原子力発電所に併設されており、立地点は敦賀とした。

注 75 久邇晃子「愚かで痛ましいわが祖国へ」『文藝春秋』2011年11月号 170、175ページ