

福島原発事故に起因した水戸市の大気中放射線量の予測

誌名	システム農学
ISSN	09137548
著者名	山口,文夫 塩見,正衛 竹内,孝 白岩,昭年 石田,紀久
発行元	システム農学会
巻/号	29巻2号
掲載ページ	p. 51-57
発行年月	2013年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



福島原発事故に起因した水戸市の大気中放射線量の予測

放送大学茨城学習センター* 山口文夫・塩見正衛・竹内 孝・白岩昭年・石田紀久

要旨

2011年3月12日に東京電力福島第一原子力発電所において水素爆発が発生した。爆発以降、水戸市内に所在する測定点の大気中で測定された放射線量(空間放射線量とも呼ばれる)が急上昇しており、放射線による生活への影響が心配されている。本研究では、大気中放射線量の変動を予測するモデルを構築し、水戸市における今後の放射線量の動きを示した。本モデルは、原発事故由来の放射性物質からの線量の半減期に依存した指数関数的な減少を数式化し、環境蓄積している放射性物質の風雨等による自然除染線量による補正を行った。このモデルを用いて、2011年6月~2012年3月の大気中放射線量の実測値を回帰分析し、2012年4月から2014年3月までの大気中放射線量の予測を行った。予測では、水戸市の放射線量は原発事故2年後の2013年3月には事故以前の自然放射線量の最大値(0.056 $\mu\text{Sv/hr}$)より若干高い値(0.065 $\mu\text{Sv/hr}$)を示したが、事故3年後の2014年3月には自然放射線量の水準まで低下した。毎時・毎日の大気中放射線量を積算した大気中累積放射線量の予測値は、原発事故1年目、2年目ともに1 mSv/年を下回った。一方、頻繁に見られた大気中放射線量が突如上昇する現象は、短時間の「強い降水」と「強風」によって引き起こされることが重回帰分析によって示された。

キーワード: 空間放射線量、自然放射線量、大気中放射線量、突発値、放射性セシウム、累積放射線量

1. はじめに

2011年3月12日に、水素爆発が東京電力福島第一原子力発電所(以降、福島原発と略す)の1号機で発生し、引続いて3号機で発生した。水素爆発によって大気中に放出された放射性ヨウ素、放射性セシウムなどの放射性物質は、これらの事故時およびその後の気象条件や地形・地勢に左右されて非対称的に福島原発近隣のみならず、福島県内はもとより茨城県を含む周囲の県に広がり、森林、住宅地、農地、原野、さらに広範な海域に分散するにいたった(日本原子力研究開発機構 2011, 米国エネルギー庁 2012)。茨城県のはほぼ中心に位置する水戸市は、定点において長期にわたって放射線測定が行われてきている。水戸市内では、3月15日以降に大気中で測定された原発由来と考えられる物質による放射線量が急上昇し、5月末になっても自然放射線量の約5倍のレベルであった(茨城県環境放射線監視センター 2012b)。原発事故以前は北海道に次ぐ国内第2位の農業生産額を誇っていた茨城県は今回の原発事故発生地から近距離にあり、当地の農業は大きな経済的被害をこうむった。県内で生産された農作物や食物の摂取を通じた内部被曝や、学童に対する外部被曝を心配する声が高まった(たとえば、東京都健康安全研究センター 2012)。

多くの住民が原発事故以降、報道機関から発表される大気中の放射線量によって、生活上の行動を決めている。水戸市の測定値を、土壌や農作物、水産物などの環境のもつ放射性物質の量と同一とみなすことはできないが、原発事故発生後の水戸市内の短期・長期の放射線量を解析し、放射線問題に対する理解の一助にしたい。

茨城県内には多くの原子力施設が設置されているため、事故以前からいくつかの定点で、大気中放射線量(母岩、土壌、人工的構造物表面、大気中に浮遊する物質が有する総放射線量を地上の一定の高さで測定した線量)の測定が行われてきた(茨城県環境放射線監視センター 2012b)。原発事故由来の放射性物質(^{134}Cs と ^{137}Cs)は測定点周辺の環境(地表、樹木、人工的構造物上など)に蓄積している。本研究では、これらの放射性物質の放射線量の自然崩壊速度による減少や、風雨等による移動・集積によって増減することによる変化、および、自然放射線量(時間的に一定と仮定)を推定するモデルを作成した。第1の研究課題は、水戸市内で測定されている放射線量の経時的変化を追跡し、本モデルに基づく統計解析によって、今後、放射線量が安定な水準に減少するまでの日数と線量の予測を行うことである。事故後の大気中の放射線量は、測定点周辺の環境に蓄積した放射性物質から出る放射線量と自然放射線量の総計である。事故による放射線量は時間とともに減少していくが、その減少速度が放射性物質の崩壊速度よりも速いか遅いかを調べることが第2の研究課題である。

* 〒310-0056 茨城県水戸市文京 2-1-1

(Correspondence : yamaguti@sc4.so-net.ne.jp)

放射線量が生物に与える影響は単位時間当たりの大気中放射線量だけでなく、大気中放射線量を積算した累積大気中放射線量にも依存する(鶴飼 2007)。本研究では、累積大気中放射線量の経時的変化の予測を第3の課題として検討する。さらに、日常の大気中放射線量は風向などの気象条件に影響されているかどうかを解析・検討する。

2. 材料および方法

2.1 測定地点および測定値

水戸市は東京電力福島第一原子力発電所の南南西約130 km に位置する。公表されている水戸市内の測定地点は水戸市石川町、水戸市吉沢町、水戸市大場町の3箇所で、これらは茨城県設置測定局(固定局)に指定されている。測定地点は標高約30 mで、測定感部は地表から3.45 mの高さに設置されている(文部科学省 2012)。水戸市の3固定局において10分間隔で記録されたデータが公表されているので(茨城県環境放射線監視センター 2012b)、このデータベースから毎日、午前9時現在のデータをピックアップして、3固定局間で最も高い数値を実測値として使用した。

また、新たな原発由来の放出がなくても頻繁に起こる放射線量の急上昇(突出値と呼ぶ)の原因究明のために、2011年6月1日~2011年9月30日の文部科学省発表のデータを使用した。現在はこのデータは茨城県環境監視センターのホームページで見ることができる(茨城県環境放射線監視センター 2012b)。

2.2 モデル

2011年6月1日以降、主な大気中放射線量は原発事故由来の放射性セシウムに依存する。本モデルでは、セシウムの半減期に基づいて指数関数的に減衰する特性を組込んだ(田崎 2012a)。一般に、環境中の放射性物質は、気象・水文条件などの影響で、経時的に集積や分散が生じる。水戸市内の測定点では、周辺の地表、道路、溝、樹木や建造物上等の環境に集積していた放射性物質は、風や雨などの気象の影響で自然に拡散して薄められると考える(以降、自然除染と呼ぶ)。従って、大気中放射線量の実測値は事故当初に集積していたセシウム自体の崩壊による放射線量の減衰速度よりも急速に減衰すると考えられる(羽田野 2011, 大谷ほか 2012)。この自然除染量は時刻 t とともに指数関数的に減少すると仮定し、セシウム自体の崩壊による放射線量の減衰速度を自然除染の速度(率)で補正した。また、原発事故以前から存在する自然放射線量 n の範囲は $0.036 \sim 0.056 \mu\text{Sv/hr}$ (文部

科学省 2012)であるが、以下では茨城県環境放射線監視センター(2012a)の2009年度の平均値から $0.04 \mu\text{Sv/hr}$ (一定)と仮定した。自然放射線は、当原発事故に由来しない母岩、土壌やラドンなど大気中の浮遊元素、宇宙線に由来するものである(鶴飼 2007)。これらの考えをまとめて以下に示すモデルを得た。

^{134}Cs からの大気中放射線量 x の微小時間 dt における変化量を dx 、 ^{137}Cs からの大気中放射線量 y の dt における変化量を dy とし、 dx と dy はそれぞれ現存する x あるいは y に比例して減少する(田崎 2012a)。また、自然除染の対象となる大気中放射線量の dt における自然除染量は、 ^{134}Cs は x に比例し、 ^{137}Cs は y に比例して減少すると考える。 a と b はそれぞれ ^{134}Cs と ^{137}Cs の崩壊速度に関する既知の定数、 γ は自然除染あるいは周囲環境からの集積の速度に関する未知の定数とする。以上から、

$$dx = -(a + \gamma)xdt \quad (1)$$

$$dy = -(b + \gamma)ydt \quad (2)$$

これらの2式から、次の式が得られる:

$$x = A \exp(-at) \times C \exp(-\gamma t) \quad (3)$$

$$y = B \exp(-bt) \times C \exp(-\gamma t) \quad (4)$$

ここで、 A 、 B は初期値で決まる既知の積分定数、 C は未知の積分定数である。

時刻 t における大気中放射線量 $u(t)$ ($\mu\text{Sv/hr}$) は上式と自然放射線量から、次式のようにまとめられる。

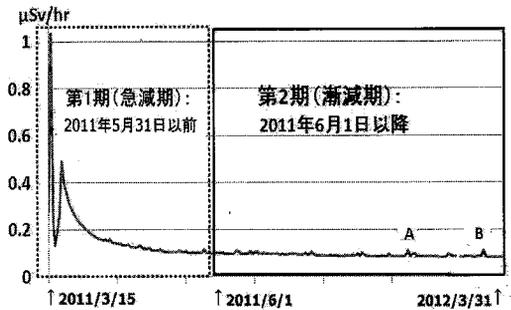
$$u(t) = [A \exp(-at) + B \exp(-bt)] \times C \exp(-\gamma t) + n \quad (5)$$

今回の事故では、2011年4月1日の時点の ^{134}Cs と ^{137}Cs からの放射線量は Bq 比で1対1、Sv 比に変換すると2.7対1であった(田崎 2012a)。このことから、2ヶ月後の2012年6月1日においてはSv比で2.6対1となる。式5において、定数 A と B は、2011年6月1日の放射線量の実測値 (= $0.10 \mu\text{Sv/hr}$) から自然放射線量 $n = 0.04 \mu\text{Sv/hr}$ を差し引いた $0.06 \mu\text{Sv/hr}$ を ^{134}Cs と ^{137}Cs の Sv 比で按分して求めた。一方、未知数 C および γ は、大気中放射線量の実測値から、式5に対する回帰分析により推定した。

式5の積として現れる項 $C \exp(-\gamma t)$ は自然除染されなかった大気中放射線量の比率を表し、たとえば $A \exp(-at) \times C \exp(-\gamma t)$ は、時刻 t (t 日目)に ^{134}Cs の崩壊による放射線量のうち、自然除染により大気から除去されたあとに残されている放射線量を表している。

2.3 モデル解析に用いた大気中放射線量の測定値

福島原発事故後、大気中放射線量は急激に上昇し、その後急激に減少する第1期(急減期:2011年3月15日～5月31日)と、徐々に減少する第2期(漸減期:2011年6月1日以降)に分けた(図1)。第1期では放射性物質のヨウ素(半減期 8.1 日)が大きく影響していると考えられ、第2期ではセシウム(半減期は ^{134}Cs が 2.1 年、 ^{137}Cs が 30.2 年)が主な放射性物質である。半減期が短いヨウ素の崩壊による大気中放射線量は、原発事故から 80 日後には $1/1024$ になり、影響はほぼなくなる。したがって、本研究では、2011年6月1日(原発事故から82日目)以降、2012年3月31日までの305日間の大気中放射線量の実測値を用いたモデルを考えた。



[a] 半減期 8.1 日のヨウ素の影響が実質的になくなる 2011 年 6 月 1 日～2012 年 3 月 31 日の実測値を用いたモデルを作つて予測式とした。棘のような点 A と B は突出値の例。

図1 水戸市における大気中放射線量の推移 (2011年3月15日から2012年3月31日)

2.4 累積大気中放射線量の解析

2011年3月15日～5月31日では時間当たりμSv値で表わされている大気中放射線量の実測値を、1日当たり大気中放射線量(mSv)に換算して積算した。2011年6月1日以降の1日当たり大気中放射線量は、この解析によって確定したモデルの定積分により求めた。

2.5 大気中放射線量の突出値の解析

頻繁に見られる大気中放射線量の突出値(図1の点A、Bなど)が発生する原因を探索するため、以下のような重回帰分析を行った。大気中放射線量のモデルによる推定値から正の方向に大きく突出した上位14個のケース(0.0063～0.0294 μSv/hr)をピックアップして、[大気中放射線量の測定値] - [大気中放射線量の推定値]を目的変数 h とした。説明変数としては、「当日の10分間最大降水量 x_1 (mm)」、「前日の10分間最大降水量 x_2 (mm)」、

「当日の最大風速 x_3 (m/s)」、「当日の風向 x_4 」、「前日の最大風速 x_5 (m/s)」および「前日の風向 x_6 」(気象庁2012)の6変数を採用した。重回帰分析では、AICを基準として説明変数を選択した(藤井2009)。

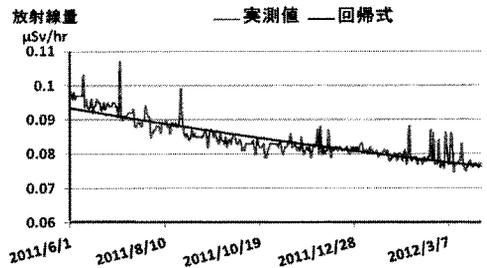
3. 結果

3.1 実測値のモデルへの適合

図2は水戸市における2011年6月1日～2012年3月31日(305日間)の大気中の放射線量の実測値とその回帰分析から推定したモデル値を示している。 $u(t)$ を時刻 t (単位: 日)における大気中放射線量(μSv/hr)とすると、式5の推定値は次のとおりである:

$$u(t) = [0.044\exp(-0.00092t) + 0.016\exp(-0.0000629t)] \times 0.8911\exp(-0.0006t) + 0.04 \quad (6)$$

ここで、2011年6月1日時点の ^{134}Cs および ^{137}Cs の大気中放射線量比は $A = 0.044$ と $B = 0.016$ となった。また、 $a = \ln(2) / (2.065 \times 365) = 0.00092$ および $b = \ln(2) / (30.17 \times 365) = 0.0000629$ は、それぞれ ^{134}Cs および ^{137}Cs の崩壊速度に関する定数である。式6の[]内第1項、第2項は、時刻 t の、それぞれ ^{134}Cs および ^{137}Cs の崩壊にもとづいた放射線量を表している。自然除染の項における $C = 0.8911$ と $\gamma = 0.0006$ は、時刻 t の $u(t)$ に対する回帰分析により推定した。ここで、 $\gamma > 0$ は放射性物質の環境からの減少、すなわち自然除染を意味している。0.04 は水戸市における自然放射線量 n である。推定したモデルと測定データの関係を図2に示した。



[a] 2011年6月1日から2012年3月31日までの305日間の実測値から回帰分析でモデルの係数を決定した。

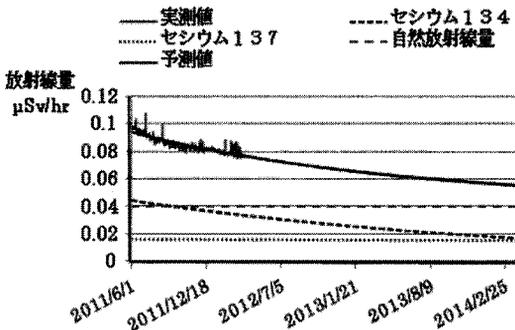
図2 大気中の放射線量の実測値と推定したモデル

3.2 モデルによる大気中放射線量の予測

図3の2011年6月1日～2012年3月31日における水戸市の大気中放射線量の実測値は、モデル(式6)を推

定するために用いた。図3は、2012年4月1日以降における線量のモデルによる予測値を示している。原発事故以前の自然放射線量は0.036~0.056 μSv/hr(文部科学省2012)であったが、原発事故2年後(2013年3月末)の放射線量の予測値は0.063μSv/hrで、平常値(自然放射線量)よりわずかに高い値になった。原発事故3年後(2014年3月末)には、大気中の放射線量の予測値は0.055 μSv/hrとなり、平常時における最大値レベルまで低下した。

図3によると、第2期(漸減期)における大気中の放射線量は、① ¹³⁴Cs由来の部分、② ¹³⁷Cs由来の部分と③ 自然放射線量に分けられる。半減期が2.1年の¹³⁴Csからの放射線量は急速に減衰するが、半減期が30.2年の¹³⁷Cs由来の放射線量の減少は非常に緩慢で、また、自然放射線量は一定である。



[a] 2011年6月1日~2012年3月31日の実測値にもとづいて予測した式6によって計算した。¹³⁴Csと¹³⁷Csの放射線量の曲線は半減期に基づく崩壊特性を示し、自然除染によって除去される量を含んでいない。

図3 2014年3月31日までの大気中放射線量の予測、¹³⁴Csと¹³⁷Csに由来する放射線量の変化と自然放射線量

3.3 累積大気中放射線量の推定と予測

図4に水戸市の累積大気中放射線量の推移を示した。原発事故1年後(2012年3月)の水戸市の累積大気中放射線量は0.92 mSv/年となった。原発事故2年目の1年間では0.61 (= 1.53 - 0.92) mSv/年であった。これらの値は自然放射線量0.04 μSv/hrを含んでいる。なお、原発事故がなかったと仮定した場合(即ち、自然放射線量のみの場合)には0.35 mSv/年であった。

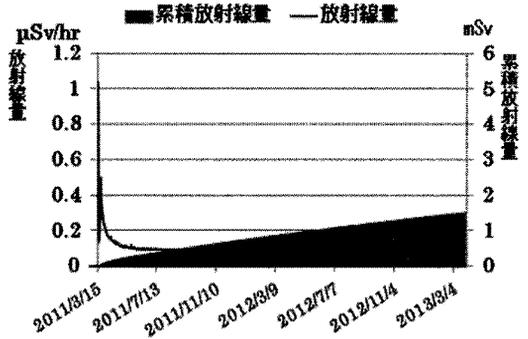
3.4 大気中放射線量の突出値の解析

突出値(目的変数) h に対して、「当日の10分間最大降水量 x_1 (mm)」と「当日の最大風速 x_3 (m/s)」を説明変数と

する式3がAICを最も小さくした。

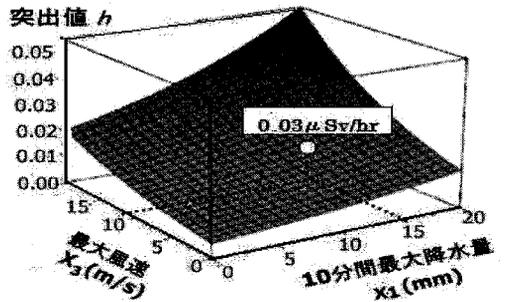
$$h = \exp(-5.232 + 0.0496x_1 + 0.0878x_3) \quad (7)$$

修正決定係数は0.593であった。変数選択に用いた他の説明変数は、統計的に有意にならなかったため、回帰式にとり入れなかった。式3から、 h 、 x_1 、 x_3 の関係を視覚化したものを図5に示した。



[a] 原発事故後2年間の累積大気中放射線量は1.53 mSvと予測され、2年目の1年間当たりの累積大気中放射線量は0.61 mSv/年。

図4 2013年3月31日までの累積放射線量の予測



[a] 突出値 h ($\mu\text{Sv/hr}$)は「10分間最大降水量」と「最大風速」から式3を用いて推定できた。○は台風5号襲来時の値。

図5 放射線量の突出値 h を発生させる原因

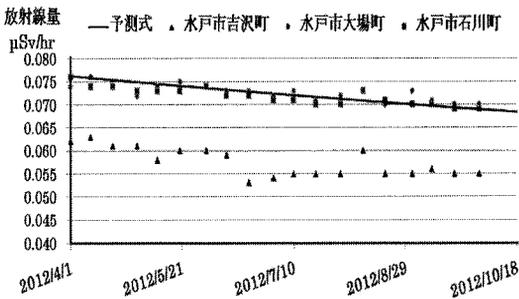
4. 考察

4.1 大気中の放射線量のモデルと実測値

本研究におけるモデルでは、大気中の放射線量に關与している2種類の放射性物質(¹³⁴Csと¹³⁷Cs)の既知の崩壊速度を基本とし、さらに測定点近くの環境中から風や降水等によって除去されていく大気中放射線量の自然除染量は指数関数に従って減衰するとした仮定が含まれている。この自然除染をどのような関数により、どのような気

象・環境要因を用いて表すかは、モデル作成者の意図に左右される。大谷ほか(2012)は自然除染の効果を見るために、気象要因として日降水量、風向を考慮した風速およびこれらの変数と測定日との交互作用を説明変数としたモデルを用いて、福島市や飯館村で適合のよい結果を得ている。大谷ほか(2012)のモデルの考え方は、自然除染の効果の扱いについて本研究のモデルと異なるけれども、半減期に基礎をおいたモデルである点は本研究のモデルと同じである。

本研究で得られたモデルにより予測の可能性を考察するために、2012年3月31日までのデータによる回帰分析で得られたモデル(式6)を、2012年4月1日以降に外挿して予測値を示し、そこに、2012年4月から2012年10月までの水戸市における実測値をプロットした(図6)。この期間のモデル予測値は水戸市吉沢町を除く2つの町の新たな測定値にもよく適合していることが確かめられた。したがって、本モデルによって水戸市における放射線量の将来予測ができると考えられる。本研究で取り上げた水戸市内の測定点は既述の如く3箇所であり、毎日の実測値はこれら3箇所の午前9時における最も高い値を実測値として用いた。このため、大気中放射線量が常に低い水戸市吉沢町の測定値はモデルを推定する際に含まれていなかった。これが、吉沢町の実測値が予測値と乖離している原因であろう。



[a] プロットは、2012年4月1日から2012年10月1日までの水戸市大場町、水戸市石川町、水戸市吉沢町の実測値

図6 水戸市の放射線量の予測値と実測値

水戸市における10ヶ月間の大気中放射線量測定値のモデル解析から(図3)、原発事故2年後の2013年3月には約0.63 μSv/hrに落ち着くことが予想される。一方、放射性元素の崩壊のみを線量減少要因とした場合、すなわち、式6から自然除染の係数部分 $0.8911 \exp(-0.0006t)$ を除いた計算では2013年3月には0.080 μSv/hrとなり、このモデルにおける急速な減少は、放射性セシウムの半減期の計算による減衰速度だけでは説明できない。このことは、

本モデルの「測定地点付近の放射性物質は何らかの原因(おそらく、風や雨)により自然にその地点から除染されていくため、大気中放射線量は半減期をもとに計算した値よりも急速に低下する」の仮定を支持している。ただし、環境中の放射性物質が自然除染されて減少したとしても、除染された放射性物質は、たとえば、より深い土壌中や海水中、生物体や作物体などに移動して再蓄積されている(山口ほか 2012)から、大気中で測定した放射性物質が減少したために、環境全体がより安全になったとは必ずしも言えない。

水戸市では事故3年後には、原発事故以前の平常値(0.036~0.056 μSv/hr)(文部科学省 2012)の最大値レベルまで低下すると予測された。また、水戸市における2011年3月からの1年間と、2012年3月からの1年間の累積大気中放射線量の予測値はそれぞれ0.92 mSv/年、および0.61 mSv/年であり、原子力安全委員会の累積放射線量の安全基準1 mSv/年以下(放射線医学総合研究所 2011)であるから、両期間ともこの安全基準を満たしている。

4.2 突出値の問題

頻繁に現われた、突出して高い線量値(図2)に最も大きく影響する因子は、強い雨(= 当日の10分間最大降水量)と強い風力(= 当日の最大風速)であった。これは、前日や当日の降り始めの雨によって、環境中のラドンを含む放射性物質が地表近くに降下したためと考えられる(VandenBygaert *et al.* 1999, 山形県 2012, 田崎 2012b)。決定係数から、この2つの説明変数(強い雨と強い風)で、全変動の中の約60%が説明できた。

2011年9月21日に茨城県を台風5号が襲ったとき、水戸市の10分間最大降水量 x_1 は15 mm、最大風速 x_3 は11.8 m/sであった。これらの値を式3に代入すると、突出値 h は0.03 μSv/hrとなり、この時の突出値(=[大気中放射線量の測定値]-[大気中放射線量の推定値])0.029 μSv/hrと概ね一致した(図5)。

4.3 大気中放射線量モデルの意義

原発事故後、インターネット等で公開されているデータの放射線量は、半減期の異なる放射性物質(^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs など)から放出される放射線量と、自然放射線のトータルである。これらのデータは原発事故が発生した時点から時間がたつと、半減期の短い順に消滅していく。例えば ^{131}I は半減期が8.1日なので、原発事故直後には高い線量をもっているが、線量は日にちとともに急速に小さくなり、2011年6月1日以降では、原発事故に起因する放射性物質は主に ^{134}Cs と ^{137}Cs だけとなる。 ^{134}Cs と ^{137}Cs

の放射線量の発生比率は文献等から知ることができる(田崎 2012a)ので、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の各半減期に基づく大気中放射線量が指数関数的に減少する特性を容易にモデルに組みこめた。しかし、大気中放射線量の実測値は ^{134}Cs と ^{137}Cs の減少特性よりはるかに大きな指数関数的減少を示したため、測定点近辺の環境からの自然除染にその原因を求めなければならなかった。本モデルでは ^{134}Cs と ^{137}Cs の崩壊による放射線量の指数関数的減少を、自然除染がより激しく減少させていると考えた。これにより、原発事故後の大気中放射線量の推移の推定と予測に有効性を持たせることができた。

ある環境における土壌や植物、生産された食物がもっている放射線量は、必ずしも大気中の放射線量と同一でない。毎日公表されている大気中の放射線量は、簡易に測定できる一環境情報を与えるだけであるということを銘記しておかなくてはならない。しかしながら、このような一般市民が得ることのできるデータを使ったモデルによって、近未来の状況を判断できることは、私たちの生活や食物の安全性の確保に多少なりとも貢献できると考える。

原発事故で放出された放射性物質は、長期にわたって環境中に存在し続けるので、その間被災地で生産される農作物は自然放射線量より高い放射性物質を含むことになる。これは仮に低線量であっても消費者に内部被曝をもたらす、危険性があることを否定できない。人体に対する長期低線量被曝に関するデータはいまだ蓄積が少ないため、その影響については様ざまな論議がある(田崎 2012b, 馬場・山内 2012)が、多くの放射線生物学者はいまだ解明されていないとしている(鶴飼 2007)。したがって、今後も長期低線量被曝には十分な関心を持ち続ける必要がある。

謝辞

放送大学茨城学習センター湯本鏡三氏が作成した放送大学学生講演会(2011年12月18日)資料「福島第一原発事故と放射線の関係」を参考にさせていただき、かつ、放射線量に関するご指導を賜った。

引用文献

- 馬場朝子・山内太郎, 2012, 低線量汚染地域からの報告, NHK 出版, 東京.
- 米国エネルギー省, 2012, April 23, The Situation in Japan, In <http://energy.gov/situation-japan-updated-42312>, 米国エネルギー省, Washington.
- 藤井良宣, 2009, 統計学, 放送大学教育振興会, 東京, pp. 124-134.
- 羽田野祐子, 2011, チェルノブイリ事故による大気汚染の

- 長期予測, 数学セミナー, Vol. 50, No. 12, pp. 51-55.
- 放射線医学総合研究所, 2011, 放射線被ばくに関する基礎知識 第 6 報, In <http://www.nirs.go.jp/information/info.php?i14>, 放射線医学総合研究所, 千葉.
- 茨城県環境放射線監視センター, 2012a, 原発事故以前の放射線量, In <http://www.houshasen-pref-ibaraki.jp/past/diagram.html>, 茨城県, 茨城.
- 茨城県環境放射線監視センター, 2012b, 原発事故以降の放射線量, In <http://www.houshasen-pref-ibaraki.jp/present/result01.html>, 茨城県, 茨城.
- 気象庁, 2012, 過去の気象データ検索, In <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 気象庁, 東京.
- 文部科学省, 2012, 各都道府県のモニタリングポストの過去の平常値, In http://new.atmc.jp/img/192_5_120409.pdf, 文部科学省, 東京.
- 日本原子力研究開発機構, 2011, 東京電力福島第一原子力発電所事故発生後2ヶ月間の日本全国の被ばく線量を暫定的に試算, In <http://www.jaea.go.jp/jishin/kaisetsu03/kaisetsu03.htm>, 日本原子力研究開発機構, 茨城.
- 大谷敬子・大滝 慈・富田哲治・佐藤健一, 2012, 福島第一原子力発電所事故後の東日本における空間放射線線量率の時空間分布, 日本計量生物学会年会予稿集, pp. 97-100.
- 田崎清明, 2012a, セシウム 137 とセシウム 134, In <http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/details/Cs137vs134.html>, 学習院大学, 東京.
- 田崎清明, 2012b, やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識, 朝日出版社, 東京, p. 88.
- 東京都健康安全研究センター, 2012, 放射能 Q&A (食品編), In <http://monitoring.tokyo-eiken.go.jp/etc/qanda03/>, 東京都, 東京.
- 鶴飼保雄, 2007, 植物が語る放射線の表と裏, 培風館, 東京, pp. 3-11, 220-240.
- VandenBygaert, J., Protz, R. and McCabe, D.C., 1999, Distribution of natural radionuclides and ^{137}Cs in soils of southwestern Ontario, *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 79, No. 1, pp. 161-171.
- 山形県, 2012, 県内の空間放射線量(毎時), In <http://www.pref.yamagata.jp/ou/kankyoenergy/020072/fukukou/radiation/mpkotei.html>, 山形県, 山形.
- 山口紀子・高田裕介・林健太郎・石川 覚・倉俣正人・江口定夫・吉川省子・坂口 敦・朝田 景・和穎朗太・牧野知之・赤羽幾子・平舘俊太郎, 2012, 土壌-植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因, 農業環境技術研究所報告, Vol. 31, pp. 75-129.

Contributed paper

A forecast of the atmospheric radiation doses in Mito City caused by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident

Fumio YAMAGUCHI*, Masae SHIYOMI*, Takashi TAKEUCHI*,
Akitoshi SHIRAIWA* and Toshihisa ISHIDA*
Ibaraki Study Center, The Open University of Japan*

(Received 25 April 2012; in final form 15 January 2013)

Summary

On March 12, 2011, the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant of the Tokyo Electric Power Company caused a sequent hydrogen explosion. After the explosion, the atmospheric radiation doses at measuring points in Mito City, Ibaraki Prefecture, have rapidly increased, which have caused the concerns about the bad effects on residents' life by the atmospheric radiation doses. For our analysis, we prepared a model for forecasting the future fluctuations of the atmospheric radiation doses in Mito City. This model was built based on the exponentially decreased radiation doses, depending on their own decay rates; these radiation doses were resulted from the nuclear plant accident and rectified by natural decontamination, by wind and rain, of the radiation doses environmentally accumulated. We made a forecast of the atmospheric radiation doses between April, 2012 and March, 2014, by applying this model. This forecast shows that the radiation doses of Mito City would be reduced until March, 2013, two years after the accident, to the level a little higher ($0.065 \mu\text{Sv/hr}$) than the natural radiation doses before the accident ($0.056 \mu\text{Sv/hr}$), and that the radiation doses of Mito City in March, 2014, three years after the accident, would be reduced to the level of natural radiation doses. The forecast values of the yearly accumulated atmospheric radiation doses measured by hourly basis shows that the values would be reduced to the natural radiation level (1 mSv/yr), both one year and two years after the accident. As for the suddenly increased radiation doses frequently observed, we clarified by multiple regression analysis that these phenomena were caused by the combination of both "heavy precipitation" and "high wind velocity".

Key Words: Accumulated radiation doses, Atmospheric radiation doses, Natural radiation doses, Radioactive cesium, Space radiation doses, Suddenly increased values

* 2-1-1 Bunkyo, Mito, Ibaraki 310-0056, Japan
(Correspondence: yamaguti@sc4.so-net.ne.jp)