

## 核実験監視用放射性核種観測網による大気中の人工放射性核種の測定

米 沢 伸四郎, 山 本 洋 一

### 1 はじめに

本年3月11日の東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故によって、多量の放射性核種が環境中に放出された。大気中に放出された放射性核種は、地球上に張りめぐらされた核実験監視用の放射性核種観測網でも検出された。

運転中の原子炉には、 $^{235}\text{U}$ の核分裂によって生成した核分裂生成物と核分裂で発生する中性子の核反応によって生成された放射化生成物が蓄積されている。核分裂生成物の生成量は、質量数が95と135付近の核種(本誌2011年第6号315ページ図1参照)が大きく、したがって燃料棒中には $^{135}\text{Xe}$ 、 $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 等の希ガスや、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{132}\text{I}$ 、 $^{132}\text{Te}$ 、 $^{129\text{m}}\text{Te}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 等の放射性核種が多く含まれる。放射化生成物は、核分裂で生成した中性子と、核燃料物質や核分裂生成物、そして炉心構造材料との核反応によって生成されたもので、燃料棒や炉心中には超ウラン元素や $^{134}\text{Cs}$ 等の放射化生成物が含まれる。燃料棒及び原子炉内に閉じ込められていた放射性物質は、ベントと水素爆発によって大気中に放出され、放射性希ガスと放射性ヨウ素( $^{131}\text{I}$ 、 $^{132}\text{I}$ 等)の一部はガス状で、そしてその他の核種は粒子状で広い地域に拡散した。

包括的核実験禁止条約(CTBT)<sup>1)</sup>による核実験の検知は、爆発によって発生する地震波、微気圧振動、水中音波などの波形観測と、核分裂によって生成する放射性核種の放射能測定によって行われる。放射性核種は、放射性キセノンと粒子状のものに分けて捕集・測定される。放射性キセノンは、核分裂収率が大きく、化学的に不活性なため、地下核実験でも地上に漏れ出してくる可能性が高い。このようなことから、CTBTの国際監視制度(IMS)による放射性核種観測<sup>2)3)</sup>は、世界中の80か所の粒子観測所と40か所の放射性キセノン観測所で行われることになっている。これまでに63か所の粒子観測所と、27か所の放射性キセノン観測所が完成し、運用されている。我が国には、群馬県高崎市と沖縄県にこの放射性核種観測所があり、高崎観測所には粒子状放射性核種測定装置と放射性キセノン測定装置が、そして沖縄観測所には粒子状放射性核種測定装置が設置されている。

本稿では、CTBTの放射性核種観測網と、それによる福島第一原子力発電所から放出された放射性核種の測

定結果を紹介する。

### 2 CTBTの放射性核種観測網

#### 2.1 監視対象放射性核種

CTBTでは、核爆発を確実に検知するための監視対象放射性核種が決められている。それらは、核爆発の検知に有効な半減期が6時間から1000年の核種で、 $\gamma$ 線を放出する核分裂生成物46核種と放射化生成物42核種である<sup>4)5)</sup>。これらの放射性核種のうち、不活性ガスの放射性キセノン( $^{131\text{m}}\text{Xe}$ 、 $^{133\text{m}}\text{Xe}$ 、 $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{135}\text{Xe}$ )は専用の測定装置で、そしてそれ以外の核種は粒子状で存在する可能性が高いので、それらをフィルター上に捕集し、Ge半導体検出器による $\gamma$ 線スペクトロメトリーによって測定される。不活性ガスの $^{85}\text{Kr}$ は、核分裂収率も大きいですが、半減期が10.76年と長いため、原子力発電所から放出されたものとの区別が難しく、監視対象核種には含まれていない。

#### 2.2 粒子状放射性核種測定装置

大気中の粒子状放射性核種の測定装置の概要を図1に示す。ブローアによって集められた大気試料は、フィルター(ポリプロピレン樹脂製等)に通し、粒子状放射性核種を24時間捕集する。捕集後、粒子を捕集したフィルター面を移動させ、常に新しいフィルター面で試料を捕集する。新しい面で捕集を行っている間、捕集された試料に含まれるウラン及びトリウム系列の短寿命の天然放射性核種であるラドンの娘核種の放射能を減衰させるため、24時間冷却する。冷却後、粒子を捕集したフィルターを鉛製遮へい体中のGe半導体検出器エンドキャップ部に巻きつけ、24時間放射能を測定する。し

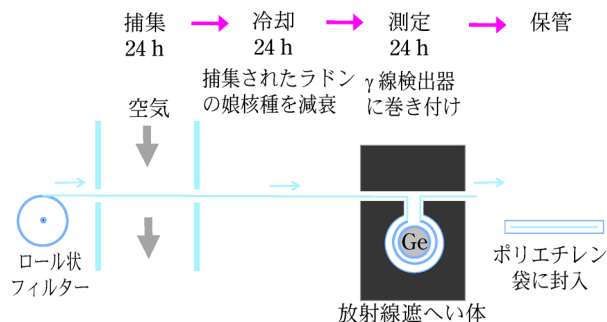


図1 粒子状放射性核種測定装置の概念図

たがって、試料の捕集に24時間、冷却に24時間、測定に24時間をかけるため、試料の捕集から72時間後に測定データが得られる。この間新しいフィルター面での試料捕集と、前日に捕集したフィルター面の冷却が同時並行して行われる。測定が終了したフィルターは、ポリエチレンシートに封入して保管される。

粒子状放射性核種の測定装置には、米国製の RASA<sup>6)</sup> とフィンランド製の CINDERELLA と呼ばれる自動分析装置及び手動式のものがある。高崎と沖縄の粒子観測所には RASA が設置されている。Ge 半導体検出器は、液体窒素温度に冷却して使用しなければならないが、観測所は液体窒素の入手が困難な遠隔地も多いため、電気冷却式が使用されている。装置は、基本仕様である <sup>140</sup>Ba の最低検出可能放射能濃度 (MDC) 30  $\mu$ Bq/m<sup>3</sup> 以下を達成するため、Ge 半導体検出器は相対検出効率が 40% 以上のものが使用され、空気の流量は最低でも 500 m<sup>3</sup>/h で 12000 m<sup>3</sup> 集められる。必要とされるフィルターの捕集効率は、直径 0.2  $\mu$ m の粒子に対して 80% 以上、そして装置全体として直径 10  $\mu$ m の粒子を 60% 以上の効率で補正できるものとされている。なお、 $\gamma$  線測定データは約 2 時間ごとに保存・送信され、測定の途中経過を確認できるようになっている。

### 2.3 放射性キセノン測定装置

大気中の放射性キセノン測定装置の概要を図 2 に示す。放射性キセノンの測定装置としては、SAUNA (スウェーデン製)、SPALAX (フランス製)、そして ARIX (ロシア製) と呼ばれる 3 種類の自動測定装置が開発され、使用されている。これらの装置では、ポンプで集められた大気試料からモレキュラーシーブなどによって放射性キセノンが分離・精製され、最終的に活性炭に捕集される。熱伝導型検出器のガスクロマトグラフで全キセノンを定量後、放射線検出器に移され、放射能が測定される。

放射性キセノンの放射能は、 $\beta$ - $\gamma$  同時計数法 (SAUNA, ARIX)、あるいは  $\gamma$  線計数法 (SPALAX) によって測定される。 $\beta$ - $\gamma$  同時計数法では、分離・精製された放射性キセノンが内側のプラスチックシンチレーターに入れられ、放射性キセノンから放出される透過力の小さ

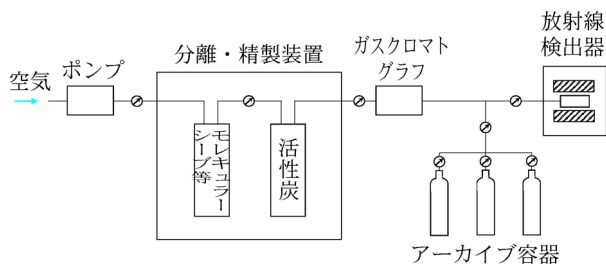


図 2 放射性キセノン測定装置の概念図

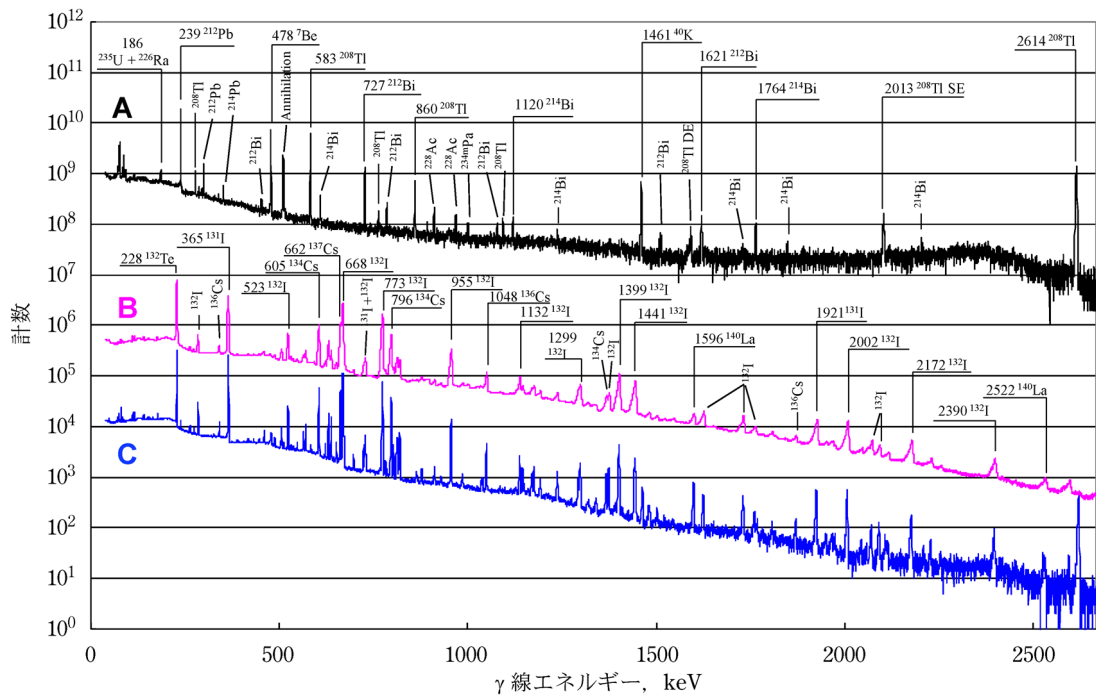
な電子線 ( $\beta$  線と内部転換電子) はプラスチックシンチレーターで、そして透過力の大きな電磁放射線 ( $\gamma$  線と X 線) はプラスチックシンチレーターの外側に配置されている NaI (Tl) 検出器で検出される。両検出器からの信号は電子回路で処理され、各放射性キセノン核種が放出する電子線と電磁放射線の同時放射線と固有エネルギーの違いを利用して 4 核種を分別測定する。 $\gamma$  線計数法では、放射線検出器として高エネルギー分解能の Ge 半導体検出器が使用されている。測定後の試料は、再測定が必要になったときのため、アーカイブ容器に保管される。

装置に必要とされる <sup>133</sup>Xe の MDC 1 mBq/m<sup>3</sup> 以下という仕様を満足するため、空気は 0.4 m<sup>3</sup>/h の流量で 24 時間、合計 10 m<sup>3</sup> 捕集されることになっている。高崎観測所にも設置されている SAUNA の装置には、2 系統の分離・精製と検出器システムが取り付けられており、12 時間ごとに切り替えて測定が行われている。 $\beta$ - $\gamma$  同時計数法によって放射能測定をする装置では、放射性キセノンを収容するプラスチックシンチレーター材料内に放射性キセノンがしみ込み、試料を交換してもそのまま検出器内に残り、計数値が真のものよりも高くなるメモリー効果の問題がある。この効果をできるだけ小さくするため、SAUNA の装置では 2 台の検出器を 12 時間ごと交互に使用し、試料測定をしない時間はヘリウムガスを通じて洗浄しながらバックグラウンドを計数し、この計数値によってメモリー効果を補正している。

SAUNA 装置による放射性キセノンの測定は、大気捕集 12 時間、分離・精製 7 時間、放射能測定 11 時間のサイクルで行われ、試料の捕集から 30 時間後にデータが得られる。測定装置と放射性キセノン観測所の詳細は、文献 7) を参照されたい。

### 2.4 放射性核種観測網と測定データの解析

運用中の放射性粒子観測所 (40 か所) と放射性キセノン観測所 (27 か所) の測定データは、衛星回線でオーストリアのウィーンにある CTBT 機関 (CTBTO) の国際データセンター (IDC) に専用の衛星回線で自動送信され、そこでスペクトル解析が行われる。粒子と放射性キセノンの測定データ ( $\gamma$  線スペクトル又は  $\beta$ - $\gamma$  同時計数スペクトル) は専用の解析プログラムで自動及び手動によって解析される。解析結果は、条約署名国の認定された専門家だけがアクセスすることができる IDC の専用ウェブサイト上に公開される。放射性核種観測所で 2 種類以上の監視対象放射性核種が検出された場合、試料は 2 か所の CTBT の IMS 公認分析所で精密測定されることになっている。この公認分析所は世界で 16 か所あり、我が国では茨城県東海村の独日本原子力研究開発機構に設置されている。分析所の認証は、ISO/IEC 17025 と同等の基準で行われている。



A : 3月 6-7 日の捕集試料 (縦軸の計数値を  $10^6$  倍して表示), B : 3月 15-16 日の捕集試料, C : 3月 17-18 日の捕集試料

図 3 高崎観測所の放射性粒子試料の  $\gamma$  線スペクトル

### 3 放射性核種の観測例

#### 3.1 平常時の観測結果

##### 3.1.1 粒子状放射性核種

高崎観測所で地震発生前の 3 月 6 日から 7 日にかけて捕集した試料の  $\gamma$  線スペクトルを図 3A に示す。観測所における平常時の  $\gamma$  線スペクトルは地域によって多少異なるが、 $^{40}\text{K}$ ,  $^{235}\text{U}$ , ウラン系列 ( $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234\text{m}}\text{Pa}$  等) とトリウム系列 ( $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{228}\text{Ac}$  等) の天然放射性核種, そして宇宙線に含まれる高エネルギー陽子と大気成分元素 (C, N, O) との破碎反応によって作られる  $^7\text{Be}$  の  $\gamma$  線ピークが通常検出される。また、孤島や海岸に近い観測所では宇宙線によって作られたと考えられる  $^{24}\text{Na}$  も時々検出されることがある。さらに、観測所によっては過去の核実験フォールアウトの  $^{137}\text{Cs}$  や核医学用として使われたと思われる  $^{99}\text{Mo}$  ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) と  $^{131}\text{I}$ , そして原子炉または過去の核爆発によって作られたと思われる  $^{60}\text{Co}$  などの人工放射性核種も検出されることがある。

監視対象核種の検出限界は、 $\gamma$  線検出器の検出効率、検出器の遮へい環境、そして共存する放射性核種の種類によって異なる。種々の粒子観測所で、本年 3 月 11 日の東日本大震災の発生前に捕集された平常時の  $\gamma$  線スペクトルから Currie の定義<sup>8)</sup>に基づいて計算された代表的な監視対象放射性核種の MDC を表 1 に示す。日本の沖縄と高崎観測所の値は、地震発生前の 3 月 4 日から 11 日にかけて捕集された 7 試料の平均値とその標準偏

表 1 主な核分裂生成物の最低検出可能放射能濃度

核種	MDC, $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$					
	沖縄観測所*		高崎観測所*		その他の観測所**	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	最高	最低
$^{95}\text{Zr}$	3.3	0.1	4.7	0.3	7.3	1.0
$^{97}\text{Zr}$	12	1	16	1	27	3.7
$^{95}\text{Nb}$	2.3	0.1	2.9	0.3	4.6	0.55
$^{99}\text{Mo}$	24	1	32	2	52	6.6
$^{103}\text{Ru}$	2.0	0.1	2.8	0.2	4.2	0.43
$^{132}\text{Te}$	4.2	0.4	5.4	0.6	8.6	0.59
$^{131}\text{I}$	3.2	0.2	4.0	0.4	6.0	0.52
$^{133}\text{I}$	9.6	0.7	13	1	20	1.9
$^{134}\text{Cs}$	1.9	0.1	2.6	0.1	4.8	0.52
$^{136}\text{Cs}$	1.9	0.1	2.8	0.1	4.6	0.61
$^{137}\text{Cs}$	2.1	0.1	2.9	0.2	4.6	0.49
$^{140}\text{Ba}$	8.5	0.6	11	0.7	17	1.7
$^{143}\text{Ce}$	17	1	17	2	27	2.8

\* 本年 3 月 4 日から 11 日までに捕集された 7 試料の測定値の平均とその標準偏差

\*\* 福島からの放射性核種を検出した 38 観測所について、本年 3 月放射性核種が検出される前に捕集された試料の最高値と最低値。

差である。今回の事故で放出された放射性核種は、合計 38 か所の観測所で検出されたが、放射能が検出される前の平常時の  $\gamma$  線スペクトルから求めた MDC の最高と最低値を表に示す。表に示す代表的な放射性核種の MDC は、ほぼ  $1 \sim 10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  のオーダーであることが分かる。

### 3・1・2 放射性キセノン

放射性キセノンは、主に<sup>235</sup>Uの核分裂反応によって生成され、シンチグラフィなどの核医学の診断用にも使われている。このため、発電及び研究用原子炉や核燃料再処理施設、医療用<sup>99</sup>Mo製造施設、あるいは医療施設から放出されたと思われる微量の放射性キセノンが世界各地の観測所で検出されている。原子力施設が多い北半球の放射性キセノン濃度は南半球のものより高く、特に原子力施設が集中する北米と西ヨーロッパにおいて非常に高い。北米と西ヨーロッパの高濃度放射性キセノンは、主に医療用<sup>99</sup>Moの製造施設から放出されたものであることが明らかにされている<sup>9)</sup>。我国の高崎観測所の放射性キセノン濃度は北米や西ヨーロッパよりも低いですが、時々数mBq/m<sup>3</sup>レベルの<sup>133</sup>Xeと<sup>131m</sup>Xeが検出されている。我が国における放射性キセノンの年間放出量や年間使用量から、それらの大部分は原子力発電所と核医学施設からのものであると推定されている<sup>10)</sup>。

## 3・2 福島第一原子力発電所から放出された放射性核種の観測結果

### 3・2・1 粒子状放射性核種

高崎観測所で観測された粒子状全放射性核種濃度と観測所から最も近い位置にある日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所のモニタリングポスト（西）の空間 $\gamma$ 線線量率<sup>11)</sup>の比較を図4に示す。図中の空間 $\gamma$ 線線量率は1時間ごとに測定されたもので、福島第一原子力発電所から放出された放射性プルーム（放射性雲）が、3月15日午後1時と3時に高崎に到達したことが分かる。高放射性のプルームが観測所に到達した時、観測所では当日の試料（14日15時55分～15日15時55分）の捕集と、前日（13～14日）捕集した試料の冷却、そして前々日（12～13日）に捕集した試料の測定が行われていた。12～13日の捕集試料の測定では、測定開始後20時間までの2時間ごとの $\gamma$ 線スペクトルは平常時と同じものであったが、最後の13時55分（日本時間）からの $\gamma$ 線スペクトル中に<sup>131,132</sup>I、<sup>134,136,137</sup>Cs、<sup>132</sup>Te、

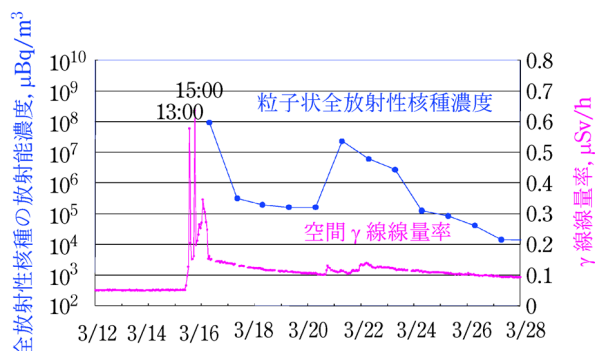


図4 高崎観測所で観測された空間 $\gamma$ 線線量率と粒子状全放射性核種濃度の関係

<sup>133</sup>Xe等のピークが表れてきた。このことから、15日に測定していた12～13日の捕集試料には福島第一原子力発電所からの放射性物質は含まれてなく、測定終盤に到達した放射性プルームの観測所施設内への侵入によって汚染されたものであることが分かった。また、短寿命の天然放射性核種の放射能を減衰させるために冷却していた前日（13～14日）の捕集試料も、侵入して来た放射性プルームによって汚染された。放射性プルームがやってきた14～15日の捕集試料は、16～17日に測定されるはずであったが、16日の計画停電のために測定が行われていない。停電は約2時間であったが、その間に電気冷却式Ge半導体検出器の温度が上昇し、電気が回復してからもしばらくの間高電圧を掛けることができなくなり、試料の測定が困難になった。

15日以降の捕集試料の測定は順調に行われた。3月15～16日と17～18日に捕集された粒子状試料の $\gamma$ 線スペクトルを図3のBとCに示す。3月15～16日の試料には高濃度の放射性核種が含まれ、測定時の不感時間補正が81%と高く、放射線パルスのパイルアップによって低エネルギー側にテールを持つ分解能の悪いスペクトルになった。翌日からは試料の放射性核種濃度が低下し、正常なスペクトルが得られるようになった。IDCの解析によると、最初の15日から10日間に検出された人工放射性核種は、<sup>65</sup>Zn、<sup>95</sup>Nb、<sup>99</sup>Mo、<sup>99m</sup>Tc、<sup>113</sup>Sn、<sup>129,129m,132</sup>Te、<sup>131,132,133</sup>I、<sup>134,136,137</sup>Cs、<sup>140</sup>Ba、<sup>140</sup>La、<sup>203</sup>Pbなど23核種に上る。主な放射性核種の濃度変化を図5に示す。図からわかるように3月15～16日が最も高濃度で、翌日には一旦減少したが、その後20～21日に再び上昇した。これは降雨によって空中に浮遊していた放射性核種が地上付近に洗い落とされ、高濃度になったためと考えられている。その後も何回かピークが表れているが、これらもなんらかの気象効果によるものと考えられる。

現在までのところ、放射性プルームがやってきた14～15日の捕集試料は、停電のため未測定であるが、この試料と不感時間補正が81%という悪条件下で測定された15～16日の捕集試料について、IMSの公認分析所での精密測定に期待される。これら2試料は表面 $\gamma$ 線線量率が最も高く、放出量などの推定に最も重要なものである。

福島で放出された放射性核種は偏西風によって運ばれ、主に北半球各地に設置された放射性核種観測所で検出された。ここでは、時間の比較を容易にするため、協定世界時（UTC）で表す。まず、米国（Sacramento, CA）の3月15日21時39分～3月16日21時39分とロシア（Petropavlovsk-Kamchatskiy）の3月14日23時32分～3月16日0時59分で捕集された試料から、<sup>131</sup>I、<sup>134,137</sup>Cs、<sup>132</sup>Teなど5種類の監視対象核種が検出された。ロシア（Petropavlovsk-Kamchatskiy）では、3

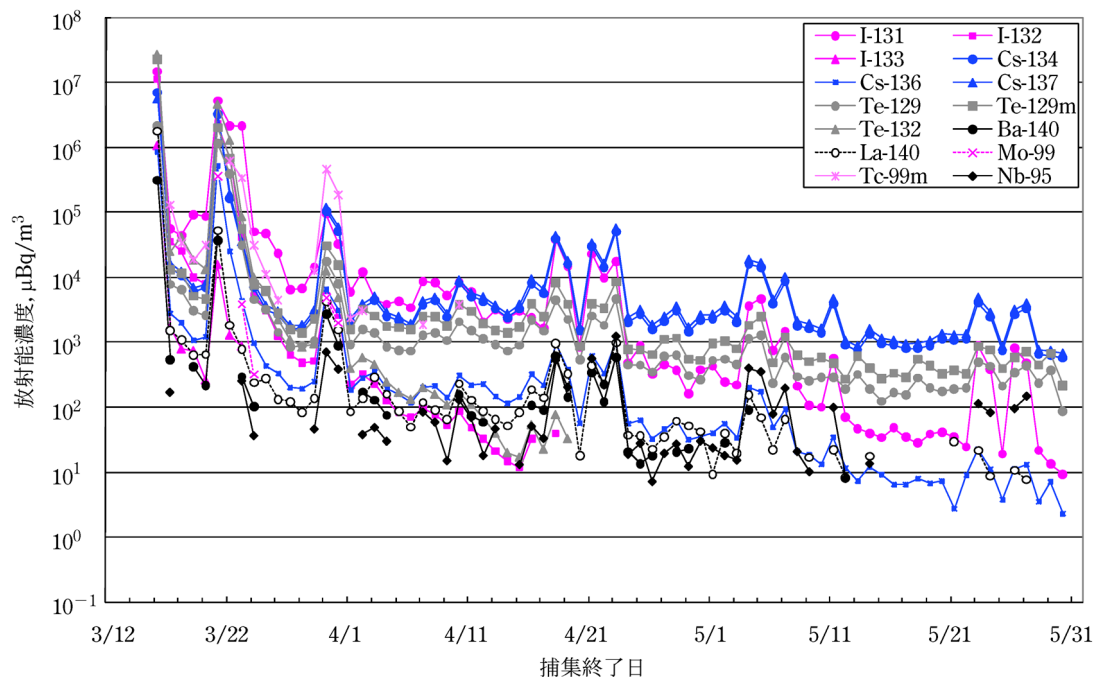


図5 高崎観測所の粒子状放射性核種の測定結果

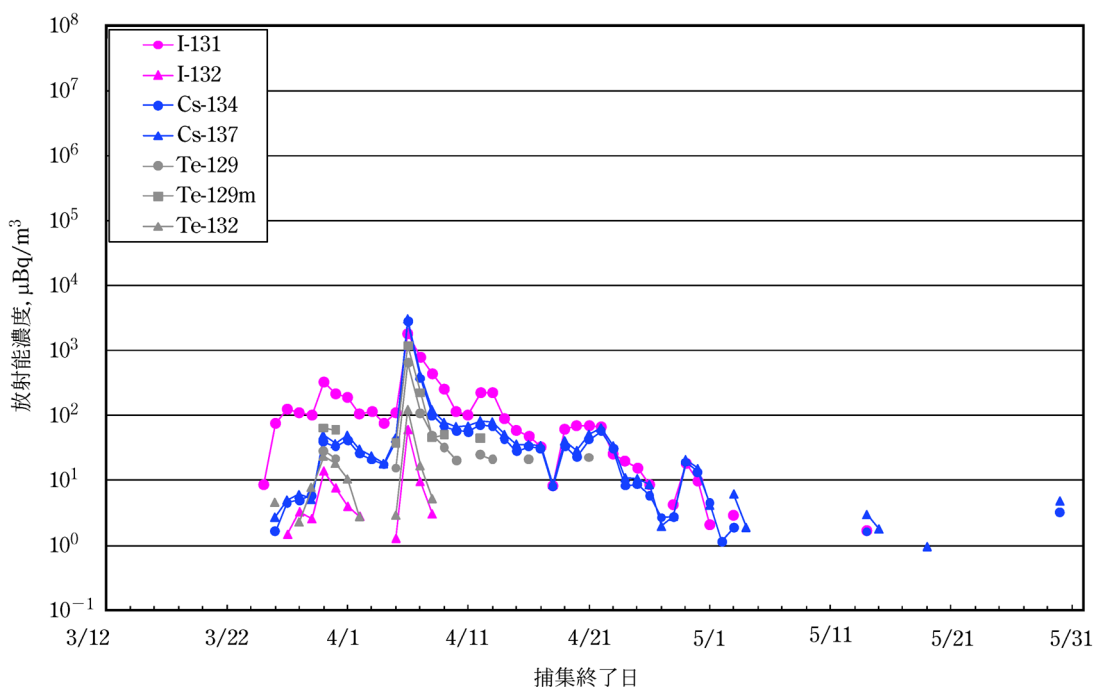


図6 沖縄観測所の粒子状放射性核種の測定結果

月13日23時40分～14日23時30分に捕集された試料からも微量の<sup>131</sup>Iが検出されたが、濃度が低く他の核種が検出されていないので、福島からのものかどうかは不明である。その後、米国、カナダ、ロシアの観測所で、そして3月23日以降の試料からはヨーロッパの観測所でも次々に検出され、地球をほぼ1周して沖縄の観測所でも24～25日の試料から検出された(図6)。粒子状の放射性核種は運用中の北半球の全観測所と、さらに南半球のパプアニューギニアとフィジーでも検出さ

れ、運用中の63か所の観測所のうち38か所の観測所で検出された。事故発生後3か月が経過し、海外の大部分の観測所での検出はほぼ収まったが、高崎観測所では本稿を脱稿した6月21日現在でも検出は続いている。

福島第一原子力発電所の放射性核種を検出した38観測所の放射性核種濃度の比較を図7に示す。図は、検出された代表的核種の<sup>132</sup>Te、<sup>131</sup>I及び<sup>134</sup>Csの濃度と全核種濃度について、検出開始から5月31日までの積算値の比較である。図は分かりやすくするため、全核種濃

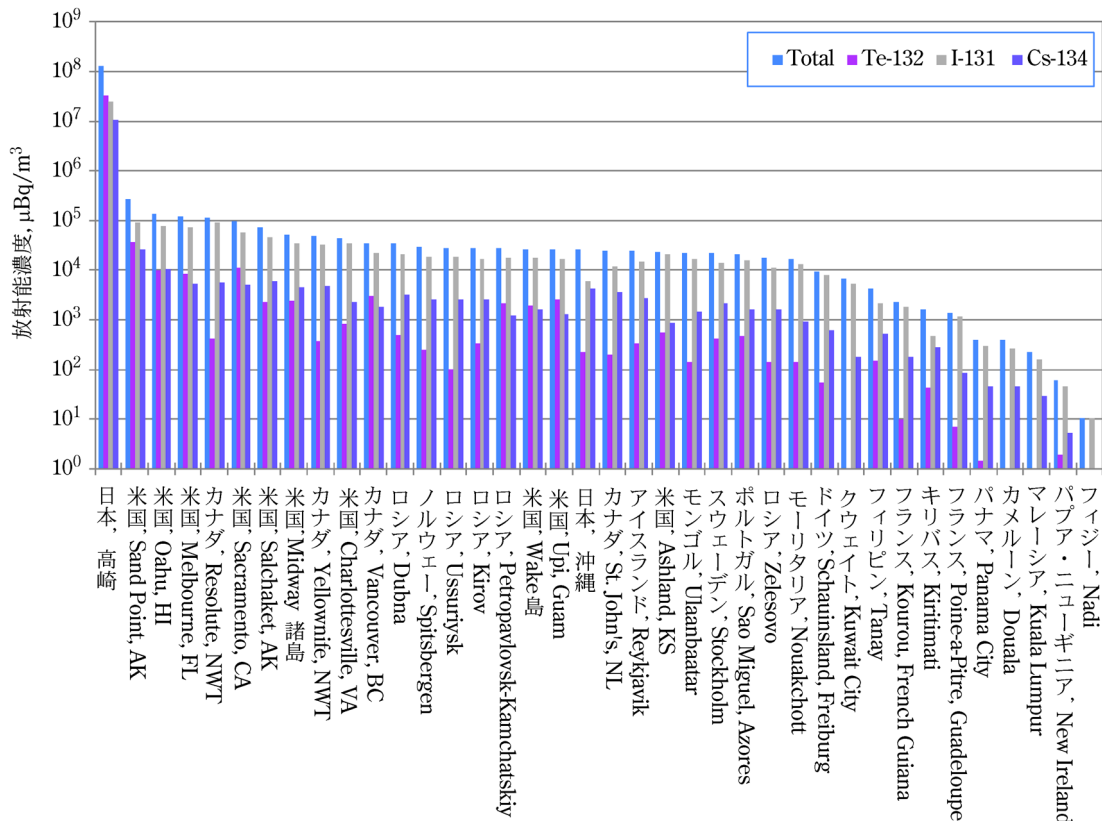


図7 福島第一原子力発電所からの粒子状放射性核種を検出したIMS観測所の<sup>132</sup>Te, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs及び全核種濃度の比較

度順に各観測所のデータを並べてプロットした。高崎観測所で検出された人工放射性核種濃度は、他の観測所のものより約千倍以上も高く、続いて北米とカナダの観測所のものが高いことが分かる。赤道付近や南半球の一部でも検出されたが、その濃度はかなり低い。

我が国における大気中の粒子状放射性核種の測定は、1957年から気象庁の気象研究所で行われてきた<sup>12)</sup>が、ここでの測定値は単位面積 (m<sup>2</sup>) あたりの降下物粒子中の放射性核種濃度 (Bq/m<sup>2</sup>) として測定されているため、IMSの粒子状放射性核種濃度と直接比較することができない。しかし、1965年から放射線医学研究所による測定値<sup>13)</sup>とチェルノブイリ事故時 (1986年5月)のAoyamaらの測定値<sup>14)</sup>は、IMSの粒子状放射能測定とほぼ同じ方法で測定されたもので直接比較することができる。<sup>137</sup>Csについて、高崎観測所における最高濃度と1966年3月大気核実験時における千葉市での最高濃度、そして1986年5月チェルノブイリ事故時におけるつくば市の最高濃度を比較した結果、今回の高崎の<sup>137</sup>Cs濃度は、1966年の大気核実験時の3500倍、そしてチェルノブイリ事故時の84倍高い。

### 3.2.2 放射性キセノン

高崎観測所の放射性キセノンの測定結果を図8に示す。通常数 mBq/m<sup>3</sup> レベルの測定をするために設計されたSAUNA測定装置の適正濃度範囲を超えるkBq/

m<sup>3</sup> レベルの試料を処理したため、そのβ-γ同時計数スペクトルはいわゆる“ハレーション”を起こしたような状況になった。さらに、高濃度の放射性キセノンをプラスチックシンチレーター内に収容したため、多量の放射性キセノンがシンチレーター材料内に浸み込み、その後の測定に大きく影響した。特に初期の測定値はこのメモリー効果の影響が非常に大きく、IDCはこれらを推定値として発表した。

図には<sup>133</sup>Xe, <sup>131m</sup>Xe, <sup>133m</sup>Xe, <sup>135</sup>Xeの濃度変化を示す。事故直後は短寿命の<sup>135</sup>Xeが最も高濃度であったが、その後<sup>133</sup>Xeが優勢となり、最終的に長寿命の<sup>131m</sup>Xeの濃度が最も高くなった。<sup>133m</sup>Xeは数回検出されたのみであった。福島第一原子力発電所から放出された放射性キセノンガスは、北半球を東周りに拡散し、運用中の北半球のすべての観測所と南半球のオーストラリア (Darwin, NT) の観測所の合計18の希ガス観測所で検出された。北半球の観測所の放射性キセノン濃度は、放出当初は地域によって濃度差が見られたが、その後ほぼ均一になり、それぞれの核種の半減期に従って減少した。このことと南半球の観測所での検出が赤道付近にのみ限られていたという結果は、北半球と南半球の大気の流れが分離されているとする大気大循環とよく一致している。

高崎観測所で5月31日までに測定された放射性核種

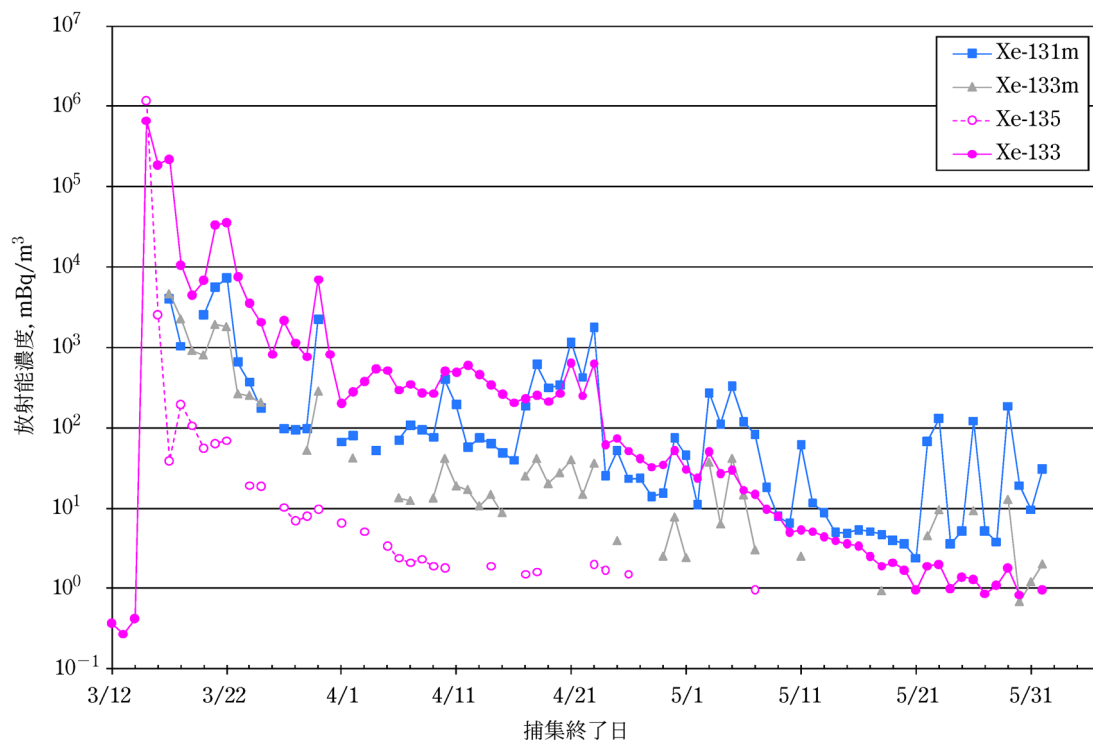


図 8 高崎観測所における放射性キセノンの測定結果

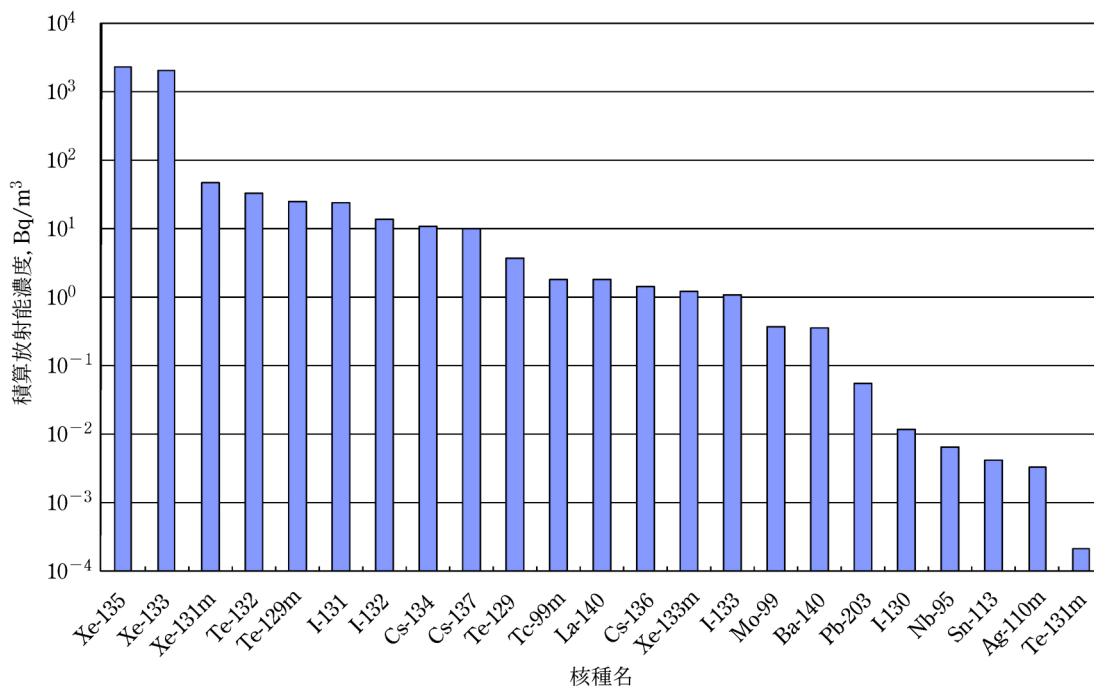


図 9 高崎観測所で 5 月 31 日までに測定された放射性核種の積算濃度

の積算濃度を図 9 に示す。図より、 $^{135}\text{Xe}$  と  $^{133}\text{Xe}$  が最も高濃度で、他の核種よりも一桁以上高濃度であることが分かる。図中放射性ヨウ素濃度は、放射性キセノンや放射性テルルよりも低い。放射性ヨウ素はガス状と粒子状で存在することが知られており、IMS の粒子状放射性核種測定装置のフィルターではガス状の放射性ヨウ素は捕集されない<sup>15)</sup>。したがって、実際の放射性ヨウ素の放出量はさらに高いと考えられる。

#### 4 おわりに

福島の新潟電力福島第一発電所から放出された放射性核種は、北半球にある CTBT の全ての観測所と、南半球の一部の観測所で測定され、地球規模での放射能汚染状況が明らかになった。CTBT の放射性核種観測網は、核実験を監視するために設置されたものであるが、原子力施設の事故にも有効であることが今回の事故に

よって明らかになった。2004年のスマトラ島沖地震の後、CTBT観測網により得られたデータを津波警報に活用するための検討が行われ、CTBTの地震波データは既に環太平洋諸国に対する津波予測にも利用されている。このように、近年CTBTの高品質な観測データを他の科学分野へ応用しようという動きが進められている。原子力施設の事故は、その影響が地球規模に及ぶので、CTBTの放射性核種観測網は、今後その重要性が高まっていくものと考えられる。

CTBTの放射性核種観測網は、地下核実験のように大気中への漏えい放射能が少ない場合でも効果的に検出できるよう、高感度に設計されている。今回の福島第一原子力発電所の事故で、発生源から最も近い高崎観測所には、適正濃度レベルを超え、通常の測定レベルよりも6~7桁も高濃度の放射性核種がやってきた。このため、高崎観測所では測定システムと試料の放射能汚染や最も重要な試料の測定が欠損する等の問題が生じた。CTBTの施設を原子力施設の事故にも対応して行くには、測定装置の汚染防止対策と停電による運用停止を避けるための予備電源の整備が必要と考える。また、放射性キセノン測定においては、検出器のメモリー効果の影響が長期間にわたって深刻になった。今後、メモリー効果を防ぐ方法の研究も必要であろう。

福島第一原子力発電所の事故は3か月経過した今でもいまだに収束しておらず、依然として放射性物質の大気中への放出の可能性を残した状態にある。幸いにも、事故直後の3月15日以後は放射性物質の大気中への大きな放出は見られず、その後は順調に放射能濃度が減少している。一刻も早い事故の収束を望む。本稿は、あくまでもこれまでの中間報告であり、今後、事故の終息をもって放射性物質のさらに詳細な測定結果が報告され、地球規模の汚染状況が明らかにされるであろう。

原稿を丁寧に読んでいただいた、日本原子力研究開発機構の小田哲三氏に感謝する。

本稿の執筆に当たり、福島第一原子力発電所から放出された放射核種の測定データは、認証された専門家だけがアクセスすることができる、IDCのセキュアウェブサイトに掲載されているものを使用した。本データの使用は、我が国におけるCTBTの国内当局である外務省の許可を得た。

## 文 献

- 1) K. A. Hansen: "The Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty, An Insider Perspective", (2006), (Stanford University Press, Stanford, California); CTBTOのホームページ: <http://www.ctbto.org/> (2011年7月15日確認)
- 2) J. Schulze, M. Auer, R. Werzi: *Appl. Radiat. Isotopes*, **53**, 23 (2000).
- 3) K. M. Matthews, L.-E. De Geer: *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **263**, 235 (2005).
- 4) L.-E. De Geer: *Kerntechnik*, **66**, 113 (2001).
- 5) K. M. Matthews: NRL Report 2005/1.
- 6) S. M. Bowyer, D. C. Gerlach, H. S. Miley, S. L. Pratt, C. W. Thomas, J. F. Wacker, M. J. Kniedler: *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **235**, 121 (1998).
- 7) 米沢伸四郎: *ぶんせき*, **2010**, 222.
- 8) L. A. Currie: *Anal. Chem.*, **49**, 586 (1968).
- 9) M. Matthews et al., PNNL-19294 (2010).
- 10) 米沢伸四郎: *Isotope News*, 2011年第8号 (No. 688), 11 (2011).
- 11) 独立行政法人日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所ホームページ: <http://www.taka.jaea.go.jp/monitoring/index.htm>, (2011年6月24日確認)
- 12) 気象庁気象研究所地球化学研究部: 「環境における人工放射能の研究2009」, ISSN 1348-9739 (2009).
- 13) 独立行政法人放射線医学総合研究所ホームページ: <http://www.nirs.go.jp/db/anzendb/nadsdb.html> (2011年6月24日確認)
- 14) M. Aoyama, K. Hirose, Y. Suzuki, H. Inoue, Y. Sugimura: *Nature*, **321**, 819 (1986).
- 15) H. Miley, Pacific Northwest National Laboratory, USA, private communication (2011).



米沢伸四郎 (Chushiro YONEZAWA)

(勲)日本国際問題研究所軍縮・不拡散促進センター (〒100-6011 東京都千代田区霞が関3-8-1 虎ノ門三井ビル3階)。茨城大学工業短期学部卒。理学博士。《現在の研究テーマ》放射能分析による核爆発の検知。《主な著書》“実用ガンマ線測定ハンドブック”(共訳)(日刊工業新聞社)。《趣味》テニスの練習、歩くこと、ピアノの練習。

E-mail: Chushiro.yonezawa@cpdnp.jp



山本洋一 (Yoichi YAMAMOTO)

(勲)日本原子力研究開発機構 (〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4)。東北大学大学院電気及び通信工学系修士課程修了。《現在の研究テーマ》包括的核実験禁止条約(CTBT)検証技術の開発。《趣味》読書、プログラミング。

E-mail: yamamoto.yoichi@jaea.go.jp