

RMC-110-302Rev1

109 年國民輻射劑量評估執行報告



報告撰寫人：輻防稽查組 劉祺章、劉任哲、高薇喻

行政院原子能委員會輻射偵測中心

110 年 05 月

摘 要

本計畫就國民輻射劑量主要來源，規劃重新調查。109 年度延續 108 年計畫內容執行，醫療輻射完成八大類醫療輻射健保資料蒐集與趨勢分析、電腦斷層及乳房攝影國民輻射劑量評估，並持續進行醫院實地調查；天然背景輻射持續進行山區及外島區域體外輻射量測與統計；執行職業曝露分類與統計並評估劑量；完成吸菸造成國民輻射劑量評估、食品銫 137 含量調查與劑量評估；以及統計國人飛航資料，未來將持續累積調查數據，以獲得更客觀且具代表性之國民輻射劑量調查結果。

目錄

壹、前言	2
貳、執行方法	3
參、結果與討論	6
一、外島及山區體外劑量量測作業	6
二、消費性產品劑量評估	18
三、台灣地區攝食人造核種銫-137 劑量評估之探討....	32
四、職業曝露劑量評估	35
五、醫療輻射劑量評估作業	<u>5152</u>
肆、結論	<u>5960</u>
伍、參考資料	<u>6162</u>
陸、附件	<u>6364</u>

壹、 前言

環境中輻射曝露來源很多，包括醫學診斷和治療程序、自然背景輻射、核爆落塵殘留、嚴重核子事故如烏克蘭車諾比及日本福島等，及從事人造或技術增強天然輻射源的相關職業曝露等等。國際組織均會定期對於民眾輻射曝露劑量進行評估[1-6]。民國 81 至 87 年期間輻射偵測中心進行過國民輻射劑量評估[2]。20 多年來，醫療科技發展迅速，民眾生活習慣改變，國民輻射劑量的變化情況有必要進行系統性地探討整理。

108 年的計畫執行在氬氣、宇宙射線、地表輻射、醫療輻射與吸菸行為等項目上取得初步評估成果。國內醫療輻射劑量評估作業經衛福部人體試驗委員會同意，著手蒐集、分析健保資料庫資料；也完成了核子醫學藥物活度調查表，以及建立介入性透視攝影（心臟類）、介入性透視攝影（非心臟類）、傳統透視攝影、牙科攝影之劑量評估模型，並陸續運用在醫療輻射劑量調查及現場實測中，持續累積相關數據。

109 年以 108 年初步評估成果為基礎，體外輻射評估方面，增加外島地區的地表輻射以及北部山區的宇宙輻射量測數據，以提升數據完整性；消費性產品方面透過交通部民航局取得各機場各航線旅客人數資料，進行飛航宇宙輻射之先期評估；並針對含有天然放射性物質之市售產品進行抽測；職業曝露方面則利用我國「全國輻射工作人員劑量資料庫」的統計資料，探討國人職業曝露的影響；醫療輻射方面則應用已完成之評估模式，配合健保資料庫資料開始進行分析，並持續至各醫院訪查與量測驗證各項放射診斷之劑量。

109 年度為本計畫第二年執行，作業目標規劃如下：

1. 新增外島與山區之體外輻射劑量之調查資料與評估。
2. 統計飛航旅客人數並進行飛航宇宙輻射之先期評估以及吸菸劑量之再評估。
3. 利用全國輻射工作人員劑量資料庫評估職業曝露劑量。

4. 完成健保資料庫中八大項之人數與電腦斷層、核子醫學檢查、一般 X 光攝影及乳房攝影之醫院調查序列。

貳、 執行方法

國民輻射劑量輻射來源眾多，經參考國際文獻與先期計畫評估後，參考美國國家輻射防護與度量委員會(NCRP)的分類方式，分天然背景輻射、醫療輻射、消費性產品輻射、輻射源應用劑量以及職業輻射曝露等五大類。

108 年起開始重新進行國民輻射劑量的調查作業，其中氬氣因應新的劑量轉換因子已重新加以評估；體外劑量如宇宙輻射與地表輻射彙整過去資料後，已得到初步的國民輻射劑量，規劃於 109 年增加外島與北部山區的體外輻射劑量量測數據，以強化統計數據之完整性；食品飲水體內劑量評估已完成鉀 40 之劑量，109 年探討其他核種之劑量貢獻。

消費性產品的輻射劑量，過去常見的評估項目如電視陰極射線管、煙霧偵檢警報器、鐘錶螢光劑、含氧化鈾玻璃以及含鈾焊條及燈絲等，因技術更新已有替代產品故目前已不再生產，市場流通也不復見。然而，民眾商業飛航在國際線的部分，搭乘人次於 20 年間增加 4 倍，因此於 109 年開始蒐集統計民航局各機場出入境人數資料，配合劑量評估軟體進行先期評估。國內航線之前評估劑量就不高，加上高鐵通車後搭乘人次大幅減少，故建議不再評估。兩岸航線之前未曾進行評估，將選擇人次較多與航線較長的航線進行先期評估探討；此外，也會針對含有天然放射性物質之市售消費性產品進行檢測分析，評估其劑量貢獻程度。

職業曝露美國區分為醫療、航空、工業與商業、教育與研究、政府與軍方等從業類別。國內依全國輻射工作人員劑量資料統計年報的統計分類，1995 年~1999 年的工作類別分為研究用、醫用、非醫用及核能電廠等四大類，自 2000 年起依 UNSCEAR 分類為核燃料循環、醫用、工業用、天然射源與其他等五大類別，同時統計分析細部工作類別—核燃料循環類之反應器運轉、核燃料循環研究類(主要為核廢料管理)；醫用類之放射診斷、放射

牙科、核子醫學檢查、放射治療、所有其他應用；工業用類之工業照射、工業放射照相、發光應用、放射性同位素製造、測井、加速器運轉、所有其他工業應用；天然射源類之石油與天然氣工業、礦物與礦石處理；其他類之教育機構、獸醫、其他等 19 項。除了飛航工作人員國內未納入外，其餘大概都已涵蓋。職業曝露將依上述 UNSCEAR 分類重新評估，並與輻射防護處合作，結合其「全國輻射工作人員劑量資料」之歷年劑量統計資料進行評估。

109 年執行重點在於持續執行室內外地表體外輻射及食品體內輻射劑量評估調查、醫療輻射調查分析及相關軟硬體評估驗證，以及民生消費產品的評估。

醫療輻射調查於 109 年度的工作重點分為四項，包括：

- (1)對於健保資料庫取得的人數資料，進行各類趨勢評估。
- (2)赴 6 家醫療院所執行八類共 48 項之放射診斷醫療檢查檢查序列調查與實際量測。
- (3)精進與微調電腦斷層、核子醫學、一般傳統 X 光、及乳房攝影之劑量評估模型。
- (4)規劃設計臺灣醫療放射檢查序列劑量網站。

地表輻射主要規劃至綠島鄉執行戶外地表輻射偵測，納入戶外地表輻射國民輻射劑量計算，並更新地表輻射所造成國民輻射劑量結果。宇宙射線的部分於北部山區沿省道 7 號由桃園縣至沿路最高處再至宜蘭縣，南部山區沿省道 20 號由高雄縣至沿路最高處再至臺東縣，及以上山路相同緯度附近且海拔高度低於 200 公尺高的地方偵測中子宇宙射線及游離輻射成分，納入宇宙輻射國民輻射劑量計算，參考國際間做法，修正原以 2 次多項式曲線擬合的海拔高度與宇宙射線游離輻射成分之回應曲線，及海拔高度與中子宇宙射線之回應曲線，海拔高度低於 200 公尺改以直線方程式做線性迴歸，海拔高度高於 200 公尺才以 2 次多項式做曲線擬合，並更新宇宙射

線所造成國民輻射劑量結果。

消費產品的部分透過與交通部民航局的部會合作模式，取得近年台灣各機場至世界各主要機場航線之旅客數，進行旅客人數排序並評估較高之航線(預計評估航線為人數累加超過總人次 95%以上之航線)。此外，108年已執行吸菸劑量先期評估作業，惟只取得衛福部兩年之吸菸習慣調查結果，將再納入更多統計資料，確認其趨勢變化。

職業曝露的評估擬利用國內「全國輻射工作人員劑量資料庫」之職業曝露監測資料，統計國人從事輻射相關職業所造成之國民輻射劑量。

參、 結果與討論

今年度的計畫內容，除延續與強化 108 年作業項目之調查數據與評估結果外，也對飛航劑量評估參數、體內劑量評估參數以及職業曝露評估等項目進行探討。醫療輻射部分因涉及醫療專業，故委託財團法人輻射防護協會召集相關放射醫學專家，協助進行分析調查作業，今年度申請健保資料庫之使用並開始彙整資料，也協調聯繫醫療院所同意進行現場量測確認劑量。計畫執行結果分項說明如下。

一、 外島及山區體外劑量量測作業

1. 台灣山區體外劑量量測作業

本中心自 102 至 106 年在國內不同海拔高度量測游離輻射成分與中子宇宙射線，沿省道 14 號最高至武嶺停車場，沿省道 18 號最高至塔塔加，共測量 27 處，量測點的海拔高度從海平面至 3263 公尺，以獲得垂直高度的宇宙射線差異。量測結果以 2 次多項式作曲線擬合，得到海拔高度與宇宙射線游離輻射成分之回應曲線，以及海拔高度與中子宇宙射線之回應曲線，如圖 1 及圖 2。

但在海拔高度 200 公尺以下的量測地點，宇宙射線游離輻射成分變動較大，如圖 1 紅圈處，導致以二次方程式單一曲線作海拔高度與宇宙射線游離輻射成分之回應曲線擬合時，影響海拔高度 200 公尺以上的曲線擬合可靠度。

為增加宇宙射線回應曲線擬合的準確度，擬將海拔高度與宇宙射線游離輻射成分之回應曲線，以及海拔高度與中子宇宙射線之回應曲線，依高、低海拔分 2 段多項式做擬合；即海拔高度 200 公尺以下以 1 次多項式(直線方程式)做擬合，200 公尺以上以 2 次多項式(拋物線)做擬合；爰本中心於今(109)年度增加各類海拔高度宇宙射線的量測，規劃偵測位置如圖 3 及 4 所示，以完成上述的分析作業。

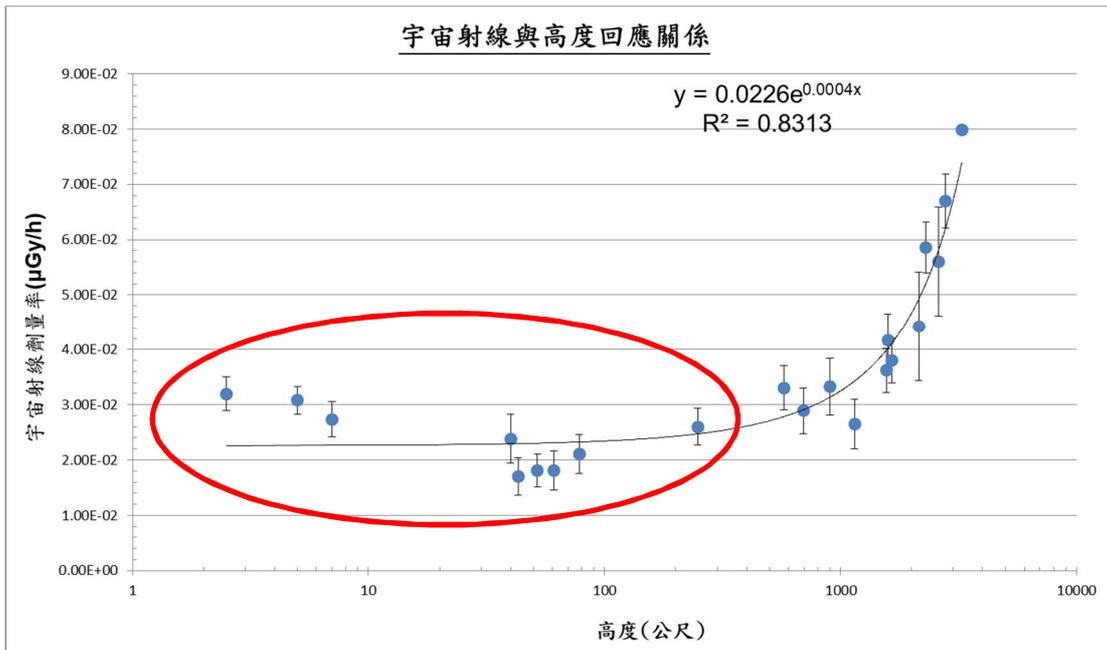


圖 1 宇宙輻射游離輻射成分劑量率與海拔高度關係
(本中心自 102 至 106 年期間量測結果)

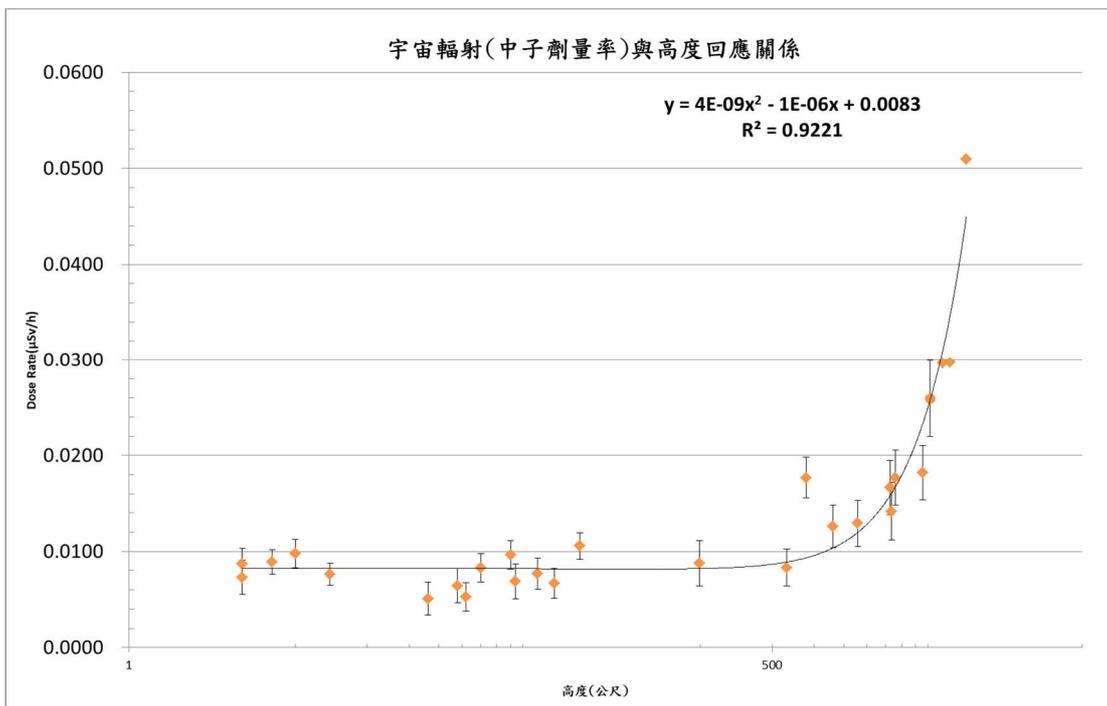


圖 2 中子宇宙輻射劑量率與海拔高度關係
(本中心自 102 至 106 年期間量測結果)

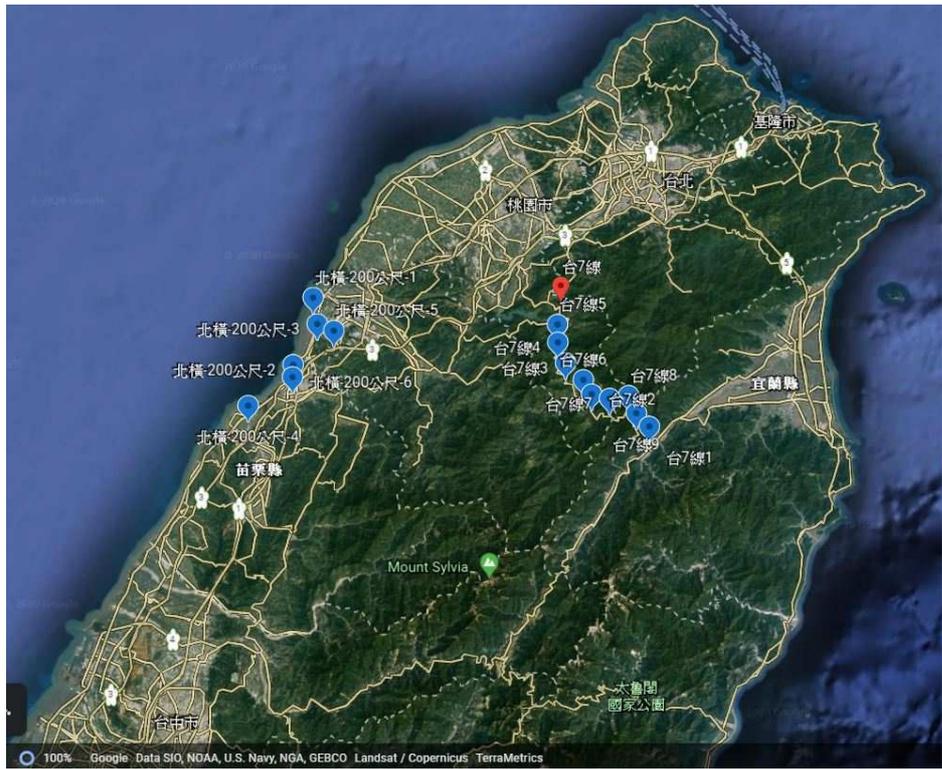


圖 3 北橫公路沿線及同緯度低海拔偵測規劃(藍色標記)

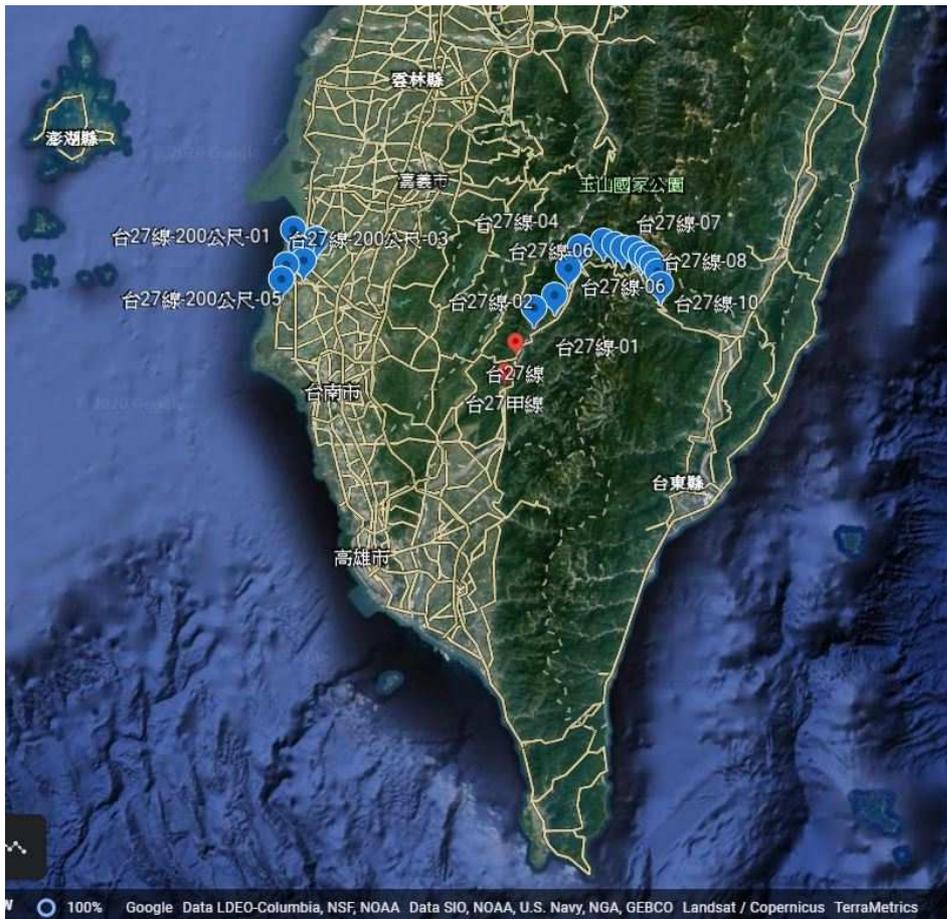


圖 4 南橫公路沿線及同緯度低海拔偵測規劃(藍色標記)

為獲得垂直高度的宇宙射線變化，本次偵測行程共使用 3 類儀器，包含：(1)高壓游離腔(廠牌：GE Reuter Stokes，型號：RSS-131ER)量測來自地表與宇宙的總加馬輻射劑量；(2)純鍺偵檢器(廠牌：ORTEC，型號：Micro-detective)量測來自地表放射性物質所造成之加馬輻射劑量；(3)球形中子倫目儀(廠牌：Berthold，型號：LB-6411 Pb)量測來自宇宙之中子宇宙射線輻射劑量；各設備均架設距地面 1 公尺處進行量測，各地點量測時間設定為 1 小時。紀錄以上的量測結果，再以總加馬輻射劑量扣除地表加馬輻射劑量，可得到僅來自宇宙射線之加馬游離輻射成分。

省道 20 號(南橫公路)沿線，包含長青祠(近天池登山入口)、台 27 縣近 21.3km 路標、台 27 縣近 18.5km 路標、台 27 縣近 16.1km 路標、梅山管制口旁露營區、及桃源區正雅你運動場共 6 處之量測；以及量測省道 27 號沿線，包含櫻花公園(停車場旁)、藤枝入山口(公路旁)、寶山二集團櫻花步道(步道旁)等 3 處；上揭 9 處地點之海拔高度由 582 至 2234 公尺高。量測現場儀器架設如圖 5，量測結果彙整如表 1 所示；偵測結果均顯示輻射劑量率隨海拔高度上升；其中，宇宙輻射游離輻射之輻射劑量率，由 $0.0564 \mu\text{Sv/h}$ 上升至 $0.0756 \mu\text{Sv/h}$ ；中子宇宙輻射造成輻射劑量率，由 $0.0102 \mu\text{Sv/h}$ 上升至 $0.0251 \mu\text{Sv/h}$ ，而地表加馬輻射劑量率，數值分佈由 $0.0291 \mu\text{Sv/h}$ 至 $0.0535 \mu\text{Sv/h}$ 。



圖 5 省道 20、27 號沿途量測儀器架設與量測情形(A)台 27 縣近 18.5km 路標(B) 櫻花公園。

省道 7 號(北橫公路)沿線，量測地點包含省道 7 號 71.2KM 處、明湖山莊、省道 7 號 66.8KM 處、明池森林遊樂區招牌標示旁森林、省道 7 號 81.2KM 處、榮華派出所、省道 7 號 26.5KM 處、近新溪口吊橋、樂信瓦旦紀念公園等 9 處；上揭 9 處地點之海拔高度由 356 至 1180 公尺高。量測現場儀器架設如圖 6，量測結果彙整如表 2 所示；偵測結果顯示宇宙射線輻射劑量率隨海拔高度上升；其中，宇宙游離輻射之輻射劑量率，由 $0.0398 \mu\text{Sv/h}$ 上升至 $0.0557 \mu\text{Sv/h}$ ，中子宇宙輻射造成之輻射劑量率，由 $0.0081 \mu\text{Sv/h}$ 上升至 $0.0169 \mu\text{Sv/h}$ ；測得最高劑量率之地點為明湖山莊(海拔高度 1168 公尺)，雖非本次偵測地點之最高點(1180 公尺)，但整體數據仍顯示輻射劑量率隨高度上升而增加的趨勢。地表輻射則與地質相關，9 處地點均為一般土壤地，其地表加馬輻射劑量率為 $0.0413 \mu\text{Sv/h}$ 至 $0.0627 \mu\text{Sv/h}$ ，係因各處土壤所含天然放射性核種活度濃度不同導致劑量率差異。



圖 6 省道 20、27 號沿途量測儀器架設與量測情形(A)明湖山莊(B)榮華派出所。

將本次偵測結果併入本中心先前之量測結果，如圖 7 及圖 8，本次量測結果以紅色標記，先前量測結果以藍色標記，使用 EXCEL 內建 2 次多項式最小平方法作曲線擬合，得到更新後的海拔高度與宇宙射線游離輻射成分之回應曲線及海拔高度與中子宇宙射線之回應曲線，這 2 組曲線之方程式如下所示。

海拔高度與宇宙射線游離輻射成分之關係：

$$DRGIN = 5 \times 10^{-9} \times H - 2 \times 10^{-6} \times H + 0.041$$

其中，DRGIN 為宇宙射線游離輻射之劑量率(單位：微西弗/時)；

H 為海拔高度，單位：公尺。

海拔高度與中子宇宙射線之關係：

$$DRNE = 3 \times 10^{-9} \times H + 8 \times 10^{-7} \times H + 0.0075$$

其中，DRNE 為中子宇宙射線之劑量率(單位：微西弗/時)；

H 為海拔高度，單位：公尺。

因 102 至 106 年所得到海拔高度與宇宙射線游離輻射成分之回應曲線，在海拔高度 200 公尺以下的量測數值變動較大，導致以二次方程式作海拔高度與宇宙射線游離輻射成分之回應曲線擬合時，「R 平方值」會偏高。由於目前較缺乏低海拔附近宇宙輻射游離輻射成分之量測數據，為使擬合結果更為準確，本計畫將持續規劃赴國內西部海拔高度低於 200 公尺區域進行相關量測。詳細作業內容請參閱附件 1 「109 年南橫公路宇宙輻射與地表輻射偵測報告」與附件 2 「109 年北橫公路宇宙輻射與地表輻射偵測報告」。

2. 綠島體外劑量量測作業

過去因受限於儀器運輸問題，金門縣及綠島鄉等外島的環境輻射偵測以手持式輕便型的輻射偵檢器暫時替代，由於此類型偵檢器原始設計為大範圍輻射劑量率的輻射作業場所使用，若用於量測低劑量率的環境背景時的誤差較大，依過去經驗通常會高估 5% 至 30% 左右。有關宇宙輻射部分，在國內不同海拔高度量測游離輻射成分與中子宇宙射線，量測點的海拔高度從 3 至 3263 公尺，以獲得垂直高度的宇宙射線差異；目前也缺少外島區域的宇宙射線量測作業。因此，為使宇宙射線及地表輻射的評估結果更具代表性，持續累積環境輻射偵測數據故補增綠島環境輻射偵測。

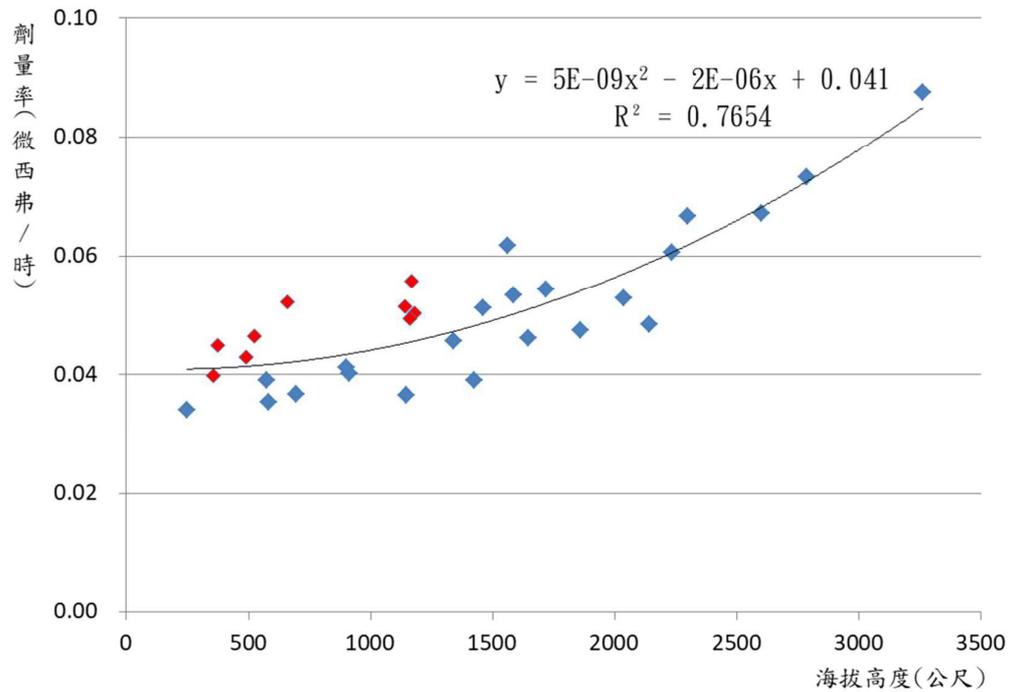


圖 7 宇宙輻射游離輻射成分劑量率與海拔高度關係

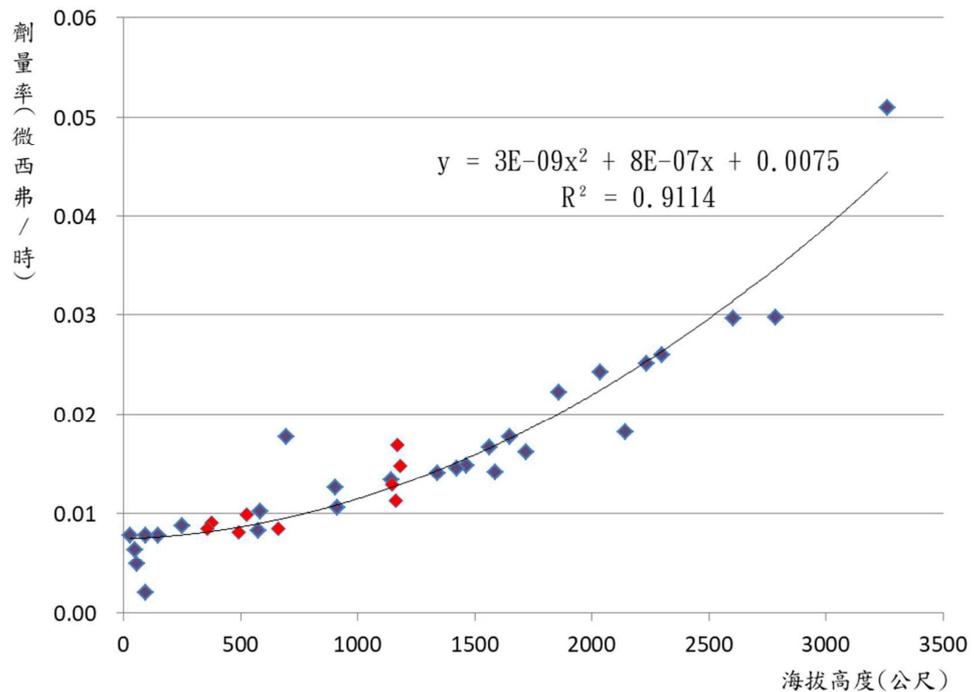


圖 8 中子宇宙輻射劑量率與海拔高度關係

綠島鄉偵測所使用的儀器與前節山區作業相同，包括(1)高壓游離腔；(2)純鍺偵檢器；(3)中子偵檢器共 3 類。環境輻射偵測地點包含環島公路 9KM 處、牛頭山、觀音洞、綠島國小、柚子湖、遊客中心、柴口、藍色海灣、夏卡爾橋、海洋研究站共 10 處，上揭 10 處地點之海拔高度由 28 至

146 公尺高，現場量測要求的標準位置為半徑 10 公尺內無大型建築物干擾，且均勻分布、無農業耕作、無人為整土的單純土壤地。本次量測地點集中在綠島鄉的東邊及北邊，主要因為綠島鄉西邊與南邊，受限於建築物較密集及地形多為山壁、懸崖或沙灘，因此無法找到純銻偵檢器適當量測的位置而沒有進行量測，至於綠島鄉中間雖有道路但僅能步行，車輛無法載運儀器設備進入，故未進行量測，量測位置如圖 9。

由於綠島鄉常有陣雨，為避免儀器損壞及數據受下雨的影響，除第 1 處偵測位置(夏卡爾橋)量測 1 小時外，本次其他位置均改以量測 0.5 小時；經比較第 1 處偵測位置 0.5 小時及 1 小時結果差異在 8% 內。量測結果如表 3。

本次 10 處偵測位置之海拔高度均在 150 公尺以下，高度差異不大，中子宇宙輻射之輻射劑量率對海拔高度並未呈現明顯趨勢關係，數值分佈由 $0.0020 \mu\text{Sv/h}$ 至 $0.0078 \mu\text{Sv/h}$ ，平均 $0.0057 \mu\text{Sv/h}$ 。宇宙射線游離輻射成分之輻射劑量率，係由高壓游離腔所量測總劑量率扣除上述純銻偵檢器所測得地表加馬輻射劑量率，而宇宙射線和海拔高度有關，綠島 10 處之量測結果，數值分佈由 $0.0170 \mu\text{Sv/h}$ 至 $0.0537 \mu\text{Sv/h}$ ，平均值 $0.0404 \mu\text{Sv/h}$ ，輻射劑量率也看不出海拔高度之影響。

地表輻射會受到地質影響，綠島為火山島嶼，全島幾乎由集塊岩及安山岩熔岩組合而成，其他少部分還有隆起的珊瑚礁、海岸及河流之堆積層、近代之珊瑚礁及紅土層等。本次地表輻射之量測數值分佈由 $0.0085 \mu\text{Sv/h}$ 至 $0.0502 \mu\text{Sv/h}$ ，平均 $0.0247 \mu\text{Sv/h}$ ，其中柚子湖、遊客中心、及藍色海灣共 3 處為白砂沙灘地形，白砂是貝殼沙，由海浪將淺海裡的珊瑚礁及貝殼打碎所形成，因白砂中所含天然放射性核種之活度濃度較低，這 3 處之地表加馬輻射劑量率亦較低，分別為 0.0133 、 0.0126 、 $0.0085 \mu\text{Sv/h}$ ，平均 $0.0115 \mu\text{Sv/h}$ ，遠低於一般土壤量測值。此外綠島有較大比率之集塊岩地形，集塊岩為火山活動所產生的火成岩，火成岩內含的天然放射性物

質含量高，輻射劑量值稍高於一般背景環境，夏卡爾橋周圍為海邊集塊岩隆起、黑色風化土壤及混凝土，地表加馬輻射劑量率 $0.0502 \mu\text{Sv/h}$ ，高於綠島鄉其他處，其所含鈾系元素活度濃度也較一般土壤為高；其他 6 處地點為一般黃土，以沖積層為主的混合土壤，其輻射劑量率為 0.0209 至 $0.0322 \mu\text{Sv/h}$ ，平均 $0.027 \mu\text{Sv/h}$ ，劑量率差異係因土壤成份不同所致。

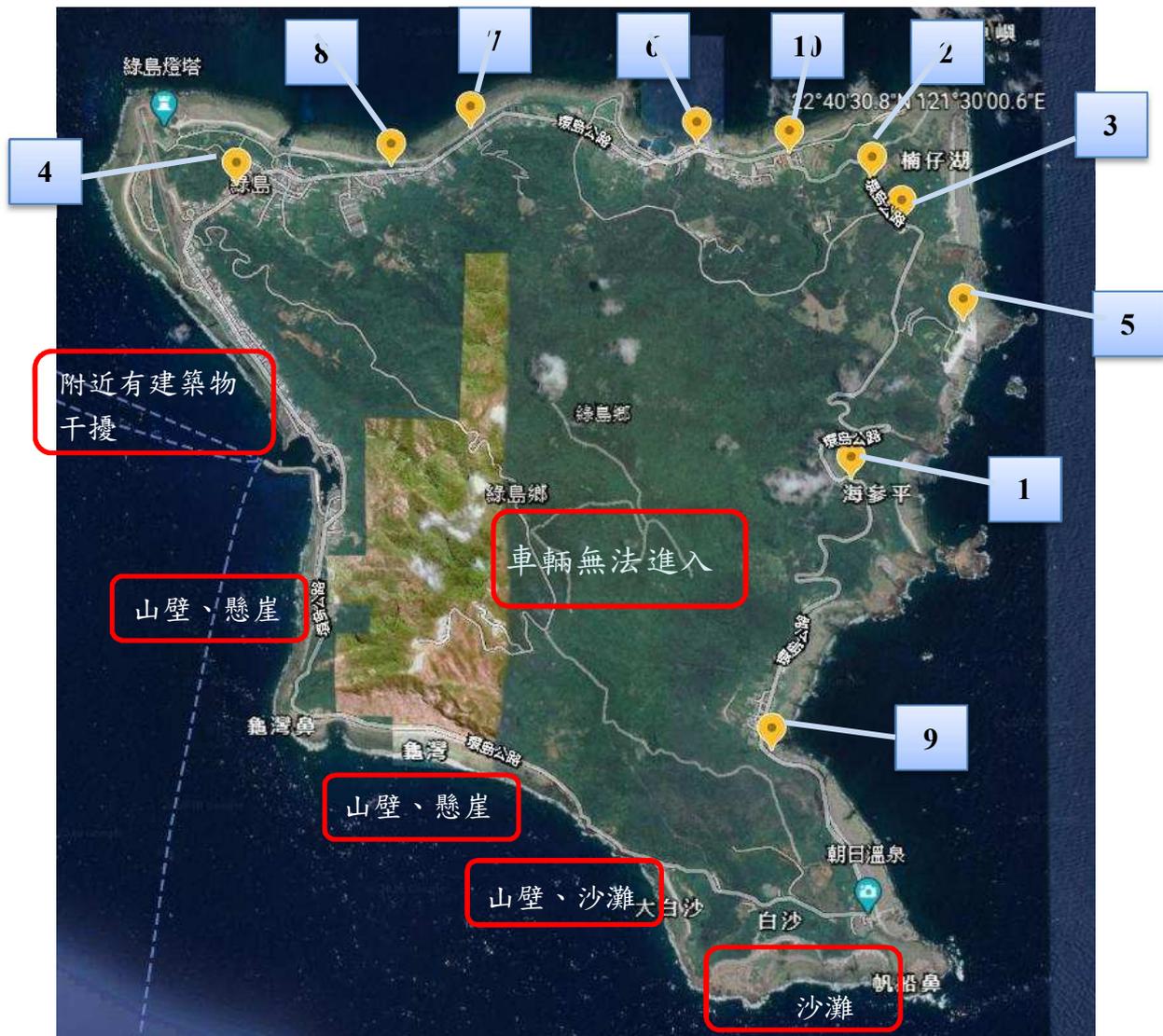


圖 9 綠島鄉環境輻射劑量率量測地點

本次綠島鄉 10 處地點之總加馬輻射環境輻射劑量率(含地表輻射及宇宙射線游離成分)分布範圍為 0.0426 至 $0.0754 \mu\text{Sv/h}$ ，平均 $0.0651 \mu\text{Sv/h}$ 。作業細節詳見附件 3 「109 年綠島鄉環境輻射偵測報告」。

表 1 109 年省道 20 號及省道 27 號地表輻射及宇宙射線之量測結果表

場所編號	衛星定位座標 經度(N)	衛星定位座標 緯度(E)	測定場所 (相對位置描述)	海拔高度 (公尺)	鉀 40 (Bq/kg)	釷系 (Bi-214) (Bq/kg)	鈾系 (Tl-208) (Bq/kg)	地表輻射 加馬劑量率 (μ Sv/h)	總加馬劑量 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 中子劑量率 (μ Sv/h)
1090318-1	23.277110	120.917258	長青祠	2234	375.2	10.6	22.9	0.0291	0.1047	0.0756	0.0251
1090318-2	23.283056	120.903198	台 27 縣近 21.3km 路標	2036	540.7	17.3	26.2	0.0404	0.1122	0.0718	0.0243
1090318-3	23.278999	120.892076	台 27 縣近 18.5km 路標	1860	489.1	17.0	33.5	0.0411	0.1109	0.0698	0.0222
1090318-4	23.283238	120.877093	台 27 縣近 16.1km 路標	1719	613.9	20.4	26.8	0.0452	0.1204	0.0752	0.0162
1090319-2	23.059373	120.731961	櫻花公園	1462	671.3	19.3	30.7	0.0483	0.1216	0.0733	0.0148
1090319-1	23.057248	120.730445	藤枝入山口	1424	692.3	22.2	38.1	0.0535	0.1188	0.0653	0.0145
1090319-3	23.055715	120.721606	寶山二集團櫻花步道	1339	616.9	17.2	35.1	0.0468	0.1148	0.0680	0.0141
1090317-2	23.264645	120.825458	梅山管制口旁露營區	911	583.9	15.1	30.1	0.0424	0.1021	0.0597	0.0106
1090317-1	23.158990	120.764976	桃源區正雅你運動場	582	599.1	20.7	24.8	0.0440	0.1004	0.0564	0.0102

表 2 109 年北橫公路(省道 7 號)地表輻射及宇宙射線之量測結果表

場所編號	衛星定位座標 經度(N)	衛星定位座標 緯度(E)	測定場所 (相對位置描述)	海拔高度 (公尺)	鉀 40 (Bq/kg)	鈾系 (Bi-214) (Bq/kg)	釷系 (Th-232) (Bq/kg)	地表輻射 ^(a) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	總加馬劑量 ^(b) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 ^(c) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 ^(d) 中子劑量率 (μ Sv/h)
1	24.631895	121.490206	省道 7 號 71.2KM 處	1180	574	36	54	0.0623	0.1126	0.0503	0.0148
2	24.654111	121.472623	明湖山莊	1168	633	40	43	0.0627	0.1184	0.0557	0.0169
3	24.645926	121.476088	省道 7 號 66.8KM 處	1161	500	34	40	0.0529	0.1023	0.0494	0.0113
4	24.650705	121.473340	明池森林遊樂區 招牌標示旁森林	1141	464	32	33	0.0477	0.0992	0.0515	0.0134
5	24.604763	121.495178	省道 7 號 81.2KM 處	659	661	34	39	0.0590	0.1112	0.0522	0.0085
6	24.738461	121.348603	榮華派出所	524	481	34	35	0.0504	0.0969	0.0465	0.0099
7	24.768733	121.354763	省道 7 號 26.5KM 處	490	552	32	30	0.0503	0.0932	0.0429	0.0081
8	24.803661	121.347181	近新溪口吊橋	374	429	28	25	0.0413	0.0862	0.0449	0.0091
9	24.791853	121.364351	樂信瓦旦紀念公園	356	518	34	49	0.0572	0.0970	0.0398	0.0085

備註：(a)地表輻射加馬劑量率為純鍍偵檢器測得。

(b)總加馬劑量率為高壓游離腔測得。

(c)宇宙輻射加馬劑量率為總加馬劑量率扣除地表輻射加馬劑量率。

(d)宇宙輻射中子劑量率為中子偵檢器測得。

表 3 109 年綠島鄉環境輻射偵測結果表

場所 編號	衛星定 位座標 經度(N)	衛星定 位座標 緯度(E)	測定場所 (相對位置描述)	海拔高度 (公尺)	鉀 40 (Bq/kg)	鈾系 (Bi-214) (Bq/kg)	釷系 (Th-232) (Bq/kg)	地表輻射 ^(a) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	總加馬劑量 ^(b) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 ^(c) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 ^(d) 中子劑量率 (μ Sv/h)
1	22.658592	121.503339	環島公路 9KM 處	146	250.0	12.7	20.8	0.0245	0.0722	0.0477	0.0078
2	22.673764	121.504599	牛頭山	92	263.5	18.5	31.2	0.0322	0.0754	0.0432	0.0078
3	22.671574	121.506189	觀音洞	91	226.6	19.4	29.4	0.0305	0.0753	0.0448	0.0020
4	22.673590	121.470139	綠島國小	56	224.1	14.5	22.4	0.0251	0.0709	0.0458	0.0049
5	22.666672	121.509546	柚子湖	49	124.1	5.9	13.8	0.0133 ^(e)	0.0495	0.0361	0.0056
6	22.675666	121.495135	遊客中心	49	94.9	8.0	11.9	0.0126 ^(e)	0.0662	0.0537	0.0074
7	22.676462	121.482827	柴口	48	183.4	15.3	14.5	0.0209	0.0625	0.0416	0.0064
8	22.674560	121.478540	藍色海灣	48	69.9	6.1	6.5	0.0085 ^(e)	0.0426	0.0341	0.0042
9	22.645123	121.499104	夏卡爾橋	41	242.9	58.3 ^(f)	25.5	0.0502 ^(f)	0.0672	0.0170	0.0071
10	22.675210	121.500154	海洋研究站	28	292.4	13.1	27.0	0.0288	0.0688	0.0400	0.0078

備註：(a)地表輻射加馬劑量為純鍍偵檢器測得。

(c)宇宙輻射加馬劑量率為總加馬劑量扣除地表輻射加馬劑量。

(e)柚子湖、遊客中心及藍色海灣 3 處白沙沙灘地形。

(b)總加馬劑量為高壓游離腔測得。

(d)宇宙輻射中子劑量為中子偵檢器測得。

(f)夏卡爾橋周圍為集塊岩黑色土壤及岩石，其鈾系活度濃度較一般土壤為高。

二、 消費性產品劑量評估

1. 國人吸菸體內劑量評估

自發現菸草中含有放射性物質[7]並研判會對於人體有傷害[8]迄今已超過50年以上。菸草中放射性物質的來源，透過溫室栽培實驗發現[9]主要路徑是環境中的氫氣子核沉積，氫氣自土壤釋出後擴散於大氣中，經3.82天的半化期衰變後生成許多短半化期的金屬微粒如鈾、鉛及鈾的放射性同位素。這些金屬微粒不是氣態，因此容易沾黏在物體表面，其中氫的子核種鉛210 (Pb-210)半化期長達22年，累積後持續生成會釋出阿伐核種半化期為138天的鈾210 (Po-210)。菸草的葉片表面因其特殊絨毛結構，具有濃集氫氣衰變產物的特性；因此，在菸草中可測得較高濃度的鉛210及鈾210。其次，是透過菸草植物根部吸收農家施加於土壤中含鈾的磷酸鈣肥料(calcium polyphosphate fertilizers) [10, 11]，也會造成菸草含偏高的鉛210及鈾210現象。

鉛210吸入體內後的生理機制(吸收、身體分布、清除及代謝機制等)與鈾210完全不同，但由於兩者來自於相同衰變鍊，所以在評估時也多以假設其已達到平衡的狀況[12]。

從2008年開始陸續有文獻提出，菸草產業內部報告顯示，該產業早已知道香菸中含有放射性物質，也曾試圖透過濾嘴設計、種植的肥料由磷酸胺取代磷酸鈣等方式降低菸草中的輻射量，但效果卻很有限，然而，這些內部報告菸草產業都沒有對外公開，以免造成民眾的恐慌[13-15]。美國2009年通過之「預防家庭吸菸與菸草管制法案(Family smoking prevention and tobacco control act)」中，已納入強制菸商須降低菸草中放射性鈾，加上世界衛生組織(WHO)統計罹患致死率最高的癌症為肺癌[16]，使相關議題在近十年來又受到關心。

108 年已引用衛生福利部國民健康署國民吸菸習慣調查計畫統計結果，以及國際間肺部劑量模式的更新做過相關評估與討論。由於自 105 年該計畫才開始納入吸菸者平均每天吸菸根數等調查項目，因此，僅有兩年的數據，今年度國健署提供 105 年至 107 年國人抽菸習慣調查統計資料，將能夠提供更符合我國國人抽菸行為之本土性情境。審視 105 至 107 年資料，15-17 歲吸菸人口調查結果為 0，故以下本報告使用統計為 18 歲以上之成人數據。

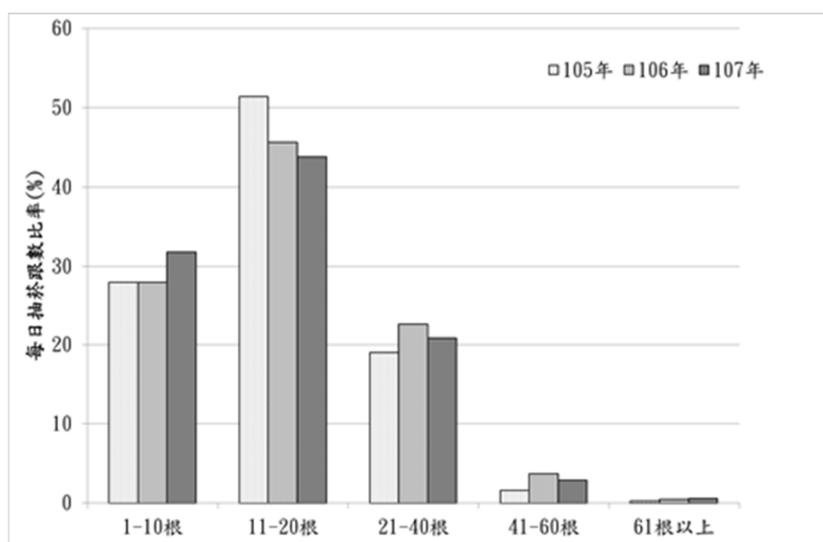


圖 10 105 至 107 年國人男性吸菸者每天抽菸數統計結果。
(資料來源：衛生福利部國民健康署)。

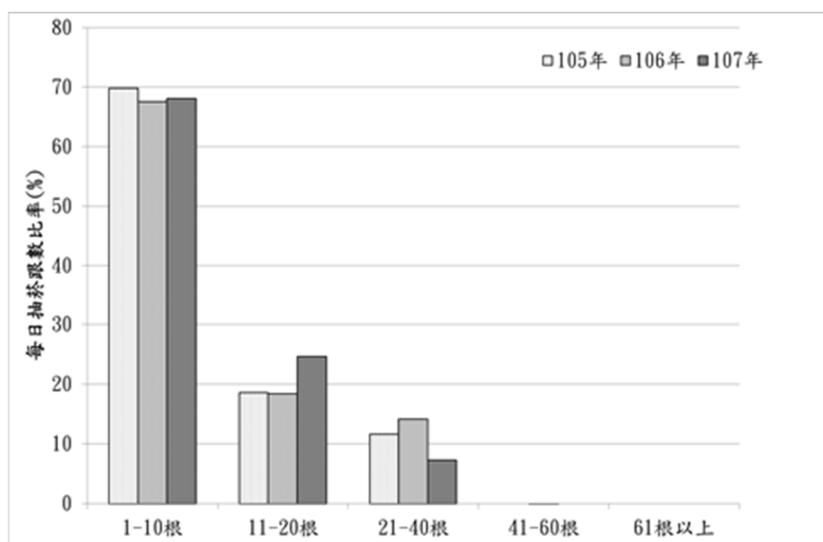


圖 11 105 至 107 年國人女性吸菸者每天抽菸數統計結果。
(資料來源：衛生福利部國民健康署)。

由圖 10 與圖 11 得知，男性抽菸人口以每天約一包菸(11-20 根)的人數比例最高，女性以約半包菸(1-10 根)的比例最高，三年加權平均結果顯示抽菸人口每日抽菸數為：男性抽 17.3 根菸、女性抽 10.9 根菸。因此，本研究在評估吸菸的國民輻射劑量時，係以吸菸人口中男性每天抽一包菸(20 根)、女性每天抽半包菸(10 根)為假設條件。

此外，由衛福部國健署近 10 年的抽菸人口比例統計結果資料顯示(如圖 12)，由於菸害防制法的推動，國人抽菸人口不論男女都呈下降的趨勢，男性抽菸人口比例約為女性的 10 倍(以 107 年為例，男性 23.5%，女性 2.4%)。綜上因素，也可預期吸菸造成平均輻射劑量的結果，女性會遠低於男性。

參考 2019 年的媒體資料[17]，台灣銷售量高之菸品種類包括：七星、峰、尊爵、長壽、大衛杜夫、登喜路、萬寶路等產品，總市佔率已超過 9 成(如圖 13)。本中心亦於民國 98 年購買國內常見 9 種品牌、22 類香菸樣品(如圖 14)進行鉛 210 之分析檢測，所採集的香菸品牌已涵蓋了大部份國人消費市場常見的菸品。

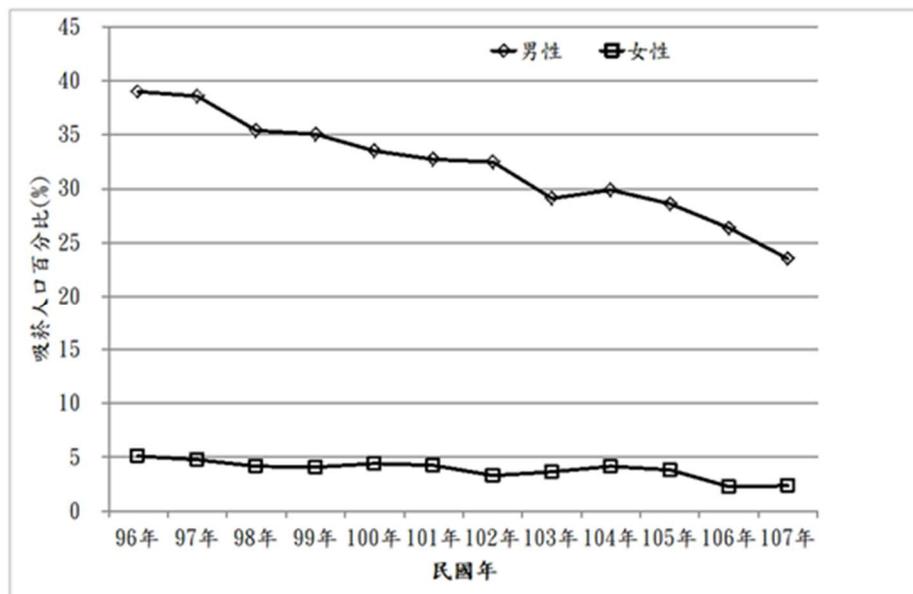


圖 12 近 10 年國人抽菸比例。(資料來源：衛生福利部國民健康署)

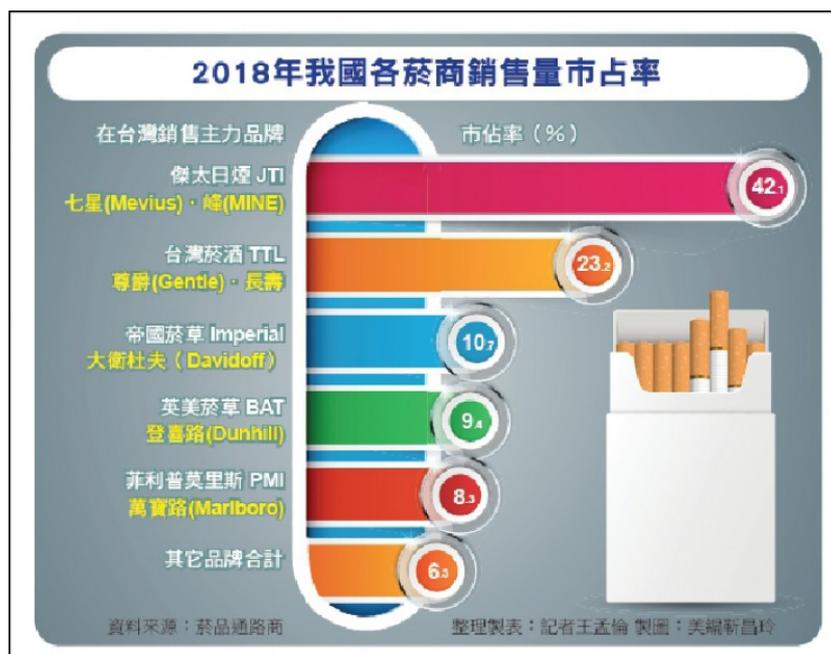


圖 13 2018 年我國各菸商銷售量市占率(引用自由時報資料[17])



圖 14 本報告採購常見之市售香菸樣品

本中心之分析方法主要參考美國能源部標準分析方法 HASL-300 [18]，將一包香菸菸草取出後以攝氏 60 度烘乾隔夜，再以粉碎機打碎均勻混合(可分樣後使用加馬能譜以鉀 40 為指標，確認是否已均勻混合)。取 5 克菸草樣品，經針 210 之純化前處理後，進行阿伐能譜分析計測 8 萬秒，利用

示蹤劑的計測結果推算回收率，進而換算鈾 210 活度濃度。分析結果已列於 108 年報告中，鈾 210 活度濃度範圍在每公斤 16.44 到 24.17 貝克，以每根香菸中的菸草重量 0.7 克換算，每根香菸鈾 210 含量範圍在 11.51 到 16.92 毫貝克之間，平均為 13.93 毫貝克。此數值與美國 NCRP 第 160 號報告中採用之香菸鈾 210 活度(14 毫貝克)相近，顯示國內常見香菸產品之鈾 210 濃度與國外差異不大。

假設每天抽一根菸，且保守估計所有鈾 210 皆被吸入人體，吸菸者每年吸入的鈾 210 為 $0.014(\text{貝克}) \times 365(\text{天}) = 5.11$ 貝克。假設鉛 210 與鈾 210 達平衡，所以鉛 210 也是 5.11 貝克；帶入上述國際放射防護委員會 (ICRP) 第 72 號報告的體內劑量轉換因子(鈾-210 3.3×10^{-6} + 鉛-210 $1.1 \times 10^{-6} = 4.4$ 微西弗/貝克)，吸菸者每天抽一支菸且連續抽 1 年之輻射年劑量約為 $5.11 \text{ 貝克} \times 4.4 \text{ 微西弗/貝克} = 22.5$ 微西弗，每天抽一包菸則年劑量為 $22.5 \times 20 \div 1000 = 0.450$ 毫西弗。參考衛福部國健署的調查資料顯示，107 年男性抽菸人口占 23.5%、女性占 2.4%，因此，可換算國人人口中，因吸菸導致全國 18 歲以上男性平均年輻射劑量為 $0.450 \times 0.235 \times 1$ 包菸 $= 0.106$ 毫西弗，女性為 $0.450 \times 0.024 \times 0.5$ 包菸 $= 0.005$ 毫西弗。依據內政部統計年報[19]，107 年男女性比例為 0.9863，由男女性人口加權推算 18 歲以上人口平均年劑量：

$$(0.106 \times 0.9863 + 0.005 \times 1) / (0.9863 + 1) = 0.058 \text{ 毫西弗}$$

同樣由 107 年人口統計資料顯示 18 歲以上人口佔所有人口數 84%，因此推算香菸造成國人平均國民輻射年劑量為 $0.058 \times 0.84 = 0.049$ 毫西弗。評估細節詳見附件 4 「國人吸菸輻射劑量評估報告(109 年)」。

2. 國人飛航資料統計與劑量評估參數探討

由民航局的年報統計資料[20]可發現，在過去民國 85 年偵測中心進行飛航宇宙輻射評估以後，國內的民航狀況有相當大的改變。由旅客人次的變化來看，自從民國 96 年高鐵通車後，國內航線旅客人次大幅下降，

由最高接近三千五百萬人次降為一千一百萬人次左右，最主要的改變在於過去旅客最多的台北高雄、台北台中、台北嘉義等航線，因旅客大幅減少已全面停飛，現在最主要的旅客人次來自於台北金門、台北馬公與高雄馬公等離島航線。

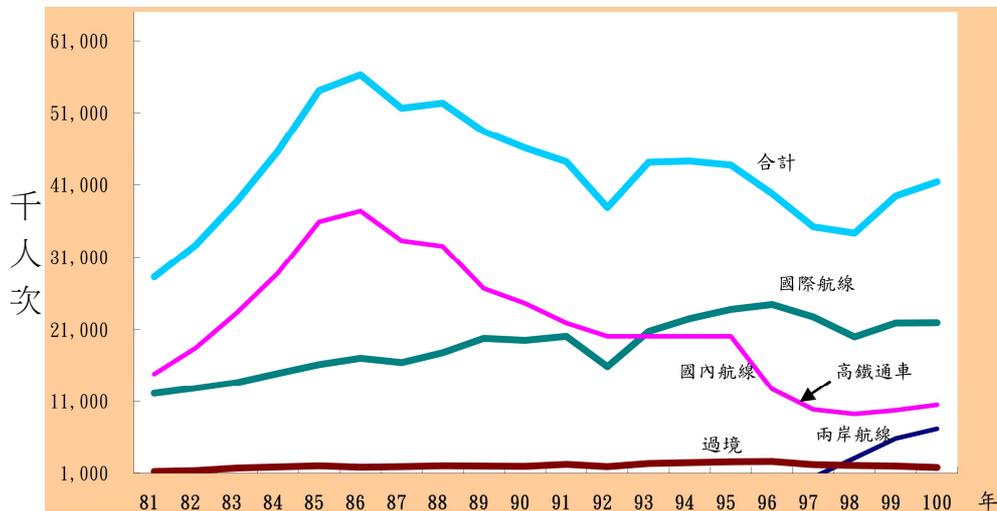


圖 14 我國各機場進出旅客趨勢(100 年「民航統計年報」)

國際航線的旅客人數則明顯大幅增加，與民國 85 年時相比，108 年國際航線人次為四千八百萬人次，為之前評估時的四倍以上，國際航線由過去不到 80 條，現在已有定期航線 120 條。由旅客人次來看，過去旅客較多的航線為香港、澳門、東京、曼谷、洛杉磯、新加坡、大阪、胡志明市、舊金山與漢城，現在則以香港、東京、大阪、首爾(即漢城)、新加坡、曼谷、澳門、胡志明市、馬尼拉、吉隆坡東南亞與東北亞為主，主要的差異在於洛杉磯與舊金山雖仍是歐美航線最多旅客人數的航線，但現在僅排名 14 與 15，被馬尼拉、吉隆坡與沖繩等航線取代。

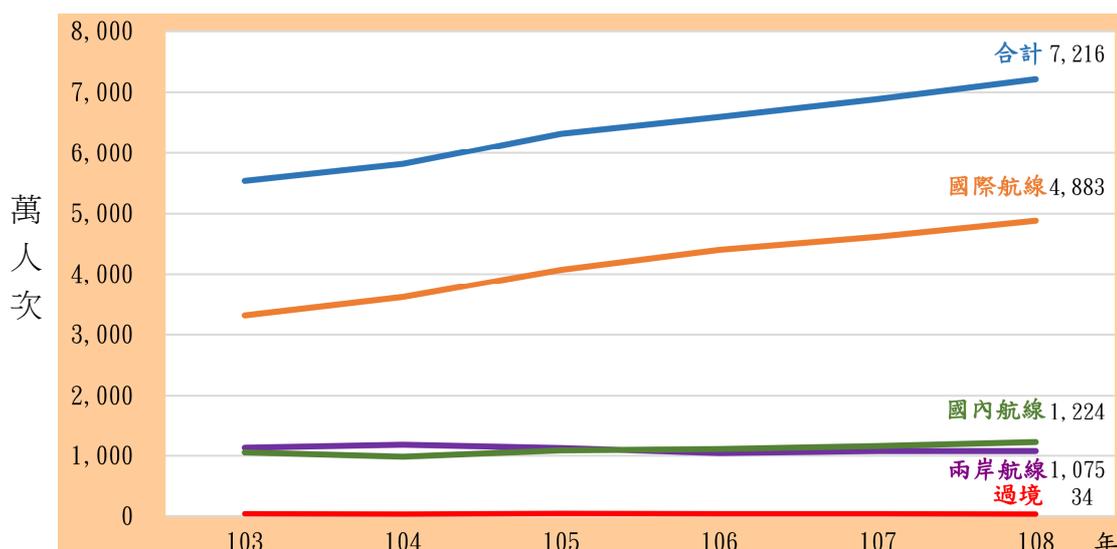


圖 15 我國各機場進出旅客趨勢(108年「民航統計年報」)

將所有國際航線以近5年(104年到108年)之搭機年平均人數加以排序，結果如表5。若目標需評估超過90%的人數則需要評估前48條航線總和，若要超過95%的人數則需要統計66條航線。

表 5 近五年國際線旅客年平均人數排序

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
1	臺灣桃園國際機場	香港	6546053
2	臺灣桃園國際機場	東京成田	2817463
3	臺灣桃園國際機場	大阪	2612581
4	臺灣桃園國際機場	首爾仁川	2260484
5	臺灣桃園國際機場	新加坡	1767961
6	臺灣桃園國際機場	曼谷蘇凡納布	1574728
7	臺北松山機場國際	東京羽田	1436323
8	臺灣高雄國際機場	香港	1433327
9	臺灣桃園國際機場	馬尼拉	1302589
10	臺灣桃園國際機場	澳門	1238236
11	臺灣桃園國際機場	胡志明市	1196670
12	臺灣桃園國際機場	琉球	1058803
13	臺灣桃園國際機場	吉隆坡	1048965
14	臺灣桃園國際機場	洛杉磯	933784
15	臺灣桃園國際機場	舊金山	914193
16	臺灣桃園國際機場	福岡	815942
17	臺灣臺中機場國際	香港	714444

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
18	臺灣桃園國際機場	名古屋	709144
19	臺灣桃園國際機場	釜山	665084
20	臺灣桃園國際機場	札幌	655555
21	臺灣桃園國際機場	河內	587080
22	臺灣高雄國際機場	東京成田	555102
23	臺灣高雄國際機場	大阪	482522
24	臺灣桃園國際機場	溫哥華	446122
25	臺灣高雄國際機場	澳門	395863
26	臺灣桃園國際機場	曼谷廊曼	384792
27	臺灣桃園國際機場	紐約	370924
28	臺灣桃園國際機場	峇里島	352619
29	臺灣桃園國際機場	雅加達	348332
30	臺灣桃園國際機場	阿姆斯特丹	316468
31	臺灣桃園國際機場	杜拜	292227
32	臺灣高雄國際機場	首爾仁川	275640
33	臺北松山機場國際	首爾金浦	232988
34	臺灣桃園國際機場	西雅圖	232675
35	臺灣桃園國際機場	布里斯本	222186
36	臺灣桃園國際機場	金邊	216904
37	臺灣高雄國際機場	胡志明市	214309
38	臺灣桃園國際機場	大邱	213601
39	臺灣桃園國際機場	亞庇	202921
40	臺灣桃園國際機場	法蘭克福	194002
41	臺灣桃園國際機場	伊斯坦堡	189084
42	臺灣桃園國際機場	巴黎	187062
43	臺灣桃園國際機場	宿霧	185797
44	臺灣桃園國際機場	東京羽田	183183
45	臺灣桃園國際機場	函館	169436
46	臺灣桃園國際機場	多倫多	167065
47	臺灣桃園國際機場	雪梨	166593
48	臺中機場國際	澳門	164965
49	臺中機場國際	胡志明市	163002
50	臺灣桃園國際機場	安大略	162623
51	臺灣桃園國際機場	休士頓	159128
52	臺灣桃園國際機場	仙台	140320
53	臺灣桃園國際機場	布理斯本	138941

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
54	臺灣桃園國際機場	維也納	132215
55	臺灣高雄國際機場	琉球	130574
56	臺灣高雄國際機場	河內	129847
57	臺灣高雄國際機場	札幌	125842
58	臺灣桃園國際機場	小松	125262
59	臺灣高雄國際機場	曼谷蘇凡納布	120068
60	臺灣桃園國際機場	清邁	112857
61	臺灣高雄國際機場	新加坡	106526
62	臺灣桃園國際機場	廣島	101202
63	臺灣桃園國際機場	芝加哥	97145
64	臺灣高雄國際機場	福岡	90867
65	臺灣高雄國際機場	釜山	84503
66	臺灣桃園國際機場	倫敦蓋威克	78974
67	臺南機場國際	胡志明市	77579
68	臺灣桃園國際機場	關島	76273
69	臺灣桃園國際機場	羅馬	75974
70	臺灣高雄國際機場	吉隆坡	74535
71	臺灣桃園國際機場	檳城	73778
72	臺灣桃園國際機場	峴港	72939
73	臺灣桃園國際機場	高松	69782
74	臺灣桃園國際機場	長灘島	68016
75	臺灣桃園國際機場	務安	65499
76	臺灣桃園國際機場	濟州	65379
77	臺南機場國際	香港	63111
78	臺灣高雄國際機場	馬尼拉	60437
79	臺灣桃園國際機場	岡山	59871
80	臺灣桃園國際機場	墨爾本	59786
81	花蓮機場國際	香港	56272
82	臺灣桃園國際機場	清州	55492
83	臺灣桃園國際機場	鹿兒島	54841
84	臺灣桃園國際機場	德里	54434
85	臺灣桃園國際機場	檀香山	53677
86	臺灣桃園國際機場	富山	49755
87	臺灣桃園國際機場	奧克蘭	48050
88	臺中機場國際	河內	47009
89	臺中機場國際	東京成田	46404

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
90	臺灣桃園國際機場	北九州	44895
91	臺灣桃園國際機場	旭川	44688
92	臺灣桃園國際機場	靜岡	43480
93	臺灣桃園國際機場	克拉克	42147
94	臺灣桃園國際機場	羅馬達文西	38988
95	臺灣桃園國際機場	帛琉	36534
96	臺灣桃園國際機場	泗水	35820
97	臺中機場國際	琉球	31567
98	臺灣桃園國際機場	宮崎	29399
99	臺灣高雄國際機場	熊本	27718
100	臺灣桃園國際機場	茨城	25704
101	臺灣桃園國際機場	花卷	24811
102	臺灣桃園國際機場	青森	23163
103	臺灣桃園國際機場	佐賀	22655
104	臺灣桃園國際機場	公主港	20156
105	臺灣高雄國際機場	名古屋	19249
106	臺灣桃園國際機場	新潟	18780
107	臺南機場國際	大阪	17535
108	臺灣高雄國際機場	峴港	17097
109	臺灣桃園國際機場	松山	16395
110	臺灣桃園國際機場	汶萊	15661
111	臺灣桃園國際機場	石垣島	15641
112	臺灣桃園國際機場	芽莊(金蘭)	15052
113	臺灣桃園國際機場	莫斯科 (謝列梅捷沃)	13892
114	臺灣高雄國際機場	克拉克	13111
115	臺灣高雄國際機場	宿霧	11633
116	臺灣桃園國際機場	莫斯科多莫傑多沃	7824
117	臺灣高雄國際機場	濟州	5519
118	臺中機場國際	大阪	4928
119	臺灣桃園國際機場	海參威	2601
120	臺灣桃園國際機場	伊爾庫茨克	41

兩岸航線自民國 92 年開始周末包機，民國 97 年平日包機後搭機旅客持續成長，於 101 年以後定期航班旅客人次逐漸穩定，與國內航線旅客

人數差異不大，大約一千萬人次，約為國際航線人數的五分之一。國內航線航程較短，飛機通常不會飛太高且航程時間不長，加上航線所在都處於低緯度區域，之前評估結果顯示宇宙輻射劑量不高，因此建議不進行評估。兩岸航線人數雖與國內航線差異不大，但航程較遠時間較長，且部分航線飛往高緯度區域的城市，因此有可能累積高輻射劑量，仍建議進行評估。將兩岸航線以近5年(104年到108年)之搭機年平均人數加以排序，結果如表6。若目標需評估超過90%的人數則需要評估前57條航線總和，若要超過95%的人數則需要統計75條航線。然而因為人數與國際線相比實在太低，因此建議只評估人數最多的五條航線與航程最長的五條航線。

表6 近五年兩岸航線旅客年平均人數排序

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
1	臺灣桃園國際機場	上海浦東	1758917
2	臺灣桃園國際機場	北京	752933
3	臺北松山機場國際	上海虹橋	730066
4	臺灣桃園國際機場	深圳	560716
5	臺灣桃園國際機場	廣州	473076
6	臺灣高雄國際機場	上海浦東	292850
7	臺灣桃園國際機場	杭州	281978
8	臺灣桃園國際機場	廈門	275384
9	臺灣桃園國際機場	南京	258492
10	臺北松山機場國際	上海浦東	212402
11	臺灣桃園國際機場	無錫	198024
12	臺灣桃園國際機場	鄭州	191171
13	臺灣桃園國際機場	寧波	179792
14	臺灣桃園國際機場	成都	167472
15	臺北松山機場國際	福州	157848
16	臺灣桃園國際機場	瀋陽	155539
17	臺灣桃園國際機場	長沙	154941
18	臺北松山機場國際	廈門	148382
19	臺南機場國際	武漢	147689
20	臺灣桃園國際機場	福州	140671
21	臺灣桃園國際機場	青島	139858

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
22	臺灣桃園國際機場	西安	134306
23	臺灣桃園國際機場	哈爾濱	125794
24	臺灣桃園國際機場	濟南	119645
25	臺灣桃園國際機場	合肥	118126
26	臺灣桃園國際機場	重慶	116759
27	臺灣桃園國際機場	桂林	109513
28	臺灣桃園國際機場	海口	105862
29	臺灣桃園國際機場	南昌	100236
30	臺灣桃園國際機場	武漢	99434
31	臺灣桃園國際機場	石家莊	88404
32	臺灣桃園國際機場	南寧	85673
33	臺北松山機場國際	天津	84872
34	臺灣桃園國際機場	大連	83235
35	臺灣桃園國際機場	長春	82681
36	臺灣桃園國際機場	昆明	81927
37	臺灣桃園國際機場	煙臺	76261
38	臺灣桃園國際機場	貴陽	75725
39	臺灣高雄國際機場	杭州	74369
40	臺灣桃園國際機場	太原	73107
41	臺北松山機場國際	重慶	70053
42	臺灣桃園國際機場	溫州	69259
43	臺北松山機場國際	成都	65909
44	臺灣高雄國際機場	廈門	65184
45	臺灣高雄國際機場	武漢	63768
46	臺灣高雄國際機場	福州	62328
47	臺灣桃園國際機場	張家界	60633
48	臺灣桃園國際機場	呼和浩特	59785
49	臺灣桃園國際機場	泉州	59618
50	臺灣桃園國際機場	烏魯木齊	57083
51	臺灣桃園國際機場	蘭州	55445
52	臺灣桃園國際機場	徐州	46661
53	臺灣桃園國際機場	黃山	44201
54	臺灣高雄國際機場	深圳	44110
55	臺灣高雄國際機場	鄭州	41174
56	臺北松山機場國際	杭州	40778
57	臺灣桃園國際機場	天津	39267

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
58	臺中機場國際	上海浦東	39152
59	臺灣高雄國際機場	南京	36875
60	臺灣高雄國際機場	南昌	35167
61	臺灣高雄國際機場	長沙	34698
62	臺灣桃園國際機場	鹽城	32649
63	臺中機場國際	深圳	32491
64	臺灣桃園國際機場	麗江	31500
65	臺中機場國際	廣州	31206
66	臺灣高雄國際機場	寧波	29787
67	臺灣高雄國際機場	廣州	28990
68	臺灣桃園國際機場	銀川	28332
69	臺北松山機場國際	武漢	27567
70	臺灣桃園國際機場	常州	27271
71	臺中機場國際	太原	26747
72	臺灣桃園國際機場	三亞	26598
73	臺灣高雄國際機場	昆明	26521
74	臺灣桃園國際機場	南通	26158
75	臺北松山機場國際	太原	24821
76	臺北松山機場國際	溫州	23130
77	臺灣高雄國際機場	重慶	22870
78	臺灣桃園國際機場	揚州	21354
79	臺中機場國際	三亞	19530
80	臺灣桃園國際機場	淮安	19148
81	臺中機場國際	杭州	19080
82	臺灣高雄國際機場	海口	17607
83	臺灣高雄國際機場	成都	17175
84	臺灣高雄國際機場	徐州	15722
85	臺中機場國際	寧波	15696
86	臺中機場國際	呼和浩特	15329
87	臺中機場國際	廈門	15177
88	臺灣桃園國際機場	汕頭	14816
89	臺灣桃園國際機場	義烏	14729
90	臺中機場國際	南京	14415
91	臺灣高雄國際機場	南寧	14372
92	臺灣高雄國際機場	天津	13772
93	臺中機場國際	福州	13513

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
94	臺中機場國際	昆明	13484
95	臺灣高雄國際機場	北京	12783
96	臺灣高雄國際機場	太原	12107
97	臺灣桃園國際機場	西寧	11418
98	臺中機場國際	合肥	11365
99	臺中機場國際	海口	11285
100	臺中機場國際	天津	11031
101	臺灣桃園國際機場	威海	10685
102	臺中機場國際	濟南	10543
103	臺中機場國際	南寧	10034
104	臺北松山機場國際	合肥	9817
105	臺灣高雄國際機場	濟南	8936
106	臺灣桃園國際機場	海拉爾	8758
107	臺灣高雄國際機場	合肥	8603
108	臺中機場國際	長沙	8513
109	花蓮機場國際	天津	8439
110	臺中機場國際	石家莊	8321
111	花蓮機場國際	濟南	8230
112	臺灣高雄國際機場	青島	8128
113	臺灣高雄國際機場	三亞	7998
114	臺中機場國際	鄭州	7583
115	臺灣高雄國際機場	桂林	7079
116	臺中機場國際	青島	6523
117	臺灣高雄國際機場	常州	5137
118	臺中機場國際	成都	4997
119	臺中機場國際	武漢	4518
120	花蓮機場國際	武漢	2815
121	臺灣高雄國際機場	黃山	1819
122	臺灣桃園國際機場	延吉	1433
123	臺中機場國際	哈爾濱	1360
124	臺灣高雄國際機場	瀋陽	1048
125	臺灣高雄國際機場	蘭州	982

由於宇宙輻射並非定值，而是受太陽活動影響呈現約 11~12 年的周期變動。太陽的活動狀況可採用太陽表面釋出的離子強度(也稱為太陽風)作

為指標，當太陽風強度高時會形成高電位差，阻隔來自銀河系的高能帶電粒子，進而降低宇宙輻射劑量。由太陽風換算的向陽電位(Heliocentric potential)可在美國民航局取得資料[21]。近 60 年的資料如圖 16，平均值為 589MV，最近的時段大約是 2014 年(民國 103 年)3 月到 7 月左右，之後太陽風均偏弱，也就是最近幾年宇宙輻射為偏高的狀態。由於無法得到近五年每條航線的確實飛航資料，為了能夠一致的基礎，建議採用平均太陽風強度作為評估的參數。後續計畫將規劃採用劑量評估軟體進行評估統計。

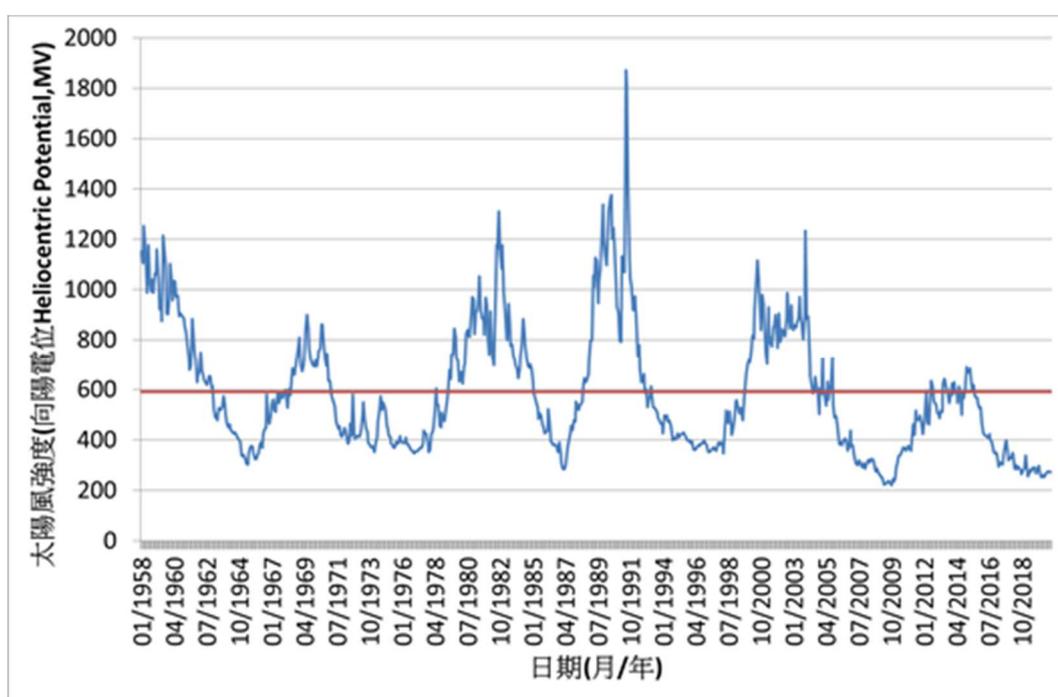


圖 16 近 60 年太陽風強度資料並換算為阻隔銀河宇宙輻射之電位。

三、 台灣地區攝食人造核種銫-137 劑量評估之探討

銫是鹼金屬在溶液中以正一價的離子存在。銫在工業中可能會以各種化學和物理形式出現，包括可溶性無機鹽（氯化物，硝酸鹽）和可溶性較低的硫酸鹽。

放射性銫-137 經貝他衰變形成短半化期的亞穩態異構體 ^{137m}Ba (2.55 分鐘)，貝他最大能量為 514keV (豐度為 94.4%) 和 1175keV (豐度為 5.4

%)。伴隨著 662 keV (89.9%) 的加馬射線發射而形成銻-137。因此，檢測方法可以使用貝他計數法或加馬能譜儀分析法。加馬能譜法通常受到青睞，因為它利用穿透力高 662 keV 的高能光子，可直接計測大多數樣品而無需進行任何化學分離程序，且純鍺 (HPGe) 檢測器可以輕易達到約每公斤 1 貝克的檢測極限，透過量測參數例如樣品量增加或計測時間延長可測得更低活度，因此適用於許多環境樣品的分析。

全球性廣泛的銻-137 污染主要來自大氣核武試爆。多數的地面測試發生在 1940 年代末至 1960 年代初之間的北半球，使得落塵主要沉降在北半球區域。空間分佈以黑潮延伸區 (20-40°N) 和墨西哥灣流地區 (30-50°N) 的沉降較高，主要是因這兩個地區都是降雨量較高的地區，也增加了對流層與平流層之間的懸浮物質交換，將高空的銻-137 帶至地面[22]。

重大核子事故發生後也會產生環境放射性銻污染，特別是 1986 年的車諾比事故和 2011 年的福島第一核電廠 (NPP) 事故 [23-29]。當時先在斯堪地納維亞半島、比利時、荷蘭和英國測量到車諾比釋放的落塵，後續量測發現污染區域延伸到南歐和中歐。福島外海發生 9 級地震並引發海嘯導致核電廠事故，大量銻-137 釋放至大氣和水體。就海洋而言，這是濃度最大的放射性核種意外來源。大氣釋出的銻-137 約 80% 沉積在海中[27]，只有小部分的大氣沉降 (約 2%) 沉積在日本領土以外的陸地上。

因銻離子與鉀離子特性相近，海水中的放射性銻經海洋生物吸收後進入食物鏈，成為放射性銻攝入人體的主要來源，尤其大型魚類如鮪魚、鮭魚、旗魚等更是容易累積至偏高的濃度，此外部分介殼類生物也具有生物濃集的特性。陸域放射性銻在土壤中，會因不同化學形式而有不同的分布，例如矽酸鹽會固化銻使其不易被植物吸收，但會受到沖刷、侵蝕等氣候現象改變其分布位置及濃度。能被植物吸收的放射性銻，則會因為有機循環而累積在土壤表面，不易滲透至較深的土壤中，但會因為動物攝食後移動至他處排泄而導致核種生物遷移的現象[30-32]。

人類攝食銫 137 後，在人體中呈現全身性分布，但在體內殘留的時間則與年紀、性別及鉀離子攝食量等因素相關。年輕人體內殘留時間較短，年紀越大殘留時間越長劑量也越高，因此由劑量轉換因子來看，同樣攝 1 貝克銫-137，2 至 7 歲劑量為 9.6×10^{-9} 西弗；7-12 歲為 1.0×10^{-8} 西弗；12 歲以上青少年與成人則為 1.3×10^{-8} 西弗。就性別來看男性殘留時間大於女性，其中懷孕女性體內銫-137 最低，但是銫-137 會濃集於乳汁中，因此污染地區哺育嬰兒的母乳，也通常會是規劃監測的重點[33]。

統計輻射偵測中心近五年消費市場主要食品採樣分析結果，如表 7，由於測得樣品數不多，故採最大值保守推估銫-137 造成國民年劑量為 4.18×10^{-4} 毫西弗，相較於去年統計國人天然輻射年劑量約為 2.206 毫西弗，幾乎可忽略，無輻射安全之虞。

表 7 台灣地區消費市場主要食品銫 137 含量與年劑量評估

類別	銫 137 濃度 (鮮奶:貝克/升, 其餘貝克/公斤)		年食用量 (鮮奶:升/年, 其餘:公斤/年)	年劑量 (毫西弗)
	最大值	最小值		
米	-	-	45.61	-
葉菜	0.16	-	43.09	8.96E-05
花果菜類	-	-	28.05	-
鮮奶	-	-	20.39	-
水果	0.21	-	50.54	1.38E-04
豬肉	0.1	-	37.30	4.85E-05
雞蛋	-	-	18.09	-
麵粉	-	-	37.97	-
雞肉	0.03	-	38.61	1.51E-05
甘藷	-	-	8.68	-
馬鈴薯	-	-	12.88	-
魚肉	0.3	-	16.83	6.56E-05
牛肉	0.15	-	6.41	1.25E-05
黃豆	0.31	-	12.16	4.90E-05
合計				4.18E-04

- : 小於偵測極限

四、 職業曝露劑量評估

國民輻射劑量評估中，職業曝露劑量的貢獻相對較小，但他反映了各國對工作場所及工作人員之控制與管理；趨勢顯示，在合理控制下，輻射工作群體的總劑量是逐年下降的。

本計畫進行職業曝露劑量評估之目的，在於瞭解各輻射相關職業造成劑量之比較，並作為國民輻射劑量評估之依據。依據「游離輻射防護法」第 2 條第 9 款之定義，「職業曝露」係指從事輻射作業所受之曝露；另依據「游離輻射防護法」第 15 條第 1 項之規定：「為確保輻射工作人員所受職業曝露不超過劑量限度並合理抑低，雇主應對輻射工作人員實施個別劑量監測。」而依據國際放射防護委員會(ICRP)第 60 號報告對職業曝露之詮釋，在現行的輻射防護體系下，「只有在工作中所接受的曝露，可以被合理地認定係有營運管理責任時，才視為職業曝露」。

為能掌控國內輻射工作人員與劑量資料，達到輻射防護安全管制之目標，行政院原子能委員會依「游離輻射防護法」第 15 條第 5 項之授權，建立「全國輻射工作人員劑量資料庫」，進行我國輻射工作人員與劑量等資料之彙整與統計分析，並出版「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」並公開予各界知悉。該資料庫包含全國輻射工作人員之熱發光劑量計(TLD)及光刺激發光劑量計(OSLD)評定之歷年體外劑量，劑量值已包含使用中子人員劑量計之劑量資料。

我國在職業曝露劑量之統計分類，早期的工作類別是分為研究用、醫學應用、工業應用、核能電廠及天然射源等五大類；自 89 年以後，則改依聯合國原子輻射效應科學委員會 (UNSCEAR)最新之輻射工作類別進行分類統計，包括核燃料循環、醫學應用、工業應用、天然射源與其他等五大項進行工作類別分類，早年的研究用類與非醫學應用類依目前分類則併入工業類與其他類做統計。聯合國原子輻射效應科學委員會 (UNSCEAR)之核燃料循環、醫學應用、工業應用、天然射源與其他等五大項工作類別下，另

有細部工作類別；依據聯合國的分類，我國目前存在的行業包括有：核燃料循環類之反應器運轉、核燃料循環研究類(核廢料管理)等 2 類；醫學應用類之放射診斷、放射牙科、核子醫學、放射治療、所有其他應用等 5 類；工業應用類之工業照射、工業放射照相、發光應用、放射性同位素製造、測井、加速器運轉、所有其他工業應用等 7 類；天然射源類之商用航空、採煤業、其他採礦業、石油與天然氣工業、礦物與礦石處理等 5 類；以及其他類之教育機構、獸醫、其他及嚴重效應之意外等 4 類，共計 23 項。

依歷年申報資料來看，其中之商用飛航、採煤業、其他採礦業及嚴重效應之意外等 4 類，國內沒有這些工作類別之人員申報資料，另依最新的「109 年全國輻射從業人員劑量資料統計年報」，我國已無人從事礦物與礦石處理，這與我國的產業特性及變遷息息相關，也會影響整體職業曝露劑量變化趨勢。

1. 國際文獻回顧

(1) 美國

依據美國 2009 年出版的 NCRP 第 160 號報告[34]，其中的第七章是有關職業曝露的評估結果，其對職業曝露的統計共分成核電廠、工業應用、醫學應用、商用航空、教育研究及政府部門等六大類；而表 8 是該報告中所提供最新的輻射從業人員劑量資料統計資料。從該表得知，醫學應用類的人數為美國整體輻射從業人員的最大宗，佔了整體的 62%，其次是工業應用和教育研究，分別佔了 13%和 11%，政府部門、商用航空部門及核電廠分別為 7%、4%及 3%；在年集體有效劑量部分，美國職業曝露的總集體劑量是 1399 人-西弗，其中，醫學應用及商用航空所貢獻的劑量較高，醫學應用類所貢獻的年集體有效劑量為 549 人-西弗，佔了整體的 40%，其次是商用航空部門的 531 人-西弗，佔了整體的 39%，核電廠(110 人-西弗)及工業應用(109 人-西弗)個別貢獻了 8%，教育研究和政府部門的年集體有效劑量為 60 人-西弗及 18 人-西弗，分別佔職業曝露年集體劑量的 4%及 1%；在個

人年有效劑量部分，是採以年集體有效劑量去除以有紀錄有劑量之人數所得的數值，所得結果，以商用航空部門之 3.07 毫西弗為高，依次分別為核電廠(1.87 毫西弗)、工業應用(0.81 毫西弗)、醫學應用(0.75 毫西弗)、教育研究(0.72 毫西弗)及政府部門(0.59 毫西弗)，職業輻射劑量總計為每年 1.13 毫西弗，如表 8。美國在職業曝露劑量的調查上，除了商用航空部門外，所有的劑量值都是利用法規要求的人員劑量計監測所得，以去評定職業人員在工作過程中的體外劑量。

表8 美國2006年輻射工作人員職業曝露劑量(本研究整理)

輻射職業類別	人數	年集體有效劑量 (人-西弗)	個人年有效劑量 ^{*註1} (毫西弗)
核電廠	116,354	110	1.87
工業應用	505,368	109	0.81
醫學應用	2,519,693	549	0.75
商用航空	173,000	531	3.07 ^{*註2}
教育研究	437,007	60	0.72
政府部門 ^{*註3}	284,192	18	0.59
總計	4,035,614	1377	1.13

*備註：
 1、有劑量值人員之平均劑量
 2、利用評估所得，而非透過劑量徽章監測。
 3、包含美國能源部等政府單位及軍方。

商用航空部分的劑量值，是透過計算不同航程規劃及緯度之宇宙射線所得。航空機組人員的輻射曝露劑量來源主要是初級宇宙射線，初級宇宙射線包含銀河宇宙射線與太陽宇宙射線，由於太陽產生的太陽宇宙射線能量較低，在高空大氣層就被吸收掉，對居住在地表附近的民眾可予忽略，對高空航空作業來說，兩者都必須估算在內；其中，太陽宇宙射線計算，已經將 11~12 年太陽活動週期所造成的輻射變異考慮在內。商用航空曝露劑量總計估算了美國主要的 16 條國內線及 12 條國外線，計算 45 年間(1958 年到 2002 年)飛航記錄的有效劑量，並依飛行時間(air time)及航行時間(block time)估算出各別的有效劑量率；美國 16 條國內線的飛行平均有效劑量及航行平均有效劑量分別為 3.3 微西弗/小時及 2.93 微西弗/小時，12

條國外線的劑量模式評估的飛行平均有效劑量及航行平均有效劑量分別為 5.21 微西弗/小時及 4.96 微西弗/小時。最後，以空服員年工作時數 1200 小時、駕駛年工作時數 700 小時；飛行時數在國外航線佔 10%、國內航線佔 90%；以及 2006 年統計的空服員人數 97000 人、駕駛人數約 76000 人；計算所得之商用航空職業劑量為 3.07 毫西弗/年。

(2) 聯合國原子輻射影響科學委員會 (UNSCEAR)

聯合國原子輻射影響科學委員會 (UNSCEAR) 於 2000 年重新評估了世界整體的輻射曝露劑量，並出版了「Sources and Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 Report」報告[35]，職業曝露的專章在該份文件的附錄 E。該報告所評估的職業輻射曝露狀況，主要依輻射源的種類分成天然輻射源和人為輻射源兩大類來進行評估；前者主要是指採礦、航空等與天然背景輻射或是天然放射性物質(NORM)運用相關的產業，後者則是包括核燃料循環、輻射醫療用途、工業用途、軍事活動和研究等其他來源職業別。這個評估是根據 UNSCEAR 所做的職業輻射曝露調查結果以及相關文獻的數據進行的；一般而言，在各類職業曝露中，以商用的核燃料循環的曝露數據要比其他輻射用途的曝露數據更為完整。UNSCEAR 2000 報告，主要是利用 1990 年至 1994 年的職業曝露數據評估全球的職業曝露劑量，其分類如下表 9；聯合國原子輻射影響科學委員會(UNSCEAR)在 UNSCEAR 2000 報告後，雖然仍持續針對職業曝露做調查，但未再出版相關文件，僅在 2016 年更新職業曝露之年集體有效劑量(Average annual collective effective dose)及平均個人年有效劑量(Average annual effective dose)[36]，這裡的個人年有效劑量是根據實際劑量監測數據評估所得；2000 年報告的年集體有效劑量及個人年有效劑量分別為 14,400 人-西弗及 1.31 毫西弗，2016 年更新版的補充報告則更新了年集體有效劑量及個人年有效劑量為 14,000 人-西弗及 0.1 毫西弗。

Dunstana Melo 的「Overview of UNSCEAR re-evaluation of occupational exposure」文獻[37]，是以 UNSCEAR 2000 報告為基礎，利用 1995 年至 1996 年、2000 年至 2002 年兩段期間的職業曝露數據重新評估職業曝露劑量的變化。評估結果顯示，曝露於天然輻射源（超過自然背景的平均水平）導致的年集體有效劑量估計約為 37,260 人-西弗，約為 UNSCEAR 2000 報告估計值的 3 倍；全世界使用人工輻射源的工人的年集體有效劑量約為 4,730 人-西弗，約為 UNSCEAR 2000 報告中估計值的 2 倍。輻射的醫療用途約佔集體有效劑量的 75%；核燃料循環約佔人為輻射源總用量的 17%，工業用途，軍事活動和所有其他類別的工人所貢獻的總劑量約佔總劑量的 8%。整體來說，職業曝露的趨勢來說，曝露劑量是呈現下降狀況：所有職業種類的個人平均年有效劑量都隨著時間的推移而呈現減少的趨勢，因此，年集體有效劑量也會是逐年降低的。

表 9 聯合國原子輻射影響科學委員會輻射工作人員職業曝露劑量

輻射源類別	平均年集體劑量 (人-西弗)	個人平均年有效劑量 (毫西弗)
核燃料循環(Nuclear fuel cycle)	1400	1.75
醫用(Medical uses of radiation)	760	0.33
工業應用(Industrial uses of radiation)	360	0.51
軍事活動(Military activities)	100	0.24
其他輻射源使用(Miscellaneous)	40	0.11
天然射源類(Natural radiation)	11700	1.8
合計	14400 (14000*)	1.31 (0.1*)

*2016 年更新值

2. 職業曝露劑量

依據聯合國原子輻射影響科學委員會（UNSCEAR）於 2017 出版的「聯合國教育科學委員會全球職業曝露調查用戶手冊(A USER MANUAL:UNSCEAR Global Survey of Radiation Occupational Exposure)」[38]，目前之全

世界職業曝露分類如表 10 所示。從表 10 也呈現全世界的職業輻射曝露分類現況與台灣的差異。行政院原子能委員會為輻射安全管制的主管機關，為有效管理職業輻射曝露，在職業曝露劑量之統計分類，已自 89 年起改依聯合國原子輻射效應科學委員會 (UNSCEAR) 最新之輻射工作類別進行分類統計。本中心 87 年出版的國民輻射劑量評估報告[2]，在職業曝露評估的部分係針對民國 79-84 年期間台灣各項職業曝露劑量進行評估，當時的職業曝露劑量尚未依據 UNSCEAR 的統計分類方式，爰該份報告評估的職業曝露類別僅核反應器運轉、放射性照相、發光應用、放射性同位素產銷、加速器運轉、教育研究、醫用放射診斷、放射牙科、核子醫學、放射治療、地下採礦及航空員等，表 10 之 87 年欄位即為該報告與全世界的對照。本中心 87 年出版的國民輻射劑量評估報告在職業輻射曝露的結果，79-84 年間之輻射工作人員平均人數為 22215 人，總年集體有效劑量 19 人-西弗，工作人員之平均年劑量為 0.85 毫西弗。

我國自 89 年起已改依聯合國原子輻射效應科學委員會 (UNSCEAR) 最新之輻射工作類別，表 10 之 109 年欄位即為我國目前國內職業輻射現況與全世界的對照，該欄位係依據行政院原子能委員會的「109 年全國輻射從業人員劑量資料統計年報」，因部分職業細項在台灣並無從業人員，故無；另，我國在職業曝露上因管理上的需要與 UNSCEAR 有部分差異，例如：獸醫這個類別在 UNSCEAR 是被歸類在醫用輻射，但在台灣則是被歸類在其他，本報告的評估結果會以台灣的分類方式為主。

表 10 台灣職業曝露分類與全世界之比較

射源類	全世界		台灣	
	職業細項分類	87年版 ^{*1}	109年版 ^{*1}	
核燃料循環 (Nuclear fuel cycle)	鈾礦開採(Uranium Mining)	×	×	
	鈾礦煉製(Uranium Milling)	×	×	
	鈾礦濃縮(Uranium conversion)	×	×	
	鈾礦濃縮(Uranium Enrichment)	×	×	
	核燃料製造(Fuel fabrication)	×	×	
	核反應器運轉(Reactor operation)	○	○	
	除役(Decommissioning)	×	×	

	燃料再處理(Fuel Reprocessing)	×	×
	核燃料循環研究 (Research in nuclear fuel cycle)	×	○
	核廢料管理(Waste management)	×	○
	保安和保全檢查(Safety and safeguards inspections)	×	×
	核燃料循環中的運輸(Transport within nuclear fuel cycle)	×	×
	其他(All other activities in nuclear fuel cycle)	×	×
醫用(Medical uses of radiation)	放射診斷(Diagnostic radiology)	○	○
	放射牙科(Dental practice)	○	○
	核子醫學(Nuclear Medicine)	○	○
	放射治療(Radiotherapy)	○	○
	獸醫(Veterinary medicine)*2	×	○
	所有其他醫療應用(All other medical uses)	×	○
工業應用(Industrial uses of radiation)	工業照射(Industrial Irradiation)	○	○
	工業放射照相(Industrial Radiography)	○	○
	發光應用(Luminizing)	○	○
	放射性同位素產銷(Radioisotope production)	○	○
	測井(Well logging)	×	○
	加速器運轉(Accelerator operation)	×	○
	工業儀表(Industrial gauges)	×	○
	所有其他工業應用(Other)	○	○
軍事活動(Military activities)	核武器生產(Weapon fabrication)	×	×
	核子動力潛艇裝置(Nuclear ships and support)	×	×
	其他軍事活動(All other Military activities)	×	×
	其他特定職業群體(Other specific occupational group)	×	×
其他(Miscellaneous)	其他類之教育機構(Educational establishments)	○	○
	用過射源的廢棄(Waste spent sources)	×	×
	輻射源的商業運輸(Commercial Transport of radiation sources)	×	×
天然射源類(Natural radiation)	民用飛行(Civilian aviation)	○	○
	採煤業(Coal mining)	×	×
	其他採礦業(Mineral mining other than coal and uranium)	×	×
	石油與天然氣工業(Oil and natural gas industry)	○	○
	礦物與礦石處理(Processing of mineral and ores)	×	×
	採礦以外工作場所的氡氣曝露(Radon in workplaces other than mineral extraction industries)	×	×

*說明:

1. 指國民輻射量評估報告之版本。87年版指87年出版之版本，其職業曝露評估結果係以79-84年間統計資料為基礎；109年版係指年出版之版本，其職業曝露評估結果係以104-108年間統計資料為基礎。
2. 獸醫這個輻射職業類別在UNSCEAR是被歸類在醫用輻射；台灣在87年並未評估該類別，目前雖已納入評估但因管理需求被歸類在其他。

本報告之職業曝露評估結果，係針對我國 104 年到 108 年為期五年間的職業輻射曝露劑量數據，資料來源係行政院原子能委員會 105 年至 109 年出版的「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」。我國目前存在輻射從業人口的行業包括有：核燃料循環類之反應器運轉、核燃料循環研究類(核廢料管理)等 2 類；醫學應用類之放射診斷、放射牙科、核子醫學、放射治療、所有其他應用等 5 類；工業應用類之工業照射、工業放射照相、發光應用、放射性同位素製造、測井、加速器運轉、所有其他工業應用等 7 類；天然射源類之民用飛行、採煤業、其他採礦業、石油與天然氣工業、礦物與礦石處理等 5 類；以及其他類之教育機構、獸醫、其他及嚴重效應之意外等 4 類，共計 23 項。各個職業細項的從業總人數、年集體有效劑量及個人年有效劑量詳如表 11，最大、最小值及平均值都是以年為單位進行統計分析。以下資料依各主要類別說明如下：

(1) 核燃料循環

台灣共計三座核能電廠，總計 6 部機組，包含 4 部沸水式機組及 2 部壓水式機組；因應國家能源轉型政策，核一、二、三廠自 108 年起已陸續除役，依據 104 年至 108 年之「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」，我國目前核燃料循環類的工作人員包含反應器運轉及核燃料循環研究等兩類，反應器運轉之從業人口持續下降，核燃料循環研究包含核廢料管理，人數反而是逐年增加的。

前版(87 年版)之國民輻射劑量評估，本項屬核電廠類，但並未再針對反應器運轉及核燃料循環研究做細分；79-84 年從事核電廠工作人員的總平均人數共計 7919 人，平均年集體有效劑量為 15.5 人-西弗，個人平均年有效劑量為 1.95 毫西弗；當時這個職業類別造成的集體有效劑量，貢獻了台灣人造輻射職業曝露劑量的 82.5%，是台灣職業曝露主要的來源。核燃料循環類 104-108 年職業輻射曝露統計如表 12 所示。在 104-108 年職業輻射曝露結果，從事核燃料循環類的總平均人數僅約 5,740 人，從業人口有

明顯的減少，但平均年集體有效劑量為 4.83 人-西弗，個人平均年有效劑量為 0.84 毫西弗，仍是台灣職業曝露主要的來源。

表 12 核燃料循環類 104-108 年職業輻射曝露統計表

年分		104	105	106	107	108
人數 (人)	反應器運轉	6,257	5,940	5,389	5,225	5,010
	核燃料循環研究	147	159	178	173	221
年集體有效劑量 (人-毫西弗)	反應器運轉	6700.16	5585.23	4077.75	4081.55	3670.88
	核燃料循環研究	0.25	0.7	0.19	0.44	31.9
個人年有效劑量* (毫西弗)	反應器運轉	1.82	1.75	1.62	1.59	1.62
	核燃料循環研究	0.25	0.23	0.1	0.22	0.8

*個人年有效劑量係指經監測有劑量值人員之平均劑量。

(2) 醫學應用

依據 104 年至 108 年之「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」，我國目前醫學應用職業曝露包含放射診斷、放射牙科、核子醫學、放射治療及所有其他醫學相關應用等五類。從業人數的部分，放射診斷為大宗，超過整體的七成(約 72%)，其次是放射治療(8.48%)和核子醫學(5.86%)，放射牙科及其他醫學相關應用則分別占 3.81%及 9.78%。

前版(87 年版)之國民輻射劑量評估，本項僅區分為診斷、治療、核子醫學等三類；79-84 年從事醫學應用工作人員的總平均人數共計 6,188 人，平均年集體有效劑量在 0.47-1.51 人-西弗，個人平均年有效劑量約為 0.14 毫西弗；隨著醫學輻射應用的發展，過去 20 年在本項目的從業人口有了很大的變化，也是台灣職業曝露的重要來源。

我國在醫學應用類 104-108 年職業輻射曝露統計如表 13 所示。在 104-108 年職業輻射曝露結果，從事醫學應用類的總平均人數約 18,706 人，從業人口較上次調查增加近三倍，平均年集體有效劑量為 1.12 人-西弗，個人平均年有效劑量為 0.06 毫西弗。在個人平均年有效劑量部分，核子醫學是輻射曝露劑量較高的類別，另放射牙科也逐年升高的趨勢；因此，在

年集體有效劑量部分，核子醫學貢獻的總劑量甚至較從業人數多的放射診斷為高，占了整體的五成以上。

表 13 醫學應用類 104-108 年職業輻射曝露統計表

年分		104	105	106	107	108
人數 (人)	放射診斷	12,695	13,188	13,521	13,967	14,031
	放射牙科	682	711	716	709	745
	核子醫學	1,062	1,076	1,111	1,123	1,113
	放射治療	1,509	1,532	1,582	1,613	1,698
	所有其他類別	1,515	1,680	1,825	2,077	2,047
年集體有效劑量 (人-毫西弗)	放射診斷	364.84	455.91	388.61	436.64	510.89
	放射牙科	9.11	7.23	6.83	13	15.47
	核子醫學	475.94	522.74	604.77	641.8	573.9
	放射治療	30.91	29.08	62.19	42.87	31.67
	所有其他類別	39.95	62.57	101.67	80.35	54.44
個人年有效劑量* (毫西弗)	放射診斷	0.44	0.71	0.57	0.55	0.56
	放射牙科	0.15	0.66	0.38	0.81	1.11
	核子醫學	1.06	1.15	1.16	1.14	1.14
	放射治療	0.35	0.79	0.93	0.6	0.54
	所有其他類別	0.51	0.67	0.73	0.8	0.63

*個人年有效劑量係指經監測有劑量值人員之平均劑量。

(3) 工業應用

依據 104 年至 108 年之「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」，我國目前工業應用之職業曝露包含工業照射、工業放射照相、發光應用、放射性同位素製造、測井、加速器運轉及其他工業應用等 7 類。前版(87 年版)之國民輻射劑量評估，工業應用部分係分成放射照相、其他、消費性產品等 3 項來評估。79-84 年從事工業應用的總平均人數共計 4844 人，放射照相、其他、消費性產品三者的平均年集體有效劑量為 0.62-2.22 人-西弗，年集體有效劑量平均值為 1.5 人-西弗，個人平均年有效劑量為 0.31 毫西弗；這份報告在工業應用的分類方式和目前的分類差異頗大，結果也會有很大差異。

我國在工業應用類 104-108 年職業輻射曝露統計如表 14 所示，依據本

報告整理之 104-108 年職業輻射曝露結果，國內從事工業應用類的總平均人數約 23,651 人，是所有類別中從業人口最多的，平均年集體有效劑量為 0.503 人-西弗，個人平均年有效劑量為 0.02 毫西弗。在這 7 類的工業應用中，以工業放射照相之從業人口最多，約占 1 成，但無法歸類的其他工業應用還是最大宗，約占了 88%以上；年集體有效劑量主要也是由這兩個類別所貢獻的，工業放射照相及其他工業應用的平均年集體有效劑量分別為 0.299 人-西弗及 0.202 人-西弗，分別貢獻了工業應用的 59.53%及 40.17%。

表 14 工業應用類 104-108 年職業輻射曝露統計表

年分		104	105	106	107	108
人數(人)	工業照射	128	144	168	174	174
	工業放射照相	918	848	901	1,280	1,293
	發光應用	6	7	6	8	9
	放射性同位素製造	2	1	1	2	2
	測井	40	48	43	44	38
	加速器運轉	12	9	11	12	12
	所有其他工業應用	20,903	20,906	20,751	20,965	20,754
年集體有效劑量 (人-毫西弗)	工業照射	0.9	0.12	1.09	4.28	0.46
	工業放射照相	332.69	242.07	246.49	282.93	392.42
	發光應用	0	0	0	0	0
	放射性同位素製造	0	0	0	0	0
	測井	0.06	0	0.12	0.22	0.24
	加速器運轉	0	0	0	0	0
	所有其他工業應用	388.9	246.16	153.95	90.44	130.51
個人年有效劑量* (毫西弗)	工業照射	0.9	0.12	0.12	1.07	0.15
	工業放射照相	1.53	1.56	1.3	1.41	1.64
	發光應用	0	0	0	0	0
	放射性同位素製造	0	0	0	0	0
	測井	0.06	0	0.1	0.07	0.08
	加速器運轉	0	0	0	0	0
	所有其他工業應用	0.51	0.56	0.49	0.26	0

*個人年有效劑量係指經監測有劑量值人員之平均劑量。

(4) 天然射源

依據 104 年至 108 年之「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」，歸類在天然射源類之職業曝露包含民用飛行、採煤業、其他採礦業、石油與天然氣工業及礦物與礦石處理等 5 類，其中的採煤業、其他採礦業因時代變遷已漸漸發展成無從業人口，故該兩類在近兩年的劑量資料中已無數據。79-84 年對天然射源類之職業曝露評估僅針對地下採礦及航空，從事天然射源類的總平均人數共計 2600 人，平均年集體有效劑量為 5.12 人-西弗，年個人平均年有效劑量為 1.95 毫西弗；因為分類方式差異和產業的變遷，這份報告在天然射源類曝露評估的結果也會有所差異。

天然射源類 104-108 年職業輻射曝露統計如表 4.2.15 所示。依據本報告整理之 104-108 年職業輻射曝露結果，國內從事天然射源類的總平均人數目前僅約 31 人，平均年集體有效劑量為 1.4×10^{-5} 人-西弗，個人平均年有效劑量為 4.49×10^{-4} 毫西弗(因為只有 1 人有監測到劑量)。

表 15 天然射源類 104-108 年職業輻射曝露統計表

年分		104	105	106	107	108
人數 (人)	商用飛航	0	0	0	0	0
	石油與天然氣工業	33	32	29	25	31
	礦物與礦石處理	4	0	2	0	0
年集體有效劑量 (人-毫西弗)	民用飛行	0	0	0	0	0
	石油與天然氣工業	0	0	0	0	0.07
	礦物與礦石處理	0	0	0	0	0
個人年有效劑量* (毫西弗)	民用飛行	0	0	0	0	0
	石油與天然氣工業	0	0	0	0	0.07
	礦物與礦石處理	0	0	0	0	0

*個人年有效劑量係指經監測有劑量值人員之平均劑量。

其中商用飛航類的職業部分，受限於現有法規並未有實際監測數據，以至該類別之職業曝露人數及劑量均無法反映實際現況，會參考國外做法另行研議可行的評估方式。

(5) 其他

依據 104 年至 108 年之「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」，其他類的職業相關曝露包含教育機構、獸醫、其他以及嚴重效應之意外等 4 類，與 UNSCEAR 的職業分類略有不同。在 UNSCEAR 的其他類包含其他類之教育機構、用過射源的廢棄、輻射源的商業運輸；另外，獸醫的部分則是被 UNSCEAR 歸類在醫學應用的職業分類中。

前版(87 年版)之國民輻射劑量評估，並無其他類別，但有將研究應用獨立為一類別作評估，研究應用類的職業曝露占人造射源造成年集體有效劑量的 7.5%。我國在 79-84 年在研究應用的輻射工作人員包括教育、政府研究單位及加速器等類別，總平均人數共計 3,266 人，年集體有效劑量在 0.33-2.09 人-西弗之間，平均年集體有效劑量為 1.16 人-西弗，年個人平均年有效劑量為 0.36 毫西弗；其中，教育類的人數約 1,146 人，年平均年集體有效劑量為 0.13 人-西弗，年個人平均年有效劑量為 0.11 毫西弗；其他(政府研究單位及加速器等研究應用)人數約在 1,607-2,414 人之間，平均人數約 2,120 人，平均年集體有效劑量為 1.03 人-西弗，個人平均年有效劑量為 0.48 毫西弗。

表 16 其他類 104-108 年職業輻射曝露統計表

年分		104	105	106	107	108
人數 (人)	教育機構	2,286	2,120	2,056	2,066	1,953
	獸醫	78	92	109	109	129
	其他	4,338	4,360	4,331	3,976	4,075
年集體有效劑量 (人-毫西弗)	教育機構	30.03	18.18	28.87	21.71	29.31
	獸醫	0.77	0.79	2.45	2.93	7.33
	其他	215.18	155.87	128.63	76.17	67.49
個人年有效劑量* (毫西弗)	教育機構	0.19	0.13	0.13	0.12	0.12
	獸醫	0.15	0.13	0.49	0.4	0.92
	其他	0.17	0.2	0.29	0.26	0.16

*個人年有效劑量係指經監測有劑量值人員之平均劑量。

其他類 104-108 年職業輻射曝露統計如表 16 所示。依據本報告整理之

104-108 年職業輻射曝露結果，國內從事其他類的總平均人數目前約 6,416 人，教育機構、獸醫及其他之總平均人數分別為 2,096、103、4,216 人，嚴重效應之意外之人數為 0 人；與 20 年前相比，從事輻射相關教育研究的從業人員增加了 2 倍，獸醫的從業人數因為之前並未統計，故無法比較。

教育機構從業人員的年平均年集體有效劑量為 0.026 人-西弗，年個人平均年有效劑量為 0.012 毫西弗；獸醫之平均年集體有效劑量為 0.003 人-西弗，年個人平均年有效劑量為 0.028 毫西弗；其他之平均年集體有效劑量為 0.129 人-西弗，年個人平均年有效劑量為 0.031 毫西弗。整體而言，其他類的平均年集體有效劑量為 0.157 人-西弗，個人平均年有效劑量為 0.024 毫西弗。

3. 國民輻射劑量之評估

目前 UNSCEAR 由職業曝露劑量評估全世界人口劑量，僅由人造輻射源各類別工作人員實際監測結果的年集體有效劑量來評估全世界的人口劑量，根據其 2000 年提出的更新報告，職業曝露的全世界人口劑量為 0.81 微西弗/人-年，其評估結果信賴度高。本中心前版(87 年版)之國民輻射劑量評估，台灣職業曝露的國民輻射劑量為 1.14 微西弗/人-年。該劑量已包含人造輻射及天然輻射之職業曝露，但天然輻射部分非以劑量監測結果計算而得，而是採用國際認可的方式估算而得。

依據 104 年至 108 年之「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」，及人口統計數據，將表 12、13、14 及表 16 人造輻射年集體有效劑量相加，整理得到之國民輻射劑量評估結果如下表 17。我國的職業輻射曝露，雖然從業人數持續增加，但因年集體有效劑量呈現長期下降趨勢，台灣國民輻射年劑量近五年約為 0.234~0.366 微西弗/年之間，亦呈現逐年下降趨勢。

表 17 104-108 年國民輻射劑量評估結果

年分	104	105	106	107	108
男(人)	11,712,047	11,719,270	11,719,580	11,712,913	11,705,186
女(人)	11,780,027	11,820,546	11,851,647	11,876,019	11,897,935

總人口數(人)	23,492,074	23,539,816	23,571,227	23,588,932	23,603,121
年集體劑量(mSv)	8589.33	<u>7326.65</u>	<u>5803.61</u>	5775.33	5516.98
國民輻射劑量(μ Sv/yr)	0.366	0.312	0.246	0.245	0.234

本報告為職業曝露國民輻射劑量評估的探討，目前僅就 104 年至 108 年之「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」的數據進行評估，未來會納入其他年份的資料作進一步的討論。民用飛行類的職業部分，受限於現有的法規並未有實際監測數據，以至該類別之職業曝露人數及劑量均無法反映實際現況，會參考國外做法另行研議可行的評估方式，於後續報告中納入。

表 11 台灣地區職業輻射曝露劑量統計表

類別	人數 (人)		年集體有效劑量 (人-毫西弗)		個人年有效劑量 (整體平均) (毫西弗)		個人年有效劑量 (有劑量工人) (毫西弗)	
	分布範圍	平均值	分布範圍	平均值	分布範圍	平均值	分布範圍	平均值
反應器運轉	5,010-6,257	5,564	3,670.88-6,700.16	4,823.11	0.73-1.07	0.87	1.59-1.82	1.68
核燃料循環研究	147-221	176	0.19-31.9	6.70	0-0.14	0.04	0.1-0.8	0.32
放射診斷	12,695-14,031	13,480	364.84-510.89	431.38	0.03-0.03	0.03	0.44-0.71	0.57
放射牙科	682-745	713	6.83-15.47	10.33	0.01-0.02	0.01	0.15-1.11	0.62
核子醫學	1,062-1,123	1,097	475.94-641.8	563.83	0.45-0.57	0.51	1.06-1.16	1.13
放射治療	1,509-1,698	1,587	29.08-62.19	39.34	0.02-0.04	0.02	0.35-0.93	0.64
所有其他類別	1,515-2,077	1,829	39.95-101.67	67.80	0.03-0.06	0.04	0.51-0.8	0.67
工業照射	128-174	158	0.12-4.28	1.37	0-0.02	0.01	0.12-1.07	0.47
工業放射	848-1,293	1,048	242.07-392.42	299.32	0.22-0.36	0.29	1.3-1.64	1.49
發光應用	6-9	7	0	0	0	0	0	0
放射性同位素製造	1-2	2	0	0	0	0	0	0
測井	38-48	43	0-0.24	0.13	0-0.01	3×10^{-3}	0-0.1	0.06
加速器運轉	9-12	11	0	0	0	0	0	0
所有其他工業應用	20,751-20,965	20,856	90.44-388.9	201.99	0-0.02	0.01	0.26-0.56	0.43
民用飛行	0	0	0	0	0	0	0	0
石油與天然氣工業	25-33	30	0-0.07	0.01	0-0.002	4×10^{-5}	0-0.07	0.01
礦物與礦石處理	0-4	1	0	0	0	0	0	0
教育機構	1,953-2,286	2,096	18.18-30.03	25.62	0.01-0.02	0.012	0.12-0.19	0.14
獸醫	78-129	103	0.77-7.33	2.85	0.01-0.06	0.028	0.13-0.92	0.42
其他	3,976-4,360	4,216	67.49-215.18	128.67	0.02-0.05	0.031	0.16-0.29	0.22

統計資料:民國 104-108 年

五、 醫療輻射劑量評估作業

自 87 年原子能委員會公佈台灣初估各種輻射源所造成的集體有效劑量，後續有學者針對部分醫療輻射類別進行集體有效劑量的研究，但受限於醫療院所難以進行全面調查的特殊限制，以致目前缺少整體醫療輻射類別的劑量調查結果，因此需要更新台灣現階段隨著新進醫療設施和技術所帶來的醫療輻射曝露趨勢。

本研究計畫透過下列程序來完成國民醫療輻射劑量調查研究：使用全民健康保險研究資料庫來調查台灣的醫療曝露人口；記錄抽樣醫院的檢查項目輻射參數與測量輻射輸出；針對 8 種醫療輻射類別(電腦斷層、核子醫學、心臟類介入性透視攝影、非心臟類介入透視攝影、傳統透視攝影、一般傳統 X 光、乳房攝影和牙科攝影)及其相應的 51 個檢查項目，依各檢查項目的醫療曝露模式分別開發劑量評估模型；評估每個檢查項目的有效劑量，並配合調查醫療曝露人口資訊，以得到集體有效劑量；最後搭配台灣總人口數，推算 8 種醫療輻射類別的平均國民醫療輻射劑量。

依據整體規劃，去年(108 年)已深入了解健保資料庫與健保代碼，可以取得全台灣的健保醫療人數，並完成 16 個類次的醫院檢查序列調查之取樣，再根據取樣資料與所蒐集到的臨床資訊，4 種類別下完成 25 個檢查項目合計 68 個劑量評估模型，包含心臟類介入性透視攝影 6 個檢查項目合計 7 個劑量評估模型、非心臟類介入性透視攝影 6 個檢查項目合計 13 個劑量評估模型、傳統透視攝影 7 個檢查項目合計 21 個劑量評估模型、牙科攝影 6 個檢查項目合計 27 個劑量評估模型。

今年(109 年)已執行完成的工作項目概述如下：

(1) 健保資料庫的人數趨勢評估：

為了解各年度與醫療輻射相關的檢查類別頻次增長的情況，本報告統計自 89 年至 106 年，共 18 年的年度趨勢分析。但 8 種類別因健保資料庫起迄年份而有所差異，其中表 18 為 8 種類別平均年增率發現皆為正成長，

成長年增率範圍從 0.01%~8.2%，以非心臟類介入性透視攝影成長 8.2% 最為明顯。

表 18 8 種類別平均年增率

類別	健保資料庫 起迄年份	平均年增率 (%)
1. 電腦斷層	89 年~106 年	6.9
2. 核子醫學	93 年~106 年	7.9
3. 心臟類介入性透視攝影	93 年~106 年	3.8
4. 非心臟類介入性透視攝影	89 年~106 年	8.2
5. 傳統透視攝影	89 年~106 年	0.01
6. 一般傳統 X 光	89 年~106 年	4.2
7. 乳房攝影	89 年~106 年	3.4
8. 牙科攝影	89 年~106 年	3.3

(2) 針對 48 個類次分別進行醫院檢查序列調查之取樣：

本計畫目標為 3 年內完成 12 家醫院，共計 96 個類次(8 種類別*12 家醫院)的取樣醫院檢查序列調查，今年度已完成 48 個類次(8 種類別*6 家醫院)的調查結果，自 108 年開始至 109 年取樣所累計的病例數已達 64,444 筆臨床資料。表 19 列出分布狀況與取樣累計病例數。此外，今年度嘗試聯繫多於規劃家數 6 家醫療院所，原因是有些醫療院所並非 8 種類別的科別皆具備，且有些科別無意願接受調查，因此改以完成 48 個類次作為目標，目前已完成 18 家醫療院所的聯繫，包含有 9 家醫院完成取樣，2 家醫院可配合取樣，4 家醫院正在進行院內行政取樣程序，3 家正在聯繫拜訪，將持續徵詢其他醫療院所加入取樣合作醫院之意願。

表 19 今年度完成 8 種類別 48 個類次的分布狀況與取樣累積病例數

類別	108 年 醫院家數	109 年 醫院家數	取樣一個月 累計病例數
1. 電腦斷層	2	8	10,732
2. 核子醫學*	2	4	6,351
3. 心臟類介入性透視攝影	2	3	219
4. 非心臟類介入性透視攝影	2	6	823
5. 傳統透視攝影	2	6	802
6. 一般傳統 X 光	2	6	9,744
7. 乳房攝影	2	7	1,962
8. 牙科攝影	2	8	33,811
小計	16	48	64,444

*核子醫學：取樣為三個月的累計病例數

(3) 今年度已完成電腦斷層、核子醫學、一般傳統 X 光、乳房攝影 4 種類別劑量評估模型之建置。劑量評估模型建構流程(如圖 16)，前置流程包含：蒐集、閱讀、整理國際相關文獻資料，上述 4 種類別本研究使用劑量模擬軟體包含 PCXMC(如圖 17)、CT-expo(如圖 18)，依據檢查項目，細分出各檢查序列，建立對應的劑量評估模型，再計算各檢查序列的有效劑量。其中臨床受檢者於相同檢查下，器官所接受的劑量可能因受檢者的性別與體重而有所不同，為能模擬出與臨床受檢者相近的情況，故將性別與體重列為重要參數之一，機器設定參數亦參考與臨床情況相近的條件，使劑量模擬得到的數據與臨床相近，才具參考價值。

1. 電腦斷層：依據這 11 個檢查項目：頭部、頸部、胸部、上腹部、腹部(含骨盆腔)、胸部與上腹部、胸部與腹部(含骨盆腔)、骨盆、下肢、脊椎、心血管，細分出 17 個檢查序列，建立對應 17 個劑量評估模型，再利用 CT-expo 劑量模擬軟體，以計算 17 個檢查序列的有效劑量。
2. 核子醫學：依據這 6 個檢查項目：全身骨骼掃描、壓力與重分佈心肌斷層灌注掃描、正子造影-全身、心室搏出分率及心室壁活動測定、全身

炎症掃描及其他項等，細分出 12 個檢查序列，建立對應 12 個劑量評估模型，再利用 CT-expo 劑量模擬軟體與 ICRP 103 號報告的劑量轉換因子，以計算 12 個檢查序列的有效劑量。

3. 一般傳統 X 光：依據這 7 個檢查項目：頭頸部、胸肩部、腹部(含骨盆腔)、腎臟-輸尿管-膀胱、脊椎、四肢及其他項等，細分出 35 個檢查序列，建立對應 35 個劑量評估模型，再利用 PCXMC 劑量模擬軟體，以計算 35 個檢查序列的有效劑量。
 4. 乳房攝影：依據這 2 個檢查項目：一般乳房攝影、穿刺前攝影，細分出 8 個檢查序列，建立對應 8 個劑量評估模型，再利用 ICRP 60 號報告與 ICRP103 號報告的器官組織加權因子，以計算 8 個檢查序列的有效劑量。
- 4 種類別下完成 26 個檢查項目合計 72 個劑量評估模型，包含電腦斷層完成 11 個檢查項目合計 17 個劑量評估模型、核子醫學完成 6 個檢查項目合計 12 個劑量評估模型、一般傳統 X 光完成 7 個檢查項目合計 35 個劑量評估模型、乳房攝影完成 2 個檢查項目合計 8 個劑量評估模型。

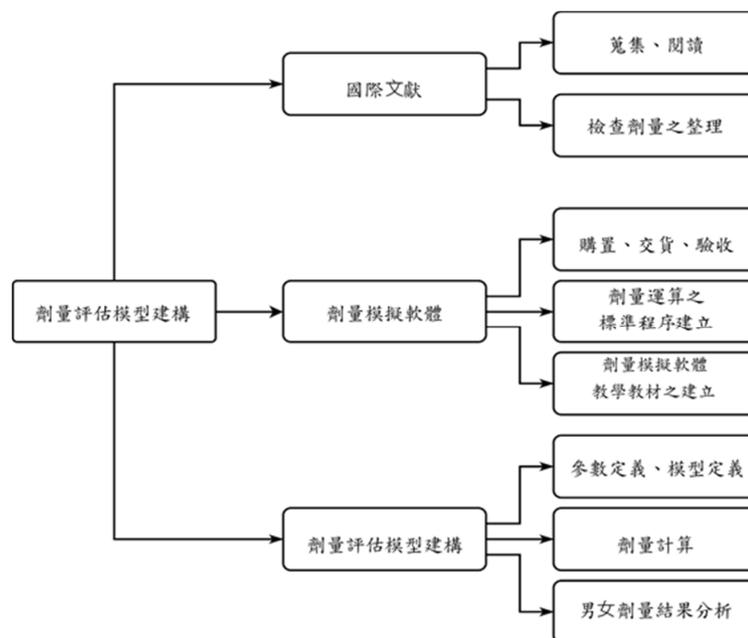


圖 17 劑量評估模型建構流程

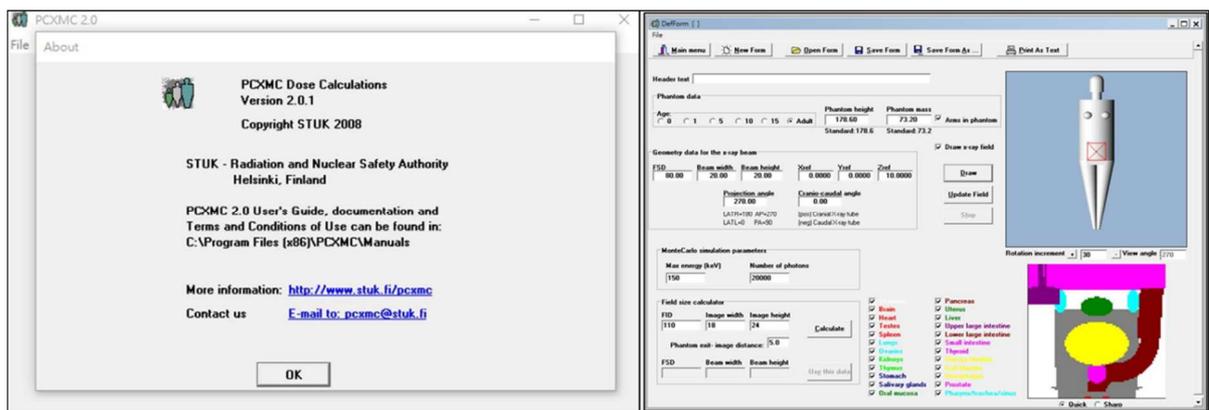


圖 18 劑量評估軟體-PCXMC 軟體版本及操作介面

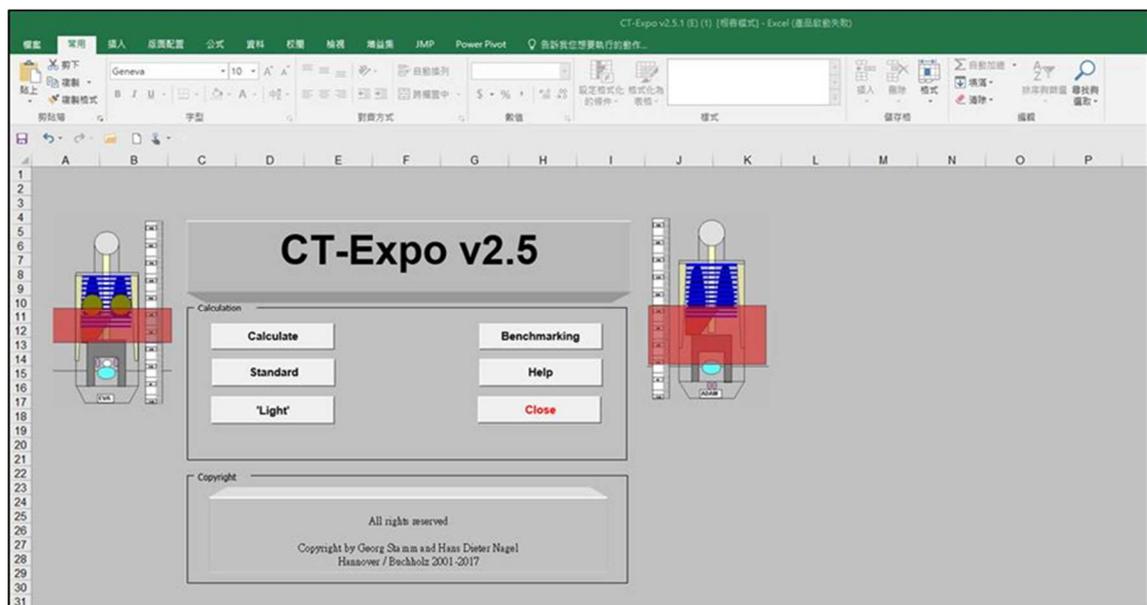


圖 19 劑量評估軟體-CT-expo 軟體版本及操作介面

(4) 推算集體有效劑量：

集體有效劑量的計算包含：依據同醫院同類別同檢查項目不同檢查序列分別計算之並得到其有效劑量的分佈，因劑量分佈並非呈現常態分佈，故將選用各檢查序列之有效劑量中位數 (d_{jk}) 以執行後續數據加權和集體有效劑量計算，步驟說明如下。

依據同醫院同類別同檢查項目不同檢查序列的作業頻次 (f_{ijk}) 以加

權各序列之有效劑量中位數，並加總後得到對應之同醫院同類別同檢查項目的有效劑量值 (d_{ij})，則表為下式：

$$d_{ij} = \frac{\sum_k f_{ijk} d_{jk}}{\sum_k f_{ijk}} \quad \text{公式(1)}$$

再依據取樣不同醫院同類別同檢查項目的頻次比例，以加權得到不同醫院同類別同檢查項目的有效劑量 (D_j)，則表為：

$$D_j = \frac{\sum_i f_{ij} d_{ij}}{\sum_i f_{ij}} \quad \text{公式(2)}$$

將不同醫院同類別同檢查項目的有效劑量分別乘上 106 年度健保資料庫的檢查項目年頻次 (F_j)，以獲得不同醫院同類別同檢查項目的集體有效劑量 (S_j)，則：

$$S_j = F_j D_j \quad \text{公式(3)}$$

再將不同醫院同類別不同檢查項目的集體有效劑量進行加總，以獲得不同醫院同類別之集體有效劑量，因各類別檢查項目的有效劑量的計算為基於 NCRP184 號報告之劑量試算後各序列之試算劑量總和佔 106 年總集體有效劑量 N% 的 n 筆檢查序列，因此集體有效劑量需除以 N% 以修正之，最後再除以 106 年之台灣總人口數 (P) 以得之國民平均年劑量 (\bar{D})，則：

$$\bar{D} = \frac{\sum_j S_j}{\frac{N\%}{P}} \quad \text{公式(4)}$$

各項電腦斷層檢查造成台灣國民輻射平均年劑量估算統計參數列於表 20，評估結果顯示，國民輻射劑量約為每人每年 0.76 毫西弗。

乳房攝影檢查造成台灣國民輻射平均年劑量估算統計參數列於表 21，評估結果顯示，台灣國民平均年劑量估算約為每人每年 0.0041 mSv。

表 20 電腦斷層檢查項目(j)、序列之劑量評估模型(k)、檢查項目有效劑量(D_j)、健保資料庫檢查項目年頻次(F_j')、醫療輻射檢查項目年頻次(F_j)、檢查項目集體有效劑量(S_j)、集體有效劑量總和($\sum_j S_j$)、電腦斷層集體有效劑量總和修正($N=97.3\%$)與評估台灣國民平均年劑量(\overline{D})

項次	檢查項目(j)	檢查序列之劑量評估模型(k)	檢查項目有效劑量(mSv)(D_j)	健保資料庫檢查項目年頻次(人)(F_j')	醫療輻射檢查項目年頻次 ^{*(1)} (人)(F_j)	檢查項目集體有效劑量(人·mSv)(S_j)
1	頭部	Brain、Sinus、Facial Bones、Temporal Bones	1.4	708,885	801,040	1,121,456
2	頸部	Neck	2.6	121,198	136,954	356,080
3	胸部	Chest(C)、Lung	6.2	308,296	348,374	2,159,922
4	上腹部	ABD(A)	9.5	202,036	228,301	2,168,856
5	腹部(含骨盆腔)	ABD(A)+Pelvis(AP)	17.3	428,730	484,465	8,381,243
6	胸部與上腹部	Chest+Abdomen(CA)	12.8	108,983	123,151	1,576,330
7	胸部與腹部(含骨盆腔)	Chest+Abdomen+Pelvis(CAP)	22.1	19,303	21,812	482,054
8	骨盆	Pelvis(P)	7.5	26,922	30,422	228,164
9	下肢	下肢	6.0	31,310	35,380	212,282
10	脊椎	C-spine、T-spine、L-spine	2.3	40,909	46,227	106,322
11	心血管	心血管	20.1	23,032	26,026	523,126
電腦斷層台灣國民平均年劑量(\overline{D}) 估算約為每人每年 0.76 mSv			集體有效劑量總和(人·mSv)($\sum_j S_j$)			17,315,835
			電腦斷層集體有效劑量總和修正 ^{*(2)} (人·mSv)($N=97.3\%$)			17,796,336
			106年台灣總人口數(人)(P)			23,571,227
			台灣國民平均年劑量(mSv)(\overline{D})			0.76

*⁽¹⁾本欄的人次(F_j)=健保資料庫檢查項目年頻次(F_j') *轉換因子(1.13)，是依據衛福部電腦斷層年頻次與健保資料庫年頻次之倍率進行轉換推估。

*⁽²⁾表列中的 11 個項目為電腦斷層檢查基於 NCRP184 號報告之劑量試算後各序列之試算劑量總和佔 106 年總集體有效劑量 97.3% 的檢查序列，因此 N 為 97.3% 以修正之

表 21 乳房攝影檢查項目(j)、序列之劑量評估模型(k)、檢查項目有效劑量(D_j)、健保資料庫檢查項目年頻次(F_j')、醫療輻射檢查項目年頻次(F_j)、檢查項目集體有效劑量(S_j)、集體有效劑量總和($\sum_j S_j$)、台灣國民平均年劑量(\overline{D})

項次	檢查項目(j)	檢查序列之劑量評估模型(k)	檢查項目有效劑量(mSv)(D_j)	醫療輻射檢查項目年頻次(人)(F_j)	檢查項目集體有效劑量(人·mSv)(S_j)
1	一般乳房攝影	一般模式(RCC、LCC、RML0、LMLO)	0.40	232,602	91,878
2	穿刺前攝影	放大模式(RMCC、LMCC、RMML0、LMML0)	0.63	6,497	4,061
乳房攝影台灣國民平均年劑量(\overline{D}) 估算約為每人每年 0.0041 mSv			集體有效劑量總和(人·mSv)($\sum_j S_j$)		95,938
			106 年台灣總人口數(人)(P)		23,571,227
			台灣國民平均年劑量(mSv)(\overline{D})		0.0041

(5)台灣醫療輻射類別劑量網站已完成初步構想設計。

網站架構規劃以醫療輻射類別、資料說明、有效劑量計算結果等三個部分呈現，圖 20 為以核子醫學檢查舉例說明台灣醫療輻射類別劑量網站設計概念圖。

(1)醫療輻射類別：

分別列出 8 種醫療輻射類別對應的檢查項目，讓使用者自行輸入該年自身接受的檢查項目次數。同一區塊亦將顯示根據此計畫計算的平均有效劑量調查研究結果。而在後台的數據資料庫預計也列入 106 年健保資料庫檢查項目年頻次調查統計結果，但不呈現在頁面上。

(2)資料說明：

此部分規劃提供使用者與醫療輻射類別、劑量評估相關等資訊，可以採用文字說明搭配相關網頁、文件資訊連結之方式。

(3)有效劑量計算結果：

從使用者自行輸入該年自身接受的檢查項目次數，計算出當年接受的有效劑量，並將各醫療輻射類別檢查項目有效劑量計算結果，使用圖示化界面呈現。上述細節詳見 109 年度國民輻射劑量調查研究計畫期末報告。

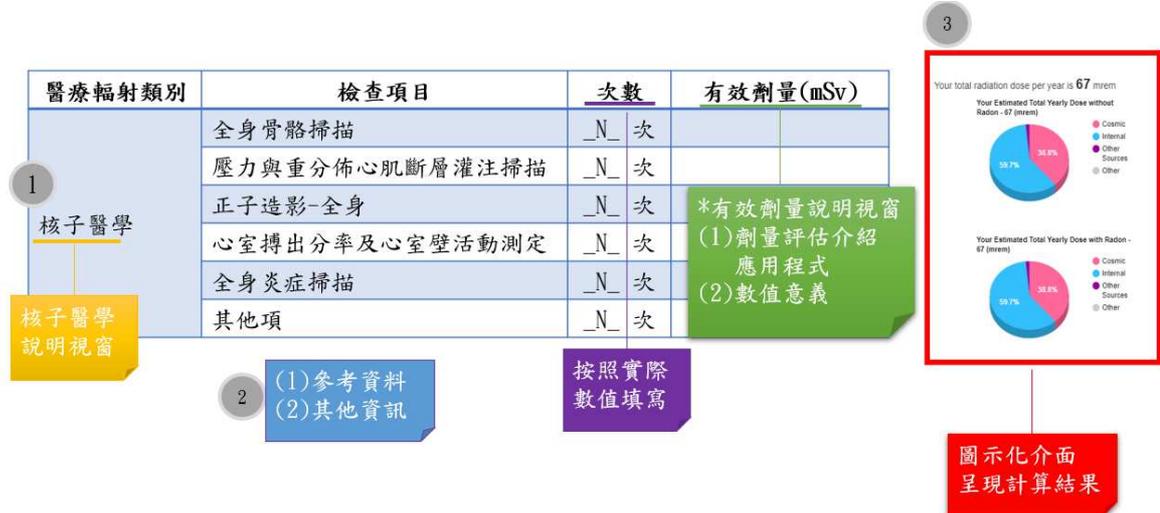


圖 20 台灣醫療輻射類別劑量網站設計概念圖

肆、 結論

國民輻射劑量評估 108 與 109 年陸續完成氬氣劑量評估、吸菸行為劑量評估等，並進行地表與宇宙輻射劑量、攝食體內劑量與職業曝露等進行先期評估。目前初步達成之成效為：

(一) 氬氣劑量評估已於 108 年評估國人氬氣平均年劑量為 0.901 毫西弗，為確認量測的確效，本計畫已參加國際輻射防護學會(IRPA)歐洲分會責成義大利主辦之長期環境條件氬量測比較實驗，分別在阿爾卑斯山上之奧斯塔(Aosta)以及伊弗雷亞(Ivrea)兩個城市，進行長達 5 個月住家與工作場所氬氣量測，將於 110 年完成。

(二) 地表與宇宙輻射體外劑量於 108 年初步評估劑量，分別為為宇宙射線年劑量為 0.241 毫西弗以及地表輻射年有效劑量為 0.83 毫西弗。評估過程發現山區與外島數據需要補強，且低海拔宇宙輻射劑量在數據擬合

過程中也發現誤差偏高。今年度完成南橫、北橫公路以及綠島鄉的量測，將持續對於海拔 200 公尺以下區域，進行地表與宇宙輻射量測。

(三)攝食體內劑量評估鉀 40、鋇 90 及銫 137 之評估，年有效劑量分別為 0.234； 2.64×10^{-4} 以及 1.18×10^{-4} 毫西弗。評估過程發現部分攝食量大的蔬菜如蘿蔔並未納入取樣分析，因此後續將比對衛福部與農糧署攝食與糧食供應資料，針對國人常食用之品項進行分析，並對於日本攝食劑量中較高劑量貢獻之鈾 210 核種，進行台灣飲食市場之調查評估。

(四)國人職業曝露劑量，依據近五年全國輻射工作人員劑量資料統計年報資料顯示，國民輻射年劑量近五年約為 0.234~0.366 微西弗/年之間，亦呈現逐年下降趨勢。未來會納入其他年份的資料作進一步的討論。其中商用飛航類的職業部分，受限於現有的法規並未有實際監測數據，以至該類別之職業曝露人數及劑量均無法反映實際現況，會參考國外做法另行研議可行的評估方式，於後續報告中納入。

(五)醫療輻射劑量評估已累積執行完成的工作項目：(1)健保資料庫的人數趨勢評估：8 種類別的平均年增率皆為正成長，其成長範圍為 0.01%~8.2%，以非心臟類介入性透視攝影成長 8.2% 最為明顯；(2)針對 48 個類次分別進行醫院檢查序列調查之取樣：自 108 年開始至 109 年取樣所累計的病例數已達 64,444 筆臨床資料；(3)4 種類別下完成 26 個檢查項目合計 72 個劑量評估模型，包含電腦斷層完成 11 個檢查項目合計 17 個劑量評估模型、核子醫學完成 6 個檢查項目合計 12 個劑量評估模型、一般傳統 X 光完成 7 個檢查項目合計 35 個劑量評估模型、乳房攝影完成 2 個檢查項目合計 8 個劑量評估模型；(4)推算集體有效劑量：電腦斷層國民平均年劑量估算約為每人每年 0.76 mSv，乳房攝影國民平均年劑量估算約為每人每年 0.0041 mSv；(5)台灣醫療輻射類別劑量網站已完成構想設計。將於 110 年完成彙整國民醫療輻射劑量資料，並建立台灣醫療輻射類別劑量評估網站。

國民輻射劑量評估項目十分繁複，今年度受到新冠疫情影響，部分交通與調查略有延遲，也在疫情略為緩和的期間加緊作業趕上預定之進度。後續將持續檢討統計數據，並進行調查分析與評估，滾動修正調查結果，以能提供國人環境輻射劑量之參考。

伍、 參考資料

- [1] National Council on Radiation Protection and Measurements, Ionizing Radiation Exposure of the Population in the United States, NCRP Report No.160 (2006).
- [2] 林培火，陳清江，林友明，國民輻射劑量之評估研究報告，原子能委員會輻射偵測中心，民國 87 年 6 月。
- [3] UNSCEAR, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation", UNSCEAR, United Nations, New York (1993)
- [4] 原子力安全研究協會，「新生活環境放射線（平成 23 年（2011 年））」。
- [5] Public Health England, "Ionising Radiation Exposure of the UK Population:2010 Review",2016
- [6] EPA RPII, "Radiation Doses Received by the Irish Population", Radiation Protection Institute of Ireland,2014
- [7] Artigas F. Aussendung einer ionisierenden Strahlung durch trockene pflanzliche Substanzen. Comptes Rendus Acad Sci. 1938;206(1):1200–1202.
- [8] Radford EP Jr, Hunt VR. Polonium-210: a volatile radioelement in cigarettes. Science. 1964;143(3603):247–249.
- [9] Francis CW, Chesters G, Erhardt WH. Polonium-210 entry into plants. Environ Sci Technol. 1968;2(9):690–695.
- [10] Singh DR, Nilekani SR. Measurement of polonium activity in Indian Tobacco. Health Phys. 1976;31(4):393–394.
- [11] Watson AP. Polonium-210 and Lead-210 in Food and Tobacco Products: A Review of Parameters and an Estimate of Potential Exposure and Dose. ORNL/TM-8831. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory; 1983
- [12] Martell EA. Tobacco radioactivity and cancer in smokers. Am Sci. 1975;63(4):404–412.
- [13] Muggli ME, Ebbert JO, Robertson C, Hurt RD. Waking a sleeping giant: the tobacco industry's response to the polonium-210 issue. Am J Public Health. 2008;98(9):1643–1650
- [14] Rego B. The polonium brief: a hidden history of cancer, radiation, and the tobacco industry. Isis. 2009;100(3):453–484.
- [15] 科學人，輻射香菸鈔可告人的真相，第 108 期《科學人》雜誌 2011 年二月號
- [16] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
- [17] 自由時報，<https://ec.ltn.com.tw/article/paper/1311677> 2019/08/19

- [18] EML, DOE (EML is currently part of the DHS). 1997. "HASL-300 Method Po-02-RC: Polonium in Water, Vegetation, Soil, and Air Filters." EML Procedures Manual, HASL-300, 28th Edition.
- [19] 內政部統計資料 https://www.moi.gov.tw/files/site_stuff/321/2/year/year.html
- [20] 交通部民用航空局民航統計年報
<https://www.caa.gov.tw/Article.aspx?a=1092&lang=1>
- [21] https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/media/MV-DATES.zip
- [22] Aoyama, M., K. Hirose, Y. Igarashi, Re-construction and updating our understanding on the global weapons test 137Cs fallout. *J. Environ. Monit.*, 2006. 8: p. 431-438
- [23] Warneke, T., I.W. Croudace, P.E. Warwick, R.N. Taylor, A new ground-level fallout record of uranium and plutonium isotopes for northern temperate latitudes. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002. 203(3-4): p. 1047-1057.
- [24] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Annex J: Exposures and effects of the Chernobyl accident. 2000: p. 453-566.
- [25] Buessler, K., M. Aoyama, M. Fukasawa, Impacts of the Fukushima nuclear power plants on marine radioactivity. *Environmental science & technology*, 2011. 45(23): p. 9931-9935.
- [26] Bailly du Bois, P., P. Laguionie, D. Boust, I. Korsakissok, D. Didier, B. Fiévet, Estimation of marine source-term following Fukushima Dai-ichi accident. *Journal of environmental radioactivity*, 2012. 114: p. 2-9.
- [27] Stohl, A., P. Seibert, G. Wotawa, D. Arnold, J.F. Burkhart, S. Eckhardt, C. Tapia, A. Vargas, T.J. Yasunari, Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012. 12(5): p. 2313-2343.
- [28] Chino, M., H. Nakayama, H. Nagai, H. Terada, G. Katata, H. Yamazawa, Preliminary estimation of release amounts of 131I and 137Cs accidentally discharged from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the atmosphere. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 2011. 48 (7): p.1129-1134
- [29] Honda, M.C., T. Aono, M. Aoyama, Y. Hamajima, H. Kawakami, M. Kitamura, Y. Masumoto, Y. Miyazawa, M. Takigawa, T. Saino, Dispersion of artificial caesium-134 and -137 in the western North Pacific one month after the Fukushima accident. *Geochemical Journal*, 2012. 46: e1 to e9
- [30] Livens, F., P. Loveland, The influence of soil properties on the environmental mobility of caesium in Cumbria. *Soil Use and Management*, 1988. 4(3): p. 69-75.
- [31] Bostick, B.C., M.A. Vairavamurthy, K.G. Karthikeyan, J. Chorover, Cesium adsorption on clay minerals: An EXAFS spectroscopic investigation. *Environmental science & technology*, 2002. 36(12): p. 2670-2676.

- [32] Owens, P.N., D.E. Walling, Q. He, The behaviour of bomb-derived caesium-137 fallout in catchment soils. Journal of environmental radioactivity, 1996. 32(3): p. 169-191.
- [33] ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. Ann. ICRP 45(3/4), 1–352. (2016).
- [34] NCRP Report No. 160 – Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States , 2009
- [35] Sources and Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 Report, 2000
- [36] Corrigendum of Sources and Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 Report, 18 May 2016
- [37] Overview of UNSCEAR re-evaluation of occupational exposure, Dunstana Melo, 2004
- [38] UNSCEAR’S GLOBAL SURVEY OF RADIATION EXPOSURE: A User Manual.

陸、 附件

附件 1 109 年南橫公路宇宙輻射與地表輻射偵測報告

附件 2 109 年北橫公路宇宙輻射與地表輻射偵測報告

附件 3 109 年綠島鄉環境輻射偵測報告

附件 4 國人吸菸輻射劑量評估報告(109 年)