

東京大学理学部

Radiation Safety Course, School of Science, University of Tokyo

放射線取扱者講習会  
(一般講習会)

放射線の測定  
加速器・放射光施設の安全利用  
密封線源・エックス線装置の安全取扱

Measurement of Radiation  
Safety at Accelerator & Synchrotron Radiation Facilities  
Safe Handling of Sealed Sources & X-ray devices

2020年度 前期

Spring–Summer 2020

measurement of  
ambient dose rate &  
surface contamination

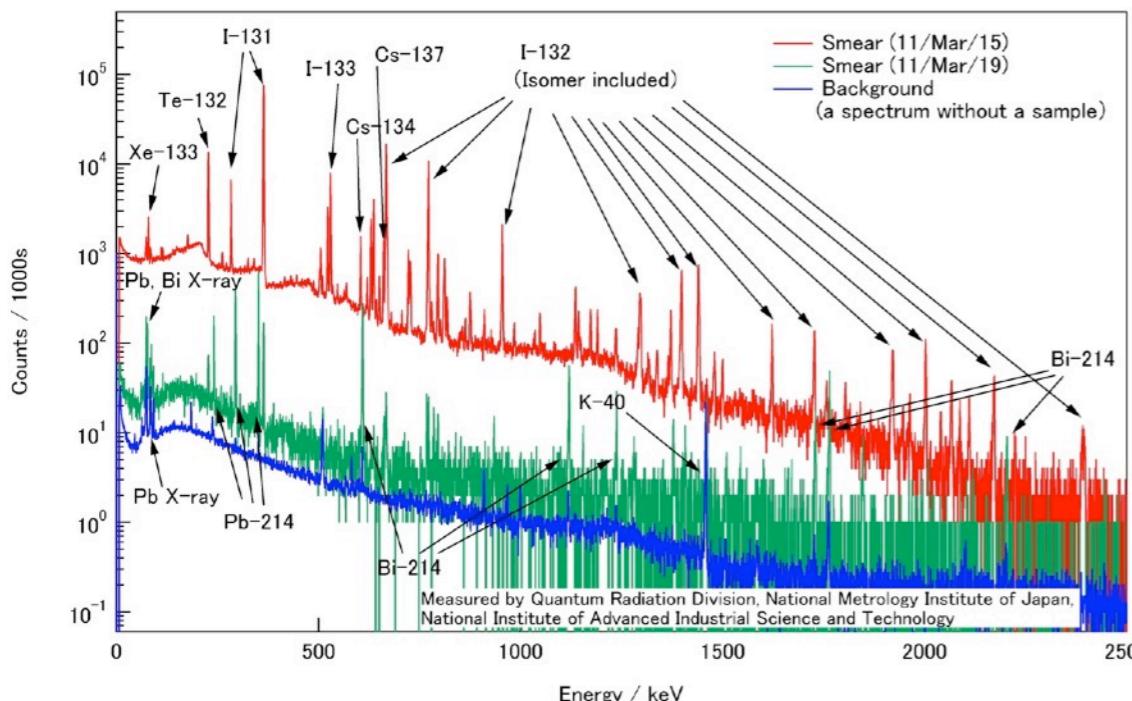


counting (cps = counts per second)

表面汚染検査計（例：GM サーベイメータ）空間線量計（例：NaI(Tl) サーベイメータ）

energy analysis (ID of nuclide)

γ-ray spectrum of a Ge detector



# Measurement of radiation detectors

Ionization of gas  
ionization chamber, G-M tube

Scintillator + PMT (photomultiplier)

Nal, CsI, plastic scinti., ZnS

Semiconductor detectors

Ge, Si(Li)

measurement  
for samples

食品検査用ゲルマニウム検出器

(Ge detector for food samples)



# Measurement of radiation

Counting (cps = counts per second)

Survey meters [ambient dose rate]

$\beta$  ( $\gamma$ ) /  $\gamma$



G-M tube

$\beta$  ( $\gamma$ )



50–100% for  $\beta$   
< a few % for  $\gamma$

$\gamma$

Ionization of gas



$\beta$  ( $\gamma$ ) /  $\gamma$

ionization  
chamber

[surface contamination]

$\beta$  ( $\gamma$ )



G-M tube

$\gamma$



NaI (Tl)

Scintillation  
(radiation-induced fluorescence)



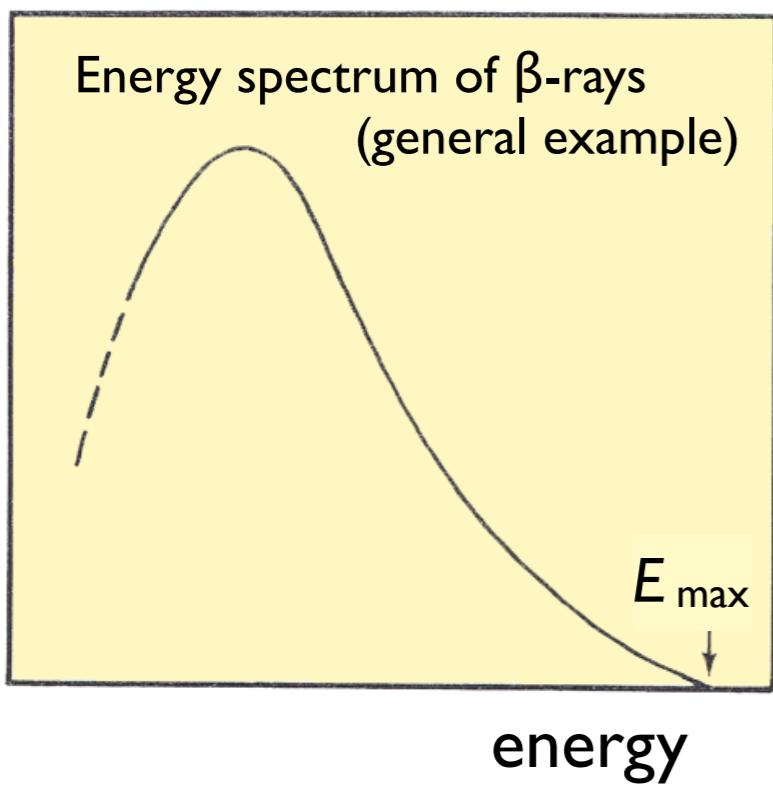
$\alpha$



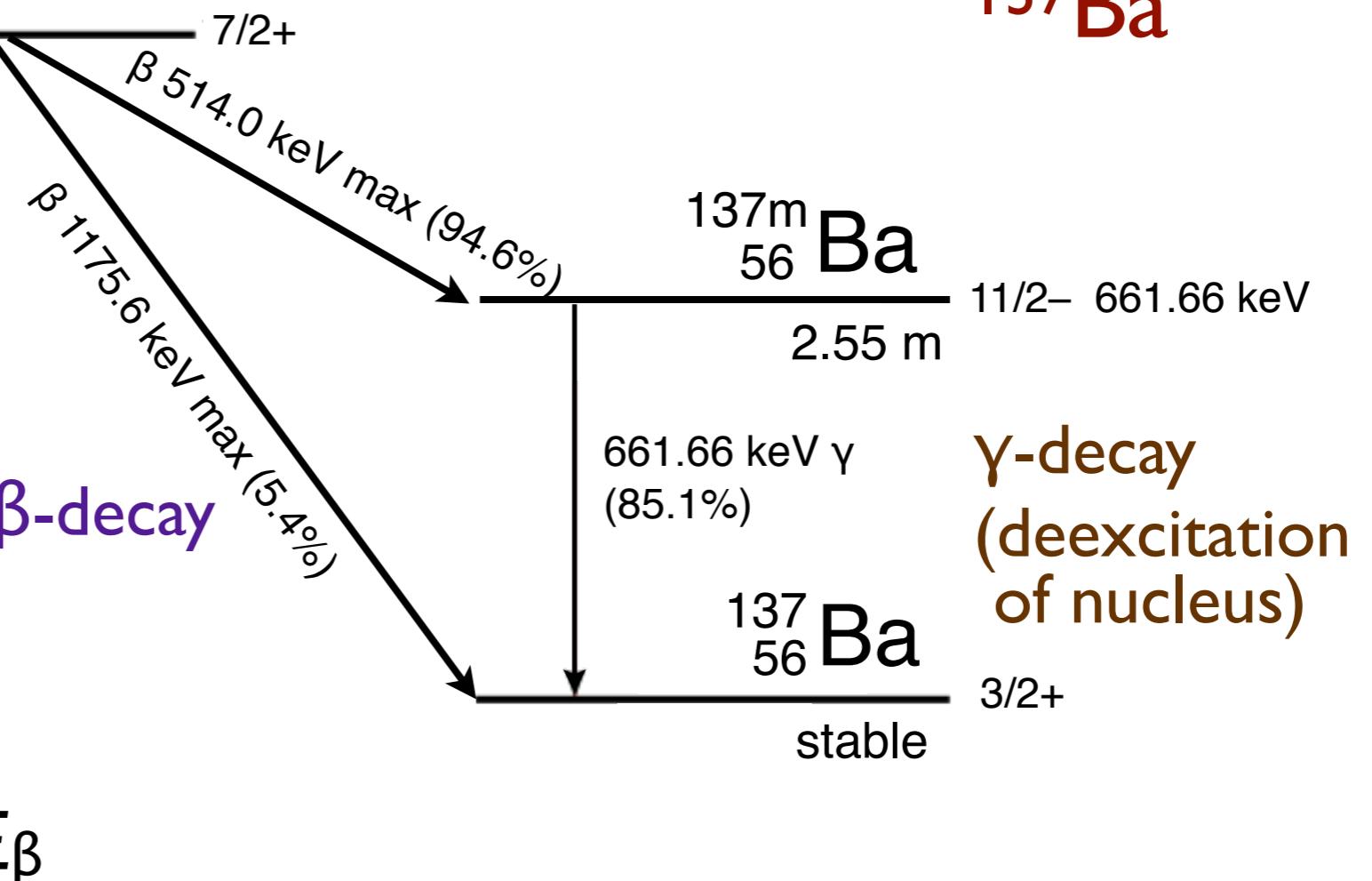
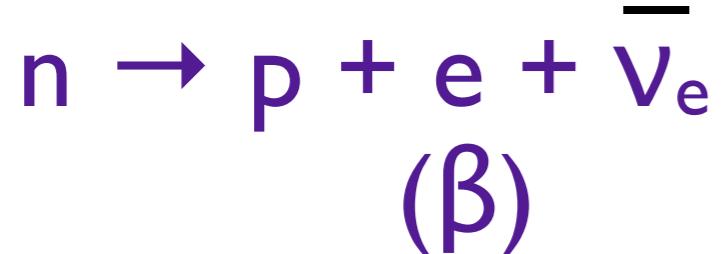
ZnS (Ag)



number distribution



$\beta$ -ray (continuous spectrum)



$\gamma$ -ray (fixed energy)

# Radiation detection using ionization of gas

**ionization chamber**

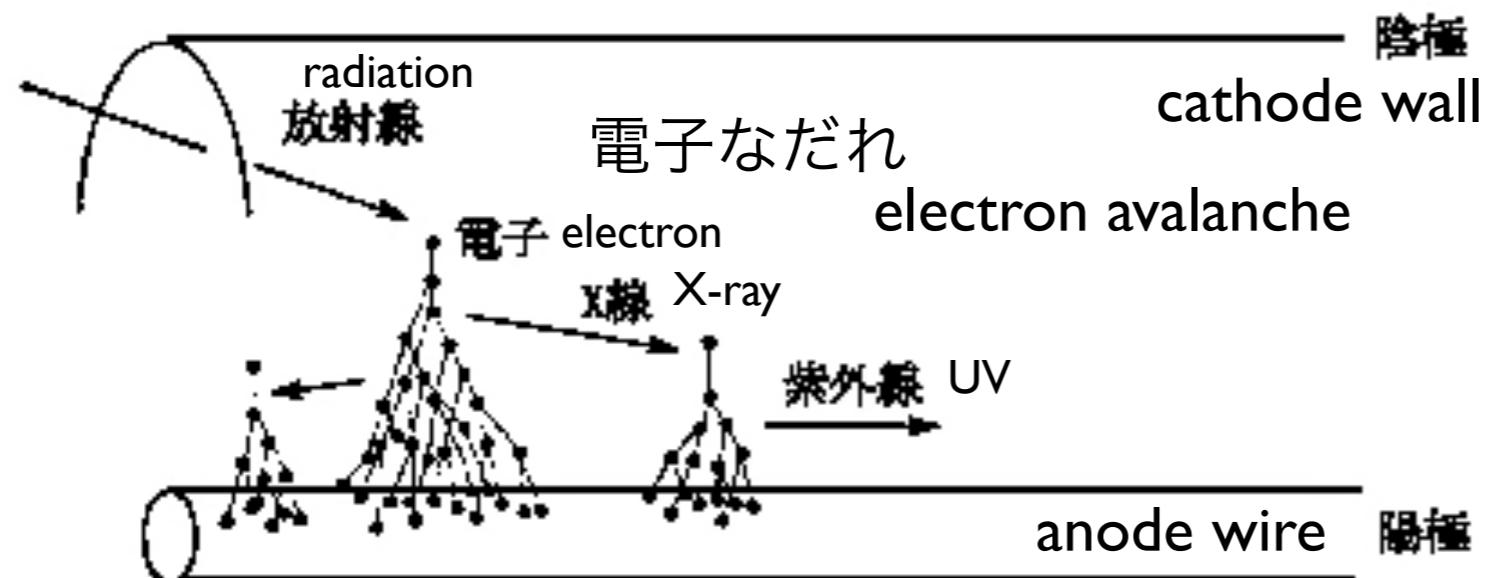
**proportional counter**

**Geiger-Müller tube**

電離箱

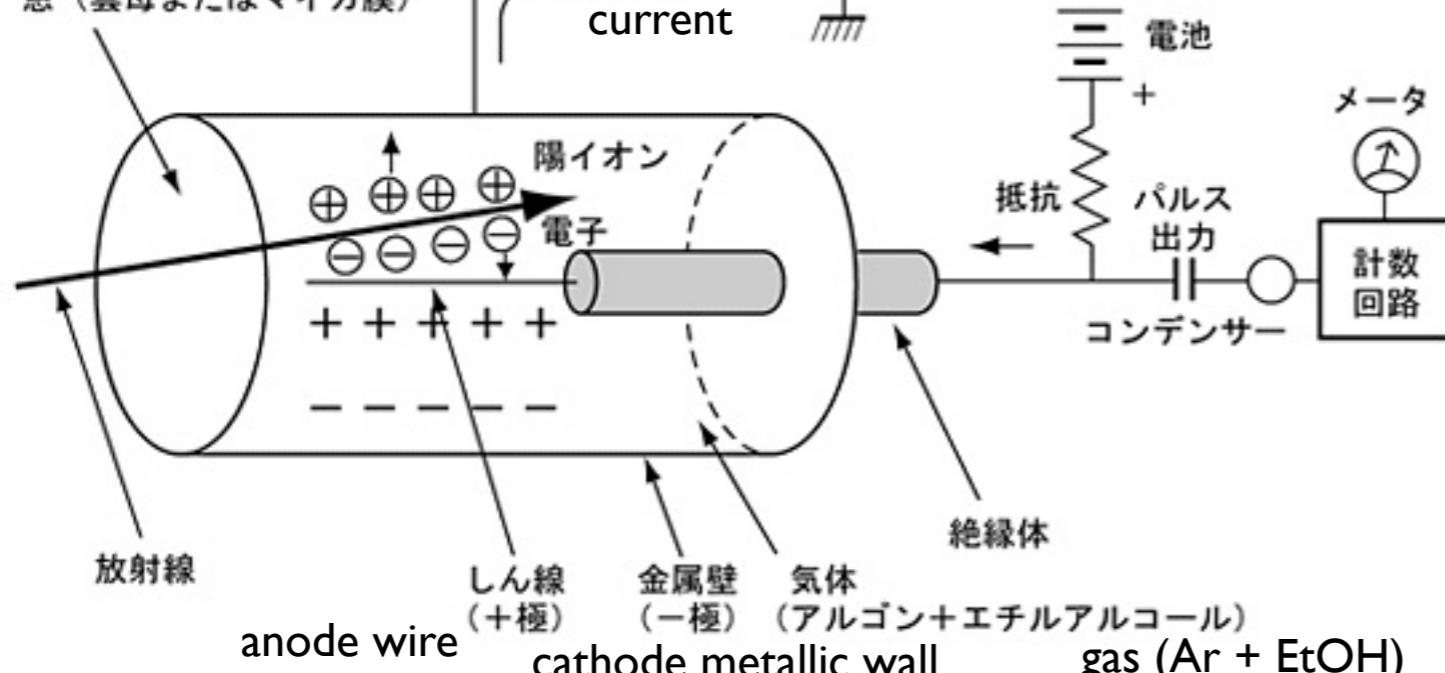
比例計数管

GM管

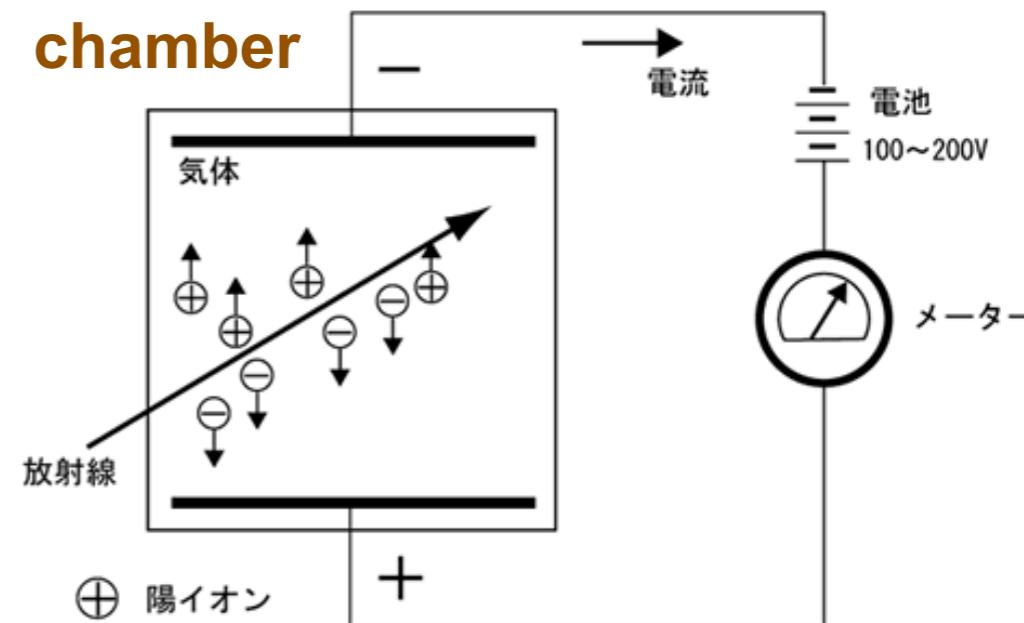


**G-M tube**

thin window  
(mica or Mylar film)  
窓 (雲母またはマイカ膜)

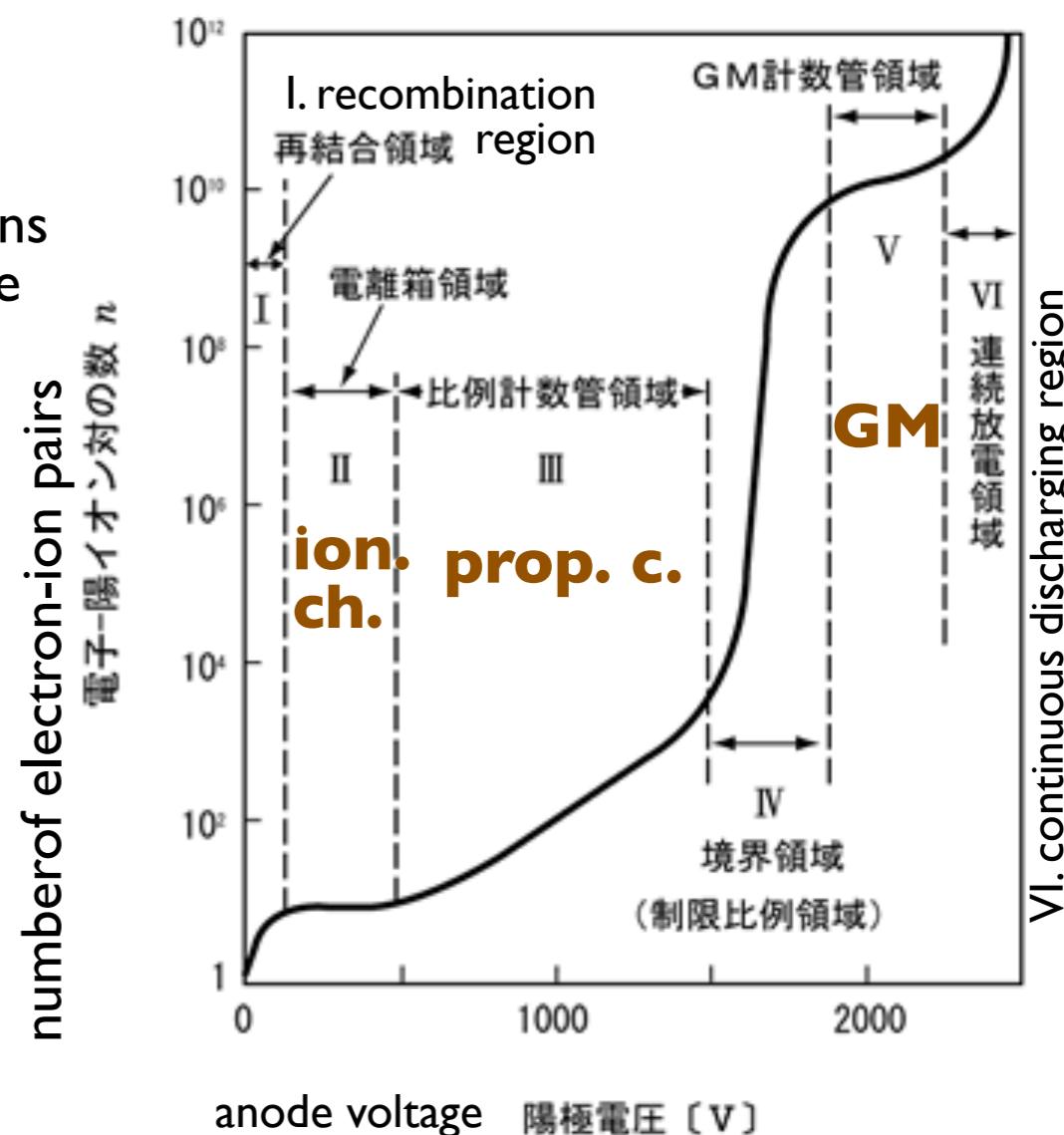


ionization  
chamber



⊕ 陽イオン  
⊖ 陰イオン

電離箱では、 $10^{-9} \sim 10^{-14}$ A程度の微電流を測定する  
必要がある。



V. continuous discharging region

**fluorescence** of materials by irradiation or radiation

## Scintillators

Plastic scintillator  
& light guide

Inorganic : NaI (Tl), CsI (Tl) ( $\gamma$ -ray, X-ray)

BGO, GSO etc. ( $\gamma$ -ray, X-ray)

$\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$

$\text{Gd}_2\text{SiO}_5$

ZnS (Ag) ( $\alpha$ -ray)

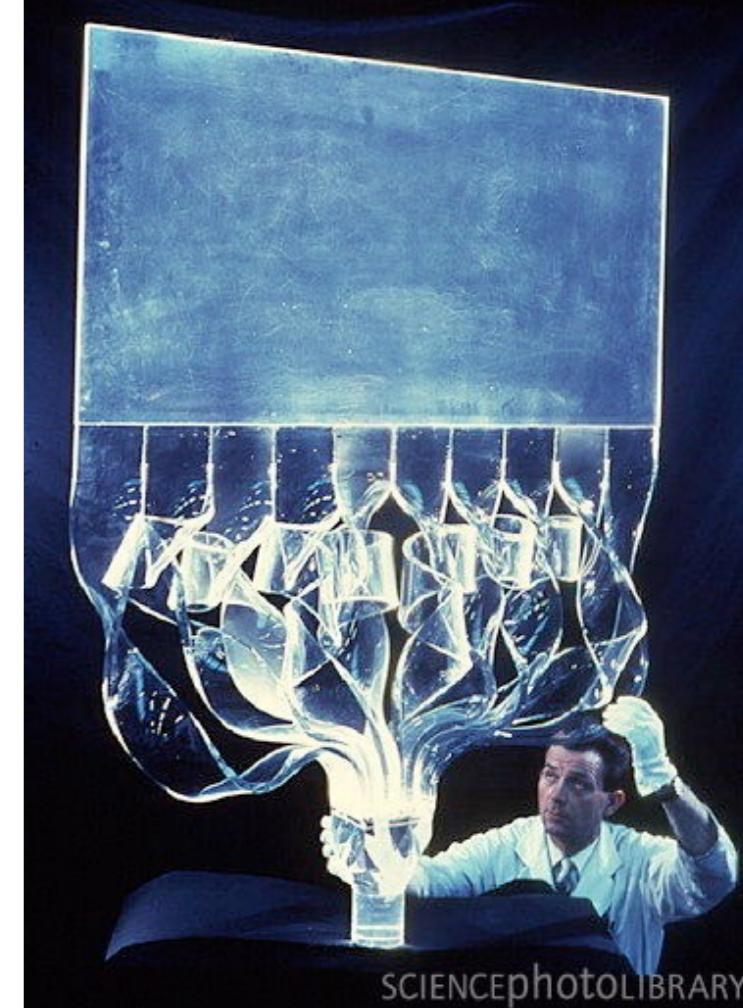
$\text{BaF}_2$

Organic : **plastic scintillator** {electron beam)  
(charged particles)}

e.g. PPO, POPOP / polystyrene

**liquid scintillator** ( $\beta$ -ray)

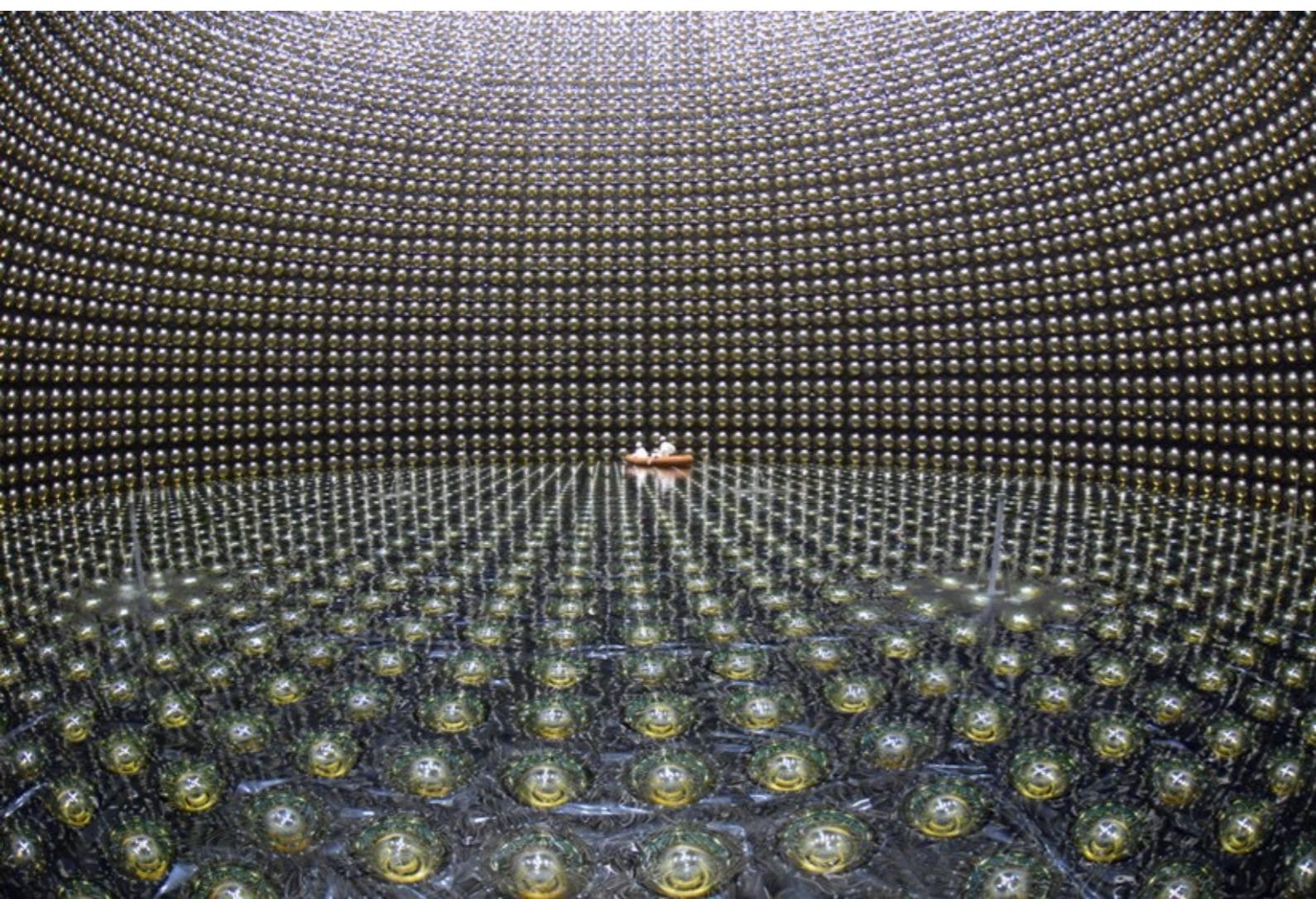
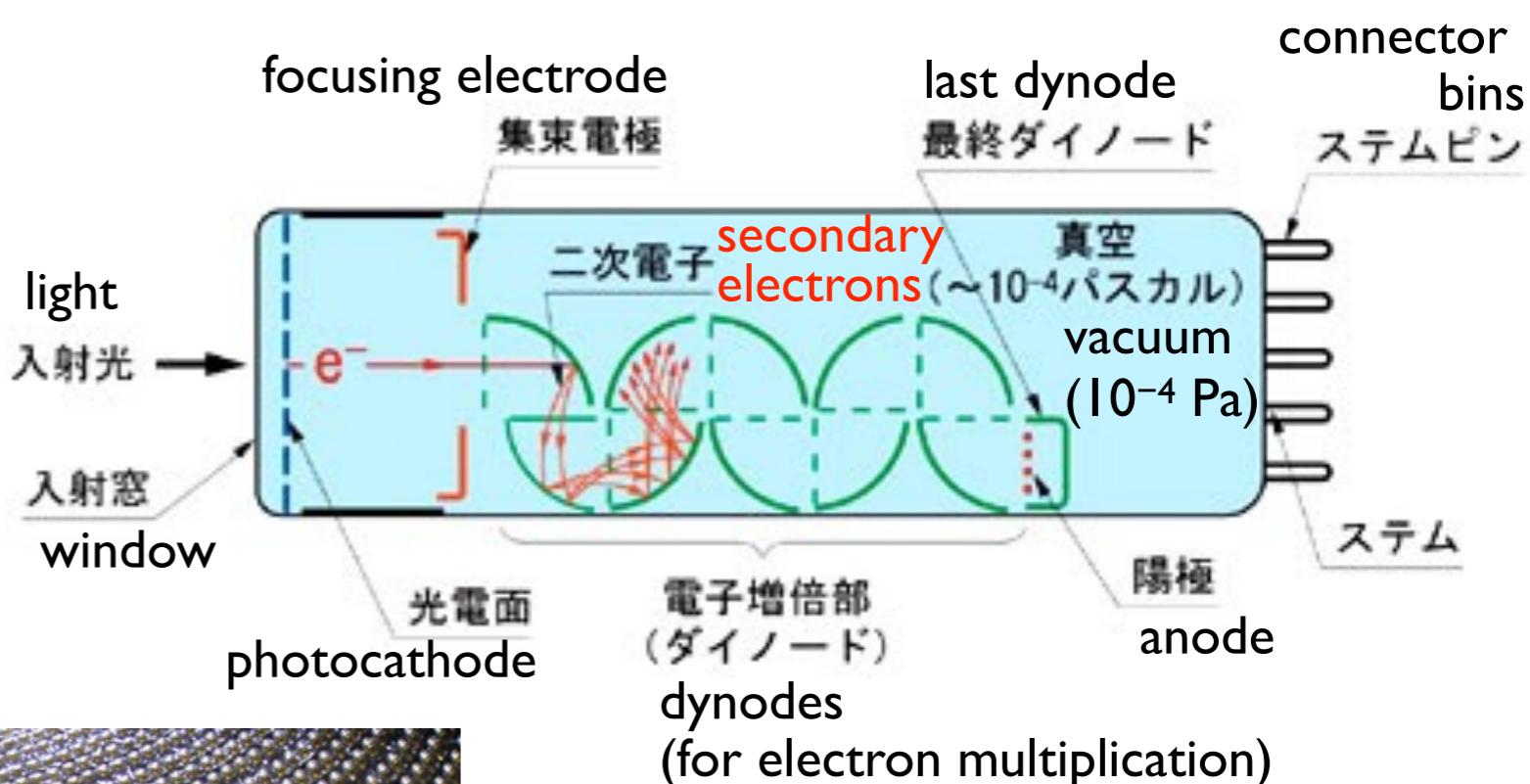
e.g. p-terphenyl / toluene, xylene



electric pulse : timing : time of particle passage  
: pulse height : energy

liquid scintillation counter

# Photomultiplier tube (PMT) 光電子増倍管



light  $\Rightarrow$  photoelectric effect  
 $\Rightarrow$  electron multiplication  
 $\Rightarrow$  current

Combination with a Scintillator

radiation  
 $\Rightarrow$  excitation of molecules  
 $\Rightarrow$  fluorescence  
light  $\Rightarrow$  PMT

# Measurement of radiation

Counting (cps = counts per second)

Survey meters [ambient dose rate]

$\beta$  ( $\gamma$ ) /  $\gamma$



G-M tube

$\beta$  ( $\gamma$ ) /  $\gamma$



ionization  
chamber

[surface contamination]

$\beta$  ( $\gamma$ )

50–100% for  $\beta$

< a few % for  $\gamma$

$\gamma$

Ionization of gas



G-M tube

$\gamma$



NaI (Tl)

**Scintillation**  
(radiation-induced fluorescence)



ZnS (Ag)

# Portable Radiation Detectors for Ambient Doses



日立アロカ社ウェブサイトより

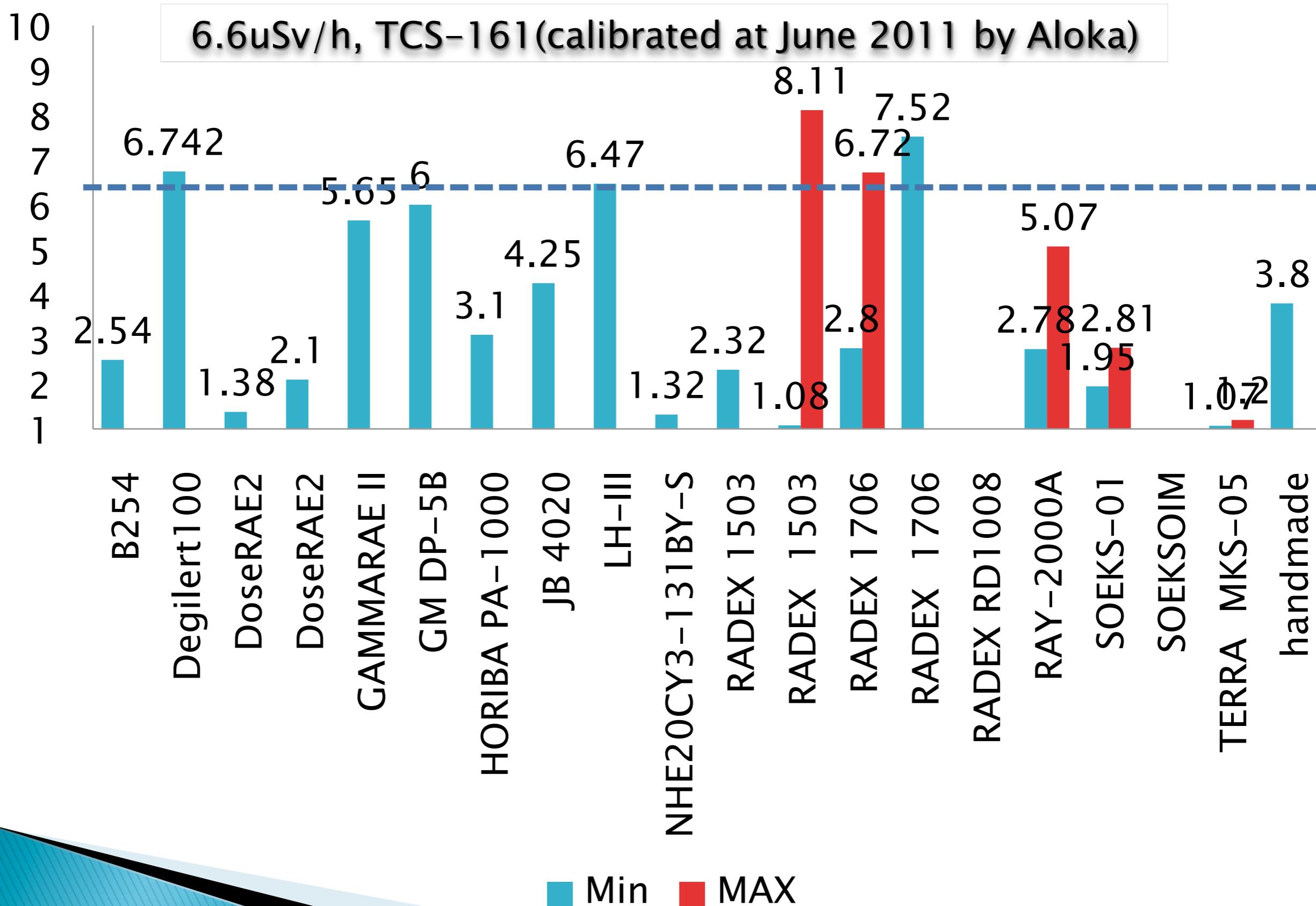


HORIBA社ウェブサイトより

Why different values of doses  
for different types of detectors ?



# Variety of measured values with different dosimeters





# Measurement of radiation

## Semiconductor detectors

例 : Si(Li) detector (X-ray)

Ge detector (high energy resolution)  
( $\gamma$ -ray, X-ray)

radiation  $\Rightarrow$  ionization

$\Rightarrow$  electron-hole pair  $\Rightarrow$  charge measured

electric pulse : pulse height  $\Leftrightarrow$  energy

## energy analysis (ID of nuclide)

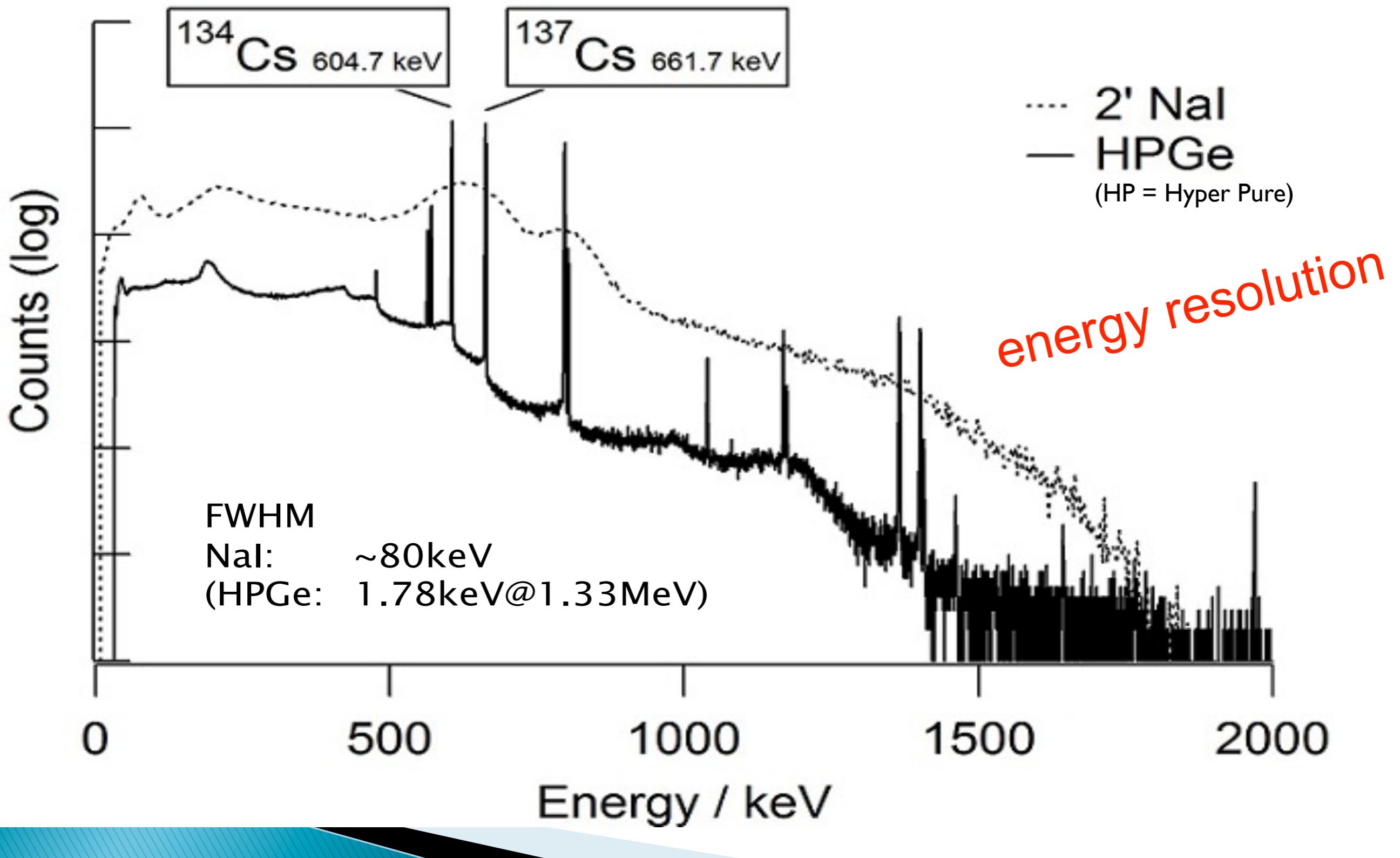
食品検査用ゲルマニウム検出器  
(Ge detector for food samples)

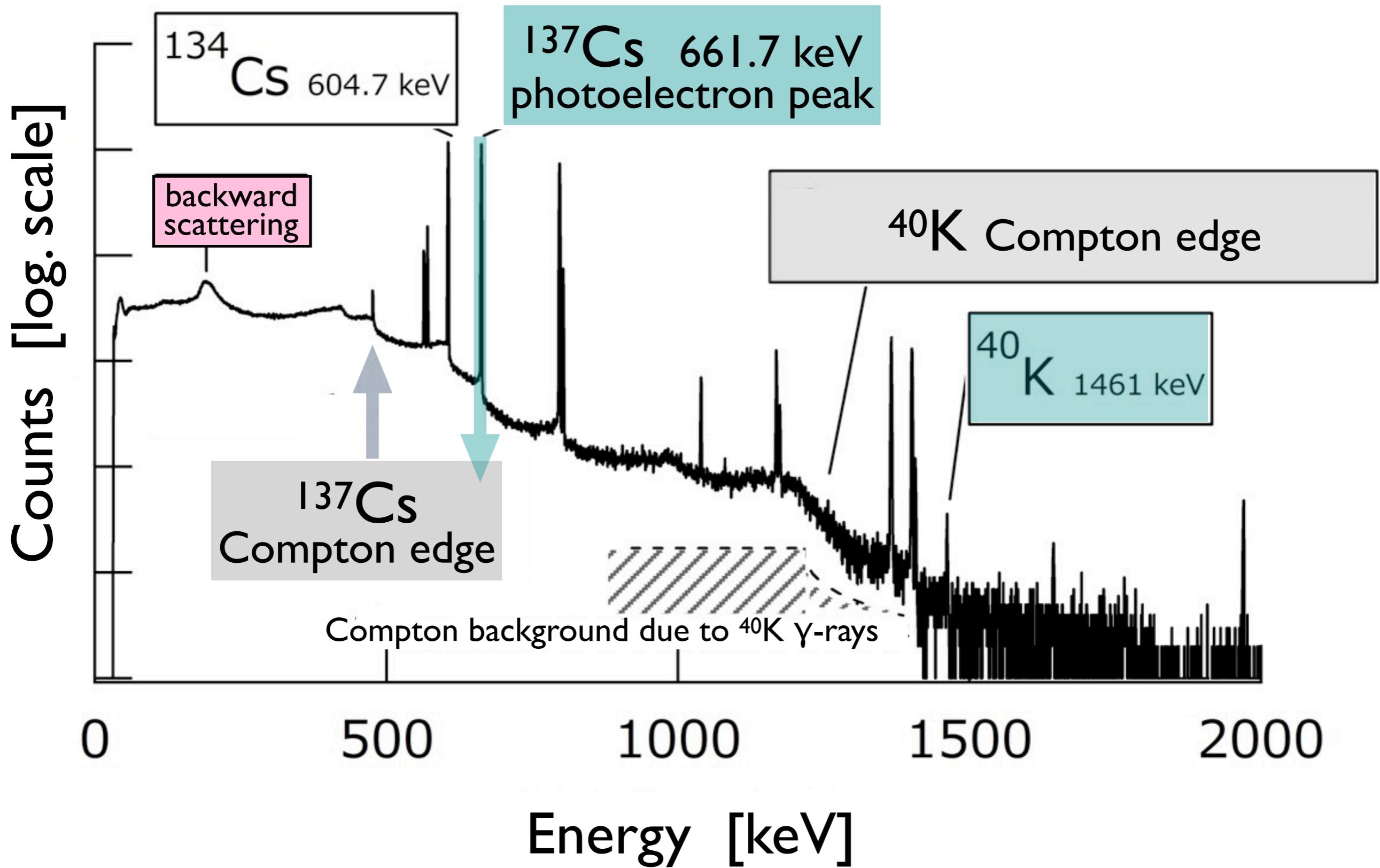
## Measurement for samples

Y ゲルマニウム検出器 (Ge detector)

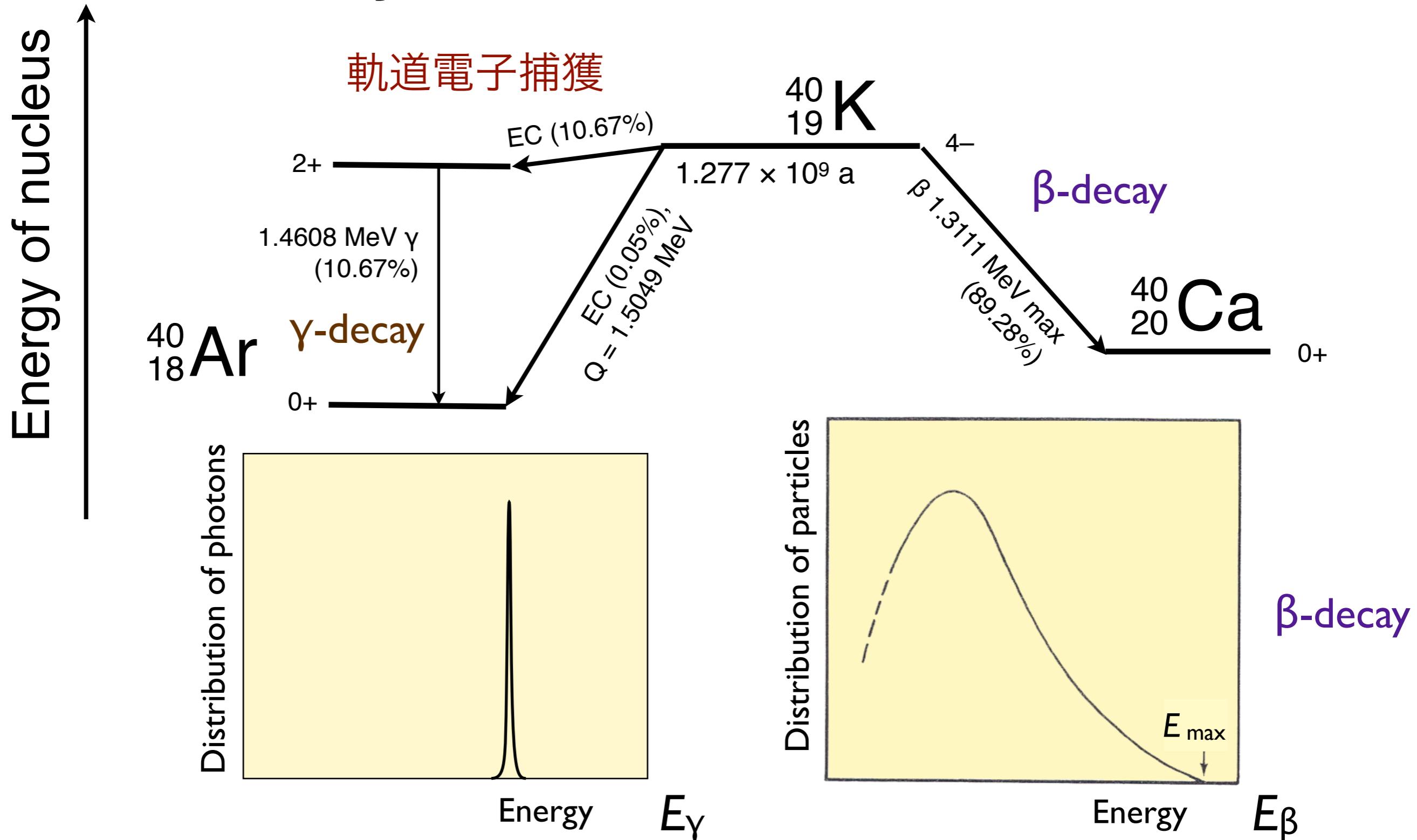


# Comparison of $\gamma$ -ray spectra : NaI (scintillator) vs. Ge (semiconductor)

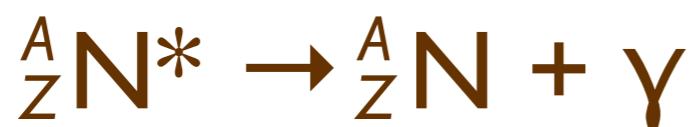




# Decay Scheme of $^{40}\text{K}$ の崩壊(壊変)図式



$\gamma$ -decay (with fixed energy)



$\beta$ -decay (with continuous spectrum)



# Complete check of rice produced in Fukushima



over regulation limit (100 Bq/kg)

0 / 10 250 000 sacks (2016)

0 / 10 500 000 sacks (2015)

2 / 10 770 000 sacks (2014)

28 / 11 000 000 sacks (2013)

71 / 10 340 000 sacks (2012)

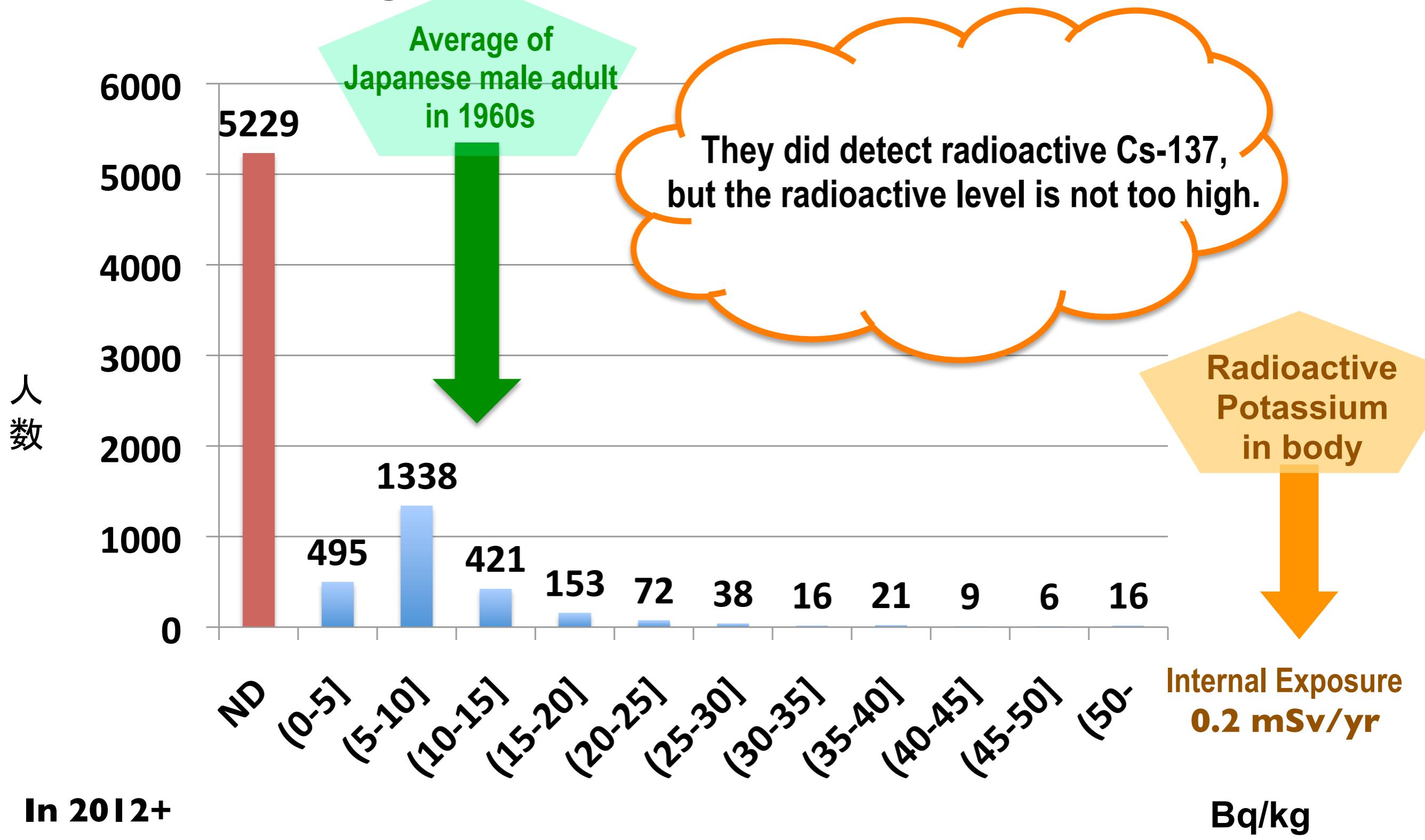
# Evaluation of internal exposure

Measurement of radioactivity in the body by WBC

Whole  
Body  
Counter



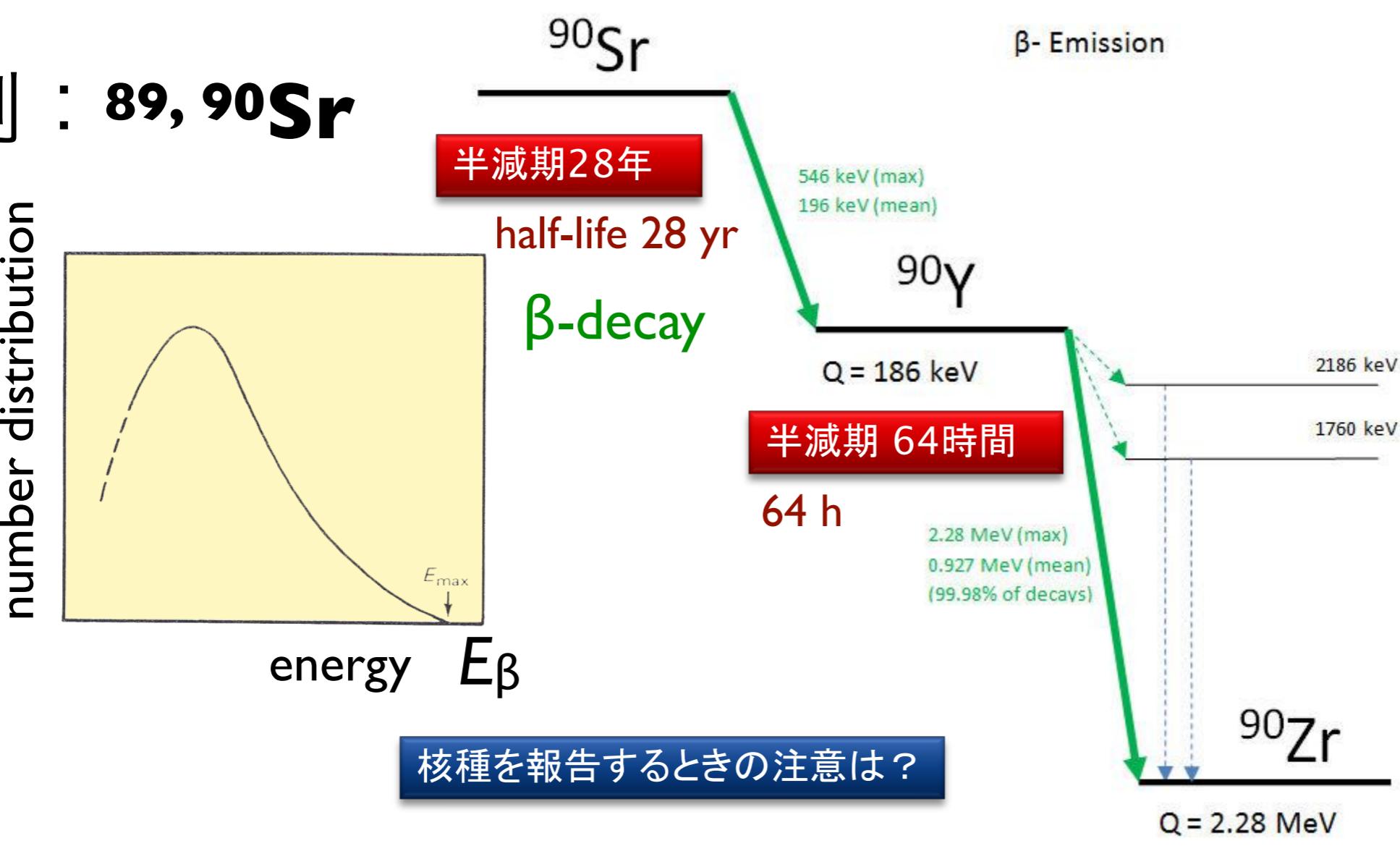
# Intake of radioactive Cs-137 in body measured at Minamisoma Munic. Gen. Hospital, Fukushima during 2011/9/26—2012/3/31



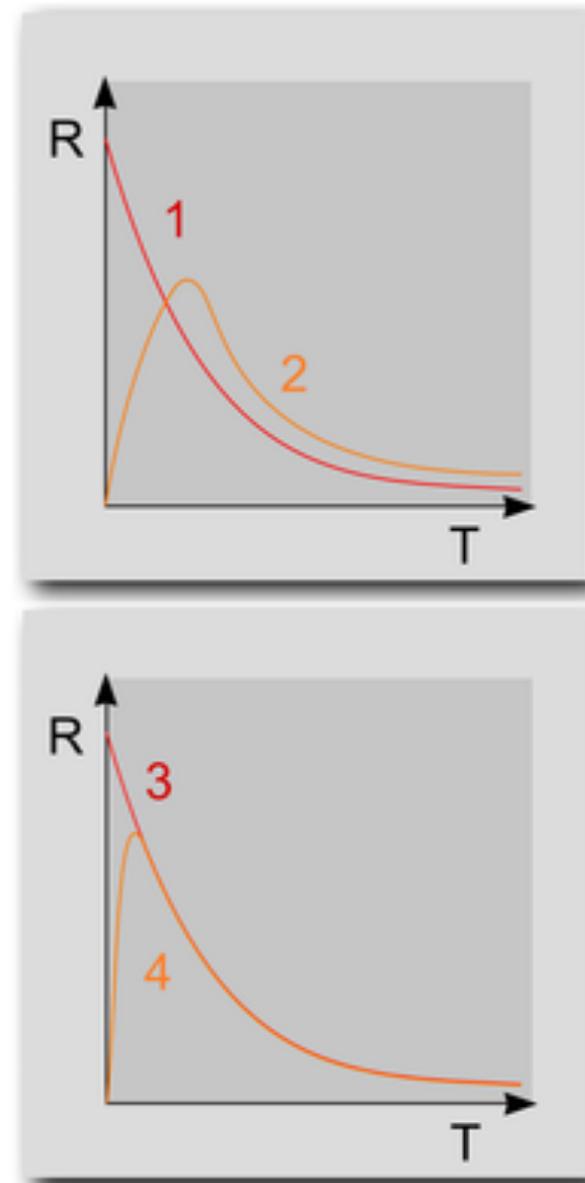
In 2012+

Below detection limit for most of inhabitants since 2012.

# ID of $\beta$ -decay nuclides (without any $\gamma$ -ray emission)



## Chemical separation required



# Dosimeters (personal / environment monitoring)

## Fricke dosimeter フリッケ線量計

$\text{Fe}^{2+} + \text{radiation} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ , absorbance measurement



## thermoluminescence dosimeter (TLD) 熱ルミネッセンス線量計

Fluorite or other crystal + radiation  $\rightarrow$  (heating)  $\rightarrow$  fluorescence

萤石

Electrons / holes are captured in lattice defects.

## glass badge (RPL: radio-photoluminescence) 萤光ガラス線量計



$\text{Ag}^+$ -activated Phosphate Glass + radiation  $\rightarrow$  (UV)  $\rightarrow$  fluorescence



ガラス線量計

## glass dosimeter : cobalt glass $\rightarrow$ color center (colored)



## optically stimulated luminescence (OSL) badge

ポケット線量計

光刺激ルミネッセンス線量計



## pocket dosimeter : ioniz. chamber / semiconductor detector

## film badge フィルムバッジ : Silver halide film AgBr



# 他機関施設でのバッジの使用（加速器・放射光など）

## Using Your Radiation Badge (at accelerators, SR facilities)

- 国内の放射線施設を利用する場合 at domestic facilities
  - 東大理学部のバッジも持参することを原則とする  
Bring your UTokyo-Sci. badge to domestic radiation facilities.
  - 飛行機での手荷物検査によるバッジの被曝に留意  
Try to avoid X-ray survey of your badge.
- 海外の放射線施設を利用する場合 abroad
  - 特に不要であれば、東大理学部のバッジはむしろ持参しないことを推奨する  
We recommend that you do not bring your badges abroad,  
As long as the facility abroad takes care of your radiation protection.
  - 持参する必要がある場合、手荷物検査や機内での被曝については、後から記録の修正が必要な場合がある  
If you need to bring it abroad, give us reports on possible radiation exposure of your badge at X-ray survey and during your flights.

# Dose limit for individuals

Occupational exposure  
for Radiation workers

Effective dose women pregnant women	100 mSv / 5 yrs and 50 mSv / yr 5 mSv / 3 mo. 1 mSv / period of pregnancy
Equivalent dose eye lens skin abdomen surface of pregnant women	150 mSv / yr 500 mSv / yr 2 mSv / period of pregnancy

Public exposure  
for General public

Effective dose	1 mSv / yr
Equivalent dose eye lens skin	— —

線量限度の一覧表（作業者）

	1990勧告	1977勧告
実 効 線 量	20mSv/年（5年平均）	50mSv/年
水晶体等価線量	150mSv/年	150mSv/年 <sup>2)</sup>
皮 膚 等 値 線 量	500mSv/年 <sup>1)</sup>	500mSv/年
手・足の等価線量	500mSv/年	500mSv/年 <sup>3)</sup>
そ の 他 の 組 織	—	500mSv/年

1) 被ばく部位に関係なく、深さ7 mg/cm<sup>2</sup>、面積1 cm<sup>2</sup>の皮膚についての平均線量に適用される。

2) 1980年のブライトン声明で300mSv/年から150mSv/年へと変更され、1985年のパリ声明で300mSv/年から150mSv/年へと変更された。  
(18歳から65歳までの就業期間の被曝の場合で、65歳までのリスクの最大値)

線量限度の一覧表（一般公衆）

	1990 勧告	1977 勧告
実 効 線 量	1 mSv/年	5 mSv/年 <sup>1)</sup> , 1 mSv/年（生涯の平均）
水晶体等価線量	15 mSv/年	50 mSv/年
皮 膚 等 値 線 量	50 mSv/年 <sup>3)</sup>	50 mSv/年
そ の 他 の 組 織	—	50 mSv/年 <sup>2)</sup>

1) 1985年のパリ声明で主たる限度を1年につき1 mSvとして、補助的な限度を5mSv/年とした。

2) 1985年のパリ声明で実効線量当量の制限によって不要になった。  
(被ばく部位に関係なく、深さ7 mg/cm<sup>2</sup>、面積1 cm<sup>2</sup>の皮膚についての平均線量に適用される)  
**Annual Risk 1/10,000** (毎年被曝の場合、65歳までの最大値)

**ICRP recomm.**

(出典) (1990年ICRP新勧告と1977年ICRP勧告における線量限度値対照表)

[「ICRP1990年勧告-その要点と考え方-」、草間朋子編、日刊工業新聞社、50ページ]

Protection by Jpn domestic law

# Radiation protection

Prevent deterministic effect.

Reduce stochastic effect.

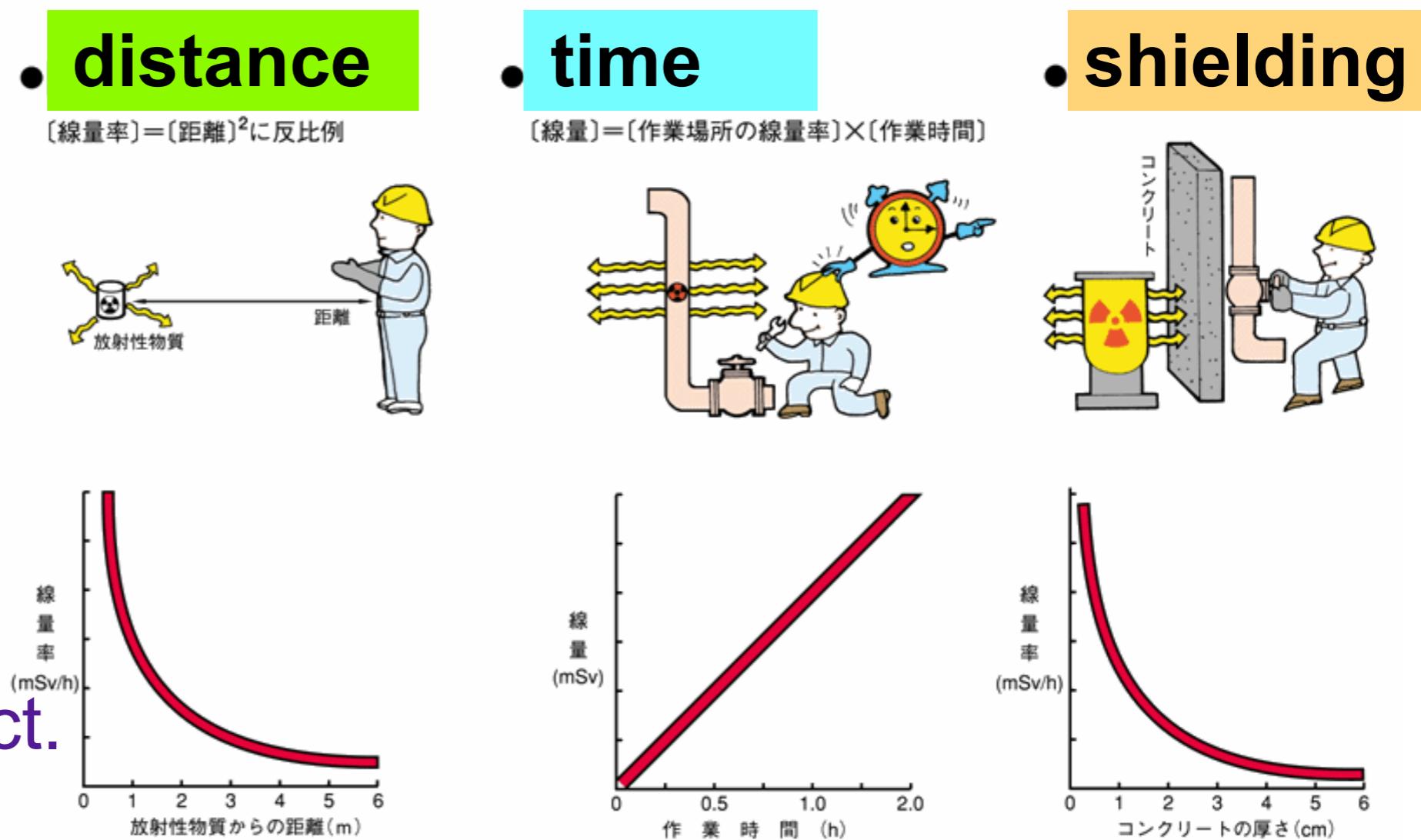


図1 遮へい3原則の図

[出典] 電気事業連合会:「原子力・エネルギー」図面集2003-2004、p.130

Optimization : all exposures shall be kept as low as reasonably achievable, economic and social factors being taken into account.

(**ALARA** principle = As Low As Reasonably Achievable)

Dose limit : 1 mSv/yr for general public (in addition to natural BG).  
100 mSv/ 5 yrs and 50 mSv/yr max. for male radiation workers.

# Radiation control area 放射線管理区域

管理区域  
(使用・貯藏施設)



許可なくして  
立入りを禁ず

放射性同位元素  
使 用 室



第 2 種

-回室-





警報区域（監視エリア）所蔵庫  
Showcases for Controlled Area  
[Maintenance Area]



# Sealed sources

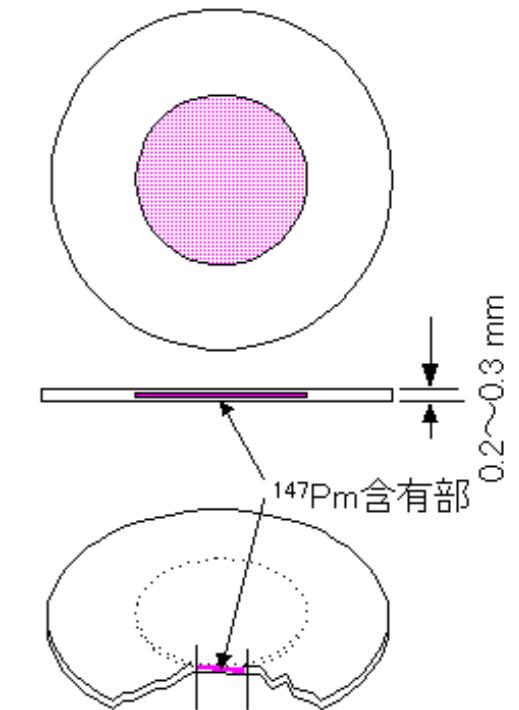
密封小線源



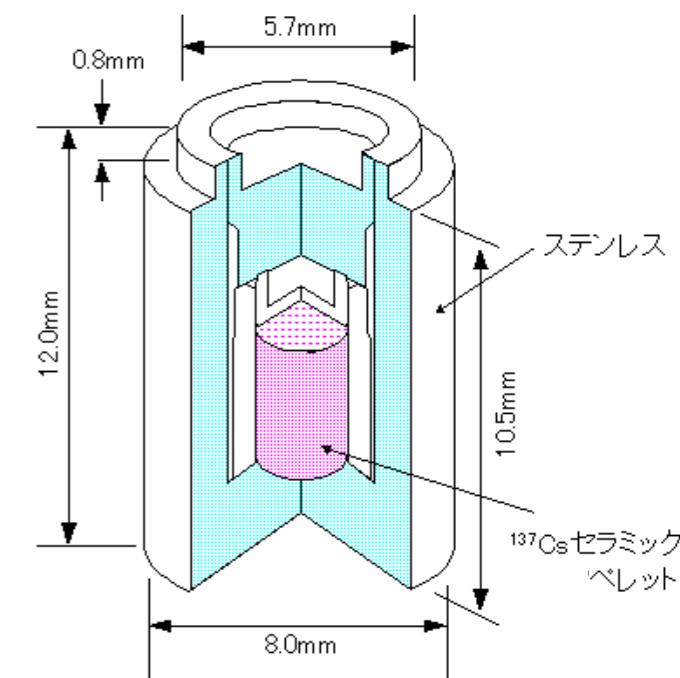
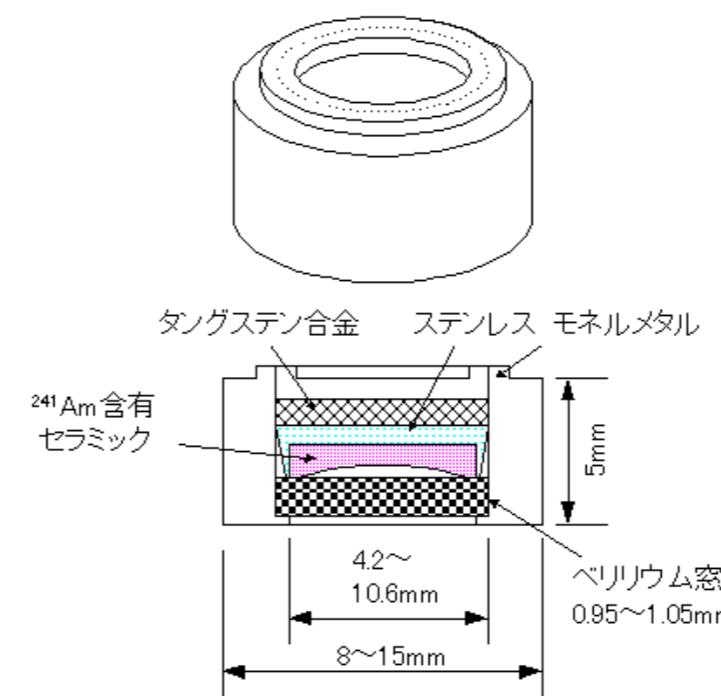
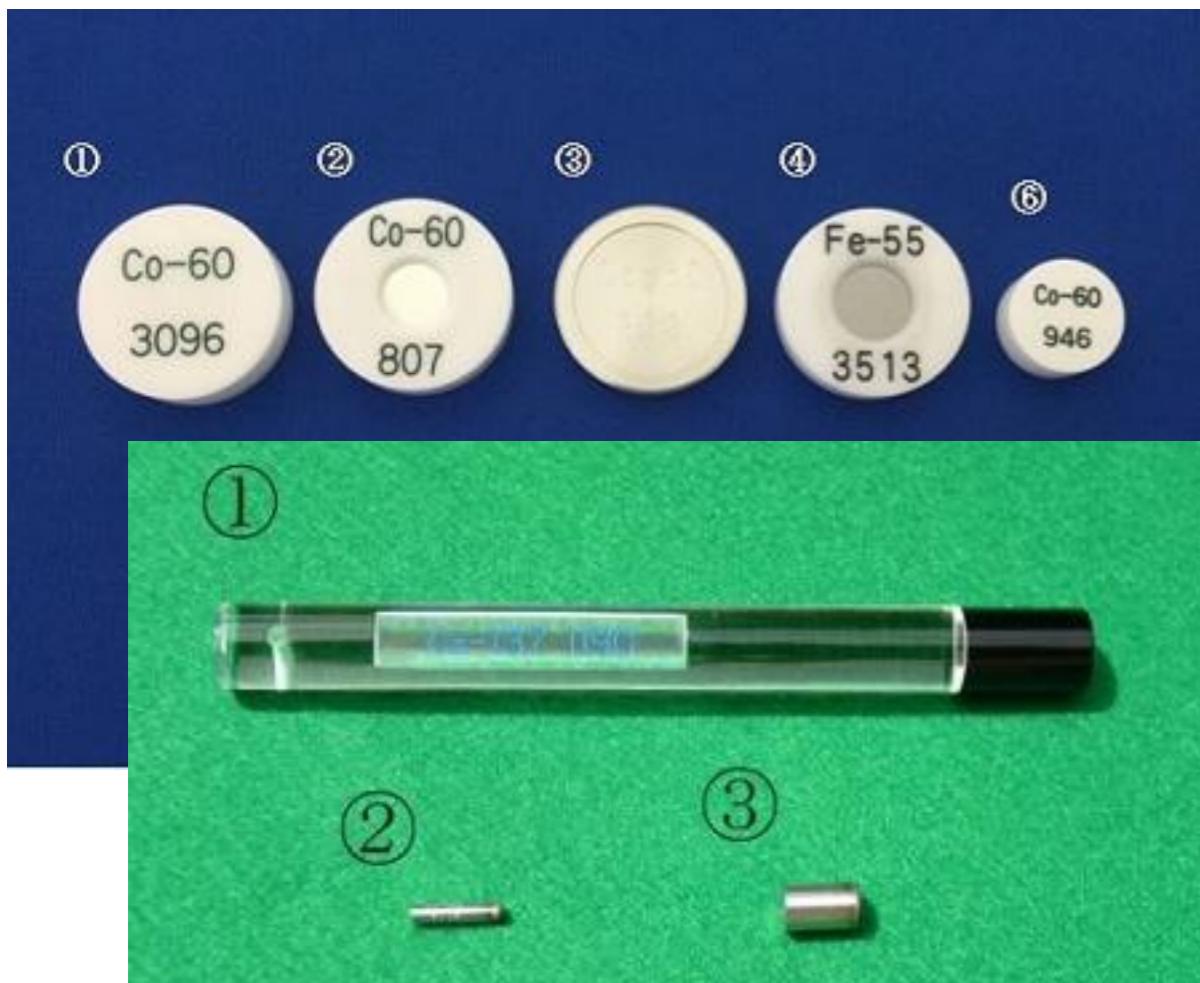
$\alpha$ -ray source



$\beta$ -ray source



$\gamma$ -ray source



# Safe Usage of X-ray devices

## エックス線装置の安全取扱



### ①X 線警告灯（黄色）

X 線の発生を防 X 線カバーの X 線警告灯の黄色 LED で表示します。

### ②防 X 線カバー（側面）

防 X 線カバーにより、ゴニオメータ等の光学系部が覆われています。

### ③防 X 線カバーの扉（インターロック）

前面パネルにロック機構が付いており、「DOOR」ボタン（黄色）が消灯している時は扉ロックが掛かり、防 X 線カバーは開けることができません。

### ④「DOOR」ボタン

防 X 線カバーを開ける時に使用します。

### ⑤HV ENABLE キー

キーを右に回し、装置ロックを解除し POWER ON を可能な状態にします。

## 東京大学における エックス線装置の分類

Classification of X-ray devices at UTokyo

密閉型 closed system	A	Completely sealed
	B	Interlock used all the time
非密閉型 non-closed system	C	Interlock used appropriately
	D	Equipments installed in a room
	E	Not fixed / mobile

