



# 游離輻射防護簡介

行政院原子能委員會  
核能技術處



# 簡報大綱 **Outline**



1 認識輻射

2 輻射民生應用

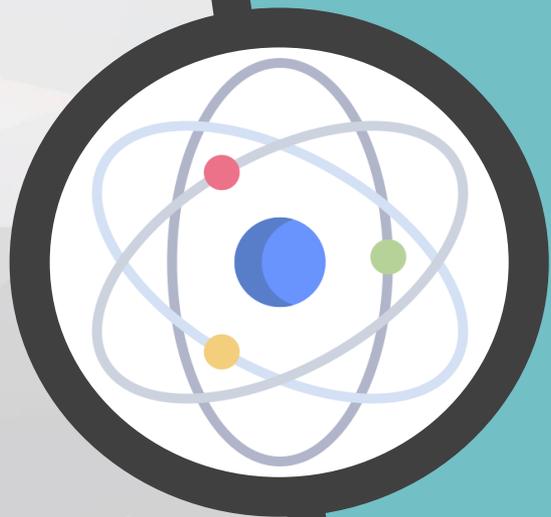
3 輻射安全管制

4 輻射防護

5 結語



# 簡報大綱 **Outline**



1 認識輻射

2 輻射民生應用

3 輻射安全管制

4 輻射防護

5 結語

# 什麼是輻射？

輻

筆順播放



單字：輻

注音：ㄈㄨˋ

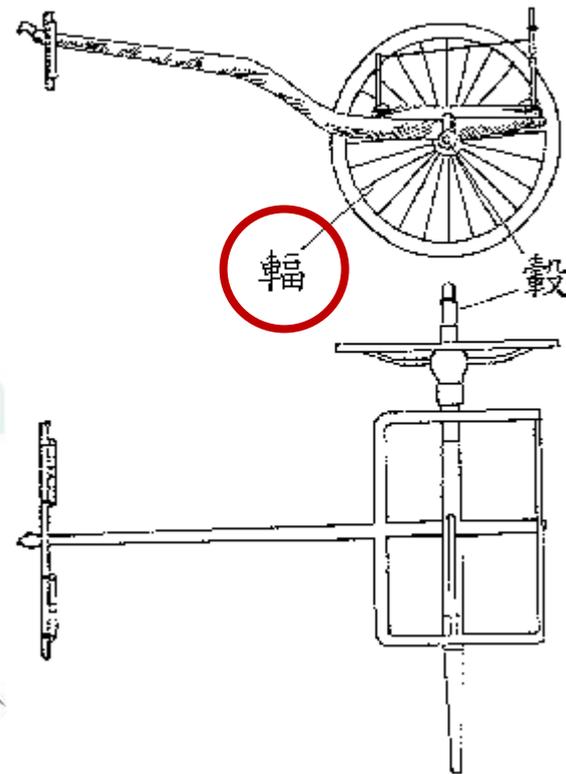
漢語拼音：fù

部首：車 車 部首外筆畫：09 總筆畫數：16

## 解釋

- (1) 車輪中連接外輪圈與軸心的木條。
- (2) 輻射：光、熱、核射線等向外放射的現象。

引用自教育部國語小字典

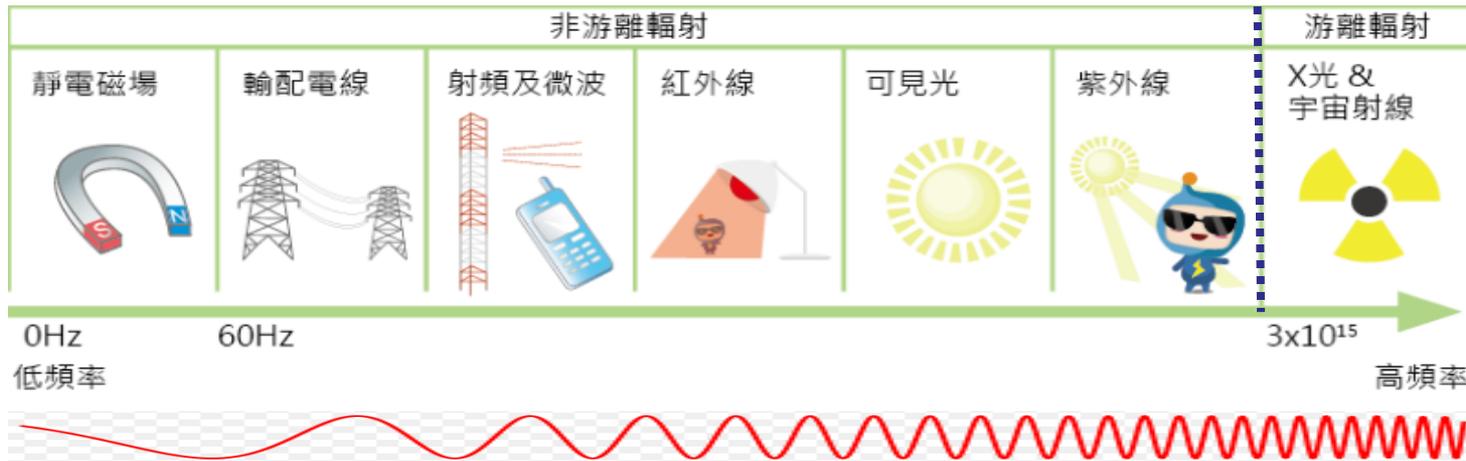


# 非游離輻射 vs 游離輻射

非游離輻射

能量約為  
10 keV

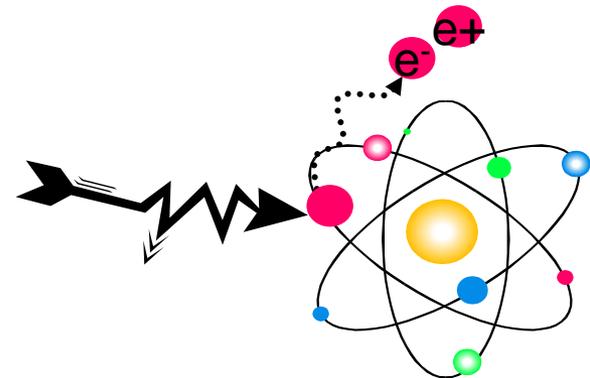
游離輻射



圖片來源：環保署非屬原子能游離輻射管制網、<http://en.eeae.gr/>

游離作用：

原子核外圍的**電子**被打出，產生一個離子對（帶正電的離子及電子）



# 非游離輻射

# 游離輻射

代表符號



能量高低

**低能量** (約  $\leq 10$  keV)  
**不會**使物質產生游離作用

**高能量** (約  $> 10$  keV)  
**會**使物質產生正、負電荷的游離作用

波長

較**長**

較**短**

頻率

較**低**

較**高**

種類區分

無線電波、電磁波、微波、  
紅外線、可見光、紫外線等

電磁輻射：X光、 $\gamma$ 射線、  
粒子輻射： $\alpha$ 射線、 $\beta$ 射線、電子、  
質子、中子等

常見來源

高壓電塔、手機、基地台、微波爐

放射性物質 (鈷-60、銫-137)、  
X光機

度量單位

高斯 (G)、特士拉 (T)

貝克 (Bq)、西弗 (Sv)

主管機關

**行政院環境保護署** (環境影響及監測)  
**衛福部國民健康署** (人體健康的影響)  
國家通訊傳播委員會 (基地台管理)  
經濟部標準檢驗局 (商品檢測)

**行政院原子能委員會**  
(游離輻射作業之安全管制與劑量管理、全台環境輻射的監測等)

# 游離輻射是IARC第1級致癌物

## 第1級致癌物

流行病學證據充分！

對人類具有致癌性



檳榔



吸菸



加工肉

## 游離輻射



包含X-ray、加馬射線、宇宙射線、氡氣、與各種放射性物質及其衰變產物。

## 第2級致癌物

第2A類致癌物 可能對人類有致癌作用

第2B類致癌物 也許對人類有致癌作用

### 「非」游離輻射



極低頻磁場對兒童白血病、含無線電話在內之射頻電磁波 (第2B類)

極低頻電場、靜電磁場 (第3級)

## 第3級致癌物

尚無法歸類為對人類的致癌性

## 第4級致癌物

可能對人類沒有致癌性

Adapted from 國民健康署facebook圖片

國際癌症研究署 (International Agency for Research on Cancer · IARC)

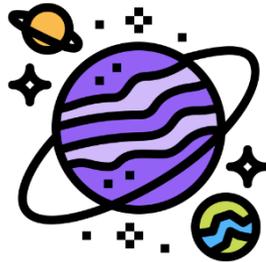
接下來我所說的  
「輻射」，都是  
「游離輻射」！



# 身在「輻」中要知輻！

## 宇宙射線：

宇宙射線來自於外太空，故所處地勢越高，接受到的宇宙射線也會較多！



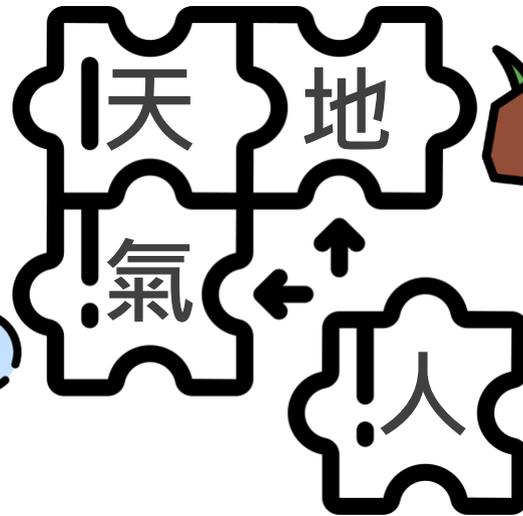
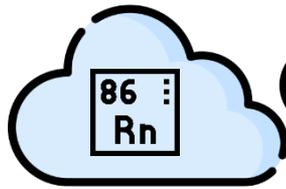
## 岩石土壤：

地球的生成即為一連串核反應，故形成之初，地殼中就有許多微量的放射性元素。



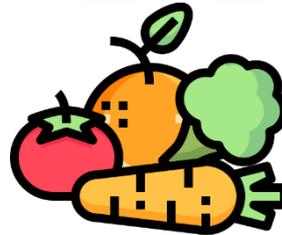
## 氡氣：

氡氣是天然背景輻射中，人體最主要的劑量來源；建築中所使用的石材，也是氡氣的來源之一。



## 食物：

我們吃的食物中含有許多微量的天然放射性元素，其中以鉀-40含量最高。



# 天然輻射-來自宇宙射線(1/2)

- 宇宙射線來自外太空，主要由83%的高能質子，16%的 $\alpha$ 粒子及其他高能粒子所組成，稱為一次宇宙射線。
- 一次宇宙射線與大氣層中的空氣分子作用後，產生包括中子，質子等的二次宇宙射線，並穿透大氣層對生物體造成曝露。

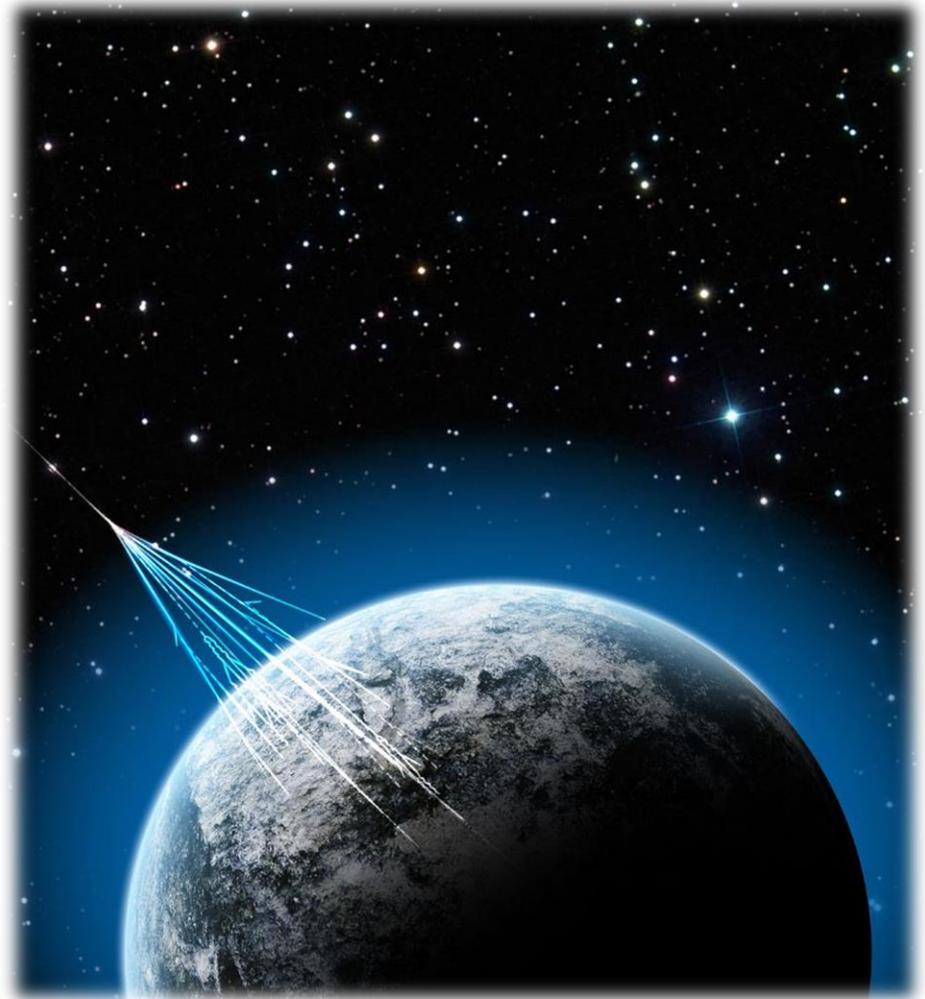
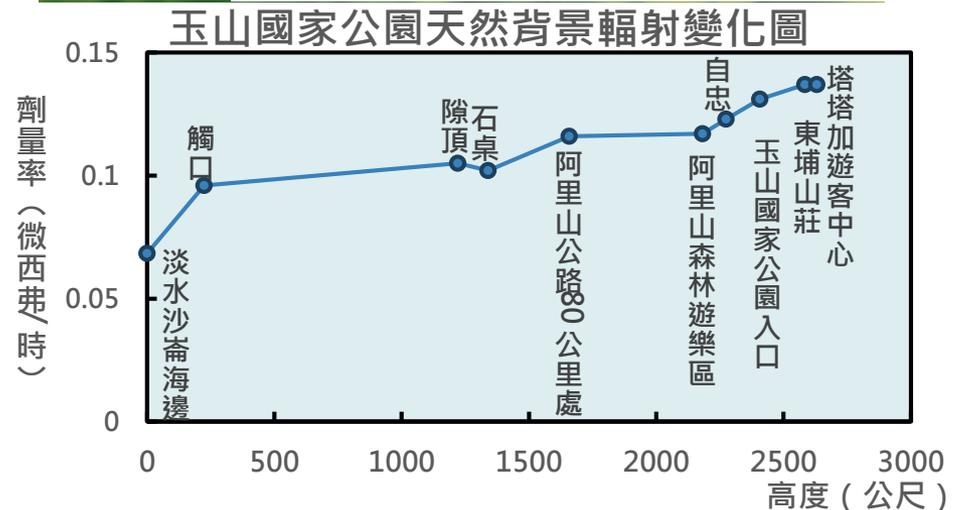


Image credit: NSF/J. Yang

# 天然輻射-來自宇宙射線(2/2)

□ 宇宙射線在離地表愈高的位置愈強，所以造成的劑量也較高；大約每升高1,500~2,000公尺，劑量就會增加一倍。

□ 受地磁影響，在同一高度時，赤道附近之宇宙射線強度較低，而愈往南北兩極則愈高。



# 天然輻射-來自地表輻射

- 地表輻射即存在於地殼、岩石、土壤中的天然放射性核種，主要為鉀-40、釷、鈾元素及釷、鈾衰變系列核種所產生之輻射。



▲ 北投石：北投溫泉博物館展鎮館之寶  
(母岩約800公斤) / 照片：北投溫泉博物館提供

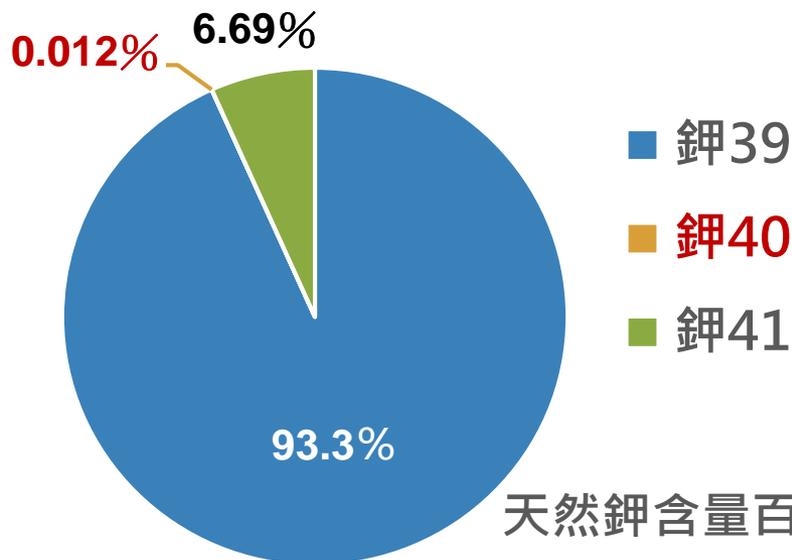
- 北投石（英語：Hokutolite）是以**台灣地名**命名的稀有**放射性溫泉礦物**，含有微量的放射性元素**釷**，因意外引起底片曝光才會被發現。
- 全球僅發現於台北市北投溫泉及日本秋田縣玉川溫泉。
- 臺灣指定為「自然文化景觀」，並由台北市政府於北投溫泉博物館上游北投溪河段劃定自然保留區。

（資料來源：維基百科）

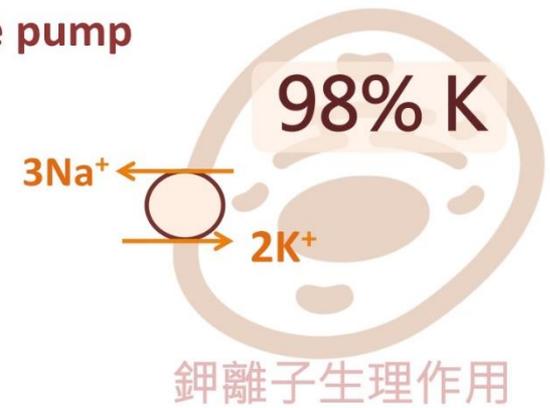
# 天然輻射-來自食物

□ 人體體重約含**0.2%的鉀**，其中**0.012%**為會放出β射線的**鉀-40** (半衰期 $1.248 \times 10^9$ 年)。

□ 人類的**食物來源**中，魚/肉類、牛奶、蔬果、五穀等，或多或少都**含有鉀-40**存在。



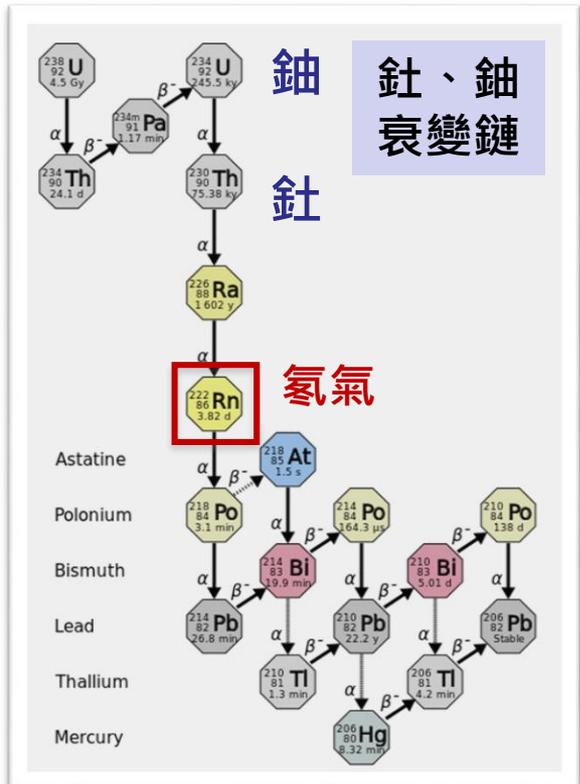
Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase pump



圖片摘自奇美醫院腎臟科-陳銳溢醫師 blog

# 天然輻射-來自空氣

□ 空氣中的天然輻射主要來自氡氣，氡氣為鈾、釷系元素衰變過程中的產物，因為土壤和岩石裏都含有少量的鈾與釷，所以我們的居住環境中難免有氡氣的存在。



- 室內氡氣造成的輻射劑量，世界的年平均值為1.26毫西弗，臺灣約為0.9毫西弗。
- 保持室內空氣流通，可有效降低室內氡氣濃度。

## 氡氣進入屋內的方式



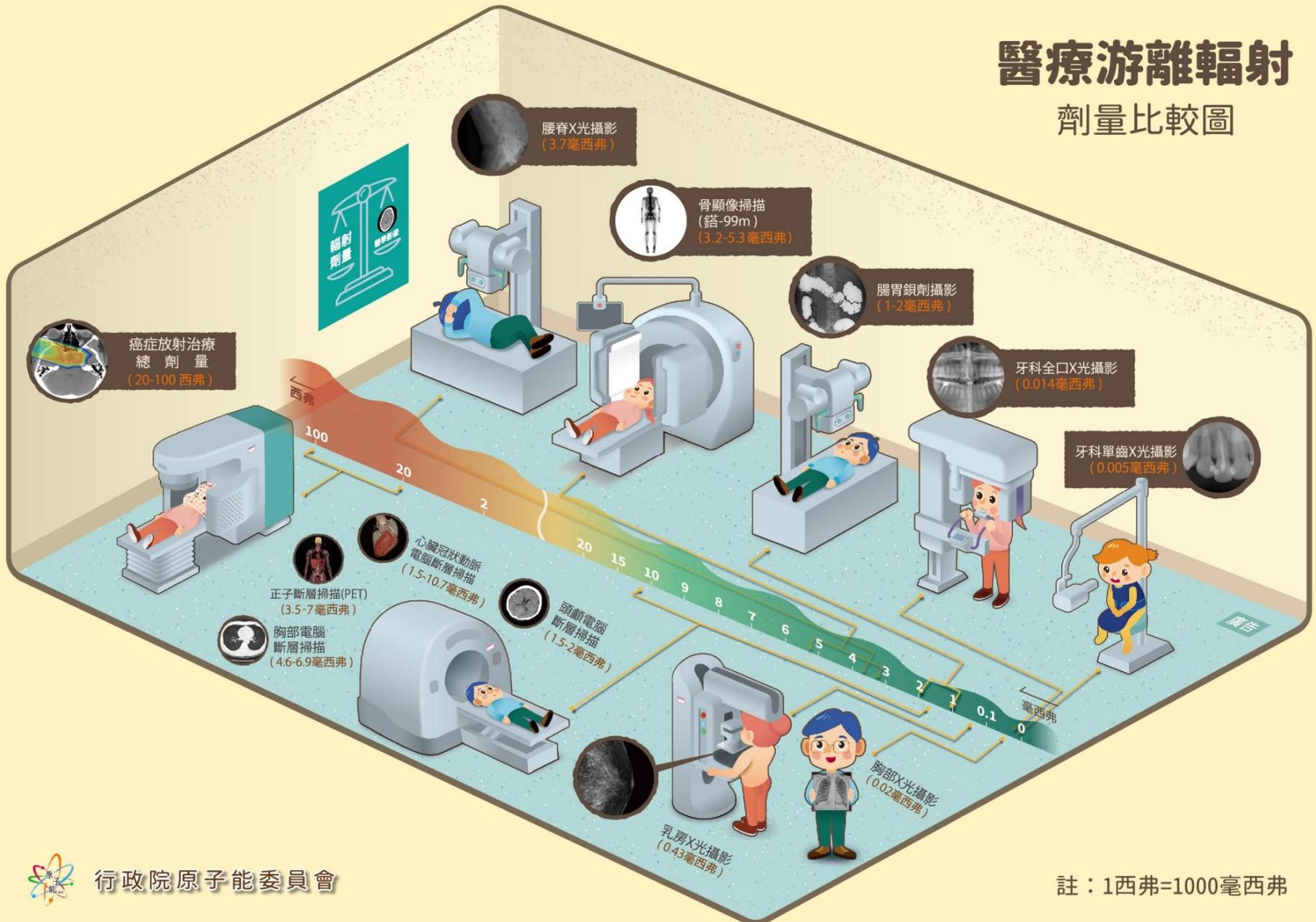
圖片來源：<http://www.a2c.it/>

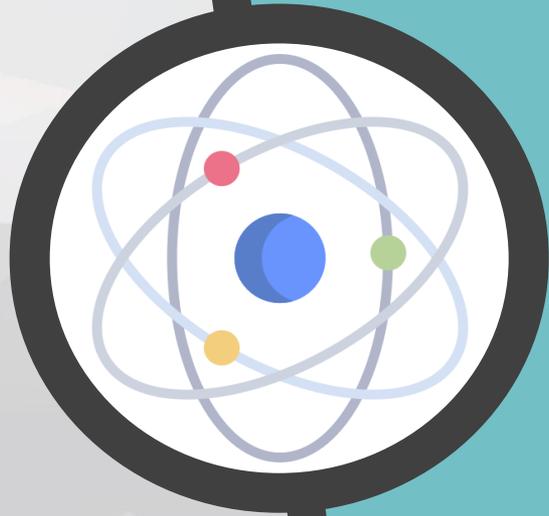


# 一般游離輻射 劑量比較圖



# 醫療游離輻射劑量比較圖





# 簡報大綱 **Outline**

1 認識輻射

2 輻射民生應用

3 輻射安全管制

4 輻射防護

5 結語

# 核能電廠



# 輻射應用

質子治療機



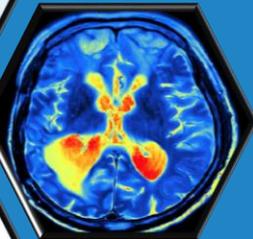
一般診斷 X光機



牙科全口 X光機



## 醫用



核子醫學

電腦斷層掃描 (CT) 儀



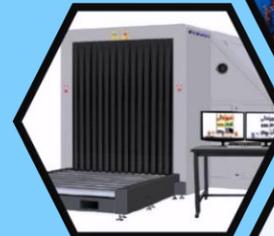
醫用直線加速器



測厚儀



行李檢查 X光機



輻射滅菌



## 非醫用



X光繞射儀

非破壞照相檢驗

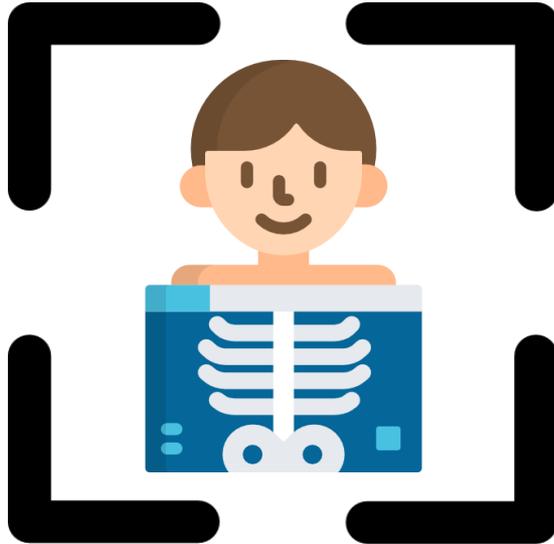


液位計

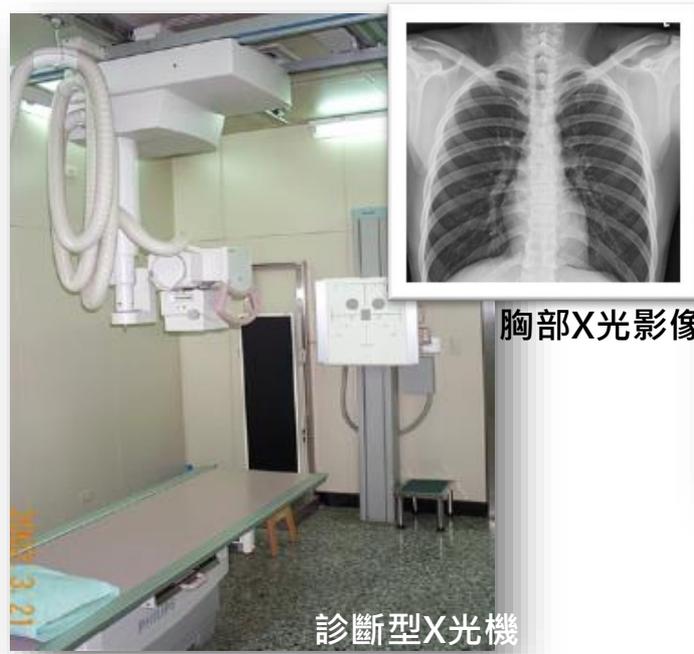


科學發展至今...輻射的民生應用已相當普遍

# 醫療

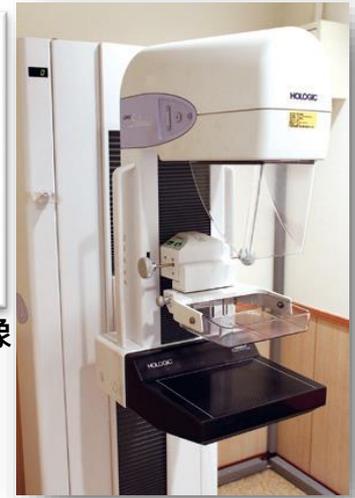


**放射診斷：**  
利用輻射穿透人體，  
得到身體構造的  
影像，以進行疾病  
診斷。



胸部X光影像

診斷型X光機



乳房X光攝影儀



電腦斷層掃描儀(CT)

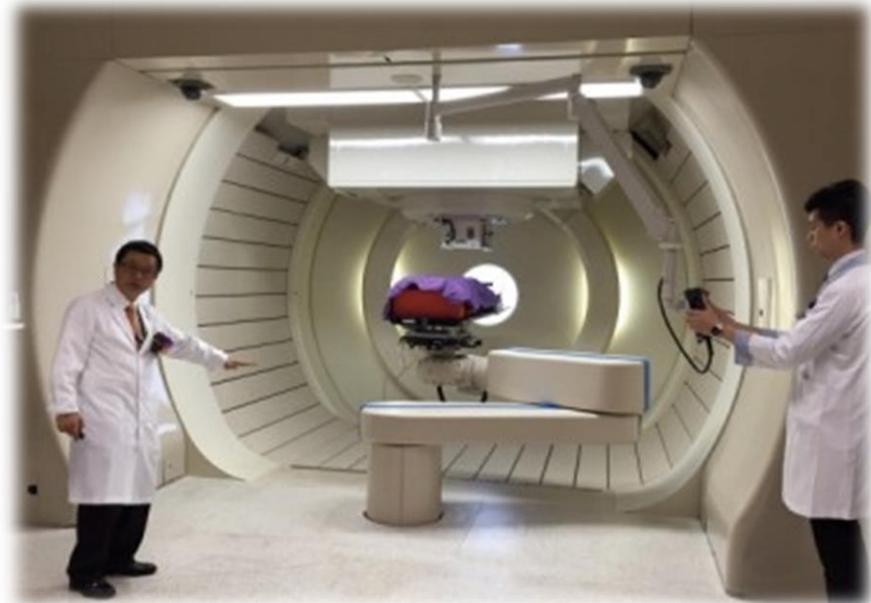
# 醫療



**放射治療：**  
將高能輻射集中照射在腫瘤區域，殺死癌細胞。



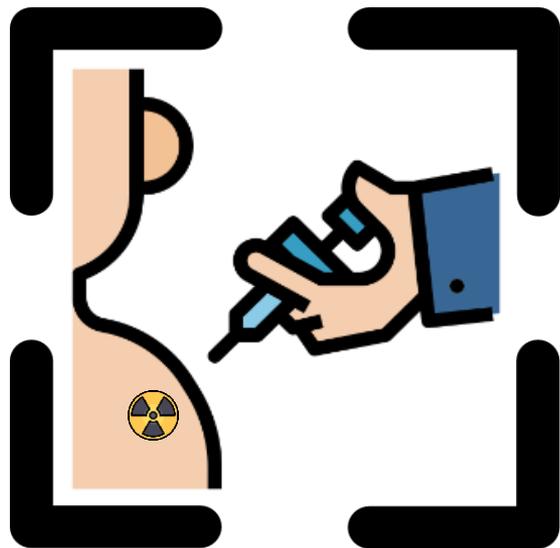
直線加速器



質子治療設備



# 醫療

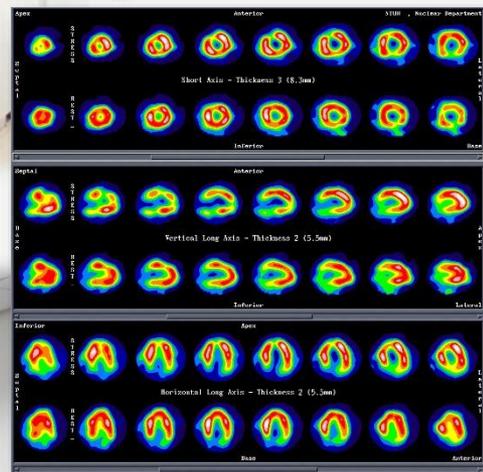


## 核子醫學：

利用吃入或注入帶有放射性的藥物，得到身體生理功能的影像，進行疾病診斷。



正子斷層掃描儀(PET)



心肌灌注造影



單光子斷層掃描儀(SPECT)



# 農業

## □ 抑制發芽、防治蟲害



發芽大蒜V, S無芽大蒜



## □ 國際通用的輻射照射處理標章「Radura」



## □ 基因改良育種



桃園核研1號小桃紅 Pinky



桃園核研2號紅粉佳人 Pink Lady

聖誕紅桃園核研1號(小桃紅)及2號(粉紅佳人)新品種

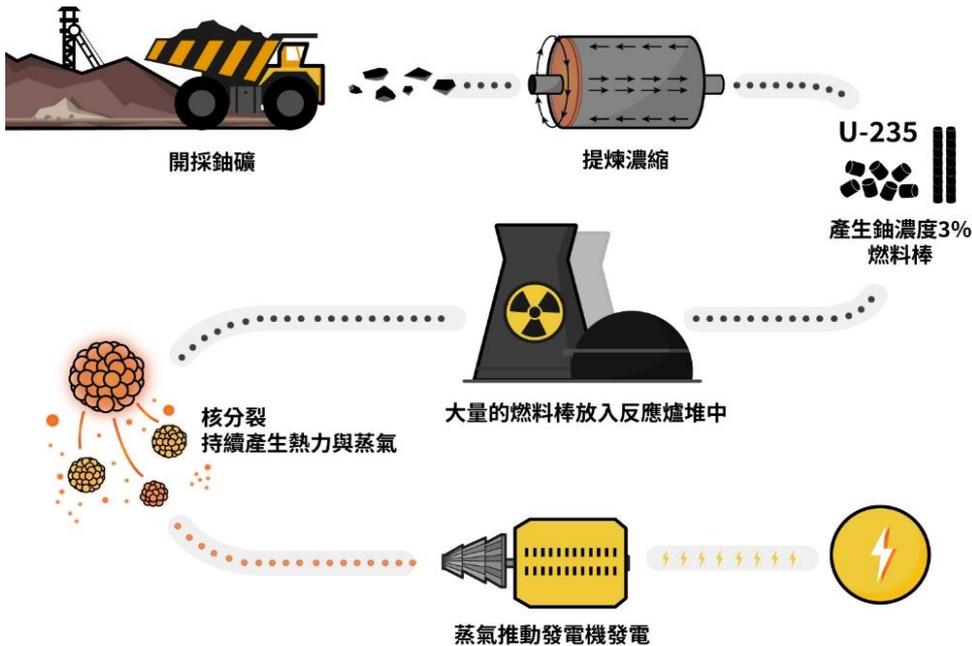
## □ 提高經濟價值





# 工業(1/2)

## 核能發電



圖解核能從開採到發電過程  
圖片摘自綠色和平Greenpeace網站

## 非破壞照相檢驗



RT非破壞檢測  
(Ir-192、Se-75、Co-60)



管路檢測



檢測結果(底片)



# 工業(2/2)

## □ 液位量測



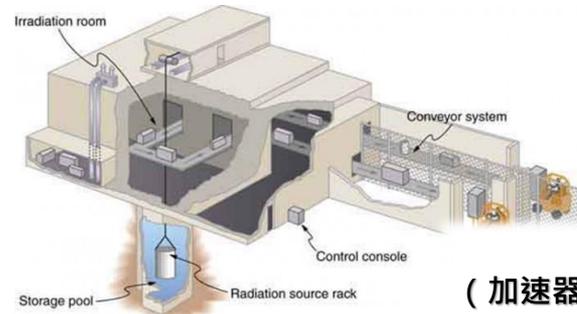
化工廠利用  
輻射確認管槽液位



利用加馬射線量測  
罐裝飲料液位高度

## □ 輻射照射

( 醫材滅菌、材質改良 )



照射廠  
( 加速器/ Gamma ray )



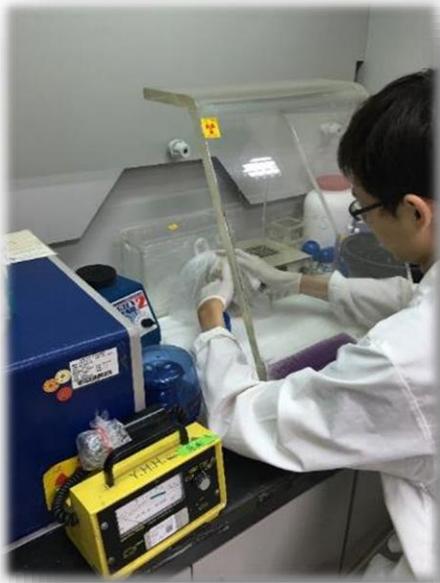
醫療器材經照射處理  
之外箱包裝辨識貼紙



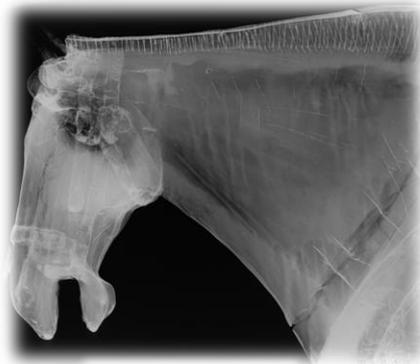
圖片來源：中國生化公司網站



# 研究



DNA、蛋白質標誌  
( H-3、P-32、S-35... )



古物鑑定  
( X光 )



水文研究  
( H-3、C-14、O-16... )

## Sterile Insect Technique



Mass-rearing of insects takes place in special facilities.



Male and female insects are separated. Ionizing radiation is used to sterilize the male insects.



The sterile male insects are released over towns or cities...



...where they compete with wild males to mate with females.



These females lay eggs that are infertile and bear no offspring, reducing the insect population.



昆蟲防治  
( X / Gamma ray )



土壤溼密度儀  
( Cs-137 + Am-241/Be )



# 國土安全



行李檢查X光機  
(X光)



貨櫃檢查儀  
(加速器)



毒氣偵檢器  
(Ni-63、Am-241)



爆裂物偵檢  
(X光)



夜視準星  
(H-3)



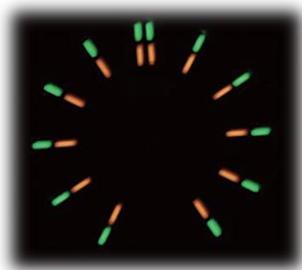
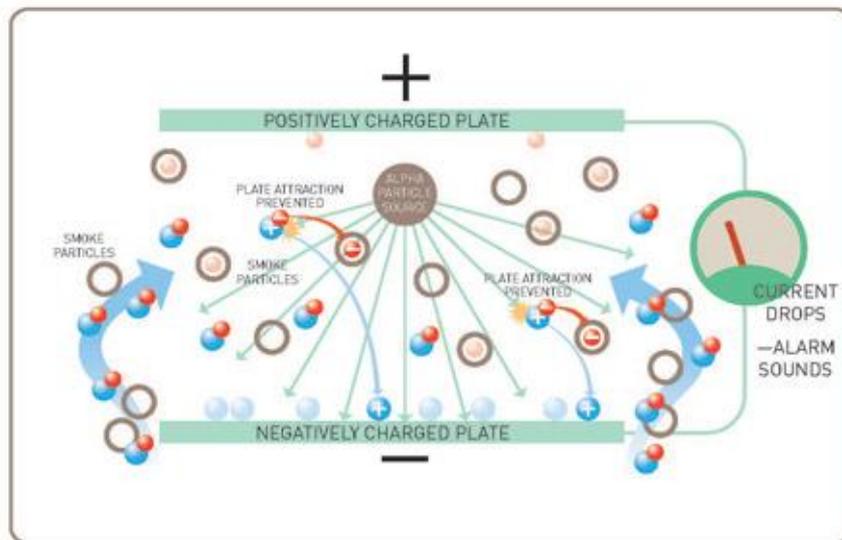
# 消費性產品



花崗岩、大理石等 (天然礦石)



含銻-241的煙霧偵測器 (上)、  
作用原理 (下)



含氚的夜光錶 (H-3)

(左：白天；右：晚上)



游離輻射已經普遍應用在我們的日常生活中，只要正確的使用，注意輻射安全防護，即可享受它帶來的各種效益。

one of a series of posters produced at Oak Ridge National Laboratory in 1947



# 簡報大綱 **Outline**



1 認識輻射

2 輻射民生應用

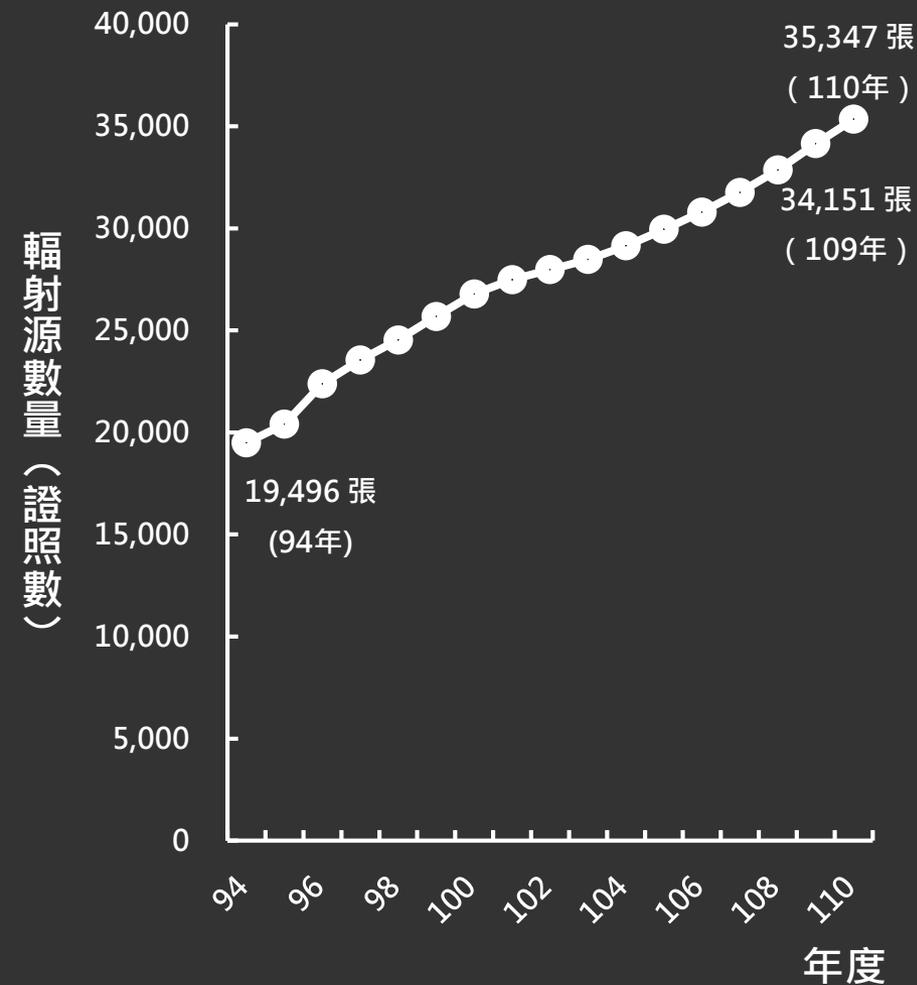
3 輻射安全管制

4 輻射防護

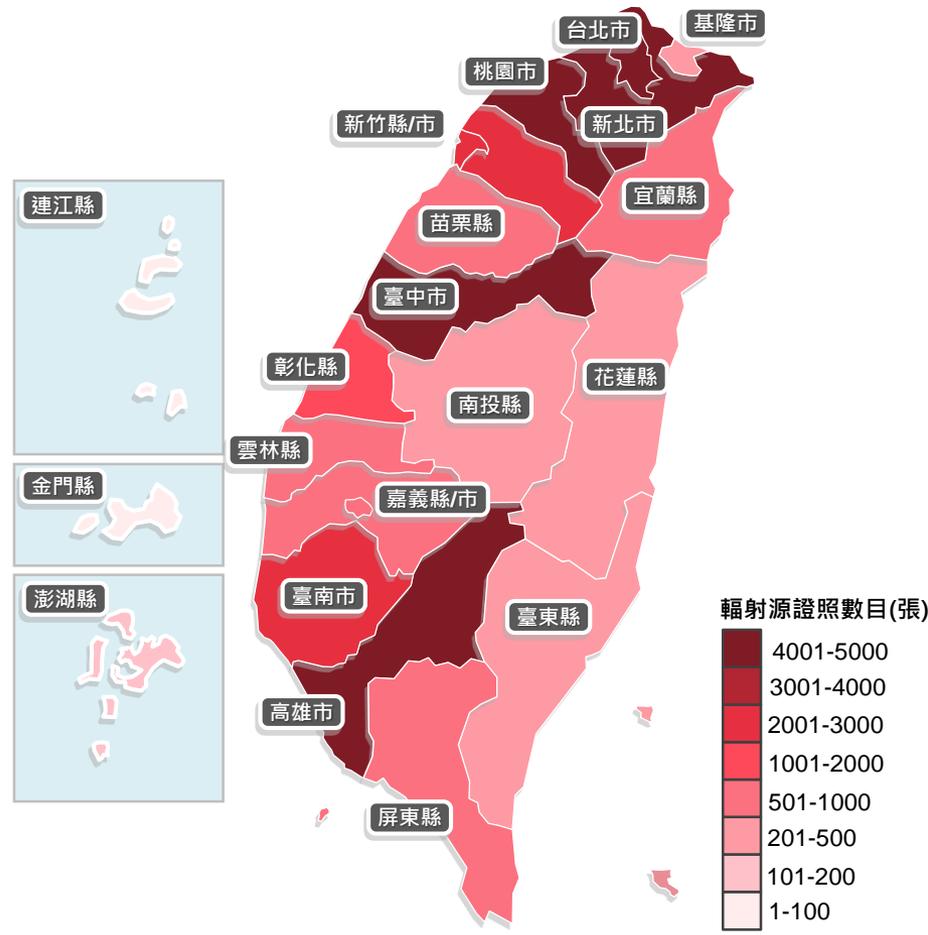
5 結語

# 輻射源增長趨勢

# 輻射源分布地圖



近15年輻射源數量成長約80%，  
但管制人力持平，維持約35~40人。



資料來源：原能會109年游離輻射應用與管理統計

醫用 21,283 張，非醫用 12,868 張，  
「醫療曝露」為輻射主要應用！

# 輻安管制目標與執行策略

- 輻射源
- 工作場所與環境
- 工作人員及民眾
- 醫療曝露品保

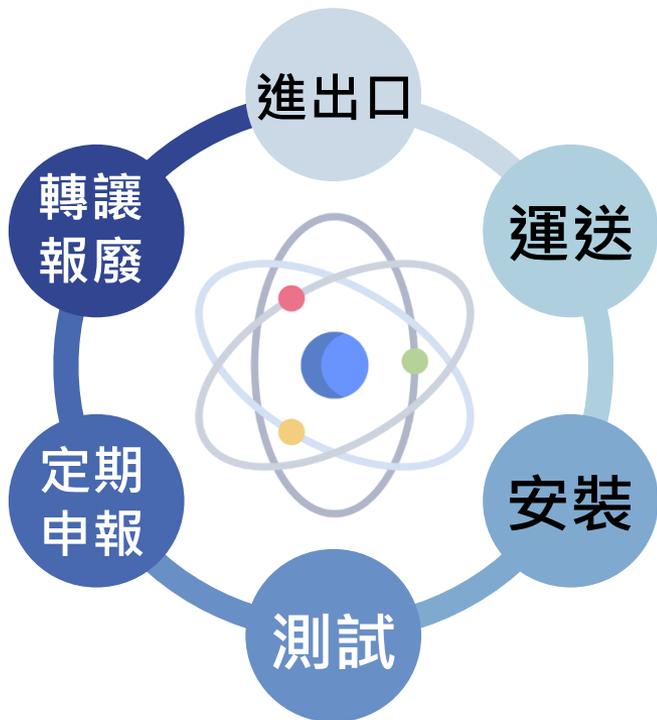
輻安管制目標



執行策略

- 輻射源全生命週期管制
- 採取**風險分級**策略，強化高風險射源安全管制。
- 結合資訊系統，即時發揮**預防性管制**之功能。
- 推動業者**自主管理**，落實業界輻射安全文化。
- 研析國內外應用及管制報告，**充實管制能量**。

# 輻射源 1 全程管制



# 輻射源 2 風險分級

高風險

(<1%)



高強度

(輻安證書 + 運轉人員證書)



放射性物質生產設施



質子治療設施



同步輻射

(~3%)



許可類

(輻安證書或相關執業執照)



醫用直線加速器



非破壞檢測

(>95%)



登記備查類

(18小時訓練取代輻安證書)



行李檢查儀



牙科X光機

低風險



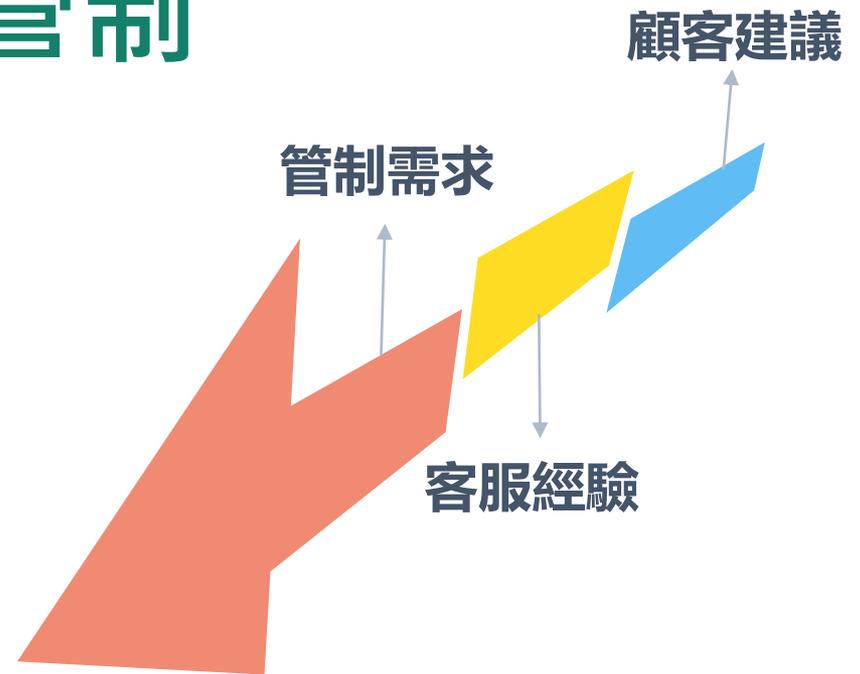
豁免管制

(一般人即可操作)



煙霧偵檢器

# 輻射源 3 預防性管制



業者每月回報  
放射性物質清點結果



與衛福部/經濟部系統  
介接比對，防堵業者  
惡意棄置或不當管理



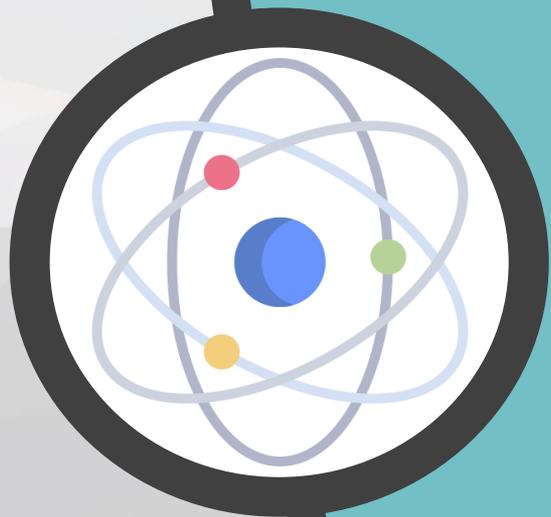
行政院原子能委員會

Atomic Energy Council

輻安核安 民眾心安 日新又新 專業創新



# 簡報大綱 **Outline**



1 認識輻射

2 輻射民生應用

3 輻射安全管制

4 輻射防護

5 結語

# 游離輻射的來源



**輻射源** (可釋出游離輻射之來源)

放射性物質

可發生游離輻射  
設備

核子反應器  
設施



放射性物料

其他  
放射性物質

核子反應器設施  
管制法

核子  
原料

核子  
燃料

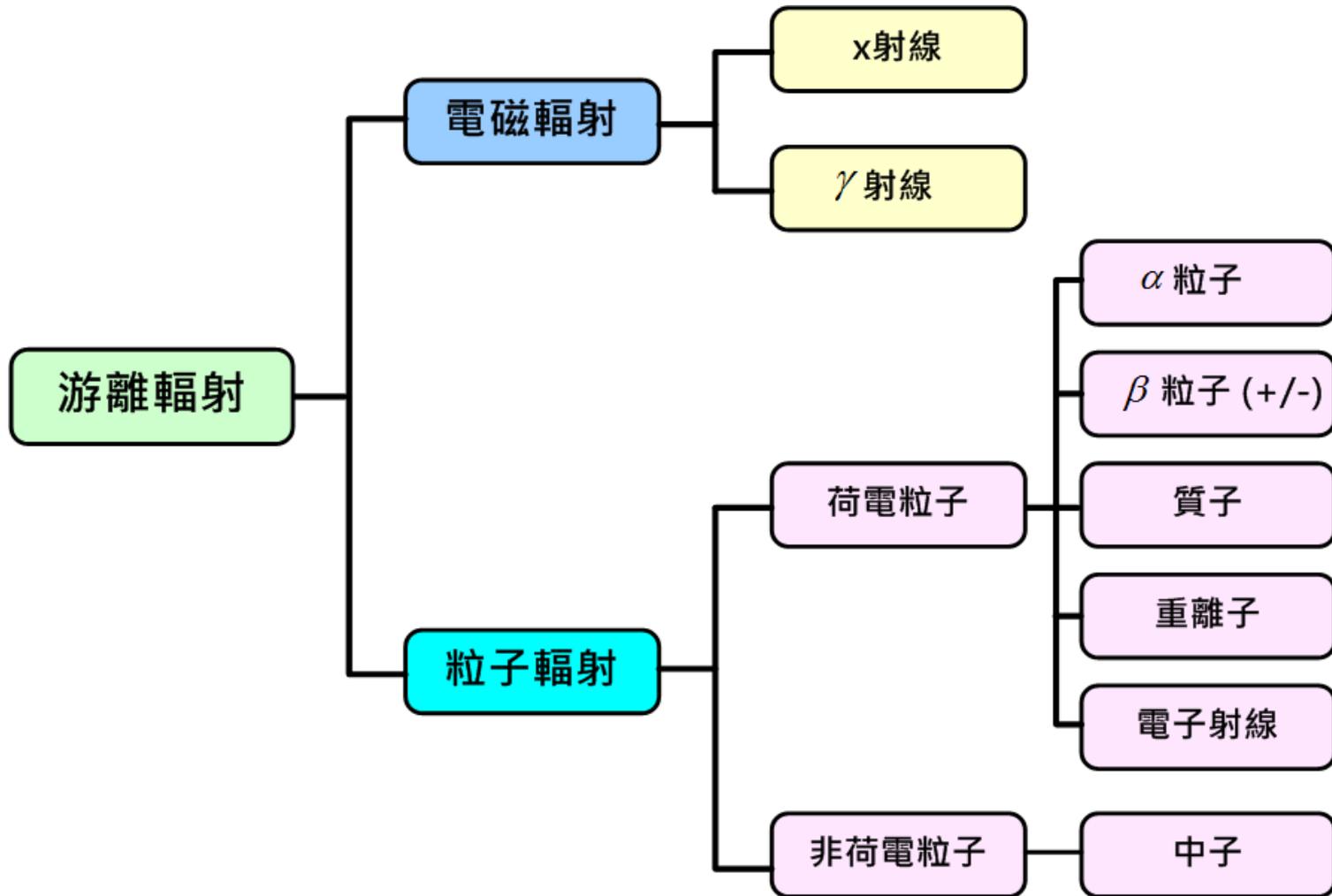
放射性  
廢棄物



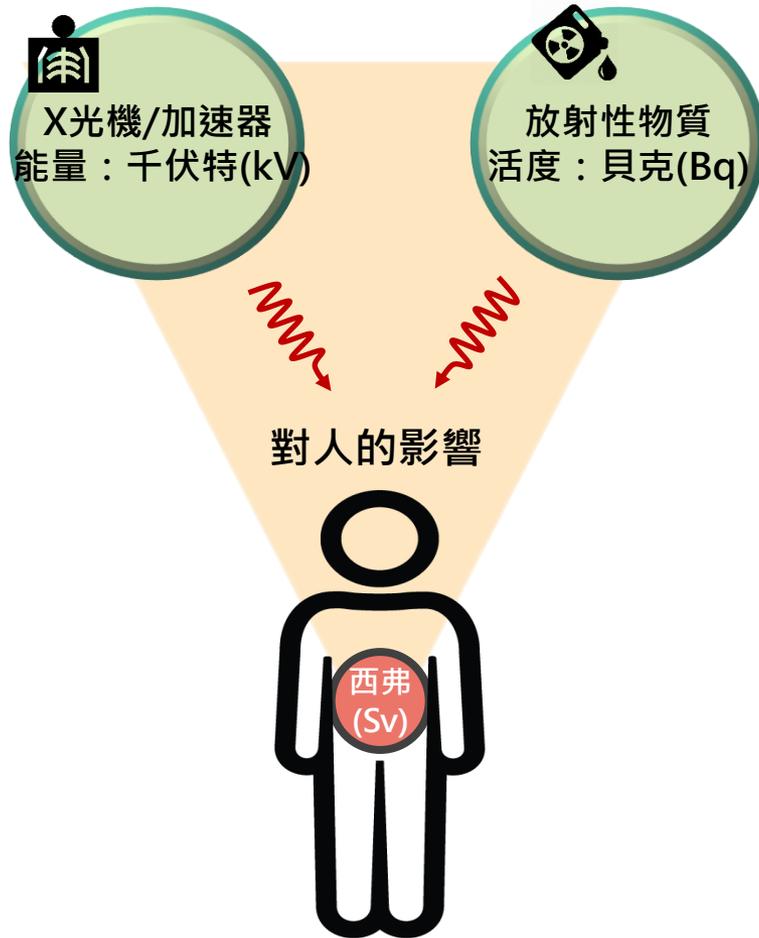
游離輻射防護法

放射性物料管理法

# 游離輻射的種類



# 游離輻射的單位



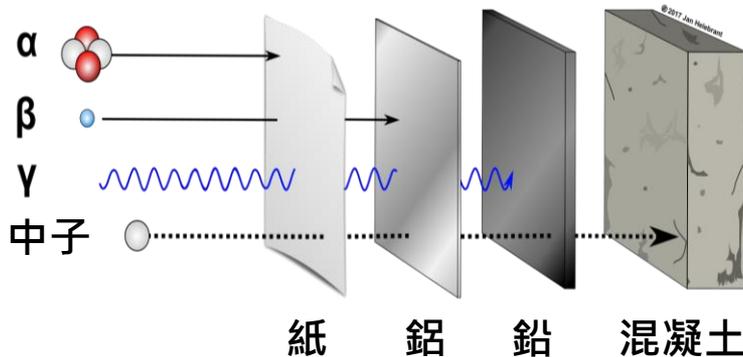
- X光機/加速器：管電壓決定輻射能量大小，電壓越高，輻射能量越高，常用單位為kV。
- 放射性物質：以其在一定時間內衰變的次數代表其活度，常用單位為貝克 ( Bq ：每秒衰變的次數 )或居里 ( Ci ： $3.7\times 10^{10}$  Bq )。
- 對人體的影響：
  - 不同輻射對人體的影響程度不同 ( 輻射加權因數 $W_R$  )。
  - 人體不同組織對於輻射的敏感度也不同 ( 組織加權因數 $W_T$  )。
  - 當描述輻射對人體影響時，會綜合考量以上因素，並用西弗 ( Sv ) 作為劑量的單位。

# 游離輻射的特性

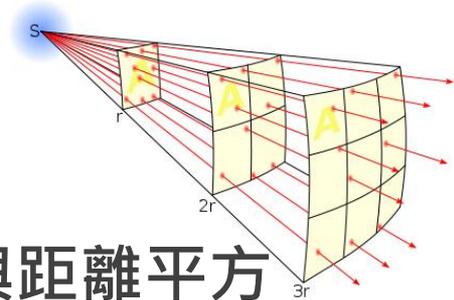
- 無色、無聲、無味、無形，只有偵檢儀器量的到！



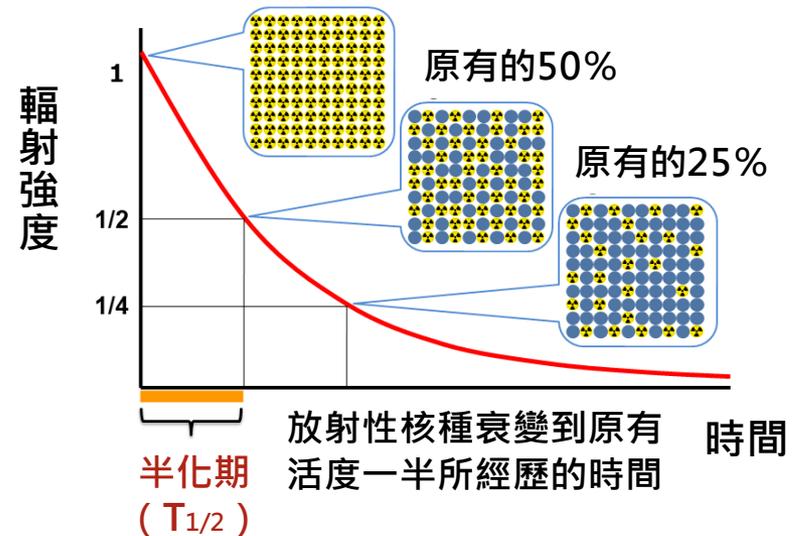
- 具有穿透性，穿透能力因輻射種類而不同。



- 輻射強度與距離平方成反比。



- 放射性物質的輻射強度會隨時間遞減。



# 輻射的健康效應

## □ 確定效應：

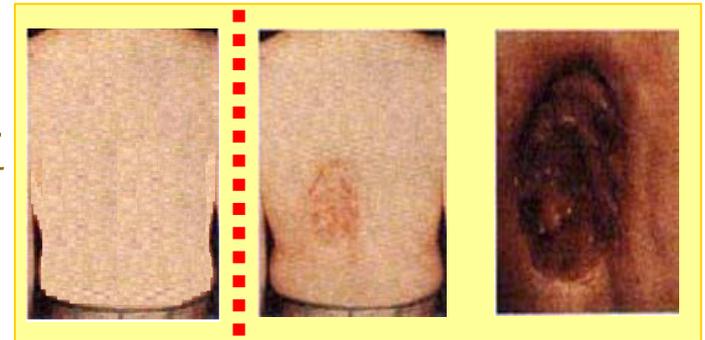
- 導致組織或器官之功能損傷而造成之效應。
- 嚴重程度與劑量大小成比例增加。
- 可能有劑量低限值。

( Ex: 皮膚紅斑、白內障、不孕、脫毛等 )

## □ 機率效應：( Ex: 癌症等 )

- 指致癌效應及遺傳效應。
- 劑量越高，誘發癌症的機率越高，但跟嚴重程度無關，且不一定會發生。
- 並無劑量低限值。
- ICRP、NCRP、UNSCEAR、BEIR皆對游離輻射曝露風險評估採用線性無低限 ( LNT )的假設與模型。

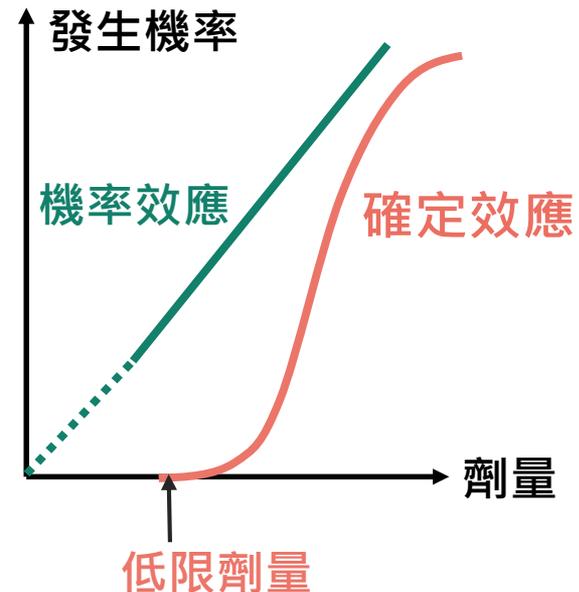
皮膚紅斑低限劑量



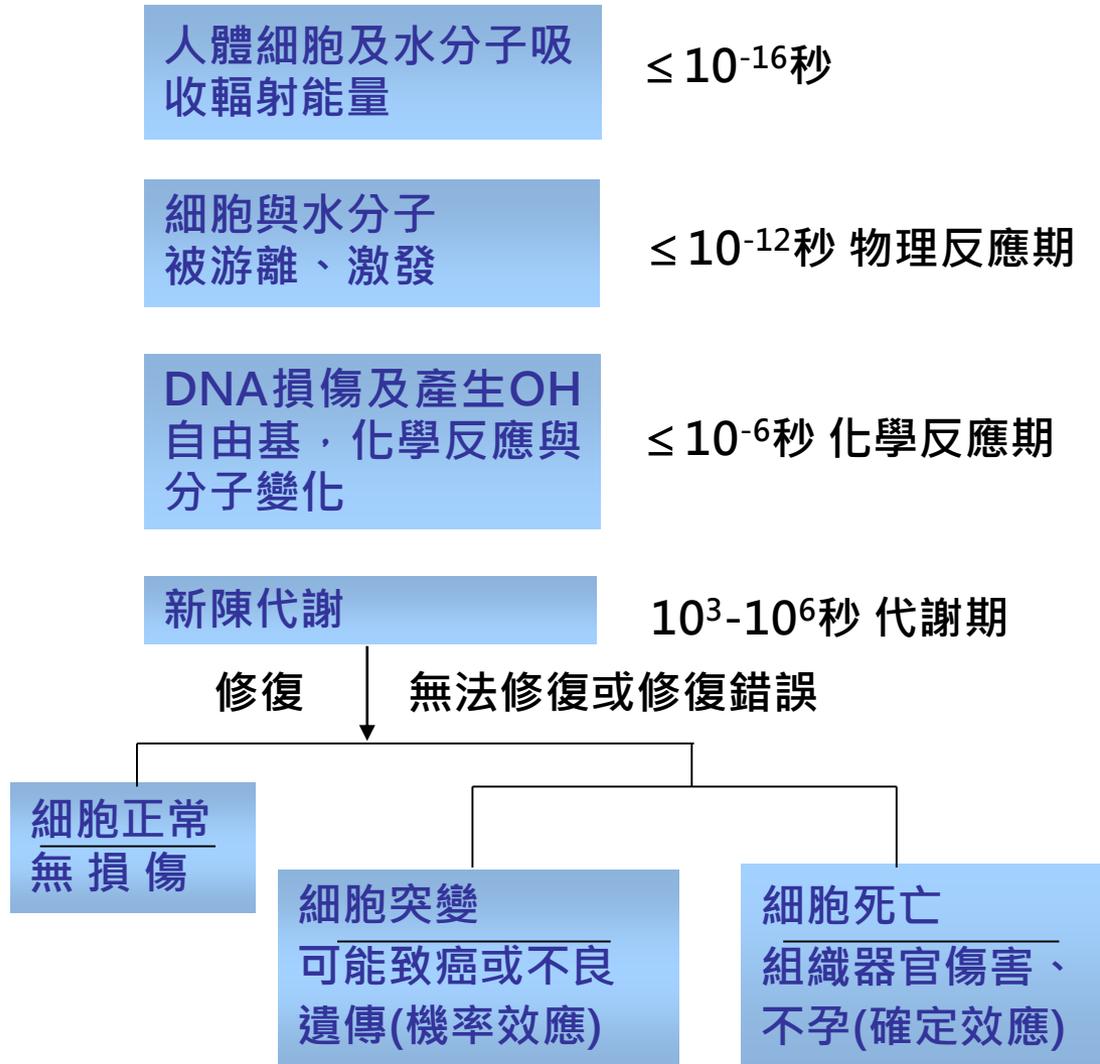
確定效應  
不會發生

> 低限劑量  
效應確定發生

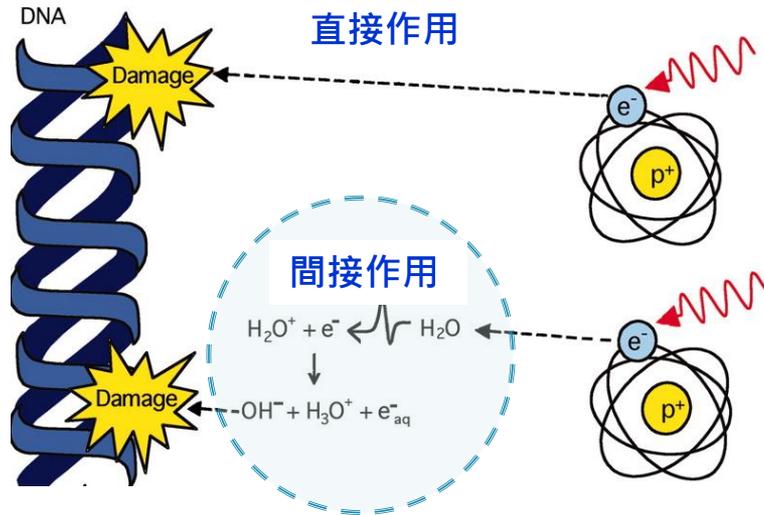
劑量愈高  
嚴重程度愈大



# 輻射健康效應的發展過程



# 輻射如何傷害DNA?

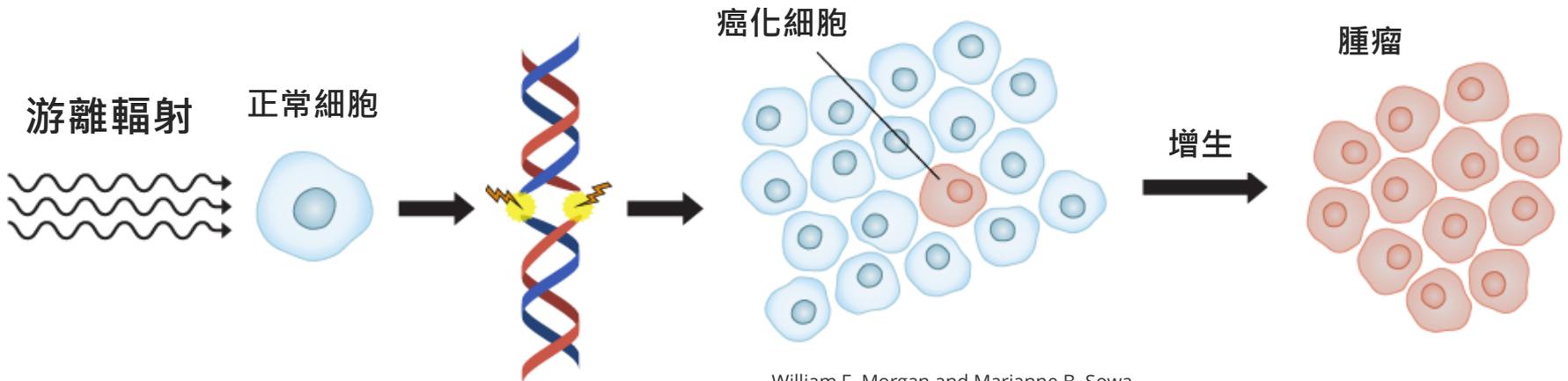


## 直接作用 (< 1%)

DNA直接受到輻射照射而游離，使DNA受損。

## 間接作用 (> 99%)

- 組織中的水分子受輻射照射後，產生不穩定的自由基，自由基再造成DNA的損傷。
- 大部分輻射傷害是由間接作用造成。



William F. Morgan and Marianne B. Sowa  
PNAS October 4, 2005 102 (40) 14127-14128; <https://doi.org/10.1073/pnas.0507119102>

# 不同組織器官的輻射敏感度

- 分裂**頻率**跟**次數**越高的細胞，對輻射越敏感。
- 型態跟功能**尚未分化**的細胞，對輻射越敏感。
  - 輻射敏感度與細胞分裂頻次成正比，與細胞的分化程度成反比。

輻射敏感度	組織器官名稱
高	胎兒、淋巴組織、生殖腺、骨髓、脾臟
稍高	皮膚、水晶體、消化道
中等	肝臟、血管
低	肌肉、骨骼、神經

# 輻射導致癌症的潛伏期

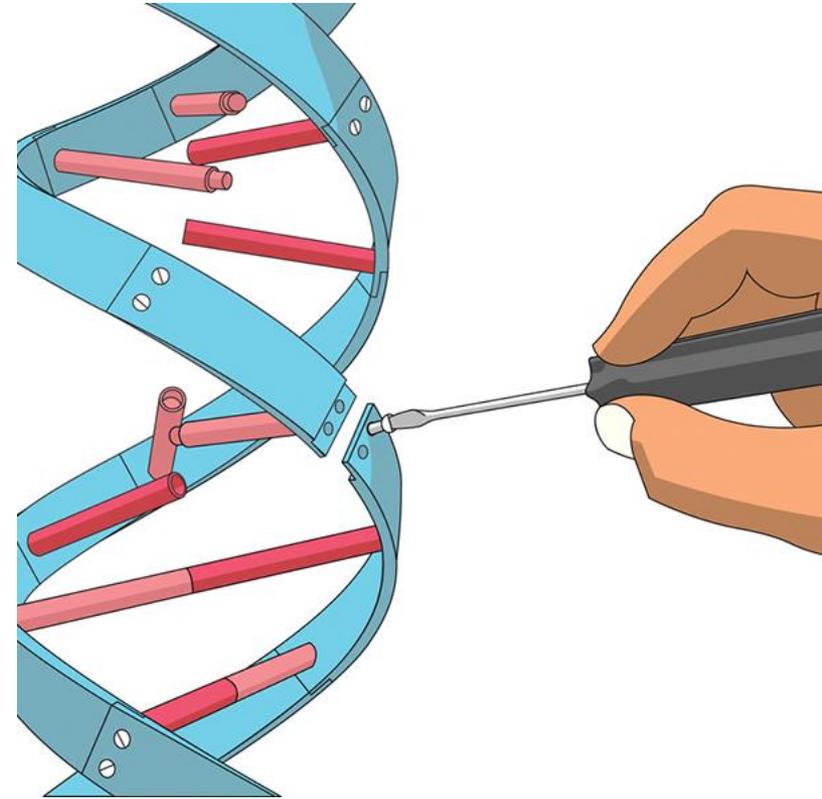
- 從接受輻射曝露，到臨床確診癌症，需要一段潛伏期(latent period)，而不同癌症的潛伏期也有所差異。
- 輻射誘發癌症的潛伏期，如下表所示：

癌別	最小年限 (年)	平均值 (年)	最長年限 (年)
白血病	2-4	10	25-30
甲狀腺癌	5-10	20	> 40
乳癌	5-15	23	> 40
骨癌	2-4	15	25-30
其他非造血組織癌	10	20-30	> 40

游離輻射生物效應委員會(Biological Effects of Ionizing Radiation Committee · BEIR)的報告

# 人體具自我修復能力！

- DNA是儲存細胞遺傳信息的重要分子，當受到損傷時，有可能造成功能失常或凋亡。
- 人體約有 60 兆個細胞
  - 「背景輻射」只會造成非常少數的DNA斷裂（每個細胞約5個/年）
- 高效能的 DNA 修補機制
  - 「DNA聚合酶」負責生物體內複製及修補受損DNA序列的工作，其出錯率僅十億分之一；換言之，人體細胞約30億個鹼基對，每次複製僅有3對錯誤。



# 輻射生物效應

## 軀體效應

### 急性效應

- 皮膚發生紅斑
- 骨髓、肺、消化道傷害
- 白血球減少
- 不孕
- 噁心、嘔吐、腹瀉

### 慢性效應 (延遲效應)

- 白內障、胎兒之影響
- 白血症、癌症

## 遺傳效應

- 遺傳基因突變或染色體變異所發生的各種疾病

## 確定效應

## 機率效應

# 輻射防護的目的

□ **防止** 確定效應 發生

□ **抑低** 機率效應 發生的可能

- ALARA ( As Low As Reasonably Achievable )

The diagram shows a person with three callout boxes: '眼球水晶體' (lens of the eye) pointing to the head, '全身' (whole body) pointing to the torso, and '皮膚or四肢' (skin or limbs) pointing to the lower body. To the right is a table with three rows of dose limits and two columns for '一般人' (General Public) and '輻射工作人員' (Radiation Workers). The first row is a header with a diagonal split box. The second row is for '全身劑量 (有效劑量)'. The third row is for '眼球水晶體劑量 (等價劑量)'. The fourth row is for '皮膚或四肢劑量 (等價劑量)'.

	一般人	輻射工作人員
全身劑量 (有效劑量)	1 mSv/年	50 mSv/年 100 mSv/連續5年
眼球水晶體劑量 (等價劑量)	15 mSv/年	150 mSv/年
皮膚或四肢劑量 (等價劑量)	50 mSv/年	500 mSv/年

( 游離輻射防護安全標準§7、12 )

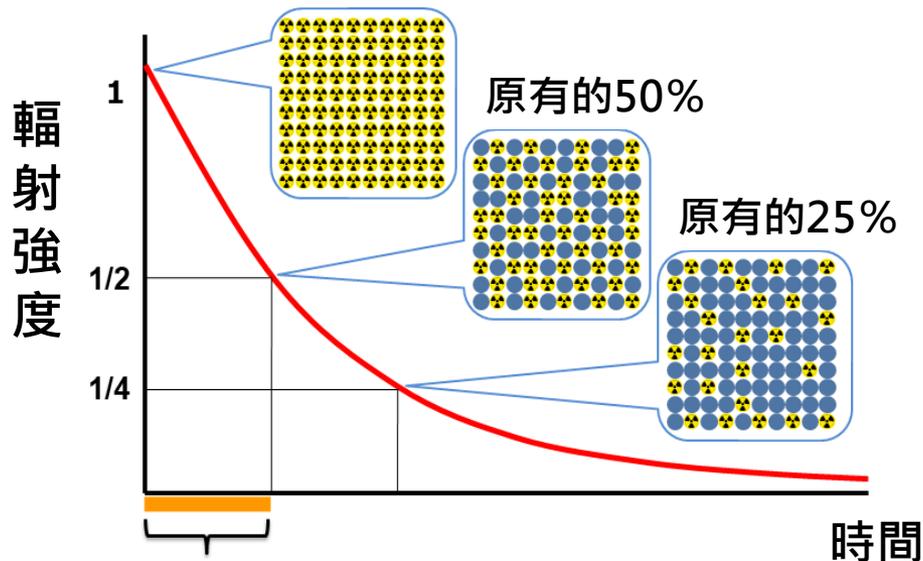
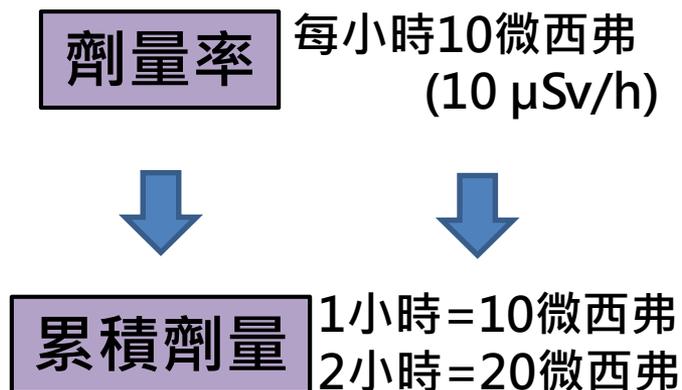
# 體外曝露 TDS防護原則

時間

距離

屏蔽

- 曝露時間越久，累積劑量越高。→ 縮短作業時間
- 輻射強度會隨時間遞減。→ 擱置一段時間後再處理 (如污染衣物)



半化期 放射性核種衰變到原有活度一半所經歷的時間 ( $T_{1/2}$ )

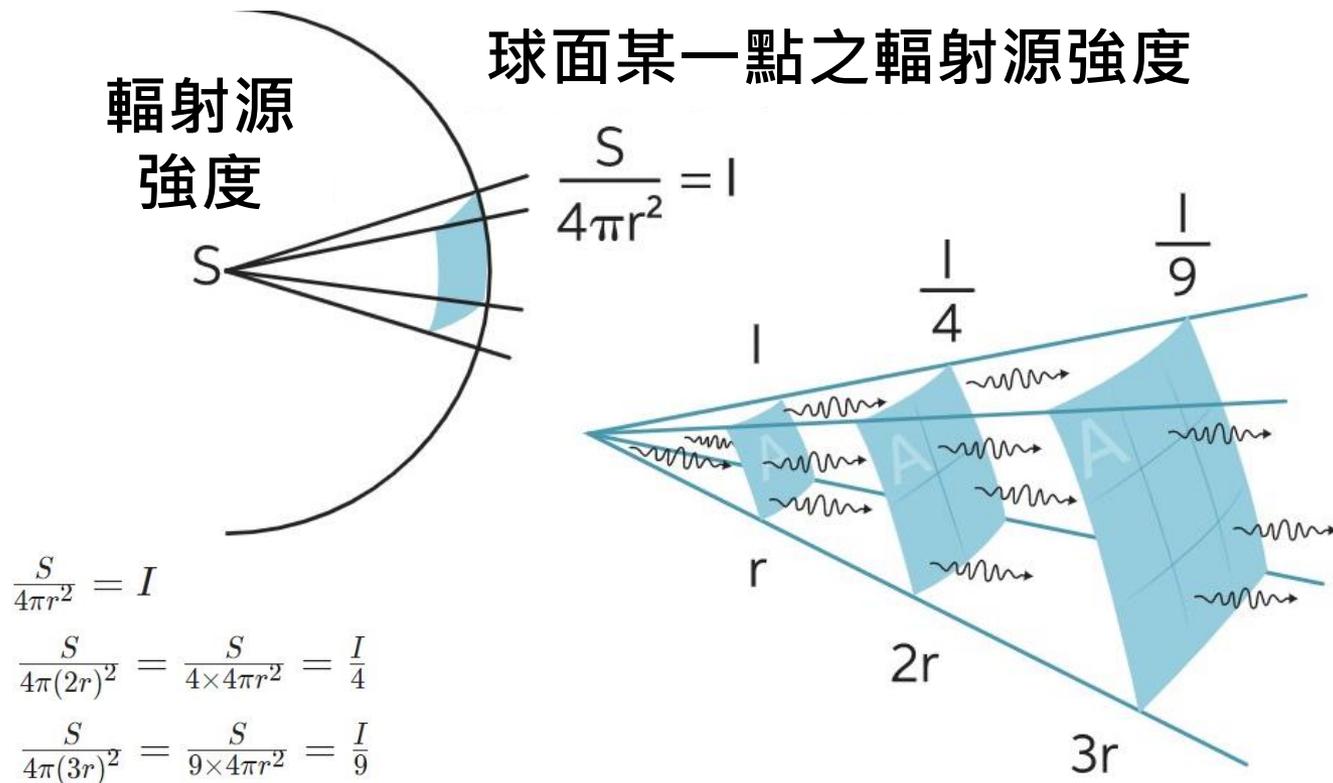
# 體外曝露TDS防護原則

時間

距離

屏蔽

□ 輻射強度與距離平方成反比 → 離射源越遠越好



# 體外曝露TDS防護原則

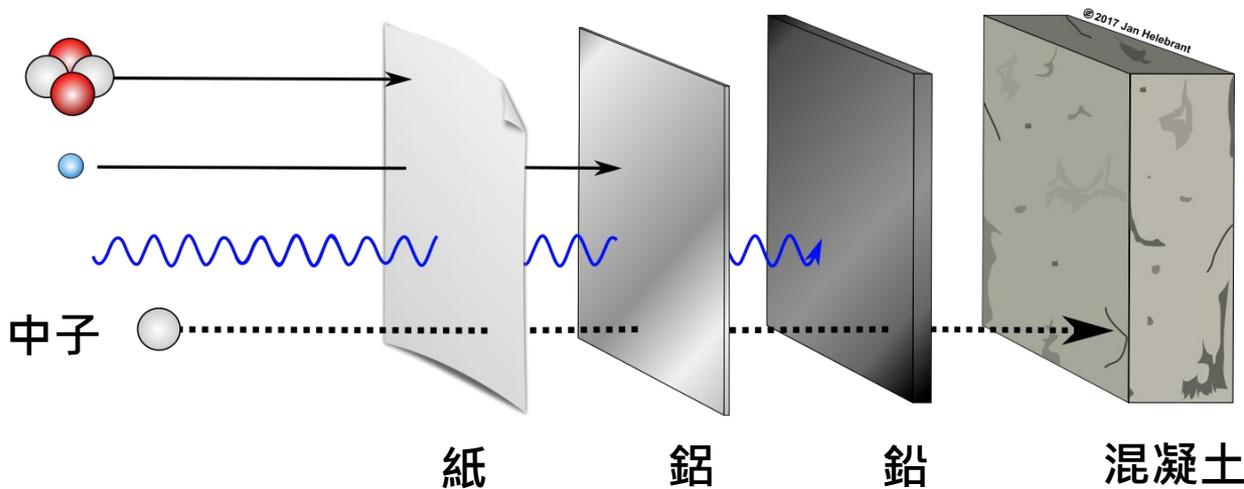
時間

距離

屏蔽

□ 物質可阻擋輻射 → 善用手邊或作業現場物品作為屏蔽

阿伐( $\alpha$ )粒子  
貝他( $\beta$ )粒子  
加馬( $\gamma$ )射線



鉛衣：阻隔輻射線



 可取暖，亦可成災  
 可載舟，亦可覆舟  
天上地下，四處皆  
妥善運用，**利**大於**弊**

Any questions ?