

台灣地區天然背景輻射介紹

陳清江 黃景鐘 葉錦勳

一、前言

在人類的生活環境中所接受的輻射來源，可區分為天然和人造游離輻射兩大類，所謂天然游離輻射係指來自外太空的宇宙射線和存在地殼中的鈾系、釷系及鉀 40 等放射核種所造成的輻射，在人類的的生活空間中，陽光、空氣、水、土壤、岩石、人體及一般生物體內皆含有微量放射性，人類自太古時代即在這種環境中生存，只是無法由五官感覺到它的存在。

迄廿世紀年代之前半期，存在自然環境中之放射性核種只有天然放射性核種。自 1945 年 7 月首次進行核子試爆以來，由於在地面及大氣圈內進行核試，大量生成之分裂產物遂注入大氣對流層及平流層。這些分裂產物經過長時間沉降而蓄積於地球表面，成為落塵而廣泛分布於自然環境。代表性的核種有 ^{90}Sr ， ^{137}Cs ， ^{239}Pu ， ^3H ， ^{14}C 等。

根據聯合國原子輻射效應科學委員會 (UNSCEAR) 1993 年的報告統計，全球平均每人每年接受的輻射劑量約 3 毫西弗，其中 2.4 毫西弗來自天然輻射，約佔 80%，可見天然輻射乃是主要的輻射來源，其他 20% 主要來自醫療輻射。

原子能委員會設在高雄的輻射偵測中心(原名台灣輻射偵測工作站)自民國 69 年(1980)即著手規畫台灣地區天然背景輻射偵測計畫，已完成地表加馬輻射劑量率調查、土壤及岩石中天然放射核種含量

調查、室內外宇宙射線強度偵測、室內外氡活度調查、空氣中鈹 7、鉛 210、碳 14 及水中氡、氫、鈾、鐳等核種含量調查，以及體內鉀 40 含量偵測等計畫，並於民國 80 年出版「環境天然輻射偵測」報告乙冊，概述主要的偵測結果。

已知的天然放射核種有 65 個，比較重要的核種計有存在於地殼的鈾 232 系列(含 11 個放射子核種)、鈾 238 系列(含 18 個放射子核種)、釷 232 系列(含 14 個放射子核種)，鉀 40、銣 87 等長半化期核種。由於其半化期均在數億年以上，因此自地球誕生至今依然存在地殼中。另外宇宙射線與大氣層作用所產生的粒子輻射與放射核種也有 20 餘種，比較重要的有碳 14、氡、鈹 7、鈉 22 等核種。有的核種對人類造成較大的劑量，有些核種則可忽略。

二、游離輻射常用單位

(一) 活度

放射性的強弱以活度(activity)表示，所謂活度，就是放射性物質在單位時間內衰變的次數。國際單位為貝克，舊單位叫居里。

$$1 \text{ 貝克 (Bq)} = 1 \text{ 衰變/秒}$$

$$1 \text{ 居里 (Ci)} = 3.7 \times 10^{10} \text{ 衰變/秒}$$

(二) 曝露

指輻射的照射。曝露的國際單位為庫侖/千克空氣 (C/kg)，專用(舊)單位為侖琴 (R)。

$$1 \text{ 侖琴} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ 庫侖/千克空氣}$$

(三) 吸收劑量

指單位質量的物質接受的輻射平均能量。國際單位為戈雷 (Gy)，專用 (舊) 單位為雷得 (rad)。

1 戈雷 = 1 焦耳/千克 (J/kg) = 100 雷得

1 雷得 = 100 爾格/克 (erg/g) = 0.01 焦耳/千克

(四) 等效劑量 (H_r)

等效劑量與輻射引起的大部份延遲效應有正比例關係。組織內的等效劑量 (H_r) 是吸收劑量 (D)，射質因數 (Q) 和其他修正因數 (N) 的乘積。對體外照射而言，N=1。

$$H_r = D \times Q \times N$$

縱使吸收劑量相同，但由於輻射種類不同即會造成不同的生物效應，射質因數即為用來修正此因素的因子。阿伐射線之射質因數為 20，貝它及加馬射線為 1。等效劑量的國際單位為西弗 (Sv)，專用 (舊) 單位為侖目 (rem)

1 西弗 = 1 焦耳/公斤 (J/kg) = 100 侖目

1 侖目 = 10⁻² 焦耳/公斤 = 10⁻² 西弗

(五) 有效(等效)劑量, H_e

有效等效劑量是體內各組織或器官之平均等效劑量與器官加權因數乘積的和，即

$$\text{有效等效劑量} = \sum_T (\text{加權因數}) \times (\text{等效劑量})_T$$

加權因數是人體各組織或器官對於輻射傷害相對敏感度，加權因數愈大，受輻射傷害機率愈大。

國際單與專用 (舊) 單位的轉換關係詳列於表一。

三、宇宙射線的來源與造成的劑量

來自外太空的宇宙線稱為一次宇宙射線，可分為銀河宇宙射線和太陽宇宙射線。由太陽產生的宇

表一 國際單位與專用單位的關係

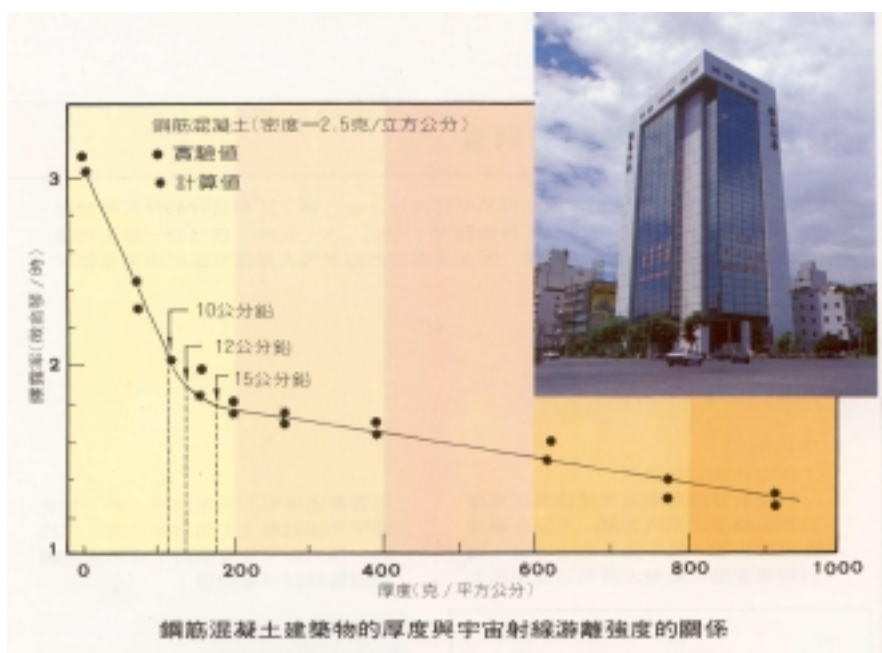
量	國際單位	國際制單位意義 (SI Unit)	約相當於舊單位	符號
活度	貝克(Bq)	1/秒(S ⁻¹)	2.703×10 ⁻¹¹ 居里 (Ci)	A
曝露	——	庫侖/公斤(C/kg)	3876 侖琴 R	X
吸收劑量	戈雷(Gy)	焦耳/公斤(J/kg)	100 雷得(rad)	D
等效劑量	西弗(Sv)	焦耳/公斤(J/kg)	100 侖目(rem)	H
有效劑量	西弗(Sv)	焦耳/公斤(J/kg)	100 侖目(rem)	H _e

宙射線能量較低，在高空大氣層就被吸收掉，對地表人類的劑量可予忽略。而來自銀河系的宇宙射線由 83% 的高能質子，和 16% 的阿伐及其他高能荷電粒子、電子、光子、中子等組成。這些一次宇宙射線與大氣層中的空氣分子發生散裂反應，產生中子、質子、π 介子、μ 介子、電子、光子等稱為二次宇宙射線，其能量比一次宇宙射線低，當穿過大氣層至地表面附近時，以 μ 介子的劑量貢獻為主。

本中心於民國 74 年發展一套宇宙射線游離成分測量方法，其原理係以 21 公升常壓游離腔測量所有游離成分劑量，扣除以 3 吋球型碘化鉀閃爍偵檢器測得的地表加馬輻射劑量率，即可得到宇宙射線造成的劑量。以此法測得高雄附近海平面宇宙射線劑量率為 0.026 微戈雷/小時，同年在台灣地區 (22~25°N, 120~121°E) 14 個地點度量地表宇宙射線游離強度與高度的關係，測得平地的宇宙射線劑量率為 0.027 微戈雷/小時。由阿里山公路沿線所測得數據顯示在標高 2100 公尺處，宇宙射線強度增加一倍，在 2450 公尺高的祝山，其劑量率為 0.058 微戈雷/小時。

宇宙射線強度除了隨高度而變化外，也隨地磁緯度而變。台灣地處低緯度地區，因此強度亦比日本為低，台灣南北緯度僅相差 3 度，因此地域差別很小，一般室內因受建築物屏蔽作用，宇宙射線強

度將降低，通過密度厚度 30~1000 克/平方公分的混凝土會降低 10~30%。為瞭解宇宙射線在室內衰減情形，我們在高雄市選擇一 20 層高樓，以同一技術測量不同樓層的宇宙射線強度，結果顯示六層樓板厚度可將宇宙射線的軟成分衰減掉，但硬成分則衰減很少，在地下三樓仍有 41% 宇宙射線，證明宇宙射線的穿透力相當強，詳如圖 1 所示。



上述測量均不含中子成分，為了評估台灣地區民眾所接受的宇宙射線劑量，我們由國外引進專門評估宇宙射線各成分在世界各地分布情形的 LUN 程式，由理論計算結果與測量值極為吻合，再依據海拔高度、人口分布和建築物屏蔽等資料，精確地評估台灣地區民眾每人每年接受的有效劑量為 250 微西弗，其中游離成分佔 235 微西弗，中子佔 15 微西弗，比聯合國原子輻射效應科學委員會所列的全球平均值為低，詳如表二所示。

表二 台灣地區表宇宙射線年平均有效劑量

成份	評估值	屏蔽修訂值	UNSCEAR
μ 介子	207	190	
電磁成份 E.M.	40	37	
質子 P	6	6	
π 介子 π	2	2	
游離成份	255	235	300
中子	15	25	55
合計	270	250	355

近年來，國人搭乘飛機的次數迅速增加，至民國 82 年為止國內共有 11 座機場，28 條航線。根據民國 81 年的飛航資料統計，國內航線造成的飛航劑量為每人每年 0.05 微西弗，國際航線部分由於旅客數不易掌握，因此未作評估，部分國內外航線的宇宙射線劑量列於表三，其中以由台北經安克拉志飛紐約的航線劑量最高，來回一趟約接受 0.156 毫西弗，主要原因係該航線緯度偏高，且飛行時間較長所致。

一般國際線班機飛行高度為 10 至 12 公里，國內線則在 3 至 7 公里。在地表附近的劑量多半來自 μ 介子，在 10 公里高空則以電磁成份為主，質子居次，中子則居第三。

表三 國內外航線旅客所受宇宙射線劑量

航線	接受劑量(微西弗)
台北⇌紐約	156
台北⇌阿姆斯特丹	99
台北⇌洛杉磯	93
台北⇌約翰尼斯堡	72
台北⇌雪梨	48
台北⇌新加坡	15
台北⇌金門	0.67
台北⇌高雄	0.48
台北⇌台南	0.23
台北⇌蘭嶼	0.13
台北⇌馬公	0.07

當一次宇宙射線與大氣層產生散裂反應時，也會產生放射核種，依其對人體造成的劑量大小順序為 ^{14}C 、 ^{22}Na 、 ^7Be 、 ^3H 。本中心的放射落塵監測計畫雖然也測得上述核種，但其含量極微，不易分辨係來自宇宙射線或核爆及核能設施，且劑量評估模式複雜，其中 ^{14}C 佔劑量最大，由於 ^{14}C 在全球的分布相當均勻，因此可採用聯合國的評估值每人每年 0.012 毫西弗。

四、地表輻射的曝露

地表輻射係來自土壤、岩石中鈾系、釷系及鉀 40 等天然放射核種所放出的加馬射線。本中心在民國 69 年依台灣地區的人口及地質分布，規畫台灣地區地表加馬輻射劑量率的調查，以一寸碘化鈉閃爍偵檢器度量距離地面 1 公尺高的加馬輻射劑量率，共偵測 153 個鄉鎮。空氣中的吸收劑量率在 0.02~0.089 微戈雷/小時之間，平均為 0.053 微戈雷/小時，各縣市的平均值列於表四。表中數據係將劑量率乘以 0.8 轉換成有效劑量，且依劑量率大小順序排列，金門因有部分為花岡岩地質，故劑量率偏高。澎湖則為玄武岩地質，放射性最低。整體而言，台灣本島以沈積岩為主，各地的輻射水平變化不大，但有少數地點背景輻射偏高，分別是(1)西南沿海外傘頂洲、南統汕洲、王爺港洲、青山港洲等處盛產重砂，內含獨居石，鈾、鈾含量偏高，故地表加馬劑量率升高 2 至 8 倍。(2)根據早期鈾礦探勘發現宜蘭土場、梨山及日月潭附近山區部分路段背景輻射偏高 3 倍左右。(3)北投地熱谷的高溫、高

酸溫泉將地下放射核種溶出而沈積在地表，故其劑量率約為其它地區的 3 倍。圖 2 為北投地熱谷現場偵測照片。

表四 台灣地區地表加馬輻射劑量率

地 區	偵測點數	平均劑量率 (微西弗/小時)
連江縣(馬祖)	17	0.104
金門縣	18	0.061
南投縣	8	0.053
宜蘭縣	8	0.053
彰化縣	10	0.053
台中縣	10	0.051
雲林縣	10	0.051
台北市	6	0.048
台中市	4	0.048
苗栗縣	7	0.046
基隆市	7	0.046
台北縣	15	0.045
屏東縣	10	0.045
嘉義縣	7	0.045
桃園縣	7	0.044
高雄市	5	0.043
高雄縣	10	0.043
新竹縣	7	0.042
台南縣市	7	0.041
台東縣	8	0.036
花蓮縣	6	0.029
澎湖縣	30	0.023

為瞭解土壤及岩石中天然放射核種含量，本中



心採集具代表性的 13 種岩石，共計 209 件樣品，經

表五 台灣地區岩石中放射性活度

(單位：貝克/千克)

地 區	鉀 40	鈾 232 系	鈾 238 系
火成岩			
安山岩	342	17	15
玄武岩	416	20	16
橄欖岩	40	0.4	1
大理石	15	0.6	0.9
沈積岩			
礫岩	271	17	59
砂岩	539	30	54
頁岩	832	51	58
石灰岩	80	5	61
變質岩			
板岩	641	55	61
綠色片岩	329	7	27
黑色片岩	911	55	57
千枚岩	964	66	66
片麻岩	585	40	64

敲碎、烘乾、研磨後篩選計測，其鈾系、鈾系及鉀 40 含量如表五所示，由表中數據顯示，變質岩的放射性較高，沈積岩居次，火成岩最低，尤其是大理石所含的放射性最少。另採集 8 種土壤共 40 個樣品，進行放射性含量分析，結果詳如表六所示。整體而言土壤所含鈾、鈾較均勻，且鈾、鈾活度比值約為 1.5。為瞭解台灣地區室內加馬輻射劑量，本中心於民國 76 年以熱發光劑量計度量 43 戶住宅室內加馬輻射劑量，平均為 0.101 ± 0.015 微戈雷/小時，在 79 年也針對 42 戶民宅進行度量，結果與第一次調查結果相近。台灣現代建築多為鋼筋混凝土建築

其室內外劑量率比值約為 1.9，與國外比較屬偏高。依實測結果評估台灣地區民眾接受地表體外加馬輻射劑量詳如表七所示，每人每年接受的地表加馬輻射劑量為 0.64 毫西弗。

表六 台地區土壤中天然放射性活度

(單位：貝克/千克)

種 類	鉀 40	鈾系	鈾系
砂 壤	266	30	14
黏 土	382	33	22
黃 壤	471	36	33
灰 壤	443	45	28
暗棕壤	490	45	31
棕 壤	515	47	30
灰棕壤	520	54	35
磚紅壤	607	71	45
平均值	431	44	30

五、大氣中的輻射

地表空氣中含放射性核種包括鈾系、鈾系的衰變產物氬氣，和宇宙射線誘發產生的放射性核種，以及核爆殘留的分裂及活化產物，其中以氬 222 及其子核最為重要。

(一)、氬及其短半化期子核種

氬主要來源是地表面，其他如海面、植物、地下水、天然瓦斯、住屋、鈾礦區、地熱發電、磷礦業、火山活動等。鈾、鈾衰變後由土壤產生氬的散逸率平均值約為 0.016 貝克/平方米·秒，產生於海面的氬約小 1~2 數量級。

土壤中氬的分布及散逸率可根據下列幾點來計

表七 地表加馬輻射對國人造成的劑量

地 點	吸收劑量率 (微戈雷/小時)	有效劑量率 (微西弗/小時)	佔用因數	年有效劑量 (毫西弗/年)	合 計 (毫西弗/年)
室內	0.101 ± 0.201	0.080 ± 0.017	0.8	0.57	0.64
室外	0.053 ± 0.009	0.042 ± 0.007	0.2	0.07	

算，1.土壤中鐳的含量，2.氡的擴散係數，3.氡由土壤逸出的能力，4.土壤的空隙率。氡散逸率會隨著下雨、積雪、土壤凍結、氣壓上昇而顯著降低，特別與土壤濕度頗有相關性，因此氡散逸率在一天當中有著顯著的變化。當下午風速增大時散逸率會有增大的效應，夜間地表面冷卻，不產生對流也使氡散逸率減小。此二種效應為日變化的主要原因。

空氣中氡濃度的日變化通常與大氣穩定度的變化有密切關係，夜間由於地表附近逆轉層活躍，氡垂直分布呈遞減現象，氡的濃度在清晨最高，太陽出來溫度上昇使逆轉層消失，氡的擴散轉高，地表氡的濃度逐漸減低，通常在午後達到最低。

氡濃度的季節性變化，根據場所的散逸率，大氣穩定度，地理條件等，通常含水量低散逸率變大，又冬天有某些場所因積雪、地面凍結或下雨使散逸率變小。另外，大氣穩定度通常在春、夏兩季較不穩定，秋冬兩季較穩定，因此在春、夏亂流混合因素大，氡濃度較低。又因地理位置受海洋性氣團的影響會使氡的濃度變低，而季節風受大陸性氣流影響使氡濃度增高。

(二)、氡的長半化期子核種

鈾系子核種鉛 210、鉍 210 和釷 210，雖同為氡 222 的子核種，但其半化期分別長達 22.3 年、5.012 天和 138.38 天，所以其在大氣中的分佈型式就不同於氡 222 及其較短半化期的子核種。由於高度的垂直擴散和空氣懸膠體的壓實或降水而堆積於地表等效應，使得鉛 210、鉍 210、和釷 210 在地表空氣中的活性濃度遠低於鈾系的其他衰變子核種。

室內氡氣的活性濃度視建築材料的含鐳量及多孔性而定，亦和室內的通風程度有關，而和室外較無關係。通常石料建材的建築物和通風不良的建築

物，其室內氡的活性濃度較室外為高。

六、水域中的輻射

水中所含的天然放射性核種遠低於岩石和土壤，特別是鉀 40。許多種天然水中所含的鈾系和釷系，其母核和子核的活性並未達到放射性平衡。通常水中鈾和氡子核的活性濃度高於鐳，而鐳和釷卻常沉積於底泥中。一般而言，海水中所含的放射性核種範圍較淡水和都市供水等水圈中所含的放射性核種為窄，其理由是後者和地區性岩石、土壤中所含的放射性核種及地球化學有關。

地球起源時期的天然放射性核種中，最具有代表性的核種應是鉀 40 及鈾 87，每公升海水約含有 400 毫克的鉀，鉀 40 的天然存在比為 0.0118%，半化期為 1.28×10^9 年。海水中鉀 40 的活度約 12.3 貝克/升，約占全部海水放射活度 99% 以上。海底表土鉀 40 活度約為 0.21~1.19 貝克/克，其濃度隨海底土性質而變動。鉀為海底生物不可欠缺元素之一，魚肉中含鉀的濃度十分穩定，其濃縮係數約在 10 左右。鈾元素在海水中的濃度為 120 微克/升，鈾 87 同位素佔 27.85% 為 32 微克/升，放射活度為 0.1 貝克/升，約為鉀 40 活性濃度的 1%。

其他非衰變系長半化期核種，如銻 115、釷 147，在海水中濃度極低。衰變系放射性核種，釷 232、鈾 238、鈾 235 母核種及其子核種，其蛻變形式及半化期，甚至化學性質等，與各核種皆有關係，譬如海水中鈾濃度隨著含鹽量及深度的不同而有變化，全球海洋中鈾濃度約為 3.3 微克/升，其中 99.3% 為鈾 238，0.7% 為鈾 235，另外同屬鈾系的鈾 234 同位素，若達放射性平衡時約有 0.0057%。

七、人體內的輻射曝露

地表體內輻射曝露主要來自空氣、飲水及食品中所含天然的氦、鉀 40、鐳 226、釷 210 及鉛 210 等核種，因攝入體內而造成體內劑量，空氣中氦與其子核對人類造成相當大的劑量。民國 78 年至 80 年間，本中心使用硝酸纖維片的阿伐徑跡法對台灣地區 250 戶住宅進行長期度量，測得室內氣活度為 10 ± 4 貝克/立方公尺，另外選擇 42 戶住宅外部測得室外氣活度平均為 4 ± 3 貝克/立方公尺。同時度量氦子核與氦氣間的平衡因子在室內外分別為 0.49 ± 0.12 及 0.57 ± 0.30 。依聯合國原子輻射效應科學委員會報告的劑量轉換因子估算，台灣地區居民每人每年接受的有效劑量為 0.36 毫西弗，詳如表八所示。釷 232 的子核氦 220 的半化期僅 52 秒，不易偵測，國內亦無數據，故引用聯合國 1993 年的評估報告數據，空氣中及水中的氦 222 所造成的劑量每人每年分別為 0.07 和 0.005 毫西弗。

表八 台灣地區天然輻射劑量統計

來源	年有效劑量(毫西弗)		差異	世界高輻射區 (毫西弗)
	台灣	全球平均		
宇宙射線	0.25	0.38	-34%	2.0
宇宙射線產生核種	0.01	0.01	—	0.01
地表體外曝露	0.64	0.46	+39%	4.3
地表體內核種曝露	0.28	0.23	+22%	0.6
吸入氦 222	0.36	1.20	-70%	10
吸入氦 220	0.07	0.07	—	0.1
攝入氦 222	0.005	0.005	—	
合計	1.62	2.4	-30%	—

在人體及食品內最主要的天然放射性核種為鉀 40，鉀 40 含量在成人體內呈穩定值，男性略高於女性，肌內發達者其含量亦略高，根據清華大學原子科學技術發展中心以 8 吋碘化鈉閃爍偵檢器度量

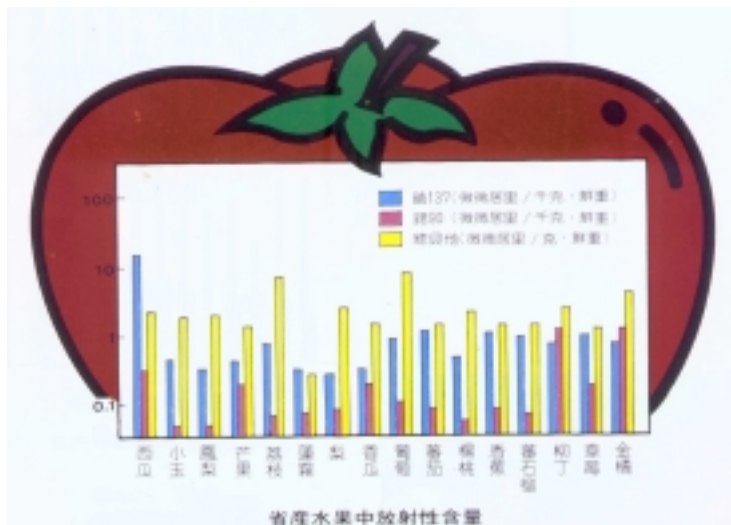
300 位男性和 80 位女性的平均值為 1.75 ± 0.4 及 1.41 ± 0.1 克鉀/公斤，每公斤 1 克鉀相當於每公斤 31 貝克鉀 40。另外本中心以純鐳偵檢器測量 83 位男性和 96 位女性的體內的鉀 40 含量分別為 5.4 ± 8 及 46 ± 5 貝克/公斤，將上述兩項調查合併，總共 564 位民眾的鉀 40 平均含量為 51.4 貝克/公斤，每公斤 1 貝克活度的劑量為 3 微西弗/年，則台灣地區成人每年因體內鉀 40 造成的劑量為 0.154 毫西弗。

除了氦與鉀 40 外，本中心亦對環境試樣所含其他天然核種進行調查，例如空氣中氦及碳 14 活度，空氣中鉍 7、鉛 210 及釷 210 含量調查，溫泉水中氦活度調查，引用水中鐳 226 含量調查，環境水樣中碳 14 活度及雨水中鉍 7、鉛 210 活度測量，植物中碳 14、氦、鉀 40 含量調查，香菸、動物內臟中釷 210 含量調查等，此類調查的樣品複雜、種類多，造成的劑量模式亦不十分確定，很難做整體化的劑量評估，因此採用聯合國 1993 年的世界平均值，亦即每年因攝食所造成的劑量為 0.062 毫西弗，平均體內含量所造成的年劑量為 0.13 毫西弗，加上體內鉀 40 的劑量為 0.284 毫西弗/年。

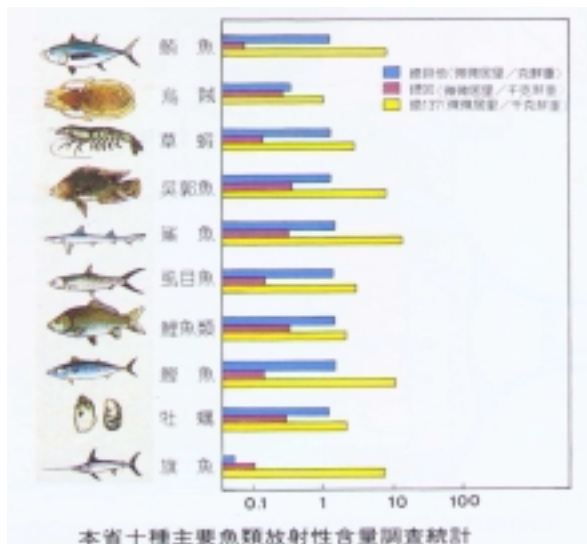
由於環境中到處都含有微量放射性元素，因此日常食品中也含少量放射性核種，圖 3 及圖 4 顯示台灣地區農產品水果及魚類所含的放射性活度，圖 5 由酒類含氦活度可代表四十年來台灣地區地表水中氦活度受核爆影響的變化情形。

八、結論

綜合上述各項天然輻射劑量評估結果彙整於表八，合計為 1.62 毫西弗/年，比全球平均值 2.4 毫西弗/年低 33%。比較重要的來源為(1)宇宙射線佔 0.25 毫西弗，比全球平均低 34%。(2)地表體外輻射佔 0.64



毫西弗，比全球平均高 39%，其實台灣地區地表輻射劑量率比全球平均為低。但室內加馬輻射因使用混凝土建材而比全球平均值為高，室內劑量率為室外劑量率的 1.9 倍。(3)鉀 40 等體內核種為 0.28 毫西弗，其中鉀 40 佔 0.15 毫西弗，為體內主要核種。(4)吸入氦 222 及其子核種佔 0.36 毫西弗，比全球平均低 70%，主要原因是台灣地處亞熱帶，室內通風良好，土壤鈾含量又低所致。



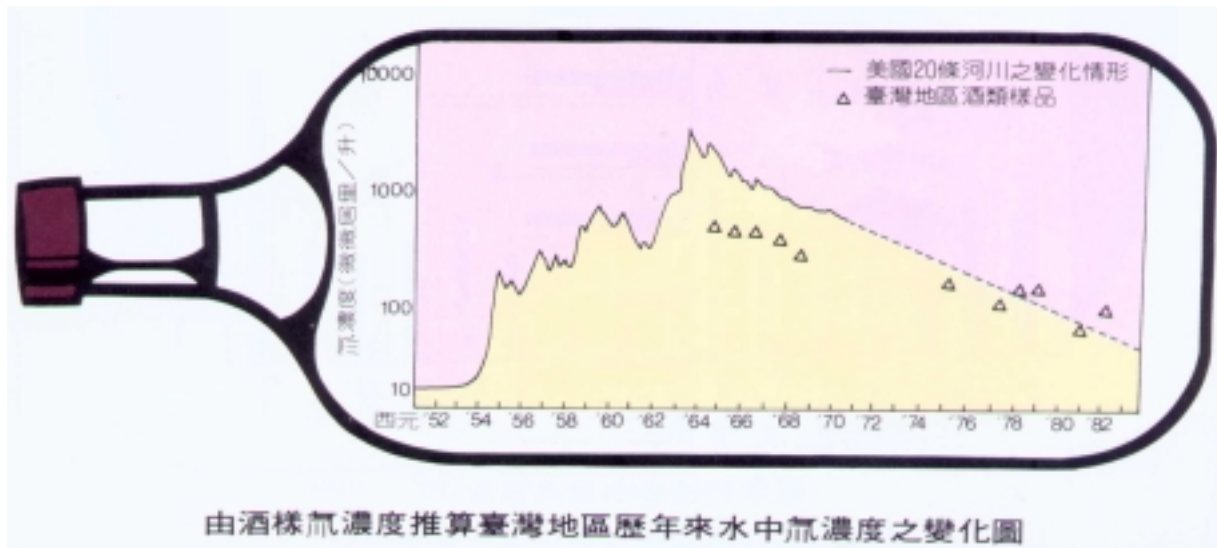
天然輻射是人類不可避免的輻射源，同時也是國民輻射劑量最主要的來源，瞭解天然輻射背景的

特性，有助於輻射劑量限值研討的參考，也有助於環境背景輻射的扣除與干擾核種的研判。隨著新的量測數據的發表以及劑量評估模式的更新，天然輻射劑量的評估值也將略有變動，本次評估結果 1.62 毫西弗比先前評估值 1.98 毫西弗低了 0.36 毫西弗，但仍比鄰近日本 1992 年最新的評估值 1.48 毫西弗為高。表八最後一欄列出世界上高背景輻射地區的評估值，由表中數值看來，部

分高背景輻射地區的年劑量為一般民眾年劑量限值 5 毫西弗的兩倍以上，然而當地居民健康並未因此而受到影響。若對天然背景輻射有清楚的認識，應可免除對輻射產生無謂的恐懼，也可避免因不當的處理方式而耗費大量的社會成本。

九、參考文獻

1. Nuclear Safety Research Association, Radiation of Living Environment, NSRA Publication, Tokyo(1992)
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR Report, United Nations, New York(1993)
3. Y.M. Lin, C.C. Huang, P.H. Lin and C.J. Chen, "Surveillance of Terrestrial Gamma Ray Exposure Rate In Taiwan," Nucl. Sci. J 23, 80-86(1986)
4. P.H. Lin, C.J. Chen and Y.M. Lin, "Assessment of Dose Equivalent to Taiwan Population from Natural Background Radiation," Nucl. Sci. J 28,467-470(1991)
5. P.H. Lin, C.J. Chen, C.C. Huang and Y.M. Lin, "Measurement of Cosmic-Ray Induced Intensity,



- “Radiat. Protect, Dosim. 15,185-189(1986)
6. P.H. Lin C.J. Chen, C.C. Huang and Y.M. Lin, “Study of the Indoor Cosmic Radiation Ionization Intensity, “Radiat. Protect. Dosim. 16, 329-332(1998)
 7. C.J. Chen, C.W. Tung and Y.M. Lin, “Islandwide Survey of Radon and Gamma Radiation Levels in Taiwanese Homes, “Proc. Int. Symp. Radon and Radon Reduction Technol. Vol.5, IXP-7 Minneapolis, U.S. Environmental Protection Agency, 22-25 September (1992)
 8. C.Y. Lan and P.S. Weng, “Body K and ^{40}K In Chinese Subjects Measured with a Whole Body Counter “,Health Phys. 57, 734-738(1989)
 9. P.H. Lin, “Indoor Gamma Radiation Dose Measurement “,TPC Nuclear Energy Monthly 78,58-63(1989)
 10. International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP 21, Nos.1-3-1(1990)
 11. K. O’Brein, “A Code for the Calculation of Cosmic-Ray Propagation in the Atmosphere, “EML-388, Environmental Measurement Laboratory, New York(1978)
 12. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects, UNSCEAR Report, United Nations, New York (1988)
 13. K.O’Brein, W. Friedberg, F.E. Duke, L. Snyder, E. B. Darden and H.H. Sauer, “The Exposure of Air-craft Crews to Radiation of Extraterrestrial Origin, “Radiat. Protect. Dosim. 45-162(1992)