

福島原発の放射能を 理解する

物理と工学からの見地

Ben Monreal 教授

カリフォルニア大学サンタバーバラ校(UCSB)

物理学科

質疑応答：

Ben Monreal

Theo Theofanous 教授、UCSB化学工学科

Patrick McCray 教授、UCSB歴史学科



オリジナル作成者：

Ben Monreal 教授

カリフォルニア大学サンタバーバラ校(UCSB)
物理学科

オリジナル著作とMonreal教授によるセミナー講演

(英語、3月16日) は次のホームページで：

<http://online.itp.ucsb.edu/online/lecture/bmonreal11/>

翻訳者：

野尻美保子（高エネルギー加速器研究機構／東京大学IPMU）

久世正弘（東京工業大学理工学研究科）

前野昌弘（琉球大学理学部）

衛藤稔・石井貴昭・橋本幸士（理化学研究所仁科加速器研究センター）

翻訳の許可をオリジナル作成者よりいただいています。

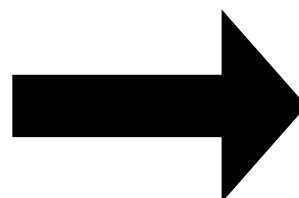
- 放射能とは
- 放射線障害と健康
- メルトダウン(炉心溶融)で何が出てくるか？
- どこへ出ていくか？
- 何を心配するべきか？

元素周期表

Periodic Table of the Elements

California Standards Test

“三重水素”(水素)																																																																																																				
Key 11 Na Sodium 22.99 Atomic number Element symbol Element name Average atomic mass*																																																																																																				
<table><tr><td colspan="2">1</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">18</td></tr><tr><td colspan="2">1A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">8A</td></tr><tr><td colspan="2">1</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">2</td></tr><tr><td colspan="2">H</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">He</td></tr><tr><td colspan="2">Hydrogen</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Helium</td></tr><tr><td colspan="2">1.01</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">4.00</td></tr></table>																1												18		1A												8A		1												2		H												He		Hydrogen												Helium		1.01												4.00		
1												18																																																																																								
1A												8A																																																																																								
1												2																																																																																								
H												He																																																																																								
Hydrogen												Helium																																																																																								
1.01												4.00																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">2</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">10</td></tr><tr><td colspan="2">2A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Ne</td></tr><tr><td colspan="2">Li</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Neon</td></tr><tr><td colspan="2">6.94</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">20.18</td></tr></table>																2												10		2A												Ne		Li												Neon		6.94												20.18																														
2												10																																																																																								
2A												Ne																																																																																								
Li												Neon																																																																																								
6.94												20.18																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">3</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">18</td></tr><tr><td colspan="2">3A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Ar</td></tr><tr><td colspan="2">Na</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Argon</td></tr><tr><td colspan="2">22.99</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">39.95</td></tr></table>																3												18		3A												Ar		Na												Argon		22.99												39.95																														
3												18																																																																																								
3A												Ar																																																																																								
Na												Argon																																																																																								
22.99												39.95																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">4</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">16</td></tr><tr><td colspan="2">4A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">S</td></tr><tr><td colspan="2">Mg</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Sulfur</td></tr><tr><td colspan="2">24.31</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">32.07</td></tr></table>																4												16		4A												S		Mg												Sulfur		24.31												32.07																														
4												16																																																																																								
4A												S																																																																																								
Mg												Sulfur																																																																																								
24.31												32.07																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">5</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">14</td></tr><tr><td colspan="2">5B</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Si</td></tr><tr><td colspan="2">Al</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Silicon</td></tr><tr><td colspan="2">26.98</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">28.09</td></tr></table>																5												14		5B												Si		Al												Silicon		26.98												28.09																														
5												14																																																																																								
5B												Si																																																																																								
Al												Silicon																																																																																								
26.98												28.09																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">6</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">12</td></tr><tr><td colspan="2">6B</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Zn</td></tr><tr><td colspan="2">Cu</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Zinc</td></tr><tr><td colspan="2">63.55</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">65.39</td></tr></table>																6												12		6B												Zn		Cu												Zinc		63.55												65.39																														
6												12																																																																																								
6B												Zn																																																																																								
Cu												Zinc																																																																																								
63.55												65.39																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">7</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">10</td></tr><tr><td colspan="2">7B</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Ni</td></tr><tr><td colspan="2">Co</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Nickel</td></tr><tr><td colspan="2">58.93</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">58.69</td></tr></table>																7												10		7B												Ni		Co												Nickel		58.93												58.69																														
7												10																																																																																								
7B												Ni																																																																																								
Co												Nickel																																																																																								
58.93												58.69																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">8</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">8</td></tr><tr><td colspan="2">8B</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Fe</td></tr><tr><td colspan="2">Mn</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Iron</td></tr><tr><td colspan="2">54.94</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">55.85</td></tr></table>																8												8		8B												Fe		Mn												Iron		54.94												55.85																														
8												8																																																																																								
8B												Fe																																																																																								
Mn												Iron																																																																																								
54.94												55.85																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">9</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">9</td></tr><tr><td colspan="2">9B</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Tc</td></tr><tr><td colspan="2">Mo</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Technetium</td></tr><tr><td colspan="2">(98)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">(98)</td></tr></table>																9												9		9B												Tc		Mo												Technetium		(98)												(98)																														
9												9																																																																																								
9B												Tc																																																																																								
Mo												Technetium																																																																																								
(98)												(98)																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">10</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">11</td></tr><tr><td colspan="2">10B</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">11B</td></tr><tr><td colspan="2">Pd</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Rhodium</td></tr><tr><td colspan="2">106.42</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">102.91</td></tr></table>																10												11		10B												11B		Pd												Rhodium		106.42												102.91																														
10												11																																																																																								
10B												11B																																																																																								
Pd												Rhodium																																																																																								
106.42												102.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">11</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">12</td></tr><tr><td colspan="2">11B</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">12B</td></tr><tr><td colspan="2">Ag</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Copper</td></tr><tr><td colspan="2">107.87</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">63.55</td></tr></table>																11												12		11B												12B		Ag												Copper		107.87												63.55																														
11												12																																																																																								
11B												12B																																																																																								
Ag												Copper																																																																																								
107.87												63.55																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">12</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">13</td></tr><tr><td colspan="2">12B</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">13A</td></tr><tr><td colspan="2">Cd</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Cadmium</td></tr><tr><td colspan="2">112.41</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">26.98</td></tr></table>																12												13		12B												13A		Cd												Cadmium		112.41												26.98																														
12												13																																																																																								
12B												13A																																																																																								
Cd												Cadmium																																																																																								
112.41												26.98																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">13</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">14</td></tr><tr><td colspan="2">13A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">14A</td></tr><tr><td colspan="2">Ga</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Carbon</td></tr><tr><td colspan="2">69.72</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">12.01</td></tr></table>																13												14		13A												14A		Ga												Carbon		69.72												12.01																														
13												14																																																																																								
13A												14A																																																																																								
Ga												Carbon																																																																																								
69.72												12.01																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">14</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">15</td></tr><tr><td colspan="2">14A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">15A</td></tr><tr><td colspan="2">Ge</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Nitrogen</td></tr><tr><td colspan="2">72.61</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">14.01</td></tr></table>																14												15		14A												15A		Ge												Nitrogen		72.61												14.01																														
14												15																																																																																								
14A												15A																																																																																								
Ge												Nitrogen																																																																																								
72.61												14.01																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">15</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">16</td></tr><tr><td colspan="2">15A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">16A</td></tr><tr><td colspan="2">As</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Oxygen</td></tr><tr><td colspan="2">74.92</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">16.00</td></tr></table>																15												16		15A												16A		As												Oxygen		74.92												16.00																														
15												16																																																																																								
15A												16A																																																																																								
As												Oxygen																																																																																								
74.92												16.00																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">16</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">17</td></tr><tr><td colspan="2">16A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">17A</td></tr><tr><td colspan="2">Se</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Fluorine</td></tr><tr><td colspan="2">78.96</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">19.00</td></tr></table>																16												17		16A												17A		Se												Fluorine		78.96												19.00																														
16												17																																																																																								
16A												17A																																																																																								
Se												Fluorine																																																																																								
78.96												19.00																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">17</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">18</td></tr><tr><td colspan="2">17A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">18A</td></tr><tr><td colspan="2">Br</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Neon</td></tr><tr><td colspan="2">79.90</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">20.18</td></tr></table>																17												18		17A												18A		Br												Neon		79.90												20.18																														
17												18																																																																																								
17A												18A																																																																																								
Br												Neon																																																																																								
79.90												20.18																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">18</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">19</td></tr><tr><td colspan="2">18A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">19A</td></tr><tr><td colspan="2">Kr</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Argon</td></tr><tr><td colspan="2">83.80</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">39.95</td></tr></table>																18												19		18A												19A		Kr												Argon		83.80												39.95																														
18												19																																																																																								
18A												19A																																																																																								
Kr												Argon																																																																																								
83.80												39.95																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">19</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">20</td></tr><tr><td colspan="2">19A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">20A</td></tr><tr><td colspan="2">Rb</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Strontium</td></tr><tr><td colspan="2">85.47</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">87.62</td></tr></table>																19												20		19A												20A		Rb												Strontium		85.47												87.62																														
19												20																																																																																								
19A												20A																																																																																								
Rb												Strontium																																																																																								
85.47												87.62																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">20</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">21</td></tr><tr><td colspan="2">20A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">21A</td></tr><tr><td colspan="2">Sr</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Yttrium</td></tr><tr><td colspan="2">87.62</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">88.91</td></tr></table>																20												21		20A												21A		Sr												Yttrium		87.62												88.91																														
20												21																																																																																								
20A												21A																																																																																								
Sr												Yttrium																																																																																								
87.62												88.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">21</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">22</td></tr><tr><td colspan="2">21A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">22A</td></tr><tr><td colspan="2">Y</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Zirconium</td></tr><tr><td colspan="2">88.91</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">91.22</td></tr></table>																21												22		21A												22A		Y												Zirconium		88.91												91.22																														
21												22																																																																																								
21A												22A																																																																																								
Y												Zirconium																																																																																								
88.91												91.22																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">22</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">23</td></tr><tr><td colspan="2">22A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">23A</td></tr><tr><td colspan="2">Zr</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Niobium</td></tr><tr><td colspan="2">91.22</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">92.91</td></tr></table>																22												23		22A												23A		Zr												Niobium		91.22												92.91																														
22												23																																																																																								
22A												23A																																																																																								
Zr												Niobium																																																																																								
91.22												92.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">23</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">24</td></tr><tr><td colspan="2">23A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">24A</td></tr><tr><td colspan="2">Nb</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Molybdenum</td></tr><tr><td colspan="2">92.91</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">95.94</td></tr></table>																23												24		23A												24A		Nb												Molybdenum		92.91												95.94																														
23												24																																																																																								
23A												24A																																																																																								
Nb												Molybdenum																																																																																								
92.91												95.94																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">24</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">25</td></tr><tr><td colspan="2">24A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">25A</td></tr><tr><td colspan="2">Mo</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Technetium</td></tr><tr><td colspan="2">95.94</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">(98)</td></tr></table>																24												25		24A												25A		Mo												Technetium		95.94												(98)																														
24												25																																																																																								
24A												25A																																																																																								
Mo												Technetium																																																																																								
95.94												(98)																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">25</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">26</td></tr><tr><td colspan="2">25A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">26A</td></tr><tr><td colspan="2">Tc</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Ruthenium</td></tr><tr><td colspan="2">(98)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">101.07</td></tr></table>																25												26		25A												26A		Tc												Ruthenium		(98)												101.07																														
25												26																																																																																								
25A												26A																																																																																								
Tc												Ruthenium																																																																																								
(98)												101.07																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">26</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">27</td></tr><tr><td colspan="2">26A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">27A</td></tr><tr><td colspan="2">Ru</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Rhodium</td></tr><tr><td colspan="2">101.07</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">102.91</td></tr></table>																26												27		26A												27A		Ru												Rhodium		101.07												102.91																														
26												27																																																																																								
26A												27A																																																																																								
Ru												Rhodium																																																																																								
101.07												102.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">27</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">28</td></tr><tr><td colspan="2">27A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">28A</td></tr><tr><td colspan="2">Rh</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Palladium</td></tr><tr><td colspan="2">102.91</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">106.42</td></tr></table>																27												28		27A												28A		Rh												Palladium		102.91												106.42																														
27												28																																																																																								
27A												28A																																																																																								
Rh												Palladium																																																																																								
102.91												106.42																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">28</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">29</td></tr><tr><td colspan="2">28A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">29A</td></tr><tr><td colspan="2">Pd</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Silver</td></tr><tr><td colspan="2">106.42</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">107.87</td></tr></table>																28												29		28A												29A		Pd												Silver		106.42												107.87																														
28												29																																																																																								
28A												29A																																																																																								
Pd												Silver																																																																																								
106.42												107.87																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">29</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">30</td></tr><tr><td colspan="2">29A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">30A</td></tr><tr><td colspan="2">Ag</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Copper</td></tr><tr><td colspan="2">107.87</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">63.55</td></tr></table>																29												30		29A												30A		Ag												Copper		107.87												63.55																														
29												30																																																																																								
29A												30A																																																																																								
Ag												Copper																																																																																								
107.87												63.55																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">30</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">31</td></tr><tr><td colspan="2">30A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">31A</td></tr><tr><td colspan="2">Cd</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Gallium</td></tr><tr><td colspan="2">112.41</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">69.72</td></tr></table>																30												31		30A												31A		Cd												Gallium		112.41												69.72																														
30												31																																																																																								
30A												31A																																																																																								
Cd												Gallium																																																																																								
112.41												69.72																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">31</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">32</td></tr><tr><td colspan="2">31A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">32A</td></tr><tr><td colspan="2">In</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Germanium</td></tr><tr><td colspan="2">114.82</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">72.61</td></tr></table>																31												32		31A												32A		In												Germanium		114.82												72.61																														
31												32																																																																																								
31A												32A																																																																																								
In												Germanium																																																																																								
114.82												72.61																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">32</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">33</td></tr><tr><td colspan="2">32A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">33A</td></tr><tr><td colspan="2">Sn</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Arsenic</td></tr><tr><td colspan="2">118.71</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">74.92</td></tr></table>																32												33		32A												33A		Sn												Arsenic		118.71												74.92																														
32												33																																																																																								
32A												33A																																																																																								
Sn												Arsenic																																																																																								
118.71												74.92																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">33</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">34</td></tr><tr><td colspan="2">33A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">34A</td></tr><tr><td colspan="2">Sb</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Selenium</td></tr><tr><td colspan="2">121.76</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">78.96</td></tr></table>																33												34		33A												34A		Sb												Selenium		121.76												78.96																														
33												34																																																																																								
33A												34A																																																																																								
Sb												Selenium																																																																																								
121.76												78.96																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">34</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">35</td></tr><tr><td colspan="2">34A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">35A</td></tr><tr><td colspan="2">Te</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Bromine</td></tr><tr><td colspan="2">127.6</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">79.90</td></tr></table>																34												35		34A												35A		Te												Bromine		127.6												79.90																														
34												35																																																																																								
34A												35A																																																																																								
Te												Bromine																																																																																								
127.6												79.90																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">35</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">36</td></tr><tr><td colspan="2">35A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">36A</td></tr><tr><td colspan="2">I</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Krypton</td></tr><tr><td colspan="2">126.90</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">83.80</td></tr></table>																35												36		35A												36A		I												Krypton		126.90												83.80																														
35												36																																																																																								
35A												36A																																																																																								
I												Krypton																																																																																								
126.90												83.80																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">36</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">37</td></tr><tr><td colspan="2">36A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">37A</td></tr><tr><td colspan="2">Xe</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Rubidium</td></tr><tr><td colspan="2">131.29</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">85.47</td></tr></table>																36												37		36A												37A		Xe												Rubidium		131.29												85.47																														
36												37																																																																																								
36A												37A																																																																																								
Xe												Rubidium																																																																																								
131.29												85.47																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">37</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">38</td></tr><tr><td colspan="2">37A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">38A</td></tr><tr><td colspan="2">Cs</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Strontium</td></tr><tr><td colspan="2">132.91</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">87.62</td></tr></table>																37												38		37A												38A		Cs												Strontium		132.91												87.62																														
37												38																																																																																								
37A												38A																																																																																								
Cs												Strontium																																																																																								
132.91												87.62																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">38</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">39</td></tr><tr><td colspan="2">38A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">39A</td></tr><tr><td colspan="2">Ba</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Yttrium</td></tr><tr><td colspan="2">137.33</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">88.91</td></tr></table>																38												39		38A												39A		Ba												Yttrium		137.33												88.91																														
38												39																																																																																								
38A												39A																																																																																								
Ba												Yttrium																																																																																								
137.33												88.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">39</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">40</td></tr><tr><td colspan="2">39A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">40A</td></tr><tr><td colspan="2">La</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Zirconium</td></tr><tr><td colspan="2">138.91</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">91.22</td></tr></table>																39												40		39A												40A		La												Zirconium		138.91												91.22																														
39												40																																																																																								
39A												40A																																																																																								
La												Zirconium																																																																																								
138.91												91.22																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">40</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">41</td></tr><tr><td colspan="2">40A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">41A</td></tr><tr><td colspan="2">Ce</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Niobium</td></tr><tr><td colspan="2">140.12</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">92.91</td></tr></table>																40												41		40A												41A		Ce												Niobium		140.12												92.91																														
40												41																																																																																								
40A												41A																																																																																								
Ce												Niobium																																																																																								
140.12												92.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">41</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">42</td></tr><tr><td colspan="2">41A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">42A</td></tr><tr><td colspan="2">Pr</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Molybdenum</td></tr><tr><td colspan="2">140.91</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">95.94</td></tr></table>																41												42		41A												42A		Pr												Molybdenum		140.91												95.94																														
41												42																																																																																								
41A												42A																																																																																								
Pr												Molybdenum																																																																																								
140.91												95.94																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">42</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">43</td></tr><tr><td colspan="2">42A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">43A</td></tr><tr><td colspan="2">Nd</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Technetium</td></tr><tr><td colspan="2">144.24</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">(98)</td></tr></table>																42												43		42A												43A		Nd												Technetium		144.24												(98)																														
42												43																																																																																								
42A												43A																																																																																								
Nd												Technetium																																																																																								
144.24												(98)																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">43</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">44</td></tr><tr><td colspan="2">43A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">44A</td></tr><tr><td colspan="2">Pm</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Ruthenium</td></tr><tr><td colspan="2">(145)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">101.07</td></tr></table>																43												44		43A												44A		Pm												Ruthenium		(145)												101.07																														
43												44																																																																																								
43A												44A																																																																																								
Pm												Ruthenium																																																																																								
(145)												101.07																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">44</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">45</td></tr><tr><td colspan="2">44A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">45A</td></tr><tr><td colspan="2">Sm</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Rhodium</td></tr><tr><td colspan="2">150.36</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">102.91</td></tr></table>																44												45		44A												45A		Sm												Rhodium		150.36												102.91																														
44												45																																																																																								
44A												45A																																																																																								
Sm												Rhodium																																																																																								
150.36												102.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">45</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">46</td></tr><tr><td colspan="2">45A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">46A</td></tr><tr><td colspan="2">Eu</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Palladium</td></tr><tr><td colspan="2">151.96</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">106.42</td></tr></table>																45												46		45A												46A		Eu												Palladium		151.96												106.42																														
45												46																																																																																								
45A												46A																																																																																								
Eu												Palladium																																																																																								
151.96												106.42																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">46</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">47</td></tr><tr><td colspan="2">46A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">47A</td></tr><tr><td colspan="2">Gd</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Silver</td></tr><tr><td colspan="2">157.25</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">107.87</td></tr></table>																46												47		46A												47A		Gd												Silver		157.25												107.87																														
46												47																																																																																								
46A												47A																																																																																								
Gd												Silver																																																																																								
157.25												107.87																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">47</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">48</td></tr><tr><td colspan="2">47A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">48A</td></tr><tr><td colspan="2">Tb</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Copper</td></tr><tr><td colspan="2">158.93</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">63.55</td></tr></table>																47												48		47A												48A		Tb												Copper		158.93												63.55																														
47												48																																																																																								
47A												48A																																																																																								
Tb												Copper																																																																																								
158.93												63.55																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">48</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">49</td></tr><tr><td colspan="2">48A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">49A</td></tr><tr><td colspan="2">Dy</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Zinc</td></tr><tr><td colspan="2">162.50</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">65.39</td></tr></table>																48												49		48A												49A		Dy												Zinc		162.50												65.39																														
48												49																																																																																								
48A												49A																																																																																								
Dy												Zinc																																																																																								
162.50												65.39																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">49</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">50</td></tr><tr><td colspan="2">49A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">50A</td></tr><tr><td colspan="2">Ho</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Gallium</td></tr><tr><td colspan="2">164.93</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">69.72</td></tr></table>																49												50		49A												50A		Ho												Gallium		164.93												69.72																														
49												50																																																																																								
49A												50A																																																																																								
Ho												Gallium																																																																																								
164.93												69.72																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">50</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">51</td></tr><tr><td colspan="2">50A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">51A</td></tr><tr><td colspan="2">Er</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Germanium</td></tr><tr><td colspan="2">167.26</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">72.61</td></tr></table>																50												51		50A												51A		Er												Germanium		167.26												72.61																														
50												51																																																																																								
50A												51A																																																																																								
Er												Germanium																																																																																								
167.26												72.61																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">51</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">52</td></tr><tr><td colspan="2">51A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">52A</td></tr><tr><td colspan="2">Tm</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Arsenic</td></tr><tr><td colspan="2">168.93</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">74.92</td></tr></table>																51												52		51A												52A		Tm												Arsenic		168.93												74.92																														
51												52																																																																																								
51A												52A																																																																																								
Tm												Arsenic																																																																																								
168.93												74.92																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">52</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">53</td></tr><tr><td colspan="2">52A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">53A</td></tr><tr><td colspan="2">Yb</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Selenium</td></tr><tr><td colspan="2">173.04</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">78.96</td></tr></table>																52												53		52A												53A		Yb												Selenium		173.04												78.96																														
52												53																																																																																								
52A												53A																																																																																								
Yb												Selenium																																																																																								
173.04												78.96																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">53</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">54</td></tr><tr><td colspan="2">53A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">54A</td></tr><tr><td colspan="2">Lu</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Bromine</td></tr><tr><td colspan="2">174.97</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">79.90</td></tr></table>																53												54		53A												54A		Lu												Bromine		174.97												79.90																														
53												54																																																																																								
53A												54A																																																																																								
Lu												Bromine																																																																																								
174.97												79.90																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">54</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">55</td></tr><tr><td colspan="2">54A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">55A</td></tr><tr><td colspan="2">Hf</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Strontium</td></tr><tr><td colspan="2">178.49</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">87.62</td></tr></table>																54												55		54A												55A		Hf												Strontium		178.49												87.62																														
54												55																																																																																								
54A												55A																																																																																								
Hf												Strontium																																																																																								
178.49												87.62																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">55</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">56</td></tr><tr><td colspan="2">55A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">56A</td></tr><tr><td colspan="2">Ta</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Yttrium</td></tr><tr><td colspan="2">180.95</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">88.91</td></tr></table>																55												56		55A												56A		Ta												Yttrium		180.95												88.91																														
55												56																																																																																								
55A												56A																																																																																								
Ta												Yttrium																																																																																								
180.95												88.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">56</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">57</td></tr><tr><td colspan="2">56A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">57A</td></tr><tr><td colspan="2">W</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Zirconium</td></tr><tr><td colspan="2">183.84</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">91.22</td></tr></table>																56												57		56A												57A		W												Zirconium		183.84												91.22																														
56												57																																																																																								
56A												57A																																																																																								
W												Zirconium																																																																																								
183.84												91.22																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">57</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">58</td></tr><tr><td colspan="2">57A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">58A</td></tr><tr><td colspan="2">Re</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Niobium</td></tr><tr><td colspan="2">186.21</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">92.91</td></tr></table>																57												58		57A												58A		Re												Niobium		186.21												92.91																														
57												58																																																																																								
57A												58A																																																																																								
Re												Niobium																																																																																								
186.21												92.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">58</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">59</td></tr><tr><td colspan="2">58A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">59A</td></tr><tr><td colspan="2">Os</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Molybdenum</td></tr><tr><td colspan="2">190.23</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">95.94</td></tr></table>																58												59		58A												59A		Os												Molybdenum		190.23												95.94																														
58												59																																																																																								
58A												59A																																																																																								
Os												Molybdenum																																																																																								
190.23												95.94																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">59</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">60</td></tr><tr><td colspan="2">59A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">60A</td></tr><tr><td colspan="2">Ir</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Technetium</td></tr><tr><td colspan="2">192.22</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">(98)</td></tr></table>																59												60		59A												60A		Ir												Technetium		192.22												(98)																														
59												60																																																																																								
59A												60A																																																																																								
Ir												Technetium																																																																																								
192.22												(98)																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">60</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">61</td></tr><tr><td colspan="2">60A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">61A</td></tr><tr><td colspan="2">Pt</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Ruthenium</td></tr><tr><td colspan="2">195.08</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">101.07</td></tr></table>																60												61		60A												61A		Pt												Ruthenium		195.08												101.07																														
60												61																																																																																								
60A												61A																																																																																								
Pt												Ruthenium																																																																																								
195.08												101.07																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">61</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">62</td></tr><tr><td colspan="2">61A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">62A</td></tr><tr><td colspan="2">Au</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Rhodium</td></tr><tr><td colspan="2">196.97</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">102.91</td></tr></table>																61												62		61A												62A		Au												Rhodium		196.97												102.91																														
61												62																																																																																								
61A												62A																																																																																								
Au												Rhodium																																																																																								
196.97												102.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">62</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">63</td></tr><tr><td colspan="2">62A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">63A</td></tr><tr><td colspan="2">Hg</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Palladium</td></tr><tr><td colspan="2">200.59</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">106.42</td></tr></table>																62												63		62A												63A		Hg												Palladium		200.59												106.42																														
62												63																																																																																								
62A												63A																																																																																								
Hg												Palladium																																																																																								
200.59												106.42																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">63</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">64</td></tr><tr><td colspan="2">63A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">64A</td></tr><tr><td colspan="2">Tl</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Silver</td></tr><tr><td colspan="2">204.38</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">107.87</td></tr></table>																63												64		63A												64A		Tl												Silver		204.38												107.87																														
63												64																																																																																								
63A												64A																																																																																								
Tl												Silver																																																																																								
204.38												107.87																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">64</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">65</td></tr><tr><td colspan="2">64A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">65A</td></tr><tr><td colspan="2">Pb</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Copper</td></tr><tr><td colspan="2">207.2</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">63.55</td></tr></table>																64												65		64A												65A		Pb												Copper		207.2												63.55																														
64												65																																																																																								
64A												65A																																																																																								
Pb												Copper																																																																																								
207.2												63.55																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">65</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">66</td></tr><tr><td colspan="2">65A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">66A</td></tr><tr><td colspan="2">Bi</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Zinc</td></tr><tr><td colspan="2">208.98</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">65.39</td></tr></table>																65												66		65A												66A		Bi												Zinc		208.98												65.39																														
65												66																																																																																								
65A												66A																																																																																								
Bi												Zinc																																																																																								
208.98												65.39																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">66</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">67</td></tr><tr><td colspan="2">66A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">67A</td></tr><tr><td colspan="2">Po</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Gallium</td></tr><tr><td colspan="2">(209)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">69.72</td></tr></table>																66												67		66A												67A		Po												Gallium		(209)												69.72																														
66												67																																																																																								
66A												67A																																																																																								
Po												Gallium																																																																																								
(209)												69.72																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">67</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">68</td></tr><tr><td colspan="2">67A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">68A</td></tr><tr><td colspan="2">At</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Germanium</td></tr><tr><td colspan="2">(210)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">72.61</td></tr></table>																67												68		67A												68A		At												Germanium		(210)												72.61																														
67												68																																																																																								
67A												68A																																																																																								
At												Germanium																																																																																								
(210)												72.61																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">68</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">69</td></tr><tr><td colspan="2">68A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">69A</td></tr><tr><td colspan="2">Rn</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Arsenic</td></tr><tr><td colspan="2">(222)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">74.92</td></tr></table>																68												69		68A												69A		Rn												Arsenic		(222)												74.92																														
68												69																																																																																								
68A												69A																																																																																								
Rn												Arsenic																																																																																								
(222)												74.92																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">69</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">70</td></tr><tr><td colspan="2">69A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">70A</td></tr><tr><td colspan="2">Fr</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Selenium</td></tr><tr><td colspan="2">(223)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">78.96</td></tr></table>																69												70		69A												70A		Fr												Selenium		(223)												78.96																														
69												70																																																																																								
69A												70A																																																																																								
Fr												Selenium																																																																																								
(223)												78.96																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">70</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">71</td></tr><tr><td colspan="2">70A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">71A</td></tr><tr><td colspan="2">Ra</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Bromine</td></tr><tr><td colspan="2">(226)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">79.90</td></tr></table>																70												71		70A												71A		Ra												Bromine		(226)												79.90																														
70												71																																																																																								
70A												71A																																																																																								
Ra												Bromine																																																																																								
(226)												79.90																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">71</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">72</td></tr><tr><td colspan="2">71A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">72A</td></tr><tr><td colspan="2">Ac</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Strontium</td></tr><tr><td colspan="2">(227)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">87.62</td></tr></table>																71												72		71A												72A		Ac												Strontium		(227)												87.62																														
71												72																																																																																								
71A												72A																																																																																								
Ac												Strontium																																																																																								
(227)												87.62																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">72</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">73</td></tr><tr><td colspan="2">72A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">73A</td></tr><tr><td colspan="2">Th</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Yttrium</td></tr><tr><td colspan="2">232.04</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">88.91</td></tr></table>																72												73		72A												73A		Th												Yttrium		232.04												88.91																														
72												73																																																																																								
72A												73A																																																																																								
Th												Yttrium																																																																																								
232.04												88.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">73</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">74</td></tr><tr><td colspan="2">73A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">74A</td></tr><tr><td colspan="2">Pa</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Zirconium</td></tr><tr><td colspan="2">231.04</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">91.22</td></tr></table>																73												74		73A												74A		Pa												Zirconium		231.04												91.22																														
73												74																																																																																								
73A												74A																																																																																								
Pa												Zirconium																																																																																								
231.04												91.22																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">74</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">75</td></tr><tr><td colspan="2">74A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">75A</td></tr><tr><td colspan="2">U</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Niobium</td></tr><tr><td colspan="2">238.03</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">92.91</td></tr></table>																74												75		74A												75A		U												Niobium		238.03												92.91																														
74												75																																																																																								
74A												75A																																																																																								
U												Niobium																																																																																								
238.03												92.91																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">75</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">76</td></tr><tr><td colspan="2">75A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">76A</td></tr><tr><td colspan="2">Np</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Molybdenum</td></tr><tr><td colspan="2">(237)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">95.94</td></tr></table>																75												76		75A												76A		Np												Molybdenum		(237)												95.94																														
75												76																																																																																								
75A												76A																																																																																								
Np												Molybdenum																																																																																								
(237)												95.94																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">76</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">77</td></tr><tr><td colspan="2">76A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">77A</td></tr><tr><td colspan="2">Pu</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Technetium</td></tr><tr><td colspan="2">(244)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">(98)</td></tr></table>																76												77		76A												77A		Pu												Technetium		(244)												(98)																														
76												77																																																																																								
76A												77A																																																																																								
Pu												Technetium																																																																																								
(244)												(98)																																																																																								
<table><tr><td colspan="2">77</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">78</td></tr><tr><td colspan="2">77A</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">78A</td></tr><tr><td colspan="2">Am</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">Ruthenium</td></tr><tr><td colspan="2">(243)</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">101.07</td></tr></table>																77												78		77A												78A		Am												Ruthenium		(243)												101.07																														
77												78																																																																																								
77A												78A																																																																																								
Am												Ruthenium																																																																																								
(243)												101.07																																																																																								

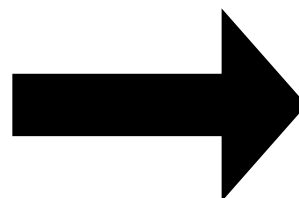


↑
(異なる)
元素

ホウ素
ベリリウム
リチウム
ヘリウム
水素

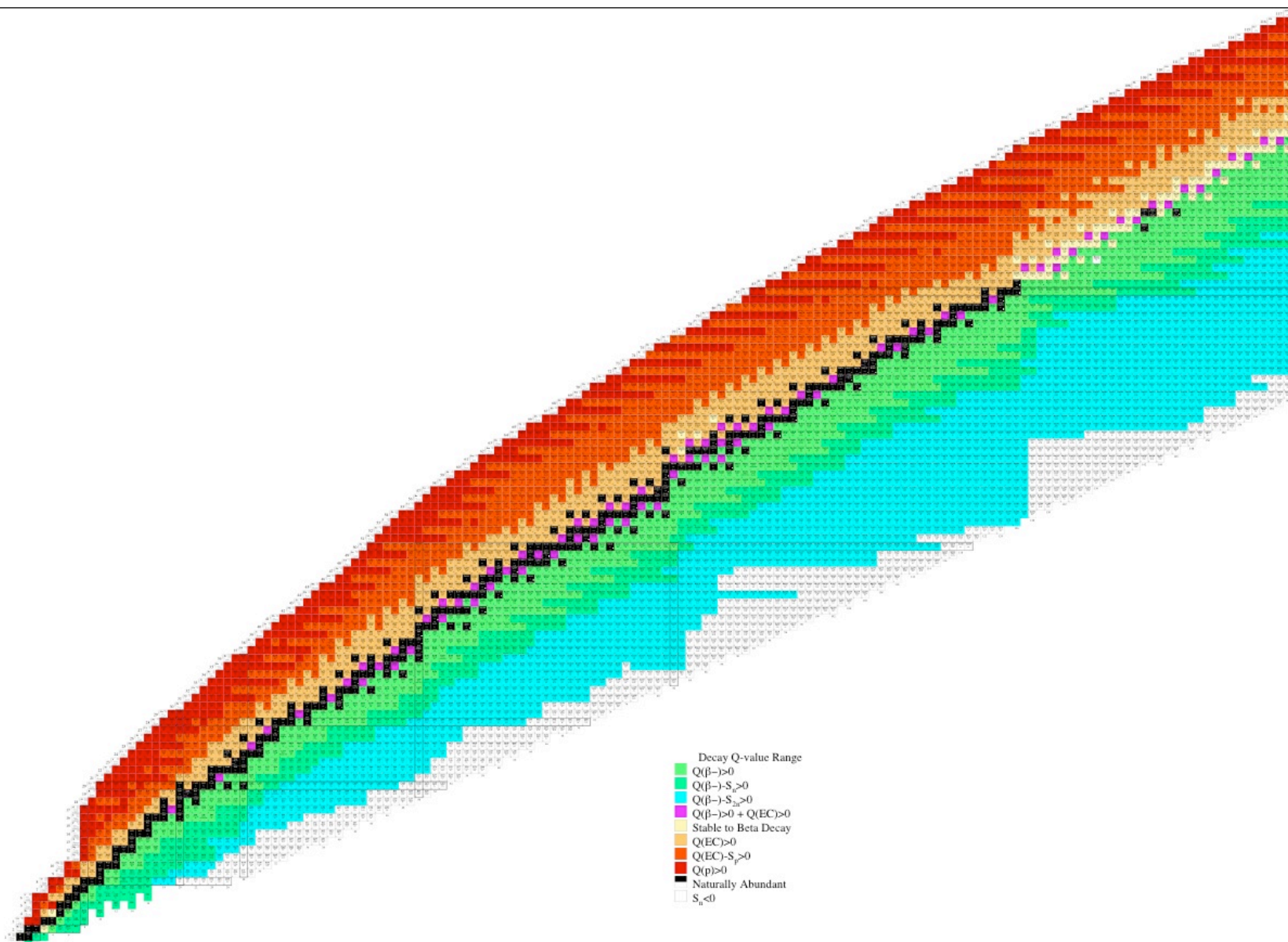
				B7 1.4 MeV (3/2-)	B8 770 ms 2+	B9 0.54 keV 3/2-	B10 3+	B11 3/2-	B12 20.20 ms 1+	
					EC2α	2pα	19.9	80.1	β-3α	β-
	Be5	Be6 92 keV 0+	Be7 53.29 d 3/2-	Be8 6.8 eV 0+	Be9 3/2-	Be10 1.51E+6 y 0+	Be11 13.81 s 1/2+			
		2p	EC	2α	100	β-	β-α	β-		
	Li4 2-	Li5 1.5 MeV 3/2-	Li6 1+	Li7 3/2-	Li8 838 ms 2+	Li9 178.3 ms 3/2-	Li10 1.2 MeV			
		p	7.5	92.5	β-2α	β-n	n	β-		
	He3 1/2+	He4 0+	He5 0.60 MeV 3/2-	He6 806.7 ms 0+	He7 160 keV (3/2-)	He8 119.0 ms 0+	He9 0.30 MeV (1/2-)			
				β-	n	β-n	n	n		
	H1 1/2+	H2 1+	H3 12.33 y 1/2+	H4 2-	H5	H6	6			
	99.985	0.015	β-							
		n1 614.8 s 1/2+								
		β-								

(異なる)
同位体



↑
(異なる)
元素

(異なる)
同位体 →



原子炉はウラン(U)を核分裂させる

原子炉出力(エネルギー)の95%は
ウランの核分裂による

残り5%はその後の核分裂
生成物の崩壊による

核分裂生成物は色々
な種類の元素を含ん
でいる

↑
(異なる)
元素

(異なる)
同位体 →

ウランと
プルトニウム

安定な同位体

核分裂生成物

核分裂

Decay Q-value Range

- $Q(\beta^-) > 0$
- $Q(\beta^-) - S_{\beta^-} > 0$
- $Q(\beta^-) - S_{\beta^-} > 0$
- $Q(\beta^-) > 0 + Q(EC) > 0$
- Stable to Beta Decay
- $Q(EC) > 0$
- $Q(EC) - S_{\beta^-} > 0$
- $Q(p) > 0$
- Naturally Abundant
- $S_n < 0$

原子炉が動いているとき、核分裂
で出る中性子は燃料や炉の構成物
と反応して不安定な元素(放射性
物質)を作りだす

燃料での中性子捕捉

マイナーアクチノイド

ウランと
プルトニウム

安定な同位体

核分裂生成物

核分裂

↑
Different
elements

→
Different
isotopes

水、空気、原子炉構成物
での中性子捕捉

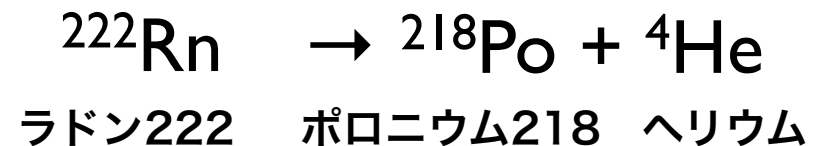
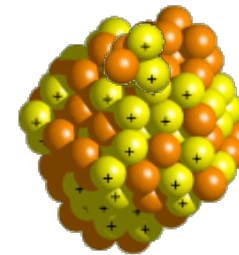
放射能を持つようになる

Decay Q-value Range
Q(β^-) > 0
Q(β^-) - S_{ν} > 0
Q(β^-) - S_{ν} > 0
OR S_{ν} > 0

放射線の影響

アルファ崩壊：

マイナーアクチノイドに共通
(原子10個を通り過ぎるごとに1個影響を与える)

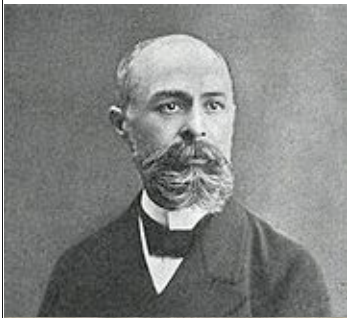


ベータ崩壊、ガンマ崩壊：

核分裂生成物
(原子3000個を通り過ぎるごとに1個影響を与える)



どのくらいのダメージ？

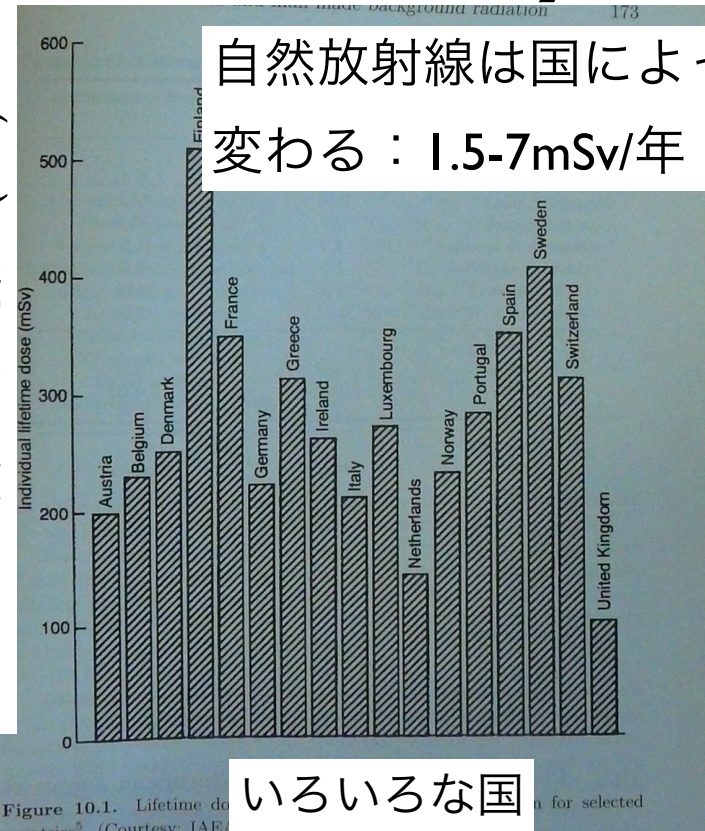


- 1 ベクレル(Bq) = 1 秒に 1 回の崩壊
 - 1 キュリー(Ci) = 1 秒に 3 7 0 億回の崩壊 (古い単位)
 - 量の単位であり、「燃料プールには2000万キュリーのセシウム137がある」のように用いる。
 - 1 グレイ(Gy) = 体重 1 gあたり 10億回のウラン238の崩壊を吸収、あるいは100億回のセシウム137の崩壊を吸収することに相当
 - 1 シーベルト(Sv) = 体重 1 gあたり 5000万回のウラン238の崩壊、あるいは100億回のセシウム137の崩壊を吸収に相当
 - 被曝量の単位 (吸収線量) であり、人体組織の化学結合がどれだけの割合でダメージを受けたかを示す。
- 核分裂生成物に対しては、グレイ = シーベルト
- (Gr, Svの説明は厳密な定義ではありません)

放射線量：計算の初歩

- 私たちは、常に自然界の放射線を浴びている。
 - 体内の天然カリウム40から
～ 0.2ミリシーベルト/年
 - 空気中の天然ラドン222から
～ 1ミリシーベルト/年
- コロラド州デンバーに引越す→
～ 1ミリシーベルト/年を追加
- 航空機の客室乗務員なら→
～ 数ミリシーベルト/年を追加

一生に受ける放射線量(mSv)



教訓：数ミリシーベルト (mSv) の被曝は全く心配する必要はない（しかしmSv/時を長時間蓄積するのは良くない）

放射線被曝とガンの発生率

生体組織の電離 $\approx$ DNAの損傷 (まれに)

DNAの損傷 $\approx$ 細胞の変化 (まれに)

細胞の変化 $\approx$ ガン (まれに)

ガンの種類		1000mSvの被曝時、10000人当たり ガン発生増加 (人)
白血病	教訓 : 1 Sv = 1000 mSv を被曝することは運転中に 携帯メールを打つ危険と同 じ程度で、避けた ほうがよいのは確か。。。。	3
乳ガン		7
甲状腺ガン		1.6
肺ガン		4
胃ガン		5
結腸ガン		2

急性の放射線障害

教訓：5Sv以上 = 命の危険:逃げる

- 非常に稀な事故
 - スローティンの事故：21 Sv、犠牲者は9日後に死亡
 - ダリアンの事故：5 Sv、犠牲者は1ヶ月後に死亡
 - ゴイアニアの事故：5 Sv/時の医療放射線源が盗難
4名が死亡（全員> 5 Sv）、15名が入院（全員0.5から5 Svの間）
 - チェルノブイリの初期作業員：多くの地点で> 10 Sv/時。
30名が死亡、200名が入院
 - 広島、長崎の多くの犠牲者

ニュースに出てくる単位

The New York Times ニューヨーク・タイムズ
故障した原子炉の最後の防衛：50人の作業員

火曜日の2号機内部の爆発と4号機での火災のあと、原子炉近くの放射線は毎時400ミリシーベルトに達したと言われたが、その後発電所正門で0.6ミリシーベルトまで下がった。



発電所敷地境界での放射線レベルは一時的に毎時8217マイクロシーベルトになったが、その後約3分の1まで減った。

← 5000ミリシーベルト = 致死量ですから、
毎時400mSvの所に $5000/400 = 12$ 時間いれば
生命の危険があります。

← 毎時0.6ミリシーベルト

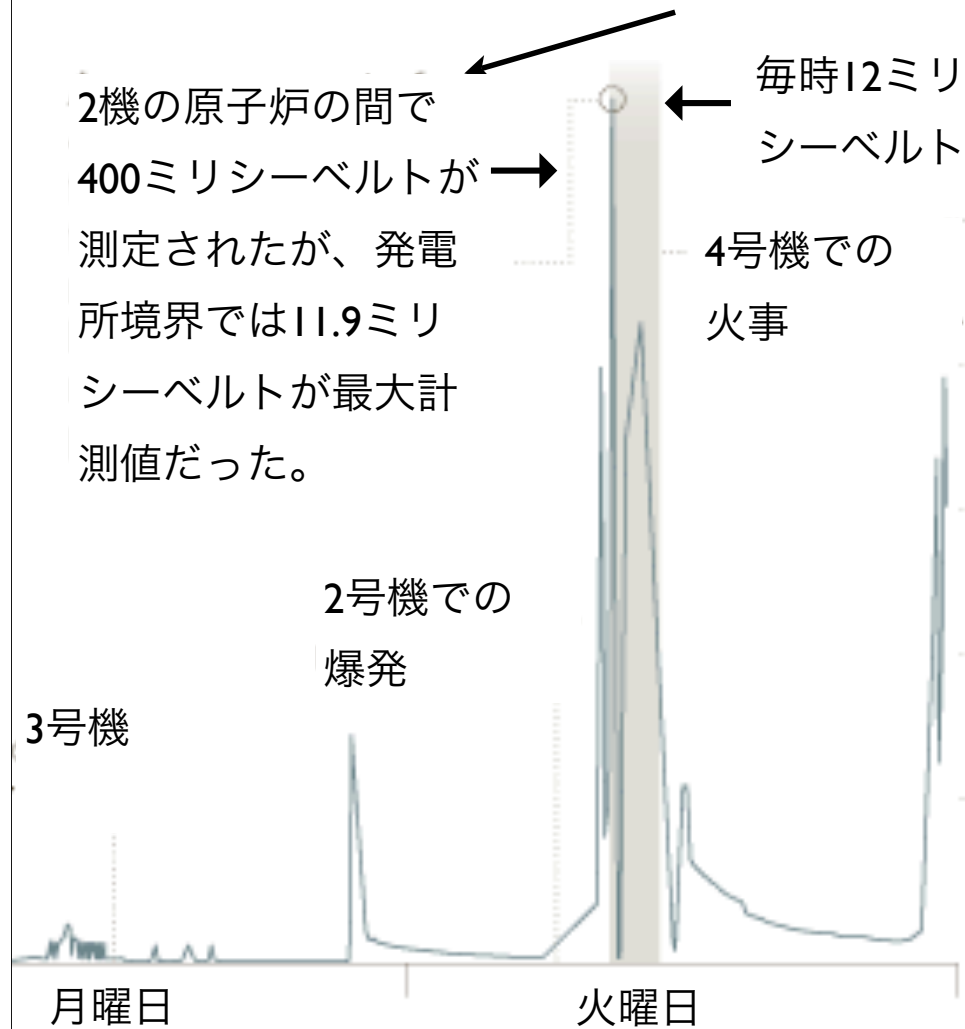
1000mSv = 運転中の携帯メール

$1000 / 0.6 = 2$ ヶ月間で

← $8000 \mu\text{Sv/時} = 8 \text{ mSv/時}$

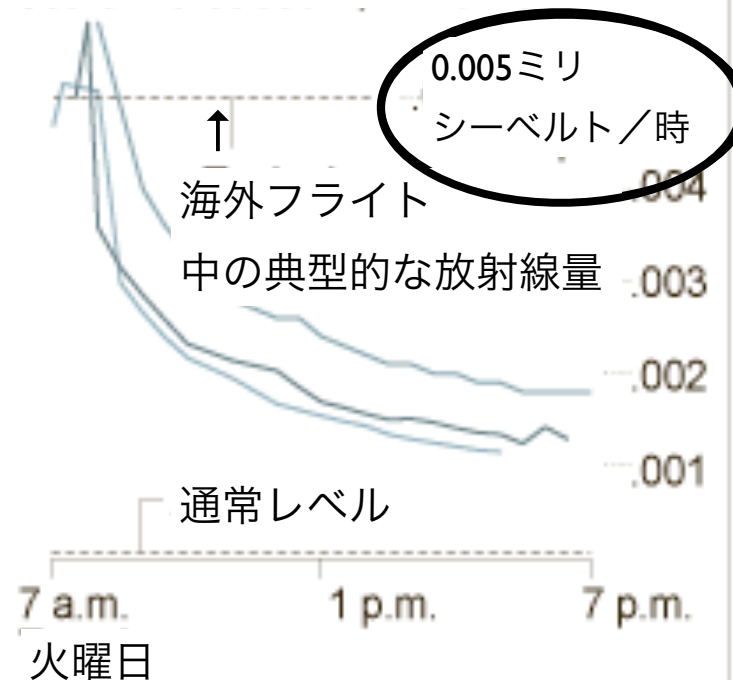
この記事が意味しているのは 「毎時」ミリシーベルト

NYTimes.com



南側にあるいくつかの市で放射線レベルの上昇が見られたが、健康被害を及ぼすレベルより遥かに低く、下がりつつある。

東海村の3ヶ所での測定値。比較のため、1000倍したスケール。

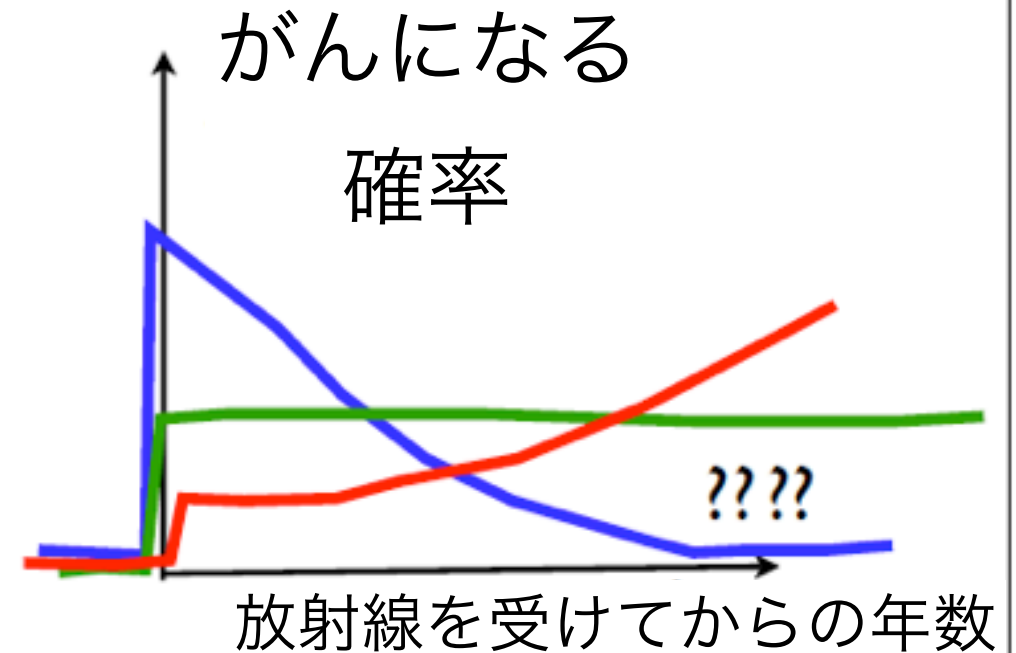
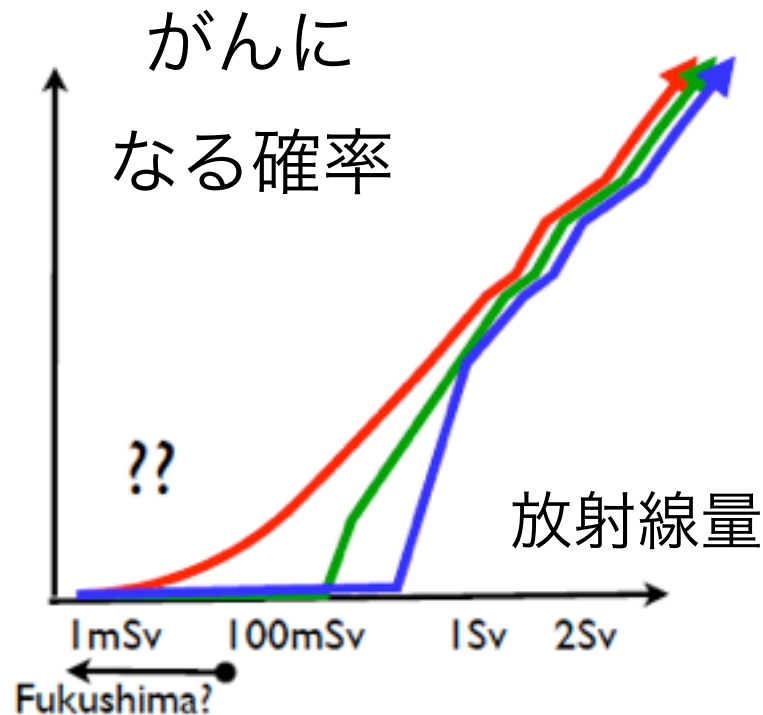


放射線量と危険度は比例するか

低量被曝の場合

- 可能性はあるが、低量被曝による危険性の増加が検証できないためよくわからない。

(チェルノブイリの場所：100ミリシーベルトで甲状腺がん)



赤緑青は異なる発ガンモデル

何が放出されているか？

ウランと
プルトニウム

マイナーアクチノイド

安定な同位体

核分裂生成物

↑
Different
elements

→
Different
isotopes

放射能を持つようになる(放射化される)

Decay Q-value Range
 $Q(\beta^-) > 0$
 $Q(\beta^-) - S_n > 0$
 $Q(\beta^-) - S_p > 0$
 $Q(\beta^-) > 0 + Q(\text{EC}) > 0$
Stable to Beta Decay
 $Q(\text{EC}) > 0$
 $Q(\text{EC}) - S_n > 0$
 $Q(\alpha) > 0$
Naturally Abundant
 $S_n < 0$

放射能を持つようになるもの

Key

11	Atomic number
Na	Element symbol
Sodium	Element name
22.99	Average atomic mass*

核分裂生成物

マイナーアクチノイド

* If this number is in parentheses, then it refers to the atomic mass of the most stable isotope.

The periodic table is color-coded into several regions: Group 1A is yellow; Groups 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, and 7A are pink; Groups 8A, 9A, 10A, 11A, and 12A are yellow; Groups 13A, 14A, 15A, 16A, and 17A are cyan; Groups 18A, 19A, 20A, 21A, 22A, 23A, 24A, 25A, 26A, 27A, 28A, 29A, 30A, 31A, 32A, 33A, 34A, 35A, 36A, 37A, 38A, 39A, 40A, 41A, 42A, 43A, 44A, 45A, 46A, 47A, 48A, 49A, 50A, 51A, 52A, 53A, 54A, 55A, 56A, 57A, 58A, 59A, 60A, 61A, 62A, 63A, 64A, 65A, 66A, 67A, 68A, 69A, 70A, 71A, 72A, 73A, 74A, 75A, 76A, 77A, 78A, 79A, 80A, 81A, 82A, 83A, 84A, 85A, 86A, 87A, 88A, 89A, 90A, 91A, 92A, 93A, 94A, 95A, 96A, 97A, 98A, 99A, 100A, 101A, 102A, 103A, 104A, 105A, 106A, 107A, 108A, 109A, 110A, 111A, 112A, 113A, 114A, 115A, 116A, 117A, 118A, 119A, 120A, 121A, 122A, 123A, 124A, 125A, 126A, 127A, 128A, 129A, 130A, 131A, 132A, 133A, 134A, 135A, 136A, 137A, 138A, 139A, 140A, 141A, 142A, 143A, 144A, 145A, 146A, 147A, 148A, 149A, 150A, 151A, 152A, 153A, 154A, 155A, 156A, 157A, 158A, 159A, 160A, 161A, 162A, 163A, 164A, 165A, 166A, 167A, 168A, 169A, 170A, 171A, 172A, 173A, 174A, 175A, 176A, 177A, 178A, 179A, 180A, 181A, 182A, 183A, 184A, 185A, 186A, 187A, 188A, 189A, 190A, 191A, 192A, 193A, 194A, 195A, 196A, 197A, 198A, 199A, 200A, 201A, 202A, 203A, 204A, 205A, 206A, 207A, 208A, 209A, 210A, 211A, 212A, 213A, 214A, 215A, 216A, 217A, 218A, 219A, 220A, 221A, 222A, 223A, 224A, 225A, 226A, 227A, 228A, 229A, 230A, 231A, 232A, 233A, 234A, 235A, 236A, 237A, 238A, 239A, 240A, 241A, 242A, 243A, 244A, 245A, 246A, 247A, 248A, 249A, 250A, 251A, 252A, 253A, 254A, 255A, 256A, 257A, 258A, 259A, 260A, 261A, 262A, 263A, 264A, 265A, 266A, 267A, 268A, 269A, 270A, 271A, 272A, 273A, 274A, 275A, 276A, 277A, 278A, 279A, 280A, 281A, 282A, 283A, 284A, 285A, 286A, 287A, 288A, 289A, 290A, 291A, 292A, 293A, 294A, 295A, 296A, 297A, 298A, 299A, 300A, 301A, 302A, 303A, 304A, 305A, 306A, 307A, 308A, 309A, 310A, 311A, 312A, 313A, 314A, 315A, 316A, 317A, 318A, 319A, 320A, 321A, 322A, 323A, 324A, 325A, 326A, 327A, 328A, 329A, 330A, 331A, 332A, 333A, 334A, 335A, 336A, 337A, 338A, 339A, 340A, 341A, 342A, 343A, 344A, 345A, 346A, 347A, 348A, 349A, 350A, 351A, 352A, 353A, 354A, 355A, 356A, 357A, 358A, 359A, 360A, 361A, 362A, 363A, 364A, 365A, 366A, 367A, 368A, 369A, 370A, 371A, 372A, 373A, 374A, 375A, 376A, 377A, 378A, 379A, 380A, 381A, 382A, 383A, 384A, 385A, 386A, 387A, 388A, 389A, 390A, 391A, 392A, 393A, 394A, 395A, 396A, 397A, 398A, 399A, 400A, 401A, 402A, 403A, 404A, 405A, 406A, 407A, 408A, 409A, 410A, 411A, 412A, 413A, 414A, 415A, 416A, 417A, 418A, 419A, 420A, 421A, 422A, 423A, 424A, 425A, 426A, 427A, 428A, 429A, 430A, 431A, 432A, 433A, 434A, 435A, 436A, 437A, 438A, 439A, 440A, 441A, 442A, 443A, 444A, 445A, 446A, 447A, 448A, 449A, 450A, 451A, 452A, 453A, 454A, 455A, 456A, 457A, 458A, 459A, 460A, 461A, 462A, 463A, 464A, 465A, 466A, 467A, 468A, 469A, 470A, 471A, 472A, 473A, 474A, 475A, 476A, 477A, 478A, 479A, 480A, 481A, 482A, 483A, 484A, 485A, 486A, 487A, 488A, 489A, 490A, 491A, 492A, 493A, 494A, 495A, 496A, 497A, 498A, 499A, 500A, 501A, 502A, 503A, 504A, 505A, 506A, 507A, 508A, 509A, 510A, 511A, 512A, 513A, 514A, 515A, 516A, 517A, 518A, 519A, 520A, 521A, 522A, 523A, 524A, 525A, 526A, 527A, 528A, 529A, 530A, 531A, 532A, 533A, 534A, 535A, 536A, 537A, 538A, 539A, 540A, 541A, 542A, 543A, 544A, 545A, 546A, 547A, 548A, 549A, 550A, 551A, 552A, 553A, 554A, 555A, 556A, 557A, 558A, 559A, 560A, 561A, 562A, 563A, 564A, 565A, 566A, 567A, 568A, 569A, 570A, 571A, 572A, 573A, 574A, 575A, 576A, 577A, 578A, 579A, 580A, 581A, 582A, 583A, 584A, 585A, 586A, 587A, 588A, 589A, 590A, 591A, 592A, 593A, 594A, 595A, 596A, 597A, 598A, 599A, 600A, 601A, 602A, 603A, 604A, 605A, 606A, 607A, 608A, 609A, 610A, 611A, 612A, 613A, 614A, 615A, 616A, 617A, 618A, 619A, 620A, 621A, 622A, 623A, 624A, 625A, 626A, 627A, 628A, 629A, 630A, 631A, 632A, 633A, 634A, 635A, 636A, 637A, 638A, 639A, 640A, 641A, 642A, 643A, 644A, 645A, 646A, 647A, 648A, 649A, 650A, 651A, 652A, 653A, 654A, 655A, 656A, 657A, 658A, 659A, 660A, 661A, 662A, 663A, 664A, 665A, 666A, 667A, 668A, 669A, 670A, 671A, 672A, 673A, 674A, 675A, 676A, 677A, 678A, 679A, 680A, 681A, 682A, 683A, 684A, 685A, 686A, 687A, 688A, 689A, 690A, 691A, 692A, 693A, 694A, 695A, 696A, 697A, 698A, 699A, 700A, 701A, 702A, 703A, 704A, 705A, 706A, 707A, 708A, 709A, 710A, 711A, 712A, 713A, 714A, 715A, 716A, 717A, 718A, 719A, 720A, 721A, 722A, 723A, 724A, 725A, 726A, 727A, 728A, 729A, 730A, 731A, 732A, 733A, 734A, 735A, 736A, 737A, 738A, 739A, 740A, 741A, 742A, 743A, 744A, 745A, 746A, 747A, 748A, 749A, 750A, 751A, 752A, 753A, 754A, 755A, 756A, 757A, 758A, 759A, 760A, 761A, 762A, 763A, 764A, 765A, 766A, 767A, 768A, 769A, 770A, 771A, 772A, 773A, 774A, 775A, 776A, 777A, 778A, 779A, 780A, 781A, 782A, 783A, 784A, 785A, 786A, 787A, 788A, 789A, 790A, 791A, 792A, 793A, 794A, 795A, 796A, 797A, 798A, 799A, 800A, 801A, 802A, 803A, 804A, 805A, 806A, 807A, 808A, 809A, 810A, 811A, 812A, 813A, 814A, 815A, 816A, 817A, 818A, 819A, 820A, 821A, 822A, 823A, 824A, 825A, 826A, 827A, 828A, 829A, 830A, 831A, 832A, 833A, 834A, 835A, 836A, 837A, 838A, 839A, 840A, 841A, 842A, 843A, 844A, 845A, 846A, 847A, 848A, 849A, 850A, 851A, 852A, 853A, 854A, 855A, 856A, 857A, 858A, 859A, 860A, 861A, 862A, 863A, 864A, 865A, 866A, 867A, 868A, 869A, 870A, 871A, 872A, 873A, 874A, 875A, 876A, 877A, 878A, 879A, 880A, 881A, 882A, 883A, 884A, 885A, 886A, 887A, 888A, 889A, 890A, 891A, 892A, 893A, 894A, 895A, 896A, 897A, 898A, 899A, 900A, 901A, 902A, 903A, 904A, 905A, 906A, 907A, 908A, 909A, 910A, 911A, 912A, 913A, 914A, 915A, 916A, 917A, 918A, 919A, 920A, 921A, 922A, 923A, 924A, 925A, 926A, 927A, 928A, 929A, 930A, 931A, 932A, 933A, 934A, 935A, 936A, 937A, 938A, 939A, 940A, 941A, 942A, 943A, 944A, 945A, 946A, 947A, 948A, 949A, 950A, 951A, 952A, 953A, 954A, 955A, 956A, 957A, 958A, 959A, 960A, 961A, 962A, 963A, 964A, 965A, 966A, 967A, 968A, 969A, 970A, 971A, 972A, 973A, 974A, 975A, 976A, 977A, 978A, 979A, 980A, 981A, 982A, 983A, 984A, 985A, 986A, 987A, 988A, 989A, 990A, 991A, 992A, 993A, 994A, 995A, 996A, 997A, 998A, 999A, 1000A.

Key

11	Atomic number
Na	Element symbol
Sodium	Element name
22.99	Average atomic mass*

水に溶けるもの (Water-soluble substances) - Indicated by a blue circle around Group 1A.

気体 (Gases) - Indicated by a blue circle around Groups 14A, 15A, 16A, and 17A.

不活性金属 (Noble metals) - Indicated by a blue circle around Groups 8A, 9A, 10A, 11A, and 12A.

* If this number is in parentheses, then it refers to the atomic mass of the most stable isotope.

Healthy reactor:

健全な原子炉

ジルコニウムの被覆内

核燃料と核分裂生成物

とアクチノイド類

水中

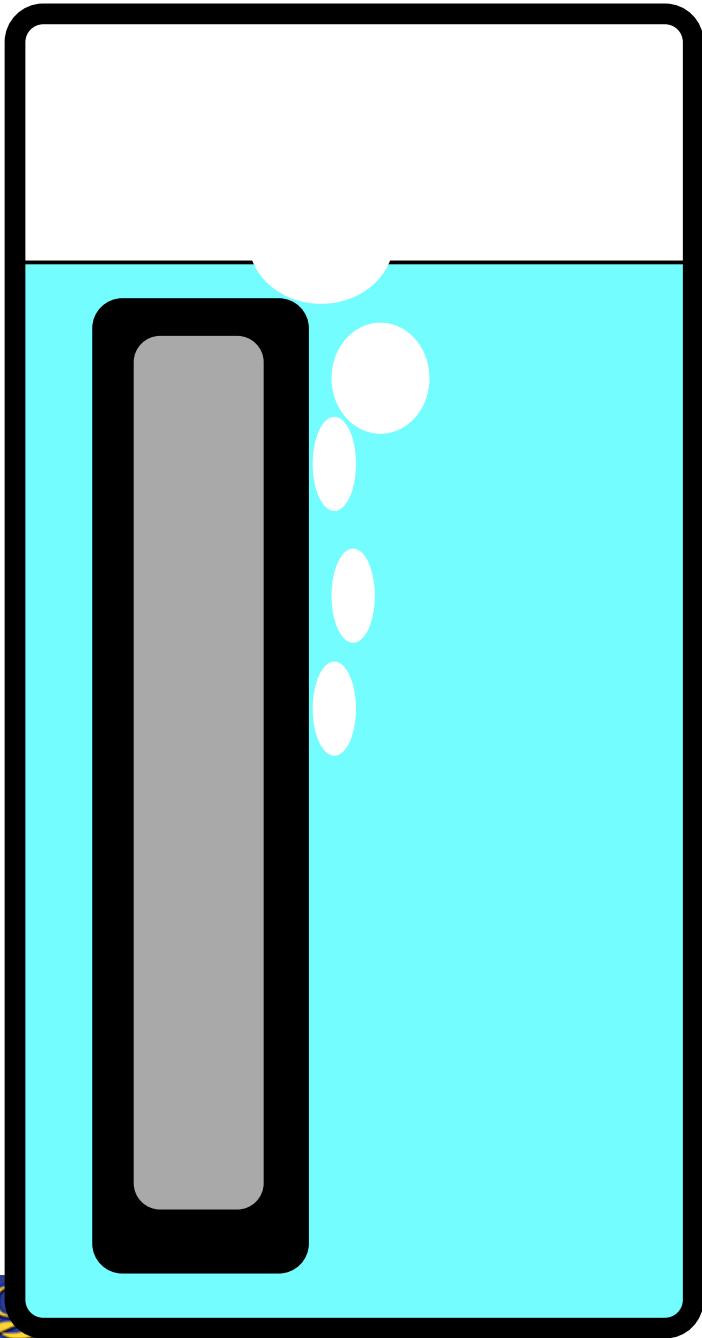
放射化物

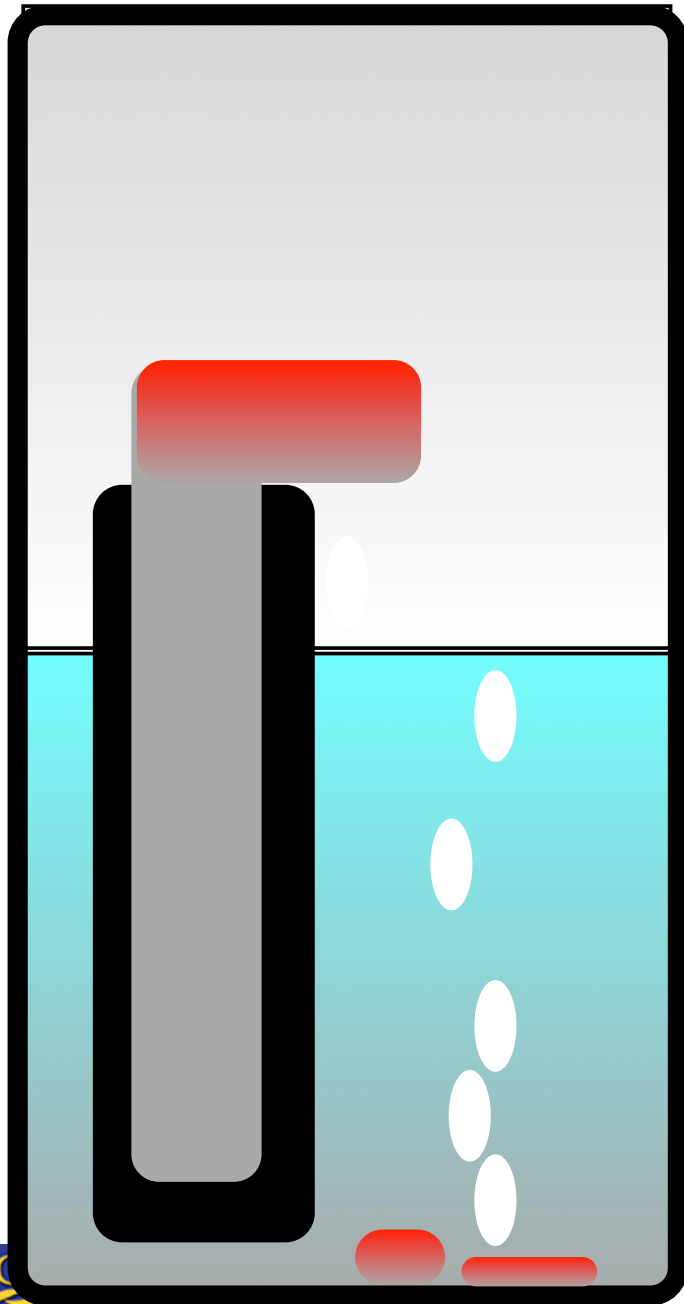
蒸気中

放射化物

環境中

実質的に何ものなし





Meltdown:

炉心（燃料棒） 熔融

ジルコニウム被覆内

燃料＋核分裂生成物＋アクチノイド

冷却水中

核分裂生成物（セシウム、
ヨウ素、テクネチウム等）

蒸気中

核分裂生成物（キセノン、
クリプトン、ラドン（気体））

環境中

実質的になにもなし

スリーマイル島

Meltdown + emergency venting:

炉心（燃料棒） 溶融

+ 緊急蒸気放出

ジルコニウム被覆内

核燃料 + 核分裂生成物 + アクチノイド

冷却水中

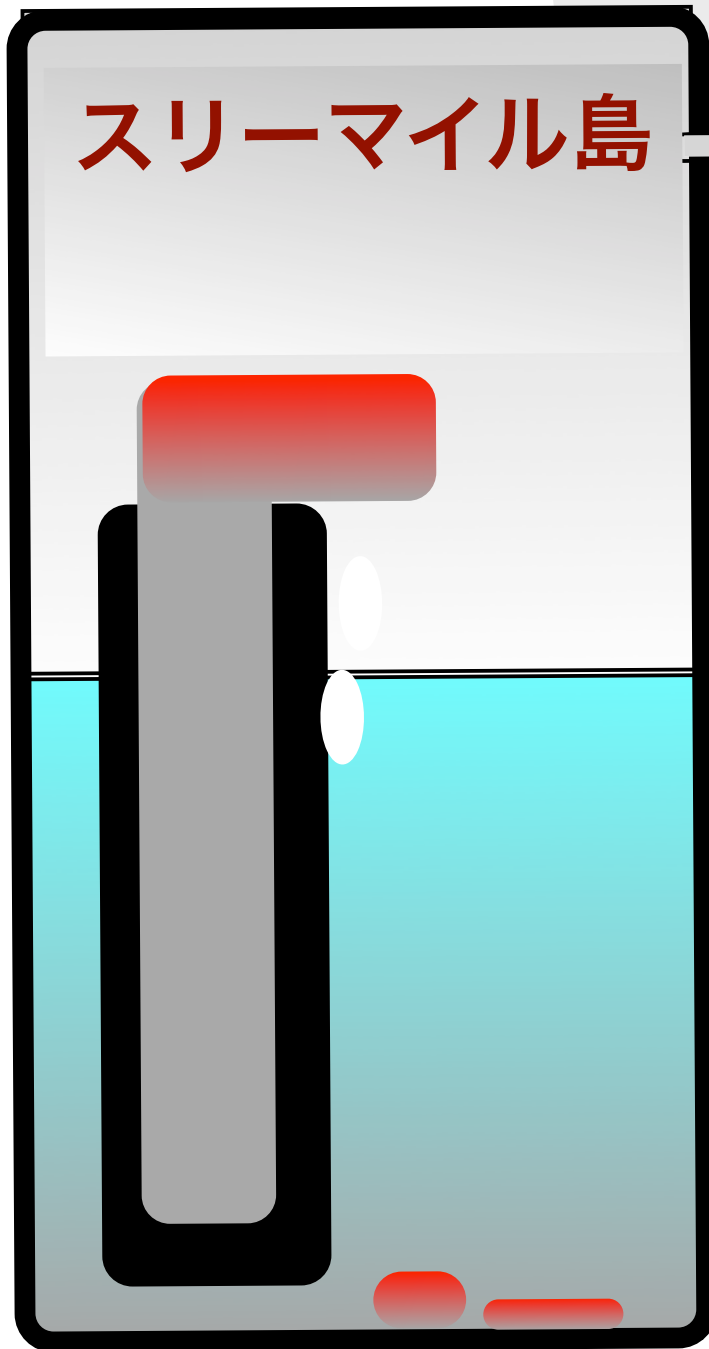
核分裂生成物 (セシウム, ヨウ素, テクネチウムなど)

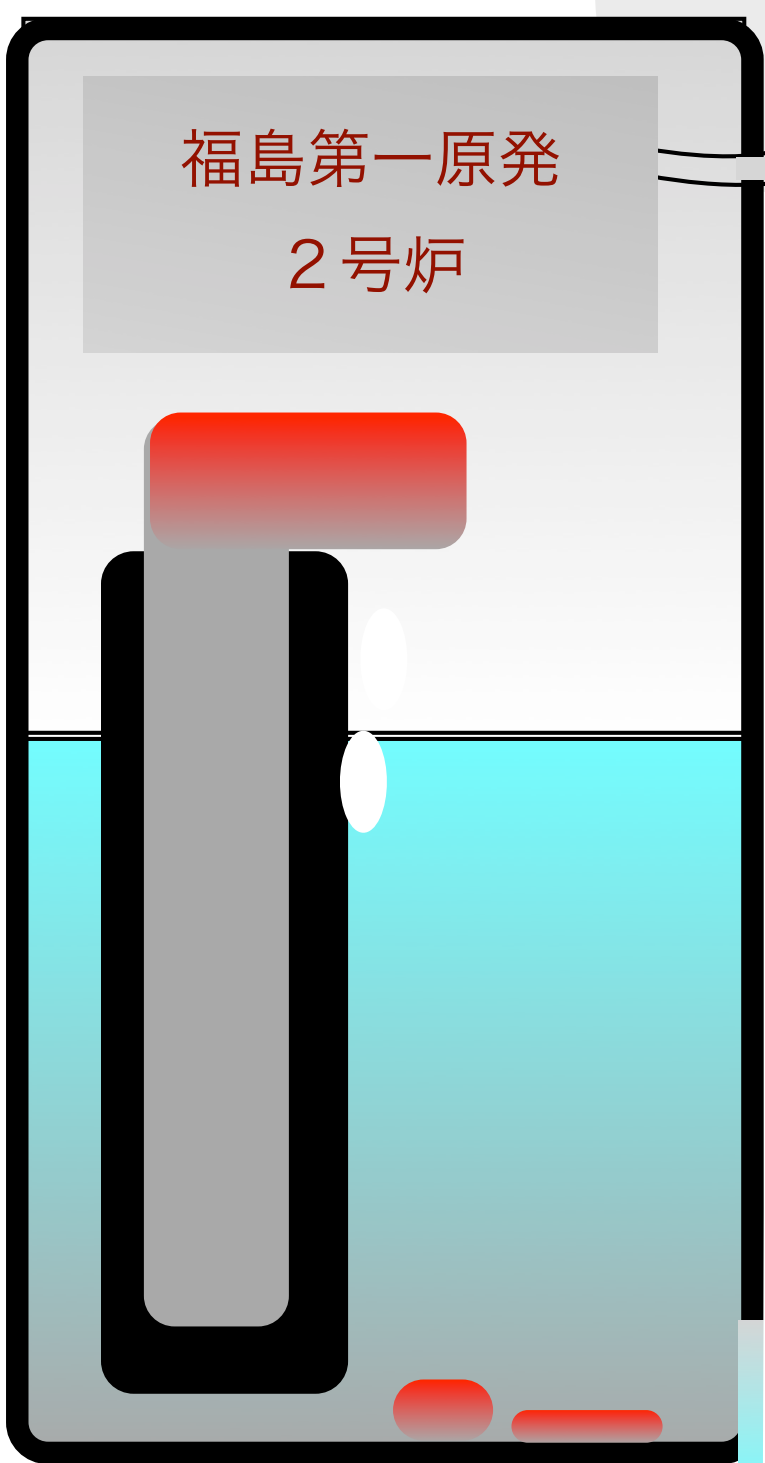
蒸気中

核分裂生成物 (キセノン, クリプトン, ラドン)

環境中

キセノン, クリプトン, ラドン





福島第一原発
2号炉

The diagram shows a cross-section of the Fukushima Daiichi Unit 2 reactor. A central fuel assembly is depicted with a red top section and a grey lower section. The assembly is surrounded by a light blue liquid, representing the coolant. At the bottom of the assembly, there are two red oval shapes. The entire reactor is enclosed in a grey container. A speech bubble points from the title text to the reactor assembly.

Meltdown + containment failure:

燃料棒融解と閉じ込め失敗

ジルコニウム被覆内

燃料 + 核反応生成物 + アクチノイド

冷却水中

核反応生成物 セシウム、ヨウ素、テクネチウムなど

蒸気中

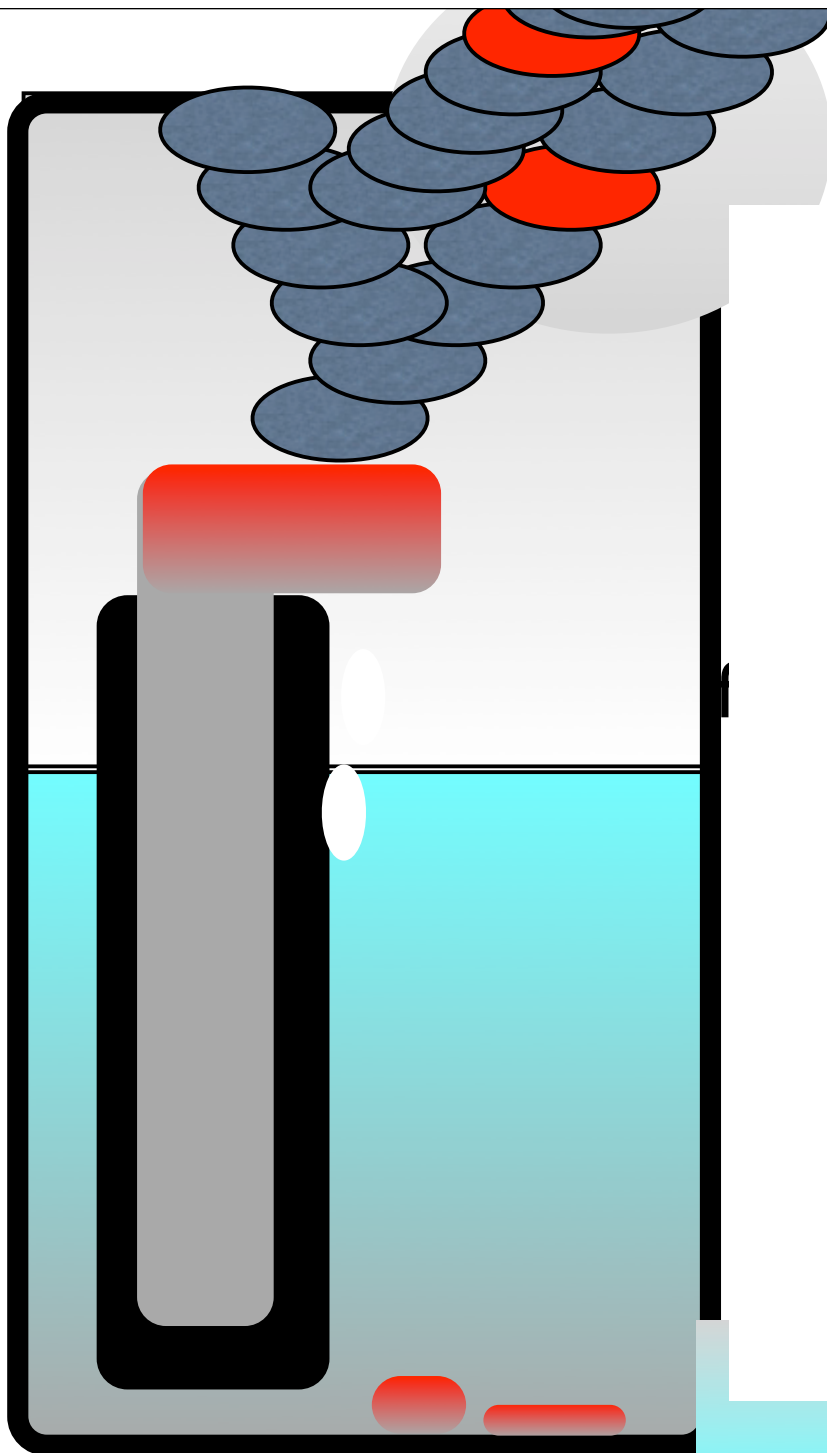
核反応生成物 キセノン、クリプトン、ラドン など

環境中

キセノン、クリプトン、ラドン



キセノン、クリプトン、ラドン、セシウム、ヨウ素、
テクネチウム



Meltdown + fuel fire

燃料棒融解と燃料発火

ジルコニウムケース内

核燃料＋核反応生成物＋アクチノイド

環境中

核燃料＋核反応生成物＋アクチノイド

**福島原発の使用燃料の貯蔵プール
ではたしてこの事象が発生したか？**

(報道にばらつき有り)

これは非常に深刻な事態だが、
チェルノブイリほど悪くない

チェルノブイリ事故 の場合

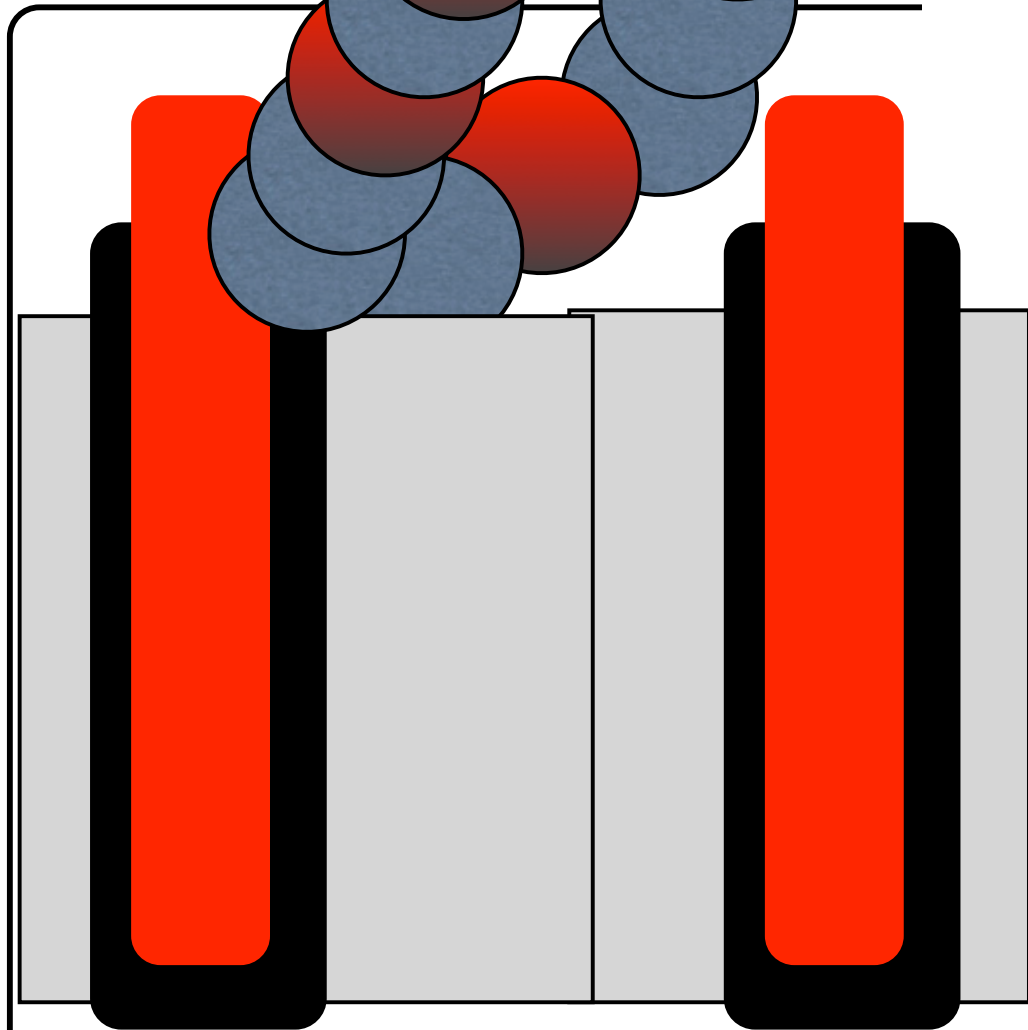
実質的に格納容器がない

炉心に黒鉛

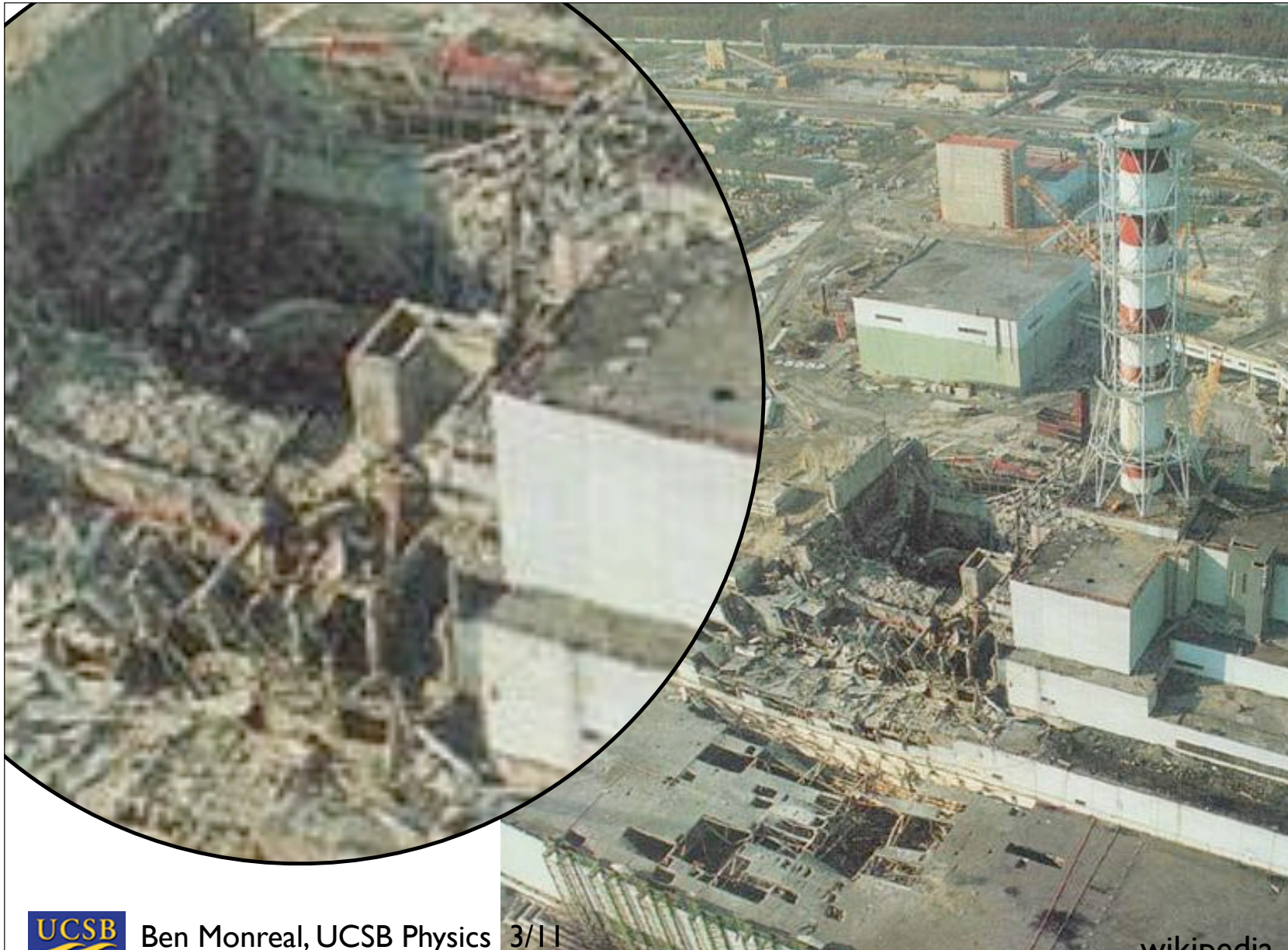
(巨大火災の燃料となる)

爆発炎上の際に核燃料がさらに
核分裂を起こす

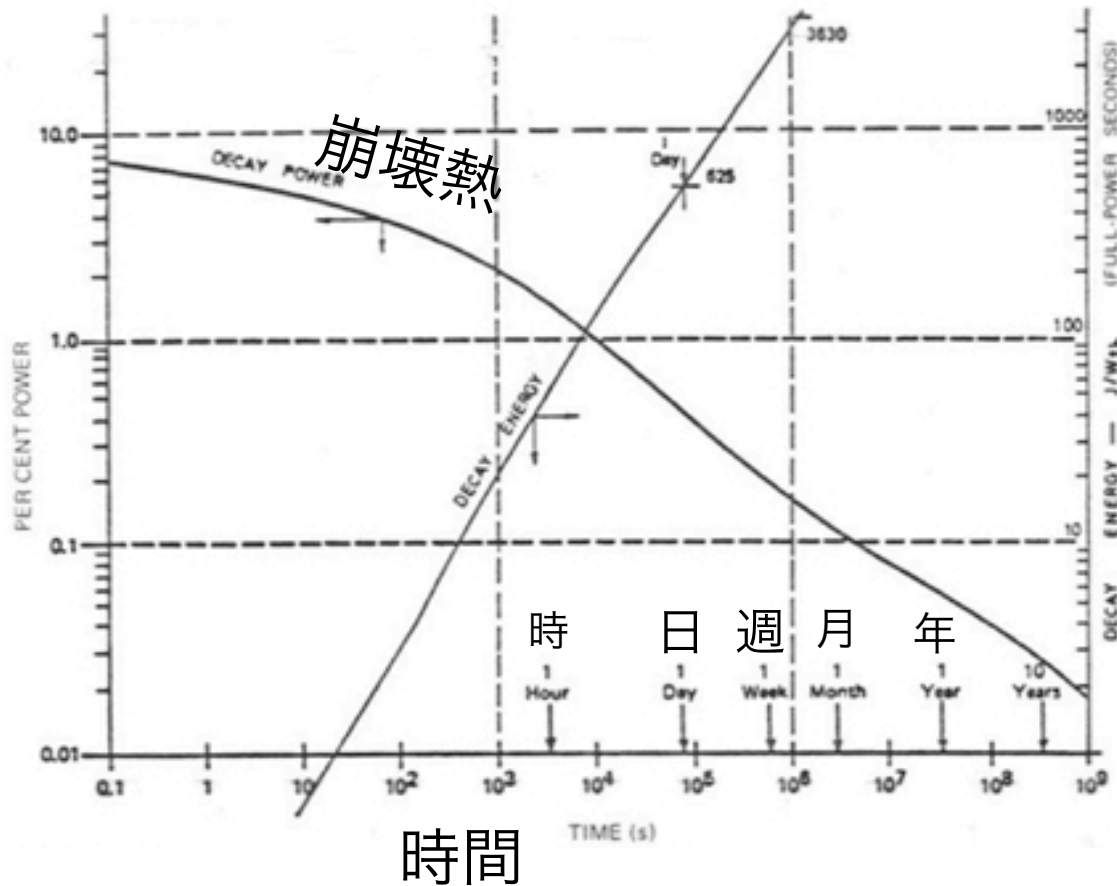
(福島原子炉はすでに5日間核分
裂が止まっている)



事故時のチェルノブイリ発電所



福島での不幸中の幸い



訳注:福島第一4号機に貯蔵されていた使用済み
燃料は約100日前に取り出されている

- 原子炉は地震でも損傷なく生き延びた (!!!!)
- 緊急炉心停止が適切に行われた
- 最初の一時間の閉じ込めで放射性物質の危険が 1/5 に
- 最初の一日で危険が 1/20 に
- 避難が適切に行われている
- 最も危険な火災のリスクが100日前まで使われていた使用済み燃料に対してあるが、これはチェルノブイリにくらべて放射能の危険は100分の1

注意すべき核種

核種	半減期	チェルノブイリの影響
ヨウ素 131	8 日	短期間に東欧のすべての住民が 0.5mSv 被曝
セシウム 137	30 年	加えて30年にわたって、1 mSv
ストロンチウム 90	30 年	総量はセシウムより少ないが骨に蓄積。
プルトニウム 241	14年	原子炉近くで影響大、ただし除染が容易

火災発生の場合 粉塵中に

核種	半減期
ジルコニウム 9 5	60 日
モリブデン 9 9	3 日
ルテニウム 1 0 3	40 日
セリウム 1 4 1	30 日
バリウム 1 4 0	14 日

- 現場で対応する人にとって最も危険。天候によっては、粉塵が拡散される（チェルノブイリの危険な汚染物質は 6 0 Km 飛散した。）
- 粉塵内の放射性物質が屋内退避の理由。道路にある粉塵では被曝しない。衣類についた粉塵が被曝の原因。
- 粉塵は道路や建物から除去可能。農業漁業従事者は汚染が取り除かれるまで生産できない。（汚染土壌の上部 1 0 cm を取り除く方法がある。）

まとめ

- チェルノブイリにおける最悪の一般公衆への影響は抑圧と恐怖であった。教育と情報周知に失敗した。
- 我々は情報を持っている。mSv を数えてどのように対応するか決めよう。
- 私見：福島原発の放射能災害は最悪の場合でもコントロール可能であり局所的(初期避難と食品中のヨウ素 ^{131}I 摂取をコントロールする必要がある。)
- 私見：地球規模災害の恐れはない。
- 津波被災者と50人の福島原発の作業従事者のためにみんなのエネルギーを集中しよう。