

RMC-109-326(r1)

行政院原子能委員會
委託研究報告

109 年「海陸域輻射調查及國民輻射
劑量評估」



計畫全程：自 109 年 1 月 1 日至 109 年 12 月 31 日

執行單位：行政院原子能委員會輻射偵測中心

109 年 12 月

摘 要

臺灣四面環海，臺灣的民生、文化與海洋息息相關，日本福島核電廠事故後，國人對於環境的輻射劑量與輻射對海洋的影響更為關心。本計畫由輻射偵測中心(以下簡稱本中心)推動臺灣海域輻射監測調查與國民輻射劑量評估，透過跨部會單位合作與參考國際相關文獻，以海水、海產物及累積試樣(岸沙及海底沉積物等)為海洋主要分析樣品，另外以台灣北部山區之土壤為陸域分析樣品，並選擇銻-137 為調查分析之關鍵核種。延續 108 年計畫規劃內容執行，以豐富臺灣海域輻射背景調查資料，建立臺灣海域輻射背景資料庫及進行陸域環境輻射調查，健全臺灣海陸域環境輻射資訊，進而能掌握日本福島核災事故及大陸沿岸核能電廠等放射性廢水排放對臺灣海域影響以及臺灣陸域輻射背景之變化趨勢，以確保國人輻射安全。另就國民輻射劑量主要來源，規劃重新調查，國民醫療輻射劑量評估部分已先完成八大類醫療輻射健保資料蒐集與評估軟體建立等初步工作；天然背景輻射部分持續進行山區及外島區域體外輻射量測與統計、分析職業曝露分類與統計評估劑量、完成吸菸造成國民輻射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，以獲得更客觀具代表性之國民輻射劑量調查結果。

目錄

壹、前言.....	2
一、計畫背景.....	2
二、計畫目標.....	3
(一) 目標說明.....	3
(二) 預期效益.....	4
貳、執行策略及方法.....	5
一、海陸域環境輻射調查.....	5
二、國民輻射劑量評估.....	11
參、期程與資源需求.....	15
一、計畫期程.....	15
二、經費執行情形.....	16
肆、結果與討論.....	17
一、海陸域環境輻射調查.....	17
(一) 海水加馬能譜分析結果.....	18
(二) 海水放射性氚分析結果.....	27
(三) 沉積物加馬能譜分析結果.....	31
(四) 海產物加馬能譜分析結果.....	36
(七) 國際原子能總署能力試驗.....	52
(八) 學術活動.....	53
(九) 資料庫更新與網頁展示.....	53
(十) 跨部會資源整合.....	54
二、國民輻射劑量評估.....	55
(一) 外島及山區體外劑量量測作業.....	55
(二) 消費性產品劑量評估.....	67
(二) 台灣地區攝食人造核種銻 137 劑量評估之探討.....	83
(三) 職業曝露劑量評估.....	85
(四) 醫療輻射劑量評估作業.....	101
伍、結論.....	109
陸、參考資料.....	113

壹、前言

一、計畫背景

原能會為我國輻射及核能安全的管制監督機關，負責核電廠、輻射作業場所及放射性廢棄物等之安全管制，保障民眾、環境及輻射工作人員之輻射安全。為讓民眾能夠確認在監督管制下，放射性物質對於環境的衝擊以及瞭解環境輻射的現況，以達到監測資訊透明化的目的，本計畫分為兩個分項計畫，分別為海陸域環境輻射調查與國民輻射劑量評估。

海水中所含之放射性物質，其中人造放射性物質來源主要來自於核子試爆落塵、核設施事故所產生。為此，原能會蒐集國際相關資料以供參考，如民國 100 年日本福島核電廠發生事故後，國際原子能總署(IAEA)委託[1]法國 Toulouse 大學與國家科學研究院(Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS)利用所發展的洋流模式，評估預測放射性物質的可能擴散範圍。日本原子能研究開發機構(JAEA)亦曾對福島事故外釋銻-137 對海域擴散的情形進行模式評估[2]，依美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)於日本福島事件後引用德國海洋機構 GEOMAR 的洋流擴散模擬顯示，其放射性物質約於 5 至 10 年後到達台灣沿海地區。海陸域環境輻射調查之執行，係為了判讀日本福島核電廠事故後對台灣海域影響程度，進而應用於未來鄰近國家海域輻射污染建立基準值。

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[3-8]。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[4]。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。

二、 計畫目標

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。

（一） 目標說明

109 年度為本計畫第二年執行，計畫之目標如下：

1. 執行海域樣品取樣及分析，預期完成海水約 133 件、海生物樣品約 150 件及沉積物樣品約 64 件及陸域岸砂等樣品約 36 件。
2. 執行陸域樣品取樣及分析，預期完成核電廠周圍及臺灣山區土壤約 100 件及河川河砂約 15 件。
3. 依放射性監測結果及歷史海流模式，採滾動式規劃未來之監測調查方法。
4. 更新臺灣海域輻射背景資料庫資料 400 筆。
5. 外島與山區之體外輻射劑量之調查評估。
6. 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。

7. 利用全國輻射工作人員劑量資料庫評估職業曝露劑量。
8. 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。
9. 參加國內或國外研討會並發表論文至少 2 篇。

(二) 預期效益

本計畫係對台灣海域執行環境輻射背景調查，目的主要為建置台灣海域長期輻射監測模式，並建立台灣海域環境輻射背景資料庫，以利於比對鄰近國家核子意外事故發生後對台灣海域之影響情形。108 年已完成資料庫建置，後續執行資料之更新，也可分析環境輻射變化之可能影響因數。

國民輻射劑量是第二個分項計畫。隨著科技的進步，民眾生活習慣改變，輻射醫療診斷與治療日愈普遍，且國際往來密集民眾搭機的頻次也逐年上升，透過國民輻射劑量的評估與分析，更新建置台灣本土性輻射曝露資料，除可與國際間其他機構的研究數據比對外，亦可作為輻射防護改善方案的基礎，有助於強化輻射管制作業與監測策略之擬訂，維護民眾的輻射安全。

原能會之參與人員能對台灣海域輻射背景有深刻認識，透過取樣分析等過程，除健全台灣全方位輻射背景資料外，也提升參與人員的技術水準；其他協助單位如海巡署、漁業署及學術機構相關人員，也能經過合作交流對輻射防護知識有更深一步的認識。另外海委會海巡署為核子事故緊急應變成員之一，透過計畫參與強化單位橫向聯繫與溝通默契，事故應變時得以發揮團隊協力，貫徹國家行政一體的能力與政策。

國民輻射劑量調查，可培養參與人員輻射度量與劑量評估的能力，提升國內輻射科學專門人員之能力與量能。參與計畫人員可更了解國內醫療輻射運用之執行細節，與其他輻射來源的分布現況，有助於提供明確的資訊給民眾，強化溝通說明的公信力。

貳、 執行策略及方法

本年度之執行策略及方法如下：

一、 海陸域環境輻射調查

本計畫主要工作項目分別為：執行臺灣鄰近海域放射性核種含量背景調查、臺灣陸域山區放射性核種含量背景調查以及加強臺灣海域氡輻射背景調查等，相關執行方式分述如下：

(一) 臺灣鄰近海域放射性核種含量背景調查

1. 取樣規劃

海洋樣品取樣須有船艦配合，本中心透過跨部會之行政合作及勞務委外等方式，委請海委會海巡署、農委會水產試驗所、農委會漁業署、中山大學、嘉義大學以及台灣海洋保育與漁業永續基金會共同執行海洋樣品的取樣。各單位之取樣規劃說明如下：

(1). 輻射偵測中心

本中心規劃採矩形網格採樣，將臺灣劃分 8 個沿岸地區，如圖 2.1 所示，每個地區至少一個環境試樣取樣點，勘察適合長期監測之地點進行取樣作業，並進行定位作為後續執行取樣作業之依據，本年度規劃劃分 8 個區塊 9 個取樣點，分別針對海水及岸沙採樣。

本中心亦擔任本計畫所有海洋樣品的放射性含量分析及計畫規劃、控管與管考等工作。



圖 2.1 臺灣沿岸地區取樣規劃作業區示意圖

(2). 農委會水產試驗所

水試所定期於全國海域執行海洋水質等長期監測，經由行政合作方式於指定之位置每半年協助採取海水樣品，規劃取圖 2.2 之編號 7~9、15~19、29~32、52、54、55 及 60~62 之表層海水(0~5 米深)，另外再加取編號 8、18、60 之深層海水(>150 米深)樣品，樣品取得後，再將樣品送至本中心進行放射性分析。

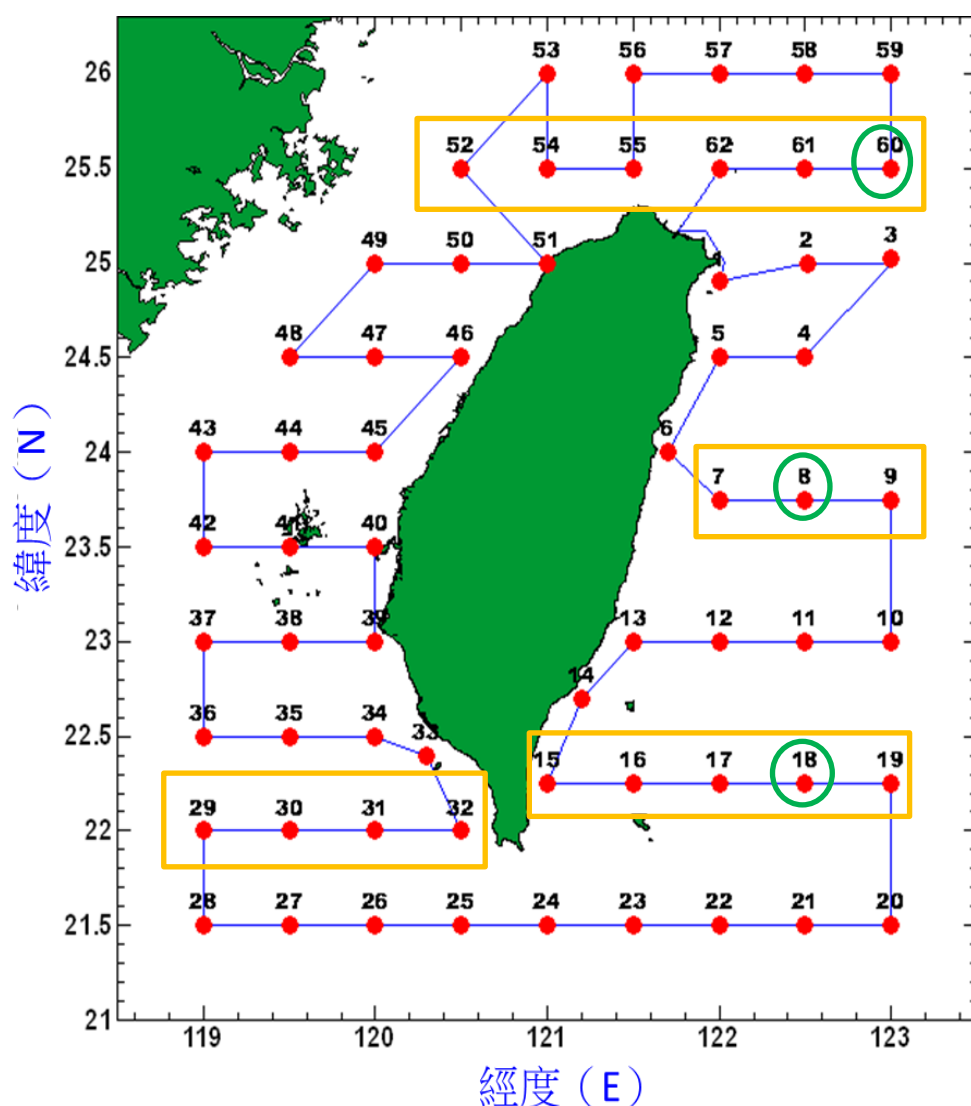


圖 2.2 水產試驗所取樣規劃作業區示意圖

(3). 海委會海巡署

海巡署於全國各海域皆駐有海巡隊，經由行政合作方式由指定之海巡隊於該轄區每半年協助取海水及岸沙，取樣規劃詳如表 2.1，再將樣品送至本中心進行放射性分析。

表 2.1. 海巡署取樣規劃作業表

站別	監測目的	樣品項目
1.東引	近福建省核能電廠(寧德、福清)	海水、岸沙
2.南竿	近福建省核能電廠(寧德、福清)	海水、岸沙
3.金門	近漳州核能電廠(寧德、福清)	海水、岸沙
4.澎湖	台灣海峽水團交會	海水、岸沙
5.南灣	南部電廠及海域監測	海水
6.蘭嶼	黑潮主流在東部的起點	海水
7.基隆港	北部電廠及海域監測	海水
8.東沙	近廣東省核能電廠	海水、岸沙
9.南沙	國境南端	海水、岸沙

註：部分岸沙未由海巡署協助取樣，乃因本中心有另外的計畫執行取樣作業。

(4). 國立中山大學

本計畫委託海洋學術研究機構以海洋研究船協助海洋樣品取樣作業，將臨近海域劃分為西北、西側、西南、東南、及東北等 5 區，如圖 2.3，採取海水及海底沉積物等樣品，送本中心執行放射性分析，並輔以洋流、氣候、季節等資訊，決定最適之輻射監測取樣範圍及取樣等項目，以規劃未來海域輻射監測做法。

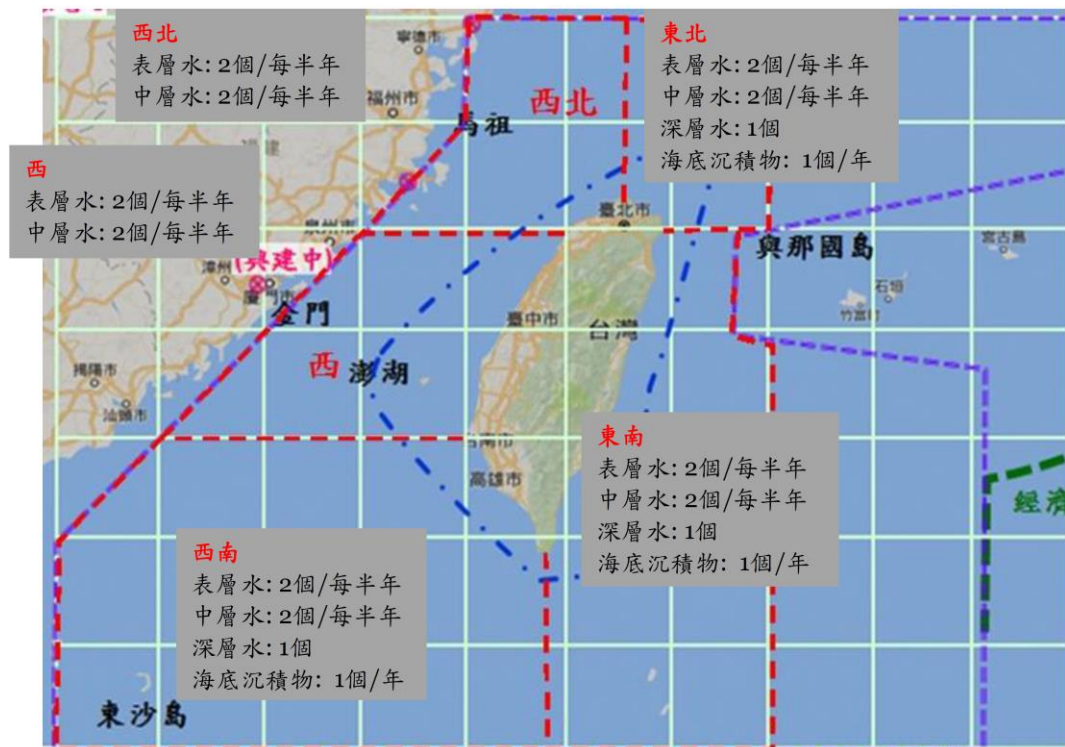


圖 2.3 中山大學取樣調查範圍

(5). 農委會漁業署、嘉義大學、台灣海洋保育與漁業永續基金會

台灣海域海生物之輻射監測方面，本計畫委請嘉義大學及台灣海洋保育與漁業永續基金會協助海生物各 50 件次之取樣作業，受委託單位定期自台灣主要漁港直接向漁船取樣並洽詢捕獲地點及作業時間等資訊；本中心另與漁業署合作日本海域秋刀魚之輻射檢測，由漁業署自前鎮漁港抽檢由日本海域捕獲之秋刀魚 50 件次，由本中心進行放射性分析，並出具檢測報告給漁業署。本計畫將海產物樣品分類為大洋洄游魚類、近海魚類及低棲生物等三大類，範圍含括台灣海域及日本海域。

2. 放射性核種含量背景調查與分析方法

依 106~108 年之海域調查結果顯示海水中輻射值有季節(夏、冬)的些微變化趨勢，本計畫之取樣頻率多規劃於冬、夏二季取樣，若分析結果超出環境輻射監測規範中環境試樣放射性分析之調查基準 30%時，則增加取樣頻次。

海洋樣品放射性分析方法係以環境輻射監測規範及本中心所訂定之相

關「放射性分析操作程序書」及「輻射偵測儀器操作程序書」為依據進行加馬核種能譜分析。

3. 委託海洋學術研究機構建立調查方法

本計畫委託海洋學術研究機構(國立中山大學)協助建立調查方法，彙整、統計、綜合評析 106~109 年度之監測資料之分析數據，以科學觀點角度來研判數據趨勢，建置並建立臺灣海域輻射背景監測資料庫。

(二) 臺灣陸域山區放射性核種含量背景調查

1. 取樣規劃

本中心與農委會農產試驗所(簡稱農試所)合作，109 年取得農試所之北部高山土壤約 100 件次及台灣西部之稻米樣品 20 件，由本中心進行放射性分析，分析數據由雙方共享使用。

2. 分析方法

土壤及稻米樣品放射性分析方法係以環境輻射監測規範及本中心所訂定之相關「放射性分析操作程序書」及「輻射偵測儀器操作程序書」為依據進行加馬核種能譜分析。

3. 調查結果應用

本分項計畫之調查結果待累積足夠或具有代表性時，將納入國民輻射劑量評估之地表輻射及消費性產品等評估因子。

(三) 加強臺灣海域氚輻射背景調查

我國因應日本福島核電廠含氚廢水排放海洋之對策，本中心經由跨部會因應會議決議，整合跨部會之海洋資源以本計畫為基本，規劃加強台灣海域氚輻射調查之「台灣海域氚輻射背景調查計畫」，本中心邀集海委會海保署、海委會海巡署及國立中山大學合作，調查範圍含括台灣海域之沿岸、離岸、離島及深層海水，取樣範圍詳如圖 2.4。全方位規劃監測範圍，以利評估未來日本排放氚廢水後對台灣海域的影響。

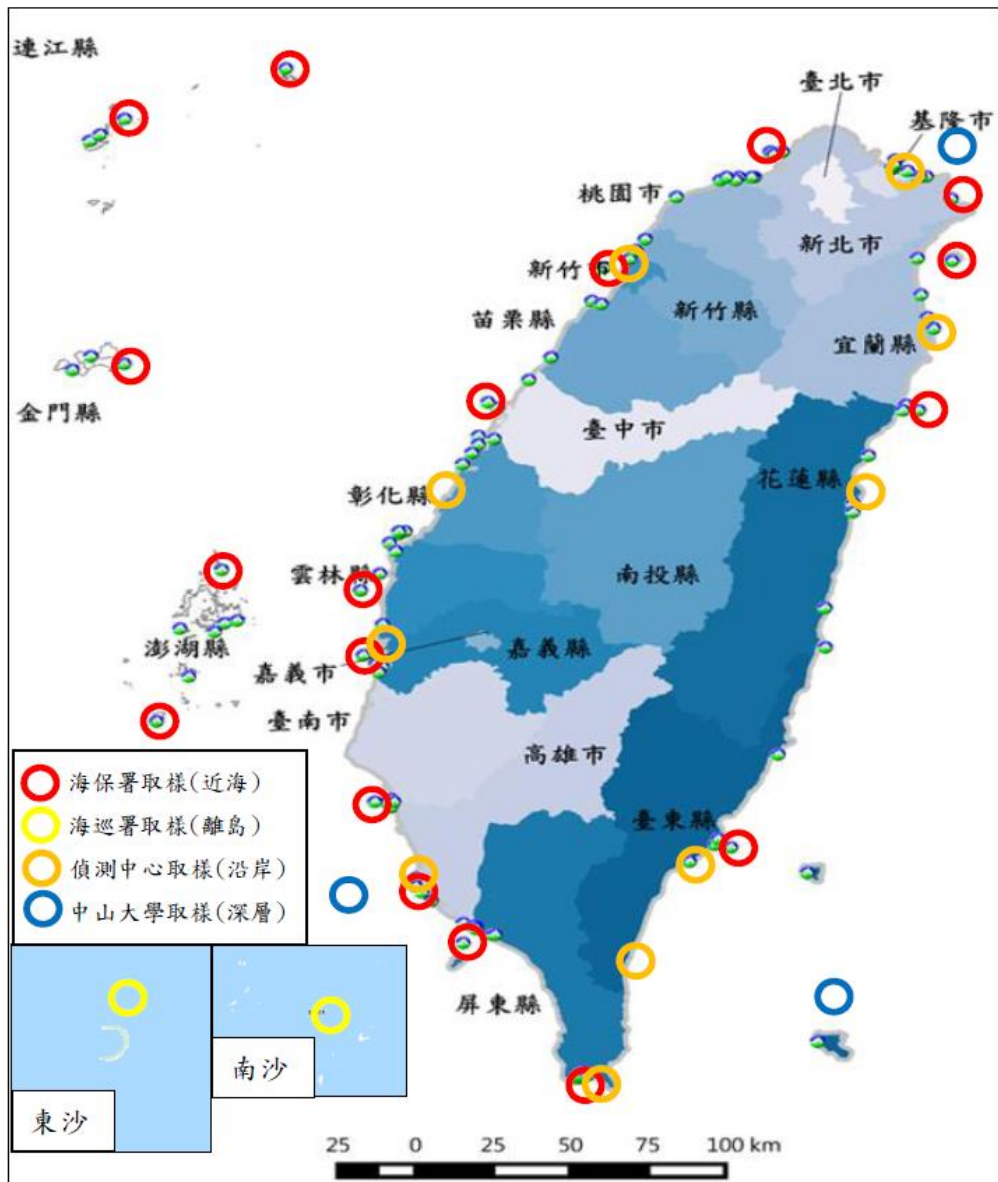


圖 2.4 台灣海域氬輻射背景調查計畫取樣位置圖

二、 國民輻射劑量評估

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，然而對於部分民眾生活相關之環境輻射如山區雖然住戶較為稀少，但常有民眾進行登山活動，因此對於高海

拔之山區宇宙輻射造成之影響，也須加以確認，因此規劃於 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，後續仍需再擴充資料數據以及探討其他核種之劑量貢獻。

醫療輻射造成的國民劑量評估方法，依照放射醫學在醫療院所的不同運用分為三大類：放射診斷、核子醫學檢查與放射治療。其中，放射診斷類別中再依照儀器設備的不同細分為七類，此七類的輻射劑量評估方式亦各有不同，分別為一般 X 光攝影、傳統透視攝影、心臟類介入性透視攝影、非心臟類介入性透視攝影、電腦斷層、乳房攝影與牙科攝影。整體而言，執行國內醫療輻射國民劑量評估調查，持續進行 8 類(七類放射診斷類別加上核子醫學檢查)共 48 個放射診斷醫療檢查項目之輻射劑量評估(原計畫 44 個，本年度滾動調整增加為 48 個項目)。本研究參考國外相關評估報告如美國 NCRP，使用科學的方法來將統計資料推算到特定年份後，再做國民劑量的總劑量評估。目前所能取得健保資料庫最新的數據僅到 106 年度，因此本計畫係以 89-106 年資料庫數據進行件數趨勢分析，但在國民輻射劑量統計則以 106 年資料為主。

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、含氧化鈣玻璃以及含鈦焊條及燈絲等，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。宇宙射線的部分擬於北部山區沿省道 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，以能提供山區居民及登山民眾輻射劑量之參考。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取較高之航線(預計評估航線為人數累加超過總人次 95%以上之各航線)，以現有美國飛航管制署(FAA)建議的劑量評估模式 CARI，進行先期劑量評估與探討。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、 期程與資源需求

一、 計畫期程

本計畫期程為 109 年 1 月 1 日起至 109 年 12 月 31 日止，如表 3.1.1。

表 3.1.1 計畫進度表

項目 \ 月份	1	2	3	4※	5	6	7※	8	9	10※	11	12※	
分項計畫一													
海域環境取樣													
分析與結果彙整													
工作檢討													
檢討規劃未來計畫													
論文發表													
總結報告													
分項計畫二													
資料蒐集與設備建置													
消費產品資料彙整													
體內外劑量與職業曝 露資料彙整													
期中工作檢討													
各項作業結果彙整與 補強													
未來作業方式修正討 論													
總結報告													
工作進度估計百分比 (累 積 數)	15%	30%	40%	45%	50%	60%	70%	75%	85%	90%	95%	100%	
預定查核點	分項計畫一												
	第 1 季：各單位取樣規劃與進度查核。												
	第 2 季：各單位取樣進度查核，委託單位期中工作討論會。												
	第 3 季：各單位取樣進度查核。												
	第 4 季：各單位取樣進度查核，委託單位期末工作討論會。												
預定查核點	分項計畫二												
	第 1 季：完成委外計畫發包與第一次工作會議。												
	第 2 季：期中報告與期中工作檢討會議。												
	第 3 季：各項評估作業檢討與第三次工作會議。												
	第 4 季：完成總結報告與期末工作檢討會議。												
說明：1. 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起迄日期。													
2. 「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：（1）工作天數，（2）經費之分配，（3）工作量之比重，（4）擬達成目標之具體數字。													
3. 每季之「預定查核點」，請在條形圖上標明※符號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。													

二、 經費執行情形

本計畫 109 年度總經費為 11,700 仟元，結餘 64,022 元，執行率為 99.45%，執行情形如表 3.2.1 所示。

表 3.2.1 經費運用情形

單位：新臺幣元

經費科目	全年度預算數		已執行數		備註
	金額 (B)	占總額(%) $C=(B/A)$	金額 (H)	占總額(%) $I=(H/A)$	
業務費	9,834,000	84.05%	9,779,778	83.59%	
設備費	1,866,000	15.95%	1,856,200	15.86%	
總計(A)	11,700,000	100%	11,635,978	99.45%	

業務費用中委託學術單位辦理計畫兩項，計畫作業事項之內容、金額及其所占計畫比例如表3.2.2。

表3.2.2 委辦計畫經費比列

單位：新臺幣元

委辦計畫名稱	金額 (元)	占總計畫 比例(%)	計畫作業項目
109年台灣海域輻射背景調查計畫	4,160,000	35.56%	1. 取樣、數據分析工作 2. 監測調查方法研究 3. 資料庫建置及展示 4. 台灣海域輻射監測調查資料之彙整、統計、綜合評析及結案報告編撰。
國民醫療輻射劑量調查研究計畫 (2/3)	3,200,000	27.35%	1. 申請使用健保資料庫並彙集相關資料。 2. 前往各級醫療院所進行實地劑量量測。 3. 建立各項醫療曝露作業劑量模式。 4. 統計各項醫療輻射之有效劑量。

肆、 結果與討論

109 年度依規劃之時程進行各項調查作業，執行成果分為「海陸域環境輻射調查」與「國民輻射劑量評估」兩項子計畫加以說明。

一、 海陸域環境輻射調查

本計畫參考國際海域調查方法及核子事故監測實務，採用放射性核種銫-137 為關切核種並視為監測指標，銫-137 經由純鍺偵檢器計測分析，另海水中氚蒸餾純化後，經由低背景液體閃爍計數器計測分析，各類樣品分析方法如下所述：

(一) 海水放射性銫-137 分析(磷鉬酸銨與銫共沉方法)

取海水 40~60 公升經初步過濾後，加入足量磷鉬酸銨，再調整於酸性環境下進行共沉反應，取沉澱物進行純鍺偵檢器計測分析。

(二) 海產物放射性分析

取海產物可食部位 1~2 公斤經約 110°C 烘乾後，再經 450°C 高溫灰化，取灰份進行純鍺偵檢器計測分析。

(三) 沉積物放射性分析

沉積物(包含河砂、岸沙、海底沉積物、岩心及山區土壤)先進行 105°C 烘乾後，經研磨過篩(20 mesh)後，取沉積物進行純鍺偵檢器計測分析。

(四) 稻米放射性分析

稻米經簡單撿除雜物(石塊、稻稈等)，送脫殼機將米粒與稻殼分離，將米粒及稻殼分別進行純鍺偵檢器計測分析。

(五) 海水放射性氚分析

取海水約 300 毫升經初步過濾後，經高溫蒸餾萃取氚水，再加入液體閃爍劑混合，進行低背景液體閃爍計數器計測分析。

(一) 海水加馬能譜分析結果

由本計畫採集之臺灣5大區海域離岸海水加馬能譜分析結果如表4.1.1 (由國立中山大學團隊採集)，海水分析量每件40公升，每件計測時間20萬秒，共分析95件。本年度各區域海水銫-134活度皆小於最低可測活度，銫-137活度為<MDA(0.5)至2.22毫貝克/升，皆無輻射異常現象[4]。

表4.1.2為海巡署與水試所於台灣海域及離島海域採取海水樣品，分析樣品為每件40公升，每件計測時間20萬秒，共分析57件，此類海水加馬能譜分析結果銫134活度皆小於最低可測活度；銫-137活度為0.74至1.70毫貝克/升，皆無輻射異常現象。

表4.1.3為本中心每季至臺灣沿岸地區海水取樣之分析結果，每件試樣60公升，計測12萬秒，共分析45件。銫-134分析結果同樣小於最低可測活度，銫-137活度為0.76至1.63毫貝克/升，皆無輻射異常現象。

本年度完成之海水樣品加馬能譜分析共186件，海水樣品取樣地點以地圖表示如圖4.1.1，加馬能譜分析結果顯示臺灣鄰近海域與沿岸海水之銫-134活度皆低於儀器最低可測活度，銫-137活度低於2.22毫貝克/升。

表 4.1.1 離岸海水加馬能譜分析結果(國立中山大學取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銫-134	銫-137		
1	109/02/12	21°53'51.90"	120°44'57.50"	1	—	1.04	2.6	東南區
2	109/02/12	21°54'20.30"	120°48'50.70"	1	—	0.84	2.6	東南區
3	109/02/12	21°57'18.90"	120°45'44.80"	1	—	1.23	0.4	東南區
4	109/03/19	22°18'10.14"	120°25'23.29"	1	—	1.31	5.7	西南區
5	109/05/09	23°39'43.50"	119°51'18.42"	5	—	0.96	19.2	西區
6	109/05/09	23°39'43.50"	119°51'18.42"	50	—	0.92	19.2	西區
7	109/05/09	23°39'43.50"	119°51'18.42"	70	—	1.45	19.2	西區
8	109/05/09	23°39'43.50"	119°51'18.42"	100	—	1.34	19.2	西區
9	109/05/09	23°31'08.28"	119°54'41.16"	5	—	1.36	22.4	西區
10	109/05/09	23°31'08.28"	119°54'41.16"	50	—	1.47	22.4	西區
11	109/05/09	23°31'08.28"	119°54'41.16"	70	—	1.58	22.4	西區
12	109/05/09	23°31'08.28"	119°54'41.16"	107	—	1.50	22.4	西區

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銩-134	銩-137		
13	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	1	—	1.23	45.5	西南區
14	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	50	—	1.10	45.5	西南區
15	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	100	—	1.41	45.5	西南區
16	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	150	—	1.42	45.5	西南區
17	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	200	—	1.81	45.5	西南區
18	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	250	—	1.89	45.5	西南區
19	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	300	—	2.22	45.5	西南區
20	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	400	—	1.22	45.5	西南區
21	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	600	—	0.62	45.5	西南區
22	109/05/20	21°53'51.90"	120°44'57.50"	1	—	1.10	2.6	東南區
23	109/05/20	21°54'20.30"	120°48'50.70"	1	—	0.99	2.6	東南區
24	109/05/20	21°57'18.90"	120°45'44.80"	1	—	1.50	0.4	東南區
25	109/06/04	25°00'31.08"	122°10'09.99"	1	—	0.95	16.4	東北區
26	109/06/04	25°00'31.08"	122°10'09.99"	50	—	1.11	16.4	東北區
27	109/06/04	25°00'36.76"	122°09'59.68"	125	—	1.39	16.1	東北區
28	109/06/04	25°00'36.76"	122°09'59.68"	300	—	1.82	16.1	東北區
29	109/06/04	25°01'52.69"	122°08'19.99"	1	—	1.12	13.5	東北區
30	109/06/04	25°01'52.69"	122°08'19.99"	50	—	0.97	13.5	東北區
31	109/06/04	25°02'08.54"	122°08'28.73"	125	—	1.28	13.8	東北區
32	109/06/04	25°02'08.54"	122°08'28.73"	200	—	1.52	13.8	東北區
33	109/07/05	22°42'00.11"	122°12'02.19"	5	—	1.20	70.8	東南區
34	109/07/05	22°43'00.47"	122°12'02.91"	50	—	1.30	70.9	東南區
35	109/07/05	22°43'01.04"	122°12'03.69"	100	—	2.06	70.9	東南區
36	109/07/22	21°51'30.19"	118°03'14.51"	3	—	1.14	243.0	西南區
37	109/07/22	21°51'30.19"	118°03'14.51"	120	—	1.96	243.0	西南區
38	109/07/22	21°51'30.19"	118°03'14.51"	700	—	—	243.0	西南區
39	109/08/01	25°23'42.12"	121°29'34.44"	3	—	1.27	11.5	西北區
40	109/08/01	25°23'42.12"	121°29'34.44"	50	—	1.25	11.5	西北區
41	109/08/01	25°23'42.12"	121°29'34.44"	75	—	1.37	11.5	西北區
42	109/08/01	25°23'42.12"	121°29'34.44"	80	—	1.40	11.5	西北區
43	109/08/01	25°23'24.12"	121°27'48.96"	3	—	0.99	12.5	西北區
44	109/08/01	25°23'24.12"	121°27'48.96"	50	—	1.12	12.5	西北區
45	109/08/01	25°23'24.12"	121°27'48.96"	75	—	1.52	12.5	西北區
46	109/08/01	25°23'24.12"	121°27'48.96"	85	—	1.37	12.5	西北區
47	109/08/13	21°53'51.90"	120°44'57.50"	1	—	1.58	2.6	東南區

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銩-134	銩-137		
48	109/08/13	21°54'20.30"	120°48'50.70"	1	—	1.10	2.6	東南區
49	109/08/13	21°57'18.90"	120°45'44.80"	1	—	1.40	0.4	東南區
50	109/09/25	21°08'29.54"	123°55'59.83"	3	—	0.73	261	東南區
51	109/09/25	21°08'29.54"	123°55'59.83"	100	—	0.86	261	東南區
52	109/09/25	21°08'29.54"	123°55'59.83"	150	—	1.18	261	東南區
53	109/09/24	21°08'42.15"	123°55'59.31"	200	—	1.01	260	東南區
54	109/09/24	21°08'42.15"	123°55'59.31"	300	—	1.92	260	東南區
55	109/09/24	21°08'42.15"	123°55'59.31"	400	—	1.95	260	東南區
56	109/09/24	21°08'42.15"	123°55'59.31"	600	—	1.53	260	東南區
57	109/09/24	21°08'42.15"	123°55'59.31"	1000	—	—	260	東南區
58	109/10/31	22°22'58.20"	120°19'24.61"	5	—	0.87	5.6	西南區
59	109/10/31	22°22'58.20"	120°19'24.61"	50	—	1.10	5.6	西南區
60	109/10/31	22°22'58.20"	120°19'24.61"	100	—	1.10	5.6	西南區
61	109/10/31	22°25'09.46"	120°20'54.58"	1	—	1.07	7.7	西南區
62	109/10/31	22°25'09.46"	120°20'54.58"	50	—	0.91	7.7	西南區
63	109/10/31	22°25'09.46"	120°20'54.58"	125	—	1.62	7.7	西南區
64	109/11/02	23°39'43.50"	119°51'18.42"	1	—	1.04	45.5	西區
65	109/11/02	23°39'43.50"	119°51'18.42"	50	—	1.22	45.5	西區
66	109/11/02	23°31'08.28"	119°54'41.16"	1	—	1.09	22.4	西區
67	109/11/02	23°31'08.28"	119°54'41.16"	50	—	1.19	22.4	西區
68	109/11/02	23°01'44.58"	120°00'50.40"	1	—	1.02	3.8	西區
69	109/11/02	23°01'44.58"	120°00'50.40"	50	—	1.05	3.8	西區
70	109/11/02	23°01'46.56"	119°59'08.76"	1	—	1.15	6.2	西區
71	109/11/02	23°01'46.56"	119°59'08.76"	50	—	1.00	6.2	西區
72	109/11/21	22°22'12.06"	120°19'34.67"	0	—	1.03	4.4	西南區
73	109/11/22	22°23'56.74"	120°20'22.13"	100	—	1.34	6.0	西南區
74	109/11/21	22°22'12.06"	120°19'34.67"	200	—	1.52	4.4	西南區
75	109/11/21	22°22'12.06"	120°19'34.67"	300	—	1.16	4.4	西南區
76	109/11/21	22°22'12.06"	120°19'34.67"	400	—	1.91	4.4	西南區
77	109/11/19	21°53'51.90"	120°44'57.50"	1	—	1.27	2.6	東南區
78	109/11/19	21°54'20.30"	120°48'50.70"	1	—	1.15	2.6	東南區
79	109/11/19	21°57'18.90"	120°45'44.80"	1	—	1.19	0.4	東南區
80	109/11/18	25°01'33.54"	122°10'54.29"	5	—	1.69	17.7	東北區
81	109/11/18	25°01'33.54"	122°10'54.29"	50	—	1.41	17.7	東北區
82	109/11/18	25°01'33.54"	122°10'54.29"	200	—	1.45	17.7	東北區

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銻-134	銻-137		
83	109/11/19	25°05'06.47"	122°01'00.65"	5	—	1.38	7.6	東北區
84	109/11/19	25°05'06.47"	122°01'00.65"	50	—	1.17	7.6	東北區
85	109/12/02	22°11'11.39"	120°26'05.63"	10	—	0.69	16.7	西南區
86	109/12/02	22°11'11.39"	120°26'05.63"	30	—	0.94	16.7	西南區
87	109/12/02	22°11'11.39"	120°26'05.63"	50	—	1.13	16.7	西南區
88	109/12/02	22°11'11.39"	120°26'05.63"	100	—	1.27	16.7	西南區
89	109/12/02	22°11'05.27"	120°25'50.52"	150	—	1.16	16.7	西南區
90	109/12/02	22°11'05.27"	120°25'50.52"	200	—	1.78	16.7	西南區
91	109/12/02	22°11'05.27"	120°25'50.52"	250	—	1.89	16.7	西南區
92	109/12/13	25°23'41.50"	121°29'32.10"	1	—	1.18	11.5	西北區
93	109/12/13	25°23'41.50"	121°29'32.10"	50	—	1.03	11.5	西北區
94	109/12/13	25°23'24.80"	121°27'50.10"	1	—	0.99	12.5	西北區
95	109/12/13	25°23'24.80"	121°27'50.10"	50	—	1.16	12.5	西北區

註：1. "—"表示小於最低可測活度(MDA)，銻 134 MDA 值為 0.5 毫貝克/升，銻 137 MDA 值為 0.5 毫貝克/升。

2. 海水深度 0 至 5 公尺內視為表層海水，深於 5 公尺之海水以深海取樣器採水。

3. 海水試樣核種分析量 40 公升，計測時間 200,000 秒。

表 4.1.2 跨部會取樣之海水加馬能譜分析結果(海巡署、水試所取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銻-134	銻-137		
1	109/01/04	22°00'00.00"	121°42'00.00"	0-5	—	1.03	10.4	蘭嶼東外海
2	109/01/04	21°54'00.00"	121°30'00.00"	0-5	—	1.27	13.6	蘭嶼南外海
3	109/01/04	21°54'00.00"	121°24'00.00"	0-5	—	1.03	19.7	蘭嶼西南
4	109/03/13	23°23'00.00"	119°37'00.00"	0-5	—	1.46	13.9	馬公東南
5	109/03/18	23°38'00.00"	119°25'00.00"	0-5	—	1.26	5.9	馬公西嶼
6	109/03/18	23°46'00.00"	119°26'00.00"	0-5	—	1.15	17.0	目斗嶼
7	109/03/13	20°30'00.00"	116°30'00.00"	0-5	—	1.37	28.8	東沙
8	109/03/13	20°30'00.00"	116°42'00.00"	0-5	—	1.21	12.6	東沙
9	109/03/13	20°48'00.00"	116°42'00.00"	0-5	—	1.32	8.2	東沙
10	109/03/16	10°24'00.00"	114°12'00.00"	0-5	—	1.05	17.6	南沙
11	109/03/19	10°30'00.00"	114°30'00.00"	0-5	—	1.02	18.8	南沙
12	109/03/19	10°30'00.00"	114°18'00.00"	0-5	—	1.12	15.3	南沙
13	109/03/30	21°48'00.02"	120°42'00.01"	0-5	—	0.85	13.5	白沙灣
14	109/03/30	21°57'36.00"	120°35'24.00"	0-5	—	1.18	11.9	關山
15	109/03/30	21°51'35.99"	120°55'48.00"	0-5	—	0.94	8.1	鵝鑾鼻
16	109/04/19	24°24'00.00"	118°30'00.00"	0-5	—	1.61	4.7	金門外海

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (貝克/升)		離岸距離 (公里)	區 域
					銩-134	銩-137		
17	109/04/19	24°22'12.00"	118°27'00.00"	0-5	—	1.41	4.5	金門外海
18	109/04/19	24°21'00.00"	118°19'12.00"	0-5	—	1.23	4.0	金門外海
19	109/04/26	22°00'00.00"	121°42'00.00"	0-5	—	0.86	10.4	蘭嶼東外海
20	109/04/26	21°54'00.00"	121°30'00.00"	0-5	—	0.88	13.6	蘭嶼南外海
21	109/04/26	21°54'00.00"	121°24'00.00"	0-5	—	0.74	19.7	蘭嶼西南
22	109/06/20	26°18'00.00"	120°24'00.00"	0-5	—	1.06	10.5	東引外海
23	109/06/27	26°28'12.00"	120°38'24.00"	0-5	—	1.18	17.1	東引外海
24	109/07/02	26°16'00.00"	120°36'00.00"	0-5	—	1.70	14.1	東引外海
25	109/06/22	26°02'24.00"	119°52'12.00"	0-5	—	1.25	12.1	南竿外海
26	109/06/22	26°03'36.00"	120°00'00.00"	0-5	—	1.55	10.9	南竿外海
27	109/06/22	26°08'24.00"	120°04'48.00"	0-5	—	1.63	11.6	南竿外海
28	109/07/14	23°30'00.00"	119°00'00.00"	0-5	—	1.14	48.2	ST42
29	109/07/14	24°00'00.00"	119°00'00.00"	0-5	—	1.06	64.9	ST43
30	109/07/14	24°30'00.00"	119°30'00.00"	0-5	—	1.25	99.7	ST48
31	109/07/15	25°00'00.00"	120°00'00.00"	0-5	—	1.60	85.3	ST49
32	109/07/15	25°30'00.00"	120°30'00.00"	0-5	—	1.29	75.5	ST52
33	109/07/16	25°30'00.00"	121°00'00.00"	0-5	—	1.40	48.6	ST54
34	109/07/16	25°30'00.00"	121°30'00.00"	0-5	—	0.98	22.6	ST55
35	109/07/16	25°30'00.00"	122°00'00.00"	0-5	—	1.25	42.0	ST62
36	109/07/16	25°30'00.00"	122°00'00.00"	0-5	—	1.33	42.0	ST62
37	109/08/18	25°18'00.02"	121°48'00.00"	0-5	—	1.72	15.6	八斗子外海
38	109/08/18	25°18'00.02"	121°54'00.02"	0-5	—	1.26	19.3	深澳外海
39	109/08/18	25°24'00.00"	121°42'00.01"	0-5	—	1.32	15.9	石門外海
40	109/08/19	21°48'00.00"	120°42'00.01"	0-5	—	1.03	13.5	白沙灣外海
41	109/08/19	21°57'36.00"	120°35'24.00"	0-5	—	1.10	11.9	關山外海
42	109/08/19	21°51'35.99"	120°55'48.00"	0-5	—	1.12	8.1	鵝鑾鼻外海
43	109/08/25	23°34'00.00"	119°32'00.00"	0-5	—	1.14	1.5	澎湖外海
44	109/08/26	23°11'00.00"	119°25'00.00"	0-5	—	1.00	1.0	澎湖外海
45	109/08/26	23°41'00.00"	119°28'00.00"	0-5	—	1.30	5.7	澎湖外海
46	109/09/01	24°24'00.00"	118°30'00.00"	0-5	—	1.32	4.7	金門外海
47	109/09/01	24°22'12.00"	118°27'00.00"	0-5	—	1.66	4.5	金門外海
48	109/09/01	24°21'00.00"	118°19'12.00"	0-5	—	1.35	4.0	金門外海
49	109/09/07	26°18'00.00"	120°24'00.00"	0-5	—	1.60	10.5	東引外海
50	109/09/12	26°17'00.00"	120°38'00.00"	0-5	—	1.27	15.2	東引外海
51	109/09/12	26°16'00.00"	120°36'00.00"	0-5	—	1.41	14.1	東引外海

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銻-134	銻-137		
52	109/09/27	26°02'24.00"	119°52'12.00"	0-5	—	1.01	12.1	南竿外海
53	109/09/27	26°03'36.00"	120°00'00.00"	0-5	—	1.22	10.9	南竿外海
54	109/09/27	26°08'24.00"	120°04'48.00"	0-5	—	1.57	11.6	南竿外海
55	109/09/29	25°18'00.02"	121°48'00.00"	0-5	—	1.05	15.6	八斗子外海
56	109/09/29	25°18'00.02"	121°54'00.02"	0-5	—	1.09	19.3	深澳外海
57	109/09/29	25°24'00.00"	121°42'00.01"	0-5	—	1.12	15.9	石門外海

註：1. "—"表示小於最低可測活度(MDA)，銻 134 MDA 值為 0.5 毫貝克/升，銻 137 MDA 值為 0.5 毫貝克/升。

2. 海水深度 0 至 5 公尺內視為表層海水，深於 5 公尺之海水以深海取樣器採水。

3. 海水試樣核種分析量 40 公升，計測時間 200,000 秒。

表 4.1.3 臺灣沿岸地區海水加馬能譜分析結果 (輻射偵測中心取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銻-134	銻-137		
1	109/01/14	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.33	0	西子灣
2	109/01/16	23°58'52.20"	121°37'27.70"	0-5	—	0.89	0	花蓮港
3	109/01/16	23°09'34.10"	121°24'10.90"	0-5	—	0.93	0	成功漁港
4	109/01/17	22°20'06.30"	120°53'49.70"	0-5	—	0.94	0	大武漁港
5	109/01/20	24°50'50.83"	120°55'28.19"	0-5	—	1.22	0	南寮漁港
6	109/01/21	23°58'19.09"	120°19'25.97"	0-5	—	1.11	0	王功漁港
7	109/01/22	23°27'10.94"	120°08'17.36"	0-5	—	1.04	0	東石漁港
8	109/02/03	24°34'55.12"	121°52'06.06"	0-5	—	0.87	0	南方澳
9	109/02/03	25°08'40.48"	121°47'29.32"	0-5	—	1.38	0	八斗子
10	109/02/13	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.34	0	西子灣
11	109/03/06	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.35	0	西子灣
12	109/04/01	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.11	0	西子灣
13	109/04/08	24°50'50.83"	120°55'28.19"	0-5	—	1.29	0	南寮漁港
14	109/04/09	23°58'19.09"	120°19'25.97"	0-5	—	1.20	0	王功漁港
15	109/04/10	23°27'10.94"	120°08'17.36"	0-5	—	1.19	0	東石漁港
16	109/04/14	24°34'55.12"	121°52'06.06"	0-5	—	1.16	0	南方澳
17	109/04/14	25°08'40.48"	121°47'29.32"	0-5	—	1.63	0	八斗子
18	109/04/23	23°58'52.20"	121°37'27.70"	0-5	—	1.10	0	花蓮港
19	109/04/23	23°09'34.10"	121°24'10.90"	0-5	—	1.13	0	成功漁港
20	109/04/24	22°20'06.30"	120°53'49.70"	0-5	—	1.09	0	大武漁港
21	109/05/04	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.06	0	西子灣

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		離岸距離 (公里)	區 域
					銫-134	銫-137		
22	109/06/03	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.08	0	西子灣
23	109/07/02	24°34'55.12"	121°52'06.06"	0-5	—	1.22	0	南方澳
24	109/07/06	24°50'50.83"	120°55'28.19"	0-5	—	1.03	0	南寮漁港
25	109/07/07	23°58'19.09"	120°19'25.97"	0-5	—	1.20	0	王功漁港
26	109/07/08	23°27'10.94"	120°08'17.36"	0-5	—	0.93	0	東石漁港
27	109/07/10	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.35	0	西子灣
28	109/07/14	25°08'40.48"	121°47'29.32"	0-5	—	1.22	0	八斗子
29	109/07/15	21°57'00.00"	120°39'00.00"	0-5	—	1.39	0	關山外海
30	109/07/20	22°20'06.30"	120°53'49.70"	0-5	—	1.17	0	大武漁港
31	109/07/21	23°58'52.20"	121°37'27.70"	0-5	—	1.43	0	花蓮港
32	109/07/21	23°09'34.10"	121°24'10.90"	0-5	—	1.33	0	成功漁港
33	109/08/10	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.18	0	西子灣
34	109/09/15	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.38	0	西子灣
35	109/10/05	24°50'50.83"	120°55'28.19"	0-5	—	0.83	0	南寮漁港
36	109/10/06	23°58'19.09"	120°19'25.97"	0-5	—	1.09	0	王功漁港
37	109/10/07	23°27'10.94"	120°08'17.36"	0-5	—	1.06	0	東石漁港
38	109/10/13	24°34'55.12"	121°52'06.06"	0-5	—	0.76	0	南方澳
39	109/10/13	25°08'40.48"	121°47'29.32"	0-5	—	1.22	0	八斗子
40	109/10/14	23°58'52.20"	121°37'27.70"	0-5	—	1.04	0	花蓮港
41	109/10/15	23°09'34.10"	121°24'10.90"	0-5	—	0.85	0	成功漁港
42	109/10/16	22°20'06.30"	120°53'49.70"	0-5	—	0.83	0	大武漁港
43	109/10/19	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	0.93	0	西子灣
44	109/11/03	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.16	0	西子灣
45	109/12/01	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.17	0	西子灣

註：1. "—"表示小於最低可測活度(MDA)，銫 134 MDA 值為 0.5 毫貝克/升，銫 137 MDA 值為 0.5 毫貝克/升。

2. 海水試樣核種分析量 60 公升，計測時間 120,000 秒。

^{137}Cs (Bq m⁻³)

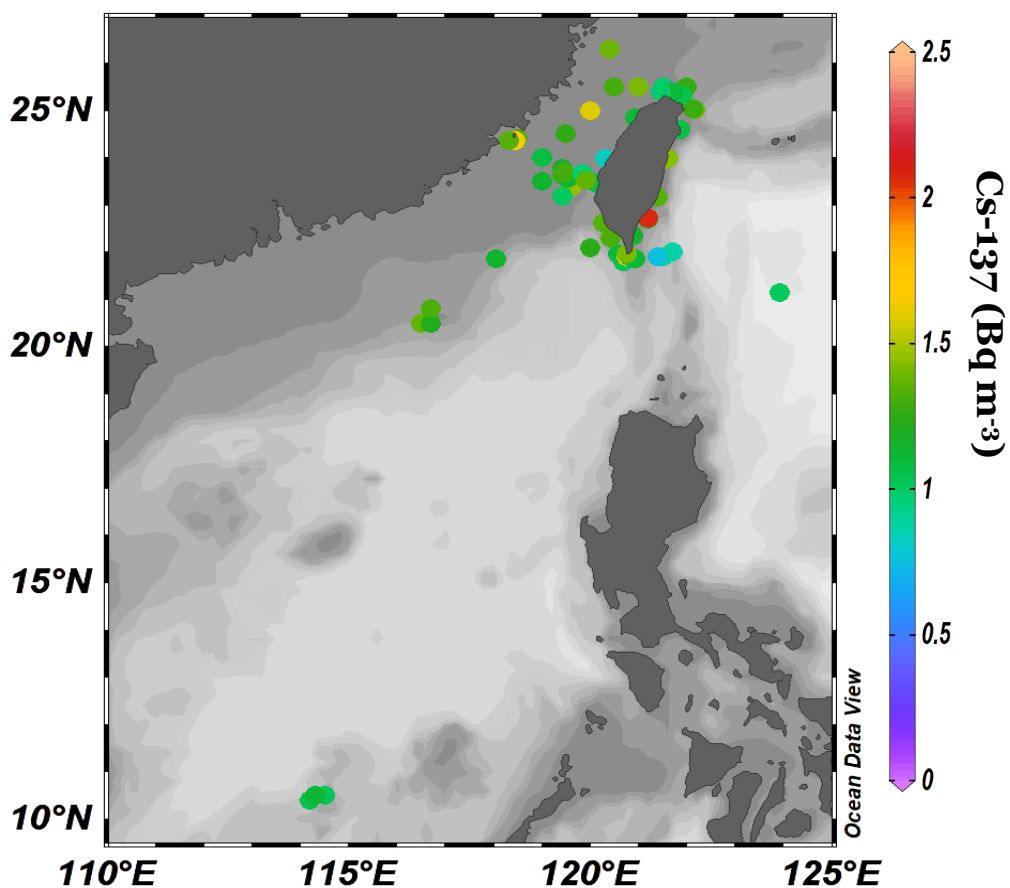
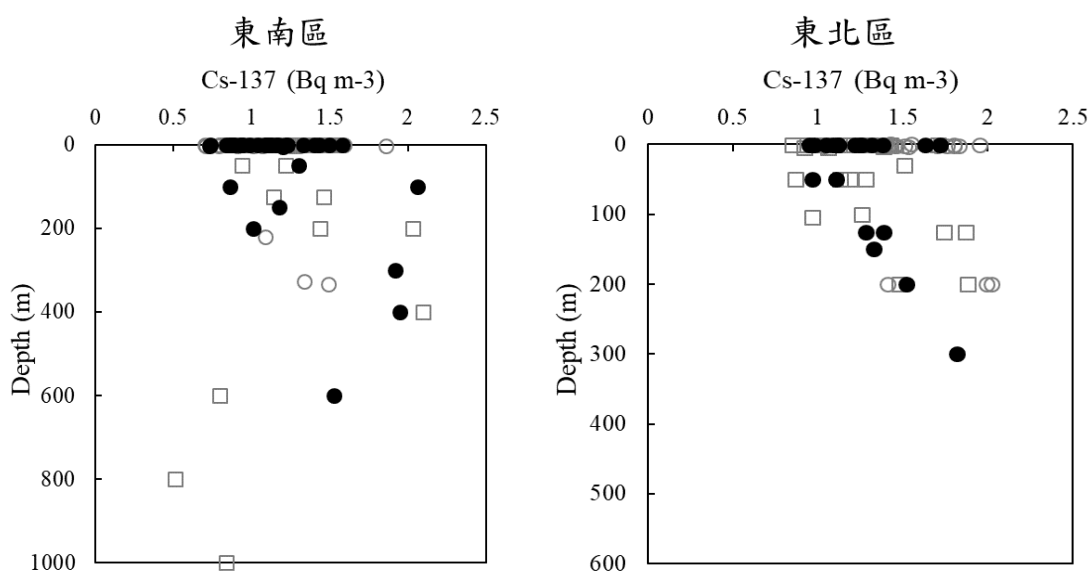


圖 4.1.1 海水取樣位置點



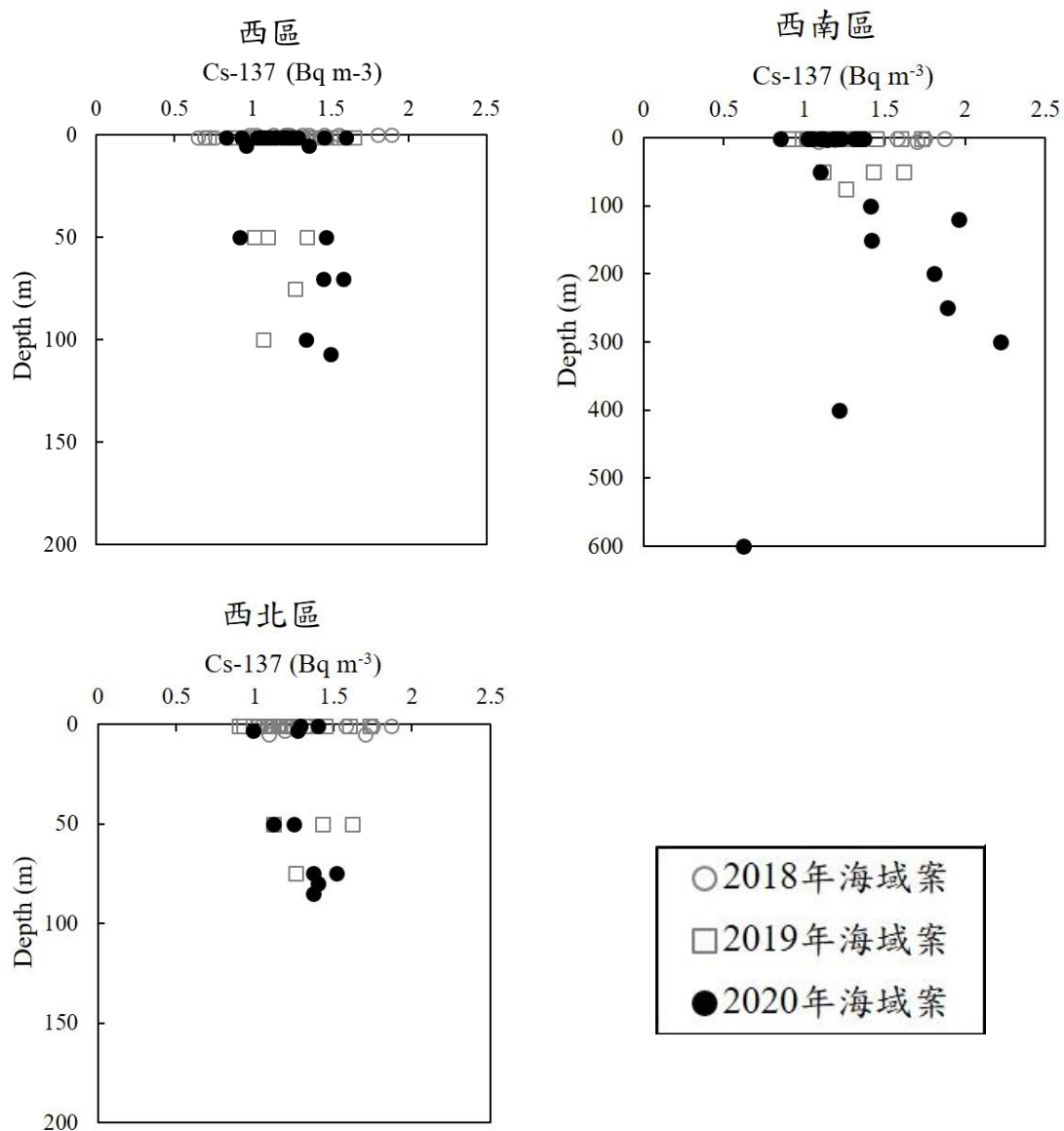


圖 4.1.2 為臺灣海域各深度海水銫-137 活度剖面圖，初步顯示臺灣東北、西南及東南區在水深 200 公尺~400 公尺處量測到的銫-137 活度相對於其他區域的水層較高，其存在的密度層訊號與亞熱帶典型水團相似，因此推測其銫-137 活度相對高值，可能來自福島事件之排放水經由太平洋路徑影響台灣海域，未來仍須持續追蹤及利用更多海水分析數據進一步探討驗證水團來源、走向，相關詳細說明請參閱 109 年台灣海域輻射背景調查計畫期末報告第 18~19 頁。

(二) 海水放射性氚分析結果

本中心自 108 年第 4 季起即加強臺灣沿岸之海水氚監測，又於 109 年 5 月起，因應我國因應日本福島核能電廠氚廢水排放之政策，加強跨部會監測台灣海域氚監測。表 4.1.4~表 4.1.6 為各單位取樣數量及氚分析結果。

表 4.1.4 臺灣沿岸地區海水氚分析結果 (輻射偵測中心取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氚活度 (貝克/升)	離岸距離 (公里)	區域
1	109/01/13	21°56'04.60"	120°43'01.60"	0-5	—	0	白沙
2	109/04/14	25°08'40.48"	121°47'29.32"	0-5	—	0	八斗子
3	109/01/14	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	0	西子灣
4	109/02/03	25°08'40.48"	121°47'29.32"	0-5	—	0	八斗子
5	109/07/01	21°56'04.60"	120°43'01.60"	0-5	—	0	白沙
6	109/07/02	21°56'21.30"	120°45'05.11"	0-5	—	1	核三外海點 1
7	109/07/02	21°55'38.31"	120°45'17.24"	0-5	—	1	核三外海點 2
8	109/07/02	21°55'21.82"	120°44'40.73"	0-5	—	1	核三外海點 3
9	109/07/02	21°56'07.83"	120°44'56.47"	0-5	—	0.5	核三外海點 4
10	109/07/02	21°55'45.98"	120°45'02.23"	0-5	—	0.5	核三外海點 5
11	109/07/02	21°55'37.48"	120°44'43.51"	0-5	—	0.5	核三外海點 6
12	109/07/02	21°56'08.88"	120°44'51.64"	0-5	—	0.25	核三外海點 7
13	109/07/02	21°55'49.65"	120°44'54.60"	0-5	—	0.25	核三外海點 8
14	109/07/02	21°55'45.91"	120°44'45.09"	0-5	—	0.25	核三外海點 9
15	109/07/02	21°56'18.96"	120°44'42.00"	0-5	—	0	核三沿海點 1
16	109/07/02	21°56'09.24"	120°44'46.00"	0-5	—	0	核三沿海點 2
17	109/07/02	21°55'58.79"	120°44'46.00"	0-5	—	0	核三沿海點 3
18	109/07/02	21°55'55.19"	120°44'42.00"	0-5	—	0	核三沿海點 5
19	109/07/02	21°55'37.19"	120°44'20.40"	0-5	—	0	核三沿海點 6
20	109/07/02	21°56'01.00"	120°44'43.70"	0-5	—	0	核三沿海點 8
21	109/07/02	21°57'10.60"	120°45'02.10"	0-5	—	0	核三沿海點 9
22	109/07/02	24°34'55.12"	121°52'06.06"	0-5	—	0	南方澳
23	109/07/04	22°00'16.60"	121°35'35.90"	0-5	—	0	蘭嶼 SS502
24	109/07/04	22°00'19.40"	121°35'37.00"	0-5	—	0	蘭嶼 SS50-2
25	109/07/04	22°00'13.10"	121°35'33.60"	0-5	—	0	蘭嶼 SS50-4
26	109/07/06	24°50'50.83"	120°55'28.19"	0-5	—	0	南寮漁港
27	109/07/07	23°58'19.09"	120°19'25.97"	0-5	—	0	王功漁港

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氚活度 (貝克/升)	離岸距離 (公里)	區域
28	109/07/08	23°27'10.94"	120°08'17.36"	0-5	—	0	東石漁港
29	109/07/10	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	0	西子灣
30	109/07/14	25°08'40.48"	121°47'29.32"	0-5	—	0	八斗子
31	109/07/20	22°20'06.30"	120°53'49.70"	0-5	—	0	大武漁港
32	109/07/21	23°58'52.20"	121°37'27.70"	0-5	—	0	花蓮港
33	109/07/21	23°09'34.10"	121°24'10.90"	0-5	—	0	成功漁港

註：1. "—"表示小於最低可測活度(MDA)，氚MDA 值為 2.03 貝克/升。

2. 試樣分析量 10 毫升加入液體閃爍劑 10 毫升，每次計測時間 50 分鐘，計測 10 次。

表 4.1.5 臺灣離岸(含離島)海水氚分析結果 (海保署、海巡署取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氚活度 (貝克/升)	離岸距 離(公里)	區域
1	109/05/04	22°54'38.40"	120°06'52.10"	1	—	6.2	二仁溪海域
2	109/05/05	22°24'49.50"	120°23'33.70"	1	—	7.0	高屏溪海域
3	109/05/06	21°55'31.70"	120°45'22.90"	1	—	1.2	核三出水口海域
4	109/05/07	23°51'58.60"	120°10'57.20"	1	—	4.3	濁水溪海域
5	109/05/11	22°35'16.50"	120°15'45.80"	1	—	1.8	高雄港外海
6	109/05/12	23°44'02.10"	119°36'56.20"	1	—	0.5	吉貝海域
7	109/05/13	23°11'24.40"	119°25'03.60"	1	—	0.5	七美海域
8	109/05/14	23°26'03.30"	120°03'55.50"	1	—	7.2	朴子溪海域
9	109/05/21	22°45'03.60"	121°13'50.80"	1	—	5.8	卑南溪海域
10	109/05/18	26°23'41.90"	120°28'45.50"	52	—	1.2	東引海域
11	109/05/20	24°08'24.00"	121°50'42.00"	197	—	16.8	和平溪海域
12	109/05/20	26°14'17.90"	120°01'06.70"	23	—	1.3	北竿海域
13	109/05/26	24°26'23.60"	118°28'32.40"	9.1	—	0.3	金門海域
14	109/05/25	24°49'55.00"	121°56'31.00"	60	—	0.6	龜山島海域
15	109/05/26	25°02'43.00"	121°56'18.00"	11	—	0.6	核四預定地海域
16	109/05/27	24°48'21.00"	120°50'57.00"	35	—	4.9	客雅溪海域
17	109/05/27	24°12'33.00"	120°25'32.00"	19	—	3.7	大肚溪海域
18	109/05/28	25°12'32.10"	121°22'18.80"	37	—	4.3	淡水河海域
19	109/10/26	24°28'04.60"	118°21'08.50"	5	—	0.32	金門海域
20	109/10/26	26°14'60.30"	120°01'60.30"	19	—	3.2	北竿海域
21	109/10/27	26°21'49.68"	120°30'41.70"	50	—	0.14	東引海域
22	109/10/15	22°54'38.40"	120°06'52.10"	1	—	6.2	二仁溪海域
23	109/10/19	22°24'49.50"	120°23'33.70"	1	—	7	高屏溪海域

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氚活度 (貝克/升)	離岸距 離(公里)	區域
24	109/10/07	21°55'31.70"	120°45'22.90"	1	—	1.2	核三出水口海域
25	109/10/14	23°51'58.60"	120°10'57.20"	1	—	4.3	濁水溪海域
26	109/10/05	22°35'16.50"	120°15'45.80"	1	—	1.8	高雄港外海
27	109/11/09	23°44'02.10"	119°36'56.20"	1	—	0.5	吉貝海域
28	109/11/08	23°11'24.40"	119°25'03.60"	1	—	0.5	七美海域
29	109/10/16	23°26'03.30"	120°03'55.50"	1	—	7.2	朴子溪海域
30	109/11/11	22°45'03.60"	121°13'50.80"	1	—	5.8	卑南溪海域
31	109/11/16	24°48'20.30"	120°49'52.30"	35.5	—	6.7	客雅溪海域
32	109/11/16	24°12'32.80"	120°25'27.60"	20.0	—	3.8	大肚溪海域
33	109/11/18	25°12'28.40"	121°22'18.90"	39	—	4.3	淡水河海域
34	109/11/19	25°02'72.10"	121°56'35.20"	13.3	—	1.1	核四預定地海域
35	109/11/20	24°49'15.20"	121°56'54.60"	50	—	1.7	龜山島海域
36	109/11/26	24°18'23.20"	121°50'54.20"	1854	—	7.8	和平溪海域
37	109/08/14	20°30'00.00"	116°30'00.00"	1	—	28.8	東沙外海
38	109/08/14	20°30'00.00"	116°42'00.00"	1	—	12.6	東沙外海
39	109/08/14	20°48'00.00"	116°42'00.00"	1	—	8.2	東沙外海
40	109/08/19	10°24'00.00"	114°12'00.00"	1	—	17.6	南沙外海
41	109/08/19	10°30'00.00"	114°30'00.00"	1	—	18.8	南沙外海
42	109/08/19	10°30'00.00"	114°18'00.00"	1	—	15.3	南沙外海

註：1. "—"表示小於最低可測活度(MDA)，氚MDA值為 2.03 貝克/升。

2. 試樣分析量 10 毫升加入液體閃爍劑 10 毫升，每次計測時間 50 分鐘，計測 10 次。

表 4.1.6 臺灣鄰近海域海水氡分析結果 (中山大學取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氡活度 (貝克/升)	離岸距 離(公里)	區域
1	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	5	—	5	高雄外海
2	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	100	—	100	高雄外海
3	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	200	—	200	高雄外海
4	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	300	—	300	高雄外海
5	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	400	0.44	400	高雄外海
6	109/05/10	22°05'14.76"	119°59'36.05"	600	—	600	高雄外海
7	109/05/20	21°53'51.90"	120°44'57.50"	1	—	1	後壁湖外海
8	109/05/20	21°54'20.30"	120°48'50.70"	1	—	1	香蕉灣外海
9	109/05/20	21°57'18.90"	120°45'44.80"	1	—	1	南灣外海
10	109/06/04	25°00'31.08"	122°10'09.99"	1	—	1	貢寮外海
11	109/06/04	25°00'31.08"	122°10'09.99"	50	—	50	貢寮外海
12	109/06/04	25°00'36.76"	122°09'59.68"	125	0.56	125	貢寮外海
13	109/06/04	25°00'36.76"	122°09'59.68"	300	0.56	300	貢寮外海
14	109/06/04	25°01'52.69"	122°08'19.99"	1	0.57	1	貢寮外海
15	109/06/04	25°01'52.69"	122°08'19.99"	50	—	50	貢寮外海
16	109/06/04	25°02'08.54"	122°08'28.73"	125	0.51	125	貢寮外海
17	109/06/04	25°02'08.54"	122°08'28.73"	200	—	200	貢寮外海
18	109/07/05	22°42'00.11"	122°12'02.19"	5	—	5	綠島外海
19	109/07/05	22°43'00.47"	122°12'02.91"	50	—	50	綠島外海
20	109/07/05	22°43'01.04"	122°12'03.69"	100	—	100	綠島外海
21	109/07/22	21°51'30.19"	118°03'14.51"	3	0.52	3	高雄外海
22	109/07/22	21°51'30.19"	118°03'14.51"	120	—	120	高雄外海
23	109/07/22	21°51'30.19"	118°03'14.51"	700	—	700	高雄外海
24	109/08/01	25°23'42.12"	121°29'34.44"	3	0.49	3	石門外海
25	109/08/01	25°23'42.12"	121°29'34.44"	50	—	50	石門外海
26	109/08/01	25°23'42.12"	121°29'34.44"	75	—	75	石門外海
27	109/08/01	25°23'42.12"	121°29'34.44"	80	—	80	石門外海
28	109/08/01	25°23'24.12"	121°27'48.96"	3	0.36	3	石門外海
29	109/08/01	25°23'24.12"	121°27'48.96"	50	0.50	50	石門外海
30	109/08/01	25°23'24.12"	121°27'48.96"	75	0.59	75	石門外海
31	109/08/01	25°23'24.12"	121°27'48.96"	85	—	85	石門外海
32	109/09/25	21°08'29.54"	123°55'59.83"	3	—	3	蘭嶼外海
33	109/09/25	21°08'29.54"	123°55'59.83"	50	—	50	蘭嶼外海

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氚活度 (貝克/升)	離岸距 離(公里)	區域
34	109/09/25	21°08'29.54"	123°55'59.83"	100	0.50	100	蘭嶼外海
35	109/09/25	21°08'29.54"	123°55'59.83"	150	—	150	蘭嶼外海
36	109/09/24	21°08'42.15"	123°55'59.31"	200	0.71	200	蘭嶼外海
37	109/09/24	21°08'42.15"	123°55'59.31"	300	0.82	300	蘭嶼外海
38	109/09/24	21°08'42.15"	123°55'59.31"	400	—	400	蘭嶼外海
39	109/09/24	21°08'42.15"	123°55'59.31"	600	—	600	蘭嶼外海
40	109/09/24	21°08'42.15"	123°55'59.31"	1000	0.40	1000	蘭嶼外海

註：1. "—"表示小於最低可測活度(MDA)，氚MDA值為0.36貝克/升。

2. 試樣分析量 50 毫升加入液體閃爍劑 50 毫升，每次計測時間 50 分鐘，計測 10 次。

本年度因應日本福島氚廢水排放，本中心積極研究海水中氚含量分析技術，技術開發過程中，選擇中山大學取樣之海水進行低活度氚技術建立樣品，採用 50 毫升海水樣品加液體閃爍劑 50 毫升，再進行計測，可以得到較低之最低可測活度(MDA=0.36)，此方法可應用於海水科學研究之用，對於一般環境監測則持續採用 10 毫升海水樣品加液體閃爍劑 10 毫升之方法進行分析。

本年度完成之海水氚分析樣品共 115 件，氚分析結果顯示臺灣鄰近海域與沿岸海水之氚活度皆低於儀器最低可測活度，中山大學基於深海科學研究，測得氚活度低於 0.82 貝克/升，皆無輻射異常現象。

(三) 沉積物加馬能譜分析結果

本計畫沉積物包含岸沙、河砂、海底沉積物及海底岩心，海底沉積物及海底岩心委由國立中山大學利用海洋研究船採集，離島海域之岸沙則委由海巡署採集，本中心負責每季於臺灣沿岸 9 大漁港採集岸沙及臺灣主要河川上、中、下游附近採集河砂。

中山大學在臺灣海域之西南區採集 8 個、東南區採集 1 個、東北區採集 1 個、西區採集 3 個之海底沉積物，並於東南區採集海底柱狀岩心沉積物 1 個，全年共計 13 個海底沉積物及 1 個柱狀岩心沉積物。

海巡署採集之岸沙，分布於金門、馬祖(南竿、東引)、澎湖、東沙及南沙，採樣頻率分冬、夏 2 季，109 年共採集 12 件離島岸沙樣品。本中心 109 年每季採集南寮、王功、布袋、成功、大武、前鎮、南方澳、八斗子及花蓮漁港之岸沙，並且採集淡水河、濁水溪、秀姑巒溪、將軍溪及高屏溪等 5 條河川上、中、下游之河砂。

上述沉積物之取樣地點位置以地圖標示，詳如圖 4.1.3，其人工核種放射性分析結果整理如下：

由本計畫採集之海底沉積物中，僅於東北區及西南區測得微量銫-137 活度為低於 0.82 (貝克/千克·乾重)，另其他天然放射性核種分析如下，鉀-40 活度為 88 至 981 (貝克/千克·乾重)、鈾系列低於 54 (貝克/千克·乾重)及鈾系列低於 33(貝克/千克·乾重)，鈷-60、銫-134、則低於最低可測活度，分析結果如表 4.1.7。

海底柱狀岩心樣品因取得不易，具有其他研究價值，例如地殼變化、水文循環及沉積物化物特性分析等，故取樣單位有其他海洋學術研究之需求，本計畫 109 年度已於 7 月 5 日於台東外海(東南區)取得岩心樣本，但因其他研究所需以致延宕送交本中心，截至本報告完稿前尚未完成前處理及分析，預計 110 年 1 月底可完成放射性分析。

本中心(含委託海巡署)於臺灣沿岸地區採集岸(河)沙共 69 件，加馬能譜分析結果如表 4.1.8，銫-137 活度低於 0.76 (貝克/千克·乾重)、鉀-40 活度為 3 至 739 (貝克/千克·乾重)、鈾系列低於 51 (貝克/千克·乾重)及鈾系列低於 32 (貝克/千克·乾重)，鈷-60、銫-134 則低於最低可測活度。

本計畫共計採樣分析沉積物 82 件及柱狀岩心 1 件，初步分析結果無輻射異常現象，且截至目前之分析數據尚未發現有區域或海洋深度之明顯差異性。

表 4.1.7 海底沉積物加馬能譜分析結果(國立中山大學取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	離岸 距離 (公里)	活 度 (貝克/千克·乾重)						深度 (m)	分區
					銻-134	銻-137	鉀-40*	鈷-60	鈷系列*	鈾系列*		
1	109/05/07	22°41'34.68"	120°11'04.98"	7.7	—	—	512	—	29	18	27	西南區
2	109/05/07	22°57'46.20"	120°04'06.30"	7.5	—	—	520	—	31	19	22	西南區
3	109/05/07	23°16'06.59"	119°09'32.69"	26.4	—	—	522	—	33	22	23	西區
4	109/05/07	23°15'17.22"	120°00'04.98"	8.7	—	—	556	—	42	26	16	西區
5	109/05/07	23°53'33.17"	120°10'26.64"	7.1	—	—	434	—	22	15	26	西區
6	109/06/04	25°01'41.40"	122°09'06.12"	14.8	—	0.58	646	—	42	25	252	東北區
7	109/07/04	22°10'18.24"	120°24'50.39"	17.6	—	0.82	746	—	41	24	406	西南區
8	109/07/05	22°43'04.56"	121°12'07.80"	5.2	—	—	981	—	54	33	280	東南區
9	109/07/27	22°22'52.61"	116°29'44.25"	372.0	—	0.18	496	—	16	9	45	西南區
10	109/07/28	22°40'18.43"	117°11'39.30"	295.0	—	—	120	—	6	3	41	西南區
11	109/07/28	22°42'56.00"	118°42'53.00"	141.0	—	—	88	—	6	5	34	西南區
12	109/11/21	22°22'01.80"	120°20'10.50"	3.4	—	0.51	889	—	55	33	150	西南區
13	109/11/21	22°22'37.02"	120°19'00.83"	5.6	—	0.51	844	—	57	34	568	西南區

註：1. "—"表示小於最低可測活度(MDA)，鉀 40 MDA 值為 1.28 貝克/千克，鈷 60 MDA 值為 0.11 貝克/千克、銻 134 MDA 值為 0.09 貝克/千克、銻 137 MDA 值為 0.06 貝克/千克、鈷系列 MDA 值為 0.31 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 0.22 貝克/千克。

2. "*"表示天然放射性核種。

3. 沉積物樣品計測時間 120,000 秒。

表 4.1.8 臺灣沿岸地區岸(河)沙加馬能譜分析結果(偵測中心及海巡署取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	活 度 (貝克/千克·乾重)						備註
				銻-134	銻-137	鉀-40*	鈷-60	鈷系列*	鈾系列*	
1	109/01/07	22°03'18.90"	121°33'51.90"	—	—	67	—	5	5	蘭嶼東清村
2	109/01/14	22°37'29.60"	120°15'46.50"	—	0.06	562	—	33	20	西子灣
3	109/01/16	23°58'33.80"	121°37'10.00"	—	0.07	220	—	18	13	花蓮港
4	109/01/16	23°10'59.10"	121°23'53.10"	—	—	98	—	4	3	成功漁港
5	109/01/17	22°20'06.30"	120°53'49.70"	—	0.10	474	—	27	18	大武漁港
6	109/01/20	24°51'02.76"	120°55'47.60"	—	0.19	487	—	29	19	南寮漁港
7	109/01/21	23°58'19.09"	120°19'25.97"	—	—	381	—	30	18	王功漁港
8	109/01/22	23°23'05.30"	120°09'03.80"	—	—	400	—	30	17	布袋漁港
9	109/02/03	24°34'55.12"	121°52'06.06"	—	0.30	577	—	35	21	南方澳
10	109/02/03	25°08'40.48"	121°47'29.32"	—	—	104	—	5	4	八斗子

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	活 度 (貝克/千克·乾重)						備註
				銻-134	銻-137	鉀-40*	鈷-60	鈾系列*	鈾系列*	
11	109/02/06	25°03'04.70"	121°30'19.20"	—	0.63	739	—	51	29	淡水河上游
12	109/02/06	25°07'31.20"	121°27'15.70"	—	0.60	563	—	34	21	淡水河中游
13	109/02/06	25°09'49.00"	121°25'18.30"	—	0.29	484	—	34	1	淡水河下游
14	109/03/18	23°34'12.00"	119°33'46.80"	—	0.09	74	—	3	2	澎湖觀音亭
15	109/03/16	20°41'59.99"	116°43'00.00"	—	—	9	—	—	1	東沙
16	109/03/17	10°13'12.00"	114°12'35.99"	—	—	3	—	—	1	南沙
17	109/04/01	22°37'29.60"	120°15'46.50"	—	—	590	—	35	22	西子灣
18	109/04/08	24°51'02.76"	120°55'47.60"	—	0.15	443	—	26	17	南寮漁港
19	109/04/08	24°16'55.70"	120°46'44.10"	—	—	564	—	31	23	大甲溪
20	109/04/09	23°58'19.09"	120°19'25.97"	—	—	361	—	29	19	王功漁港
21	109/04/09	23°58'10.00"	121°07'07.80"	—	—	732	—	50	29	濁水溪上游
22	109/04/09	23°48'59.30"	120°45'43.50"	—	—	589	—	43	25	濁水溪中游
23	109/04/09	23°49'50.30"	120°19'07.00"	—	—	589	—	47	26	濁水溪下游
24	109/04/10	23°22'55.42"	120°07'54.79"	—	—	502	—	19	12	布袋漁港
25	109/04/14	24°34'55.12"	121°52'06.06"	—	0.33	562	—	35	23	南方澳
26	109/04/14	25°08'40.48"	121°47'29.32"	—	—	95	—	5	4	八斗子
27	109/04/19	24°24'39.00"	118°26'00.20"	—	—	705	—	26	17	金門料羅灣
28	109/04/22	23°09'24.00"	121°14'14.00"	—	—	426	—	24	17	秀姑巒溪上游
29	109/04/22	23°19'19.40"	121°19'55.30"	—	—	487	—	28	19	秀姑巒溪中游
30	109/04/22	23°29'14.50"	121°24'09.10"	—	—	426	—	26	17	秀姑巒溪下游
31	109/04/23	23°58'33.80"	121°37'10.00"	—	—	200	—	12	10	花蓮港
32	109/04/23	23°10'59.10"	121°23'53.10"	—	—	152	—	6	5	成功漁港
33	109/04/24	22°20'06.30"	120°53'49.70"	—	—	429	—	24	16	大武漁港
34	109/05/05	23°09'50.10"	120°14'04.30"	—	—	689	—	43	28	將軍溪上游
35	109/05/05	23°13'07.07"	120°10'36.10"	—	—	488	—	28	18	將軍溪中游
36	109/05/05	23°13'38.30"	120°07'22.00"	—	0.76	564	—	41	23	將軍溪下游
37	109/05/05	23°13'15.20"	120°05'00.60"	—	—	384	—	21	14	馬沙溝
38	109/05/15	22°46'13.40"	120°27'02.20"	—	—	575	—	39	26	高屏溪上游
39	109/05/15	22°39'44.80"	120°25'50.50"	—	—	536	—	40	28	高屏溪中游
40	109/05/15	22°29'59.20"	120°24'56.10"	—	—	655	—	43	32	高屏溪下游
41	109/06/20	26°09'28.80"	119°55'02.64"	—	—	692	—	10	8	南竿
42	109/07/03	26°22'14.87"	120°29'02.75"	—	0.50	643	—	31	20	東引
43	109/07/02	24°34'55.12"	121°52'06.06"	—	0.22	625	—	37	24	南方澳
44	109/07/06	24°16'55.70"	120°46'44.10"	—	—	468	—	27	21	大甲溪
45	109/07/06	24°51'02.76"	120°55'47.60"	—	0.14	457	—	26	17	南寮漁港
46	109/07/07	23°58'19.09"	120°19'25.97"	—	—	330	—	29	18	王功漁港

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	活 度 (貝克/千克·乾重)						備註
				銫-134	銫-137	鉀-40*	鈷-60	鈾系列*	鈾系列*	
47	109/07/07	22°39'44.80"	120°25'50.50"	—	—	586	—	39	22	高屏溪
48	109/07/08	23°22'55.42"	120°07'54.79"	—	—	388	—	31	18	布袋漁港
49	109/07/10	22°37'29.60"	120°15'46.50"	—	—	581	—	34	18	西子灣
50	109/07/14	25°08'40.48"	121°47'29.32"	—	—	91	—	5	4	八斗子
51	109/07/20	22°20'06.30"	120°53'49.70"	—	—	192	—	12	10	大武漁港
52	109/07/21	23°58'33.80"	121°37'10.00"	—	—	411	—	22	—	花蓮港
53	109/07/21	23°10'59.10"	121°23'53.10"	—	0.11	157	—	6	5	成功漁港
54	109/07/05	22°03'18.90"	121°33'51.90"	—	—	148	—	10	—	蘭嶼東清村
55	109/08/14	20°41'59.99"	116°43'00.00"	—	—	3	—	—	0.39	東沙
56	109/08/18	10°13'12.00"	114°12'35.99"	—	—	10	—	1	1	南沙
57	109/08/26	23°34'12.00"	119°33'46.80"	—	0.05	82	—	3	3	澎湖觀音亭
58	109/09/01	24°24'39.00"	118°26'00.20"	—	—	723	—	3	14	金門料羅灣
59	109/09/21	26°22'14.87"	120°29'02.75"	—	—	722	—	23	19	東引
60	109/09/29	26°09'28.80"	119°55'02.64"	—	—	576	—	9	8	南竿
61	109/10/05	24°51'02.76"	120°55'47.60"	—	0.11	378	—	27	18	南寮漁港
62	109/10/06	23°58'19.09"	120°19'25.97"	—	—	380	—	27	18	王功漁港
63	109/10/07	23°22'55.42"	120°07'54.79"	—	—	389	—	47	30	布袋漁港
64	109/10/13	24°34'55.12"	121°52'06.06"	—	0.33	577	—	38	24	南方澳
65	109/10/13	25°08'40.48"	121°47'29.32"	—	—	114	—	6	5	八斗子
66	109/10/14	23°58'33.80"	121°37'10.00"	—	—	158	—	10	9	花蓮港
67	109/10/15	23°10'59.10"	121°23'53.10"	—	0.06	125	—	6	4	成功漁港
68	109/10/16	22°20'06.30"	120°53'49.70"	—	—	457	—	27	17	大武漁港
69	109/10/19	22°37'29.60"	120°15'46.50"	—	—	584	—	35	21	西子灣

註：1. "—"表示小於最低可測活度(MDA)，鉀 40 MDA 值為 1.28 貝克/千克，鈷 60 MDA 值為 0.11 貝克/千克、銫 134 MDA 值為 0.09 貝克/千克、銫 137 MDA 值為 0.06 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 0.31 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 0.22 貝克/千克。

2. "*"表示天然放射性核種，沉積物樣品計測時間 120,000 秒。

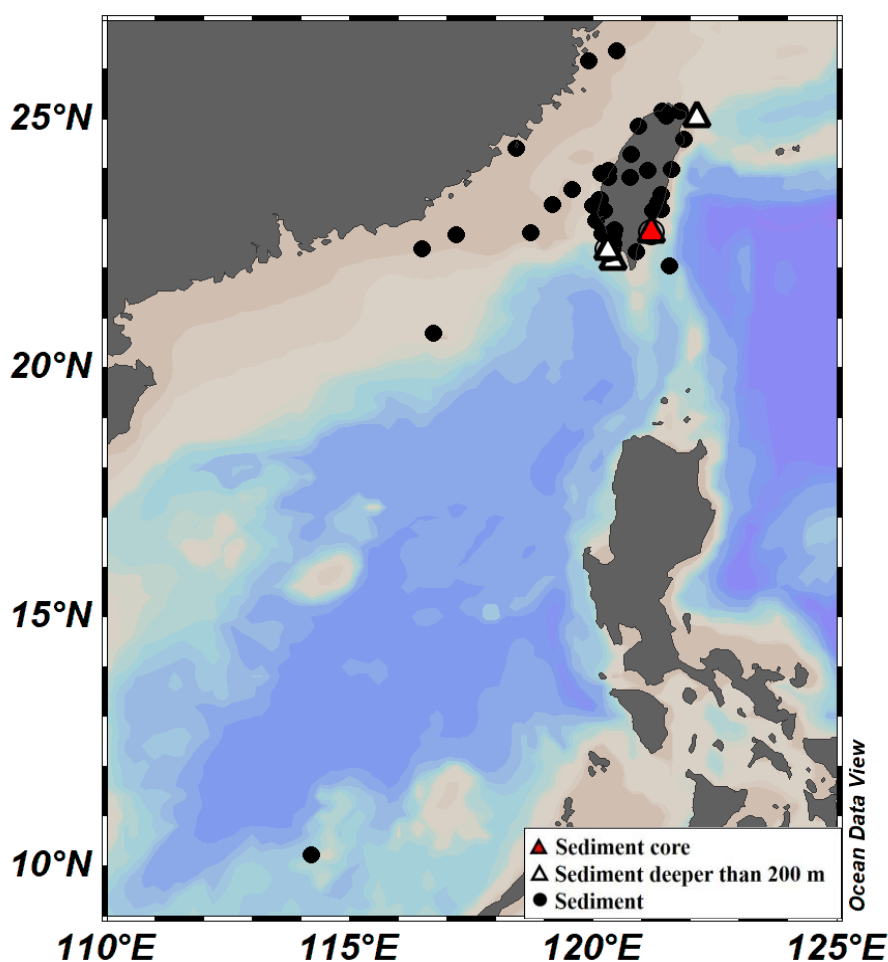


圖 4.1.3 岸沙、河砂、海底沉積物取樣位置圖

(四) 海產物加馬能譜分析結果

本計畫執行臺灣海域海產物樣品包含魚類、蝦類、貝類及藻類等之放射性分析，本中心委託國立嘉義大學及財團法人臺灣海洋保育與漁業永續基金會等漁業專業單位協助取樣，採樣範圍均勻分布含括臺灣海域之五大區域(如圖 4.1.4)。臺灣海域海產物加馬能譜分析結果，鉀-40 活度為 62 至 348 (貝克/千克·鮮重)、銫-137 活度低於 0.61 (貝克/千克·鮮重)、銫-134 及碘-131 則低於最低可測活度，詳如表 4.1.9。

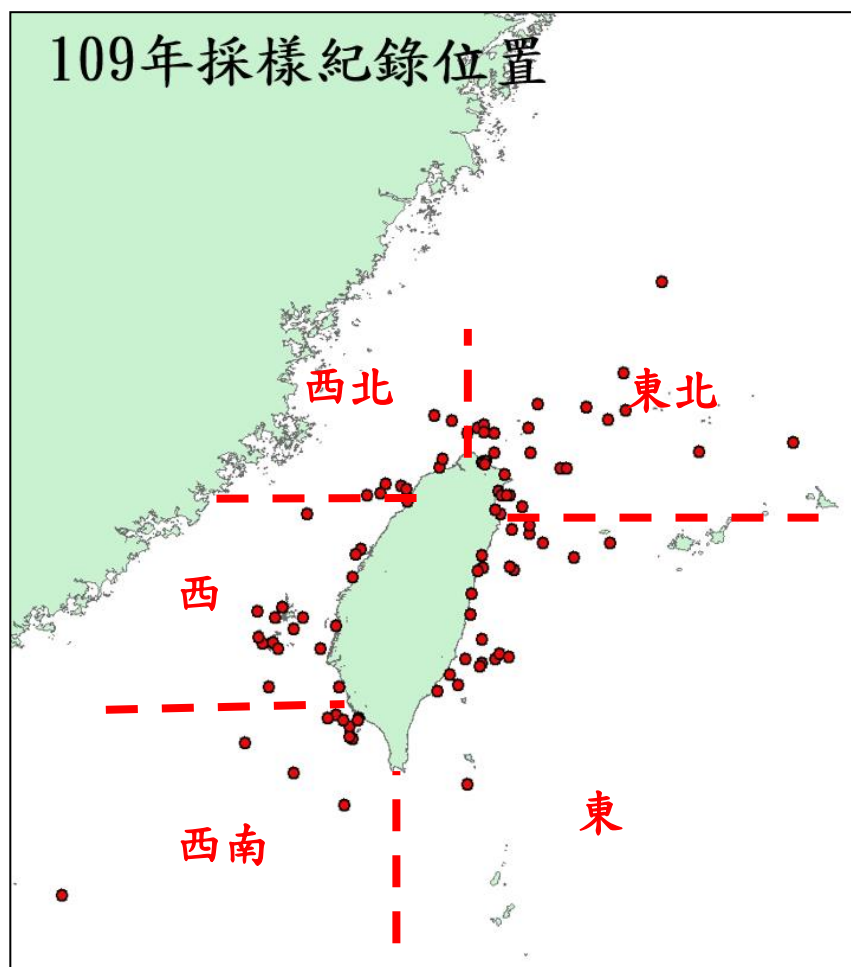


圖 4.1.4 海產物取樣位置圖

表 4.1.9 臺灣鄰近海域海產物加馬能譜分析結果

樣品編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	捕獲地點	活度 (貝克/千克·乾重)					
					鉀-40*	碘-131	銻-134	銻-137	鈷系列*	鈾系列*
1	大洋洄游魚類	杜氏鰱 / 紅甘	109/03/21	東北區	252	—	—	0.43	—	—
2		東方齒鯊	109/03/21	東北區	152	—	—	0.22	—	—
3		鰭鮪	109/03/21	西北區	134	—	—	0.15	—	—
4		杜氏鰱 / 紅甘	109/04/13	東北區	167	—	—	0.43	—	—
5		帶魚屬 / 白帶魚	109/04/15	東南區	151	—	—	0.26	—	—
6		帶魚屬 / 白帶魚	109/04/16	東南區	162	—	—	0.19	—	—
7		棘鰭	109/04/27	東南區	179	—	—	0.14	—	—
8		杜氏鰱 / 紅甘	109/05/05	西區	150	—	—	0.21	—	—
9		扁花鰹	109/05/05	東南區	130	—	—	0.16	—	—
10		杜氏鰱 / 紅甘	109/05/05	西南區	162	—	—	0.57	—	—
11		杜氏鰱 / 紅甘	109/05/10	東南區	179	—	—	0.46	—	—

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	捕獲地點	活 度 (貝克/千克·乾重)					
					鉀-40*	碘-131	銻-134	銻-137	鈷系列*	鈾系列*
12		杜氏鰱 / 紅甘	109/05/10	東北區	127	—	—	0.29	—	—
13		圓花鰱	109/05/13	東南區	163	—	—	0.20	—	—
14		鬼頭刀	109/05/14	東南區	172	—	—	0.19	—	—
15		杜氏鰱 / 紅甘	109/05/21	東南區	175	—	—	0.61	—	—
16		圓花鰱	109/05/21	東南區	156	—	—	0.19	—	—
17		東方齒鰱	109/03/31	東南區	135	—	—	0.34	—	—
18		鬼頭刀	109/03/31	東南區	192	—	—	0.19	—	—
19	大洋洄游魚 類	鬼頭刀	109/03/31	東南區	176	—	—	—	—	—
20		杜氏鰱 / 紅甘	109/03/31	東南區	161	—	—	0.43	—	—
21		帶魚屬 / 白帶魚	109/03/31	東南區	148	—	—	0.16	—	—
22		正鰱	109/03/31	東南區	138	—	—	0.18	—	—
23		黃鰱	109/03/31	東南區	62	—	—	0.08	—	—
24		鬼頭刀	109/04/20	東南區	166	—	—	0.29	—	—
25		帶魚屬 / 白帶魚	109/04/27	東南區	132	—	—	0.30	—	—
26		正鰱	109/04/27	東南區	155	—	—	0.27	—	—
27		杜氏鰱 / 紅甘	109/05/26	東北區	167	—	—	0.28	—	—
28		扁花鰱	109/06/01	東南區	148	—	—	0.17	—	—
29		圓花鰱	109/06/02	東北區	160	—	—	0.18	—	—
30		海鱸	109/05/07	西區	144	—	—	0.19	—	—
31		杜氏鰱 / 紅甘	109/05/07	西區	181	—	—	0.34	—	—
32		圓花鰱	109/06/06	東北區	114	—	—	0.13	—	—
33		圓花鰱	109/06/10	東北區	97	—	—	0.10	—	—
34		杜氏鰱 / 紅甘	109/06/11	東北區	169	—	—	0.24	—	—
35		杜氏鰱 / 紅甘	109/06/12	東南區	139	—	—	0.26	—	—
36	大洋洄游魚 類	杜氏鰱 / 紅甘	109/06/19	東北區	173	—	—	0.59	—	—
37		黃鰱	109/07/01	東北區	143	—	—	0.22	—	—
38		鬼頭刀	109/07/01	東北區	156	—	—	0.16	—	—
39		鬼頭刀	109/07/06	西南區	115	—	—	—	—	—
40		杜氏鰱 / 紅甘	109/07/04	西南區	225	—	—	0.48	—	—
41		杜氏鰱 / 紅甘	109/07/07	西北區	169	—	—	0.36	—	0.25
42		杜氏鰱 / 紅甘	109/07/10	東南區	159	—	—	0.38	—	—
43		杜氏鰱 / 紅甘	109/07/23	西區	66	—	—	—	—	—
44		杜氏鰱 / 紅甘	109/07/28	東北區	171	—	—	0.46	—	0.37
45		正鰱	109/07/31	西南區	348	—	—	0.39	—	—
46		黑皮旗魚	109/08/06	東北區	145	—	—	0.26	—	—
47		黃鰱	109/08/06	東北區	154	—	—	0.17	—	0.16

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	捕獲地點	活 度 (貝克/千克·乾重)					
					鉀-40*	碘-131	銻-134	銻-137	鈾系列*	鈾系列*
48		杜氏鰱 / 紅甘	109/08/17	西區	153	—	—	0.40	—	—
49		鬼頭刀	109/08/18	西南區	153	—	—	0.10	—	—
50		帶魚屬 / 白帶魚	109/08/20	東南區	128	—	—	0.19	—	—
51		黃鰭鮪	109/08/20	西區	150	—	—	0.23	—	—
52		杜氏鰱 / 紅甘	109/08/20	東北區	159	—	—	0.22	—	—
53		杜氏鰱 / 紅甘	109/08/27	東北區	193	—	—	0.15	—	—
54		帶魚屬 / 白帶魚	109/08/31	西南區	132	—	—	0.15	—	—
55	大洋洄游魚 類	劍旗魚	109/08/04	東南區	150	—	—	0.26	—	—
56		棘鰭/石鰲	109/08/04	東南區	177	—	—	0.24	—	—
57		正鰹	109/08/10	東北區	150	—	—	0.30	—	0.21
58		杜氏鰱 / 紅甘	109/08/25	西南區	164	—	—	0.31	—	—
59		鮪魚	109/09/01	西南區	142	—	—	0.30	—	—
60		帶魚屬 / 白帶魚	109/09/01	西南區	141	—	—	0.31	—	—
61		杜氏鰱 / 紅甘	109/09/18	東北區	143	—	—	0.47	—	—
62		鬼頭刀	109/09/18	東南區	162	—	—	0.15	—	—
63		鬼頭刀	109/09/18	東南區	131	—	—	0.17	—	—
64		正鰹	109/09/18	東南區	157	—	—	0.24	—	—
65		金梭魚/竹梭魚	109/09/19	東北區	164	—	—	0.20	—	—
66		杜氏鰱 / 紅甘	109/09/24	東南區	168	—	—	0.60	—	—
67		鮪魚	109/09/24	東南區	152	—	—	0.14	—	—
68		帶魚屬 / 白帶魚	109/09/24	東南區	149	—	—	0.13	—	—
69		海鱸	109/09/14	西區	160	—	—	—	—	—
70		海鱸	109/09/14	西區	180	—	—	0.08	—	—
71		杜氏鰱 / 紅甘	109/09/30	西區	175	—	—	0.22	—	—
72		東方齒鰳	109/10/14	東南區	163	—	—	0.25	—	—
73		杜氏鰱 / 紅甘	109/10/16	西區	187	—	—	0.15	—	—
74		杜氏鰱 / 紅甘	109/10/27	東北區	164	—	—	0.25	—	—
75	沿近海魚類	鰻 / 烏魚	109/01/06	東北區	127	—	—	—	—	—
76		鰻 / 烏魚	109/01/06	東北區	138	—	—	—	—	—
77		鰻 / 烏魚	109/03/02	東北區	135	—	—	—	—	—
78		鰻 / 烏魚	109/03/02	東北區	157	—	—	—	—	—
79		鰻 / 烏魚	109/03/02	東北區	149	—	—	—	—	—
80		花腹鯖 / 鯖魚	109/03/18	東南區	161	—	—	0.10	—	—
81		花腹鯖 / 鯖魚	109/03/18	東南區	146	—	—	0.12	—	—
82		花腹鯖 / 鯖魚	109/03/18	東南區	159	—	—	0.11	—	—
83		日本竹筴魚	109/03/20	西區	127	—	—	0.11	—	—

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	捕獲地點	活 度 (貝克/千克·乾重)					
					鉀-40*	碘-131	銻-134	銻-137	鈾系列*	鈾系列*
84		日本竹筴魚	109/05/05	東南區	150	—	—	0.21	—	—
85		眼眶魚	109/04/16	西南區	154	—	—	—	—	—
86		花腹鯖 / 鯖魚	109/05/10	東南區	130	—	—	0.12	—	—
87	沿近海漁類	大口逆鈎鰻	109/05/18	西區	182	—	—	0.31	—	—
88		斑海鯰/成仔魚	109/05/21	西區	153	—	—	—	—	1
89		浪人鰻	109/05/21	東南區	127	—	—	0.19	—	—
90		花腹鯖 / 鯖魚	109/03/31	東南區	189	—	—	0.12	—	—
91		虱目魚	109/04/20	東南區	161	—	—	0.08	—	—
92		鎖管	109/04/27	東北區	102	—	—	—	—	—
93		日本竹筴魚	109/05/03	西區	158	—	—	0.11	—	—
94		斑海鯰/成仔魚	109/05/03	西區	130	—	—	—	—	—
95		花枝	109/05/03	西區	110	—	—	—	—	—
96		斑海鯰/成仔魚	109/05/29	西北區	165	—	—	—	—	—
97		星雞魚/金龍	109/06/01	西南區	163	—	—	—	—	—
98		鎖管	109/05/07	西區	128	—	—	—	—	—
99		章魚	109/05/07	西區	86	—	—	—	—	—
100		鬚赤對蝦/狗蝦	109/05/07	西區	148	—	—	—	—	—
101		日本花鱸/海鱸 魚,七星鱸	109/05/07	西區	146	—	—	0.24	—	—
102		花腹鯖 / 鯖魚	109/07/13	東北區	76	—	—	0.05	—	—
103	沿近海漁類	花腹鯖 / 鯖魚	109/08/19	東北區	157	—	—	0.09	—	—
104		三線磯鱈	109/08/20	東北區	154	—	—	—	—	—
105		單角革單棘魷/剝 皮魚	109/08/25	東南區	151	—	—	0.06	—	—
106		單角革單棘魷/剝 皮魚	109/08/28	東南區	130	—	—	—	—	—
107		鰹魚	109/08/25	西南區	188	—	—	0.27	—	—
108		虱目魚	109/09/18	東南區	142	—	—	—	—	—
109		長鰺/白力魚	109/10/12	西區	134	—	—	0.16	—	—
110		牙鯨科	109/10/14	東南區	130	—	—	0.13	—	—
111		披肩鰐	109/10/23	西區	119	—	—	—	—	—
112		小牙鰻/花令仔	109/10/24	西南區	90	—	—	—	—	—
113		銀雞魚	109/10/27	西南區	164	—	—	—	—	—
114		眼眶魚	109/10/28	西南區	177	—	—	0.15	—	—
115		單角革單棘魷/剝 皮魚	109/10/29	東南區	137	—	—	—	—	—

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	捕獲地點	活 度 (貝克/千克·乾重)					
					鉀-40*	碘-131	銻-134	銻-137	鈾系列*	鈾系列*
116	藻貝蝦等底 棲類	大管鞭蝦	109/04/08	西南區	126	—	—	—	—	—
117		晶瑩櫻蝦	109/04/08	西南區	76	—	—	—	—	—
118		東方玻璃蝦	109/04/08	西南區	81	—	—	0.09	—	—
119		臺灣紅蝦	109/04/08	西南區	67	—	—	—	—	—
120		塔氏櫻蝦	109/04/08	西南區	76	—	—	—	—	—
121		石花菜	109/05/06	東北區	218	—	—	—	—	—
122		哈氏彷彿蝦/ 劍蝦	109/05/08	西北區	116	—	—	—	—	—
123		間型毛蝦	109/04/27	西南區	89	—	—	—	—	2
124		細點圓趾蟹/ 黃金蟹	109/04/27	東北區	150	—	—	—	—	—
125		螃蟹	109/05/07	西區	113	—	—	—	—	—
126		椰子渦螺	109/06/09	西區	88	—	—	—	—	—
127		牡蠣 (未 帶殼)	109/07/01	西區	52	—	—	—	—	—
128		牡蠣 (帶 殼)	109/07/08	西區	70	—	—	—	—	—
129		花蛤	109/07/16	西區	54	—	—	—	—	—
130		可食水龍鬚菜 /海菜	109/09/10	西區	19	—	—	—	—	—
131		紅星梭子蟹 /三點蟹	109/08/25	西南區	97	—	—	—	—	—
132		蝦	109/08/25	西南區	114	—	—	—	—	—
133		長角鬥士赤蝦	109/10/06	東北區	80	—	—	—	—	—

註：1. "—"表示小於最低可測活度 (<MDA)、"*"表示天然放射性核種。

2. 試樣計測時間 30,000 秒。

3. 衛福部食藥署所訂「食品中原子塵或放射能污染容許量標準」銻 134+銻 137 之限值 100 貝克/公斤[9]。

本計畫將魚類概分為三大類，大洋洄游漁類(如鮪魚、旗魚、鬼頭刀、鰹魚、白帶魚、鯖魚等)、沿近海漁類(如四破魚、竹莢魚、海鱸魚、烏格魚、黑豬哥、蝶魚、黑昌魚、刺蔥魚、青花魚、紅魷魚、剝皮魚等)、及藻貝蝦等其他類(如海菜、透抽、牡蠣、蛤蜊、蝦、蟹類等)，圖 4.1.5 為大洋洄游魚種及其洄游路線圖，大致可以了解各類魚種的棲息路線及習性。



圖 4.1.5 西北太平洋海域表層魚類南北洄游概圖

本計畫 109 年度海產物檢測共 188 件(含秋刀魚加馬分析 50 件及秋刀魚 5 件鋁-90)，由圖 4.1.6 可觀察到海產物鈾-137 分析結果，整體海洋生物鈾-137 平均值為 0.237 (Bq/Kg)，以棲地環境來看則能顯示出大洋性物種易測得較高數值，大洋洄游性魚類在洄游過程中可能受餌料生物影響而導致數值有偏高之現象，底棲浮游性的蝦類僅東方玻璃蝦 (*Pasiphaea orientalis*) 測得 0.09 (Bq/Kg)，至於沙泥底質的蟹、貝類則低於可測值。綜觀來說，普遍近海魚類、蝦蟹類、貝類及藻類皆低於鈾-137 可測值 (MDA<0.04)，少數如杜氏鰺等大型大洋性魚類物種較高於平均值，但數據皆遠低於規定內容之標準值，屬於正常安全範圍內，可正常安心食用，至於偵測值偏高其原因可能為攝食習性及生態位階中扮演高級消費者因素導致鈾-137 數值偏高。目前海產物檢測結果皆遠低於「食品中原子塵或放射能污染容許量標準」鈾-137 之限量(100 貝克/千克)，並無輻射異常現象。

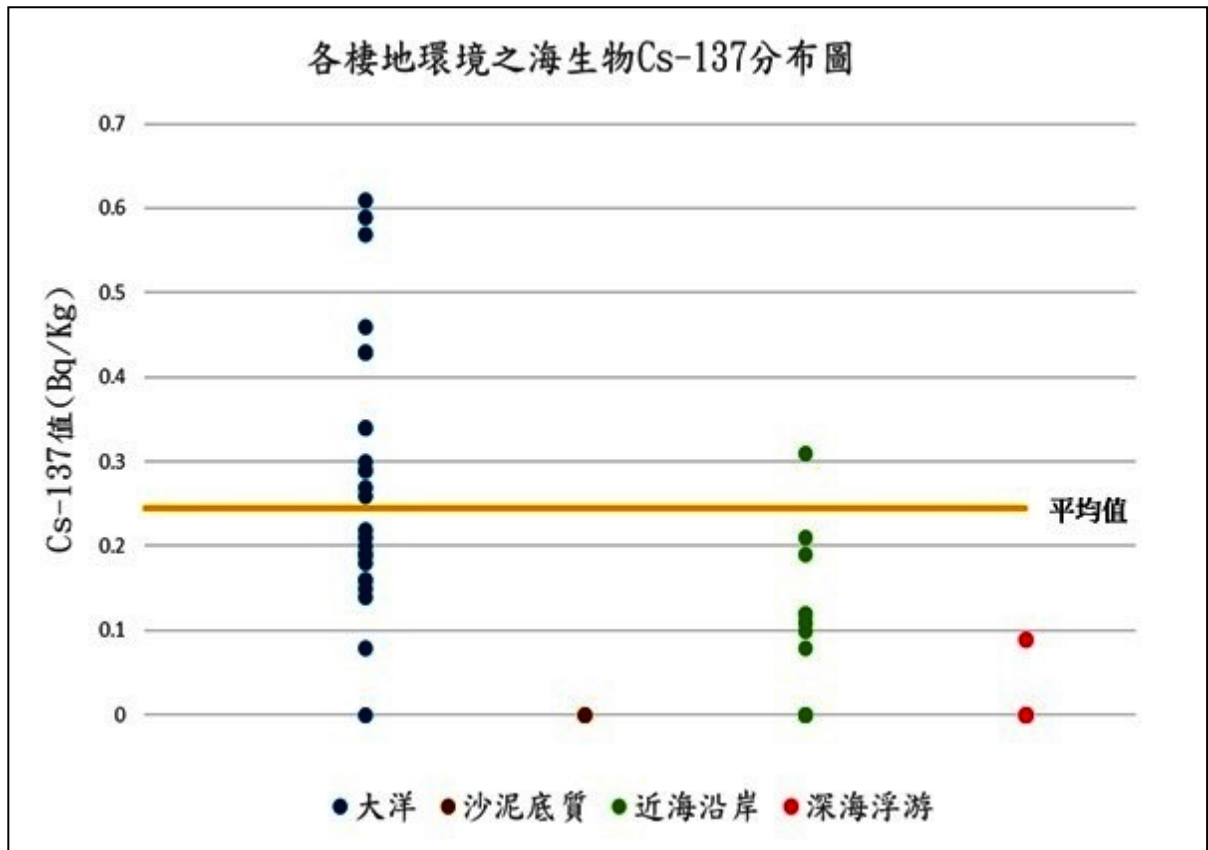


圖 4.1.6 109 年海產物銫 137 分析結果

本中心另有協助漁業署執行日本海域秋刀魚放射性加馬快篩分析，109 年計有 50 件，及 5 件秋刀魚鰓-90 化學分析，分析結果銫-137、銫-134 及 鰓-90 皆低於最低可測活度。

(五) 臺灣陸域山區土壤放射性核種含量背景調查

本計畫 109 年度與農試所合作，由農試所提供台灣北部山區土壤樣品，分析計測 107 件，依樣品區域性分類成 8 區，取樣位置詳如圖 4.1.7 臺灣山區土壤加馬能譜分析結果，鉀-40 活度為 83 至 1264 (貝克/千克·乾重)、銫-137 活度低於 146 (貝克/千克·乾重)、鈷系列活度為 5 至 83 (貝克/千克·乾重)、鈾系列活度為 3 至 77 (貝克/千克·乾重)、銫-134 則低於最低可測活度，詳如表 4.1.10。

表 4.1.10 臺灣山區土壤加馬能譜分析結果(農試所取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	海拔 (公尺)	活 度 (貝克/千克·乾重)				取樣地點	山區分類
					銻 137	鉀 40*	鈾系列*	鈾系列*		
1	108/10/06	24°50'25.33"	121°56'27.68"	12	24.2	374	36	81	龜山島	龜山島
2	108/10/06	24°50'23.56"	121°56'35.97"	19	16.8	403	35	20	龜山島	龜山島
3	108/10/06	24°50'30.21"	121°56'38.23"	22	6.2	388	44	—	龜山島	龜山島
4	108/10/06	24°50'24.97"	121°56'38.86"	15	7.8	351	32	180	龜山島	龜山島
5	108/10/05	24°50'37.50"	121°56'40.70"	38	11.9	408	41	—	龜山島	龜山島
6	108/10/06	24°50'46.88"	121°56'48.75"	102	17.1	384	42	—	龜山島	龜山島
7	108/10/05	24°50'38.00"	121°56'50.25"	110	9.3	386	38	114	龜山島	龜山島
8	108/10/06	24°50'50.98"	121°56'52.10"	64	9.0	413	39	—	龜山島	龜山島
9	108/10/05	24°50'36.54"	121°56'54.23"	152	16.4	376	37	—	龜山島	龜山島
10	108/10/06	24°50'56.09"	121°56'57.23"	46	5.2	335	32	—	龜山島	龜山島
11	108/10/05	24°50'32.80"	121°56'59.26"	196	11.9	357	36	—	龜山島	龜山島
12	108/10/06	24°50'57.07"	121°57'01.40"	56	10.3	430	41	—	龜山島	龜山島
13	108/10/05	24°50'30.70"	121°57'03.30"	272	22.6	320	49	375	龜山島	龜山島
14	108/10/05	24°50'28.30"	121°57'07.13"	320	26.1	403	51	119	龜山島	龜山島
15	108/10/05	24°50'28.84"	121°57'09.91"	388	26.2	375	44	339	龜山島	龜山島
16	108/10/05	24°50'29.29"	121°57'10.56"	383	37.6	276	23	559	龜山島	龜山島
17	108/10/06	24°50'52.24"	121°57'18.93"	97	22.8	389	34	204	龜山島	龜山島
18	108/10/06	24°50'44.95"	121°57'20.97"	132	2.2	375	36	252	龜山島	龜山島
19	108/10/11	24°53'34.67"	121°44'41.44"	337	2.3	643	62	32	碧湖	坪林山區
20	108/10/11	24°53'38.19"	121°44'52.79"	380	7.6	604	60	30	新北蘭谷	坪林山區
21	108/10/11	24°53'39.07"	121°43'58.74"	297	3.2	454	55	33	綠野山林	坪林山區
22	108/10/11	24°54'00.70"	121°43'01.64"	367	4.5	671	7	3	新北石槽	坪林山區
23	108/10/12	24°54'34.45"	121°40'04.01"	451	—	716	54	33	新城坑	坪林山區
24	108/10/11	24°54'45.82"	121°45'44.38"	494	4.2	602	47	26	碧湖溪	坪林山區
25	108/10/11	24°55'42.21"	121°44'40.78"	508	7.9	944	68	4	胡桶古道	坪林山區
26	108/10/12	24°56'53.71"	121°47'18.66"	367	25.3	642	47	24	烏山路	坪林山區
27	108/10/03	25°09'51.61"	121°35'05.22"	761	105	324	41	30	石梯嶺	陽明山
28	108/10/03	25°09'51.72"	121°35'10.94"	760	18	214	38	29	石梯嶺	陽明山
29	108/10/03	25°09'56.48"	121°34'51.53"	786	64	290	41	30	擎天崗城門	陽明山
30	108/10/04	25°10'28.39"	121°35'42.22"	851	112	354	39	18	翡翠谷	陽明山
31	108/10/04	25°10'37.80"	121°35'05.73"	469	24	315	35	30	上磺溪車場	陽明山
32	108/10/04	25°10'45.43"	121°35'40.05"	742	—	350	29	25	翡翠谷	陽明山

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	海拔 (公尺)	活 度 (貝克/千克·乾重)				取樣地點	山區分類
					銻137	鉀 40*	鈾系列*	鈾系列*		
33	108/10/04	25°10'46.01"	121°36'37.27"	770	76	584	54	35	磺嘴山	陽明山
34	108/10/04	25°10'51.40"	121°35'26.15"	706	146	325	34	26	頂中股山	陽明山
35	108/10/04	25°11'05.28"	121°36'52.58"	466	140	240	32	26	磺山	陽明山
36	108/10/04	25°11'24.05"	121°37'05.14"	355	80	160	23	30	煖子坪	陽明山
37	108/10/13	24°39'04.94"	121°36'19.76"	311	1.5	683	68	36	九芎湖	宜蘭山區
38	108/10/13	24°38'40.59"	121°36'30.91"	240	1.5	621	75	37	耕堡農場	宜蘭山區
39	108/10/13	24°38'55.96"	121°37'01.71"	286	12.5	700	67	37	冬山中正村	宜蘭山區
40	108/10/13	24°38'38.27"	121°37'05.47"	329	2.0	628	64	35	三星鄉	宜蘭山區
41	108/10/13	24°38'33.77"	121°37'32.22"	450	7.9	700	66	36	阿柑果園	宜蘭山區
42	108/10/13	24°38'57.27"	121°39'40.12"	456	—	732	65	38	三星鄉	宜蘭山區
43	108/11/25	24°35'09.03"	121°40'55.91"	277	10.7	752	46	32	宜蘭古魯巷	宜蘭山區
44	108/10/13	24°37'11.17"	121°42'06.04"	133	21.2	626	55	32	冬山中正村	宜蘭山區
45	108/10/13	24°36'06.39"	121°42'55.66"	181	17.5	762	63	38	冬山中正村	宜蘭山區
46	108/10/13	24°36'57.05"	121°43'58.81"	141	20.0	677	61	29	晨溪農場	宜蘭山區
47	108/10/13	24°37'17.59"	121°44'39.53"	193	11.4	741	51	31	冬山中正村	宜蘭山區
48	108/10/13	24°36'40.40"	121°45'00.04"	99	12.8	706	55	32	新寮二路	宜蘭山區
49	108/10/13	24°37'23.78"	121°45'01.54"	33	—	570	40	24	新寮一路	宜蘭山區
50	108/09/13	24°31'05.22"	121°22'47.30"	1858	—	576	42	30	170 號林道	新竹山區
51	108/09/03	24°31'22.86"	121°23'18.44"	1841	—	556	58	37	170 號林道	新竹山區
52	108/09/03	24°31'32.30"	121°22'06.60"	1970	32.3	511	52	36	170 號林道	新竹山區
53	108/09/03	24°31'36.65"	121°22'48.57"	1859	4.7	1016	53	42	170 號林道	新竹山區
54	108/09/03	24°31'49.05"	121°21'50.69"	1965	9.5	701	54	38	170 號林道	新竹山區
55	108/09/02	24°31'51.25"	121°23'38.11"	1939	4.3	83	43	24	170 號林道	新竹山區
56	108/09/02	24°31'54.79"	121°23'50.70"	1914	—	568	78	47	170 號林道	新竹山區
57	108/09/03	24°32'03.97"	121°22'54.76"	1839	5.3	439	61	30	170 號林道	新竹山區
58	108/09/03	24°32'19.28"	121°22'43.12"	1909	—	427	60	40	170 號林道	新竹山區
59	108/09/03	24°31'28.08"	121°23'47.88"	1795	14.7	681	54	38	170 號林道	新竹山區
60	108/09/02	24°32'36.75"	121°24'05.33"	1870	18.1	878	63	32	100 號林道	新竹山區
61	108/09/02	24°32'27.85"	121°24'13.36"	1863	29.1	695	52	31	100 號林道	新竹山區
62	108/09/02	24°34'04.78"	121°24'22.52"	1863	3.9	491	5	24	100 號林道	新竹山區
63	108/09/02	24°34'05.48"	121°24'54.55"	1753	12.6	755	55	32	100 號林道	新竹山區
64	108/09/02	24°35'39.65"	121°25'03.46"	1788	10.5	1264	83	77	100 號林道	新竹山區
65	108/09/03	24°35'48.16"	121°25'38.51"	1638	—	888	60	29	130 號林道	新竹山區
66	108/09/03	24°35'11.47"	121°25'58.04"	1642	16.6	217	13	12	棲蘭神木區	新竹山區
67	108/09/27	24°28'08.06"	120°58'33.88"	632	—	919	56	30	泰安警光	雪霸公園
68	108/09/27	24°28'39.92"	120°58'39.27"	850	3.7	419	48	32	馬凹溪瀑布	雪霸公園

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	海拔 (公尺)	活 度 (貝克/千克·乾重)				取樣地點	山區分類
					銻137	鉀 40*	鈾系列*	鈾系列*		
69	108/09/27	24°27'47.88"	120°58'53.20"	1096	1.1	821	52	38	鳥嘴山	雪霸公園
70	108/09/27	24°27'27.60"	120°59'06.41"	1320	2.4	276	32	17	鳥嘴山	雪霸公園
71	108/09/27	24°28'18.11"	120°59'15.00"	618	—	824	49	29	水雲吊橋	雪霸公園
72	108/09/27	24°28'59.33"	120°59'41.14"	1498	14.0	265	40	29	苗栗縣虎山	雪霸公園
73	108/09/27	24°28'53.12"	120°59'52.33"	1233	7.8	682	42	29	大石門瀑布	雪霸公園
74	108/09/29	24°31'23.10"	121°00'08.60"	1398	10.6	599	54	31	風美溪	雪霸公園
75	108/09/29	24°30'52.22"	121°00'18.44"	1912	2.0	548	59	32	杜鵑嶺	雪霸公園
76	108/09/29	24°31'13.54"	121°00'22.35"	1726	5.4	825	54	30	風美溪	雪霸公園
77	108/09/29	24°31'18.06"	121°00'23.52"	1650	20.6	292	25	17	風美溪	雪霸公園
78	108/09/29	24°31'18.06"	121°00'23.52"	1650	20.2	386	26	21	風美溪	雪霸公園
79	108/09/29	24°30'34.73"	121°00'23.73"	2084	1.7	173	37	24	杜鵑嶺	雪霸公園
80	108/10/08	24°24'20.70"	121°00'24.78"	1750	1.2	439	55	3	雪霸國家碑	雪霸公園
81	108/09/28	24°30'58.03"	121°01'08.28"	1724	12.1	562	41	29	風美溪	雪霸公園
82	108/09/28	24°31'02.42"	121°01'13.97"	1614	34.0	206	23	24	加里山步道	雪霸公園
83	108/09/28	24°31'17.50"	121°01'20.69"	1486	12.8	533	41	30	加里山步道	雪霸公園
84	108/10/08	24°26'40.20"	121°01'42.47"	2030	13.8	531	54	48	東洗水山	雪霸公園
85	108/11/20	24°37'33.02"	121°15'19.49"	1769	11.6	557	46	23	秀巒道路	新竹尖石
86	108/11/20	24°37'33.56"	121°15'49.68"	1688	—	812	53	28	秀巒道路	新竹尖石
87	108/11/19	24°38'53.92"	121°16'19.44"	1315	1.0	795	57	28	新竹東穗山	新竹尖石
88	108/11/20	24°39'17.19"	121°18'48.47"	795	—	911	57	33	北戶農場	新竹尖石
89	108/11/20	24°39'36.86"	121°17'45.57"	957	11.2	259	39	24	李埔部落	新竹尖石
90	108/11/19	24°40'51.25"	121°15'10.50"	691	—	915	59	39	非露不可	新竹尖石
91	108/11/29	24°50'18.52"	121°25'37.95"	873	2.9	429	51	31	水車寮坑	滿月圓森林遊樂區
92	108/11/29	24°50'16.56"	121°26'06.51"	782	3.7	538	47	33	雙溪山	滿月圓森林遊樂區
93	108/12/13	24°49'44.24"	121°26'21.64"	583	6.8	506	48	31	滿月圓區	滿月圓森林遊樂區
94	108/11/13	24°49'48.74"	121°26'28.00"	451	5.1	676	51	33	滿月圓區	滿月圓森林遊樂區
95	108/11/30	24°50'33.07"	121°26'37.95"	538	9.1	657	60	30	三峽農場	滿月圓森林遊樂區
96	108/11/30	24°50'15.79"	121°26'45.30"	341	1.0	843	57	30	蚋仔溪	滿月圓森林遊樂區
97	108/11/13	24°49'01.12"	121°26'59.56"	575	6.5	554	47	31	滿月圓山	滿月圓森林遊樂區

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	海拔 (公尺)	活 度 (貝克/千克·乾重)				取樣地點	山區分類
					銻137	鉀 40*	鈾系列*	鈾系列*		
98	108/11/13	24°49'12.60"	121°26'59.89"	483	5.9	717	59	32	滿月圓山	滿月圓森林遊樂區
99	108/11/13	24°48'58.75"	121°27'00.51"	617	9.6	561	46	29	滿月圓山	滿月圓森林遊樂區
100	108/11/13	24°50'35.63"	121°27'01.47"	340	10.5	657	49	35	滿月圓區	滿月圓森林遊樂區
101	108/11/13	24°50'29.50"	121°27'10.49"	459	2.7	624	58	32	三峽有木里	滿月圓森林遊樂區
102	108/11/13	24°50'19.15"	121°27'13.23"	604	3.4	739	47	30	三峽有木里	滿月圓森林遊樂區
103	108/11/13	24°48'53.17"	121°27'19.12"	875	26.0	558	46	24	滿月圓山	滿月圓森林遊樂區
104	108/11/13	24°50'06.02"	121°27'25.47"	763	1.9	564	51	36	熊空南山	滿月圓森林遊樂區
105	108/11/30	24°50'32.73"	121°27'36.58"	488	0.5	628	49	28	姐妹瀑布	滿月圓森林遊樂區
106	108/11/30	24°50'57.75"	121°27'37.99"	354	6.5	975	47	32	熊空溪	滿月圓森林遊樂區
107	108/11/12	24°47'54.00"	121°25'00.04"	898	15.0	475	52	27	綠色莊園	滿月圓森林遊樂區

註：1. "—"表示小於最低可測活度(MDA)，鉀 40 MDA 值為 1.28 貝克/千克，銻134 MDA 值為 0.09 貝克/千克、銻137 MDA 值為 0.06 貝克/千克、鈾系列MDA 值為 0.31 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 0.22 貝克/千克。

2."*"表示天然放射性核種，沉積物樣品計測時間 80,000 秒。

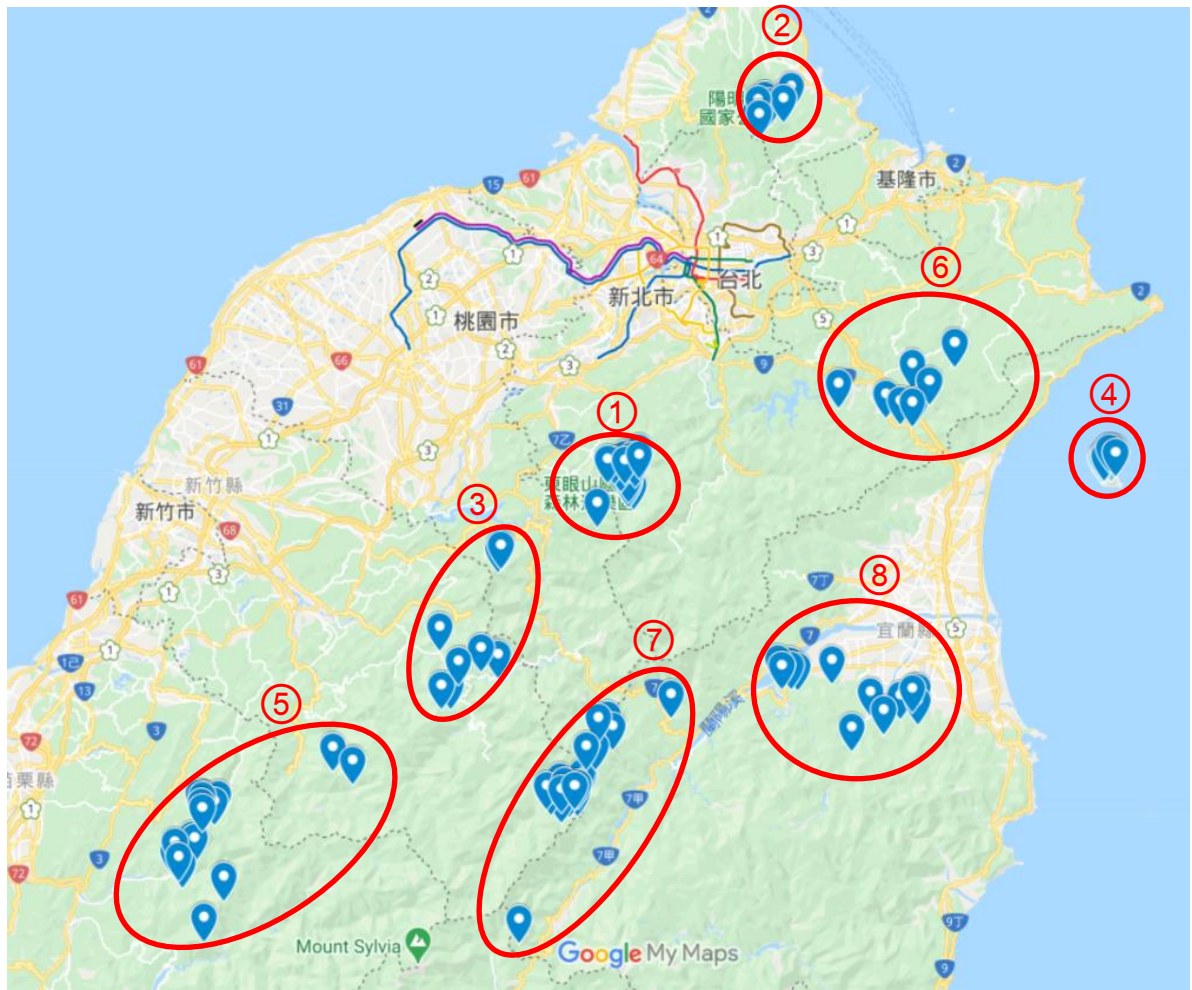
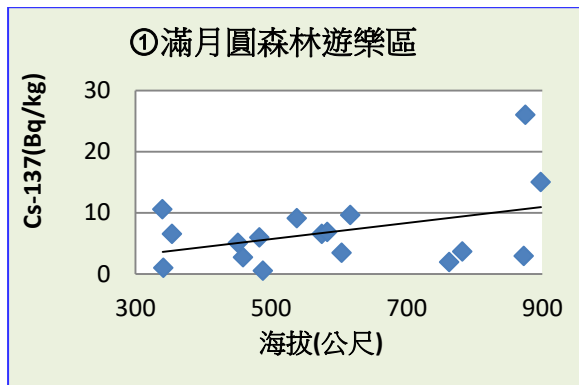
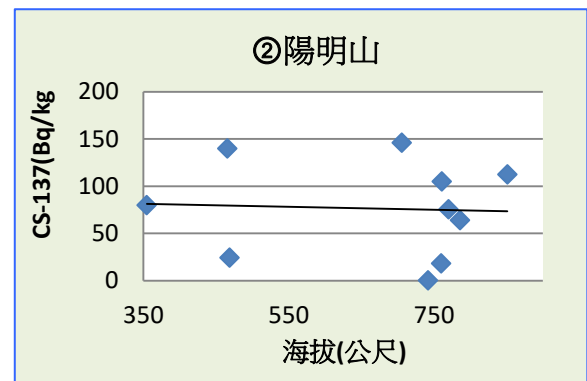


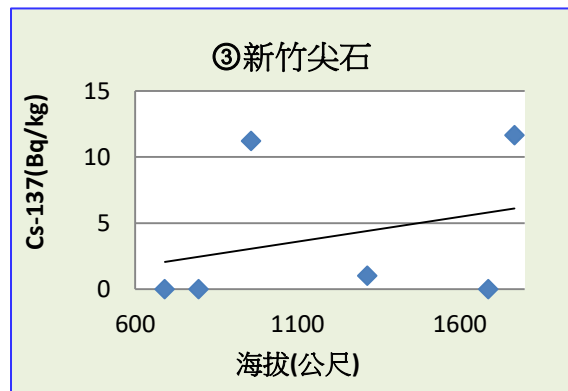
圖 4.1.7 台灣山區土壤取樣位置圖



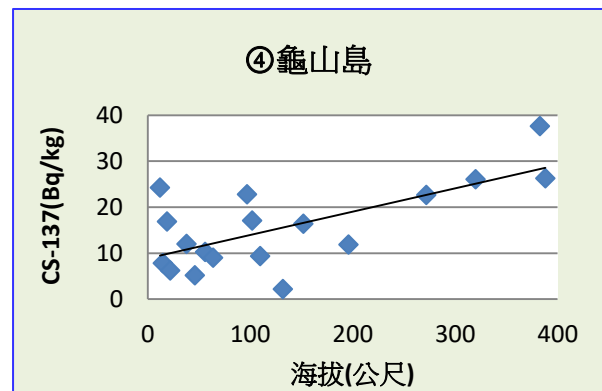
樣品數 N=17，海拔 340~898M
 CS-137=0.5~26.0
 CS-137(AVE)=6.9



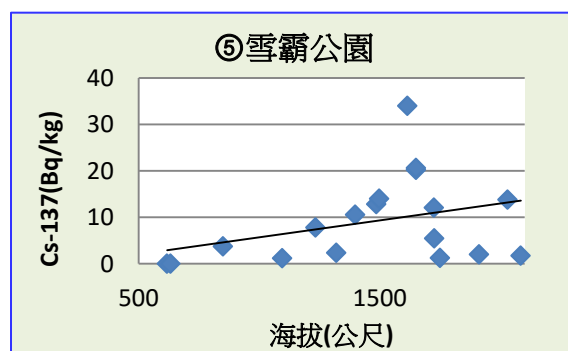
樣品數 N=10，海拔 355~851M
 CS-137=0~146
 CS-137(AVE)=76.4



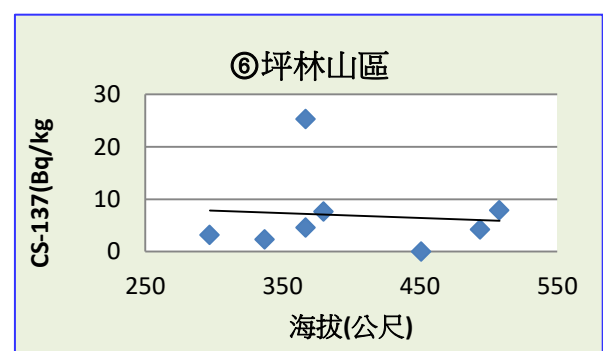
樣品數 N=10，海拔 691~1769M
 CS-137=0~11.6
 CS-137(AVE)=4.0



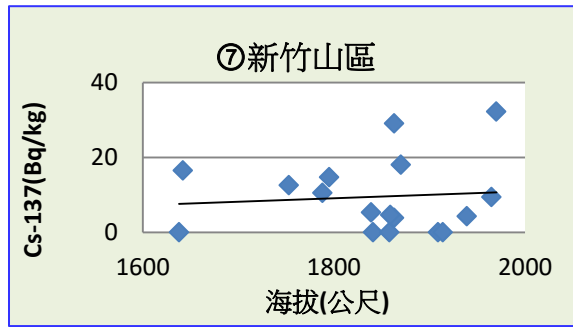
樣品數 N=18，海拔 12~388 公尺
 CS-137=2.2~37.5
 CS-137(AVE)=15.7



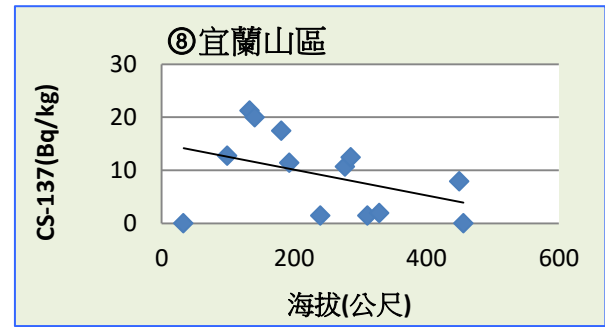
樣品數 N=20，海拔 618~2084M
 CS-137=0~34.0
 CS-137(AVE)=9.1



樣品數 N=8，海拔 297~508M
 CS-137=0~25.3
 CS-137(AVE)=8.9



樣品數 N=19，海拔 1638~1970M
 CS-137==0~32.3
 CS-137(AVE)=9.5



樣品數 N=13，海拔 33~456M
 CS-137==0~21.2
 CS-137(AVE)=9.1

圖 4.1.8 台灣北部山區放射性銫-137 活度與海拔分布圖

台灣山區受 1970 年代核爆落塵影響，於迎風面易有銫-137 累積效應，但也易因土地開發等人為因素，而呈現非規律分布，例如陽明山地形容易受累積呈現高背景值，其他高山地區皆具與海拔有正相關，宜蘭及坪林山區海拔較低初估因人為因素沒有呈現正相關，詳如圖 4.1.8 系列圖表。整體而言台灣北部山區平均銫-137 含量約 10 貝克/千克·乾重。未來待更多山區土壤背景資料可再整理與緯度的關係，甚至與地形的關係。

(六) 台灣稻米放射性核種含量背景調查

本計畫 109 年度與農委會農試所合作，由農試所提供台灣西部桃園至嘉義所種植之稻米 20 件，本中心將稻穀及稻米使用脫殼機分開後分別進行加馬能譜計測，分析結果僅測得鉀 40 含量，稻穀平均鉀 40 含量為 248 貝克/千克·乾重，稻米平均鉀 40 含量為 58 貝克/千克·乾重，表 4.1.11 及圖 4.1.9 為稻米分析數據及統計圖表，稻米相關數據待更完整時可提供作為計算國民輻射劑量之用。

表 4.1.11 臺灣西部稻米加馬能譜分析結果(農試所取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	類別	活 度 (貝克/千克·乾重)				備註
					銻 137	鉀 40*	鈾系列*	鈾系列*	
1	109/07/20	25°01'42.85"	121°10'47.93"	糙米	—	61	—	—	桃園大園
2	109/07/20	24°59'44.03"	121°09'21.08"	糙米	—	50	—	—	桃園觀音
3	109/07/07	24°45'52.12"	121°02'56.90"	糙米	—	61	—	—	新竹竹東
4	109/06/24	24°22'01.05"	120°42'11.27"	糙米	—	72	—	—	苗栗苑裡
5	109/07/01	24°12'03.96"	120°31'29.69"	糙米	—	53	—	—	台中龍井
6	109/06/22	24°06'59.20"	120°31'18.65"	糙米	—	68	—	—	彰化和美
7	109/06/16	23°46'16.88"	120°29'26.85"	糙米	—	70	—	3	雲林莿桐
8	109/06/20	23°41'17.44"	120°24'02.64"	糙米	—	63	—	—	雲林虎尾
9	109/06/19	23°40'40.00"	120°23'51.92"	糙米	—	68	—	—	雲林土庫
10	109/06/17	23°29'07.04"	120°24'47.93"	糙米	—	44	—	—	嘉義市
11	109/06/15	23°25'37.38"	120°15'34.96"	糙米	—	60	—	—	嘉義朴子
12	109/06/18	23°30'18.34"	120°22'45.17"	糙米	—	47	—	—	嘉義太保
13	109/06/17	23°36'33.89"	120°29'36.43"	糙米	—	44	—	—	嘉義大林
14	109/06/15	23°30'21.73"	120°30'04.85"	糙米	—	53	—	—	嘉義竹崎
15	109/06/15	23°25'05.18"	120°12'33.95"	糙米	—	67	—	—	嘉義布袋
16	109/06/18	23°36'26.96"	120°22'51.67"	糙米	—	37	—	—	嘉義溪口
17	109/06/15	23°32'32.94"	120°21'29.28"	糙米	—	69	—	—	嘉義新港
18	109/06/19	23°30'37.88"	120°23'33.00"	糙米	—	71	—	—	嘉義民雄
19	109/06/22	23°27'08.77"	120°25'06.56"	糙米	—	48	—	—	嘉義水上
20	109/06/18	23°16'30.73"	120°19'35.24"	糙米	—	68	—	—	台南柳營
21	109/07/20	25°01'42.85"	121°10'47.93"	稻殼	—	314	—	—	桃園大園
22	109/07/20	24°59'44.03"	121°09'21.08"	稻殼	—	313	—	—	桃園觀音
23	109/07/07	24°45'52.12"	121°02'56.90"	稻殼	—	269	—	—	新竹竹東
24	109/06/24	24°22'01.05"	120°42'11.27"	稻殼	—	346	—	—	苗栗苑裡
25	109/07/01	24°12'03.96"	120°31'29.69"	稻殼	—	327	—	—	台中龍井
26	109/06/22	24°06'59.20"	120°31'18.65"	稻殼	—	322	—	—	彰化和美
27	109/06/16	23°46'16.88"	120°29'26.85"	稻殼	—	261	—	—	雲林莿桐
28	109/06/20	23°41'17.44"	120°24'02.64"	稻殼	—	129	—	—	雲林虎尾
29	109/06/19	23°40'40.00"	120°23'51.92"	稻殼	—	253	—	—	雲林土庫
30	109/06/17	23°29'07.04"	120°24'47.93"	稻殼	—	214	—	—	嘉義市
31	109/06/15	23°25'37.38"	120°15'34.96"	稻殼	—	198	—	—	嘉義朴子
32	109/06/18	23°30'18.34"	120°22'45.17"	稻殼	—	199	—	—	嘉義太保
33	109/06/17	23°36'33.89"	120°29'36.43"	稻殼	—	238	—	—	嘉義大林

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	類別	活 度 (貝克/千克·乾重)				備註
					銻 137	鉀 40*	鈾系列*	鈾系列*	
34	109/06/15	23°30'21.73"	120°30'04.85"	稻殼	—	174	—	—	嘉義竹崎
35	109/06/15	23°25'05.18"	120°12'33.95"	稻殼	—	284	—	3	嘉義布袋
36	109/06/18	23°36'26.96"	120°22'51.67"	稻殼	—	218	—	4	嘉義溪口
37	109/06/15	23°32'32.94"	120°21'29.28"	稻殼	—	283	—	—	嘉義新港
38	109/06/19	23°30'37.88"	120°23'33.00"	稻殼	—	240	—	—	嘉義民雄
39	109/06/22	23°27'08.77"	120°25'06.56"	稻殼	—	220	—	—	嘉義水上
40	109/06/18	23°16'30.73"	120°19'35.24"	稻殼	—	233	—	—	台南柳營

註：1. "—"表示小於最低可測活度 (<MDA)、"*"表示天然放射性核種。

2. 試樣計測時間 80,000 秒。

3. 衛福部食藥署所訂「食品中原子塵或放射能污染容許量標準」銻 134+銻 137 之限值 100 貝克/公斤。

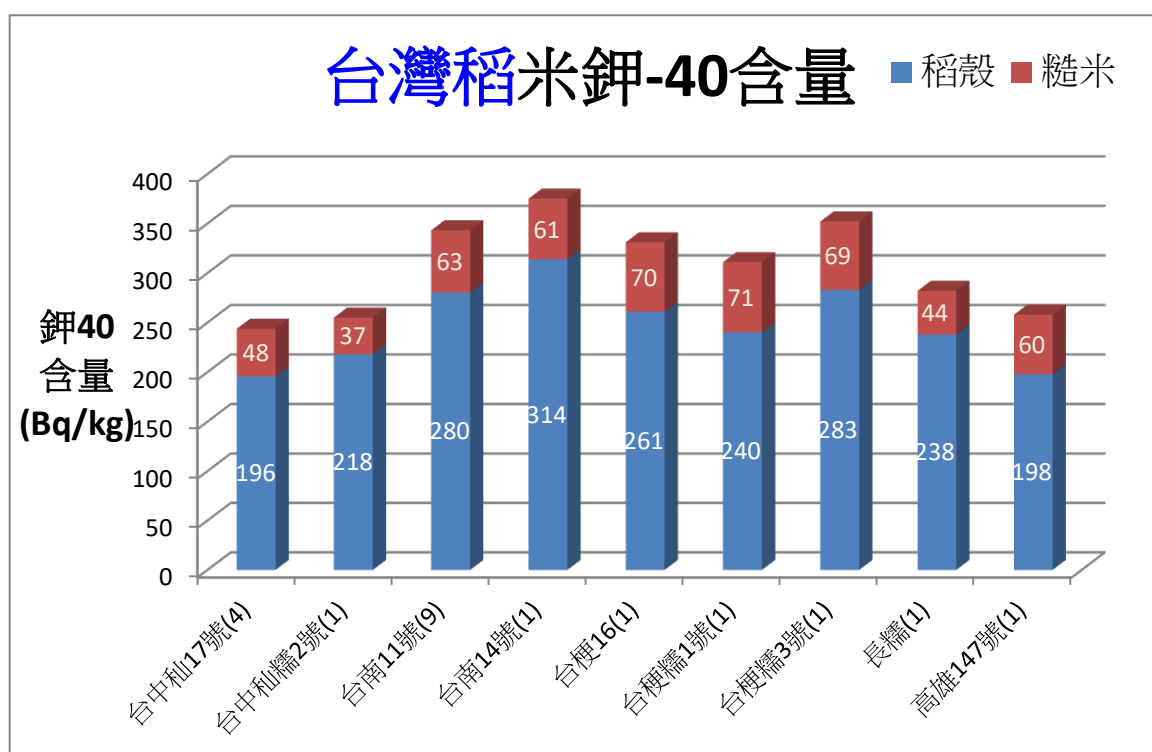


圖 4.1.9 台灣稻米鉀-40 分析統計圖

(七) 國際原子能總署能力試驗

本中心為提高試樣放射性分析能力及確保分析品質，每年皆參加國際原子能總署（IAEA，International Atomic Energy Agency）之能力試驗，109年度在本計畫中之樣品銻-137、銻-134、鋇-90、總貝他等放射性核種分析

能力測試皆獲通過，顯示本中心試樣分析方法及分析能力與國際標準實驗室相當。

(八) 學術活動

109 年因受新冠肺炎(COVID-19)疫情影響，國內外大部分的研討會皆停辦，本計畫 109 年度於 2020 年(第 34 屆)環境分析化學研討會發表「海水中氡分析方法探討」、「台灣海域海水銫-137 分析方法探討」及「淡水總貝他分析方法之精進」論文共三篇，又於中華民國地球物理學會與中華民國地質年會發表「Spread of Radiocesium to the Taiwan Strait and Kuroshio east of Taiwan from 2018 to 2019」論文一篇。



圖 4.1.10 參加環境分析化學研討會發表論文

(九) 資料庫更新與網頁展示

本計畫委託國立中山大學團隊建立臺灣周遭海域輻射沉狀網站作業平臺(網址 <http://aecmr-ocean.nsysu.edu.tw>)，如圖 4.1.11 所示，以有效將調查結果及研究成果與參與研究人員、委辦單位分享，此網站架構包含衛星雲

圖、MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 衛星、海水表面溫度時間查詢、海水表面溫度自訂參數查詢、HYCOM (Hybrid coordinate Ocean Model) 模式模擬海流等選項，而 HYCOM 模式可模擬漂流軌跡，以動畫形式呈現，模擬當物質從核電廠漂出之後一個月的軌跡，對於核子事故發生時可評估放射性物質的漂流動線；同時此網站定時上傳海水、沉積物及海產物等加馬能譜分析結果，並以地圖呈現取樣位置及分析結果趨勢。預計明年以 OPEN DATA 格式開放民眾上網下載臺灣海域輻射監測調查之結果。



圖 4.1.11 網頁首頁 (<http://aecmr-ocean.nsysu.edu.tw>)

(十) 跨部會資源整合

執行海域調查絕大部分經費皆執行於船艦使用費用，故本中心延續 106 年跨部會單位合作方式協調各單位未來能繼續支持協助本計畫，協調有執行海域任務的單位在不影響例行勤務的情形下，支援船艦資源協助本計畫執行海洋監測樣品取樣任務，本中心於 109 年度邀集外交部、原能會、海委會、農委會水產試驗所、海委會海巡署艦隊分署及臺灣漁業永續發展協會、國立中山大學等召開跨部會協調會議，針對日本福島氚廢水排放因應對策，除徵詢海域管理之專業知能與經驗外，也請各單位持續協助本計畫之執行，於權限範圍內互相協助，使行政機關發揮共同一體之行政機能，

以最經濟方式尋求最有效的樣品數量與質量，健全臺灣海域輻射調查背景資料。

二、 國民輻射劑量評估

今年度的計畫內容，除延續並強化 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 4.2.1 及圖 4.2.2。

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 4.2.1 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 4.2.3 及 4.2.4 所示，以完成上述的分析作業。

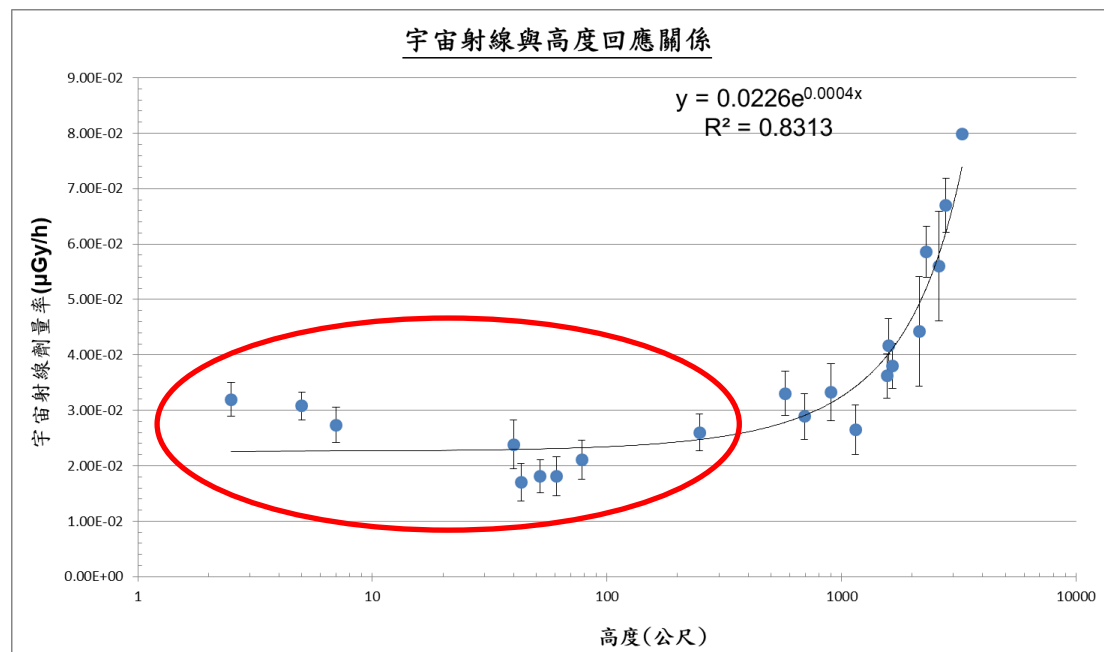


圖 4.2.1 宇宙輻射游離輻射成分劑量率與海拔高度關係
(本中心自 102 至 106 年期間量測結果)

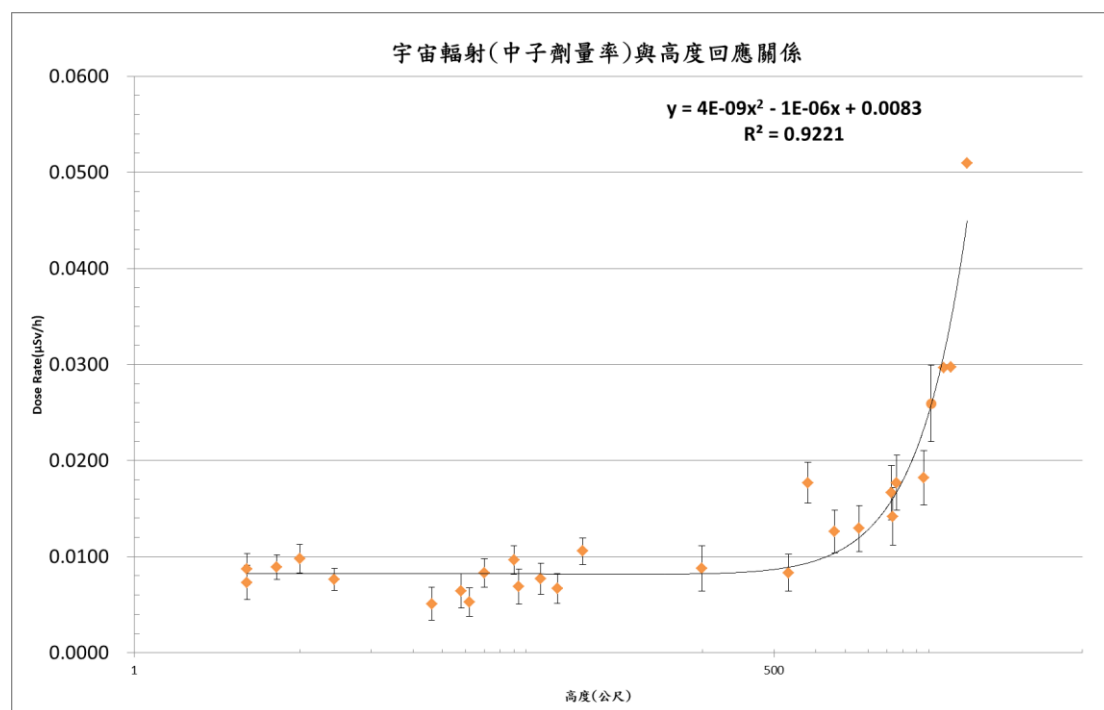


圖 4.2.2 中子宇宙輻射劑量率與海拔高度關係
(本中心自 102 至 106 年期間量測結果)

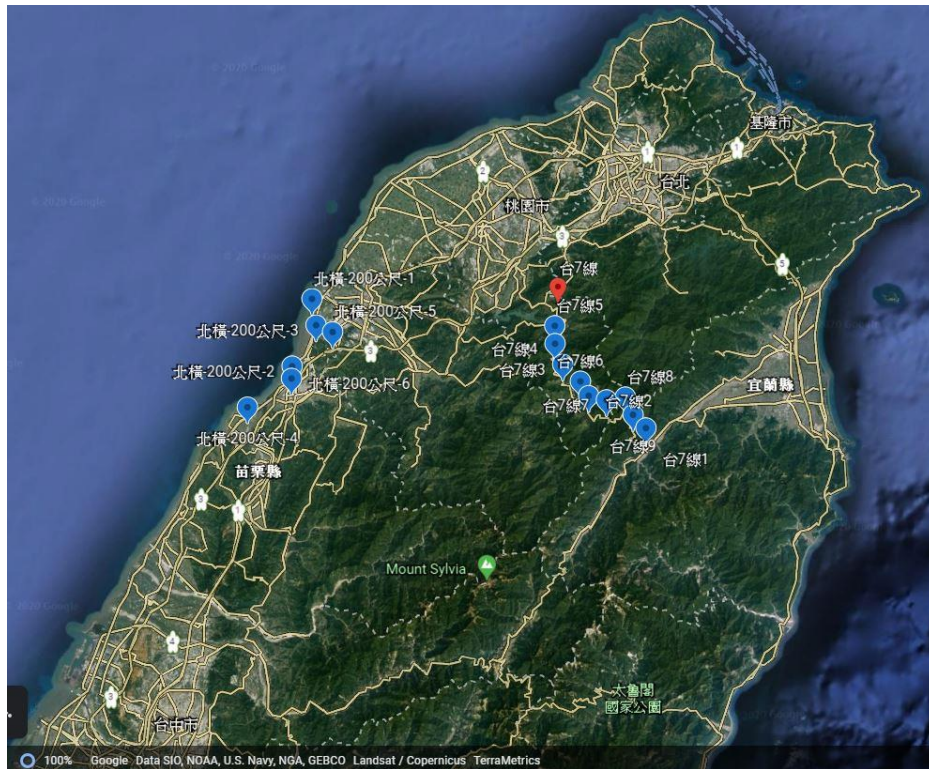


圖 4.2.3 北橫公路沿線及同緯度低海拔偵測規劃(藍色標記)

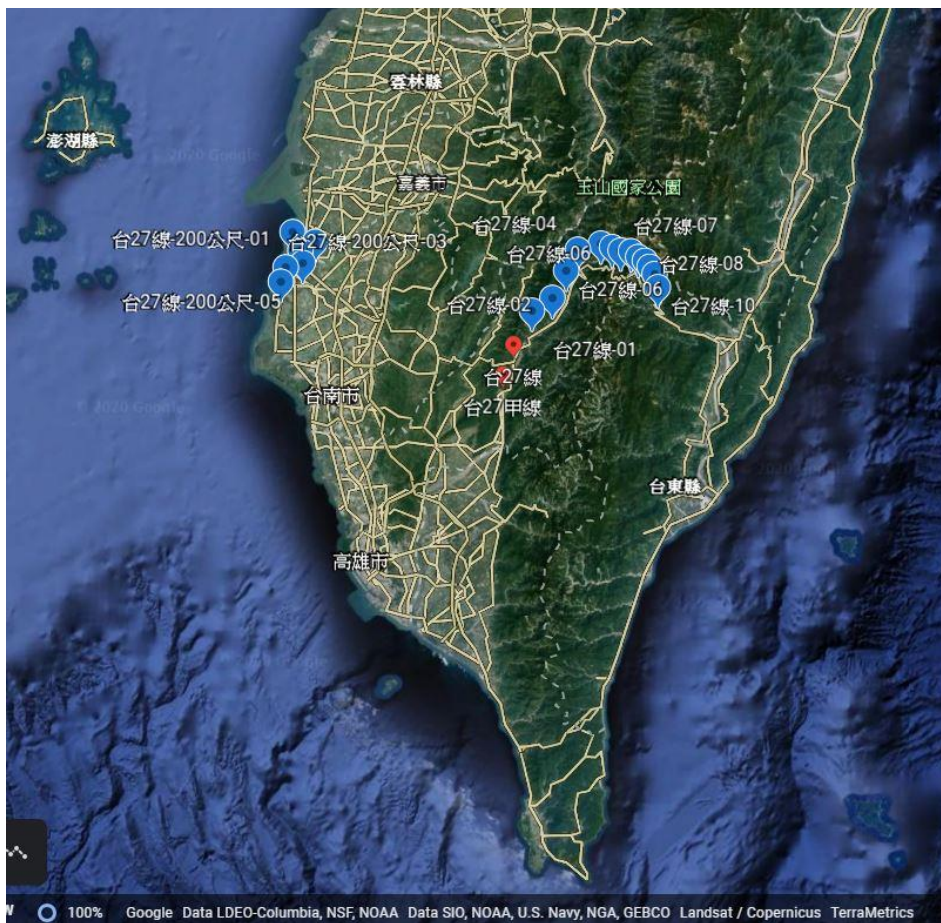


圖 4.2.4 南橫公路沿線及同緯度低海拔偵測規劃(藍色標記)

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 4.2.5，量測結果彙整如表 4.2.1 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 $0.0535 \mu\text{Sv/h}$ 。

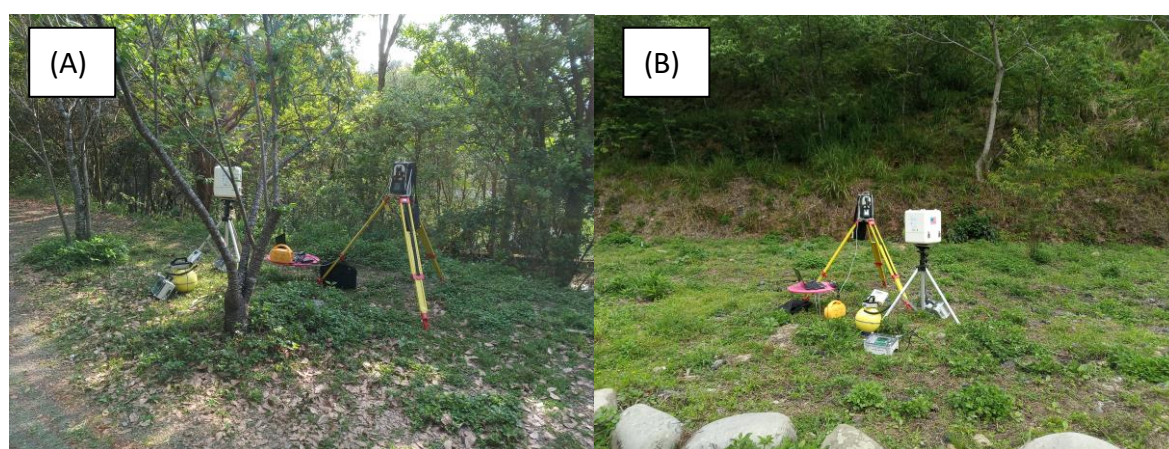


圖 4.2.5 省道 20、27 號沿途量測儀器架設與量測情形(A)台 27 縣近 18.5km 路標(B) 櫻花公園。

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 4.2.6，量測結果彙整如表 4.2.2 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。

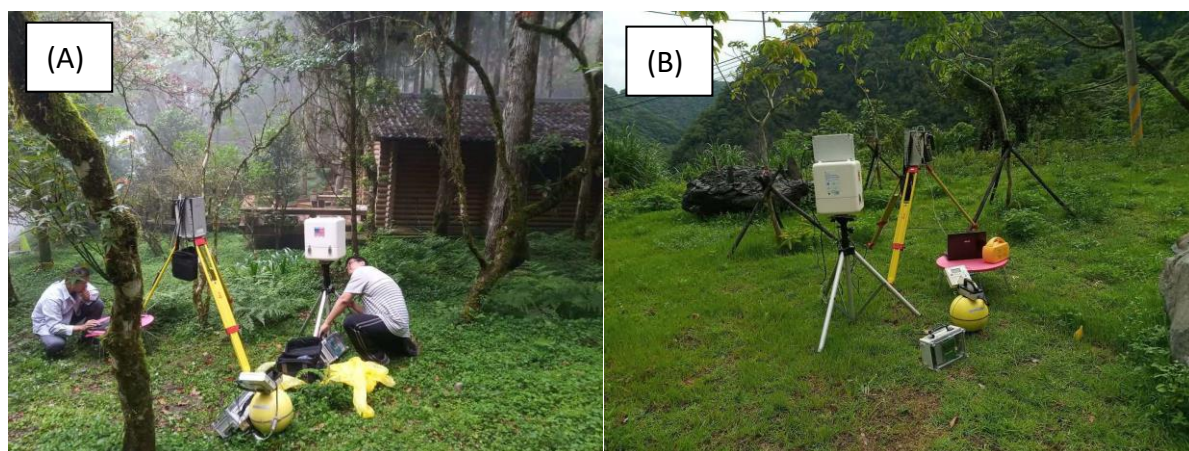


圖 4.2.6 省道 20、27 號沿途量測儀器架設與量測情形(A)明湖山莊(B)榮華派出所。

將本次偵測結果併入本中心先前之量測結果，如圖 4.2.7 及圖 4.2.8，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。

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。

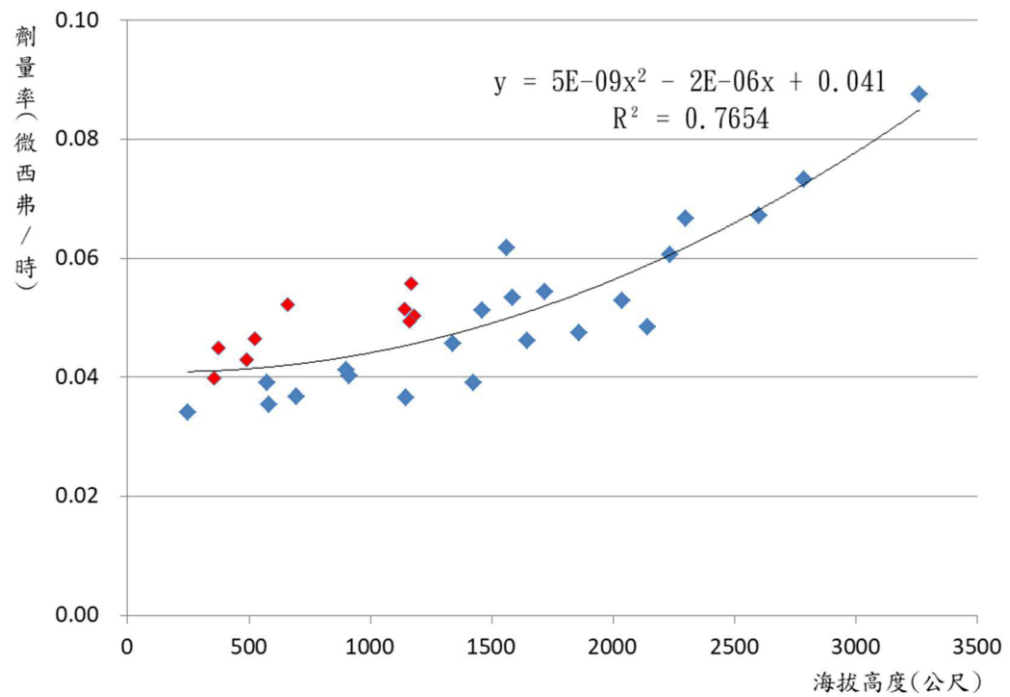


圖 4.2.7 宇宙輻射游離輻射成分劑量率與海拔高度關係

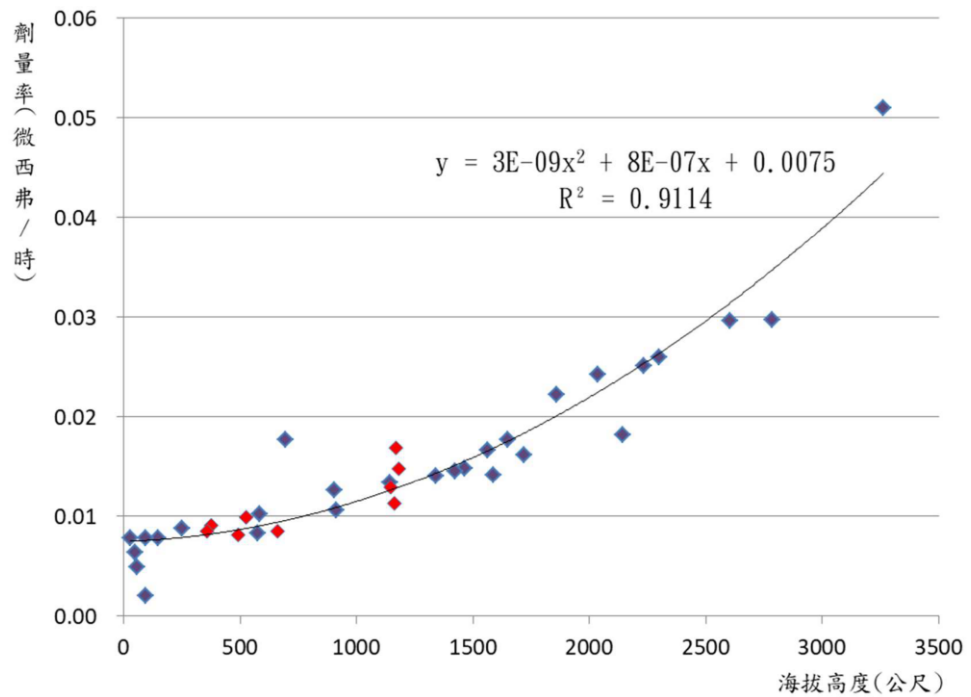


圖 4.2.8 中子宇宙輻射劑量率與海拔高度關係

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，因此無法找到純鍺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 4.2.9。

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 4.2.3。

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鍺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。

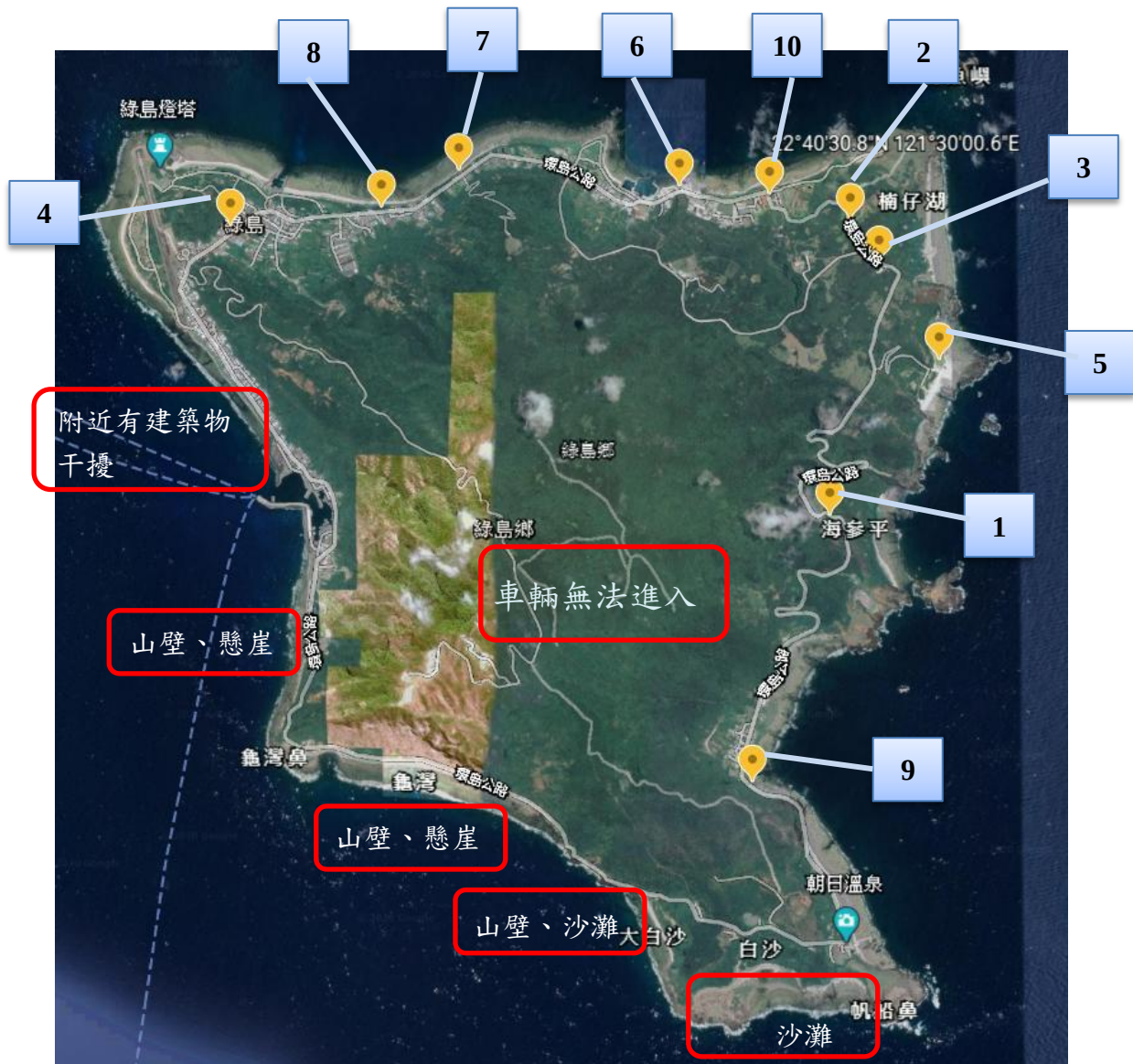


圖 4.2.9 綠島鄉環境輻射劑量率量測地點

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 $0.0651 \mu\text{Sv/h}$ 。

表 4.2.1 109 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 4.2.2 109 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鍺偵檢器測得。

(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 4.2.3 109 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鍮偵檢器測得。

(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[10]並研判會對於人體有傷害[11]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[12]主要路徑是環境中的氡氣子核沉積，氡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鉍、鉛及釷的放射性同位素。這些金屬微粒不是氣態，因此容易沾黏在物體表面，其中氡的子核種鉛 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 天的釷 210 (Po-210)。菸草的葉片表面因其特殊絨毛結構，具有濃集氡氣衰變產物的特性；因此，在菸草中可測得較高濃度的鉛 210 及釷 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) [13, 14]，也會造成菸草含偏高的鉛 210 及釷 210 現象。

雖然這些氡氣短半化期子核種衰變時也會釋出加馬輻射，但因為菸草中含量不高，所以體外輻射劑量通常可以忽略。不過，其中的釷 210 為阿伐核種，其所釋出的阿伐粒子穿透力不強，吸入體內後會在極短距離內有大量能量沉積，而對於人體組織細胞造成傷害。由解剖學發現其吸入體內後，會集中在支氣管分叉處形成輻射「熱點」，導致肺部受到偏高的輻射劑量[15]。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)與釷 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[16]，各實驗室因應不同的設備限制，利用量測其中一個核種來代表整個衰變鍊的活度；鉍 210 (Bi-210)的劑量轉換因子不高，比鉛 210 低約兩個數量級，因此一般都不評估其所造成的劑量。

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[17-19]。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[20]，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。

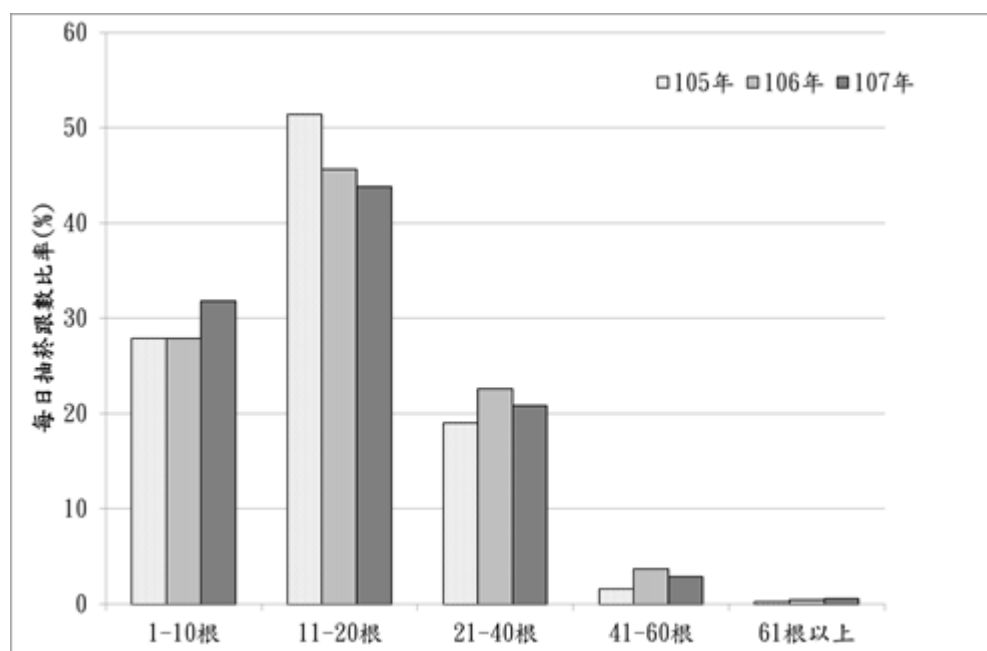


圖 4.2.10 105 至 107 年國人男性吸菸者每天抽菸數統計結果。

(資料來源：衛生福利部國民健康署)。

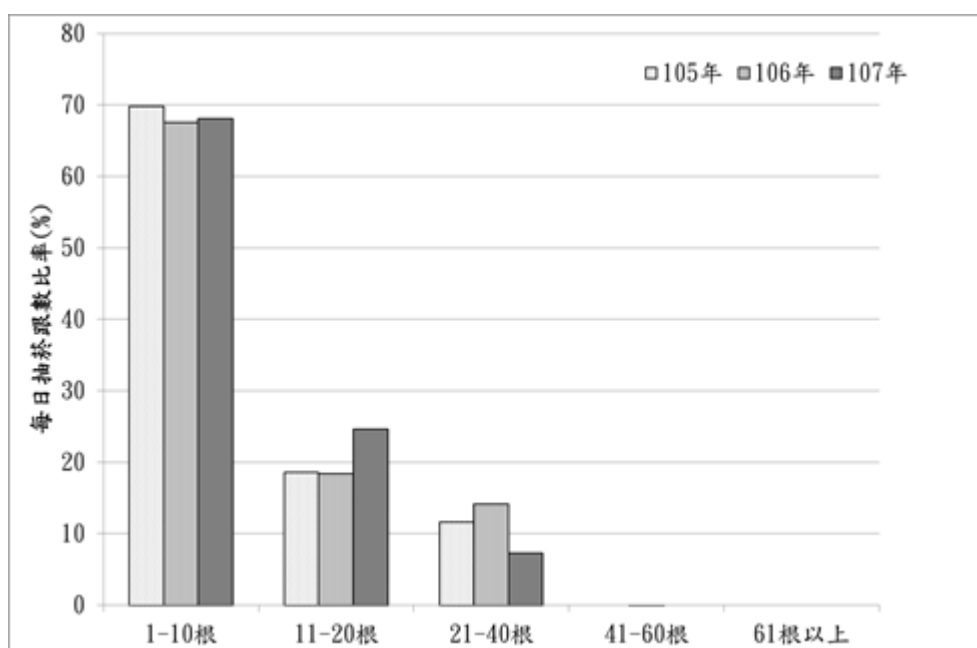


圖 4.2.11 105 至 107 年國人女性吸菸者每天抽菸數統計結果。
(資料來源: 衛生福利部國民健康署)。

由圖 4.2.10 與圖 4.2.11 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 4.2.12)，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[21]，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 4.2.13)。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 4.2.14)進行針 210 之分析檢測，所採集의香菸品牌已涵蓋了大部份國人消費市場常見的菸品。

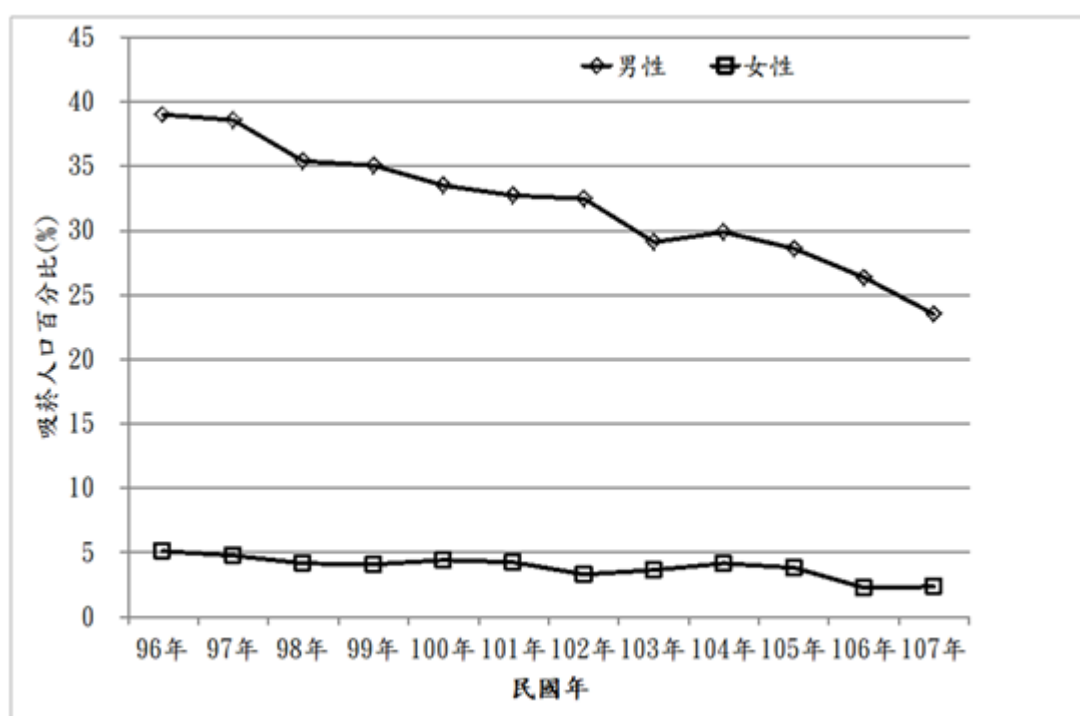


圖 4.2.12 近 10 年國人抽菸比例。(資料來源：衛生福利部國民健康署)

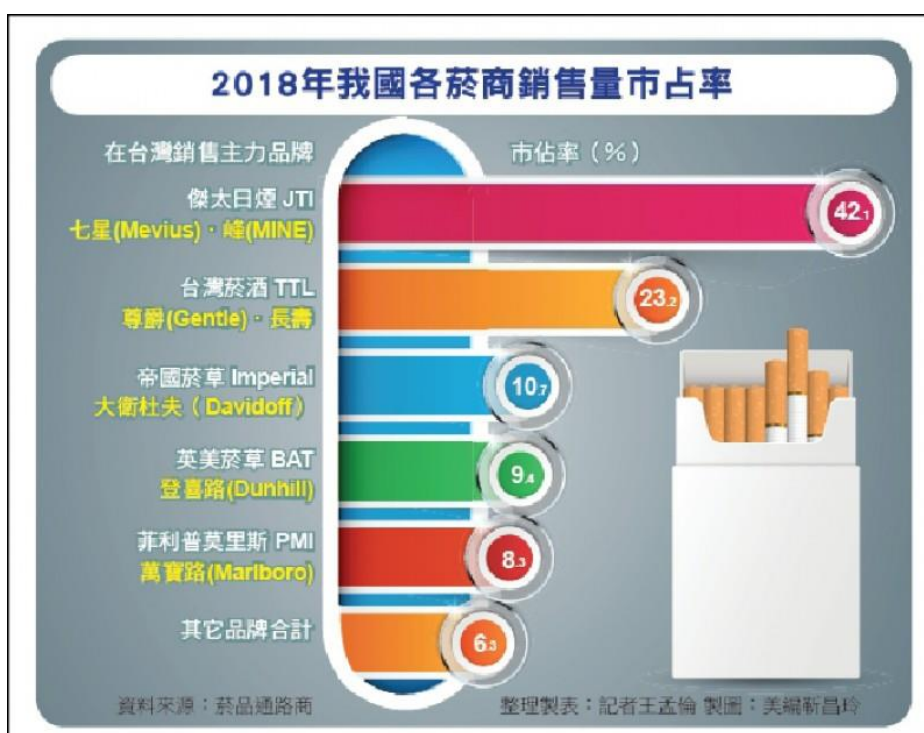


圖 4.2.13 2018 年我國各菸商銷售量市占率(引用自由時報資料[21])



圖 4.2.14 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 [22]，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，經鈾 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 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。

表 4.2.4 文獻回顧其他國家菸草鉛 210 調查結果

單位: mBq per cigarette

國家	鉛 210	鉛 210	參考資料
突尼西亞 Tunisia	7.8±0.3 ~ 17±0.5 (12.9±0.4)	equilibrium	Boujelbane F. et al. 2020[23]
土耳其 Turkey	16.1±1.0 ~37.6±2.6 (22.4±1.5)	NA	Cankurt S. et al. 2020[24]
菲律賓 Philippine	5.5 ± 0.6~17.8 ± 1.1 (12.0)	NA	Iwaoka K. et al. 2019[25]
義大利 Italy	2.42~10.36 (5.22±2.67)	NA	Meli M.A. et al. 2017[26]
印度 India	(10.56±2.46)	NA	Tiwari M. et al. 2016[27]
斯洛凡尼亞 Slovenia	8.8±0.3 ~17.3±0.7 (14±2)	5±1 ~16±3 (10±6)	Kubalek D et al. 2016[28]
塞爾維亞 Serbia	14.6±3.8~42.6±31.0 (23.0±6.7)	14.4±3.5~41.8±30.4 (22.5±8.8)	Janković Mandić L. et al. 2015[29]
義大利 Italy	13.1 ~ 19.0 (15.7)	11.6 to 20.0 (14.6)	Taroni M. et al. 2014[30]
羅馬尼亞 Romania	7.19±0.70~10.22±0.90 (8.35±0.80)	NA	Begy R.C. et al. 2013[31]
日本 Japan	2~14 (8±3)	NA	Sakoda A. et al. 2012[32]
伊朗 Iran	(26)	NA	Mohammadi S. et al. 2010[33]
希臘 Greece	equilibrium	6±4~ 18±5 (14.12)	Papastefanou C 2009[34]
中國 China	18-29 (23)	equilibrium	Schayer S. et al. 2009[35]
埃及 Egypt	7-32 (13)	3-29 (14)	Khater A.E. et al. 2008[36]
巴基斯坦 Pakistan	NA	7±2~ 20±6 (13±4)	Tahir S.N. et al. 2008[37]
希臘 Greece	2.5 ~ 11.9 (9.2)	5.1~12.6 (9.4)	Savidou A. et al. 2008[38]
埃及 Egypt	9.7~22.5 (16.6)	NA	Khater AE. 2004[39]
巴西 Brazil	7.6 ~19.2 (14.8±2.6)	8.3 ~ 21.1 14.9±2.9	Peres AC. et al. 2002[40]
波蘭 Poland	2~21.5 (9.6)	NA	Skwarzec B. et al. 2001[41]

():平均值

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 $0.014(\text{貝克}) \times 365(\text{天}) = 5.11 \text{ 貝克}$ 。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 1.1×10^{-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 $5.11 \text{ 貝克} \times 4.4 \text{ 微西弗/貝克} = 22.5 \text{ 微西弗}$ ，每天抽一包菸則年劑量為 $22.5 \times 20 \div 1000 = 0.450 \text{ 毫西弗}$ 。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 $0.450 \times 0.235 \times 1 \text{ 包菸} = 0.106 \text{ 毫西弗}$ ，女性為 $0.450 \times 0.024 \times 0.5 \text{ 包菸} = 0.005 \text{ 毫西弗}$ 。依據內政部統計年報[42]，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 $0.058 \times 0.84 = 0.049 \text{ 毫西弗}$ 。

雖然國內調查所測得香菸中鈾 210 濃度結果，與國外文獻數據相比差異不大，但是由於國內歷年來菸害防治行動推行成效顯著，國人抽菸人口比率逐年下降。因此，推估所得之國民輻射年劑量約為 0.049 毫西弗。

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[43]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。

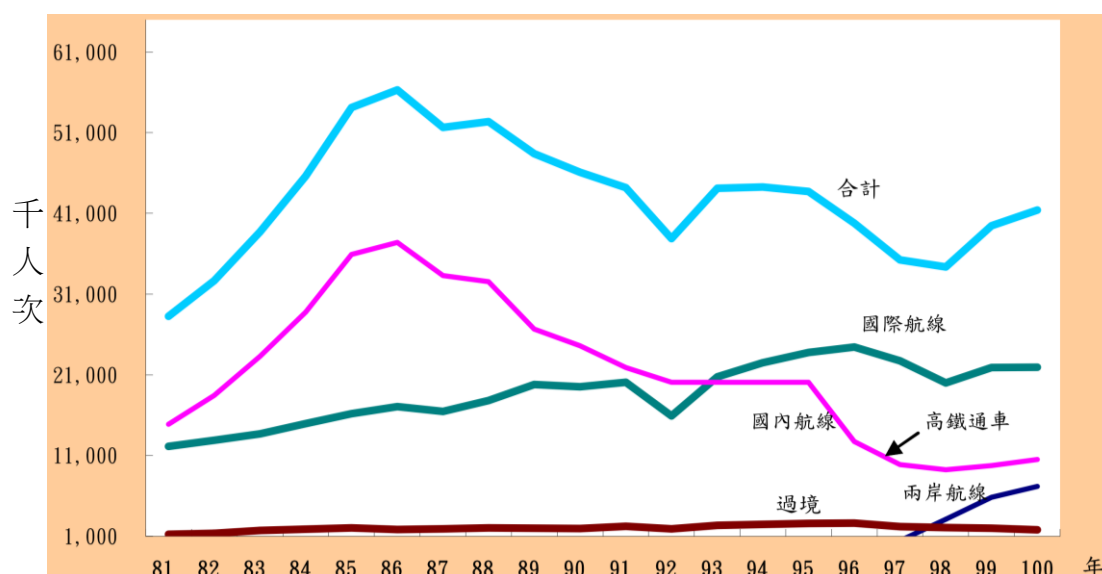


圖 4.2.14 我國各機場進出旅客趨勢(100 年「民航統計年報」)

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。

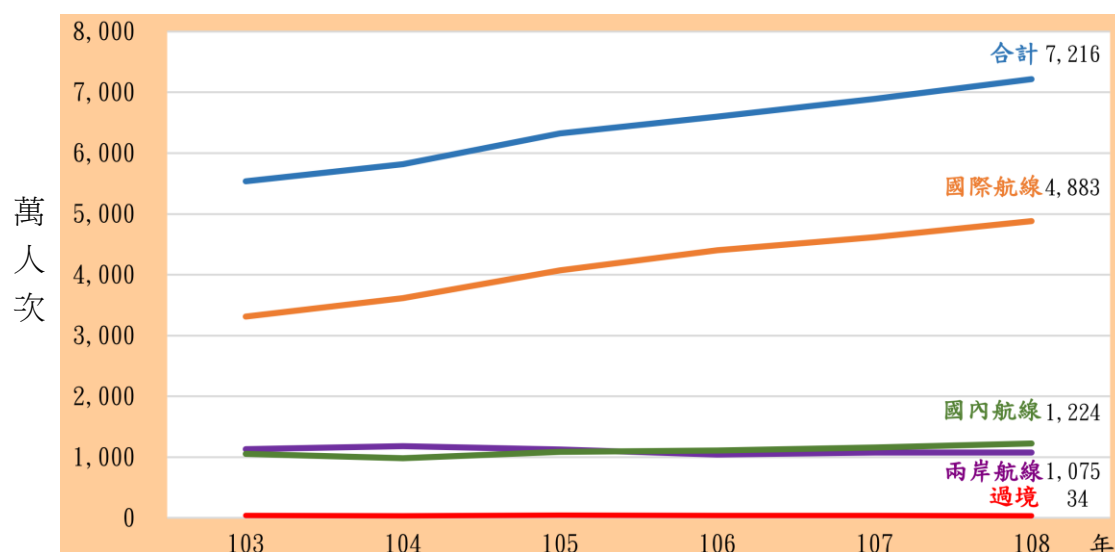


圖 4.2.15 我國各機場進出旅客趨勢(108 年「民航統計年報」)

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 4.2.5。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 4.2.5 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
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

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
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
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

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
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
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

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
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 4.2.6。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 4.2.6 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
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

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
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
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

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
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
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

航線 排序	機場名稱	機場名稱	年平均出入境人數
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[44]。近 60 年的資料如圖 4.2.16，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。

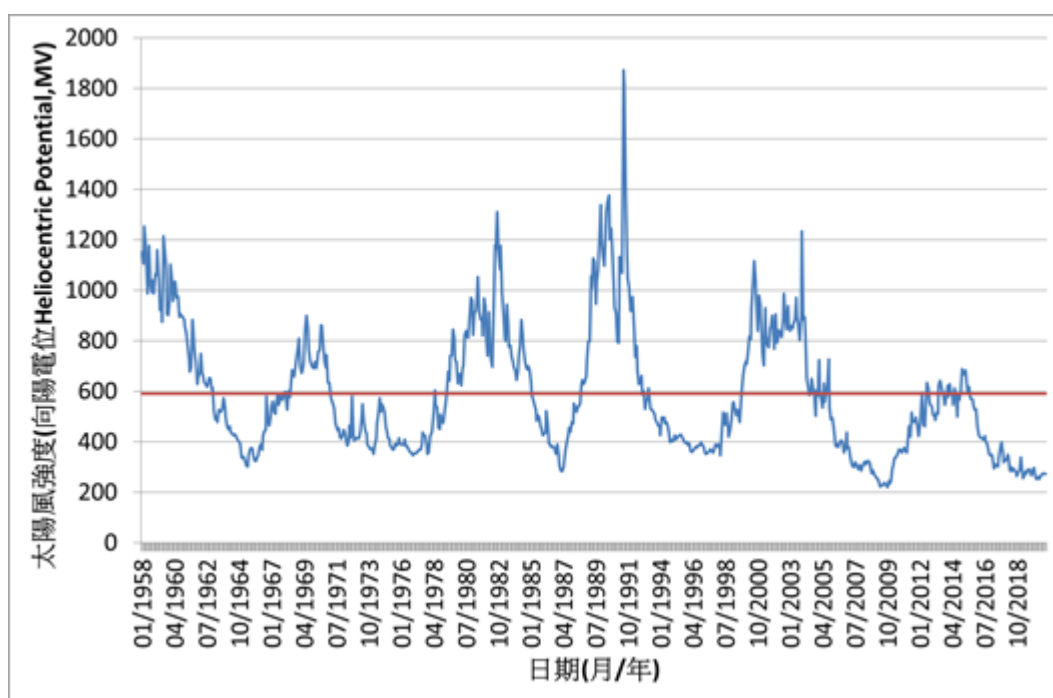


圖 4.2.16 近 60 年太陽風強度資料並換算為阻隔銀河宇宙輻射之電位。

(二) 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銈-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。

全球性廣泛的銫-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。由空間分佈的研究發現，黑潮和黑潮延伸區（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，將高空的鈾-137 帶至地面[45]。

重大核子事故發生後也會產生環境放射性鈾污染，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 [46-52]。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，大量鈾-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。大氣釋出的鈾-137 約 80% 沉積在海中[50]，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。

因鈾離子與鉀離子特性相近，海水中的放射性鈾經海洋生物吸收後進入食物鏈，成為放射性鈾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。陸域放射性鈾在土壤中，會因不同化學形式而有不同的分布，例如矽酸鹽會固化鈾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鈾，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[53-55]。

人類攝食鈾 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 貝克鈾-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，其中懷孕女性體內鈾-137 最低，但是鈾-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[56]。

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

4.2.7，由於測得樣品數不多，故採最大值保守推估銻-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 4.2.7 台灣地區消費市場主要食品銻 137 含量與年劑量評估

類 別	銻 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

(三) 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、非醫學應用及核能電廠等四大類；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，其中之商用航空、其他採礦業及嚴重效應之意外等 4 類國內沒有從事該工作類別之人員申報資料新的「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[57]，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 4.2.9 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 1377 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。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。

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。

表4.2.8 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，而非透過劑量佩章監測。
3、包含美國能源部等政府單位及軍方。

(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[58]，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 4.2.9；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 年更新職業曝露之平均年集體有效劑量(Average annual collective effective dose)及平均個人年有效劑量(Average annual effective dose)[59]，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 14000 人-西弗及 0.1 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 14400 人-西弗及 1.31 毫西弗。

Dunstana Melo 的「Overview of UNSCEAR re-evaluation of occupational exposure」文獻[60]，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）導致的平均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 4.2.9 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)	平均個人年有效劑量 (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	14000 (14400*)	0.1 (1.31*)

*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)」[61]，目前之全世界職業曝露分類如表 4.2.10 所示。從表 4.2.10 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[67]，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 4.2.10 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 4.2.10 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 4.2.10 台灣職業曝露分類與全世界之比較

全世界		台灣	
射源類	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)	放射診斷(Diagnostic radiology)	○	○
	放射牙科(Dental practice)	○	○

radiation)	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)	商用飛航(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。

表 4.2.11 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	0.86	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	0.03	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	0.52	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	0.03	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	0.00	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
商用飛航	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	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	0.01	0.12-0.19	0.14
獸醫	78-129	103	0.77-7.33	2.85	0.01-0.06	0.03	0.13-0.92	0.42
其他	3,976-4,360	4,216	67.49-215.18	128.67	0.02-0.05	0.03	0.16-0.29	0.22

統計資料:民國 104-108 年

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 4.2.11，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，自 108 年起陸續除役，依據 104 年至 108 年「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 7,919 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 4.2.12 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 2 毫西弗，仍是台灣職業曝露主要的來源。由於核能一廠自 108 年起開始進入除役階段，可能將部份人員之職業類別由反應器運轉改歸類為核燃料循環研究(包含核廢料管理)，導致 108 年該分類項目有較大之變動。

表 4.2.12 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 0.85 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 4.2.13 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 3.63 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 4.2.13 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 0.15 毫西弗；工業應用的分類方式和目前的分類差異頗大，導致結果有較大差異。

我國在工業應用類 104-108 年職業輻射曝露統計如表 4.2.14 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 2.452 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 4.2.14 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 0.07 人-毫西弗，個人平均年有效劑量為 0.07 毫西弗(因為只有 1 人有監測到劑量)。

表 4.2.15 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)	民用飛行	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)	商用飛航	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。

(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 2,053 人，平均年集體有效劑量為 1.03 人-西弗，年個人平均年有效劑量為 0.58 毫西弗。

表 4.2.16 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 4.2.16 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 0.138 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 0.418 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 0.216 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 0.77 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。

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 4.2.12、4.2.13、1.2.14 及 4.2.16 人造輻射年集體有效劑量整理得到之國民輻射劑量評估結果如下表 4.2.17。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 4.2.17 104-108 年國民輻射劑量職業輻射曝露評估結果

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	7344.65	5804.69	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。商用飛航類的職業部分，受限於現行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。

(四) 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 4.2.18 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 4.2.18 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 4.2.19 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 4.2.19 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 4.2.16)，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 4.2.17)、CT-expo(如圖 4.2.18)，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。

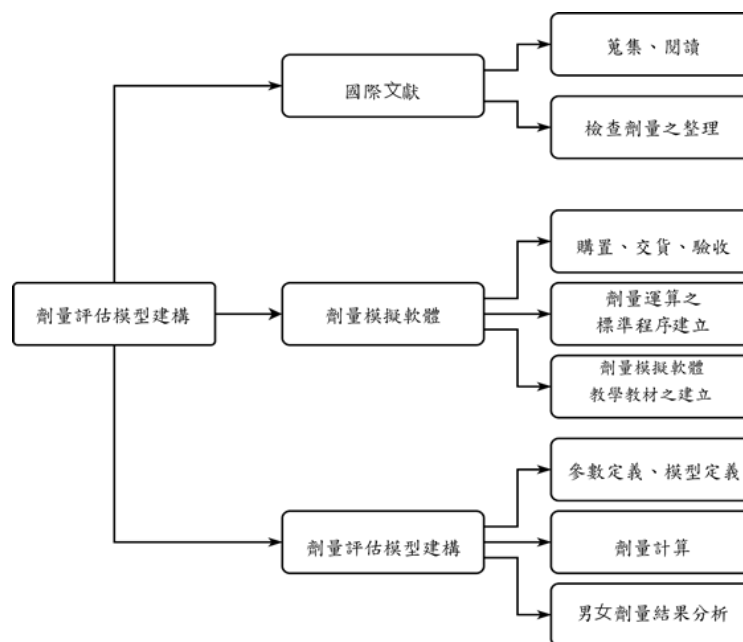


圖 4.2.16 劑量評估模型建構流程

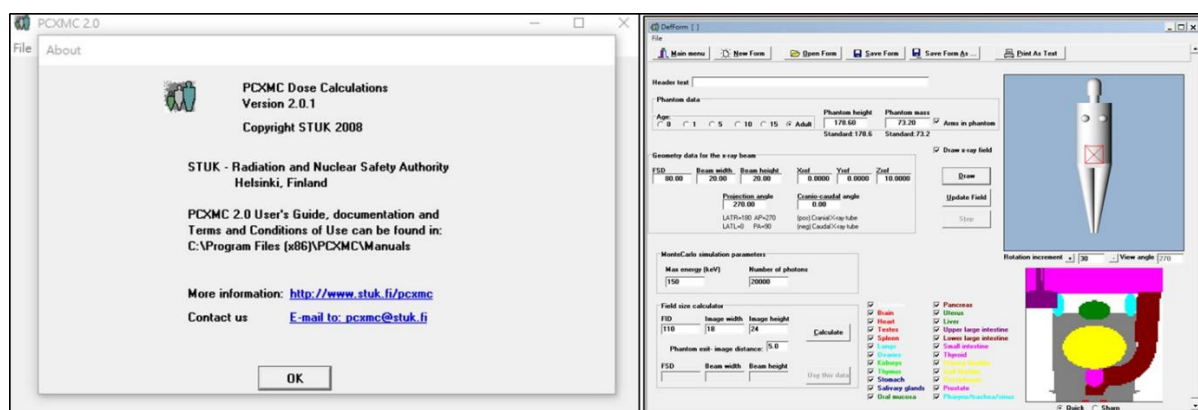


圖 4.2.17 劑量評估軟體-PCXMC 軟體版本及操作介面

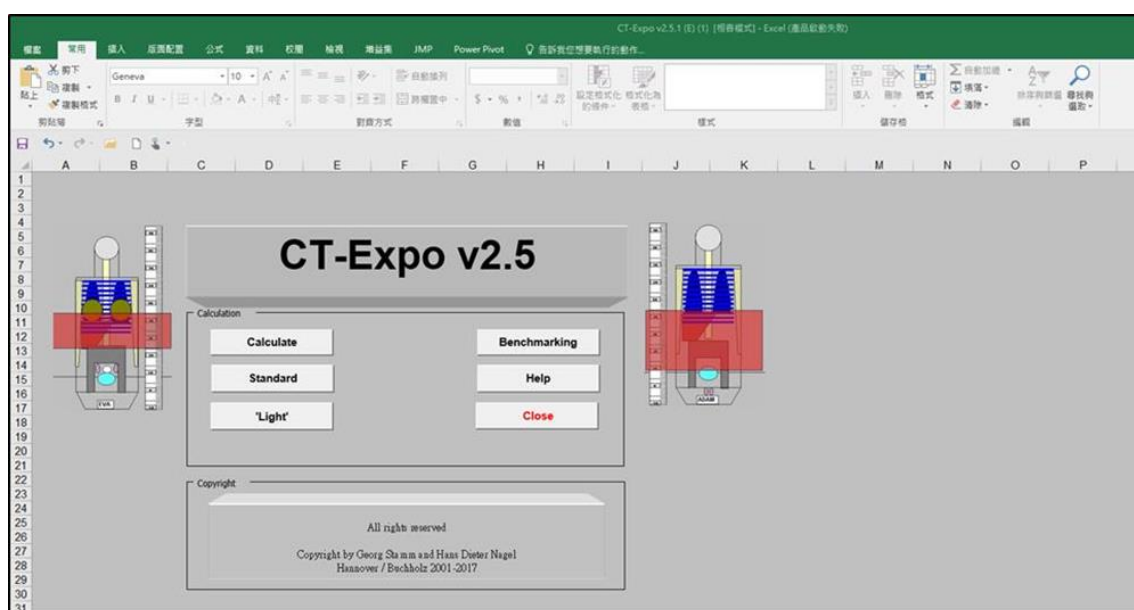


圖 4.2.18 劑量評估軟體-CT-expo 軟體版本及操作介面

(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：

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

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

4.2.21，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

4.2.22，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 4.2.21 電腦斷層檢查項目之台灣國民平均年劑量

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 4.2.22 乳房攝影檢查項目之台灣國民平均年劑量

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、LML0)	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 4.2.19 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。

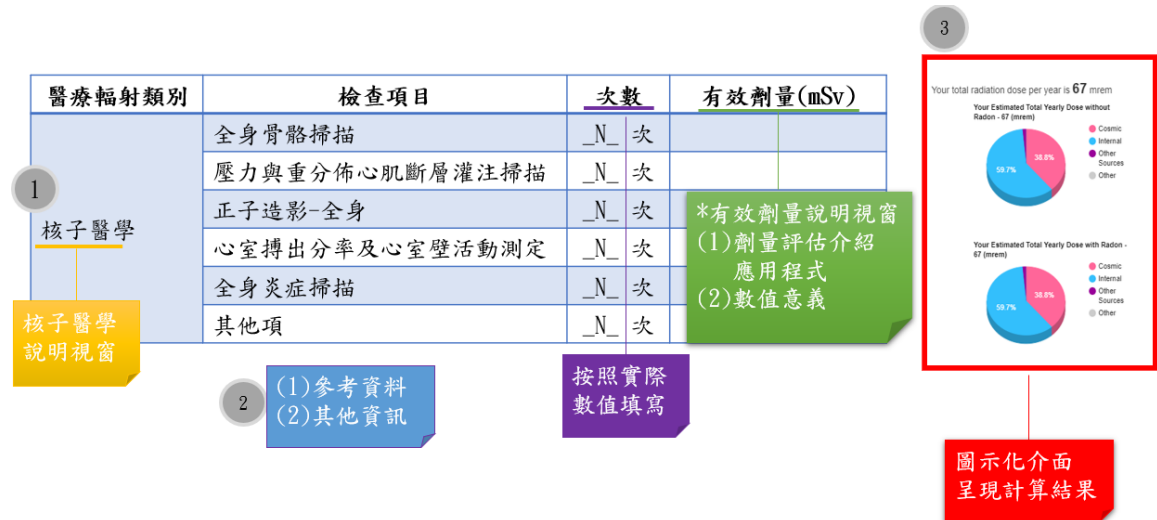


圖 4.2.19 台灣醫療輻射類別劑量網站設計概念圖

明年(110 年)預計完成：(1)精進健保資料庫的人數趨勢評估，(2)32 類次醫院檢查序列調查之取樣，(3)精進與微調 8 種類別 51 個檢查項目合計 140 個劑量評估模型，(4)推算 8 種醫療輻射類別之集體有效劑量，(5)彙整國民醫療輻射劑量資料，(6)建立台灣醫療輻射類別劑量網站。

伍、 結論

台灣海域輻射背景調查經由 106 年至 109 年實際取樣分析調查結果，海水中的銫-137 變化不大，初步呈現一個穩定的狀態，但海洋為一動態環境系統，因此世界各區域的分布狀況不盡相同。109 年所進行的海陸域調查計畫已建立完整調查方法及資料庫，並更新海域輻射調查資料總計 514 件，上述試樣放射性分析結果皆遠低於法規規範標準，顯示臺灣海域環境目前無輻射安全之疑慮。經細部分析研究結果發現，臺灣海域海水之銫-137 濃度除了台灣海峽海域以外，於東北、東南及西南海域之水下 200 至 400 米處略高其他水層，但仍在背景變動範圍內。110 年將持續進行監測，以掌握臺灣海域輻射變化狀況與趨勢。

海陸域調查已初步達成以下成效：

(一) 建立 106~109 年度台灣海域環境放射性核種含量背景資料，提供未來環境輻射監測分析數據比對佐證之參考，並確認台灣臨近海域目前並無輻射異常之現象。

(二) 初步建立台灣海域環境樣品之取樣範圍及數量，經過本計畫數據之整理，加上台灣海域海流、潮汐、漁場等因素，規劃未來適合的取樣範圍及監測樣品等項目，以利執行台灣海域輻射之背景調查。

(三) 建立日本福島氙廢水排放海洋之因應平台，含括原能會、海委會、農委會、中央氣象局等部會及所屬機構，並已規劃執行「台灣海域氙輻射背景調查計畫」，逐步建立台灣海域氙輻射背景資料，以利未來台灣海域輻射背景變化之比對依據。

(四) 海水中放射性銫及氙分析技術，已完成精進與驗證，並建立相關標準作業(SOP)，可增進實驗室分析檢測及取樣之效率。

(五) 海水加馬能譜分析結果，半衰期較短(2 年)的銫-134 於各分區、各深度之活度皆小於最低可測活度，而半衰期較長的銫-137 分析結果，台灣鄰近海域各區域之水深 200 至 400 公尺之海水銫-137 活度較其他水層有較高之趨勢，該水層銫 137 活度測得最高值為 2.20 mBq/L，但低於原子能委員會「環境輻射監測規範」之環境試樣放射性分析之預警措施基準表中水樣銫-137 紀錄基準值 0.4 Bq/L(等於 400 mBq/L)及調查基準 2 Bq/L(等於 2000 mBq/L)。

(六) 沉積物中銫-137 活度低於 0.82 Bq/kg，截至目前的數據分析結果，未發現有區域或海底深度的差異性。

(七) 海產物以大洋洄游漁類銫-137 (平均活度約為 0.2 Bq/kg)較高，其次為沿近海漁類(平均活度約為 0.1 Bq/kg)，最低者為藻貝蝦等其他類(平均活度<0.01 Bq/kg)，少數如杜氏鰱等大型大洋性魚類物種較高於平均值，但數據皆遠低於規定內容之標準值，屬於正常安全範圍內。

(八) 台灣海域海水中的氚輻射含量都在本中心實驗室最低可測活度範圍內($\text{MDA}=2.03$ 貝克/升)，氚背景資料將持續建立。

(九) 台灣北部山區土壤整體平均銫-137 含量約 10(貝克/千克·乾重)，但東北山區受東北季風迎風面易有銫-137 累積效應，例如陽明山地形容易受累積呈現高背景值，其他高山地區皆具與海拔有正相關。

(十) 台灣西部的稻米未測得銫-137 等人工核種，僅測得稻穀平均鉀-40 含量為 248 貝克/千克·乾重，稻米平均鉀-40 含量為 58 貝克/千克·乾重。

目前已初步建立台灣鄰近海域海水、海產物、沉積物等樣品之銫-137 核種背景資料，將持續建立更完整海域環境輻射監測資料，未來即可藉由趨勢變動分析將有助於提早發現污染來源。未來將持續透過跨部會合作持續執行離島區域及台灣海域海水取樣作業，以利進行日本福島氚輻射廢水排放對台灣海域的影響監測與評估。有關海產物持續委由專業漁業單位協助取樣，以達到全海域海產物捕獲點及物種均勻分布具有代表性的目的。

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。

(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。

陸、 參考資料

- [1] IAEA BRIEFING ON FUKUSHIMA NUCLEAR ACCIDENT (29 March 2011) ,
<https://www.iaea.org/newscenter/news/fukushima-nuclear-accident-update-log-44> 。
- [2] Long-term simulations of the 137Cs dispersion from the Fukushima accident in the world ocean, J. Environ. Radioact., 2012 Sep;111:109-15.UNSCEAR, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation", UNSCEAR, United Nations, New York (2008).
- [3] National Council on Radiation Protection and Measurements, Ionizing Radiation Exposure of the Population in the United States, NCRP Report No.160 (2006).
- [4] 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。
- [5] UNSCEAR, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation", UNSCEAR, United Nations, New York (1993)
- [6] 原子力安全研究協會，「新生活環境放射線（平成 23 年（2011 年））」。
- [7] Public Health England, "Ionising Radiation Exposure of the UK Population:2010 Review",2016
- [8] EPA RPII, "Radiation Doses Received by the Irish Population", Radiation Protection Institute of Ireland,2014
- [9] 衛福部食藥署，「食品中原子塵或放射能污染容許量標準」。
- [10] Artigas F. Aussendung einer ionisierenden Strahlung durch trockene pflanzliche Substanzen. Comptes Rendus Acad Sci. 1938;206(1):1200–1202.
- [11] Radford EP Jr, Hunt VR. Polonium-210: a volatile radioelement in cigarettes. Science. 1964;143(3603):247–249.
- [12] Francis CW, Chesters G, Erhardt WH. Polonium-210 entry into plants. Environ Sci Technol. 1968;2(9):690–695.
- [13] Singh DR, Nilekani SR. Measurement of polonium activity in Indian Tobacco. Health Phys. 1976;31(4):393–394.
- [14] 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
- [15] CROSS, F. T., Radioactivity in Cigarette Smoke Issue, Health Phys. 46,205, 1984

- [16] Martell EA. Tobacco radioactivity and cancer in smokers. *Am Sci.* 1975;63(4):404–412.
- [17] 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
- [18] Rego B. The polonium brief: a hidden history of cancer, radiation, and the tobacco industry. *Isis.* 2009;100(3):453–484.
- [19] 科學人，輻射香菸鈷可告人的真相，第 108 期《科學人》雜誌 2011 年二月號
- [20] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
- [21] 自由時報，<https://ec.ltn.com.tw/article/paper/1311677> 2019/08/19
- [22] 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.
- [23] Boujelbane F, Samaali M, Rahali S, Dridi W, Abdelli W, Oueslati M, Takriti S. The activities of 210Po and 210Pb in cigarette smoked in Tunisia. *Radiat Environ Biophys.* 2020 Aug;59(3):565-570
- [24] Cankurt S, Görgün AU. Determination and distribution of 210Po in different morphological parts of tobacco plants and radiation dose assessment from cigarettes in Turkey. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2020 Jul 1;197:110603.
- [25] Iwaoka K, Enriquez EB, Yajima K, Hosoda M, Tokonami S, Yonehara H, Garcia TY, Kanda R. 210Po as a source of natural radioactivity in cigarettes distributed in the Philippines. *Perspect. Sci.* 2019 , 12:100400
- [26] Meli MA, Desideri D, Roselli C, Feduzi L. 210Po in Human Saliva of Smokeless Tobacco Users. *Health Phys.* 2017 Jan;112(1):28-32.
- [27] Tiwari M, Sahu SK, Bhangare RC, Pandit GG. Polonium in size fractionated mainstream cigarette smoke, predicted deposition and associated internal radiation dose. *J Environ Radioact.* 2016 Oct;162-163:251-257.
- [28] Kubalek D, Serša G, Štok M, Benedik L, Jeran Z. Radioactivity of cigarettes and the importance of (210)Po and thorium isotopes for radiation dose assessment due to smoking. *J Environ Radioact.* 2016 May;155-156:97-104.
- [29] Janković Mandić L, Đolić M, Marković D, Todorović D, Onjia A, Dragović S. Natural radionuclides in cigarette tobacco from Serbian market and effective dose estimate from smoke inhalation. *Radiat Prot Dosimetry.* 2016 Jan;168(1):111-5.
- [30] Taroni M, Zagà V, Bartolomei P, Gattavecchia E, Pacifici R, Zuccaro P, Esposito M. 210Pb and 210Po concentrations in Italian cigarettes and effective dose evaluation. *Health Phys.* 2014 Sep;107(3):195-9.
- [31] Begy RC, Somlai J, Kovacs T, Dumitru Rusu OA, Cosma C. The activity concentration of 210Po in Romanian commercial cigarettes and the radiation exposure estimation derived from their regular consumption. *Radiat Prot Dosimetry.* 2013 Nov;157(1):120-4.
- [32] Sakoda A, Fukao K, Kawabe A, Kataoka T, Hanamoto K, Yamaoka K. Radioactivity of 210Pb in Japanese cigarettes and radiation dose from smoking inhalation. *Radiat Prot Dosimetry.* 2012 Jun;150(1):109-13.
- [33] Mohammadi S. Elements of natural radioactive decay series in Iranian drinking water

- and cigarettes. *Arh Hig Rada Toksikol.* 2010 Jun;61(2):235-9.
- [34] Papastefanou C. Radioactivity of tobacco leaves and radiation dose induced from smoking. *Int J Environ Res Public Health.* 2009 Feb;6(2):558-67.
- [35] Schayer S, Nowak B, Wang Y, Qu Q, Cohen B. 210Po and 210Pb activity in Chinese cigarettes. *Health Phys.* 2009 May;96(5):543-9.
- [36] Khater AE, Abd El-Aziz NS, Al-Sewaidan HA, Chaouachi K. Radiological hazards of Narghile (hookah, shisha, goza) smoking: activity concentrations and dose assessment. *J Environ Radioact.* 2008 Dec;99(12):1808-14.
- [37] Tahir SN, Alaamer AS. PB-210 concentrations in cigarettes tobaccos and radiation doses to the smokers. *Radiat Prot Dosimetry.* 2008;130(3):389-91.
- [38] Savidou A, Kehagia K, Eleftheriadis K. Concentration levels of 210Pb and 210Po in dry tobacco leaves in Greece. *J Environ Radioact.* 2006;85(1):94-102.
- [39] Khater AE. Polonium-210 budget in cigarettes. *J Environ Radioact.* 2004;71(1):33-41.
- [40] Peres AC, Hiromoto G. Evaluation of 210Pb and 210Po in cigarette tobacco produced in Brazil. *J Environ Radioact.* 2002;62(1):115-9.
- [41] Skwarzec B, Strumińska DI, Boryło A, Ulatowski J. Polonium 210Po in cigarettes produced in Poland. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 2001;36(4):465-74
- [42] 內政部統計資料 https://www.moi.gov.tw/files/site_stuff/321/2/year/year.html
- [43] 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>
- [44] https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/media/MV-DATES.zip
- [45] 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
- [46] 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.
- [47] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Annex J: Exposures and effects of the Chernobyl accident. 2000: p. 453-566.
- [48] Buesseler, K., M. Aoyama, M. Fukasawa, Impacts of the Fukushima nuclear power plants on marine radioactivity. *Environmental science & technology*, 2011. 45(23): p. 9931-9935.
- [49] 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.
- [50] Stohl, A., P. Seibert, G. Wotawa, D. Arnold, J.F. Burkhardt, 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.
- [51] 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
 - [52] 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
 - [53] 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.
 - [54] 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.
 - [55] 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.
 - [56] ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. *Ann. ICRP* 45(3/4), 1–352. (2016).
 - [57] NCRP Report No. 160 – Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States , 2009
 - [58] Sources and Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 Report, 2000
 - [59] Corrigendum of Sources and Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 Report, 18 May 2016
 - [60] Overview of UNSCEAR re-evaluation of occupational exposure, Dunstana Melo, 2004
 - [61] UNSCEAR'S GLOBAL SURVEY OF RADIATION EXPOSURE: A User Manual
 - [62] 國民輻射劑量評估報告；行政院原子能委員會輻射偵測中心, 87 年。
 - [63] 全國輻射工作人員劑量資料統計年報(民國 104 年版)；行政院原子能委員會, 105 年
 - [64] 全國輻射工作人員劑量資料統計年報(民國 105 年版)；行政院原子能委員會, 106 年
 - [65] 全國輻射工作人員劑量資料統計年報(民國 106 年版)；行政院原子能委員會, 107 年
 - [66] 全國輻射工作人員劑量資料統計年報(民國 107 年版)；行政院原子能委員會, 108 年
 - [67] 全國輻射工作人員劑量資料統計年報(民國 108 年版)；行政院原子能委員會, 109 年

附錄 1.

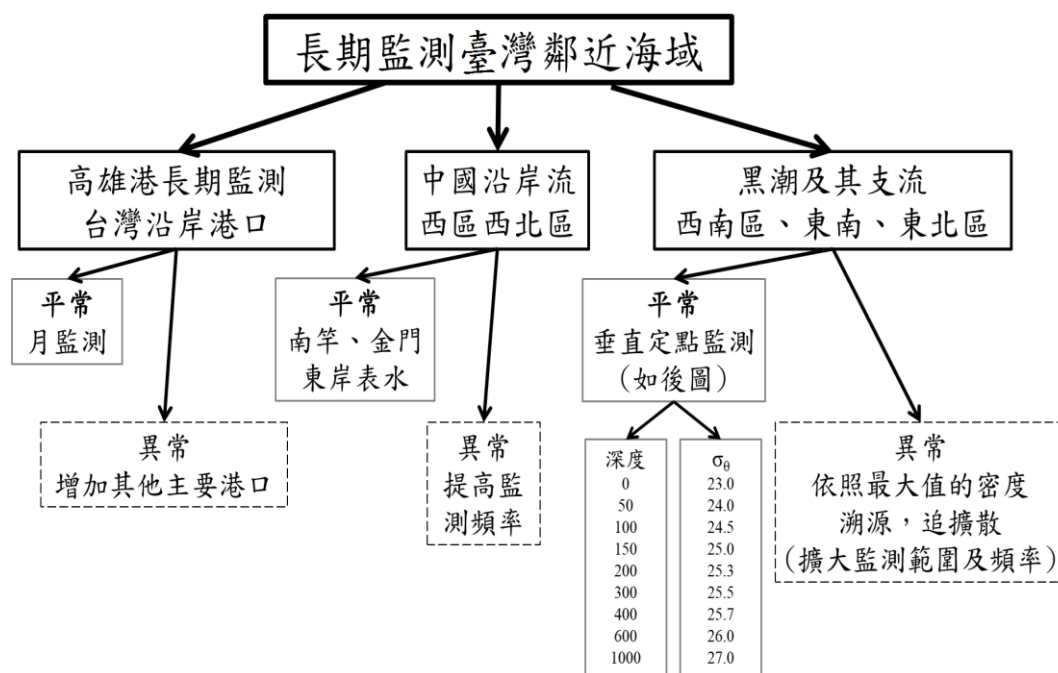
監測方法規劃

民國 109 年計畫根據 107 年及 108 年之執行方法與成果，並參考各國之文獻，幾乎所有採樣團隊都面臨同樣的問題，在有限的採樣時間內，只能採集到有限的樣品數目，在空間分配上而言，究竟要追求較密集的垂直分布，還是要追求較寬廣的空間分布？以下初步規劃未來長期監測之執行策略。

此策略之精神，先確認「極大層」之深度範圍，再依照該深度尋找水平分布。本計畫之研究調查區域依採樣地點共分為西北區、西區、西南區、東南區及東北區五區，其中西區及西南區主要受中國沿岸流影響，而西南區、東南區及東北區則受黑潮及其支流影響。因此建議未來之監測依前述之各區地理及水文特性差異分區設立長期監測站位，規劃示意圖如附圖 1-1。

監測範圍及點位應分別設立於西區、西北區離島定點，如：金門及南竿東岸；西南區則以黑潮支流入侵範圍為原則監測；東南區在黑潮來源設立監測點；以及東北區之湧升區。各監測站位在平時（一般狀況）應採垂直採樣分布之形式，並依深度（0、50、150、200、300、400、600 及 1000 公尺）或 σ_θ （23.0、24.0、24.5、25.0、25.3、25.5、25.7、26.0 及 27.0）採集水樣。若監測發現異常極大值時，則採溯源追蹤或後續擴散等兩種形式調查。[註：異常標準為符合下列狀況之一：1.超過法規規定值，或有可能超過法規規定值時（近五年監測結果平均值與其三倍標準差）；2.鄰近海域及國家（地區）有重大輻射外釋事件]

除了在各分區採集離岸及沿岸之樣品外，也建議持續以每月一次的頻率採集於西子灣（高雄港內）之水樣，以較低的成本達成高頻率的監測，以達成即時發現異常訊號之目的，並同時測量溫度、鹽度及分析總鹼度、pH 等海洋化學參數，以監測銻-137 活度是否受其他環境因子影響。



附圖 1-1 臺灣鄰近海域長期監測規劃示意圖

影響海洋中氙空間分布之可能因素

對於台灣鄰近海域之元素氙之探討與監測建議如下所述。氙在海水中的時間與空間變化可能會受到以下幾點因素影響，第一，輸出的總量、活度與頻率，第二、海中洋流，例如北大西洋、親潮與黑潮之影響，第三、大氣輸入、第四、衰變時間（氙的半衰期為 12.32 年），第五、自然界本身變化。

可藉由本案銈-137 以及銈-134 的監測方式可作為基本框架，再視氙同位素的特性以及往後數年的洋流變化，調整監測方式。