

RMC-108302

108 年國民輻射劑量評估 技術報告

(108 至 111 年之 4 年期計畫；第 1 年-108 年)



行政院原子能委員會輻射偵測中心
中華民國 108 年 12 月

報告撰寫：輻防稽查組劉任哲、劉祺章、高薇喻

摘要

本中心前於民國 87 年 6 月完成「國民輻射劑量之評估研究報告」，評估結果作為近 20 年來國內各界評估輻射風險的重要參考基礎。考量歷經二十多年時空變遷，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，國際間也陸續對國民輻射劑量評估結果進行更新修正，爰本中心亦重新辦理國民輻射劑量之評估作業。

國民輻射劑量評估為本中心重要職掌，自 108 年起規劃調查評估有關天然游離輻射劑量及醫療輻射劑量的現況，其中 108 至 109 年執行「國民天然游離輻射輻射劑量評估」為期 2 年，由本中心自行研究；108 至 110 年執行「國民醫療輻射劑量評估」為期 3 年，委託專業團隊執行評估。其他未涵蓋在前揭計畫的輻射劑量評估工作部分則由其他相關原子能科技學術合作研究計畫委託辦理或自行研究，本報告主要說明本中心 108 年執行第 1 年「海陸域環境輻射調查與國民輻射劑量評估計畫」中有關天然游離輻射之國民輻射劑量調查之執行成果。

大 綱

壹、前言	5
一、背景說明	5
二、國內過去國民輻射劑量評估概述	7
三、計畫目標	7
貳、量測及評估結果	8
一、宇宙射線	8
二、地表輻射.....	13
三、氡氣.....	17
四、體內放射性核種.....	19
參、結論.....	21
肆、參考文獻.....	23

附表

表 1	中子宇宙射線所造成各縣市國民之集體劑量·····	26
表 2	宇宙射線之游離輻射成分所造成各縣市國民之集體劑量···	27
表 3	室內與戶外之占用因子·····	28
表 4	地表加馬輻射對國民造成的有效劑量·····	29
表 5	各國際組織採用之氡氣劑量轉換因子·····	29
表 6	國人主要消費食品所造成之年有效劑量·····	30

附錄 量測情形及儀器

(一)	宇宙輻射量測情形·····	31
(二)	戶外地表輻射量測情形·····	31
(三)	室內地表輻射量測情形·····	32
(四)	氡氣量測情形·····	32
(五)	消費性食品量測情形·····	33

壹、前言

一、背景說明

民眾接受輻射曝露的來源有很多種，包含天然的與人造的，依來源及應用層面，可分為(1)天然背景輻射、(2)醫療輻射曝露、(3)消費性產品、(4)工業、安全檢查、醫療、教學、研究等活動、與(5)職業曝露等五大類。其中的天然背景輻射包含宇宙射線、地表輻射、氡氣、體內放射性核種等四項。

所謂「國民輻射劑量」，是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，針對上述的輻射來源進行調查、實測、統計及分析後，所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游離輻射曝露輻射劑量平均值之總和。

國際組織定期對於全球各國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 10 至 20 年，會依蒐集各國資料的統計結果，評估全球民眾輻射劑量^[1]。美國輻射防護委員會(NCRP)於 2009 年完成的國民輻射劑量再評估報告(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度的差異(如圖 1)，結果顯示醫療輻射曝露比例顯著的增加，與過去相比，醫療輻射已逐漸成為美國國民眾國民輻射劑量的主要來源。歐盟 2014 年發行的編號 180 輻射防護報告統計的結果也指出，醫療輻射 2014 年數據較 2008 年普遍增加，且呈現逐年增加的趨勢^[3]，估計臺灣也是類似的情況。

近年來因為國際往來的便利導致飛航行為普遍增加，以及世界衛生組織(WHO)提出了新的建議報告^[4]，使得背景輻射的影響變化也成為歐盟關切的議題，進而針對車諾比爾事故、宇宙輻射劑量及室內氡氣劑量等有諸多新的調查及研究。

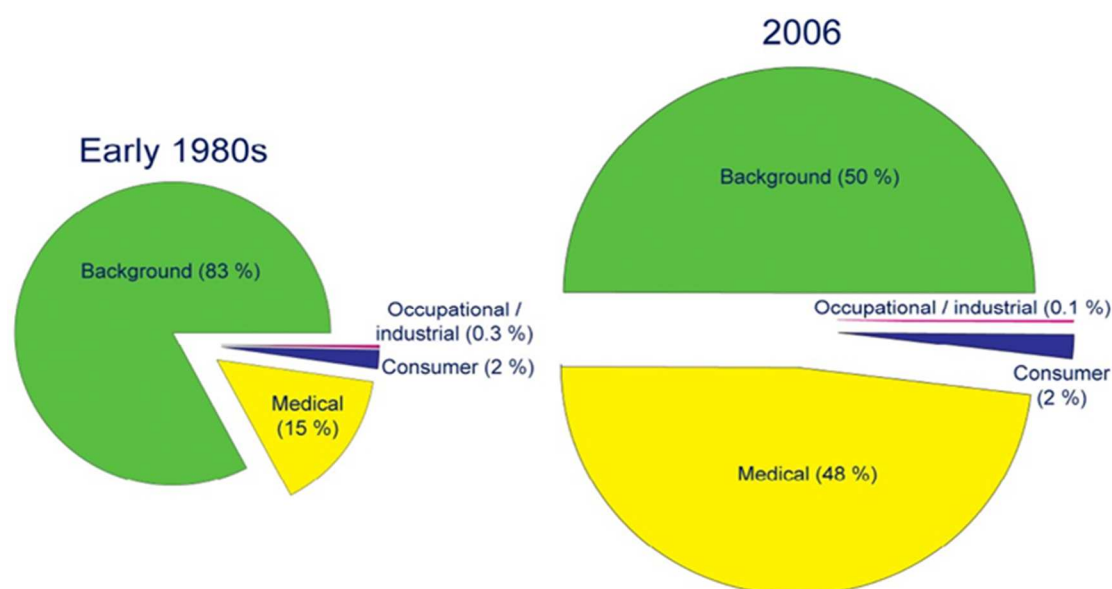


圖 1 美國 NCRP160 號報告顯示與 1980 年 NCRP 93 號報告之國民輻射劑量比較

二、國內過去國民輻射劑量評估概述

本中心於 81 年至 87 年期間進行過國民輻射劑量評估，評估項目主要分為天然輻射、核爆落塵、職業曝露、醫療輻射、核設施和雜項射源五大類。臺灣每年每人國民輻射劑量總計為 2.44 毫西弗，其中天然輻射導致每年每人年劑量約 1.62 毫西弗，占 66.3%，以氡氣為最主要天然輻射，其次是地表輻射與宇宙輻射；人造輻射導致每年每人劑量約 0.82 毫西弗，以醫療輻射為最主要劑量來源，占總劑量來源的 33.3%；其他輻射源項的貢獻只有 0.4%。前揭結果與聯合國輻射影響科學委員會(UNSCEAR) 1993 年報告比較，臺灣天然輻射劑量是世界天然輻射平均值的 67%，醫療輻射劑量是第一級醫療水準國家平均值的 80%^[5]，都是相對較低的。

三、計畫目標

原能會為我國輻射及核能安全的管制監督機關，為了讓民眾瞭解我國環境輻射狀況，有必要建立完整環境輻射背景資料庫。考量國內上一次評估國民輻射劑量迄今超過 20 年^[6]，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，有必要對國民輻射劑量進行重新調查、實測及再評估，本報告說明 108 年執行國民輻射劑量評估之結果。

貳、量測及評估結果

天然輻射的來源包括來自太空的宇宙射線，生活環境中存在於土壤、岩石、建材、煤灰、人體和食物中的天然放射性物質(Naturally Occurring Radioactive Materials，簡稱 NORM)及其子核等，本計畫依天然輻射來源不同分成宇宙射線、地表輻射、氡氣及體內放射性核種等 4 類進行調查研究。

以下就本計畫之調查研究結果，分項說明如下：

一、宇宙射線

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^[7]。

本報告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^[6]；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 2 及圖 3。

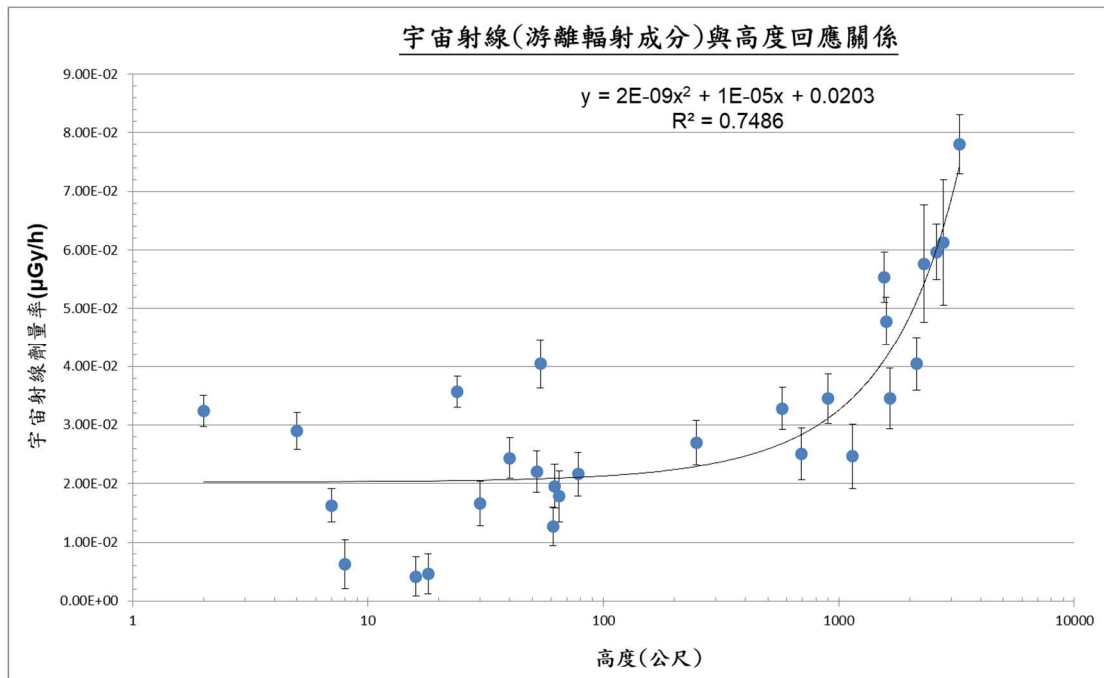


圖 2 宇宙輻射游離輻射成分劑量率與海拔高度關係
(本中心自 102 至 106 年期間量測結果)

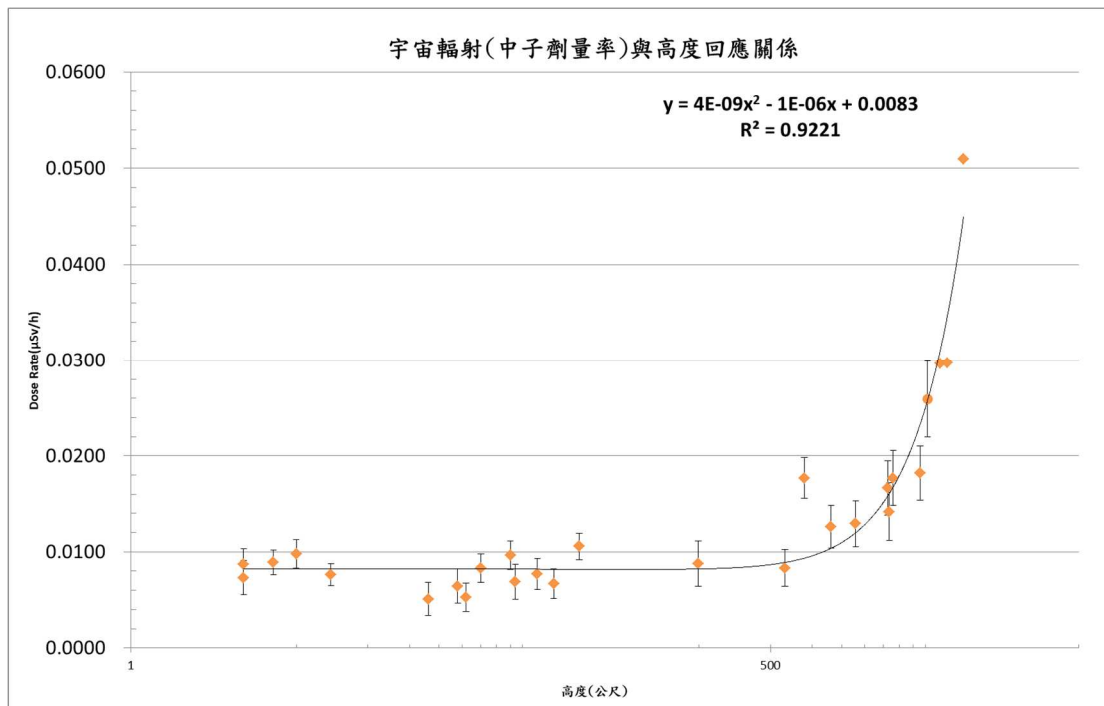


圖 3 中子宇宙輻射劑量率與海拔高度關係
(本中心自 102 至 106 年期間量測結果)

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 1；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 2；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。

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^[6]，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^[8]，該報告所提供之室內與戶外之占用因子如表 3 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。

二、地表輻射

在我們的生活環境中，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^{[9] [10]}。

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^[11]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，內含的獨居石其鈷 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

因為大多數民眾在室內度過約 80% 的時間^[2]，參考表 3 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。

三、氡氣

氡氣是存在自然界唯一的放射性氣體，世界衛生組織 (WHO) 於 2009 年提出警告^[4]，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。本中心曾於民國 83 年對室內氡氣進行調查^[12]，偵測所得的平均活度濃度(以下簡稱濃度)為每立方公尺 10 貝克，推算成劑量為 0.36 毫西弗/年。

由於當時的住宅形式與生活習慣與現在已有差異，因此需要重新進行調查。本中心於 104 年到 106 年委託義守大學調查住家的氡氣濃度^[13]，以家中經常活動的區域客廳與臥房為主，共量測 279 戶，室內氡氣的濃度量測結果如圖 4 所示。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。另外，量測結果雖然顯示臥房的氬氣濃度平均值略高於客廳，但並無統計上的顯著性；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。量測結果，所測得之室內氬氣平均濃度為 19.3 貝克/立方公尺，約為過去量測值的兩倍，所有住家氬濃度皆低於 100 貝克/立方公尺。

目前先進國家針對住宅室內氬氣濃度僅作建議，皆尚未以法令管制，世界衛生組織於 2009 年報告中提出「住宅室內之氬氣濃度若超過 100 貝克/立方公尺，建議要進行改善行動」。

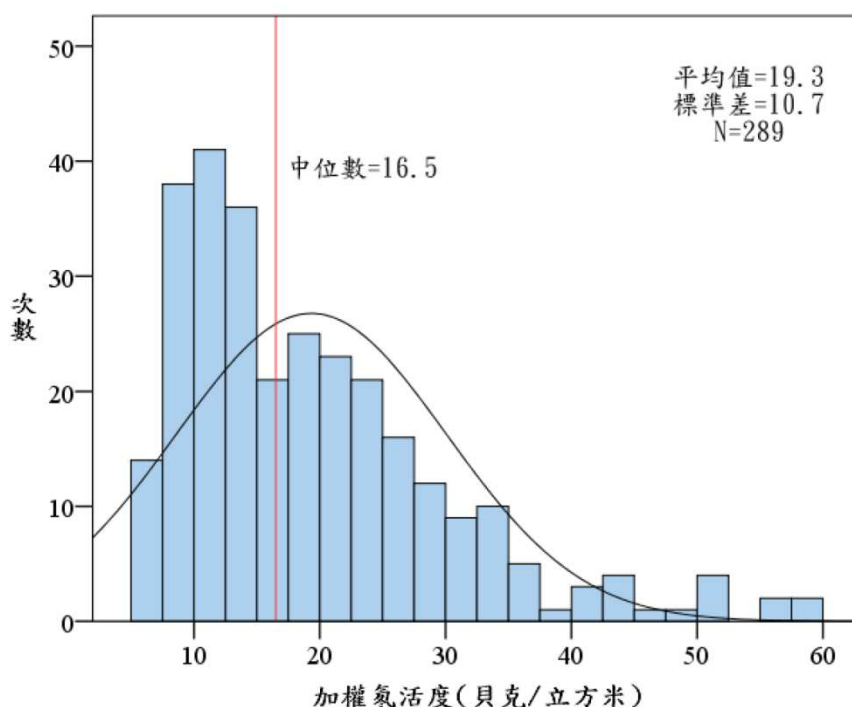


圖 4 調查國內 279 戶住宅加權室內氬活度分布圖

國際組織針對氡氣曝露的劑量轉換因子有不同的建議值，整理如表 5。本中心 104 至 106 年調查結果，室內氡氣平均濃度為 19.3 貝克/立方公尺，若採用 2014 年國際輻射防護委員會(ICRP)第 126 號報告^[21]所建議的劑量轉換因子評估結果，室內氡氣所造成國民每年人均有效劑量為 0.64 毫西弗/年。但採用 2018 年國際輻射防護委員會氡氣建議摘要報告^[22]所建議的劑量轉換因子評估結果，室內氡氣所造成國民每年人均有效劑量為 0.901 毫西弗/年；比 25 年前本中心的評估值每年 0.36 毫西弗高 250%，但與聯合國組織 UNSCEAR 公布世界平均值每年 1.2 毫西弗相比仍偏低，僅有其 75%。

四、體內放射性核種

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^[14]，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^[15]^[16]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^[2]。

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^[17]，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」^[18]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 6.2×10^{-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 6。

肆、結論

本中心執行 108 年度國民輻射劑量評估計畫，目前調查所得之天然游離輻射造成國民輻射劑量總計 2.206 毫西弗/年，初步結果摘錄如下：

一、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，中子宇宙射線所造成國民每年人均有效劑量為 0.069 毫西弗/年，游離輻射成分所造成國民每年人均有效劑量為 0.172 毫西弗/年，宇宙射線所造成國民輻射劑量為 0.241 毫西弗/年，占天然游離輻射之 10.9%。

二、地表輻射：地表輻射包含戶外地表輻射及室內地表輻射，合計戶外及室內，地表輻射之年有效劑量為 0.83 毫西弗/年，占天然游離輻射之 37.6%。

三、氡氣：國內住宅氡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/年，占天然游離輻射之 40.8%。

四、體內放射性核種：主要評估消費性食品吸入鉀 40 全身有效劑量等，計算出體內放射性核種所造成年均有效劑量為 0.234 毫西弗/年，占天然游離輻射之 10.6%。

綜上，各來源占天然游離輻射劑量之貢獻比例如圖 5。

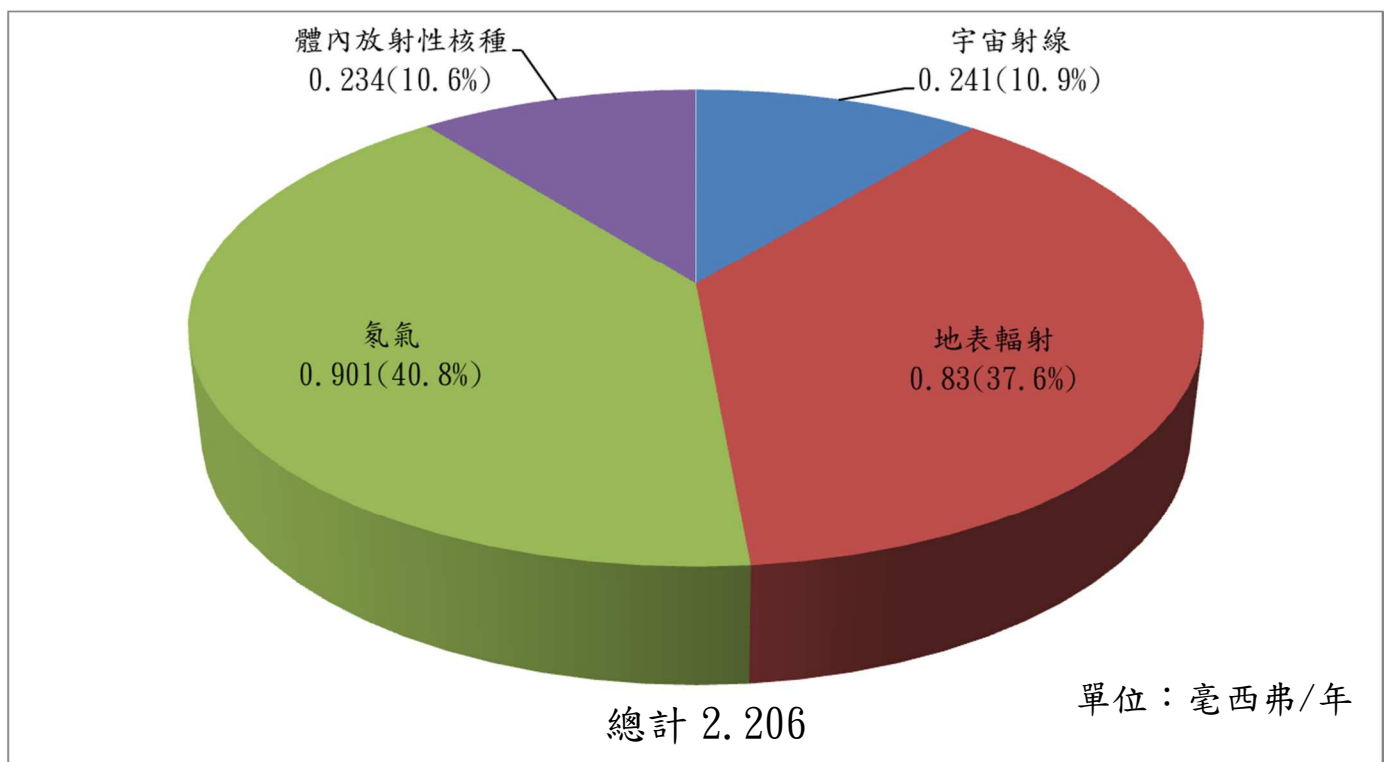


圖 5 天然游離輻射造成之國民輻射劑量

為使國民輻射劑量評估更客觀，本中心將持續累積偵測數據並更新結果，爰明年規劃如下：

(一) 至金門縣及綠島鄉執行戶外地表輻射偵測，納入戶外地表輻射國民輻射劑量計算。

(二) 至北部山區沿省道 7 號由桃園縣至沿路最高處再至宜蘭縣，南部山區沿省道 20 號由高雄縣至沿路最高處再至臺東縣，及以上山路相同緯度附近且海拔高度低於 200 公尺高較密集的偵測中子宇宙射線及游離輻射成分，納入宇宙輻射國民輻射劑量計算。

伍、參考文獻

- [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 (2006).
- [3] EUROPEAN COMMISSION, Medical Radiation Exposure of the European Population, RADIATION PROTECTION N° 180 Luxembourg: Publications Office of the European Union (2014).
- [4] WHO, Handbook on Indoor Radon – a Public Health Perspective, World Health Organization (2009).
- [5] Pei- Huo Lin, Ching- Jiang Chen, Ching-hohn Lien and Ching-Chung Huang, Assessment of Population Dose Exposure in Taiwan(2000).
- [6] 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。
- [7] 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)
- [8] 93 年社會發展趨勢調查報告，行政院主計總處。
- [9] Lust Merle, Realo Enn, Assessment of natural radiation exposure from building materials in Estonia, Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 61(2) (2012).
- [10] 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).
- [11] UNSCEAR, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation", UNSCEAR, United Nations, New York(1993).
- [12] 陳清江，劉祺章，林友明，台灣地區室內外氡活度之調查研究，核子科學，31 卷(2)期，117-128(1994).
- [13] 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)
- [14] 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。
- [15] 食品中放射性核種之檢驗方法，行政院衛生福利部，105 年 5

月 19 日公告。

- [16] International Atomic Energy Agency (IAEA).
Measurement of Radionuclides in Food and the Environment.
IAEA Technical Report 295. IAEA, Vienna Austria(1989).
- [17] 107 年糧食供需年報，行政院農業委員會。
- [18] 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。
- [19] ICRP, Protection Against Radon-222 at Home and at Work.
ICRP Publication 65. Ann ICRP, 23(2), (1993).
- [20] UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the
Effects of Atomic Radiation), 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. (2009).
- [21] ICRP, Radiological Protection against Radon Exposure.
ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3), (2014).
- [22] ICRP, Summary of ICRP Recommendations on Radon. ICRP ref.
4836 -9756 -8598, January 26, (2018).

附表

表 1 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

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

$$=0.072 \text{ 毫西弗/年}$$

表 2 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

$$=4,521,000/23,590,744$$

$$=0.183 \text{ 毫西弗/年}$$

表 3 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	

表 4 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	

表 5 各國際組織採用之氡氣劑量轉換因子

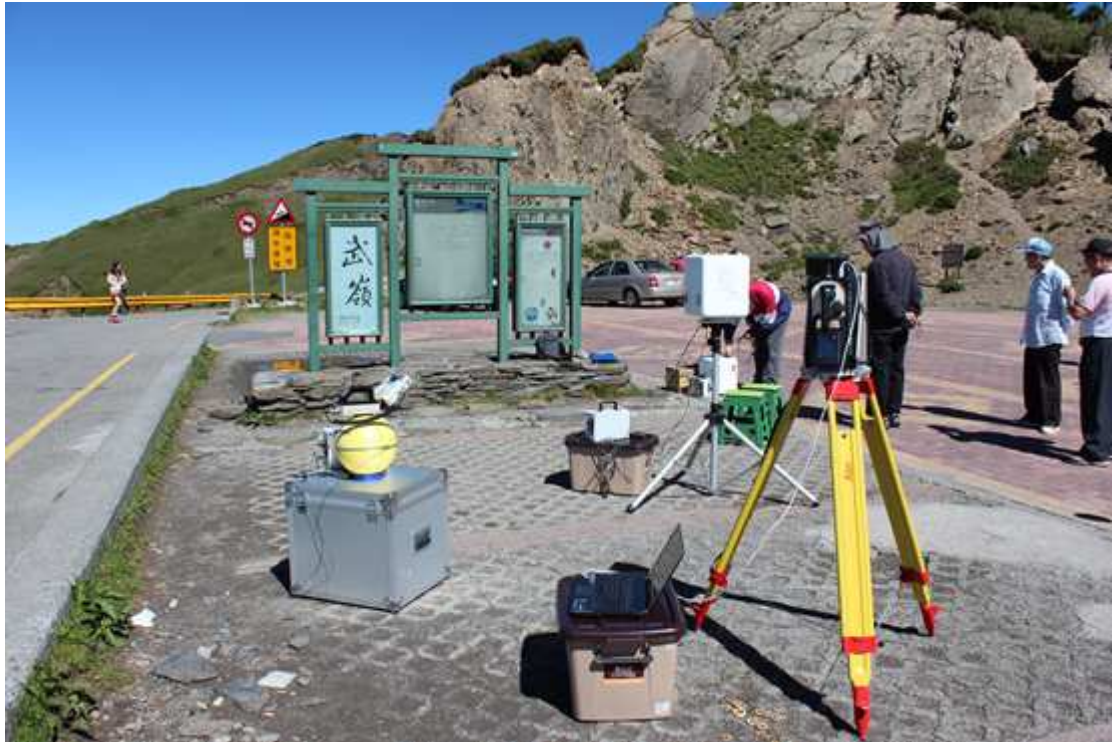
國際組織 \ 氡氣濃度, Bq/m ³	100	200	300
ICRP65 “risk equivalent” radon dose, mSv (風險等效劑量模式) ^[19]	1.7	3.4	5
UNSCEAR EP.recommended radon dose, mSv (流行病學調查建議) ^[20]	2.5	5	7.5
UNSCEAR Radon effective dose, mSv (肺部劑量模式建議)	6	12	18
ICRP 126 Radon effective dose, mSv(風險有效劑量模式) ^[21]	3.3	6.6	10
Summary of ICRP Recommendations on Radon ^[22]	4.6	9.2	14

備註：以上係不同劑量模式評估於室內年佔有 7000 小時，平衡因子為 0.4 時的劑量轉換因子

表 6 國人主要消費食品所造成之(鉀 40)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

附錄 量測情形及儀器



(一) 宇宙輻射量測情形

地點：武嶺停車場

儀器：高壓游離腔偵檢器、移動式純鍺偵檢器、中子偵檢器



(二) 戶外地表輻射量測情形

地點：臺南縣安南區民宅附近戶外草地

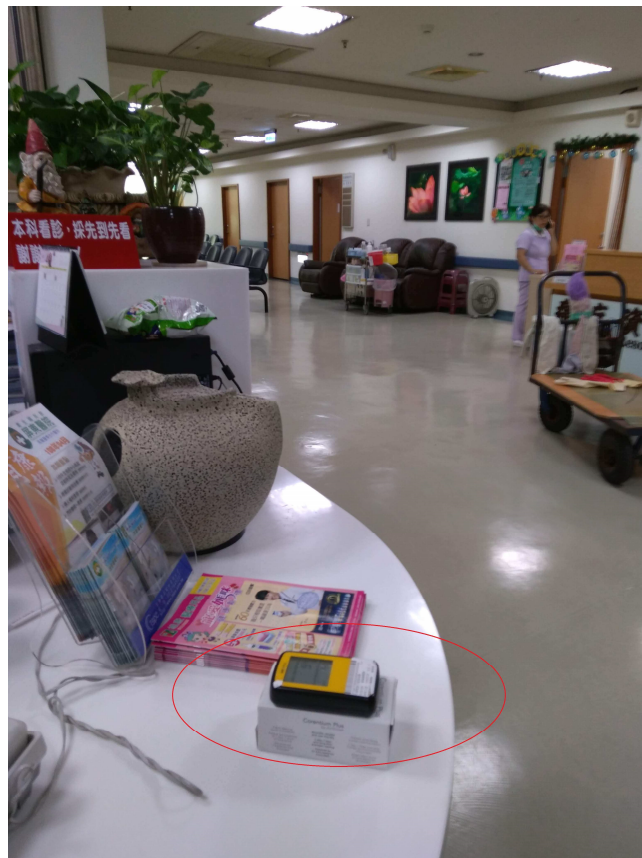
儀器：高壓游離腔偵檢器



(三)室內地表輻射量測情形

地點：高雄市民宅客廳

儀器：手持式加馬輻射劑量率偵檢器



(四)氡氣量測情形

地點：醫療院所地下室

儀器：氡氣偵檢器



(五)消費性食品量測情形

地點：本中心加馬分析實驗室

儀器：純鍺偵檢器