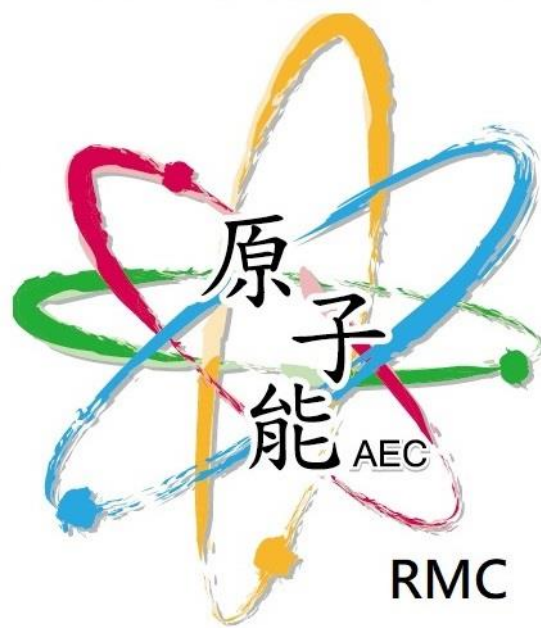


RMC-112-307

行政院原子能委員會
委託研究報告

111 年「海陸域輻射調查及
國民輻射劑量評估」



計畫全程：自 111 年 1 月 1 日至 111 年 12 月 31 日

執行單位：行政院原子能委員會輻射偵測中心

112 年 3 月

摘 要

行政院原子能委員會(以下簡稱原能會)輻射偵測中心(以下簡稱本中心)執行「海陸域環境輻射調查與國民輻射劑量評估」科技計畫，本報告為 111 年之期末報告，內容包含「海陸域環境輻射調查」及「國民輻射劑量評估」兩項子計畫。

「海陸域環境輻射調查計畫」除由本中心執行台灣沿岸 9 個漁港海水及岸沙取樣，另由跨部會單位行政合作，協助進行離島與近海海水、海產物及岸沙樣品取樣；陸域部分，本中心針對核設施周圍土壤進行表層及深層取樣，另由農試所協助提供台灣山區土壤及稻米樣品，後續放射性含量調查分析則由本中心負責進行。111 年相關檢測結果皆無輻射異常現象，由建立的背景資料顯示，海水銫-137 活度為小於最低可測值(MDA, 0.5)至 1.73 毫貝克/升，分析結果在國際間海水銫-137 背景活度的變動範圍內；海產物之銫-137 活度以大洋洄游魚類較高，台灣山區土壤中銫-137 平均活度約 7.85 貝克/千克·乾重，與歷年調查結果一致。核設施周圍土壤調查結果，核二廠環境土壤中銫-137 隨取樣深度漸趨累積，經研判可能為長時間雨水沖刷使銫-137 遷移至深層土壤或人為活動所致，此結果可作為除役作業中及境外核子事故時環境土壤之背景資訊。

本子計畫已建立台灣周邊海域輻射背景調查，並參酌其他鄰近國家海域監測做法，研訂我國海域長期監測規劃，同時亦可對中國大陸沿海核電廠等可能的境外放射性污染進行監測，持續確認我國周邊海域輻射安全。本計畫至 111 年底之放射性分析結果已建立於海域調查資料庫，並將海域樣品分析結果公布於原能會資訊公開(OPEN DATA)專區供民眾查詢與利用，達成政府資訊公開之目標。

「國民輻射劑量評估計畫」是為了瞭解台灣民眾在生活環境中所接受到天然與人造游離輻射曝露的輻射劑量，並參考美國輻射防護與度量委員會(NCRP)的分類方式，將國民輻射劑量之來源及應用層面分成五類進行調查研究，包含(1)天然背景輻射、(2)醫療輻射、(3)消

費性產品、(4)產業活動、(5)職業輻射曝露等五大類。本計畫蒐集國內外相關文獻及評估方式，結合實測作業、曝露情境以進行劑量的評估，其中包含國人之生活習慣調查以獲得符合現況之國民輻射劑量評估結果。此調查結果包括各種輻射來源分項所造成的曝露族群之「個人平均有效劑量(E_{EXP})」、「集體有效劑量(S)」及「國民輻射劑量(E_{Taiwan})」等三項。

經國民輻射劑量評估調查結果，天然背景輻射包含宇宙射線、地表輻射、氡氣及體內放射性核種等 4 類，造成國民每人之年平均有效劑量(E_{Taiwan})為每年 2.74 毫西弗，占整體國民輻射劑量之 63.57%；醫療輻射造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 1.51 毫西弗，占整體國民輻射劑量之 35.03%；消費性產品主要係針對吸菸及飛航行為，合計 0.058 毫西弗，占整體 1.35%；職業曝露包含天然射源(如民航空勤人員)及人工射源(含核燃料循環、醫學應用、工業應用、其他應用類之輻射工作人員)等、產業活動包含工業(如核設施、工廠周邊)、農業(如肥料)等，合計 0.001 毫西弗，不到整體之 0.1%；綜上，我國國民輻射劑量(E_{Taiwan})評估調查結果為每人每年 4.31 毫西弗。

名詞定義

1. **S:集體有效劑量(Annual collective effective dose)**
指特定群體曝露於某輻射源，所受有效劑量之總和，亦即為該特定輻射源曝露之人數與該受曝露群組平均有效劑量之乘積，其單位為人-西弗(man-Sv)。
2. **E_{EXP}:個人年有效劑量(Average annual Effective dose)**
意指曝露族群之平均年有效劑量，又稱個人平均年有效劑量。此劑量為法規上所稱之約定有效劑量，指各組織或器官之約定等價劑量與組織加權因數乘積之和，其單位為西弗(Sv)或毫西弗(mSv)。
3. **E_{EXP-AVE}:有劑量人員之個人年有效劑量**
係指經監測有劑量值人員之平均劑量，意即年集體有效劑量/有劑量值工作人員數，文中會以「有劑量人員平均有效劑量」稱之。
4. **E_{population}:總族群之平均有效劑量(Effective dose per individual in the population)**
意指總族群之平均年有效劑量，計算方式為集體有效劑量除以總群體數，其單位為毫西弗(mSv)或微西弗(μ Sv)。
5. **E_{global}:全球民眾之個人平均年有效劑量(Effective dose per individual per year in global population)**
計算方式為全球每年之集體有效劑量除以全球人口數，以毫西弗(mSv)或微西弗(μ Sv)表示。
6. **E_{us}:美國全體國民之平均年有效劑量(Effective dose per individual per year in United State)**
計算方式為美國每年之集體有效劑量除以美國人口數，以毫西弗(mSv)或微西弗(μ Sv)表示。
7. **E_{JP}:日本全體國民之平均年有效劑量(Effective dose per individual per year in Japan)**
計算方式為日本每年之集體有效劑量除以日本人口數，以毫西弗(mSv)或微西弗(μ Sv)表示。
8. **E_{Taiwan}:台灣全體國民之平均年有效劑量(Effective dose per individual per year in Taiwan)**
計算方式為台灣每年之集體有效劑量除以台灣人口數，以毫西弗(mSv)或微西弗(μ Sv)表示；亦即國民輻射劑量。

目 錄

壹、 前言	1
一、 計畫背景	1
二、 計畫目標	2
貳、 執行策略及方法	5
一、 台灣海陸域環境輻射調查	5
二、 國民輻射劑量評估執行策略及方法	19
參、 期程與資源需求	22
一、 計畫期程	22
二、 經費執行情形	22
肆、 執行成果	24
一、 海陸域環境輻射調查計畫	24
二、 國民輻射劑量評估計畫	89
伍、 結論	197
陸、 參考文獻	204

圖目錄

圖 1. 台灣沿岸地區取樣規劃作業區.....	5
圖 2. 水試所取樣位置圖.....	7
圖 3. 海巡署取樣位置(東沙、南沙未標入).....	9
圖 4. 台灣海域常見魚類洄游路徑圖.....	10
圖 5. 台灣海域氫調查取樣位置圖.....	15
圖 6. 國民輻射劑量調查研究計畫評估範圍.....	19
圖 7. 海水取樣位置點及銫-137 活度.....	30
圖 8. 北太平洋海域秋刀魚場海水取樣位置.....	44
圖 9. 海產物取樣漁港.....	53
圖 10. 海產物取樣位置圖.....	53
圖 11. 各棲地海產物銫-137 分析結果.....	54
圖 12. 核一廠周圍土壤深層中銫-137 分布圖.....	57
圖 13. 核三廠周圍土壤深層中銫-137 分布圖.....	58
圖 14. 蘭嶼貯存場周圍土壤深層中銫-137 分布圖.....	58
圖 15. 清華大學周圍之新竹公園土壤深層中銫-137 分布圖.....	59
圖 16. 核能研究所土壤深度分布圖.....	59
圖 17. 台灣西部各地區稻米鉀-40 分析統計圖.....	85
圖 18. 111 年度論文發表.....	86
圖 19. 海上偵測取樣訓練.....	88
圖 20. 戶外地表輻射量測圖.....	91
圖 21. 室內地表輻射量測情形.....	92
圖 22. 宇宙輻射量測情形(地點：武嶺停車場).....	101
圖 23. 宇宙輻射量測情形(樂信瓦旦紀念公園).....	102
圖 24. 宇宙輻射游離輻射成分劑量率與海拔高度關係.....	104
圖 25. 中子宇宙輻射劑量率與海拔高度關係.....	104
圖 26. 氬氣量測儀器擺放建議.....	128
圖 27. 醫療輻射劑量評估流程.....	133
圖 28. 醫療劑量評估模型建構流程.....	136
圖 29. 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.....	154
圖 30. 104-108 年台灣各機場出入旅客人次比例統計圖.....	156
圖 31. 以 NTHU FDC 與 SIEVERT 計算平均值之台灣熱門航線劑量比較.....	159
圖 32. 雲林麥寮、高雄市興達與台中市火力發電廠現場度量結果.....	184
圖 33. 台灣地區 111 年各職業曝露之從業人口比例.....	193
圖 34. 台灣地區 111 年各職業曝露之集體有效劑量比例.....	193
圖 35. 國民輻射劑量組成與比較.....	203

表目錄

表 1	水試所取樣位置規劃表	7
表 2	海巡署取樣內容一覽表	8
表 3	台灣各季捕獲量前 20 魚種	11
表 4	鰓-90 前處理步驟	13
表 5	核設施周遭環境土壤取樣點規劃表	16
表 6	計畫進度表(111 年)	22
表 7	經費運用情形(111 年)	23
表 8	海陸域計畫重要控管日期一覽表	24
表 9	海水加馬能譜分析結果	27
表 10	核電廠周圍海域海水加馬能譜分析結果	29
表 11	台灣沿岸地區海水氡分析結果(輻射偵測中心取樣)	32
表 12	台灣離岸(含離島)海水氡分析結果(海保署、海巡署取樣)	35
表 13	台灣鄰近海域海水氡分析結果(水試所取樣)	37
表 14	北太平洋海域秋刀魚場海水分析結果	44
表 15	海水鰓-90 分析結果	45
表 16	台灣沿岸地區岸沙加馬能譜分析結果(偵測中心、海巡署)	46
表 17	台灣鄰近海域海產物加馬能譜分析結果(基金會)	47
表 18	台灣鄰近及公海海域海產物加馬能譜分析結果(漁業署)	50
表 19	台灣鄰近海域海產物鰓-90 分析結果	52
表 20	海水監測分析核種、取樣頻率及年度數量	55
表 21	沉積物監測分析核種、取樣頻率及年度數量	56
表 22	海生物監測分析核種、取樣頻率及年度數量	56
表 23	核一廠周遭及金山區環境土壤分析結果彙整表	60
表 24	核二廠周遭及萬里區環境土壤分析結果彙整表	62
表 25	核三廠周遭、墾丁及恆春鎮環境土壤分析結果彙整表	64
表 26	蘭嶼低放貯存場及蘭嶼全島土壤分析結果彙整表	65
表 27	清華大學周遭及新竹市環境土壤分析結果彙整表	65
表 28	核能研究所周遭環境土壤分析結果彙整表	66
表 29	台灣山區土壤加馬能譜分析結果(農試所取樣)	68
表 30	國外進口培養土加馬能譜分析結果	73
表 31	台灣西部稻穀加馬能譜分析結果(農試所取樣)	77
表 32	台灣西部糙米加馬能譜分析結果(農試所取樣)	80
表 33	各縣市戶外地表輻射之平均劑量率與年有效劑量	94
表 34	各縣市房屋住宅構造數量及室內地表輻射	95
表 35	室內與戶外之占用因子	96
表 36	各縣市不同年齡群之地表輻射年有效劑量	97
表 37	地表輻射之集體有效劑量	99
表 38	地表輻射國民輻射劑量差異比較	100
表 39	中子宇宙射線(戶外)與游離輻射成分宇宙射線(戶外)所造成國民之集體劑量	106
表 40	室內與戶外之宇宙射線集體劑量	107

表 41	宇宙射線國民輻射劑量	107
表 42	宇宙射線國民輻射劑量與國外及國內往年比較	108
表 43	國人不同性別、年齡別之身體質量指數 (BMI)	110
表 44	攝食之劑量轉換因子	111
表 45	台灣地區食品檢測結果	113
表 46	食品鈾-210 之檢測結果	114
表 47	國人各年齡群之年攝食量	115
表 48	攝食法估算之國民輻射劑量	122
表 49	我國因攝食導致之體內輻射劑量	122
表 50	攝食曝露年有效劑量之比較	124
表 51	各國國際組織的室內氡氣標準	126
表 52	ICRP 氡氣劑量評估之比較	127
表 53	台灣住宅氡氣量測結果	129
表 54	各國之氡氣吸入背景輻射劑量	130
表 55	醫療委託研究之計畫分年進度表	133
表 56	醫療劑量計算符號公式	138
表 57	醫療劑量評估方式	139
表 58	電腦斷層有效劑量	140
表 59	核子醫學有效劑量	141
表 60	心臟類介入性透視攝影有效劑量	141
表 61	非心臟類介入性透視攝影有效劑量	142
表 62	傳統透視攝影有效劑量	142
表 63	一般傳統 X 光有效劑量	143
表 64	乳房攝影有效劑量	143
表 65	牙科攝影有效劑量	143
表 66	電腦斷層集體有效劑量	144
表 67	核子醫學集體有效劑量	145
表 68	心臟類介入性透視攝影集體有效劑量	145
表 69	非心臟類介入性透視攝影集體有效劑量	146
表 70	傳統透視攝影集體有效劑量	146
表 71	一般傳統 X 光集體有效劑量	147
表 72	乳房攝影集體有效劑量	147
表 73	牙科攝影集體有效劑量	147
表 74	集體有效劑量總和 (S)	148
表 75	國民每人年平均劑量 (ETaiwan)	148
表 76	集體有效劑量百分比 (S60) 比較	149
表 77	個人平均年有效劑量比較	150
表 78	國人吸菸行為之集體有效劑量	152
表 79	國際線、兩岸線與國內線等飛航劑量分析結果	158
表 80	民用航空宇宙輻射劑量評估結果之比較	160
表 81	13 件肥料樣品中所含鐳-226、鈾-232 和鉀-40 的活度濃度	162
表 82	肥料樣品施用於農地後的鐳當量濃度、體外風險指數	166
表 83	肥料樣品的鐳當量濃度、加馬射線係數與其他國家之比較	169

表 84	核能一廠、核能二廠、核能三廠之集體有效劑量(S)評估結果	171
表 85	本中心針對核設施周圍民眾個人劑量評估結果	172
表 86	清華大學針對核設施周圍民眾個人劑量評估結果	173
表 87	核研所針對核設施周圍民眾個人劑量評估結果	174
表 88	蘭嶼低放貯存場周圍民眾個人劑量評估結果	175
表 89	台灣核設施造成集體有效劑量與國民輻射劑量評估結果	176
表 90	國際文獻之核設施集體有效劑量(S)	177
表 91	雲林麥寮、高雄興達與台中火力發電廠現場度量量測點	181
表 92	經現場度量分析之活度濃度與加馬劑量率結果	182
表 93	天然放射性核種鈾系、鈾系與鉀-40 於不同樣品之活度比較	183
表 94	各國煤炭中含放射性核種活度濃度量測差異比較	184
表 95	台灣地區 104-109 年職業輻射曝露劑量統計總表	187
表 96	111 年版職業曝露劑量(僅劑量監測)	188
表 97	台灣地區之職業曝露劑量評估結果(87 年及 111 年)	192
表 98	職業曝露之個人年有效劑量(E_{EXP})之比較	194
表 99	台灣職業曝露之國民輻射劑量(E_{Taiwan})	195
表 100	國民輻射劑量的組成(五大類)	198
表 101	人造輻射之曝露人數、集體有效劑量、曝露人口之有效劑量比較	202

壹、前言

一、計畫背景

原能會為國內輻射及核能安全的主管機關，負責核電廠、輻射作業場所及放射性廢棄物等之安全管制以保障民眾、環境及輻射工作人員之輻射安全，並達到監測資訊透明化的目的；本計畫分為兩個分項子計畫，分別為「海陸域環境輻射調查」與「國民輻射劑量評估」，茲就二計畫之規劃、執行過程及成果分別闡述如下。

(一) 海陸域環境輻射調查計畫

台灣以海洋立國，四面環海擁有多樣豐富的海洋資源，民眾的生活與飲食皆與海洋息息相關，保護鄰近海域的環境生態，維護國人健康，是政府的重要課題。原能會歷年來針對核能電廠附近的環境進行輻射監測，並延伸擴及至台灣沿岸的環境，但缺乏台灣離岸海域的輻射資訊，有鑑於此，原能會於民國 106 年起規劃並推動「台灣海域輻射監測調查計畫」，除可瞭解我國鄰近海域環境輻射狀況，亦利用此調查研究，評估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台灣海域影響之變化趨勢，以保護台灣鄰近海域環境生態、保障國人生活品質及健康。此外，本中心依職掌執行台灣地區環境輻射監測，自民國六十九年起即進行全國環境背景輻射調查，核能一、二、三廠、蘭嶼低放射性廢料貯存場與研究用核反應器之環境輻射監測；監測項目及執行方法係依各年度之監測計畫書，訂立取樣品項、地點、頻率、監測分析方法及等項目，彙整各項監測結果並公諸於資訊網站供參；另本中心於本計畫內規畫進行我國山區土壤及西部地區稻米之放射性含量分析水平，並參考國際原子能總署之「放射性監測土壤和植被採樣準則」技術報告，同時參採各國環境監測計畫及車諾比與福島核災環境輻射監測調查報告等，對陸域環境試樣進行大規模之採樣分

析作業，藉以掌握並建立台灣地區環境輻射背景調查之目的。

(二) 國民輻射劑量評估計畫

國民輻射劑量係以臺灣民眾生活的國內環境為基礎，並考量國人的生活習慣及職業型態差異，針對不同的輻射來源進行調查、量測、統計與分析，計算出每位國民每年生活在國內的環境中接受到來自天然與人造的輻射劑量。

本中心於 81 年至 87 年期間執行第一次國民輻射劑量評估【1】，考量國內上一次評估國民輻射劑量迄今超過 20 年，國人經濟條件及生活習慣已有相當大的改變，環境輻射量測技術亦不斷精進，以及近年來國際上對劑量評估方式的調整，因此對國民輻射劑量進行重新調查及再評估；本報告針對民國 108 至 111 年執行之國民輻射劑量評估結果做說明，除醫療輻射之調查評估委由專業學術單位執行外，其餘項目皆由本中心自行研究，共計完成 11 份分項評估報告，本報告係綜合摘錄各分項評估報告之重要結果。

二、計畫目標

原子能委員會輻射偵測中心為國家賦予環境輻射監測的專責機關，為瞭解環境中放射性核種分布與累積效應的情形，每年均定期依我國環境輻射監測規範【2】執行台灣地區環境輻射監測。為加強我國離岸海域環境輻射監測作業效能及安全防護，讓民眾瞭解我國離岸海域環境輻射狀況，建立更為完整之海域環境輻射背景資料；在陸域部分，針對我國西部地區種質之稻米、高山山區土壤及核設施周圍土壤進行放射性核種含量調查，以完善我國環境輻射監測資料。另為瞭解台灣民眾在生活環境中所接受到天然與人造游離輻射曝露的輻射劑量，爰展開為期 4 年的國民輻射劑量調查計畫，藉以獲得現況之國民輻射劑量之水平，以下就

目標說明及預期效益方面分述如下：

(一)目標說明

海洋中的人工放射性物質，可源自 1945 至 1980 年代間國際間進行大量核武試爆所造成之輻射塵飄散於全球各地及海洋，近年福島核電廠事故後也持續有放射性物質排放或洩漏至海洋中，引起鄰近及國際間的關注；為因應如福島核電廠事故洩漏放射性物質及含氫廢水排放、大陸沿海核電廠排放等事件，放射性物質可能伴隨洋流擴散至台灣沿岸環境，因此必須儘早建立台灣沿岸區域放射性含量背景調查；為能順利執行本計畫之海域環境輻射調查，本中心洽商海洋委員會、農業委員會、科技部及環保署等跨部會之協助以執行台灣離岸海域環境試樣取樣作業，共同完成台灣海域輻射監測調查，確實掌握鄰近海域之輻射狀況，以建立台灣海域輻射背景資料，保障海域生態品質及國人健康安全。

陸域調查方面主要目的著重於台灣地區沉積物之環境輻射背景調查，藉由調查我國山區土壤及西部地區稻米之放射性含量掌握陸域環境輻射背景資料，同時參考國際原子能總署(IAEA)技術報告：「放射性監測土壤和植被採樣準則 Guidelines on Soil and Vegetation Sampling for Radiological Monitoring (Technical Report Series No. 486, 2019)」之技術建議，配合核電廠除役政策，先行規劃執行核設施周遭土壤取樣及放射性核種分析，目標建立核設施除役前環境輻射背景值調查(Baseline Inspection)，作為後續除役作業拆廠階段作業期間，監測核種外釋之判斷依據。

國民輻射劑量評估作業除醫療輻射之調查評估委由專業學術單位執行外，其餘項目皆由本中心自行研究，除蒐集國內外相關文獻及評估方式，結合實測作業、曝露情境進行劑量的評估外，亦參酌國人的生活習慣調查，除了可以獲得符合現況之國民輻射劑量評估結果，亦可培養參

與人員輻射度量與劑量評估的能力，提升國內輻射科學技術人員之能力與量能；同時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，有助於提供明確資訊給大眾。

(二)預期效益

海陸域環境輻射調查完成後將可預期得到以下成效：

1. 可依據調查結果，就放射性活度、海水水團物理化學特性及方位情形等資訊進行分析研判放射性可能來源，並掌握台灣海域輻射狀況，讓民眾安心。
2. 完成台灣離岸海域環境輻射調查方法與背景資料之初步調查，並建立台灣海域輻射監測資料庫，做為規劃未來海域輻射監測長期做法之依據。
3. 精進海水之放射性活度分析技術。
4. 建立台灣山區土壤、核設施周為土壤及西部地區種植稻米之放射性核種含量背景數據，以完備陸域環境放射性核種含量之背景資料並檢視及驗證現行本中心環境輻射監測執行成果。

國民輻射劑量評估作業之預期效益，結合國際最新作法及更新暴露參數，重新評估天然環境背景輻射(含氡氣、攝食、宇宙輻射、地表輻射等)、消費性產品(針對民用航空及吸菸行為)、產業活動(核設施、農業肥料、燃煤電廠等項目)、職業曝露(依最新的劑量監測數據重新評估)及醫療輻射(委託方式進行調查與評估)等，藉以獲得國人最新之國民輻射劑量評估結果，並與國際接軌。

貳、 執行策略及方法

依二項分支計畫之執行策略及方法闡述如下：

一、 台灣海陸域環境輻射調查：

台灣海陸域環境輻射調查分支計畫主要工作項目：(1) 加強台灣沿岸地區放射性核種含量背景調查、(2) 執行跨部會合作協助海水等環境樣品取樣、(3) 委託海洋學術研究機構建立調查方法及(4) 執行核設施周圍地區及全國土壤取樣及放射性分析等。相關執行方式分述如下：

(一)台灣沿岸地區取樣：

1. 取樣地點

取樣地點採矩形網格採樣，將台灣劃分 8 個沿岸地區，如圖 1 所示，每個地區至少一個環境試樣取樣點，並依據港口之規模及取樣便利性，經勘察適合長期監測之地點進行取樣作業，進行定位作為後續執行取樣作業之依據，本計畫劃分 8 個區塊 9 個取樣點，分別針對海水及岸沙採樣。



圖 1. 台灣沿岸地區取樣規劃作業區

2. 取樣頻次

111 年取樣的頻率採每半年執行一次，每個取樣點取 1 個海水（60 公升）、1 個岸沙，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。

3. 放射性核種含量背景調查

本計畫取樣之海水等試樣，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。

(二)、執行跨部會合作協助海陸域環境樣品取樣

透過各部會已建立之台灣現有的離岸海域環境試樣取樣或研究點，在原有的水質、漁業等監測網絡或研究計畫中，增加海域輻射監測取樣方式，以取得較完整的台灣離岸海域環境輻射資訊。偵測中心洽商農委會漁業署、農委會水產試驗所、海洋委員會海洋保育署及海洋委員會海岸巡防署等機關，以不影響各單位海上例行作業為原則，協助原能會進行台灣海域取樣，並由本中心提供各單位船艦有關取樣容器、協助樣品之運送及樣品放射性核種分析等作業。

1. 農委會水產試驗所-台灣主要漁場水質監測取樣

農委會水產試驗所(以下簡稱水試所)定期執行台灣漁場海水水質監測業務，本中心與水試所採行政合作模式，於指定位置採集表層海水及深層海水，對本計畫執行海水放射性分布調查貢獻良多，111 年度水試所依計畫採取水樣詳細資料如表 1 及圖 2。

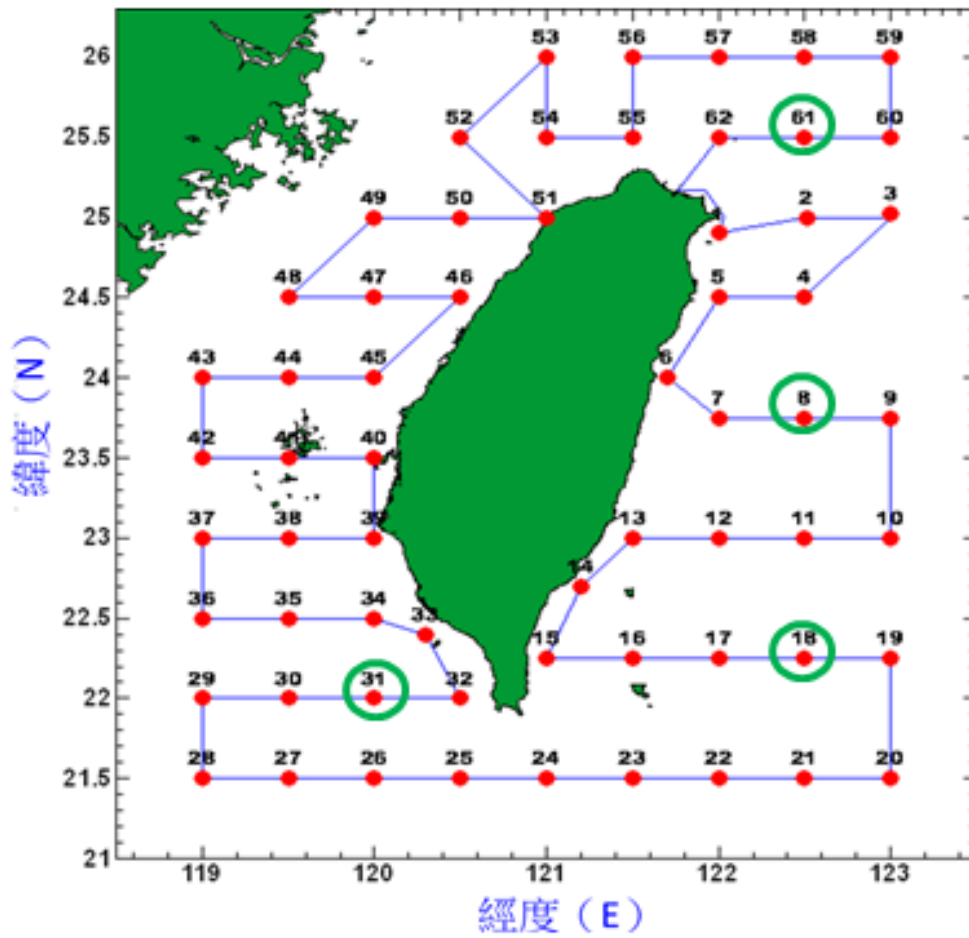


圖 2. 水試所取樣位置圖

表 1. 水試所取樣位置規劃表

取樣測站編號 (參照上圖)	表層海水		深層海水		備註
	取樣深度	數量	取樣深度	數量	
17	0~5 公尺	1	200~400 公尺	1	1. 於上半年(1~4 月，特殊情況下，得於 5 月補取)、下半年(7~10 月，特殊情況下，得於 11 月補取)，各執行 1 次表層海水取樣；深層海水每年取樣 1 次。 2. 採集海水容量為 60 公升。 3. 取樣依地形、水深及海象狀況得由水試所彈性調整取樣深度及數量。
31	0~5 公尺	1	200~400 公尺	1	
61	0~5 公尺	1	200~400 公尺	1	
上半年取樣數量	3		3		
下半年取樣數量	3				
總計	6		3		

2. 海巡署艦隊分署-台灣離島周圍海水取樣

海巡署艦隊分署(以下簡稱海巡署)於台灣各海域設有海巡隊，便於執行海上偵防及保衛國家海域安全之重要任務，本中心與海巡署採行政合作模式，於主要離島海域採集海水及岸沙，以利進行大陸沿岸核電廠之排放監控與海水放射性背景調查。111 年度取樣計畫如表 2：

表 2. 海巡署取樣內容一覽表

站別	建議地點座標	海水數量	岸沙數量	備註
1. 東引	N26.47 E120.64	1 點 (建議地點 3 擇 1)	1 點	1. 海水：每半年取樣 1 次，冬季(1~4 月，必要時得於 10~11 月補取)、夏季(6~9 月)。 2. 採集海水容量：東引、金門為 60 公升，其餘地點為 40 公升。 3. 岸沙：每年取樣 1 次。
	N26.28 E120.62			
	N26.30 E120.40			
2. 南竿	N26.04 E119.87	1 點 (建議地點 3 擇 1)	-	
	N26.06 E120.00			
	N26.14 E120.08			
3. 金門	N24.40 E118.50	1 點 (建議地點 3 擇 1)	1 點	
	N24.37 E118.45			
	N24.35 E118.32			
4. 澎湖	N23.43 E119.70	1 點 (建議地點 3 擇 1)	-	
	N23.54 E119.35			
	N23.78 E119.40			
5. 東沙	N20.5 E116.5	1 點 (建議地點 3 擇 1)	-	
	N20.8 E116.7			
	N20.5 E116.7			
6. 南沙	N10.5 E114.5	1 點 (建議地點 3 擇 1)	-	
	N10.5 E114.3			
	N10.4 E114.2			
7. 黑潮	N25.1 E124.0	1 點	-	
夏季取樣數量		7 件	2 件	
冬季取樣數量		6 件		
總計		13 件	2 件	

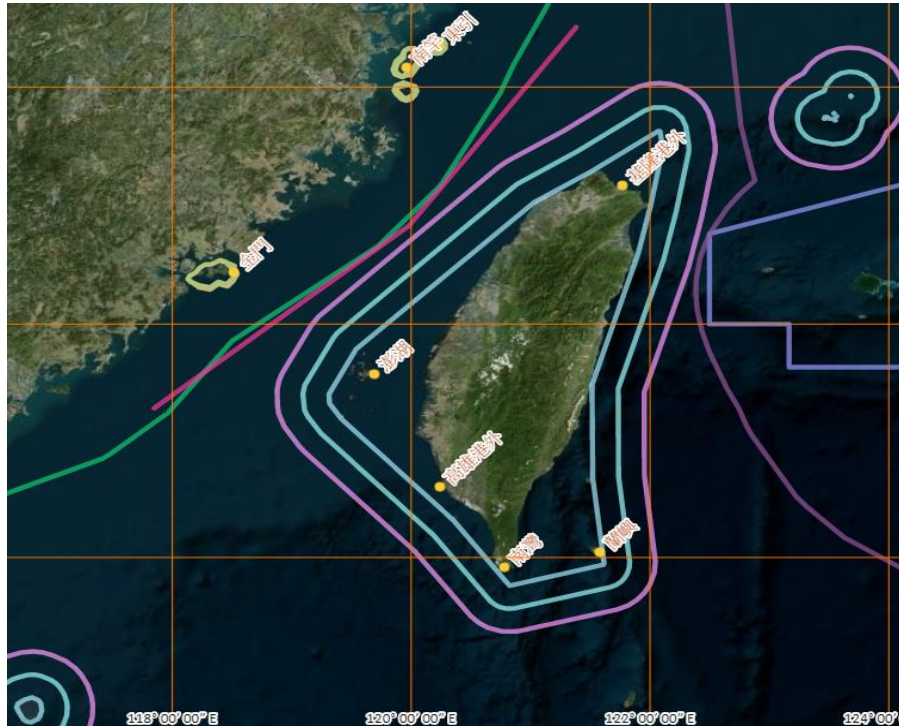


圖 3. 海巡署取樣位置(東沙、南沙未標入)

3. 農委會漁業署-台灣海域海產物及日本海域秋刀魚取樣

農委會漁業署(以下簡稱漁業署)執行「未上市水產品產地監測計畫」每年辦理海洋洄游魚類及秋刀魚輻射監測，台灣常見魚類洄游路徑圖如下圖 4，本中心自 108 年起與漁業署以計畫合作模式，由漁業署負責取樣送本中心進行放射性分析；111 年由遠洋漁船取樣秋刀魚 80 件及鮪旗鯊類 20 件送本中心進行加馬放射性分析【3】，其中 5 件秋刀魚另執行鋇-90 化學分析；此外，由漁業署委託財團法人臺灣海洋保育與漁業永續基金會取樣 50 件沿近海洄游魚類送本中心進行加馬放射性分析，111 年度本中心與漁業署計畫合作共計檢測海生物樣品 155 件次。

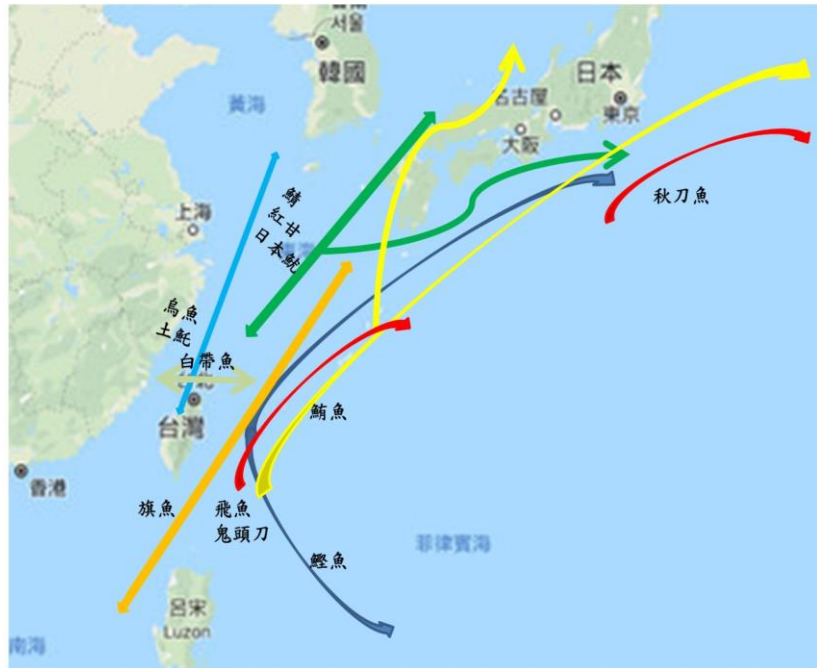


圖 4. 台灣海域常見魚類洄游路徑圖

4. 財團法人臺灣海洋保育與漁業永續基金會-海產物取樣

財團法人臺灣海洋保育與漁業永續基金會(以下簡稱基金會)於台灣各大漁港派駐有觀察員，協助漁業主管機關進行漁業捕撈統計等作業，本中心分析海產物資料時，發現與漁業署合作之魚類多屬分布於大洋洄游之魚類，缺少近海魚類及底棲海生物(蝦、蟹、貝、藻類等)資料，為補足相關資料，本中心以勞務委託方式委託基金會協助相關海產物之採樣，111 年度約採集 70 件海生物樣品以利海產物之放射性含量監控，以維護民眾海產物的食用安全。

本中心合作及委託之漁業署及基金會皆為我國漁業專業單位，協助本計畫採集國人常食用之經濟漁種或各主要漁場各季節所代表性之漁種如下表 3。計畫之海產物取樣涵蓋台灣海域與各式常見漁種，讓分析結果具有代表性。

表 3. 台灣各季捕獲量前 20 魚種(財團法人臺灣海洋保育與漁業永續基金會)

全台不分區各季 Top20 魚種

排序	第一季	第二季	第三季	第四季
1	鯖魚	鯖魚	鯖魚	鯖魚
2	白帶魚	日本竹筴魚	日本竹筴魚	日本竹筴魚
3	日本竹筴魚	圓花鯉	圓花鯉	白帶魚
4	眼眶魚	長角鬥士赤蝦	鎖管	鬼頭刀
5	東方齒鯖	黃鯖鮪	黃鯖鮪	鰻
6	晶瑩櫻蝦	鎖管	長角鬥士赤蝦	藍圓鯨
7	黑皮旗魚	太平洋黑鯖	白帶魚	間型毛蝦
8	黃鯖鮪	鬼頭刀	眼眶魚	眼眶魚
9	無斑圓鯨	白帶魚	間型毛蝦	立翅旗魚
10	淺海狐鯊	半稜鯢類	晶瑩櫻蝦	黃鯖鮪
11	尖吻鯖鯊	眼眶魚	塔氏櫻蝦	烏鯧
12	鎖管	黑皮旗魚	鬼頭刀	鎖管
13	深海狐鯊	晶瑩櫻蝦	刺鯧	黑皮旗魚
14	刺鯧	深海狐鯊	半稜鯢類	長角鬥士赤蝦
15	康氏馬加鯖	東方齒鯖	黑皮旗魚	圓花鯉
16	半稜鯢類	鋸峰齒鯊	正鯉	紅鋤齒鯛
17	路易氏雙髻鯊	劍旗魚	章魚科	章魚科
18	鋸峰齒鯊	黑魚或	藍圓鯨	深海狐鯊
19	烏鯧	杜氏鱗	深海狐鯊	紅星梭子蟹
20	圓花鯉	正鯉	紅鋤齒鯛	真烏賊

5. 農委會農產試驗所-台灣陸域山區土壤及農特產品取樣

農委會農產試驗所(以下簡稱農試所)調查全國農業環境基本資料，本中心與農試所計畫合作，111 年度由農試所提供台灣山區土壤 100 件及農特產品(稻米)200 件，由本中心執行放射性分析，以健全台灣輻射背景資料及稻米放射性分析調查，可供國民輻射劑量評估之用。

(三)委託學術研究機構建立海水鋇-90 分析方法

海水中存在極微量的鋇-90，鋇-90 是核分裂的產物，由於核試爆、核子事故而存在於海洋中；海水中本就存在天然的穩定鋇同位素(大約每公升 6 至 8 毫克)，而鋇-90 檢測方法需以添加鋇載體計算回收率，故海水中鋇之存在，將影響鋇-90 的回收率計算而無法定量。

本計畫委託國立屏東科技大學協助建立海水鋇-90 分析方法及完成海陸域樣品鋇-90 分析作業：

1. 海水鋇-90 分析方法建立

取樣 40 公升之海水，其中 250 毫升的樣品以感應耦合電漿光學發射光譜儀(ICP-OES)或質譜儀(ICP-MS)進行海水中總鋇之定量，剩餘海水樣品依表 4 之步驟進行前處理並以下列公式進行回收率的計算後，以比例計數器進行計測並計算鋇 90 之活度。

鋇化學回收率：

$$40 \text{ 公升海水碳酸鋇重量 (g)} = \frac{\text{總鋇含量} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 40}{1000 \times \left(\frac{87.62}{147.63} \right)}$$

$$\text{海水鋇化學回收率計算 (\%)} = \frac{\text{樣品經純化後秤得之碳酸鋇重量 (g)}}{\text{海水中總鋇含量換算得碳酸鋇重量 (g)}} \times 100\%$$

鋇 90 的放射活度：

$$\text{鋇 90 (貝克/公升)} = \frac{N \pm \Delta N}{60 \times E \times Y \times V \times I \times D}$$

$N \pm \Delta N$ ：鈾淨計數率(cpm)

E：鈾 90 計測效率

V：分析試樣的體積(公升)

Y：鋇化學回收率

I：鈾 90 生成因數： $1 - e^{-\lambda(t_2 - t_1)} / T_{1/2}$

D：鈾 90 衰變因數： $e^{-\lambda(t_c - t_2)} / T_{1/2}$

$\lambda = 0.693 / T_{1/2}$ 鈾-90 半衰期($T_{1/2}$)：64 小時

t_1 ：鈾 90 開始生成時間(小時)。

t_2 ：鋇、鈾分離時間(小時)。

t_c ：鈾 90 開始計測時間(小時)。

表 4. 鋇-90 前處理步驟

流程	細項步驟
草酸鹽沉澱	<ol style="list-style-type: none">1. 量取 40L 海水2. 秤取 100g 草酸攪拌至溶解3. 加入氨水調整 pH 值至 4.24. 靜置 2~3 天後收集草酸鹽沉澱物
除鈣 (發煙硝酸法)	<ol style="list-style-type: none">1. 以 1:1 硝酸溶解草酸鹽沉澱物，並記錄所加之 1:1 硝酸用量2. 加入相當於 1.8 倍溶解草酸鹽沉澱物所需之 1:1 硝酸的發煙硝酸3. 靜置 2 小時後離心取得沉澱物4. 以水溶解沉澱物並記錄所加之水量5. 加入相當於 1.5~1.8 倍溶解草酸鹽沉澱物所需之水的發煙硝酸6. 反覆操作至鈣除盡為止
除鋇 (鉻酸鈉法)	<ol style="list-style-type: none">1. 以 20mL 水溶解除鈣後之沉澱物2. 加入 1mL 7:13 醋酸溶液、2mL 之 46% 醋酸銨溶液及 1mL 10mg/mL 鋇載體溶液，加熱沸騰(除去水中之碳酸)3. 加入 1mL 30%(W/V) 鉻酸鈉溶液，加熱沸騰4. 以 42 號濾紙過濾之，濾紙以水清洗，濾液加入 1mL 氨水5. 濾液加入 5mL 飽和碳酸銨溶液，加熱沸騰6. 靜置冷卻後，過濾收集碳酸鋇沉澱

<p>第一次鋇鈣分離</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 碳酸鋇沉澱以 1:3 鹽酸溶解後，加入 1mL 鐵載體溶液 (Fe^{3+} 5mg /mL) 2. 加入 1g 氯化銨，加熱沸騰 3. 沸騰後徐徐加入氨水至產生氫氧化鐵沉澱物 4. 以濾紙過濾並收集濾液，紀錄此刻時間 5. 濾液加入 5mL 飽和碳酸銨溶液，加熱沸騰 6. 靜置冷卻後，過濾收集碳酸鋇沉澱，並精秤重量至小數點下四位數(濾紙與計測皿一併秤重)，計算碳酸鋇回收率是否介於 40~90%之間) 7. 將碳酸鋇沉澱以溫 1:3 鹽酸及水溶解至 25mL 8. 碳酸鋇溶解液加入 1mL 鐵載體後靜置 14 天
<p>第二次鋇鈣分離</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 靜置液加入 1g 氯化銨，加熱沸騰 2. 沸騰後徐徐加入氨水至產生氫氧化鐵沉澱物 3. 以濾紙過濾，紀錄此刻時間，並以 1:3 鹽酸及熱水將濾紙上氫氧化鐵洗下 4. 濾液加入 1g 氯化銨，加熱沸騰 5. 沸騰後徐徐加入氨水至產生氫氧化鐵沉澱物 6. 以 42 號濾紙抽氣過濾取得氫氧化鐵沉澱烘乾後進行計測

2. 海陸域樣品鋇-90 分析

本計畫 111 年度執行海陸域樣品鋇-90 含量調查，包含海水 5 件、海生物試樣 41 件、陸域試樣 10 件(土壤 3 件、農魚特產 2 件及淡水 5 件)。

(四)日本福島第一核電廠含氚廢水排放因應措施

日本政府宣布將於民國 112 年春季將福島核電廠含放射性物質氚之處理過廢水排放至海洋，台灣應先期建立台灣海域之環境氚輻射背景資訊，以比對未來日本排放後之影響。

我國海洋事務主管機關為海洋委員會，海產物之主管機關為農業委員會，透過跨部會合作整合資源，本中心與海委會海洋保育署(以下

簡稱海保署)、海巡署、農委會水產試驗所於民國 110 年 6 月合作執行「台灣海域海水氡輻射背景調查/監測計畫」並提報原能會核准，每年將依據前一年度執行情形、分析結果、境外事件等因素滾動式調整及規劃，110 年規劃取樣點共計 99 點，後於 111 年增加至 107 點，如下圖 5。考量台灣周邊洋流是以夏季及冬季劃分，且本中心歷年海洋環境樣品調查結果都遠低於管制定值，因此在有限檢驗資源情況下，監測頻率每半年執行 1 次表層海水取樣，另針對黑潮海域因往年有偵測到深層海水有稍高的銫-137 活度，因此在該海域每年取樣 1 次 200 至 400 米深海水，相關費用由國家海域放射性物質環境輻射監測及安全評估整備計畫支應。

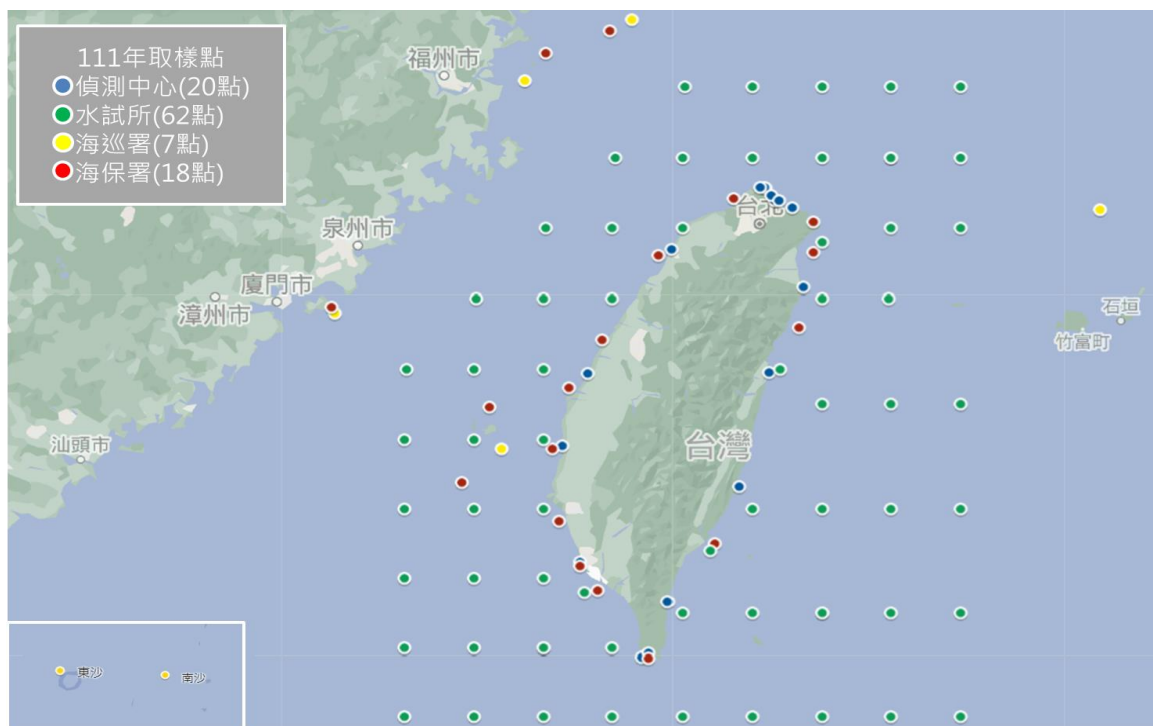


圖 5. 台灣海域氡調查取樣位置圖

(五)執行核設施周圍地區土壤取樣及放射性分析

1. 取樣點及數量

輻射偵測中心每年皆訂立監測計畫執行核能設施周圍環境輻射監測作業，各項監測結果以季報方式定期公告於原子能委員會網站。為建立核設施除役前環境輻射背景，擴充例行監測計畫取樣點，於台灣地區現有核設施核能一、二、三廠、蘭嶼低放射性廢料貯存場、核能研究所及清華大學研究用核反應器等周圍執行表層及深層土壤取樣。考量土壤樣品屬沉積物，放射性核種來源可能來自於核試爆或核設施外釋，隨時序沉降於表土或遷移至深層土壤方式呈現，因此取樣方法設計為表土及深層土取樣。111 年度取樣地點及取樣方法(表土、深層)數量規劃如下表 5：

表 5. 核設施周遭環境土壤取樣點規劃表

設施類別	設施名稱	取樣地點數量統計	取樣方法		樣品數量
			表土	深層	
核能電廠	核能一廠	10	6	4	22
	核能二廠	10	6	4	22
	核能三廠	10	6	4	22
研究用核設施	核能研究所	4	2	2	10
	清華大學	4	2	2	10
放射性廢料貯存場	蘭嶼	8	6	2	14
規劃總樣品數：100					

備註：

1. 表土：取樣目標為 5 公分深之表土層土壤，表格內數字為取樣點位。
2. 深層：取樣目標為 5~40 公分深之深層土壤，每 10 公分劃分為單一樣品，表格內數字為取樣點位。
3. 樣品數量：指單一設施取樣樣品總量，以核能一廠例，表土取樣 6 件及深層土取樣 16 件(每一點為取樣 4 個深度)，共 22 件樣品。

2. 取樣點選定之規則

- (1) 確認取樣點地質及土壤組成：先查詢經濟部中央地質調查所(地質調查整合查詢)及農委會農業試驗所(土壤資料供應平台)網站^{1、2、3}。
- (2) 取樣點疑似污染點(深層取樣土)：查詢本中心歷年偵測報告，挑選沉積物項目分析結果含人工放射性核種地點，鎖定該點為深層取樣之作業點，分析結果可評估核種深度遷移。
- (3) 取樣點非特殊調查點：查詢周圍人口密集度，人口相關資料參考內政部社會經濟資料庫縣市統計地圖展示資料圖台³，優先選擇設施周遭人口較高之鄰里及公用地，並配合 Google 地圖街景功能，選擇空曠地區，如公園、學校或未開發地。
- (4) 取樣點避開特殊地形之土壤：地勢低窪雨水匯集地、斜坡地形及建築物外層屋簷排水管道排水區域，其目的在避開因地形造成放射性核種累積效應。

(六) 實驗分析方法

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，自民國 109 年 5 月起為加強台灣海域氡輻射背景調查，增列海水氡分析，海水中氡蒸餾純化後，經由低背景液體閃爍計數器計測分析。

1. 海水放射性分析

(1) 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

備註：

1. 經濟部中央地質調查所網站：

<https://gis3.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-1/sys8/t3/index1.cfm>

2. 農委會農業試驗所網站：

<https://tssurgo.tari.gov.tw/Tssurgo/Map>

3. 內政部社會經濟資料庫縣市統計地圖展示資料圖台：

<https://semap.moi.gov.tw/STATViewer/Web/CountySTATViewer.aspx>

整於酸性環境下進行共沉反應，取沉澱物進行純鍮偵檢器計測分析【4】。

(2) 直接計測法

取海水約 1 公升直接以純鍮偵檢器進行計測分析。

2. 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，取灰份進行純鍮偵檢器計測分析。

3. 沉積物放射性分析

沉積物先進行 105°C 烘乾後，經研磨過篩(20 mesh)後，取沉積物進行純鍮偵檢器計測分析。

4. 稻米樣放射性分析

稻米經簡單檢除雜物(石塊、稻稈等)，送脫殼機將米粒與稻殼分離，分別進行純鍮偵檢器計測分析。

5. 海水放射性氚分析

取海水約 300 毫升經初步過濾後，經 70~90°C 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【5】。

6. 土壤放射性分析

土壤試樣以 110°C 烘乾，去除碎石、草根等加以碾碎，並以 10 mesh 篩選後混合，填裝於標準 4.5 公分高計測皿中，以純鍮偵檢器計測進行放射性核種分析。

7. 海產物放射性鋇-90 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，並以發煙硝酸法純化後，以比例計數器進行計測。

8. 海水放射性鋇-90 分析

取海水 40~60 公升經初步過濾，以發煙硝酸法純化後，以比例計數器進行計測。

二、 國民輻射劑量評估執行策略及方法

為瞭解台灣民眾在生活環境中所接受到天然與人造游離輻射曝露的輻射劑量，本中心從民國 108 年至民國 111 年，共計花費四年完成國民輻射劑量重新調查與評估，並參考美國輻射防護與度量委員會 (National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP) 2009 年出版 160 號報告【6】的分類方式，將國民輻射劑量之來源及應用層面分成五類進行調查研究，包含(1)天然背景輻射、(2)醫療輻射、(3)消費性產品、(4)產業活動、(5)職業輻射曝露等五大類，如圖 6。本計畫蒐集國內外相關文獻及評估方式，結合實測作業、曝露情境進行劑量的評估，評估作業包含國人的生活習慣調查，以獲得符合現況之國民輻射劑量評估結果，執行方法說明如下：



圖 6. 國民輻射劑量調查研究計畫評估範圍

天然背景輻射的部分，氬氣因應國際放射防護委員會 (International Commission on Radiological Protection, ICRP) 發布新的劑量轉換因子而重新加以評估；體外劑量如宇宙輻射與地表輻射彙整過去資料後，並新增外島與山區之體外輻射劑量之調查，以強化數

據之完整性；攝食曝露部分針則對鉀-40、鈾-210 等放射性核種完成計測分析與劑量評估。

醫療輻射自民國 108 年起歷時 3.5 年，以委託研究方式由財團法人中華民國防護協會執行，透過醫療院所訪談與調查作業，針對 8 種醫療輻射診斷類別(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單次有效劑量，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 種醫療輻射診斷類別的國民醫療輻射劑量。

消費性產品的輻射劑量，以評估吸菸與民用飛航劑量為主。民國 108 年已執行吸菸劑量先期評估作業，後續亦取得衛福部最新之吸菸習慣調查結果，納入成人與青少年等族群等統計資料，以符合國人吸菸群體統計數據之概況。在民用飛航部分，國際線的搭乘人次於 20 年間增加 4 倍，因此於民國 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；國內航線與兩岸線，搭配國內新開發之劑量評估軟體，亦進行進一步評估。

產業活動部分係針對從事某經濟活動而造成特殊群體(關鍵群體)之輻射曝露，評估項目包含：農業肥料、核設施、燃煤電廠等。農業肥料針對市售 13 件肥料進行放射性活度濃度分析，以評估肥料樣品施作於農地後，造成農民的平均年有效劑量及國民輻射劑量；核設施以針對國內現有核設施進行探討，包含核能一廠、核能二廠、核能三廠、清華大學研究用反應器、核能研究所、台電公司蘭嶼低放貯存場等，共計 6 座核設施，參採各項核設施監測季報與年報方式，進行國民輻射劑量之評估；燃煤電廠為針對國內燃煤電廠周圍之空浮與土壤進行採樣調查與量測，並參考燃煤電廠周圍人口分布之情形，評估當地居民因燃煤電廠產生之

煤灰所造成的輻射劑量。

職業曝露的評估自 109 年開始執行，依據國內「全國輻射工作人員劑量資料庫」之職業曝露監測資料，我國目前存在輻射從業人口的行業可分成：核燃料循環類、醫學應用類、工業應用類、其他類以及天然射源類等 5 類；每類別下又會再依職業種類分有細項，共計 23 項。本報告以上述統計資料為基礎，並收集其他未納入劑量監測之職業(如:民用航空機組人員)之職業曝露研究，計算國人從事輻射相關職業所造成之國民輻射劑量。

上述項目除醫療輻射之調查評估委由專業學術單位執行外，其餘項目皆由本中心自行研究，已於 111 年底完成國民輻射劑量整體評估作業，並於民國 111 年 6 月 16 日、11 月 14 日、11 月 16 日、11 月 21 日及 12 月 8 日召開 5 場審查會辦理報告審查作業，歷次開會通知單及會議記錄如附件，並於 112 年初陸續完成各分項報告之修正。

參、期程與資源需求

一、計畫期程

表 6 計畫進度表(111 年)

項目	月份											
	1	2	3※	4	5	6※	7	8	9※	10	11	12※
分項計畫一												
海陸域環境取樣												
分析與結果彙整												
工作檢討												
總結報告												
分項計畫二												
資料彙整與評估計算												
期中工作檢討												
召開審查會議												
各項作業結果彙整與補強												
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。 第 3 季：各單位取樣進度查核。 第 4 季：各單位取樣進度查核。 分項計畫二 第 1 季：第一次工作會議。 第 2 季：第二次工作會議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：完成總結報告及期末檢討會議。											
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 111 年度總經費為 6,900 仟元，結餘 148,344 元，執行率為 97.85%，執行情形如表 7 所示。

表 7 經費運用情形(111 年)

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	5,000,000	72.46%	4,852,481	97.05%	
設備費	1,900,000	15.74%	1,899,175	99.96%	
總計(A)	6,900,000	100%	6,751,656	97.85%	

肆、執行成果

一、海陸域環境輻射調查計畫

(一)計畫重要控管日期

為有效控管計畫之進行，本計畫重要控管工作項目簡略紀錄如表 8。

表 8. 海陸域計畫重要控管日期一覽表

日期	工作項目	備註
110 年 12 月 27 日	函送海委會海巡署協助離島海水及岸沙樣品採樣合作計畫	
111 年 1 月 4 日	函送農委會水產試驗所協助離岸漁場海水樣品採樣合作計畫	
111 年 1 月 27 日	漁業永續基金會「開工前職業安全衛生協調會議」	
111 年 1 月 26 日	原能會召開第 9 次跨部會協調會議	因應日本氙廢水排放
111 年 2 月 9 日	海水鋇-90 方法開發及海陸域樣品鋇-90 初步調查開工會議	
111 年 2 月 25 日	函請農委會漁業署協助辦理漁撈水產品取樣事宜	
111 年 3 月 22 日	海域輻射監測工作小組第 1 次會議	因應日本氙廢水排放
111 年 4 月 21、22 日	核三廠土壤取樣	
111 年 4 月 27 日	原能會召開第 10 次跨部會協調會議	因應日本氙廢水排放
111 年 5 月 4~6 日	蘭嶼貯存場土壤取樣	
111 年 6 月 14 日	核能研究所處土壤取樣	
111 年 6 月 17 日	海水鋇-90 方法開發及海陸域樣品鋇-90 初步調查第 2 季查核會議	
111 年 6 月 23 日	海域輻射監測工作小組第 2 次會議	因應日本氙廢水排放
111 年 7 月 1 日	海陸域環境輻射調查計畫第 1 次工作會議	原能會綜計處召開
111 年 7 月 18、19 日	清華大學土壤取樣	
111 年 7 月 20 日	原能會召開第 11 次跨部會協調會議	因應日本氙廢水排放
111 年 9 月 28 日	海域輻射監測工作小組第 3 次會議	
111 年 9 月 26 日	海水鋇-90 方法開發及海陸域樣品鋇-90 初步調查第 3 季查核會議	因應日本氙廢水排放
111 年 10 月 26 日	原能會召開第 12 次跨部會協調會議 核二廠土壤取樣	因應日本氙廢水排放

111 年 10 月 27 日	核一廠土壤取樣	
111 年 12 月 13 日	海水銻-90 方法開發及海陸域樣品銻-90 初步調查 期末查核會議	
111 年 12 月 21 日	海域輻射監測工作小組第 4 次會議	因應日本氙廢水排放

(二)重要成果清單

1. 海水銻加馬能譜分析：台灣附近海域 94 件。
2. 海水氙分析：台灣附近海域 406 件，公海秋刀魚場 12 件，共 418 件。
3. 海水銻-90 分析 5 件。
4. 岸沙及河沙加馬能譜分析共 22 件。
5. 海產物加馬能譜分析共 255 件(含秋刀魚加馬分析 97 件)。
6. 海生物銻-90 分析 46 件。
7. 核設施周圍土壤分析 151 件。
8. 台灣山區土壤分析 126 件。
9. 國外進口培養土 5 件。
10. 台灣西部稻米分析 206 件。
11. 111 年參加國際原子能總署 (International Atomic Energy Agency, IAEA) 之能力試驗，本計畫中之樣品銻-137、銻-134、銻-90、氙等放射性核種分析能力測試皆獲通過。
12. 發表「核一廠周圍土壤中人工核種污染評估」、「海水中銻 90 之濃縮純化與分析方法建立」、「精進水樣中低能量放射性碘分析技術」、「台灣海域中海產物鈾-210 含量之分析」、「台灣鄰近海域中海水含氙活度之調查」、「生物試樣中鈾-210 分析方法建置」、「臺灣海陸域樣品中銻 90 含量分佈調查之研究」論文共七篇。
13. 參與原能會辦理四場跨部會「日本福島第一核電廠含氙廢水排放因應協調會議」並辦理海域輻射監測工作小組會議四場，以討論我

國之因應對策。

14. 本計畫執行「台灣海域海水氡輻射背景監測計畫」，持續監測台灣海域氡輻射變化，以因應日本政府擬將含氡廢水排放至海洋後對於台灣海域之影響評估。

(三) 海陸域環境調查計畫執行結果

1. 海水加馬能譜分析結果

本計畫每半年採集台灣沿岸主要漁港、離島地區及黑潮海域之海水，民國 111 年總計取樣 50 件，詳如表 9，其中台灣沿岸主要漁港、黑潮海域及金門、東引，海水分析量為每件 60 公升、計測 12 萬秒；其餘地區海水分析量為每件 40 公升、計測 20 萬秒。本年度各區域海水銫-134 活度皆小於儀器最小可測量值(Minimum Detectable Amount, MDA)，銫-137 活度為低於儀器最小可測量值(MDA 為 0.5 毫貝克/升)至 1.73 毫貝克/升，皆無輻射異常現象。

表 10 為本中心每季至台灣南北兩端核能電廠周圍海域採集海水樣品，民國 111 年合計取樣 44 件，海水分析量為每件 1 公升、計測 6 萬秒，此類海水加馬能譜分析結果銫-134 及銫-137 活度皆小於儀器最小可測量值(MDA 為 90 毫貝克/公升)，無輻射異常現象。

綜上，本年度完成之海水樣品加馬能譜分析共 94 件，海水樣品取樣地點以地圖表示如圖 7，加馬能譜分析結果顯示台灣鄰近海域與沿岸海水之銫-134 活度皆低於儀器最小可測量值，銫-137 活度低於 1.73 毫貝克/升，在歷年台灣周圍海域海水銫-137 之活度範圍(<MDA 至 2.41 毫貝克/升)內。

表 9. 海水加馬能譜分析結果

樣品 編號	取樣日期	緯度 (N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		取樣單位	區 域
					銫-134	銫-137		
1	111/01/05	23.98	121.62	0-5	—	1.30	偵測中心	花蓮港
2	111/01/05	23.16	121.40	0-5	—	0.72	偵測中心	成功漁港
3	111/01/06	22.34	120.90	0-5	—	0.84	偵測中心	大武漁港
4	111/01/10	23.97	120.32	0-5	—	1.08	偵測中心	王功漁港
5	111/01/10	23.45	120.14	0-5	—	0.97	偵測中心	南寮漁港
6	111/01/11	24.85	120.92	0-5	—	0.90	偵測中心	東石漁港
7	111/01/17	22.62	120.27	0-5	—	0.95	偵測中心	西子灣
8	111/01/19	24.58	121.87	0-5	—	0.52	偵測中心	南方澳
9	111/01/24	25.14	121.79	0-5	—	1.24	偵測中心	八斗子漁港
10	111/02/10	23.45	120.14	0-5	—	1.23	偵測中心	南寮漁港
11	111/02/10	10.50	114.51	0-5	—	0.92	海巡署	南沙
12	111/02/11	25.50	122.50	0-5	—	0.97	水試所	龍洞外海
13	111/02/11	25.50	122.50	200-400	—	1.13	水試所	龍洞外海
14	111/02/14	22.25	122.50	0-5	—	0.88	水試所	蘭嶼外海
15	111/02/26	22.00	120.00	0-5	—	0.94	水試所	小琉球外海
16	111/02/26	22.00	120.00	200-400	—	1.27	水試所	小琉球外海
17	111/03/09	23.54	119.58	0-5	—	0.67	海巡署	澎湖
18	111/04/25	22.25	122.50	0-5	—	0.99	水試所	蘭嶼外海
19	111/04/25	22.25	122.50	200-400	—	1.49	水試所	蘭嶼外海
20	111/04/29	20.41	116.41	0-5	—	0.89	海巡署	東沙
21	111/05/05	20.50	116.50	0-5	—	1.07	海巡署	東沙
22	111/06/01	23.91	119.59	0-5	—	0.75	海巡署	澎湖
23	111/07/04	22.34	120.90	0-5	—	0.88	偵測中心	大武漁港
24	111/07/05	23.98	121.62	0-5	—	1.32	偵測中心	花蓮港
25	111/07/05	23.16	121.40	0-5	—	1.73	偵測中心	成功漁港
26	111/07/07	22.62	120.27	0-5	—	0.85	偵測中心	西子灣
27	111/07/11	25.14	121.79	0-5	—	1.00	偵測中心	八斗子漁港
28	111/07/11	23.45	120.14	0-5	—	0.72	偵測中心	南寮漁港
29	111/07/12	24.85	120.92	0-5	—	0.80	偵測中心	東石漁港
30	111/07/12	23.97	120.32	0-5	—	1.19	偵測中心	王功漁港
31	111/07/13	24.58	121.87	0-5	—	—	偵測中心	南方澳
32	111/07/24	26.15	119.92	0-5	—	1.42	海巡署	南竿
33	111/08/02	26.43	120.54	0-5	—	1.40	海巡署	東引
34	111/08/12	25.13	124.00	0-5	—	0.56	海巡署	黑潮
35	111/08/17	25.50	122.50	0-5	—	0.83	水試所	龍洞外海
36	111/08/19	21.88	120.79	0-5	—	0.96	偵測中心	鵝鑾鼻外海

樣品 編號	取樣日期	緯度 (N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		取樣單位	區 域
					銫-134	銫-137		
37	111/08/19	21.95	120.75	0-5	—	0.77	偵測中心	後壁湖港內
38	111/08/22	22.00	120.00	0-5	—	1.23	水試所	小琉球外海
39	111/08/29	22.25	122.00	0-5	—	0.60	水試所	蘭嶼外海
40	111/09/01	24.35	118.32	0-5	—	1.34	海巡署	金門
41	111/09/09	10.50	114.50	0-5	—	1.16	海巡署	南沙
42	111/09/13	20.80	116.70	0-5	—	0.93	海巡署	東沙
43	111/10/26	24.62	118.78	0-5	—	1.09	海巡署	金門
44	111/10/30	24.35	118.32	0-5	—	1.02	海巡署	東引
45	111/11/04	25.50	122.50	0-5	—	1.39	水試所	龍洞外海
46	111/11/14	26.13	119.92	0-5	—	0.72	海巡署	南竿
47	111/11/16	22.00	120.00	200-400	—	1.01	水試所	小琉球外海
48	111/11/18	22.25	122.00	4600	—	0.75	水試所	蘭嶼外海
49	111/11/24	22.62	120.27	0-5	—	1.25	偵測中心	西子灣
50	111/11/24	22.62	120.27	0-5	—	0.81	偵測中心	西子灣

註：1. "—"表示小於最小可測量值(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 60 公升，計測時間 120,000 秒；40 公升，計測時間 200,000 秒。

表 10. 核電廠周圍海域海水加馬能譜分析結果

樣品 編號	取樣日期	緯度 (N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		取樣單位	區 域
					銫-134	銫-137		
1	111/01/06	25.22	121.65	0-5	—	—	偵測中心	金山海水浴場
2	111/01/10	25.28	121.61	0-5	—	—	偵測中心	核一廠入水口
3	111/01/10	24.58	121.87	0-5	—	—	偵測中心	石門
4	111/01/11	21.96	120.77	0-5	—	—	偵測中心	南灣
5	111/01/11	21.96	120.75	0-5	—	—	偵測中心	核三入水口
6	111/01/11	21.93	120.72	0-5	—	—	偵測中心	白沙
7	111/01/13	25.20	121.68	0-5	—	—	偵測中心	核二廠入水口
8	111/01/13	25.20	121.69	0-5	—	—	偵測中心	野柳
9	111/01/31	25.29	121.59	0-5	—	—	偵測中心	核一廠出水口
10	111/01/31	25.21	121.66	0-5	—	—	偵測中心	核二廠出水口
11	111/01/31	21.95	120.75	0-5	—	—	偵測中心	核三廠出水口
12	111/04/07	21.96	120.77	0-5	—	—	偵測中心	南灣
13	111/04/07	21.96	120.75	0-5	—	—	偵測中心	核三廠入水口
14	111/04/07	21.93	120.72	0-5	—	—	偵測中心	白沙
15	111/04/13	25.28	121.61	0-5	—	—	偵測中心	核一廠入水口
16	111/04/13	24.58	121.87	0-5	—	—	偵測中心	石門
17	111/04/14	25.20	121.68	0-5	—	—	偵測中心	核二廠入水口
18	111/04/14	25.20	121.69	0-5	—	—	偵測中心	野柳
19	111/04/14	25.22	121.65	0-5	—	—	偵測中心	金山海水浴場
20	111/04/30	25.29	121.59	0-5	—	—	偵測中心	核一廠出水口
21	111/04/30	25.21	121.66	0-5	—	—	偵測中心	核二廠出水口
22	111/04/30	21.95	120.75	0-5	—	—	偵測中心	核三廠出水口
23	111/07/12	21.96	120.77	0-5	—	—	偵測中心	南灣
24	111/07/12	21.96	120.75	0-5	—	—	偵測中心	核三廠入水口
25	111/07/12	21.93	120.72	0-5	—	—	偵測中心	白沙
26	111/07/15	25.20	121.68	0-5	—	—	偵測中心	核二廠入水口
27	111/07/15	25.20	121.69	0-5	—	—	偵測中心	野柳
28	111/07/15	25.22	121.65	0-5	—	—	偵測中心	金山海水浴場
29	111/07/25	25.28	121.61	0-5	—	—	偵測中心	核一廠入水口
30	111/07/25	24.58	121.87	0-5	—	—	偵測中心	石門
31	111/07/29	25.29	121.59	0-5	—	—	偵測中心	核一廠出水口
32	111/07/29	25.21	121.66	0-5	—	—	偵測中心	核二廠出水口
33	111/07/29	21.95	120.75	0-5	—	—	偵測中心	核三廠出水口
34	111/10/04	21.96	120.75	0-5	—	—	偵測中心	核三廠入水口
35	111/10/04	21.93	120.72	0-5	—	—	偵測中心	白沙
36	111/10/04	21.96	120.77	0-5	—	—	偵測中心	南灣
37	111/10/12	25.28	121.61	0-5	—	—	偵測中心	核一廠入水口
38	111/10/12	24.58	121.87	0-5	—	—	偵測中心	石門

樣品編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度(m)	活度(毫貝克/升)		取樣單位	區域
					銫-134	銫-137		
39	111/10/13	25.20	121.68	0-5	—	—	偵測中心	核二廠入水口
40	111/10/13	25.20	121.69	0-5	—	—	偵測中心	野柳
41	111/10/13	25.22	121.65	0-5	—	—	偵測中心	金山海水浴場
42	111/10/24	25.29	121.59	0-5	—	—	偵測中心	核一廠出水口
43	111/10/24	25.21	121.66	0-5	—	—	偵測中心	核二廠出水口
44	111/10/26	21.95	120.75	0-5	—	—	偵測中心	核三廠出水口

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，銫-134 MDA 值為 90 毫貝克/升，銫-137 MDA 值為 90 毫貝克/升。

2. 海水試樣核種分析量 0.9 公升，計測時間 60,000 秒。

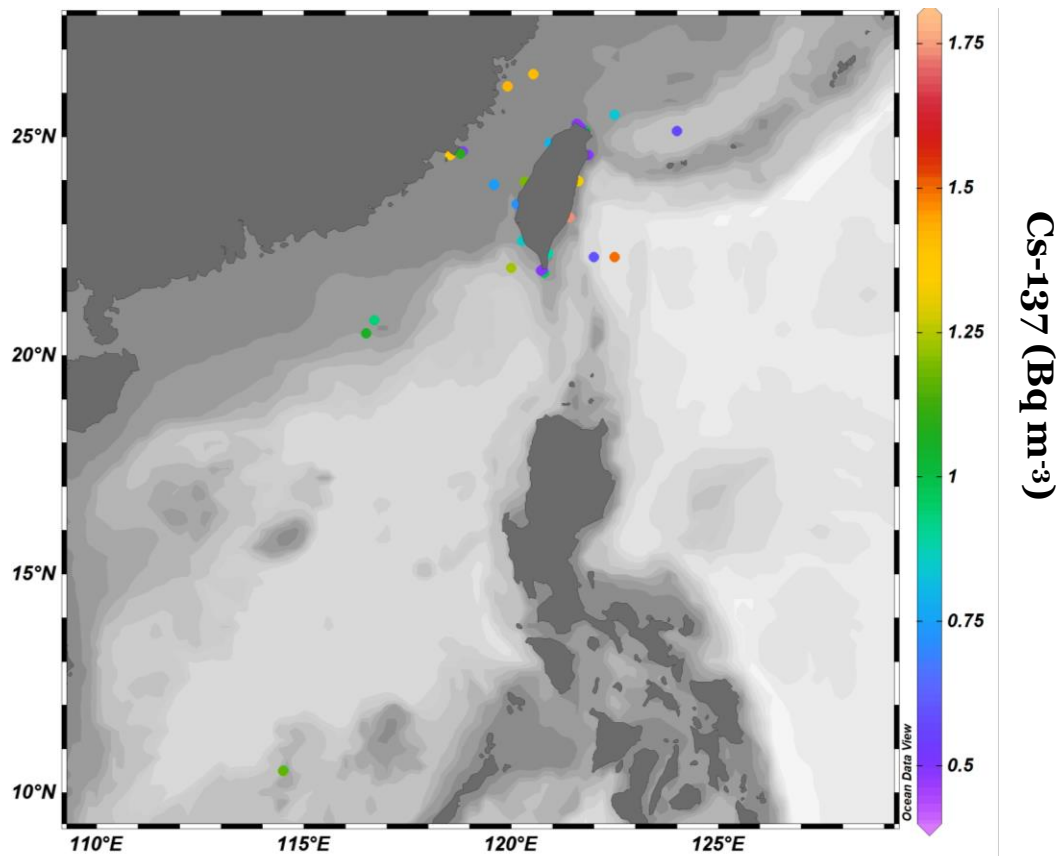


圖 7. 海水取樣位置點及銫-137 活度

2. 海水放射性氡分析結果

本中心自民國 108 年第 4 季起即加強台灣沿岸之海水氡監測，又於民國 109 年 5 月起，因應日本福島核能電廠含氡廢水排放之政策，加強跨部會監測台灣海域氡含量。本(111)年度共計完成 406 件(包含：本中心取樣 101 件、海保署與海巡署合計 51 件、水試所 254 件)海水氡分析，各單位取樣數量及氡分析結果詳如表 11~表 13。

本年度完成之海水氡分析樣品共 406 件，氡分析結果顯示，台灣鄰近海域與沿岸海水之氡活度為低於儀器最小可測量值(MDA 為 2.03 貝克/升)至 17.37 貝克/升，檢出氡活度位置為核電廠周圍海域，在歷年檢測變動範圍內，屬於核電廠正常排放之活度範圍，並無輻射異常現象。

表 11. 台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)	區域
1	111/01/05	23.98	121.62	0-5	—	花蓮港
2	111/01/05	22.34	120.90	0-5	—	大武漁港
3	111/01/06	23.16	121.40	0-5	—	成功漁港
4	111/01/11	24.85	120.92	0-5	—	東石漁港
5	111/01/10	23.97	120.32	0-5	—	王功漁港
6	111/01/10	23.45	120.14	0-5	—	南寮漁港
7	111/01/10	25.28	121.61	0-5	—	核一廠入水口
8	111/01/10	24.58	121.87	0-5	—	石門
9	111/01/11	21.96	120.75	0-5	—	核三廠入水口
10	111/01/11	21.96	120.77	0-5	—	南灣
11	111/01/11	21.93	120.72	0-5	—	白沙
12	111/01/13	25.20	121.68	0-5	—	核二廠入水口
13	111/01/06	25.22	121.65	0-5	—	金山海水浴場
14	111/01/19	25.14	121.79	0-5	—	南方澳
15	111/01/17	22.62	120.27	0-5	—	西子灣
16	111/01/24	25.14	121.79	0-5	—	八斗子漁港
17	111/01/31	25.29	121.59	0-5	—	核一廠出水口
18	111/01/31	25.21	121.66	0-5	—	核二廠出水口
19	111/01/31	21.95	120.75	0-5	4.75	核三廠出水口
20	111/02/25	21.95	120.75	0-5	3.95	核三廠出水口
21	111/03/10	21.94	120.72	0-5	—	白砂 1 號入口
22	111/03/10	21.93	120.72	0-5	—	白砂 4 號入口
23	111/03/10	21.93	120.74	0-5	6.48	小巴里
24	111/03/10	21.94	120.75	0-5	2.78	後壁湖潛水點
25	111/03/10	21.94	120.75	0-5	—	後壁湖潮間帶
26	111/03/10	21.94	120.74	0-5	—	後壁湖中油漁船 加油站
27	111/03/10	21.96	120.77	0-5	—	南灣
28	111/03/10	21.94	120.79	0-5	—	墾丁海水浴場
29	111/03/10	21.94	120.80	0-5	—	情人灘
30	111/03/10	21.94	120.80	0-5	—	小灣
31	111/03/11	21.94	120.72	0-5	—	白砂 1 號入口
32	111/03/11	21.93	120.72	0-5	—	白砂 4 號入口
33	111/03/11	21.92	120.74	0-5	—	貓鼻頭
34	111/03/11	21.93	120.74	0-5	—	小巴里
35	111/03/11	21.94	120.75	0-5	—	後壁湖潛水點
36	111/03/11	21.94	120.75	0-5	—	後壁湖潮間帶

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氚活度 (貝克/升)	區域
37	111/03/11	21.94	120.74	0-5	2.24	後壁湖中油漁船 加油站
38	111/03/11	21.96	120.77	0-5	—	南灣
39	111/03/11	21.95	120.78	0-5	—	眺石
40	111/03/11	21.94	120.79	0-5	—	墾丁海水浴場
41	111/03/11	21.94	120.80	0-5	—	情人灘
42	111/03/11	21.94	120.80	0-5	—	小灣
43	111/03/11	21.94	120.82	0-5	—	船帆石
44	111/03/11	21.94	120.72	0-5	—	白砂1號入口
45	111/03/11	21.93	120.72	0-5	—	白砂4號入口
46	111/03/11	21.92	120.74	0-5	—	貓鼻頭
47	111/03/11	21.93	120.74	0-5	—	小巴里
48	111/03/11	21.94	120.75	0-5	—	後壁湖潛水點
49	111/03/11	21.94	120.75	0-5	—	後壁湖潮間帶
50	111/03/11	21.94	120.74	0-5	—	後壁湖中油漁船 加油站
51	111/03/11	21.96	120.77	0-5	3.59	南灣
52	111/03/11	21.95	120.78	0-5	—	眺石
53	111/03/11	21.94	120.79	0-5	—	墾丁海水浴場
54	111/03/11	21.94	120.80	0-5	—	情人灘
55	111/03/11	21.94	120.80	0-5	—	小灣
56	111/03/11	21.94	120.82	0-5	—	船帆石
57	111/03/30	21.95	120.75	0-5	11.31	核三廠出水口
58	111/04/13	25.28	121.61	0-5	—	核一廠入水口
59	111/04/13	24.58	121.87	0-5	—	石門
60	111/04/07	21.96	120.75	0-5	—	核三入水口
61	111/04/07	21.96	120.77	0-5	—	南灣
62	111/04/07	21.93	120.72	0-5	—	白沙
63	111/04/14	25.20	121.68	0-5	—	核二廠入水口
64	111/04/14	25.20	121.69	0-5	—	野柳
65	111/04/14	25.22	121.65	0-5	—	金山海水浴場
66	111/04/30	25.29	121.59	0-5	—	核一廠出水口
67	111/04/30	25.21	121.66	0-5	—	核二廠出水口
68	111/04/30	21.95	120.75	0-5	—	核三廠出水口
69	111/07/04	22.34	120.90	0-5	—	大武漁港
70	111/07/05	23.98	121.62	0-5	—	花蓮港
71	111/07/05	23.16	121.40	0-5	—	成功漁港
72	111/07/07	22.62	120.27	0-5	—	西子灣
73	111/07/11	25.14	121.79	0-5	—	八斗子漁港

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氚活度 (貝克/升)	區域
74	111/07/11	23.45	120.14	0-5	—	南寮漁港
75	111/07/12	24.85	120.92	0-5	—	東石漁港
76	111/07/12	23.97	120.32	0-5	—	王功漁港
77	111/07/15	25.20	121.68	0-5	—	核二廠入水口
78	111/07/15	25.20	121.69	0-5	—	野柳
79	111/07/15	25.22	121.65	0-5	—	金山海水浴場
80	111/08/18	23.96	119.94	0-5	—	澎湖
81	111/07/13	24.58	121.87	0-5	—	南方澳
82	111/07/29	25.29	121.59	0-5	—	核一廠出水口
83	111/07/29	25.21	121.66	0-5	—	核二廠出水口
84	111/07/29	21.95	120.75	0-5	2.57	核三廠出水口
85	111/07/25	25.28	121.61	0-5	—	核一廠入水口
86	111/07/25	24.58	121.87	0-5	—	石門
87	111/08/30	21.95	120.75	0-5	3.57	核三廠出水口
88	111/08/19	21.88	120.79	0-5	—	鵝鑾鼻外海
89	111/08/19	21.95	120.75	0-5	—	後壁湖港內
90	111/07/12	21.96	120.75	0-5	—	核三入水口
91	111/07/12	21.96	120.77	0-5	—	南灣
92	111/07/12	21.93	120.72	0-5	—	白沙
93	111/10/04	21.96	120.75	0-5	—	核三入水口
94	111/10/04	21.96	120.77	0-5	—	南灣
95	111/10/04	21.93	120.72	0-5	—	白沙
96	111/09/30	21.95	120.75	0-5	17.37	核三廠出水口
97	111/10/24	25.29	121.59	0-5	3.31	核一廠出水口
98	111/10/24	25.21	121.66	0-5	3.98	核二廠出水口
99	111/10/26	21.95	120.75	0-5	3.72	核三廠出水口
100	111/10/12	25.28	121.61	0-5	—	核一廠入水口
101	111/10/12	24.58	121.87	0-5	—	石門

註：1. "—"表示小於最小可測量值(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 12. 台灣離岸(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)	區域
1	111/02/10	10.50	114.51	0-5	—	南沙
2	111/03/09	23.90	119.58	0-5	—	澎湖
3	111/03/18	24.67	118.83	0-5	—	金門
4	111/04/29	20.68	116.68	0-5	—	東沙
5	111/05/05	20.50	116.50	0-5	—	東沙
6	111/06/01	23.91	119.59	0-5	—	澎湖
7	111/05/17	22.91	120.11	0-5	—	二仁溪海域
8	111/05/06	22.41	120.39	0-5	—	高屏溪海域
9	111/05/05	21.93	120.76	0-5	—	核三廠出水口海域
10	111/05/19	22.59	120.26	0-5	—	高雄港外海
11	111/05/25	23.73	119.62	0-5	—	吉貝海域
12	111/05/24	23.19	119.42	0-5	—	七美海域
13	111/05/23	23.43	120.07	0-5	—	朴子溪海域
14	111/05/10	22.75	121.23	0-5	—	卑南溪海域
15	111/05/19	22.91	120.11	0-5	—	核四預定地外海
16	111/05/11	22.41	120.39	0-5	—	和平溪口外
17	111/08/12	25.13	124.00	0-5	—	台日海域
18	111/09/01	24.58	118.53	0-5	—	金門海域
19	111/09/09	10.50	114.50	0-5	—	南沙
20	111/09/13	20.80	116.70	0-5	—	東沙
21	111/06/22	25.21	121.37	0-5	—	台北海域
22	111/06/18	24.81	120.83	0-5	—	新竹海域
23	111/06/21	24.20	120.43	0-5	—	台中海域
24	111/06/20	23.87	120.18	0-5	—	雲林海域
25	111/05/11	24.30	121.83	0-5	—	花蓮海域
26	111/05/19	24.83	121.94	0-5	—	宜蘭海域
27	111/06/21	26.40	120.48	0-5	—	馬祖海域
28	111/06/22	26.24	120.02	0-5	—	馬祖海域
29	111/06/23	24.44	118.48	0-5	—	金門海域
30	111/08/02	26.43	120.54	0-5	—	東引
31	111/07/24	26.15	119.92	0-5	—	南竿
32	111/10/27	24.81	120.83	0-5	—	雅客溪河口外
33	111/10/28	24.44	118.48	0-5	—	金門本島東側沿海
34	111/10/19	24.83	121.94	0-5	—	龜山島
35	111/11/03	24.30	121.83	0-5	—	和平溪河口外
36	111/10/25	23.43	120.07	0-5	—	朴子溪河口外
37	111/10/05	22.59	120.26	0-5	—	旗津

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氡活度 (貝克/升)	區域
38	111/10/26	23.87	120.18	0-5	—	濁水溪河口外
39	111/11/14	26.13	119.92	0-5	—	南竿
40	111/10/30	26.58	120.78	0-5	—	東引
41	111/12/02	22.41	120.39	0-5	—	高屏溪口外
42	111/11/30	21.93	120.76	0-5	—	核三廠出水口右側
43	111/11/20	23.73	119.62	0-5	—	吉貝海域
44	111/12/08	22.91	120.11	0-5	—	二仁溪口外
45	111/12/07	26.40	120.48	0-5	—	東引北部沿海
46	111/12/09	22.75	121.23	0-5	—	卑南溪口外
47	111/12/06	26.24	120.02	0-5	—	北竿東部沿海
48	111/11/22	24.20	120.43	0-5	—	大肚溪口外
49	111/10/27	23.19	119.42	0-5	—	七美海域
50	111/11/23	25.21	121.37	0-5	—	淡水河口外
51	111/11/22	22.91	120.11	0-5	—	核四預定地外海

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，氡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 13. 台灣鄰近海域海水氡分析結果 (水試所取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氡活度 (貝克/升)	區域
1	111/02/12	24.90	122.00	0-5	—	ST01
2	111/02/12	25.00	122.50	0-5	—	ST02 貢寮外海
3	111/02/12	25.00	123.00	0-5	—	ST03 貢寮外海
4	111/02/12	24.50	122.80	0-5	—	ST04 蘇澳外海
5	111/02/12	24.50	122.00	0-5	—	ST05
6	111/02/13	24.00	121.70	0-5	—	ST06
7	111/02/13	23.45	122.50	0-5	—	ST08 花蓮外海
8	111/02/13	23.45	123.00	0-5	—	ST09 花蓮外海
9	111/02/13	23.00	123.00	0-5	—	ST10
10	111/02/13	23.00	122.50	0-5	—	ST11
11	111/02/14	23.00	122.00	0-5	—	ST12
12	111/02/14	22.25	121.20	0-5	—	ST16
13	111/02/14	22.25	122.50	0-5	—	ST18 蘭嶼外海
14	111/02/14	22.25	123.00	0-5	—	ST19
15	111/02/14	21.50	123.00	0-5	—	ST20
16	111/02/15	21.50	122.50	0-5	—	ST21
17	111/02/15	21.50	121.50	0-5	—	ST23
18	111/02/15	21.50	121.00	0-5	—	ST24
19	111/02/15	21.50	120.50	0-5	—	ST25
20	111/02/15	21.50	119.50	0-5	—	ST07
21	111/02/11	26.00	122.50	0-5	—	ST58
22	111/02/11	26.00	123.00	0-5	—	ST59
23	111/02/11	25.50	123.00	0-5	—	ST60
24	111/02/11	25.50	122.50	0-5	—	ST61 龍洞外海
25	111/02/10	25.50	122.00	0-5	—	ST62
26	111/02/14	22.25	122.50	0-5	—	ST18 蘭嶼外海
27	111/02/11	25.50	122.50	0-5	—	ST61 龍洞外海
28	111/02/11	25.50	122.50	200	—	ST61 龍洞外海
29	111/02/25	21.50	120.50	0-5	—	ST25
30	111/02/25	21.50	120.00	0-5	—	ST26
31	111/02/26	21.50	119.80	0-5	—	ST27
32	111/02/26	21.50	119.00	0-5	—	ST28
33	111/02/26	22.00	119.00	0-5	—	ST29
34	111/02/26	22.00	119.50	0-5	—	ST30
35	111/02/26	22.00	120.00	0-5	—	ST31 小琉球外海
36	111/02/25	22.00	120.50	0-5	—	ST32
37	111/02/25	22.40	120.50	0-5	—	ST33

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氫活度 (貝克/升)	區域
38	111/02/27	22.50	120.00	0-5	—	ST34 高雄外海
39	111/02/27	22.50	119.50	0-5	—	ST35
40	111/02/27	22.50	119.00	0-5	—	ST36
41	111/02/27	23.00	119.00	0-5	—	ST37
42	111/02/28	23.00	119.50	0-5	—	ST38
43	111/02/28	23.00	120.00	0-5	—	ST39
44	111/02/28	23.50	120.00	0-5	—	ST40
45	111/02/28	23.50	119.50	0-5	—	ST41
46	111/02/28	23.50	119.00	0-5	—	ST42
47	111/02/28	24.00	119.00	0-5	—	ST43
48	111/03/01	24.00	119.50	0-5	—	ST44
49	111/03/01	24.00	120.00	0-5	—	ST45
50	111/03/01	24.50	120.50	0-5	—	ST46
51	111/03/01	24.50	120.00	0-5	—	ST46A
52	111/03/01	24.50	119.50	0-5	—	ST47
53	111/03/01	25.00	120.00	0-5	—	ST48
54	111/03/01	25.00	120.50	0-5	—	ST49
55	111/03/02	25.00	121.00	0-5	—	ST50
56	111/03/02	25.50	120.52	0-5	—	ST51
57	111/03/02	26.00	121.02	0-5	—	ST52
58	111/03/02	25.50	121.00	0-5	—	ST53
59	111/03/02	25.50	121.50	0-5	—	ST54
60	111/03/02	26.00	121.50	0-5	—	ST55
61	111/03/03	26.00	122.00	0-5	—	ST56
62	111/03/03	21.50	120.00	0-5	—	ST57
63	111/02/14	21.50	122.00	0-5	—	ST22
64	111/02/26	22.00	120.00	0-5	—	ST31 小琉球外海
65	111/02/26	22.00	120.00	200	—	ST31 小琉球外海
66	111/04/12	25.20	121.80	0-5	—	ST01
67	111/04/12	24.90	122.00	0-5	—	ST02 貢寮外海
68	111/04/13	25.00	122.50	0-5	—	ST03 貢寮外海
69	111/04/19	21.30	119.00	0-5	—	ST27
70	111/04/19	22.25	119.00	0-5	—	ST28
71	111/04/19	22.75	119.00	0-5	—	ST29
72	111/04/19	22.00	119.00	0-5	—	ST29A
73	111/04/18	23.25	119.00	0-5	—	ST36
74	111/04/18	22.50	119.00	0-5	—	ST36A
75	111/04/18	23.50	119.00	0-5	—	ST37
76	111/04/18	23.00	119.00	0-5	—	ST37A

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氡活度 (貝克/升)	區域
77	111/04/18	24.00	119.02	0-5	—	ST42
78	111/04/18	24.00	119.50	0-5	—	ST43
79	111/04/18	24.00	120.00	0-5	—	ST44
80	111/04/18	24.50	120.50	0-5	—	ST45
81	111/04/17	24.65	120.65	0-5	—	ST46
82	111/04/15	24.50	120.00	0-5	—	ST46A
83	111/04/18	24.50	119.87	0-5	—	ST47
84	111/04/17	25.00	120.02	0-5	—	ST48
85	111/04/17	25.00	120.50	0-5	—	ST49
86	111/04/17	25.00	121.00	0-5	—	ST50
87	111/04/15	25.50	120.52	0-5	—	ST51
88	111/04/15	26.00	121.02	0-5	—	ST52
89	111/04/14	25.50	121.00	0-5	—	ST53
90	111/04/14	25.50	121.83	0-5	—	ST54
91	111/04/14	25.50	122.25	0-5	—	ST55
92	111/04/14	26.00	121.83	0-5	—	ST55A
93	111/04/14	26.00	122.25	0-5	—	ST56
94	111/04/14	26.00	122.00	0-5	—	ST56A
95	111/04/14	26.00	122.42	0-5	—	ST57
96	111/04/14	25.50	122.00	0-5	—	ST57A
97	111/04/13	26.00	123.00	0-5	—	ST58
98	111/04/13	25.50	123.00	0-5	—	ST59
99	111/04/13	25.00	123.00	0-5	—	ST60
100	111/04/13	26.00	122.50	0-5	—	ST61 龍洞外海
101	111/04/13	25.50	122.50	0-5	—	ST62
102	111/04/24	21.50	122.50	0-5	—	ST20
103	111/04/24	21.50	123.00	0-5	—	ST19
104	111/04/23	22.00	120.50	0-5	—	ST25
105	111/04/24	21.50	122.00	0-5	—	ST21
106	111/04/24	21.50	121.00	0-5	—	ST23
107	111/04/22	23.56	119.56	0-5	—	ST40
108	111/04/23	22.50	120.00	0-5	—	ST33
109	111/04/23	23.00	120.00	0-5	—	ST34 高雄外海
110	111/04/22	23.00	119.50	0-5	—	ST41
111	111/04/25	22.25	122.50	0-5	—	ST17
112	111/04/25	22.25	121.00	0-5	—	ST14
113	111/04/25	22.25	122.00	0-5	—	ST16
114	111/04/26	24.00	121.70	0-5	—	ST05
115	111/04/26	23.00	122.00	0-5	—	ST11

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氡活度 (貝克/升)	區域
116	111/04/25	22.42	121.12	0-5	—	ST13
117	111/04/27	24.50	122.00	0-5	—	ST04 蘇澳外海
118	111/04/25	22.25	121.50	0-5	—	ST15
119	111/04/24	22.25	123.00	0-5	—	ST18 蘭嶼外海
120	111/04/26	23.00	123.00	0-5	—	ST09 花蓮外海
121	111/04/26	23.00	122.50	0-5	—	ST10
122	111/04/25	23.00	121.50	0-5	—	ST12
123	111/04/24	21.50	121.50	0-5	—	ST22
124	111/04/26	23.75	122.50	0-5	—	ST07
125	111/04/26	23.75	123.00	0-5	—	ST08 花蓮外海
126	111/04/23	22.24	120.18	0-5	—	ST32
127	111/04/23	23.50	120.00	0-5	—	ST39
128	111/04/26	23.75	122.00	0-5	—	ST06
129	111/04/20	22.00	119.50	0-5	—	ST35
130	111/04/20	22.50	119.50	0-5	—	ST35A
131	111/04/20	22.75	119.25	0-5	—	ST38
132	111/04/19	22.00	120.00	0-5	—	ST30
133	111/04/19	21.50	120.00	0-5	—	ST31 小琉球外海
134	111/04/19	21.50	119.50	0-5	—	ST26
135	111/08/29	22.25	121.50	0-5	—	ST16
136	111/08/29	22.25	123.00	0-5	—	ST19
137	111/08/28	21.50	121.50	0-5	—	ST23
138	111/08/29	21.50	122.50	0-5	—	ST21
139	111/08/29	22.25	122.50	0-5	—	ST18 蘭嶼外海
140	111/08/28	21.50	121.00	0-5	—	ST24
141	111/08/29	21.50	123.00	0-5	—	ST20
142	111/08/28	22.00	120.50	0-5	—	ST32
143	111/08/28	21.50	122.00	0-5	—	ST22
144	111/08/19	24.50	119.52	0-5	—	ST48
145	111/08/18	26.00	121.02	0-5	—	ST53
146	111/08/19	25.00	120.02	0-5	—	ST49
147	111/08/18	25.50	121.00	0-5	—	ST54
148	111/08/31	23.75	122.50	0-5	—	ST08 花蓮外海
149	111/08/31	23.00	123.00	0-5	—	ST10
150	111/08/30	22.25	121.00	0-5	—	ST15
151	111/08/30	22.70	121.20	0-5	—	ST14
152	111/08/30	23.00	122.50	0-5	—	ST11
153	111/08/16	25.00	122.50	0-5	—	ST02 貢寮外海
154	111/08/16	25.00	123.00	0-5	—	ST03 貢寮外海

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氫活度 (貝克/升)	區域
155	111/08/17	26.00	122.50	0-5	—	ST58
156	111/08/16	24.90	122.00	0-5	—	ST01
157	111/08/17	26.00	123.00	0-5	—	ST59
158	111/08/18	25.50	121.50	0-5	—	ST55
159	111/09/01	24.50	122.00	0-5	—	ST05
160	111/08/31	24.00	121.70	0-5	—	ST06
161	111/08/31	23.75	122.00	0-5	—	ST07
162	111/09/01	24.50	122.48	0-5	—	ST04 蘇澳外海
163	111/08/31	23.75	123.00	0-5	—	ST09 花蓮外海
164	111/08/21	23.00	119.00	0-5	—	ST37
165	111/08/21	23.50	119.00	0-5	—	ST42
166	111/08/21	23.25	119.00	0-5	—	ST37A
167	111/08/21	21.50	119.00	0-5	—	ST28
168	111/08/21	22.00	119.00	0-5	—	ST29
169	111/08/21	22.50	119.00	0-5	—	ST36
170	111/08/22	21.50	119.50	0-5	—	ST27
171	111/08/29	22.25	122.00	0-5	—	ST17
172	111/08/22	22.00	120.00	0-5	—	ST31 小琉球外海
173	111/08/18	26.00	121.50	0-5	—	ST56
174	111/08/18	26.00	122.00	0-5	—	ST57
175	111/08/17	25.50	122.50	0-5	—	ST61 龍洞外海
176	111/08/17	25.50	122.00	0-5	—	ST62
177	111/08/30	23.00	121.50	0-5	—	ST13
178	111/08/17	25.50	123.00	0-5	—	ST60
179	111/08/30	23.00	122.00	0-5	—	ST12
180	111/08/23	23.00	119.50	0-5	—	ST38
181	111/08/22	22.50	119.50	0-5	—	ST35
182	111/08/22	22.00	119.50	0-5	—	ST30
183	111/08/27	23.00	120.00	0-5	—	ST39
184	111/08/27	22.00	120.00	0-5	—	ST40
185	111/08/23	23.50	119.50	0-5	—	ST41
186	111/08/27	22.40	120.30	0-5	—	ST33
187	111/08/27	22.50	120.00	0-5	—	ST34 高雄外海
188	111/08/28	21.50	120.50	0-5	—	ST25
189	111/08/20	24.65	120.65	0-5	—	ST46A
190	111/08/20	24.50	120.00	0-5	—	ST47
191	111/08/19	25.50	120.52	0-5	—	ST52
192	111/08/20	24.00	119.50	0-5	—	ST44
193	111/08/20	24.00	120.00	0-5	—	ST45

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氡活度 (貝克/升)	區域
194	111/08/19	25.00	121.00	0-5	—	ST51
195	111/08/21	24.00	119.02	0-5	—	ST43
196	111/08/19	25.00	120.50	0-5	—	ST50
197	111/08/20	24.50	120.50	0-5	—	ST46
198	111/08/22	21.50	120.00	0-5	—	ST26
199	111/11/08	25.50	121.50	12	—	ST55
200	111/11/08	25.00	120.50	79	—	ST50
201	111/11/04	25.50	123.00	1320.4	—	ST60
202	111/11/03	25.00	122.50	1418.8	—	ST02 貢寮外海
203	111/11/03	24.90	122.10	84.4	—	ST01
204	111/11/04	26.00	123.00	94	—	ST59
205	111/11/04	25.00	123.00	1609.2	—	ST03 貢寮外海
206	111/11/08	26.00	121.50	75	—	ST56
207	111/11/04	26.00	122.50	90	—	ST58
208	111/11/20	24.50	122.83	660	—	ST04 蘇澳外海
209	111/11/18	22.67	121.25	178	—	ST14
210	111/11/16	22.40	120.30	113.6	—	ST33
211	111/11/19	23.00	122.00	4708	—	ST12
212	111/11/17	21.50	121.50	2052.4	—	ST23
213	111/11/17	21.50	120.00	360	—	ST26
214	111/11/19	23.00	121.50	1406	—	ST13
215	111/11/10	22.00	119.50	2399	—	ST30
216	111/11/08	25.50	120.52	72	—	ST52
217	111/11/07	26.00	122.00	104.8	—	ST57
218	111/11/08	25.50	121.00	93	—	ST54
219	111/11/09	24.50	120.50	54	—	ST46
220	111/11/08	25.00	121.00	83	—	ST51
221	111/11/07	25.50	122.00	117	—	ST62
222	111/11/09	24.50	120.00	64	—	ST47
223	111/11/10	22.50	119.00	86	—	ST36
224	111/11/09	23.00	119.00	25	—	ST37
225	111/11/19	23.75	122.50	3544	—	ST08 花蓮外海
226	111/11/20	24.50	122.00	588	—	ST05
227	111/11/11	23.50	119.50	54	—	ST41
228	111/11/10	21.50	119.50	2970.8	—	ST27
229	111/11/17	21.50	121.00	923	—	ST24
230	111/11/17	21.50	120.50	1842	—	ST25
231	111/11/16	22.50	120.00	563.2	—	ST34 高雄外海
232	111/11/16	22.00	120.00	352	—	ST31 小琉球外海

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	氡活度 (貝克/升)	區域
233	111/11/19	23.75	123.00	3659	—	ST09 花蓮外海
234	111/11/16	22.00	120.50	353.6	—	ST32
235	111/11/20	24.00	121.67	727	—	ST06
236	111/11/18	22.25	122.00	4610	—	ST17
237	111/11/10	22.50	119.50	255	—	ST35
238	111/11/11	23.50	120.00	111	—	ST40
239	111/11/18	21.50	122.50	4789	—	ST21
240	111/11/18	22.25	122.50	4795	—	ST18 蘭嶼外海
241	111/11/04	25.50	122.50	90	—	ST61 龍洞外海
242	111/11/09	24.00	120.00	50	—	ST45
243	111/11/10	22.00	119.00	1785	—	ST29
244	111/11/09	24.00	119.50	68	—	ST44
245	111/11/09	23.50	119.00	54	—	ST42
246	111/11/20	23.75	122.00	2954	—	ST07
247	111/11/10	21.50	119.00	2748	—	ST28
248	111/11/11	23.00	120.00	127	—	ST39
249	111/11/19	23.00	123.00	4980	—	ST10
250	111/11/18	22.25	121.50	711	—	ST16
251	111/11/17	21.50	122.00	3348	—	ST22
252	111/11/18	22.25	121.00	1163.6	—	ST15
253	111/11/10	23.00	119.50	178.8	—	ST38
254	111/11/19	23.00	122.50	5545	—	ST11

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，氡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。

3. 北太平洋海域秋刀魚漁場及日本海海水分析結果。

本中心請漁業署協助取樣北太平洋海域秋刀魚漁場海水，總計取樣 12 件，執行氡分析，取樣位置及分析結果顯示海水氡活度皆低於儀器最小可測量值(MDA 為 2.03 貝克/升)如圖 8 及表 14。

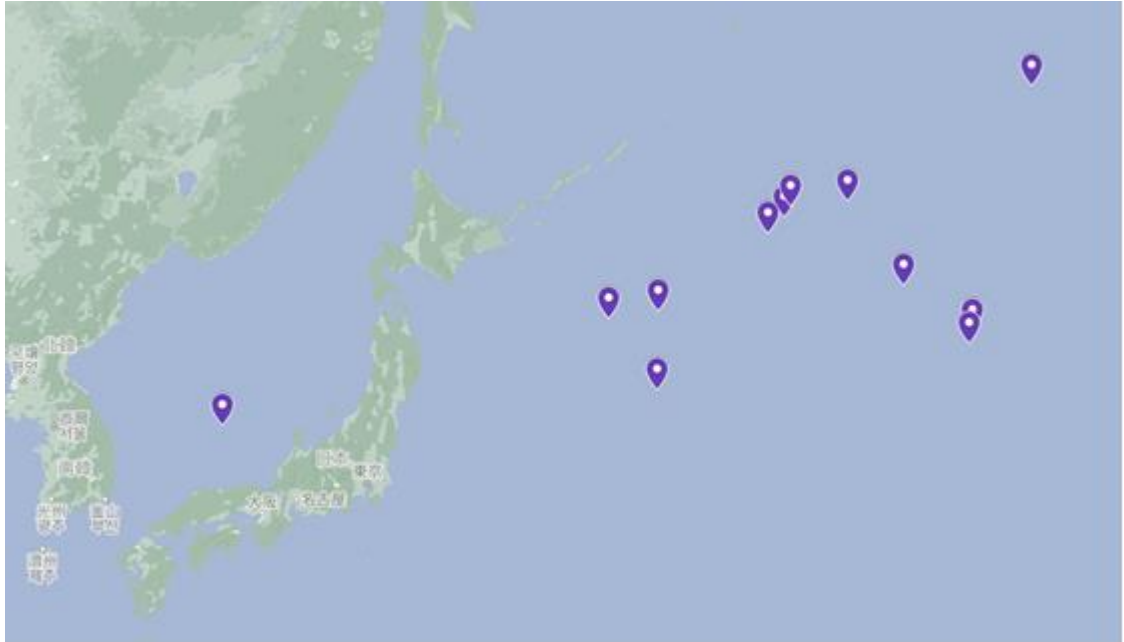


圖 8. 北太平洋海域秋刀魚場海水取樣位置

表 14. 北太平洋海域秋刀魚場海水分析結果

樣品編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度(m)	氡活度 (貝克/升)
1	111/08/02	47.77	166.87	0-5	—
2	111/09/03	41.99	161.61	0-5	—
3	111/10/03	44.03	156.74	0-5	—
4	111/11/07	41.20	151.62	0-5	—
5	111/08/18	40.60	164.46	0-5	—
6	111/09/16	44.36	157.03	0-5	—
7	111/10/13	40.97	149.60	0-5	—
8	111/11/12	38.77	151.59	0-5	—
9	111/07/15	37.60	133.78	0-5	—
10	111/08/14	40.20	164.33	0-5	—
11	111/09/14	44.50	159.33	0-5	—
12	111/10/15	43.55	156.10	0-5	—

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，氡MDA值為2.03貝克/升

2. 氡：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。

4. 海水鋇-90 分析結果

本計畫委託海巡署及水試所執行東引、金門、龍洞外海、小琉球外海及蘭嶼海水取樣共計 5 件，進行海水鋇-90 之分析，分析結果如下表 15。

表 15. 海水鋇-90 分析結果

樣品編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	鋇-90 活度 (毫貝克/升)	區域
1	111/08/02	26.43	120.54	—	東引
2	111/02/11	25.50	122.50	0.88	龍洞外海
3	111/02/26	22.00	120.00	1.11	小琉球外海
4	111/04/25	22.25	122.50	0.64	蘭嶼
5	111/03/18	24.67	118.83	0.70	金門

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，鋇-90 MDA 值為 0.62 毫貝克/升

2. 海水核種試樣量 40 公升，計測 100 分鐘

5. 沉積物加馬能譜分析結果

本計畫沉積物由海巡署協助於離島海域(東引、金門、澎湖)取樣岸沙，本中心每半年於台灣沿岸 9 大漁港(南寮、王功、東石、成功、大武、西子灣、南方澳、八斗子、花蓮)採集岸沙，民國 111 年共計取樣 22 件岸沙。

由本計畫採集之岸沙均未檢出人工放射性核種，另其他天然放射性核種，鉀-40 活度為 12 至 732 貝克/千克·乾重、鈾系列低於 36 貝克/千克·乾重及鈾系列低於 23 貝克/千克·乾重，鈷-60 及銫-134、銫-137 則低於最小可測量值，結果無輻射異常現象，分析結果如表 16。

表 16. 台灣沿岸地區岸沙加馬能譜分析結果(偵測中心、海巡署)

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*	
1	111/01/06	23.98	121.62	—	—	47.44	—	3.09	—	花蓮港
2	111/01/05	23.18	121.40	—	—	201.47	—	14.66	9.72	成功漁港
3	111/01/05	22.34	120.90	—	—	421.78	—	22.09	13.63	大武漁港
4	111/01/10	24.85	120.93	—	—	534.52	—	25.38	15.21	南寮漁港
5	111/01/10	23.97	120.32	—	—	400.78	—	26.60	20.09	王功漁港
6	111/01/11	23.38	120.15	—	—	437.09	—	20.09	12.24	東石漁港
7	111/03/10	23.55	119.64	—	—	12.184	—	—	—	隘門沙灘
8	111/03/18	24.41	118.43	—	—	368.61	—	4.62	5.1	金門料羅灣
9	111/01/19	24.58	121.87	—	—	543.63	—	34	21.24	南方澳
10	111/01/17	22.62	120.26	—	—	595.81	—	36.13	22.91	西子灣
11	111/01/24	25.14	121.79	—	—	512.6	—	26.84	17.84	八斗子
12	111/07/04	22.34	120.90	—	—	424.96	—	22.10	14.94	大武漁港
13	111/07/05	23.98	121.62	—	—	157.63	—	13.72	—	花蓮港
14	111/07/05	23.18	121.40	—	—	149.11	—	—	—	成功漁港
15	111/07/07	22.62	120.26	—	—	570.07	—	31.43	21.39	西子灣
16	111/07/12	25.14	121.79	—	—	104.36	—	8.06	—	八斗子
17	111/07/11	24.85	120.93	—	—	458	—	16.95	14.33	南寮漁港
18	111/07/12	23.38	120.15	—	—	386.5	—	19.32	—	東石漁港
19	111/07/12	23.97	120.32	—	—	349.81	—	27.78	—	王功漁港
20	111/07/13	24.58	121.87	—	—	569.1	—	34.12	—	南方澳
21	111/09/01	24.58	118.53	—	—	731.52	—	16.37	—	金門料羅灣
22	111/08/31	26.37	120.48	—	—	578.6	—	21.31	17.57	東引

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，鉀-40 MDA 值為 1.38 貝克/千克，鈷-60 MDA 值為 0.10 貝克/千克、銻-134 MDA 值為 0.10 貝克/千克、銻-137 MDA 值為 0.05 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 0.40 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 0.23 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。

6. 海產物加馬能譜分析結果

本計畫執行台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，本中心委託漁業署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，採樣範圍涵蓋台灣主要漁港如圖 9，漁獲捕撈海域如圖 10 海產物取樣位置，今(111)年共計取得樣品 158 件。海產物加馬能譜分析結果，鉀-40 活度為 34.69 至 520.88 (貝克/千克·濕重)、銫-137 活度低於 0.87 (貝克/千克·濕重)、銫-134 及碘-131 則低於最小可測量值，詳如表 17~18。

表 17. 台灣鄰近海域海產物加馬能譜分析結果(基金會)

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	漁港	活 度 (貝克/千克·濕重)					
					鉀-40*	碘-131	銫-134	銫-137	鈾系列*	鈾系列*
1	大洋	杜氏鰱	111/02/09	南方澳	140.38	—	—	—	—	—
2	岩礁環境	鳳螺	111/02/10	安平	67.23	—	—	—	—	—
3	沙泥底質	哈氏仿對蝦	111/02/11	布袋	112.63	—	—	—	—	—
4	沙泥底質	日本馬加鱈	111/02/12	南方澳	150.43	—	—	—	—	—
5	近海沿岸	三線磯鱸	111/02/17	南方澳	152.63	—	—	—	—	—
6	近海沿岸	班海鯰	111/02/22	梧棲	130.50	—	—	—	—	—
7	岩礁環境	澚苔	111/02/13	八斗子	70.38	—	—	—	0.71	—
8	浮游性蝦類	塔氏櫻蝦	111/02/24	東港鹽埔	50.78	—	—	—	—	—
9	近海沿岸	領圓鰱	111/03/01	南方澳	122.68	—	—	—	—	—
10	近海沿岸	星雞魚	111/03/03	安平	160.50	—	—	—	—	—
11	近海沿岸	印度牛尾魚	111/03/03	梧棲	135.39	—	—	—	—	—
12	近海沿岸	紅鋤齒鯛	111/03/04	安平	151.14	—	—	0.11	—	—
13	大洋	杜氏鰱	111/03/04	深澳	139.53	—	—	0.23	—	—
14	大洋	杜氏鰱	111/03/04	梧棲	143.48	—	—	0.18	—	—
15	大洋	白帶魚	111/03/09	中芸	128.63	—	—	0.12	—	—
16	大洋	虎斑烏賊	111/03/10	竹圍	127.01	—	—	—	—	—
17	近海沿岸	領圓鰱	111/03/15	南方澳	135.32	—	—	0.09	—	—
18	大洋	杜氏鰱	111/03/15	八斗子	153.09	—	—	0.44	—	—
19	沙泥底質	鬚赤對蝦	111/03/17	東港鹽埔	67.82	—	—	—	—	—
20	近海沿岸	白姑魚	111/03/21	竹圍	93.54	—	—	0.05	—	—
21	沙泥底質	紅蝦屬	111/03/21	大溪第二	92.86	—	—	—	—	—
22	岩礁環境	澚苔	111/03/25	八斗子	77.29	—	—	—	—	—
23	大洋	白帶魚	111/04/06	大溪第二	141.08	—	—	0.22	—	—

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	漁港	活 度 (貝克/千克·濕重)					
					鉀-40*	碘-131	銻-134	銻-137	鈾系列*	鈾系列*
24	岩礁環境	礁膜	111/04/06	馬公第三	47.42	—	—	—	—	—
25	近海沿岸	吉打副葉鱈	111/04/08	布袋	129.67	—	—	—	—	—
26	岩礁環境	鳳螺	111/04/11	安平	49.43	—	—	—	—	—
27	大洋	杜氏鰺	111/04/11	花蓮	241.59	—	—	0.87	—	—
28	大洋	杜氏鰺	111/04/11	八斗子	176.06	—	—	0.25	—	—
29	大洋	杜氏鰺	111/04/12	梧棲	174.56	—	—	0.56	—	—
30	大洋	杜氏鰺	111/04/13	新竹	156.85	—	—	0.27	—	—
31	近海沿岸	斑海鯰	111/04/12	竹圍	166.63	—	—	—	—	—
32	沙泥底質	紅星梭子蟹	111/04/12	安平	90.43	—	—	—	—	—
33	大洋	杜氏鰺	111/04/15	南方澳	141.80	—	—	—	—	—
34	大洋	杜氏鰺	111/04/25	深澳	166.80	—	—	0.53	—	—
35	岩礁環境	石花菜	111/04/26	龜吼	162.59	—	—	—	—	—
36	大洋	杜氏鰺	111/04/29	安平	158.25	—	—	0.37	—	—
37	大洋	扁花鰹	111/05/04	花蓮	120.00	—	—	0.18	—	—
38	大洋	正鰹	111/05/05	花蓮	156.41	—	—	0.20	—	—
39	近海沿岸	白姑魚	111/05/10	竹圍	103.21	—	—	—	—	—
40	大洋	鱧形叉尾鶴鱗	111/05/11	梧棲	139.11	—	—	0.35	—	—
41	大洋	杜氏鰺	111/05/11	南方澳	133.83	—	—	0.51	—	—
42	大洋	杜氏鰺	111/05/12	梧棲	168.62	—	—	0.24	—	—
43	近海沿岸	布氏鬚鯛	111/05/14	塭港	103.28	—	—	—	—	—
44	大洋	飛魚科	111/05/10	深澳	131.91	—	—	—	—	—
45	近海沿岸	日本竹筴魚	111/05/24	大溪第二	128.99	—	—	0.12	—	—
46	大洋	杜氏鰺	111/06/01	南方澳	128.71	—	—	0.61	—	—
47	岩礁環境	蜈蚣菜	111/06/03	龜吼	520.88	—	—	—	—	—
48	沙泥底質	美軟魚	111/06/06	大溪第二	117.31	—	—	0.09	—	—
49	大洋	圓花鰹	111/06/07	八斗子	120.70	—	—	0.14	—	—
50	大洋	杜氏鰺	111/06/05	龜吼	17324	—	—	0.21	—	—
51	近海沿岸	長角鬥士赤蝦	111/06/09	大溪第二	60.10	—	—	—	—	—
52	近海沿岸	藍豬齒魚	111/06/14	馬公第三	143.22	—	—	—	—	—
53	大洋	杜氏鰺	111/06/14	馬公第三	165.30	—	—	0.34	—	—
54	近海沿岸	日本竹筴魚	111/07/03	南方澳	130.08	—	—	0.18	—	—
55	近海沿岸	刺鰩	111/07/05	梧棲	71.21	—	—	—	—	—
56	近海沿岸	藍圓鱈	111/07/05	梧棲	94.07	—	—	—	—	—
57	沙泥底質	文蛤	111/07/08	王功	48.35	—	—	—	—	—
58	大洋	杜氏鰺	111/07/07	梧棲	150.47	—	—	0.24	—	—
59	近海沿岸	花身鱈	111/07/08	新竹	103.15	—	—	—	—	—
60	岩礁環境	牡蠣	111/07/11	東石	50.84	—	—	—	—	—
61	大洋	杜氏鰺	111/07/12	新竹	148.09	—	—	0.26	—	—
62	近海沿岸	大頭白姑魚	111/07/14	梧棲	68.66	—	—	—	—	—
63	近海沿岸	長體蛇鰩	111/07/14	梧棲	58.88	—	—	—	—	—
64	近海沿岸	花腹鯖	111/07/18	深澳	129.96	—	—	—	—	—

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	漁港	活 度 (貝克/千克·濕重)					
					鉀-40*	碘-131	銫-134	銫-137	鈾系列*	鈾系列*
65	沙泥底質	合齒魚科	111/07/19	彌陀	87.36	—	—	—	—	—
66	岩礁環境	牡蠣	111/07/25	海山	63.56	—	—	—	—	—
67	近海沿岸	白腹鯖	111/08/03	梧棲	118.28	—	—	—	—	—
68	近海沿岸	三線磯鱸	111/08/03	新竹	125.52	—	—	—	—	—
69	近海沿岸	紅鋤齒鯛	111/08/03	新竹	147.01	—	—	0.06	—	—
70	大洋	杜氏鰱	111/08/15	梧棲	162.31	—	—	0.27	—	—
71	近海沿岸	晶瑩櫻蝦	111/08/18	大溪第二	51.45	—	—	—	—	—
72	大洋	日本玻璃蝦	111/08/19	大溪第二	35.21	—	—	—	—	—
73	大洋	杜氏鰱	111/09/05	南方澳	167.40	—	—	0.20	—	—
74	岩礁環境	鳳螺	111/09/07	安平	51.42	—	—	—	—	—
75	近海沿岸	紅鋤齒鯛	111/09/06	梧棲	102.05	—	—	—	—	—
76	礁區	四線緋鯉	111/09/07	梧棲	139.70	—	—	—	—	—
77	近海沿岸	白腹鯖	111/09/15	新竹	121.10	—	—	—	—	—
78	大洋	杜氏鰱	111/09/15	新竹	166.45	—	—	0.18	—	—
79	大洋	杜氏鰱	111/09/15	梧棲	144.47	—	—	0.22	—	—
80	沙泥底質	六指多指馬鮫	111/09/18	梧棲	110.52	—	—	—	—	—
81	沙泥底質	紅蝦屬	111/09/19	大溪第二	34.69	—	—	—	—	—
82	近海沿岸	吉打副葉鰱	111/09/21	海山	131.16	—	—	—	—	—
83	近海沿岸	斑海鯰	111/09/28	松柏	170.46	—	—	—	—	—
84	大洋	杜氏鰱	111/10/05	梧棲	145.59	—	—	0.17	—	—
85	大洋	杜氏鰱	111/10/05	南方澳	148.81	—	—	0.18	—	—
86	近海沿岸	花身鰱	111/10/06	東石	94.88	—	—	—	—	—
87	近海沿岸	圓白鰱	111/10/07	梧棲	78.23	—	—	—	—	—
88	近海沿岸	日本竹筴魚	111/10/04	八斗子	125.75	—	—	0.14	—	—

註：1. "—"表示小於最小可測量值 (< MDA)、"*"表示天然放射性核種。

2. 試樣計測時間 30,000 秒。

表 18. 台灣鄰近及公海海域海產物加馬能譜分析結果(漁業署)

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	漁港	活 度 (貝克/千克·濕重)					
					鉀-40*	碘-131	銫-134	銫-137	鈾系列 *	鈾系列 *
1	大洋	長鰭鮪	111/03/09	—	75.94	—	—	—	—	—
2	大洋	長鰭鮪	111/03/09	—	89.04	—	—	—	—	—
3	大洋	長鰭鮪	111/03/09	—	66.08	—	—	—	—	—
4	大洋	大目鮪	111/03/09	—	—	—	—	—	—	—
5	大洋	黃鰭鮪	111/03/09	—	71.29	—	—	—	—	—
6	大洋	長鰭鮪	111/03/09	—	118.78	—	—	—	—	—
7	大洋	大目鮪	111/03/09	—	102.95	—	—	—	—	—
8	大洋	黃鰭鮪	111/03/09	—	84.00	—	—	—	—	—
9	大洋	長鰭鮪	111/03/09	—	132.65	—	—	—	—	—
10	大洋	水鯊	111/03/09	—	148.29	—	—	—	—	—
11	近海沿岸	黃背牙鯛	111/03/09	正濱	150.99	—	—	—	—	—
12	礁區	白條紋石狗公	111/03/09	正濱	109.85	—	—	—	—	—
13	近海沿岸	三線磯鱸	111/03/09	正濱	106.18	—	—	—	—	—
14	大洋	刺鯧	111/03/14	八斗子	84.13	—	—	—	—	—
15	大洋	杜氏鰺	111/02/15	八斗子	133.31	—	—	—	—	—
16	近海沿岸	鯖魚	111/04/06	八斗子	117.20	—	—	—	—	—
17	大洋	東方齒鱈	111/04/06	八斗子	145.83	—	—	—	—	—
18	大洋	大目鮪	111/02/15	—	183.20	—	—	—	—	—
19	大洋	長鰭鮪	111/02/15	—	106.53	—	—	—	—	—
20	大洋	黃鰭鮪	111/02/17	—	114.37	—	—	—	—	—
21	大洋	正鯧	111/02/17	—	129.10	—	—	—	—	—
22	大洋	劍旗魚	111/02/16	—	—	—	—	—	—	—
23	大洋	馬加鯊	111/02/16	—	110.31	—	—	—	—	—
24	大洋	水鯊	111/02/16	—	89.56	—	—	—	—	—
25	大洋	劍旗魚	111/02/19	—	154.37	—	—	—	—	—
26	大洋	大目鮪	111/02/19	—	74.62	—	—	—	—	—
27	大洋	黃鰭鮪	111/02/19	—	80.60	—	—	—	—	—
28	近海沿岸	日本竹筴魚	111/04/13	八斗子	125.09	—	—	—	—	—
29	近海沿岸	白帶魚	111/04/13	八斗子	180.68	—	—	—	—	—
30	近海沿岸	黃背牙鯛	111/04/13	正濱	109.33	—	—	—	—	—
31	礁區	白條紋石狗公	111/04/13	正濱	140.86	—	—	—	—	—
32	近海沿岸	鯖魚	111/05/04	八斗子	150.96	—	—	—	—	—
33	近海沿岸	日本竹筴魚	111/05/04	八斗子	124.26	—	—	—	—	—
34	近海沿岸	藍圓鯧	111/05/05	八斗子	133.25	—	—	—	—	—
35	大洋	東方齒鱈	111/05/05	八斗子	138.19	—	—	—	—	—
36	近海沿岸	黃背牙鯛	111/05/06	正濱	139.60	—	—	—	—	—
37	礁區	白條紋石狗公	111/05/06	正濱	112.03	—	—	—	—	—
38	大洋	圓花鯧	111/06/07	八斗子	157.32	—	—	—	—	—

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	漁港	活 度 (貝克/千克·濕重)					
					鉀-40*	碘-131	銫-134	銫-137	鈾系列 *	鈾系列 *
39	近海沿岸	黃背牙鯛	111/06/23	正濱	—	—	—	—	—	—
40	礁區	白條紋石狗公	111/06/23	正濱	128.14	—	—	—	—	—
41	近海沿岸	花腹鯖	111/06/29	八斗子	115.88	—	—	—	—	—
42	近海沿岸	鯖魚	111/07/01	深澳	158.55	—	—	—	—	—
43	大洋	東方齒鯖	111/07/06	深澳	127.65	—	—	—	—	—
44	近海沿岸	日本竹筴魚	111/07/18	深澳	69.951	—	—	—	—	—
45	近海沿岸	黃背牙鯛	111/07/19	正濱	—	—	—	—	—	—
46	礁區	白條紋石狗公	111/07/19	正濱	140.74	—	—	—	—	—
47	近海沿岸	鯖魚	111/08/01	深澳	115.26	—	—	—	—	—
48	近海沿岸	鎖管	111/08/02	八斗子	99.686	—	—	—	—	—
49	大洋	東方齒鯖	111/08/04	深澳	132.81	—	—	—	—	—
50	礁區	長身圓鯪	111/08/05	深澳	157.57	—	—	—	—	—
51	近海沿岸	黃背牙鯛	111/08/04	正濱	97.38	—	—	—	—	—
52	礁區	白條紋石狗公	111/08/04	正濱	97.899	—	—	—	—	—
53	近海沿岸	鯖魚	111/09/06	深澳	172.21	—	—	—	—	—
54	近海沿岸	藍圓鯪	111/09/06	深澳	119.46	—	—	—	—	—
55	大洋	圓花鯉	111/08/23	深澳	120.25	—	—	—	—	—
56	近海沿岸	鎖管	111/09/11	八斗子	77.942	—	—	—	—	—
57	沙泥底質	鏽斑蟊	111/09/16	八斗子	102.04	—	—	—	—	—
58	大洋	東方齒鯖	111/09/16	八斗子	146.79	—	—	—	—	—
59	近海沿岸	日本帶魚	111/09/20	八斗子	139.52	—	—	—	—	—
60	近海沿岸	日本竹筴魚	111/09/26	八斗子	130.62	—	—	—	—	—
61	沙泥底質	細點圓趾蟹	111/09/26	八斗子	99.183	—	—	—	—	—
62	近海沿岸	黃背牙鯛	111/09/30	正濱	101.65	—	—	—	—	—
63	近海沿岸	鯖魚	111/10/03	深澳	199.49	—	—	—	—	—
64	近海沿岸	日本竹筴魚	111/10/03	深澳	116.5	—	—	—	—	—
65	大洋	東方齒鯖	111/10/03	深澳	121.74	—	—	—	—	—
66	近海沿岸	白帶魚	111/10/21	八斗子	97.25	—	—	—	—	—
67	大洋	杜氏鯽	111/10/28	深澳	142.61	—	—	—	—	—
68	近海沿岸	白帶魚	111/11/04	八斗子	97.76	—	—	—	—	—
69	大洋	杜氏鯽	111/11/09	正濱	128.28	—	—	—	—	—
70	近海沿岸	白帶魚	111/12/04	八斗子	121.13	—	—	—	—	—

註：1. "—"表示小於最小可測量值 (< MDA)、"*"表示天然放射性核種。

2. 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」銫 134+銫 137 之限值 100 貝克/公斤[9]，根據衛福部授食字第 1051900834 號公告方法第一階段篩檢最小可測量 (minimum detectable amount, MDA) 小於 10 貝克/公斤 (其他食品)；第二階段篩選最小可測量小於 1 貝克/公斤，最小可測量值為 10 貝克/公斤-濕重。

表 19. 台灣鄰近海域海產物銫-90 分析結果

樣品編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	漁港	銫-90 活度 (貝克/千克·濕重)
1	岩礁環境	浒苔	111/02/13	八斗子	—
2	近海沿岸	星雞魚	111/03/03	安平	—
3	近海沿岸	印度牛尾魚	111/03/03	梧棲	—
4	近海沿岸	紅鋤齒鯛	111/03/04	安平	0.027
5	大洋	虎斑烏賊	111/03/10	竹圍	—
6	近海沿岸	頷圓鰱	111/03/15	南方澳	—
7	沙泥底質	鬚赤對蝦	111/03/17	東港鹽埔	—
8	近海沿岸	白姑魚	111/03/21	竹圍	—
9	沙泥底質	紅蝦屬	111/03/21	大溪第二	—
10	大洋	白帶魚	111/04/06	大溪第二	—
11	岩礁環境	礁膜	111/04/06	馬公第三	—
12	近海沿岸	吉打副葉鰱	111/04/08	布袋	—
13	岩礁環境	鳳螺	111/04/11	安平	—
14	大洋	杜氏鰷	111/04/11	花蓮	—
15	近海沿岸	斑海鯰	111/04/12	竹圍	—
16	沙泥底質	紅星梭子蟹	111/04/12	安平	—
17	岩礁環境	石花菜	111/04/26	龜吼	—
18	大洋	扁花鰹	111/05/04	花蓮	—
19	大洋	正鰹	111/05/05	花蓮	—
20	大洋	鱧形叉尾鶴鱗	111/05/11	梧棲	—
21	近海沿岸	布氏鬚鯛	111/05/14	塭港	—
22	大洋	飛魚科	111/05/10	深澳	—
23	近海沿岸	日本竹筴魚	111/05/24	大溪第二	—
24	岩礁環境	蜈蚣菜	111/06/03	龜吼	—
25	沙泥底質	美軟魚	111/06/06	大溪第二	—
26	大洋	圓花鰹	111/06/07	八斗子	—
27	近海沿岸	長角鬥士赤蝦	111/06/09	大溪第二	—
28	近海沿岸	藍豬齒魚	111/06/14	馬公第三	—
29	近海沿岸	刺鰩	111/07/05	梧棲	—
30	近海沿岸	藍圓鰱	111/07/05	梧棲	—

註：1. "—"表示小於最小可測量值 (< MDA)、銫-90 MDA 值為 0.02 貝克/千克·濕重。

2. 試樣計測時間為 100 分鐘。

高現象；沿近海魚類測得銫-137 活度次之（低於 0.18 貝克/千克·濕重）；藻貝蝦等底棲類中僅美軟魚檢出銫-137（活度 0.09 貝克/千克·濕重），如圖 11。綜觀來說，大洋洄游魚類及部分沿近海魚類有測得微量銫-137 活度，但數據皆遠低於「環境輻射監測規範」之調查基準（74 貝克/千克·濕重），屬於正常安全範圍內，至於部分魚種測得銫-137 原因可能與魚種攝食習性及生態位階中扮演高級消費者等因素有關。目前海產物檢測結果皆遠低於衛生福利部「食品中原子塵或放射能污染容許量標準」銫-137+銫-134 之限量（100 貝克/千克），無輻射異常現象，民眾可安心食用。

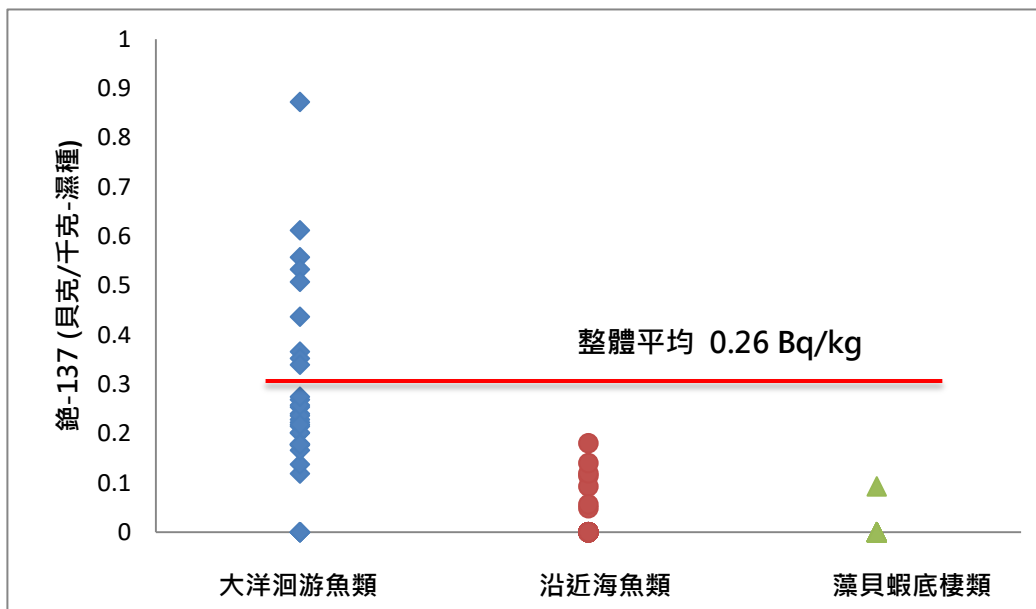


圖 11. 各棲地海產物銫-137 分析結果

7. 訂定 112 年台灣周邊海域監測計畫

民國 111 年依據長期監測計畫內容執行，以掌握日本福島含氚廢水排放對我國海域環境的影響並針對中國大陸沿海核電廠排放水、部分國家(例如北韓)執行核子武器試驗可能造成的境外放射性污染進行監測，同時也持續監測我國核電廠周邊海域輻射安全。

海域長期監測標的包含海水、沉積物及海生物，分析核種有銫-134、

銫-137、銨-90 及氫，其中海水監測部分，係將台灣鄰近海域劃分為 4 大海域，包含台灣南北端核電廠附近海域、沿岸 9 大漁港、西側離島海域及黑潮海域。

民國 112 年台灣周邊海域監測以長期監測計畫為架構調整部分項目監測之頻次及目標核種，詳如表 20~22，主要調整內容簡述如下：

- (1) 加強沿岸 9 大漁港海水氫監測之頻率：因應日本福島含氫廢水將於 112 年春夏季開始排放，氫監測之頻率由每半年一次改為每季一次，自第 2 季開始執行。
- (2) 於黑潮海域新增海水銻-125、釷-106、鈷-60 之監測：參考日本海域監測計畫，於台灣周圍海域海水新增銻-125、釷-106、鈷-60 之含量監測。
- (3) 加強台灣近海海域海生物輻射監測數量，確保海產物之食用安全。

表 20. 海水監測分析核種、取樣頻率及年度數量

海域	監測標的 (分析核種)	取樣點/ 頻率	取樣 數量	監測目的	取樣 單位
沿岸9大 漁港	海水：銫-137 氫	9/半年 9/季	18/年 27/年	監測台灣本島沿岸漁港海水輻射量	偵測 中心
台灣南北 端海域	海水 (銫-137、氫)	11/季	44/年	監測台灣南北2端核電廠附近海域海水輻射量(石門、野柳、金山、南灣、白沙、核電廠進出水口)	
西側離島	海水 (銫-137、氫)	6/半年	12/年	監測大陸沿岸流對台灣西側海水輻射量之影響(東引、南竿、金門澎湖、東沙、南沙)	海巡署
	海水(銨-90)-不額外取樣	2/年	2/年	監測大陸沿岸流對台灣西側海水輻射量之影響(東引、金門)	
黑潮海域	海水 (銫-137、氫、銻-125 釷-106、鈷-60 ^{註1})	1/年	1/年	監測東北外海之漁場海水輻射量	水產試 驗所
黑潮海域	海水 (銫-137、氫)	表層、深層 6/半年	12/年	1. 東北(貢寮龍洞外海)：監測主要漁場水質	
	海水(銻-125、釷-106 鈷-60 ^{註1})	表層3/半年 深層3/年	9/年	2. 東南(蘭嶼)：黑潮主流(東海岸)起點	
	海水(銨-90)	3/年	3/年	3. 西南(小琉球)：黑潮支流(台灣海峽)起點	

表 21. 沉積物監測分析核種、取樣頻率及年度數量

海域	監測標的 (分析核種)	數量/ 頻率	年度 數量	監測目的	取樣單位
西側離島海域	岸沙 (銫-137)	2/年	2/年	監測大陸沿岸流對台灣西側岸沙輻射量之影響(馬祖、金門)	海巡署
沿岸9大漁港	岸沙 (銫-137)	9/年	9/年	監測台灣沿岸漁港附近海域岸沙輻射量	偵測中心

表 22. 海生物監測分析核種、取樣頻率及年度數量

海域	監測標的 (分析核種)	頻率	年度 數量	監測目的	取樣單位
台灣海域	海產物(銫-134、銫-137)	季	1. 50/年 2. 120/年	監測台灣海域經濟性海產物(魚蝦貝藻類等)	1. 漁業署 2. 漁業基金會
公海海域	秋刀魚及其他洄游魚類(銫-134、銫-137) 註	年	100/年	監測公海經濟性海產物	漁業署
台灣及公海海域	秋刀魚及其他海生物等(銳-90)		20/年	監測海生物銳-90之輻射量	不額外取樣

8. 核設施周圍土壤放射性分析

核設施周圍土壤取樣自民國110年起規劃執行，取樣地點包括核一、二、三廠、蘭嶼貯存場、核能研究所及清華大學，今(111)年度共完成151件取樣土壤樣品，經加馬能譜分析結果，依地質特性不同鉀-40活度為139.34(蘭嶼貯存場後方)至1,167.8(核二廠周圍磺潭社區親水公園)貝克/千克·乾重、鈾系列活度為5.84(蘭嶼貯存場後方)至67.51(核一廠周圍石崩山石門國小分校)貝克/千克·乾重、鈾系列活度為6.13(蘭嶼貯存場後方)至45.85(石崩山石門國小分校)貝克/千克·乾重；人工核種銫-137活度為0.15(清華大學周圍新竹公園)至23.8(核能研究所試驗區正門右方)貝克/千克·乾重，其餘人工核種皆低

於最小可測值，各核能設施周圍土壤取樣分析結果彙整如表 23~表 28。承上，進一步繪製各核設施土壤銫-137 活度濃度及深度分布如圖 12~圖 16，由分析結果可知銫-137 近乎沉降於土壤深度 0~25 公分內，惟僅核三廠、蘭嶼貯存場及核能研究所出現於深度大於 30 公分以上之深層土，而核能研究所如圖 15 較為特殊且 110 年及 111 年分析結果一致，其深度於 0~25 公分間各分層之銫-137 活度為 20.9~23.8 貝克/千克·乾重，研判與該點地質特性、土壤基質或人為活動有關；蘭嶼貯存場於 40~45 公分處銫-137 為 2.36 貝克/千克·乾重，研判可能經長時間雨水沖刷使銫-137 遷移至深層土壤或人為活動所致。110 年至 111 年深層土壤調查結果可作為核設施除役期間之環境輻射背景資料參考。

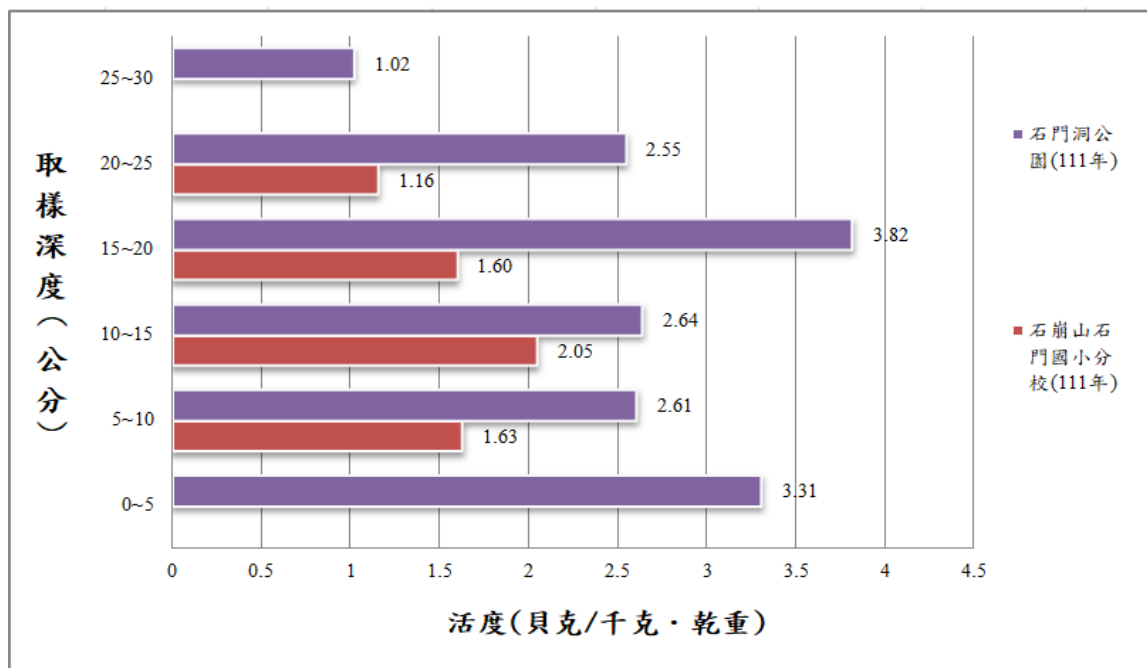


圖 12. 核一廠周圍土壤深層中銫-137 分布圖

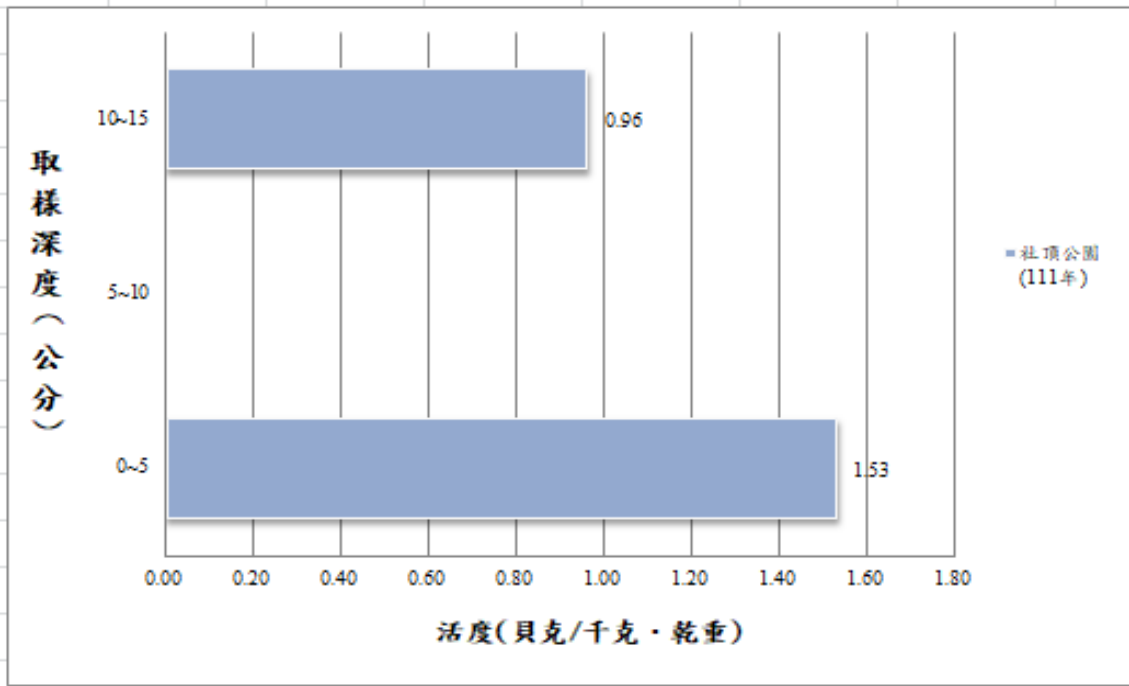


圖 13. 核三廠周圍土壤深層中銫-137 分布圖

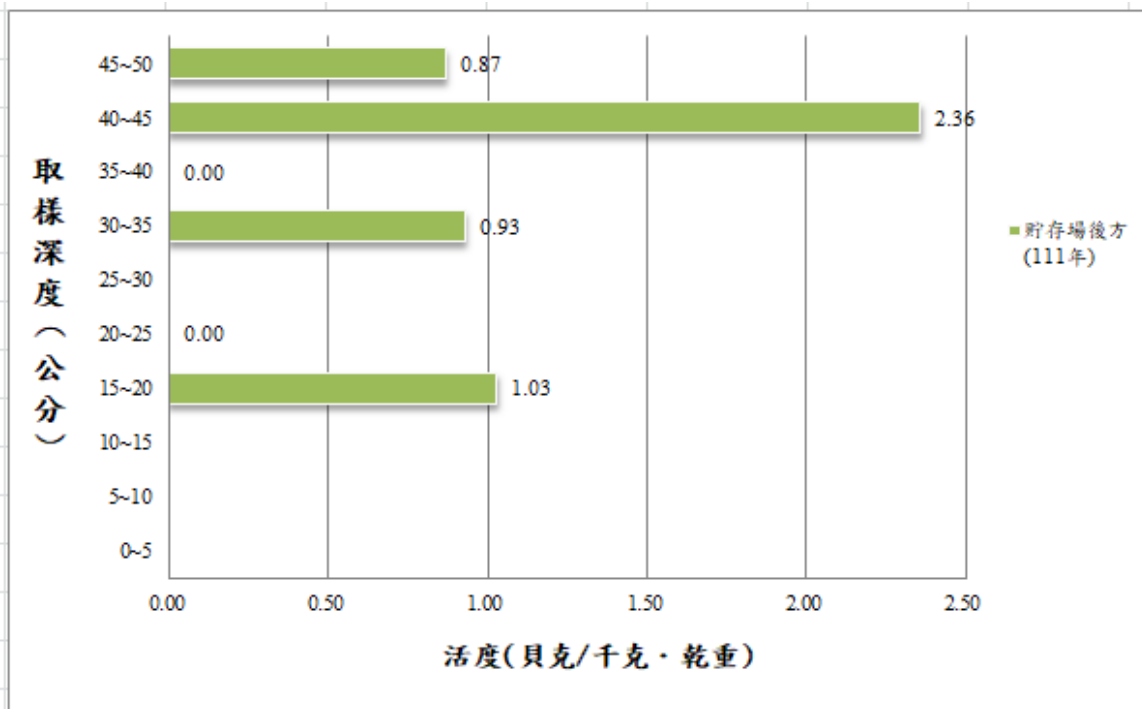


圖 14. 蘭嶼貯存場周圍土壤深層中銫-137 分布圖

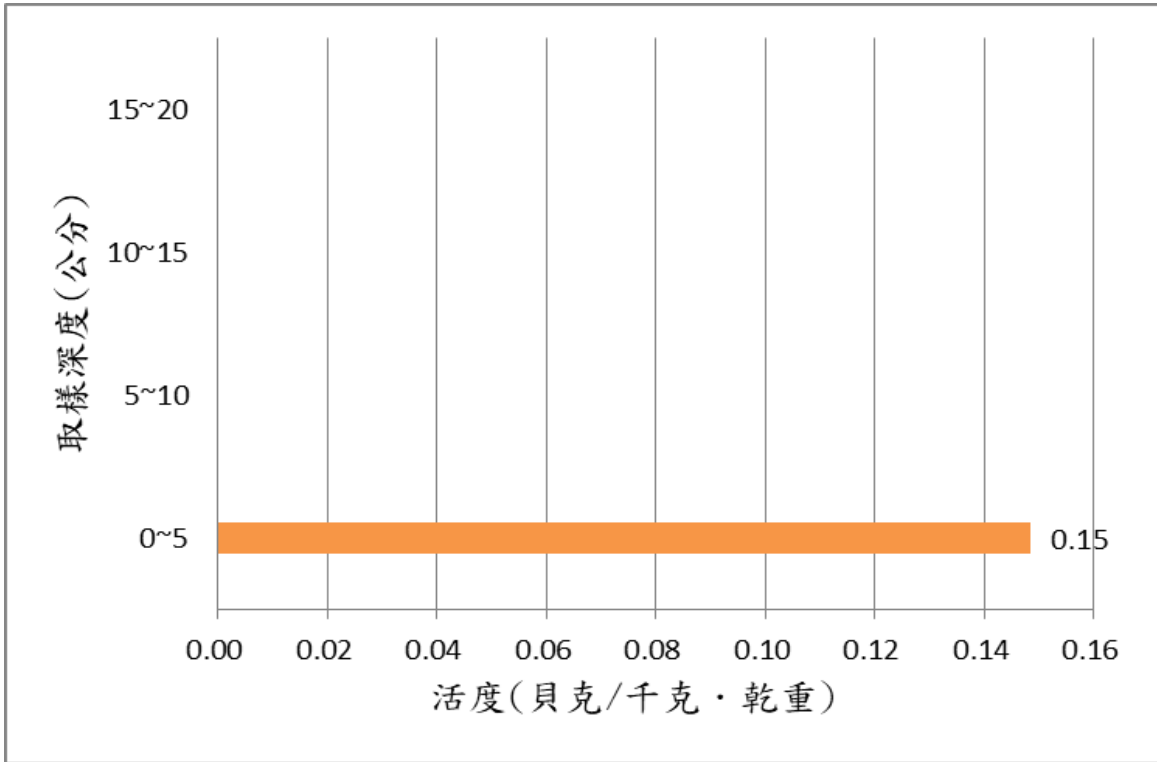


圖 15. 清華大學周圍之新竹公園土壤深層中銫-137 分布圖

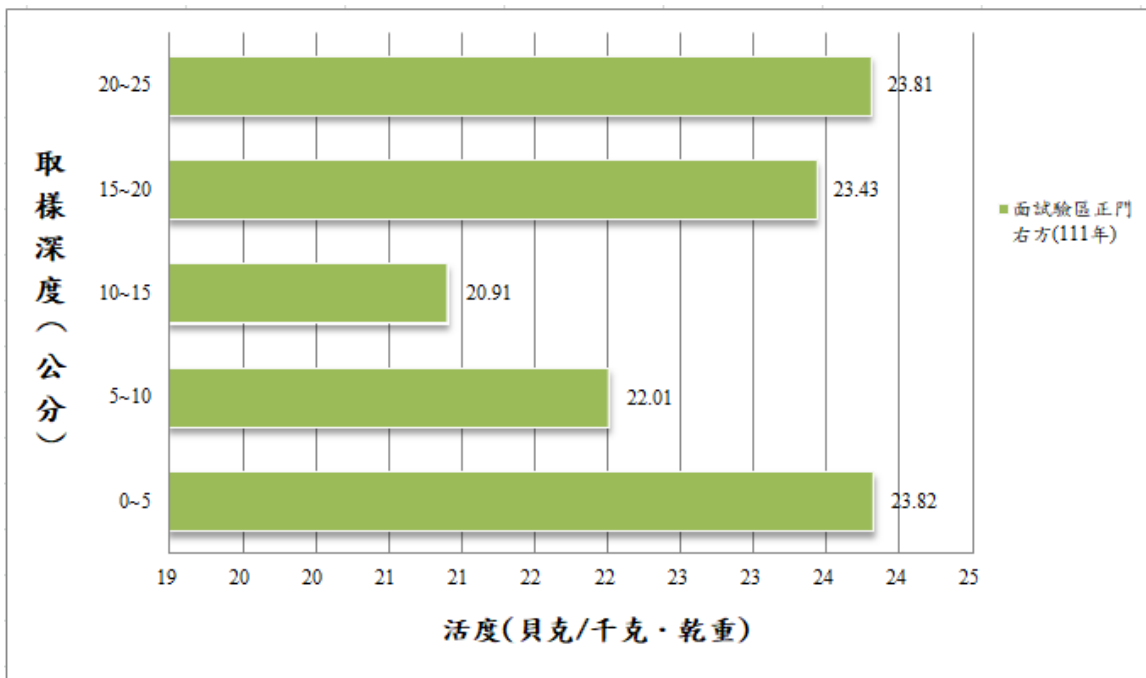


圖 16. 核能研究所土壤深度分布圖

表 23. 核一廠周遭及金山區環境土壤分析結果彙整表

項次	取樣編號	取樣地點	取樣深度 (公分)	取樣點 相對位置 (公尺)	取樣地點經緯度		核種分析活度 (貝克/千克·乾重)			
					經度	緯度	銻-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*
1	CHE-1	新北市石門區 北 21 鄉道	0~5	中心點	121.59300	25.27012	0.31	430.8	62.56	40.77
2	CHE-2	新北市石門區 北 21 鄉道	5~10				—	297.0	55.60	40.11
3	CHE-3	新北市石門區 北 21 鄉道	10~15				—	261.9	55.84	44.51
4	CHE-4	新北市石門區 北 21 鄉道	15~20				—	298.1	44.96	42.77
5	CHE-5	新北市石門區 北 21 鄉道	20~25				—	303.8	40.62	36.54
6	CHE-10	新北市石門區 北 21 鄉道(西)	5	3	—	195.9	43.60	36.44		
7	CHE-11	新北市石門區 北 21 鄉道(南)	5	5	1.09	245.5	49.71	35.88		
8	CHE-12	新北市石門區 北 21 鄉道(北)	5	4	—	410.6	55.38	38.28		
9	CHE-13	新北市石門區 北 21 鄉道(東)	5	2	—	311.0	57.27	41.08		
10	SME-1	石崩山石門國 小分校	0~5	中心點	121.55977	25.28472	—	—	—	—
11	SME-2	石崩山石門國 小分校	5~10				1.63	554.5	56.98	34.35
12	SME-3	石崩山石門國 小分校	10~15				2.05	594.4	61.55	36.09
13	SME-4	石崩山石門國 小分校	15~20				1.60	572.6	54.60	34.01
14	SME-5	石崩山石門國 小分校	20~25				1.16	570.3	59.02	36.81
15	SME-6	石崩山石門國 小分校	25~30	—	615.2	60.67	40.26			
16	SME-7	石崩山石門國 小分校	30~35	—	635.9	65.02	40.69			
17	SME-8	石崩山石門國 小分校(東)	5	2	1.39	551.9	60.74	39.76		
18	SME-9	石崩山石門國 小分校(南)	5	1	1.54	612.1	66.64	41.64		
19	SME-10	石崩山石門國 小分校(西)	5	1	2.07	635.8	61.69	40.74		
20	SME-11	石崩山石門國 小分校(北)	5	2	0.74	695.4	67.51	45.85		
21	CYL-1	石門洞公園	0~5	中心點	121.58065	25.26929	3.31	500.4	43.29	33.06
22	CYL-2	石門洞公園	5~10				2.61	272.0	22.42	29.83
23	CYL-3	石門洞公園	10~15				2.64	268.4	25.24	20.97
24	CYL-4	石門洞公園	15~20				3.82	270.0	21.95	20.82
25	CYL-5	石門洞公園	20~25				2.55	284.5	24.97	23.64
26	CYL-6	石門洞公園	25~30				1.02	203.6	25.54	19.08
27	CYL-7	石門洞公園	30~35				—	215.4	30.44	31.45

項次	取樣編號	取樣地點	取樣深度 (公分)	取樣點 相對位置 (公尺)	取樣地點經緯度		核種分析活度 (貝克/千克·乾重)			
					經度	緯度	銻-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*
28	CYL-8	石門洞公園 (北)	5	5			—	313.4	44.27	28.54
29	CYL-9	石門洞公園(西 北)	5	3			—	351.5	36.19	32.06
30	CYL-10	石門洞公園 (東)	5	2			—	402.1	40.11	37.51
31	CYL-11	石門洞公園(東 南)	5	4			—	353.4	42.04	37.37
32	CYL-12	石門洞公園 (南)	5	5			—	328.3	43.14	36.29
33	CYL-13	石門洞公園 (西)	5	5			—	400.1	49.33	32.47
34	11A-1	三芝區櫻花公園	0~5	中心點			121.58442	25.27954	—	345.8
35	11A-2	三芝區櫻花公園	5~10		—	362.9			30.70	29.30
36	11A-3	三芝區櫻花公園	10~15		—	413.8			47.08	28.95
37	11A-4	三芝區櫻花公園	15~20		—	429.4			30.61	33.75
38	11A-5	三芝區櫻花公園	20~25		—	431.0			40.31	37.73
39	11A-10	三芝區櫻花公園	5		4	1.19			368.7	39.52
40	11A-11	三芝區櫻花公園	5	1	1.18	371.7	48.07	28.98		

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，鉀 40 MDA 值為 24.3 貝克/千克，銻 134 MDA 值為 2.45 貝克/千克、銻 137 MDA 值為 1.75 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 4.69 貝克/ 千克、鈾系列 MDA 值為 6.69 貝克/ 千克。

2. "*"表示天然放射性核種，計測時間 30,000 秒。

表 24. 核二廠周遭及萬里區環境土壤分析結果彙整表

項次	取樣編號	取樣地點	取樣深度(公分)	取樣點相對位置(公尺)	取樣地點經緯度		核種分析活度(貝克/千克·乾重)				
					經度	緯度	銻-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*	
1	KS-RD-1	生水池	0~5	中心點	121.6600 3	25.19527	2.23	599.7	25.80	23.99	
2	KS-RD-2	生水池	5~10				—	567.4	23.91	20.91	
3	KS-RD-3	生水池	10~15				—	567.9	18.55	17.73	
4	KS-RD-4	生水池	15~20				4.04	600.4	19.56	19.77	
5	KS-RD-9	生水池(北)	5	1			1.81	553.0	26.05	17.89	
6	KS-R-10	生水池(東)	5	2			—	572.5	30.62	22.52	
7	KS-R-11	生水池(東北)	5	2			—	537.8	23.17	19.80	
8	KS-R-12	生水池(西)	5	4			1.59	594.4	28.00	21.87	
9	KS-R-13	生水池(西北)	5	3			1.81	635.0	26.08	23.72	
10	KS-ED-14	磺潭社區親水公園	0~5	中心點	121.6470 57	25.19943	—	755.0	50.03	32.47	
11	KS-ED-15	磺潭社區親水公園	5~10				—	848.7	49.41	34.64	
12	KS-ED-16	磺潭社區親水公園	10~15				—	922.8	52.80	35.09	
13	KS-ED-17	磺潭社區親水公園	15~20				—	817.1	54.47	33.89	
14	KS-E-18	磺潭社區親水公園	20~25				0.83	571.3	35.28	28.44	
15	KS-E-19	磺潭社區親水公園(東)	5				3	—	1167.8	41.04	40.56
16	KS-E-20	磺潭社區親水公園(西南)	5				5	2.11	464.3	33.36	26.34
17	KS-E-21	磺潭社區親水公園(西)	5				1.5	1.03	412.0	27.38	19.60
18	KS-RD-5	磺潭社區親水公園(北)	5	4	2.10	392.3	34.17	17.69			
19	KS-AD-22	核二廠玉田路草皮	0~5	中心點	121.6668	25.202203	—	495.2	27.76	24.95	
20	KS-AD-23	核二廠玉田路草皮	5~10				—	500.1	24.48	20.64	
21	KS-AD-24	核二廠玉田路草皮	10~15				—	479.0	27.31	20.69	
22	KS-AD-25	核二廠玉田路草皮	5				3	—	501.7	28.65	26.16
23	KS-AD-26	核二廠玉田路草皮	5				4	—	468.6	26.01	19.82
24	KS-AD-27	核二廠玉田路草皮	5				2	0.57	477.6	28.14	20.74
25	KS-AD-28	核二廠玉田路草皮	5				5	—	513.5	31.14	21.65
26	KS-AD-29	核二廠玉田路草皮	5				5	—	495.1	27.76	22.68
27	KS-AD-30	核二廠玉田路草皮	5	5	—	426.4	25.73	21.18			
28	KS-OD-31	出水口前草	0~5	中心點	121.6617	25.20774	—	408.6	18.88	14.88	

項次	取樣編號	取樣地點	取樣深度 (公分)	取樣點相對位置 (公尺)	取樣地點經緯度		核種分析活度(貝克/千克·乾重)			
					經度	緯度	銻-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*
		地			7					
29	KS-OD-32	出水口前草地	5~10				—	376.9	18.87	16.43
30	KS-OD-33	出水口前草地	10~15				—	433.5	16.44	14.73
31	KS-OD-34	出水口前草地	15~20				—	435.0	17.95	14.85
32	KS-OD-35	出水口前草地	20~25				—	353.2	15.45	13.09
33	KS-OD-36	出水口前草地	25~30				—	363.9	11.31	10.97
34	KS-OD-37	出水口前草地	30~35				—	343.7	12.51	12.76
35	KS-OD-38	出水口前草地(西南)	5	3			—	463.8	33.64	21.56
36	KS-OD-39	出水口前草地(西)	5	5			—	462.2	30.09	19.35
37	KS-OD-40	出水口前草地(北)	5	5			—	435.0	31.86	21.41
38	KS-OD-41	出水口前草地(東)	5	5			—	357.6	32.36	19.46
39	KS-OD-42	出水口前草地(南)	5	5			—	496.6	53.85	31.88
40	KS-TL-43	龜吼漁港公園	5				—	512.6	30.25	19.88
41	KS-TL-44	龜吼漁港公園	5				1.07	596.7	30.18	22.62

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，鉀 40 MDA 值為 24.3 貝克/千克，銻 134 MDA 值為 2.45 貝克/千克、銻 137 MDA 值為 1.75 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 4.69 貝克/ 千克、鈾系列 MDA 值為 6.69 貝克/ 千克。

2. "*"表示天然放射性核種，計測時間 30,000 秒。

表 25. 核三廠周遭、墾丁及恆春鎮環境土壤分析結果彙整表

項次	取樣編號	取樣地點	取樣深度(公分)	取樣點相對位置(公尺)	取樣地點經緯度		核種分析活度(貝克/千克·乾重)			
					經度	緯度	銻-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*
1	S1-1	社頂公園	0~5	中心點	120.81835	21.95729	1.53	337.7	34.30	20.11
2	S1-2	社頂公園	5~10				—	317.4	30.65	18.91
3	S1-3	社頂公園	10~15				0.96	383.1	31.99	19.60
4	S1-4	社頂公園	15~20				—	363.1	32.95	23.05
5	S1-5	社頂公園	20~25				—	375.5	35.32	21.75
6	S1-6	社頂公園	25~30				—	416.1	40.46	21.33
7	S1-7	社頂公園	30~35				—	521.7	44.06	23.58
8	S1-8	社頂公園	35~40				—	572.0	47.93	21.53
9	S1-9	社頂公園	5	2(N)	120.81835	21.95731	1.11	338.3	36.52	20.29
10	S1-10	社頂公園	5	5(W)	120.81830	21.95730	1.20	270.1	29.72	17.80
11	S2-1	社頂公園	0~5	中心點	120.81891	21.95654	—	245.7	24.90	20.59
12	S2-2	社頂公園	5~10				—	342.3	27.41	22.45
13	S2-3	社頂公園	10~15				—	210.6	20.40	18.24
14	S2-4	社頂公園	15~20				1.00	218.2	28.56	16.63
15	S2-5	社頂公園	5	2(S)	120.81891	21.95652	—	358.0	30.49	19.99
16	S2-6	社頂公園	5	W(5)	120.81886	21.95654	1.10	177.3	15.19	14.45
17	C1-1	瓊麻館涼亭	0~5	中心點	120.74278	21.96571	1.89	431.8	37.80	23.65
18	C1-2	瓊麻館涼亭	5~10				0.92	414.9	36.67	21.46
19	C1-3	瓊麻館涼亭	10~15				—	363.3	26.52	21.32
20	C1-4	瓊麻館涼亭	5	2(ES)	120.74279	21.96570	—	425.4	31.30	21.64
21	C1-5	瓊麻館涼亭	5	5(WN)	120.74273	21.96574	—	393.7	30.67	24.03
22	C2-1	瓊麻館涼亭	0~5	中心點	120.74328	21.96578	—	258.3	29.80	27.03
23	C2-2	瓊麻館涼亭	5~10				—	252.0	31.35	25.82
24	C2-3	瓊麻館涼亭	10~15				—	237.3	26.48	23.58
25	C2-4	瓊麻館涼亭	15~20				—	270.5	34.14	26.35
26	C2-5	瓊麻館涼亭	20~25				—	299.8	36.90	25.75
27	C2-6	瓊麻館涼亭	25~30				—	315.7	39.79	27.54
28	C2-7	瓊麻館涼亭	30~35				1.07	218.3	27.34	27.07
29	C2-8	瓊麻館涼亭	5	2(E)	120.74330	21.96580	1.09	249.0	30.14	23.51
30	C2-9	瓊麻館涼亭	5	5(ES)	120.74332	21.96575	0.68	229.0	31.42	26.37

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，鉀 40 MDA 值為 24.3 貝克/千克，銻 134 MDA 值為 2.45 貝克/千克、銻 137 MDA 值為 1.75 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 4.69 貝克/ 千克、鈾系列 MDA 值為 6.69 貝克/千克。

2. "*"表示天然放射性核種，計測時間 30,000 秒。

表 28. 清華大學周遭及新竹市環境土壤分析結果彙整表

項次	取樣編號	取樣地點	取樣深度(公分)	取樣點相對位置(公尺)	取樣地點經緯度		核種分析活度(貝克/千克·乾重)			
					經度	緯度	銫-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*
1	NTHU-1	愛民公園	0~5	中心點	121.00958	24.78689	—	382.1	37.60	28.36
2	NTHU-2	愛民公園	5~10		121.00958	24.78689	—	293.5	30.74	
3	NTHU-3	愛民公園	10~15		121.00958	24.78689	—	357.8	38.14	25.04
4	NTHU-4	愛民公園	15~20		121.00958	24.78689	—	350.5	30.44	
5	NTHU-5	竹北 AI 智慧園區	0~5	中心點	121.02237	24.83156	—	505.4	31.84	23.31
6	NTHU-6	竹北 AI 智慧園區	5~10		121.02237	24.83156	—	478.4	35.03	
7	NTHU-7	竹北 AI 智慧園區	10~15		121.02237	24.83156	—	472.4	33.91	
8	NTHU-8	竹北 AI 智慧園區	0~5	表層土 (東 2 公尺)	121.02237	24.83156	—	481.9	30.72	22.81
9	NTHU-9	竹北 AI 智慧園區	0~5	表層土 (西 5 公尺)	121.02237	24.83156	—	536.6	34.08	21.43
10	NTHU-10	新竹公園	0~5	中心點	120.97734	24.8007	0.15	499.4	25.04	-
11	NTHU-11	新竹公園	5~10		120.97734	24.8007	—	484.6	26.29	-
12	NTHU-12	新竹公園	10~15		120.97734	24.8007	—	488.6	33.07	-
13	NTHU-13	新竹公園	15~20		120.97734	24.8007	—	477.6	-	-
14	NTHU-14	明湖公園	0~5	中心點	120.96825	24.7743	—	473.0	27.25	19.57
15	NTHU-15	明湖公園	5~10		120.96825	24.7743	—	527.8	29.04	-
16	NTHU-16	明湖公園	10~15		120.96825	24.7743	—	576.0	31.07	21.78
17	NTHU-17	明湖公園	0~5	表層土 (西南 2 公尺)	120.96825	24.7743	—	422.4	27.60	21.84
18	NTHU-18	明湖公園	0~5	表層土 (東北 5 公尺)	120.96825	24.7743	—	624.9	39.52	27.70

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，鉀 40 MDA 值為 24.3 貝克/千克，銫 134 MDA 值為 2.45 貝克/千克、銫 137 MDA 值為 1.75 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 4.69 貝克/ 千克、鈾系列 MDA 值為 6.69 貝克/千克。

2. "*"表示天然放射性核種，計測時間 30,000 秒。

9. 台灣陸域山區土壤放射性核種含量背景調查

本中心自民國 109 年度起與農試所合作，由農試所提供台灣北、中、南及東部山區土壤樣品，今(111)年度共完成 126 件，台灣山區土壤加馬能譜分析結果，天然核種之鉀-40 為 31.87~1,047(貝克/千克·乾重、鈾系列為低於 3.86~87.48 貝克/千克·乾重、鈾系列為 12.02~265.7 貝克/千克·乾重；人工核種之銫-137 活度為低於最小可測值~50.1 貝克/千克·乾重，其餘人工核種皆低於最小可測值，詳如表 29 所示。今(111)年度台灣北部山區(包含新北市、新竹及桃園)土壤平均銫-137 活度濃度為 12.73 貝克/千克·乾重(N=18)；中部山區(南投)土壤平均銫-137 活度濃度為 7.71 貝克/千克·乾重(N=21)；南部山區(高雄)土壤平均銫-137 活度濃度為 8.49 貝克/千克·乾重(N=24)；東部山區(花蓮及台東)土壤平均銫-137 活度濃度為 6.29 貝克/千克·乾重(N=63)。綜上，台灣山區土壤銫-137 平均活度濃度北部地區最高，東部地區最低，今(111)年度銫-137 活度濃度平均值為 7.85 貝克/千克·乾重(N=126)，與歷年(109~110 年)調查結果無明顯差異【7】【8】。

表 29. 台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	縣市 或山區
					銻-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*		
1	108/11/18	24.64	121.28	938	2.7	659.6	28.6	38.0	秀巒國小 田埔分校	新竹縣
2	108/11/27	24.71	121.45	2115	26.7	31.9	—	42.7	塔曼山	新北市
3	108/11/29	24.84	121.43	600	—	753.8	30.6	58.8	雙溪山	新北市
4	108/11/29	24.85	121.43	368	—	881.3	57.8	48.2	水車寮坑	新北市
5	108/11/13	24.82	121.45	483	5.9	811.5	39.2	44.7	滿月圓瀑布	新北市
6	108/11/12	24.81	121.44	1177	12.6	385.7	43.7	39.9	小妮瀑布	新北市
7	108/11/30	24.84	121.46	558	—	903.5	58.0	41.3	姐妹瀑布	新北市
8	108/11/29	24.84	121.42	506	—	863.1	42.8	46.8	水車寮坑	新北市
9	109/06/14	23.28	120.83	843	3.6	714.5	46.5	31.1	桃源區	高雄市
10	109/06/19	23.26	120.95	2690	4.4	804.4	52.0	27.4	桃源區	高雄市
11	109/06/13	23.27	120.84	1041	2.0	782.5	56.1	30.1	桃源區	高雄市
12	109/06/14	23.28	120.85	1822	12.4	592.2	48.8	32.5	桃源區	高雄市
13	109/06/19	23.26	120.95	2670	-	904.9	38.7	26.4	桃源區	高雄市
14	109/06/13	23.29	120.90	2029	25.7	170.4	20.6	18.7	桃源區	高雄市
15	109/06/13	23.28	120.91	2301	9.3	147.1	58.2	27.5	桃源區	高雄市
16	109/06/19	23.26	120.94	2664	-	769.3	46.1	22.5	桃源區	高雄市
17	109/06/13	23.27	120.84	993	3.8	716.5	54.6	30.2	桃源區	高雄市
18	109/06/13	23.29	120.90	2050	25.1	373.7	50.3	21.9	桃源區	高雄市
19	109/06/13	23.26	120.93	2460	-	367.1	20.5	26.2	桃源區	高雄市
20	109/06/13	23.28	120.91	2318	10.8	789.3	58.2	27.0	桃源區	高雄市
21	109/06/12	23.26	120.82	817	3.5	822.8	87.5	31.5	桃源區	高雄市
22	109/06/19	23.26	120.96	2928	11.0	848.2	68.8	36.9	海端鄉	台東縣
23	109/06/12	23.25	120.82	853	-	770.1	56.5	27.6	桃源區	高雄市
24	109/06/14	23.26	120.94	2826	10.1	85.2	-	-	桃源區	高雄市
25	109/06/13	23.27	120.83	996	2.4	766.6	49.9	32.1	桃源區	高雄市

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	縣市 或山區
					銻-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*		
26	109/06/14	23.27	120.94	2632	18.6	447.3	49.5	20.7	桃源區	高雄市
27	109/06/12	23.28	120.83	877	-	707.3	55.6	36.2	桃源區	高雄市
28	109/06/14	23.28	120.85	1646	2.3	706.5	60.4	31.5	桃源區	高雄市
29	109/06/12	23.27	120.82	855	2.8	771.7	52.6	31.5	桃源區	高雄市
30	109/06/13	23.26	120.85	1147	4.3	744.7	47.9	24.7	桃源區	高雄市
31	109/06/13	23.28	120.91	2344	6.9	278.8	46.5	31.7	桃源區	高雄市
32	109/06/13	23.28	120.85	1595	2.4	801.9	46.9	26.8	桃源區	高雄市
33	108/11/27	24.71	121.45	2090	10.8	331.1	59.8	46.4	塔曼山	桃園市
34	108/11/12	24.82	121.42	864	5.6	317.9	19.8	14.4	東滿步道	桃園市
35	108/11/12	24.81	121.43	1054	10.1	698.3	51.9	34.1	赫威山	桃園市
36	108/11/12	24.82	121.43	945	4.4	621.4	47.9	36.3	東眼山	桃園市
37	108/11/27	24.70	121.43	1695	—	315.1	30.2	37.8	塔曼山	桃園市
38	108/11/27	24.70	121.43	1860	—	255.6	—	29.5	塔曼山	桃園市
39	108/11/12	24.82	121.43	993	11.0	736.4	46.6	43.8	東滿步道	桃園市
40	108/11/12	24.83	121.42	1193	50.1	289.6	20.7	17.7	東眼山	桃園市
41	108/11/12	24.82	121.42	1204	10.1	307.0	31.2	32.2	東眼山	桃園市
42	108/11/12	24.83	121.41	958	2.7	812.0	55.3	75.4	東眼山	桃園市
43	109/05/16	23.76	121.21	2869	6.2	661.7	70.9	41.4	信義鄉	南投縣
44	109/05/16	23.76	121.21	2867	7.9	703.0	67.4	33.4	信義鄉	南投縣
45	109/05/16	23.77	121.20	2730	10.0	586.0	62.0	41.7	信義鄉	南投縣
46	109/05/16	23.77	121.20	2721	3.7	693.0	65.0	36.9	信義鄉	南投縣
47	109/06/04	23.46	120.91	1963	4.0	739.7	54.7	26.4	信義鄉	南投縣
48	109/06/04	23.46	120.90	2277	10.6	419.3	49.4	29.2	信義鄉	南投縣
49	109/05/15	23.77	121.20	2723	4.9	624.0	68.7	32.8	信義鄉	南投縣
50	109/05/15	23.76	121.20	2692	—	711.7	66.8	32.6	信義鄉	南投縣
51	109/05/15	23.77	121.20	2728	5.0	643.3	64.9	39.4	信義鄉	南投縣

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	縣市 或山區
					銻-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*		
52	109/05/14	23.73	121.23	2888	14.2	525.6	34.3	27.4	信義鄉	南投縣
53	109/05/14	23.74	121.23	2869	9.4	719.1	46.7	33.1	信義鄉	南投縣
54	109/05/13	23.76	121.07	1429	10.5	769.8	55.0	34.3	信義鄉	南投縣
55	109/05/14	23.72	121.24	3026	5.4	137.6	14.1	12.0	信義鄉	南投縣
56	109/05/13	23.75	121.08	1620	12.4	552.6	46.3	31.2	信義鄉	南投縣
57	109/05/15	23.76	121.22	2866	—	872.7	57.2	49.0	信義鄉	南投縣
58	109/05/15	23.77	121.21	2697	1.2	642.3	72.5	33.4	信義鄉	南投縣
59	109/05/15	23.75	121.23	2950	9.8	524.1	57.6	30.3	信義鄉	南投縣
60	109/05/15	23.76	121.21	2759	—	963.9	54.7	28.7	信義鄉	南投縣
61	109/05/13	23.75	121.08	1588	3.2	630.3	53.4	33.1	信義鄉	南投縣
62	109/05/15	23.75	121.22	2930	—	535.6	68.6	37.4	信義鄉	南投縣
63	109/05/14	23.74	121.23	2918	12.6	533.7	38.3	25.7	信義鄉	南投縣
64	109/07/14	24.18	121.64	1014	—	138.6	12.1	20.2	秀林鄉	花蓮縣
65	109/07/12	24.27	121.68	464	15.5	385.8	32.6	265.7	秀林鄉	花蓮縣
66	109/07/10	24.02	121.37	1311	—	342.5	16.7	25.1	秀林鄉	花蓮縣
67	109/07/13	24.02	121.57	564	—	437.9	30.8	108.0	秀林鄉	花蓮縣
68	109/07/15	24.19	121.64	851	3.7	342.0	11.7	36.4	秀林鄉	花蓮縣
69	109/07/14	24.18	121.64	1171	5.9	90.0	—	34.4	秀林鄉	花蓮縣
70	109/07/16	24.24	121.64	1944	15.9	90.0	13.1	23.9	秀林鄉	花蓮縣
71	109/07/10	24.03	121.36	1268	8.5	40.2	11.4	39.5	秀林鄉	花蓮縣
72	109/07/10	24.03	121.38	1323	2.5	1002.1	69.5	51.5	秀林鄉	花蓮縣
73	109/07/17	24.16	121.63	156	—	538.8	17.9	33.3	秀林鄉	花蓮縣
74	109/07/17	24.16	121.63	643	—	203.9	21.6	32.0	秀林鄉	花蓮縣
75	109/07/10	24.02	121.37	1304	—	309.8	20.9	20.1	秀林鄉	花蓮縣
76	109/07/14	24.17	121.64	914	3.6	155.2	17.9	21.9	秀林鄉	花蓮縣
77	109/07/17	24.16	121.63	532	7.7	231.8	40.6	89.7	秀林鄉	花蓮縣

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	縣市 或山區
					銻-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*		
78	109/07/17	24.16	121.63	820	3.9	162.3	20.7	29.1	秀林鄉	花蓮縣
79	109/07/15	24.19	121.64	1015	5.2	294.5	24.6	60.0	秀林鄉	花蓮縣
80	109/07/14	24.18	121.64	1114	3.8	84.2	7.8	30.4	秀林鄉	花蓮縣
81	109/07/15	24.18	121.63	765	2.7	191.9	8.9	33.7	秀林鄉	花蓮縣
82	109/07/15	24.18	121.63	657	7.1	321.4	15.0	25.8	秀林鄉	花蓮縣
83	109/07/14	24.19	121.64	923	—	232.2	41.1	34.4	秀林鄉	花蓮縣
84	109/07/14	24.17	121.63	878	1.8	80.4	16.6	20.3	秀林鄉	花蓮縣
85	109/07/17	24.16	121.63	376	—	294.0	37.3	60.4	秀林鄉	花蓮縣
86	109/07/17	24.16	121.63	814	4.7	224.5	16.6	24.2	秀林鄉	花蓮縣
87	109/07/17	24.16	121.63	252	4.0	270.4	44.8	82.1	秀林鄉	花蓮縣
88	109/07/15	24.20	121.65	1334	9.5	201.4	52.9	106.0	秀林鄉	花蓮縣
89	109/07/14	24.19	121.64	886	5.8	178.2	37.7	30.9	秀林鄉	花蓮縣
90	109/07/12	24.27	121.70	222	—	44.7	3.9	39.8	秀林鄉	花蓮縣
91	109/07/14	24.17	121.63	836	8.9	291.5	19.9	25.8	秀林鄉	花蓮縣
92	109/07/10	24.03	121.38	1329	6.4	321.6	17.3	21.9	秀林鄉	花蓮縣
93	109/07/13	24.02	121.57	410	3.2	613.7	44.7	104.2	秀林鄉	花蓮縣
94	109/07/10	24.02	121.37	1312	—	467.5	32.4	27.0	秀林鄉	花蓮縣
95	109/07/11	24.11	121.60	674	10.6	326.0	26.4	29.1	露霜山山頂	花蓮縣
96	109/07/13	24.27	121.70	205	7.4	181.3	21.9	106.0	秀林鄉	花蓮縣
97	109/07/12	24.10	121.61	148	1.9	450.1	46.2	36.0	秀林鄉	花蓮縣
98	109/07/12	24.10	121.61	231	5.3	80.7	13.5	12.1	秀林鄉	花蓮縣
99	109/07/11	24.11	121.61	163	1.4	252.1	14.7	17.7	秀林鄉	花蓮縣
100	109/07/11	24.06	121.59	130	6.6	310.6	22.9	21.1	秀林鄉	花蓮縣
101	109/07/11	24.05	121.59	165	5.6	569.7	52.1	33.3	秀林鄉	花蓮縣
102	109/07/11	24.12	121.61	592	4.4	216.9	13.0	28.8	秀林鄉	花蓮縣
103	109/07/11	24.04	121.58	462	20.6	656.2	46.4	27.6	秀林鄉	花蓮縣

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	縣市 或山區
					銻-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*		
104	109/07/11	24.04	121.58	455	10.7	311.6	24.3	26.4	秀林鄉	花蓮縣
105	109/07/11	24.04	121.58	281	1.4	616.7	48.1	32.6	秀林鄉	花蓮縣
106	109/07/11	24.05	121.59	55	3.7	398.0	21.3	18.6	新城鄉	花蓮縣
107	109/05/14	23.75	121.23	2944	—	855.9	55.2	34.7	萬榮鄉	花蓮縣
108	109/07/12	24.02	121.55	470	11.5	495.4	37.4	65.7	秀林鄉	花蓮縣
109	109/05/15	23.75	121.23	2941	11.8	595.2	59.5	30.6	萬榮鄉	花蓮縣
110	109/05/14	23.75	121.23	2951	—	879.8	60.6	34.3	萬榮鄉	花蓮縣
111	109/05/15	23.75	121.24	2880	—	563.5	44.1	24.3	萬榮鄉	花蓮縣
112	109/05/14	23.76	121.23	2915	7.5	519.2	39.6	25.9	萬榮鄉	花蓮縣
113	109/05/14	23.76	121.23	2909	1.8	858.4	57.1	39.3	萬榮鄉	花蓮縣
114	109/05/15	23.75	121.24	2869	8.5	647.9	37.4	21.2	萬榮鄉	花蓮縣
115	109/05/15	23.76	121.21	2770	1.5	273.2	71.6	33.2	萬榮鄉	花蓮縣
116	109/06/21	23.22	121.01	1825	9.5	478.8	58.3	33.7	海端鄉	台東縣
117	109/06/20	23.25	120.98	2454	-	1040.8	69.4	31.3	海端鄉	台東縣
118	109/06/20	23.25	120.99	2366	2.7	792.1	41.3	25.7	海端鄉	台東縣
119	109/06/20	23.26	120.98	2507	-	1047.6	74.1	46.7	海端鄉	台東縣
120	109/06/20	23.25	120.98	2645	5.4	912.8	67.2	37.6	海端鄉	台東縣
121	109/06/21	23.21	121.03	1812	-	688.0	48.3	38.3	海端鄉	台東縣
122	109/06/21	23.20	121.02	1074	-	560.9	32.5	40.1	海端鄉	台東縣
123	109/06/21	23.22	121.00	1308	4.6	696.9	23.1	17.2	海端鄉	台東縣
124	109/06/21	23.22	121.03	1418	-	95.7	51.8	34.0	海端鄉	台東縣
125	109/06/20	23.26	120.98	2484	-	775.0	58.6	34.2	海端鄉	台東縣
126	109/06/21	23.21	121.00	1103	2.3	398.9	37.9	22.8	海端鄉	台東縣

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，鉀-40 MDA 值為 24.3 貝克/千克，銻-134 MDA 值為 2.45 貝克/千克、銻-137 MDA 值為 1.75 貝克/千克、鈾系列MDA 值為 4.69 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 6.69 貝克/千克。

2. "*"表示天然放射性核種，沉積物樣品計測時間 30,000 秒。

10. 國外進口培養土放射性分析結果

近年因民生經濟發展，由農業經濟體系發展為休閒農業，民眾對於養花、種菜及景觀等休閒活動，係為享受農村田園生活方式，而培養土優點較一般土壤多(如：土壤基質較營養、已去除雜質及害蟲、強健植體生長等益處)，常成為休閒農業的首要選擇之一。

本計畫蒐集國內市面上常見的進口培養土進行放射性分析，了解國外培養土之產地、成分等放射性物質活度濃度差異。111 年度本中心於網路通路採買國外培養土樣品，共計完成 5 件，加馬核種分析結果之鉀-40 為低於最小可測量值~ 231.8 貝克/千克·乾重、鈾系列為低於最小可測量值~ 14.2 貝克/千克·乾重、鈾系列為 5.5~11.1 貝克/千克·乾重；人工核種之銫-137 活度皆低於儀器最小可測量值(MDA 為 1.75 貝克/公斤)，詳如表 30 所示。

表 30. 國外進口培養土加馬能譜分析結果

樣品編號	名稱	國家	銫-137	鉀-40*	鈾系列*	鈾系列*
111-1	花之屋多肉鈾	日本	—	231.8 ± 9.9	12.7 ± 1.7	6.2 ± 1.0
111-2	德國泥炭土	德國	—	—	—	11.1 ± 1.4
111-3	鹿沼土	日本	—	127.1 ± 7.7	14.2 ± 1.3	5.5 ± 0.8
111-4	靚土	中國大陸	—	195.5 ± 13.1	—	9.0 ± 1.4
111-5	歐洲泥炭土	歐洲	—	39.1 ± 9.8	—	10.7 ± 3.4

註：1. "—"表示小於最小可測量值(MDA)，鉀-40 MDA 值為 24.3 貝克/千克，銫-134 MDA 值為 2.45 貝克/千克、銫-137 MDA 值為 1.75 貝克/千克、鈾系列 MDA 值為 4.69 貝克/ 千克、鈾系列 MDA 值為 6.69 貝克/千克。

2. "*"表示天然放射性核種，計測時間 30,000 秒

11. 台灣稻米⁴放射性核種含量背景調查

本計畫 111 年度持續與農委會農試所合作，由農試所提供台灣西部桃園至台南所種植之稻米 206 件。本中心先將稻穀(稻殼+糙米)進行計測後，再使用脫殼機將稻殼去除為糙米，進行加馬能譜計測，分析結果多數稻米僅測得鉀-40 含量。稻穀平均鉀-40 含量為 126 貝克/千克·乾重；糙米平均鉀 40 含量為 79 貝克/千克·乾重，表 31 ~表 32 及圖 17 為稻米分析數據及統計圖表。

表 31. 台灣西部稻穀加馬能譜分析結果(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
					鉀-40*	銫-137	鈾系列*	鈾系列*	
1	110/11/09	24.16	120.77	稻穀	179.66	—	—	—	雲林縣斗南鎮
2	110/11/09	24.16	120.77	稻穀	179.29	—	—	—	雲林縣斗南鎮
3	110/11/09	24.16	120.77	稻穀	155.82	—	—	—	雲林縣斗南鎮
4	110/11/10	24.09	120.77	稻穀	152.11	—	—	—	雲林縣大埤鄉
5	110/11/10	24.09	120.77	稻穀	139.90	—	—	—	雲林縣大埤鄉
6	110/11/10	24.09	120.77	稻穀	139.26	—	—	—	雲林縣大埤鄉
7	110/11/10	24.09	120.77	稻穀	133.18	—	—	—	雲林縣大埤鄉
8	110/11/10	24.11	120.74	稻穀	130.37	—	—	—	雲林縣大埤鄉
9	110/11/10	24.11	120.74	稻穀	156.00	—	—	—	雲林縣大埤鄉
10	110/11/10	24.11	120.74	稻穀	145.56	—	—	—	雲林縣大埤鄉
11	110/11/10	24.11	120.74	稻穀	132.24	—	—	—	雲林縣大埤鄉
12	110/11/10	24.14	120.72	稻穀	191.61	—	—	—	雲林縣斗南鎮
13	110/11/10	24.14	120.72	稻穀	177.68	—	—	—	雲林縣斗南鎮
14	110/11/10	24.14	120.72	稻穀	173.21	—	—	—	雲林縣斗南鎮
15	110/11/10	24.14	120.72	稻穀	178.53	—	—	—	雲林縣斗南鎮
16	110/11/10	24.14	120.72	稻穀	166.02	—	—	—	雲林縣斗南鎮
17	110/11/10	24.33	120.58	稻穀	145.48	—	—	—	雲林縣崙背鄉
18	110/11/10	24.33	120.58	稻穀	154.59	—	—	—	雲林縣崙背鄉
19	110/11/10	24.32	120.58	稻穀	168.05	—	—	—	雲林縣崙背鄉
20	110/11/10	24.32	120.58	稻穀	143.78	—	—	—	雲林縣崙背鄉
21	110/11/10	24.32	120.58	稻穀	160.40	—	—	—	雲林縣崙背鄉
22	110/11/13	24.10	120.75	稻穀	156.04	—	—	—	雲林縣大埤鄉

4.糧食管理法第 4 條：本法用詞，定義如下：一、稻米：指稻穀、糙米、白米、碎米及相關產品米。

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
					鉀-40*	銻-137	鈾系列*	鈾系列*	
23	110/11/13	24.10	120.75	稻穀	133.51	—	—	—	雲林縣大埤鄉
24	110/11/13	24.10	120.75	稻穀	154.82	—	—	—	雲林縣大埤鄉
25	110/11/13	24.10	120.75	稻穀	123.13	—	—	—	雲林縣大埤鄉
26	110/11/13	24.10	120.75	稻穀	150.36	—	—	—	雲林縣大埤鄉
27	110/11/17	24.10	120.68	稻穀	159.56	—	—	—	雲林縣大埤鄉
28	110/11/17	24.10	120.68	稻穀	210.18	—	—	—	雲林縣大埤鄉
29	110/11/17	24.11	120.68	稻穀	143.50	—	—	—	雲林縣大埤鄉
30	110/11/17	24.10	120.68	稻穀	115.01	—	—	—	雲林縣大埤鄉
31	110/12/02	24.30	120.79	稻穀	120.25	—	—	—	雲林縣大埤鄉
32	110/12/02	24.30	120.79	稻穀	125.03	—	—	—	雲林縣大埤鄉
33	110/12/02	24.30	120.79	稻穀	115.67	—	—	—	雲林縣大埤鄉
34	110/12/02	24.30	120.79	稻穀	—	—	—	—	雲林縣大埤鄉
35	110/12/02	24.30	120.79	稻穀	133.45	—	—	—	雲林縣大埤鄉
36	110/12/03	24.07	120.74	稻穀	167.20	—	—	—	雲林縣西螺鎮
37	110/12/03	24.07	120.74	稻穀	137.99	—	—	—	雲林縣西螺鎮
38	110/12/03	24.07	120.74	稻穀	165.24	—	—	—	雲林縣西螺鎮
39	110/12/03	24.07	120.74	稻穀	170.51	—	—	—	雲林縣西螺鎮
40	110/12/03	24.07	120.74	稻穀	144.14	—	—	—	雲林縣西螺鎮
41	110/12/07	24.35	120.69	稻穀	120.85	—	—	—	雲林縣二崙鄉
42	110/12/07	24.35	120.69	稻穀	126.77	—	—	—	雲林縣二崙鄉
43	110/12/07	24.35	120.69	稻穀	144.83	—	—	—	雲林縣二崙鄉
44	110/12/07	24.35	120.69	稻穀	126.93	—	—	—	雲林縣二崙鄉
45	110/12/07	24.13	120.86	稻穀	161.39	—	—	—	雲林縣斗六市
46	110/12/07	24.13	120.86	稻穀	124.35	—	—	—	雲林縣斗六市
47	110/12/07	24.13	120.86	稻穀	124.53	—	—	—	雲林縣斗六市
48	110/12/07	24.13	120.86	稻穀	120.89	—	—	—	雲林縣斗六市
49	110/12/07	24.13	120.86	稻穀	111.85	—	—	—	雲林縣斗六市
50	110/11/09	23.69	120.42	稻穀	136.58	—	—	—	嘉義縣朴子市
51	110/11/09	23.68	120.42	稻穀	133.84	—	—	—	嘉義縣朴子市
52	110/11/09	23.68	120.41	稻穀	190.33	—	—	—	嘉義縣朴子市
53	110/11/09	23.69	120.41	稻穀	142.92	—	—	—	嘉義縣朴子市
54	110/11/09	23.69	120.41	稻穀	131.92	—	—	—	嘉義縣朴子市
55	110/11/11	23.95	120.72	稻穀	134.43	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
56	110/11/11	23.95	120.72	稻穀	134.82	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
57	110/11/11	23.95	120.72	稻穀	132.19	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
58	110/11/11	23.95	120.72	稻穀	138.72	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
59	110/11/11	23.95	120.72	稻穀	146.79	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
60	110/11/11	23.71	120.38	稻穀	140.51	—	—	—	嘉義縣布袋鎮
61	110/11/11	23.71	120.38	稻穀	109.31	—	—	—	嘉義縣布袋鎮

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
					鉀-40*	銫-137	鈾系列*	鈾系列*	
62	110/11/11	23.71	120.37	稻穀	143.48	—	—	—	嘉義縣布袋鎮
63	110/11/11	23.70	120.37	稻穀	136.33	—	—	—	嘉義縣布袋鎮
64	110/11/11	23.71	120.37	稻穀	157.84	—	—	—	嘉義縣布袋鎮
65	110/11/18	23.95	120.68	稻穀	121.99	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
66	110/11/18	23.95	120.69	稻穀	97.26	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
67	110/11/18	23.95	120.69	稻穀	105.21	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
68	110/11/18	23.95	120.68	稻穀	123.33	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
69	110/11/18	23.95	120.69	稻穀	101.93	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
70	110/11/18	23.94	120.76	稻穀	125.24	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
71	110/11/18	23.94	120.76	稻穀	158.87	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
72	110/11/18	23.94	120.76	稻穀	130.72	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
73	110/11/18	23.94	120.76	稻穀	143.02	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
74	110/11/18	23.94	120.76	稻穀	134.76	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
75	110/11/22	23.95	120.72	稻穀	119.44	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
76	110/11/22	23.95	120.72	稻穀	101.10	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
77	110/11/22	23.96	120.72	稻穀	104.34	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
78	110/11/22	23.96	120.72	稻穀	115.35	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
79	110/11/22	23.95	120.72	稻穀	109.95	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
80	110/11/22	23.73	120.59	稻穀	108.27	—	—	—	嘉義縣太保市
81	110/11/22	23.72	120.59	稻穀	125.26	—	—	—	嘉義縣太保市
82	110/11/22	23.72	120.59	稻穀	128.78	—	—	—	嘉義縣太保市
83	110/11/22	23.73	120.59	稻穀	136.13	—	—	—	嘉義縣太保市
84	110/11/22	23.73	120.59	稻穀	105.03	—	—	—	嘉義縣太保市
85	110/11/22	23.74	120.57	稻穀	127.65	—	—	—	嘉義縣太保市
86	110/11/22	23.74	120.57	稻穀	124.20	—	—	—	嘉義縣太保市
87	110/11/22	23.74	120.57	稻穀	114.75	—	—	—	嘉義縣太保市
88	110/11/22	23.74	120.57	稻穀	131.53	—	—	—	嘉義縣太保市
89	110/11/22	23.74	120.57	稻穀	132.09	—	—	—	嘉義縣太保市
90	110/11/22	23.93	120.60	稻穀	116.79	—	—	—	嘉義縣新港鄉
91	110/11/22	23.93	120.60	稻穀	144.81	—	—	—	嘉義縣新港鄉
92	110/11/22	23.93	120.60	稻穀	140.84	—	—	—	嘉義縣新港鄉
93	110/11/22	23.94	120.60	稻穀	122.37	—	—	—	嘉義縣新港鄉
94	110/11/22	23.93	120.60	稻穀	109.98	—	—	—	嘉義縣新港鄉
95	110/11/26	23.78	120.61	稻穀	124.17	—	—	—	嘉義縣水上鄉
96	110/11/26	23.77	120.61	稻穀	129.19	—	—	—	嘉義縣水上鄉
97	110/11/29	23.93	120.60	稻穀	127.75	—	—	—	嘉義縣新港鄉
98	110/11/29	23.93	120.60	稻穀	135.88	—	—	—	嘉義縣新港鄉
99	110/12/03	23.98	120.75	稻穀	98.14	—	—	—	嘉義縣新港鄉
100	110/12/03	23.98	120.75	稻穀	167.84	—	—	—	嘉義縣新港鄉

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
					鉀-40*	銫-137	鈾系列*	鈾系列*	
101	110/12/03	23.98	120.75	稻穀	186.14	—	—	—	嘉義縣新港鄉
102	110/12/03	23.98	120.75	稻穀	135.10	—	—	—	嘉義縣新港鄉
103	110/12/03	23.91	120.60	稻穀	112.61	—	—	—	嘉義縣溪口鄉
104	110/12/03	23.91	120.60	稻穀	124.65	—	—	—	嘉義縣溪口鄉
105	110/12/03	23.91	120.60	稻穀	122.89	—	—	—	嘉義縣溪口鄉
106	110/12/03	23.91	120.60	稻穀	120.90	—	—	—	嘉義縣溪口鄉
107	110/12/08	23.96	120.60	稻穀	147.38	—	—	—	嘉義縣新港鄉
108	110/12/08	23.96	120.60	稻穀	165.82	—	—	—	嘉義縣新港鄉
109	110/10/29	23.64	120.69	稻穀	139.83	—	—	—	台南市白河區
110	110/10/29	23.64	120.69	稻穀	144.55	—	—	—	台南市白河區
111	110/10/29	23.64	120.69	稻穀	130.08	—	—	—	台南市白河區
112	110/10/29	23.64	120.69	稻穀	103.59	—	—	—	台南市白河區
113	110/11/09	23.59	120.67	稻穀	146.29	—	—	—	台南市白河區
114	110/11/09	23.59	120.67	稻穀	130.87	—	—	—	台南市白河區
115	110/11/09	23.59	120.67	稻穀	135.02	—	—	—	台南市白河區
116	110/11/09	23.59	120.68	稻穀	129.76	—	—	—	台南市白河區
117	110/11/09	23.59	120.67	稻穀	121.66	—	—	—	台南市白河區
118	110/11/11	23.55	120.55	稻穀	142.61	—	—	—	台南市新營區
119	110/11/11	23.55	120.55	稻穀	158.24	—	—	—	台南市新營區
120	110/11/11	23.55	120.55	稻穀	131.67	—	—	—	台南市新營區
121	110/11/11	23.55	120.55	稻穀	138.15	—	—	—	台南市新營區
122	110/11/11	23.55	120.55	稻穀	149.85	—	—	—	台南市新營區
123	110/11/18	23.59	120.58	稻穀	127.76	—	—	—	台南市後壁區
124	110/11/18	23.58	120.58	稻穀	127.50	—	—	—	台南市後壁區
125	110/11/18	23.58	120.58	稻穀	123.17	—	—	—	台南市後壁區
126	110/11/18	23.59	120.58	稻穀	122.55	—	—	—	台南市後壁區
127	110/11/18	23.59	120.58	稻穀	117.01	—	—	—	台南市後壁區
128	110/11/26	23.48	120.55	稻穀	129.35	—	—	—	台南市柳營區
129	110/11/26	23.48	120.55	稻穀	133.15	—	—	—	台南市柳營區
130	110/11/26	23.48	120.55	稻穀	132.36	—	—	—	台南市柳營區
131	110/11/26	23.48	120.55	稻穀	141.18	—	—	—	台南市柳營區
132	110/11/26	23.48	120.55	稻穀	112.84	—	—	—	台南市柳營區
133	110/11/29	23.52	120.59	稻穀	126.74	—	—	—	台南市東山區
134	110/11/29	23.52	120.58	稻穀	121.94	—	—	—	台南市東山區
135	110/11/29	23.52	120.58	稻穀	120.57	—	—	—	台南市東山區
136	110/11/29	23.52	120.59	稻穀	140.29	—	—	—	台南市東山區
137	110/11/29	23.52	120.59	稻穀	114.40	—	—	—	台南市東山區
138	110/11/29	23.58	120.57	稻穀	103.35	—	—	—	台南市後壁區
139	110/11/29	23.58	120.57	稻穀	105.06	—	—	—	台南市後壁區

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
					鉀-40*	銫-137	鈾系列*	鈾系列*	
140	110/11/29	23.58	120.57	稻穀	112.42	—	—	—	台南市後壁區
141	110/11/29	23.58	120.57	稻穀	100.50	—	—	—	台南市後壁區
142	110/11/29	23.58	120.57	稻穀	103.62	—	—	—	台南市後壁區
143	110/12/08	23.61	120.62	稻穀	122.09	—	—	—	台南市後壁區
144	110/12/08	23.60	120.62	稻穀	132.21	—	—	—	台南市後壁區
145	110/12/08	23.60	120.62	稻穀	126.53	—	—	—	台南市後壁區
146	110/12/08	23.61	120.62	稻穀	132.84	—	—	—	台南市後壁區
147	110/12/08	23.61	120.62	稻穀	109.18	—	—	—	台南市後壁區
148	110/10/29	23.25	120.47	稻穀	124.96	—	—	—	高雄市橋頭區
149	110/10/29	23.25	120.47	稻穀	127.67	—	—	—	高雄市橋頭區
150	110/10/29	23.25	120.47	稻穀	127.60	—	—	—	高雄市橋頭區
151	110/10/29	23.25	120.47	稻穀	128.50	—	—	—	高雄市橋頭區
152	110/10/29	23.25	120.47	稻穀	135.34	—	—	—	高雄市橋頭區
153	110/07/07	—	—	稻穀	115.86	—	—	—	桃園市蘆竹區
154	110/07/08	—	—	稻穀	90.14	—	—	—	桃園市新屋區
155	110/07/08	—	—	稻穀	124.36	—	—	—	桃園市新屋區
156	110/07/12	—	—	稻穀	125.63	—	—	—	桃園市蘆竹區
157	110/07/07	—	—	稻穀	112.41	—	—	—	新竹縣新埔鄉
158	110/07/07	—	—	稻穀	114.82	—	—	—	新竹縣竹北市
159	110/07/12	—	—	稻穀	143.95	—	—	—	新竹縣湖口鄉
160	110/07/12	—	—	稻穀	134.21	—	—	—	新竹縣新豐鄉
161	110/06/17	—	—	稻穀	111.22	—	—	—	南投縣南投市
162	110/06/17	—	—	稻穀	114.06	—	—	—	南投縣南投市
163	110/06/17	—	—	稻穀	95.77	—	—	—	南投縣南投市
164	110/06/17	—	—	稻穀	91.72	—	—	—	彰化縣田中鎮
165	110/07/01	—	—	稻穀	91.83	—	—	—	彰化縣和美鎮
166	110/07/01	—	—	稻穀	101.20	—	—	—	彰化縣彰化市
167	110/07/01	—	—	稻穀	90.15	—	—	—	彰化縣大城鄉
168	110/07/05	—	—	稻穀	96.89	—	—	—	彰化縣秀水鄉
169	110/07/05	—	—	稻穀	86.93	—	—	—	彰化縣福興鄉
170	110/07/05	—	—	稻穀	104.22	—	—	—	彰化縣伸港鄉
171	110/07/06	—	—	稻穀	107.76	—	—	—	彰化縣埔鹽鄉
172	110/07/13	—	—	稻穀	109.04	—	—	—	彰化縣芳苑鄉
173	110/07/13	—	—	稻穀	99.37	—	—	—	彰化縣芳苑鄉
174	110/06/04	—	—	稻穀	112.10	—	—	—	雲林縣土庫鎮
175	110/06/16	—	—	稻穀	98.73	—	—	—	雲林縣虎尾鎮
176	110/06/16	—	—	稻穀	100.83	—	—	—	雲林縣土庫鎮
177	110/06/24	—	—	稻穀	92.33	—	—	—	雲林縣崙背鄉
178	110/06/25	—	—	稻穀	104.38	—	—	—	雲林縣虎尾鎮

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
					鉀-40*	銫-137	鈾系列*	鈾系列*	
179	110/06/29	—	—	稻穀	91.87	—	—	—	雲林縣崙背鄉
180	110/06/29	—	—	稻穀	85.16	—	—	—	雲林縣西螺鄉
181	110/06/29	—	—	稻穀	92.01	—	—	—	雲林縣土庫鎮
182	110/06/30	—	—	稻穀	93.06	—	—	—	雲林縣莿桐鄉
183	110/07/05	—	—	稻穀	87.59	—	—	—	雲林縣莿桐鄉
184	110/07/06	—	—	稻穀	100.66	—	—	—	雲林縣水林鄉
185	110/07/06	—	—	稻穀	88.42	—	—	—	雲林縣褒忠鄉
186	110/07/06	—	—	稻穀	114.70	—	—	—	雲林縣土庫鎮
187	110/07/13	—	—	稻穀	100.78	—	—	—	雲林縣東勢鄉
188	110/07/14	—	—	稻穀	128.02	—	—	—	雲林縣元長鄉
189	110/07/19	—	—	稻穀	96.63	—	—	—	雲林縣麥寮鄉
190	110/07/19	—	—	稻穀	118.64	—	—	—	雲林縣四湖鄉
191	110/07/19	—	—	稻穀	91.77	—	—	—	雲林縣東勢鄉
192	110/06/02	—	—	稻穀	101.59	—	—	—	嘉義縣中埔鄉
193	110/06/03	—	—	稻穀	108.14	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
194	110/06/04	—	—	稻穀	103.59	—	—	—	嘉義縣大林鎮
195	110/06/04	—	—	稻穀	106.85	—	—	—	嘉義縣大林鎮
196	110/06/08	—	—	稻穀	90.51	—	—	—	嘉義縣朴子市
197	110/06/08	—	—	稻穀	89.29	—	—	—	嘉義縣朴子市
198	110/06/08	—	—	稻穀	104.81	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
199	110/06/15	—	—	稻穀	87.41	—	—	—	嘉義縣中埔鄉
200	110/06/15	—	—	稻穀	105.21	—	—	—	嘉義縣六腳鄉
201	110/06/15	—	—	稻穀	98.71	—	—	—	嘉義縣大林鎮
202	110/06/24	—	—	稻穀	75.85	—	—	—	嘉義縣竹崎鄉
203	110/06/28	—	—	稻穀	88.56	—	—	—	嘉義縣水上鄉
204	110/06/29	—	—	稻穀	97.29	—	—	—	嘉義縣朴子市
205	110/06/03	—	—	稻穀	108.76	—	—	—	台南市善化區
206	110/06/18	—	—	稻穀	80.38	—	—	—	台南市柳營區

註：1. "—"表示小於最小可測量值 (<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」銫-134+銫-137 之限值 100 貝克/公斤。

表 32. 台灣西部糙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
					鉀-40*	銻-137	鈾系列*	鈾系列*	
1	110/11/09	24.16	120.77	糙米	87.52	—	—	—	雲林縣斗南鎮
2	110/11/09	24.16	120.77	糙米	101.15	—	—	—	雲林縣斗南鎮
3	110/11/09	24.16	120.77	糙米	87.56	—	—	—	雲林縣斗南鎮
4	110/11/10	24.09	120.77	糙米	82.28	—	—	—	雲林縣大埤鄉
5	110/11/10	24.09	120.77	糙米	76.43	—	—	—	雲林縣大埤鄉
6	110/11/10	24.09	120.77	糙米	89.01	—	—	—	雲林縣大埤鄉
7	110/11/10	24.09	120.77	糙米	81.03	—	—	—	雲林縣大埤鄉
8	110/11/10	24.11	120.74	糙米	72.57	—	—	—	雲林縣大埤鄉
9	110/11/10	24.11	120.74	糙米	75.57	—	—	—	雲林縣大埤鄉
10	110/11/10	24.11	120.74	糙米	57.76	—	—	—	雲林縣大埤鄉
11	110/11/10	24.11	120.74	糙米	67.01	—	—	—	雲林縣大埤鄉
12	110/11/10	24.14	120.72	糙米	92.90	—	—	—	雲林縣斗南鎮
13	110/11/10	24.14	120.72	糙米	109.13	—	—	—	雲林縣斗南鎮
14	110/11/10	24.14	120.72	糙米	100.83	—	—	—	雲林縣斗南鎮
15	110/11/10	24.14	120.72	糙米	101.70	—	—	—	雲林縣斗南鎮
16	110/11/10	24.14	120.72	糙米	136.31	—	—	—	雲林縣斗南鎮
17	110/11/10	24.33	120.58	糙米	95.58	—	—	—	雲林縣崙背鄉
18	110/11/10	24.33	120.58	糙米	86.94	—	—	—	雲林縣崙背鄉
19	110/11/10	24.32	120.58	糙米	82.63	—	—	—	雲林縣崙背鄉
20	110/11/10	24.32	120.58	糙米	81.22	—	—	—	雲林縣崙背鄉
21	110/11/10	24.32	120.58	糙米	104.92	—	—	—	雲林縣崙背鄉
22	110/11/13	24.10	120.75	糙米	125.18	—	—	—	雲林縣大埤鄉
23	110/11/13	24.10	120.75	糙米	4.78	—	—	—	雲林縣大埤鄉
24	110/11/13	24.10	120.75	糙米	113.07	—	—	—	雲林縣大埤鄉
25	110/11/13	24.10	120.75	糙米	65.93	—	—	—	雲林縣大埤鄉
26	110/11/13	24.10	120.75	糙米	88.09	—	—	—	雲林縣大埤鄉
27	110/11/17	24.10	120.68	糙米	99.45	—	—	—	雲林縣大埤鄉
28	110/11/17	24.10	120.68	糙米	106.42	—	—	—	雲林縣大埤鄉
29	110/11/17	24.11	120.68	糙米	108.28	—	—	—	雲林縣大埤鄉
30	110/11/17	24.10	120.68	糙米	115.69	—	—	—	雲林縣大埤鄉
31	110/12/02	24.30	120.79	糙米	80.29	—	—	—	雲林縣大埤鄉
32	110/12/02	24.30	120.79	糙米	74.46	—	—	—	雲林縣大埤鄉
33	110/12/02	24.30	120.79	糙米	78.75	—	—	—	雲林縣大埤鄉
34	110/12/02	24.30	120.79	糙米	85.66	—	—	—	雲林縣大埤鄉
35	110/12/02	24.30	120.79	糙米	75.37	—	—	—	雲林縣大埤鄉
36	110/12/03	24.07	120.74	糙米	112.35	—	—	—	雲林縣西螺鎮

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
					鉀-40*	銫-137	鈾系列*	鈾系列*	
37	110/12/03	24.07	120.74	糙米	73.74	—	—	—	雲林縣西螺鎮
38	110/12/03	24.07	120.74	糙米	113.20	—	—	—	雲林縣西螺鎮
39	110/12/03	24.07	120.74	糙米	107.19	—	—	—	雲林縣西螺鎮
40	110/12/03	24.07	120.74	糙米	87.40	—	—	—	雲林縣西螺鎮
41	110/12/07	24.35	120.69	糙米	72.06	—	—	—	雲林縣二崙鄉
42	110/12/07	24.35	120.69	糙米	81.27	—	—	—	雲林縣二崙鄉
43	110/12/07	24.35	120.69	糙米	76.41	—	—	—	雲林縣二崙鄉
44	110/12/07	24.35	120.69	糙米	83.92	—	—	—	雲林縣二崙鄉
45	110/12/07	24.13	120.86	糙米	61.04	—	—	—	雲林縣斗六市
46	110/12/07	24.13	120.86	糙米	72.00	—	—	—	雲林縣斗六市
47	110/12/07	24.13	120.86	糙米	71.96	—	—	—	雲林縣斗六市
48	110/12/07	24.13	120.86	糙米	64.91	—	—	—	雲林縣斗六市
49	110/12/07	24.13	120.86	糙米	77.73	—	—	—	雲林縣斗六市
50	110/11/09	23.69	120.42	糙米	65691	—	—	—	嘉義縣朴子市
51	110/11/09	23.68	120.42	糙米	81.44	—	—	—	嘉義縣朴子市
52	110/11/09	23.68	120.41	糙米	108.86	—	3.25 ^{註2}	3.66 ^{註2}	嘉義縣朴子市
53	110/11/09	23.69	120.41	糙米	74.75	—	—	—	嘉義縣朴子市
54	110/11/09	23.69	120.41	糙米	82.05	—	—	—	嘉義縣朴子市
55	110/11/11	23.95	120.72	糙米	82.13	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
56	110/11/11	23.95	120.72	糙米	87.05	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
57	110/11/11	23.95	120.72	糙米	91.82	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
58	110/11/11	23.95	120.72	糙米	—	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
59	110/11/11	23.95	120.72	糙米	93.78	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
60	110/11/11	23.71	120.38	糙米	84.99	—	—	—	嘉義縣布袋鎮
61	110/11/11	23.71	120.38	糙米	82.64	—	—	—	嘉義縣布袋鎮
62	110/11/11	23.71	120.37	糙米	92.44	—	—	—	嘉義縣布袋鎮
63	110/11/11	23.70	120.37	糙米	99.04	—	—	—	嘉義縣布袋鎮
64	110/11/11	23.71	120.37	糙米	94.59	—	—	—	嘉義縣布袋鎮
65	110/11/18	23.95	120.68	糙米	69.14	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
66	110/11/18	23.95	120.69	糙米	—	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
67	110/11/18	23.95	120.69	糙米	75.77	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
68	110/11/18	23.95	120.68	糙米	77.24	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
69	110/11/18	23.95	120.69	糙米	73.67	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
70	110/11/18	23.94	120.76	糙米	67.01	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
71	110/11/18	23.94	120.76	糙米	80.68	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
72	110/11/18	23.94	120.76	糙米	88.72	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
73	110/11/18	23.94	120.76	糙米	81.90	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
74	110/11/18	23.94	120.76	糙米	78.63	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
75	110/11/22	23.95	120.72	糙米	73.45	—	—	—	嘉義縣民雄鄉

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
					鉀-40*	銫-137	鈾系列*	鈾系列*	
76	110/11/22	23.95	120.72	糙米	68.03	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
77	110/11/22	23.96	120.72	糙米	61.48	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
78	110/11/22	23.96	120.72	糙米	66.32	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
79	110/11/22	23.95	120.72	糙米	74.71	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
80	110/11/22	23.73	120.59	糙米	70.81	—	—	—	嘉義縣太保市
81	110/11/22	23.72	120.59	糙米	72.79	—	—	—	嘉義縣太保市
82	110/11/22	23.72	120.59	糙米	80.36	—	—	—	嘉義縣太保市
83	110/11/22	23.73	120.59	糙米	73.76	—	—	—	嘉義縣太保市
84	110/11/22	23.73	120.59	糙米	79.10	—	—	—	嘉義縣太保市
85	110/11/22	23.74	120.57	糙米	76.08	—	—	—	嘉義縣太保市
86	110/11/22	23.74	120.57	糙米	53.38	—	—	—	嘉義縣太保市
87	110/11/22	23.74	120.57	糙米	50.25	—	—	—	嘉義縣太保市
88	110/11/22	23.74	120.57	糙米	63.31	—	—	—	嘉義縣太保市
89	110/11/22	23.74	120.57	糙米	62.49	—	—	—	嘉義縣太保市
90	110/11/22	23.93	120.60	糙米	75.56	—	—	—	嘉義縣新港鄉
91	110/11/22	23.93	120.60	糙米	73.23	—	—	—	嘉義縣新港鄉
92	110/11/22	23.93	120.60	糙米	67.74	—	—	—	嘉義縣新港鄉
93	110/11/22	23.94	120.60	糙米	66.47	—	—	—	嘉義縣新港鄉
94	110/11/22	23.93	120.60	糙米	66.79	—	—	—	嘉義縣新港鄉
95	110/11/26	23.78	120.61	糙米	73.03	—	—	—	嘉義縣水上鄉
96	110/11/26	23.77	120.61	糙米	90.34	—	—	—	嘉義縣水上鄉
97	110/11/29	23.93	120.60	糙米	64.23	—	—	—	嘉義縣新港鄉
98	110/11/29	23.93	120.60	糙米	80.21	—	—	—	嘉義縣新港鄉
99	110/12/03	23.98	120.75	糙米	109.65	—	—	—	嘉義縣新港鄉
100	110/12/03	23.98	120.75	糙米	81.29	—	—	—	嘉義縣新港鄉
101	110/12/03	23.98	120.75	糙米	77.41	—	—	—	嘉義縣新港鄉
102	110/12/03	23.98	120.75	糙米	85.07	—	—	—	嘉義縣新港鄉
103	110/12/03	23.91	120.60	糙米	66.39	—	—	—	嘉義縣溪口鄉
104	110/12/03	23.91	120.60	糙米	75.34	—	—	—	嘉義縣溪口鄉
105	110/12/03	23.91	120.60	糙米	85.51	—	—	—	嘉義縣溪口鄉
106	110/12/03	23.91	120.60	糙米	82.50	—	—	—	嘉義縣溪口鄉
107	110/12/08	23.96	120.60	糙米	86.55	—	—	—	嘉義縣新港鄉
108	110/12/08	23.96	120.60	糙米	89.13	—	—	—	嘉義縣新港鄉
109	110/10/29	23.64	120.69	糙米	81.85	—	—	—	台南市白河區
110	110/10/29	23.64	120.69	糙米	83.44	—	—	—	台南市白河區
111	110/10/29	23.64	120.69	糙米	72.74	—	—	—	台南市白河區
112	110/10/29	23.64	120.69	糙米	81.58	—	—	—	台南市白河區
113	110/11/09	23.59	120.67	糙米	72.10	—	—	—	台南市白河區
114	110/11/09	23.59	120.67	糙米	71.80	—	—	—	台南市白河區

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
					鉀-40*	銫-137	鈾系列*	鈾系列*	
115	110/11/09	23.59	120.67	糙米	76.44	—	—	—	台南市白河區
116	110/11/09	23.59	120.68	糙米	63.58	—	—	—	台南市白河區
117	110/11/09	23.59	120.67	糙米	77.72	—	—	—	台南市白河區
118	110/11/11	23.55	120.55	糙米	97.74	—	—	—	台南市新營區
119	110/11/11	23.55	120.55	糙米	92.96	—	—	—	台南市新營區
120	110/11/11	23.55	120.55	糙米	91.24	—	—	—	台南市新營區
121	110/11/11	23.55	120.55	糙米	83.04	—	—	—	台南市新營區
122	110/11/11	23.55	120.55	糙米	97.85	—	—	—	台南市新營區
123	110/11/18	23.59	120.58	糙米	75.59	—	—	—	台南市後壁區
124	110/11/18	23.58	120.58	糙米	77.56	—	—	—	台南市後壁區
125	110/11/18	23.58	120.58	糙米	70.27	—	—	—	台南市後壁區
126	110/11/18	23.59	120.58	糙米	73.18	—	—	—	台南市後壁區
127	110/11/18	23.59	120.58	糙米	64.70	—	—	—	台南市後壁區
128	110/11/26	23.48	120.55	糙米	13.69	—	—	—	台南市柳營區
129	110/11/26	23.48	120.55	糙米	73.71	—	—	—	台南市柳營區
130	110/11/26	23.48	120.55	糙米	90.10	—	—	—	台南市柳營區
131	110/11/26	23.48	120.55	糙米	65.36	—	—	—	台南市柳營區
132	110/11/26	23.48	120.55	糙米	63.56	—	—	—	台南市柳營區
133	110/11/29	23.52	120.59	糙米	74.09	—	—	—	台南市東山區
134	110/11/29	23.52	120.58	糙米	74.68	—	—	—	台南市東山區
135	110/11/29	23.52	120.58	糙米	75.52	—	—	—	台南市東山區
136	110/11/29	23.52	120.59	糙米	83.12	—	—	—	台南市東山區
137	110/11/29	23.52	120.59	糙米	75.30	—	—	—	台南市東山區
138	110/11/29	23.58	120.57	糙米	65.38	—	—	—	台南市後壁區
139	110/11/29	23.58	120.57	糙米	70.21	—	—	—	台南市後壁區
140	110/11/29	23.58	120.57	糙米	70.44	—	—	—	台南市後壁區
141	110/11/29	23.58	120.57	糙米	64.60	—	—	—	台南市後壁區
142	110/11/29	23.58	120.57	糙米	66.37	—	—	—	台南市後壁區
143	110/12/08	23.61	120.62	糙米	73.68	—	—	—	台南市後壁區
144	110/12/08	23.60	120.62	糙米	77.56	—	—	—	台南市後壁區
145	110/12/08	23.60	120.62	糙米	77.46	—	—	—	台南市後壁區
146	110/12/08	23.61	120.62	糙米	75.83	—	—	—	台南市後壁區
147	110/12/08	23.61	120.62	糙米	54.78	—	—	—	台南市後壁區
148	110/10/29	23.25	120.47	糙米	68.12	—	—	—	高雄市橋頭區
149	110/10/29	23.25	120.47	糙米	69.57	—	—	—	高雄市橋頭區
150	110/10/29	23.25	120.47	糙米	71.70	—	—	—	高雄市橋頭區
151	110/10/29	23.25	120.47	糙米	74.60	—	—	—	高雄市橋頭區
152	110/10/29	23.25	120.47	糙米	62.37	—	—	—	高雄市橋頭區
153	110/07/07	—	—	糙米	85.16	—	—	—	桃園市蘆竹區

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
					鉀-40*	銫-137	鈾系列*	鈾系列*	
154	110/07/08	—	—	糙米	66.60	—	—	—	桃園市新屋區
155	110/07/08	—	—	糙米	84.09	—	—	—	桃園市新屋區
156	110/07/12	—	—	糙米	97.88	—	—	—	桃園市蘆竹區
157	110/07/07	—	—	糙米	71.23	—	—	—	新竹縣新埔鄉
158	110/07/07	—	—	糙米	77.14	—	—	—	新竹縣竹北市
159	110/07/12	—	—	糙米	104.48	—	—	—	新竹縣湖口鄉
160	110/07/12	—	—	糙米	112.42	—	—	—	新竹縣新豐鄉
161	110/06/17	—	—	糙米	77.32	—	—	—	南投縣南投市
162	110/06/17	—	—	糙米	95.35	—	—	—	南投縣南投市
163	110/06/17	—	—	糙米	76.49	—	—	—	南投縣南投市
164	110/06/17	—	—	糙米	53.69	—	—	—	彰化縣田中鎮
165	110/07/01	—	—	糙米	88.34	—	—	—	彰化縣和美鎮
166	110/07/01	—	—	糙米	80.08	—	—	—	彰化縣彰化市
167	110/07/01	—	—	糙米	67.96	—	—	—	彰化縣大城鄉
168	110/07/05	—	—	糙米	69.46	—	—	—	彰化縣秀水鄉
169	110/07/05	—	—	糙米	56.75	—	—	—	彰化縣福興鄉
170	110/07/05	—	—	糙米	78.70	—	—	—	彰化縣伸港鄉
171	110/07/06	—	—	糙米	55.02	—	—	—	彰化縣埔鹽鄉
172	110/07/13	—	—	糙米	67.74	—	—	—	彰化縣芳苑鄉
173	110/07/13	—	—	糙米	63.35	—	—	—	彰化縣芳苑鄉
174	110/06/04	—	—	糙米	95.20	—	—	—	雲林縣土庫鎮
175	110/06/16	—	—	糙米	72.24	—	—	—	雲林縣虎尾鎮
176	110/06/16	—	—	糙米	81.94	—	—	—	雲林縣土庫鎮
177	110/06/24	—	—	糙米	90.58	—	—	—	雲林縣崙背鄉
178	110/06/25	—	—	糙米	75.84	—	—	—	雲林縣虎尾鎮
179	110/06/29	—	—	糙米	71.82	—	—	—	雲林縣崙背鄉
180	110/06/29	—	—	糙米	78.57	—	—	—	雲林縣西螺鄉
181	110/06/29	—	—	糙米	75.72	—	—	—	雲林縣土庫鎮
182	110/06/30	—	—	糙米	82.09	—	—	—	雲林縣莿桐鄉
183	110/07/05	—	—	糙米	75.14	—	—	—	雲林縣莿桐鄉
184	110/07/06	—	—	糙米	73.08	—	—	—	雲林縣水林鄉
185	110/07/06	—	—	糙米	62.98	—	—	—	雲林縣褒忠鄉
186	110/07/06	—	—	糙米	69.37	—	—	—	雲林縣土庫鎮
187	110/07/13	—	—	糙米	53.18	—	—	—	雲林縣東勢鄉
188	110/07/14	—	—	糙米	65.59	—	—	—	雲林縣元長鄉
189	110/07/19	—	—	糙米	71.07	—	—	—	雲林縣麥寮鄉
190	110/07/19	—	—	糙米	81.17	—	—	—	雲林縣四湖鄉
191	110/07/19	—	—	糙米	55.62	—	—	—	雲林縣東勢鄉
192	110/06/02	—	—	糙米	76.31	—	—	—	嘉義縣中埔鄉

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
					鉀-40*	銫-137	鈾系列*	鈾系列*	
193	110/06/03	—	—	糙米	80.63	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
194	110/06/04	—	—	糙米	85.17	—	—	—	嘉義縣大林鎮
195	110/06/04	—	—	糙米	86.32	—	—	—	嘉義縣大林鎮
196	110/06/08	—	—	糙米	70.96	—	—	—	嘉義縣朴子市
197	110/06/08	—	—	糙米	77.63	—	—	—	嘉義縣朴子市
198	110/06/08	—	—	糙米	85.51	—	—	—	嘉義縣民雄鄉
199	110/06/15	—	—	糙米	75.90	—	—	—	嘉義縣中埔鄉
200	110/06/15	—	—	糙米	87.54	—	—	—	嘉義縣六腳鄉
201	110/06/15	—	—	糙米	61.70	—	—	—	嘉義縣大林鎮
202	110/06/24	—	—	糙米	65.65	—	—	—	嘉義縣竹崎鄉
203	110/06/28	—	—	糙米	53.14	—	—	—	嘉義縣水上鄉
204	110/06/29	—	—	糙米	67.88	—	—	—	嘉義縣朴子市
205	110/06/03	—	—	糙米	84.27	—	—	—	台南市善化區
206	110/06/18	—	—	糙米	79.71	—	—	—	台南市柳營區

註：1. "—"表示小於最小可測量值 (<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」銫-134+銫-137 之限值 100 貝克/公斤。

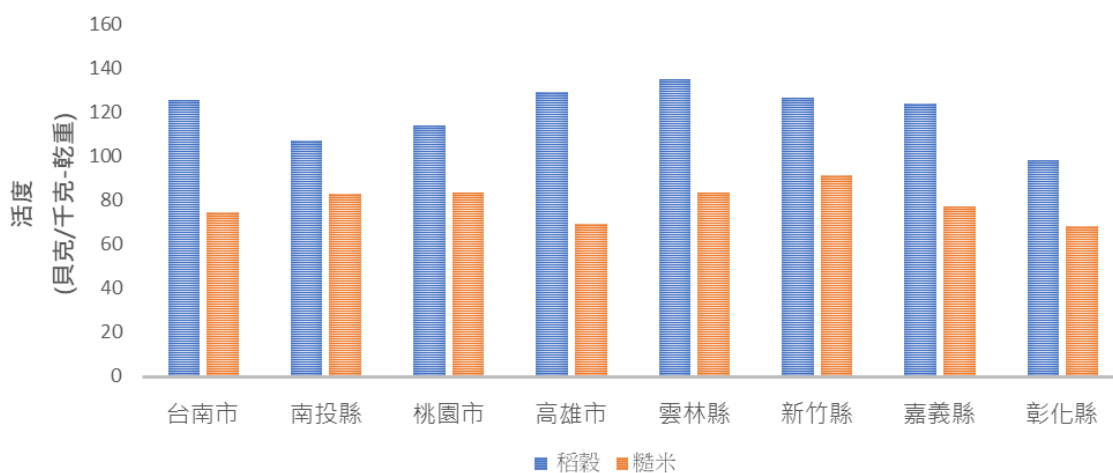


圖 17. 台灣西部各地區稻米鉀-40 分析統計圖

12. 其他重要成果

(1). 國際原子能總署能力試驗

本中心為提升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，111 年度水樣銻-134、銻-137、氫、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。

(2). 論文發表

本計畫 111 年度於環檢所環境分析化學研討會發表「核一廠周圍土壤中人工核種污染評估」、「海水中銻 90 之濃縮純化與分析方法建立」、「精進水樣中低能量放射性碘分析技術」、「台灣海域中海產物銻-210 含量之分析」、「台灣鄰近海域中海水含氫活度之調查」、「生物試樣中銻-210 分析方法建置」壁報論文，「海水中銻-90 之濃縮純化與分析方法建立」一篇經評選獲大會優良論文獎；於台灣食品科學技術學會 111 年度會員大會發表「臺灣海陸域樣品中銻 90 含量分佈調查之研究」論文(圖 18)。



圖 18. 111 年度論文發表-1



圖 18. 111 年度論文發表-2

(3). 跨部會資源整合

執行海域調查租用船艦之費用很高，故本中心協調跨部會各單位支持本計畫，運用有執行海域任務的單位於不影響例行動務的情形下，協助本計畫執行監測樣品取樣任務，目前協助取樣合作單位有水試所、漁業署、海巡署、海保署及財團法人臺灣海洋保育與漁業永續基金會等單位，各單位皆能配合本計畫之進度，達到政府行政一體，機能最大化。

(4). 日本福島第一核電廠含氚廢水排放因應措施

本中心於民國 110 年針對日本福島氚廢水排放海洋因應對策，除上述原有跨部會協助取樣單位及參與原能會邀集各相關部會召開「日本福島核電廠含氚廢水排放跨部會因應平台會議」外，也訂定「111 年海域海水氚輻射監測計畫」並邀集農業委員會水產試驗所、海洋委員會海洋保育署、海洋委員會海巡署及國家海洋研究院成立「海域輻射監測工作小組」並定期召開工作小組會議，共同研商日本含氚廢水因應措施，除徵詢海域管理之專業知能與經驗外，也請各單位能持續

協助本計畫之執行，於權責範圍內互相協助，使行政機關發揮共同一體之行政機能，以經濟方式尋求最有效的樣品數量與質量，達成台灣海域輻射監測任務，確保海洋環境安全。

(5). 教育訓練及人員培訓

本中心於民國 111 年 8 月 19 日於屏東恆春海域辦理海上輻射偵測及取樣訓練，由海巡署艦隊分署協助海上航行，訓練成員包含台電放射試驗室、海巡署及本中心，訓練內容包含確認航線路線、時間、取樣點規劃等，以建立作業流程，使人員熟悉海上偵測及海水取樣程序，俾於發生核子事故時能確實執行核電廠鄰近海域輻射偵測及表層水取樣任務(圖 19)。



圖 19. 海上偵測取樣訓練

二、 國民輻射劑量評估計畫

本次國民輻射劑量評估主要由背景輻射、消費性產品、職業曝露、產業活動及醫療輻射五類來源組成，各分項研究成果如下：

(一) 背景輻射-地表輻射

地表輻射為天然輻射，屬背景輻射(background radiation)的來源之一，源於地殼岩石圈中鈾系、鈾系及鉀-40 等天然放射性核種所產生的輻射，其中鈾-232 之半化期約為 141 億年、鈾-238 之半化期約為 45 億年、鉀-40 之半化期為約 12.48 億年，這類核種自地殼誕生以來就存在，目前全球的土壤及岩石當然都含有這些天然放射性物質，也就是造成地表輻射的來源。

依聯合國原子輻射效應科學委員會(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation ,UNSCEAR) 2000 年出版之 SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION to the General Assembly : Annex B – Exposures from natural radiation sources(以下簡稱 UNSCEAR 2000 年報告)【9】所述，地殼中鈾系元素，鈾系元素和鉀-40 的全球平均活度濃度分別為 33、45 和 420 貝克/公斤;UNSCEAR 2008 年出版之 SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION to the General Assembly : Annex B – Exposures of the public and workers from various sources of radiation (以下簡稱 UNSCEAR 2008 年報告)【10】所述，全球土壤天然放射性物質鐳-226、鈾-238、鈾-232 和鉀-40 的平均活度濃度分別為 32、33、45 和 412 貝克/公斤，然而在全球某些國家，例如巴西、法國、印度、尼日利亞、伊朗，有一些天然背景輻射較平均值高的區域，導致這些地區每年因天然放射性核種導致的輻射劑量有幾個毫西弗的增加。人民受到的天然地表輻射，除了戶外地表輻射，亦有室內地表輻射，其主要來源是建材，依 UNSCEAR

2008 報告所述，室內地表輻射造成國民年有效劑量之全球平均值為 0.41 毫西弗，戶外地表輻射造成國民年有效劑量之全球平均值為 0.07 毫西弗。

美國最新的國民輻射劑量評估報告是美國輻射防護與度量委員會於 2009 年出版的 NCRP 160 號報告，其中地表輻射造成美國國民每人年平均有效劑量(E_{US})為 0.21 毫西弗，在部分州的特殊區域，地表輻射造成每人年平均有效劑量(E_{US})可達 1.61 至 2.09 毫西弗。本中心曾於民國 81 年至 87 年期間進行過國民輻射劑量評估，87 年 6 月完成「國民輻射劑量之評估研究報告」，評估結果臺灣每年每人國民輻射劑量總計(E_{Taiwan})為 2.44 毫西弗(mSv)，其中天然輻射導致每年每人年劑量約 1.62 毫西弗，占 66.3%，戶外地表輻射每年每人劑量約 0.07 毫西弗，室內地表輻射每年每人劑量約 0.57 毫西弗，合計地表(加馬)輻射每年每人劑量約 0.64 毫西弗。

為量測地表輻射，本計畫共使用兩項儀器，包含：(1)純鍍偵檢器(廠牌:ORTEC,型號:Micro-detective);(2)碘化鈉型偵檢器(廠牌:FLIR,型號:identiFINDER2)。戶外地表輻射部分係引用美國能源部現場度量方法(HASL-258)【11】;現場度量方法原則上須盡量選擇適合地點，適合地點為量測區域內，以偵檢器為中心，在半徑 10 公尺範圍內無建築物，且地表下方 10 公尺深為均質乾燥土壤(無雜質)，如圖 20；於戶外將純鍍偵檢器以三腳架架高，偵檢器朝下，偵檢頭中心置於距離地面 1 公尺高處，量測 1 小時加馬能譜，可測得地表天然放射性物質活度濃度，再引用 UNSCEAR 2000 報告所述地表放射性核種活度濃度轉換地表加馬輻射劑量率之計算方法，可計算出各處地表輻射之加馬輻射劑量率，此計算式為：

$$D=(0.462*A_{Ra}+0.621*A_{Th}+0.042*A_K)*C,$$

A_{Ra} 、 A_{Th} 和 A_K : 地表中鐳-226、釷-232 和鉀-40 的活度濃度(單位: Bq/kg);
C: 空間吸收劑量與輻射劑量率轉換因子 0.7×10^3 (單位: $\mu\text{Sv/nGy}$);
D: 乾燥空氣環境下離地表面 1 公尺處的加馬輻射劑量率(單位: $\mu\text{Sv/h}$)。

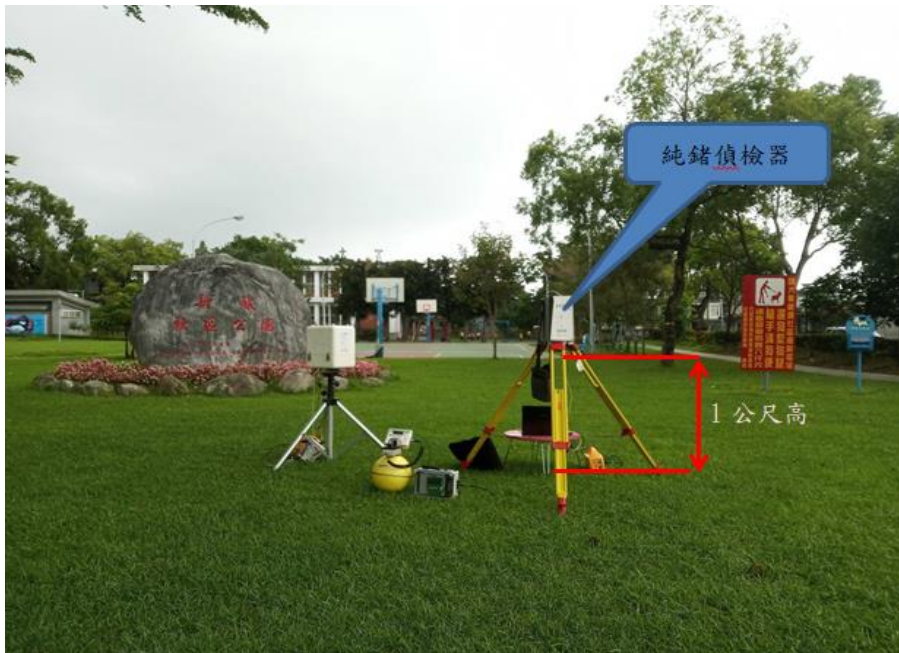


圖 20. 戶外地表輻射量測(花蓮新城鄉新城公園)

民眾在建築物內活動時也會接受到加馬游離輻射，這類輻射來源有兩項，分別為二次宇宙射線的加馬游離成分及建築物建材。對宇宙射線的加馬游離成分而言，影響住宅輻射劑量的因素為上方樓層建物水泥的總厚度，及受測住宅所在的樓層；對源自建築物建材的天然加馬輻射而言，影響因素則是受測住宅天花板及四周牆壁建材中所含天然放射性核種的活度濃度差異。為呈現室內地表輻射數據的客觀性，本計畫僅評估一般的民眾住宅，不包含輻射作業場所、經特殊輻射防護設計的住宅、曾受過輻射污染的住宅及輻射鋼筋屋等。以二吋碘化鈉閃爍型偵檢器測量住宅客廳之加馬輻射劑量率，偵檢器可直接測得加馬輻射劑量率 ($\mu\text{Sv/h}$)，量測位置為距離地板 1 公尺高，離牆面至少 50 公分處，並計

算 1 小時內之平均加馬輻射劑量率，如圖 21。



圖 21. 室內地表輻射量測情形(高雄市小港區鋼筋混凝土大樓)

戶外地表輻射部分，自民國 102 年至民國 110 年，依國內行政區分布，至全國各鄉鎮縣市區執行戶外地表輻射的實測調查，共量測 497 處。整體而言，臺灣本島地質以沉積岩為主，各地的戶外地表輻射劑量率差異不大，少數特殊地質區域，例如台南市將軍區及北門區海灘區域，因富含重砂，內含的獨居石其鈷-232 含量較高，其地表輻射劑量偏高(每小時 0.4 至 1.9 微西弗)，屬於特殊地質區，但因無民眾居住於特殊地質區域內，故劑量評估時不予納入；金門縣為花岡岩地質，但本報告引用方法所選擇量測位置，輻射劑量率量測結果並無特殊；澎湖縣為玄武岩地質，現有數據顯示，其地表輻射劑量最低。依據目前的偵測結果，各縣市地表輻射之平均加馬輻射劑量率在每小時 0.043 至 0.066 微西弗之間，全國之戶外平均輻射劑量率為每小時 0.051 微西弗。若民眾完全於戶外活動，計算出戶外地表輻射造成之個人年有效劑量(E_{EXP})平均值為

0.447 毫西弗($0.051 \times 365 \times 24 \times 10^{-3}$)，如表 33。

室內地表輻射部分，自民國 106 年至民國 110 年赴民眾住宅進行量測，建築形式包含大樓、公寓及透天型式的住宅，共偵測 50 戶，其中 48 戶為鋼筋混凝土，2 戶為加強磚造。實測結果顯示鋼筋混凝土高於加強磚造之建築，鋼筋混凝土建築的室內輻射劑量率平均值為每小時 0.107 微西弗，加強磚造建築的室內輻射劑量率平均值則為每小時 0.088 微西弗；加強磚造建物其室內隔間牆及主結構牆面較薄，室內平均加馬輻射劑量率較低，實測結果與理論推測趨勢相符。因臺灣地震發生頻率高，磚造建築已非建築主流，依據內政部 111 年底之房屋稅籍住宅類數量統計，我國目前房屋稅籍住宅構造主要以鋼筋混凝土者約占七成，加強磚造者約占 2 成，其餘的構造分類包含：磚、木、石造、鋼骨混凝土、鋼骨鋼筋混凝土及其他；表 34 為本報告參考內政部 111 年第四季之各類構造房屋住宅數量統計表【12】，表中的 RC(鋼筋混凝土)類包含鋼筋混凝土、鋼骨鋼筋混凝土及鋼骨混凝土等三類建築，與加強磚造類之建築依數量佔比估算室內地表輻射劑量，兩者已涵蓋所有建築之 9 成以上，因其他構造之建築種類繁多且無量測資料，故暫不予估算。承上，本研究評估全國之室內平均輻射劑量率為每小時 0.092 微西弗，各縣市因建築構造比例不同，室內輻射劑量率介於每小時 0.062 微西弗(台東縣)至 0.102 微西弗(新北市、台北市)，加強磚造建築比例較高的縣市室內地表輻射劑量率會較低。綜上，若民眾完全於室內活動，計算出室內地表輻射造成之個人年有效劑量(E_{EXP})平均值為 0.807 毫西弗($0.092 \times 365 \times 24 \times 10^{-3}$)。

表 33. 各縣市戶外地表輻射之平均劑量率與年有效劑量

縣市	偵測點數	戶外地表輻射 劑量率 (uSv/hr)	戶外地表輻射 年有效劑量 (mSv)
新北市	32	0.057	0.499
台北市	16	0.057	0.499
桃園市	18	0.054	0.473
台中市	36	0.055	0.482
台南市	46*	0.060	0.526
高雄市	42	0.059	0.517
宜蘭縣	12	0.055	0.482
新竹縣	13	0.051	0.447
苗栗縣	26	0.050	0.438
彰化縣	31	0.062	0.543
南投縣	18	0.064	0.561
雲林縣	20	0.056	0.491
嘉義縣	19	0.053	0.464
屏東縣	60	0.062	0.543
台東縣	30	0.041	0.359
花蓮縣	20	0.045	0.394
澎湖縣	6	0.043	0.377
基隆市	7	0.059	0.517
新竹市	3	0.046	0.403
嘉義市	3	0.057	0.499
金門縣	16	0.058	0.508
連江縣	14	0.066	0.578
全國	488	0.051	0.447

*備註:評估年有效劑量率時不列入特殊地質區計算

表 34. 各縣市房屋住宅構造數量及室內地表輻射

縣市	房屋住宅數量(戶數) ^{*1}				百分比(%)			室內 地表輻射 劑量率 ^{*2} (uSv/hr)	室內 地表輻射 年有效劑量 (mSv/yr)
	總數	RC 類	加強 磚造	其他	RC 類	加強 磚造	其他		
新北市	1680583	1514526	113605	52452	90.12%	6.76%	3.12%	0.102	0.897
台北市	902767	796614	81423	24730	88.24%	9.02%	2.74%	0.102	0.897
台中市	1094267	811274	200739	82254	74.14%	18.34%	7.52%	0.095	0.858
台南市	723085	455360	156492	111233	62.97%	21.64%	15.38%	0.086	0.836
高雄市	1106585	803499	217146	85940	72.61%	19.62%	7.77%	0.095	0.757
宜蘭縣	196988	101304	67522	28162	51.43%	34.28%	14.30%	0.085	0.832
桃園市	893840	668865	181009	43966	74.83%	20.25%	4.92%	0.098	0.746
新竹縣	224486	155043	45186	24257	69.07%	20.13%	10.81%	0.092	0.803
苗栗縣	208067	104893	59730	43444	50.41%	28.71%	20.88%	0.079	0.694
彰化縣	413678	198495	124528	90655	47.98%	30.10%	21.91%	0.078	0.682
南投縣	170560	77066	47197	46297	45.18%	27.67%	27.14%	0.073	0.637
雲林縣	242006	87799	74725	79482	36.28%	30.88%	32.84%	0.066	0.578
嘉義縣	176447	57052	57018	62377	32.33%	32.31%	35.35%	0.063	0.552
屏東縣	296559	121285	104019	71255	40.90%	35.08%	24.03%	0.075	0.654
台東縣	87443	27212	28909	31322	31.12%	33.06%	35.82%	0.062	0.547
花蓮縣	132689	62159	36390	34140	46.85%	27.43%	25.73%	0.074	0.651
澎湖縣	33668	11705	13107	8856	34.77%	38.93%	26.30%	0.071	0.626
基隆市	168184	137830	17878	12476	81.95%	10.63%	7.42%	0.097	0.850
新竹市	181727	140088	33426	8213	77.09%	18.39%	4.52%	0.099	0.864
嘉義市	109401	67687	23207	18507	61.87%	21.21%	16.92%	0.085	0.743
金門縣	23893	12363	9175	2355	51.74%	38.40%	9.86%	0.089	0.781
連江縣	3066	1899	117	1050	61.94%	3.82%	34.25%	0.070	0.610
全國	9069989	6414018	1692548	963423	70.72%	18.66%	10.62%	0.092	0.807

*備註:1. 資料來源:內政部 111 年第四季之各類構造房屋住宅數量統計表;本報告整理。

2. 室內地表輻射劑量率=RC 類建築百分比*RC 類建築室內地表輻射劑量率+加強磚造類建築百分比*加強磚造類建築室內地表輻射劑量率

民眾在住宅室內或戶外皆會接受到地表加馬輻射，因此參考行政院主計總處自民國 87 年起辦理之「社會發展趨勢調查」，依家庭生活、社會參與、時間運用及健康安全等 4 項主題按年輪辦，其中「時間運用」報告，可作為每日生活所占時間比率分析，惟因該調查自 96 年起停辦，因此，能引用的最近期資料為其民國 93 年公布之「社會發展趨勢調查報告」【13】。該報告所提供之室內與戶外之占用因子如表 35 所示，共區分成 4 個年齡群。

表 35. 室內與戶外之占用因子

年齡群	每日生活所占時間比率		
	戶外	室內	
		家	工作或學校
未滿 15 歲	0.1	0.65	0.25
15~24 歲	0.23	0.44	0.33
25~64 歲	0.19	0.40	0.41
65 歲以上	0.15	0.85	
總人口數			

本研究以內政部民國 111 年底所公布的人口統計資料（合計 23,264,640 人），分縣市將上述 4 個年齡群之人口佔比分別納入，考量不同年齡群之室內與戶外占用因子，先計算不同年齡群因活動時間差異造成的室內與戶外地表輻射，再考量各年齡群的總人數，即可算出集體有效劑量(S)，如表 36 所示，地表輻射之個人年有效劑量(E_{Exp})包含戶外地表輻射及室內地表輻射；其中，戶外地表輻射係由表 33 之各縣市之戶外地表環境輻射年有效劑量平均值與表 35 各年齡群戶外占用因子之乘積；室內地表輻射部分，則是由表 34 之各縣市之室內地表環境輻射之年有效劑量平均值與表 35 各年齡群室內占用因子之乘積；兩者加總即可獲得不同年齡群之地表輻射之個人年有效劑量(E_{Exp})。

表 36. 各縣市不同年齡群之地表輻射年有效劑量

縣市	總人口數* (人)	年齡群							
		未滿 15 歲		15~25 歲		25~65 歲		66 歲以上	
		E_{Exp} (毫西弗)	人口 占比 (%)	E_{Exp} (毫西弗)	人口 占比 (%)	E_{Exp} (毫西弗)	人口 占比 (%)	E_{Exp} (毫西弗)	人口 占比 (%)
新北市	3,995,551	0.857	11.53	0.805	9.93	0.821	61.49	0.837	17.05
台北市	2,480,681	0.857	12.59	0.805	8.78	0.821	57.73	0.837	20.91
桃園市	2,281,464	0.820	14.01	0.771	11.12	0.786	60.59	0.801	14.28
台中市	2,814,459	0.800	13.49	0.753	10.98	0.767	60.46	0.782	15.08
台南市	1,852,997	0.730	11.52	0.694	9.79	0.705	60.66	0.716	18.03
高雄市	2,728,137	0.801	11.33	0.761	9.96	0.774	60.39	0.786	18.33
宜蘭縣	449,062	0.723	11.39	0.693	10.50	0.703	59.51	0.712	18.60
新竹縣	580,503	0.767	15.73	0.721	11.31	0.735	59.32	0.749	13.64
苗栗縣	535,132	0.668	11.63	0.635	10.85	0.645	59.23	0.655	18.30
彰化縣	1,245,239	0.668	12.15	0.650	11.14	0.655	58.74	0.661	17.97
南投縣	479,595	0.629	10.29	0.619	10.64	0.622	58.93	0.625	20.13
雲林縣	664,092	0.569	10.58	0.558	11.04	0.561	58.25	0.565	20.12
嘉義縣	488,158	0.543	8.59	0.532	10.62	0.535	59.09	0.539	21.69
屏東縣	798,703	0.643	10.09	0.628	10.35	0.633	60.08	0.637	19.48
台東縣	212,551	0.528	11.11	0.503	10.80	0.511	59.35	0.518	18.74
花蓮縣	318,892	0.625	11.37	0.592	10.48	0.602	59.11	0.612	19.05
澎湖縣	107,223	0.601	9.92	0.569	11.81	0.579	60.01	0.589	18.26
基隆市	361,526	0.817	9.84	0.773	9.88	0.787	60.98	0.800	19.30
新竹市	452,473	0.818	16.27	0.758	10.95	0.777	58.63	0.795	14.16
嘉義市	262,924	0.719	12.66	0.687	11.49	0.697	58.16	0.707	17.69
金門縣	141,295	0.754	8.38	0.718	11.04	0.729	64.14	0.740	16.43
連江縣	13,983	0.607	10.21	0.603	10.83	0.604	64.96	0.605	14.00
全國	23,264,640	0.776	12.12	0.736	10.32	0.748	60.00	0.761	17.56

*資料來源:內政部 111 年人口統計年報;本報告整理。

各縣市地表輻射之集體有效劑量(S)及平均年有效劑量(E_{EXP})如表 37；將各年齡群之地表輻射之個人年有效劑量(E_{Exp})再乘上該年齡群之人口數即可獲得該年齡群之集體有效劑量(S)，不同縣市各年齡群之人口數為表 36 之總人口數乘上人口佔比；四個年齡群集體有效劑量之加總即可得表 37 之集體有效劑量(S)。各縣市之集體有效劑量(S)介於每年 8.45 人-西弗(連江縣最低)至 3,302.52 人-西弗(新北市最高)，人口數較多及鋼筋混凝土建築佔比較高的縣市會有較高的地表輻射劑量，全國之集體有效劑量(S)合計為 17,424.05 人-西弗。其中，室內地表輻射之集體有效劑量(S)為 15,402.77 人-西弗，佔整體地表輻射的 88.4%；戶外地表輻射之集體有效劑量(S)為 2,021.27 人-西弗，佔整體地表輻射的 11.6%。將全國之地表輻射造成之集體有效劑量總和除以總人口數，即可獲得地表輻射對國人造成個人平均年有效劑量，亦即國民輻射劑量(E_{Taiwan})為 0.75 毫西弗。

本次調查評估之地表輻射所造成國民輻射劑量(E_{Taiwan})為每年 0.75 毫西弗(包含戶外 0.09 毫西弗、室內 0.66 毫西弗)，與上次(民國 82 至 87 年)評估結果每年 0.64 毫西弗(包含戶外 0.07 毫西弗、室內 0.57 毫西弗)比較，本次調查結果之戶外及室內地表輻射分別較上次高 0.02 毫西弗/年、0.09 毫西弗/年，地表輻射(含戶外及室內)之國民輻射劑量較上次高 0.11 毫西弗/年，推測造成差異之因素包含：(1)測量方法與設備不同、(2)量測位置不同。

表 37. 地表輻射之集體有效劑量

縣市	集體有效劑量(人-西弗)			個人 年有效劑量 (毫西弗)
	室內地表輻射	戶外地表輻射	合計	
新北市	2949.854	352.666	3,302.52	0.827
台北市	1837.631	215.306	2,052.94	0.828
桃園市	1611.814	193.597	1,805.41	0.791
台中市	1939.024	234.613	2,173.64	0.772
台南市	1155.540	157.426	1,312.97	0.709
高雄市	1868.982	253.024	2,122.01	0.778
宜蘭縣	275.968	40.967	316.93	0.706
新竹縣	384.386	45.363	429.75	0.740
苗栗縣	305.736	41.383	347.12	0.649
彰化縣	699.303	119.259	818.56	0.657
南投縣	251.380	47.577	298.96	0.623
雲林縣	316.010	57.612	373.62	0.563
嘉義縣	221.614	40.306	261.92	0.537
屏東縣	429.576	76.898	506.47	0.634
台東縣	95.627	13.499	109.13	0.513
花蓮縣	170.861	22.168	193.03	0.605
澎湖縣	55.138	7.209	62.35	0.581
基隆市	252.820	33.142	285.96	0.791
新竹市	323.012	31.740	354.75	0.784
嘉義市	161.044	23.122	184.17	0.700
金門縣	90.457	12.944	103.40	0.732
連江縣	6.998	1.452	8.45	0.604
全國	15402.77	2021.27	17,424.05	0.749

本報告之國內天然游離輻射中地表輻射所造成國民輻射劑量調查之執行結果，與 2009 年之美國 NCRP 第 160 號報告及 UNSCEAR 2008 年報告的全球民眾之個人平均有效劑量(E_{global})比較如表 38，本次評估的結果較高，推測造成差異之因素在於室內之地表輻射劑量，可能造成差異的來源包含：(1)室內地表輻射量測方法不同、(2)量測位置地質特性不同、(3)主要建築物構造不同。其中，因建物所導致地表輻射差異主要原因差異來源為「國內鋼筋混凝土型式之建築物所占比例較高」、「國內建築物牆面樓板厚度較厚」所造成。詳細評估過程請參閱本中心技術文件 RMC-110-318Rev1 地表環境輻射國民輻射劑量評估-112 年修正版。

表 38. 地表輻射國民輻射劑量差異比較

單位：毫西弗/年

項目 範圍 /來源	戶外 地表輻 射	室內 地表 輻射	地表 輻射	方法或量測設備
本次評估	0.09	0.66	0.75 (E_{Taiwan})	純鍺偵檢器及二吋碘化鈉型閃爍偵檢器
本中心民國 87 年版國民輻射劑量評估報告	0.07	0.57	0.64	一吋碘化鈉型閃爍偵檢器及熱發光劑量計
美國 NCRP 第 160 號報告 2009 年版	--	--	0.21 (E_{US})	純鍺偵檢器，The NURE Program，僅量測戶外(每 25kmx25km 區隔為一區域，室內採 8nGy/h+0.59x「戶外之空氣吸收劑量率」，單位 nGy/h)，木造與磚造屋比例較高，資料為 1992 年
全球平均 UNSCEAR 2008 年版	0.07	0.41	0.48 (E_{global})	收集全球相關文獻，進行數據分析，常見的範圍在 0.3 至 1.0 毫西弗/年之間

(二) 背景輻射-宇宙射線

影響宇宙射線的主要因素為海拔高度，其次為地磁緯度變化及太陽週期等；國內緯度差異不大，因地磁緯度變化來造成宇宙射線的差異可忽略；太陽宇宙射線在高空大氣層就被吸收掉，對居住在地表附近的民眾亦可忽略【14】。

為獲得垂直高度的宇宙射線變化，本計畫共使用三項儀器，包含：(1) 高壓游離腔(廠牌：GE Reuter Stokes，型號：RSS-131ER)量測包括宇宙射線與地殼中天然放射性物質所造成的加馬輻射劑量；(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【15】；(3) 球型中子偵檢器(廠牌：Berthold，型號：LB-6411 Pb)量測來自宇宙射線所造成之中子輻射劑量。高壓游離腔與純鍺偵檢器距離地面1公尺高量測，球型中子偵檢器設置於地面，各處均量測1小時，如圖 22 及圖 23。

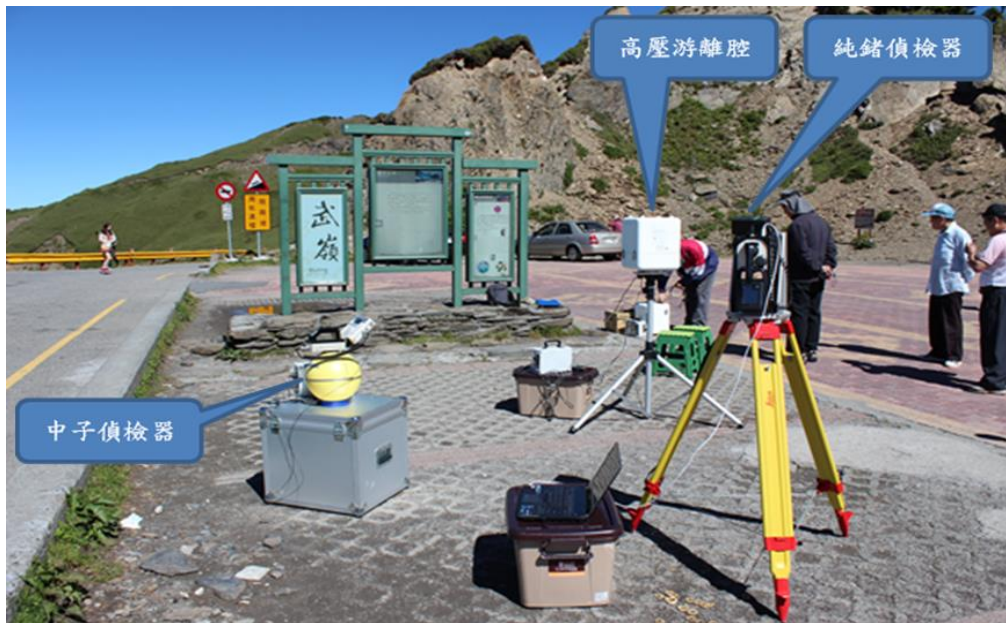


圖 22. 宇宙輻射量測情形(地點：武嶺停車場)

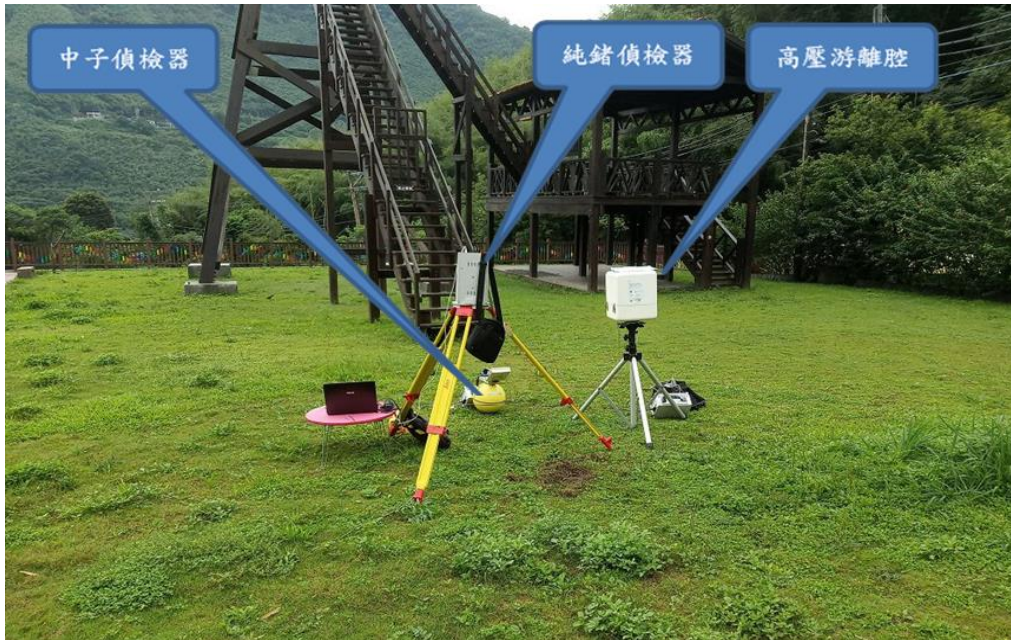


圖 23. 宇宙輻射量測情形(地點：樂信瓦旦紀念公園)

在每處量測點，純鍺偵檢器可測得地表天然放射性物質活度濃度，引用 UNSCEAR 2000 年報告所述地表放射性核種活度濃度轉換地表加馬輻射劑量率之計算方法，可計算出各處地表輻射之加馬輻射劑量率，此計算式為 $D=(0.462*A_{Ra}+0.621*A_{Th}+0.042*A_K)*C$ ，其中 A_{Ra} 、 A_{Th} 和 A_K 為地表中鐳-226、釷-232 和鉀-40 的活度濃度(Bq/kg)； C 為空間吸收劑量與輻射劑量率轉換因子 $0.7 \times 10^3 (\mu\text{Sv/nGy})$ ； D 為乾燥空氣環境下，離地表面 1 公尺處的加馬輻射劑量率($\mu\text{Sv/h}$)。

高壓游離腔可測得空氣曝露率，單位為毫侖琴/時(mR/h)；再乘上儀器劑量轉換因子 8.696，單位為微格雷/時/毫侖琴/時($\mu\text{Gy/h/mR/h}$)，可算出空氣吸收劑量率，單位為微格雷/時($\mu\text{Gy/h}$)；再乘上吸收劑量率與輻射劑量率轉換因子 0.7(單位為 $\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}$)，可算出各處總加馬輻射劑量率，包含宇宙射線加馬輻射劑量率與地表加馬輻射劑量率，將總加馬輻射劑量率扣除地表加馬輻射劑量率，可算出宇宙射線加馬輻射所造成之輻射劑量率。球型中子偵檢器測得各處中子計數率，單位為計

數/秒(CPS)；再乘上儀器劑量轉換因子 1.27 單位為微西弗/小時/計數率 ($\mu\text{Sv/h/CPS}$)，可算出各處中子輻射劑量率。最後，將各處宇宙射線加馬輻射所造成之輻射劑量率加上中子輻射劑量率，得到各處宇宙射線所造成之輻射劑量率。

自民國 102 至 110 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，共測量 64 處，量測點的海拔高度從 3 至 3263 公尺，量測垂直高度的宇宙射線差異，分別計算各處宇宙射線加馬輻射所造成之輻射劑量率與中子輻射劑量率，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，這兩組多項式如下。

海拔高度與宇宙射線游離輻射成分之關係：

$$\text{DRGIN} = 2 \times 10^{-9} \times H^2 + 1 \times 10^{-5} \times H + 0.0412$$

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：

$$\text{DRNE} = 3 \times 10^{-9} \times H^2 + 9 \times 10^{-7} \times H + 0.0071$$

其中 DRNE 為中子宇宙射線劑量率(單位：微西弗/時)；

H 為海拔高度(單位：公尺)；

量測結果顯示，在海平面位置，宇宙射線游離輻射成分與中子宇宙射線之劑量率分別為 $0.0412 \mu\text{Sv/h}$ 與 $0.0071 \mu\text{Sv/h}$ ，海拔高度每上升 1500 公尺，宇宙射線劑量率增加 57%，其中包括宇宙射線游離輻射成分劑量率增加 47%，中子宇宙射線之劑量率增加 114%，如圖 24 及圖 25。

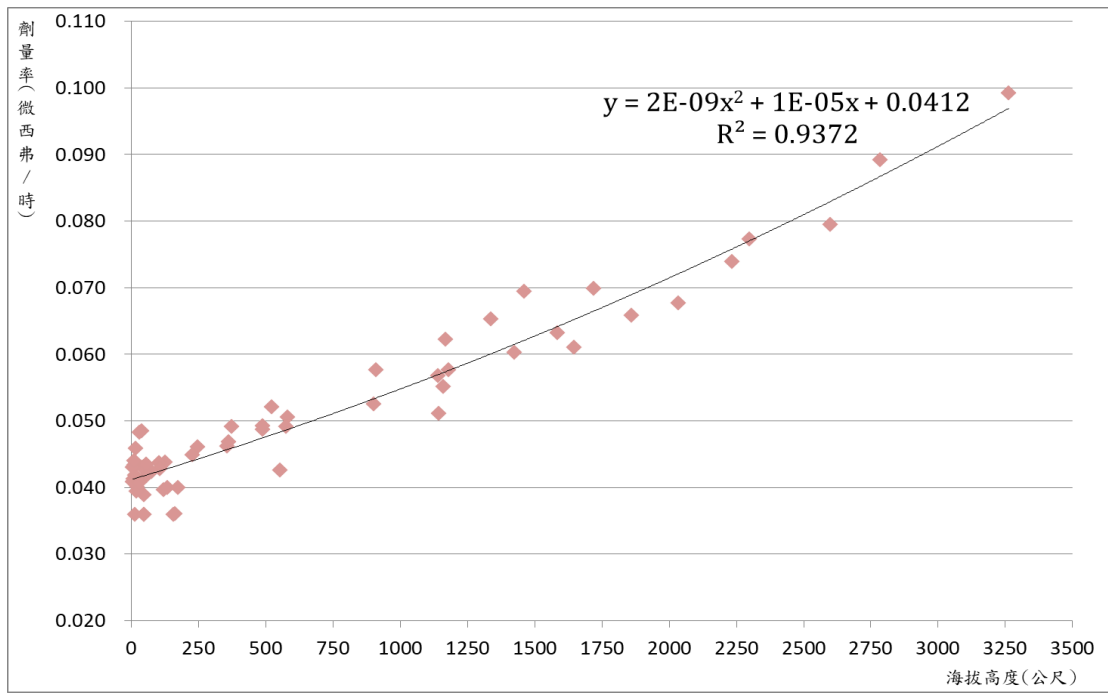


圖 24. 宇宙輻射游離輻射成分劑量率與海拔高度關係

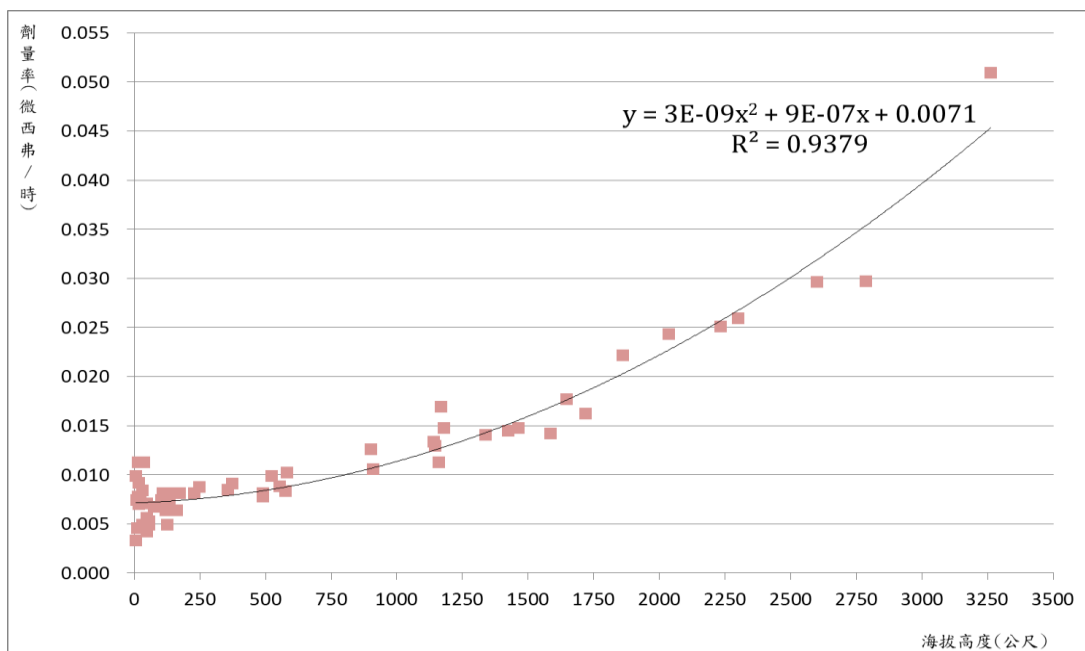


圖 25. 中子宇宙輻射劑量率與海拔高度關係

利用以上海拔高度與宇宙射線劑量率的關係、各縣市人口數、及各縣市人口居住密集區的平均海拔高度，先算出各縣市的集體有效劑量，加總後除上總人口數，即可計算出宇宙射線所造成國民輻射劑量，算式如下：宇宙射線之國民輻射劑量=各縣市宇宙射線所造成集體有效劑量之總和/總人口數，人口密集居住區平均海拔高度為各縣市政府官網上所述平均海拔高度加上 3 層樓(10 公尺)計算，若無法找到平均海拔高度的縣市，改以縣市中心火車站海拔高度加上 3 層樓(10 公尺)計算。

宇宙射線所造成之每人年平均有效劑量(E_{EXP})如表 39，包含戶外中子宇宙射線及游離輻射成分宇宙射線，兩者所造成之個人年有效劑量(E_{EXP})分別為 0.063 毫西弗及 0.366 毫西弗；戶外游離輻射成分宇宙射線造成國民每人年平均有效劑量為 0.366 毫西弗，如表 8；以上加總後，戶外宇宙射線造成每人平均年有效劑量為 0.429 毫西弗，此劑量僅為民眾於戶外近地面活動時所接受宇宙射線之國民輻射劑量，未包含民眾因出國旅遊搭乘航空器所接受的高空宇宙射線之輻射劑量。

=民眾在室內也會接受到宇宙射線，考慮建築物對宇宙射線之屏蔽，引用美國 NCRP 第 160 號報告，宇宙射線在室內的輻射劑量率為戶外的 80%；另外，行政院主計總處自 87 年起辦理「社會發展趨勢調查」，依家庭生活、社會參與、時間運用及健康安全等 4 項主題按年輪辦，其中「時間運用」報告，可作為每日生活所占時間比率分析，惟因該調查自 96 年起停辦，因此，能引用的最近期資料為 93 年社會發展趨勢調查報告【16】，本報告所提供之室內與戶外之占用因子如表 4 所示，區分成 4 個年齡層。再收集內政部所公佈 107 年底 4 個年齡層之人口數(合計 23,588,932 人)，分別納入不同年齡層之室內與戶外占用因子，計算在室內中子宇宙射線及游離輻射成分宇宙射線所造成國民每人年平均有效劑量。

表 39. 中子宇宙射線(戶外)與游離輻射成分宇宙射線(戶外)所造成各縣市國民之集體劑量

縣市別	人口數 (108年1月底)	人口密集居住區 平均海拔高度 (公尺)	中子宇宙射線		游離成分宇宙射線	
			平均劑量率 (微西弗/時)	集體劑量 (人-西弗/年)	平均劑量率 (微西弗/時)	集體劑量 (人-西弗/年)
新北市	3,997,189	66	0.0419	1466.0487	0.007172	251.1467
臺北市	2,666,908	34	0.0415	970.5162	0.007134	166.6669
桃園市	2,223,733	94	0.0422	821.2273	0.007211	140.4717
臺中市	2,806,406	69	0.0419	1030.0627	0.007176	176.4250
臺南市	1,883,723	37	0.0416	686.0089	0.007137	117.7773
高雄市	2,773,607	23	0.0414	1006.6420	0.007122	173.0488
宜蘭縣	455,035	37	0.0416	165.7134	0.007137	28.4505
新竹縣	557,349	40	0.0416	203.1225	0.007141	34.8641
苗栗縣	548,403	24	0.0414	199.0837	0.007123	34.2205
彰化縣	1,277,176	18	0.0414	462.9692	0.007117	79.6274
南投縣	496,606	261	0.0439	191.1780	0.007539	32.7978
雲林縣	685,354	51	0.0417	250.4456	0.007154	42.9487
嘉義縣	506,559	46	0.0417	184.8832	0.007148	31.7178
屏東縣	824,587	21	0.0414	299.1266	0.007120	51.4321
臺東縣	218,691	26	0.0415	79.4289	0.007125	13.6504
花蓮縣	327,788	23	0.0414	118.9661	0.007122	20.4511
澎湖縣	104,511	17	0.0414	37.8754	0.007116	6.5150
基隆市	369,987	110	0.0423	137.1764	0.007235	23.4502
新竹市	445,990	36	0.0416	162.3797	0.007136	27.8806
嘉義市	268,579	61	0.0418	98.3861	0.007166	16.8600
金門縣	139,484	10	0.0413	50.4639	0.007109	8.6867
連江縣	13,079	40	0.0416	4.7666	0.007141	0.8181
總計	23,590,744			8626.4712		1,479.9073

表 40 中戶外游離成分宇宙射線集體劑量係由表 9 各年齡層人口數乘上戶外占用因子，再乘上戶外游離輻射成分宇宙射線造成國民每人年平均有效劑量計算，計算式說明如下： 3048227 (人) $\times 0.1 \times 0.366$ (毫西弗) = 111565 (人-毫西弗)。表 41 中戶外游離成分宇宙射線國民輻射劑量係由表 10 各年齡層之戶外游離成分宇宙射線集體劑量總和除以表 9 各年齡層總人口數，計算式說明如下： 1531736 (人-毫西弗)/ 23588932 (人) = 0.065 (毫西弗/年)。室內中子宇宙射線所造成國民每人年平均有效劑量為 0.041 毫西弗/年，室內游離輻射成分所造成國民每人年平均有效劑量為 0.241 毫西弗/年。

表 40. 室內與戶外之宇宙射線集體劑量

單位：人-毫西弗

年齡層	戶外		室內	
	游離成分宇宙射線集體劑量	中子宇宙射線集體劑量	游離成分宇宙射線集體劑量	中子宇宙射線集體劑量
未滿 15 歲	111565	19204	803269	138268
15~24 歲	241712	41606	647368	111432
25~64 歲	989959	170403	3376280	581163
65 歲以上	188500	32447	854534	147092
總計	1531736	263659	5681454	977955

表 41. 宇宙射線國民輻射劑量

單位：毫西弗/年

戶外宇宙射線		室內宇宙射線	
游離成分宇宙射線國民輻射劑量	中子宇宙射線國民輻射劑量	游離成分宇宙射線國民輻射劑量	中子宇宙射線國民輻射劑量
0.065	0.011	0.241	0.041
0.076		0.282	
總計 0.358			

中子宇宙射線造成國民每人年平均有效劑量為 0.05 毫西弗，游離輻射成分宇宙射線造成國民每人年平均有效劑量為 0.31 毫西弗；室內宇宙射線造成國民每人年平均有效劑量為 0.28 毫西弗，戶外宇宙射線造成國民每人年平均有效劑量為 0.08 毫西弗；總計，宇宙射線共造成國民每人年平均有效劑量為 0.36 毫西弗。

本次調查評估國內天然游離輻射中宇宙射線所造成國民輻射劑量調查之執行結果，與上次(民國 82 至 87 年)【1】及美國 NCRP 第 160 號報告及 UNSCEAR 2000 報告之比較如表 42。本次調查結果較前次為推測造成差異之因素包含：(1)測量方法與設備不同、(2)量測位置海拔高度不同。本次調查與美國 NCRP 第 160 號報告及 UNSCEAR 2000 報告相比亦有差異，推測造成差異之因素包含：(1)量測方法不同、(2)量測位置之緯度不同、(3)量測位置之海拔高度不同。詳細評估過程請參閱本中心技術文件 RMC-112-301 宇宙輻射國民輻射劑量評估。

表 42. 宇宙射線國民輻射劑量與國外及國內往年比較

單位：毫西弗/年

項目 範圍/來源	中子 宇宙射線	游離成分 宇宙射線	宇宙射線 國民輻射劑量	方法或量測設備
本次評估	0.05	0.31	0.36 (E _{Taiwan})	高壓游離腔及純鍺偵檢器
本中心民國 87 年版國民輻射 劑量評估報告	0.015	0.235	0.25 (E _{Taiwan})	21 公升標準型常壓游離腔及 3 吋球型點化鈉偵檢器
美國 NCRP 第 160 號報告 2006 年版	--	--	0.33 (E _{US})	電腦程式 PLOTINUS(O' Brien 開發 2005 年版)模擬計算 (太陽活動十一年週期時間內 之宇宙射線平均值)
全球平均 UNSCEAR 2008 年版	0.1	0.28	0.38 (E _{Global})	收集全球相關文獻，進行數據 分析

(三) 背景輻射-攝食之導致體內曝露

食品中放射性核種造成的體內曝露劑量屬天然輻射，其評估必須知道食品中的放射性物質活度，再由食品攝食量推算經由食品攝入的活度，不同核種有其攝入劑量轉換因子，進而推算食品所造成的體內劑量。

本計畫彙整本中心民國 106-110 年間「台灣地區放射性落塵與食品調查半年報」報告中之檢測數據為統計母數；劑量轉換因子採用現行之游離輻射防護安全標準公告之劑量轉換因子，且依不同年齡群評估；曝露情境的假設引用衛福部的資料，包括國健署之「國民營養健康狀況變遷調查」，及攝食情境採用衛生福利部食藥署所建置之「國家攝食資料庫」所提供的國人飲食習慣的調查結果，以更貼近國人的飲食習性，完成鉀-40、鈾-210、鈾-232、鈾-238、銫-137 及銈-90 等 6 個核種之體內劑量評估。

1. 體內曝露劑量評估方法

(1) 全身計測法

人體因攝食累積鉀-40，且因生理代謝功能，人體會自我調節保持一定比例之鉀濃度，以維持身體正常運作；因此，UNSCEAR 2000 報告、NCRP 第 160 號報告及日本環境省的「放射線による健康影響等に関する統一のな基礎資料」【17】及國際原子能總署(IAEA)在 2016 年出版的「Criteria for Radionuclide Activity Concentrations for Food and Drinking Water」報告【18】，都是以全身計測的方式推算食入鉀-40 的體內曝露劑量。依據 UNSCEAR 2000 報告及 IAEA 報告評估結果，因鉀-40 體內曝露造成全球成人之個人年有效劑量(E_{global})為 0.165 毫西弗。日本在評估核種之體內劑量評估已自 2011 年起改採攝食法做推算，但評估鉀-40 時，鉀-40 之每日攝取的含量係採定值，以鉀的每日必須攝取量(2.64 克/天)推算出之鉀-40 含量(81.5 貝克/天)，仍近似於全身計測的做法，評估結果算出日本因鉀-40 造成體內曝露之國民輻射劑量(E_{JP})為 0.18 毫西弗。

美國 NCRP 160 號報告經由全身計測法推算出，整體族群之鉀-40 體內曝露之平均有效劑量(E_{US})為每年 0.136 毫西弗，並進一步分析不同性別、年紀、身體質量指數(BMI)與鉀-40 體內劑量關係，獲得經驗公式如下：

男性的鉀-40 體內曝露之年有效劑量 E_{K-40} (單位:毫西弗/年)

$$E_{K-40} = 0.0885(2.946 - 0.0062 \times \text{年齡} - 0.0311 \times BMI)$$

女性的鉀-40 體內曝露之年有效劑量 E_{K-40} (單位:毫西弗/年)

$$E_{K-40} = 0.0876(2.5 - 0.00512 \times \text{年齡} - 0.0292 \times BMI)$$

上述經驗公式適用於 14 歲以上身體組成和成年人相當的族群，且歐洲白人與亞洲人間無族群差異。因此，鉀-40 之體內曝露劑量評估會引用美國 NCRP 160 號報告公式做法進行評估。身體質量指數 (BMI)部分，本計畫引用衛生福利部國民健康署委託中央研究院生物醫學科學研究所潘文涵教授執行之「國民營養健康狀況變遷調查(102-105 年)」研究計畫成果報告【19】，有關國人不同性別、年齡之身體質量指數 (BMI) 平均值之調查結果(如表 43)，推斷我國 16 歲以上不同年齡國人之鉀-40 體內曝露之個人年有效劑量(E_{EXP})。

表 43. 國人不同性別、年齡別之身體質量指數 (BMI)

年紀	男性	女性	全體
2 個月-3 歲	16.5	15.7	16.1
4-6 歲	15.6	15.4	15.5
7-12 歲	18.9	18.1	18.5
13-15 歲	20.5	20.4	20.5
16-18 歲	21.2	22.1	21.7
19-44 歲	24.6	23	23.8
45-64 歲	25	24	24.5
65-74 歲	25.1	24.6	24.9
>75 歲	24.3	24.8	24.6

資料來源：國民營養健康狀況變遷調查(102-105 年)；本報告整理

(2) 攝食法

攝食法是 ICPR 基於輻射防護目的所發展的個人劑量評估方法，與國民輻射劑量評估之目的不同；輻防劑量則以攝入活度為基礎，利用 ICPR 的劑量轉換因子等數據，計算分齡參考人之約定有效劑量。國民輻射劑量的需求是估算國人攝食所導致之約定有效劑量年平均值，應以核種在組織中之活度(可由全身計測器度量)為基礎，計算不同年齡群之個人約定有效劑量的年平均值。若採用 ICPR 之攝食法評估體內曝露劑量方法評估國民輻射劑量，針對長半衰期天然放射性核種(鉀 40、鈾系及鈾系之核種等)之攝食體內曝露，可能會有高估的情形。

攝入放射性核種所造成之體內曝露劑量，計算公式如下

$$\sum A_i \times M_i \times F_i = E$$

A_i ：各類消費食品所含該核種之活度濃度(Bq/kg)

M_i ：各類消費食品之國人平均年攝食量(kg)

F_i ：攝食造成全身有效體內器官劑量轉換有效劑量之劑量轉換因子(Sv/Bq)

E ：國人每人因攝食各類消費性食品中所含放射性物質造成之國民輻射年劑量(mSv/y)

本報告所用之劑量轉換因子係使用游離輻射防護安全標準【11】

附表三之三，在計算不同年齡群的攝入劑量時，可依其年紀選用不同之劑量轉換因子進行體內曝露劑量之估算，如表 44。

表 44. 攝食之劑量轉換因子

單位：Sv/Bq

年紀 核種	<1	1-2	2-7	7-12	12-17	>17
鈾-232	4.60E-06	4.50E-07	3.50E-07	2.90E-07	2.50E-06	2.30E-07
鈾-238	3.40E-07	1.20E-07	8.00E-08	6.80E-08	6.70E-08	4.50E-08
銻-137	2.10E-08	1.20E-08	9.60E-09	1.00E-08	1.30E-08	1.30E-08
錒-90	2.30E-07	7.80E-08	4.70E-08	6.80E-08	8.00E-08	2.80E-08
鈾-210	2.60E-05	8.80E-06	4.40E-06	2.60E-06	1.60E-06	1.20E-06

本報告用以評估各核種攝入劑量之各類消費食品檢測數據，主要是原能會輻射偵測中心在民國 106-110 年間執行台灣環境輻射監測計畫之食品檢測數據。為評估國民輻射劑量，因此，納入評估之食品數據亦以國人主要消費之國產農特產品為主，數據來源包括「台灣地區食品放射性含量偵測計畫」及「台灣海陸域環境輻射調查計畫」；另為探討國人攝入鈾-210 部份的劑量，民國 110、111 年進一步針對國人主要消費食品中的魚、豬、牛、雞、羊肉及其內臟進行鈾-210 放射性核種含量分析之專案計畫；相關數據均已收錄在民國 106-110 年之「台灣地區放射性落塵與食品調查半年報」之歷年成果報告【20-29】中並於原能會網站(<https://www.aec.gov.tw>)上公開。

「台灣地區食品放射性含量偵測計畫」主要是監測台灣地區國人主要民生消費食品中的放射性核種含量，包含稻米、麵粉、黃豆、高麗菜、地瓜、馬鈴薯、花椰菜、鳳梨、香蕉、柑橘、魚、豬肉、牛肉、雞肉、蛋、及鮮奶等 16 項，依區域選定北、中、南、東共 5 個代表城鄉地區(宜蘭、台北、台中、高雄、台東)，偵測中心每年分上、下半年赴消費市場購買新鮮食品進行抽樣，再以標準方法進行放射性含量分析；除了 16 大類之主要消費食品外，偵測中心也會不定期購買具代表性的其他農特產品進行檢測。綜整民國 106 年至民國 110 年之「台灣地區食品放射性含量偵測計畫」，21 類農產品之歷年食品檢測數量共計有 808 個樣本，統計結果如表 46。「台灣海陸域環境輻射調查計畫」中有關海域部分，係依據台灣周邊海域輻射背景數據，並參考鄰近國家之海洋輻射監測方式及考量台灣周邊海域洋流狀況，訂定長期監測計畫內容，該計畫完成之海產品檢測共計 529 件(海水魚 415 件、藻類 18 件、甲殼類 46 件、貝類 35 件、頭足類 15 件)；陸域部分則包含台灣地區之土壤及稻米放射性核種含量背景調查，偵測中心與農委

會農試所合作，由農試所提供台灣西部桃園至台南所種植之稻米樣本，分析稻穀、稻殼及糙米之放射性物質含量，本報告主要納入糙米部分的樣本，共計 47 件。鈎-210 進行專案採樣，共計 97 樣品。綜整上述食品檢測結果，共計有 1,384 個食品樣本，另針對上述食物樣品之檢測結果如表 45、表 46。

表 45. 台灣地區食品檢測結果食品

單位：貝克/公斤(Bq/kg)

食品種類		鉀-40	銫-137	鈾系列	鈾系列	鋇-90
	稻米	49.86	0	0	0.031	0.019
	麵粉	49.12	0	0	0.005	0.031
	雜糧	94.50	0	0	0	-
	豆類	536.85	0.036	0	0	0.173
	雞肉	119.96	0.002	0	0	0.014
	豬肉	115.48	0.011	0	0.007	0.002
	牛肉	115.90	0.026	0.006	0.036	0.010
	雜糧	49.57	0	0.004	0.053	0.014
	蛋類	57.43	0	0	0.022	0.017
蔬菜	其他蔬菜	109.45	0.002	0	0.005	0.017
	根菜類	153.46	0.003	0	0.056	0.010
	菇類	106.22	0	0	0	-
	海菜類	93.01	0.003	0.130	0.191	-
水果	漿果類	88.24	0	0	0.032	0.012
	柑橘類	61.03	0.005	0	0.022	0.020
	其他水果	94.65	0	0	0	0.019
水產品	淡水魚類	124.01	0.012	0.001	0.012	0.008
	海水魚類	147.53	0.166	0.0004	0.036	0
	貝類	60.44	0.002	0.020	0.046	-
	甲殼類	79.97	0.004	0.004	0.051	-
	頭足類	78.37	0	0.005	0	-

表 46. 鈾-210 之檢測結果

食物種類	放射性核種活度濃度(Bq/kg)			樣本數 (件)
	範圍	平均值 (all)	平均值 (去極值)	
雞肉	ND-0.26	0.12	0.1	4
雞內臟	ND-3.51	0.68	0.148	6
牛肉	ND-0.2	0.1	0.1	2
牛內臟	0.28-0.58	0.43	0.43	3
豬肉	ND-0.97	0.43	0.33	3
豬內臟	ND	ND	ND	4
羊肉	0.86-1.73	1.295	1.295	2
羊內臟	1.38-1.59	1.485	1.485	2
淡水魚肉	0.51-1.58	1.05	1.05	2
淡水魚內臟	2.78-242.81	84.2	7	3
鹹水魚肉	ND-542.99	21.28	10.37	46
鹹水魚內臟	15.72-755.85	190.83	147.5	11
頭足類	1.26-11.08	6.17	6.17	2
貝類	18.92-75.95	32.4	18.92	3
甲殼類	13.88-331.79	156.2	97.6	4

另為建置符合國人飲食習慣的攝食情境，本計畫以衛福部食藥署「國家攝食資料庫」之 2022 年公告之 108 年調查報告【30】為基礎，該攝食調查共分成 0-3 歲、3-6 歲、6-12 歲、12-16 歲、16-18 歲、16-65 歲及 65 以上歲等 7 個年齡群，攝食調查是依據該資料庫之「106 年國家攝食資料庫食物分類表」及「國民營養調查食物分類原則」進行。本計畫先盤整民國 106-110 年檢測之農產品種類品項，在進行國家攝食資料庫之食物分類品項的比對和歸類，最後以 21 個食品種類（表 47 第一欄）做為為攝入評估之攝食情境，本報告採用 108 年調查報告中「食品項攝食量計算結果」之平均值，並以每日攝食量之平均值乘上 365 日方式，直接將每日攝食量換算成年攝食量，所得之國人各年齡群攝食情境如表 47。本報告採用的攝食情境能反映出各個年齡群的攝食特性，評估結果應更能呈現全國各年齡群在攝入途徑之國民輻射劑量。

表 47. 國人各年齡群之年攝食量

單位：公斤/年

食品種類		攝食量 (資料庫分類)	0-3 歲	3-6 歲	6-12 歲	12-16 歲	16-18 歲	19-65 歲	>65 歲
	稻米	米類及製品	17.01	29.32	35.57	38.03	35.3	39.92	49
	麵粉	麥類及製品	7.11	13.48	20.31	24.48	27.39	22.56	20.91
	雜糧	雜糧類及製品	1.12	2.77	2.75	2.28	2.57	2.46	1.09
	豆類	豆類及製品、植物油	10.67	20.89	24.43	29.69	29.5	40.31	30.46
	雞肉	禽類及製品	3.34	6.34	11.23	12.34	13.36	11	3.85
	豬肉	豬及製品	7.46	21.24	28.32	32.38	31.96	30.94	21.67
	牛肉	牛及製品	0.3	1.34	3.17	5.45	6.22	3.91	1.45
	蛋類	蛋及製品	7.39	15.85	21.08	23.55	22.59	17.55	10.38
	奶類	鮮奶及製品	27.86	43.13	35.62	30.57	27.23	19.49	10.15
蔬菜	其他蔬菜	包菜、小菜及其他	15.34	34.55	48.63	50.66	47.71	82.43	103.71
	根菜類	根菜及製品	6.1	14.3	17.69	17.61	18.59	22.8	25.92
	菇類	菇類及製品	0.79	2.22	2.11	1.86	1.81	3.43	2.64
	海菜類	藻類、海菜及製品	0.32	0.83	1.08	1.04	0.84	1.12	0.66
水果	漿果類	大小漿果及製品	12.13	13.82	14.63	12.49	13.48	28.65	30.51
	柑橘類	柑橘及製品	1.15	2.47	2.28	3.37	2.81	4.97	4.49
	其他水果	其他水果	8.4	10.66	10.38	9.81	12	17.2	16.22
水產品	淡水魚類	淡水魚	0.44	0.56	0.81	0.81	1.11	1.51	2.45
	海水魚類	海水魚及魚類製品	5.16	6.69	7.71	8.01	8.37	12.28	14.61
	貝類	貝類及製品	0.51	0.71	0.97	0.8	1.22	1.23	0.61
	甲殼類	甲殼類及製品	1.06	1.99	2.66	3.18	3.14	3.16	1.76
	頭足類	頭足類及製品	0.11	0.22	1.01	1.23	2	1.89	0.77
總攝食量			133.77	243.38	292.44	309.64	309.20	368.81	353.31

資料來源：「國家攝食資料庫」108 年調查結果；本報告整理。

2. 體內曝露之個人平均有效劑量

體內曝露之評估就飲食方面攝入鉀-40、鈷系及鈾系元素及人造核種等因素造成之體內劑量說明如下：

(1) 鉀-40

鉀-40 在不考量各年齡及性別之組成比重，以國人 BMI 值推算出 16 歲以上成人之鉀-40 之體內劑量，男性和女性的鉀-40 體內曝露之年有效劑量(E_{EXP})平均分別為 0.161 及 0.132 毫西弗/年。

(2) 鈷系及鈾系元素

加馬計測的結果，大部分食品都測不到的鈷系及鈾系核種。1,384 個食品樣本僅有 8 個樣本測得鈷系核種，是在牛肉、雞蛋及海產品中的少數樣本測得，且含量都偏低。大部分食品中的鈾系元素之含量都非常低且不易測得，1,384 個食品樣本僅有 56 個樣本測得，包括根菜類、蛋類、甲殼類、貝類是較易測得鈾系列活度濃度的食品種類；其中，根菜類及海菜類的鈾-238 含量較高，這個結果與國外文獻類似。

日本的國民輻射劑量研究【31】發現，日本民眾因食品攝入鈷-210 的個人年有效劑量(E_{JP})為 0.73 毫西弗，是貢獻最多有效劑量的核種，佔了總攝食劑量的 91%，主要原因是日本人比歐美人消費了更多魚類和貝類，而魚貝類因鈷-210 含量高，也因此，日本人經由食品攝入的體內暴露劑量會較歐美人高。日本因海產類的攝食量大而有較高的鈷-210 攝食劑量，考量台灣民眾的攝食特性與日本相近，海鮮的食用量高且亦有食用內臟的習慣，為使國民輻射劑量評估結果更完整，本中心自民國 110 年起針對國人主要消費食品中的魚類、頭足類(如：花枝)、貝類、甲殼類(如：蝦蟹)等水產食品及豬、牛、雞、羊等禽畜類肉品及其內臟進行專案採樣，進一步探討國人攝入鈷-210 部份的攝入劑量；民國 110、111 年分別完成 63 件及 34 件食品之鈷-210 放射性核種含

量分析，共計完成 97 件。

97 個樣品中有 14 件小於儀器最低可測活度濃度(MDA 為 0.04 貝克/公斤)，以禽畜類動物肉品及其內臟類的樣本為主，4 個豬內臟(豬肝)樣本的鈾-210 活度濃度都小於儀器最低可測活度濃度；活度濃度超過 100 貝克/公斤的樣本有 11 件(110 年 8 件及 111 年 3 件)，都是屬水產品類的樣本，以魚類的內臟為主，涵蓋海水魚及淡水魚，而海水魚的內臟又高於淡水魚；另外，還有丁香魚及秋刀魚各 1 個樣本和 2 個甲殼類樣本測得活度濃度超過 100 貝克/公斤。整體而言，海鮮類之肉品及其內臟之鈾-210 放射性核種含量高於禽畜類動物之肉品及其內臟；水產品的部分，海水類水產品的鈾-210 放射性核種含量高於淡水類水產品，魚內臟會高於魚肉；陸域動物部分，國人常食用的禽畜類肉品包含豬、牛、羊、雞，又以羊肉及其內臟之鈾-210 放射性核種含量較其他品項的禽畜類肉類為高，除了豬內臟以外，禽畜類動物內臟的鈾-210 活度濃度也都會高於肉品本身。

為估算因攝食造成之鈾-210 之個人年有效劑量(E_{EXP})，本報告將 97 個樣本區分為雞肉、雞內臟、豬肉、豬內臟、牛肉、牛內臟、羊肉、羊內臟、淡水魚、淡水魚內臟、海水魚、海水魚內臟、頭足類、貝類及甲殼類等 15 類，以分別評估因攝食造成之個人年有效劑量(E_{EXP})；另考量整體之檢測數量較少，部分食品種類之鈾-210 放射性核種含量差異大，為求慎重，樣本數大於 2 個的品項，鈾-210 活度濃度會採去極值(最大值、最小)再取平均的方式處理後，再進行攝食劑量的計算。另考量動物內臟之攝取因人而異，故以食用與否兩個情境分別評估再取其平均；衛福部「國家攝食資料庫」之調查結果可個別提供各項禽畜類動物(豬、牛、雞、羊)等肉類及內臟之攝食量，因此，豬、牛、雞、羊等禽畜類動物產品可直接分別計算食用肉類及內臟的個別劑量；但該攝食資料庫並無法分別提供魚肉及魚內臟部分的每日攝食量，因此，魚肉及魚內臟水產品類的估算以攝食情境區分，分別假設

只吃肉(只吃魚肉、不吃魚內臟)及含吃內臟(會吃魚肉及魚內臟都吃)等兩個情境進行攝食劑量之估算，並假設有食用魚內臟習慣的人之食用頻次為每周 1 天；魚肉及魚內臟比例參考相關文獻【32、33】，食用魚以魚內臟比例為 6-10%(以 6%計)、魚肉比例 40-60%(以 60%計)之重量比例加權後再做評估。

劑量轉換因子分成小於 1 歲、1-2 歲、2-7 歲、7-12 歲、12-17 歲及大於 17 歲等 6 個不同年齡群，「國家攝食資料庫」之攝食情境可區分為 0-3 歲、3-6 歲、6-12 歲、12-16 歲、16-18 歲、16-65 歲及 65 以上歲等 7 個年齡群；經交叉配對劑量轉換因子及所適用的攝食情境後，可分成小於 1 歲、2-3 歲、3-6 歲、6-7 歲、7-12 歲、12-16 歲、16-17 歲、17-18 歲及 19-65 歲、大於 65 歲等 11 個年齡群分別推算攝入劑量。評估結果，各年齡群因攝入鈷-232 所造成之體內曝露之個人年有效劑量(E_{EXP})介於每年 7.06×10^{-6} 到 3.0×10^{-5} 毫西弗；鈾-238 部分，各年齡群因攝入所造成體內曝露之個人年有效劑量(E_{EXP})介於 2.22×10^{-4} 到 9.43×10^{-4} 毫西弗/年。

國人將豬、牛、羊、雞等禽畜類動物之內臟作為日常食材是相當普遍的，但動物內臟之食用習慣因人而異，為估算攝入途徑之個人年有效劑量(E_{Taiwan})，以食用與否兩個情境分別評估再取其平均；本報告以只吃肉類(只吃肉、不吃內臟)及有吃內臟習慣(肉及內臟都會吃)等兩個情境來區分不同年齡群之年攝食劑量，計算結果分別為 0.009 到 0.075 毫西弗/年及 0.009 到 0.074 毫西弗/年。水產品部分，國人雖有食用魚類內臟的習慣，但並非所有魚種的內臟都會被食用，且可食用的魚類內臟也不像豬牛羊雞這類陸域動物之內臟容易取得，故另假設有食用魚內臟習慣的人之食用頻次為每周 1 天。另考量國人魚類內臟之攝取因人而異，本報告以只吃動物肉類(只吃肉、不吃內臟)及有吃內臟習慣(肉及內臟都會吃)等兩個情境來區分不同族群之年攝食劑量，計算結果分別為 0.411 到 4.369 毫西弗/年及 0.442 到 4.608 毫西弗/

年。為評估國民輻射劑量，本報告另取兩個攝食情境之平均值計算出，國人各族群攝入鈾-210 之個人年有效劑量(E_{EXP})為 0.436 到 4.563 毫西弗/年。

(3) 人造核種

大部分食品樣本都測不到銫-137，即便測到銫-137 含量也都非常低；經統計，1,384 個食品樣本中，有 371 個樣本測到銫-137，大多是在海水魚類的樣本中檢出，約佔了 91%。因銥-90 是屬於純貝他核種，其分析需要複雜的化學萃取程序，故分析的食品種類及樣品數都較少，如：玉米、菇類、海菜類、貝類、甲殼類及頭足類的相關樣本都沒有進行過銥-90 分析；民國 106 至民國 110 年累計之銥-90 食品檢測樣本共計 319 個，計有 116 個樣本測到銥-90。

劑量轉換因子分成小於 1 歲、1-2 歲、2-7 歲、7-12 歲、12-17 歲及大於 17 歲等 6 個不同年齡之年齡群，「國家攝食資料庫」之攝食情境可區分為 0-3 歲、3-6 歲、6-12 歲、12-16 歲、16-18 歲、16-65 歲及 65 以上歲等 7 個族群；經交叉配對劑量轉換因子及所適用的攝食情境後，可分成小於 1 歲、2-3 歲、3-6 歲、6-7 歲、7-12 歲、12-16 歲、16-17 歲、17-18 歲及 19-65 歲、大於 65 歲等 11 個年齡群分別推算攝入劑量。

評估結果，各年齡群經由日常飲食攝入銫-137 所造成之年攝食劑量(E_{EXP})介於 1.34×10^{-5} 到 5.50×10^{-5} 毫西弗/年；銥-90 部分，不同年齡群之因攝入銥-90 所造成之體內曝露個人年攝食劑量(E_{EXP})介於 1.72×10^{-4} 到 8.42×10^{-4} 毫西弗/年。

3. 攝入之國民輻射劑量

本中心前版(民國 87 年版)之國民輻射劑量評估，體內曝露的評估係參考聯合國原子輻射影響科學委員會 (UNSCEAR) 及日本 1992 年版的「日本生活環境放射線 (国民線量の算定)」的作法，主要以人體內各器官之天然放射性物質活度，推算放射性物質含量在體內

的有效劑量，因國內數據缺乏，相關數據是直接引用日本在全身計測的研究資料或參考 UNSCEAR 1993 號報告。

本中心民國 87 年版之國民輻射劑量評估報告，天然核種的部分共計評估氫-3、碳-14、鉀-40、銣-87 及鉛 210+鈾-210 等 5 類，個別核種體內曝露造成之個人年有效劑量(E_{EXP})分別為 1.0×10^{-5} 毫西弗、 1.2×10^{-2} 毫西弗、0.154 毫西弗、 6×10^{-3} 毫西弗及 0.12 毫西弗，總計為 0.3 毫西弗/年。其中，僅鉀-40 之評估結果是引用台灣本身的數據(清華大學的全身計測調查以及本中心自行辦理之全身計測調查)，其餘核種的評估結果都是引用國外文獻。另該報告也透過消費食品的採樣，評估了國人透過食品攝入鋇-90、銫-137 兩個核種的體內曝露個人年有效劑量(E_{EXP})分別為 0.37 及 0.78 微西弗/年，國民輻射劑量(E_{Taiwan})合計約 0.0012 毫西弗/年。

本報告綜整 UNSCEAR 2000 報告、NCRP 第 160 號報告及日本環境省的「放射線による健康影響等に関する統一のな基礎資料」等國外最新文獻，參考日本之作法，以攝食法評估攝入放射性核種所造成體內曝露之國民輻射劑量，計算公式如下

$$\sum \frac{E_j \times P_j}{P_{total}} = E_{Taiwan}$$

E_i ：j 族群攝入該核種之年有效劑量(毫西弗/年)

P_i ：j 族群的人數 (人)

P_{total} ：總人口數 (人)

E_{Taiwan} ：國人每人因攝食各類消費性食品中所含放射性物質造成之國民輻射年劑量(mSv/y)

因為 UNSCEAR 2000 報告之全球民眾之個人平均年有效劑量(E_{global})、NCRP 第 160 號報告之美國全體國民平均年有效劑量(E_{US})及日本全體國民之平均年有效劑量(E_{JP})都是以成年人曝露劑量作為代表，為了能和上述報告相比，本報告也會以成年人之體內曝露劑量作為國民輻射劑量(E_{Taiwan})。成年人的定義則參考國際放射防護

委員會(ICRP)的做法【34】，ICRP 建議將代表性個人之年劑量分為嬰兒、孩童及成年人三個年齡群，三個年齡群的年齡分別為 0 至 6 歲、6 至 16 歲及 16 至 70 歲，本報告會將 16 至 70 歲年齡群之體內曝露劑量納入國民輻射劑量(E_{Taiwan})做計算評估。

(1) 人口統計數據

人口的數據則來自內政部人口調查統計【35】，將小於 1 歲、2-3 歲、3-6 歲、6-7 歲、7-12 歲、12-16 歲、16-17 歲、17-18 歲及 19-65 歲、大於 65 歲等 11 個年齡群的年攝食劑量乘上該群之人口數占比(即 P_j/P_{total})，加總後即為食品攝入體內曝露之國民輻射劑量評估結果，本報告所用的人口數是 110 年 12 月年之統計數據；男性共計 1,157 萬 8,696 人、女性共計 1,179 萬 6,618 人，合計 2,337 萬 5,314 人；因攝食導致的體內曝露之國民輻射劑量(E_{Taiwan})會以 16 至 70 歲之年齡群之進行評估，依攝食情境再細分成四個年齡群，並以此四個年齡群之人口加權占比推算國民輻射劑量。

(2) 體內曝露之輻射劑量推算

本報告利用 NCRP 公式推算國人鉀-40 體內劑量，在考量各年齡及性別之人口組成，依人口比例加權計算國人 BMI 值推算出 16 歲以上成人之鉀-40 之體內劑量，男性和女性的鉀-40 體內曝露之個人年有效劑量(E_{EXP})平均值分別為 0.167 及 0.136 毫西弗/年，整體成人(不含 16 歲以下人口)之國民輻射劑量(E_{Taiwan})為 0.152 毫西弗/年。

考量各年齡層的攝食差異及人口比例，以攝食法計算出因攝食鈾-232、鈾-232、鈾-238、銫-137、銥-90 及鈾-210 等 5 個核種之體內劑量如表 48、49，評估所造成之國民輻射劑量(E_{Taiwan})為每年 0.00001 毫西弗、0.0003 毫西弗、0.564 毫西弗、0.00005 毫西弗、0.00032 毫西弗，攝入這 5 個核種導致體內曝露的國民輻射劑量(E_{Taiwan})為每年 0.519 毫西弗，以鈾-210 最高。

表 48. 攝食法估算之國民輻射劑量

年齡群分類		16-17 歲	17-18 歲	19-65 歲	>65 歲	國民 輻射劑量 E_{Taiwan} (毫西弗)
16 歲以上 人口占比		1.08%	1.12%	78.18%	19.62%	
個人 年有效劑量 E_{EXP} (毫西弗)	鈷-232	1.87E-05	1.26E-05	1.29E-05	7.41E-06	1.18E-05
	鈾-238	3.96E-04	2.66E-04	2.99E-04	2.88E-04	2.97E-04
	鈾-210	0.721	0.541	0.595	0.436	0.564
	銻-137	4.13E-05	4.13E-05	5.50E-05	5.37E-05	5.44E-05
	銻-90	7.29E-04	2.55E-04	3.25E-04	2.80E-04	3.20E-04

因攝食導致體內曝露之國民輻射劑量加總結果如表 49。其中，天然核種碳-14 因與年份差異不大，且目前國際上仍建議以全身計測或器官劑量推估的方式進行評估，故沿用本中心前版(民國 87 年版)之國民輻射劑量評估之評估數據；其餘核種因攝食造成之體內曝露劑量均已更新為本報告的重新評估數據。

表 49. 我國因攝食導致之體內輻射劑量

核種種類		國民輻射劑 E_{Taiwan} (毫西弗)	占比(%)
天然 核種	鉀-40	0.152	20.86%
	鈷-232	1.18E-05	0.00%
	鈾-238	2.91E-04	0.04%
	鈾-210	0.564	77.40%
	碳-14	0.012*	1.65%
人造 核種	銻-137	5.44E-05	0.01%
	銻-90	3.20E-04	0.04%
合計		0.729	100.00%

*備註：國民輻射劑量之評估研究報告(1998)，輻射偵測中心。

我國在攝食曝露的國民輻射劑量(E_{Taiwan})為每年0.73毫西弗。以鈾-210之0.564毫西弗/年最高，在整體攝食曝露劑量之占比為77.4%；其次是鉀-40之0.152毫西弗/年，占比為20.9%；碳-14之體內曝露劑量0.012毫西弗/年，占比約為1.7%；其餘核種所貢獻之年有效劑量總和約為0.68微西弗，不到0.001毫西弗，其攝食曝露劑量占比約只有整體攝食劑量的0.1%。

在攝食劑量貢獻比例較高的鈾-210和鉀-40都是天然核種，是攝食劑量最主要的來源，占比超過98%；鈾系及鈾系為天然核種，本報告僅評估鈾-210、鈾-232、鈾-238等3個核種，約佔整體攝食曝露的75%，依據國際上的相關研究，鐳-226、鉛-210也都是鈾系及鈾系核種可能貢獻較高劑量來源的核種，但受限於現有數據，本報告並未納入評估，若有相關數據，未來或可進一步探討。人造核種銫-137及銨-90部分，兩者攝食導致之國民輻射劑量(E_{Taiwan})合計為0.37微西弗/年，約佔整體攝食曝露劑量的0.05%；與本中心前版(87年版)之國民輻射劑量評估之評估結果(兩者合計1.2微西弗/年)相比，已有明顯下降。

(3) 與其他國家之比較

彙整本報告的評估結果，與日本、UNSCEAR 2000報告及NCRP第160號報告之體內曝露輻射劑量評估結果，透過攝食途徑造成之體內曝露劑量比較如表50。

台灣地區經由攝食途徑導致體內曝露之個人平均年有效劑量(E_{Taiwan})，亦即國民輻射劑量(E_{Taiwan})，為0.73毫西弗/年，雖低於日本的0.99毫西弗/年，但高於全球平均值0.29毫西弗/年，主要的差異來源在鈾-210的攝取劑量，台灣和日本都是喜食海鮮和有食用動物內臟習慣的國家，故以攝食法評估，以這樣的評估

結果反應台灣的飲食特性；鈾系列及鈾系列核種的攝取主要是與地質有關，透過食物鏈累積在各類食品中，我國的評估結果較日本及全球都低；至於在人工核種的部分，也是遠低於日本的攝食劑量。UNSCEAR 和美國並未在背景輻射體內曝露部分討論人造核種的劑量，該部分主要是併在產業活動中的核設施做討論。上述評估結果將作為後續更新國民輻射劑量中天然背景體內曝露劑量的參考。詳細評估過程請參閱本中心技術文件 RMC-111-312Rev1 國人攝食導致的體內輻射曝露劑量評估-112 年修正版。

表 50. 攝食曝露年有效劑量之比較

單位:毫西弗/年

核種分類		台灣	日本 ^{*2、*3}	全世界 ^{*4}	美國 ^{*5}
天然核種	鉀-40	0.152	0.18 ^{*2}	0.17	0.15
	鈾-232	1.28E-05	3.90E-04 ^{*3}	3.80E-04	0.13
	鈾-238	3.07E-04	6.70E-04 ^{*3}	2.50E-04	
	鈾-210	0.564	0.73 ^{*3}	0.070	-
	鉛-210	-	0.058 ^{*3}	0.021	
	鐳-226	-	0.012 ^{*3}	0.006	
	鐳-228	-	-	0.011	
	碳-14	0.012 ^{*1}	0.014 ^{*2}	-	0.01
人造核種	銻-137	5.62E-05	7.80E-04 ^{*3}	-	-
	銻-90	3.32E-04	1.70E-03 ^{*3}	-	-
合計		0.73	0.99 ^{*2}	0.29	0.29

*備註：1. 國民輻射劑量之評估研究報告(1998)，表 1.20 (P. 42)；本報告整理。

2. 放射線による健康影響等に関する統一のな基礎資料(令和3年度版)上卷, P. 66；本報告整理。

3. Evaluation for Committed Effective Dose Due to Dietary Foods by the Intake for Japanese Adults (2009)，表 4；本報告整理。

4. UNSCEAR 2000 報告(2000) AnnexB, 表 18 (P. 127)；本報告整理。

5. NCRP160 號報告(2009), 表 3-14(P. 75)；本報告整理。

(四) 背景輻射-氡氣吸入

氡氣(radon)是一種無色無味的惰性氣體，具放射性，主要是從土壤及岩石中的鈾系及釷系元素衰變後形成，因是氣態所以會逸散釋放在空氣中。氡氣衰變伴隨阿伐(α)粒子，吸入肺部後對其組織造成不小輻射劑量。因阿伐粒子穿透力不強，皮膚即可阻擋，造成之體外輻射劑量通常可以忽略。但若藉由呼吸吸入體內，阿伐粒子會在短距離內具有大量能量沉積，對於肺部組織細胞造成嚴重傷害。放射性氡氣主要分為氡-222(Rn-222)及氡-220(Rn-220)，氡-222的半化期約3.8天，從鈾系元素衰變鏈中可知氡-222是鈾-238、鐳-226的衰變產物；其中因氡-222半化期較長，較氡-220更易在室內累積，故主要造成氡氣劑量的來源為氡-222。

國際放射防護委員會(ICRP)在2007年發佈之第103號報告【36】中，以年有效劑量10毫西弗(mSv)作為參考基準，由有效劑量推導出住宅室內氡氣之參考基準為每立方公尺600貝克(Bq/m³)、工作場所室內氡氣之參考基準為每立方公尺1500貝克(Bq/m³)。ICRP在2010年發佈之第115號報告【37】，主要是針對氡及其子核對肺癌的風險(Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon)，報告中針對氡氣依流行病學調查結果，提升氡氣風險係數(risk coefficient)為原本2倍，因此在氡氣聲明(Statement on Radon)【38】中，將住宅室內氡氣之參考基準降為每立方公尺300貝克(Bq/m³)、工作場所室內氡氣之參考基準降為每立方公尺1000貝克(Bq/m³)。ICRP在2014年所發佈之第126號報告【39】，主要是針對氡氣曝露之輻射防護(Radiological Protection against Radon Exposure)，報告中建議室內氡氣之參考基準為每立方公尺100貝克(Bq/m³)，最高不大於每立方公尺300貝(Bq/m³)。各國國際組織室內氡氣標準彙整如表51。

表 51. 各國國際組織的室內氡氣標準

國際組織	年份	名稱	數值
美國環境保護署 (U.S. EPA)	2003	建議行動基準 (recommended action level)	4 pCi/L (150 Bq/m ³)
世界衛生組織(WHO)	2009	參考基準 (reference level)	100 Bq/m ³
國際放射防護委員會 (ICRP)第 103 號報告	2007	參考基準 (reference level)	住宅：600 Bq/m ³ 工作場所：1500 Bq/m ³
國際放射防護委員會 (ICRP)第 115 號報告	2010	參考基準 (reference level)	住宅：300 Bq/m ³ 工作場所：1000 Bq/m ³
國際放射防護委員會 (ICRP)第 126 號報告	2014	參考基準 (reference level)	100~300 Bq/m ³

各國國際組織對於氡氣曝露的劑量轉換因子有不同的建議值，對於評估體內劑量而言，不同劑量轉換因子會換算出不同的年輻射劑量。國際放射防護委員會(ICRP)於 2010 年公告之第 115 號報告「Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon」，報告中依氡氣依流行病學調查結果，提升氡氣風險係數(risk coefficient)，由 2.8×10^{-4} 升至 5×10^{-4} per WLM，約為原本 2 倍。ICRP 另於 2014 年公告之第 126 號報告「Radiological Protection against Radon Exposure」，是根據第 115 號報告中所提出之氡氣風險，重新評估氡氣劑量。ICRP 於 2017 年公告之第 137 號報告「Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3」，報告中更新氡氣對工作人員的體內劑量轉換因子，假設氡-222 與子核之間的平衡因子為 0.4，標稱劑量轉換因子(nominal dose conversion coefficient)為 6.7×10^{-6} (mSv/h)/(Bq/m³)，如果是在洞穴工作或是室內進行體力活動的工作人員，則劑量轉換因子會提高至 1.3×10^{-5} (mSv/h)/(Bq/m³)。

承上，ICRP 第 65 號報告及 ICRP 第 126 號報告 ICRP 第 137 號報告之評估結果比較如表 52，評估參數均以住宅活動時間為每

年 7000 小時、平衡因子為 0.4 進行估算；因風險係數之提高，，ICRP 第 65 號報告及 ICRP 第 126 號報告之差異，同樣是個人年有效劑量(E_{EXP})10 毫西弗(mSv)，氡氣活度濃度由每立方公尺 600 貝克(Bq/m^3)降至每立方公尺 300 貝克 (Bq/m^3)。ICRP 第 137 號報告進一步調高了劑量轉換因子，以工作場所氡氣活度濃度每立方公尺 300 貝克 (Bq/m^3)之空間，所受的個人年有效劑量(E_{EXP})相當於 4 毫西弗(mSv)。住宅之氡氣活度濃度每立方公尺 300 貝克 (Bq/m^3)，個人年有效劑量(E_{EXP})會由 10 毫西弗提高到 14 毫西弗(mSv)；ICRP 第 137 號報告主要是針對工作人員職業曝露提供攝入/吸入劑量轉換因子的建議值，並不是針對一般民眾；但比照之前 ICRP 第 126 號報告所建議的職業防護，都是將工作場所設定與住宅相同的合理干預水平，故初步推斷後續發表有關一般民眾的體內劑量轉換因子也會參採同樣的風險值，故本計畫採用 ICRP 第 137 號報告之劑量轉換因子。

表 52. ICRP 氡氣劑量評估之比較

參考文獻	類型	氡氣活度濃度 貝克/立方公尺 (Bq/m^3)	個人年有效劑量 (E_{EXP}) 毫西弗(mSv)
ICRP 第 65 號報告	住宅 (home)	600	10
ICRP 第 126 號報告		300	10
ICRP 第 137 號報告		300	14
	工作場所 (work)	300	4

為了瞭解臺灣室內氡氣情形，本中心針對國內室內氡氣進行調查，量測方法主要參考美國國家標準(ANSI)發布之量測室內氡氣及其衰變產物之建議【40、41】。執行量測氡氣時之儀器擺放建

議如圖 26，儀器擺放需距離門 90 公分以上、距離地板 50 公分以上、距離牆壁 30 公分以上，並距離其他儀器 10 公分以上，以避免互相干擾。儀器不宜擺放設置在浴室、廚房、櫥櫃、水槽旁、陽光直曬、高氣流、熱源、輻射源旁…等，避免儀器偵測失效。此外，若室內空間超過 189 平方公尺、不同通風系統之房間及獨立區域，則建議添加偵測儀器分別量測。

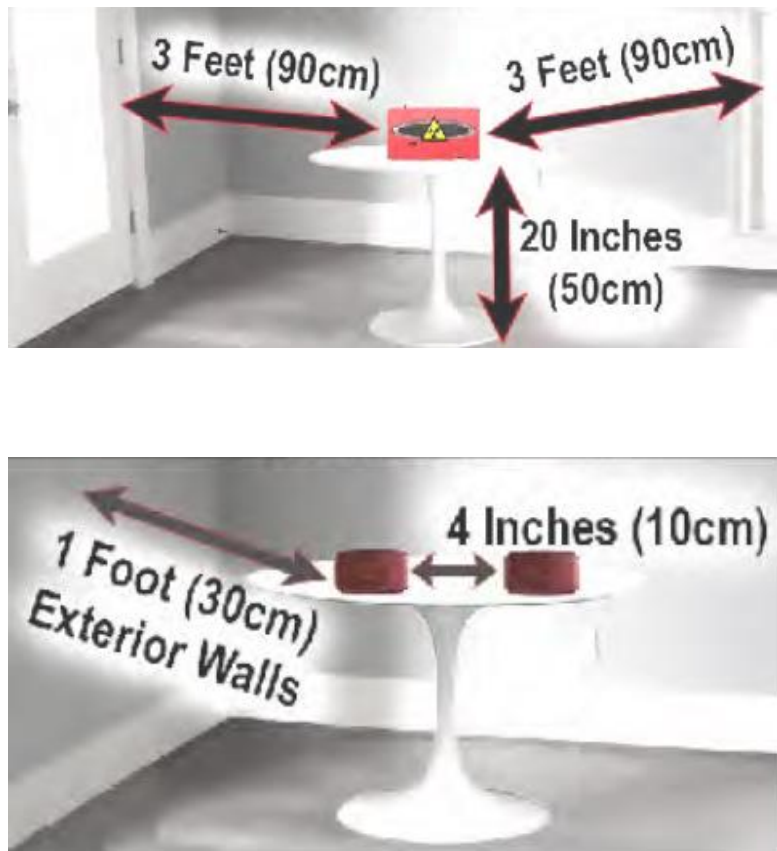


圖 26. 氡氣量測儀器擺放建議

民國 104 至 106 年本中心委託義守大學執行「臺灣地區住宅氡氣活度擴大量測與劑量再評估」研究計畫之調查結果【42】，加上本中心民國 108 至 110 年陸續赴陳情民眾住宅執行氡氣量測服務之偵測數據，共計累積 293 戶住宅氡氣活度濃度量測結果。多數住宅不論是客廳還是臥房，氡氣活度濃度分布都在每立方公尺

35 貝克(Bq/m³)以下，約佔整體之 9 成；以活度濃度每立方公尺 10~15 貝克(Bq/m³)最多，客廳部分次其次是每立方公尺 5~10 貝克(Bq/m³)，臥房部分則是以每立方公尺 15~20 貝克(Bq/m³)次之。

表 53 為本中心彙整民國 104 至 106 年執行「臺灣地區住宅氬氣活度擴大量測與劑量再評估」計畫量測數據及本中心民國 108-110 年赴民眾住家執行氬氣量測服務之量測結果，顯示臥房之氬氣平均活度濃度(每立方公尺 20.09 貝克)略高於客廳(每立方公尺 18.90 貝克)，推測原因為臥房通風狀況通常較客廳差。本報告沿用「臺灣地區住宅氬氣活度擴大量測與劑量再評估」研究計畫之評估方法，考量國民室內活動時間占 9 成以上，依此估計臥房之占用因子以每天 8 小時、其他房間(含辦公室)以每天 14 小時計、戶外活動以每天 2 小時計；依據本中心民國 104-110 年之氬氣量測調查數據，臺灣地區一般住宅的室內氬氣平均活度濃度為每立方公尺 19.33 克；計算過程如下：

$$(18.90 \times 14 + 20.09 \times 8) / 22 = 19.33 \text{ (單位: Bq/m}^3\text{)}$$

參採 2017 年 ICRP 第 137 號報告的劑量轉換因子，推估氬氣吸入造成個人年有效劑量(E_{EXP})為每年 0.90($19.33/300 \times 14 = 0.902$)毫西弗(mSv)，亦即國民輻射劑量(E_{Taiwan})為每年 0.9 毫西弗。

表 53. 台灣住宅氬氣量測結果

	104-106 年 量測數據*		108-110 年 量測數據		合計	
	量測數 (點次)	平均 濃度 (Bq/m ³)	量測數 (點次)	平均 濃度 (Bq/m ³)	量測數 (點次)	平均 濃度 (Bq/m ³)
客廳	289	18.8	4	23.9	293	18.86
臥室	289	20.3	8	17.49	294	20.26

*資料來源：「臺灣地區住宅氬氣活度擴大量測與劑量再評估」研究計畫期末報告，2017；本中心整理。

本中心 87 年版之國民輻射劑量評估報告，測得台灣室內氡氣活度濃度為 10 ± 4 貝克/立方公尺(Bq/m^3)，估算出因氡氣曝露造成之國民輻射劑量(E_{Taiwan})為 0.36 毫西弗。與本計畫評估結果的差異最主要是氡氣劑量轉換因子的調整；此外，量測儀器的差異也會影響量測的結果。

台灣氡氣吸入造成個人年有效劑量，亦即國民輻射劑量(E_{Taiwan})為每年 0.90 毫西弗，與國際現況相比如表 54。我國氡氣活度濃度量測結果較國際上數值低，主要原因為臺灣位處亞熱帶潮濕、高溫，地質條件在鈾、鈾系元素含量上並無特殊性，且臺灣建築物主要為鋼筋混凝土造成，住宅室內重視通風所致。國內目前並未針對室內氡氣之活度濃度訂定相關之管制規定，而國際組織針對氡氣活度濃度標準僅作為建議值，本報告之完成，可做為相關主管機關是否將氡氣活度濃度納入法令管制之主要參考依據。詳細評估過程請參閱本中心技術文件 RMC-111-313Rev1 國人住宅氡氣輻射劑量評估-112 年修正版。

表 54. 各國之氡氣吸入背景輻射劑量

單位：毫西弗(mSv)

種類	全球 (E_{global})	美國 (E_{US})	日本 (E_{JP})	台灣 (E_{Taiwan})
國民輻射劑量 ($E_{\text{population}}$)	1.26	2.28	0.46	0.90

(五) 醫療輻射

在人造游離輻射劑量中，對民眾貢獻來源最大的是來自醫療曝露。自 20 世紀初發現放射核種和 X 光，游離輻射很快地被用於醫學上，現在已被確立為醫學診斷和治療的重要工具。過去幾十年間，因醫療影像設備與成像技術快速發展，輻射在醫學上的使用率顯著增長，無論在歐洲、美國還是台灣都有類似的成長趨勢，透過分析健保資料庫的醫療輻射檢查的人次，發現台灣的年平均成長率約 8.2%。

本計畫委託財團法人中華民國輻射防護執行醫療輻射造成台灣整體國民輻射劑量評估研究，透過全民健康保險研究資料庫取得各種類別的檢查項目的人次，若有檢查項目未涵蓋於全民健康保險研究資料庫的部分，則需配合其他相關資料庫以補足。另需赴醫療院所進行實地調查，取得各種類別醫療作業中的檢查項目與檢查序列其技術條件設定、臨床實際掃描方法等資訊，再以實地量測方式，包含：劑量輸出測量，以確定劑量評估的準確性等，並計算出各種醫療輻射類別的檢查項目有效劑量。藉由本計畫調查研究方法，了解醫療輻射造成台灣整體國民輻射劑量之情形，建立完整的國民醫療輻射劑量資料，未來亦可利用此資料評估國民醫療輻射運用的變化趨勢。

執行國民醫療輻射劑量評估，經過醫療院所與健保資料庫調查後修正為下列 8 種放射診斷之醫療輻射類別，共 51 個檢查項目劑量評估，分項說明如下：

1. 電腦斷層：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，共 11 項。
2. 核子醫學：壓力與重分佈心肌斷層灌注掃描、全身骨骼掃描、全身炎症掃描、心室搏出分率及心室壁活動測定、正子造影-全身、

其他項，共 6 項。

3. 心臟類介入性透視攝影：心室及動脈攝影、冠狀動脈擴張術（含血管內／心臟內異物移除術）、主動脈氣球裝置術、心律不整經導管燒灼術、電氣生理檢查、其他項，共 6 項。
4. 非心臟類介入性透視攝影：經皮血管內血管成形術、血管阻塞術、經皮穿肝膽管引流術（含修正術）、皮下穿刺腎造瘻術、逆行性膽道及胰管造影、其他項，共 6 項。
5. 傳統透視攝影：靜脈注射泌尿系統造影術、下消化道攝影、上消化道攝影、食道攝影、小腸系統、子宮輸卵管造影、其他項，共 7 項。
6. 一般傳統 X 光：頭頸部、胸肩部、腹部（含骨盆腔）、腎臟-輸尿管-膀胱、脊椎、上肢、下肢，共 7 項。
7. 乳房攝影：一般乳房攝影、放大乳房攝影，共 2 項。
8. 牙科攝影：根尖周、咬翼式、咬合片、齒顎全景、測顱、顱顎關節（單側），共 6 項。

本報告的執行流程如圖 28，包含三大部分：（一）前期準備、（二）模型建立、（三）劑量評估，涵蓋八類國民醫療輻射劑量評估流程，其中表 55 為執行計畫後滾動修正的全程計畫分年進度表。

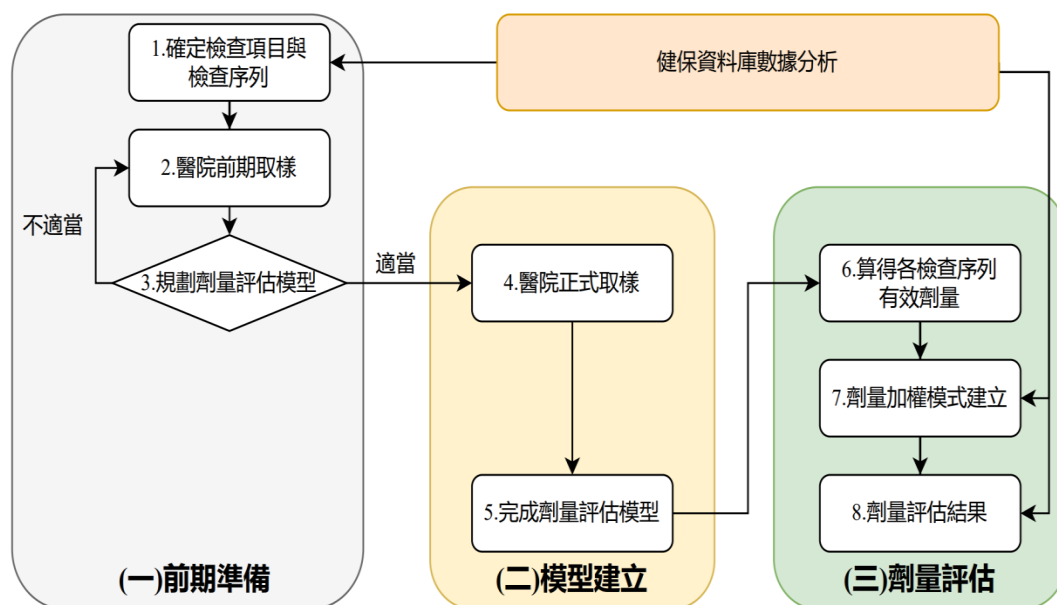


圖 27. 醫療輻射劑量評估流程

表 55. 醫療委託研究之計畫分年進度表

項次	項目	108 年	109 年	110 年
I	健保資料庫資料分析：1. 了解健保資料庫的代碼及取得與 8 種類別對應的人次，2. 健保資料庫的人次趨勢評估，3. 精進健保資料庫的人次評估。	I.1	I.2	I.3
II	取樣醫院檢查序列調查：12 家醫院、96 個診療部門，包含：1. 電腦斷層，2. 核子醫學，3. 心臟類介入性透視攝影，4. 非心臟類介入性透視攝影，5. 傳統透視攝影，6. 一般傳統 X 光，7. 乳房攝影，8. 牙科攝影。	2 家醫院、16 個診療部門 (II.1 ~ II.8)	6 家醫院、48 個診療部門 (II.1 ~ II.8)	4 家醫院、32 個診療部門 (II.1 ~ II.8)
III	建構劑量評估模型，包含：1. 電腦斷層，2. 核子醫學，3. 心臟類介入性透視攝影，4. 非心臟類介入性透視攝影，5. 傳統透視攝影，6. 一般傳統 X 光，7. 乳房攝影，8. 牙科攝影。	III.3 ~ III.5, III.8	III.1 ~ III.2, III.6 ~ III.7	精進與微調

IV	推算集體有效劑量，包含：1. 電腦斷層，2. 核子醫學，3. 心臟類介入性透視攝影，4. 非心臟類介入性透視攝影，5. 傳統透視攝影，6. 一般傳統 X 光，7. 乳房攝影，8. 牙科攝影。	-	IV. 1， IV. 7	IV. 2~IV . 6，IV. 8
V	彙整劑量資料：1. 國民醫療輻射劑量總彙整，2. 建立台灣醫療輻射檢查項目劑量資料庫。	-	-	V. 1， V. 2
VI	建置醫療劑量網站：1. 設計構想台灣醫療輻射類別劑量網站，2. 建立台灣醫療輻射類別劑量網站。	-	VI. 1	VI. 2

取得醫院的實地調查數據，因涉及醫院第一線醫療作業，取樣流程繁瑣，包含：(1) 決定目標醫院，需時 1 週、(2) 聯繫拜訪並說明計畫內容，需時 2 至 3 週、(3) 完成醫院同意取樣的行政流程，需時 4 至 8 週、(4) 到院實地取樣，需時 3 至 4 週，一家醫院總體時間約需達 3 至 4 個月。除了取樣醫院序列調查外，再加上後續有效劑量計算與劑量評估，需時 4 至 8 週，一家醫院從聯繫到計算完成總體時間約需達 5 至 6 個月。

八種類別皆會取得底下 3 種資訊：

1. 醫院基本資料：記錄資料包括醫院名稱、醫院分級、設備台數。
2. 設備相關資訊：記錄資料包括設備廠牌、設備型號、設備序號、登記字號、裝機年份、新機或移機、設置部門。
3. 取樣人次統計：記錄資料包括檢查項目的取樣人次。

再依據各種類別檢查取樣相關參數資料：

1. 電腦斷層：記錄資料包括檢查日期、檢查項目、性別、年齡、身高、體重、設備名稱、掃描範圍、旋轉時間、重組厚度、Scan

- mode、AEC、kV、Beam width、Beam collimation、Table feed、Slice thickness、Pitch、CTDIvol、mAs、Scan time、DLP。
2. 核子醫學：記錄資料包括檢查日期、檢查項目、性別、年齡、身高、體重、放射性藥物種類、放射性藥物活度、SPECT、PET/CT、設備名稱、掃描範圍、旋轉時間、重組厚度、Scan mode、AEC、kV、Beam width、Beam collimation、Table feed、Slice thickness、Pitch、CTDIvol、mAs、Scan time、DLP。
 3. 心臟類介入性透視攝影：記錄資料包括檢查日期、檢查項目、性別、年齡、身高、體重、設備名稱、總透視時間、DAP、Air Kerma、FOV、SID、kV、mA、Tube 角度、filter、Single/bi plane。
 4. 非心臟類介入性透視攝影：記錄資料包括檢查日期、檢查項目、性別、年齡、身高、體重、設備名稱、總透視時間、DAP、Air Kerma、FOV、SID、kV、mA、Tube 角度、filter、Single/bi plane。
 5. 傳統透視攝影：記錄資料包括檢查日期、檢查項目、性別、年齡、身高、體重、設備名稱、總透視時間、DAP、Air Kerma、FOV、SID、kV、mA、mAs、Tube 角度、filter。
 6. 一般傳統 X 光：記錄資料包括檢查日期、檢查項目、性別、年齡、身高、體重、設備名稱、DAP、FOV、SID、kV、Tube 角度、filter。
 7. 乳房攝影：記錄資料包括檢查日期、檢查項目、性別、年齡、身高、體重、設備名稱、照射張數、左/右乳房、乳房厚度、平均乳腺劑量。

8. 牙科攝影：記錄資料包括檢查日期、檢查項目、性別、年齡、身高、體重（體型）、設備名稱、FSD、SID、DAP、Tube 角度、filter、Cone 大小、Cone 形狀、kV、mA、time。

劑量評估模型建構流程如圖 29，前置流程包含：蒐集、閱讀、整理國際相關文獻資料，購置、交貨、驗收劑量模擬軟體，本報告使用劑量模擬軟體包含 CT-expo 軟體、PCXMC 軟體。

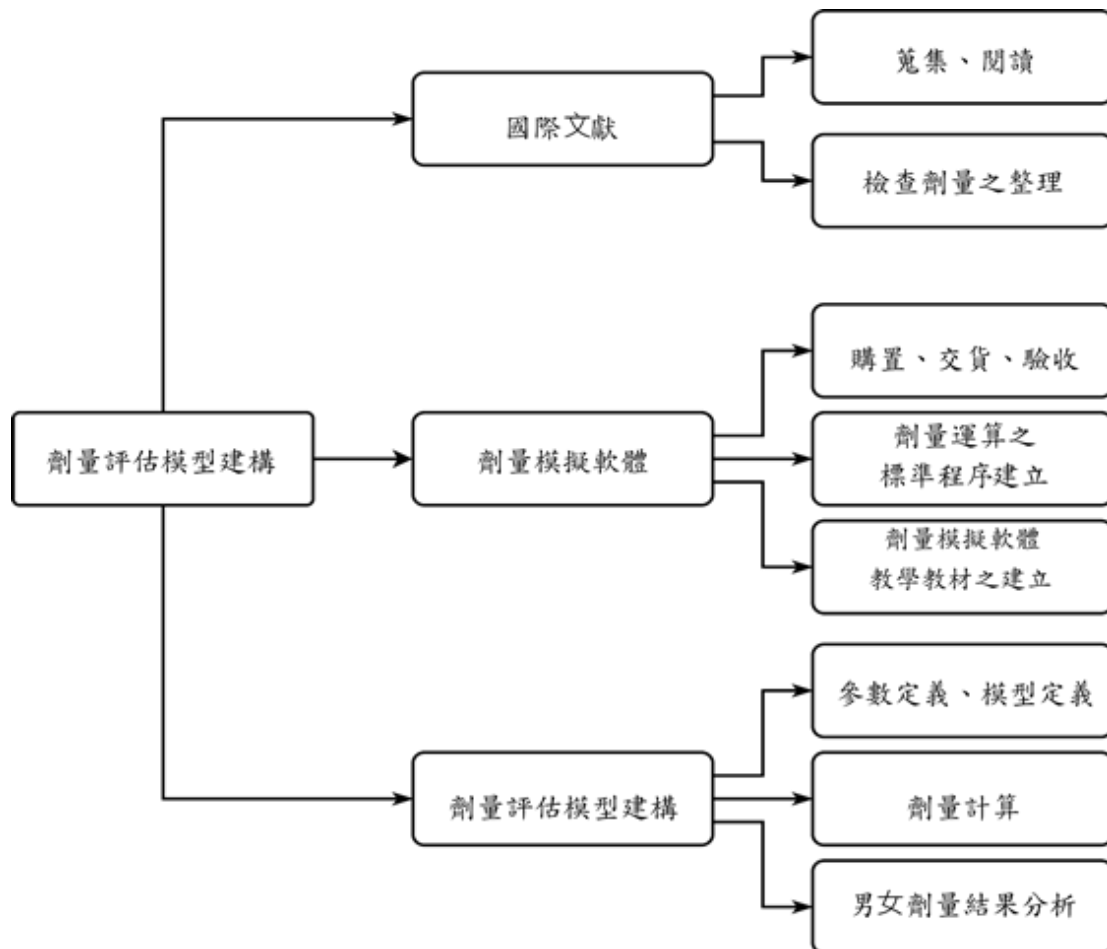


圖 28. 醫療劑量評估模型建構流程

劑量評估包含依序從檢查序列、檢查項目、集體有效劑量、每人年平均劑量的推算過程。

依據醫院 (i)、類別檢查項目 (j)、檢查序列 (k) 等三個取樣

層級，分層取樣後，計算並得到其有效劑量的分佈，因劑量分佈並非呈現常態分佈，故將選用其中位數代表此檢查序列的有效劑量(E_{ijk})，以執行後續人次加權和集體有效劑量計算，步驟說明如公式 (a) 至 (d)，符號公式如表 56。

首先於指定*i*醫院，針對指定的*j*類別檢查項目，得到不同檢查序列 (*k*) 的取樣人次 (n_{ijk})，以加權其檢查序列的有效劑量 (E_{ijk})，並加總後得到對應指定*i*醫院、指定的*j*類別檢查項目的有效劑量 (E_{ij})，則：

$$E_{ij} = \frac{\sum_k n_{ijk} E_{ijk}}{\sum_k n_{ijk}}$$

其後，依據上述有效劑量 (E_{ij})，以各醫院 (*i*) 指定類別檢查項目 (*j*) 的取樣人次 (n_{ij})，進行有效劑量 (E_{ij}) 的加權計算，而得到指定*j*類別檢查項目下訪查的有效劑量 (E_j)，則：

$$E_j = \frac{\sum_i n_{ij} E_{ij}}{\sum_i n_{ij}}$$

將上述各類別檢查項目的有效劑量 (E_j)，分別乘上 106 年健保資料庫其檢查項目人次 (N_j)，以得到該類別檢查項目的集體有效劑量 ($S_j = N_j E_j$)，將集體有效劑量進行加總，以得到對應之集體有效劑量總和 ($\sum_j N_j E_j$)。

為選取最具代表性的檢查序列 (*k*) 來作為調查項目，選定原則為該檢查序列劑量貢獻較高、人次較多、或集體劑量顯著，遂依據 NCRP 報告與相關文獻之類別檢查項目的有效劑量，其分別乘上 106 年健保資料庫其檢查項目人次 (醫療輻射檢查項目人次)，試算其集體有效劑量總和，並選取其集體有效劑量總和 90% 以上所包含的 *k* 個檢查序列，作為檢查序列的選定標準。不同類別試算其集體有效劑量總和占 106 年集體有效劑量總和 *R* % 的 *k* 個檢查序列皆不盡相

同，因此集體有效劑量總和需除以 $R\%$ 以修正之 (S)，則：

$$S = \frac{\sum_j N_j E_j}{R\%}$$

最後再除以 106 年之台灣總人口數 (P) 以得之台灣每人年平均劑量 (E_{Taiwan})，則：

$$E_{\text{Taiwan}} = \frac{S}{P}$$

表 56. 醫療劑量計算符號公式

變數 k ：檢查序列 變數 j ：檢查項目 變數 i ：取樣醫院	$n_{ij} = \sum_k n_{ijk}$	$N_j = \sum_k N_{jk}$
參數 n ：醫院取樣人次 參數 N ：健保資料庫檢查人次 參數 E ：有效劑量 參數 R ：集體有效劑量總和占比 參數 P ：台灣總人口數 參數 E_{TW} ：台灣每人年平均劑量	<u>取樣醫院的人次計算</u> i 醫院的 j 檢查項目之取樣人次，為加總 k 檢查序列的取樣人次和	<u>健保資料庫的人次計算</u> j 檢查項目之總人次，為加總 k 檢查序列的人次和

利用 JMP 統計軟體，分析調查 51 個檢查項目對應檢查序列的取樣醫院數、取樣人次、同家醫院不同檢查序列有效劑量之中位數的最小值、最大值，以及加權結果。

劑量評估模型包含了檢查項目的選擇、計算參數選擇與假設，並搭配劑量模擬軟體，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。本

計畫將 8 種醫療輻射類別之劑量評估方式分成 3 個：（一）取樣調查劑量數據、（二）國際報告劑量轉換因數、（三）評估劑量模擬軟體，如表 57，並建立各對應之劑量評估模型。

表 57. 醫療劑量評估方式

類別	檢查項目	檢查序列	劑量評估模型	劑量評估方式	
1. 電腦斷層	11	23	23	劑量模擬軟體	CT-Expo 軟體
2. 核子醫學	6	12	12	國際報告劑量轉換因數	ICRP 106 號報告
3. 心臟類介入性透視攝影	6	26	6	劑量模擬軟體	PCXMC 軟體
4. 非心臟類介入性透視攝影	6	13	11	劑量模擬軟體	PCXMC 軟體
5. 傳統透視攝影	7	10	8	劑量模擬軟體	PCXMC 軟體
6. 一般傳統 X 光	7	35	69	劑量模擬軟體	PCXMC 軟體
7. 乳房攝影	2	4	4	取樣調查劑量數據	取樣調查劑量數據
8. 牙科攝影	6	17	22	劑量模擬軟體	PCXMC 軟體
小計	51	140	155		

基於 NCRP 報告與相關文獻關於 6 種（電腦斷層、心臟類介入性透視攝影、非心臟類介入性透視攝影、傳統透視攝影、一般傳統 X 光、牙科攝影），以劑量模擬軟體的方式進行劑量評估，因此本計畫亦參考其方式評估劑量。其中劑量模擬軟體又可以細分成 2 類：CT-Expo 軟體、PCXMC 軟體。

CT-Expo 軟體為德國團隊所開發的劑量計算軟體，透過蒙地卡羅模擬與訪查資料庫建構而成，用於電腦斷層的劑量評估，根據部位決定檢查項目的掃描範圍，不同檢查序列的實際掃描參數去建立相關的劑量評估模型。

PCXMC 軟體為芬蘭的輻射與核能安全署於 2008 年所開發出的軟體，本計畫用於心臟類介入性透視攝影、非心臟類介入性透視攝影、傳統透視攝影、一般傳統 X 光、牙科攝影的劑量評估。

基於 ICRP 106 號報告與相關文獻關於核子醫學劑量，以 ICRP 60 號報告的組織加權因數推算藥物活度與全身有效劑量的轉換因數 (mSv/MBq)，透過取樣醫院的藥物種類及活度 (mCi) 與轉換因數之間的單位換算，得到其檢查項目的有效劑量。

基於 NCRP 報告與相關文獻關於乳房攝影劑量，利用平均乳腺劑量，再搭配乳房在 ICRP 60 號報告的組織加權因數為 0.05、ICRP 103 號報告的組織加權因數為 0.12，進行計算檢查項目的有效劑量。

根據取樣醫院檢查序列調查結果，計算出檢查項目之有效劑量，並彙整成表 58 至表 65。

表 58. 電腦斷層有效劑量

單位：毫西弗

檢查項目	取樣醫院數	取樣人次	有效劑量	
			ICRP 60	ICRP 103
1. 頭部	13	4,510	2.07	1.63
2. 頸部	11	717	7.43	8.18
3. 胸部	12	2,971	7.40	8.01
4. 上腹部	11	3,761	15.96	15.92
5. 腹部 (含骨盆腔)	8	1,408	22.01	19.43
6. 胸部與上腹部	2	260	13.40	15.37
7. 胸部與腹部 (含骨盆腔)	4	183	24.54	22.89
8. 骨盆	6	344	18.30	16.38
9. 下肢	4	72	7.20	8.10
10. 脊椎	9	224	4.48	5.13
11. 心血管	5	246	7.88	10.27

表 59. 核子醫學有效劑量

單位：毫西弗

檢查項目	取樣 醫院數	取樣 人次	有效劑量	
			ICRP 60	
1. 壓力與重分佈心肌斷層灌注掃描	6	2,781	11.75	
2. 全身骨骼掃描	7	2,607	3.68	
3. 全身炎症掃描	4	162	11.44	
4. 心室搏出分率及心室壁活動測定	1	9	11.93	
5. 正子造影 - 全身	6	3,183	18.08	
6. 其他項	7	591	6.34	

表 60. 心臟類介入性透視攝影有效劑量

單位：毫西弗

檢查項目	取樣 醫院數	取樣 人次	有效劑量	
			ICRP 60	ICRP 103
1. 心室及動脈攝影	7	421	14.65	15.43
2. 冠狀動脈擴張術（含血管內/ 心臟內異物移除術）	7	234	33.85	35.96
3. 主動脈氣球裝置術	2	21	6.03	6.64
4. 心律不整經導管燒灼術	3	6	9.27	9.82
5. 電氣生理檢查	2	17	12.00	12.64
6. 其他項	1	9	0.96	1.02

表 61. 非心臟類介入性透視攝影有效劑量

單位：毫西弗

檢查項目	取樣 醫院數	取樣 人次	有效劑量	
			ICRP 60	ICRP 103
1. 經皮血管內血管成形術	6	337	0.75	0.64
2. 血管阻塞術	10	187	28.83	26.93
3. 經皮穿肝膽管引流術(含修正術)	8	109	3.04	2.82
4. 皮下穿刺腎造瘻術	6	103	0.49	0.47
5. 逆行性膽道及胰管造影	1	14	0.12	0.14
6. 其他項	9	224	5.89	6.89

表 62. 傳統透視攝影有效劑量

單位：毫西弗

檢查項目	取樣 醫院數	取樣 人次	有效劑量	
			ICRP 60	ICRP 103
1. 靜脈注射泌尿系統造影術	5	414	0.90	0.82
2. 下消化道攝影	11	51	4.40	3.52
3. 上消化道攝影	9	35	4.50	4.73
4. 食道攝影	11	77	0.89	1.05
5. 小腸系統	7	29	2.91	2.67
6. 子宮輸卵管造影	13	380	1.50	1.11
7. 其他項	9	99	1.19	1.18

表 63. 一般傳統 X 光有效劑量

單位：毫西弗

檢查項目	取樣 醫院數	取樣 人次	有效劑量	
			ICRP 60	ICRP 103
1. 頭頸部	11	1,615	0.01	0.01
2. 胸肩部	13	45,272	0.05	0.05
3. 腹部 (含骨盆腔)	12	2,880	0.22	0.16
4. 腎臟-輸尿管-膀胱	13	10,739	0.24	0.22
5. 脊椎	13	11,303	0.12	0.11
6. 上肢	13	4,820	0.0003	0.0002
7. 下肢	13	13,419	0.001	0.001

表 64. 乳房攝影有效劑量

單位：毫西弗

檢查項目	取樣 醫院數	取樣 人次	有效劑量	
			ICRP 60	ICRP 103
1. 一般乳房攝影	21	8,312	0.14	0.34
2. 放大乳房攝影	11	343	0.16	0.38

表 65. 牙科攝影有效劑量

單位：毫西弗

檢查項目	取樣 醫院數	取樣 張數	有效劑量	
			ICRP 60	ICRP 103
1. 根尖周	8	10,326	0.001	0.005
2. 咬翼式	6	1,453	0.002	0.01
3. 咬合片	5	82	0.002	0.004
4. 齒顎全景	7	2,804	0.003	0.01
5. 測顱	6	336	0.01	0.01
6. 顳顎關節 (單側)	6	36	0.004	0.005

根據檢查項目有效劑量，再乘上由 106 年健保資料庫檢查項目人次去推算醫療輻射檢查項目人次結果，推算集體有效劑量結果，並彙整成底下表 66 至表 73。

表 66. 電腦斷層集體有效劑量

檢查項目	健保 人次 (人)	醫療輻射 人次 (人)*	集體有效劑量 (人西弗)	
			ICRP 60	ICRP 103
1. 頭部	708, 885	814, 810	1, 687	1, 328
2. 頸部	121, 198	139, 308	1, 035	1, 140
3. 胸部	308, 296	354, 363	2, 622	2, 838
4. 上腹部	202, 036	232, 225	3, 706	3, 697
5. 腹部 (含骨盆腔)	428, 730	492, 793	10, 846	9, 575
6. 胸部與上腹部	108, 983	125, 268	1, 679	1, 925
7. 胸部與腹部 (含骨盆腔)	19, 303	22, 187	544	508
8. 骨盆	26, 922	30, 945	566	507
9. 下肢	31, 310	35, 989	259	292
10. 脊椎	40, 909	47, 022	211	241
11. 心血管	23, 032	26, 474	209	272
加總結果			23, 364	22, 323

*醫療輻射人次=健保人次/健保占比，106 年健保占比約為 0.87

表 67. 核子醫學集體有效劑量

檢查項目	醫療輻射 檢查人次 (人)	集體有效劑量 (人西弗)	
		ICRP 60	
1. 壓力與重分佈心肌斷層灌注掃描	161,813	1,901	
2. 全身骨骼掃描	138,871	511	
3. 全身炎症掃描	11,889	136	
4. 心室搏出分率及心室壁活動測定	12,488	149	
5. 正子造影 - 全身	40,348	729	
6. 其他項	38,456	244	
加總結果		3,670	

表 68. 心臟類介入性透視攝影集體有效劑量

檢查項目	醫療輻射 檢查人次 (人)	集體有效劑量 (人西弗)	
		ICRP 60	ICRP 103
1. 心室及動脈攝影	174,259	2,553	2,689
2. 冠狀動脈擴張術 (含血管內/心臟內 異物移除術)	55,318	1,873	1,989
3. 主動脈氣球裝置術	2,792	17	19
4. 心律不整經導管燒灼術	5,038	47	49
5. 電氣生理檢查	4,400	53	56
6. 其他項	1,052	1	1
加總結果		4,544	4,803

表 69. 非心臟類介入性透視攝影集體有效劑量

檢查項目	醫療輻射 檢查人次 (人)	集體有效劑量 (人西弗)	
		ICRP 60	ICRP 103
1. 經皮血管內血管成形術	70,002	53	45
2. 血管阻塞術	22,188	640	598
3. 經皮穿肝膽管引流術 (含修正術)	16,614	51	47
4. 皮下穿刺腎造瘻術	10,173	5	5
5. 逆行性膽道及胰管造影	9,681	1	1
6. 其他項	42,452	250	292
加總結果		1,000	988

表 70. 傳統透視攝影集體有效劑量

檢查項目	醫療輻射 檢查人次 (人)	集體有效劑量 (人西弗)	
		ICRP 60	ICRP 103
1. 靜脈注射泌尿系統造影術	98,443	89	81
2. 下消化道攝影	15,751	69	55
3. 上消化道攝影	11,815	53	56
4. 食道攝影	6,669	6	7
5. 小腸系統	4,752	14	13
6. 子宮輸卵管造影	21,567	32	24
7. 其他項	7,324	9	9
加總結果		272	245

表 71. 一般傳統 X 光集體有效劑量

檢查項目	醫療輻射檢查人次 (人)	集體有效劑量 (人西弗)	
		ICRP 60	ICRP 103
1. 頭頸部	613, 315	6	6
2. 胸肩部	9, 817, 705	491	491
3. 腹部 (含骨盆腔)	1, 304, 911	287	209
4. 腎臟-輸尿管-膀胱	2, 303, 997	553	507
5. 脊椎	5, 101, 648	612	561
6. 上肢	2, 710, 854	1	1
7. 下肢	5, 629, 974	6	6
加總結果		1, 956	1, 781

表 72. 乳房攝影集體有效劑量

檢查項目	醫療輻射檢查人次 (人)	集體有效劑量 (人西弗)	
		ICRP 60	ICRP 103
1. 一般乳房攝影	232, 602	33	79
2. 放大乳房攝影	6, 497	1	2
加總結果		34	81

表 73. 牙科攝影集體有效劑量

檢查項目	醫療輻射檢查張 數 (張)	集體有效劑量 (人西弗)	
		ICRP 60	ICRP 103
1. 根尖周	14, 162, 700	14	71
2. 咬翼式	567, 455	1	6
3. 咬合片	9, 022	0.02	0.04
4. 齒顎全景	3, 680, 755	11	37
5. 測顱	2, 755	0.03	0.03
6. 顳顎關節 (單側)	8, 295	0.03	0.04
加總結果		26	114

最後將各個檢查項目的集體有效劑量進行加總，並以試算其集體有效劑量總和占 106 年集體有效劑量總和 $R\%$ 以修正，去推估未納入計算之檢查項目集體有效劑量，最後再除以 106 年之台灣總人口數（2,357 萬 1,227 人）以得之台灣每人年平均劑量，如表 74 至表 75。

表 74. 集體有效劑量總和 (S)

類別	R %	集體有效劑量總和 (人西弗)	集體有效劑量總和 (人西弗)
		ICRP 60	ICRP 103
1. 電腦斷層	97%	24,087	23,013
2. 核子醫學	96%	3,823	—
3. 心臟類介入性透視攝影	100%	4,544	4,803
4. 非心臟類介入性透視攝影	93%	1,075	1,062
5. 傳統透視攝影	97%	280	253
6. 一般傳統 X 光	100%	1,956	1,781
7. 乳房攝影	100%	34	81
8. 牙科攝影	100%	26	114

75. 國民每人年平均劑量 (E_{Taiwan})

類別	台灣每人年平均劑量 (mSv)	百分比 (%)	台灣每人年平均劑量 (mSv)
	ICRP 60		ICRP 103
1. 電腦斷層	1.02	67.5%	0.98
2. 核子醫學	0.16	10.6%	—
3. 心臟類介入性透視攝影	0.19	12.6%	0.20
4. 非心臟類介入性透視攝影	0.05	3.3%	0.05
5. 傳統透視攝影	0.01	0.7%	0.01
6. 一般傳統 X 光	0.08	5.3%	0.08
7. 乳房攝影	0.001	0.1%	0.003
8. 牙科攝影	0.001	0.1%	0.005

本報告完成國內醫療輻射之集體有效劑量 (S) 以及國人個人平均年有效劑量 (E_{Taiwan}) 的估算，並將評估結果與美國比較如表 76、表 77。在集體有效劑量與個人平均年有效劑量之分佈，國內與美國是相似的；國內劑量最高的前三個類別分別為電腦斷層，次之為心臟類介入性透視攝影與核子醫學。其中，介入性透視攝影程序與透視攝影，因在檢查項目的臨床操作方式有極大的變異，無論在醫院之間、醫師執行程序之間、還有病人疾病複雜程度等都存在很高的差異，而這些的差異會帶來劑量的變異極大，且美國於 2016 年的 NCRP 184 號報告中也調整了類別內的檢查分類方法【43】，故而導致美國前後兩份報告的劑量排序略有不同。整體而言，國內的醫療輻射曝露造成之個人平均年有效劑量，亦即國民輻射劑量 (E_{Taiwan}) 約為每年 1.51 毫西弗，低於美國的個人平均年有效劑量 (E_{US}) 每年 2.33 毫西弗。詳細評估過程請參閱國民醫療輻射劑量調查研究計畫 111 年度委託研究計畫期末報告。

表 76. 集體有效劑量百分比 (S_{60}) 比較

國家	台灣		美國	
報告文獻	本計畫		NCRP 184 號報告	
人口年份	2017		2016	2006
類別	百分比		百分比	
1. 電腦斷層	67.5%	67%	62%	49%
2. 核子醫學	10.6%	11%	18%	26%
3. 心臟類介入性透視攝影	12.6%	13%	6%	8%
4. 非心臟類介入性透視攝影	3.3%	3%	5%	7%
5. 傳統透視攝影	0.7%	6%	9%	10%
6. 一般傳統 X 光	5.3%			
7. 乳房攝影	0.1%			
8. 牙科攝影	0.1%			

表 77. 個人平均年有效劑量比較

單位：mSv

國家	台灣	美國	
報告文獻	本計畫	NCRP 報告	
人口年份	2017	2016 (NCRP 184)	2006 (NCRP 160)
類別	E_{TW60}	E_{US60}	E_{US60}
1. 電腦斷層	1.02	1.45	1.46
2. 核子醫學	0.16	0.41	0.73
3. 心臟類介入性透視攝影	0.19	0.13	0.23
4. 非心臟類介入性透視攝影	0.05	0.12	0.2
5. 傳統透視攝影	0.01	0.2	0.3
6. 一般傳統 X 光	0.08		
7. 乳房攝影	0.001		
8. 牙科攝影	0.001		
總計	1.51	2.33	2.92

(六) 消費性產品

1. 吸菸

因菸草的葉片表面因其特殊絨毛結構，具有濃集氬氣衰變產物的特性，因此在菸草中可測得較高濃度的鉛-210 及鈾-210。本報告之主要目的在於探討菸草中放射性物質含量，其中的鈾-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【44】。

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-210，加上世界衛生組織(WHO)統計罹患致死率最高的癌症為肺癌【45】，使相關議題在近十年來又受

到關心。

本中心針對國內常見 9 種品牌、22 類香菸樣品進行鈷-210 之分析檢測，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 【46】中，Po-02-RC 係針對水、蔬菜、土壤、空氣濾紙樣品中鈷之分析方法(Polonium in Water, Vegetation, Soil, and Air Filters)。分析方法是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，加入 100 ml 硝酸及鈷-209 示蹤劑(約 30-80 毫貝克)，加熱盤加熱(約攝氏 80 度)進行消化直到快乾，期間使用磁攪拌子(鐵氟龍包覆)攪拌。若消化不夠完全，可再加 20 ml 硝酸與 3 ml 過氧化氫再加熱至快乾。由於硝酸會破壞硝化之後必須使用的銀片，改加入 6N 鹽酸 100 ml 後以 Whatman 41 號濾紙過濾，過濾後加熱濾紙至快乾，加入 0.5N 鹽酸溶解沉積物後棄置濾紙。溶液中加入 1 ml 飽和抗壞血酸(ascorbic acid)及銀片，置於攝氏 60~80 度加熱盤上靜置 4 至 5 小時，讓鈷離子自然沉積於銀片表面上，期間適量補充 0.5N 鹽酸。取出銀片用去離子水稍加沖洗後，置於室溫乾燥，並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化學回收率，進而換算鈷-210 活度濃度。

各香菸樣品的鈷-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，每根香菸鈷-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鈷-210 活度(14 毫貝克)相近，參考國際文獻顯示其他國家菸草鈷-210 活度與本次國內常見香菸產品之鈷-210 活度差異不大，本報告以每根香菸鈷

-210 活度濃度 0.014 貝克進行吸菸輻射劑量之評估。

吸菸習慣的部分，本報告以內政部公布之 107 年人口數，並參考衛生福利部國民健康署之國人吸菸行為調查、青少年吸菸行為調查等報告中之吸菸比例，另參考國健署之健康促進統計年報中之每天平均吸菸根數，評估吸菸造成的個人年有效劑量(E_{EXP})及集體有效劑量(S)分別為 0.45 毫西弗(每天吸一包菸)及 1,110,452 人-毫西弗，因此推算香菸中鈾-210 造成國人平均國民輻射劑量(E_{Taiwan})為 0.047 毫西弗，如表 78。

表 78. 國人吸菸行為之集體有效劑量

年齡	人口數 (人)		吸菸比例 (%)		集體有效劑量(S) (人-毫西弗)	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性
<12 歲	1,253,538	1,161,174				
國中學生 (12-14 歲)	331,183	302,332	4.0%	1.4%	5,961	952
高中職學生 (15-17 歲)	381,252	349,041	11.3%	4.4%	19,387	3,456
成年人 (>18 歲)	9,746,940	10,063,472	23.40%	2.40%	1,026,353	54,343
合計	11,712,913	11,876,019			1,051,701	58,751
	23,588,932				1,110,452	

與國外文獻之數據相比，美國 NCRP 第 160 號報告採用之香菸鈾-210 活度為 14 毫貝克，報告中美國吸菸造成的國民輻射劑量(E_{US})為 0.0455 毫西弗(mSv)。另日本原子力安全研究協會於 2020 年發表之報告「生活環境輻射-國民輻射劑量的計算(第 3 版)」，報告中吸菸造成的國民輻射劑量(E_{JP})為 0.040 毫西弗(mSv)，顯示我國與其他國家吸菸造成的國民輻射劑量差異不大。詳細評估過程請參閱本中心技術文件 RMC-109-319Rev2 國人吸菸造成的輻射劑量評估-112 年修正版。

2. 民用飛航

本中心參考美國輻射防護與度量委員會(NCRP)的作法，將民用航空宇宙輻射列為消費性產品的子項目。本中心於民國 87 年進行第一次國民輻射劑量評估，當時以 25 條國際線及 28 條國內線進行飛航劑量之評估，計算我國國民輻射劑量(E_{Taiwan})結果分別為每年 3.1 微西弗及每年 0.057 微西弗；惟歷經 20 年社會經濟變化，國人在飛航行為上與當時的狀況相比有相當大的變化，因此，於本次國民輻射劑量調查重新評估國人的飛航劑量。

NCRP 101 號報告【47】指出，宇宙輻射與太陽粒子是飛機飛航期間對航空公司機組人員與乘客受到輻射曝露的主要來源。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，在太陽輸出最大的時候，隨著太陽黑子數量的增加，嵌入太陽輻射中的磁場有助於將更多的銀河宇宙輻射分量偏轉遠離地球。出於這個原因，在最大太陽活動期間，劑量比平均值低約 20%，在太陽活動最小時期間高約 20%。在太陽活動極小期期間，太陽耀斑極有可能會產生異常多的高能粒子，從而導致飛航過程中的宇宙輻射增加。

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【48】，近 60 年太陽風強度的變動資料如圖 29，平均值為 589 MV；2015 年(民國 104 年) 5 月之後，太陽風均偏弱，低於平均值，也就是近幾年宇宙輻射皆為偏高的狀態。若以近年(104 年至今)之宇宙射線進行劑量計算，會高估整體之飛航劑量。

航班會因飛航路線會受到飛行日期或天氣影響，不同航空業者的飛行計畫也多有差異。由於無法得到民國 104 年至 108 年近五年每條航線的確實飛航路線，為了能夠使劑量評估結果更客觀且具一致性，並涵蓋近五年的評估日期，本報告將採用平均太陽風強度 (589 MV) 作為飛航劑量評估的基礎，訂定 2015 年 5 月 20 日上午 8 點 0 分為固定出發日，以作為後續劑量評估軟體的參數基準以進一步計算與分析。

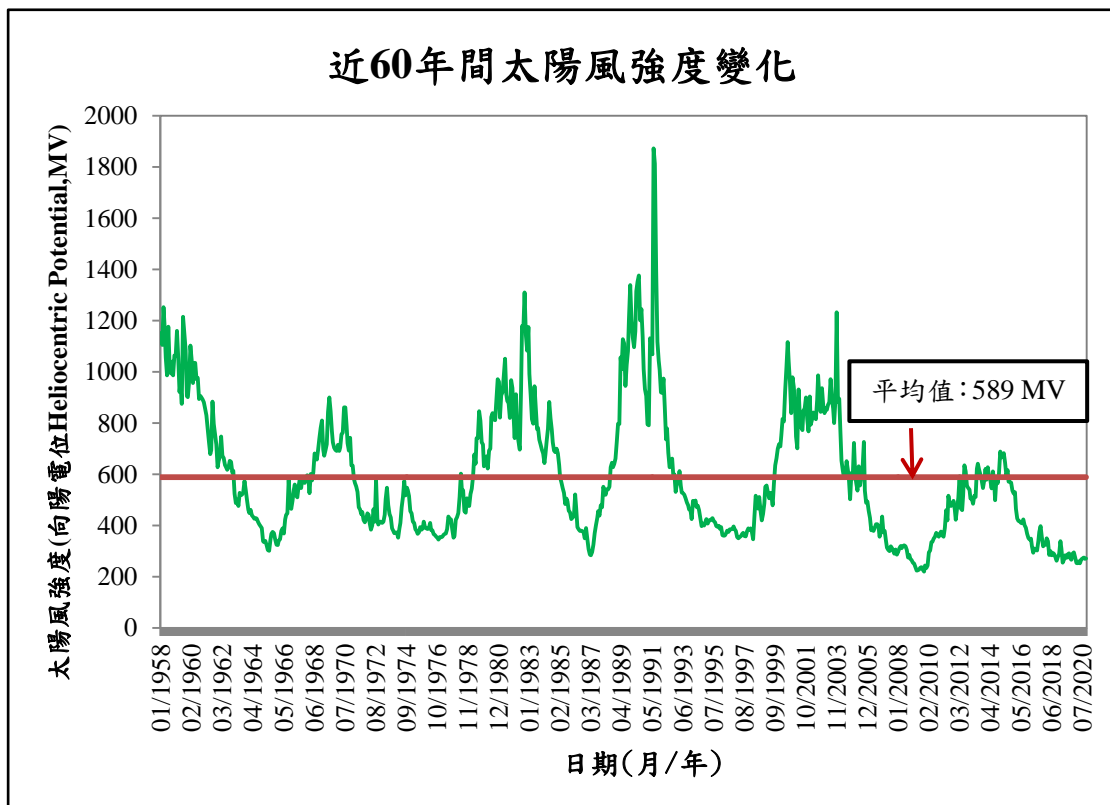


圖 29. 近 60 年太陽風強度資料並換算為阻隔銀河宇宙輻射之電位

現行評估飛航行為的宇宙輻射個人年有效劑量(E_{EXP})包括 CARI、EPCARD、SIEVERT、NTHU FDC 等軟體；其中，CARI 與 EPCARD 分別為美國聯邦航空總署(FAA)與德國環境衛生研究中心(Helmholtz ZentrumMünchen)所發展，量測銀河與太陽射線等宇宙輻射之軟體；SIEVERT 則為法國商用軟體，利用 EPCARD 模式輸出資料進行飛航相關人員曝露劑量評估【49】；NTHU FDC【50】為我國國立清華大學自行研發之飛航劑量評估軟體，可提供大圓模式(模擬地表兩點間的最短飛行路徑)及實際飛航路線等兩種模式，可依需求選用合適之劑量模擬評估方法。

因國內能取得之飛航相關資料有限，且為降低過多人為假設所造成之評估誤差，客觀評估民用航空之飛航劑量，本報告利用交通部民航局所提供國人飛航行為調查結果【51】，針對國際線、兩岸線與國內線三個部分的旅遊人次進行熱門航線探討，再分別以台灣之 NTHU FDC 軟體之大圓模式，並搭配法國開發之 SIEVERT【52】飛航劑量評估軟體執行飛航劑量計算，以評估國人因搭乘飛機所造成之國民輻射劑量。考量民國 109 年至 111 年因 COVID-19 疫情關係影響全球航空業，本報告僅彙整民國 104 年至 108 年間台灣地區的熱門航線進行國人飛航行為之調查結果。

在國民輻射劑量計算中，相較於國內線與兩岸線，國際航班人數佔比高、飛航時間長且有部分航線會經過高緯度區域，因此，初步研判國際線為商業飛航宇宙輻射劑量主要之來源。為涵蓋大部分的劑量來源，累加人數達總人次 95% 以上之主要航線，預計採用前 65 大條航線進行評估；兩岸航線自開航以來雖逐年上升，但近年已趨穩定，變化不大，且與國內航線旅客人數相近，每年約一千一百萬人次，約為國際航線人數的五分之一(如圖 30)，因航程較遠時間

較長，且部分航線飛往高緯度區域的城市，因此有可能會有較高輻射劑量，故納入評估項目。為涵蓋大部分的劑量來源，累加人數達總人次 95 %以上之主要航線，預計採用前 75 大條航線進行評估；國內線近 5 年內趨勢變化不大，每年約一千一百萬人次，約為國際航線人數的五分之一。因國內航線航程較短，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，故可預期國內線之宇宙輻射劑量不高。因國內航線數目較少，預計涵蓋 100 %航線，採用 23 條航線進行評估。本報告依選定之國際線 65 條航班、兩岸線 75 條與國內線 23 條航班之熱門航線進行評估，國際線部分利用 NTHU FDC 與 SIEVERT 之飛航劑量評估軟體進行劑量計算；SIEVERT 因取得為公開的簡易試算軟體，只開放部分功能，對部分地區之航點設定較簡化，多數機場不在其內建選項中，故兩岸線與國內線則只採用 NTHU FDC 軟體進行計算。

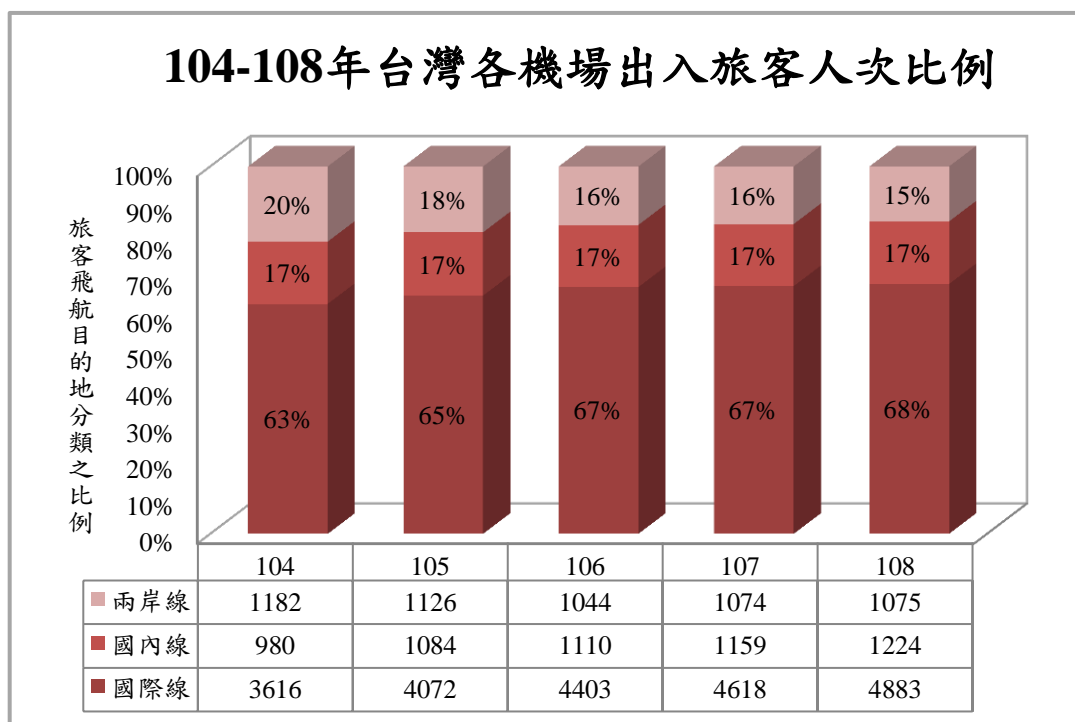


圖 30. 104-108 年台灣各機場出入旅客人次比例統計圖

評估結果國際線 NTHU FDC 計算之各航次總個人有效劑量範圍為 1.8 至 157.9 微西弗，國際線 SIEVERT 計算之各航次總個人年有效劑量(E_{EXP})(去程與回程)範圍為 2 至 189.2 微西弗，為降低 NTHU FDC 與 SIEVERT 兩者評估軟體不確定因素造成之誤差，劑量將採用 NTHU FDC 與 SIEVERT 評估所得之平均的方式作為國際線之劑量評估結果；兩岸線之各航次總個人年有效劑量(E_{EXP})(去程與回程)範圍為 1.7 至 20.5 微西弗；國內線之各航次總個人年有效劑量(E_{EXP})(去程與回程)範圍為 0.11 至 0.25 微西弗，分析結果如表 79。另比較不同區域航線之結果如圖 31，歐美航線因飛行距離較其他航線長遠，導致其受宇宙輻射曝露的時間相對較長，因而其輻射曝露劑量較其他航線高，評估結果顯示，歐美航線中的桃園飛往紐約曝露劑量最高；而亞洲地區之國家大多分布於赤道附近或位於低緯度，再加上距離台灣較近，飛航時間較短，所以曝露劑量相對較低。劑量曝露多寡主要與飛行高度、飛行時間、地磁緯度與太陽活動週期等因素有關，因使用相同之日期與時間點進行飛航劑量之計算，且飛行高度由劑量評估軟體之內建程式所訂定，所以降低了太陽活動週期與飛行高度造成之不確定性，故於此次評估中飛行時間與國家緯度分布為主要影響劑量評估結果之因素。

利用飛航劑量評估軟體計算所得之輻射劑量，並結合國人飛航行為調查結果，可推算集體有效劑量(S)。集體有效劑量(S)為各航次單趟之平均有效劑量(取往返之平均)與年平均出入境人次相乘後之總合，計算國際線 65 條經 NTHU FDC 與 SIEVERT 計算之集體有效劑量(S)之平均值為每年 253.8 人-西弗；兩岸線 65 條經 NTHU FDC 計算之集體有效劑量(S)為每年 13.1 人-西弗；國內線 23 條經 NTHU FDC 計算之集體有效劑量(S)為每年 1.0 人-西弗。最後，彙整內政

部戶政司【53】 104 年至 108 年之全台人口數，其平均人口數為 23,559,034 人。將國際線、兩岸線與國內線加總之集體有效劑量 (S) 為每年 268 人-西弗，再除以總人口數，即可獲得民用航空宇宙射線造成國人之國民輻射年劑量 (E_{Taiwan}) 為每年 0.011 毫西弗。

表 79. 國際線、兩岸線與國內線等飛航劑量分析結果

飛 航 行 為 分 類	劑量計算結果	飛航劑量計算軟體		假設條件
		NTHU FDC	SIEVERT	
國 際 線	E_{EXP} (微西弗) (去程)	0.9~78.7	1~93.4	<ul style="list-style-type: none"> 2015 年 5 月 20 日為出發日。 NTHU FDC 之 Altitude / Speed 採用 10500 公尺搭配 900 km/h；SIEVERT 採內建預設高度，不需要飛行速度，但要求使用者輸入出發與抵達時間。
	E_{EXP} (微西弗) (回程)	0.9~79.2	1~97.1	
	E_{EXP} (微西弗) (去程與回程)	1.8~157.9	2~189.2	
兩 岸 線	E_{EXP} (微西弗) (去程)	0.8~10.2	-	<ul style="list-style-type: none"> 2015 年 5 月 20 日為出發日。 NTHU FDC 之 Altitude / Speed 採用 10500 公尺搭配 900 km/h。
	E_{EXP} (微西弗) (回程)	0.8~10.3	-	
	E_{EXP} (微西弗) (去程與回程)	1.7~20.5	-	
國 內 線	E_{EXP} (微西弗) (去程)	0.05~0.13	-	<ul style="list-style-type: none"> 2015 年 5 月 20 日為出發日。 NTHU FDC 之 Altitude / Speed 採用 4000 公尺搭配 500 km/h。
	E_{EXP} (微西弗) (回程)	0.05~0.13	-	
	E_{EXP} (微西弗) (去程與回程)	0.11~0.25	-	

台灣熱門航線之劑量比較圖

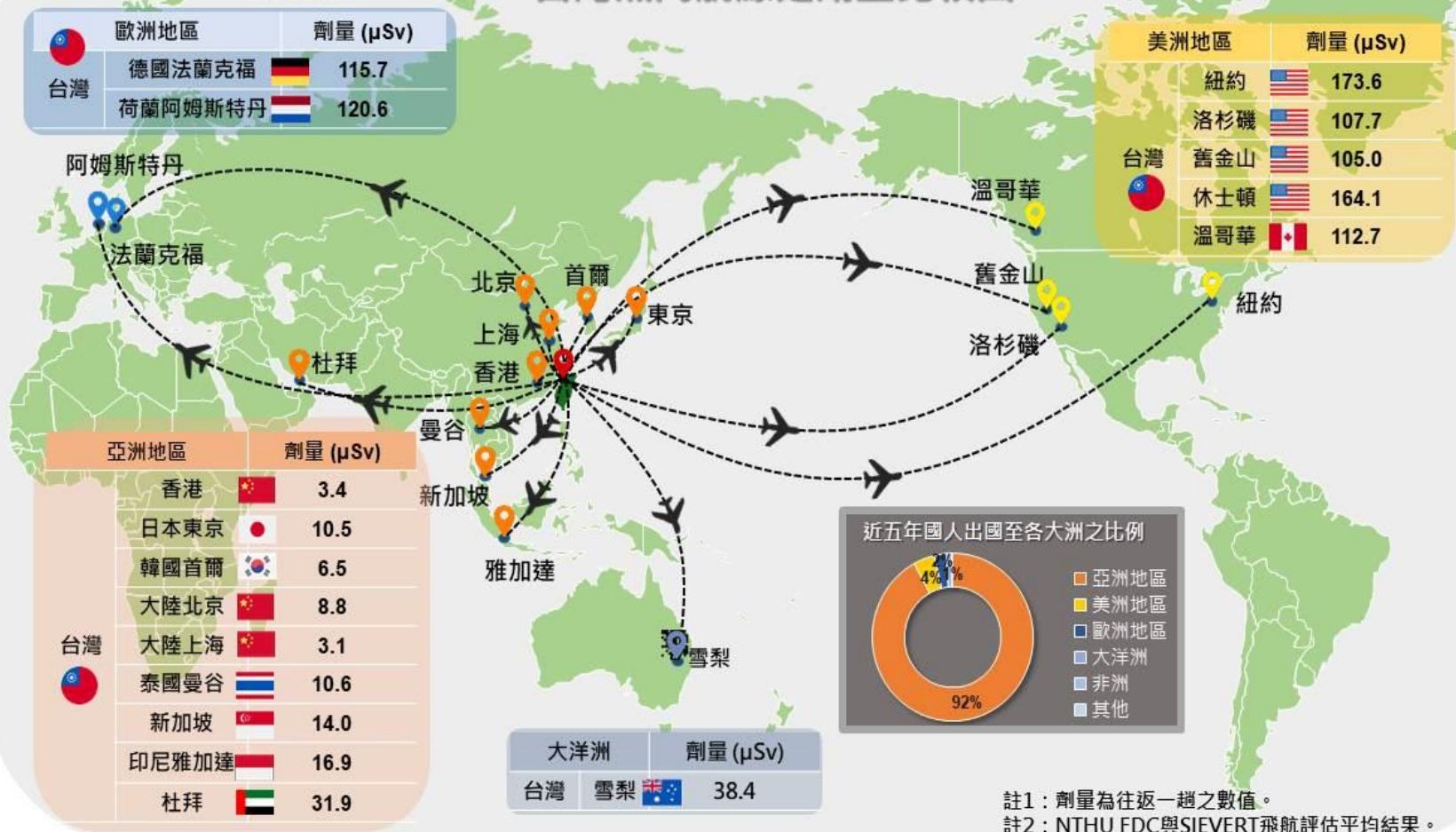


圖 31. 以 NTHU FDC 與 SIEVERT 計算平均值之台灣熱門航線劑量比較圖

本報告的評估結果與 NCRP 第 160 號報告、日本之民用航空宇宙輻射劑量評估結果比較如表 80。台灣經飛航劑量軟體評估結果回推之個人年有效劑量(E_{EXP})為每年 0.007 毫西弗，與日本的每年 0.008 毫西弗較為相近，但遠小於美國的每年 74.5 毫西弗；主要係因我國與日本皆為海島型國家，且生活型態較為相近，所以評估全體國民之個人平均有效劑量結果差異不大。集體有效劑量(S)部分，台灣的評估結果為每年 268 人-西弗，皆遠小於美國的每年 10323 人-西弗、日本的每年 1013 人-西弗；其差異來源主要與民眾搭乘飛機之人次與總人口數有關，因台灣人口數遠低於美國及日本，故台灣評估之集體有效劑量(S)為最低。詳細評估過程請參閱本中心技術文件 RMC-110-310Rev2 民用航空宇宙輻射之國民劑量評估-112 年修正版。

表 80. 民用航空宇宙輻射劑量評估結果之比較

分類	個人年有效劑量 E_{EXP}^a (毫西弗/年)	集體有效劑量 S (人-西弗/年)
台灣(111 年版)	0.007 ^b	268
NCRP 160	74.5	10323
日本	0.008	1013 ^c

註 1：a 為曝露族群之平均年有效劑量，分母為曝露族群人數；非國民輻射劑量(E_{Taiwan})，分母為全台總人數。

註 2：b 為集體有效劑量回推取得(國際線+兩岸線+國內線)個人有效劑量；國際線= (253.83 人-西弗/年) x 1000/(43796025 人次/年)，總人次如附表一= 0.0057 毫西弗；兩岸線= (13.12 人-西弗/年) x 1000/(11259114 人次/年) = 0.0012 毫西弗；國內線= (1.0 人-西弗/年) x 1000/(11092337 人次/年) = 9.02×10^{-5} 毫西弗，計 $0.0057+0.0012+9.02 \times 10^{-5}=0.007$ 毫西弗/年。

註 3：c 為(0.008 毫西弗/年 x 126706000) / 1000 =1013 人-西弗/年。

(七) 產業活動

1. 使用農業肥料之輻射劑量評估

化學肥料可提高作物產量，在現代農業管理有其重要性，因此化肥工業遍布世界各地；台灣常使用的肥料主要分為複合肥料、磷肥料與鉀肥料，複合肥料是含有氮、磷與鉀三種元素的肥料，氮肥中的氮由氨產生，磷肥中的磷由磷酸鹽礦石獲得，鉀肥中的鉀則來自氫氧化鉀或全氧化鉀(化學式： K_2O)，磷酸鹽礦石含有鈾系、釷系及其衰變系列核種，氨則不含鈾系與釷系天然核種，氫氧化鉀或全氧化鉀含有少量的鉀-40，天然存在的鉀-40 佔整體鉀元素的比率約為 0.0117%【54】；肥料中含有多種天然放射性核種，其生產過程中作為原料的礦物以鈾-238 及其衰變系列(如鐳-226)和鉀-40 為主，還有少量釷-232 及其衰變系列【55、56】。

土壤中的天然放射性因地而異，肥料是農地土壤中除天然來源之外的主要放射性來源【57、58】。化肥的大量使用會增加土壤和地下水中放射性核種的含量，進而增加人類經飲用水和食物鏈等曝露途徑攝入的放射性核種，肥料中的鐳-226 一旦沉積在骨骼中，將可能造成生物損傷【59】。農業活動中的肥料使用，會有鈾系、釷系和鉀-40 等放射性核種，會造成使用者的體外曝露(加馬輻射)，與吸入氫氣及其衰變產生阿伐粒子的體內輻射曝露，從輻射防護的角度來看，監測肥料中的天然放射性具有其意義【60】。

為瞭解民眾進行農業耕種時施作肥料行為所造成的輻射劑量，本報告調查國內常用 13 件市售肥料，採用加馬能譜分析方法，計算肥料樣品的鐳當量濃度、體外風險指數、體內風險指數、加馬射線係數，並評估平均每位農民與國民因肥料樣品施作於農地後所造成的吸收劑量及年有效劑量。

本中心從農會購買國內製造、使用頻率高的 13 件市售化學肥料，品項涵蓋：複合肥料、磷肥及鉀肥等類型，如表 81 所示，將這些樣品放置於 110 °C 的烘烤箱中烘乾 24 小時，以確保完全去除水分，然後將樣品在乾燥器中冷卻至室溫，再以研磨機粉碎。將乾燥均質樣品裝入密封的聚乙烯計測容器(直徑 5.7cm, 高 4.5cm)中，容器用黏性環氧樹脂膠帶密封以防止氦-222 和氦-220 逸出，製備後靜置 30 天，再送入高純鍍輻射偵檢器量測。

表 81. 13 件肥料樣品中所含鐳-226、釷-232 和鉀-40 的活度濃度

Code	Fertilizer Type	Ra-226 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)
M1	Compound	85.7±0.9	1.3±0.4	2616.7±47.1
M2	Compound	151.6±8.3	3.8±1.4	3786.8±83.3
M3	Compound	184.2±9.8	9.2±3.3	3101.0±62
M4	Compound	114.7±5.3	1.6±0.5	2951.0±56.1
M5	Compound	89.8±5.8	1.5±0.4	4932.6±113.4
M6	Compound	148.7±9.4	1.1±0.4	2773.4±47.1
M7	Compound	106.2±8.7	6.7±2.3	3722.7±70.7
M8	Compound	120.5±9.0	1.8±0.6	2762.0±44.2
M9	Compound	140.5±12.5	8.0±2.9	3408.3±64.8
P1	Phosphate	537.0±4.8	4.6±1.2	258.3±8.5
P2	Phosphate	567.6±4.5	3.5±0.8	360.0±11.4
K1	Potash	150.4±19.6	2.9±1.0	3871.8±77.4
K2	Potash	132.9±13.3	9.2±1.0	2687.3±51.1

鐳-226、釷-232 和鉀-40 的放射性核種活度濃度分析使用 CANBERRA 公司（現為 MIRION 公司）製造的 P 型同軸高純鍺輻射偵檢器測量，偵檢器之相對偵測效率為 40%，偵檢器在 1332.5 keV 處之能量解析度小於 2 keV，偵檢器連接到三合一數位核儀模組，再連接到個人電腦，透過多頻道分析軟體系統進行數據分析，該系統具有 4096 個頻道；偵檢器進行效率校正的射源是使用與待測樣品相同幾何形狀且裝填於馬林氏計測容器之標準射源。

為降低計測時之背景輻射干擾，高純鍺輻射偵檢器置於圓柱型屏蔽體內，主屏蔽之等效鉛當量大於 10 cm，內襯以原子序由外而內逐漸遞減的多層材料金屬屏蔽，屏蔽內計測能量範圍在 50 keV 至 2000 keV，背景值可小於 2.5 計數/秒(CPS)。

在平衡狀態下鈾-238 的衰變系列中，鐳-226 及其子核系列涵蓋 99.27% 母核種鈾-238 的加馬輻射，因此，國際間的研究文獻中，通常以鐳-226 代表鈾-238 系列的放射性核種活度濃度【61】。鐳-226 活度濃度是從鈹-214 的 609.31 keV 能峰測量出的，沒有使用鐳-226 的 186 keV 光子峰，從鉈-208 的 583.19 keV 能峰估計釷-232 的活度濃度；使用鉀-40 本身的 1460 keV 能峰估計鉀-40 活度濃度。肥料中放射性核種 i 由下列公式計算：

$$A_i = \frac{C_j}{p_{ji} \cdot w \cdot t \cdot e}$$

A_i = 肥料中放射性核種 i 的活度濃度(Bq/kg)，包含鐳-226 活度濃度(A_{Ra})、釷-232 活度濃度(A_{Th})、鉀-40 活度濃度(A_K)；

C_j = 計測核種 j 能峰的淨計數，計測核種 j 分別有鈹-214(C_{Bi})、鉈-208(C_{Ti})及鉀-40(C_K) (Counts)；

p_{ji} = 計測核種 j 能峰對核種 i 的加馬射線發射機率(%)；

w = 乾燥樣品淨重量(kg)；

t = 測量時間(sec)；

e = 偵測器的絕對效率(%)。

本報告所分析 13 件肥料樣品之鐳-226、鈾-232 和鉀-40 的活度濃度如表 81。編號 M1 至 M9 的樣品屬於複合肥料，鐳-226、鈾-232 和鉀-40 的平均活度濃度分別為 126.9 ± 2.8 、 3.9 ± 0.6 、 3339.4 ± 22.9 貝克/公斤(Bq/kg)；編號 P1 與 P2 的樣品屬於磷肥，鐳-226、鈾-232 和鉀-40 的平均活度濃度分別為 552.3 ± 3.3 、 4.0 ± 0.7 、 309.1 ± 7.1 Bq/kg；編號 K1 與 K2 的樣品屬於鉀肥，鐳-226、鈾-232 和鉀-40 的平均活度濃度分別為 141.7 ± 11.8 、 6.0 ± 0.7 、 3279.6 ± 46.4 Bq/kg。13 件肥料樣品所含核種活度濃度均小於天然放射性物質管理辦法基準值(鐳-226:1000 貝克/公斤、鈾-232:1000 貝克/公斤和鉀-40:10000 貝克/公斤【62】)。

國際文獻說明很難採用上述不同放射性核種的活度濃度直接進行比較，因此，聯合國原子輻射效應科學委員會(UNSCEAR) 2008 年報告中提出鐳當量濃度 (Radium equivalent concentration, R_{aeq})作為比較的指標。

鐳當量濃度是比較樣品中所含放射性核種相當於鐳活度濃度之比較指標，可由下列公式計算【55】：

$$R_{aeq} = (A_{Ra} + 1.43 * A_{Th} + 0.077 * A_K) * Cf$$

Cf = 肥料佔農地土壤的比率(%)；

其中， A_{Ra} 、 A_{Th} 和 A_K 分別是各樣品中鐳-226、鈾-232 和鉀-40 的活度濃度(Bq/kg)，假設肥料與 0.5 公尺厚的土壤混合，乾燥土壤的平均密度為 1300 公斤/立方公尺；依據行政院農業委員會之農業統計資料，於臺灣地區肥料產銷量值統計年報，109 年之複

合肥料、氯化鉀、硫酸鉀、過磷酸鈣等化學肥料之施用總量為 737015.7 公噸，以及農耕土地面積統計年報中，109 年短期農耕土地面積為 479185.72 公頃數據，不列入長期農耕土地(為休耕或荒廢農地)，計算出肥料佔農地土壤的比率為 0.0236%。

$$Cf = 737016 \times 10^3 / (479185.72 \times 10000 \times 0.5 \times 1325) = 0.0236\%$$

因為施肥用量因人而異，本報告採保守估算，假設 Cf 為 0.236%，即施用 10 倍濃度肥料進行估算，本報告分析 13 件肥料樣品施作於農地後的鐳當量濃度如表 2，均未超過歐盟委員會 2013 年的指導方針中提出鐳當量濃度的建議值(370 貝克/公斤)，磷礦石或肥料中的 R_{aeq} 值若達 370 貝克/公斤，對應之加馬射線造成的有效劑量為 1.5 毫西弗/年(mSv/y) 【63】。農民在進行農耕活動時，會受到已經施作於農地肥料的體外曝露，體外風險指數(The external hazard index，簡稱 H_{ex})可由下列公式計算：

$$H_{ex} = \left(\frac{A_{Ra}}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \right) * Cf$$

其中 A_{Ra} 、 A_{Th} 和 A_K 分別是各肥料樣品中鐳-226、釷-232 和鉀-40 的活度濃度(Bq/Kg)，UNSCEAR 2000 年報告指出，若 H_{ex} 值小於 1，則加馬射線所造成之體外劑量可低於每年 1.5 毫西弗，本報告分析 13 件肥料樣品施作於農地後的體外風險指數計算如表 82。

表 82. 肥料樣品施用於農地後的鐳當量濃度、體外風險指數、體內風險指數、吸收劑量、年有效劑量(對農民)及加馬射線係數

Code	Fertilizer Type	Cf (%)	Raeq (Bq/kg)	Hex	Hin	D (nGy/h)	E	
							(μ Sv/y)	I γ
M1	Compound	0.236	0.671	0.0018	0.0023	0.3487	0.4276	0.0027
M2	Compound	0.236	1.041	0.0028	0.0038	0.5370	0.6585	0.0041
M3	Compound	0.236	1.012	0.0027	0.0039	0.5128	0.6290	0.0039
M4	Compound	0.236	0.799	0.0022	0.0029	0.4128	0.5062	0.0032
M5	Compound	0.236	1.094	0.0030	0.0035	0.5790	0.7101	0.0045
M6	Compound	0.236	0.844	0.0023	0.0032	0.4312	0.5289	0.0033
M7	Compound	0.236	0.933	0.0025	0.0032	0.4862	0.5962	0.0038
M8	Compound	0.236	0.779	0.0021	0.0029	0.4009	0.4916	0.0031
M9	Compound	0.236	0.961	0.0026	0.0035	0.4943	0.6062	0.0038
P1	Phosphate	0.236	1.307	0.0035	0.0069	0.6074	0.7449	0.0044
P2	Phosphate	0.236	1.393	0.0038	0.0073	0.6484	0.7953	0.0047
K1	Potash	0.236	1.050	0.0028	0.0038	0.5427	0.6655	0.0042
K2	Potash	0.236	0.819	0.0022	0.0030	0.4175	0.5120	0.0032
	Average					0.494	0.606	

除了體外曝露外，氡及其短壽命子核種對呼吸器官也有危害，常用於評估因地表天然放射性核種及後續曝露途徑造成的體內曝露風險，例如評估農作物、井水等，體內風險指數(The internal hazard index，簡稱 H_{in})可由下列公式計算：

$$H_{in} = \left(\frac{A_{Ra}}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \right) * Cf$$

其中 A_{Ra} 、 A_{Th} 和 A_K 分別是各樣品中鐳-226、釷-232 和鉀-40

的活度濃度；UNSCEAR 2000 年報告指出，若 H_{in} 值小於 1，則加馬射線所造成之體內劑量可低於每年 1.5 毫西弗。

從這些已經施作於農地的肥料中所含的放射性核種所發出的加馬射線，經過乾燥空氣離地表面 1 公尺處所造成的空間吸收劑量(Absorbed dose，簡稱 D)可由下列公式計算：

$$D \left(\frac{nGy}{h} \right) = (0.462 \times A_{Ra} + 0.621 \times A_{Th} + 0.042 \times A_K) \times Cf$$

其中 A_{Ra} 、 A_{Th} 和 A_K 分別是各樣品中鐳-226、釷-232 和鉀-40 的活度濃度；UNSCEAR 2000 年報告提到全球肥料樣品施作前的吸收劑量平均值為 59 奈格雷/時；本報告計算 13 件肥料樣品施作於農地後以 Cf 為 0.236%計算，離地表面 1 公尺處所造成的吸收劑量平均值為 0.494 奈格雷/時如表 58，遠低於全球肥料樣品施作前之空間吸收劑量平均值，結果與國外同類型研究文獻接近【64】。

施作於農地的肥料中所含鐳-226、釷-232 和鉀-40 放射性核種所發射的加馬射線造成的年有效劑量(The annual effective dose，簡稱 E)可由下列公式計算：

$$E \left(\frac{\mu Sv}{y} \right) = D \left(\frac{nGy}{h} \right) \times 8760 \left(\frac{h}{y} \right) \times O \times C \left(\frac{mSv}{nGy} \right) \times 10^3 \left(\frac{\mu Sv}{mSv} \right)$$

其中 O 是佔用因子，考量農民受肥料所含天然放射性物質的每日平均曝露時間，定義 O 值為 0.2；C 是空間吸收劑量與有效劑量的轉換因子 (0.7×10^{-6} 毫西弗/奈格雷)，考量農業活動在通風良好的戶外，正常施用肥料狀況下，肥料所含鐳-226 的子核種氬氣所造成的體內曝露忽略不計，13 件肥料樣品施作於農地後造成的年有效劑量計算如表 2，年有效劑量僅包括體外曝露，「農民」之平均年有效劑量(E_{Exp})為每年 0.606 微西弗(μSv)；參考行政院農業委員會公布 111 年 10 月農民健康保險投保人數 966,281 人，參考內政部戶政司 111 年 12 月戶口統計資料表中全國人口數 23,264,640 人，計算「國民」之平均年有效劑量(E_{Taiwan})為每年

0.025 微西弗(=0.606 x 966281/23264640)。肥料樣品施作於農地後造成農民或國民的年有效劑量皆遠低於我國及全球典型的自然背景輻射，且低於自然背景的變動範圍，對人體健康的風險微乎其微【65】。

本報告分析 13 件肥料樣品施作於農地後造成的體外射線輻射危害，可以透過加馬射線係數進行評估，加馬射線係數(Gamma Index，簡稱 I_γ)可由下列公式計算【66】：

$$I_\gamma = \frac{A_{Ra}}{300} + \frac{A_{Th}}{200} + \frac{A_K}{3000}$$

其中 A_{Ra} 、 A_{Th} 和 A_K 分別是各樣品中鐳-226、釷-232 和鉀-40 的活度濃度；UNSCEAR 2000 年報告中敘述，若 I_γ 值小於 6，則加馬射線所造成之有效劑量會低於每年 1 毫西弗；本報告分析之 13 件肥料樣品施作於農地後的加馬射線係數結果計算如表 82， I_γ 均低於 6。

本報告分析 13 件肥料樣品中有 9 件複合肥料、2 件磷肥、2 件鉀肥，為與其他國家肥料進行比較，將分析所得之鐳當量濃度、加馬射線係數並依類別進行平均，並不考量肥料佔農地土壤之比例。9 件複合肥料之平均鐳當量濃度為 0.904 貝克/公斤，不考量肥料佔農地土壤之比例回推鐳當量濃度為 0.904/0.032%=390 (貝克/公斤)；另 9 件複合肥料之平均加馬射線係數為 0.0036，不考量肥料佔農地土壤之比例回推加馬射線係數為 0.0036/0.0236%=1.56。參考其他研究文獻並與其他國家肥料之比較結果詳如表 83，國內市售肥料之鐳當量濃度與加馬射線係數與日本較相近。

本報告分析 13 件市售肥料中鐳-226、釷-232 和鉀-40 的活度濃度，結果均低於天然放射性物質管理辦法的基準值。考量農業活動在通風良好的戶外，在正常施用肥料狀況下，肥料佔土壤的比率，計算在正常情況下施用這些肥料所造成的鐳當量濃度、體外風險指數、體內風險指數、吸收劑量、年有效劑量及加馬射線

係數，計算結果均遠低於歐盟委員會指導方針【67】或 UNSCEAR 2000 年報告所提出建議值。這些建議值分別為 370 貝克/公斤、小於 1、小於 1、59 奈格雷/時、480 微西弗/年、小於 1。

綜上，肥料樣品施作於農地後，造成「農民」的個人年平均有效劑量(E_{Exp})為每年 0.606 微西弗，遠低於一般民眾每年 1 毫西弗之劑量限值，結果顯示國內正常施作肥料時不需進行輻射防護措施；此結果再除以全國總人口數，評估出農業肥料所造成「國民」之平均年有效劑量，亦即國民輻射劑量(E_{Taiwan})為每年 0.025 微西弗。詳細評估過程請參閱本中心技術文件 RMC-111-306Rev1 產業活動(農業肥料)之國民輻射劑量評估-112 年修正版。

表 83. 本文肥料樣品的鐳當量濃度、加馬射線係數與其他國家之比較

Country	Fertilizer Type	Raeq (Bq/kg)	$I \gamma$	Literature source
Taiwan(M1-M9)	Compound	390	1.56	This study
Taiwan(P1-P2)	Phosphate	582	1.96	This study
Taiwan(K1-K2)	Potash	403	1.6	This study
Japan	Compound	454	1.63	【66】
Egypt	Compound	613	2.06	【68】
Brazil	Compound	1772	12.3	【69】
Saudi Arabia	Compound	275	Not calculated	【70】
Algeria	Compound	1168	9.6	【71】
Bengal	Phosphate	374	Not calculated	【72】

2. 核設施輻射劑量評估

在核設施周圍輻射強度調查中，核設施因運轉而使周圍居民接受到輻射曝露之情形將其為分類產業活動。本中心於 87 年進行第一次國民輻射劑量評估，與當時的狀況相比，雖然核能一廠目前已無發電進入除役過渡階段，但考量核燃料仍置於反應器壓力槽內，仍適用運轉中核電廠之管制規定，故本報告評估之核設施包括：核能一廠、核能二廠、核能三廠、清華大學研究用反應器、核能研究所、台電公司蘭嶼低放貯存場等，共計 6 座核設施，為確認現行核設施周圍環境變化對民眾之影響，本中心更新並評估關鍵群體因核設施所造成的國民輻射劑量。

(1) 核能電廠

綜整核能一廠、核能二廠、核能三廠民國 106 年至 110 年之放射性排放廢氣、廢水評估集體有效劑量(S)之結果【73-87】，彙整如表 84。各年度 3 個核能電廠之氣體排放集體有效劑量(S)加總結果分別為每年 7.63×10^{-3} 、 1.29×10^{-2} 、 6.50×10^{-3} 、 6.70×10^{-3} 、 4.55×10^{-3} 人-西弗，平均值為每年 7.65×10^{-3} 人-西弗；液體排放集體有效劑量(S)加總結果分別為每年 2.22×10^{-3} 、 1.25×10^{-3} 、 6.86×10^{-4} 、 1.33×10^{-3} 、 2.10×10^{-3} 人-西弗，平均值為每年 1.52×10^{-3} 人-西弗，將氣體、液體排放集體有效劑量(S)結果相加，即可獲得核能電廠近 5 年之集體有效劑量(S)，平均值為每年 0.00917 人-西弗。

表 84. 核能一廠、核能二廠、核能三廠之集體有效劑量(S)評估結果

型式		沸水式		壓水式	小計	歷年 平均	總集體有效 劑量(S)* (人-西弗/ 年)
廠別		核能一廠	核能二廠	核能三廠			
氣體 集體 有效 劑量 (人- 西弗/ 年)	106	8.27×10^{-4}	6.58×10^{-3}	2.22×10^{-4}	7.63×10^{-3}	7.65×10^{-3}	9.17×10^{-3}
	107	2.35×10^{-4}	1.24×10^{-2}	2.36×10^{-4}	1.29×10^{-2}		
	108	3.27×10^{-4}	5.89×10^{-3}	2.90×10^{-4}	6.50×10^{-3}		
	109	4.53×10^{-4}	6.05×10^{-3}	1.94×10^{-4}	6.70×10^{-3}		
	110	3.28×10^{-4}	3.84×10^{-3}	3.84×10^{-4}	4.55×10^{-3}		
液體 集體 有效 劑量 (人- 西弗/ 年)	106	8.66×10^{-4}	1.35×10^{-3}	5.68×10^{-6}	2.22×10^{-3}	1.52×10^{-3}	
	107	2.04×10^{-4}	1.03×10^{-3}	1.21×10^{-5}	1.25×10^{-3}		
	108	1.54×10^{-4}	5.25×10^{-4}	6.67×10^{-6}	6.86×10^{-4}		
	109	1.45×10^{-4}	1.18×10^{-3}	6.16×10^{-6}	1.33×10^{-3}		
	110	1.17×10^{-3}	9.23×10^{-4}	7.20×10^{-6}	2.10×10^{-3}		

*註：

1. 總集體有效劑量=氣體集體有效劑量(106-110 年平均)+液體集體有效劑量(106-110 年平均)。
2. 本報告整理。

(2) 清華大學研究用反應器

本報告採用本中心「臺灣地區核設施 110 年環境輻射監測年報」【88】與「110 年國立清華大學環境輻射監測季報」(第一季~第四季)【89-92】之核設施周圍民眾個人劑量評估結果，劑量評估方法依據行政院原子能委員會民國 98 年 11 月 11 日修正公布「環境輻射監測規範」，由熱發光劑量計監測累積劑量及環境試樣放射性含量分析結果，評估體外及體內劑量。本中心「臺灣地區核設施 110 年環境輻射監測年報」之核設施周圍民眾個人劑

量評估結果如表 85，清華大學對關鍵群體之年有效劑量與約定有效劑量結果小於每年 0.001 毫西弗，其造成周圍民眾劑量應極低微，其劑量可忽略；清華大學「110 年國立清華大學環境輻射監測季報」（第一季~第四季）之核設施周圍民眾個人劑量評估結果如表 86，清華大學對關鍵群體之年有效劑量與約定有效劑量結果皆小於每年 0.001 毫西弗，造成周圍民眾劑量應極低微，其劑量可忽略。集體有效劑量為有效劑量與約定有效劑量乘上關鍵群體人數合計結果，因評估有效劑量與約定有效劑量結果極低，可忽略，故集體有效劑量不予計算。

表 85. 本中心針對核設施周圍民眾個人劑量評估結果

單位：毫西弗

曝路途徑	有效劑量			約定有效劑量				合計
	TLD	地表	岸沙	空浮微粒	飲水	農畜產物	海產物	
清華大學	*	—	/	—	/	—	/	—
核能研究所	*	—	—	—	/	—	—	—
台電公司蘭嶼低放貯存場	*	—	—	—	/	—	—	—

註：

1. “*”表示低於 TLD 偵測低限 0.05 毫西弗/年。
2. “—”表示小於 0.001 毫西弗。
3. “/”表示未分析（評估）。
4. 約定有效劑量評估係考慮 50 年的劑量積存。
5. 有效劑量的推算與評估，係參考「環境輻射監測規範」之附件四「體外及體內劑量評估方法」。
6. 原報告有列出核爆影響，因核爆影響屬既存曝露，不在本報告考量範圍，故不予列出。
7. 資料來源：臺灣地區核設施 110 年環境輻射監測年報。

表 86. 清華大學針對核設施周圍民眾個人劑量評估結果

單位：毫西弗／年

曝露途徑	體外曝露			體內曝露			
	TLD	地表	岸沙	空浮微粒	飲水	農畜產物	海產物
清華大學	<MDA	-	*	-	*	-	*

註：

1. TLD 評估 0.05 毫西弗/年或 0.025 毫西弗/季，則註記小於 MDA。
2. 各曝露途徑的有效劑量低於 0.001 毫西弗(<0.001 毫西弗)者，僅註記「-」，並加註「未達評估標準」。
3. 凡經評估所得最大個人劑量之設站地點，在計畫書中未規劃執行該項試樣(表示無此曝露途徑)者，即於表格中直接標示「*」，並註明「最大個人劑量的地點無此曝露途徑」。
4. 原報告有列出核爆影響，因核爆影響屬既存曝露，不在本報告考量範圍，故不予列出。
5. 資料來源：110 年國立清華大學環境輻射監測季報(第一季~第四季)

(3) 核能研究所

本報告採用本中心「臺灣地區核設施 110 年環境輻射監測年報」【88】與「110 年核能研究所場所外環境輻射監測報告書」【93-96】之核設施周圍民眾個人劑量評估結果，劑量評估方法依據行政院原子能委員會民國 98 年 11 月 11 日修正公布「環境輻射監測規範」，由熱發光劑量計監測累積劑量及環境試樣放射性含量分析結果，評估體外及體內劑量。本中心「臺灣地區核設施 110 年環境輻射監測年報」之核設施周圍民眾個人劑量評估結果如表 87，核研所對關鍵群體之有效劑量與約定有效劑量結果小於 0.001 毫西弗，其造成周圍民眾劑量應極低微，其劑量可忽略；集體有效劑量為有效劑量與約定有效劑量乘上關鍵群體人數合計結果，因評估有效劑量與約定有效劑量結果極低，可忽略，故集體有效劑量不予計算。

表 87. 核研所針對核設施周圍民眾個人劑量評估結果

單位：毫西弗

曝路途徑	有效劑量			約定有效劑量				合計
	TLD	地表	岸沙	空浮微粒	飲水	農畜產物	海產物	
核能研究所	*	-	/	-	-	-	/	-

註：

1. “*” 表示小於 TLD 偵測低限 (0.025 毫西弗/季)。
2. “-” 表示小於 0.001 毫西弗。
3. “/” 表示未分析 (評估)。
4. 體內約定有效劑量評估係考慮 50 年的劑量積存。
5. 有效劑量的推算與評估請參考「環境輻射監測規範」中附件四「體外及體內劑量評估方法」與「核能研究所 110 年環境輻射監測計畫」。
6. 原報告有列出核爆影響，因核爆影響屬既存曝露，不在本報告考量範圍，故不予列出。
7. 資料來源：核能研究所場所外環境輻射監測報告書(110 年 1 月至 12 月)

(4) 台電公司蘭嶼低放貯存場

低放貯存場亦採用本中心「臺灣地區核設施 110 年環境輻射監測年報」與「低放貯存場 110 年環境輻射監測報告」【97】之核設施周圍民眾個人劑量評估結果。劑量評估方法依據行政院原子能委員會民國 98 年 11 月 11 日修正公布「環境輻射監測規範」，由熱發光劑量計監測累積劑量及環境試樣放射性含量分析結果，評估體外及體內劑量。本中心「臺灣地區核設施 110 年環境輻射監測年報」之核設施周圍民眾個人劑量評估結果如表 54，低放貯存場對關鍵群體之年有效劑量與約定有效劑量結果小於每年 0.001 毫西弗，其造成周圍民眾劑量應極低微，其劑量可忽略；台電公司「低放貯存場 110 年環境輻射監測報告」之核設施周圍民眾個人劑量評估結果如表 88，台電公司蘭嶼低放貯存場對關鍵群體之年有效劑量與約定有效劑量結果小於每年 0.001 毫西弗，其造成周圍民眾劑量極低微，其劑量可忽略。集體有效劑量(S)為有效劑量與約定有效劑量乘上關鍵群體人數之總和，因評估有

效劑量與約定有效劑量結果極低，可忽略，故台電公司蘭嶼低放貯存場之集體有效劑量不予計算。

表 88. 蘭嶼低放貯存場周圍民眾個人劑量評估結果

單位：毫西弗

曝露途徑	體外曝露			體內曝露				合計
	TLD	地表	岸沙	空浮微粒	飲水	農畜產物	海產物	
低放貯存場	-	-	-	-	-	-	-	-

註：

1. “-” 表示小於 0.001 毫西弗。
2. “/” 表示未分析（評估）。
3. 原報告有列出核爆影響，因核爆影響屬既存曝露，不在本報告考量範圍，故不予列出。
4. 資料來源：低放貯存場 110 年環境輻射監測報告(110 年 1 月至 12 月)，台灣電力公司。

為計算核設施之國民輻射劑量，總人數係採用內政部戶政司【98】民國 104 年至民國 110 年之全台人口數統計，資料取其平均作為總人口數，為 23,533,103 人。核設施整體之集體有效劑量(S)部分，將國內 6 座核設施之集體有效劑量(S)加總而來，數據彙整如表 89；核能電廠為每年 0.00917 人-西弗，其餘核設施(清華大學研究用反應器、核能研究所、低放貯存場)之集體有效劑量(S)因劑量極低，故不予評估，故核設施合計之集體有效劑量(S)為每年 0.00917 人-西弗。將集體有效劑量(S)之合計結果除以總人口數，即可獲得核設施周圍環境輻射造成國人之平均年有效劑量(E_{Taiwan})，亦即國民輻射劑量；核能電廠之國民輻射劑量(E_{Taiwan})分別為每年 3.90×10^{-7} 毫西弗，其餘核設施之國民輻射劑因劑量極低，故不予評估，核設施之國民輻射劑量(E_{Taiwan})為每年 3.9×10^{-7} 毫西弗。

表 89. 台灣核設施造成集體有效劑量與國民輻射劑量評估結果

分類	111 年版	
	集體有效劑量(S) (人-西弗)	國民輻射劑量(E_{Taiwan}) (毫西弗)
核能電廠*	0.00917	3.90×10^{-7}
清華大學研究用反應器	-	-
核能研究所	-	-
低放貯存場	-	-
合計	0.00917	3.90×10^{-7}

註：*表示其核能電廠包含核能一廠、核能二廠、核能三廠

與國際現況相比，彙整美國 NCRP 第 160 號報告、日本生活環境放射線(国民線量の算定)第 3 版、UNSCEAR 2008 報告等國際文獻之核設施周圍民眾集體有效劑量(S)評估結果如表 90，於各文獻中皆提及核能電廠運營所造成周圍民眾曝露劑量結果占整體核設施評估之大宗，由表 90 可發現於核能電廠製造與生產中，採礦為劑量貢獻相對大的部分，因台灣本身無鈾礦等天然資源，故我國核能發電所使用之核燃料來源仰賴國外進口，因此並無鈾礦開採、濃縮、轉化等前處理流程，加上台灣核能電廠設置數量相較於其他國家較少，且政府落實對核設施之管理，有效降低關鍵群體之輻射曝露，故集體有效劑量(S)評估結果為各國最低(每年 0.00917 人-西弗)。詳細評估過程請參閱本中心技術文件 RMC-111-315Rev1 核設施周圍環境輻射調查與民眾劑量評估-112 年修正版。

表 90. 國際文獻之核設施集體有效劑量(S)

單位：人-西弗

分類	台灣 (111 年版)	NCRP 160	日本	UNSCEAR (2008)
核能電廠製造與生產				
採礦	-	105.75	-	52.82
提煉	-	28.13	-	2.224
鈾轉化	-	0.034	-	11.12
鈾濃縮	-	0.011	-	
製造	-	0.005	-	0.834
核能電廠	0.00917	5.40	/	75.06
再處理	-	-	-	30.3
低放貯存廠	-	-	/	-
運輸	-	14.06	/	<27.8
合計	0.00917	153	10	200
研究用反應器				
研究用反應器	-	1.6	/	/
其他	-		12*	/
總計	0.00917	154.6	22	/

註：

1. /表示未取得原報告數據。
2. -表示未評估該項目。
3. *為氬-85 監測，主要來自核燃料再處理廠排放。
4. 本報告整理；資料來源：美國 NCRP 第 160 號報告(2009)、日本生活環境放射線(國民線量の算定)-第三版(2020)、UNSCEAR 2008 年報告(2008)。

3. 燃煤電廠

依聯合國輻射效應科學委員會在1993年出版的UNSCEAR 1993報告【99】，指出燃煤電廠例行作業會產生飛灰與爐底灰等煤渣，因煤炭本身即含鈾與釷系等天然放射性物質，煤炭燃燒過程會釋放出這些天然放射性物質，經大氣擴散及乾濕沉降後濃縮儲存在土壤等環境介質當中。另有國外研究內容指出【100】，燃煤於燃燒的過程將煤中的有機物去除，進而產生濃縮的情況，經過大氣擴散及乾濕沉降後，部分燃煤電廠周圍土壤測得含有較高濃度之天然放射性物質，較其他地點天然背景輻射為高。本中心於87年進行第一次國民輻射劑量評估，與當時的狀況相比，僅評估核設施周圍民眾輻射曝露，未有其他產業活動項目，為補充國民輻射劑量產業活動項下之調查，本中心針對國內燃煤電廠周圍之空浮與土壤進行採樣調查與量測，並參考燃煤電廠周圍人口分布之情形，評估當地居民因燃煤電廠產生之煤灰所造成的輻射劑量。

(1) 燃煤設施周圍之空浮採樣調查及居民輻射劑量評估

火力發電廠之燃煤鍋爐屬高溫燃燒，煤炭高溫燃燒後排放大量細微粒可能對自然環境、人類身體健康造成影響。煤炭燃燒過程將有機成分轉換成氣態物質排放至大氣，而放射性物質則在燃燒過程濃縮至底灰及飛灰，提高飛灰及底灰之天然放射性核種活度。燃煤鍋爐燃燒過程排放粒狀物 (PM)、二氧化硫 (SO₂)、氮氧化物 (NO_x)、一氧化碳 (CO)、揮發性有機化合物 (VOCs) 及各種微量元素，而這些物質還包括微粒上所含之天然放射性核種，此物質經煙囪排放至大氣，再藉由擴散作用間接污染我們的生活環境。

煤炭含有來自地殼之天然放射性核種(如 U-238、K-40、Th-232)

及其衰變產物。煤炭上天然核種之活度與一般土壤之活度大致相同，許多人類活動與煤炭運用有關，尤其是製造業及電力業大量使用煤炭作為燃料，燃燒過程產生放射性核種之濃縮現象，而導致大氣微粒上天然放射性核種活度增加。

為探討燃煤設施周圍懸浮微粒之輻射活度濃度調查及居民輻射劑量之評估，本中心於民國 110 年委託國立屏東科技大學，規劃於民國 110 年 4 月 13~15 日及 110 年 10 月 23~25 日進行南部興達電廠廠區內之大氣懸浮微粒採樣，並於 110 年 9 月 7~9 日進行中部台中火力發電廠廠區內採樣，以高雄興達電廠與台中火力發電廠兩座台電之燃煤電廠為研究對象，在燃煤設施主設備之東、西、南及北四個方向各架設一部 General Metal Work Co. 製造之 PS-1 高流量採樣器（型號 GPS-1 PUF Sampler），採樣期間另架設一台氣象儀蒐集採樣期間氣象資料，每次皆為連續三天的微粒採樣，以探討大氣總懸浮微粒濃度及微粒上天然放射性核種活度濃度。高流量採樣器進行大氣中總懸浮微粒採樣，其採氣體積範圍 3922~10238 m³，平均值為 7585±2233 m³，該平均採氣體積大於一個人一年呼吸量 4380 m³。將採集之微粒全部置於馬林杯中，並以純鍍偵檢器量測天然放射性核種活度濃度，偵測時間為 10 萬秒，分析結果顯示：三次採樣 9 個樣品均低於偵測極限，從結果可以說明大氣中總懸浮微粒上之放射性活度極低。

一般民眾較容易接觸到的是經由排放管道排放至大氣之懸浮微粒，該研究進行大氣微粒上天然放射性核種活度之分析，其量測之結果微粒上所含之輻射物質皆小於偵測極限，並不會對人體造成健康危害。詳細評估過程請參閱科技部補助專題研究計畫報告-燃煤設施周圍之空浮採樣調查及居民輻射劑量評估。

(2) 燃煤設施周圍環境土壤輻射強度調查與居民劑量評估

全台共 6 座燃煤電廠，其中，台電運營之燃煤電廠為 4 座 19 部機組；民間運營之燃煤電廠為 2 座 5 部機組【101】，本報告將針對台電運營之燃煤電廠選擇 2 座，以機組較多之燃煤電廠優先；民營運營之燃煤電廠選擇 1 座，亦以機組較多之燃煤電廠優先，共篩選 3 座台灣大型燃煤火力電廠，分別為雲林麥寮發電廠(民營)、高雄市興達發電廠(台電)與台中市火力發電廠(台電)。選擇民眾常使用之公共空間進行現場度量，於雲林麥寮發電廠周邊之量測點為阿媽公園、橋頭國小許厝分校與長庚雲林分院，共 3 處；高雄市興達發電廠周邊量測點為五福宮附近空地、高雄市興達國民小學與興達港河堤邊，共 3 處；台中市火力發電廠周邊量測點為梧棲運動公園、台中港旅客服務中心旁草地、河濱公園槌球場與臺中市龍井國民小學，共 4 處。上述量測地點詳如表 91。

本計畫針對國內燃煤電廠周邊土壤進行量測，採用美國能源部 HASL-300 現場度量技術進行燃煤電廠周圍之土壤輻射強度調查，並參考燃煤電廠周圍人口分布之情形，評估當地居民因燃煤電廠產生之煤灰所造成的國民輻射劑量。雲林麥寮發電廠、高雄興達發電廠與台中火力發電廠周邊(共 10 處)土壤現場量測結果列於表 6，鉀-40 量測活度濃度範圍在每公斤 496 到 635 貝克；鈾系核種量測活度濃度範圍在每公斤 18 到 39 貝克；鈾系核種量測活度濃度範圍在每公斤 31 到 59 貝克。為作輻射劑量評估參考使用，本報告參考國際輻射單位與度量委員會(ICRU)第 53 號報告將現場度量之活度濃度(貝克/公斤)轉換成加馬劑量率(微西弗/時)；經轉換之土壤量測結果，鉀-40 之加馬劑量率範圍為每小時 0.019 至 0.025 微西弗；鈾系之加馬劑量率範圍為每小時

0.001 至 0.021 微西弗；鈷系之加馬劑量率範圍為每小時 0.012 至 0.023 微西弗。將計算轉換的鈷系、鈾系與鉀-40 劑量率加總後即可獲得總加馬劑量率，總加馬劑量率之範圍落於每小時 0.043 至 0.066 微西弗；以個別電廠的量測結果來看，雲林麥寮電廠、高雄興達電廠與台中火力發電廠之加馬劑量率平均值分別為每小時 0.057、0.054 與 0.052 微西弗（如表 92）。

表 91. 雲林麥寮、高雄興達與台中火力發電廠現場度量量測點

量測地點	與電廠間距離	地址
雲林麥寮發電廠(3 處)		
阿媽公園	2.52 km	雲林縣麥寮鄉中山高速公路
橋頭國小許厝分校	2.76 km	雲林縣麥寮鄉中興村 5 鄰仁德西路二段 589 號
長庚雲林分院	2.24 km	雲林縣麥寮鄉中興村工業路 1500 號
高雄市興達發電廠(3 處)		
五福宮附近空地	2.71 km	高雄市路竹區海安路 165 號
高雄興達國民小學	1.98 km	高雄市茄萣區崎漏里民治路 2 號
興達港河堤邊	1.25 km	高雄市茄萣區大發路 30 號
台中市火力發電廠(4 處)		
梧棲運動公園	2.42 km	臺中市梧棲區草湳里文化路一段
台中港旅客服務中心旁草地	3.20 km	台中市梧棲區中二路一段 9 號
河濱公園槌球場	2.98 km	台中市龍井區西部濱海公路 345 號
臺中龍井國民小學	4.97 km	臺中市龍井區龍西里龍門路 51 號

表 92. 經現場度量分析之活度濃度與加馬劑量率結果

現場度量			活度濃度 (貝克/公斤)			加馬劑量率 (微西弗/小時)			總加馬劑量率 (微西弗/小時)
電廠	編碼	測定場所	鉀-40	鈾系	釷系	鉀-40	鈾系	釷系	
雲林麥寮發電廠	A	長庚雲林分院	572±17	27±4	44±5	0.022	0.014	0.017	0.053
	B	橋頭國小許厝分校	603±17	38±4	57±6	0.024	0.020	0.022	0.066
	C	阿媽公園	496±15	27±4	44±5	0.019	0.014	0.017	0.051
高雄市興達發電廠	D	五福宮附近空地	634±17	20±6	34±3	0.025	0.011	0.013	0.049
	E	高雄市興達國民小學	525±15	32±3	43±3	0.021	0.070	0.017	0.054
	F	興達港河堤邊	560±17	29±2	59±6	0.022	0.015	0.023	0.060
台中市火力發電廠	G	梧棲運動公園	510±15	18±3	35±6	0.020	0.010	0.012	0.043
	H	台中港旅客服務中心 旁草地	539±16	19±3	31±5	0.021	0.010	0.012	0.043
	I	河濱公園槌球場	524±15	32±4	45±4	0.020	0.017	0.018	0.055
	J	臺中市龍井國民小學	635±17	39±3	53±6	0.025	0.021	0.021	0.066

燃煤電廠主要透過煤炭的燃燒來產生電力，煤炭本身即含鈾與釷系等天然放射性物質，煤炭燃燒過程會產生飛灰而釋放出這些天然放射性物質，再隨著大氣擴散沉降於附近土壤中。為確認土壤中是否含飛灰成分，參考國外相關文獻【102】，發現可透過天然放射性核種釷系、鈾系與鉀-40 三者之活度濃度比例粗略確認是否為純土壤或是含有飛灰沉降之土壤，該研究結果發現一般土壤的鉀-40 活度濃度會遠大於釷系(^{232}Th)與鈾系(^{238}U)，而釷系會略大於鈾系；而在有煤炭(coal)、飛灰(fly ash)或是底灰(bottom ash)的情況下，鉀-40 之活度濃度依然遠大於釷系與鈾系，但鈾系則會略大於釷系，差異如表 93 所示。另外，國際原

子能總署(IAEA)2003 年出版報告之 IAEA 419 號報告中【103】彙整了各國對煤炭的量測分析結果，如表 94，各國針對其電廠所使用的煤炭進行了檢測分析，提供了一個鈾和釷系列與鉀-40 活度濃度範圍的代表性數據，煤炭中天然存在的放射性物質的濃度雖然取決於其起源煤層的地質構造特徵，但各國的檢測結果仍呈現一致性，大多數國家的煤炭中，所測得的鈾系活度濃度是大於釷系的。

表 93. 天然放射性核種釷系、鈾系與鉀-40 於不同樣品之活度比較

Sample type	Activity concentrations (Bq kg ⁻¹)		
	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K
Coal	32.02	29.17	314.11
Fly ash	59.07	52.04	338.58
Bottom ash	50.63	42.05	311.01
Soil	45	51	423.21

(資料來源: Spatial distribution of radionuclides in agricultural soil in the vicinity of a coal-fired brick kiln)

本報告進一步將雲林麥寮發電廠(編碼：A、B、C)、高雄市興達發電廠(編碼：D、E、F)與台中火力發電廠(編碼：G、H、I、J)之現場度量結果做綜合比較評估，如圖 32；由圖中可看到，三座電廠周圍公共空間之土壤中的釷系、鈾系與鉀-40 之活度濃度，皆為鉀-40 遠大於釷系與鈾系，釷系則略為大於鈾系，表示三個區域之土壤可能皆沒有受飛灰沉降的影響，故居住於該地區的居民並不會因此獲得較高的輻射劑量；詳細評估過程請參閱本中心技術文件 RMC-110-306 Rev1 燃煤電廠周圍環境土壤輻射強度調查與居民劑量評估報告-112 年修正版。

表 94. 各國煤炭中含放射性核種活度濃度量測差異比較

單位：貝克/公斤*平均值

國家	鈾-238	鐳-226	釷-232	鉀-40
澳洲	8.5-4.7	19-24	11-69	23-140
巴西	72	72	62	-
埃及	59	26	8	-
德國	-	10-145	10-63	10-700
希臘	117-390	44-206	-	-
匈牙利	20-480	-	12-97	30-384
義大利	23 ± 3	-	18 ± 4	218 ± 15
波蘭	18*	-	11*	-
羅馬	80*	126*	62*	-
英國	7-19	7.8-21.8	7-19	55-314
美國	6.3-73	8.9-59.2	3.7-21.1	-

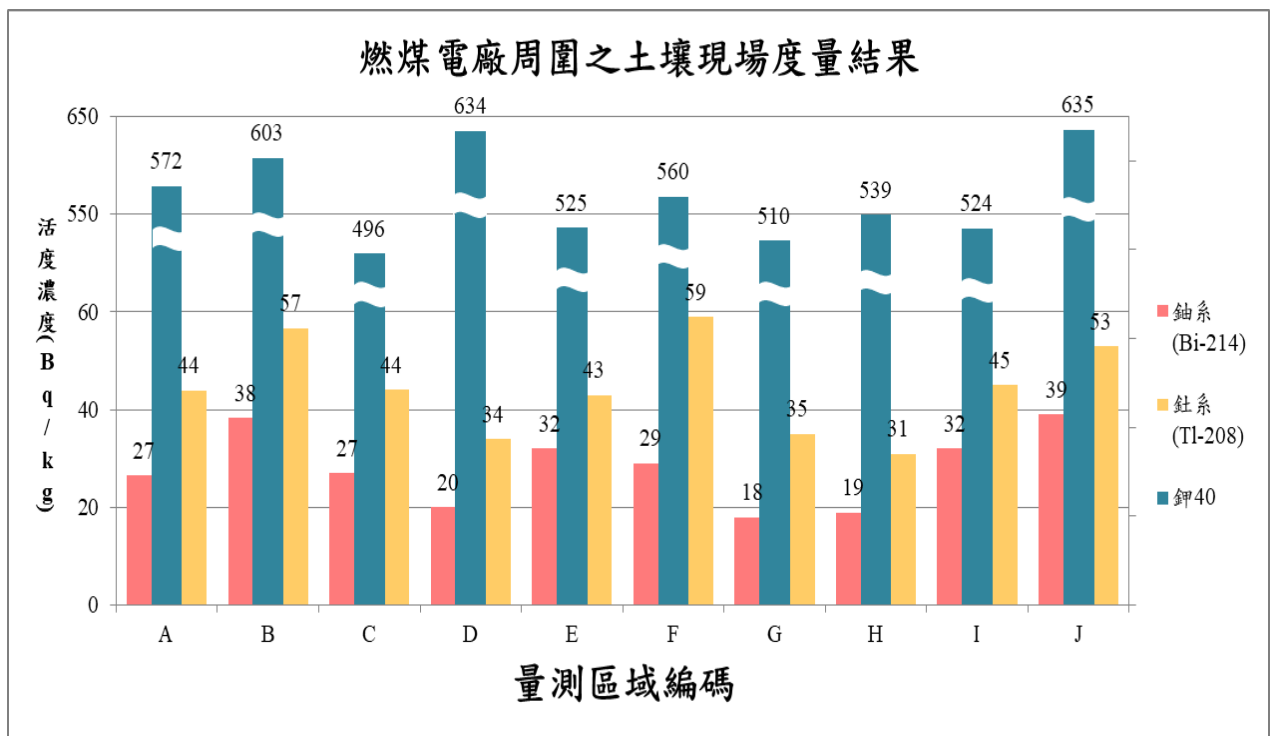


圖 32. 雲林麥寮、高雄市興達與台中市火力發電廠現場度量結果

(八) 職業曝露

國民輻射劑量評估中，職業曝露劑量的貢獻相對較小，但它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。

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理之目標，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。本計畫職業曝露劑量之評估主要依據「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」，另也參考聯合國原子輻射效應科學委員會(UNSCEAR)最新發表的「Sources and Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2020/2021 Report Volume IV comprises scientific annex D: Evaluation of occupational exposure to ionizing radiation」(以下簡稱 UNSCEAR 2020/2021 報告)【104】、美國 NCRP 第 160 號報告以及日本環境省在 2022 年出版的「放射線による健康影響等に関する統一のな基礎資料(令和 3 年度版)」等國際文獻做法及國內相關研究評估飛航劑量，以將我國民用航空類別納入職業曝露評估。

1. 台灣地區職業曝露現況

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，以自 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，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，分成研究用、醫學應用、工業應用、核能電廠及天然射源等五大類來進行評估。

自民國 89 年以後，我國在職業曝露分類開始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，分成核燃料循環、醫學應用、工業應用、天然射源與其他等五大項，五大項工作類別下另有細部工作類別；依據 UNSCEAR 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。

依據原能會「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」所提供之 104 年至 109 年之劑量監測數據【105-110】，各個職業細項分類的總從業人數、年集體有效劑量及個人年有效劑量(包含個人年有效劑量、有劑量人員之個人年有效劑量)彙整如表 95，最大、最小值及平均值都是以年為單位進行統計分析。職業輻射曝露劑量評估統計結果如表 96；近六年的職業輻射之總人數 53,082 人，

職業輻射曝露之集體有效劑量(S)為每年 6.667 人-西弗，個人年有效劑量(E_{EXP})為每年 0.126 毫西弗。以射源種類區分，我國目前在人工射源部分的輻射工作人員約為 53,050 人，集體有效劑量(S)為每年 6.67 人-西弗，個人年有效劑量(E_{EXP})為每年 0.13 毫西弗；天然輻射部分平均人數 32 人，集體有效劑量(S)為每年 1.20×10^{-5} 人-西弗(0.012 人-毫西弗)，個人年有效劑量(E_{EXP})量為每年 3.66×10^{-4} 毫西弗；綜上，絕大部分的職業曝露都是由人工射源相關之職業種類所貢獻的。

表 95. 111 年版職業曝露劑量(僅劑量監測)

	人數 (人)	集體有效劑量 S (人-西弗)	個人年有效劑量* EEXP (毫西弗)
核燃料循環	5605	4.87	0.87
醫學應用	19023	1.10	0.06
工業應用	22124	0.55	0.03
其他應用	6298	0.15	0.02
小計 (人工射源)	53050	6.67	0.13
天然射源	32	$1.20E-05$	$3.66E-04$
總計	53082	6.67	0.13

*備註：個人年有效劑量(E_{EXP})係指該類別總人數之整體平均有效劑量；意即集體有效劑量 S/總工作人員數=個人年有效劑量 E_{EXP}

表 96. 台灣地區 104-109 年職業輻射曝露劑量統計總表

類別	人數 (人)			集體有效劑量 S (人-毫西弗)			個人年有效劑量 E _{EXP} (毫西弗)			有劑量人員平均有效劑量 E _{EXP-AVE} (毫西弗)		
	min	Max	Ave	min	Max	Ave	min	Max	Ave	min	Max	Ave
反應器運轉	5010	6257	5483	3670.88	6700.16	4840.03	0.73	1.07	0.88	1.59	2.08	1.75
核燃料循環研究	147	308	198	0.19	120.67	25.69	0.001	0.39	0.13	0.10	2.57	0.70
放射診斷	12695	15384	13,948	364.84	510.89	424.27	0.03	0.04	0.03	0.44	0.71	0.55
放射牙科	682	770	722	5.21	15.47	9.48	0.01	0.02	0.01	0.15	1.11	0.60
核子醫學	1062	1123	1,100	475.94	641.80	561.82	0.45	0.57	0.51	1.06	1.16	1.13
放射治療	1509	1752	1,614	29.08	62.19	39.01	0.02	0.04	0.02	0.35	0.93	0.62
其他醫學應用	1515	2192	1,889	39.95	101.67	67.93	0.03	0.06	0.04	0.51	0.80	0.67
工業照射	128	179	161	0.12	4.28	1.62	0	0.03	0.01	0.12	2.89	0.88
工業放射障項	848	1,293	1,082	242.07	555.03	341.94	0.22	0.44	0.32	1.30	2.37	1.64
發光應用	6	9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
放射性同位素製造	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
測井	38	48	42	0	0.87	0.25	0	0.02	0.006	0	0.12	0.07
加速器運轉	9	12	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
其他工業應用	19,926	20,965	20,701	90.44	388.9	202.95	0	0.02	0.01	0.26	0.60	0.46
民用飛行	0	0	0	0	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	2.26E-03	3.87E-04	0	0.07	0.01
礦物與礦石處理	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
教育機構	1,900	2,286	2,064	18.18	30.03	25.73	0.009	0.02	0.01	0.11	0.19	0.13
獸醫	78	152	112	0.77	7.33	3.55	0.009	0.06	0.03	0.13	0.92	0.46
其他相關應用	3,787	4,360	4,145	67.49	215.18	119.30	0.02	0.05	0.03	0.15	0.29	0.21

*統計資料:民國 104-109 年「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」

以「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」為基礎之評估結果，劑量來源以人工射源部分為主；近六年之天然射源相關職業從業人數僅餘約 32 人，除了天然射源相關產業(如：採煤業、其他採礦業、石油與天然氣工業、礦物與礦石處理)在國內已逐漸式微沒落外，現行法規並未要求針對航空業從業人員進行劑量監測是主因。考量全球化的趨勢使得空中運輸較 20 年前活絡許多，因此，會在下章節以適當方法推估。

2. 民用航空之職業曝露評估

航空作業的輻射劑量來自宇宙射線的背景輻射，宇宙射線的輻射曝露視為既存曝露，考量飛航行為的增加會提高宇宙射線貢獻的輻射曝露量，國際放射防護委員會(ICRP)於 2016 年出版了第 132 號報告探討航空作業的宇宙射線輻射防護【111】，該報告對飛航人員職業曝露訂有啟動措施標準為 5 - 10 毫西弗/年，一旦超過該劑量，雇主應對員工採取適當因應措施。

國際上對職業飛航劑量的估算方法也分成模式推估及劑量監測兩種，美國 NCRP 第 160 號報告針對民用航空部分的劑量評估，係採模式計算方式求得，從業人員之個人年有效劑量(E_{EXP})為 3.07 毫西弗；UNSCEAR 2021/2022 報告對民用航空職業曝露評估，包含利用劑量計監測 250,000 名航空業工作人員的曝露劑量及模式評估，所得之航空人員個人年有效劑量(E_{EXP})為 2.7 毫西弗；Kubančák *et al.* 之研究【112】，針對捷克之民用航空的職業曝露評估，是採劑量監測的方式，該國航空業從業人員歷年之個人年有效劑量(E_{EXP})為 1.3 - 2.1 毫西弗；Yasuda *et al.* 之研究【113】，利用 JISCARD EX 模式推估日本飛航從業人員 2007 年之職業曝露劑量，機長和空服員的個人平均有效劑量(E_{EXP})分別為 1.7-3.8 毫西弗及 2.2-4.2 毫西弗。

原能會與中國醫藥大學合作進行有關「臺灣重要航線宇宙輻射劑量之評估與量測方法評析及其資料庫建立」之飛航輻射劑量研究，該研究使用 CARI-6、CARI-7A 與 EPCARD. Net 5.4.3 等三種國際最新飛航輻射劑量評估程式，並根據我國籍飛航人員每月工時、飛行時間、飛行高度、地磁緯度等資訊，評估臺灣國籍航空(中華航空與長榮航空)主要頻繁航線之宇宙輻射劑量。在不考慮高曝露劑量之極端情境，研究結果顯示我國飛航人員之平均個人年有效劑量約為 2-3 毫西弗。

國內的清華大學自行開發了飛航劑量計算軟體 NTHU Flight Dose Calculator(以下簡稱 NTHU FDC)，做為評估飛航行為的宇宙輻射有效劑量【114】。這個清華大學自行開發的模式，已於 110 年完成與其它國際飛航劑量評估程式之驗證，該程式對飛航劑量的模擬結果跟其他國際上的飛航評估軟體如：CARI、EPCARD、SIEVERT 相比，評估結果與其它軟體差異不大【115】。Yang and Hsu 在 2021 年所發表研究【116】，即是利用 NTHU FDC 軟體評估台灣國籍航空機師之職業曝露劑量，該研究利用 2006 年至 2018 年這兩家航空公司所有運營航班的實際航線，包括：客運、貨運和包機航班的，計算 2,513 名飛行駕駛的年度職業曝露劑量，台灣民用航空駕駛的個人年有效劑量(E_{EXP})評估果落在 1.70 毫西弗到 2.97 毫西弗之間，個人平均有效劑量的平均值是 1.97 毫西弗/年。因具有本土化的優勢，故優先採用以 NTHU FDC 軟體評估台灣地區之飛航劑量數據，本報告以 Yang and Hsu 的研究評估所得之 1.97 毫西弗/年，作為民用航空飛航工作人員之個人年有效劑量(E_{EXP})的評估基礎。

從業人口的部分，依據行政院性平會之國籍航空公司受僱員工統計資料【117】，我國國籍航空公司之受僱員工實際從事飛行工作包括：

機長、副機長及空服員，從業人口在過去 10 年呈現逐年增加趨勢，106 年後突破萬人；104 年-109 年之機長、副機長及空服員之平均從業人數分別為 1,364 人、1,561 人、7,855 人，合計為 10,780 人。承上，算出台灣民用航空之職業曝露集體有效劑量(S)為每年 21.24 人-西弗，將納入天然射源類的職業曝露。

3. 台灣地區職業曝露評估結果

在納入民用航空之職業曝露劑量評估結果後，111 年版之天然射源相關職業曝露之從業人數調整為 10,822 人，集體有效劑量(S)為每年 21.236 人-西弗；與人工射源之職業曝露劑量加總後，111 年的職業輻射之總人數 63,872 人，職業輻射曝露之集體有效劑量(S)為每年 27.903 人-西弗，個人年有效劑量(E_{EXP})為每年 0.436 毫西弗。表 97 分別列出 87 年版及 111 年版之台灣地區職業曝露劑量比評估結果。87 年的職業輻射總人數約 24,917 人，以人工射源類為主；集體有效劑量(S)為每年 24.15 人-西弗，主要由人工射源類所貢獻；個人年有效劑量(E_{EXP})為每年 0.97 毫西弗。

整體而言，職業曝露的總從業人口較 20 年前大幅提升，集體有效劑量(S)也是增加的，但個人年有效劑量(E_{EXP})則是降低的。比較前後評估結果，年集體有效劑量增加的類別僅有天然射源類及醫學應用類，造成差異的主要因素均是從業人口在近 20 年有大幅度的增加。天然射源類的從業人數變化，主要是來自航空業的發展所增加的飛航人員，約為 20 年前的 5 倍；人工射源類的從業人數變化，僅核燃料循環類的人數是下降的，其餘四類都呈現明顯增加，醫療應用類及工業應用類分別增加了 3 倍及 4.6 倍。

表 97. 台灣地區之職業曝露劑量評估結果(87 年及 111 年)

職業類別	87 年版 (79-84 年)			111 年版 (104-109 年)		
	人數 (人)	集體 有效劑量 S (人-西 弗)	個人 年有效劑 量 E_{EXP} (毫西弗)	人數 (人)	集體 有效劑量 S (人-西弗)	個人 年有效劑量 E_{EXP} (毫西弗)
核燃料循環	7919	15.50	1.96	5605	4.866	0.868
醫學應用	6188	0.85	0.14	19023	1.102	0.058
工業應用	4944	1.52	0.31	22124	0.55	0.025
其他應用	3266	1.16	0.36	6298	0.149	0.024
小計 (人工射源)	22317	19.03	0.85	53050	6.667	0.126
NORM 相關	1000* ²	0.16* ³	1.6E-04* ³	32	1.20E-05	3.66E-04
民用航空	2195	4.96* ³	2.23* ³	10,780	21.236* ³	1.97* ⁴
小計 (天然射源)	2600* ²	5.12 * ³	1.97	10822	21.236* ³	1.96
總計	24917	24.15	0.97	63872	27.903	0.436

- *備註:1. 個人年有效劑量(E_{EXP})係指該類別總人數之整體平均有效劑量；意即集體有效劑量 S/
總工作人員數=個人年有效劑量 E_{EXP}
2. 參考當時社會現況估算所得，非實際統計數據。
3. 非以劑量監測數據計算，係另以國際認可的評估方法估計所得。
4. 資料來源：A Comprehensive Approach for Estimating Collective and Average Effective Doses of Galactic Cosmic Radiation Received by Pilots. (2021), Yang and Hsu.。

台灣目前的輻射從業人口比例如圖 33，工業應用類取代核燃料循環類成為最大宗，佔整體的 34.6%，醫學應用類 29.8%次之，天然射源的總人數佔比為 16.9%，其他應用類 9.9%，核燃料循環類之人數僅佔 8.8%，是所有職業類別中人數最少的。

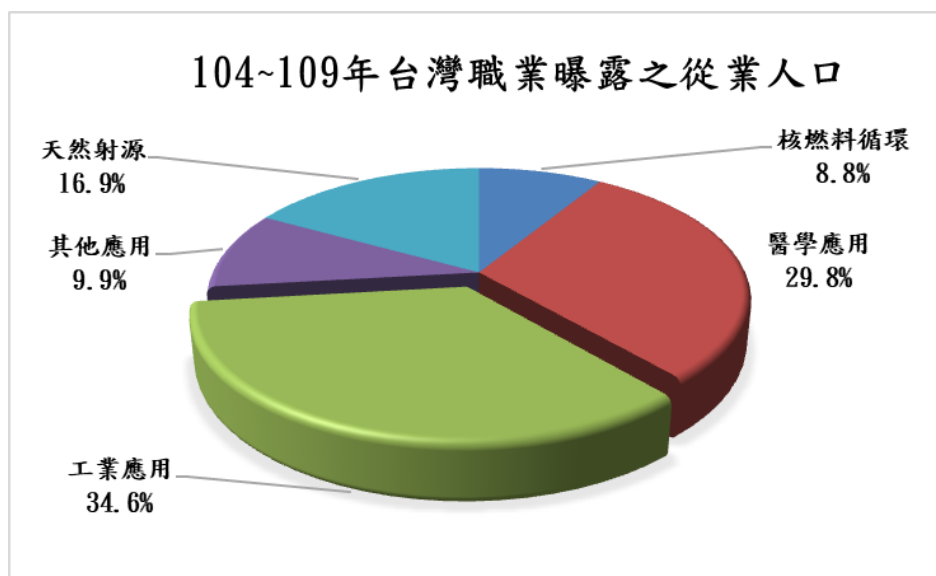


圖 33. 台灣地區 111 年各職業曝露之從業人口比例

圖 34 是各職業輻射類別之集體有效劑量(S)之比例關係圖。在納入職業飛航劑量之評估數據後，評估台灣目前之職業曝露的集體有效劑量(S)為每年 20.358 人-西弗，天然射源的集體有效劑量(S)佔比為 82.9%，核燃料循環佔比 12.5%居次，為人工射源類職業曝露最主要的劑量貢獻來源，其次是醫學應用類，佔比為 2.8%，工業應用類及其他應用類之貢獻比分別佔 1.4%及 0.4%。

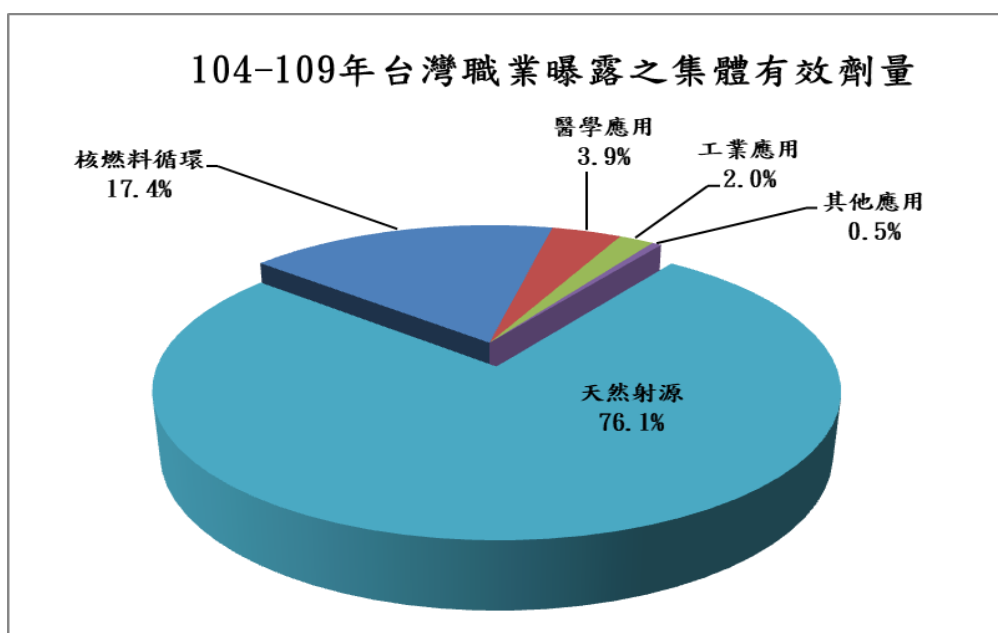


圖 34. 台灣地區 111 年各職業曝露之集體有效劑量比例

4. 與其他國家之比較

彙整國外相關文獻各類職業曝露之個人年有效劑量(E_{EXP})，比較如下表 98。

表 98. 職業曝露之個人年有效劑量(E_{EXP})之比較

單位：毫西弗

職業種類	台灣	全球* ¹	美國* ²	日本* ³	
人工 射源	核燃料循環	0.87	0.6	1.87	1.16
	醫學應用	0.06	0.5	0.75	0.08
	工業應用	0.03	0.4	0.81	0.34
	其他應用	0.02	0.1	0.72	0.02
	軍事應用	-	0.15	0.59	
天然 射源	NORM 作業	0.0004	1.9	-	0.02
	民用航空	1.97	2.7	3.07	2

*備註：1. UNSCEAR 2020/2021 報告(2022)。

2. NCRP160 號報告(2009)。

3. 放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料-令和 3 年度版(2022)。

職業曝露的個人年有效劑量(E_{EXP})部份，我國在人工射源及天然射源職業曝露之個人年有效劑量(E_{EXP})之平均值分別為每年 0.13 毫西弗及 1.96 毫西弗，整體職業曝露之個人年有效劑量(E_{EXP})為每年 0.44 毫西弗；與 UNSCEAR 2020/2021 報告的評估結果相比，全球之人工射源及天然射源職業曝露之個人年有效劑量(E_{EXP})分別為每年 0.5 毫西弗及 1.9 毫西弗(民用航空之職業曝露劑量為每年 2.7 毫西弗)，整體職業曝露之個人年有效劑量(E_{EXP})為每年 1.2 毫西弗，我國的職業曝露劑量都是低於全世界平均的。

5. 職業曝露之國民輻射劑量

本中心前版(87 年版)之國民輻射劑量評估，職業輻射曝露之集體有效劑量(S)為每年 24.15 人-西弗，以當時台灣地區人口數 2,100 萬人計，台灣地區職業曝露對台灣全體國民造成之平均年有效劑量，亦即國民輻射劑量(E_{Taiwan})為每年 1.14 微西弗；其中，人工射源及天然輻射分別貢獻每年 0.9 微西弗及 0.24 微西弗。

本報告所完成之 111 年年職業曝露評估包含兩個部分，第一部分是依據 104 年至 109「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」之劑量監測數據，所得之職業曝露歷年集體有效劑量如表 99；人口的數據則來自內政部人口統計年報【118】，將集體有效劑量除以當年度的人數，即為當年度職業曝露對台灣民眾造成之平均年有效劑量，意即國民輻射劑量(E_{Taiwan})。在不考慮民用航空職業曝露的情況下，近六年台灣職業曝露造成之國民輻射劑量(E_{Taiwan})在每年 0.234~0.366 微西弗之間，近六年之平均值為每年 0.281 微西弗。第二部分是以模式推估結果計算民用航空之職業曝露，以國際認可方式結合本土數據進行劑量推估，104~109 年民用航空之集體有效劑量(S)平均值為 21.236 人-西弗，換算成國民輻射劑量(E_{Taiwan})為 0.901 微西弗/人-年，與劑量監測所得之國民輻射年劑量 E_{Taiwan} (0.281 微西弗/人-年)加總，結果為 1.182 微西弗/人-年，約為每年 0.001 毫西弗。

表 99. 台灣職業曝露之國民輻射劑量(E_{Taiwan})

年分	104	105	106	107	108	109
男(人)	11,712,047	11,719,270	11,719,580	11,712,913	11,705,186	11,673,765
女(人)	11,780,027	11,820,546	11,851,647	11,876,019	11,897,935	11,887,471
總人口數(人)	23,492,074	23,539,816	23,571,227	23,588,932	23,603,121	23,561,236
集體有效劑量 S (毫西弗)	8589.69	7326.65	5803.61	5775.33	5516.98	6725.03
國民輻射劑量 E_{Taiwan} (微西弗/年)	0.366	0.311	0.246	0.245	0.234	0.285

依據 UNSCEAR 2020/2021 報告，更新後之全球職業曝露集體有效劑量(S)為每年 29,770 人-西弗，人工射源及天然射源職業曝露之集體有效劑量分別為每年 5,470 人-西弗及 24,300 人-西弗。至於在全

球之職業曝露所造成之群體輻射劑量部份，因 2021 年全世界的人口約有 78.37 億人，全球職業曝露對全球民眾造成之平均年有效劑量 E_{global} 估計為每年 3.799 微西弗。

我國職業曝露集體有效劑量(S)為每年 27.903 人-西弗，在人工射源及天然射源職業曝露之集體有效劑量(S)分別為每年 6.667 人-西弗及 21.236 人-西弗，與 UNSCEAR 2020/2021 報告的全球職業曝露評估結果相比，我國的職業曝露劑量占全球的 0.094%，人工射源及天然射源職業曝露則各占全世界該類別之 0.122%及 0.087%。詳細評估過程請參閱本中心技術文件 RMC-111-301Rev2 職業曝露國民輻射劑量評估-112 年修正版。

伍、結論

- 一、海陸域輻射調查計畫，總計完成海域輻射調查資料 840 筆、陸域輻射調查資料 488 筆，上述試樣放射性分析結果皆遠低於法規標準，顯示台灣海陸域環境目前無輻射安全疑慮。同時依據台灣周邊海域長期監測計畫執行台灣周圍海域環境輻射之監測作業，並據此規劃 112 年台灣海域環境輻射監測計畫，以持續為台灣海洋環境輻射安全把關。另陸域部分，民國 109 年至 111 年已完成台灣山區土壤及核設施周圍土壤放射性調查，並完成陸域環境輻射調查報告，以完備台灣環境全方位輻射背景資料，並作為電廠除役期間及境外核汙染事故之環境輻射背景參考基準。綜上內容，111 年度海陸域調查計畫成效如下：
- (一)、111 年監測結果在歷年活度變化範圍內，並確認台灣臨近海域目前並無輻射異常現象。
 - (二)、執行台灣周邊海域長期監測計畫，並了解日本福島含氫廢水排放對我國海域環境影響，同時針對中國大陸沿海核電廠等境外可能放射性污染進行監測，持續確認我國核電廠周邊海域輻射安全。
 - (三)、定期召開海域輻射監測工作小組會議，成員含括原能會、海委會、農委會等，透過跨部會工作會議分享因應工作近況，並持續檢討修正因應對策。
 - (四)、核設施周圍土壤銫-137 近乎沉降於土壤深度 0~25 公分內，惟僅核三廠、蘭嶼貯存場及核能研究所出現於深度大於 30 公分以上之深層土，而核能研究所較為特殊，其深度於 0~25 公分間各分層之銫-137 活度為 20.9~23.8 貝克/千克·乾重，研判與該點地質特性、土壤基質或人為活動有關；蘭嶼貯存場於 40~45 公分處銫-137 為 2.36 貝克/千克·乾重，研判經長時間雨水沖刷使銫-137 遷移至深層土壤或人為活動有關。

(五)、台灣山區土壤整體平均銫-137 含量約 7.85 貝克/千克·乾重，又以北部山區平均銫-137 含量約 12.37 貝克/千克·乾重為最高，中部山區平均銫-137 活度濃度為 7.71 貝克/千克·乾重；南部山區平均銫-137 活度濃度為 8.49 貝克/千克·乾重；東部山區平均銫-137 活度濃度為 6.29 貝克/千克·乾重，與歷年(109~110 年)調查結果無明顯差異。

(六)、台灣西部的稻米未測得銫-137 等人工核種，測得稻穀平均鉀-40 含量為 126 貝克/千克·乾重，糙米平均鉀-40 含量為 79 克/千克·乾重，與 110 年調查結果無明顯差異。

二、國民輻射劑量評估調查結果，所得之國民輻射劑量五大來源之年有效劑量及百分比如表 100。天然背景輻射造成之每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})總計為每年 2.74 毫西弗，占比為 63.57%；醫療輻射之國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為每年 1.51 毫西弗，占比為 35.03%；消費性產品之國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為每年 0.058 毫西弗，占比為 1.35%；職業曝露造成之國民輻射劑量(E_{Taiwan})約為每年 0.001 毫西弗，占比約為 0.03%；產業活動造成之國民輻射劑量(E_{Taiwan})小於每年 0.001 毫西弗，占比小於 0.001%。

表 100. 國民輻射劑量的組成(五大類)

項目	年有效劑量 (毫西弗)	百分比(%)
天然背景輻射	2.74	63.57
醫療輻射	1.51	35.03
消費性產品	0.058	1.35
職業曝露	0.00118	0.03
產業活動	0.000025	<0.001
總計	4.31	100

(一)、國民輻射劑量仍以天然輻射為主，約占整體國民輻射劑量之 63.57%，天然輻射各來源之評估結果摘錄如下：

1. 地表輻射：地表輻射包含戶外地表輻射及室內地表輻射，戶外及室內地表輻射分別為 0.09 毫西弗及 0.66 毫西弗；總計，地表輻射造成國人之平均年有效劑量(E_{Taiwan})為 0.75 毫西弗，占整體天然輻射導致之背景輻射劑量之 27.37%。
2. 宇宙射線：宇宙射線劑量包含中子宇宙射線及游離輻射成分，中子宇宙射線造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 0.05 毫西弗，游離輻射成分宇宙射線造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 0.31 毫西弗；總計，宇宙射線造成國人之平均年有效劑量(E_{Taiwan})為 0.36 毫西弗，占整體天然輻射導致之背景輻射劑量之 13.13%。
3. 攝食曝露：主要評估消費性食品吸入鉀-40、鈾-210 等放射性核種之全身有效劑量等，計算出體內放射性核種所造成之平均年有效劑量(E_{Taiwan})為 0.73 毫西弗，占整體天然輻射導致之背景輻射劑量之 26.64%。
4. 氡氣：國內住宅氡氣濃度平均每立方公尺 19.36 貝克，換算氡氣吸入造成國人之平均年有效劑量(E_{Taiwan})為 0.90 毫西弗，占整體天然輻射導致之背景輻射劑量之 32.85%。

(二)、人造輻射部份以醫療輻射為主，其次是消費性產品，各評估項目之曝露人數、集體有效劑量、曝露人口之個人有效劑量比較如表 70，評估結果摘錄如下：

1. 醫療輻射：醫療輻射包含 8 種醫療輻射類別，電腦斷層造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 1.02 毫西弗；核子醫學造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 0.16 毫西弗；心臟類介入性透視攝影

造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 0.19 毫西弗；非心臟類介入透視攝影造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 0.05 毫西弗；傳統透視攝影造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 0.01 毫西弗；一般傳統 X 光造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 0.08 毫西弗；乳房攝影造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 0.001 毫西弗；牙科攝影造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 0.001 毫西弗；總計，醫療輻射造成國民每人年平均有效劑量(E_{Taiwan})為 1.51 毫西弗，占整體之 35.03%。

2. 吸菸：以每根香菸鈾-210 活度濃度 0.014 貝克進行吸菸輻射劑量之評估，換算國民輻射劑量(E_{Taiwan})為 0.047 毫西弗，占整體國民輻射劑量之 1.09%。
3. 民用飛航：針對國際線、兩岸線與國內線等台灣地區的熱門航線進行國人飛航行為之調查與劑量評估，計算民用飛航所造成國民輻射劑量(E_{Taiwan})為 0.011 毫西弗，占整體國民輻射劑量之 0.2%。
4. 農業肥料：農業活動中的肥料使用，會有鈾系、鈾系和鉀-40 等放射性核種，因農業耕種時施作肥料行為所造成的國民輻射劑量(E_{Taiwan})為 2.5×10^{-5} 毫西弗(0.025 微西弗)，占整體國民輻射劑量之 0.001%。
5. 核設施：針對國內現有核設施進行探討，包含核能一廠、核能二廠、核能三廠、清華大學研究用反應器、核能研究所、台電公司蘭嶼低放貯存場等，共計 6 座核設施；核能電廠以外之核設施之國民輻射劑因劑量極低，故不予評估；核設施所造成國民輻射劑量皆由三座核電廠所貢獻，為每年 3.90×10^{-7} 毫西弗。
6. 燃煤電廠：針對國內燃煤電廠周圍之空浮與土壤進行採樣調查與量測，空浮部分大氣微粒之天然放射性核種活度之分析，其量測之

結果微粒上所含之輻射物質皆小於偵測極限；土壤量測結果未受到非灰放射性影響而造成輻射曝露增加，其評估劑量應極低，趨近於 0，故不再繼續推算可能造成之最大劑量值或年集體有效劑量。

7. 職業曝露：以我國目前存在輻射從業人口的行業，包括：核燃料循環類，醫學應用類、工業應用類、天然射源類及其他類 5 類。綜整劑量監測及劑量評估之結果，職業曝露造成國民輻射劑量(E_{Taiwan})為 1.2×10^{-3} 毫西弗(1.2 微西弗)，占整體國民輻射劑量之 0.028%。

(三)、依本中心 108 至 111 年重新辦理國民輻射劑量評估調查結果，國民輻射劑量組成與比較如圖 36。國民輻射劑量(E_{Taiwan})評估調查結果為 4.31 毫西弗，其評估結果較 20 年前之 2.44 毫西弗為高，除凸顯民眾生活條件、習慣之差異外，也和評估方法及使用參數改變有關，但整體變化與各國趨勢相同，均以天然背景輻射及醫療輻射為主，占 98%以上。

表 101. 人造輻射之曝露人數、集體有效劑量、曝露人口之個人有效劑量比較

種類	細項	曝露人數 (人)	S (人-西 弗)	E _{EXP} (毫西弗)	E _{Taiwan} (毫西弗)
職業 曝露	核燃料循環	5605	4.866	0.868	2.81*10 ⁻⁴
	醫學應用	19023	1.102	0.058	
	工業應用	22124	0.55	0.025	
	其他應用	6298	0.149	0.024	
	NORM 相關	32	1.2*10 ⁻⁵	3.66*10 ⁻⁴	
		民用航空	10780	21.236	1.97
消費 性產 品	吸菸行為	259.8 萬	1.11	0.225~0.45	0.047
	飛航活動	7000 萬	267.95	0.00005~0.189	0.011
產業 活動	核設施	*1	0.00917	10 ⁻⁴ ~<10 ⁻⁶	3.9*10 ⁻¹⁰
	農業(肥料)	96.6 萬	0.586	6.06E-03	2.5*10 ⁻⁵
醫療 輻露	電腦斷層	232.1 萬	23364	2.07~24.54	1.02
	核子醫學	40.4 萬	3670	3.68~18.08	0.16
	心臟類介入性 透視攝影	24.3 萬	4544	0.96~33.85	0.19
	非心臟類介入 性透視攝影	21.4 萬	1000	0.12~28.83	0.05
	傳統透視攝影	16.6 萬	272	0.89~4.5	0.01
	一般傳統 X 光	2448.2 萬	1956	0.0003~0.24	0.08
	乳房攝影	23.9 萬	34	0.14~0.16	0.001
牙科攝影	1843.1 萬	26	0.001~0.014	0.001	

*核設施之曝露人口以其鄰近 50 公里內之關鍵群體估算之。

國民輻射劑量評估比較

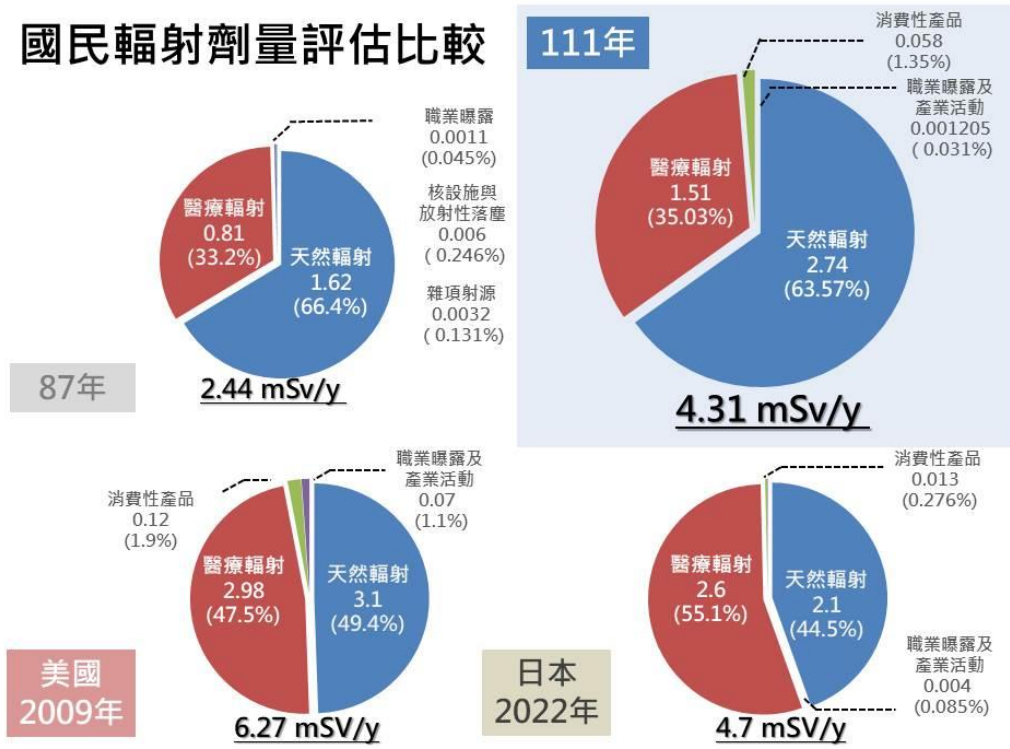


圖 36. 國民輻射劑量組成與比較

陸、參考文獻

- 【1】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，國民輻射劑量之評估研究報告，87年6月。
- 【2】 行政院原子能委員會，「環境輻射監測規範」，98年11月11日。
- 【3】 行政院衛生福利部，「食品中原子塵或放射能污染容許量標準」，105年1月18日。
- 【4】 輻射偵測中心，「海水放射性分析技術報告」(RMC-107102)，107年12月。
- 【5】 輻射偵測中心，109年水樣中氫檢測方法精進報告(RMC-109109)，109年9月。
- 【6】 National Council on Radiation Protection and Measurements., Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States (NCRP Report No. 160), 2009
- 【7】 輻射偵測中心，台灣海陸域環境輻射調查計畫 109 年度執行報告 (RMC-109-103)，109年12月。
- 【8】 輻射偵測中心，台灣海陸域環境輻射調查計畫 110 年度執行報告 (RMC-111-101)，111年1月
- 【9】 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation (UNSCEAR 2000 Report), UNSCEAR Publishing., 2000。
- 【10】 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation (UNSCEAR 2008 Report), UNSCEAR Publishing., 2008。
- 【11】 H. L. Beck, J. DeCampo, C. Gogolak, In Situ Ge(Li) and NaI(Tl) Gamma-Ray Spectrometry, U.S.Atomic Energy Commission Report HASL-258, New York, NY., 1972
- 【12】 內政部，不動產資訊平台-房屋稅籍住宅類數量，111年。
<https://pip.moi.gov.tw/V3/e/scre0402.aspx>
- 【13】 行政院主計總處，社會發展趨勢調查報告，103年。
- 【14】 潘洵樊，大氣層次級宇宙射線蒙地卡羅模擬及飛航劑量評估，國立清華大學核子工程與科學研究所碩士論文，2015
- 【15】 H. L. Beck, J. DeCampo, C. Gogolak, In Situ Ge(Li) and NaI(Tl) Gamma-Ray Spectrometry, U.S.Atomic Energy Commission Report HASL-258, New York, NY., 1972
- 【16】 行政院主計總處，民國93年社會發展趨勢調查報告，93年。
- 【17】 日本環境省，「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(令和3年度版)」，2022
- 【18】 International Atomic Energy Agency (IAEA), Criteria for Radionuclide Activity Concentrations for Food and Drinking Water. IAEA-TECDOC- 788. IAEA Publishing., 2016
- 【19】 衛生福利部國民健康署，國民營養健康狀況變遷調查(102-105年)成果報告，衛福部食品藥物管理署，106年。
- 【20】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，民國106年上半年台灣地區放射性落塵與食品調查報告，106年。
- 【21】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，民國106年下半年台灣地區放射性落塵與食品調查報告，107年。
- 【22】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，民國107年上半年台灣地區放射性落

- 塵與食品調查報告，107 年。
- 【23】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，民國 107 年下半年台灣地區放射性落塵與食品調查報告，108 年。
- 【24】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，民國 108 年上半年台灣地區放射性落塵與食品調查報告，108 年。
- 【25】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，民國 108 年下半年台灣地區放射性落塵與食品調查報告，109 年。
- 【26】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，民國 109 年上半年台灣地區放射性落塵與食品調查報告，109 年。
- 【27】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，民國 109 年下半年台灣地區放射性落塵與食品調查報告，110 年。
- 【28】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，民國 110 年上半年台灣地區放射性落塵與食品調查報告，110 年。
- 【29】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，民國 110 年下半年台灣地區放射性落塵與食品調查報告，111 年。
- 【30】 衛福部食品藥物管理署、國家衛生安全研究院，國家攝食資料庫-108 年攝食量調查報告，111 年。
- 【31】 T. Ota, T. Sanada, Y. Kashiwara, T. Morimoto & K. Sato, Evaluation for committed effective dose due to dietary foods by the intake for Japanese adults. *Japanese Journal of Health Physics*, 44(1), 80-88., 2009
- 【32】 高淑雲、蔡慧君，農政視野--提升漁產加值行動方案、農政與農情，行政院農業委員會出版品，106 年 10 月(第 304 期)。
- 【33】 郭俊德，水產品廢棄物之處理與應用，行政院農業委員會臺南區農業改良場，農情半月刊第 189 期，90 年(第二期)。
- 【34】 International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 72: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, Ann. ICRP 26. ICRP Publishing., 1996
- 【35】 內政部，戶籍人口統計，110 年。
- 【36】 International Commission on Radiological Protection (ICRP), Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP Publication 103). ICRP Publishing, 2007
- 【37】 International Commission on Radiological Protection., Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon (ICRP Publication 115). ICRP Publishing, 2007
- 【38】 International Commission on Radiological Protection (ICRP), Statement on Radon. ICRP Publishing, 2009
- 【39】 International Commission on Radiological Protection (ICRP), Radiological Protection against Radon Exposure (ICRP Publication 126). ICRP Publishing, 2014
- 【40】 American Association of Radon Scientists and Technologists, Protocol for conducting measurements of radon and radon decay products in homes (ANSI/AARST MAH-2019) AARST Publishing., 2019
- 【41】 American Association of Radon Scientists and Technologists, Protocol for conducting measurements of radon and radon decay products in homes (ANSI/AARST MAH-2014) AARST Publishing, 2014
- 【42】 陳清江，「台灣地區住宅氡氣活度擴大量測與劑量再評估」計畫成果，行政

- 院原子能委員會輻射偵測中心，106 年。
- 【43】 National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Medical Radiation Exposure of Patients in the United States (Report No. 184). NCRP Publishing, 2019
- 【44】 F. T. CROSS, Radioactivity in Cigarette Smoke Issue, Health Phys. 1984; 46(1), 205–208.
- 【45】 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
- 【46】 EML, DOE (EML is currently part of the DHS). HASL-300 Method Po-02-RC: Polonium in Water, Vegetation, Soil, and Air Filters. EML Procedures Manual, HASL-300, 28th Edition, 1997.
- 【47】 National Council on Radiation Protection and Measurements.(NCRP), Exposure of the U.S. Population from Occupational Radiation, NCRP Report No. 101, 1989
- 【48】 https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/media/MV-DATES.zip
- 【49】 袁明豪、吳昀庭、胡家瑜、吳怡靚、林欣儀，臺灣重要航線宇宙輻射劑量之評估與量測方法評析及其資料庫建立，原子能科技學術合作研究計畫期末報告，106 年 12 月 31 日。
- 【50】 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>
- 【51】 楊子毅，NTHU Flight Dose Calculator (Python version) 使用手冊(版本 3.1c)，國立清華大學核子工程與科學研究所輻射安全與屏蔽實驗室，111 年 6 月。
- 【52】 EUROPEAN COMMISSION, Radiation Protection 140 Cosmic Radiation Exposure of Aircraft Crew Compilation of Measured and Calculated Data ; 110, 417-422., 2004
- 【53】 內政部移民署全球資訊網。 <https://ris.gov.tw/app/portal/346>
- 【54】 S.Y.F. Chu, L.P. Ekström and R.B, The Lund/LBNL Nuclear Data Search Version 2.0, Firestone LBNL, Berkeley,USA , 1999.
- 【55】 N. N. Jibiri and K. P. Fasae, Activity concentrations of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K in brands of fertilizers used in Nigeria, Radiation Protection Dosimetry, vol. 148, no. 1, pp. 132–137, 2012
- 【56】 N. M. Hassan, N. A. Mansour, M. Fayez-Hassan, and E. Sedqy, Assessment of natural radioactivity in fertilizers and phosphate ores in Egypt, Journal of Taibah University for Science, vol. 10, no.2, pp.296–306, 2016.
- 【57】 W. Boukhenfouf and A. Boucenna, The radioactivity measurements in soils and fertilizers using gamma spectrometry technique, Journal of Environmental Radioactivity, vol. 102, no. 4, pp. 336–339, 2011.
- 【58】 S. Righi, P. Luciali, and L. Bruzzi, Health and environmental impacts of a fertilizer plant—Part I:assessment of radioactive pollution, Journal of Environmental Radioactivity, vol. 82, no. 2, pp. 167–182, 2005.
- 【59】 G. Marovic and J. Sencar, ²²⁶Ra and possible water contamination due to phosphate fertilizer production, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Letters, vol. 200, no. 1, pp. 9–18, 1995.
- 【60】 N. M. Hassan, M. Hosoda, T. Ishikawa et al., Radon migration process and its influence factors; review, Japanese Journal of Health Physics, vol. 44, no. 2, pp. 218–231, 2009.
- 【61】 M. S. Yasir, A. Ab Majid, and R. Yahaya, Study of natural radionuclides and its radiation hazard index in Malaysian building materials, Journal of

- Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol. 273, no. 3, pp. 539–41, 2007.
- 【62】 行政院原子能委員會，天然放射性物質管理辦法，民國 106 年 9 月 15 日修正。
- 【63】 行政院農業委員會農糧署，臺灣地區肥料產銷量值年報與 109 年臺灣地區農耕土地面積年報，109 年。
- 【64】 R. Ugolini, E. Caldognetto and F. Trotti, "Use of Fertilizers in Agriculture: Individual Effective Dose Estimate", *Environments*, vol.7, no. 7, pp. 1–8, 2020.
- 【65】 行政院原子能委員會，游離輻射防護標準，民國 94 年 12 月 30 日修正。
- 【66】 N. M. Hassan, Byung-Uck Chang, and Shinji Tokonami, Comparison of Natural Radioactivity of Commonly Used Fertilizer Materials in Egypt and Japan, *Journal of Chemistry*, vol. 2017, pp.1–8, 2017.
- 【67】 COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom.
- 【68】 N. M. Hassan, N. A. Mansour, M. Fayez-Hassan, E. Sedqy, Assessment of natural radioactivity in fertilizers and phosphate ores in Egypt, *Journal of Taibah University for Science*, vol.10, pp.296–306, 2016.
- 【69】 V. A. Becegato, F. J. F. Ferreira, and W. C. P. Machado, Concentration of radioactive elements (U, Th and K) derived from phosphatic fertilizers in cultivated soils, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 51, no. 6, pp. 1255–1266, 2008.
- 【70】 W. R. Alharbi, Natural radioactivity and dose assessment for brands of chemical and organic fertilizers used in Saudi Arabia, *Journal of Modern Physics*, vol. 4, no. 3, pp. 344–348, 2013.
- 【71】 A. Bramki., M. Ramdhane., F. Benrachi, Natural radioelement concentrations in fertilizers and the soil of the Mila region of Algeria, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, vol. 11, Issue 1, pp. 49-55, 2018
- 【72】 M. N. Alam, M. I. Chowdhury, M. Kamal, S. Ghose, H. Banu, and D. Chakraborty, Radioactivity in chemical fertilizers used in Bangladesh, *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 48, no. 8, pp. 1165–1168, 1997.
- 【73】 台灣電力公司核能發電處，核一廠 106 年放射性物質排放年報，107 年。
- 【74】 台灣電力公司核能發電處，核二廠 106 年放射性物質排放年報，107 年。
- 【75】 台灣電力公司核能發電處，核三廠 106 年放射性物質排放年報，107 年。
- 【76】 台灣電力公司核能發電處，核一廠 107 年放射性物質排放年報，108 年。
- 【77】 台灣電力公司核能發電處，核二廠 107 年放射性物質排放年報，108 年。
- 【78】 台灣電力公司核能發電處，核三廠 107 年放射性物質排放年報，108 年。
- 【79】 台灣電力公司核能發電處，核一廠 108 年放射性物質排放年報，109 年。
- 【80】 台灣電力公司核能發電處，核二廠 108 年放射性物質排放年報，109 年。
- 【81】 台灣電力公司核能發電處，核三廠 108 年放射性物質排放年報，109 年。
- 【82】 台灣電力公司核能發電處，核一廠 109 年放射性物質排放年報，110 年。
- 【83】 台灣電力公司核能發電處，核二廠 109 年放射性物質排放年報，110 年。
- 【84】 台灣電力公司核能發電處，核三廠 109 年放射性物質排放年報，110 年。
- 【85】 台灣電力公司核能發電處，核一廠 110 年放射性物質排放年報，111 年。
- 【86】 台灣電力公司核能發電處，核二廠 110 年放射性物質排放年報，111 年。
- 【87】 台灣電力公司核能發電處，核三廠 110 年放射性物質排放年報，111 年。
- 【88】 行政院原子能委員會輻射偵測中心，臺灣地區核設施 110 年環境輻射監測年報，111 年 3 月。

- 【89】 原子科學技術發展中心，國立清華大學環境輻射監測季報(110年第1季)，110年5月。
- 【90】 原子科學技術發展中心，國立清華大學環境輻射監測季報(110年第2季)，110年8月。
- 【91】 原子科學技術發展中心，國立清華大學環境輻射監測季報(110年第3季)，110年11月。
- 【92】 原子科學技術發展中心，國立清華大學環境輻射監測季報(110年第4季)，111年2月。
- 【93】 行政院原子能委員會核能研究所，核能研究所場所外環境輻射監測報告書(期間110年1月至110年3月)，110年5月。
- 【94】 行政院原子能委員會核能研究所，核能研究所場所外環境輻射監測報告書(期間110年4月至110年6月)，110年8月。
- 【95】 行政院原子能委員會核能研究所，核能研究所場所外環境輻射監測報告書(期間110年7月至110年9月)，110年11月。
- 【96】 行政院原子能委員會核能研究所，核能研究所場所外環境輻射監測報告書(期間110年10月至110年12月)，111年2月。
- 【97】 台灣電力股份有限公司，低放貯存場110年環境輻射監測報告，111年2月。
- 【98】 內政部移民署全球資訊網。<https://ris.gov.tw/app/portal/346>
- 【99】 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Publications, New York, 1993.
- 【100】 U.S. Geological Survey (USGS), Radioactive Elements in Coal and Fly Ash: Abundance, Forms, and Environmental Significance, Fact Sheet FS-163-97, <http://pubs.usgs.gov/fs/1997/fs163-97/FS-163-97.html>, 1997.
- 【101】 台灣電力公司火力發電簡介。
<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=202&cid=129&cchk=675cea43-9c45-4ae1-80c6-4f18b3b38d8e>
- 【102】 M.d. Jainal Abedin, M.d. Rezaul Karim, Spatial distribution of radionuclides in agricultural soil in the vicinity of a coal-fired brick kiln. Arabian Journal of Geosciences, Article number : 236, 2019.
- 【103】 International Atomic Energy Agency (IAEA), Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation. Technical Reports Series No. 419. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2003.
- 【104】 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2022), Sources and Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2020/2021 Report Volume IV comprises scientific annex D: Evaluation of occupational exposure to ionizing radiation (UNSCEAR 2020/2021 Report). UNSCEAR Publishing.
- 【105】 行政院原子能委員會，全國輻射工作人員劑量資料統計年報(民國104年版)，105年。
- 【106】 行政院原子能委員會，全國輻射工作人員劑量資料統計年報(民國105年版)，106年。
- 【107】 行政院原子能委員會，全國輻射工作人員劑量資料統計年報(民國106年版)，107年。
- 【108】 行政院原子能委員會，全國輻射工作人員劑量資料統計年報(民國107年版)，

- 108 年。
- 【109】 行政院原子能委員會，全國輻射工作人員劑量資料統計年報(民國 108 年版)，109 年。
- 【110】 行政院原子能委員會，全國輻射工作人員劑量資料統計年報(民國 109 年版)，110 年。
- 【111】 J. Lochard, D. Bartlett, W. Rühm, H. Yasuda & J. F. Bottollier-Depois ICRP Publication 132: Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation. *Annals of the ICRP*, 45(1), 5–48., 2016
- 【112】 J. Kubančák, D.Kyselová, I. Kovář, M.Hlaváčová, R.Langer, I. Strhásky, K. Kudela, M. Davídková & O. Ploc, OVERVIEW OF AIRCREW EXPOSURE TO COSMIC RADIATION IN THE CZECH REPUBLIC. *Radiation Protection Dosimetry*, 186(2–3), 211–214., 2019
- 【113】 H. Yasuda, T. Sato, H. Yonehara, T. Kosako, K. Fujitaka & Y. Sasaki, Management of cosmic radiation exposure for aircraft crew in Japan. *Radiation Protection Dosimetry*, 146(1–3), 123-125., 2011
- 【114】 李安倫，台灣飛航輻射劑量的研究與評估程式的開發，碩士論文，國立清華大學，臺灣博碩士論文知識加值系統，106 年。
- 【115】 許榮鈞，飛航劑量評估程式的認證與飛航劑量測量實驗設計，科技部補助專題研究計畫成果報告，106 年。
- 【116】 Z. Y. Yang & R. J. Sheu, A Comprehensive Approach for Estimating Collective and Average Effective Doses of Galactic Cosmic Radiation Received by Pilots. *Health Physics*, 120(1), 72–79., 2020
- 【117】 行政院性別平等委員會，重要性別平等資料庫-國籍航空公司受雇員工，109 年。
- 【118】 內政部，戶籍人口統計(109 年)，110 年。