

KEK つくばキャンパスにおける 福島第一原子力発電所事故関連の 測定

波戸 芳仁, 中村 一, 飯島 和彦, 豊田 晃弘, 他*
Namito Yoshihito Nakamura Hajime Iijima Kazuhiko Toyoda Akihiro

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) つくばキャンパスにおいて, 2011年3月14日以来行ってきた東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故に関連する放射線測定について紹介する。機構内の空間線量率をサーベイメータを用いて測定し, 地表状態の影響などを調べてきた。また, 土壌, 枯れ草, スミア濾紙などの測定を行い, 核種別の放射能を求めた。固定式エリアモニタによる線量率の連続測定を行った。国立環境研究所との協力で行われた大気中放射能濃度測定についても述べる。

KEK つくばキャンパスは, 福島第一原子力発電所から直線距離で165 kmの所に位置し, 敷地の大きさは南北約2 km, 東西約1 kmである。2011年3月11日の東日本大震災の巨大津波により福島第一原子力発電所で炉心融解事故が発生し, 大量の放射性物質が環境中に放出された。このため, 3月15~16日に放射性物質を含んだ気体が北風により関東地域に到達, 通過したため, つくば市では粒子状物質の放射能と線量率が一時的に増加した。3月20~22日にも放射性のエアロゾルが霧とともに到達して雨により地上に降下した。KEK放射線科学センターでは, 大震災直後の3月14日から原発事故の影響を調べるための放射線測定を実施し

てきた。個々の測定について, 既に論文出版, 学会発表がなされているものもあるものの, この場をお借りして活動を紹介したい。

2. サーベイメータによる線量率測定

空間線量率の測定を図1に示す15か所で日立アロカメディカル(株)製NaI式サーベイメータ(TCS-171)を用いて行っている¹⁾。各測定場所における測定点の高さは, 地上から1 mの高さと地表付近の2種類である。地表付近での空間線量率は地上1 mでの線量率に比べて高い傾向があり, 9月末までのデータについてその比を平均すると1.12である。高さ1 mでの空間線量率の変化を図2に示す(自然バックグラウンド込み)。4月1日に最大値(0.25 $\mu\text{Sv/h}$)であった測定点4は12月21日には0.09 $\mu\text{Sv/h}$ に減少し, 12月21日には測定点5が最大(0.12 $\mu\text{Sv/h}$)であった。

屋根の有無による違いを見るために, 屋根がある場所と, そこから数m離れた屋根のない場所での空間線量率の測定を行った。図3に示すように, 4月1日の時点では, 屋根のない場所の方が屋根のある場所に比べて, 空間線量率が46%高く, 降雨(3月21~22日)の影響を受けていることが分かる。屋根あり, なしによる空間線量率の差は時間と共に減少しており, 風雨の影響のために空間線量率が平均化されたためと推測される。

次に地表の状態が異なり, 位置的には隣接し

* 佐波 俊哉, 佐々木慎一, 榎本 和義, 伴 秀一, 平山 英夫

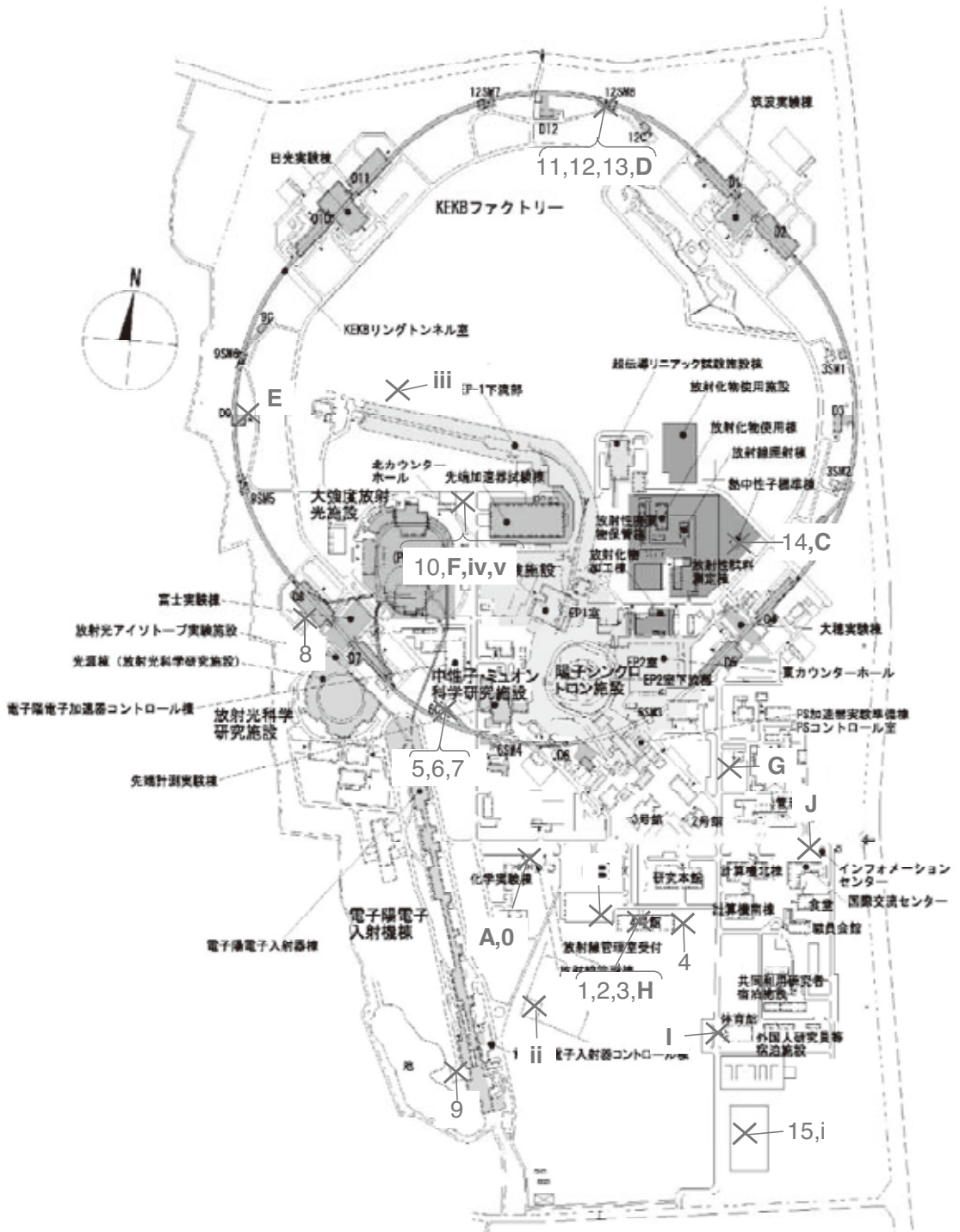


図1 KEKつくばキャンパス内の空間線量率測定点(1~15)、スミアサンプル採取点(A~J)及び土壌サンプル測定点(0, i~v)

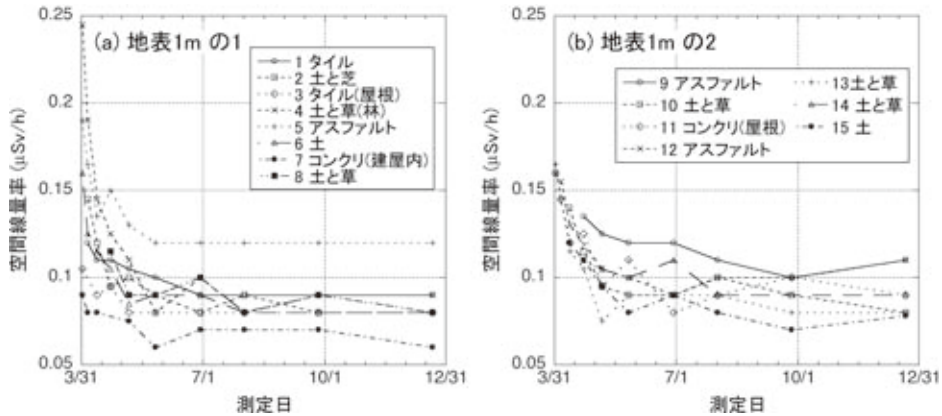


図2 地上1mでの空間線量率

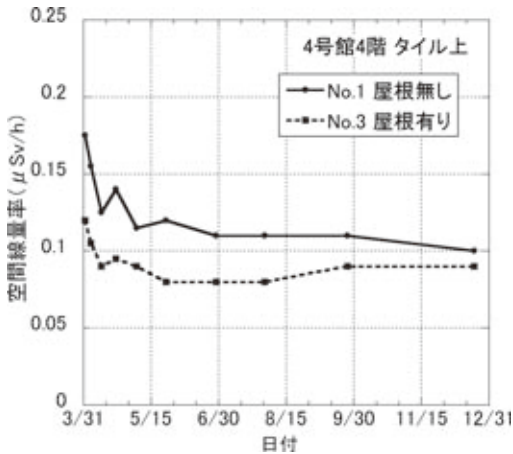


図3 屋根の有無による違い (測定点高さ: 地表付近)

た測定点での空間線量率の比較を図4に示す。4月1日の時点では、いずれの地点でも未舗装の部分の空間線量率が、舗装部分よりも高かった。ヨウ素の寄与がセシウムに比べて大きい時期であり、草などの表面積の大きいものにヨウ素がよく付着したためだと考えられる。ところが、4月中旬～5月初め以降には、逆に舗装部分の空間線量率が未舗装部分を上回った。これについては、“アスファルトの方が土壌よりも自然バックグラウンドが高い”又は“未舗装部分に降下したセシウムが粘土と結合し流出した”などの原因が考えられる。

測定点4において、LaBrサーベイメータを

用いてγ線のエネルギースペクトルを測定した。天然核種を別にすると、4～5月には、¹³¹I、¹³⁴Csと¹³⁷Csからのγ線が観測されているのに対して、6月以降には¹³⁴Csと¹³⁷Csからのγ線のみが測定されている。

3. 地表などの放射能測定

3.1 土壌・枯れ草の測定

3月18日と4月1日に場所0(図1)で土壌及び枯れ草サンプルを採取した。採取点は、4m×8mの芝生の一部をはがして花壇に作り替えられた場所であり、土壌の収集が容易であった。芝生の周りはアスファルト舗装の道路及び研究棟である。サンプルは円柱形状の亚克力製容器内に採取した。1層目の土壌サンプルの厚さは、3月18日に3.3g/cm²、4月1日に2.5g/cm²であり、これらの土壌サンプルは近接した別の場所で採取した。枯れ草は土壌サンプルを採取した場所から数10cm離れたところで採取した。CANBERRA社製ポータブルGe検出器(GC1019)を用いてγ線を測定し、CANBERRA社製のISOCSと呼ばれるソフトウェアで効率計算を行った。放射能濃度を求めた結果を表1に示す。枯れ草中の¹³¹Iは、109Bq/gとほかの核種やサンプルに比べて大きく、¹³¹Iが表面積の大きいものに付着しやすいことが分かる。また、3月18日と4月1日を比べ

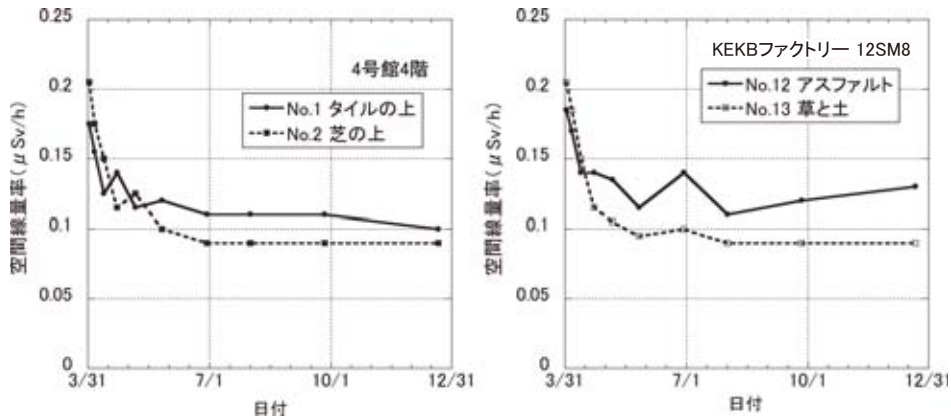


図4 地表面の種類による違い (測定点高さ：地表付近)

表1 土壌と枯れ草中の放射能 (Bq/g) (サンプル採取場所は図1の点0)

採取月日	サンプル	¹³⁴ Cs	¹³⁶ Cs	¹³⁷ Cs	¹³¹ I	¹³² I	¹³³ I	¹⁴⁰ La	^{99m} Tc	^{129m} Te	¹³² Te
3月18日	土	0.04		0.03	0.8	0.1	0.02				0.1
3月18日	枯れ草	1.6	0.3	1.6	109	4.0	1.0	0.07	0.07	1.7	4.3
4月1日	土	0.11	0.01	0.11	0.91	0.03					0.04

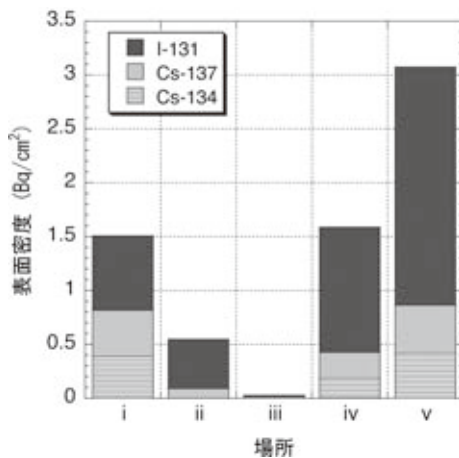


図5 4月11日採取の土壌サンプル中の放射能

ると ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs が3倍に増えており、3月20日頃の降雨の影響と考えられる。なお土壌サンプルは、それぞれの日に2層採取し、2層目は検出限界以下(3月18日)及び1層目の2%程度(4月1日)であった(2層目の厚さは、それぞれの日に3.1 g/cm²と4.4 g/cm²)。このこ

とから少なくとも4月1日までの時点では、土壌表面数g/cm²の所に大半の人工放射能が留まっていたことが分かる(表1には第1層の結果を示す)。

4月11日には、機構内の5か所(図1の場所i~v)で土壌サンプルを採取し、Ge検出器で放射能を測定して図5に示す結果を得た。いずれの場所でも¹³¹Iの寄与が最大であった。なお、表面密度がほかに比べて低かった場所iiiは、地面を掘り返したような形跡が認められた。参考文献2)で土壌中放射能と空間線量率の関連について考察を行っている。

3.2 スミア測定

3月18日と31日に物品の表面を拭き取り、スミア濾紙の放射能を日立アロカメディカル(株)製TGS-146B型広口GMサーベイメータで測定した。3月18日の拭き取り箇所は図1に示す10か所、拭き取り件数は20件であり、表面密度は表2に示す値であった。拭き取り効率を平滑面と非平滑面について、それぞれ50%

表2 スミア測定結果*1

場所	物品	表面密度 Bq/cm ²	場所	物品	表面密度 Bq/cm ²
A	屋根トタン	0.15	A	建物名表示板	0.11
A	自動車の屋根	0.12	A	駐輪場屋根	0.08
A	防災倉庫屋	0.13	G	ホース格納箱	ND
A	看板	0.30	H	中庭ガラス	0.18
A	ホース格納庫	0.03	H	ステンレス枠	0.09
B	公用車屋根	0.06	I	ホース格納箱	0.15
C	消火栓	0.06	J	ホース格納箱	0.10
D	消火栓	0.09	J	機構名称板	0.09
E	配管	0.06	A	舗装道路*2	ND
F	エリアモニタ筐体	0.20	A	玄関前床*2	0.13

*1 すべて上向きの面, *2 非平滑面。ほかはすべて平滑面

表3 拭き取り効率ηの導出

核種	3月18日			3月31日		
	拭き取り ^{a*}	土壌採取 [*]	η(%)	拭き取り ^{b*}	土壌採取 ^{c*}	η(%)
¹³⁴ Cs	0.04	0.12	34	0.10	0.28	36
¹³⁷ Cs	0.03	0.09	36	0.10	0.27	37
¹³¹ I	0.17	2.63	6	0.18	2.30	8
¹³² Te	0.05	0.34	15	0.08	0.09	89

^a 看板, ^b エリアモニタ筐体, ^c 4月1日採取, * Bq/cm²

及び5%と仮定した。表面密度の平均と標準偏差は0.11±0.07 Bq/cm²であった。表面密度の高低の傾向を機構内の場所との関連で単純化して説明することはできなかった。

スミアにより求めた表面密度は、土壌サンプルから求めた表面密度に比べて桁ほど低い値であった。このことの原因を調べるため、拭き取りサンプルと土壌採取サンプルの放射能をCANBERRA社製ポータブルGe検出器で測定し、核種別に拭き取り効率を試算した。表3に示すように、¹³⁴Cs、¹³⁷Csに関しては両者の値が近く、3月18日と31日の間での再現性もあり、平滑面の仮定(50%)と近い値であった。¹³¹Iについては、3月18日に6%、31日に8%と仮定より大幅に低い値であった。ヨウ素の拭き取り効率が非常に低い場合があることがこれ

までにも報告されている。¹³²Teについては再現性が悪く、傾向は不明であった。

4. 固定式エリアモニタによる連続測定

KEK構内に設置されたNaI検出器とGMカウンターで空間線量率が連続的に測定されている³⁾。線量率は震災直後の3月17日からKEKのWebページにおいてリアルタイムで公開されてきた⁴⁾。1時間平均のデータを図6に示す。3月15日に最大の線量率(図に現れている1時間平均では0.5 μSv/h、10秒平均では1.27 μSv/h)を示した後いったん減少し、21日の降雨時に再度上昇し(最大値は図に現れている1時間平均では0.3 μSv/h、10秒平均では0.36 μSv/h)、その後は緩やかに減少している。¹³¹Iの寄与のなくなる6月初旬以降の減少の

度合いは¹³⁴Csと¹³⁷Csの半減期から計算されるものよりも短く、風雨による流出の効果が合わせて観察されていると考えられる。6月以降に10回程度見られるスパイク状の上昇は、降雨による自然放射線の増加である。4月上旬の時点で¹³⁴Csと¹³⁷Csの比が1.15と見積もられた。

5. 大気中放射能濃度の測定

福島第一原子力発電所事故後のつくば市大気中の放射性物質測定が、国立環境研究所(つくば市小野川)とKEKの協力で行われ⁵⁾、結果がKEKのWebページで公開されてきた⁶⁾。国立環境研究所においてハイボリュームエアサンプラーを用いて大気採取が行われた。捕集空気量は、1回の測定当たり100~1,700 m³である。ガス状物質を捕らえるための活性炭素繊維フィ

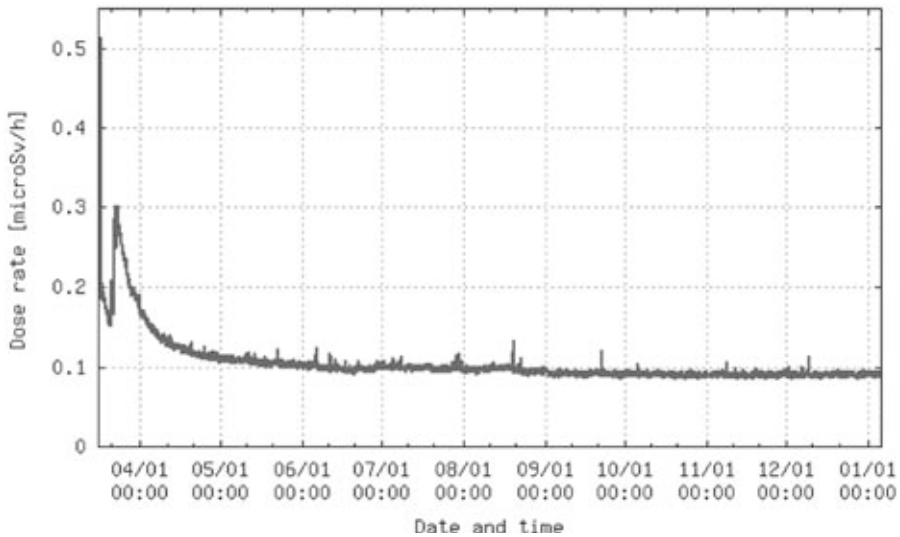


図6 KEK内での空間線量率連続測定結果

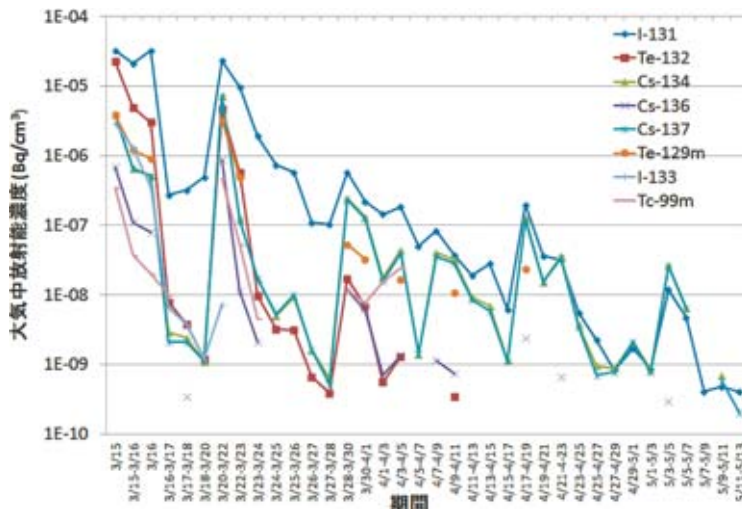


図7 つくば市における大気中放射能濃度

ルターと粒子状物質を捕らえるための石英繊維フィルターが使用された。大気採取後、フィルター中の放射能がKEK放射線科学センター内に設置されたCANBERRA社製ポータブルGe検出器で測定された。このGe検出器は土壤、枯れ草の測定に用いられたものと同一である(大気中放射能濃度の頻繁な測定の合間に、土壤や枯れ草の測定が行われた)。測定結果を図

7に示す。主要な核種は ^{131}I 、 ^{132}Te 及びその娘核種の ^{132}I である。石英繊維フィルターに捕集されたものは、 ^{131}I 、 ^{132}I 、 ^{133}I 、 $^{129\text{m}}\text{Te}$ 、 ^{132}Te 、 ^{134}Cs 、 ^{136}Cs 、 ^{137}Cs 、 $^{99\text{m}}\text{Mo}$ ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)、 ^{140}Ba (^{140}La)であり、活性炭繊維フィルターに捕集されたものは、気体状のヨウ素(^{131}I 、 ^{132}I 及び ^{133}I)であった。3月15~16日に放射性物質を含んだ気体が北風により関東地域に到達、通過したため、粒子状

物質の放射能と線量率が一時的に増加した。3月20~22日にも放射性のエアロゾルが霧とともに到達して雨により地上に降下した。この結果、全放射性核種濃度は3月15日に 7.1×10^{-5} Bq/cm³、3月21日に 4.6×10^{-5} Bq/cm³と増加した。この両日に最大の濃度を示したものは¹³¹Iであり、その濃度は3月15日に 3.2×10^{-5} Bq/cm³、3月21日に 2.3×10^{-5} Bq/cm³であった。その後、全放射性核種濃度が減少していく中で、¹³¹Iはほかの核種に比べて遅い減少を示した。一方、半減期の短い¹³³I (20.8時間)と¹³⁶Cs (13.2日)は速やかに減少した。また、¹³⁴Csと¹³⁷Csの比は 1.1 ± 0.1 であった。

参考文献

- 1) 中村一, 波戸芳仁, 豊田晃弘, 飯島和彦, 穂積憲一, 高エネルギー加速器研究機構内の東京電力福島第一原発起源の環境放射線・放射能測定, 第13回「環境放射線」研究会 (2012.2.27-29 KEK) (プロシーディングス発行予定)
- 2) Namito, Y., Nakamura, H., Toyoda, A., Iijima, K., Iwase, H., Ban, S. and Hirayama, H., Transformation of a System Consisting of Plane Isotropic Source and Unit Sphere Detector into a System Consisting of Point Isotropic Source and Plane Detector in Radiation Transport Calculation Using Monte Carlo Method, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **49**, 167-172 (2012)
- 3) 佐波俊哉, 佐々木慎一, 飯島和彦, 岸本祐二, 齋藤究, 茨城県つくば市における福島第一原子力発電所の事故由来の線量率とガンマ線スペクトルの経時変化, 日本原子力学会和文論文誌, **10**, 163-169 (2011)
- 4) <http://rcwww.kek.jp/norm/index.html>
- 5) Masumoto, K., Toyoda, A., Doi, T., Tanaka, A., Ban, S., Hirayama, H., Shibata, Y., Radionuclides in Aerosol Samples Collected at Tsukuba, Ibaraki Prefecture After the Accident in Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, International Congress on Analytical Sciences 2011, (2011)
- 6) <http://www.kek.jp/ja/Research/ARL/RSC/Radmonitor/>
(高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 放射線科学センター)