

# 広島原爆投下後におけるウラン燃料・核分裂生成による核種特定と同位体別放射能ランキング評価

山田國廣著

- (1) 広島原爆のウラン燃料・核分裂後にどのような核種が生成されるか原爆投下後現在に至るまで不明のままでした。
- (2) そのため、ABCC（原爆障害委員会）は原爆投下後の放射能影響を爆心地から 3 km以内の  $\gamma$  線と中性子線の外部被ばく線量に限定する誤魔化しをしました。
- (3) ABCCを引き継いだ放影研は、原爆被害者の発がん性やその他の疾病について”荷重結腸線量”という外部被ばく線量“で評価する誤魔化しの長期寿命調査（LSS）を実施してきました。
- (4) テルル読本No24では、広島原爆投下後に核分裂により生成された同位体別核種名を特定し  
①原発破裂直後の核種別放射能②1時間後10km風下の同位体核種の大気放射能濃度③1時間後風下10kmの同位体核種の降下面積密度放射能濃度の同位体別ランギング評価を行います。
- (5) 核分裂後1日から5日の、降下核種による線量率の核種別ランギング評価を行います。



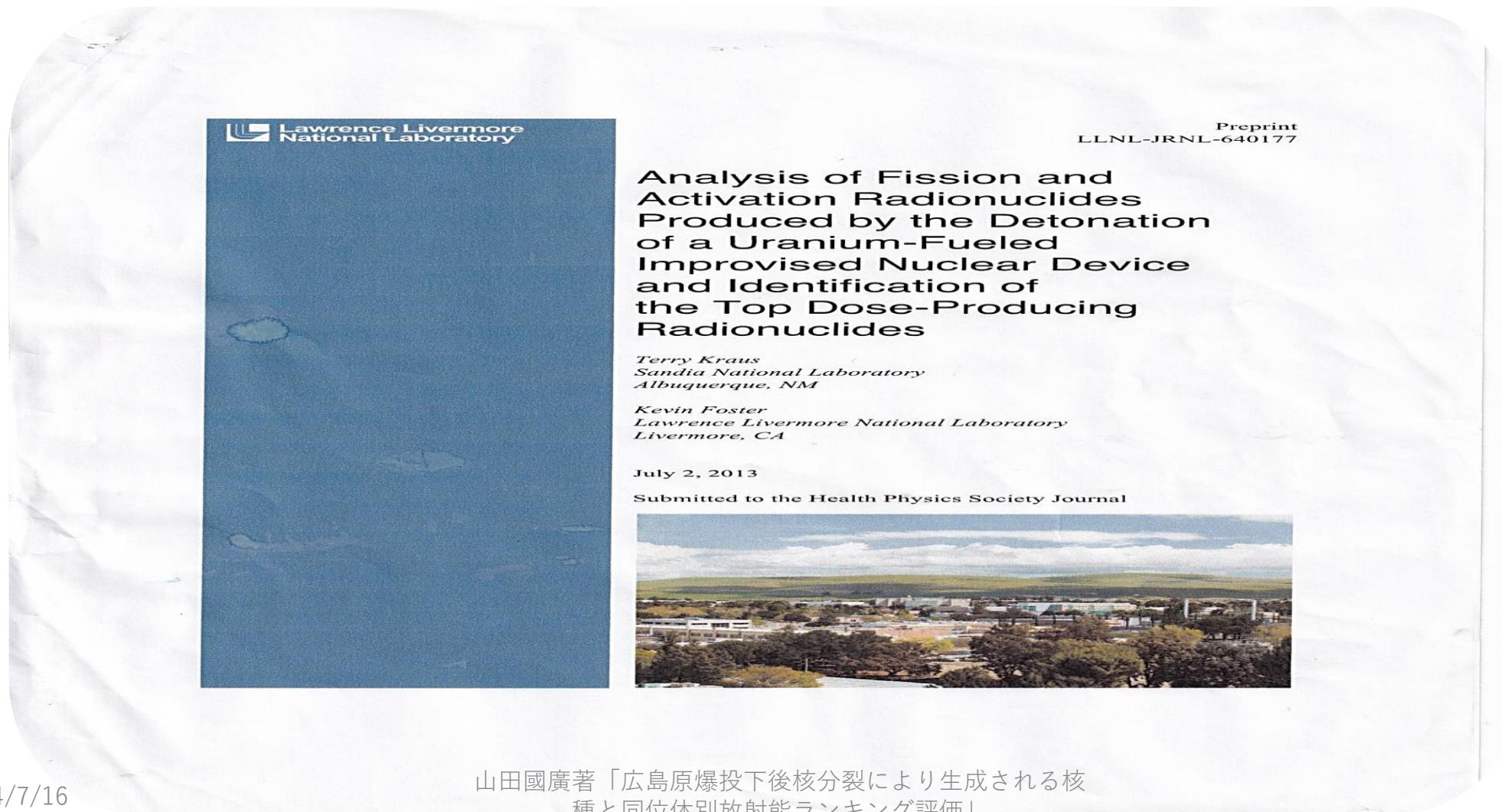
福島発事故被害放射能毒・化学毒被害原因裁判を求める会

題名：ウラン燃料核爆発にて  $t$  生成される核分裂および放射性核種の分析と最高線量を生成する放射性核種の特定

著者：クラウス・テリー (Sandia National Laboratory)、ケビン・フォスター (Lawrence Livermore National Laboratory)

2013年2月2日: 健康物理学会受理

[DOI:10.1097/HP.0000000000000086](https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000086)



# ローレンス・リバモア研究所の報告書 ([DOI:10.1097/HP.0000000000000086](https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000086))

題名：ウラン燃料核爆発による生成される核分裂および放射性核種の分析と最高線量を生成する放射性核種の特定  
著者：クラウス・テリー (Sandia National Laboratory)、ケビン・フォスター (Lawrence Livermore National Laboratory)

Abstract(概要)

Key Words:dose assessment (線量評価) 、 fission product(核分裂生成物) 、 nuclear weapon(核兵器) 、 uranium(ウラニウム)

## 概要

核爆発によるフォールアウト（核分裂および中性子化放射性核種）の放射線学的評価は、フォールアウト放射性核種の数が多いため複雑である。この論文では、ウラン燃料の核爆発によるフォールアウトの初期同位体ソースターム・インベントリ（目録）を提供し、11種類の線量積算期間（時間フェーズ）にわたって重要な放射線量を生成する放射性核種と重要でない放射線量を生成する放射性核種を特定します。

この研究の主な目的は、公衆及び作業者の防護決定方法をサポートするために、放射線評価算定及びデータ（例：防護措置ガイドラインを越えるエリアのマップ）を作成することです。上位線量生成放射性核種のランク付けされたリストにより、評価者は比較的短い半減期の放射性核種リストを使用して、モデリングおよび線量予測の精度を大幅に損なうことなく、大気拡散モデリングおよび放射線量表モデリングをより迅速に実行できます。

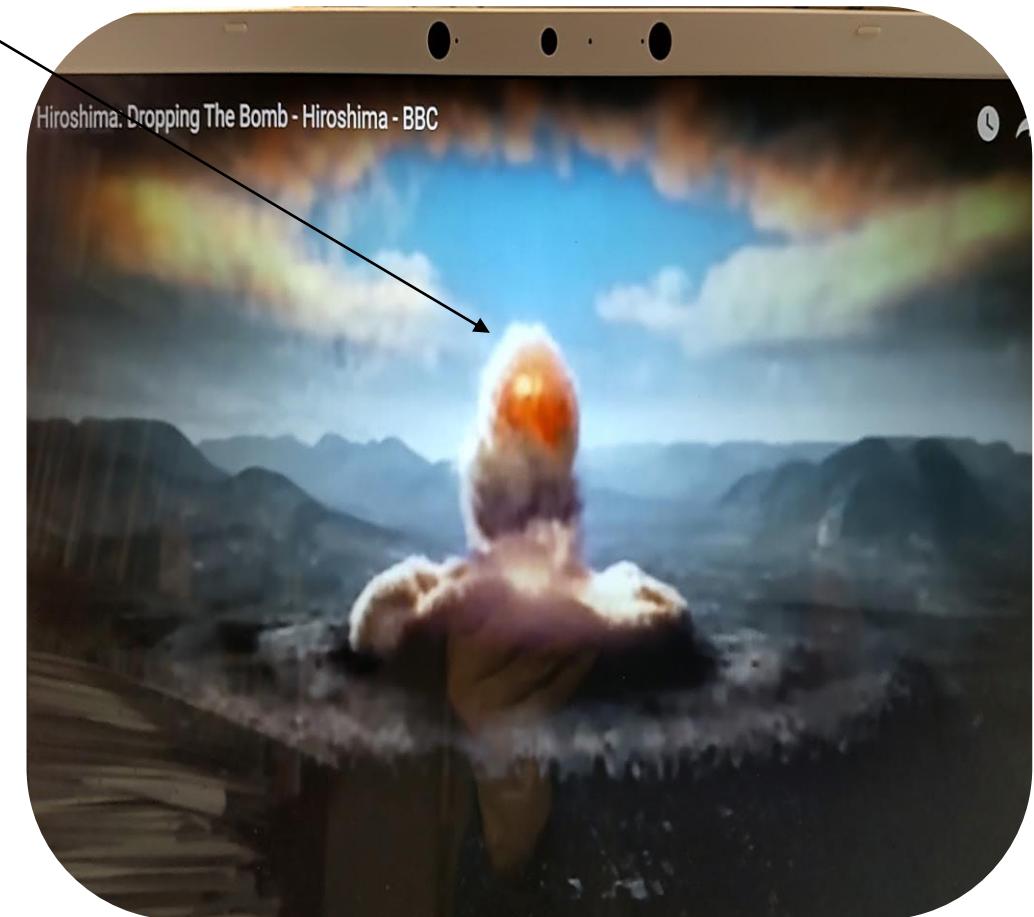
この論文では、ウラン燃料核爆発による放射性降下物のうち、最も線量の高い放射性核種のスーパーセットリストも提供しており、任意の時間フェーズで放射線評価を実行するためには使用できる。さらに、この論文では、どの放射性核種が主な懸念事項であるかを理解するために役立つ監視、サンプリングおよび実験室分析担当者に役立つ情報も提供します。

最期に、この論文は降下物による放射線量を最小限に抑えるために公衆保護措置を迅速に開始することの重要性を示しているため、公衆保護の意思決定者にとって役立つ可能性があります。

左図：広島原爆の炸裂直後の火球：周辺の青色と藍色（二酸化テルルの化学発光色）の光と中心部の白色光（キセノンやヨウ素の白色光）

右図：広島原爆炸裂後約2～3分後のキノコ雲：上部の球状のオレンジ色はセシウムが二酸化セシウムになるとき化学発光入り、灰色や黒色部分は火災により生じた煤に多種の放射性核種が付着・結合したものの色と想定されます。

映像出典：Hiroshima Dropping The Bomb-Hiroshima-BBC（動画）より



# ウラニウム燃料の核分裂直後に生成される同位体別放射能強度 ( $10^{13} \times \text{MBq}$ )

順位 (同位体名)	放射性核種名	核分裂直後に生成される 同位体別放射能強度 ( $10^3 \times \text{MBq}$ )	同位体別放射能比率 (%)	化学発光色、炎色反応色
1 (イットリウム)	Y-91,Y-91m,Y-92,Y-93,Y-94,Y-95	15.1	23.0	
2 (バリウム)	Ba-137m,Ba-140,Ba-141,Ba-142	13.7	21.1	Ba化合物の炎色反応は緑色を示す
3 (テルル)	Te-129,Te-129m,Te-131,Te-131m,Te-132,Te-133,Te-133m,Te-134	8.8	13.5	Teは空気中で $\text{TeO}_2$ になるとき発熱して青色、藍色の化学発光色を出す
4 (キセノン)	Xe-138	6.9	10.5	電気的エネルギーによる自然昼光を示す
5 (ランタン)	La-140,La-141,La-143	6.6	10.4	
6 (モリブデン)	Mo-99,Mo-101	5.8	8.9	
7 (テクネチウム)	Tc-99m,Tc-101,Tc-104	2.0	3.1	
8 (ヨウ素)	I-129,I-131,I-132m,I-133,I-134,I-135	0.82	1.3	数種類のハロゲン化物と混合すると高効率の白色光になる
9 (ストロンチウム)	Sr-89,Sr-90,Sr-91,92	0.75	1.26	Srの炎色反応は赤色を示す
10 (ルビジウム)	Rb-88,Rb-89	0.4	0.6	Rbの蒸気は青色を示す
11 (セシウム)	Cs-134,Cs-134m,Cs-137,Cs-138	0.3	0.5	Csは空気中で直ちに酸化されて $\text{CsO}_2$ になり橙色の化学発光を出す
合計	同位体合計	61.2	94.2	文献①：森北出版、化学辞典、 文献②、桜井弘著、元素11の新知識、講談社より

ウラニウム燃料の核分裂により生成される積算大気放射能濃度 ( $10^{10}$  Bq · s/m<sup>3</sup>)と同位体別・放射能比率 (%)

注：TNT火薬10kt相当、核分裂・1時間後の風下10Km地点

順位 (同位体名)	放射性核種名	10kt当たりの積算大気放射能濃度 ( $10^{10}$ Bq · s/m <sup>3</sup> )	大気放射能の同位体別比率 (%)	化学発光色、炎色反応色
1 (テルル)	Te-129,Te-129m,Te-131,Te-131m, Te-132,Te-133,Te-133m,Te-134	21.8	16.2	Teは空気中でTeO <sub>2</sub> になるとき発熱して青色、 藍色の化学発光色を出す
2 (イットリウム)	Y-91,Y-91m,Y-92,Y-93,Y-94,Y-95	15.3	11.4	
3 (テクネチウム)	Tc-99m,Tc-101,Tc-104	14.4	10.7	
4 (ランタン)	La-140,La-141,La-143	14.0	10.4	
5 (バリウム)	Ba-137m,Ba-140,Ba-141,Ba-142	13.5	10.1	Ba化合物の炎色反応は緑色を示す
6 (セシウム)	Cs-134,Cs-134m,Cs-137,Cs-138	11.0	8.2	Csは空気中で直ちに酸化されてCsO <sub>2</sub> になり 橙色の化学発光を出す
7 (ヨウ素)	I-129,I-131,I-132m,I-133,I-134,I-135	9.0	6.7	数種類のハロゲン化物と混合すると高効率 の白色光になる
8 (ルビジウム)	Rb-88,Rb-89	8.6	6.4	Rbの蒸気は青色を示す
9 (キセノン)	Xe-138	7.3	5.4	電気的エネルギーによる自然星光を示す
10 (モリブデン)	Mo-99,Mo-101	6.8	5.0	
11 (ストロンチウム)	Sr-89,Sr-90,Sr-91,Sr-92	4.4	3.3	Srの炎色反応は赤色を示す
合計	同位体合計	112.1	83.1	文献①：森北出版、化学辞典、 文献②、桜井弘著、元素11の新知識、講談社より

山田國廣著「広島原爆投下後核分裂により生成される核  
種と同位体別放射能ランキング評価」

# ウラニウム燃料の核分裂により生成される放射能降下物面積密度 (MBq/m<sup>2</sup>)

注：TNT火薬10kt相当、核分裂・1時間後の風下10Km地点

順位 (同位体名)	放射性核種名	放射能降下物面積密度 10000MBq/m <sup>2</sup> )	放射能面積密度比率 (%)
1 (テルル)	Te-129, Te-129m, Te-131, Te-131m, Te-132, Te-133, Te-133m, Te-134	7.0	17.4
2 (セシウム)	Cs-134, Cs-134m, Cs-137, Cs-138	4.5	11.2
3 (ランタン)	La-140, La-141, La-143	4.5	11.2
4 (ヨウ素)	I-129, I-131, I-132m, I-133, I-134, I-135	4.3	10.7
5 (テクネチウム)	Tc-99m, Tc-101, Tc-104	3.8	9.4
6 (イットリウム)	Y-91, Y-91m, Y-92, Y-93, Y-94, Y-95	3.5	8.7
7 (ルビジウム)	Rb-88, Rb-89	2.5	6.2
8 (バリウム)	Ba-137m, Ba-140, Ba-141, Ba-142	2.4	6.0
9 (ストロンチウム)	Sr-89, Sr-90, Sr-91, 92	2.0	5.0
10 (アンチモン)	Sb-129, Sb-128m, Sb-129, Sb-130, Sb-131	1.7	4.2
11 (モリブデン)	Mo-99, Mo-101	1.1	2.7
合計	同位体合計	37.3	92.7

# ウラン燃料爆発から1日～5日経過した場合のテルル同位体、ヨウ素同位体・降下核種による線量率のランキング

1位：Te-132壊変連鎖（線量寄与率29.48%）,9位：Te-131m壊変連鎖（1.67%）,16位：Te-131壊変連鎖（0.54%）,19位：Te-133壊変連鎖（0.54%）  
 4位：I-133壊変連鎖（8.5%）,5位：I-135壊変連鎖（6.83%）,13位：I-131壊変連鎖（0.9%）

**Table A9.** Dose rankings of fallout radionuclides produced by a uranium-fueled nuclear detonation, 1-5 day time phase.

TED rank	Radionuclide	Percent of total dose from ground-deposited material pathways (inhalation and external)			
		Inhalation dose	External dose	Dose by radio-nuclide	Cumulative dose from all Table 2 radionuclides
1	<u><sup>132</sup>Te chain</u>	4.73E-02	29.60%	29.48% (29.48)	29.48%
2	<sup>97</sup> Zr chain	2.33E-02	19.54%	19.45% 48.92%	48.92%
3	<sup>140</sup> Ba chain	7.27E-02	10.59%	10.62% 59.55%	59.55%
4	<sup>133</sup> I chain	3.60E-02	8.50%	8.50% (8.50) 68.04%	68.04%
5	<sup>135</sup> I chain	1.63E-03	6.87%	6.83% (15.28) 74.87%	74.87%
6	<sup>91</sup> Sr chain	2.49E-02	5.46%	5.46% 80.33%	80.33%
7	<sup>143</sup> Ce Chain	4.07E-02	4.67%	4.70% 85.03%	85.03%
8	<sup>99</sup> Mo chain	2.98E-02	4.64%	4.66% 89.69%	89.69%
9	<sup>133m</sup> Te chain	7.08E-03	1.67%	1.67% (31.15) 91.35%	91.35%
10	<sup>93</sup> Y chain	5.11E-03	1.35%	1.34% 92.70%	92.70%
11	<sup>131m</sup> Te chain	5.19E-03	1.10%	1.10% (32.25) 93.80%	93.80%
12	<sup>95</sup> Zr chain	1.49E-02	1.04%	1.05% 94.85%	94.85%
13	<sup>131</sup> I chain	3.14E-02	0.87%	0.90% (16.10) 95.75%	95.75%
14	<sup>128</sup> Sb	1.94E-04	0.70%	0.70% 96.45%	96.45%
15	<sup>103</sup> Ru chain	6.69E-03	0.60%	0.61% 97.06%	97.06%
16	<sup>131</sup> Te chain	1.88E-02	0.52%	0.54% (31.19) 97.60%	97.60%
17	<sup>131</sup> Sb chain	9.59E-03	0.46%	0.47% 98.07%	98.07%
18	<sup>92</sup> Sr chain	3.05E-04	0.37%	0.37% 98.44%	98.44%
19	<sup>133</sup> Te chain	1.25E-03	0.30%	0.30% (33.1) 98.73%	98.73%
20	<sup>143</sup> La chain	2.35E-03	0.27%	0.27% 99.01%	99.01%
21	<sup>141</sup> La chain	1.42E-02	0.20%	0.22% 99.23%	99.23%
22	<sup>129</sup> Sb chain	1.12E-03	0.15%	0.15% 99.37%	99.37%
23	<sup>89</sup> Sr	1.65E-02	0.08%	0.10% 99.48%	99.48%
24	<sup>140</sup> La	9.88E-05	0.10%	0.10% 99.58%	99.58%
25	<sup>144</sup> Ce Chain	2.63E-02	0.05%	0.09% 99.67%	99.67%
26	<sup>56</sup> Mn	1.24E-05	0.08%	0.08% 99.74%	99.74%
27	<sup>58</sup> Co	2.40E-04	0.06%	0.06% 99.80%	99.80%
28	<sup>58m</sup> Co Chain	2.11E-04	0.05%	0.05% 99.85%	99.85%
29	<sup>141</sup> Ba chain	1.82E-03	0.03%	0.03% 99.88%	99.88%
30	<sup>92</sup> Y	2.14E-05	0.02%	0.02% 99.90%	99.90%
31	<sup>141</sup> Ce	1.77E-03	0.02%	0.02% 99.92%	99.92%
32	<sup>95</sup> Y chain	2.76E-04	0.02%	0.02% 99.94%	99.94%
33	<sup>106</sup> Ru chain	3.28E-03	0.01%	0.01% 99.96%	99.96%
34	<sup>89</sup> Rb chain	1.43E-03	0.01%	0.01% 99.97%	99.97%
35	<sup>54</sup> Mn	6.57E-05	0.01%	0.01% 99.98%	99.98%
36	<sup>91</sup> Y	9.80E-04	0.00%	0.01% 99.98%	99.98%

ウラン燃料爆発から1日～5日経過した場合のセシウム同位体降下核種による線量率のランキング  
37位：Cs-137 (0.01%), 46位：Cs-134 (0 %)

**Table A9. (Continued).**

TED rank	Radionuclide	Percent of total dose from ground-deposited material pathways (inhalation and external)			
		Inhalation dose	External dose	Dose by radio-nuclide	Cumulative dose from all Table 2 radionuclides
37	<u><sup>137</sup>Cs chain</u>	6.05E-04	0.00%	0.01%	99.99%
38	<u><sup>91m</sup>Y chain</u>	6.26E-04	0.00%	0.00%	99.99%
39	<u><sup>90</sup>Sr chain</u>	2.20E-03	0.00%	0.00%	100.00%
40	<u><sup>99m</sup>Tc chain</u>	7.20E-07	0.00%	0.00%	100.00%
41	<u><sup>142</sup>La</u>	8.45E-08	0.00%	0.00%	100.00%
42	<u><sup>95</sup>Nb</u>	2.75E-06	0.00%	0.00%	100.00%
43	<u><sup>132</sup>I</u>	4.86E-08	0.00%	0.00%	100.00%
44	<u><sup>129m</sup>Te chain</u>	3.48E-05	0.00%	0.00%	100.00%
45	<u><sup>132m</sup>I chain</u>	2.18E-08	0.00%	0.00%	100.00%
46	<u><sup>134</sup>Cs</u>	3.58E-06	0.00%	0.00%	100.00%
47	<u><sup>134m</sup>Cs chain</u>	2.33E-06	0.00%	0.00%	100.00%
48	<u><sup>142</sup>Ba Chain</u>	2.65E-09	0.00%	0.00%	100.00%
49	<u><sup>95m</sup>Nb chain</u>	1.02E-07	0.00%	0.00%	100.00%
50	<u><sup>134</sup>Te chain</u>	4.23E-11	0.00%	0.00%	100.00%
51	<u><sup>97</sup>Nb</u>	9.51E-11	0.00%	0.00%	100.00%
52	<u><sup>134</sup>I</u>	1.15E-11	0.00%	0.00%	100.00%
53	<u><sup>128</sup>Sn chain</u>	2.40E-12	0.00%	0.00%	100.00%
54	<u><sup>129</sup>Te chain</u>	4.09E-11	0.00%	0.00%	100.00%
55	<u><sup>130</sup>Sb</u>	2.80E-15	0.00%	0.00%	100.00%
56	<u><sup>129</sup>I</u>	5.19E-12	0.00%	0.00%	100.00%
57	<u><sup>138</sup>Cs</u>	4.20E-17	0.00%	0.00%	100.00%
58	<u><sup>94</sup>Y</u>	4.25E-27	0.00%	0.00%	100.00%
59	<u><sup>104</sup>Y</u>	1.14E-28	0.00%	0.00%	100.00%
60	<u><sup>88</sup>Rb</u>	3.83E-29	0.00%	0.00%	100.00%
61	<u><sup>101</sup>Mo chain</u>	3.04E-33	0.00%	0.00%	100.00%
62	<u><sup>144</sup>Pr</u>	3.66E-33	0.00%	0.00%	100.00%
63	<u><sup>101</sup>Tc</u>	3.39E-35	0.00%	0.00%	100.00%
64	<u><sup>144m</sup>Pr chain</u>	5.66E-35	0.00%	0.00%	100.00%
65	<u><sup>128m</sup>Sb</u>	9.89E-50	0.00%	0.00%	100.00%
66	<u><sup>137m</sup>Ba</u>	0.00E+00	0.00%	0.00%	100.00%
67	<u><sup>88</sup>Kr chain</u>	0.00E+00	0.00%	0.00%	100.00%
68	<u><sup>106</sup>Rh</u>	0.00E+00	0.00%	0.00%	100.00%
69	<u><sup>138</sup>Xe chain</u>	0.00E+00	0.00%	0.00%	100.00%
<b>Totals =</b>		<b>4.51E-01</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	