

子育て中のお母さん・お父さん向け講演会・「今、放射線について知っておきたいこと」2011年4月10日(京都市こどもみらい館)講演資料(一部口頭説明を加筆修正)、主催:京都大学宇宙総合学研究ユニット、協力:井戸端サイエンス工房

今、放射線について 知っておきたいこと

水野義之

京都女子大学 現代社会学部

mizuno@kyoto-wu.ac.jp

知っていること、知りたいこと

- 知っていること
 - 原子炉の構造
 - ヨウ素131、セシウム137
 - シーベルト？、ベクレル？
- 知りたいこと
 - ベクレルの意味、シーベルトの意味
 - ヨウ素131(半減期8日)を理解する。
ウ素800(半減期75日)にだまされない
 - 「直ちに健康に影響するレベルではない」
ってどういうこと？だったらいずれ影響する？
 - 言葉の意味を基礎から理解したい

もくじ

- 原子と原子核、安定同位体と放射性同位体
- 放射線の種類： α 線、 β 線、 γ 線
- 放射能：単位ベクレル、人体影響：単位シーベルト
 - 半減期とは
 - ガイガー・カウンターで放射線を測ってみよう
- 環境の自然放射線について
 - 外部被曝と内部被曝
 - 急性影響（確定的影響）と晩発影響（確率的影響）
- 緊急時の国際規制：年間 $1\text{mSv} \leftarrow 20\text{mSv}$ （目安）
 - 例：いわき市の放射線データの検討
- 京都女子大での自然放射能の測定結果

(予備知識) 元素の周期表: すべての物質は原子で出来ている

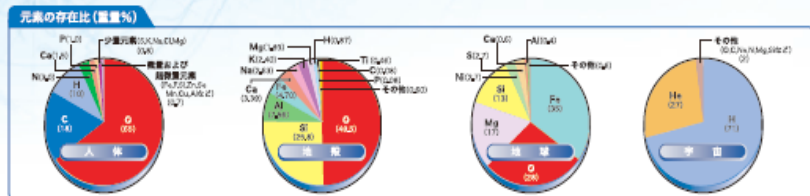
- 物質は「無限に多様」に見える
- しかし物質は「原子」で出来ている
 - 原子の種類はたった112種類しかない
- 元素の性質は、周期的(同じ性質を繰り返す)
 - 例えば希ガス(不活性ガス): ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、ラドン
- これを一覧表に並べたもの = 「元素の周期表」
 - 原子の外側の電子が、元素の性質を決める
 - これが、周期的に繰り返すから「周期表」

Periodic Table of the Elements



メンデルーエフ (Mendel'evich Mendeleev, 1834~1907)
1869年、ロシアのペテルブルグ大学の化学者メンデルーエフは、当時知られていた63種類の元素について、(1)原子番号に並べ、(2)酸素の性質と類似してできる物質の性質(たとえば、ナトリウムはNaと書く。マグネシウムはMgと書く)などの性質が周期性に現れることを「周期律」をいじくした。性質が似た元素が横並びに、よって上に配列した結果を得た。すなわち、元素のつながりは空間的であり、当時知られていなかった元素の性質が予想された。それはメンデルーエフの周期律表と見なされながら、1875年にガリウが、1886年にゲルマニウムが発見され、それらの性質が彼の予想のとおりであったため、世界的に信頼された。周期表は化学の基礎となっており、いまも化学の発展の基となっている。

18



元素周期表

Periodic Table of the Elements

自然も暮らしもすべて元素記号で書かれている

元素の存在比(重量%)

1 H Hydrogen
2 He Helium
3 Li Lithium
4 Be Beryllium
5 B Boron
6 C Carbon
7 N Nitrogen
8 O Oxygen
9 F Fluorine
10 Ne Neon
11 Na Sodium
12 Mg Magnesium
13 Al Aluminum
14 Si Silicon
15 P Phosphorus
16 S Sulfur
17 Cl Chlorine
18 Ar Argon
19 K Potassium
20 Ca Calcium
21 Sc Scandium
22 Ti Titanium
23 V Vanadium
24 Cr Chromium
25 Mn Manganese
26 Fe Iron
27 Co Cobalt
28 Ni Nickel
29 Cu Copper
30 Zn Zinc
31 Ga Gallium
32 Ge Germanium
33 As Arsenic
34 Se Selenium
35 Br Bromine
36 Kr Krypton
37 Rb Rubidium
38 Sr Strontium
39 Y Yttrium
40 Zr Zirconium
41 Nb Niobium
42 Mo Molybdenum
43 Tc Technetium
44 Ru Ruthenium
45 Rh Rhodium
46 Pd Palladium
47 Ag Silver
48 Cd Cadmium
49 In Indium
50 Sn Tin
51 Sb Antimony
52 Te Tellurium
53 I Iodine
54 Xe Xenon
55 Cs Cesium
56 Ba Barium
57-71 Lanthanides
58 La Lanthanum
59 Ce Cerium
60 Pr Praseodymium
61 Nd Neodymium
62 Sm Samarium
63 Eu Europium
64 Gd Gadolinium
65 Tb Terbium
66 Dy Dysprosium
67 Ho Holmium
68 Er Erbium
69 Tm Thulium
70 Yb Ytterbium
71 Lu Lutetium
72 Hf Hafnium
73 Ta Tantalum
74 W Tungsten
75 Re Rhenium
76 Os Osmium
77 Ir Iridium
78 Pt Platinum
79 Au Gold
80 Hg Mercury
81 Tl Thallium
82 Pb Lead
83 Bi Bismuth
84 Po Polonium
85 At Astatine
86 Rn Radon
87 Fr Francium
88 Ra Radium
89-103 Actinides
89 Ac Actinium
90 Th Thorium
91 Pa Protactinium
92 U Uranium
93 Np Neptunium
94 Pu Plutonium
95 Am Americium
96 Cm Curium
97 Bk Berkelium
98 Cf Californium
99 Es Einsteinium
100 Fm Fermium
101 Md Mendelevium
102 No Nobelium
103 Lr Lawrencium

一家に1枚周期表

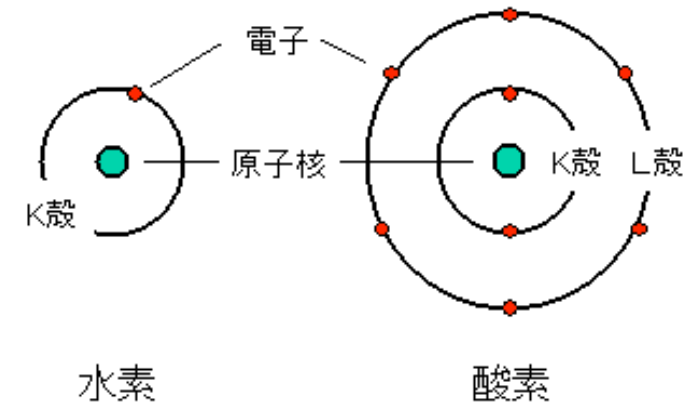
一家に1枚周期表

科学出版社
http://www.sciencepress.com.cn/
制作·著作：文图科学
企画·制作：株式会社科学
2005年12月25日 第1版
2005年12月25日 第1刷

[illegible][illegible]

出典:文部科学省「一家に1枚周期表」

原子と原子核



- 原子＝原子核＋電子

原子核＝陽子＋中性子

- 原子核の陽子数＝電子数＝原子番号

質量数＝陽子数＋中性子数

- 例

– 炭素12＝陽子6個＋中性子6個＝原子量12.0000

– 炭素13＝陽子6個＋中性子7個＝原子量13.0033..

– 天然の炭素 ＝ 98.93%炭素12 ＋ 1.07%炭素13

＋ 炭素14(放射性)が微量

＝ 平均の重さ(原子量)12.0107

- 炭素14は木簡の年代測定にも使われる有名な炭素同位体

同位元素、同位体

- 同位体とは、「周期表」で同じ位置に来る元素
- 同位体で 安定な原子核の元素＝安定同位体
- 同位体で不安定な原子核の元素＝放射性同位体
- 放射性同位体の例
 - 炭素14 $\rightarrow$ ^{14}C
 - ヨウ素131 $\rightarrow$ ^{131}I
 - セシウム137 $\rightarrow$ ^{137}Cs

131

I

53

質量数

元素名

陽子数

中性子数

放射性同位体の一覧表

出典:理科年表

原子, 原子核, 素粒子

物 111 (467)

おもな放射性核種(放射性同位体) (2)

おもな放射性核種(放射性同位体) (1)

この表には, 現在知られている放射性核種(放射性同位体; ラジオアイソトープ)のうち, おもなものの約 330 種類を選び, 半減期と壊変形式を示す。

核種欄の元素記号の左肩の数字は質量数, m , m_1 は準安定状態を示す。また半減期および壊変形式の欄の記号はつぎのとおりである。

y: 年, d: 日, h: 時, m: 分, s: 秒, α : α 壊変, β^- : β^- 壊変, β^+ : β^+ 壊変, EC: 軌道電子捕獲, IT: 核異性体転移, SF: 自発核分裂。

核種	半減期	壊変形式	核種	半減期	壊変形式
^3H	12.33 y	β^-	^{41}Ar	109.34 m	β^-
^7Be	53.29 d	EC	^{40}K	1.277×10^9 y	β^- , EC, β^+
^{10}Be	1.51×10^6 y	β^-	^{40}K	12.360 h	β^-
^{11}C	20.39 m	β^+ , EC	^{40}K	22.3 h	β^-
^{14}C	5.730×10^3 y	β^-	^{45}Ca	163.8 d	β^-
^{14}N	9.965 m	β^- , EC	^{47}Ca	4.536 d	β^-
^{15}O	122.24 s	β^+ , EC	^{44}Sc	58.6 h	IT, EC
^{18}F	109.77 m	β^+ , EC	^{44}Sc	3.927 h	β^+ , EC
^{22}Na	2.6019 y	β^+ , EC	^{46}Sc	83.79 d	β^-
^{24}Na	14.9590 h	β^-	^{47}Sc	3.345 d	β^-
^{27}Mg	9.458 m	β^-	^{48}Sc	43.67 h	β^-
^{28}Mg	20.91 h	β^-	^{48}Sc	57.2 m	β^-
^{26}Al	7.4×10^5 y	β^+ , EC	^{44}Ti	49 y	EC
^{28}Al	2.2414 m	β^-	^{51}Ti	5.76 m	β^-
^{31}Si	157.3 m	β^-	^{48}V	15.9735 d	EC
^{30}P	2.498 m	β^+ , EC	^{49}V	330 d	EC
^{32}P	14.262 d	β^-	^{52}V	3.75 m	β^-
^{33}P	25.34 d	β^-	^{51}Cr	27.702 d	EC
^{35}S	87.51 d	β^-	^{52}Mn	21.1 m	β^+ , EC, IT
^{36}Cl	3.01×10^5 y	β^- , EC, β^+	^{52}Mn	5.591 d	EC, β^+
^{38}Cl	37.24 m	β^-	^{53}Mn	3.76×10^6 y	EC
^{37}Ar	35.04 d	EC	^{54}Mn	312.3 d	EC, β^+

半減期と壊変形式は, R. B. Firestone, Table of Isotopes (8th ed.) (1999) および The Berkeley Laboratory Isotopes Project's "Exploring the Table of Isotopes", <http://ie.lbl.gov/education/isotopes.htm> による。

核種	半減期	壊変形式	核種	半減期	壊変形式
^{56}Mn	2.5785 h	β^-	^{68}Ga	67.629 m	β^+ , EC
^{52}Fe	8.275 h	β^+ , EC	^{70}Ga	21.14 m	β^- , EC
^{55}Fe	2.73 y	EC	^{72}Ga	14.10 h	β^-
^{59}Fe	44.503 d	β^-	^{68}Ge	270.82 d	EC
^{55}Co	17.53 h	EC, β^+	^{69}Ge	39.05 h	EC
^{56}Co	77.27 d	EC, β^+	^{71}Ge	11.43 d	EC
^{57}Co	271.79 d	EC	^{75}Ge	82.78 m	β^-
^{58}Co	9.15 h	IT	^{77}Ge	52.9 s	β^- , IT
^{58}Co	70.82 d	EC, β^+	^{77}Ge	11.30 h	β^-
^{60}Co	10.47 m	IT, β^-	^{71}As	65.28 h	β^+ , EC
^{60}Co	5.2714 y	β^-	^{72}As	26.0 h	β^+ , EC
^{56}Ni	5.9 d	EC	^{73}As	80.30 d	EC
^{57}Ni	35.60 h	EC, β^+	^{74}As	17.77 d	EC, β^+ , β^-
^{59}Ni	7.6×10^4 y	EC	^{76}As	26.32 h	β^-
^{63}Ni	100.1 y	β^-	^{77}As	38.83 h	β^-
^{65}Ni	2.5172 h	β^-	^{72}Se	8.40 d	EC
^{66}Ni	54.6 h	β^-	^{75}Se	119.779 d	EC
^{61}Cu	3.333 h	β^+ , EC	^{77}Se	17.36 s	IT
^{62}Cu	9.74 m	β^+ , EC	^{77}Br	57.036 h	EC, β^+
^{64}Cu	12.700 h	EC, β^+ , β^-	^{80}Br	4.4205 h	IT
^{66}Cu	5.088 m	β^-	^{80}Br	17.68 m	β^- , EC, β^+
^{67}Cu	61.83 h	β^-	^{82}Br	35.30 h	β^-
^{62}Zn	9.186 h	EC, β^+	^{79}Kr	35.04 h	EC, β^+
^{63}Zn	38.47 m	β^+ , EC	^{81}Kr	13.10 s	IT, EC
^{65}Zn	244.26 d	EC, β^+	^{81}Kr	2.29×10^5 y	EC
^{69}Zn	13.76 h	IT, β^-	^{83}Kr	1.83 h	IT
^{69}Zn	56.4 m	β^-	^{85}Kr	4.480 h	β^- , IT
^{66}Ga	9.49 h	β^+ , EC	^{85}Kr	10.756 y	β^-
^{67}Ga	3.2612 d	EC	^{81}Rb	30.5 m	IT, EC

おもな放射性核種(放射性同位体) (3)

核種	半減期	壊変形式	核種	半減期	壊変形式
⁸¹ Rb	4.576 h	EC, β^+	⁹⁹ Mo	65.94 h	β^-
⁸² Rb	1.273 m	β^+ , EC	^{99m} Tc	6.01 h	IT, β^-
⁸³ Rb	86.2 d	EC	⁹⁹ Tc	2.111×10^5 y	β^-
⁸⁴ Rb	32.77 d	EC, β^+ , β^-	¹⁰³ Ru	39.26 d	β^-
⁸⁶ Rb	18.631 d	β^- , EC	¹⁰⁵ Ru	4.44 h	β^-
⁸⁷ Rb	4.75×10^{10} y	β^-	¹⁰⁶ Ru	373.59 d	β^-
⁸⁸ Rb	17.78 m	β^-	⁹⁹ Rh	16.1 d	EC, β^+
⁸² Sr	25.55 d	EC	^{103m} Rh	56.12 m	IT
⁸³ Sr	32.41 h	β^+ , EC	^{105m} Rh	45 s	IT
⁸⁵ Sr	64.84 d	EC	¹⁰⁵ Rh	35.36 h	β^-
^{87m} Sr	2.803 h	IT, EC	¹⁰⁶ Rh	29.80 s	β^-
⁸⁹ Sr	50.53 d	β^-	¹⁰³ Pd	16.991 d	EC
⁹⁰ Sr	28.78 y	β^-	¹⁰⁹ Pd	13.7012 h	β^-
⁸⁷ Y	79.8 h	EC, β^+	¹⁰⁵ Ag	41.29 d	EC, β^+
⁸⁸ Y	106.65 d	EC, β^+	^{107m} Ag	44.3 s	IT
⁹⁰ Y	64.10 h	β^-	^{109m} Ag	39.6 s	IT
⁹¹ Y	58.51 d	β^-	^{110m} Ag	249.79 d	β^- , IT
⁸⁹ Zr	78.41 h	β^+ , EC	¹¹⁰ Ag	24.6 s	β^- , EC
⁹³ Zr	1.53×10^6 y	β^-	¹¹¹ Ag	7.45 d	β^-
⁹⁵ Zr	64.02 d	β^-	¹⁰⁷ Cd	6.50 h	EC, β^+
⁹⁷ Zr	16.91 h	β^-	¹⁰⁹ Cd	462.6 d	EC
⁹⁰ Nb	14.60 h	β^+ , EC	^{115m} Cd	44.6 d	β^-
^{92m} Nb	10.15 d	EC, β^+	¹¹⁵ Cd	53.46 h	β^-
^{93m} Nb	16.13 y	IT	^{117m} Cd	3.36 h	β^-
⁹⁴ Nb	2.03×10^4 y	β^-	¹¹⁷ Cd	2.49 h	β^-
^{95m} Nb	86.6 h	IT, β^-	¹⁰⁹ In	4.2 h	EC, β^+
⁹⁵ Nb	34.975 d	β^-	¹¹⁰ In	4.9 h	EC, β^+
^{97m} Nb	52.7 s	IT	¹¹¹ In	2.8049 d	EC
⁹⁷ Nb	72.1 m	β^-	¹¹² In	14.97 m	EC, β^-

おもな放射性核種(放射性同位体) (4)

核種	半減期	壊変形式	核種	半減期	壊変形式
^{113m} In	1.6582 h	IT	¹²⁴ I	4.18 d	EC, β^+
^{114m} In	49.51 d	IT, EC, β^+	¹²⁵ I	59.408 d	EC
¹¹⁴ In	71.9 s	β^- , EC, β^+	¹²⁶ I	13.11 d	EC, β^+ , β^-
^{115m} In	4.486 h	IT, β^-	¹²⁸ I	24.99 m	β^- , EC, β^+
^{116m} In	54.41 m	β^- , EC	¹²⁹ I	1.57×10^7 y	β^-
^{117m} In	116.2 m	β^- , IT	¹³⁰ I	12.36 h	β^-
¹¹⁷ In	43.2 m	β^-	¹³¹ I	8.02070 d	β^-
^{119m} In	18.0 m	β^- , IT	¹³² I	2.295 h	β^-
¹¹⁹ In	2.4 m	β^-	¹³³ I	20.8 h	β^-
¹¹³ Sn	115.09 d	EC, β^+	^{131m} Xe	11.84 d	IT
^{117m} Sn	13.60 d	IT	^{133m} Xe	2.19 d	IT
^{119m} Sn	293.1 d	IT	¹³³ Xe	5.243 d	β^-
^{121m} Sn	55 y	IT, β^-	¹²⁹ Cs	32.06 h	EC, β^+
¹²¹ Sn	27.06 h	β^-	¹³⁰ Cs	29.21 m	EC, β^+ , β^-
^{123m} Sn	40.04 m	β^-	¹³¹ Cs	9.689 d	EC
¹²³ Sn	129.2 d	β^-	¹³² Cs	6.479 d	EC, β^+ , β^-
¹²² Sb	2.70 d	β^- , EC, β^+	^{134m} Cs	2.91 h	IT
¹²⁴ Sb	60.20 d	β^-	¹³⁴ Cs	2.062 y	β^- , EC
¹²⁵ Sb	2.7582 y	β^-	¹³⁵ Cs	2.3×10^6 y	β^-
¹²¹ Te	16.78 d	EC	¹³⁷ Cs	30.07 y	β^-
^{123m} Te	119.7 d	IT	¹³¹ Ba	11.50 d	EC, β^+
^{125m} Te	57.40 d	IT	^{133m} Ba	38.9 h	IT, EC
^{127m} Te	109 d	IT, β^-	¹³³ Ba	10.52 y	EC
¹²⁷ Te	9.35 h	β^-	^{137m} Ba	2.552 m	IT
^{129m} Te	33.6 d	IT, β^-	¹³⁹ Ba	83.06 m	β^-
¹²⁹ Te	69.6 m	β^-	¹⁴⁰ Ba	12.752 d	β^-
¹³² Te	3.204 d	β^-	¹⁴⁰ La	1.6781 d	β^-
¹²¹ I	2.12 h	EC, β^+	¹³⁹ Ce	137.640 d	EC
¹²³ I	13.27 h	EC	¹⁴¹ Ce	32.501 d	β^-

おもな放射性核種(放射性同位体) (5)

核種	半減期	壊変形式	核種	半減期	壊変形式
¹⁴³ Ce	33.039 h	β^-	¹⁷¹ Tm	1.92 y	β^-
¹⁴⁴ Ce	284.893 d	β^-	¹⁶⁹ Yb	32.026 d	EC
¹⁴² Pr	19.12 h	β^- , EC	¹⁷⁵ Yb	4.185 d	β^-
¹⁴³ Pr	13.57 d	β^-	¹⁷⁷ Yb	1.911 h	β^-
^{144m} Pr	7.2 m	IT, β^-	^{176m} Lu	3.635 h	β^- , EC
¹⁴⁴ Pr	17.28 m	β^-	¹⁷⁷ Lu	6.734 d	β^-
¹⁴⁷ Nd	10.98 d	β^-	¹⁷⁵ Hf	70 d	EC
¹⁴⁹ Nd	1.728 h	β^-	^{180m} Hf	5.5 h	IT, β^-
¹⁵¹ Nd	12.44 m	β^-	¹⁸¹ Hf	42.39 d	β^-
¹⁴⁷ Pm	2.6234 y	β^-	¹⁸⁰ Ta	8.152 h	EC, β^-
¹⁴⁹ Pm	53.08 h	β^-	¹⁸² Ta	114.43 d	β^-
¹⁵¹ Pm	28.40 h	β^-	¹⁸¹ W	121.2 d	EC
¹⁵¹ Sm	90 y	β^-	¹⁸⁵ W	75.1 d	β^-
¹⁵³ Sm	46.27 h	β^-	¹⁸⁷ W	23.72 h	β^-
^{152m1} Eu	9.274 h	β^- , EC, β^+	¹⁸⁸ W	69.4 d	β^-
¹⁵² Eu	13.542 y	EC, β^-	¹⁸³ Re	70.0 d	EC
¹⁵⁴ Eu	8.593 y	β^- , EC, β^+	¹⁸⁶ Re	90.64 h	β^- , EC
¹⁵⁵ Eu	4.7611 y	β^-	¹⁸⁸ Re	16.98 h	β^-
¹⁵³ Gd	241.6 d	EC	¹⁸⁵ Os	93.6 d	EC
¹⁵⁹ Gd	18.479 h	β^-	^{191m} Os	13.10 h	IT
¹⁵⁷ Tb	99 y	β^-	¹⁹¹ Os	15.4 d	β^-
¹⁶⁰ Tb	72.3 d	β^-	¹⁹³ Os	30.5 h	β^-
¹⁶¹ Tb	6.88 d	β^-	^{191m} Ir	4.94 s	IT
¹⁵⁷ Dy	8.14 h	EC, β^+	¹⁹² Ir	73.831 d	β^- , EC
¹⁶⁵ Dy	2.334 h	β^-	¹⁹⁴ Ir	19.15 h	β^-
¹⁶⁶ Ho	26.83 h	β^-	¹⁹⁷ Pt	18.3 h	β^-
¹⁶⁹ Er	9.40 d	β^-	¹⁹⁹ Pt	30.80 m	β^-
¹⁷¹ Er	7.516 h	β^-	¹⁹⁵ Au	186.09 d	EC
¹⁷⁰ Tm	128.6 d	β^- , EC	^{197m} Au	7.73 s	IT

おもな放射性核種(放射性同位体) (6)

核種	半減期	壊変形式	核種	半減期	壊変形式
¹⁹⁸ Au	2.69517 d	β^-	²³¹ Th	25.52 h	β^-
¹⁹⁹ Au	3.139 d	β^-	²³² Th	1.405×10^{10} y	α
^{197m} Hg	23.8 h	IT, EC	²³³ Th	22.3 m	β^-
¹⁹⁷ Hg	64.14 h	EC	²³¹ Pa	3.276×10^4 y	α
²⁰³ Hg	46.612 d	β^-	²³³ Pa	26.967 d	β^-
²⁰¹ Tl	72.912 h	EC	²³² U	68.9 y	α
²⁰² Tl	12.33 d	EC	²³³ U	1.592×10^5 y	α , SF
²⁰⁴ Tl	3.78 y	β^- , EC, β^+	²³⁴ U	2.455×10^5 y	α , SF
²⁰⁰ Pb	21.5 h	EC	²³⁵ U	7.038×10^8 y	α , SF
²⁰¹ Pb	9.33 h	EC, β^+	²³⁶ U	2.342×10^7 y	α , SF
^{202m} Pb	3.53 h	IT, EC	²³⁷ U	6.75 d	β^-
²⁰² Pb	5.25×10^4 y	EC, α	²³⁸ U	4.468×10^9 y	α , SF
²⁰³ Pb	51.873 h	EC	²³⁹ U	23.45 m	β^-
^{207m} Pb	0.805 s	IT	²³⁷ Np	2.144×10^6 y	α , SF
²¹⁰ Pb	22.3 y	β^- , α	²³⁹ Np	2.3565 d	β^-
²⁰⁶ Bi	6.243 d	EC, β^+	²³⁸ Pu	87.7 y	α , SF
²⁰⁷ Bi	31.55 y	EC, β^+	²³⁹ Pu	2.411×10^4 y	α , SF
²¹⁰ Bi	5.013 d	β^- , α	²⁴⁰ Pu	6.563×10^3 y	α , SF
²⁰⁸ Po	2.898 y	α , EC, β^+	²⁴¹ Pu	14.35 y	β^- , α
²¹⁰ Po	138.376 d	α	²⁴² Pu	3.733×10^5 y	α , SF
²²⁰ Rn	55.6 s	α	²⁴¹ Am	432.2 y	α , SF
²²² Rn	3.8235 d	α	²⁴² Am	16.02 h	β^- , EC
²²⁴ Ra	3.66 d	α	²⁴² Cm	162.8 d	α , SF
²²⁶ Ra	1.600×10^3 y	α	²⁴⁴ Cm	18.10 y	α , SF
²²⁸ Ra	5.75 y	β^-	²⁴⁷ Bk	1.38×10^3 y	α
²²⁷ Ac	21.773 y	β^- , α	²⁵² Cf	2.645 y	α , SF
²²⁸ Th	1.9116 y	α			
²³⁰ Th	7.538×10^4 y	α			

(安定・放射性)同位体の例

- 炭素12(安定) = $^{12}\text{C} = {}^{12}_6\text{C} = {}^{12}_6\text{C}_6$
- 炭素13(安定) = $^{13}\text{C} = {}^{13}_6\text{C} = {}^{13}_6\text{C}_7$
- 炭素14(不安定) = $^{14}\text{C} = {}^{14}_6\text{C} = {}^{14}_6\text{C}_8$ (半減期5730年)

- ヨウ素127(安定) = $^{127}\text{I} = {}^{127}_{53}\text{I} = {}^{127}_{53}\text{I}_{74}$
- ヨウ素129(不安定) = $^{129}\text{I} = {}^{129}_{53}\text{I} = {}^{129}_{53}\text{I}_{76}$ (1570万年)
- ヨウ素131(不安定) = $^{131}\text{I} = {}^{131}_{53}\text{I} = {}^{131}_{53}\text{I}_{78}$ (半減期8日)

練習問題

- セシウムの同位体は？

- セシウム133(安定) = = =

- セシウム134(不安定) = = =
(半減期 年)

- セシウム137(不安定) = = =
(半減期 年)

放射性物質の種類と性質

- 「原子の」性質は、原子番号だけで決まる
- 「原子核の」性質は、原子番号だけでは決まらない
- 「原子核の」性質は、陽子数(原子番号)と中性子数(→合計数としての質量数)で決まる
 - 例1: Cl-38(塩素38)半減期37分←検出は考えにくい
 - 例2: I-134(ヨウ素134)の検出も間違いだった!
 - 例3: Cs-134は普通出ない放射性同位体。半減期2年、これは実際に出ている。原子炉内部で生成される!
 $\text{Cs133} + n \rightarrow \text{Cs134}$ 従ってCs137との比は新しい情報
 - Cs-134は今後のセシウム放射能の減り方に影響する!

放射線とは？

- 不安定な原子核は、放射線を出して、安定な原子核になろうとする。
- この時に出てくる余分なエネルギー（余分な素粒子、余分な光、余分な原子核のカケラ）、
これが放射線
 - 放射＝（元の原子核の内部から）放出される
 - 線＝直線的に飛んでくる
 - Radiation＝放射線（円の半径 r のradiusと同じ。
ラジアルタイアのラジアルと同じ。半径方向）

放射線とは？(1) β崩壊(ベータ崩壊)

- 陽子数と中性子数がアンバランスな原子核は、中性子が陽子に変化して、バランスをとる(β崩壊)
- 例:
- $n(\text{中性子}) \rightarrow p(\text{陽子}) + e^- + \bar{\nu}$ (反ニュートリノ)
- $^{14}_6\text{C}_8 \rightarrow ^{14}_7\text{N}_7 + e^- + \bar{\nu}$
- $^{131}_{53}\text{I}_{78} \rightarrow ^{131}_{54}\text{Xe}_{77} + e^- + \bar{\nu}$
- この時に出てくる電子 e^- は高速で飛んで行く
- 高速の電子=β線(ベータ線)(放射線の一種)

放射線とは？(2) α崩壊(アルファ崩壊)

- アルファ崩壊:
- ウラン等の重い原子核は、アルファ線を出して安定になろうとする
- ${}^{238}_{92}\text{U}_{146} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th}_{144} + {}^4_2\text{He}_2 + (\text{エネルギー})$
- 4He (ヘリウム4)の原子核が高速で飛んでいる
- =α線(アルファ線)と呼ぶ=放射線の一種

放射線とは？(3) γ 崩壊(ガンマ崩壊)

- ガンマ崩壊:
- ベータ線を出せないけど不安定な原子核は、ガンマ線を出して、安定になろうとする。
- $^{131}_{53}\text{I}_{78} \rightarrow ^{131}_{54}\text{Xe}_{77}^* + e^- + \nu(\text{ニュートリノ})$
- $^{131}_{54}\text{Xe}_{77}^* \rightarrow ^{131}_{54}\text{Xe}_{77} + \gamma(\text{ガンマ})$
- γ 線(ガンマ線) = 高エネルギーの光

身近な放射線の測定

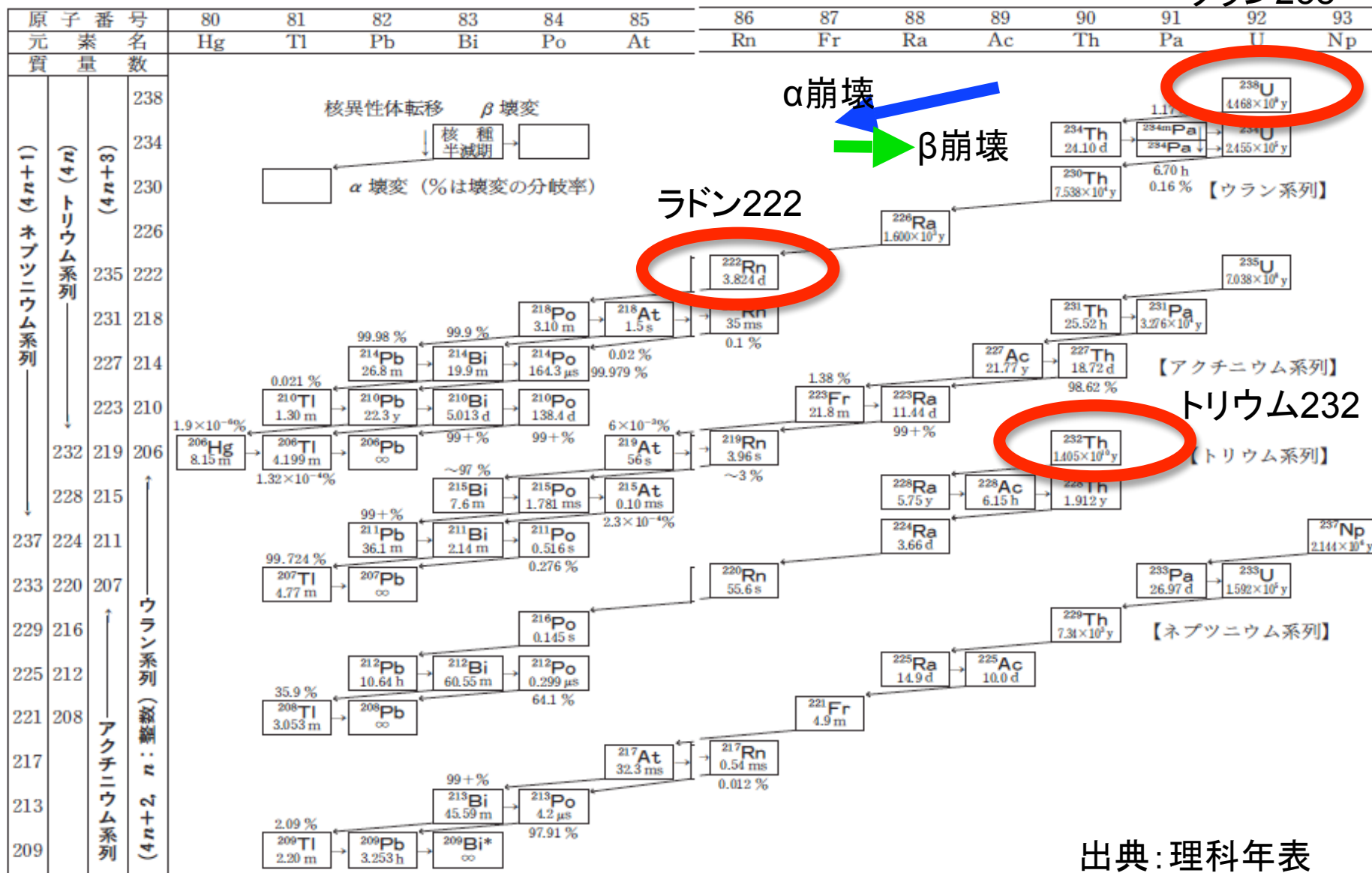
～ガイガー・カウンターで放射線を測ってみよう

- 微量のトリウム232
 - キャンプ用のランタンのマントル、市販品
- ガイガーカウンターで環境放射線の測定の実験
- 宇宙から宇宙線、壁からカリウム40の β 線、体内にもカリウム40、炭素14、空中のラドンから α 線
- 例えば庭石にも放射能
 - ウラン238＝地殻に0.9ppm、トリウム232＝3.5ppm
 - 庭石1トンにウラン238約1g、トリウム232約3.5g
 - ウラン238＝自然環境に約11ベクレル/kg
 - トリウム232＝自然環境に約12ベクレル/kg

トリウムとウランの崩壊系列図

壊変系列図

ウラン238



* ^{209}Bi は α 壊変する (半減期 1.9×10^{19} 年) と報告されている。Nature 422, 876 (2003) による。
出典は 物 111 に同じ。

略号: y(年), d(日), h(時), m(分), s(秒), ms(10^{-3} s), μ s(10^{-6} s)

(巻出義経担当)

放射線のシールド (遮蔽)

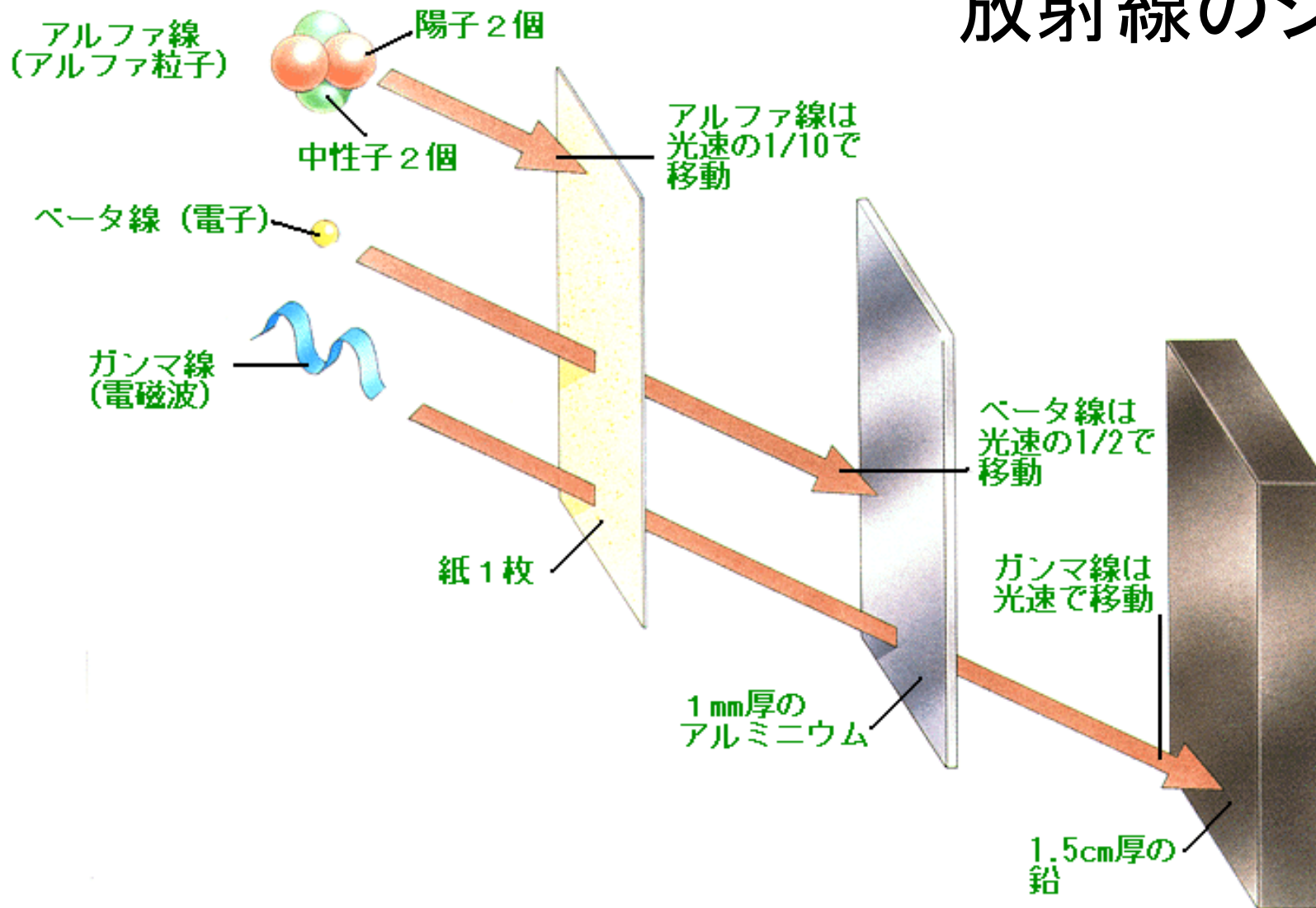


図2 α 線、 β 線、 γ 線の放射線遮へい

出典: http://www.rist.or.jp/atomica/data/fig_pict.php?Pict_No=16-02-01-03-02

[出典] S. McKeever, M. Foote (監・編) : Science Encyclopedia, Dorling Kindersley(1994)

放射能とは？ベクレルの意味

- 放射能とは、放射線を出す能力、radioactivity
- 放射能の単位＝ベクレル(Bq)
- 1秒に1個、何か放射線を出す＝1ベクレル
– どこかの原子の原子核が1個、放射線を出す
- だから1ベクレルは、非常に非常に弱い放射能

半減期とは？

- 半減期とは、
放射線を出す能力（毎秒、何個の放射線を出すかというベクレル数）が、半分に減るまでの時間
- 例：1個のバスケット（＝全部が放射性とする）
 - － 1日に半分ずつ、バスケットをあげる→だんだん減る
 - － 1日目半分、2日目1/4、3日目1/8、と減って行く
- 半減期が長い＝なかなか減らぬ＝放射能が弱い
- 半減期が短い＝すぐに減る＝放射能強いが短期
- 半減期が中途半端＝中々減らずに放射能も強い
 - － 例：半減期が短い場合は、おき水で放射能を減らせる
 - － 逆に半減期が長いと、弱い放射線がじわじわ出続ける

放射線の人体への影響： シーベルトとグレイ

- シーベルト(Sv) ～ グレイ(Gy)
- $Sv = Gy \times (\text{補正係数})$
- 放射線は、物質を通り抜ける場合もある(この場合は、人体に影響を与えにくい)
- 人体への影響は、放射線のツブが人体内部の原子にぶつかる結果。通過の途上で細胞に影響。
- 相手の原子にエネルギーを与え、自分(放射線自体)はエネルギーを失う
- $1 Gy = 1 \text{ ジュール/kg}$ のエネルギーを相手に与える

放射線の影響：グレイとシーベルト

- $1\text{ Gy} = 1\text{ ジュール} / \text{kg}$
 - $1\text{ ジュール} = 1\text{ Joule} = 1\text{ J}$
 - $1\text{ cal} = 4.19\text{ J}$
 - $1\text{ cal} = 4\text{ J}$ であれば $0.25\text{ cal} = 1\text{ J}$
- $1\text{ Gy} = 0.24\text{ cal/kg}$
- 例：1リットルの水の温度を 0.00025°C 上げる程度のエネルギーを与える放射線吸収の影響が 1 Gy （1グレイ）
 - 1グレイ＝吸収線量の大きさの単位
- 相手の物質が人体の場合、補正係数を使って調整
- $= 1\text{ シーベルト} (1\text{ Sv})$

1シーベルト(1Sv)の目安

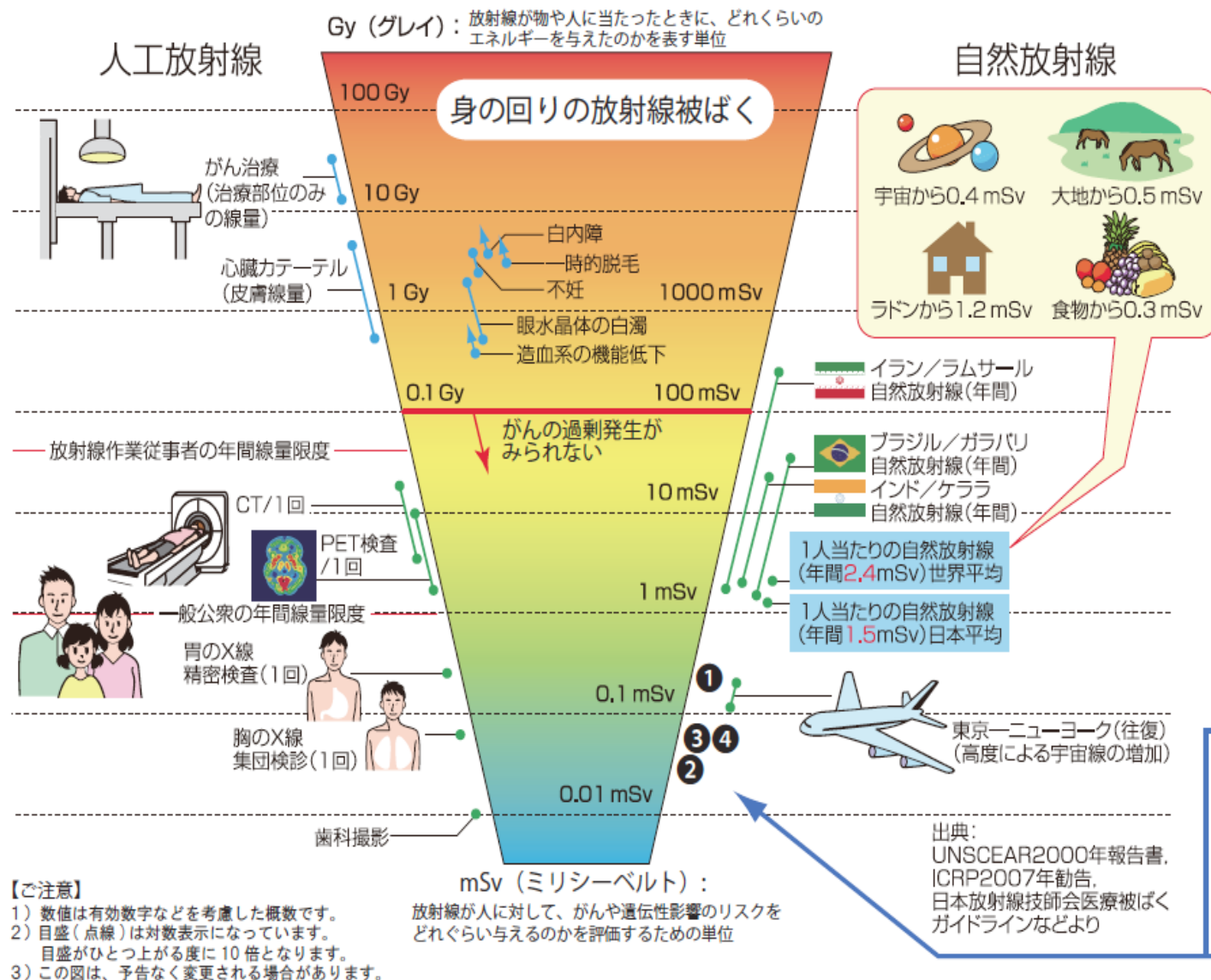
- 一度に $3\sim 5\text{Sv} = \text{LD}_{50(30)} = 50\%$ の人が30日で死
 - しかし50%の人は、30日を超えると、自然に回復する。
 - 人によっても、値が2倍も違う
- 年間 100mSv = 放射線作業従事者の被曝の目安
- 年間 1mSv = 自然環境の放射線被曝の目安
 - 日本平均 = 1.5mSv/年
 - 世界平均 = 2.4mSv /年
 - アメリカ平均 = 3.6mSv /年 (国や地域で幅が大きい！)
 - これに加えて、医療被曝
 - 日本が低いのは岩石からのラドンが少ないから

自然放射線のうちわけ4成分の目安

- 自然放射線の4成分
 1. 宇宙線＝宇宙から降ってくる放射線＝外部被曝
 2. 地面や壁から＝土のカリウム40や炭素14＝外部被曝
 3. 食べ物から＝植物のカリウム40や炭素14＝内部被曝
 4. 空中のラドン＝岩石のウラン238→ラドン222＝内部被曝
- 日本平均＝1.5mSv＝0.4+0.5+0.3+0.3 (mSv)
- 世界平均＝2.4mSv＝0.4+0.5+0.3+1.2 (mSv)
- 自然環境には放射線がある。場所で10倍以上違う。
- 人間(人体内部)も自然放射能を持つ。
 - － 体重60kgの人で7000ベクレル
 - － 内訳：K⁴⁰～4 000Bq, C¹⁴～2 500Bqなど

放射線被ばくの早見図

福島第1原子力発電所の
事故による放射線量の目安



飲食物からの放射線 (ヨウ素 131 の場合)

①: 水

例えば、300ℓ クレル/リットルの水を
1日2リットル、1ヶ月間飲み続けた

→ 0.4mSv

②: 牛乳

例えば、300ℓ クレル/リットルの牛乳を
1日200cc、1ヶ月間飲み続けた

→ 0.04mSv

③: ほうれん草

例えば、2,000ℓ クレル/kg のほうれ
ん草を1日50グラム1ヶ月間食
べ続けた

→ 0.07mSv

大気・大地からの放射線

④: 空間線量率

例えば、空間線量率 0.1マイクロシー
ベルト/h の場所に1ヶ月間居続けた

→ 0.07mSv

独立行政法人

放射線医学総合研究所 NIRS

<http://www.nirs.go.jp/index.shtml>

自然放射線が高い世界の地域

- イランのラムサール地区
 - 最高260mSv、平均10.2mSv
- インドのケララ地区(
- ブラジルのガラバリ地区

放射線は体内で何を起こすか

- 放射線は、物質の内部の原子を、イオン化する
 - フリー・ラジカルを生成(反応性が高い分子)
 - 活性酸素を生成(これは紫外線でも発生する)
- DNAは損傷を受ける(1年で7000万回も起こる)
 - たまたまDNAの付近を放射線が通過→DNA損傷
 - 大部分を修復する(p53蛋白質が活躍)＝なおる
 - 修復に失敗するとアポトーシス(細胞の自殺)＝排除
- よって、確率的影響(分からない、人による)
- 1Sv＝ガンの確率が約5%上昇(50%→55%に)

放射線被曝の分類

- 強い被曝＝急性影響＝確定的影響
＝治癒できるか、出来ないか
- 弱い被曝＝晩発影響＝確率的影響
＝ガンになるか、ならないか
- 内部被曝＝アルファ線とベータ線
- 外部被曝＝（おもに）ガンマ線

1mSv～100mSv(低線量被曝): 3つの課題

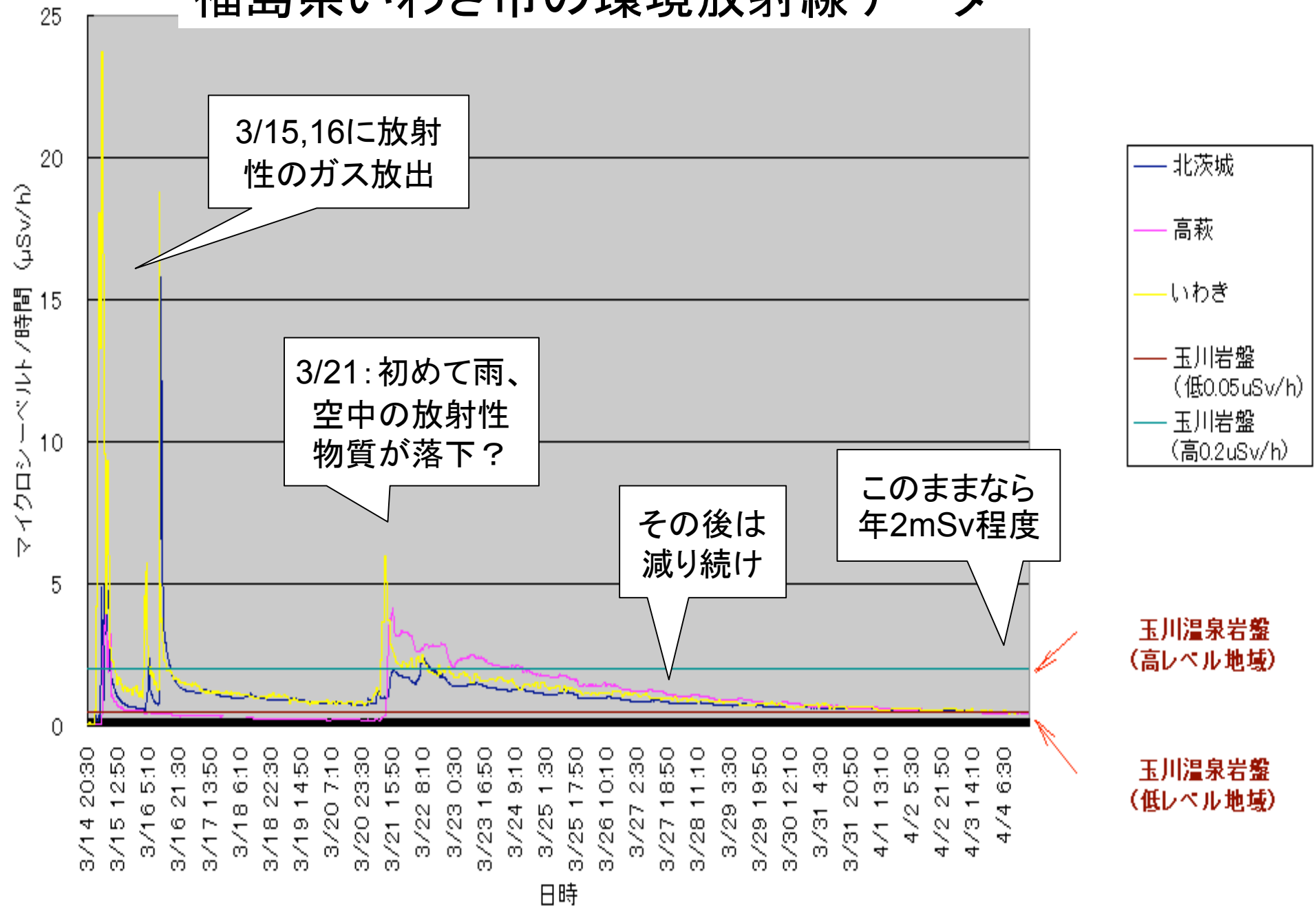
1. 確率的影響である
 - － 運(確率的)、ガンになるかならないか
2. 人による(DNA損傷の修復機能が人に依存する)
3. 研究が難しい(よく分かっていない、諸説ある)
 - － サンプル数が少(統計精度が低い、不確かさが大)
 - － 他の原因との分離が難しい

放射線防護の「ALARAの原則」

- 自然放射線～年1.5mSv(日本)、2.4mSv(世界)
- 放射線は完全にゼロに出来ない
 - むしろ放射線は自然の一部である。
 - 低いに越したことはない。しかし人体の修復能力もある
- ALARA= As Low As Reasonably Achievable
- 合理的に達成可能な範囲で出来るだけ低く抑える

北茨城、高萩、いわきの放射線量率(カレント値)

福島県いわき市の環境放射線データ

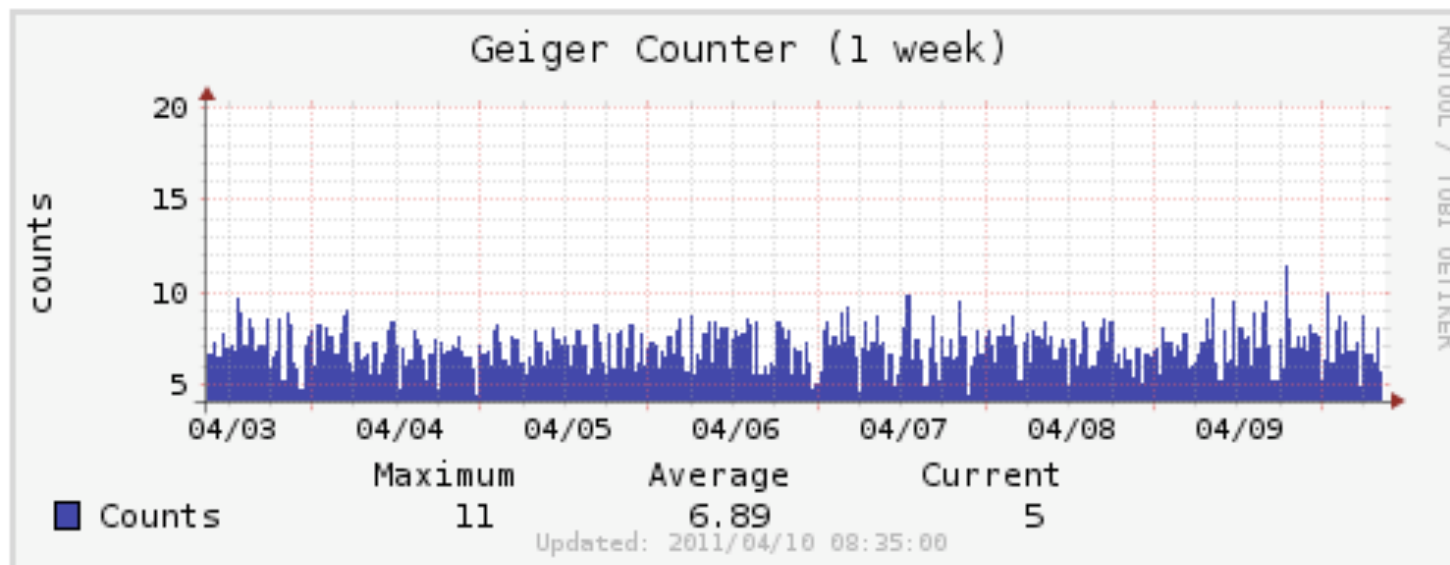
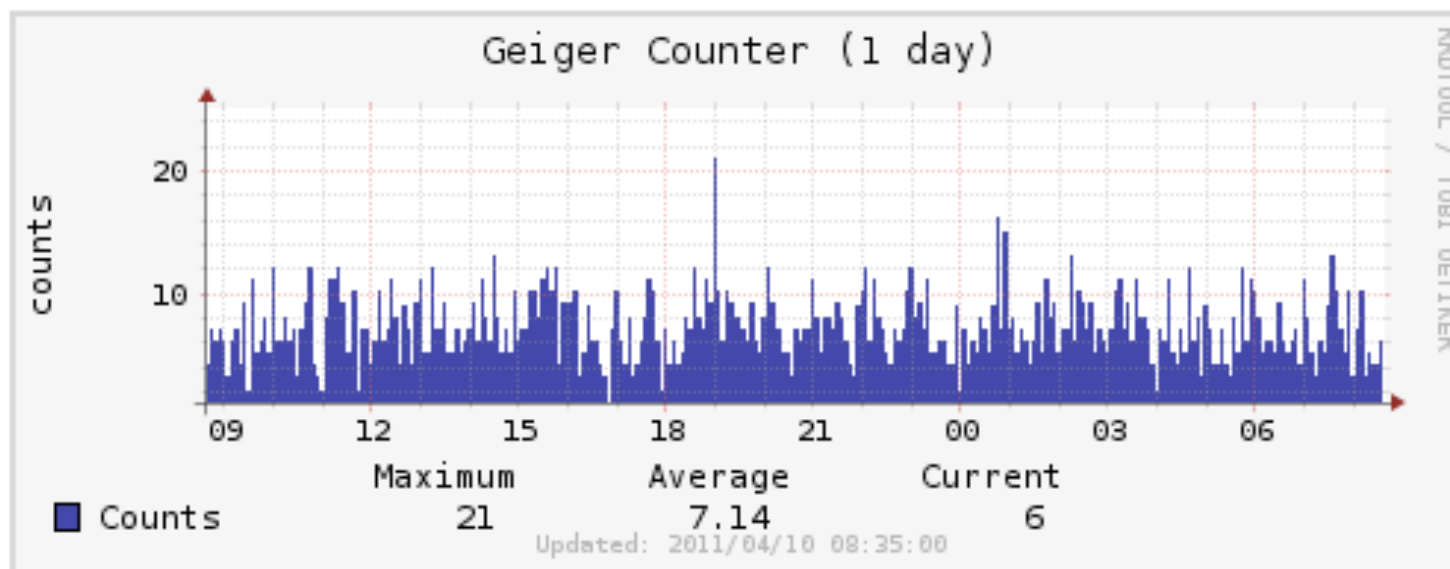


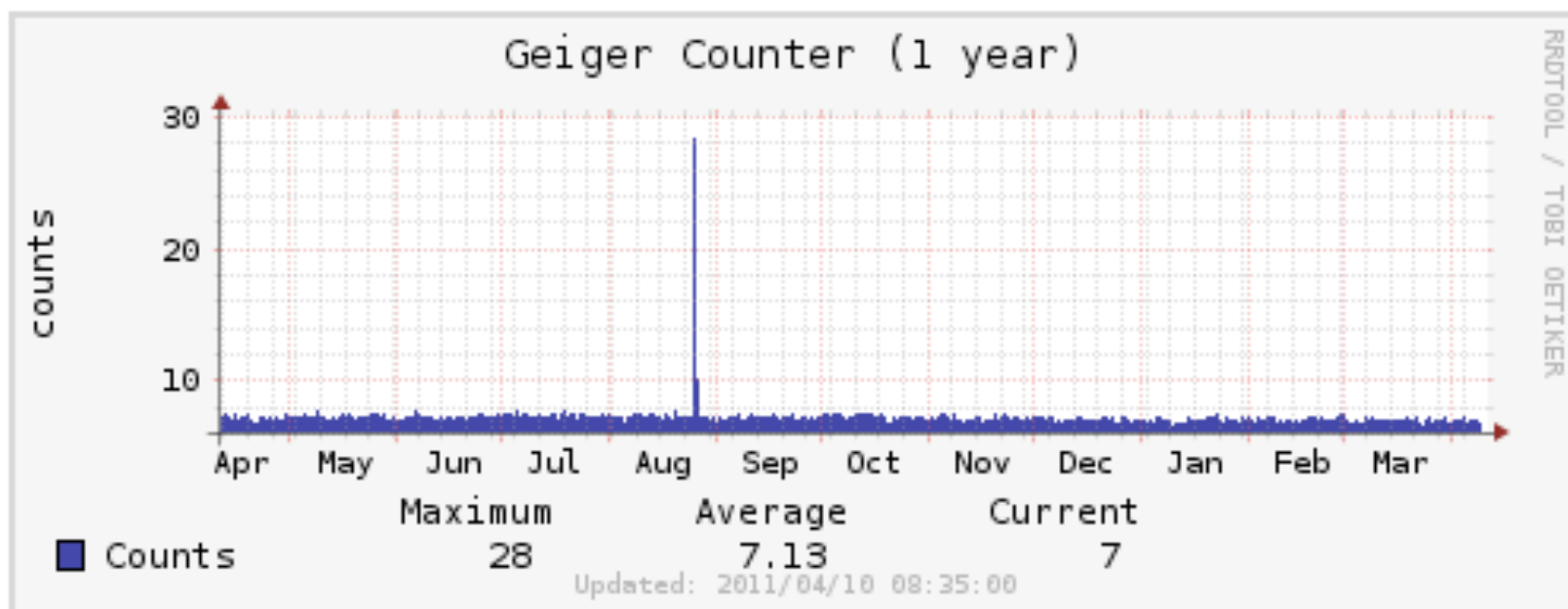
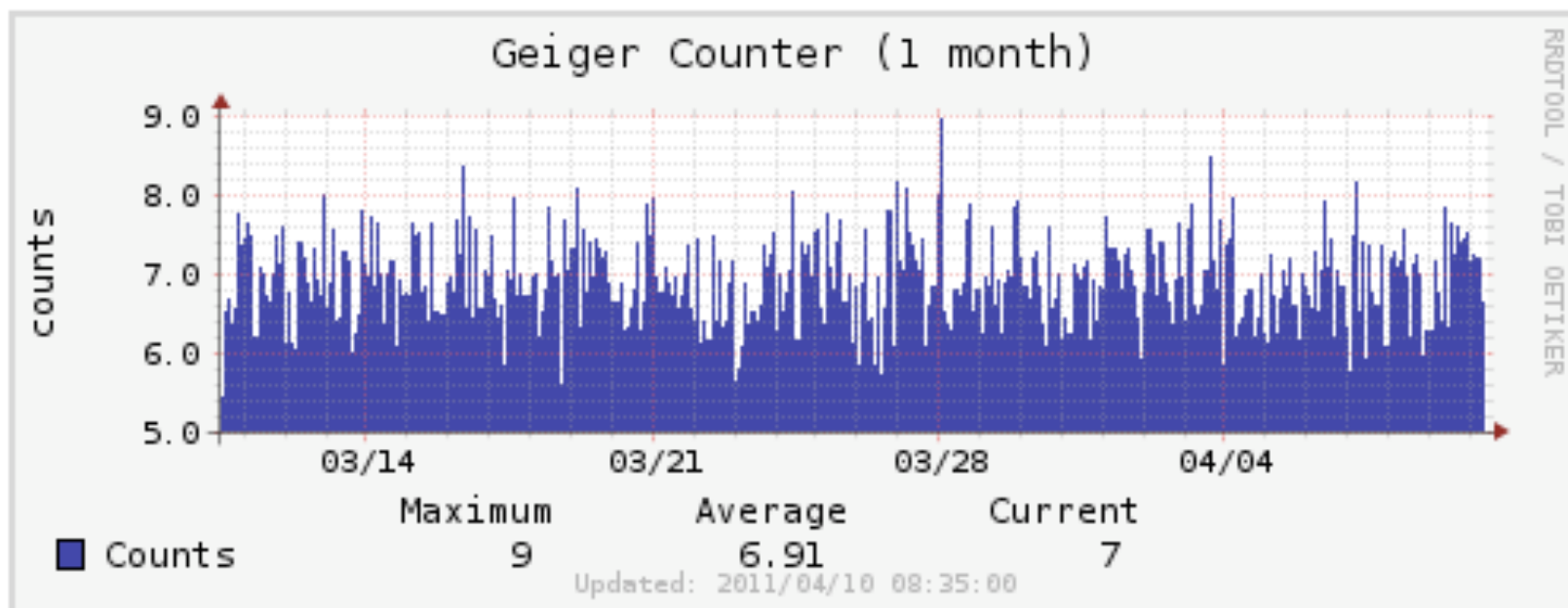
ICRPの勧告2011/3/21＝判断基準

- 日本学術会議4月5日「3月21日にICRPが我が国に対して勧告...これに関して様々な報道等が行われています。そこで、日本学術会議ではICRPが出した勧告の意味するところを整理」
- 1) 委員会は、緊急時および現存被ばく状況（事故による汚染で既に放射線源が存在している状況）の放射線に対する防護が十分保障されたために、最適化と参考レベルをこれまでの勧告から変更するとなしに用いることを勧告します。

- 2) 緊急時に公衆の防護のため、委員会は国の機関が最も高い計画的な被曝線量として20～100mSvの範囲で参考レベルを設定すること（ICRP2007年勧告、表8）をそのまま変更することなしに用いることを勧告。水野註：公衆年間累積
- 3) 汚染地域は残る。国は人々がその地域を見捨てずに住み続けるよう、必要な防護措置。長期間の後には放射線レベルを1mSv/年へ低減。これまでの勧告から変更することなしに現時点での参考レベル1mSv/年～20mSv/年の範囲で設定すること（ICRP2009b、48～50節）を用いることを勧告。

京都女子大学S校舎での自然放射線





まとめ

- 安定同位体と放射性同位体の理解
- 放射線の種類と影響： α 線、 β 線、 γ 線の区別
 - 放射能の単位ベクレルは小さい単位 $\Leftrightarrow$ 数字は巨大
 - 人体影響の単位シーベルトは大きな単位 $\Leftrightarrow$ 数字は小
- 自然放射線レベルにも幅がある
 - 外部被曝と内部被曝の区別
- 急性影響は確定的、晩発影響は確率的
- 人体はDNA損傷の修復能力(免疫力)を持つ
 - 緊急時の国際基準：(目安)年間20mSv $\rightarrow$ 1mSv
- 原理・仕組み・根拠の基礎理解で分かる「安心」を