

RMC-109302R1

行政院原子能委員會  
委託研究報告

108 年「海陸域輻射調查及國民輻射  
劑量評估」



計畫全程：自 108 年 1 月 1 日至 108 年 12 月 31 日

執行單位：行政院原子能委員會輻射偵測中心

109 年 2 月



## 摘 要

日本福島事件後，民眾對於環境的輻射劑量與輻射對海域的影響更為關注。本計畫由輻射偵測中心(以下簡稱本中心)推動台灣海域輻射監測調查與國民輻射劑量評估，透過尋求跨部會單位合作與參考國際文獻，先以海水、海產物及累積試樣(岸沙及海底沉積物等)為海洋主要分析樣品，並選擇銻 137 為調查分析之關鍵核種。108 年起依先期計畫規劃內容執行，以充實台灣海域輻射背景調查資料，未來建立台灣海域輻射背景資料庫及進行陸域環境調查，健全台灣海陸域環境輻射資訊，進而能掌握日本福島核災事故及大陸沿岸核能電廠等放射性廢水排放對台灣海域影響之變化趨勢，以確保國人輻射安全。另就國民輻射劑量主要來源，規劃重新調查，國民醫療輻射劑量評估部分已先完成八大類醫療輻射健保資料蒐集與評估軟體建立等初步工作；天然背景輻射部分進行室內外體外輻射量測統計，與氡氣、食品飲水以及吸菸行為之調查評估，並已納入國際文獻對於體內劑量評估模式的修正，未來將持續累積調查數據，以獲得更客觀具代表性之國民輻射劑量調查結果。

# 目錄

壹、 前言.....	2
一、 計畫背景.....	2
二、 計畫目標.....	3
(一) 目標說明.....	3
(二) 預期效益.....	4
貳、 執行策略及方法.....	4
一、 海陸域環境輻射調查.....	4
二、 國民輻射劑量評估.....	7
參、 期程與資源需求.....	10
一、 計畫期程.....	10
二、 經費執行情形.....	11
肆、 結果與討論.....	12
一、 海陸域環境輻射調查.....	12
(一) 海水加馬能譜分析結果.....	12
(二) 沉積物加馬能譜分析結果.....	21
(三) 海產物加馬能譜分析結果.....	27
(四) 比較試驗.....	35
(五) 學術活動.....	35
(六) 資料庫建置與網頁展示.....	36
(七) 跨部會資源整合.....	37
二、 國民輻射劑量評估.....	38
(一) 國內住宅氡氣劑量與地下空間量測.....	38
(二) 國人抽菸之體內劑量評估先期探討.....	45
(三) 食品體內劑量之探討.....	51
(四) 宇宙輻射劑量評估.....	55
(五) 地表輻射體外劑量評估.....	60
(六) 醫療輻射劑量評估作業.....	63
伍、 結論.....	65
陸、 參考資料.....	68

# 壹、前言

## 一、計畫背景

106 年媒體引述義大利媒體報導該國國會於 106 年 2 月 8 日解密義大利軍情局資料中，疑有義大利貿易商非法協助北韓政府處理 20 萬桶放射性核廢料，傾倒於台灣海域。因事涉台灣海域生態及國人健康安全，原能會非常重視此項訊息，立即組成專案小組進行查證，分別就媒體訊息、台灣海域環境輻射監測資料、台灣南北部核電廠附近海域生態調查資料、國際海洋輻射偵測資料、國際核廢料海拋資訊等方面，進行研析查證作業。

原能會於 106 年 2 月 16 日，邀集政府單位及民間團體，舉行「外傳核廢料傾倒台灣海域案」跨部會調查專案小組會議，會中決議積極推動執行「台灣海域輻射監測調查計畫」，由原能會整合相關部會署之協助，以確認海域是否有輻射異常情形。監測調查計畫將分為近程及長程計畫，近程計畫為期二年(106 年至 107 年)，原能會參考國際資訊及整合相關部會資源，規劃取樣地點、取樣程序及分析方法等作業，並積極洽商相關部會協助推動調查作業，以領海 12 浬為優先執行範圍，已於 107 年執行完竣；108 年起執行為期 4 年長程計畫 (108 至 111 年)，結合國內海洋學術研究機構參與，進一步充實我國海域環境輻射背景資料，並擴大執行包含台灣鄰近海域及陸域之範圍。

透過 108 年至 111 年之海陸域環境調查計畫，將可加強台灣海陸域環境輻射監測作業效能，落實輻射安全防護工作，且讓民眾瞭解台灣環境輻射狀況，期望在未來能建立更為完整之台灣環境輻射背景資料庫。

國人的輻射曝露來源很多，包括醫學診斷和治療程序、天然背景輻射、核爆落塵殘留、嚴重核子事故如烏克蘭車諾比及日本福島核災，以及從事人造或技術增強天然放射性物質(NORM)的相關職業曝露等。國際

組織均會定期對於民眾輻射曝露劑量進行評估，例如：聯合國輻射影響科學委員會(UNSCEAR)自 1958 年起每隔 5 至 10 年，會依蒐集資料的統計結果，評估全球民眾輻射劑量[1]。美國國家輻射防護與量測委員會(NCRP)於 2009 年對全美民眾進行大規模輻射曝露情況調查的再評估報告(NCRP 160 號報告)[2]，顯示美國民眾接受輻射曝露與 1980 年代的 NCRP 93 號報告相比，輻射曝露的來源有著大幅差異[3]。尤其是醫療輻射的劑量增加約 2 倍，建議必須加以重視甚至進行行政干預，例如醫療影像品保的推動等。

## 二、 計畫目標

原能會為我國輻射及核能安全的管制監督機關，負責核電廠、輻射作業場所及放射性廢棄物等之安全管制，保障民眾、環境及輻射工作人員之輻射安全。為了能讓民眾能夠瞭解環境輻射的現況，達到監測資訊透明化的目的，本計畫分為兩個分項計畫，分別為海陸域環境輻射調查與國民輻射劑量評估，逐年進行調查與評估，以能得到完整之環境輻射資訊。

### (一) 目標說明

108 年度為本計畫第一年執行，達成之目標如下：

1. 完成樣品取樣及分析，海水樣品 167 件、海產物樣品 178 件、沉積物樣品 88 件，共計海域樣品 433 件。
2. 依放射性監測結果及歷史海流模式，考量經費採滾動式規劃未來之監測調查方法。
3. 建立台灣海域輻射背景資料庫一套。
4. 調查地下室使用場所氬氣濃度至少 15 處。
5. 統計國人因攝食食品飲水與抽菸習慣所導致體內劑量。
6. 完成健保資料庫中八大項之人數與電腦斷層、核子醫學檢查、一般 X 光攝影及乳房攝影之醫院調查序列。

7. 參加國內或國外研討會並發表論文至少 2 篇。

## (二) 預期效益

本計畫係對台灣海域執行環境輻射背景調查，目的主要為充實台灣海域長期輻射監測背景資料，建立台灣海域環境輻射背景資料庫，以利於比對核子意外事故發生時或福島核電廠事故後對台灣海域之影響情形。

透過本計畫的執行能對台灣海域能有更深刻的認識，健全台灣環境輻射背景資料；其他協助單位如海巡署、漁業署及學術機構相關人員，皆能經過執行本計畫對輻射防護知識有更深一步的認識；另外，海巡署亦為核子事故緊急應變之進駐單位，萬一未來發生核子事故時，也能夠因本計畫的執行，在業務聯繫及任務執行都能得心應手，有助於核子事故災防能量之提升，實踐國家行政一體的能力。

隨著科技的進步，建材種類不斷變化、民眾飲食習慣也有改變、輻射醫療診斷與治療日愈普遍，貿易往來密集、民眾搭機的頻次也逐年上升，如何評估國民輻射劑量是第二個分項計畫，透過國民輻射劑量的評估與分析，除可與國際間其他機構的研究數據比對外，提出的輻射防護改善方案，更可以強化輻射作業與監測技術，維護民眾的輻射安全。

## 貳、 執行策略及方法

本年度之執行策略及方法如下：

### 一、 海陸域環境輻射調查

本計畫主要工作項目分別為：加強台灣沿岸地區放射性核種含量背景調查、執行跨部會合作協助海水等環境樣品取樣及委託海洋學術研究機構建立調查方法等，相關執行方式分述如下：

#### (一) 加強台灣沿岸地區放射性核種含量背景調查

## 1. 取樣地點規劃

取樣地點規劃採矩形網格採樣，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，勘察適合長期監測之地點進行取樣作業，並進行定位作為後續執行取樣作業之依據，本年度規劃劃分 8 個區塊 9 個取樣點，分別針對海水及岸沙採樣。



圖 1. 台灣沿岸地區取樣規劃作業區

## 2. 取樣規劃

108 年取樣的頻率採每季執行一次，每個取樣點取 1 個海水 (40~60 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水等環境樣品取樣



彙整 106~108 年度之分析數據，以科學觀點角度來研判數據趨勢，建立台灣海域輻射背景監測資料庫。

## 二、 國民輻射劑量評估

國民輻射劑量來源眾多，經參考國際文獻與先期計畫評估後，將參考美國 NCRP 的分類方式以及過去所做的調查項次，分天然背景輻射、醫療輻射、消費性產品、產業活動以及職業曝露等五大類，重新進行國民輻射劑量的調查作業。

天然背景輻射包含有室內外氡氣、宇宙輻射及室內外地表輻射、食品飲水體內劑量等。將延續近年來的環境輻射背景調查結果，再補增相關數據納入評估，以氡氣為例，過去三年已經對國內住宅內氡氣進行調查，將增加地下空間居住與營業使用之量測，進一步了解氡氣曝露的樣態。地表體外輻射劑量與食品飲水的體內劑量，初步發現與過去差異不大，地表輻射劑量將直接彙整近年量測結果；食品飲用水的體內劑量，會持續累積採樣數據，考量國人最新的攝食習慣重新評估。

醫療輻射由於目前的作業內容與過去差異頗大，加上國內外統計結果都發現，近年使用頻次也大幅增加，因此將全面進行重新評估作業。醫療輻射造成的國民劑量評估方法，依照放射醫學在醫療院所的不同運用分為三大類：放射診斷、核子醫學檢查與放射治療。其中，放射診斷類別中再依照儀器設備的不同細分為六類，此六類的輻射劑量評估方式亦各有不同，分別為一般 X 光攝影、傳統透視攝影、介入性透視攝影、電腦斷層、乳房攝影與牙科攝影。整體而言，執行國內醫療輻射國民劑量評估調查，至少完成 8 類共 43 項之放射診斷醫療檢查輻射劑量評估。

消費性產品的輻射劑量，過去常見的評估項目如電視陰極射線管、

煙霧偵檢警報器、鐘錶螢光劑、含氧化鈾玻璃以及含鈾焊條及燈絲等，目前均已不再生產，市場流通也漸漸減少甚至不復見。依據美國 NCRP 160 號報告統計結果，消費性產品中吸菸劑量佔最大比例，其次是旅客飛航的宇宙輻射劑量。台灣的抽菸人口雖已因推動菸害防制法規而逐年減少，但也因為對此議題之重視，衛福部近年對抽菸人口特性之變化資訊的調查更為明確，故有重新加以評估的必要性。

108 年執行重點在於宇宙輻射及地表輻射之評估、氬氣與食品飲水之體內輻射劑量的初步評估、醫療輻射調查健保資料庫的各類項人數分析及相關軟硬體評估驗證的方法建置，分項說明如下：

- (1) 室內及室外的氬活度:民國 104 年至 106 年已委託義守大學對於國內住宅進行調查，共計累積 279 戶的量測結果。本年度調查重點在於地下空間的使用，如蘭嶼傳統住屋以及地下室營業場所等，因為地下空間一般通風較差，容易造成氬氣累積的狀況。過去的調查規劃以住家客廳及臥室為主，審視調查結果沒有地下室使用空間量測之案例，故規劃進行地下空間量測，以確認相關劑量資訊。
- (2) 地表輻射與宇宙射線劑量評估:地表輻射包括來自地表土壤、岩石的鈾系列、鈾系列與鉀 40 釋出的加馬輻射，宇宙射線包括宇宙輻射的游離成分與中子劑量，兩者均有室內及室外來源。本中心過去已針對國內各處地表輻射及宇宙射線輻射進行量測，須對不同區域的變化進行彙整，並做人口加權；此外，地表輻射劑量來源還有來自室內的建材，需要選擇不同形式的建物量測，再評估其數據所造成的影響。
- (3) 體內放射性核種:體內放射性核種主要來自食品與飲水，天然放射核種的鉀 40 是最重要的劑量來源，除此之外還有鈾系列與鈾

系列的子核，以及過去核爆落塵進入生態系中長半化期的核種如銻 137 與銻 90。本年度重點在於彙整近五年量測結果，評估鉀 40 及銻 90 之劑量。

- (4) 消費性產品:今年度的重點在於蒐集吸菸人口習慣調查相關基本資料，與過去香菸中鈾 210 分析調查結果，初步進行劑量評估。
- (5) 醫療輻射劑量評估:總計畫需評估至少 8 類、共 43 項放射診斷醫療檢查之輻射劑量。每項至少執行 12 家以上醫療院所實地調查與測量，取樣醫療院所需考量醫院規模(如醫學中心、區域醫院、地區醫院、及一般診所)與地區分布(如北部、中部、南部、及東部)。這 43 項檢查之實地調查及量測的部分包含實地測量輻射劑量，以及調查各項檢查醫療輻射作業頻次、儀器參數設定、掃描序列分類、各醫療院所受檢人數及比率等；評估「每項檢查項目的平均有效劑量」、「集體有效劑量」、及「國民醫療輻射平均有效劑量」之評估。上述 43 項放射診斷醫療檢查之醫療輻射國民劑量評估，皆應至少包含一個完整年度，且須為同一年度或以推算方式計算至同一年度之調查。本(108)年度重點在於取得健保資料庫資料中的人數資料，包含:一般 X 光攝影、傳統透視攝影、介入性透視攝影、電腦斷層、乳房攝影、牙科攝影、核子醫學檢查與放射治療等 8 大項，並完成電腦斷層、核子醫學檢查、一般 X 光攝影及乳房攝影之取樣醫院檢查序列調查，以及完成介入性透視攝影、傳統透視攝影及牙科攝影之建構劑量評估模型。

## 參、期程與資源需求

### 一、計畫期程

本計畫期程為 108 年 1 月 1 日起至 108 年 12 月 31 日止，如表 3.1.1。

表 3.1.1 計畫進度表

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

## 二、 經費執行情形

本計畫 108 年度總經費為 14,000 仟元，結餘 558,532 元，執行率為 96.01%，執行情形如表 3.2.1 所示。

表 3.2.1 經費運用情形

單位：新臺幣元

經費科目	全年度預算數		已執行數		備註
	金額 (B)	占總額(%) C=(B/A)	金額 (H)	占總額(%) I=(H/A)	
業務費	10,700,000	76.43%	10,190,368	95.24%	
設備費	3,300,000	23.57%	3,251,100	98.52%	
<b>總計(A)</b>	<b>14,000,000</b>	<b>100%</b>	<b>13,441,468</b>	<b>96.01%</b>	

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

表 3.2.2 委辦計畫經費比列

單位：新臺幣元

委辦計畫名稱	金額 (元)	占總計畫 比例(%)	計畫作業項目
108年台灣海域輻射背景調查計畫	4,200,000	30.00%	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 取樣、數據分析工作</li> <li>2. 監測調查方法研究</li> <li>3. 資料庫建置及展示</li> <li>4. 台灣海域輻射監測調查資料之彙整、統計、綜合評析及結案報告編撰。</li> </ol>
國民醫療輻射劑量調查研究計畫 (1/3)	3,700,000	26.42%	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 申請使用健保資料庫並彙集相關醫令資料。</li> <li>2. 前往醫院進行實地劑量量測。</li> <li>3. 建立各項醫療曝露作業劑量模式。</li> <li>4. 統計各項醫療輻射之有效劑量。</li> </ol>

## 肆、結果與討論

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

### 一、海陸域環境輻射調查

本計畫參考國際海域調查方法及核子事故監測實務，採用放射性核種銫 137 為關切核種並視為監測指標，銫 137 經由純鍺偵檢器計測分析，分析誤差控制於 20% 以內，才採納該筆分析數據。各類樣品分析方法如下所述：

#### (一) 海水放射性分析(磷鉬酸銨與銫共沉方法)

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

#### (二) 海產物放射性分析

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

#### (三) 沉積物放射性分析

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

### (一) 海水加馬能譜分析結果

由本計畫採集之台灣 5 大區海域離岸海水加馬能譜分析結果如表 4.1.1 (由國立中山大學團隊採集)，海水分析量每件 40 公升，每件計測時間 20 萬秒，共分析 80 件。本年度各區域海水銫 134 活度皆小於最低可測活度，銫 137 活度為 0.68 至 2.20 毫貝克/升，皆無輻射異常現象[4]。

表 4.1.2 為海巡署於金門、澎湖、馬祖、蘭嶼、東沙跟南沙採取海水樣品，分析樣品為每件 40 公升，每件計測時間 20 萬秒，共分析 51 件，此類

海水加馬能譜分析結果銫 134 活度皆小於最低可測活度；銫 137 活度為 0.83 至 1.73 毫貝克/升，皆無輻射異常現象。

表 4.1.3 為本中心每季至台灣沿岸地區海水取樣之分析結果，每件試樣 60 公升，計測 12 萬秒，共分析 36 件。銫 134 分析結果同樣小於最低可測活度，銫 137 活度為小於 1.65 毫貝克/升。

本年度完成之海水樣品共 167 件，海水樣品取樣地點以地圖表示如圖 4.1.1，加馬能譜分析結果顯示台灣鄰近海域與沿岸海水之銫 134 活度皆低於儀器最低可測活度，銫 137 活度低於 2.20 毫貝克/升。

表 4.1.1 離岸海水加馬能譜分析結果(國立中山大學取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銫 134	銫 137		
1	108/02/14	22°00'15.56"	121°34'51.81"	0-5	—	1.12	0	東南區
2	108/02/22	21°53'51.90"	120°44'57.50"	0-5	—	1.31	2.6	東南區
3	108/02/22	21°54'20.30"	120°48'50.70"	0-5	—	1.20	2.6	東南區
4	108/02/22	21°57'18.90"	120°45'44.80"	0-5	—	1.24	0.4	東南區
5	108/02/21	22°03'26.06"	119°47'58.30"	3	—	1.09	64.4	西南區
6	108/02/21	22°03'26.06"	119°47'58.30"	50	—	1.63	64.4	西南區
7	108/02/21	22°03'26.06"	119°47'58.30"	125	—	1.25	64.4	西南區
8	108/02/21	22°03'26.06"	119°47'58.30"	200	—	2.20	64.4	西南區
9	108/02/22	22°25'02.50"	120°02'45.38"	5	—	1.04	30.8	西南區
10	108/02/24	25°12'02.82"	121°49'26.03"	5	—	1.06	6.1	東北區
11	108/02/24	25°12'02.82"	121°49'26.03"	50	—	1.28	6.1	東北區
12	108/02/24	25°12'02.82"	121°49'26.03"	100	—	1.26	6.1	東北區
13	108/02/27	25°24'42.35"	121°32'43.86"	5	—	0.92	12.5	西北區
14	108/02/27	25°24'42.35"	121°32'43.86"	50	—	0.87	12.5	西北區
15	108/02/27	25°24'42.35"	121°32'43.86"	105	—	0.97	12.5	西北區
16	108/03/04	10°22'43.00"	114°21'54.00"	0-5	—	1.11	1453	西南區
17	108/03/27	25°25'04.20"	122°12'25.19"	0-5	—	0.94	42.9	東北區
18	108/03/28	25°25'04.20"	122°12'25.19"	50	—	1.13	42.9	東北區
19	108/03/27	25°25'04.20"	122°12'25.19"	125	—	1.74	42.9	東北區
20	108/03/27	25°25'04.20"	122°12'25.19"	200	—	1.88	42.9	東北區
21	108/03/27	25°45'02.99"	121°15'28.20"	0-5	—	1.12	57.2	西北區
22	108/03/27	25°45'02.99"	121°15'28.20"	50	—	1.12	57.2	西北區

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		離岸距離 (公里)	區 域
					銩134	銩137		
23	108/03/27	25°45'02.99	121°15'28.20"	75	—	1.26	57.2	西北區
24	108/04/20	25°10'26.99	121°55'14.40"	0-5	—	1.15	5	東北區
25	108/04/20	25°10'26.99	121°55'14.40"	50	—	1.19	5	東北區
26	108/04/20	25°10'26.99	121°55'14.40"	125	—	1.87	5	東北區
27	108/04/20	25°10'26.99	121°55'14.40"	200	—	1.48	5	東北區
28	108/04/26	25°23'46.01	121°21'24.96"	0-5	—	1.15	18.9	西北區
29	108/05/01	22°59'29.27	119°58'54.48"	0-5	—	1.10	9.2	西南區
30	108/05/01	22°59'29.27	119°58'54.48"	50	—	1.83	9.2	西南區
31	108/05/01	22°59'29.27	119°58'54.48"	75	—	1.26	9.2	西南區
32	108/05/01	22°59'29.27	119°58'54.48"	100	—	1.00	9.2	西南區
33	108/05/09	21°53'51.90"	120°44'57.50"	0-5	—	0.85	2.6	東南區
34	108/05/09	21°54'20.30"	120°48'50.70"	0-5	—	1.01	2.6	東南區
35	108/05/09	21°57'18.90"	120°45'44.80"	0-5	—	1.13	0.4	東南區
36	108/05/25	23°04'35.60"	119°56'55.25"	0-5	—	1.39	9.0	西區
37	108/05/25	23°04'35.60"	119°56'55.25"	50	—	1.01	9.0	西區
38	108/05/25	23°04'35.60"	119°56'55.25"	75	—	1.27	9.0	西區
39	108/05/25	23°04'35.60"	119°56'55.25"	100	—	1.07	9.0	西區
40	108/06/03	21°56'22.19"	122°36'45.59"	0-5	—	0.97	105	東南區
41	108/06/03	21°56'22.19"	122°36'45.59"	50	—	0.94	105	東南區
42	108/06/03	21°56'22.19"	122°36'45.59"	125	—	1.14	105	東南區
43	108/06/03	21°56'22.19"	122°36'45.59"	200	—	1.44	105	東南區
44	108/06/19	24°49'51.95"	121°57'51.23"	0-5	—	1.25	0.5	東南區
45	108/08/15	23°37'12.29"	119°53'23.81"	0-5	—	1.25	21	西區
46	108/08/18	22°00'00.00"	119°40'47.64"	0-5	—	1.11	78.2	西南區
47	108/08/18	22°00'00.00"	119°40'47.64"	110	—	1.47	78.2	西南區
48	108/08/18	22°00'00.00"	119°40'47.64"	300	—	2.15	78.2	西南區
49	108/08/21	23°44'49.20"	119°43'13.32"	0-5	—	1.27	14.6	西區
50	108/08/21	23°43'45.12"	119°40'15.30"	0-5	—	1.35	9.3	西區
51	108/08/21	23°41'21.18"	119°36'59.40"	0-5	—	1.47	2.2	西區
52	108/08/23	21°53'51.90"	120°44'57.50"	0-5	—	1.10	2.6	東南區
53	108/08/23	21°54'20.30"	120°48'50.70"	0-5	—	1.38	2.6	東南區
54	108/08/23	21°57'18.90"	120°45'44.80"	0-5	—	1.45	0.4	東南區
55	108/09/28	23°04'35.60"	119°56'55.25"	0-5	—	1.37	9.0	西區
56	108/09/28	23°04'35.60"	119°56'55.25"	50	—	1.10	9.0	西區
57	108/09/28	23°43'45.12"	119°40'15.30"	0-5	—	1.15	9.3	西區

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銫134	銫137		
58	108/09/28	23°41'21.18"	119°36'59.40"	0-5	—	1.50	2.2	西區
59	108/10/05	25°45'02.99	121°15'28.20"	0-5	—	1.60	57.2	西北區
60	108/10/05	25°45'02.99	121°15'28.20"	50	—	1.43	57.2	西北區
61	108/10/05	25°23'46.01	121°21'24.96"	0-5	—	1.20	18.9	西北區
62	108/10/05	25°23'46.01	121°21'24.96"	50	—	1.62	18.9	西北區
63	108/10/07	21°53'43.68"	122°34'53.45"	0-5	—	1.24	102	東南區
64	108/10/07	21°54'00.00"	122°34'31.74"	50	—	1.22	101	東南區
65	108/10/07	21°54'20.82"	122°35'37.86"	125	—	1.46	103	東南區
66	108/10/07	21°54'20.82"	122°35'37.86"	200	—	2.03	103	東南區
67	108/10/07	21°53'43.68"	122°34'53.45"	400	—	2.10	102	東南區
68	108/10/07	21°53'43.68"	122°34'53.45"	600	—	0.90	102	東南區
69	108/10/07	21°53'39.48"	122°34'53.09"	800	—	0.68	102	東南區
70	108/10/07	21°53'39.48"	122°34'53.09"	1000	—	0.83	102	東南區
71	108/10/11	23°37'12.29"	119°53'23.81"	0-5	—	1.07	21	西區
72	108/10/11	23°37'12.29"	119°53'23.81"	50	—	1.35	21	西區
73	108/10/25	25°10'32.34"	121°45'48.96"	3	—	1.39	1.3	東北區
74	108/10/25	25°10'32.34"	121°45'48.96"	30	—	1.51	1.3	東北區
75	108/11/13	21°53'51.90"	120°44'57.50"	1	—	1.22	2.6	東南區
76	108/11/13	21°54'20.30"	120°48'50.70"	1	—	1.53	2.6	東南區
77	108/11/13	21°57'18.90"	120°45'44.80"	1	—	0.91	0.4	東南區
78	108/11/23	22°22'00.84"	120°16'39.00"	1	—	0.97	8.9	西南區
79	108/11/23	22°22'00.84"	120°16'39.00"	200	—	1.40	8.9	西南區
80	108/11/23	22°22'00.84"	120°16'39.00"	400	—	1.04	8.9	西南區

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

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

3. 海水試樣核種分析量 40 公升，計測時間 200,000 秒。

表 4.1.2 跨部會取樣之海水加馬能譜分析結果(海巡署取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銫134	銫137		
1	108/01/15	10°30'00.00"	114°17'59.99"	0-5	—	1.45	15.3	西南區

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銻 134	銻 137		
2	108/01/15	10°30'00.00"	114°30'00.00"	0-5	—	1.10	18.9	西南區
3	108/01/15	10°24'00.01"	114°12'00.01"	0-5	—	1.12	17.6	西南區
4	108/02/12	21°48'00.02"	120°42'00.01"	0-5	—	0.83	13.5	西南區
5	108/02/12	21°57'36.00"	120°35'24.00"	0-5	—	0.83	11.9	西南區
6	108/02/12	21°51'35.99"	120°55'48.00"	0-5	—	1.19	8.1	東南區
7	108/01/31	23°54'00.00"	119°35'00.00"	0-5	—	0.87	12.6	西區
8	108/01/31	23°43'00.00"	119°19'00.00"	0-5	—	1.28	21.1	西區
9	108/01/31	23°20'00.00"	119°40'00.00"	0-5	—	1.23	20.4	西區
10	108/01/25	26°28'00.00"	120°37'00.00"	0-5	—	1.73	15.1	西北區
11	108/01/25	26°17'00.00"	120°37'00.00"	0-5	—	1.28	13.9	西北區
12	108/01/25	26°18'00.00"	120°24'00.00"	0-5	—	0.90	10.4	西北區
13	108/02/19	26°02'24.00"	119°52'12.00"	0-5	—	0.93	12.1	西北區
14	108/02/19	26°03'36.00"	120°00'00.00"	0-5	—	1.18	10.9	西北區
15	108/02/19	26°08'24.00"	120°04'48.00"	0-5	—	1.02	11.6	西北區
16	108/02/12	24°23'60.00"	118°30'00.00"	0-5	—	0.88	4.7	西區
17	108/02/15	24°22'12.00"	118°27'00.00"	0-5	—	1.35	4.5	西區
18	108/02/18	24°21'00.00"	118°19'12.00"	0-5	—	1.05	4.0	西區
19	108/05/01	21°48'00.02"	120°42'00.01"	0-5	—	1.03	13.5	西南區
20	108/05/01	21°57'36.00"	120°35'24.00"	0-5	—	1.30	11.9	西南區
21	108/05/01	21°51'35.99"	120°55'48.00"	0-5	—	1.29	8.1	東南區
22	108/05/30	20°29'00.00"	116°41'00.00"	0-5	—	1.12	24.2	西南區
23	108/05/31	20°35'00.00"	116°45'00.00"	0-5	—	1.42	12.5	西南區
24	108/06/01	20°53'00.00"	116°52'00.00"	0-5	—	0.94	24.4	西南區
25	108/06/18	23°54'00.00"	119°35'00.00"	0-5	—	1.41	12.6	西區
26	108/06/18	23°43'00.00"	119°19'00.00"	0-5	—	1.34	21.1	西區
27	108/06/18	23°20'00.00"	119°40'00.00"	0-5	—	1.65	20.4	西區
28	108/06/25	25°27'81.00"	121°35'47.00"	0-5	—	0.85	19.5	東北區
29	108/06/25	25°21'07.00"	121°46'18.00"	0-5	—	1.07	17.2	東北區
30	108/06/25	25°20'44.00"	121°49'14.00"	0-5	—	1.42	21.1	東北區
31	108/06/30	10°35'00.00"	114°24'00.00"	0-5	—	0.95	22.6	西南區
32	108/06/30	10°40'00.00"	114°39'00.00"	0-5	—	1.15	43.6	西南區
33	108/06/30	10°42'00.00"	114°50'00.00"	0-5	—	1.35	61.2	西南區
34	108/07/16	26°02'24.00"	119°52'12.00"	0-5	—	1.08	12.1	西北區
35	108/07/16	26°03'36.00"	120°00'00.00"	0-5	—	1.32	10.9	西北區
36	108/07/16	26°08'24.00"	120°04'48.00"	0-5	—	1.08	11.6	西北區

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銫 134	銫 137		
37	108/08/10	26°28'00.00"	120°37'00.00"	0-5	—	1.34	15.1	西北區
38	108/08/10	26°17'00.00"	120°37'00.00"	0-5	—	1.25	13.9	西北區
39	108/08/10	26°18'00.00"	120°24'00.00"	0-5	—	1.45	10.4	西北區
40	108/08/21	21°54'00.00"	121°42'00.00"	0-5	—	1.16	16.0	東南區
41	108/08/21	21°54'00.00"	121°30'00.00"	0-5	—	1.01	13.6	東南區
42	108/08/21	22°00'00.00"	121°42'00.00"	0-5	—	1.25	10.5	東南區
43	108/08/09	24°23'60.00"	118°30'00.00"	0-5	—	1.27	4.7	西區
44	108/08/11	24°22'12.00"	118°27'00.00"	0-5	—	1.38	4.5	西區
45	108/08/15	24°21'00.00"	118°19'12.00"	0-5	—	1.40	4.0	西區
46	108/10/29	25°27'81.00"	121°35'47.00"	0-5	—	1.71	19.5	東北區
47	108/10/29	25°21'07.00"	121°46'18.00"	0-5	—	1.04	17.2	東北區
48	108/10/29	25°20'44.00"	121°49'14.00"	0-5	—	1.28	21.1	東北區
49	108/11/13	20°29'00.00"	116°41'00.00"	0-5	—	1.31	24.2	西南區
50	108/11/13	20°53'00.00"	116°52'00.00"	0-5	—	1.18	24.4	西南區
51	108/11/13	20°35'00.00"	116°45'00.00"	0-5	—	1.67	12.5	西南區

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

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

3. 海水試樣核種分析量 40 公升，計測時間 200,000 秒。

表 4.1.3 臺灣沿岸地區海水加馬能譜分析結果 (輻射偵測中心取樣)

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		離岸距離 (公里)	區域
					銫 134	銫 137		
1	108/01/07	24°50'50.83"	120°55'28.19"	0-5	—	1.35	0	南寮漁港
2	108/01/08	23°58'19.09"	120°19'25.97"	0-5	—	1.39	0	王功漁港
3	108/01/09	23°27'10.94"	120°08'17.36"	0-5	—	1.55	0	東石漁港
4	108/01/08	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	0.89	0	西子灣
5	108/01/15	23°58'52.20"	121°37'27.70"	0-5	—	1.42	0	花蓮港
6	108/01/15	23°09'34.10"	121°24'10.90"	0-5	—	1.05	0	成功漁港
7	108/01/15	22°47'26.90"	121°11'32.10"	0-5	—	1.11	0	富岡漁港
8	108/01/18	24°34'55.12"	121°52'06.06"	0-5	—	0.95	0	南方澳
9	108/01/25	25°08'40.48"	121°47'29.32"	0-5	—	1.31	0	八斗子
10	108/04/08	23°58'52.20"	121°37'27.70"	0-5	—	1.02	0	花蓮港
11	108/04/09	23°09'34.10"	121°24'10.90"	0-5	—	0.88	0	成功漁港
12	108/04/09	22°47'26.90"	121°11'32.10"	0-5	—	1.42	0	富岡漁港

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	深度 (m)	活 度 (毫貝克/升)		離岸距離 (公里)	區 域
					銫 134	銫 137		
13	108/04/15	24°50'50.83"	120°55'28.19"	0-5	—	1.22	0	南寮漁港
14	108/04/16	23°58'19.09"	120°19'25.97"	0-5	—	1.09	0	王功漁港
15	108/04/16	23°27'10.94"	120°08'17.36"	0-5	—	1.27	0	東石漁港
16	108/04/19	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.32	0	西子灣
17	108/04/19	24°34'55.12"	121°52'06.06"	0-5	—	1.24	0	南方澳
18	108/04/19	25°08'40.48"	121°47'29.32"	0-5	—	1.10	0	八斗子
19	108/07/01	23°58'52.20"	121°37'27.70"	0-5	—	0.88	0	花蓮港
20	108/07/02	23°09'34.10"	121°24'10.90"	0-5	—	1.37	0	成功漁港
21	108/07/02	22°47'26.90"	121°11'32.10"	0-5	—	1.05	0	富岡漁港
22	108/07/16	24°50'50.83"	120°55'28.19"	0-5	—	1.46	0	南寮漁港
23	108/07/17	23°58'19.09"	120°19'25.97"	0-5	—	1.65	0	王功漁港
24	108/07/17	23°27'10.94"	120°08'17.36"	0-5	—	1.41	0	東石漁港
25	108/07/23	24°34'55.12"	121°52'06.06"	0-5	—	1.13	0	南方澳
26	108/07/23	25°08'40.48"	121°47'29.32"	0-5	—	1.21	0	八斗子
27	108/07/31	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.30	0	西子灣
28	108/10/01	24°50'50.83"	120°55'28.19"	0-5	—	0.72	0	南寮漁港
29	108/10/02	23°58'19.09"	120°19'25.97"	0-5	—	0.94	0	王功漁港
30	108/10/02	23°27'10.94"	120°08'17.36"	0-5	—	1.10	0	東石漁港
31	108/10/07	23°58'52.20"	121°37'27.70"	0-5	—	0.99	0	花蓮港
32	108/10/08	23°09'34.10"	121°24'10.90"	0-5	—	1.17	0	成功漁港
33	108/10/08	22°47'26.90"	121°11'32.10"	0-5	—	1.29	0	富岡漁港
34	108/10/15	22°37'03.12"	120°16'05.45"	0-5	—	1.39	0	西子灣
35	108/10/15	24°34'55.12"	121°52'06.06"	0-5	—	1.10	0	南方澳
36	108/10/18	25°08'40.48"	121°47'29.32"	0-5	—	1.43	0	八斗子

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

2. 海水試樣核種分析量 60 公升，計測時間 120,000 秒。



圖 4.1.1 海水取樣位置點

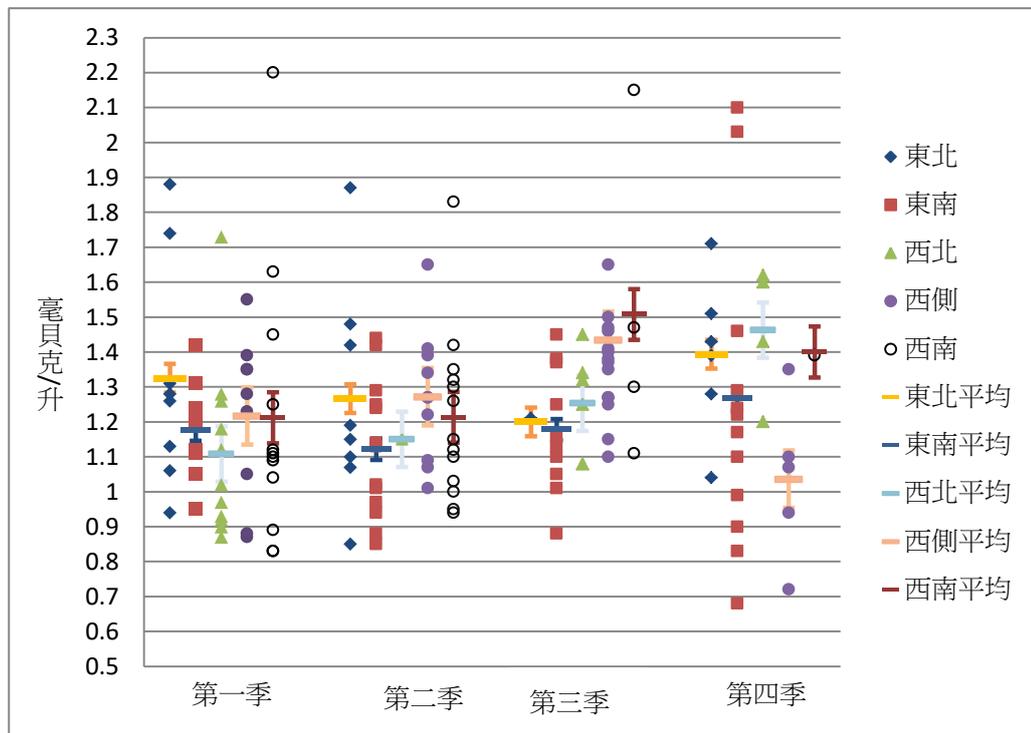


圖 4.1.2 海水銣 137 分析結果

依圖 4.1.2 所示，本年度海水銣 137 之分析結果，初步判斷台灣周圍五個區域海水銣 137 活度隨著季節有些微變化趨勢，冬季平均值為 1.20 毫貝

克/升，夏季平均值為 1.33 毫貝克/升，相關資料則委由國立中山大學進行分析。

圖 4.1.3 為台灣海域各深度海水銫 137 活度分布圖，初步顯示在台灣東北及西南區在水深 200 公尺~400 公尺處量測到的銫 137 活度相對較高，其存在的密度層與亞熱帶典型水團相似，因此推測其銫 137 活度相對高值，可能來自福島事件之排放水，未來仍須持續追蹤及利用更多海水分析數據進一步探討驗證水團來源、走向，相關詳細說明請參閱委託單位期末報告第 24~25 頁。

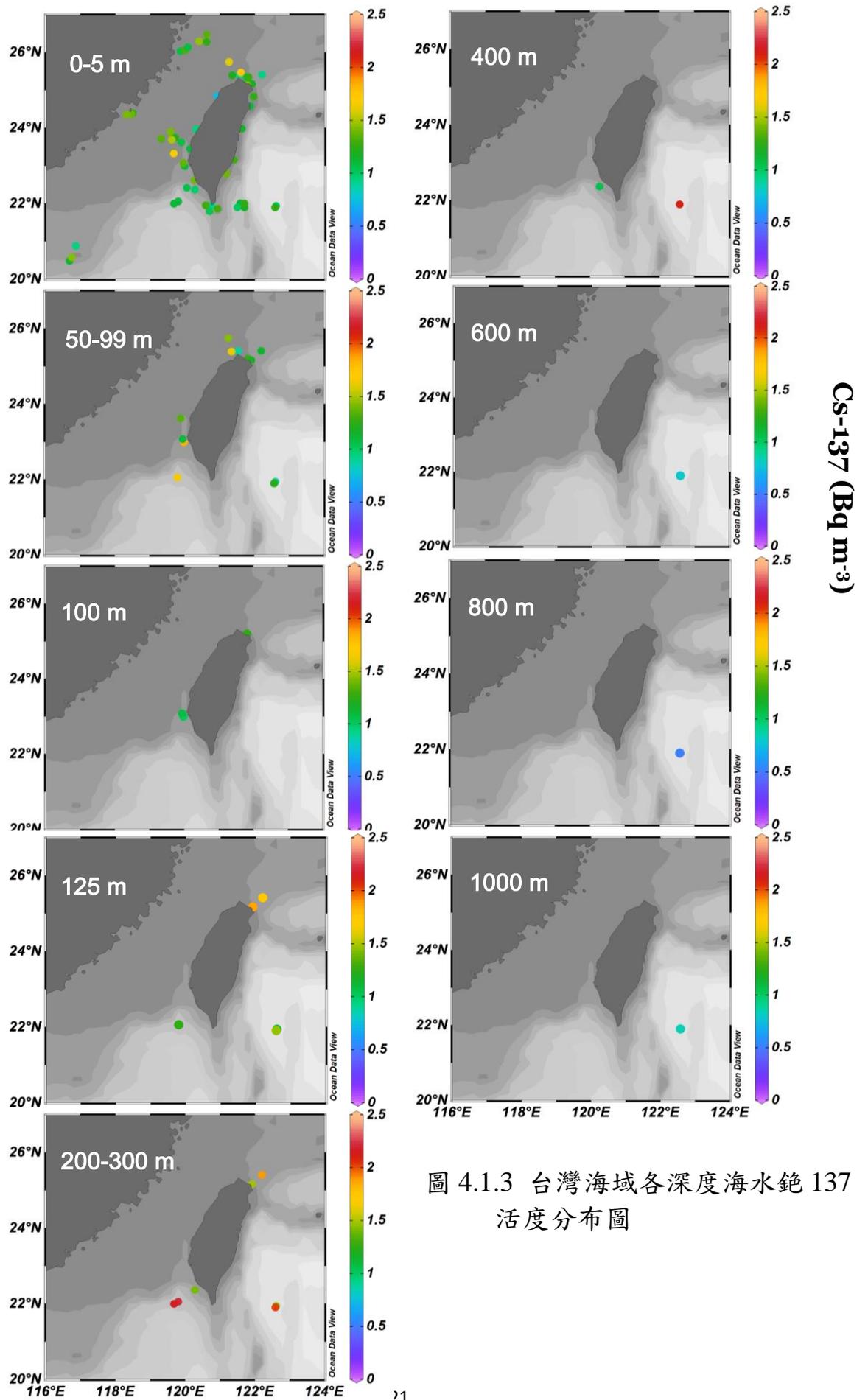


圖 4.1.3 台灣海域各深度海水銻 137 活度分布圖

## (二) 沉積物加馬能譜分析結果

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

中山大學採集之沉積物樣品參照圖 2 之分區圖，在台灣海域之西南區採集 1 個、東南區採集 1 個、東北區採集 2 個 200 公尺以上深之海底沉積物，並於西南區採集海底柱狀岩心沉積物 1 個，全年共計 4 個海底沉積物及 1 個柱狀岩心沉積物。

海巡署採集之岸沙，分布於金門、馬祖(南竿、東引)、澎湖、東沙及南沙，採樣頻率分冬、夏 2 季，108 年共採集 14 件離島岸沙樣品。本中心 108 年每季採集南寮、王功、布袋、成功、富岡、前鎮、南方澳、八斗子及花蓮漁港之岸沙，並且採集大甲溪、鳳山溪、頭前溪、秀姑巒溪、鹽水溪、曾文溪、大安溪、基隆河、淡水河及四重溪等主要河川之河砂。

上述沉積物之取樣地點位置以地圖標示，詳如圖 4.1.4，其人工核種鉅 137 放射性分析結果整理如圖 4.1.5 所示。

由本計畫採集之海底沉積物中，僅於西北區及西南區測得微量鉅 137 活度為低於 0.88 (貝克/千克·乾重)，另其他天然放射性核種分析如下，鉀 40 活度為 43 至 1237 (貝克/千克·乾重)、鈾系列低於 75 (貝克/千克·乾重) 及鈾系列低於 43 (貝克/千克·乾重)，鈷-60、鉅 134、則低於最低可測活度，分析結果如表 4.1.4。

西南區柱狀岩心加馬能譜分析結果，僅於表層 2 公分之內微量鉅 137 活度為低於 0.74 (貝克/千克·乾重)，另其他天然放射性核種分析如下，鉀 40 活度為 797 至 1122 (貝克/千克·乾重)、鉅 137 活度低於 0.74 (貝克/千克·乾重)、鉛-210 活度低於 452 (貝克/千克·乾重)、鈾系列低於 65 (貝

克/千克·乾重)及鈾系列低於 37 (貝克/千克·乾重)，鈷-60、銻 134 則低於最低可測活度，分析結果如表 4.1.5。

本中心於臺灣沿岸地區採集岸(河)沙共 80 件，加馬能譜分析結果如表 4.1.6，銻 137 活度低於 0.86 (貝克/千克·乾重)、鉀 40 活度為 3 至 1176 (貝克/千克·乾重)、鈾系列低於 79 (貝克/千克·乾重)及鈾系列低於 84 (貝克/千克·乾重)，鈷-60、銻 134 則低於最低可測活度。

沉積物初步分析結果無輻射異常現象，且目前未發現有區域或深度之明顯差異性。

表 4.1.4 海底沉積物加馬能譜分析結果(國立中山大學取樣)

樣品編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	離岸距離(公里)	活度 (貝克/千克·乾重)						深度(m)	分區
					銻134	銻137	鉀 40*	鈷 60	鈾系列*	鈾系列*		
1	108/03/27	25°45'02.99"	121°15'28.20"	57.2	—	0.14	594	—	21	13	76	西北
2	108/03/28	25°11'50.99"	122°00'29.40"	11.4	—	—	573	—	19	—	141	東北
3	108/03/28	25°10'26.39"	121°57'39.59"	6.2	—	—	894	—	39	28	201	東北
4	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	7.8	—	0.88	1237	—	75	43	252	西南
5	108/04/20	25°10'26.99"	121°55'14.40"	5.0	—	—	367	—	39	19	220	東北
6	108/06/05	21°35'34.68"	121°36'05.69"	45.5	—	—	43	—	2	6	474	東南
7	108/06/19	24°50'57.83"	121°56'47.88"	0.07	—	—	478	—	29	19	6	東南

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

2. "\*"表示天然放射性核種。

3. 沉積物樣品計測時間 120,000 秒。

表 4.1.5 西南區柱狀岩心加馬能譜分析結果(國立中山大學取樣)

樣品編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	活度 (貝克/千克·乾重)						備註
				銻134	銻137	鉀 40*	鉛 210*	鈾系列*	鈾系列*	
1	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	0.68	906	452	53	33	岩心_0-1cm
2	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	0.74	1015	349	57	34	岩心_1-2cm
3	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	1057	321	61	33	岩心_2-3cm

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*	鉛 210*	鈾系列*	鈾系列*	
4	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	1073	273	63	34	岩心_3-4cm
5	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	1122	327	65	37	岩心_4-5cm
6	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	844	245	54	31	岩心_5-6cm
7	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	816	273	56	31	岩心_6-7cm
8	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	797	250	56	32	岩心_7-8cm
9	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	914	175	56	34	岩心_8-9cm
10	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	953	102	56	33	岩心_9-10cm
11	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	989	77	57	34	岩心_10-11cm
12	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	1014	87	59	34	岩心_11-12cm
13	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	968	62	59	32	岩心_12-13cm
14	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	989	75	60	33	岩心_13-14cm
15	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	969	77	57	34	岩心_14-15cm
16	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	919	78	61	34	岩心_15-16cm
17	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	933	51	58	33	岩心_16-17cm
18	108/03/31	22°15'12.60"	120°22'42.60"	—	—	1042	64	63	35	岩心_17-18cm

註：1. "—"表示小於最低可測活度(MDA)，鉀 40 MDA 值為 1.38 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、鉛-210 MDA 值為 23.90 貝克/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，沉積物樣品計測時間 120,000 秒。

表 4.1.6 臺灣沿岸地區岸(河)沙加馬能譜分析結果(偵測中心及海巡署取樣)

樣品編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	活 度 (貝克/千克·乾重)						備註
				銻134	銻137	鉀 40*	鈾 60	鈾系列*	鈾系列*	
1	108/01/07	24°51'02.76"	120°55'47.60"	—	—	456	—	26	16	南寮漁港
2	108/01/07	24°16'55.70"	120°46'44.10"	—	—	556	—	32	22	大甲溪
3	108/01/07	24°51'35.93"	120°56'58.26"	—	—	92	—	79	84	鳳山溪
4	108/01/07	24°50'37.57"	120°56'30.50"	—	0.43	611	—	40	25	頭前溪
5	108/01/07	24°39'59.85"	120°51'45.72"	—	0.54	746	—	46	27	中港溪
6	108/01/07	24°36'33.65"	120°47'02.04"	—	—	447	—	32	19	後龍溪
7	108/01/08	23°58'19.09"	120°19'25.97"	—	—	331	—	22	14	王功漁港
8	108/01/08	22°37'29.60"	120°15'46.50"	—	—	597	—	35	22	西子灣
9	108/01/09	23°22'55.42"	120°07'54.79"	—	—	438	—	22	14	布袋漁港
10	108/01/14	23°29'13.50"	121°24'18.10"	—	—	326	—	18	13	秀姑巒溪
11	108/01/15	23°58'33.80"	121°37'10.00"	—	—	180	—	15	10	花蓮港

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	活 度 (貝克/千克·乾重)						備註
				銻134	銻137	鉀 40*	鈷 60	鈷系列*	鈾系列*	
12	108/01/15	23°10'59.10"	121°23'53.10"	—	—	149	—	6	4	成功漁港
13	108/01/15	22°47'28.20"	121°11'28.30"	—	—	234	—	—	10	富岡漁港
14	108/01/15	24°19'16.30"	121°44'27.70"	—	—	646	—	49	28	和平溪
15	108/01/15	10°13'12.00"	114°12'35.99"	—	—	8	—	—	—	南沙
16	108/01/18	24°34'55.12"	121°52'06.06"	—	—	521	—	41	24	南方澳
17	108/01/25	25°08'40.48"	121°47'29.32"	—	—	131	—	7	8	八斗子
18	108/01/28	26°22'14.87"	120°29'02.75"	—	—	797	—	40	31	東引
19	108/02/13	23°34'12.00"	119°33'46.80"	—	—	71	—	5	4	澎湖
20	108/02/14	22°02'59.17"	121°33'50.75"	—	0.07	129	—	9	7	蘭嶼東清村
21	108/02/15	22°01'29.69"	121°33'11.82"	—	0.06	133	—	14	10	蘭嶼八代灣
22	108/02/15	22°02'48.98"	121°30'55.64"	—	0.07	116	—	8	6	蘭嶼蜜月灣
23	108/02/19	26°09'28.80"	119°55'02.64"	—	—	545	—	14	13	南竿
24	108/02/22	24°24'39.00"	118°26'00.20"	—	—	292	—	7	5	金門
25	108/03/21	26°09'28.80"	119°55'02.64"	—	0.11	1176	—	9	10	南竿
26	108/04/08	23°58'33.80"	121°37'10.00"	—	—	160	—	13	9	花蓮港
27	108/04/09	23°43'55.30"	121°29'25.10"	—	—	791	—	47	29	花蓮溪
28	108/04/09	23°10'59.10"	121°23'53.10"	—	—	151	—	6	5	成功漁港
29	108/04/09	22°47'28.20"	121°11'28.30"	—	—	194	—	12	8	富岡漁港
30	108/04/09	22°47'29.20"	121°08'44.67"	—	—	484	—	32	21	卑南溪
31	108/04/15	23°00'51.50"	120°10'56.80"	—	0.15	516	—	32	22	鹽水溪
32	108/04/15	23°02'58.30"	120°05'14.80"	—	—	563	—	42	28	曾文溪
33	108/04/15	24°02'46.40"	120°51'43.40"	—	—	650	—	49	31	北港溪
34	108/04/15	24°51'02.76"	120°55'47.60"	—	—	105	—	7	4	南寮漁港
35	108/04/16	24°22'07.00"	120°38'39.30"	—	—	509	—	46	31	大安溪
36	108/04/16	23°58'19.09"	120°19'25.97"	—	0.08	430	—	28	19	王功漁港
37	108/04/16	23°26'33.60"	120°10'06.10"	—	0.22	517	—	35	22	朴子溪
38	108/04/16	23°23'05.30"	120°09'03.80"	—	—	462	—	21	13	布袋漁港
39	108/04/16	23°19'30.70"	120°08'26.70"	—	0.18	649	—	40	26	八掌溪
40	108/04/16	23°17'23.80"	120°08'30.40"	—	0.26	673	—	44	27	急水溪
41	108/04/17	22°54'54.30"	120°13'28.60"	—	—	469	—	26	18	二仁溪
42	108/04/17	22°47'46.90"	120°14'34.40"	—	—	550	—	39	24	阿公店溪
43	108/04/17	25°07'21.44"	121°27'39.84"	—	0.86	741	—	44	26	淡水河
44	108/04/19	22°37'29.60"	120°15'46.50"	—	—	592	—	36	22	西子灣
45	108/04/19	22°28'40.60"	120°27'39.40"	—	—	702	—	44	27	東港溪
46	108/04/19	24°34'55.12"	121°52'06.06"	—	0.24	535	—	36	22	南方澳
47	108/04/19	25°08'40.48"	121°47'29.32"	—	—	102	—	6	5	八斗子

樣品 編號	取樣日期	緯度(N)	經度(E)	活 度 (貝克/千克·乾重)						備註
				銻134	銻137	鉀 40*	鈷 60	鈾系列*	鈾系列*	
48	108/05/31	20°41'59.99"	116°43'00.00"	—	—	4	—	—	1	東沙
49	108/06/18	23°34'12.00"	119°33'46.80"	—	0.07	55	—	2	2	澎湖
50	108/06/30	10°22'26.00"	114°22'00.00"	—	—	3	—	0.4	1	南沙
51	108/07/01	23°58'33.80"	121°37'10.00"	—	0.07	182	—	7	5	花蓮港
52	108/07/02	23°10'59.10"	121°23'53.10"	—	—	158	—	9	7	成功漁港
53	108/07/02	22°47'28.20"	121°11'28.30"	—	0.05	255	—	22	15	富岡漁港
54	108/07/11	22°04'06.30"	120°43'41.90"	—	0.10	502	—	37	24	四重溪
55	108/07/16	24°50'50.83"	120°55'28.19"	—	0.18	461	—	25	16	南寮漁港
56	108/07/16	24°08'55.40"	120°31'10.70"	—	—	435	—	32	23	烏溪
57	108/07/17	23°58'19.09"	120°19'25.97"	—	—	354	—	24	16	王功漁港
58	108/07/17	24°16'55.70"	120°46'44.10"	—	—	580	—	37	27	大甲溪
59	108/07/17	23°49'33.20"	120°19'10.10"	—	—	622	—	49	32	濁水溪
60	108/07/17	23°23'05.30"	120°09'03.80"	—	—	393	—	73	44	布袋漁港
61	108/07/23	24°34'55.12"	121°52'06.06"	—	—	206	—	13	9	南方澳
62	108/07/23	25°08'40.48"	121°47'29.32"	—	—	92	—	5	4	八斗子
63	108/07/31	22°37'29.60"	120°15'46.50"	—	—	577	—	36	22	西子灣
64	108/07/31	22°39'44.80"	120°25'50.50"	—	—	550	—	42	28	高屏溪
65	108/08/01	25°06'00.70"	121°32'13.50"	—	—	304	—	25	17	基隆河
66	108/08/10	26°22'14.87"	120°29'02.75"	—	0.65	701	—	33	22	東引
67	108/08/11	26°09'32.39"	119°55'00.12"	—	—	939	—	11	10	南竿
68	108/08/16	24°24'39.00"	118°26'00.20"	—	—	541	—	5	5	金門
69	108/08/28	22°03'18.90"	121°33'51.90"	—	—	37	—	—	—	蘭嶼東清村
70	108/10/01	24°51'02.76"	120°55'47.60"	—	—	200	—	45	24	南寮漁港
71	108/10/01	22°03'18.90"	121°33'51.90"	—	—	57	—	4	5	蘭嶼東清村
72	108/10/02	23°58'19.09"	120°19'25.97"	—	—	391	—	27	18	王功漁港
73	108/10/02	23°23'05.30"	120°09'03.80"	—	—	346	—	22	13	布袋漁港
74	108/10/07	23°58'33.80"	121°37'10.00"	—	—	67	—	4	3	花蓮港
75	108/10/08	23°10'59.10"	121°23'53.10"	—	—	262	—	19	11	成功漁港
76	108/10/08	22°47'28.20"	121°11'28.30"	—	—	284	—	18	14	富岡漁港
77	108/10/15	22°37'29.60"	120°15'46.50"	—	—	584	—	36	21	西子灣
78	108/10/15	24°34'55.12"	121°52'06.06"	—	0.31	544	—	52	31	南方澳
79	108/10/18	25°08'40.48"	121°47'29.32"	—	0.05	103	—	5	4	八斗子
80	108/11/13	20°41'59.99"	116°43'00.00"	—	—	4	—	—	1	東沙

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

2."\*"表示天然放射性核種，沉積物樣品計測時間 120,000 秒。



圖 4.1.4 岸沙、河砂、海底沉積物取樣位置圖

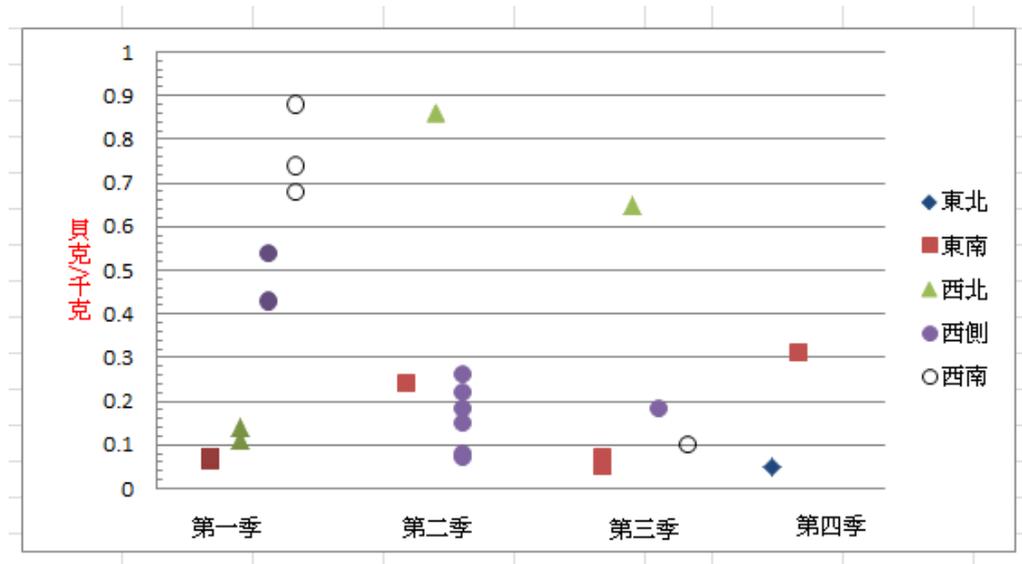


圖 4.1.5 岸沙、河砂、海底沉積物銫 137 分析結果

### (三) 海產物加馬能譜分析結果

本計畫執行臺灣海域海產物樣品包含魚類、蝦類及貝類等之放射性分

析，委託國立嘉義大學及財團法人臺灣海洋保育與漁業永續基金會等漁業專業單位協助取樣，採樣範圍均勻分布含括台灣海域之五大區域(如圖 4.1.6)，各調查區之生物採樣數量統計表，如表 4.1.9 所列。臺灣海域海產物加馬能譜分析結果，鉀 40 活度為 626 至 461 (貝克/千克·鮮重)、鈾 137 活度低於 0.74 (貝克/千克·鮮重)、鈾 134 則低於最低可測活度，詳如表 4.1.8。

表 4.1.7 各類海產物採樣統計表

採樣單位	魚	蝦	貝	軟體	其他	取樣件數
國立嘉義大學	37	4	0	5	4	50
財團法人臺灣海洋保育與漁業永續基金會	55	10	9	0	4	78



圖 4.1.6 海產物取樣位置圖

表 4.1.8 臺灣鄰近海域海產物加馬能譜分析結果

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	捕獲地點	活 度 (貝克/千克·乾重)					
					鉀40*	碘131	銻134	銻137	鈾系列*	鈾系列*
1	大洋洄游魚 類	棘鱸/石喬	108/03/14	東南區	148	—	—	0.23	—	—
2		巴鯉	108/03/14	東南區	135	—	—	0.26	—	—
3		巴鯉	108/03/14	東南區	144	—	—	0.29	—	—
4		東方齒鱈	108/03/14	東南區	135	—	—	0.38	—	—
5		巴鯉/三點鯉	108/03/21	西區	167	—	—	0.35	—	3
6		巴鯉/鯉魚	108/03/21	西區	133	—	—	0.27	—	—
7		棘鱸/石喬	108/04/17	東南區	170	—	—	0.13	—	—
8		鬼頭刀	108/04/18	東南區	156	—	—	0.13	—	—
9		鬼頭刀	108/04/18	東南區	170	—	—	0.11	—	—
10		鬼頭刀	108/04/18	東南區	169	—	—	0.12	—	1
11		杜氏鰱/紅甘	108/04/18	東南區	168	—	—	0.74	—	—
12		帶魚屬/白帶 魚	108/04/18	東南區	149	—	—	0.26	—	—
13		鬼頭刀	108/05/04	西南區	161	—	—	0.12	—	2
14		帶魚屬/白帶 魚	108/05/09	東北區	126	—	—	0.16	—	—
15		鬼頭刀	108/05/10	東南區	154	—	—	0.08	—	0.17
16		杜氏鰱/紅甘	108/05/10	東南區	139	—	—	0.21	—	—
17		鬼頭刀	108/05/20	東南區	96	—	—	0.07	—	—
18		棘鱸/石喬	108/05/20	東南區	168	—	—	0.17	—	—
19		圓花鯉	108/05/24	東南區	135	—	—	0.15	—	—
20		扁花鯉	108/05/24	東南區	159	—	—	0.15	—	—
21		東方齒鱈	108/05/25	東南區	132	—	—	0.20	—	—
22		正鯉	108/05/25	東南區	132	—	—	0.20	—	—
23		杜氏鰱/紅甘	108/06/01	東南區	160	—	—	0.52	—	—
24		扁花鯉	108/05/28	東南區	180	—	—	0.24	—	—
25		帶魚屬/白帶 魚	108/06/05	西區	107	—	—	0.17	—	—
26		刺鯧	108/06/03	西區	118	—	—	—	—	—
27		圓花鯉	108/06/05	東南區	138	—	—	0.16	—	—
28		帶魚屬/白帶 魚	108/06/12	東北區	134	—	—	0.17	—	—
29		扁花鯉	108/06/13	東南區	151	—	—	0.12	—	—
30		杜氏鰱/紅甘	108/06/14	東南區	143	—	—	0.52	—	—

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	捕獲地點	活 度 (貝克/千克·乾重)					
					鉀40*	碘131	銻134	銻137	鈾系列*	鈾系列*
31		扁花鰹	108/06/17	東南區	145	—	—	0.15	—	—
32		黃鰭鮪	108/06/15	東北區	134	—	—	0.39	—	—
33		正鰹	108/06/15	東北區	150	—	—	0.18	—	—
34		黃鰭鮪	108/06/15	東北區	158	—	—	0.40	—	—
35		黃鰭鮪	108/06/15	東北區	142	—	—	0.31	—	—
36		正鰹	108/06/15	東北區	159	—	—	0.23	—	—
37		日本蝠鱚	108/07/15	東南區	85	—	—	0.11	—	—
38		東方齒鰻	108/07/20	東北區	162	—	—	0.27	—	—
39		劍旗魚	108/07/29	東南區	150	—	—	0.31	—	—
40		正鰹	108/07/25	西南區	150	—	—	0.18	—	—
41		鬼頭刀	108/08/01	東南區	142	—	—	0.18	—	0.25
42		黃鰭鮪	108/08/03	東南區	131	—	—	0.12	—	—
43		黃鰭鮪	108/08/08	東南區	146	—	—	0.14	—	—
44		鬼頭刀	108/08/08	東南區	147	—	—	0.11	—	0.37
45		黃鰭鮪	108/08/08	東南區	163	—	—	0.20	—	—
46		黑皮旗魚	108/08/08	東南區	127	—	—	0.25	—	—
47		帶魚屬/白帶 魚	108/08/19	西南區	143	—	—	0.17	—	0.16
48		黃鰭鮪	108/08/22	東北區	140	—	—	0.37	—	—
49		圓花鰹	108/09/16	西北區	156	—	—	0.21	—	—
50		雨傘旗魚	108/09/25	東南區	135	—	—	0.20	—	—
51		立翅旗魚	108/10/03	東南區	138	—	—	0.21	—	—
52		海鱺	108/09/05	西區	123	—	—	0.27	—	—
53		紅甘	108/10/05	東南區	132	—	—	0.19	—	—
54		紅甘	108/10/05	東南區	170	—	—	0.07	—	—
55		白帶	108/10/05	東南區	110	—	—	0.18	—	—
56		杜氏鰺	108/10/14	東北區	173	—	—	0.18	—	—
57		杜氏鰺	108/10/16	西區	155	—	—	0.22	—	0.21
58		杜氏鰺	108/10/18	東南區	162	—	—	0.19	—	—
59		杜氏鰺	108/10/21	西南區	146	—	—	0.31	—	—
60		日本帶魚	108/10/23	西區	108	—	—	0.08	—	—
61	沿近海漁類	康氏馬加鰾/ 土魷	108/03/14	東南區	159	—	—	0.14	—	1
62		康氏馬加鰾/ 土魷	108/03/13	西區	152	—	—	0.20	—	—
63		花腹鯖/鯖魚	108/04/18	東南區	151	—	—	0.08	—	—

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	捕獲地點	活 度 (貝克/千克·乾重)					
					鉀40*	碘131	銻134	銻137	鈾系列*	鈾系列*
64		花腹鯖/鯖魚	108/05/09	東北區	143	—	—	—	—	—
65		浪人鰱	108/05/22	東南區	166	—	—	0.24	—	—
66		花腹鯖/鯖魚	108/05/25	東南區	164	—	—	0.11	—	—
67		日本竹筴魚	108/05/25	東南區	103	—	—	—	—	—
68		花腹鯖/鯖魚	108/05/30	東北區	153	—	—	0.08	—	—
69		日本竹筴魚	108/06/03	西區	155	—	—	0.08	—	—
70		斑海鯰	108/06/13	西區	146	—	—	—	—	—
71		日本竹筴魚	108/06/13	西區	169	—	—	0.16	—	1
72		花腹鯖/鯖魚	108/06/14	東南區	132	—	—	0.09	—	—
73		黃背牙鯛	108/06/20	東北區	150	—	—	0.13	—	—
74		白腹鯖	108/07/12	東北區	155	—	—	0.06	—	—
75		日本竹筴魚	108/07/20	東北區	145	—	—	0.14	—	—
76		頷圓鰱	108/07/13	西南區	147	—	—	0.10	—	—
77		花腹鯖	108/08/08	東北區	185	—	—	0.18	—	1
78		鯖魚	108/08/22	東北區	155	—	—	0.10	—	—
79		花腹鯖	108/09/12	西南區	161	—	—	—	—	—
80		康氏馬加鰱	108/10/03	西區	149	—	—	0.25	—	—
81		黃金鰭	108/10/07	西區	149	—	—	0.09	—	—
82		小牙鰻	108/10/05	西南區	131	—	—	0.12	—	—
83		長鰻	108/10/07	西南區	141	—	—	0.15	0.18	0.20
84		土魷	108/10/05	東南區	163	—	—	0.11	—	—
85		紅鋤齒鯛	108/10/09	東北區	137	—	—	0.08	—	—
86		灰海鰻	108/10/04	東南區	128	—	—	0.08	—	—
87		牙鰾科	108/10/04	東南區	75	—	—	—	—	—
88		小鰭鎌齒魚	108/10/17	東南區	119	—	—	—	—	—
89		美軟魚	108/10/19	東北區	131	—	—	0.16	—	—
90		黑鰾	108/10/22	東南區	125	—	—	0.09	—	—
91		日本馬加鰱	108/10/23	西區	131	—	—	0.09	—	—
92		眼眶魚	108/10/05	西南區	172	—	—	0.12	—	0.52
93	藻貝蝦等其 他類	紅星梭子蟹 / 三點蟹	108/05/09	東北區	103	—	—	—	—	—
94		密毛鬚蝦	108/05/17	東北區	80	—	—	—	—	0.52
95		大管鞭蝦	108/05/18	東北區	103	—	—	—	—	—
96		日本玻璃蝦	108/05/22	東南區	43	—	—	—	—	—
97		晶瑩櫻蝦	108/05/23	東南區	45	—	—	—	—	—
98		緣溝對蝦	108/05/24	東南區	114	—	—	0.05	—	—

樣品 編號	樣品種類	試樣名稱	取樣日期	捕獲地點	活 度 (貝克/千克·乾重)					
					鉀40*	碘131	銻134	銻137	鈾系列*	鈾系列*
99		密毛鬚蝦	108/05/30	西南區	107	—	—	—	—	—
100		葉狀擬鬚蝦	108/05/30	西南區	103	—	—	0.08	—	—
101		刀額新對蝦	108/05/30	西北區	130	—	—	—	—	—
102		哈氏仿對蝦	108/05/30	西北區	110	—	—	—	—	—
103		紅星梭子蟹 / 三點蟹	108/06/05	西區	102	—	—	—	—	—
104		蝦類	108/06/05	西區	82	—	—	—	—	—
105		透抽	108/06/05	西區	53	—	—	—	—	—
106		鬚赤對蝦	108/06/03	西區	112	—	—	—	—	—
107		蝦	108/06/13	東北區	53	—	—	—	—	—
108		鎖管	108/06/13	東北區	81	—	—	—	—	—
109		鋸齒麒麟菜	108/06/17	東北區	461	—	—	—	—	—
110		椰子渦螺	108/06/18	西區	43	—	—	—	—	1
111		扁蟹	108/06/28	西南區	85	—	—	—	—	—
112		狗蝦	108/06/28	西區	90	—	—	—	—	0.32
113		小管	108/06/28	西區	112	—	—	—	—	—
114		鐘螺	108/07/09	東北區	93	—	—	—	—	0.31
115		石花菜	108/07/09	東北區	118	—	—	—	1	1
116		牡蠣(未帶殼)	108/07/16	西區	47	—	—	—	—	—
117		牡蠣(未帶殼)	108/07/17	西區	32	—	—	—	—	—
118		牡蠣(帶殼)	108/07/25	西區	35	—	—	—	—	—
119		牡蠣(未帶殼)	108/07/25	西區	46	—	—	—	—	—
120		文蛤	108/07/28	西區	219	—	—	—	—	—
121		花蛤	108/07/28	西區	197	—	—	—	1	1
122		鎖管	108/08/21	西區	33	—	—	—	—	—
123		鳳螺	108/10/04	西南區	80	—	—	—	—	—
124		扁蟹	108/09/05	西南區	142	—	—	—	—	—
125		狗蝦	108/09/05	西南區	108	—	—	—	—	—
126		小管	108/09/05	西區	99	—	—	—	—	—
127		紅藻類	108/10/24	東南區	26	—	—	—	—	—
128		蒟蒻	108/10/24	西南區	121	—	—	—	—	—

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

2. 試樣計測時間 30,000 秒。

3. 衛福部食藥署所訂「食品中原子塵或放射能污染容許量標準」銻 134+銻 137 之限值 100 貝克/公斤。[5]

本中心自 106 年至 107 年執行海產物取樣作業，每季於台灣沿岸 9 個漁港採集各 3 件海產物，但有感於取樣數量、追溯性及代表性不足等之因素，於 108 年起洽請國立嘉義大學及財團法人臺灣海洋保育與漁業永續基金會等專業漁業學術機構及單位協助台灣海域海產物之採樣。本計畫將魚類概分為三大類，大洋洄游魚類(如鮪魚、旗魚、鬼頭刀、鰹魚、白帶魚、鯖魚等)、沿近海魚類(如四破魚、竹莢魚、海鱸魚、烏格魚、黑豬哥、蝶魚、黑昌魚、刺蔥魚、青花魚、紅魷魚、剝皮魚等)、及藻貝蝦等其他類(如海菜、透抽、牡蠣、蛤蜊、蝦、蟹類等)，圖 4.1.7 為大洋洄游魚種及其洄游路線圖，大致可以了解各類魚種的棲息路線及習性。



圖 4.1.7 西北太平洋海域表層魚類南北洄游概圖

本計畫 106 年至 108 年度海產物檢測共 312 件，有關海產物樣品分類詳見表 4.1.9；由圖 4.1.8 可觀察到海產物鈹 137 分析結果，以大洋洄游魚類(鈹 137 平均活度約為 0.2 貝克/千克)較高，其次為沿近海魚類(鈹 137 平

均活度約為0.1 貝克/千克),最低者為藻貝蝦等其他類(銫 137 平均活度<0.01 貝克/千克)。初步判斷因大洋洄游魚種體型較大,生物累積效應可能是造成銫 137 平均活度較高的主因。目前海產物檢測結果皆遠低於「食品中原子塵或放射能污染容許量標準」銫 137 之限量(100 貝克/千克),並無輻射異常現象。

表 4.1.9 海產物分析樣品數目

樣品種類	106 年		107 年		108 年		合計
	上半年	下半年	上半年	下半年	上半年	下半年	
大洋洄游魚類	7	7	13	10	35	77	149
沿近海魚類	11	17	21	15	14	15	93
藻貝蝦等其他類	9	4	11	9	21	16	70
合計	27	28	45	34	70	108	312

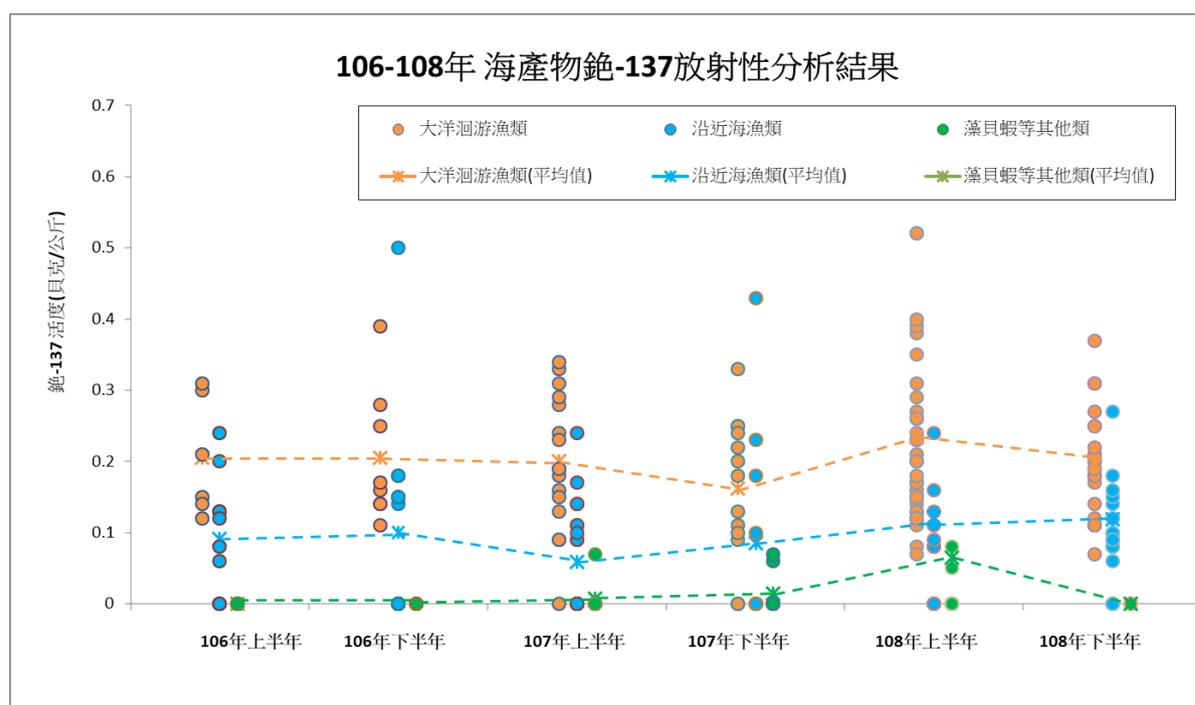


圖 4.1.8 106-108 年海產物加馬能譜分析結果

本計畫於 108 年第二季在大洋洄游魚類中,發現杜氏鰱(紅甘)有三件樣品銫 137 活度較高,檢測值分別為 0.74、0.52、0.52 貝克/千克,因此在第四季即針對杜氏鰱(紅甘)調整取樣共計 5 件,銫 137 檢測結果為 0.18~0.34

貝克/千克，與其他大洋洄游魚類並無差異。本中心將於 109 年將杜氏鰓(紅甘)列為加強取樣項目。

本中心另有協助漁業署執行日本海域秋刀魚放射性快篩分析，108 年計有 50 件，分析結果銻 137、銻 134 皆低於最低可測活度。

#### (四) 比較試驗

本中心為提高海水試樣銻 137 放射性分析能力及確保分析品質，特別與公益財團法人日本分析中心(Japan Chemical Analysis Center，以下簡稱 JCAC)進行環境試樣放射性分析互相比較，本中心分析結果與 JCAC 結果相近，顯示本中心海水分析方法及分析能力與國際標準實驗室相當。

#### (五) 學術活動

本計畫以 106 至 108 年分析結果，於「2019 臺灣地球科學聯合學術研討會」發表「Spreading of Fukushima Cs-137 to north of Taiwan by way of recirculated Kuroshio Tropical Water」論文一篇。

2019 年 11 月 6 日邀請日本學者保高徹生(YASUTAKA TETSUO；日本國立研究開發法人產業技術總合研究所地圈資源環境研究部門主任研究員)針對議題「日本環境水中放射性銻濃度及監測技術探討(日本における環境水中の放射性セシウムの濃度とモニタリング技術の現状)」進行技術交流討論，與會單位包含原子能委員會、輻射偵測中心、台電放射實驗室、台電核三工作隊、屏東科技大學等，會議進行照片如圖 4.1.9。



圖 4.1.9 日本學者保高徹生來台進行學術交流

## (六) 資料庫建置與網頁展示

本計畫委託國立中山大學團隊建立台灣周遭海域輻射狀況網站作業平台(網址 <http://aecmr-ocean.nsysu.edu.tw>)，如圖 4.1.10 所示，以有效將調查結果及研究成果與參與研究人員、委辦單位分享，此網站架構包含衛星雲圖、MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 衛星、海水表面溫度時間查詢、海水表面溫度自訂參數查詢、HYCOM (Hybrid coordinate Ocean Model) 模式模擬海流等選項，而 HYCOM 模式可模擬漂流軌跡，以動畫形式呈現，模擬當物質從核電廠漂出之後一個月的軌跡，對於核子事故發生時可評估放射性物質的漂流動線；同時此網站定時上傳海水、沉積物及海產物等加馬能譜分析結果，並以地圖呈現取樣位置及分析結果趨勢，預計未來二年內可提供開放民眾上網搜尋台灣海域輻射監測調查之結果。



圖 4.1.10 網頁首頁 (<http://aecmr-ocean.nsysu.edu.tw>)

### (七) 跨部會資源整合

執行海域調查絕大部分經費皆執行於船艦使用費用，故本中心延續 106 年跨部會單位合作方式協調各單位未來能繼續支持協助本計畫，協調有執行海域任務的單位在不影響例行動務的情形下，支援船艦資源協助本計畫執行海洋監測樣品取樣任務，目前既有之協助單位有環保署、農委會漁業署及海委會海巡署等單位，本中心於 107 年度分別拜會農委會水產試驗所、海委會海巡署艦隊分署、台灣漁業永續發展協會及海洋委員會等，除徵詢海域管理之專業知能與經驗外，也請各單位持續協助本計畫之執行，於權限範圍內互相協助，使行政機關發揮共同一體之行政機能，以最經濟方式尋求最有效的樣品數量與質量，健全台灣海域輻射調查背景資料。

另本中心 8 月 26 日及 9 月 6 日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實驗室、原子能委員會及本中心，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。

## 二、 國民輻射劑量評估

今年度的計畫內容，除了調查數據之彙整外，也對於 2007 年所公布的 ICRP 第 103 號報告所修訂的輻射防護架構[6]，對於體內劑量評估參數之影響做了探討。在輻射防護的執行上，體內劑量評估與體外劑量評估最大的差別在於體外劑量有建議的操作量，也就是周圍有效劑量  $H^*(d)$  及個人有效劑量  $H_p(D)$ ，而體內劑量則沒有操作量的定義。因此體內劑量評估需要使用呼吸道模式(HRTM, Human Respiratory Tract Model)及消化道模式(HATM, Human Alimentary Tract Model)去推估參考人於吸入或嚥入放射性核種後，在人體內滯留期間的約定有效劑量。隨著劑量風險調查結果的修正及參考人數位假體的應用，評估模式中生物動力學的參數與劑量學模式也隨之調整，本計畫主要探討這部分的修正對氡氣劑量評估的影響。

體外劑量的劑量模式在環境輻射能量範圍修訂不大，只對能量 3 MeV 以上的高能光子，調高吸收劑量換算有效劑量的轉換因子。因此本計畫彙整近年量測數據，以先期推估天然輻射造成之體外國民輻射劑量，並規劃需增加量測數據代表性之領域。

醫療輻射部分因涉及醫療專業，故委託財團法人輻射防護協會召集相關放射醫學專家，協助進行分析調查作業，今年度申請健保資料庫之使用並開始彙整資料，也協調聯繫醫療院所同意進行現場量測確認劑量。

今年度計畫執行結果，分項說明如下。

### (一) 國內住宅氡氣劑量與地下空間量測

氡氣是天然界存在的放射性氣體，世界衛生組織(WHO)於 2009 年提出警告，氡氣是室內僅次於香菸的肺癌致病因子，呼籲各國政府須注意室內氡氣的問題[7]。本中心民國 80 年至 83 年曾對室內氡氣進行調查，結果顯示平均濃度為每立方公尺 10 貝克。由於當時的建築形式與生活習慣與現在已有差異，因此重新進行調查；另因過去的調查地點以住家客廳及臥室為

主，審視調查結果沒有地下室使用空間量測之案例，故規劃增加地下空間量測數據，以確認相關劑量資訊。

### 1.住宅的氬氣劑量評估

本中心委託義守大學於 104 年到 106 年調查住家中經常活動的區域(客廳與臥房為主)，共計量測 279 戶[8]，由於台灣地區天然背景輻射差異不大，且各地區住宅建築結構與材料類似，大多以鋼筋混凝土為主流，量測結果顯示室內氬活度沒有地域性差別。量測結果也顯示臥房的氬氣濃度平均值略高於客廳，但是無統計上的顯著性。推估因為空調的使用，使得臥房通風狀況通常較客廳差，容易累積略高的濃度。統計結果如圖 4.2.1 所示，其平均濃度為每立方公尺 19.3 貝克，約為過去量測值的兩倍，所有住家氬氣濃度皆低於美國環保署於建議改善濃度每立方公尺 150 貝克及 WHO 建議的改善目標每立方公尺 100 貝克。

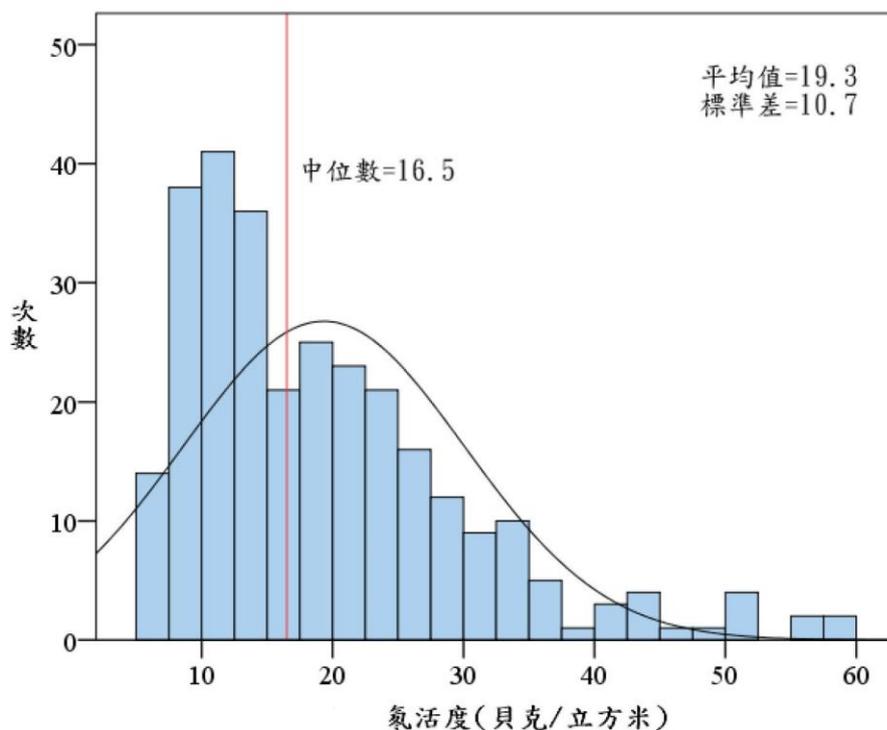


圖 4.2.1 調查國內 279 戶住宅室內氬活度分布圖[8]

氡氣曝露的劑量轉換因子於國際組織有不同的建議值如表 4.2.1，利用 104 至 106 年調查結果，依據 2014 年國際輻射防護委員會(ICRP)第 126 號報告所建議的劑量評估參數，也就是處於氡濃度每立方公尺 100 貝克一年，所受的輻射劑量相當於 3.3 毫西弗；評估氡氣對台灣地區國民輻射劑量約為每年 0.64 毫西弗。比 25 年前的評估值每年 0.36 毫西弗高 78%，但僅約為聯合國組織 UNSCEAR 公布世界平均值每年 1.2 毫西弗的 53%。

表 4.2.1、國際組織採用不同劑量模式評估於室內年佔 7000 小時，平衡因子為 0.4 時的劑量轉換因子

國際組織	氡氣濃度, Bq/m <sup>3</sup>		
	100	200	300
ICRP65 “risk equivalent” radon dose, mSv (風險等效劑量模式) <sup>[9]</sup>	1.7	3.4	5
UNSCEAR EP.recommended radon dose, mSv (流行病學調查建議) <sup>[10]</sup>	2.5	5	7.5
UNSCEAR Radon effective dose (dosimetric), mSv (肺部劑量模式建議)	6	12	18
ICRP 126 Radon effective dose, mSv(風險有效劑量模式) <sup>[11]</sup>	3.3	6.6	10

2018 年 1 月 ICRP 針對氡氣的劑量轉換因子建議提出新的摘要說明[12]，主要是 2010 年第 115 號[13]報告中，整合了基於大量低濃度氡氣曝露的礦工流行病學調查結果與基於一般住宅室內氡氣相關的肺癌風險研究成果，修正非吸煙者和吸煙者的成年人群肺癌的危害校正標稱危險度係數

(Detriment adjusted nominal risk coefficient)，將氡氣的曝露風險提高至每 Bqhm<sup>-3</sup> 為  $3 \times 10^{-10}$ ，這個風險值約為第 65 號報告風險基礎的兩倍，因此在維持 ICRP 建議對於天然輻射干預基準設定年劑量 3 到 10 毫西弗基礎上，推導出氡氣改善濃度上限，應該採更為嚴格的標準，故由 ICRP 第 60 號報告中「各國建議改善濃度值應介於每立方公尺 200 到 600 貝克」，降為「各國建議改善濃度值應介於立方公尺 100 到 300 貝克」，ICRP 126 號報告的劑量轉換因子也是基於此理論。

ICRP 第 126 號報告中同時建議對於工作場所的氡氣職業防護作法，宜採用分級管理的方法。如果工作人員的曝露不屬於職業必要（例如一般辦公大樓），則第一步是將氡氣的濃度降低到合理的水平（最好與住宅設定相同的參考濃度）。因為在工作場所占用的時間通常少於在家裡的時間，相應的年劑量通常也會低於住宅的年劑量。如果難以降到參考值以下，則建議採用符合現實的方法加以評估，包括使用曝露情況的實際參數（例如精確的佔用率）以及每年有效劑量 10 毫西弗劑量約束值來規劃最適化防護措施。然而，若已盡一切努力工作場所氡氣所造成的劑量，仍持續高於每年 10 毫西弗，則應將該環境下的工作人員視為職業曝露，並應適用職業曝露的相關要求，也就是將有效劑量保持在五年平均年劑量 20 毫西弗以下，且工作人員應有相對應之體檢與輻射防護訓練。

ICRP 第 137 號報告[14]使用來自 ICRP 第 115 號報告的風險係數和 ICRP 第 103 號報告的劑量模式，推導流行病學建議的劑量轉換因子並參採肺部劑量學模式加以調整，得出成人的劑量轉換因子。報告中建議對於大部分室內的狀況下，假設氡 222 與子核之間的平衡因子  $F=0.4$ ，標稱劑量轉換因子(nominal dose conversion coefficient)每  $Bq\cdot h\cdot m^{-3}$  為  $6.7 \times 10^{-6}$  毫西弗。如果是在洞穴工作或是在室內會進行體力活動的工作人員，則建議將劑量轉換因子提升至每  $Bq\cdot h\cdot m^{-3}$  為  $1.3 \times 10^{-5}$  毫西弗。若室內空浮粒徑分布有明確的量測結果，且可得到子核與氡氣的平衡因子，則劑量轉換因子應該依實際的狀況再重新評估。

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，但是如同 ICRP 第 126 號報告所建議的職業防護，應該先考量設定合理干預水平與住家相同，因此該報告也提到，雖然後續發表對一般民眾的體內劑量轉換因子中也會有氡氣數據，但此風險值也可適用於一般住家的成人。如果以 ICRP 第 126 號報告建議氡氣改善濃度上限每立方公尺 300 貝克，在工作場所每年工時 2000

小時，換算年劑量為 4 毫西弗。相同濃度在住宅中每年約 7000 小時換算年劑量為 14 毫西弗，比之前第 126 號報告的建議(基於 ICRP 第 60 號報告風險係數)對應年劑量 10 毫西弗為高。因此，之前調查國內住宅氬氣濃度平均每立方公尺 19.3 貝克，換算年劑量為 0.901 毫西弗，為民國 83 年的評估值每年 0.36 毫西弗的 2.5 倍，約為聯合國組織 UNSCEAR 公布世界平均值每年 1.2 毫西弗的 75%。

國內住宅調查累積 279 戶的量測結果，以住家客廳及臥室為主，審視調查對象沒有地下室使用空間量測之案例，故規劃進行量測地下空間的使用，如蘭嶼傳統住屋以及地下室營業場所等，因為一般而言地下空間通風較差，容易造成氬氣累積的狀況，因此補強相關資訊並探討是否修訂國民輻射劑量評估之結果。

## 2. 蘭嶼地下屋量測

為了防避東北季風與夏天颱風的侵襲，蘭嶼達悟族人運用智慧將主屋的結構建築，以下凹式空間型態建造如圖 4.2.2。屋子使用山上蒐集之木材搭建，屋頂使用傳統茅草搭建，因近年新式建材取得更為便利，目前已多改用浪板取代。房屋周圍以石頭堆砌出石牆與石階，以及屋旁的排水溝渠，讓下凹結構較為堅固，且不會有積水的問題。



圖 4.2.2 蘭嶼傳統建築為下凹式建築結構，屋頂與地面同高。



圖 4.2.3 蘭嶼傳統地下屋於屋簷下有氣窗可維持室內通風(左)，氡氣量測為置於住戶睡覺空間頭部位置(右)。

為了維持室內通風，屋簷下面有氣窗設置，可以排除在屋內烹煮的油煙與屋內的熱氣，並維持屋內室溫穩定，如圖 4.2.3。藉由屋簷與外面石板牆的遮蔽，氣窗的大小維持在不會導致雨水潑入的空間；屋內空間不大且低矮，加上木構建築對於土壤溢出氡氣的阻隔能力不佳；雖然有氣窗設置，仍有氡氣累積的可能，因此這次氡氣量測的位置，選擇置於屋內平時住戶睡覺的頭部附近空間，如圖 4.2.3 所示。

表 4.2.2 蘭嶼一般住宅氡氣量測結果

地點	氡氣濃度(貝克/立方公尺)
紅頭村	7
東清村	8
椰油村	11
朗島村	15
傳統住宅	17~23

量測結果如表 4.2.2 所示除傳統住宅(地下屋)的量測外，也在蘭嶼地區進行混凝土住宅量測共 4 處。由數據看來，傳統住屋的氡氣濃度略高於混凝土住宅，但都在本島住宅氡氣調查結果的範圍內。相較於國際間的建議

值，如美國環保署的改善標準每立方公尺 150 貝克，以及世界衛生組織 (WHO)建議的改善目標每立方公尺 100 貝克低很多，無輻射安全之虞。

### 3.地下室營業空間量測

今年度在聯繫許多地下空間營業場所，大多不願意配合本計畫進行偵測，所以調查對象以醫院地下室為主，多為候診空間或檢查報到時病人與家屬等待的區域；共完成醫院 13 家，地下停車場 2 家以及地下室書局 1 家，合計 16 個地下室營業場所，量測結果如表 4.2.3；量測時間依美國環保署建議[15]取超過 48 小時的平均值；量測結果顯示，地下空間氬氣濃度差異頗大，範圍為每立方公尺 6~118 貝克。氬氣濃度偏高的醫院，係因病患來源較少，所以地下室空間只有部分時間開放，而未開放期間該區域的空調系統會關閉，導致換氣不佳而累積偏高的氬氣濃度，雖超過每立方公尺 100 貝克，但尚未超過美國環保署建議改善濃度每立方公尺 150 貝克；其餘地點都低於每立方公尺 100 貝克。

表 4.2.3 地下營業空間氬氣量測結果

營業別(樓層)	地點(縣市)	氬氣平均濃度(貝克/立方公尺)
醫院 1(地下 1 樓)	宜蘭	27
醫院 2(地下 1 樓)	宜蘭	78
醫院 3(地下 7 樓)	桃園	21
醫院 4(地下 1 樓)	桃園	10
醫院 5(地下 1 樓)	苗栗	41
醫院 6(地下 3 樓)	苗栗	59
醫院 7(地下 1 樓)	苗栗	6
醫院 8(地下 3、4 樓)	高雄	(33,35) 34
醫院 9(地下 2 樓)	高雄	118
醫院 10(地下 1 樓)	高雄	16
醫院 11(地下 1 樓)	高雄	43
醫院 12(地下 1、2 樓)	屏東	(9,22) 16
醫院 13(地下 1 樓)	屏東	28
書局(地下 1 樓)	嘉義	92
地下停車場(地下 1 樓)	桃園	14
地下停車場(地下 3 樓)	台南	63

計算以上 16 處之地下營業空間量測結果，氡氣平均濃度為每立方公尺 41.5 貝克，以工作場所每年 2000 小時估算，在該處長期工作的人員年劑量約 0.28 毫西弗。雖然地下空間的氡氣濃度比地上樓層平均值高，但由量測結果也可了解，只要建物換氣率足夠，維持在通風良好的狀況，室內氡氣的濃度還是能與地上樓層差不多，維持良好的室內空氣品質。

原先評估之國人室內住宅氡氣年劑量，引用的室內占用因子 80%，已經包括了於室內上班的時間，除非是特殊職業場所例如礦工、洞穴養菇及酒窖工人等必須另外評估其劑量，特殊作業場所的氡氣評估結果非常態性問題，並不適合重複納入國民輻射劑量評估之中。因此，雖然在地下營業空間之氡氣濃度平均值高於住宅調查的結果，因佔用因子的關係，這部分的劑量值佔比極小，僅供管理之參考，不會影響本計畫原先評估室內住宅所造成的年劑量值 0.901 毫西弗。

## (二) 國人抽菸之體內劑量評估先期探討

環境中的氡氣自土壤釋出後擴散於大氣中，經 3.82 天的半化期衰變，會生成許多短半化期的金屬微粒如鈾、鉛及鈾的放射性同位素。這些金屬微粒非以氣態存在，容易沾黏在物體表面，其中子核種鉛 210 半化期長達 22 年，因此容易累積並生成半化期 138 天的阿伐核種鈾 210。煙草葉片表面因其特殊絨毛結構，具有濃集氡氣衰變產物的特性；因此，在菸草中可測得較高濃度的鉛 210 及鈾 210。

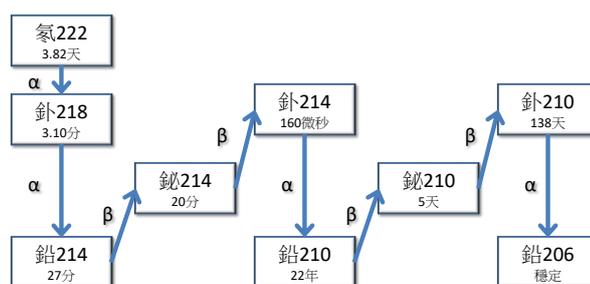


圖 4.2.4 氡氣衰變產物。

過去有文獻發現，鈾210吸入體內會集中在支氣管分叉處形成「熱點」，導致肺部偏高的輻射劑量[16]；然而，抽菸造成的劑量值，過去因體內劑量模式的不同而有很大的差異。以美國為例，美國輻射防護學會(NCRP)於1988年第95號報告評估[17]，該國吸菸人口男性約占33%，女性約占28%，每天平均吸菸30根(一包半)；該報告提到，鈾210沉積於支氣管上皮組織所造成的吸收劑量，大約是每年8到10毫戈雷，由於鈾210衰變主要釋出阿伐粒子，輻射加權因子為20，換算成肺部器官年等效劑量約為160毫西弗。雖然以當時的劑量模式，肺部的器官加權因子為0.12，但NCRP對於支氣管的組織加權因子重新加以推導，建議器官加權因子採用0.08。因此年有效等效劑量就可推算得到12.8毫西弗( $160 \times 0.08 = 12.8$ 毫西弗)，也就是大約13毫西弗。然而於該報告也提到這樣的評估方式仍有一些問題，例如沉積的上皮組織只占很小部分，且放射物質分布狀況尚無明確資料可確認，所以評估結果並未納入國民輻射劑量之中，僅做為參考。

然而，在2009年NCRP第160號重新對於抽菸劑量進行探討，並建議採用ICRP第72號報告的劑量轉換因子去評估有效劑量[18]。雖然許多文獻所測的香菸鈾210含量有所差異，建議採平均值也就是每根香菸重約0.7克，含鈾210活度14毫貝克。NCRP統計各文獻的評估結果，美國約4千5百萬抽菸人口，每天抽一根菸換算國民年平均劑量約18微西弗，若每天一包菸(20根)則年劑量平均值約為每年0.36毫西弗。由於體內劑量評估模式的調整，評估結果比過去明顯降低很多。

依據ICRP第103號報告的劑量模式及後續修訂的核種資料庫，目前ICRP陸續更新其體內劑量轉換因子，已發表部分核種職業曝露的資料。在ICRP第137號報告中提到，關於鈾210的劑量轉換因子參考了吸菸的風險模式，雖然吸菸行為與職業無關，但是菸草濃集鈾210的相關調查與統計資料頗多，故納入作為參考依據。

由過去驗屍的切片報告統計結果，吸菸者或曾吸菸者肺部可測得的鉛 210 與鈾 210 濃度高於非吸菸者，且由於鉛 210 為鈾 210 的母核，容易達成平衡態，所以評估劑量時應該同時考慮此兩個核種[19]。由老鼠實驗推估吸菸後於肺部的停留曲線發現，90%的鈾 210 排出率為  $0.036d^{-1}$ (相當於半化期 19 天)，剩下 10%較穩定排出率為  $0.0055 d^{-1}$ (相當於半化期 125 天)，因此，引用體內劑量轉換因子時應該採用肺吸收類別 M 類(生物半化期 140 天以內)[20]。

目前國內所使用的體內劑量轉換因子為基於 ICRP 第 60 號報告劑量模式推導所得，與 ICRP 第 72 號報告相同，一般民眾成人 M 類鈾 210 的劑量轉換因子為  $3.3 \times 10^{-6}$  (Sv/Bq)、鉛 210 為  $1.1 \times 10^{-6}$  (Sv/Bq)。輻射工作人員職業曝露的劑量轉換因子鈾 210 為  $2.2 \times 10^{-6}$  (Sv/Bq);鉛 210 為  $1.1 \times 10^{-6}$  (Sv/Bq)，一般民眾與輻射工作人員的差異不大。目前所公布 ICRP 第 103 號報告，劑量轉換因子僅有輻射工作人員的部分，鈾 210 為  $1.1 \times 10^{-6}$  (Sv/Bq)、鉛 210 為  $6.2 \times 10^{-7}$  (Sv/Bq)，相較於目前的劑量轉換因子降低了一半左右，預期未來公布的一般民眾劑量轉換因子也會降低約 50%。本計畫目前的先期評估仍以 ICRP 第 72 號報告為主。

衛生福利部國民健康署於民國 92 年參考美國疾病管制局風險因子調查方式，並參照國民健康署業務單位擬定政策推動需求，設計適用於國內的「成年人吸菸行為調查」問卷。並自民國 93 年起，採具縣市代表性的抽樣方式，由電話調查訪問中心進行電話訪問，為與國際調查結果有相同的比較基礎，102 年起擴大調查對象為 15 歲以上之國人，計畫名稱亦變更為「國人吸菸行為調查」，常規性建立國人吸菸行為資料庫，並依全國及縣市別分析統計，以瞭解國人吸菸行為之現況及變化趨勢；自 105 年開始，該計畫更加入吸菸者平均每天吸菸根數的調查項目，本計畫利用國健署該計畫執行成果中關於 105 年與 106 年國人抽菸習慣調查統計資料(如圖 4.2.5)，得知男性每天約一包菸(11-20 根)的人數比例最高，女性以約半包菸(1-10

根)的比例最高；因此，在評估吸菸的輻射劑量時，假設條件採吸菸人口中男性每天抽一包菸、女性每天抽半包菸。

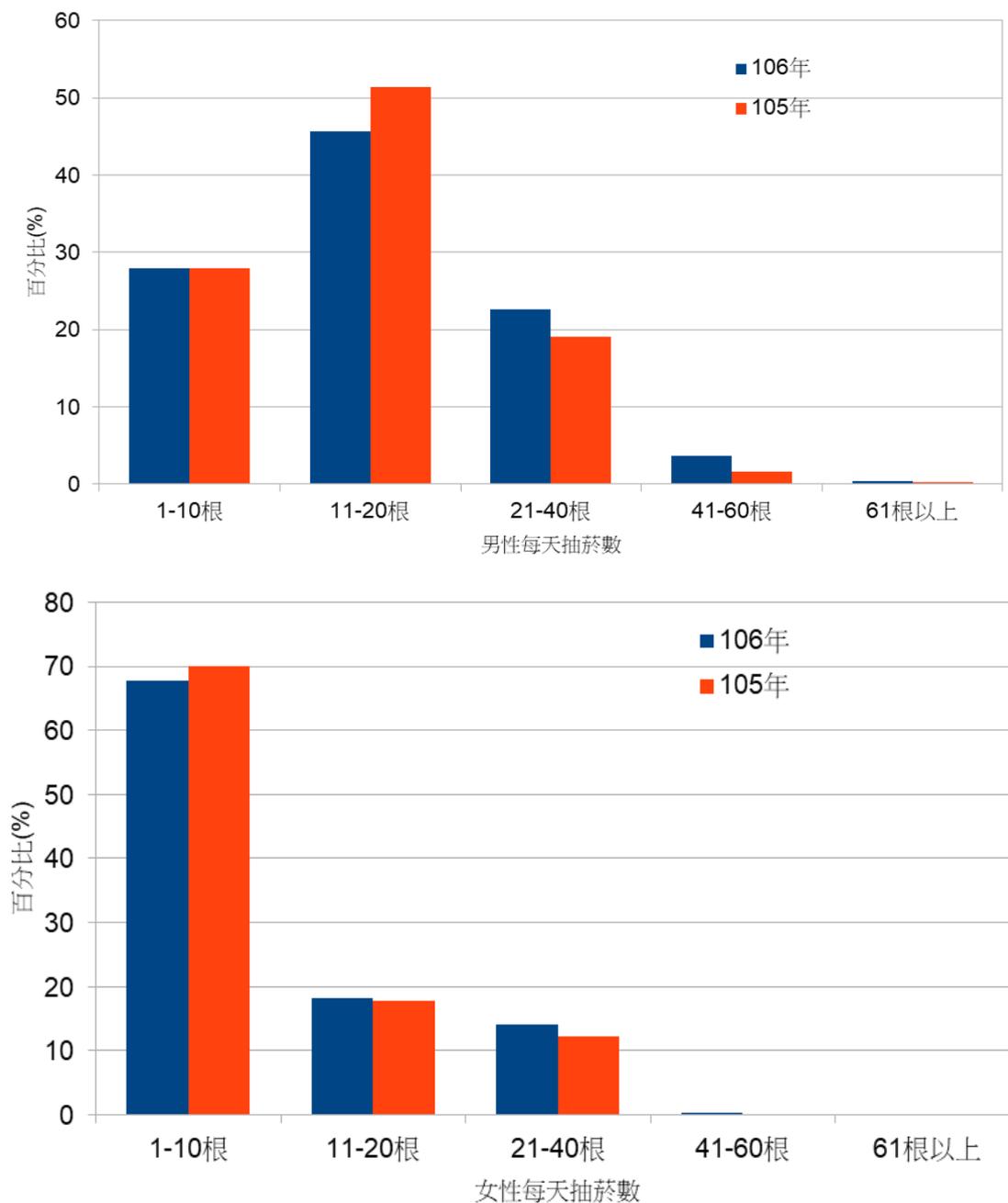


圖 4.2.5 105 及 106 年國人吸菸者每天抽菸數統計結果(上)男性、(下)女性  
(資料來源: 衛福部國健署)。

此外，由國健署近 10 年的抽菸人口比例統計結果資料顯示(如圖 4.2.6)，不論男女都呈下降的趨勢，且男性抽菸人口比例約為女性的 10 倍。由此可預期吸菸造成平均輻射劑量的結果，女性會遠低於男性。

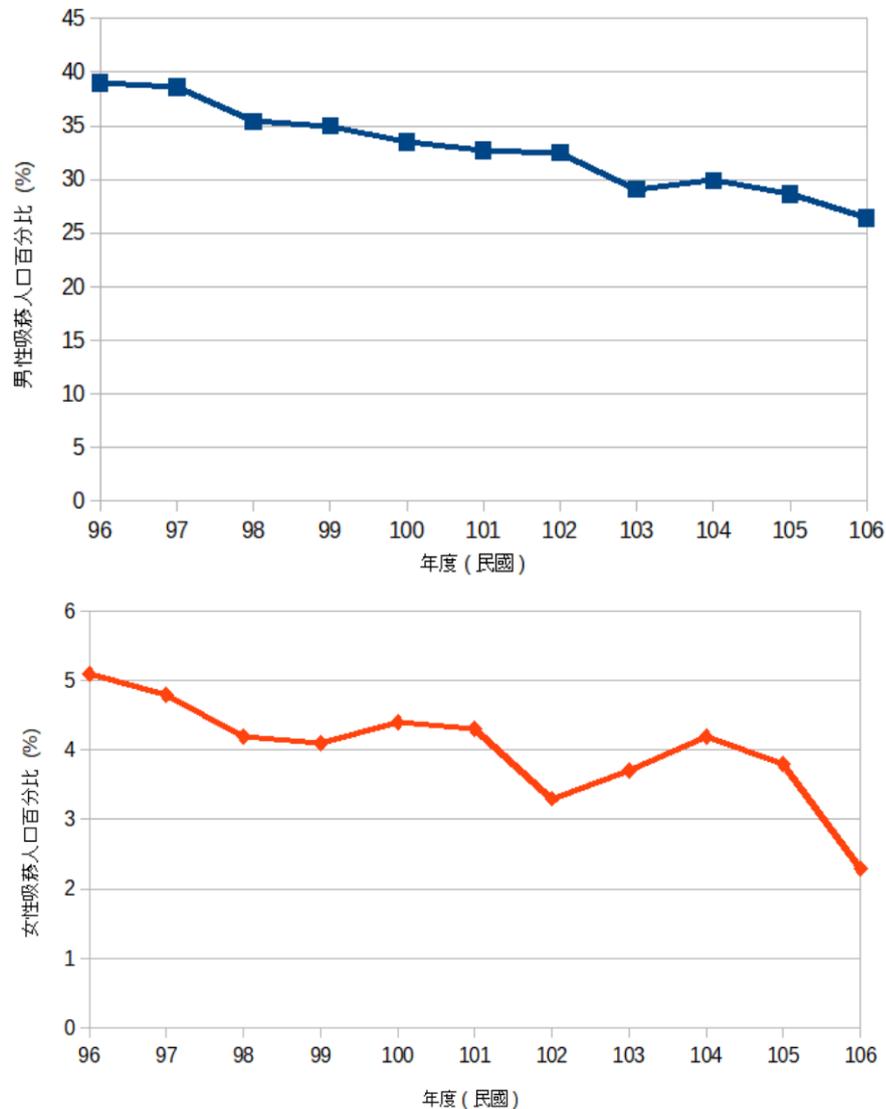


圖 4.2.6 近 10 年國人抽菸比例(上)男性(下)女性(資料來源: 衛福部國健署)。

本中心於民國 98 年購買國內常見 22 種香菸品牌，分析其針 210 活度濃度如表 4，範圍在每公斤 16.44 到 24.17 貝克，以每根香菸重量 0.7 克換算，每根香菸針 210 含量範圍在 11.51 到 16.92 毫貝克之間，平均為 14 毫貝克。假設每天抽菸一包(20 根)，且保守估計所有針 210 皆被吸入人體，

吸菸者每年吸入的鈾 210 為  $0.014(\text{貝克}) \times 20 \times 365(\text{天}) = 102.2 \text{ 貝克}$ 。假設鉛 210 與鈾 210 達平衡，所以鉛 210 也是 102.2 貝克；代入上述的體內劑量轉換因子，吸菸者每天抽一支菸之輻射年劑量約為 22.48 微西弗，每天抽一包則年劑量為 0.450 毫西弗。由衛福部國健署的調查資料顯示，106 年男性抽菸人口占 26.4%；女性占 2.3%，換算國人因吸菸平均年輻射劑量男性為 0.119 毫西弗，女性為 0.005 毫西弗，全體國民人口平均年劑量 0.062 毫西弗。

表 4.2.4 國內常見香菸品牌菸草中鈾 210 分析數據

品名	生產國家	計測活度(Bq/kg)				每根香菸含量(mBq)
		1	2	3	平均值	
長壽(黃)	台灣	17.01	17.1	18.52	17.54	12.28
長壽(白)	台灣	17.18	17.67	19.93	18.26	12.78
尊爵 G1 (Gentle)	台灣	21.55	20.04	20.34	20.64	14.45
尊爵 G9 (Gentle)	台灣	18.81	19.13	21.90	19.95	13.97
新樂園(中號仔)	台灣	19.30	19.07	失敗	19.19	13.43
新樂園(大號仔)	台灣	17.68	18.58	18.05	18.10	12.67
峰淡菸	日本	22.35	22.7	23.77	22.94	16.06
峰香菸	日本	23.39	24.71	21.50	23.2	16.24
七星 1mg (Mild seven)	日本	23.61	24.35	23.69	23.88	16.72
七星硬盒 (Mild seven)	日本	23.80	25.37	23.34	24.17	16.92
雲絲頓超淡菸 (Winston)	日本	22.08	23.27	22.16	22.50	15.75
雲絲頓超淡菸(Winston)	日本	23.73	22.93	23.52	23.39	16.37
寶仕香煙 3mg(BOSS)	烏克蘭(德國)	19.83	20.21	21.99	20.68	14.48
寶仕香煙 10mg(BOSS)	烏克蘭(德國)	20.34	20.44	19.80	20.19	14.13
大衛杜夫特淡菸	德國	18.87	18.08	19.62	18.86	13.20
大衛杜夫香菸	德國	16.06	16.81	16.45	16.44	11.51
藍星特淡菸(L&M)	馬來西亞	16.34	17.56	17.04	16.98	11.89
藍星淡菸(L&M)	馬來西亞	18.61	19.04	18.12	18.59	13.01
寶馬特醇淡菸(Pall mall)	新加坡(馬來西亞)	15.70	14.76	16.87	15.78	11.05
寶馬香菸(Pall mall)	新加坡(馬來西亞)	17.83	17.62	16.61	17.35	12.15
萬寶路淡菸(Marlboro)	美國	19.99	18.11	19.27	19.12	13.38
萬寶路濾嘴香菸(Marlboro)	美國	20.77	20.06	19.84	20.22	14.15
平均						13.93

本計畫後續會持續蒐集國人抽菸習慣之趨勢，並參採國際體內劑量轉換因子之修訂值，以及持續比對國內及國際間菸草中所含鈾 210 濃度是否有差異變化等，完成抽菸行為之輻射劑量評估。

### (三) 食品體內劑量之探討

#### 1. 天然核種鉀 40 劑量評估

在人體和食物內最主要的天然放射性核種為鉀 40，一般國民主要消費食物如米、豬肉、蛋、蔬菜、水果、麵粉、雞肉、海魚、淡水魚等均含有鉀 40 存在，因此，民眾日常食入這些食物，鉀 40 就會存在於體內。

為評估國人因攝食所接受之輻射劑量，本中心於 108 年 1 月至 6 月期間執行國內食品中放射性含量調查[21]，依國人主要消費食品分為 16 類，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，至一般市售食品商店隨機抽樣，再送至本中心加馬輻射分析實驗室以標準方法進行放射性含量分析，得到這 16 類國人主要消費食品中所含鉀 40 之放射性活度濃度，其他天然放射性核種所占比率極小，比照國外文獻予以忽略[22]。

因攝食所造成之鉀 40 年有效劑量計算結果如表 6 所示，攝食量是依據農委會所公布 107 年糧食供需年報中糧食平衡表[23]，參考每年每人純糧食供給量及每年每人食用率，計算出每年每人攝食各類食品中所含鉀 40 之放射性總活度；再依據「游離輻射防護安全標準」[24]所公布一般人之個人嚥入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量，個人嚥入鉀 40 轉換全身有效劑量之劑量轉換因子為  $6.2 \times 10^{-9}$  西弗/貝克·公克，計算出因攝食鉀 40 所造成年均有效劑量為 0.234 毫西弗/年，如表 4.2.5。

表 4.2.5 國人主要消費食品中鉀 40 所造成之年有效劑量

編號	主要消費食品分類	平均鉀 40 活度濃度 (Bq/kg)(鮮奶:Bq/L)	農委會-糧食平衡表分類	每年每人純糧食供給量 (kg)(鮮奶:L) 已包含食用率	每年每人食用主要食品鉀 40 總活度(Bq)	因攝食鉀 40 之年有效劑量 (mSv)
1	稻米	46.2	1. 穀類(1)米	45.61	2107	0.013
2	麵粉	34.4	1. 穀類(2)小麥	37.97	1306	0.008
3	黃豆	594	4. 子仁及油籽類 (1)大豆	12.16	7223	0.045
4	高麗菜	68.8	5. 蔬菜類(1)蔬菜類	43.09	2965	0.018
5	地瓜	124.8	2. 薯類(1)甘藷	8.68	1083	0.007
6	馬鈴薯	164.8	2. 薯類(3)馬鈴薯	12.88	2123	0.013
7	花椰菜	115.6	5. 蔬菜類(3)莖菜類	29.49	3409	0.021
8	鳳梨	53.2	6. 果品類(2)鳳梨	16.19	861	0.005
9	香蕉	118	6. 果品類(1)香蕉	13.54	1598	0.010
10	柑橘	57.2	6. 果品類(3)柑橘	20.81	1190	0.007
11	魚	124.2	9. 水產類(1)魚類	16.83	2090	0.013
12	豬肉	104.4	7. 肉類(1)豬肉	37.3	3894	0.024
13	牛肉	102.4	7. 肉類(2)牛肉	6.41	656	0.004
14	雞肉	135.8	7. 肉類(3)家禽肉	38.61	5243	0.033
15	蛋	47.8	8. 蛋類	18.09	865	0.005
16	鮮奶	55.2	10. 乳品類(1)鮮奶	20.39	1126	0.007
總計					37740	0.234

## 2. 人造核種銥 90 劑量探討

銥是環境中常見的鹼土族元素，其穩定同位素包括銥 84(0.6%)、銥 86(9.9%)、銥 87(7.0%)及銥 88(82.5%)。其化學特性與同樣為鹼土族的鈣元素相似，因此被動物體吸收後具有趨骨性容易濃集於骨骼，但在肌肉中也扮演了生理調節的功能。放射性銥包括半化期 29.1 年的銥 90、半化期 50.52 天的銥 89 及半化期 64.84 天的銥 85，環境中放射性銥的來源可分為

全球性落塵與區域性排放兩大類，都是自核工業開始發展才出現在生活環境中。全球性落塵主要來自 1952 至 1963 年全球核子武器試爆及前蘇聯 1949 至 1989 於塞米巴拉金斯克基地(Semipalatinsk Test Site)所進行的和平用途核子試爆[25]；其次是 1986 年烏克蘭車諾比核電廠事故，以及 2011 年日本福島第一核電廠事故[26, 27]；還有一些零星的事例，如 1978 年蘇聯以鈾反應器推動的人造衛星(Cosmos 954)失敗墜落，以及含鈾 90 熱電產生器的直升機失事等[28]；這些事件發生至今已逾數年，其排放僅較剩下長半化期的鈾 90 可在環境樣品中被測得。區域性排放包括：核電廠例行排放廢水、核廢料貯存場廢水排放、核燃料製造與再處理廠廢水洩漏以及醫療廢水排放等等，測得含有短半化期鈾 89 或鈾 85 的環境樣品有可能來自這些區域性排放 [26]。

植物會透過土壤吸收環境中放射性鈾，並經動物攝食植物與飲水進入食物鏈中，鈾元素幾乎在每種生物體內均可測得；其中生物累積較為明顯的植物有：海藻(algae)及水草[29]、一般草本植物(meadow)[30]、豆科(Fabaceae)、十字花科(Brassicaceae)、車前草科(Plantaginaceae)、禾本科(Poaceae)、葫蘆科(Cucurbitaceae)、莧科(Amaranthaceae)和菊科(Asteraceae)[31]；動物樣品則為魚類、甲殼類(Crustacea)、貝類(Molluscs)[32]以及生物奶樣。

當食品中含放射性鈾嚥入體內，吸收分率幾何平均值大約是 0.22 [33]。但也有部分文獻提到，當處於禁食後、採用低鈣、鎂、磷飲食、飲用牛奶及服用維他命 D 等狀況下，會提升鈾的吸收率[34]。性別、年齡、抽菸習慣、運動或是口服避孕藥，對於鈾的吸收並無顯著影響[35]；鈾雖與鈣的化學性質相近，但鈾的吸收率較差，初期也較鈣容易自人體排出，一般骨骼可交換區的鈾生物半化期約 80 天，鈣則約 100 天，非交換區的移除率則與年齡有關，年紀愈大愈容易流失。

放射性銫的生物動力學參數與過去 ICRP 第 72 號報告所使用的相同，但於 ICRP 134 號報告中[36]，標準人假體採用數位假體，及使用 ICRP 第 103 號報告的器官加權因子重新推估工作人員的劑量轉換因子為  $2.4 \times 10^{-8}$  (Sv/Bq)。目前所使用基於 ICRP 第 60 號報告器官加權因子的工作人及吸入銫 90 體內劑量轉換因子為  $2.8 \times 10^{-8}$  (Sv/Bq)，一般民眾成年人的劑量轉換因子也與工作人員相同。新的職業曝露劑量轉換因子比現有的低 15%，因為目前尚未公告一般民眾的劑量轉換因子，所以本計畫依然用現有的劑量轉換因子評估，但可預期未來會略為調低評估結果。

表 4.2.6 台灣地區消費市場主要食品銫 90 含量與年劑量評估

類別	銫 90 濃度 (鮮奶:貝克/升, 其餘貝克/公斤)			年食用量 (鮮奶:升/年, 其餘:公斤/年)	年劑量 (毫西弗)
	最大值	最小值	中位值		
米	0.0628	小於偵測極限	0.0313	45.43	3.98E-05
葉菜	0.0865	小於偵測極限	0.0216	42.93	2.60E-05
鮮奶	0.0665	小於偵測極限	0.0210	18.74	1.10E-05
水果	0.0775	小於偵測極限	0.0238	129.6	8.64E-05
豬肉	0.0331	小於偵測極限	0.0116	36.50	1.19E-05
雞蛋	0.0507	小於偵測極限	0.0243	18.48	1.26E-05
雞肉	0.0873	小於偵測極限	0.0151	34.26	1.45E-05
根(莖)類	0.1388	小於偵測極限	0.0173	40.24	1.95E-05
魚肉	0.0382	小於偵測極限	0.0082	12.42	2.85E-06
麵粉	0.0603	小於偵測極限	0.0373	38.05	3.97E-05
合計					2.64E-04

因銫 90 分析需要複雜的化學萃取程序，故分析的樣品數較鉀 40 少，且有部分樣品分析結果低於偵測極限，因此銫 90 的年劑量推估主要係參採本中心民國 104 到 108 年五年間，對市場上主要消費食品取樣分析結果，並分為十大類整理如表 4.2.6。劑量轉換因子採用 ICRP 第 72 號報告模式，推算國人經由攝食銫 90 造成的年劑量為  $2.64 \times 10^{-4}$  毫西弗，劑量主要來源為水果，其次是米與麵粉。相較於其他天然輻射核種所造成之體內輻射劑

量，如前述氡氣與吸菸之劑量，食品中的人造核種銳 90 所造成的劑量幾乎可忽略。

#### (四) 宇宙輻射劑量評估

宇宙射線來自外太空，稱為初級宇宙射線，可分為銀河宇宙射線與太陽宇宙射線。由太陽產生的太陽宇宙射線能量較低，在高空大氣層就被吸收掉，對居住在地表附近的民眾可予忽略；而來自太陽系之外的銀河宇宙射線，由高能質子、氦原子核及其他高能荷電粒子、中子、電子、超高能微中子、光子等組成，但是也有非常少的比例是穩定的反物質粒子，像是正電子或反質子，這些帶電高能粒子會與大氣層產生宇宙射線散裂反應，產成二次宇宙射線，包含中子、質子、光子、電子、介子等，二次粒子可能會到達地表附近[37]。

##### 1. 戶外宇宙射線

本計畫所量測的宇宙射線劑量，包含宇宙射線穿透地球大氣層後的二次粒子到達地面上，產生的游離輻射成分(主要為光子)所造成的輻射劑量，以及到達地面上的中子宇宙射線所造成的輻射劑量。

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[38]；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。

本中心自 102 至 106 年在國內不同海拔高度量測游離輻射成分與中子宇宙射線，沿省道 14 號最高至武嶺停車場，沿省道 18 號最高至塔塔加，共測量 27 處，量測點的海拔高度從 3 至 3263 公尺，以獲得垂直高度的宇宙射線差異，量測點的量測項目及儀器：包括使用高壓游離腔量測總加馬輻射，純鍍偵檢器量測天然放射性物質所造成的地表加馬輻射，球形中子侖目儀量測各處中子宇宙射線，再將以上的量測結果以總加馬輻射扣除地

表加馬輻射得到各處宇宙射線游離輻射成分;並以2次多項式作曲線擬合,得到海拔高度與宇宙射線游離輻射成分之回應曲線,以及海拔高度與中子宇宙射線之回應曲線,這2組多項式如下所示。

海拔高度與宇宙射線游離輻射成分之關係:

$$DRGIN = 2 \times 10^{-9} \times H^2 + 1 \times 10^{-5} \times H + 0.0203$$

其中 DRGIN 為宇宙射線游離輻射之劑量率(單位:微西弗/時);H 為海拔高度(單位:公尺);

海拔高度與中子宇宙射線之關係:

$$DRNE = 4 \times 10^{-9} \times H^2 - 1 \times 10^{-6} \times H + 0.0083$$

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);

由本中心自行執行計畫的初步結果顯示,在海平面位置,中子宇宙射線與游離輻射成分之劑量率分別為 8.3 奈西弗/時與 0.0203 微西弗/時,海拔高度上升大約 1500 公尺,宇宙射線的總劑量率大約上升 1 倍,如圖 4.2.7 及圖 4.2.8。

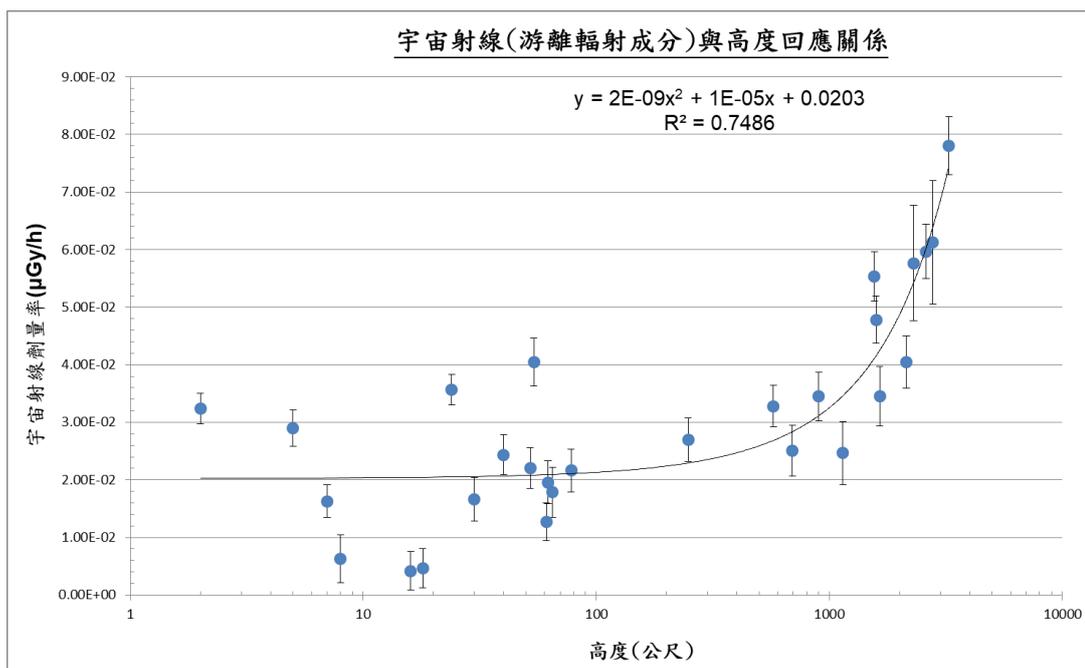


圖 4.2.7 宇宙輻射游離輻射成分劑量率與海拔高度關係  
(本中心自 102 至 106 年期間量測結果)

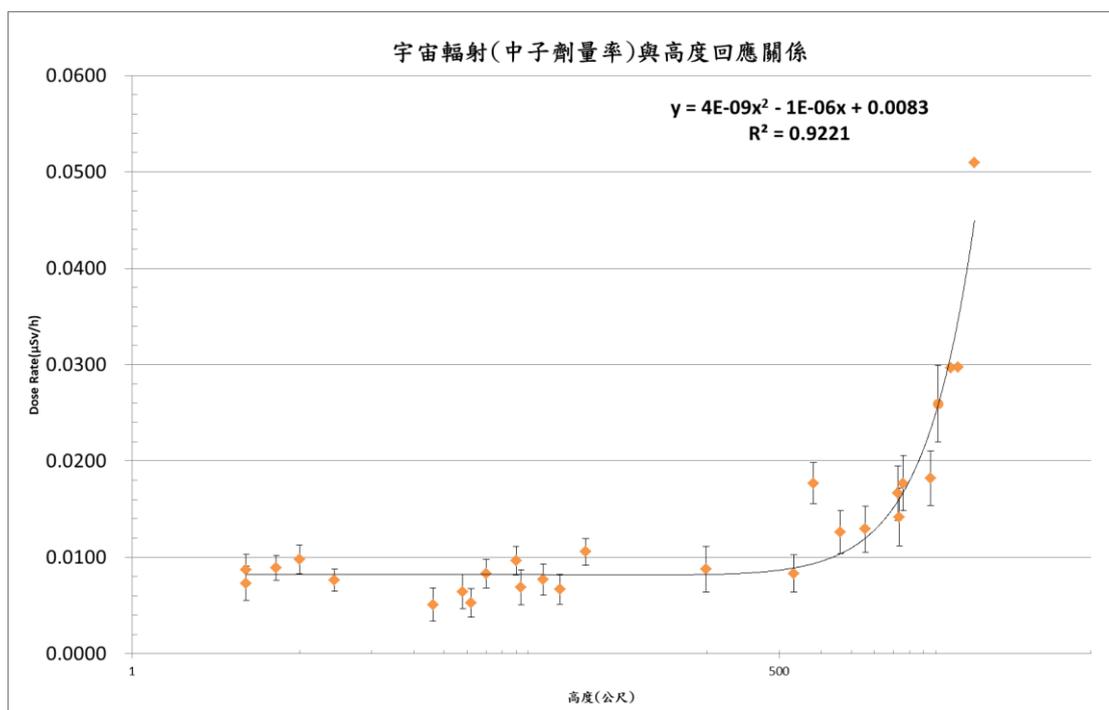


圖 4.2.8 中子宇宙輻射劑量率與海拔高度關係  
(本中心自 102 至 106 年期間量測結果)

表 4.2.7 中子宇宙射線所造成各縣市國民之集體劑量

區域別	人口數 (108年1月底)	人口密集居住區 平均海拔高度 (公尺)	平均劑量率 (奈西弗/時)	集體劑量 (人·西弗/年)
新北市	3,997,189	176	8.2479	288.80346
臺北市	2,666,908	84	8.2442	192.60250
桃園市	2,223,733	194	8.2565	160.83666
臺中市	2,806,406	196	8.2577	203.00737
臺南市	1,883,723	137	8.2381	135.93990
高雄市	2,773,607	123	8.2375	200.14526
宜蘭縣	455,035	57	8.2560	32.90928
新竹縣	557,349	120	8.2376	40.21907
苗栗縣	548,403	124	8.2375	39.57305
彰化縣	1,277,176	188	8.2534	92.33928
南投縣	496,606	461	8.6891	37.79985
雲林縣	685,354	121	8.2376	49.45587
嘉義縣	506,559	110	8.2384	36.55754
屏東縣	824,587	111	8.2383	59.50827
臺東縣	218,691	246	8.2961	15.89304
花蓮縣	327,788	236	8.2868	23.79486
澎湖縣	104,511	17	8.2842	7.58428
基隆市	369,987	110	8.2384	26.70136
新竹市	445,990	36	8.2692	32.30665
嘉義市	268,579	111	8.2383	19.38264
金門縣	139,484	30	8.2736	10.10935
連江縣	13,079	43	8.2644	0.94687
總計	23,590,744	3031		1,706

備註：中子宇宙射線所造成國民每人平均有效劑量

$$=1,706,000/23,590,744$$

$$=0.072 \text{ 毫西弗/年}$$

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。在戶外，中子宇宙射線所造成國民每人平均有效劑量為 0.072 毫西弗/年，如表 4.2.7；游離輻射成分所造成國民每人平均有效劑量為 0.183 毫西弗/年，如表 4.2.8；以上加總後，宇宙射線所造成每人平均有效劑量為 0.255 毫西弗/年。此劑量僅為民眾於戶外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。

表 4.2.8 宇宙射線之游離輻射成分所造成各縣市國民之集體劑量

區域別	人口數 (108 年 1 月底)	人口密集居住區 平均海拔高度 (公尺)	平均劑量率 (微西弗/時)	集體劑量 (人·西弗/年)
新北市	3,997,189	176	0.0221	774.608
臺北市	2,666,908	84	0.0212	494.205
桃園市	2,223,733	194	0.0223	434.699
臺中市	2,806,406	196	0.0223	549.131
臺南市	1,883,723	137	0.0217	358.205
高雄市	2,773,607	123	0.0216	523.845
宜蘭縣	455,035	57	0.0209	83.216
新竹縣	557,349	120	0.0215	105.112
苗栗縣	548,403	124	0.0216	103.626
彰化縣	1,277,176	188	0.0223	248.942
南投縣	496,606	461	0.0253	110.214
雲林縣	685,354	121	0.0215	129.315
嘉義縣	506,559	110	0.0214	95.069
屏東縣	824,587	111	0.0214	154.831
臺東縣	218,691	246	0.0229	43.834
花蓮縣	327,788	236	0.0228	65.386
澎湖縣	104,511	17	0.0205	18.741
基隆市	369,987	110	0.0214	69.438
新竹市	445,990	36	0.0207	80.726
嘉義市	268,579	111	0.0214	50.430
金門縣	139,484	30	0.0206	25.173
連江縣	13,079	43	0.0207	2.376
總計	23,590,744			4,521

備註：宇宙射線之游離輻射成分造成國民每人平均有效劑量

$$=4,521,000/23,590,744 =0.183 \text{ 毫西弗/年}$$

## 2. 室內宇宙射線與總宇宙射線劑量

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因子 0.922[38]，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[39]，該報告所提供之室內與戶外之占用因子如表 4.2.9 所示，區分成 4 個年齡層。再收集內政部所公佈 107 年底年齡別之人口數，納入不同年齡層之室內與戶外占用因子，計算出中子宇宙射線所造成國民每人平均有效劑量為 0.069 毫西弗/年，游離輻射成分所造成國民每人平均有效劑量為 0.172 毫西弗/年；總計，宇宙射線共造成國民每人平均有效劑量為 0.241 毫西弗/年。

表 4.2.9 室內與戶外之占用因子

年齡別	人口數 (107 年底)	每日生活所占時間比率		
		戶外	室內	
			家	工作或學校
未滿 15 歲	3,048,227	0.1	0.65	0.25
15~24 歲	2,871,374	0.23	0.44	0.33
25~64 歲	14,235,814	0.19	0.40	0.42
65 歲以上	3,433,517	0.15	0.85	

### (五) 地表輻射體外劑量評估

我們的生活環境中，天然放射性物質也廣泛地存在於各種地質構造中，例如土壤及岩石，此外，它還存在於植物、水、空氣和建築材料當中，所以民眾一直生活在含有天然放射性物質的環境中。地表輻射係來自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

之半衰期約為 141 億年、鈾 238 之半衰期約為 45 億年、鉀 40 之半衰期為約 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[40] [41]。

依 UNSCEAR 2000 年報告所述[1]，地殼中鐳 226，鈾 232 和鉀 40 的平均活度濃度分別為 35、30 和 400 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，導致這些國家每年天然放射性劑量有幾個毫西弗的增加。除了戶外地表輻射，亦有室內地表輻射，主要來源是建材，依據 UNSCEAR 2000 年報告所述，室內地表輻射劑量率估計為 0.0588 微西弗/時；依 UNSCEAR1993 年報告[42]所述，建築材料加馬射線造成的全球平均室內有效劑量估計約為 0.4 毫西弗/年。

### 1. 戶外地表輻射

本中心自 102 年至 107 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，特以 2 吋碘化鈉閃爍型偵檢器度量距離地面 1 公尺高的加馬輻射劑量率，以排除宇宙射線所貢獻的加馬游離輻射劑量，已完成 421 處偵測作業。惟現有數據未包含金門縣及臺東縣綠島鄉，暫訂 109 年執行偵測，並納入後續評估作業。

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、外傘頂洲、青山港洲等處，因富含重砂，內含的獨居石其鈾 232 含量較高，其地表輻射劑量為 0.4 至 1.9 微西弗/時之間；金門縣為花岡岩地質，估計其地表輻射劑量最高，但目前無實測值，待明年實測後確認；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，各縣市地表輻射平均加馬輻射劑量率在 0.043 至 0.1 微西弗/時之間，依 108 年 1 月底內政部所公佈之各縣市人口數計算集體劑量，集體劑量為 10,555,974 人•

西弗/年，再除以總人口數，得到戶外地表輻射所造成國民每年人均有效劑量為 0.45 毫西弗/年。

## 2. 室內地表輻射

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。

本中心自 106 年至 107 年，依國內民眾主要居住住宅的建築形式，包含大樓、公寓及透天型式的住宅，並以鋼筋混凝土為建築物材料的住宅為主，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的室內平均輻射劑量率為 0.093 微西弗/時，加強磚造為 0.088 微西弗/時，鋼筋混凝土高於加強磚造 5.7%；較舊的加強磚造建物其室內隔間牆及主結構牆面較薄，室內平均輻射劑量率較低，實測結果與理論推測趨勢相符。承上，本研究測得之室內平均輻射劑量率為 0.106 微西弗/時，若民眾完全於室內活動，計算出室內地表輻射年有效劑量為 0.929 毫西弗/年。

另外，有關二次宇宙射線加馬游離成分所貢獻之輻射劑量，主要受建築物所在樓層高度及上方的樓板總厚度影響，厚度越大之室內輻射劑量率會越低，實測結果顯示，住宅上方樓板在 5 層以內的室內輻射劑量率平均為 0.109 微西弗/時，住宅上方樓板在 6 層至 27 層的輻射劑量率平均為 0.096 微西弗/時，實測結果與理論推測趨勢相符。

## 3. 總地表輻射劑量

因為大多數民眾在室內度過約 80% 的時間[2]，參考表 4.2.9 之室內及戶外占用因子(Occupancy factor)，合計戶外及室內，計算地表輻射之年有效劑量為 0.83 毫西弗/年，如表 4.2.10。

表 4.2.10 地表加馬輻射對國民造成的有效劑量

項目	有效劑量率 (微西弗/時)	年有效劑量率 (毫西弗/人年)	地表輻射 年有效劑量率 (毫西弗/人年)
戶外	0.043~0.1	0.45	0.83
室內	0.077~0.177 (平均)0.132	0.93	

## (六) 醫療輻射劑量評估作業

自從放射性核種和 X 光在一世紀前被發現，游離輻射便很快地被用於醫學應用上，現在已被確立為醫學診斷和治療的必要工具。過去幾十年間，因醫療影像設備與成像技術快速發展，使得醫用 X 光成像和核子醫學成像的使用率顯著增長，無論在歐洲，美國還是台灣都有類似的增長趨勢。

國內僅有在 1998 年公佈醫療輻射群體劑量，後續也有學者進行部分醫療輻射群體劑量的研究，但目前缺少整體的調查，因此需要更新台灣現階段隨著新進醫療設施和技術所帶來的醫療輻射曝露趨勢。

自 108 年至 111 年本中心委託財團法人中華民國輻射防護協會執行國民醫療輻射劑量調查研究計畫，計畫的目的是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醫療作業項目頻次，如果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。此外需透過實地調查醫療作業中的醫療輻射作業檢查項目、技術條件設定、臨床實際掃描方法等資訊，計算彙整出不同醫

療檢查的輻射劑量，再以實地量測方式：包括射質評估、劑量輸出測量以確定劑量評估的準確性等，藉由此次調查研究，了解醫療輻射造成台灣整體國民輻射劑量之情形，建立完整的醫療輻射群體資料，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調查，計畫至少完成下列八類共 43 項之放射診斷醫療檢查輻射劑量評估，包含項目如下：

(1)電腦斷層檢查：包含頭部、頸部、胸部、腹部、骨盆及其他部位等 6 項。

(2)核子醫學檢查：包含全身骨骼掃描、壓力與重分佈心肌斷層灌注掃描、正子造影-全身、心室搏出分率及心室壁活動測定、全身炎症掃描及其他項等 6 項。

(3)介入性透視攝影檢查(心臟類)：包含單側心導管、冠狀動脈攝影、心室造影、經皮冠狀動脈擴張術、冠狀動脈攝影心導管及其他項等 6 項。

(4)介入性透視攝影檢查(非心臟類)：包含血管整形術、血管阻塞術、子宮輸卵管造影、經皮穿肝膽管引流術、皮下穿刺腎造瘻術及其他項等 6 項。

(5)傳統透視攝影檢查：包含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、小腸系統及其他項等 6 項。

(6)一般傳統 X 光檢查：包含頭部 X 光、胸部 X 光、腹部骨盆腔 X 光、腎臟-輸尿管-膀胱 X 光、脊椎 X 光、四肢 X 光及其他項等 7 項。

(7)乳房攝影檢查。

(8)牙科攝影檢查：根尖周 X 光攝影、咬翼式 X 光攝影、咬合片 X 光攝影、齒顎全景 X 光片攝影、側顱 X 光攝影及其他項等 6 項。

本年度委託單位已取得衛生福利部人體試驗委員會的同意，將屬於八大類健保資料庫代碼分別歸類整理，編寫健保資料庫專用取樣程式，本年赴衛生福利資料科學中心進行3次健保資料庫資料蒐集，共蒐集105至106年期間醫令資料共65,385,701筆健保資料庫收集相關資料。第二季取得3家醫院調查受訪同意，第三季取得4家醫院調查受訪同意，共計7家醫療院所同意受訪調查。完成檢查序列調查前測與實測取樣，包含：製作取樣表格、核子醫學藥物活度統計表，檢查項目人(頻)次調查。購買劑量模擬軟體，完成建構心臟類介入性透視攝影檢查、非心臟類介入性透視攝影檢查、傳統透視攝影檢查、牙科攝影檢查劑量評估模型，共計有16個類別醫院次，88項次的檢查輻射劑量評估，已完成2家醫院之醫療輻射劑量調查及現場實測，共完成取樣51577筆資料。完成劑量模擬軟體(VirtualDose IR、VirtualDose CT、PCXMC、CT-Expo)之購置，並辦理1場次放射診斷醫療輻射劑量評估軟體教育訓練課程，108年亦完成期刊論文(論文名稱:Occupational radiation dose to the eye lens of physicians from departments of interventional radiology，期刊名稱:Radiation measurements)投稿1篇、技術報告1篇、養成1個合作團隊，培育及延攬人才6名。

## 伍、 結論

108年海陸域調查共完成海水試樣167件、海產物試樣178件以及沉積物試樣(岸沙、河砂及海底沉積物)88件，總計433件，上述試樣放射性分析結果皆遠低於法規規範標準，顯示台灣海域環境目前無輻射安全之疑慮。樣品數據進一步分析發現，台灣海域海水之銫137(mBq/L)於水深200至400公尺處略高其他水層，但皆在背景變動範圍內。

國民輻射劑量調查部分，本年度在氬氣、宇宙射線、地表輻射、吸菸行為與醫療輻射等項目上取得初步評估成果。氬氣體內劑量模式再評估，

年劑量調整為 0.901 毫西弗；且完成地下室空間 17 處氬氣濃度量測。宇宙射線年劑量為 0.241 毫西弗。地表輻射年有效劑量為 0.83 毫西弗；消費性食品部分初步完成鉀 40 及鋇 90 之初步評估，年有效劑量分別為 0.234 及  $2.64 \times 10^{-4}$  毫西弗。進行國內醫療輻射劑量評估，經衛福部人體試驗委員會同意，著手蒐集、分析健保資料庫資料；也完成了核子醫學藥物活度調查表，以及介入性透視攝影（心臟類）、介入性透視攝影（非心臟類）、傳統透視攝影、牙科攝影之初步劑量評估模型，並陸續運用在醫療輻射劑量調查及現場實測中，持續累積相關數據。引用衛福部國健署國人吸菸統計資料與過去菸草分析結果，完成吸菸行為國民輻射劑量之先期評估，推算國人吸菸平均年劑量 0.062 毫西弗。

透過今年度計畫執行之檢討，未來計畫之強化精進作業包括：

1. 海域調查後續擬針對銫 137 活度略高之魚類，以及東北、西南海域之深層海水加強取樣偵測。並參考海洋學術研究單位於 108 年 12 月 11 日完成「台灣海域未來中長程(109~111 年)輻射監測調查計畫規劃書」調整監測內容。
2. 在陸域調查方面，未來擬再強化台灣山區及核能電廠周圍的土壤取樣分析，以能強化台灣環境輻射背景的全方位資料庫(海域及陸域)的建置。
3. 天然背景輻射調查部分，在地表與宇宙輻射劑量擬再補充外島與北部山區之量測數據；探討食品中天然核種鈾系列與釷系列之量測方法，另外，對食品中鈾 210 核種之分析能力也需再行補強。
4. 消費產品部分，包括吸菸、飛航宇宙輻射劑量及負離子產品量測等，占國民輻射劑量比例小，但為民眾關切議題，列為後續規劃重點，並持續與其他部會協調合作之事項。

5. 今年醫療輻射劑量評估為準備階段，後續持續進行資料蒐集與現場量測確認。

## 陸、 參考資料

- [1] UNSCEAR, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation", UNSCEAR, United Nations, New York. (1988).
- [2] National Council on Radiation Protection and Measurements, Ionizing Radiation Exposure of the Population in the United States, NCRP Report No.160 (2009).
- [3] National Council on Radiation Protection and Measurements, Ionizing Radiation Exposure of the Population in the United States, NCRP Report No.93 (1987).
- [4] Inomata, Y., M. Aoyama, Y. Hamajima, and M. Yamada. Transport of FNPP1-derived radiocaesium from subtropical mode water in the western North Pacific Ocean to the Sea of Japan. *Ocean Science*, 14, 813-826(2018).
- [5] 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。
- [6] ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).(2007)
- [7] WHO, Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective (2009)
- [8] 陳清江，「台灣地區住宅氡氣活度擴大量測與劑量再評估」，義守大學 ISU106-GOV-07 (2017)
- [9] ICRP, Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann ICRP, 23(2), (1993)
- [10] UNSCEAR, Effects of Ionizing Radiation, Volume II, Annex E: Sources-to-effects assessment of radon in homes and workplaces. UNSCEAR 2006 Report, New York, United Nations. Available at [www.unscear.org](http://www.unscear.org). (2009)
- [11] ICRP, Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3), (2014)
- [12] ICRP, Summary of ICRP Recommendations on Radon. ICRP ref 4836 -9756 -8598, January 26,(2018)
- [13] ICRP, Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40(1),(2010)
- [14] ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4),(2017)
- [15] ANSI/AARST, Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay Products in Homes, Standard MAH-2014 (2014)
- [16] CROSS, F. T., Radioactivity in Cigarette Smoke Issue, *Health Phys.* 46,205 (1984)
- [17] NCRP, Radiation Exposure of the U.S. Population from Consumer Products and Miscellaneous Sources, NCRP no.95 (1988)
- [18] ICRP, Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients. ICRP Publication 72. Ann.

- ICRP 26 (1), (1995)
- [19] Cohen, B.S., Eisenbud, M., Wrenn, M.E., Harley, N.H., Distribution of polonium-210 in the human lung. *Radiat. Res.* 79, 162–168 (1979)
- [20] Cohen, B.S., Harley, N.H., Tso, T.C., Clearance of polonium 210 enriched cigarette smoke from the rat trachea and lung. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 79, 314–322 (1985)
- [21] 民國 108 年上半年台灣地區放射性落塵與食品調查報告，行政院原子能委員會輻射偵測中心，108 年 9 月。
- [22] EUROPEAN COMMISSION, Medical Radiation Exposure of the European Population, RADIATION PROTECTION N° 180 Luxembourg: Publications Office of the European Union (2014).
- [23] 107 年糧食供需年報，行政院農業委員會。
- [24] 游離輻射防護安全標準，行政院原子能委員會，94 年 12 月 30 日修正。
- [25] IAEA, Nuclear Explosions in the USSR: The North Test Site Reference Material Vers. 4. IAEA, Vienna.(2004)
- [26] UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York. (2008)
- [27] UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York. (2013).
- [28] IAEA, Inventory of Accidents and Losses at Sea Involving Radioactive Materials. IAEA, Vienna. (2001).
- [29] Krejci, M., Wasserman, B., Finney, L., McNulty, I., Legnini, D., Vogt, S., Selectivity in biomineralization of barium and strontium. *J. Struct. Biol.* 176, 192–202. (2011).
- [30] IAEA, Guidelines for Remediation Strategies to Reduce Radiological Consequences of Environmental Contamination. IAEA, Vienna. (2012).
- [31] Burger, A., Lichtscheidl, J., Strontium in The Environment: Review About Reactions of Plants Towards Stable And Radioactive Strontium Isotopes, *Science of the Total Environment* 653, 1458–1512, (2019).
- [32] Fesenko, S., Fesenko, E., Titov, I. et al. Radionuclide Transfer to Marine Biota Species: Review of Russian Language Studies. *Radiat Environ Biophys* 49, 531–547 (2010)
- [33] Apostoaei, A.I., Absorption of strontium from the gastrointestinal tract into plasma in healthy human adults. *Health Phys.* 83, 56–65. (2002).
- [34] Sips, A.J., Van der Vijgh, W.J., Barto, R., Netelenbos, J.C., Intestinal absorption of strontium chloride in healthy volunteers: pharmacokinetics and reproducibility. *Br. J. Clin. Pharmacol.* 41, 543–549, (1996).
- [35] Zitterman, A., Bierschbach, C., Giers, G., Hotzel, D., Stehle, P., Determination of intestinal strontium absorption – assessment and validation of routinely manageable test procedures. *Z. Ernährungswiss.* 34, 301–307.(1995)
- [36] ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. *Ann. ICRP* 45(3/4), 1–352. (2016).
- [37] 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，碩士論文，國立清華大學核子工程與科學研究所。(2015)

- [38] 國民輻射劑量之評估研究報告，行政院原子能委員會輻射偵測中心，87年6月，林培火、陳清江、林友明。
- [39] 93年社會發展趨勢調查報告，行政院主計總處。
- [40] Lust Merle, Realo Enn, Assessment of natural radiation exposure from building materials in Estonia, Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 61(2) (2012).
- [41] Thabayneh, K. M.. Measurement of natural radioactivity and radon exhalation rate in Granite samples used in Palestinian buildings. Arabian Journal for Science and Engineering,38, p.201(2013).
- [42] UNSCEAR, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation", UNSCEAR, United Nations, New York(1993).