

# CTBT 高崎放射性核種観測所の粒子状放射性核種の観測結果

公益財団法人 日本国際問題研究所 軍縮・不拡散促進センター

(CTBT 国内運用体制事務局)

2012年6月13日

## 1. はじめに

2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所の事故で放出された放射性核種は、包括的核実験禁止条約（CTBT）の放射性核種観測網でも検出された（詳細は以下の URL を参照されたい：<http://www.cpdnp.jp/pdf/002-07-yone002.pdf>）。特に、事故を起こした原発に最も近い群馬県高崎市の観測所では高濃度の放射性核種が検出された。このことから、当センターでは CTBT の国内当局である外務省の許可を得て、高崎観測所の粒子状放射性核種の測定結果を事故直後からホームページ上に掲載し、高崎における空気中の放射能濃度を公表してきた。事故直後は数多くの人工放射性核種が検出されたが、事故後1年以上も経過した現在では長寿命の $^{134}\text{Cs}$ （セシウム-134）と $^{137}\text{Cs}$ （セシウム-137）が検出されるのみとなっている。

現在検出される $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の大部分は、事故直後観測所に到達した高濃度の放射性プルームによって汚染されたことによるもので、これまで装置の除染（2011年8月）が行われ、検出器の遮へい体も交換（2012年4月）されたが、依然として装置には汚染が残っている。今後も検出器の交換や除染によってこれらの核種の汚染量の低減化が試みられる予定である。測定装置はこのような状況にあるが、原発事故による放射性核種観測が引き続き重要である現状に鑑み、高崎観測所の粒子状放射性核種の観測データを今後もホームページ上に掲載することにした。これまでは、事故によって放出された人工放射性核種の測定データだけを掲載してきたが、現在検出される人工放射性核種が $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ のみとなり、それらの放射能濃度も天然放射性核種のものよりも低くなっている。このため、これまで公表したデータとの整合性を取るため、事故後に検出された代表的な人工放射性核種と天然放射性核種の放射能濃度を掲載することにした。ただし、 $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ 以外の人工放射性核種は、現在検出されないため、それらの最低検出可能放射能濃度（MDC）を示した。これにより、事故によって放出された人工放射性核種と自然界に常時存在する天然放射性核種濃度の比較も可能になる。

## 2. CTBT の放射性核種観測

現在、包括的核実験禁止条約（CTBT）の発効に向け、核爆発を監視する検証制度の整備が地球規模で進められている。核爆発は、地震波、微気圧振動、水中音波などの測定、そして核爆発によって生成する放射性核種の放射能測定によって検知することができる。このため、核爆発の科学的な検証は国際監視制度（IMS）による地震波等の物理的観測と放射性核種観測、そして現地に行き調査をする現地査察（OSI）によって行われる。IMSの監視施設としては、地震波（170箇所）、微気圧振動（60箇所）、水中音波（11箇所）、そして放射性核種（80箇所）の観測所の設置が条約で決められており（放射性核種の公認実験施設を含めれば89箇所、337箇所）、これまでにそれらの約80%の施設が完成し、条約が発効するまで暫定的に運用されている。核爆発の事象は、地震波の波形観測によって検知することができるが、それだけでは化学爆発と区別することが難しく、これを核実験と断定するには核爆発由来の放射性核種の検出に頼らなければならない。

放射性核種の観測は、大気中の粒子状放射性核種と放射性キセノンを対象に行われる。これらの観測所は、全地球をカバーするように80箇所配置されており、全ての観測所には粒子状放射性核種測

定装置が、そして半分の 40 箇所の観測所には放射性キセノンの測定装置が設置されることになっている。これまでに 65 箇所の粒子観測所と、29 箇所の放射性キセノン観測所が完成し（2011 年 12 月現在）、条約が発効するまでの間暫定的に運用されている。我国には、群馬県高崎市と沖縄県恩納村に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、運用されている。

核爆発を確実に検知するために監視対象放射性核種が決められている。これらの監視対象核種は、爆発によって生成した放射性核種が検出されるまでの移動時間を 3 日間と仮定し、それ以降に存在する可能性が高い半減期が 6 時間から 1000 年の核種で、かつ測定が容易な  $\gamma$  線を放出する放射性核種が選ばれている。IMS の監視対象放射性核種とそれらの半減期を表 1 に示す。監視対象核種には、核分裂生成物 46 核種と放射化生成物 42 核種が選定されている。これらの放射性核種のうち、放射性キセノン ( $^{131m}\text{Xe}$ ,  $^{133m}\text{Xe}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{135}\text{Xe}$ ) は希ガス測定装置で測定され、それ以外の核種は粒子状放射性核種測定装置で測定される。

表1 CTBTの監視対象放射性核種

| 核分裂生成物 (46核種)      |              |          | 放射化生成物 (42核種)      |               |          |
|--------------------|--------------|----------|--------------------|---------------|----------|
| 核種                 |              | 半減期      | 核種                 |               | 半減期      |
| <sup>91</sup> Sr   | (ストロンチウム-91) | 9.63 時間  | <sup>24</sup> Na   | (ナトリウム-24)    | 14.96 時間 |
| <sup>91</sup> Y    | (イットリウム-91)  | 58.51 日  | <sup>42</sup> K    | (カリウム-42)     | 12.36 時間 |
| <sup>93</sup> Y    | (イットリウム-93)  | 10.18 時間 | <sup>46</sup> Sc   | (スカンジウム-46)   | 83.79 日  |
| <sup>95</sup> Zr   | (ジルコニウム-95)  | 64.02 日  | <sup>47</sup> Sc   | (スカンジウム-47)   | 3.349 日  |
| <sup>95</sup> Nb   | (ニオブ-95)     | 34.98 日  | <sup>51</sup> Cr   | (クロム-51)      | 27.70 日  |
| <sup>97</sup> Zr   | (ジルコニウム-97)  | 16.91 時間 | <sup>54</sup> Mn   | (マンガン-54)     | 312.1 日  |
| <sup>99</sup> Mo   | (モリブデン-99)   | 65.94 時間 | <sup>57</sup> Co   | (コバルト-57)     | 271.8 日  |
| <sup>99m</sup> Tc  | (テクネチウム-99m) | 6.01 時間  | <sup>58</sup> Co   | (コバルト-58)     | 70.82 日  |
| <sup>103</sup> Ru  | (ルテニウム-103)  | 39.26 日  | <sup>59</sup> Fe   | (鉄-59)        | 44.50 日  |
| <sup>105</sup> Rh  | (ロジウム-105)   | 35.36 時間 | <sup>60</sup> Co   | (コバルト-60)     | 5.271 年  |
| <sup>106</sup> Ru  | (ルテニウム-106)  | 373.59 日 | <sup>65</sup> Zn   | (亜鉛-65)       | 244.3 日  |
| <sup>111</sup> Ag  | (銀-111)      | 7.45 日   | <sup>69m</sup> Zn  | (亜鉛-69m)      | 13.76 時間 |
| <sup>112</sup> Pd  | (パラジウム-112)  | 21.03 日  | <sup>72</sup> Ga   | (ガリウム-72)     | 14.1 時間  |
| <sup>115m</sup> Cd | (カドミウム-115m) | 44.6 日   | <sup>74</sup> As   | (ヒ素-74)       | 17.77 日  |
| <sup>115</sup> Cd  | (カドミウム-115)  | 53.46 時間 | <sup>76</sup> As   | (ヒ素-76)       | 1.078 日  |
| <sup>125</sup> Sn  | (錫-125)      | 9.64 日   | <sup>84</sup> Rb   | (ルビジウム-84)    | 32.77 日  |
| <sup>125</sup> Sb  | (アンチモン-125)  | 2.76 年   | <sup>86</sup> Rb   | (ルビジウム-86)    | 18.68 日  |
| <sup>126</sup> Sb  | (アンチモン-126)  | 12.46 日  | <sup>88</sup> Y    | (イットリウム-88)   | 106.7 日  |
| <sup>127</sup> Sb  | (アンチモン-127)  | 3.85 日   | <sup>89</sup> Zr   | (ジルコニウム-89)   | 78.41 時間 |
| <sup>128</sup> Sb  | (アンチモン-128)  | 9.01 時間  | <sup>102</sup> Rh  | (ロジウム-102)    | 207 日    |
| <sup>129m</sup> Te | (テルル-129m)   | 33.6 日   | <sup>106m</sup> Ag | (銀-106m)      | 8.28 日   |
| <sup>130</sup> I   | (ヨウ素-130)    | 12.36 時間 | <sup>108m</sup> Ag | (銀-108m)      | 418 年    |
| <sup>131m</sup> Te | (テルル-131m)   | 30 時間    | <sup>110m</sup> Ag | (銀-110m)      | 249.8 日  |
| <sup>131</sup> I   | (ヨウ素-131)    | 8.02 日   | <sup>120</sup> Sb  | (アンチモン-120)   | 5.76 日   |
| <sup>132</sup> Te  | (テルル-132)    | 3.20 日   | <sup>122</sup> Sb  | (アンチモン-122)   | 2.724 日  |
| <sup>133</sup> I   | (ヨウ素-133)    | 20.8 時間  | <sup>124</sup> Sb  | (アンチモン-124)   | 60.20 日  |
| <sup>135</sup> I   | (ヨウ素-135)    | 6.57 時間  | <sup>132</sup> Cs  | (セシウム-132)    | 6.479 日  |
| <sup>131m</sup> Xe | (キセノン-131m)  | 11.84 日  | <sup>133</sup> Ba  | (バリウム-133)    | 10.52 年  |
| <sup>133m</sup> Xe | (キセノン-133m)  | 2.19 日   | <sup>134</sup> Cs  | (セシウム-134)    | 2.065 年  |
| <sup>133</sup> Xe  | (キセノン-133)   | 5.243 日  | <sup>152m</sup> Eu | (ユウロピウム-152m) | 9.312 時間 |
| <sup>135</sup> Xe  | (キセノン-135)   | 9.14 時間  | <sup>152</sup> Eu  | (ユウロピウム-152)  | 13.54 年  |
| <sup>136</sup> Cs  | (セシウム-136)   | 13.16 日  | <sup>168</sup> Tm  | (ツリウム-168)    | 93.1 日   |
| <sup>137</sup> Cs  | (セシウム-137)   | 30.07 年  | <sup>187</sup> W   | (タングステン-187)  | 23.72 時間 |
| <sup>140</sup> Ba  | (バリウム-140)   | 12.75 日  | <sup>190</sup> Ir  | (イリジウム-190)   | 11.78 日  |
| <sup>140</sup> La  | (ランタン-140)   | 1.678 日  | <sup>192</sup> Ir  | (イリジウム-192)   | 73.83 日  |
| <sup>141</sup> Ce  | (セリウム-141)   | 32.50 日  | <sup>196</sup> Au  | (金-196)       | 6.183 日  |
| <sup>143</sup> Ce  | (セリウム-143)   | 33.04 時間 | <sup>196m</sup> Au | (金-196m)      | 9.7 時間   |
| <sup>144</sup> Ce  | (セリウム-144)   | 284.9 日  | <sup>198</sup> Au  | (金-198)       | 2.695 日  |
| <sup>147</sup> Nd  | (ネオジウム-147)  | 10.98 日  | <sup>203</sup> Pb  | (鉛-203)       | 51.87 時間 |
| <sup>149</sup> Pm  | (プロメチウム-149) | 53.08 時間 | <sup>224</sup> Ra  | (ラジウム-224)    | 3.66 日   |
| <sup>151</sup> Pm  | (プロメチウム-151) | 28.40 時間 | <sup>237</sup> U   | (ウラン-237)     | 6.75 日   |
| <sup>153</sup> Sm  | (サマリウム-153)  | 46.27 時間 | <sup>239</sup> Np  | (ネプツニウム-239)  | 2.357 日  |
| <sup>155</sup> Eu  | (ユウロピウム-155) | 4.761 年  |                    |               |          |
| <sup>156</sup> Sm  | (サマリウム-156)  | 9.4 時間   |                    |               |          |
| <sup>156</sup> Eu  | (ユウロピウム-156) | 15.19 日  |                    |               |          |
| <sup>157</sup> Eu  | (ユウロピウム-157) | 15.18 時間 |                    |               |          |

## 2. 高崎観測所における粒子状放射性核種測定

高崎観測所は、(独)日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所内に設置されている。高崎観測所の粒子状放射性核種自動測定装置 (RASA) による測定の概要と写真を図1と図2に示す。

ブローアーによって24時間集めた大気試料 (20000–25000 m<sup>3</sup>) を連続的にポリプロピレン樹脂製のフィルターに通過させ、粒子状放射性核種を捕集する。粒子を捕集後、フィルター面を移動させ、新しいフィルター面で翌日の試料を捕集する。新しい面で捕集を行っている間、前日に捕集された試料は、そこ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面を鉛製遮へい体中のゲルマニウム半導体検出器に巻きつけ、24時間ガンマ線を測定する。測定終了後、測定データは直ちに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る。試料の捕集に24時間、冷却に24時間、ガンマ線測定に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、再測定が必要になった時のため、ポリエチレンシートに封入して保管される。測定データは、IDCで直ちにコンピュータによる自動解析と専門家による詳細解析を行い、結果を条約締約国の認可された専門家だけがアクセスすることが出来る専用ウェブサイト上に公開される。

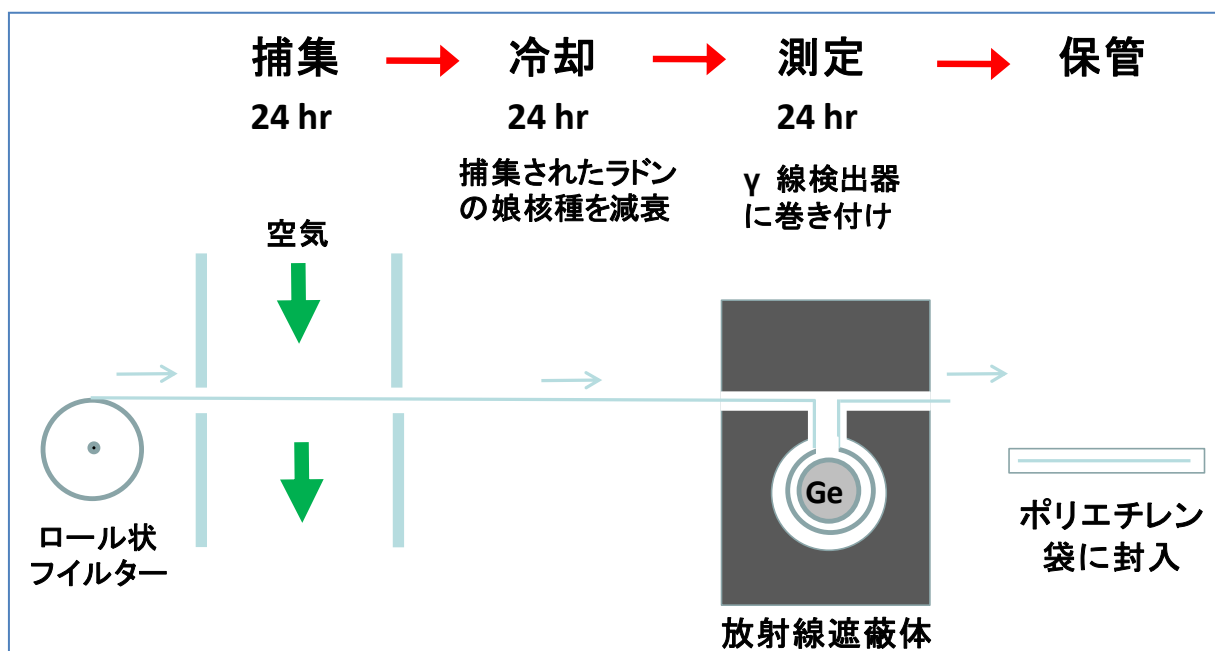


図1 粒子状放射性核種測定の概略図

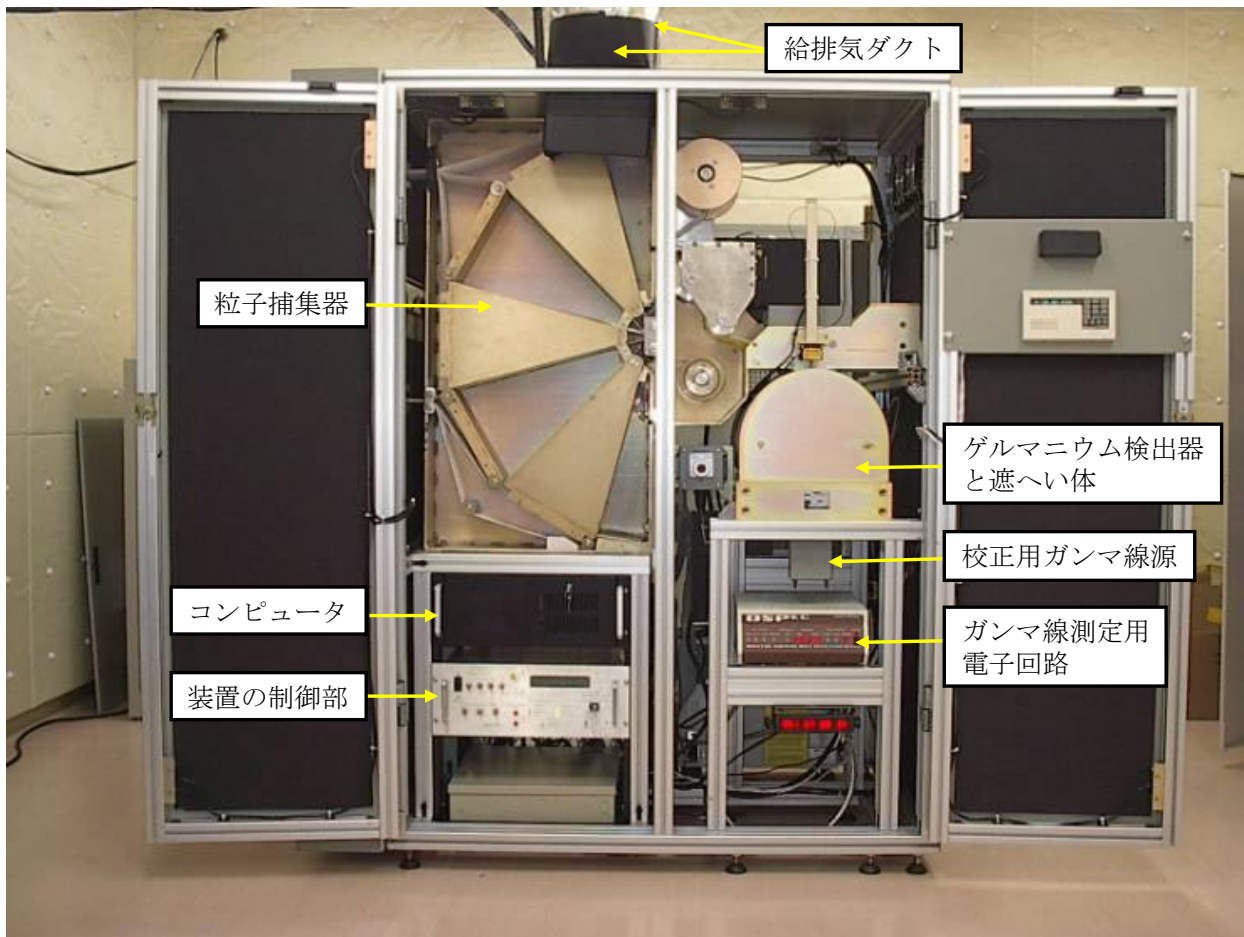


図 2 高崎観測所の粒子状放射性核種測定装置 (RASA) の写真

### 3. 測定結果

#### 3.1 ガンマ線スペクトル

原発事故前と事故後の最近に測定された試料のガンマ線スペクトルを図 3 に示す。スペクトル(a)と(b)をそのままプロットすると、両方のスペクトルが重なって分かりにくくなるので、スペクトル(a)は 1000 倍してプロットしてある。

事故前のスペクトル (a) からは、自然界に常時存在する天然放射性核種のみが検出され、人工放射性核種は検出されない。検出される天然放射性核種は、宇宙線起源核種の  ${}^7\text{Be}$  (ベリリウム-7)、原始放射性核種の  ${}^{40}\text{K}$  (カリウム-40)、ウラン系列核種の  ${}^{214}\text{Pb}$  (鉛-214),  ${}^{214}\text{Bi}$  (ビスマス-214),  ${}^{226}\text{Ra}$  (ラジウム-226),  ${}^{234\text{m}}\text{Pa}$  (プルトアクチニウム-234m)、トリウム系列核種の  ${}^{208}\text{Tl}$  (タリウム-208),  ${}^{212}\text{Pb}$  (鉛-212),  ${}^{212}\text{Bi}$  (ビスマス-212),  ${}^{228}\text{Ac}$  (アクチニウム-228), そしてアクチニウム系列核種の  ${}^{235}\text{U}$  (ウラン-235) である。参考までに検出される天然放射性核種の壊変データを表 2 に示す。

2012 年 5 月 5 日-6 日に捕集された試料のガンマ線スペクトルを図 3(b)に示す。原発事故直後には多数の人工放射性核種 ( ${}^{131,132,133}\text{I}$ ,  ${}^{134,136,137}\text{Cs}$ ,  ${}^{129,129\text{m},132}\text{Te}$ ,  ${}^{140}\text{Ba}$ - ${}^{140}\text{La}$ ,  ${}^{99}\text{Mo}$ - ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  ${}^{95}\text{Nb}$ ) が検出されたが、2011 年 9 月以降は  ${}^{134}\text{Cs}$  (セシウム-134) と  ${}^{137}\text{Cs}$  (セシウム-137) だけになっている。

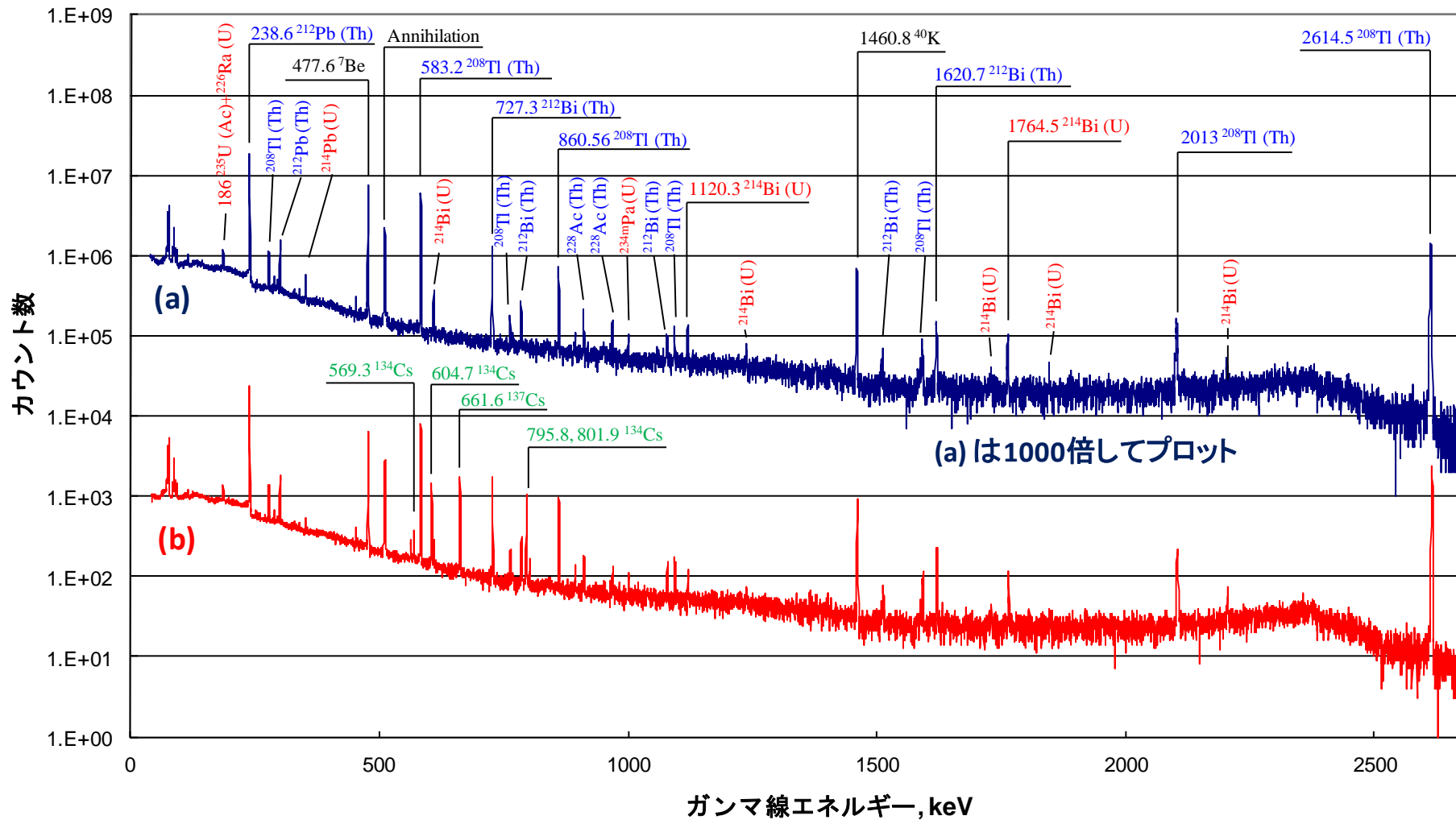


図3 粒子状放射性核種のガンマ線スペクトル

(a)：原発事故前の2011年3月6日～7日に捕集された試料，スペクトル(b)との重なりを避けるため1000倍してプロットされている。

(b)：原発事故後の2012年5月5日～6日に捕集された試料，原発事故によって放出された $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ が検出されている。

図中の数字はガンマ線エネルギー値 (keV) を表す。緑：人工放射性核種，紺：トリウム系列核種，赤：ウラン系列核種，黒：その他。

表 2 高崎観測所の粒子状放射性核種測定装置で検出される天然放射性核種

| 核種                        | 種類                     | 半減期                   | 主な $\gamma$ 線エネルギー keV (放出率%)           |
|---------------------------|------------------------|-----------------------|---|
| $^7\text{Be}$             | 宇宙線起源核種 <sup>1)</sup>  | 53.12 日               | 477.5(10.52)                            |
| $^{40}\text{K}$           | 原始放射性核種 <sup>2)</sup>  | $1.277 \times 10^9$ 年 | 1460.8(11)                              |
| $^{228}\text{Ac}$         | トリウム系列 <sup>3)</sup>   | 6.15 時間               | 911.2(25.8), 968.9(15.8), 338.3(11.27)  |
| $^{212}\text{Pb}$         | 同上                     | 10.64 時間              | 238.6(43.3), 300.0(3.28)                |
| $^{212}\text{Bi}$         | 同上                     | 60.55 分               | 727.3(6.58), 1620.5(1.49), 785.3(1.102) |
| $^{208}\text{Tl}$         | 同上                     | 6.053 分               | 2614.5(99), 583.1(84.5), 860.5(12.42)   |
| $^{234\text{m}}\text{Pa}$ | ウラン系列 <sup>4)</sup>    | 1.17 分                | 1001.0(0.837), 766.3(0.294)             |
| $^{226}\text{Ra}$         | 同上                     | 1600 年                | 186.2(3.59)                             |
| $^{214}\text{Pb}$         | 同上                     | 26.8 分                | 351.9(37.6), 295.2(19.3), 241.9(7.43)   |
| $^{214}\text{Bi}$         | 同上                     | 19.9 分                | 609.3(46.1), 1764.4(15.4), 1120.2(15.1) |
| $^{235}\text{U}$          | アクチニウム系列 <sup>5)</sup> | $7.038 \times 10^8$ 年 | 185.7(57.2), 143.7(10.96)               |

- 1) 宇宙線に含まれる高エネルギー陽子と大気成分元素（炭素、窒素、酸素）の原子核との破砕反応によって生成される放射性核種。
- 2) 地球の誕生時から地殻中に存在してきた放射性核種。
- 3) 壊変が  $^{232}\text{Th}$ （トリウム-232）から始まり、 $^{208}\text{Pb}$ （鉛-208）で終わる 11 種類の放射性核種から成る壊変系列。
- 4) 壊変が  $^{238}\text{U}$ （ウラン-238）から始まり、 $^{206}\text{Pb}$ （鉛-206）で終わる 18 種類の放射性核種から成る壊変系列。
- 5) 壊変が  $^{235}\text{U}$ （ウラン-235）から始まり、 $^{207}\text{Pb}$ （鉛 207）で終わる 16 種類の放射性核種から成る壊変系列。

### 3.2 最低検出可能放射能濃度 (MDC) の求め方

CTBT では、測定されるガンマ線スペクトル中の各 $\gamma$ 線ピークの検出限界から、測定する核種の最低検出可能放射能 (MDA) と最低検出可能放射能濃度 (MDC) を求め、解析レポート RRR に示している。ここに、それらの求め方を示す。

まず、ガンマ線スペクトル中の注目するピークの検出下限 ( $L_d$ ) は次式によって計算される。

$$L_d = 2.71 + 4.65\sqrt{N_B} \quad (1)$$

ここで、 $N_B$  は注目するガンマ線ピーク領域のバックグラウンド計数値である。

次に、ピークの検出限界 ( $L_d$ ) から測定した試料中の最低検出可能放射能 (MDA) を次式によって計算する。

$$\text{MDA}(\text{Bq}) = \frac{L_d}{t_l \cdot \epsilon_l \cdot \gamma_l \cdot K_c} \quad (2)$$

ここで、 $t_l$  はガンマ線スペクトル測定のライブタイム、 $\epsilon$  はガンマ線の検出効率、 $\gamma_i$  はガンマ線放出率、 $K_c$  は測定期間中における放射性核種の壊変補正係数、 $\lambda_i$  は測定する放射性核種の壊変定数である。

最後に、捕集した空気試料中の最低検出可能放射能濃度 (MDC) を次式から計算する。

$$\text{MDC}(\text{Bq}/\text{m}^3) = \frac{\text{MDA}}{V_0 \cdot \xi_i \cdot K_w \cdot K_s} \quad (3)$$

ここで、 $V_0$  は標準温度 (273.15K)、標準気圧 (101.325 Pa) 下に於ける採取した空気の容積 ( $\text{m}^3$ )、 $\xi_i$  は測定する放射性核種の捕集効率 (%),  $K_s$  は試料捕集時間中における放射性核種の壊変補正係数、 $K_w$  は捕集の終了と測定開始間における測定核種の壊変補正係数である。

高崎の粒子状測定装置による代表的な監視対象核種の MDC を表 3 に示す。上記の計算方法に示すように、MDC は測定条件や、共存する放射性核種の種類とその濃度、そして空気の捕集量等に影響される。原発事故前の 2011 年 3 月に捕集された 7 試料中の MDC の平均とその標準偏差を示す。ここに示す MDC は、これらの核種検出の目安となる。

表 3 主な監視対象核種の最低検出可能放射能濃度 ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ )

| 核種                            | 平均* | 標準偏差* |
|-------------------------------|-----|-------|
| $^{95}\text{Zr}$ (ジルコニウム-95)  | 4.7 | 0.3   |
| $^{97}\text{Zr}$ (ジルコニウム-97)  | 16  | 1     |
| $^{95}\text{Nb}$ (ニオブ-95)     | 2.9 | 0.3   |
| $^{99}\text{Mo}$ (モリブデン-99)   | 32  | 2     |
| $^{103}\text{Ru}$ (ルテニウム-103) | 2.8 | 0.2   |
| $^{132}\text{Te}$ (テルル-132)   | 5.4 | 0.6   |
| $^{131}\text{I}$ (ヨウ素-131)    | 4.0 | 0.4   |
| $^{133}\text{I}$ (ヨウ素-133)    | 13  | 1     |
| $^{134}\text{Cs}$ (セシウム-134)  | 2.6 | 0.1   |
| $^{136}\text{Cs}$ (セシウム-136)  | 2.8 | 0.1   |
| $^{137}\text{Cs}$ (セシウム-137)  | 2.9 | 0.2   |
| $^{140}\text{Ba}$ (バリウム-140)  | 11  | 0.7   |
| $^{143}\text{Ce}$ (セリウム-143)  | 17  | 2     |

\* 原発事故以前 (2011 年 3 月) に捕集された 7 試料の平均 MDC とその標準偏差

### 3.3 放射性核種の放射能濃度

IDC が専用のウェブサイト上に報告する詳細解析レポート RRR から抽出した高崎観測所の粒子状放射性核種濃度を表 4 に示す。RRR は配信までに数日間かかるが信頼性が高いので、本資料ではこれを使用した。

現在検出される人工放射性核種は、 $^{134}\text{Cs}$  (セシウム-134) と  $^{137}\text{Cs}$  (セシウム-137) だけであるが、これまで公開したデータとの整合性から、事故直後に検出された代表的な人工放射性核種の  $^{131}\text{I}$  (ヨウ素-131),  $^{132}\text{Te}$  (テルル-132),  $^{140}\text{Ba}$  (バリウム-140) の測定データも示す。これらの人工放射性核種は、検出された場合にはその濃度を、検出されない場合には ND (非検出) と表示し、測定期間内における最低検出可能放射能濃度の最高値と最低値も示す。

天然放射性核種としては、濃度が高い  $^7\text{Be}$  (ベリリウム-7),  $^{40}\text{K}$  (カリウム-40), そしてトリウム系列とウラン系列の代表的な核種の濃度を掲載する。トリウム系列の核種は  $^{228}\text{Ac}$  (アクチニウム-228) と  $^{212}\text{Pb}$  (鉛-212) の濃度を、ウラン系列の核種は  $^{234\text{m}}\text{Pa}$  (プルトアクチニウム-234m) と  $^{214}\text{Pb}$  (鉛-214) の濃度を示す。 $^{212}\text{Pb}$  (鉛-212) と  $^{214}\text{Pb}$  (鉛-214) は、トリウム系列とウラン系列の希ガスの放射性核種  $^{220}\text{Rn}$  と  $^{222}\text{Rn}$  の壊変生成核種で、種々の自然科学現象の指標として有用である。また、アクチニウム系列の  $^{235}\text{U}$  (ウラン-235) とウラン系列の  $^{226}\text{Ra}$  (ラジウム-226) から放出される 186 keV のピークも検出されるが、両核種のガンマ線エネルギー値が 185.7 keV ( $^{235}\text{U}$ ) と 186.2 keV ( $^{226}\text{Ra}$ ) と接近しているため、それらのガンマ線ピークを分離することが出来ない。さらに、186 keV ピークの計数も小さいことから、表にはこれらの核種濃度を載せない。

放射能壊変には統計的な変動が伴うので、計数値の大きさによって測定される値の変動幅が異なる。このため、測定されたガンマ線ピークの計数値から求められた統計学的変動幅を不確かさとして表示した。表には、この計数値から計算された放射能濃度の相対不確かさ (%) を示す。



表4 高崎観測所の粒子状放射性核種濃度  
2012年4月

| 大気捕集時刻 |       | CTBT監視対象放射性核種      |                    |                    |       |                    |       |                    | 天然放射性核種            |        |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |
|--------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
|        |       | I-131              |                    | Te-132             |       | Cs-134             |       | Cs-137             |                    | Ba-140 | Be-7               |       | K-40               |       | Ac-228             |       | Pb-212             |       | Pa-234m            |       | Bi-214             |       |
| 開始     | 終了    | MDC                | MDC                | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | MDC                | 濃度                 | 不確かさ   | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  |
|        |       | μBq/m <sup>3</sup> | μBq/m <sup>3</sup> | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | μBq/m <sup>3</sup> | u (%)  | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) |
| 3月31日  | 4月1日  | ND                 | ND                 | 76                 | 2     | 123                | 2     | ND                 | 3886               | 1      | 1035               | 2     | 58                 | 5     | 15549              | 1     | 890                | 12    | 31.1               | 6     |                    |       |
| 4月1日   | 4月2日  | ND                 | ND                 | 65                 | 2     | 101                | 2     | ND                 | 5895               | 1      | 1004               | 2     | 58                 | 5     | 13786              | 1     | 754                | 13    | 31.3               | 5     |                    |       |
| 4月2日   | 4月3日  | ND                 | ND                 | 66                 | 2     | 109                | 2     | ND                 | 6243               | 1      | 1049               | 2     | 58                 | 6     | 58173              | 1     | 1022               | 12    | 27.5               | 7     |                    |       |
| 4月3日   | 4月4日  | ND                 | ND                 | 133                | 2     | 214                | 1     | ND                 | 3778               | 1      | 1054               | 2     | 59                 | 5     | 9627               | 1     | 855                | 12    | 32.0               | 6     |                    |       |
| 4月4日   | 4月5日  | ND                 | ND                 | 75                 | 2     | 121                | 2     | ND                 | 6178               | 1      | 1050               | 2     | 61                 | 5     | 48315              | 1     | 914                | 12    | 30.6               | 6     |                    |       |
| 4月5日   | 4月6日  | ND                 | ND                 | 86                 | 2     | 141                | 2     | ND                 | 3693               | 1      | 1051               | 2     | 62                 | 5     | 22460              | 1     | 920                | 12    | 35.8               | 5     |                    |       |
| 4月6日   | 4月7日  | ND                 | ND                 | 152                | 1     | 253                | 1     | ND                 | 4816               | 1      | 1037               | 2     | 63                 | 5     | 29400              | 1     | 936                | 12    | 30.2               | 6     |                    |       |
| 4月7日   | 4月8日  | ND                 | ND                 | 68                 | 2     | 109                | 2     | ND                 | 4115               | 1      | 1059               | 2     | 60                 | 5     | 24209              | 1     | 724                | 14    | 33.2               | 5     |                    |       |
| 4月8日   | 4月9日  | ND                 | ND                 | 85                 | 2     | 134                | 2     | ND                 | 4815               | 1      | 1037               | 2     | 64                 | 5     | 53747              | 1     | 848                | 14    | 36.9               | 5     |                    |       |
| 4月9日   | 4月10日 | ND                 | ND                 | 87                 | 2     | 137                | 2     | ND                 | 5488               | 1      | 1099               | 2     | 58                 | 5     | 36404              | 1     | 875                | 13    | 35.0               | 5     |                    |       |
| 4月10日  | 4月11日 | ND                 | ND                 | 98                 | 2     | 161                | 2     | ND                 | 5873               | 1      | 1115               | 2     | 62                 | 5     | 68932              | 1     | 957                | 13    | 27.6               | 7     |                    |       |
| 4月11日  | 4月12日 | ND                 | ND                 | 75                 | 2     | 120                | 2     | ND                 | 5172               | 1      | 1064               | 2     | 58                 | 5     | 18577              | 1     | 753                | 14    | 30.9               | 6     |                    |       |
| 4月12日  | 4月13日 | ND                 | ND                 | 24                 | 8     | 158                | 2     | ND                 | 5484               | 1      | 1114               | 2     | 63                 | 5     | 34619              | 1     | 1113               | 10    | 10.0               | 21    |                    |       |
| 4月13日  | 4月14日 | ND                 | ND                 | 77                 | 2     | 126                | 2     | ND                 | 5525               | 1      | 1074               | 2     | 60                 | 5     | 20601              | 1     | 727                | 15    | 30.5               | 6     |                    |       |
| 4月14日  | 4月15日 | ND                 | ND                 | 87                 | 2     | 141                | 2     | ND                 | 2584               | 1      | 1060               | 2     | 60                 | 5     | 20713              | 1     | 963                | 11    | 30.6               | 6     |                    |       |
| 4月27日  | 4月28日 | ND                 | ND                 | 101                | 2     | 169                | 2     | ND                 | 1560               | 2      | 1629               | 2     | 68                 | 6     | 32980              | 1     | 1342               | 11    | 26.8               | 8     |                    |       |
| 4月29日  | 4月30日 | ND                 | ND                 | 59                 | 2     | 95                 | 2     | ND                 | 4080               | 1      | 1109               | 2     | 54                 | 6     | 92859              | 1     | 1198               | 11    | 16.5               | 11    |                    |       |
| 4月30日  | 5月1日  | ND                 | ND                 | 73.5               | 2     | 119.7              | 2     | ND                 | 5456               | 1      | 1092               | 2     | 47                 | 6     | 44931              | 1     | 893                | 13    | 16.9               | 10    |                    |       |
| MDC最低値 |       | 5                  | 6                  |                    |       |                    |       | 13                 |                    |        |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |
| MDC最高値 |       | 7                  | 10                 |                    |       |                    |       | 19                 |                    |        |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |
| 平均     |       |                    |                    | 83                 |       | 141                |       |                    | 4702               |        | 1096               |       | 60                 |       | 35882              |       | 927                |       | 29                 |       |                    |       |
| 標準偏差   |       |                    |                    | 28                 |       | 40                 |       |                    | 1276               |        | 136                |       | 4                  |       | 21847              |       | 163                |       | 7                  |       |                    |       |

注1): NDは“非検出”を表す。

注2): 核種の選定は、第3.3項の説明参照

注3): 4月15日—26日までは遮へい体交換のため、測定が停止された。

5月

| 大気捕集時刻 |       | CTBT監視対象放射性核種      |                    |                    |       |                    |       |                    | 天然放射性核種            |        |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |
|--------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
|        |       | I-131              |                    | Te-132             |       | Cs-134             |       | Cs-137             |                    | Ba-140 | Be-7               |       | K-40               |       | Ac-228             |       | Pb-212             |       | Pa-234m            |       | Bi-214             |       |
| 開始     | 終了    | MDC                | MDC                | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | MDC                | 濃度                 | 不確かさ   | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  |
|        |       | μBq/m <sup>3</sup> | μBq/m <sup>3</sup> | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | μBq/m <sup>3</sup> | u (%)  | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) |
| 5月1日   | 5月2日  | ND                 | ND                 | 37                 | 3     | 64                 | 2     | ND                 | 7087               | 1      | 1108               | 2     | 51                 | 6     | 19242              | 1     | 951                | 11    | 18                 | 9     |                    |       |
| 5月2日   | 5月3日  | ND                 | ND                 | 30                 | 3     | 51                 | 2     | ND                 | 2118               | 1      | 1136               | 2     | 57                 | 5     | 7198               | 1     | 954                | 11    | 15                 | 10    |                    |       |
| 5月3日   | 5月4日  | ND                 | ND                 | 43                 | 3     | 71                 | 2     | ND                 | 709                | 2      | 1070               | 2     | 45                 | 6     | 11439              | 1     | 862                | 12    | 22                 | 7     |                    |       |
| 5月4日   | 5月5日  | ND                 | ND                 | 40                 | 3     | 64                 | 2     | ND                 | 1542               | 1      | 1041               | 2     | 47                 | 6     | 7429               | 1     | 981                | 10    | 20                 | 7     |                    |       |
| 5月5日   | 5月6日  | ND                 | ND                 | 87                 | 2     | 144                | 2     | ND                 | 3435               | 1      | 1103               | 2     | 48                 | 6     | 33551              | 1     | 901                | 12    | 18                 | 9     |                    |       |
| 5月8日   | 5月9日  | ND                 | ND                 | 130                | 2     | 189                | 2     | ND                 | 8773               | 1      | 1927               | 2     | 76                 | 6     | 9268               | 1     | 1724               | 10    | 28                 | 9     |                    |       |
| 5月9日   | 5月10日 | ND                 | ND                 | 65                 | 2     | 88                 | 2     | ND                 | 6028               | 1      | 1205               | 2     | 55                 | 6     | 10191              | 1     | 1095               | 11    | 22                 | 9     |                    |       |
| 5月10日  | 5月11日 | ND                 | ND                 | 122                | 2     | 180                | 2     | ND                 | 1531               | 1      | 1197               | 2     | 55                 | 6     | 9946               | 1     | 1091               | 10    | 21                 | 9     |                    |       |
| 5月11日  | 5月12日 | ND                 | ND                 | 171                | 2     | 251                | 1     | ND                 | 1689               | 1      | 1387               | 2     | 56                 | 6     | 12301              | 1     | 1224               | 10    | 25                 | 8     |                    |       |
| 5月12日  | 5月13日 | ND                 | ND                 | 60                 | 2     | 85                 | 2     | ND                 | 8036               | 1      | 1211               | 2     | 52                 | 6     | 17275              | 1     | 1114               | 10    | 27                 | 7     |                    |       |
| 5月13日  | 5月14日 | ND                 | ND                 | 88                 | 2     | 125                | 2     | ND                 | 7098               | 1      | 1210               | 2     | 52                 | 6     | 54373              | 1     | 1098               | 11    | 26                 | 8     |                    |       |
| 5月14日  | 5月15日 | ND                 | ND                 | 53                 | 3     | 75                 | 2     | ND                 | 7708               | 1      | 1159               | 2     | 52                 | 6     | 52269              | 1     | 1085               | 11    | 26                 | 8     |                    |       |
| 5月15日  | 5月16日 | ND                 | ND                 | 66                 | 2     | 99                 | 2     | ND                 | 5513               | 1      | 1203               | 2     | 55                 | 6     | 18871              | 1     | 1053               | 11    | 25                 | 8     |                    |       |
| 5月16日  | 5月17日 | ND                 | ND                 | 75                 | 2     | 102                | 2     | ND                 | 9380               | 1      | 1177               | 2     | 63                 | 5     | 43334              | 1     | 1019               | 12    | 28                 | 8     |                    |       |
| 5月18日  | 5月19日 | ND                 | ND                 | 62                 | 3     | 84                 | 2     | ND                 | 5386               | 1      | 1240               | 2     | 53                 | 8     | 21041              | 1     | 1102               | 14    | 1053               | 1     |                    |       |
| 5月19日  | 5月20日 | ND                 | ND                 | 76                 | 2     | 108                | 2     | ND                 | 5278               | 1      | 1182               | 2     | 52                 | 6     | 44321              | 1     | 1254               | 10    | 18                 | 11    |                    |       |
| 5月20日  | 5月21日 | ND                 | ND                 | 121                | 2     | 177                | 2     | ND                 | 5493               | 1      | 1164               | 2     | 55                 | 6     | 45992              | 1     | 980                | 12    | 23                 | 9     |                    |       |
| 5月22日  | 5月23日 | ND                 | ND                 | 122                | 2     | 180                | 2     | ND                 | 2982               | 1      | 1189               | 2     | 55                 | 6     | 20468              | 1     | 984                | 12    | 28                 | 7     |                    |       |
| 5月23日  | 5月24日 | ND                 | ND                 | 88                 | 2     | 133                | 2     | ND                 | 4628               | 1      | 1169               | 2     | 57                 | 6     | 51436              | 1     | 1030               | 12    | 25                 | 8     |                    |       |
| 5月24日  | 5月25日 | ND                 | ND                 | 67                 | 2     | 95                 | 2     | ND                 | 6680               | 1      | 1173               | 2     | 54                 | 7     | 85243              | 1     | 1133               | 12    | 23                 | 10    |                    |       |
| 5月25日  | 5月26日 | ND                 | ND                 | 42                 | 3     | 63                 | 2     | ND                 | 3166               | 1      | 1191               | 2     | 60                 | 5     | 9886               | 1     | 1030               | 11    | 22                 | 9     |                    |       |
| 5月26日  | 5月27日 | ND                 | ND                 | 57                 | 2     | 83                 | 2     | ND                 | 6802               | 1      | 1177               | 2     | 51                 | 6     | 5637               | 1     | 989                | 11    | 25                 | 7     |                    |       |
| 5月27日  | 5月28日 | ND                 | ND                 | 244                | 1     | 371                | 1     | ND                 | 11720              | 1      | 1170               | 2     | 53                 | 6     | 20908              | 1     | 686                | 17    | 20                 | 10    |                    |       |
| 5月28日  | 5月29日 | ND                 | ND                 | 59                 | 3     | 92                 | 2     | ND                 | 6898               | 1      | 1149               | 2     | 55                 | 6     | 39514              | 1     | 1108               | 11    | 21                 | 10    |                    |       |
| 5月29日  | 5月30日 | ND                 | ND                 | 58                 | 3     | 86                 | 2     | ND                 | 3576               | 1      | 1148               | 2     | 51                 | 6     | 17937              | 1     | 1165               | 10    | 23                 | 9     |                    |       |
| 5月30日  | 5月31日 | ND                 | ND                 | 52                 | 3     | 78                 | 2     | ND                 | 3647               | 1      | 1194               | 2     | 53                 | 6     | 24915              | 1     | 1291               | 9     | 22                 | 9     |                    |       |
| 5月31日  | 6月1日  | ND                 | ND                 | 51                 | 3     | 73                 | 2     | ND                 | 4079               | 1      | 1174               | 2     | 48                 | 6     | 23226              | 1     | 1253               | 10    | 23                 | 8     |                    |       |
| MDC最低値 |       | 4                  | 5                  |                    |       |                    |       | 12                 |                    |        |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |
| MDC最高値 |       | 7                  | 10                 |                    |       |                    |       | 22                 |                    |        |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |
| 平均     |       |                    |                    | 80                 |       | 119                |       |                    | 5222               |        | 1202               |       | 54                 |       | 26563              |       | 1080               |       | 61                 |       |                    |       |
| 標準偏差   |       |                    |                    | 47                 |       | 70                 |       |                    | 2706               |        | 157                |       | 6                  |       | 19421              |       | 183                |       | 198                |       |                    |       |

注1): NDは“非検出”を表す。

注2): 核種の選定は、第3.3項の説明参照

注3): 5月6-7日、17日-18日の試料は装置の不具合により解析データ (RRR) は発表されていない。

6月

| 大気捕集時刻 |       | CTBT監視対象放射性核種      |                    |                    |       |                    |       |                    | 天然放射性核種            |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |
|--------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
|        |       | I-131              | Te-132             | Cs-134             |       | Cs-137             |       | Ba-140             | Be-7               |       | K-40               |       | Ac-228             |       | Pb-212             |       | Pa-234m            |       | Bi-214             |       |
| 開始     | 終了    | MDC                | MDC                | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | MDC                | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  | 濃度                 | 不確かさ  |
|        |       | μBq/m <sup>3</sup> | μBq/m <sup>3</sup> | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) | μBq/m <sup>3</sup> | u (%) |
| 6月1日   | 6月2日  | ND                 | ND                 | 55                 | 3     | 81                 | 2     | ND                 | 5402               | 1     | 1168               | 2     | 49                 | 7     | 29326              | 1     | 921                | 13    | 22                 | 9     |
| 6月2日   | 6月3日  | ND                 | ND                 | 65                 | 2     | 101                | 2     | ND                 | 4624               | 1     | 1157               | 2     | 53                 | 6     | 33045              | 1     | 1346               | 9     | 24                 | 8     |
| 6月3日   | 6月4日  | ND                 | ND                 | 59                 | 3     | 89                 | 2     | ND                 | 6147               | 1     | 1171               | 2     | 51                 | 6     | 21610              | 1     | 848                | 14    | 23                 | 9     |
| 6月3日   | 6月4日  | ND                 | ND                 | 59                 | 3     | 89                 | 2     | ND                 | 6147               | 1     | 1171               | 2     | 51                 | 6     | 21610              | 1     | 848                | 14    | 23                 | 9     |
| 6月4日   | 6月5日  | ND                 | ND                 | 51                 | 3     | 76                 | 2     | ND                 | 8718               | 1     | 1190               | 2     | 54                 | 6     | 60850              | 1     | 819                | 15    | 24                 | 9     |
| 6月5日   | 6月6日  | ND                 | ND                 | 136                | 2     | 204                | 1     | ND                 | 7632               | 1     | 1176               | 2     | 52                 | 6     | 26635              | 1     | 1065               | 11    | 24                 | 9     |
| 6月6日   | 6月7日  | ND                 | ND                 | 54                 | 3     | 82                 | 2     | ND                 | 8163               | 1     | 1152               | 2     | 47                 | 7     | 45225              | 1     | 1128               | 11    | 19                 | 11    |
| 6月7日   | 6月8日  | ND                 | ND                 | 67                 | 2     | 100                | 2     | ND                 | 8041               | 1     | 1182               | 2     | 53                 | 6     | 65608              | 1     | 996                | 13    | 27                 | 8     |
| 6月8日   | 6月9日  | ND                 | ND                 | 162                | 2     | 236                | 1     | ND                 | 5324               | 1     | 1155               | 2     | 51                 | 6     | 25746              | 1     | 1123               | 10    | 24                 | 9     |
| 6月9日   | 6月10日 | ND                 | ND                 | 41                 | 3     | 60                 | 2     | ND                 | 92                 | 8     | 1170               | 2     | 57                 | 6     | 18923              | 1     | 1200               | 9     | 21                 | 9     |
| MDC最低値 |       | 5                  | 7                  |                    |       |                    |       | 15                 |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |
| MDC最高値 |       | 7                  | 10                 |                    |       |                    |       | 19                 |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |                    |       |
| 平均     |       |                    |                    | 75                 |       | 112                |       |                    | 6029               |       | 1169               |       | 52                 |       | 34858              |       | 1029               |       | 23                 |       |
| 標準偏差   |       |                    |                    | 40                 |       | 59                 |       |                    | 2506               |       | 12                 |       | 3                  |       | 16727              |       | 174                |       | 2                  |       |

注1): NDは“非検出”を表す。

注2): 核種の選定は、第3.3項の説明参照