

月間降下物測定 720 カ月が教えること(2)

——降下物に関する他の長期測定記録と外部被ばく線量の推定

青山道夫

あおやま みちお

筑波大学 アイソトープ環境動態研究センター 客員教授

2019年5月号の本誌の論考「月間降下物測定 720 カ月が教えること(1)」では、降下物の長期の歴史と ^{137}Cs の降下量から推定される1945年から2016年までの高さ1 mでの空間線量率を議論した。本稿では、月間降下物の長期測定記録以外についても提示し議論する。核実験直後の降水に含まれる短寿命の核分裂生成物による降水中全ベータ放射能(毎日の降水測定結果)の1954年から1986年までの記録、大気浮遊塵中の全ベータ放射能の1956年から1989年までの測定記録、千葉県における核実験降下物による外部被ばく線量の1961年9月から1974年12月までの測定記録をもとに、1950年代から福島第一原発事故後までの放射性降下物による日本人の外部被ばくの様相を概観する。さらに、福島県2地点(福島市と双葉郡)での福島第一原発事故前後の ^{137}Cs 降下量を東京/つくばでの ^{137}Cs 降下量のグラフと重ねて提示し、外部被ばく線量の比較を行う。

^{137}Cs 降下物による 被ばく線量推定(1945~2016年)

前稿(5月号)で述べたように、大気圏内核実験や福島第一原発事故により大気中に放出され、地表に降下した ^{137}Cs の半減期を補正した積算降下量を用いて、地表高さ1 mの空気カーマ率が計算できる。この計算の換算係数は、佐藤ら²による $1.73\text{E}-6\text{ mGy h}^{-1}\text{ per kBq m}^{-2}$ を用い、降下初期の地表層の ^{137}Cs 鉛直分布を仮定している。前稿図3で明らかなのは、つくば市においては核実験による ^{137}Cs 降下物からの空間線量率(空気カーマ率)より、福島第一原発事故により降下した

^{137}Cs 降下物からの空間線量率のほうが半桁程度大きかった、すなわち外部被ばく線量も半桁程度大きかったということである。

さらに空間線量率の計算だけでなく、外部被ばく線量も、地表への降下量(水平方向への移動を無視できるとすれば土壤中蓄積量と同じとなる)から計算可能である。この計算には、やはり原子力研究開発機構の佐藤らによる、福島第一原発事故により土壤に広範囲にわたって沈着した放射性セシウムがもたらす外部被ばくによる公衆の実効線量の評価に必要な線量換算係数を用いた。彼らは、モンテカルロ法にもとづく3次元放射線輸送コードPHITSを用いて、線源核種である ^{134}Cs および ^{137}Cs がそれぞれ土壤中の特定深さ 0.0 g cm^{-2} 、 0.5 g cm^{-2} 、 2.5 g cm^{-2} 、 5.0 g cm^{-2} および 10.0 g cm^{-2} に一樣平板分布している条件(同じ降下量が無限平面に広がっているとの仮定)の下、新生児(生後6日)、1歳、5歳、10歳、15歳および成人に対して、土壤中の蓄積量に対する線量換算係数 $\text{mSv h}^{-1}\text{ per kBq m}^{-2}$ を与えている。したがって、前稿の論考表1で示した半減期を補正した積算降下量 Bq m^{-2} に線量換算係数をかけ合わせると、それぞれの年齢の人間に対する降下した ^{137}Cs による外部被ばく線量が時代をさかのぼって計算できることになる。

福島第一原発事故の場合には炉心内で生成し環境中に放出されその後地表に降下した ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能比は、ほぼ1であった³。そして ^{134}Cs は複数のガンマ線を出す核種であり、半減期も約2年と短い。 ^{134}Cs は同じ降下量(土中蓄積量)でも外部被ばく線量は ^{137}Cs のそれよりもおよそ3倍高い。ちなみに、つくば市での2011年3月の降下量 23.1 kBq m^{-2} に対して線源の土壤深さ

0.5 g cm⁻²を仮定して、両核種による被ばく線量の増加分を計算すると、0.1 μSv h⁻¹程度となり、短寿命核種の影響がほぼ見えなくなったつくば市の高エネルギー加速器研究機構敷地境界での空間線量率の測定値⁴や筆者らが2011年4月に気象研究所構内や敷地境界で測定した結果である0.1 μSv h⁻¹とよく整合している。なお、福島第一原発事故直後のつくば市での短寿命核種の影響の大きさについて触れておく。つくば市にある気象研究所で3月15日から3月末にかけて採取された大気浮遊塵からは、⁹⁹Mo-^{99m}Tc、^{129m}Te、¹³¹I、¹³²Te-¹³²I、¹³³I、¹³⁴Cs、¹³⁶Csおよび¹³⁷Csが検出されている。これらの核種の中で特に放射能が大きかったのは¹³¹Iと¹³²Te-¹³²Iであり⁵、これらの短寿命核種の影響でつくば市での空間線量率は0.5 μSv h⁻¹を超えていた⁴。

外部被ばくおよび内部被ばくに寄与する核種

核実験により生成される放射性核種あるいは原子炉内で生成する核種は数百種類に及ぶが、その大部分は半減期が短かったり、生成量が少なかったりして、人間の被ばくに重大に関与する核種は限られる。その重要な核種として¹⁴C、¹³⁷Cs、⁹⁵Zr、⁹⁰Sr、¹⁰⁶Ru、¹⁴⁴Ce、³H、¹³¹I、プルトニウムなどが挙げられる。このうち¹⁴C、⁹⁰Sr、³Hは純粋なベータ放射体であり、²³⁹Puや²⁴⁰Puなどのプルトニウムはアルファ放射体であるため、内部被ばくのみが重要である。また半減期が年のオーダーを超えているのは³H、¹⁴C、¹³⁴Cs、¹³⁷Cs、⁹⁰Srと²³⁹、²⁴⁰Puであり、また核実験では¹³⁴Csはほとんど生成しない。したがってなぜ気象研究所や世界各国の環境放射能測定機関が長寿命の¹³⁷Cs、⁹⁰Srおよび²³⁹、²⁴⁰Puの月間降水量を測定してきたかは明らかである(今回は¹³⁷Csを主題に長期変動を議論している。⁹⁰Srと²³⁹、²⁴⁰Puについては、2012年の論考⁶を参照されたい)。第一義的には地表に降下した¹³⁷Cs、⁹⁰Srと²³⁹、²⁴⁰Puなどの長寿命の核種は、人間生活との関係でいえば地表からの放射線による外部被ばく、また食物連鎖や水循環に入り食料や飲み水を汚染しそれを飲食する

ことにより体内に蓄積しそのため引き起こされる内部被ばくの出発点となるからである。内部被ばくの場合は、放射性物質の摂取経路と核種により被ばくしやすい器官、組織が異なる。例えば吸入の場合には、主に肺が被ばくする。経口摂取では、⁹⁰Srは骨に、¹³¹Iは甲状腺に集まりやすく、それぞれ骨や骨髄、甲状腺が集中的に被ばくする。一方、筋肉に集まる性質のある¹³⁷Csの場合には、全身が被ばくする。

核実験直後の降下物や降水中の放射性核種の同定

全ベータ放射能測定ではそのままの試料の半減期を測定することで核種の組成の推定は行えるが、厳密には核種を特定できない。しかし、核分裂収率とその半減期および元素の物理的・化学的性質から、あるいは直接的に放射化学分離することにより、どのような核種が核実験直後の降水や降下物あるいは大気浮遊塵に含まれていたかを知ることができる。歴史上著名な例は、1954年3月1日にビキニ環礁でアメリカが行ったブラボー実験である。爆発力15 Mtの水素爆弾が使用され、海底に直径約2 km、深さ73 mのクレーターが形成された。このとき、日本のマグロ漁船・第五福竜丸が、死の灰(核分裂生成物およびサンゴ礁成分の中性子放射体でできた核種が主成分)を浴びて被ばくしたのをはじめ、日本政府が公表した1954年11月までに政府指定の5港に入港した683隻の漁船が被ばくした⁷。

日本における組織的な環境放射能研究は、この第五福竜丸の被ばくとビキニ諸島で実施された10 Mtを超えていてかつ地表あるいは海面付近での大規模な大気圏内核実験により対流圏内に核分裂生成物が留まり、それが日本に輸送された結果、日本で放射性の雨が観測されたことに始まっている。北太平洋のビキニ環礁で1954年5月初めに行われた核実験(ヤンキー実験13.5 Mt、台船上での爆発)による人工放射能を含む降水が日本各地で報告された。Miyake(1955)⁸によると最初の人工放射性雨の報告は1954年5月14日以降のことである。

表 1—歴史的に異なるソースによって日本の環境中で検出されたと明示的に報告された長半減期の核種

核種	⁸⁹ Sr	⁹⁰ Sr	⁹¹ Y	⁹⁵ Zr- ⁹⁵ Nb	⁹⁸ Mo- ^{98m} Tc	¹⁰³ Ru	¹⁰⁶ Ru	^{110m} Ag	¹³¹ I	¹³⁷ Cs	¹⁴⁰ Ba- ¹⁴⁰ La	¹⁴¹ Ce	¹⁴⁴ Ce	^{239,240} Pu	出典	
半減期	50.5d	28.8y	58.5d	64.0d	65.9h	39.3d	373.6d	250d	8.02d	2.07y	30.2y	12.8d	32.5d	285d	2.41 × 10 ⁴ y, 6.57 × 10 ³ y	
1954年日本の降水	+			+					+							1
1954年ビキニ海域の海水	+		+	+		+	+									2
大規模実験(1962年まで)	+	+	+	+		+				+					+	3
中国核実験	+	+	+	+		+									+	4
チェルノブイリ原発事故(つくば市の 大気と降水)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	5
福島原発事故(つくば市の大気と降水)		+			+				+							6

注 h: 時間, d: 日, y: 年。測定技術の進歩に伴い, またソースとの距離と輸送時間との関係で, この表にない核種が存在し被ばくに寄与する可能性があること, および検出と報告されていない核種も存在していた核種があることに注意

出典 1—Miyake(1955)⁹

2—Miyake(1954)⁹, Miyake et al.(1955)¹⁰

3—Katsuragi(1983)¹¹, UK-AERE-HP/R2354, 2790, 3094, 3766, 4094 および 4392(英国の核実験降下物および大気中の放射性核種測定報告書)

4—Katsuragi(1983)¹¹, 日本政府放射能対策本部のそれぞれの回の中国核実験調査報告書(強放射能粒子の核種分析結果を含む)

5—Aoyama et al.(1987)¹², Aoyama(1999)¹³

6—Igarashi et al.(2015)⁵

日本での最大値は京都市で観測され, カウント数では 86760 ± 1320 cpm/L, 放射能では 0.52 × 10⁻⁶ Ci/L, すなわち 19240 Bq L⁻¹ と記されている。核実験や原子力施設の事故後数日から 10 日程度で日本に放射性物質が到達した場合には, プリウムが日本のどこを通過したかで降水中の濃度や降水量が 2 桁程度は異なりきわめて不均一であることが知られている。1954 年 5 月の場合もやはり 2 桁程度の差が日本国内で見られている^{8, *1}。

どのような核種が含まれていたかについて, Miyake(1955)⁹は, 1954 年 5 月に日本各地で観測された高い放射能を示す雨水から, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴⁰La, ⁸⁹Sr, ⁹⁵Zr(⁹⁵Nb), ⁹¹Y, ¹³¹I, ¹³²I, ¹³³I, ^{129m}Te, ²³⁷U が検出されたと報告している。また, ビキニ環礁へ調査に向かった俊鶴丸が 1954 年 6 月に採取した海水試料からは ⁹¹Y, ¹⁴¹Ce, ¹⁴⁴Ce, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru, ¹⁰⁶Rh, ⁹⁵Zr(⁹⁵Nb) および ⁸⁹Sr が検出されている^{9, 10}。さらに大規模大気圏内核実験(1962 年まで), 中国大気圏内核実験, チェルノブイリ原発事故(つくば市の大気と降水)および福島第一原発事故(つくば市の大気と降水)で検出したと報告されている核種を表 1 にまとめて示す。表 1 には被ばくに関連し, ¹⁴C と ³H を除く数日以上半減期をもつ短寿命核種とすでに述べた長寿命の核種名, その半減期およびどのようなソースから環境中に放出された場合に検出されてきたかを示してある(測定技術の進歩に伴い, またソースとの距離と輸送時間との関係で, この表にない核種が存在し被ばくに寄与する可能性があること, および検出と報告されていない核種も存在していた核種があることに注意)。

短寿命核種への対応は定時降水測定と大気浮遊塵の放射能測定

短寿命の人工放射性核種の影響を直ちに把握す

*1—鹿児島, 広島, 大阪, 京都, 名古屋, 静岡, 東京, 仙台, 金沢, 弘前, 新潟の大学, または衛生研究所における観測結果が記述されていて, すでに広域的な観測とネットワークの必要性が考えられていたことを感じることができる。また, 輸送の時間スケールは対流圏内高度 3000 m の流跡線解析では実験後約 10 日で日本に到達したことがわかっている。

る目的で、気象庁を含む各国の環境放射能測定機関が毎日の降水中の放射能や大気浮遊塵の放射能の測定を長期間行ってきた。なぜならば、雨や雪として地表に降下する降水中の放射性物質に数十日程度あるいはそれ以下の半減期をもつ短寿命核種を含む場合は、被ばくの程度を推定するためには月間降下物のように月のオーダーでなく、それより短い時間での測定が必要となる。さらに地表への降下は、降水による沈着が支配的であることが知られており、月間降水量で100 mmを超える場合が多い日本のような湿潤な気候の場合は90%以上が降水に伴う降下である¹⁴。したがって、短い時間スケールでの飲料水や食物への汚染の状況を知るうえで、毎日の降水の放射能測定を行う必要があった。また大気浮遊塵中の放射能測定は毎日の降水と同様に測定の必要はあったが、実際には降水より遅れて1956年から始まっている。

日本では気象庁が1955年4月1日から日本の10地点以上で、1日1回その前の24時間に降った降水を集め、蒸発乾固させて、全ベータ放射能を測定する放射能監視を組織立って行っていた。これを定時降水放射能測定と呼んでいた(これ以前の1954年3月にピキニ諸島で実施された大規模な大気圏内核実験に由来する日本での人工放射性核種を含む降水の測定は、緊急事態対応として当時測定能力を保有していた日本各地の大学や研究所が行っていた⁹)。核種分析には時間と費用がかかっていたため、この全ベータ測定は有効な放射能監視手段であったが、Ge半導体検出器によるガンマ線測定が相対的に容易になると、徐々に廃止されていった。例えば1986年チェルノブイル原発事故の場合には、毎日の降水試料について、ガンマ線測定が研究目的^{12,13}あるいはモニタリングとして行われた。

本論のために1955年4月1日から行われてきた定時降水データのうち東京都大手町の気象庁で行われてきた結果を入力し、さらに研究目的で行われた1954年5~6月のデータも合わせて、図1として掲載する。さらに図1には地方自治体の業務として東京都が1964年以降行ってきた定時降水データもマークを変えて、併せて掲載してあ

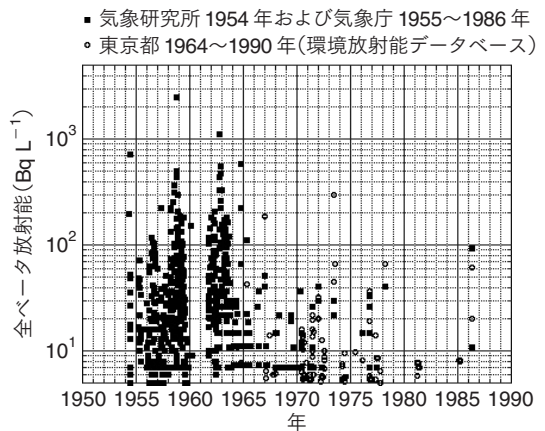


図1—東京での降水中全ベータ放射能の推移(1954~1990年)
1954年5月~6月のデータはMiyake(1955)⁹から数値を読み取り Bq L^{-1} に変換。気象庁の1955年から1986年の採水地点は大手町。データは気象庁発行 Bulletin of Atmospheric Radioactivity No. 1 から No. 70 の数値を入力、単位を Bq L^{-1} に変換した。東京都の測定データは環境放射能データベースからダウンロードした。採水地点は新宿区。1991年以降では、福島事故時は全ベータ測定でなくガンマ線測定を行ったのでデータは欠落しており、その期間以外は2018年まで測定しているが極まれにしか検出下限値を超えないので図からは省略した。

る。さらに、東京での大気浮遊塵中の全ベータ放射能のデータについても、1956年から1989年を入力し、図2に示す。(1954年5月の例ですでに述べたように、プリュームの通過する場所により放射能濃度や降水量はきわめて不均一であることに留意する必要がある。)

図1で示す毎日の降水中の全ベータ放射能の推移と前稿図2A(および今号では図4)で示した¹³⁷Cs降下量の推移は一目瞭然に異なっている。その理由は、大規模な大気圏内核実験直後での降水には放射能の組成に短寿命の核種が入ることにより、全ベータ放射能が上昇しているためである。

核実験が行われ、その直後に短寿命核種が含まれると、総放射能値は 100 Bq L^{-1} から数千 Bq L^{-1} まで著しく上昇する。ただし長くは続かず速やかに減少するとともに、毎日の降水中の全ベータ放射能値も極めて不均一であることも見て取れる。その違いを作るのはガンマ線放出核種では⁹⁵Zr, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru, ¹³¹I, ¹⁴¹Ce や ¹⁴⁴Ce などであり、大気圏内核実験では核分裂生成物はすべて大気に放出され輸送されるのに対し、原子炉の事故では炉心内にある核種の中で揮発性が高い核分裂生成

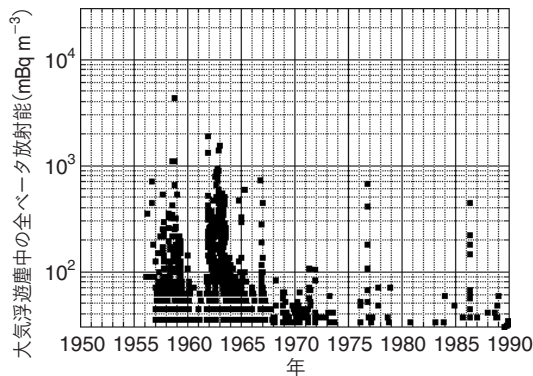


図2—東京での大気浮遊塵中の全ベータ放射能の推移(1956～1989年)

気象庁の1956年から1989年の大気浮遊塵の採取地点は大手町。データは気象庁発行 Bulletin of Atmospheric Radioactivity No. 1 から No. 70 の数値を入力し、単位を mBq m^{-3} に変換。

物 (^{131}I や ^{137}Cs などがその典型) および核分裂生成物が中性子放射化されてできる放射性核種で揮発性が高いもの (^{134}Cs がその典型) が大気や海洋中に放出され輸送されるという違いがある。さらに中国の1966年12月の第5回核実験のように地表爆発実験あるいは1954年5月のヤンキー実験による台船上での実験の場合には、核分裂生成物だけでなく、周辺の土壌や海水の成分を中性子放射化してできる核種の影響や核分裂生成物が対流圏内に留まる割合が高いことも考慮する必要がある。

^{137}Cs の月間降水量が実験直後より成層圏を経由するため1年程度遅れていた¹⁵⁾のに対し、大規模大気圏内核実験による降水や大気浮遊塵中の全ベータ放射能の増加する時期は、核爆発総量および核分裂総量の多かった時期と一致している。図1では 200 Bq L^{-1} を超えるのは、1954年(ピキニ核実験)、1957年、1958年、1962年、1964年(第1回中国核実験)、1973年(第15回中国核実験)である。また1966年(第5回中国核実験、地表爆発)や1986年のチェルノブイル原発事故(原子炉がむき出しとなった)後の降水中の全ベータ放射能は $100\sim 200 \text{ Bq L}^{-1}$ 程度まで上昇していた。米国および旧ソ連が大規模大気圏内核実験を停止した1962年以降、図で示す1990年までに見られる降水中の全ベータ放射能の増加は基本的に日本との距離が近く風上側にある中国での核実験に起因するもの、あるいは

1986年のチェルノブイル事故に起因するものである。図2に示している大気浮遊塵中の全ベータ放射能については、1971年以前の場合、試料の採取時間が1日数時間であること、また1971年以降は週1回に測定頻度が減っているためピークを逃している場合が多くなり様相が異なっているように見えるが、1970年以前は、比較的よい相関を示しているのがわかる。

既に UNSCEAR 2000¹⁶⁾ で示されているが、地球全体でみると大気圏核実験による外部被ばくの寄与は ^{137}Cs とともに ^{95}Zr が主たるものであることも理解できる。

降下物による外部被ばく線量 測定記録: 1961年9月～ 1974年12月

それでは上述したような短寿命の核種は長寿命の ^{137}Cs と合わせてどのように日本人の外部被ばくに寄与してきたのであろうか? Radioactivity survey data in Japan No. 40 (NRIS-RSD-40, National Institute of Radiological Science) に千葉県における1961年9月～1974年12月にわたる外部被ばく線量測定記録が掲載されているので紹介する。測定は野外露場の高さ1mにおいて、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータにより測定されている¹⁷⁾。また電離箱を用いた比較観測も行ったと記されている。1カ月あたりの核実験降下物による外部被ばく線量が mR (ミリレントゲン) 単位で記載されており、数値は0から7.6 mR となっている。R: レントゲンから Gy: グレイへの換算係数 8.77×10^{-3} ($1 \text{ R} = 8.77 \text{ mGy}$) を使い、毎月の吸収線量として図3に示す。

このデータによると、1962年から1964年くらいまでは月間で $20 \mu\text{Gy}$ を超える時が続いている。このころの ^{137}Cs 積算降水量はおよそ 7000 Bq m^{-2} であり、そこから見積られる成人の外部被ばく線量はおよそ $6 \mu\text{Sv 月}^{-1}$ である。1962年から1964年のデータではその10倍くらいに達する月があったことを示しており、すでに示したように ^{137}Cs でなく他の短寿命核種が外部被ば

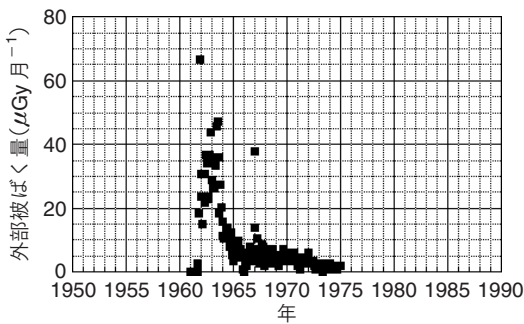


図3—千葉県における降下物による吸収線量測定記録(1961年9月～1974年12月)
単位は1カ月あたりのμGyに変換して表示。

くに寄与していたことと整合している。また、この外部被ばく量の測定結果は図1や図2の降水や大気浮遊塵中の全ベータ放射能測定結果とも整合している。また、図1でも見られるように1964年あたりで短寿命核種の影響が減少し、結果として¹³⁷Cs降下物による外部被ばくが支配的になるとともに、(土壌中の下方移動が効いてきて)月間で外部被ばく線量が数μGyとなる測定結果と¹³⁷Csの降下量から推定する外部被ばく線量6μSvが整合するようになる。さらにもう1点注目すべきは、1966年12月の第5回中国核実験(地表爆発)に起因する外部被ばく線量が、他のもっと規模の大きい1968年、1969年、1970年および1973年の核実験によるものより大きいことである。

残念ながら1961年9月以前の測定結果はないが、図1の全ベータ放射能の測定結果から推測すると、1950年代後半の外部被ばく線量は短寿命核種の影響を考慮して、1962年から1964年くらいと同程度と推測できる。

降下物による外部被ばく線量推定:2011年以降、つくば市と福島県

それでは福島第一原発事故後の降下物による外部被ばくの大きさはどの程度だったのであろうか? 図3に示す外部被ばく線量と同じ基準で比較するために、やはり佐藤らによる外部被ばく線量換算係数を使い、24時間外にいるという仮

定で線量の計算を行った。図4に東京/つくばでの¹³⁷Cs月間降下量のグラフに福島市(福島第一原発事故前後)および福島県双葉郡(福島第一原発事故後の¹³⁷Cs降下量を重ねた図を示す。福島県は事故を起こした原子炉が立地しており、その近傍では1MBq m⁻²を超える地域がある。つくば市での2011年3月から5月までの3カ月間の¹³⁷Cs積算降下量が25.2 kBq m⁻²であったのに対し、福島県双葉郡では3539.6 kBq m⁻²であった。その後の降下量の減少の様相はつくば市でも福島市あるいは双葉郡でもよく似た様相を示し、広い範囲で起きている現象であることがわかる。双葉郡では2016年でも、大規模核実験が行われていた1960年代初頭の月間降下量である500 Bq m⁻²と同程度である。

こうした¹³⁷Cs降下量と、福島第一原発事故では¹³⁷Csとほぼ同じ量の¹³⁴Csが降下したことを踏まえて、外部被ばく線量を佐藤らによる土壌に分布した¹³⁴Csと¹³⁷Csによる外部被ばく線量換算係数を使い推定する。降下直後の放射性セシウムの鉛直分布は0.5 g cm⁻²とした。結果を表2に示す。

つくば市では、福島第一原発事故直後の1カ月あたりの推定外部被ばく線量は86μSvとなり、1960年代の大気圏内核実験に由来する短寿命核種を含む降下物による外部被ばく線量(図3)と同程度ないしやや大きくなった。それに対し、双葉郡では1カ月あたりの成人の推定外部被ばく線量は12.1 mSvとなる。

繰り返しになるが、この外部被ばく線量の計算は、1962年から1974年における千葉県での被ばく線量測定と比較するために行ったもので、福島県における事故直後の短寿命核種による外部被ばくは含まれていないことに留意する必要がある。さらにこの計算には人間の行動パターンによる屋内にいることによる遮蔽の効果も考慮していないことにも留意する必要がある。

また、核実験と異なり⁹⁵Zrなどの不揮発性核種が福島第一原発事故では環境中にほとんど出ないこと(表1)も、外部被ばくの様相を大きく

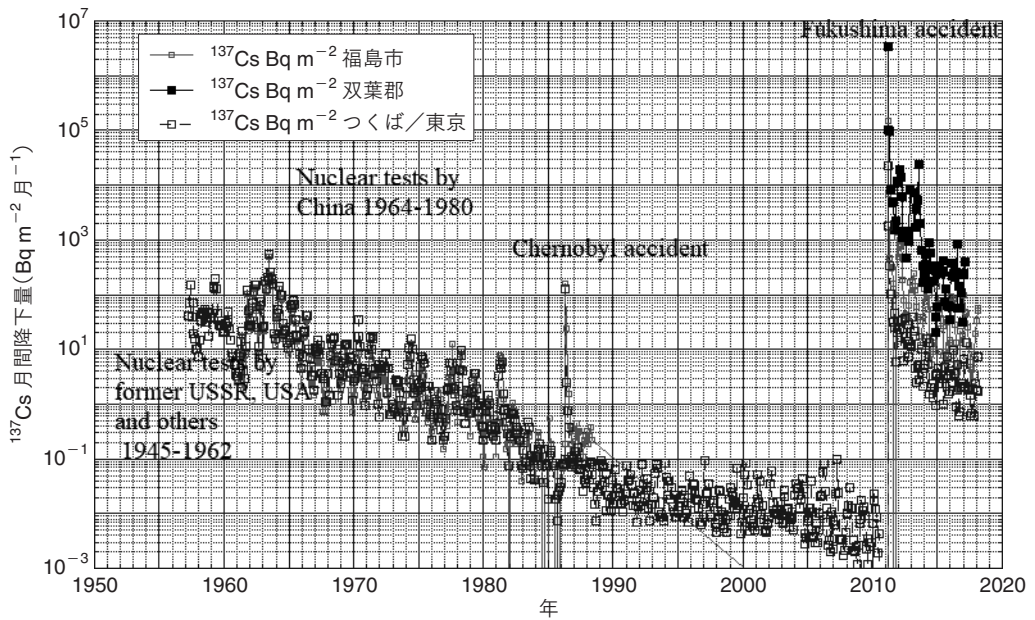


図4—東京/つくばでの月間降下量のグラフに福島市(福島第一原発事故前後)および福島県双葉郡(福島第一原発事故後)の降下量を重ねた図

表2—茨城県つくば市と福島県双葉郡での2011年3月から5月までの降下量から推定される外部被ばく線量

	^{137}Cs 成人	^{137}Cs 新生児	^{134}Cs 成人	^{134}Cs 新生児
	mSv h^{-1} per kBq m^{-2}	mSv h^{-1} per kBq m^{-2}	mSv h^{-1} per kBq m^{-2}	mSv h^{-1} per kBq m^{-2}
外部被ばく換算係数	1.28E-06	1.67E-06	3.48E-06	4.52E-06

^{137}Cs 降下量 (2011年3月から5月までの合計)	^{137}Cs 成人	^{137}Cs 新生児	^{134}Cs 成人	^{134}Cs 新生児
	kBq m^{-2}	mSv h^{-1}	mSv h^{-1}	mSv h^{-1}
茨城県つくば市	25.2	3.23E-05	4.21E-05	1.14E-04
福島県双葉郡	3539.6	4.53E-03	5.91E-03	1.60E-02

	成人外部被ばく総量		新生児外部被ばく総量	
	kBq m^{-2}	mSv 月^{-1}	mSv 月^{-1}	mSv 月^{-1}
茨城県つくば市	25.2	0.086	0.112	
福島県双葉郡	3539.6	12.1	15.8	

異なったものにしていただけると推定できる。

内部被ばくに関して、筆者は専門家ではないので、本論では触れていない。成書を参考にさせていただきたい。

文献

- 1—青山道夫: 科学, 89(5), 452-459(2019)
- 2—D. Satoh et al.: Calculation of dose conversion coefficients for external exposure to radioactive cesium distributed in soil. Japan Atomic Energy Agency(2014)
- 3—P. Povinec, K. Hirose & M. Aoyama: Fukushima Accident:

Radioactivity Impact on the Environment. Elsevier(2013)
4—伴秀一: 加速器, **8**(3), 141-145(2011)
5—Y. Igarashi et al.: Progress in Earth and Planetary Science, **2**(1), 1-19(2015)
6—青山道夫・五十嵐康人・廣瀬勝己: 科学, **82**(4), 442-457(2012)
7—第五福竜丸平和協会編集: 水爆実験の影響(その4), ビキニ水爆被災資料集, 東京大学出版会(1976)pp. 210-237
8—Y. Miyake: Pap. Met. Geophys., **6**, 26-32(1955)
9—Y. Miyake: 科学, **24**, 601-605(1954)
10—Y. Miyake, Y. Sugiura & K. Kameda: Pap. Met. Geophys., **5**, 253-262(1955)
11—Y. Katsuragi: Papers in Meteorology and Geophysics. **33**(4), 277-305(1983)

12—M. Aoyama, K. Hirose & Y. Sugimura: J. Radioanal. Nucl. Chem., **116**(2), 291-306(1987)
13—M. Aoyama: Geochemical studies on behaviour of anthropogenic radionuclides in the atmosphere. 金沢大学博士論文(1999)
14—Y. Katsuragi & M. Aoyama: Papers in Meteorology and Geophysics, **37**(1), 15-36(1986)
15—K. Hirose et al.: Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, **65**(2), 259-277(1987)
16—United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 REPORT. Vol. I(2000)
17—F. Yamasaki et al.: Journal of Radiation Research, **5**(2), 113-115(1964)