

說 明

原能會自民國 81 年發現首例輻射屋事件後，即積極展開全國各縣市潛在輻射屋之普查作業，並邀集專家學者共同訂定「放射性污染建築物事件防範及處理辦法(簡稱處理辦法)」，據以辦理各項善後處理措施，其中包括輻射屋居民之健康照護。

關於輻射屋居民之健康照護，臨床上最直接有效的作法就是提供居民免費健檢，並依據健檢結果追蹤其健康狀況，做為進一步健康照護之依據。本會對於居住於輻射屋之居民，若其任一年接受的年劑量達 5 毫西弗以上的住戶，均安排其做免費健檢且每年追蹤健康狀況。截至目前累計完成逾 1 萬 2 千人次健檢作業(每年約 700 人參加健檢)、追蹤居民健康逾 15 年，對於檢查結果有異常的居民，醫院亦循全民健保體系，安排居民作更精密詳細的檢查與必要的治療。然而整體而言，大多數的輻射屋居民接受的是屬低劑量的輻射曝露，對於長期低劑量輻射曝露對人體健康效應之影響究竟為何，目前尚不明確，各研究結果眾說紛紜，無一定論。

輻射屋事件，因其已發生多年，又屬長期低劑量輻射曝露，一直以來，都備受國內外相關領域學者所關注，因此，本會主動委託辦理此「輻射屋居民流行病學調查及研究」，希望藉此建立完整輻射屋居民世代，其結果除可供本會參考外，亦可做為國際眾多低劑量輻射曝露流行病學研究之參考，提供國際未來輻射防護趨勢之考量。

本研究係委託國家衛生研究院執行，在「個人資料保護法」之基礎下，妥善研究分析其所建世代之健康資料。國家衛生研究院獨立執行此研究計畫、計畫諮詢委員會提供研究過程之諮詢與建議，本會則提供研究經費及輻射屋基礎資料，必要時協助行文相關行政機構，以利建立輻射屋世代。

關於本研究之結果，本會建議應將之視為眾多科學研究之一環，結果可參考，但不宜視為定論。誠如前述，長期低劑量輻射曝露對人體健康效應之影響目前仍不明確，因為在眾多環境干擾因子下，實在很難區分出低劑量輻射曝露對健康的影響，惟就低劑量輻射曝露之輻射防護管制上，本會仍採保守的劑量風險無低限假說來作為管制依據，以合理抑低的原則、落實輻射防護的精神，確保國民之輻射安全。

此外，本會仍將持續關注國際輻射防護新趨勢，鼓勵國人多投入跨領域相關研究，擴大科學參考資料，逐步釐清低劑量輻射曝露對人體健康之影響。

行政院原子能委員會 啟

行政院原子能委員會
委託研究計畫期末研究報告(定稿版)
全程計畫執行總報告

輻射屋居民流行病學調查及研究
**Epidemiological Cohort Study on Residents of ⁶⁰Co-Contaminated
Buildings in Taiwan**

計畫編號：AEC10101023L

受委託機關(構)：國家衛生研究院

計畫主持人：劉紹興

聯絡電話：(037)246-166#36500

計畫參與人員：張俊彥、李俊賢、江淑娥、楊雅婷、劉婉燕、林可姍

聯絡人：江淑娥

報告日期： 2015 年 11 月

目錄

表目錄.....	ii
中文摘要.....	ix
英文摘要.....	x
壹、前言(計畫緣起).....	1
貳、研究目的.....	9
參、研究方法.....	14
一、研究對象.....	14
二、研究設計.....	14
三、研究架構.....	15
四、資料來源.....	15
五、干擾因子的建立與問卷訪談.....	17
六、曝露資料的建立.....	18
七、癌症之最短潛伏期與發生率之計算.....	24
八、輻射曝露之癌症風險與劑量效應評估的統計方法.....	27
九、樣本數的估計.....	31
十、本計畫的特色.....	34
肆、主要發現.....	38
一、居民問卷調查.....	38
二、基本人口特性分析.....	39
三、風險認知調查分析.....	44
四、輻射屋居民居住歷史與劑量評估資料.....	54
五、居民歷年健檢資料庫.....	86
六、血液學調查及分析.....	90
七、游離輻射曝露與癌症之相關性分析.....	102
(一) 對照組的來源.....	102
(二) 對照組的產生.....	103
(三) 輻射曝露組與對照組的配對結果.....	103

(四) 曝露組與對照組的全癌症發生人數與粗發生率 ...	107
(五) 輻射曝露組與對照組的基本資料描述	120
(六) 輻射曝露組與對照組的發生密度比	122
(七) 以 Poisson regression 計算輻射曝露組與對照組的相對風險比及額外增加風險.....	129
(八) 以二階段抽樣研究方法校正干擾因子後計算癌症的風險	136
(九) 白血病的時期(period)效應分析	145
伍、討論	147
陸、結論	154
柒、建議	156
捌、致謝	157
玖、參考文獻	158

表目錄

表 1、「輻射屋居民流行病學調查及研究」委員名單	13
表 2、樣本數的估計.....	32
表 3、以佔用因素推估不同族群人口的樣本數.....	33
表 4、輻射屋世代的建立.....	35
表 5、輻射校園的世代建立.....	35
表 6、問卷來源.....	38
表 7、曝露組與對照組癌症問卷收案人數.....	39
表 8、研究對象基本資料敘述統計.....	40
表 9、曝露組與對照組基本資料敘述統計.....	41
表 10、輻射風險認知之各題項填答率(選擇題).....	47
表 11、輻射風險認知之各題項填答率(選擇題)(續)	48
表 12、輻射風險認知答對率與勝算比(選擇題).....	49
表 13、輻射風險認知答對率與勝算比(是非題).....	50
表 14、人口學基本資料與輻射風險認知得分.....	51
表 15、曝露組與對照組輻射風險認知得分之分析(未校正干擾因子)	

.....	52
表 16、曝露組與對照組輻射風險認知得分之複迴歸分析一（校正干擾因子）	53
表 17、曝露組與對照組輻射風險認知得分之複迴歸分析二（校正干擾因子）	53
表 18、輻射污染建物 1982 年之輻射劑量.....	54
表 19、輻射污染建物之改善情形以及 1982 年之輻射劑量	54
表 20、輻射污染建物之縣市分佈以及 1982 年之輻射劑量	55
表 21、輻射污染建物之縣市分佈(依 1982 年輻射劑量分).....	55
表 22、輻射污染建物之改善情形(依 1982 年輻射劑量分).....	56
表 23、輻射污染建物之改善狀況(依輻射污染建物之縣市分佈)....	56
表 24、輻射屋居民之人口分布	58
表 25、輻射屋居民遷入年齡的分布	59
表 26、輻射屋居民現今年齡的分布	60
表 27、輻射屋居民居住時間的分布	61
表 28、輻射屋居民在本計畫的追蹤時間.....	61
表 29、輻射屋累積劑量依遷入時間分.....	62
表 30、未設籍於輻射屋之居民基本資料及居住歷史(n=270)	62
表 31、輻射辦公室勞工之基本資料及居住歷史(n=4,328).....	63
表 32、輻射校園學生之基本資料及居住歷史(n=15,368).....	64
表 33、輻射污染建物依用途分	64
表 34、曝露對象與建物類型之劑量計算方式.....	65
表 35、2012 年北台灣一般民眾不同性別、年齡之佔用因子收案情形	68
表 36、216 份回溯性佔用因子收案情形.....	69
表 37、輻射屋住戶遷入時與北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間(依性別區分)	69
表 38、輻射屋住戶遷入時的居家佔用時間(依空間區分).....	72
表 39、北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間(依空間區分).....	73
表 40、輻射屋住戶遷入時與北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時	

間的比較.....	74
表 41、北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間(依空間區分; 男性)	76
表 42、北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間(依空間區分; 女性)	76
表 43、輻射屋居民佔用空間之空間點測量點數.....	78
表 44、居民居住歷史與佔用因子結合(以某家戶為例).....	79
表 45、居民居住歷史與佔用因子、空間劑量率結合(以某家戶的客廳劑量為例).....	81
表 46、職場勞工累積曝露劑量.....	82
表 47、四所學校累積曝露劑量.....	83
表 48、○○托兒所累積曝露劑量.....	83
表 49、○○國中累積曝露劑量.....	83
表 50、○○高商累積曝露劑量.....	83
表 51、○○技術學院累積曝露劑量.....	83
表 52、輻射屋不同曝露來源世代之人口學變項及輻射曝露情形 ..	85
表 53、輻射屋不同曝露來源世代之輻射累積曝露劑量 ..	86
表 54、歷年健檢資料之資料內容概述.....	87
表 55、初檢年至 2011 年參與過健檢與從未健檢人數.....	88
表 56、歷年輻射健檢每年不同性別之健檢次數及健檢時年齡	89
表 57、性別與血液、甲狀腺檢驗值的關係.....	90
表 58、初檢年至 2011 年之累積曝露劑量分佈.....	91
表 59、初檢年至 2011 年之累積曝露劑量分組統計.....	92
表 60、異常值定義.....	92
表 61、初檢年之整體分析.....	94
表 62、1999 年至 2011 年之整體分析.....	97
表 63、曝露組與對照組的基本資料描述.....	104
表 64、曝露組(幼稚園)與對照組的基本資料描述.....	104
表 65、曝露組(國中)與對照組的基本資料描述.....	105
表 66、曝露組(高商)與對照組的基本資料描述.....	105

表 67、曝露組(技術學院)與對照組的基本資料描述.....	105
表 68、曝露組(住家)與對照組的基本資料描述.....	106
表 69、曝露組(職場)與對照組的基本資料描述.....	106
表 70、曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (男性)....	108
表 71、曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (女性)....	109
表 72、曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (合計)....	110
表 73、學校曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (男性)	111
表 74、學校曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (女性)	112
表 75、學校曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (合計)	113
表 76、住家曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (男性)	114
表 77、住家曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (女性)	115
表 78、住家曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (合計)	116
表 79、職場曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (男性)	117
表 80、職場曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (女性)	118
表 81、職場曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (合計)	119
表 82、輻射屋世代與對照組世代之基本資料的比較	121
表 83、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR).....	122
表 84、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR)(男性).....	123
表 85、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR)(女性).....	124
表 86、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR) (住家).....	125
表 87、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR) (職場).....	126

表 88、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR) (學校).....	126
表 89、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR)(台北市)	127
表 90、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR)(新北市).....	128
表 91、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析.....	129
表 92、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(男性)	130
表 93、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(女性)	130
表 94、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(住家)	131
表 95、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(職場)	132
表 96、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(學校)	132
表 97、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(台北市)	133
表 98、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(新北市)	134
表 99、不同劑量組別之癌症發生風險比值(RR).....	135
表 100、不同癌症的劑量風險分析.....	135
表 101、依控制癌症干擾因子目的之收案人數.....	139
表 102、問卷中曝露組與對照組之人口學基本資料、吸菸及其他生 活習慣、運動、飲食的分佈.....	140
表 103、問卷中曝露組與對照組之女性初經與停經資料的分佈 ..	142
表 104、各癌在回歸模式中之干擾因子.....	143
表 105、依控制癌症干擾因子目的之收案人數.....	144
表 106、不同時期發生白血病的癌症風險分析.....	145
表 107、2002 年以前發生白血病的劑量效應分析.....	146

圖目錄

圖 1、「輻射屋居民流行病學調查及研究」委員會.....	12
圖 2、研究架構圖.....	15
圖 3、戶政資料抄錄工作流程.....	16
圖 4、輻射屋資料的分析變項.....	18
圖 5、輻射劑量的評估—住家.....	22
圖 6、輻射劑量的評估—辦公室.....	23
圖 7、輻射劑量的評估—學校.....	24
圖 8、輻射屋所有權.....	42
圖 9、輻射屋居民的目前居住狀況.....	42
圖 10、輻射屋居民的目前處理現況.....	43
圖 11、輻射屋居民在輻射屋的居住時間.....	43
圖 12、住家輻射屋曝露重建.....	66
圖 13、佔用因素的校正以及收案流程.....	67
圖 14、在校園收「居家生活空間佔用時間調查」問卷.....	71
圖 15、輻射屋住戶遷入時與北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間的比較.....	74
圖 16、輻射屋住戶遷入時與北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間的比較(依佔用空間).....	75
圖 17、北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間的性別比較(依空間區分).....	77
圖 18、依居民居住歷史計算每時期之累積曝露劑量.....	80
圖 19、歷年健檢每人累積健檢次數.....	88
圖 20、台大與彰基輻射健檢每年男女之健檢次數統計.....	89
圖 21、不同劑量組在 1992 年至 2011 年之檢驗值與異常率.....	101
圖 22、對照組的來源檔之建立.....	102
圖 23、第一階段研究之對照組的選取(範例).....	103
圖 24、曝露組與對照組世代全癌症發生率(男性).....	108
圖 25、曝露組與對照組世代全癌症發生率(女性).....	109

圖 26、曝露組與對照組世代全癌症發生率(合計).....	110
圖 27、學校曝露組與對照組世代全癌症發生率(男性).....	111
圖 28、學校曝露組與對照組世代全癌症發生率(女性).....	112
圖 29、學校曝露組與對照組世代全癌症發生率(合計).....	113
圖 30、住家曝露組與對照組世代全癌症發生率(男性).....	114
圖 31、住家曝露組與對照組世代全癌症發生率(女性).....	115
圖 32、住家曝露組與對照組世代全癌症發生率(合計).....	116
圖 33、職場曝露組與對照組世代全癌症發生率(男性).....	117
圖 34、職場曝露組與對照組世代全癌症發生率(女性).....	118
圖 35、職場曝露組與對照組世代全癌症發生率(合計).....	119
圖 36、二階段研究之研究假設及研究設計.....	136
圖 37、Retrospective cohort Study 的二階段抽樣方法.....	138

中文摘要

本研究的癌症風險評估中，輻射屋居民暴露世代共計 32,356 人，以暴露組的性別、遷入輻射屋的年齡、遷入時間、輻射屋所在之行政區配對，配對比例為 1:10，選取對照組 325,050 人。暴露組之癌症發生粗率為 85.28(每十萬)，對照組為 83.68(每十萬)。未校正之癌症發生率比僅有白血病(排除慢性淋巴性白血病)的發生風險在統計上顯著增加($IDR=1.66$; $95\%CI=1.14-2.41$)。經過二階段抽樣方法(two-stage sampling approach)校正干擾因子後，發現輻射屋居民發生所有癌症的風險為對照組的 0.89 倍($OR_a=0.89$; $95\%CI_a=0.67-1.20$)，雖然輻射屋居民全癌症發生風險沒有增高情形，但經校正干擾因子後，輻射屋居民之白血病風險有統計上顯著增高情形，為對照組的 2.02 倍($OR_a=2.02$; $95\%CI_a=1.25-3.27$)，且呈現劑量效應關係，即輻射劑量愈高，白血病的發生風險愈高。其他癌症發生風險則沒有顯著增加情形。

血球對輻射效應較為敏感，可提供訊息以瞭解造血細胞是否受到輻射傷害，針對輻射屋居民健康檢查的血液常規分析中發現，累積曝露劑量超過 100 毫西弗居民的白血球數、淋巴球數、血小板數、紅血球數、血紅素、血比容、三碘甲狀腺素在 2002 年以前較低，且低於低劑量組(指小於 100 毫西弗居民)，顯示早期受到長期低劑量輻射的照射，造血功能受到影響。但除了血小板的異常率較高，其他檢驗值的異常率在大於 100 毫西弗與小於 100 毫西弗兩組則無差異，表示雖然平均值較低，但並不至於達到異常狀況。在此同期，白血病的癌症風險在統計上是顯著增加的，相對於對照組的額外增加風險(Excess Relative Risk; ERR)為 1.47 ($ERR=1.47$; $95\%CI=0.53-2.98$)；每增加 100 毫西弗，額外增加的風險為 0.31 倍($ERR_{100mSv}=0.31$; $95\%CI=0.10-0.56$)。經過一段時間追蹤，受影響的血液與甲狀腺功能會出現自我修復的情形，2002 年之後上昇至高於低劑量組。根據癌症風險估計，2002 年之後的白血病發生風險則沒有顯著增加情形。

關鍵字：輻射屋；低劑量率輻射；鈷六十；癌症風險

英文摘要

For the cancer risk assessment of this research, matching was applied to a total of 32,356 residents of radiocontaminated buildings (RCB) in the exposure group by the gender, time of occupation, and the administration region in which the RCB was located. A matching ratio of 1:10 was then used to select 325,050 people for the control. The crude cancer rate was 85.28 (for every 100,000 people) in the exposure group and 83.68 (for every 100,000 people) in the control group. Among the non-adjusted cancer incidence rates, only the risk of leukemia (excluding chronic lymphocytic leukemia) showed a statistically significant increase (IDR=1.66; 95% CI=1.14-2.41). The two-stage sampling approach adjusted for confounders revealed that the adjusted Odds Ratio for total cancers in RCB residents was 0.89 times ($OR_a=0.89$; 95% $CI_a=0.67 - 1.20$). While the overall cancer risk of RCB residents did not increase, upon adjusting for confounders the Odds Ratio for leukemia in RCB residents showed a statistically significant increase and was 2.02 times ($OR_a=2.02$; 95% $CI_a= 1.25 - 3.27$) than the control group. A dose-effect relationship was also found where higher doses of radiation corresponded to a higher risk of leukemia. There was no significant increase in the risk for other types of cancer.

Blood cells are relatively more sensitive to radiation and can provide information on whether hematopoietic cells were damaged. Hematological analysis during health tests for RCB residents found that the white blood cell count, lymphocyte count, platelet count, red blood cell count, hemoglobin count, hematocrit and triiodothyroxine (T3) for residents with accumulated radiation doses over 100 mSv were lower before 2002. This was also lower than the low-dosage group (residents

with less than 100 mSv of accumulated doses) indicating that their long-term exposure to low dose-rate radiation affected hematopoiesis. Apart from a higher rate of abnormal platelets, there was no difference in the anomaly rate for other test values between residents with over 100 mSv and less than 100 mSv of accumulated doses. This indicated that while the average values were lower it was not sufficient to be deemed abnormal. The risk for leukemia over the same period was significantly higher however and the Excess Relative Risk (ERR) compared to the control group was 1.48 (ERR=1.47; 95% CI= 0.53 - 2.98); for every 100 mSv increase, ERR increased by 0.31 times (ERR_{100mSv}=0.31; 95% CI=0.10-0.56). Follow-up over time found that the affected blood and thyroid functions showed signs of recovery and surpassed the low dose-rate group after 2002. Cancer risk assessment indicated the risk of leukemia after 2002 was not significantly higher.

keywords : Radiocontaminated buildings; Low dose rate Radiation; Cobalt-60; Cancer risk

壹、前言(計畫緣起)

1983 年初在台北天母的中國商銀意外地發現一根具有鈷 60 放射性之鋼筋，1992 年 8 月中，原能會證實民生別墅中 70 住戶裡有 34 戶遭受到輻射污染。一連串的輻射屋事件引起了全國與有關單位的注意，經過原能會陸續地進行調查與普查，在台北市、新北市(當時為台北縣)、基隆市、桃園縣、新竹縣市、彰化市等地偵測到 1,660 戶建物受到輻射污染。原能會依據「放射性污染建築物事件防範及處理辦法」^註規定，對於在居住期間任 1 年其年劑量達 5 毫西弗以上的居民，安排做健康檢查，截至 2011 年 10 月為止，原能會共計完成 10,351 次輻射健檢。對於可能因輻射導致傷害或病變的居民，健檢醫院皆循全民健康保險體系，安排居民作更周詳的檢查與必要的諮詢建議。然而對於長期居住在輻射屋接受低劑量游離輻射的健康影響，學術界仍有不同看法。台灣輻射屋事件雖然與日本長崎和廣島的原子彈爆炸事件、蘇聯的車諾堡事件等國外兩大事件不同，台灣輻射屋事件的輻射曝露劑量遠不如原子彈爆炸或是核電災變巨大，但長時間的低劑量曝露，導致之健康效應為何，仍是大家所關注的議題。過去台灣輻射鋼筋污染建築物曝露居民之健康影響相關研究發現，民眾在生理方面的健康影響除了癌症以外，也發現在血液功能上的異常(Hwang 2008)、染色體的畸變(Chang WP; 1999, Chen FD; 2000, Tsai MH; 2001)、甲狀腺的病變(Hwang SL; 2006)、孩童的生長發育阻礙(王君蓉; 1999)、眼睛白內障發生(許雅慧; 2003)、生育率下降(Lin CM; 2010)等，國內這些研究的追蹤時間只有 10 幾年，研究證據在統計上還稍嫌薄弱(李世代; 2009)。輻射污染建築物完工至今已超過 25 年，在癌症的研究上有足夠長的時間可以觀察輻射曝露劑量對癌症的影響，因此本研究採取回溯性世代研究(Retrospective cohort study)，追蹤輻射曝露至今，輻射屋居民接受輻射曝露的情形，

^註 2003 年以前係依據「輻射污染建築物事件防範及處理辦法」之規定；自 2003 年以後，由於母法「游離輻射防護法」頒布施行，改依據「放射性污染建築物事件防範及處理辦法」之規定。

並整合健檢結果及國人癌症登記檔、死亡檔、健保資料檔等資料，進行流行病學調查與分析，除了本研究在學術上所具有的研究價值，藉此亦可探討輻射屋居民長期以來接受之輻射劑量與健康效應之關聯性。

輻射劑量與癌症的相關

許多學者利用日本廣島(Hiroshima)、長崎(Nagasaki)原爆存活者所建立的世代(Life Span Study Cohort; LSS Cohort)已證實受到輻射曝露的市民被診斷出較高比例的實體癌(Solid cancer)或是白血病(Leukemia)，1994年的報告(Thompson DE; 1994)指出，79,972的LSS世代中，有8,613人首次在1958至1987年間被診斷出為實體癌患者，其中，在原爆外3至10公里的市民為對照組，研究結果發現實體癌的額外增加風險(Excess Relative Risk at 1 Sv; $ERR_{1\text{ Sv}}$)為0.63，額外絕對風險(Excess Absolute Risk; EAR cases per 10^4 PY Sv)為29.7。若以不同部位細分，胃癌為0.32、結腸癌為0.72、肺癌為0.95、乳癌為1.59、卵巢癌為0.99、膀胱癌為1.02、甲狀腺癌為1.15，且具有統計上的顯著意義。另一篇利用LSS世代的研究指出，在93,696名存活者的分析中，急性淋巴細胞白血病(Acute Lymphocytic Leukemia; ALL)的ERR為0.6，急性骨髓性白血病(Acute Myelogenous Leukemia; AML)為0.9，慢性骨髓性白血病(Chronic Myelogenous Leukemia; CML)為1.1，同時具有統計上的顯著意義(Preston DL; 1994)。Preston等(2003)認為0至150 mSv的輻射劑量與額外實體癌症風險(excess solid cancer risks)呈線性相關，同時也發現隨著罹癌年齡的增加，風險隨之下降，而孩童時期即曝露於原爆輻射者，風險最高。若30歲以前接受輻射照射，70歲罹癌的風險將提升47%，但對於0.5 Sv以下的輻射曝露劑量，並無證據顯示有輻射效應存在。再者，近期的報告指出額外死亡率(Excess mortality rates)會隨著時間逐年增加，其中實體癌與非癌症死亡率依序增加30%及40%(Preston DL; 2003)。Preston等(2008)也發現在子宮內曝露或幼兒期曝

露輻射，50 歲時實體癌的額外增加風險($ERR_{1 Sv}$)分別為 1.0 及 1.7 (Preston DL; 2008)。

烏克蘭北方的車諾堡(Chernobyl)核電廠於 1986 年 4 月 26 日爆發巨量的核能外洩事件，釋放大量具游離輻射的同位素(isotopes)碘 131($^{131}\text{Iodine}; ^{131}\text{I}$)及銫 137 ($^{137}\text{Cesium}; ^{137}\text{Cs}$)，輻射塵隨著氣流飄散，除散落在蘇聯境內外，也飄散到世界各地，造成數以百萬計的人受到影響。1990 至 1993 年間的觀察結果，發現白血病的標準化發生率比(Standardized Incidence Ratio; SIR)為 1.77 (95% CI =1.22-2.47)， ERR_{1Gy} 為 4.3 (95%CI= 0.83-7.75) (Ivanov VK;1997)。Noshchenko AG 等(2001)針對在子宮內曝露輻射的小孩，追蹤 10 年後發生白血病的機率，發現男性孩童的急性淋巴細胞白血病(ALL)有顯著增加的情形，曝露組(Zhitomir)相對於非曝露組(Poltava)的 Relative Risk(RR)高達 4.8(95%CI=1.1- 22.6)，但兩組的累積發生率在 1991 年後皆有逐年下降的趨勢。車諾堡事件發生的 4 年後，在高曝露區造成甲狀腺癌的發生率大量增加，所有小孩為甲狀腺乳突癌(Papillary thyroid carcinomas)，1 歲以內曝露在游離輻射的孩子有最顯著的易感受性(susceptibility)，罹癌的風險伴隨至成年。4,000 名受到輻射影響的人中，幾乎沒有死亡個案。隨著曝露年齡的增加，甲狀腺癌的發生風險快速下降，不禁令人質疑成年後曝露於游離輻射發生甲狀腺癌的風險是否存在(Willwyn D; 2008)。Hatch 則認為，到目前為止，除了除污工人，輻射曝露的成人中尚未發現白血病、甲狀腺癌的顯著增加。再者，甲狀腺癌相關的修飾因子(Modifying effects)也未提及，包括甲狀腺的過去病史、荷爾蒙、生產狀況、飲食、種族差異等。由於缺乏充份的證據，無法明確地說明車諾堡事件之輻射塵與白血病、甲狀腺癌的風險增加有關(Hatch M; 2005)。

美國國家科學院全國研究委員會(National Academies' National Research Council)提出低劑量的加馬射線(Gamma ray)及 X-ray 對身體是有害的，將造成癌症風險的增加，至於多低的劑量才可稱為低劑

量，並無明確說明(Brenner DJ; 2003)。但根據流行病學的資料建議，在急性曝露所指的為 10 至 50 mSv，長期曝露則為 50 至 100 mSv。BEIR VII 在綜覽生物學及生物物理學(biophysics)的資料後，亦認為在低劑量下，即使風險非常小但致癌風險仍存在；BEIR VII 並根據過去的報告提出新的輻射健康評估，認為在低輻射劑量下與癌症的發生呈線性關係，即再低的輻射都可能破壞生物體的分子鍵結，導致 DNA 受到損傷，進而罹患癌症(BEIR VII; 2006)。鑑於 BEIR VII 的報告，過去多數學者認為長期低劑量率的輻射曝露對癌症所造成的風險是沒有閾值的，且為線性關係，這種現象稱為線性無閾值模式(Linear-Non-Threshold Model; LNT Model)，如果這個假設成立，無論是醫療上所接受的輻射照射(例如 CT Screening, angiograms, X-ray)、自然界的輻射線、核能工業、工業上的輻射曝露等，長期低劑量曝露所導致的罹癌風險即需審慎面對，然而大部分的曝露只是暫時性的或瞬間高劑量的曝露，無法應證 LNT 模式的可靠性。學者指出(Ware WR.; 2008)，台灣輻射屋事件中，將近 10,000 名的受害居民在不知情且不情願的情況下，接受長期低劑量的輻射曝露，且曝露的劑量範圍廣泛，是唯一足以解釋該模式是否合理的研究族群，以釐清低輻射劑量所產生的健康效應。

Luckey TD 是最早由動物試驗中提出游離輻射對生物體的激效效應模式(hormesis model)，即生物體接受「微量無害的放射線刺激」後，會對輻射產生適應性，進而加強細胞的活化、代謝與修補的功能，「低劑量輻射可能並無傷害性的生物效應，甚至有良性或無害性的刺激效應」即為其重要的理論，該理論挑戰所有的輻射劑量都是有害的假說，特別是 LNT 模式，至今仍是備受爭議的理論。該理論並非憑空想像，而是奠基在科學的方法上，透過實驗觀察到低劑量輻射會增加細胞膜的通透性、酵素的合成及代謝、細胞有絲分裂等，然而這些改變在高劑量輻射反而降低(Luckey TD; 1991)。而「激效」一詞，最早是由德國的藥學家 Hugo Schulz 在 1888 年所提出。此後有許多學者提出類似觀點，Feinendegen 等(2005)認為 100 mGy 至 200

mGy 的游離輻射能增加 DNA 適應性的保護效果，而降低 DNA 的危害，但 500 mGy 以上的急性曝露會造成細胞的凋亡(apoptosis)。

根據 Hwang(2008)在台灣輻射屋事件中的調查，在 7,271 位輻射曝露的居民中，追蹤至 2005 年，確定為癌症者為 141 人，若依照 ICRP 60 的建議考慮平均最短潛伏期(白血病 2 年，實體癌為 10 年)，僅剩 95 位罹癌居民。癌症風險評估中，發現與輻射曝露有關的癌症為甲狀腺癌 (SIR=2.6, 95% CI=1.1-5.4)、淋巴瘤 (SIR=5.4, 95% CI=1.8-12.6)；若依不同性別觀察，男性中與輻射有關的癌症為白血病(排除慢性淋巴性白血病(CLL))(SIR=3.4, 95% CI=1.2-7.4)，且在急性淋巴性白血病 (ALL) 觀察到兩者的相關 (SIR=6.8, 95% CI=1.4-19.8)；女性則為甲狀腺癌(SIR=2.6, 95% CI=1.0-5.7)。經過劑量效應的估計，白血病(扣除慢性淋巴細胞白血病)為每增加 100mGy 風險增加 19%(HR_{100mGy}=1.19, 90%CI=1.01-1.31)，甲狀腺腫瘤的風險比值則不顯著(HR_{100mGy}=0.81, 90%CI=0.21-1.15) (Hwang SL; 2006)。張天鈞 (1999) 為瞭解居住於輻射屋居民之輻射曝露劑量是否與甲狀腺疾病有關，因此調查 1,349 位居住於輻射污染建築的居民進行身體檢查，結果顯示曝露的輻射劑量與甲狀腺疾病盛行率有正向關係，主要使得甲狀腺瀰漫性增生而非甲狀腺癌。有學者探討低劑量輻射與乳癌致癌危險性，研究結果並未發現任何婦女罹患乳癌或癌前期病變；然而必須透過長期追蹤才得以估計其罹患乳癌的機率，但此結果可供做日後追蹤的基準點參考(盛業瑄; 2010)。類似的研究結果指出(Luan YC; 2007)，台灣輻射屋的平均曝露劑量為 0.4 Sv，在 9 至 20 年間的觀察，並未如預期地發現高於一般人的癌症死亡率，癌症死亡率在這些年間反而下降 3%，先天畸型的發生率也下降 7%。國內之長期低劑量的輻射曝露對癌症的影響，研究結果莫衷一是，有些學者根據研究結果而服膺 LNT 模式，認為再微量的長期低劑量游離輻射仍可能造成 DNA 的破壞及癌症的發生，有些學者卻持反面意見，無論導致分析結果歧異的原因為何，未來國內仍迫切需要建立更為完整且更新完成的輻射曝露劑量資料與健康效應資料，

在有效控制干擾因素的情況下，重新推估長期低劑量曝露對健康的影響。

長期低劑量曝露後血液學反應

從 20 世紀初生物學界就已得知游離輻射會透過各種機制損害造血系統。在體內和體外之研究顯示，游離輻射可直接損害造血幹細胞，和改變骨髓基質元素對造血功能的支持和維持。游離輻射曝露會造成循環造血細胞數目下降，兩者具有劑量效應關係。不僅降低骨髓生產，並使成熟的血液細胞凋亡。許多研究指出，游離輻射導致造血系統的傷害，除了破壞 DNA，游離輻射亦改變基因的表達和轉錄功能，干擾細胞內和細胞間的訊息傳遞，臨床上可能是白血病的發展起源(Dainiak N; 2002)。

游離輻射在所有造血細胞中有反向劑量效應關係(Cronkite EP; 1967, Cronkite EP; 1972, Fliedner TM; 1988)。在一般情況下，淋巴細胞、顆粒細胞、紅血球細胞數目之下降是分別發生在幾小時，幾天，和數週，血小板也在一段時間後下降。目前用來研究染色體變異程度的細胞遺傳(cytogenetic)方法，一般多以周邊血液中的淋巴細胞為材料，Evans(1984)指出其優點為樣本取得容易；對輻射極為敏感；幾乎所有淋巴細胞皆處於細胞休止期(G0)，對輻射的敏感度有高度之一致性；利用促細胞分裂劑(mitogen)可使細胞週期進展到中期(metaphase)以供染色體分析使用；技術臻於完善；以及淋巴細胞的染色體變異可提供訊息以瞭解造血幹細胞是否受到傷害。受到全身性輻射照射後，白血球中的顆粒細胞數目的下降需要超過 1 至 2 天，中等劑量的輻射照射後需 3 至 4 週才達到最低點(Fliedner TM; 2001)。顆粒細胞數目通常在 1 至 3 個月內恢復正常（可能上升到高於正常值），它與淋巴球數目下降不同，淋巴球數目下降可能會持續到曝露很多年後。Chang WP 等(1999)以 Cytochalasin-B micronuclei assay(CBMN)觀察搬離輻射屋居民之淋巴細胞的微核(micronuclei)變

異，發現隨著搬離時間的延長，微核的染色體變異率(chromosome aberration rates)就逐漸減少，原因與染色體變異若為在細胞中產生微核，會使細胞遭遇分裂上的困難，或失去大量基因，致分裂後的子細胞無法生存。Tsai 等(2001)研究指出，若將輻射屋居民之輻射劑量區分為 >300 mSv、 $100-300$ mSv、 <100 mSv，淋巴細胞的染色體變異率(%)依序為 21.8、17.6、15.4，劑量愈高染色體變異愈顯著。Chen FD 等(2000)利用螢光原位雜交法(Fluorescence in Situ Hybridization; FISH)觀察 56 位輻射屋居民及 36 位對照組的淋巴細胞染色體的平衡轉位(reciprocal chromosome translocation)，以回推人體的輻射生物劑量，並對 Metaphase 階段的第 2、4、12 對染色體染色，發現輻射屋居民的淋巴細胞染色體轉位的頻率是對照組的 5 倍。

血小板數目下降，通常發生於曝露輕度或中度游離輻射劑量 5 至 10 天以後。血小板減少的持續時間與游離輻射劑量相關。雖然顆粒細胞和血小板數目下降與游離輻射劑量相關，但並不一定能預測後續的血液恢復狀況 (Dainiak N; 1997)。Baranov 等觀察到車諾堡的除污工人在 7 至 14 天血球數迅速下降到每立方毫米不足 100，但顆粒細胞數目在 20 至 30 天後恢復(Baranov A; 1995)。這些反應可能因體內存在持久的抗輻射亞群的造血幹細胞和祖細胞的緣故。

白血病最大的風險是在曝露後的最初幾年，以曝露的年齡來看，10 歲以下或超過 50 歲的時候曝露游離輻射的風險最高 (Beebe GW; 1977)。對於任何年齡，男性觀察到曝露游離輻射約 5 年後的絕對風險大於女性。然而，由於風險隨曝露年齡的上昇而下降。對於男性，約 60% 的白血病是急性淋巴細胞白血病(ALL)和慢性骨髓性白血病(CML)。而四十歲以下的女性，急性骨髓性白血病(AML)比急性淋巴細胞白血病(ALL)和慢性骨髓性白血病(CML)更為常見(Finch SC; 1997)。

在國內的其他相關研究中，臺北市衛生局針對曾居住於臺北市輻射污染建築物之居民，任一年所受輻射劑量在 1 至 5 mSv 之間者，

每年免費辦理一次健康檢查，並提供相關之輻射醫療諮詢。至 2008 年為止，參加健檢的輻射屋居民共有 2,346 人（20,657 人次）。自 2000 年開始，每年委託專業單位進行此一族群之健檢資料之整理及統計分析(李世代等; 2009)，以追蹤受檢者之歷次健檢結果及變化趨勢。結果顯示，個人連續四年（2004 至 2007 年）的血液學指標低於正常參考值的比例，只有血球容積（MCV）及紅血球血紅素（MCH）超出 5%，其餘血液學指標皆低於 5%。Hwang 等(2008)追蹤至 2005 年底止的輻射鋼筋污染建築物居民資料，在考慮輻射曝露與發生癌症的最短潛伏期年數後，以 Cox proportional hazard model 統計模式計算癌症風險性比（Hazard Ratio; HR），結果顯示，白血病（ $HR_{100mGy}=1.19$ ）的癌症風險有統計上邊際顯著（marginal significant, $p=0.08$ ）現象。

其他健康效應

在文明病方面，台北市政府照顧參加輻射健檢的輻射屋族群，發現輻射屋居民比一般的民眾有較健康的傾向(李世代; 2009)。但是在生活品質問卷滿意度調查的結果卻顯示，相對高劑量率（大於 5 mSv/y）、低劑量率（1 至 5 mSv/y）輻射污染族群在生理健康、心理、社會關係方面的生活品質滿意度都比國民健康調查族群低，且有統計上之意義。對民生別墅輻射屋居民的社會心理衝擊研究也指出，輻射傷害對居民的健康造成深遠的影響，它易於導致血液及細胞病變，並可能經由遺傳延及子女，但這些結果的不確定性造成居民很大的壓力，因此輻射污染對居民自我概念、個人控制及生活世界產生極大影響，也造成家庭及社會關係的轉變(畢恆達; 1999)。以台灣版的生活品質量表(WHOQOL-BREF Taiwan version)測量輻射健檢居民的生活品質，結果發現 25 歲以下的居民及女性的生活品質較低(Yen PN; 2008)。鑑於此，除了提供定期健康檢查，居民的身心壓力及社會關係的轉變等都應該受到政府單位及社會大眾的關切與重視。

貳、研究目的

自 1992 年國內首次發現輻射屋後，原能會對於在居住期間任 1 年其年劑量達 5 mSv 以上的居民，安排做健康檢查，截至 2011 年 10 月為止，原能會共計完成 10,351 人次。

對於居住在輻射屋接受低劑量游離輻射的健康影響，因係國際之首例，輻射曝露與健康效應之關聯分析，在學術上極具研究價值。可藉此研究探討輻射屋居民長期以來接受之輻射劑量與健康效應之關聯性。過去國內之長期低劑量的輻射曝露對癌症的影響，研究結果莫衷一是，學者也各持不同觀點，然而長期低劑量的輻射曝露所產生健康效應為何，仍是國際間輻射專家所關注的。因此如何突破過去研究上的限制，發展新的分析策略，開發創新思維，提昇研究價值，提供國內及國際間之參考，為主管機關及國內學者專家之當務之急。有鑑於此，建立完整且更新的輻射曝露劑量資料與健康效應資料，有效收集與癌症發生相關之干擾因素，重新推估長期低劑量曝露對健康的影響，是本計畫最為主要之目標。以下依全程計畫之目標、分年計畫之目標分述之：

全程計畫之總目標

整合輻射屋居民接受輻射曝露的情形、健檢結果及國人癌症登記檔等資料，定期就健檢之結果進行流行病學調查與分析，研究目標如下：

- 一、基本人口特性、健康型態及風險認知調查分析。
- 二、血液學調查及分析。

- 三、游離輻射劑量與健康之關聯分析。
- 四、癌症發生分析。
- 五、癌症趨勢分析。

分年計畫之目的

第一年之工作項目

- 一、蒐集並整理國內外相關研究學術論文及資料，以瞭解目前國內外對此議題之研究狀況。
- 二、進行居民問卷調查以蒐集本計畫所需資料
 - (一)研訂問卷題目
 - (二)彙整問卷及完成統計分析
- 三、建立各項資料庫
 - (一)完成居民居住歷史與劑量評估資料庫
 - (二)完成居民歷年健檢資料庫
 - (三)完成建物輻射劑量與居民健檢資料比對資料庫
 - (四)完成居民癌症死亡之資料庫
- 四、博碩士生培育至少 3 人

第二年之工作項目

- 一、建立各項資料庫
 - 完成居民癌症死亡與發生之資料庫
- 二、進行流行病學調查及研究
 - (一)建立最適化之流行病學研究模式，以評估輻射劑量與健康效應之關係。
 - (二)進行各項資料之統計分析，以評估居民因輻射曝露而罹癌之發生率與相對風險評估。
 - (三)對可能影響罹癌之各項干擾因子，利用「二階段抽樣」的設計加以探討分析。

三、博碩士生培育至少 3 人

四、完成二篇 SCI 論文投稿

五、提出對輻射屋居民長期健康照護建議

『輻射屋居民流行病學調查及研究』委員會的設立

由於本計畫涉及之專業領域廣泛，非單一專業所能獨立完成，基於科技整合的考量，成立一個專業委員會，透過國內具有專業經驗之保健物理學家、環境與職業病學家、流行病學家、生物醫學統計專家、腫瘤學家的科際整合，形成一個完備的專業團隊，並定期開會討論，提供具體研究建議，分享學術研究經驗，使本計畫之研究結果更臻於完善。本委員會的主要成員及執掌如下：

1. 計畫主持人：負責統籌研究團隊各項事宜，包括研究設計與規劃；研究人力的安排與調度；研究預算的規劃與財務的應用；邀集國內具有專業經驗的學者專家進入研究團隊，以分享專業知識及經驗交流；擬定計畫執行流程；定期召開專業委員會；督核計畫執行進度；進度報告等。
2. 諮詢委員：自國內學術機關及相關之政府部門，邀請具有專業經驗之保健物理學家、環境與職業病學家、流行病學家、生物醫學統計專家、腫瘤學家擔任諮詢委員。其主要執掌為以其獨特之專業，對本計畫各階段執行成果的不足之處，給予適切與專業之建議，俾使計畫順利進行，且達專業之要求。
3. 顧問委員：自國內學術機關及相關之政府部門，邀請具有專業經驗之保健物理學家、環境與職業病學家、流行病學家、生物醫學統計專家、腫瘤學家擔任顧問委員。其主要執掌為以其獨特之專業，參與本計畫之專業討論，並提供專業之知識與經驗，使輻射保健與防護之相關知識能傳承與交流，使本研究團隊達到更為專業之要求。

4. 協同主持人：以其專業知識進行本計畫之文獻回顧、研究設計、統計分析、以及督導研究確實執行。
5. 研究人員：協助研究計畫執行、文獻回顧、資料處理及分析，並接受指導委員之督核及顧問委員的專業指導。
6. 專任研究助理、兼任研究助理：協助研究計畫執行、文獻回顧、資料處理及分析，並接受指導委員之督核及顧問委員的專業指導。
7. 訪視人員：接受專業訪視訓練，完成問卷訪視。

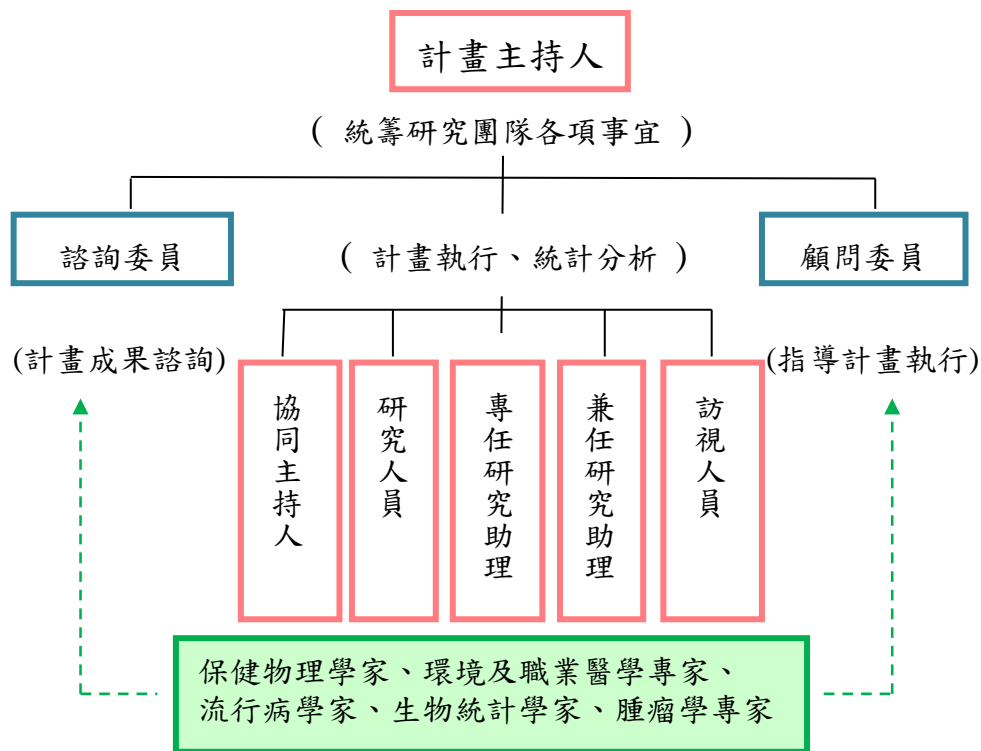


圖 1、「輻射屋居民流行病學調查及研究」委員會

透過專業委員會的組織與研究團隊中各成員之分工，以完成本計畫之全程目標及各分年目標，並使對輻射防護專業有興趣的博碩士研究生在完備的專業團隊下接受充實的栽培教育，以期為國內培育本領域未來之專家學者。透過科技的整合，能夠提供學術上的創新思維與見解，而開發新的研究與分析模式，包括評估輻射劑量的適切性、干擾因子的定義與收集、流行病學研究模式的發展與評估等，特別是本計畫採用二階段抽樣的分析方式，控制過去研究尚未

考量之干擾因子，使研究結果更為準確可靠，該模式的執行必需具備嚴謹之流行病學及統計學之觀念的整合，方可突破過去針對長期低劑量率之輻射效應研究的分析瓶頸與限制。本計畫最終目標乃提出更加符合國際認可之研究成果，並發表到國際重要之期刊中，以供各國從事輻射防護之組織、學術團體及政策擬定部門參考。此外，並能對國內輻射屋居民之長期健康照護提供適切及務實的建議。

表 1、「輻射屋居民流行病學調查及研究」委員名單

諮詢委員		顧問委員	
彭汪嘉康院士	萬芳醫院癌症中心主任/ 雙和醫院榮譽副院長兼癌症中心主任	董傳中教授	長庚大學 醫學影像暨放射科學系
陳建仁院士	中央研究院 基因體研究中心	程毅豪教授	中央研究院 統計科學研究所
周碧瑟教授	國立陽明大學 公共衛生學科暨研究所	陳建豪博士	以斯帖統計顧問股份有限公司
邱弘毅教授	臺北醫學大學 公共衛生學系		
李若燦處長	原能會輻防處		
游麗惠副署長	衛生福利部國民健康署		

參、研究方法

一、研究對象

曝露組：

(1)曾居住於輻射污染建築物之居民；(2)曾受輻射污染之校園學生；(3) 輻射辦公室或工作場所之雇主或員工。

對照組：

輻射污染建築物分布之縣市(包括台北市、新北市、基隆市、桃園縣、彰化縣、新竹縣市)的一般居民。(對照組係由配對方式產生，詳細之配對方式請參考第 100 頁之說明)

二、研究設計

本計畫之研究型態為回溯性世代研究(retrospective cohort study)，追蹤時間為曝露在輻射污染當下至今 (1982 年至 2011 年，約 30 年)。並利用戶籍資料建立輻射家戶的世代資料，以健檢申請名單確認未設籍輻射屋的租屋或寄住者名單；以輻射屋污染學校所提供之學籍資料以及教師名單確認受曝露的教職員以及學生世代資料，有一所學校資料來自原能會所提供之輻射健檢申請名單；以經濟部商業司的資料庫確認曾在輻射建物辦公或從事生產工作的公司行號或機構名稱，再與勞保局的資料庫串檔，以確認在輻射辦公室或工作場所受輻射污染的雇主或員工世代資料，根據以上的資料收集與整合確認不同世代的名單。透過回溯性地觀察，以確定輻射污染建築物居民之輻射劑量是否造成健康危害，特別是癌症的發生及死亡。

過去的研究並未控制生活型態、家族史、工作史等對癌症的影響，為控制這些干擾因子，本研究在研究設計上採取二階段抽樣研究法(two-stage sampling approach)。第一階段以輻射曝露居民與對照組的基本資料(性別、年齡、行政區、遷入時間、追蹤時間)串聯健保資料庫、癌症登記檔、死亡檔以計算兩組癌症的相對風險。由於無法從資料庫中取得個人的生活型態、家族史、工作史等資料，本研究第二階段以抽取部份研究對象的方式，對輻射屋居民以及對照組

進行問卷訪視，以評估干擾因子的影響。當完成第一階段與第二階段的風險推估，再以模式綜合計算兩階段的回歸係數與回歸係數的標準誤，即完成輻射屋居民的癌症風險評估，且達到校正干擾因子的目的。

三、研究架構

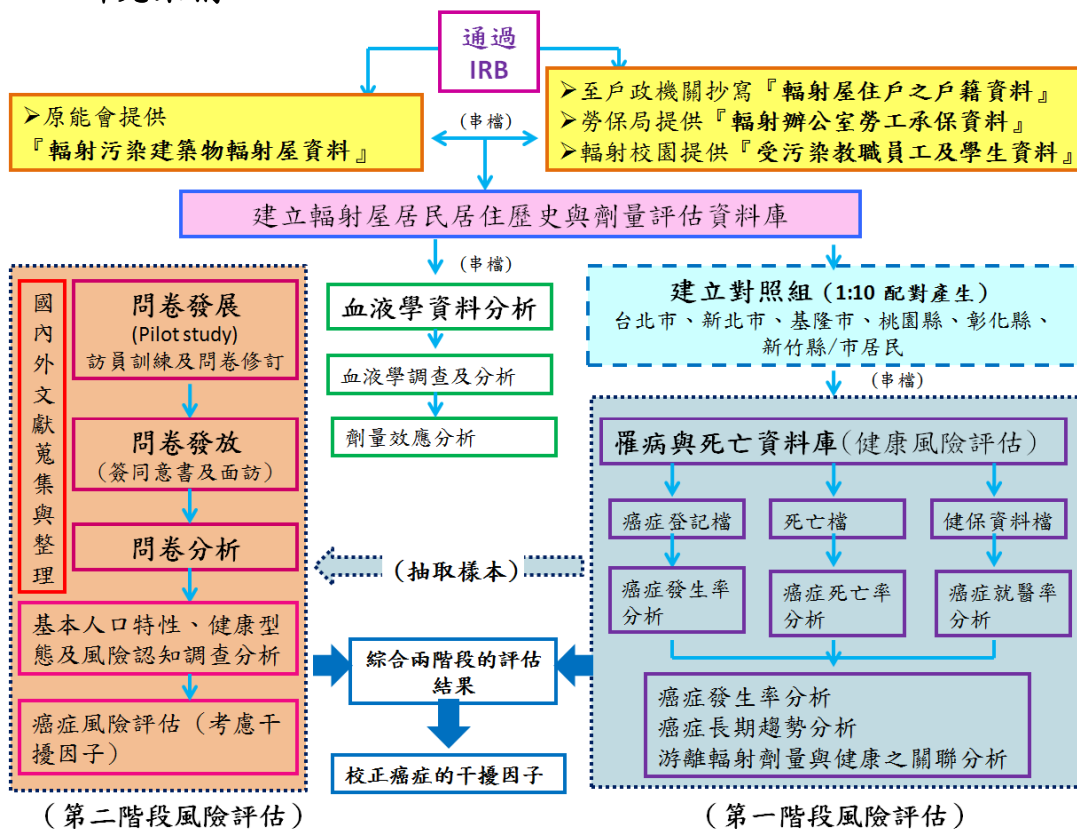


圖 2、研究架構圖

四、資料來源

1. 建築物輻射劑量資料(原能會提供的數據)：房子的幾何結構、家具配置、表面劑量率、特定點(沙發、床、餐桌、書桌等)、空間點(梅花陣五點)位置的曝露率，偵測時間等。
2. 健檢資料(原能會提供的數據)：根據原能會所有之輻射屋居民健檢報告所建立之個人基本資料、輻射屋居住資料、健康檢查項目(包括血液檢查、甲狀腺檢查、血液生化檢查等)。
3. 戶政資料：為確認居住輻射屋的世代，本計畫以過去所建立的

1,660 戶輻射建物的門牌號碼進行戶籍資料的抄錄，將曾經設籍於輻射屋的民眾家戶資料抄錄出來。根據統計，戶籍資料分散在台北市的 12 個行政區、新北市的 10 個行政區、桃園縣的 8 個鄉鎮、基隆市的 4 個行政區、新竹縣竹北市及新竹市東區，分布範圍涵蓋北台灣的主要縣市。由於抄錄的工作艱鉅繁重，必須確認工作流程與抄錄的人員訓練是否確實，本計畫以台北市大安區戶政事務所作為訓練場地，先訓練本研究之研究助理，建立抄錄表格與標準流程後，隨後招募抄錄人員，再至輻射屋所在之行政區進行電腦與簿業資料的抄錄，以避免資料建立的偏誤，資料涵蓋 1982 至 2011 年的戶籍資料。

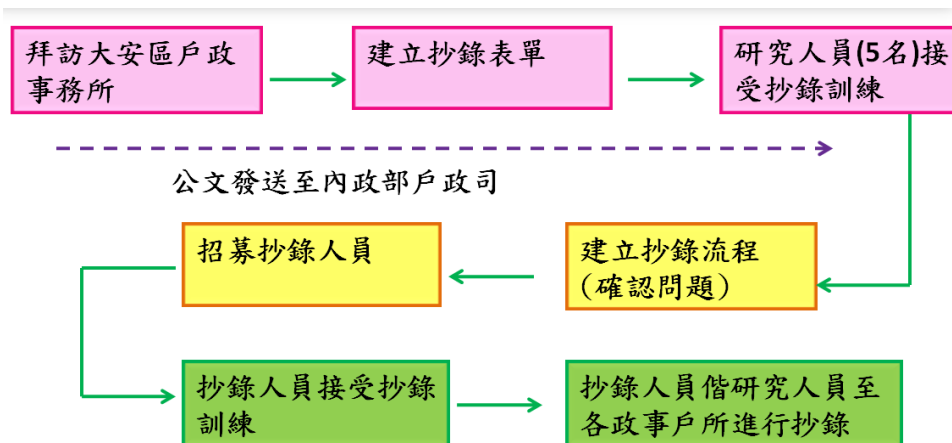


圖 3、戶政資料抄錄工作流程

4. 未設籍之住戶：根據向原能會申請輻射健檢之文件與公文整理出。
5. 輻射校園學生：根據向原能會申請輻射健檢之文件與公文整理出或向學校申請受污染之師生名單。
6. 輻射辦公室之僱主與勞工：以污染建物門牌向經濟部商業司申請曾在此設立登記的公司行號之資料比對，再以公司行號之統一編號向勞保局申請承保資料的串檔。
7. 衛生福利部死亡檔：分析變項包括個人基本資料（性別、年齡、縣市及鄉鎮市區代碼）、死亡時間、及死亡原因（國際疾病分類第 9 版與第 10 版、基本分類碼）。
8. 國民健康署癌症登記檔：分析變項包括個人基本資料（性別、年

齡、縣市及鄉鎮市區代碼)、發生時間、及癌症別(ICD-O 編碼; 含解剖學及形態學編碼)。

9. 中央健保署門診及住院資料檔：資料檔名稱為「門診處方及治療明細檔」、「住院醫療費用清單明細檔」、「重大傷病檔」、「承保資料檔」。分析變項包含個人基本資料(性別、年齡、縣市及鄉鎮市區代碼)、疾病診斷碼、手術碼、就醫日期等。

五、干擾因子的建立與問卷訪談

問卷發展的目的控制在於可能的干擾因子，2011 年度已發展之問卷內容共 3 個版本，針對(1)一般家戶、(2)台北市立○○國小、(3)彰化○○幼稚園。受訪對象如下：

曝露組：(1)在台大接受輻射健檢之輻射屋家戶(以家訪為主)、(2)在仁愛醫院以及彰化基督教醫院接受輻射健檢之台北市立○○國小、彰化○○幼稚園學生。

對照組：仁愛醫院與彰化基督教醫院之一般健檢、勞工健檢、老人健檢民眾。

問卷內容：

1. 生活起居活動記錄：一天 24 小時的活動與活動空間。
2. 居住歷史：輻射屋原地址、遷入遷出日期、一年居住幾天、平均一天居住幾小時、輻射屋居住現況(空置、現仍居住、出租、原能會收購等)、輻射屋處理現況(加屏蔽、抽鋼筋、重新裝潢等)。
3. 基本資料：性別、年齡、教育程度、收入、婚姻狀況。
4. 職業曝露：工作性質有無特殊危害作業；是否有輻射曝露或其他與癌症發生有關之危害作業、職業類別與環境中危害物質。
5. 國外航班飛行紀錄：目的為控制宇宙射線之干擾。
6. 個人習慣：抽菸、喝酒、運動、飲食習慣、作息等。
7. 生育狀況(早產、流產、低體重、畸胎等)。
8. 最近一年之身體狀況、生活品質量表(輻射導致的生活影響及壓力)。

9. 輻射風險認知調查。

六、曝露資料的建立

(一)居民個人曝露資料重建

1.輻射屋曝露資料：

- (1)1,898 名符合健檢資格者之輻射污染建物資料：這些居民來自 250 戶輻射污染建物，以及彰化縣○○幼稚園。
- (2)1,660 戶輻射污染建物資料及部分建物改善施工記錄：資料中包含輻射屋代號、輻射屋地址、遷入時推估劑量、發現時劑量、建物改善施工記錄等，戶籍抄錄的門牌號碼即以此檔作為基準，進行資料的抄錄。
- (3)1,660 戶特定點劑量率圖：資料檔以掃描過之圖檔方式儲存，資料檔中包含有輻射校園、輻射辦公室或住家之輻射年劑量及室內各特定點的劑量率(單位：毫西弗/每小時)、以及改善施工前後之劑量，資料內容有不同格式及版本，以及不同單位之劑量，輸入電腦的過程較為困難，需要依標準程序做人為判斷。

2.輻射屋資料的分析變項

輻射屋資料的分析變項包含 3 個部分：建物基本資料、劑量評估資料、以及改善施工資料等，詳細的變項說明如圖 4 之說明。學校、辦公室與住家的資料格式不一致，而分開建置檔案。

建物基本資料	劑量評估
輻射屋代號, 建物地址, 所有權人	1.發現時之年劑量, 2.降至5毫西弗,1毫西弗日期, 3.遷入第1年之劑量, 4.遷入日期, 5.偵測日期 6.較常滯留生活特定點劑量 客廳、沙發、臥室、床鋪、 其他 (書桌椅, 餐桌椅, 陽台, 浴室馬桶, 澡盆, 廚房, 爐台前)
改善施工	
1.改善項目 (抽換鋼筋, 局部抽換, 安裝鉛屏蔽, 移除建物, 清除污染源, 逕行抽換鋼筋, 原能會價購) 2.改善施工日期 3.施工後年劑量 4.至指定日期之劑量(本研究之資料分析日)	

圖 4、輻射屋資料的分析變項

3.輻射劑量的計算

根據董傳中教授的建議，輻射曝露的重建採取以下方式重新計算：

- (1) 以原能會所測得的特定區域輻射劑量率之平均值、最大值(worst condition)及最低值換算曝露劑量，另再修正各職業別之生活型態佔用因數。
- (2) 以問卷方式推估不同年齡、職場之輻射屋居民在輻射屋中一天之活動時間(生活型態)，以推估每日可能之曝露劑量。
- (3) 考慮鈷六十的半衰期。
- (4) 考慮污染建物改善的情形與改善後劑量。
- (5) 扣除背景值。
- (6) 考慮污染建物的使用目的，佔用因子則不同。

本研究的居家生活空間佔用因子之調查，將不同職種的人分為學生、待業者、退休或家管、有工作者。為了收集不同職種的人一天 24 小時待在家中的時間，以及在不同空間的佔用因素，則透過問卷來收集。在問卷的設計中，為避免回憶偏差(Recall bias)的產生，要求所有受訪者填答 2012 年平常日的居家生活狀況，曝露組與對照組皆可回答此題，目的為收集 2012 年一般民眾的生活佔用因素。由於調查時間是 2012 年的居家生活狀況，曝露組之受訪者不會刻意針對家中受污染的空間而填寫較長的停駐時間，故曝露組與對照組的填答狀況會一致。

除此之外，隨著輻射屋居民的年齡增長，在家中的時間也會不一樣，本研究依照居民不同時期的年齡，以及在家中的停駐時間重建每個人的輻射累積曝露劑量。由於不同年代的生活型態不同，現在所測量的生活空間佔用因素，是否仍與過去相同，是本研究需要考慮的。根據本計畫的問卷分析結果，一天 24 小時在家的時間會隨著年齡改

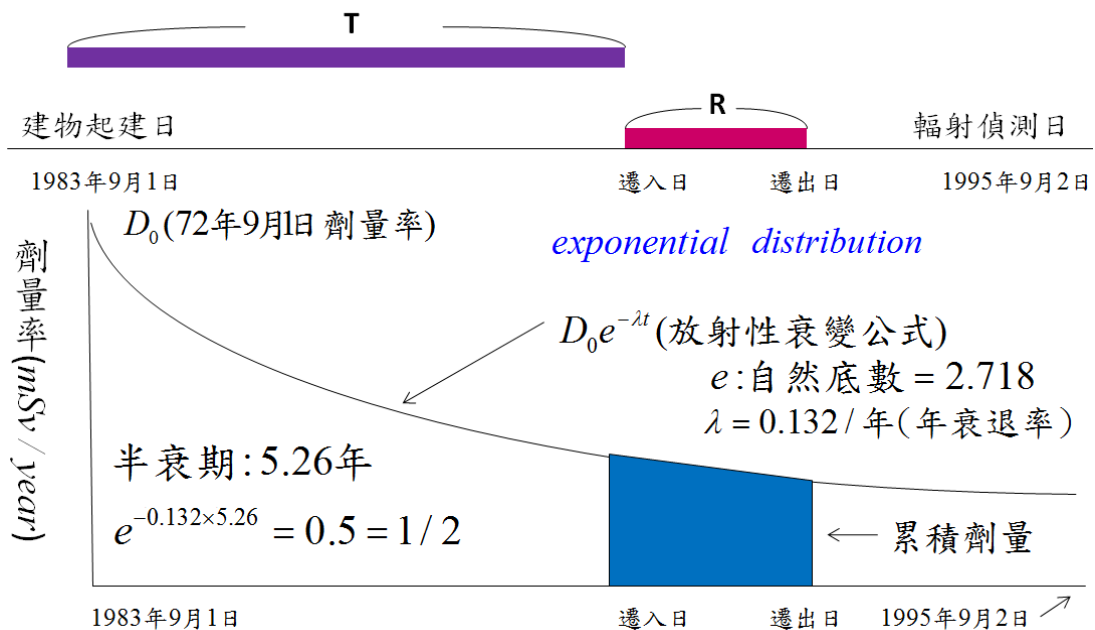
變，幼童與老人的居家時間最長，學生與青壯年較短，因此在輻射曝露評估時必須考慮不同年齡的居家停駐時間，並回推輻射屋居民在不同年齡時的居住時間以及空間佔用因素。

由於輻射曝露劑量的高低會影響健康效應的評估，若劑量高估，健康風險效應將被稀釋；若劑量低估，健康風險效應則被高估，因此同時採用特定區域輻射劑量率之最小值、平均值以及最大值推估輻射累積劑量，以比較三種劑量在癌症風險評估的差異。

4. 累積曝露劑量的計算公式

(1) 輻射屋家戶

A. 放射線衰變公式(為指數分配)



以 SNO=01119573 的污染建物為例

$$D_d (\text{偵測日 } 1992 \text{ 年 } 7 \text{ 月 } 31 \text{ 日 年劑量率}) = 10.54 (mSv/y)$$

根據放射線衰變公式： $e^{-\lambda t}$

$$\text{今日劑量率： } D_{\text{Today}} = D_d e^{-\lambda t} = 10.54 \times e^{-0.132(\text{今日}-\text{偵測日}/365.24)} = 0.783727 (mSv/y)$$

$$1982 \text{ 年 } 1 \text{ 月 } 1 \text{ 日 劑量率： } D_0 = D_d e^{-\lambda t} = 10.54 \times e^{-0.132(1982 \text{ 年 } 1 \text{ 月 } 1 \text{ 日}-\text{偵測日}/365.24)} = 42.59 (mSv/y)$$

B. 累積曝露劑量公式

(A) 依輻射屋興建時的年劑量作為參考點

$$\int_{T_1}^{T_2} D_0 e^{-\lambda(t-T_0)} dt = D_0 e^{\lambda T_0} \int_{T_1}^{T_2} e^{-\lambda t} dt = D_0 e^{\lambda T_0} \left(-\frac{e^{-\lambda}}{\lambda} \Big|_{T_1}^{T_2} \right) = \frac{D_0 e^{\lambda T_0}}{\lambda} (e^{-\lambda T_1} - e^{-\lambda T_2}) = \frac{D_0 e^{-\lambda(T_1-T_0)}}{\lambda} (1 - e^{-\lambda R})$$

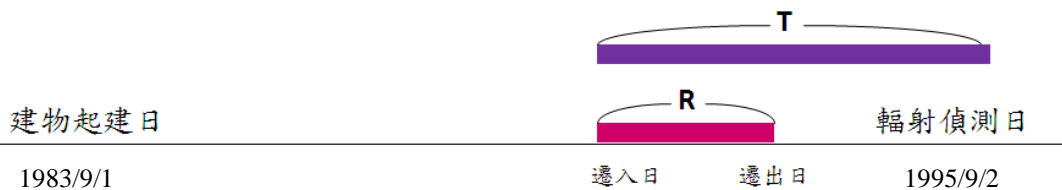
$$\approx \frac{D_0 e^{-\lambda(T_1-T_0)}}{1 - e^{-\lambda}} (1 - e^{-\lambda R})$$

其中： D_0 = 評估輻射屋興建時的年劑量

$T_1 - T_0$ = 遷入日期 減 輻射屋興建日期

R = 個人於輻射屋居住時間(年)

(B) 依輻射偵測日的年劑量作為參考點



$$\int_0^R D_d e^{-\lambda(t-T)} dt = D_d e^{\lambda T} \int_0^R e^{-\lambda t} dt = D_d e^{\lambda T} \left(-\frac{e^{-\lambda}}{\lambda} \Big|_0^R \right) = \frac{D_d e^{\lambda T}}{\lambda} (1 - e^{-\lambda R})$$

其中： D_d = 輻射偵測日的年劑量

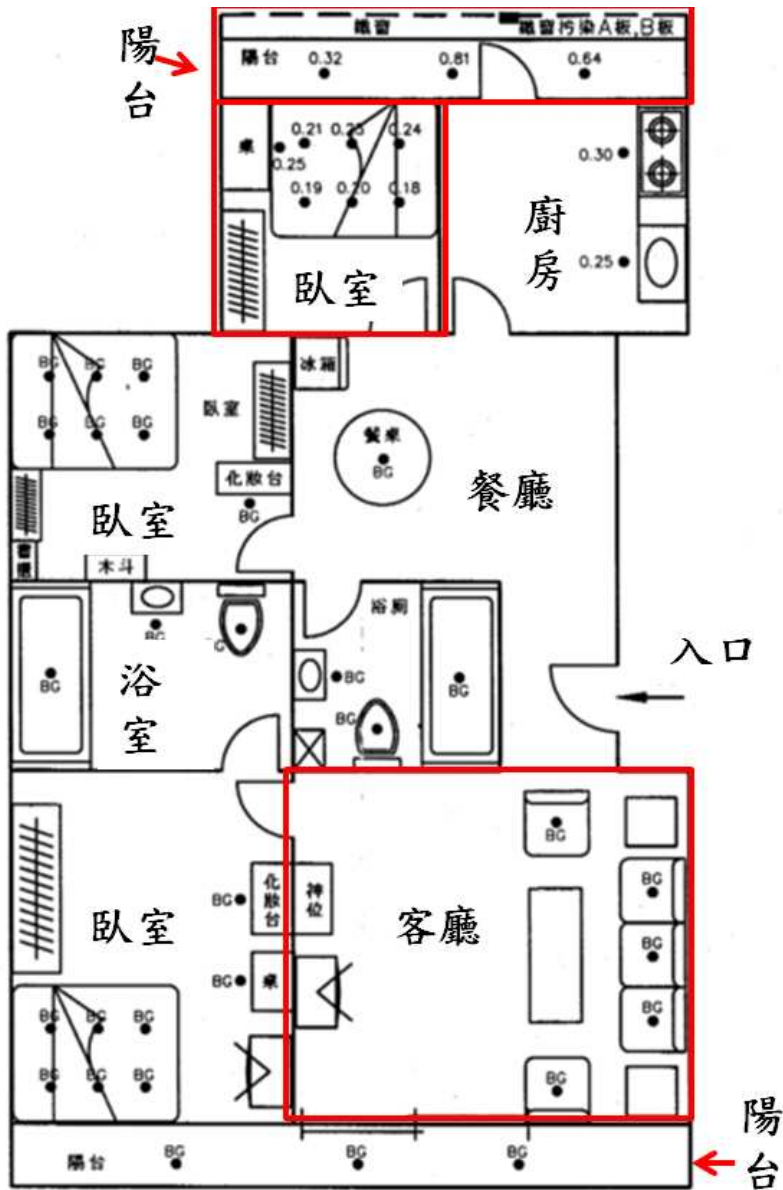
T = 輻射偵測日 減 遷入日期

R = 個人於輻射屋居住時間(年)

(二) 評估的建築物種類

受到輻射鋼筋污染的建築物種類包括一般住家、校園教室、辦公室，由於建築物種類不同，輻射曝露劑量重建的評估方式亦不同，因所處之空間(如下圖 5 至圖 7 所示)以及佔用因素不同。

[圖例 1]



● 測量結果

平均背景值：0.10 ($\mu\text{Sv/hr}$)

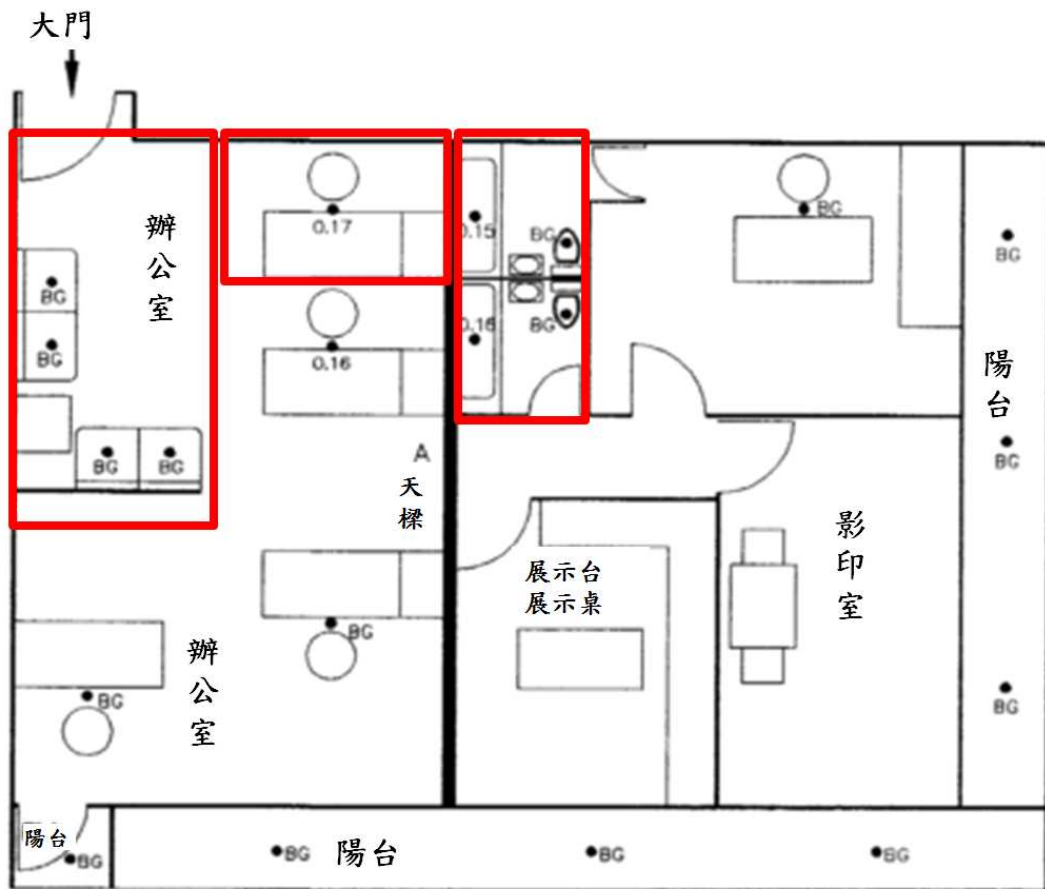
背景值(BG)：0.08~0.15 ($\mu\text{Sv/hr}$)

特定點最高測量率：

- 客廳：BG ($\mu\text{Sv/hr}$)
- 臥室：0.25 ($\mu\text{Sv/hr}$)
- 其他：0.81 ($\mu\text{Sv/hr}$)

圖 5、輻射劑量的評估—住家

[圖例 2]



● 測量結果

平均背景值：0.11 ($\mu\text{Sv/hr}$)

背景值(BG)：0.08~0.15 ($\mu\text{Sv/hr}$)

特定點最高測量率：

- 工作位置：0.17 ($\mu\text{Sv/hr}$)
- 休息區之座椅：BG ($\mu\text{Sv/hr}$)
- 其他：0.16 ($\mu\text{Sv/hr}$)

圖 6、輻射劑量的評估—辦公室

[圖例 3]

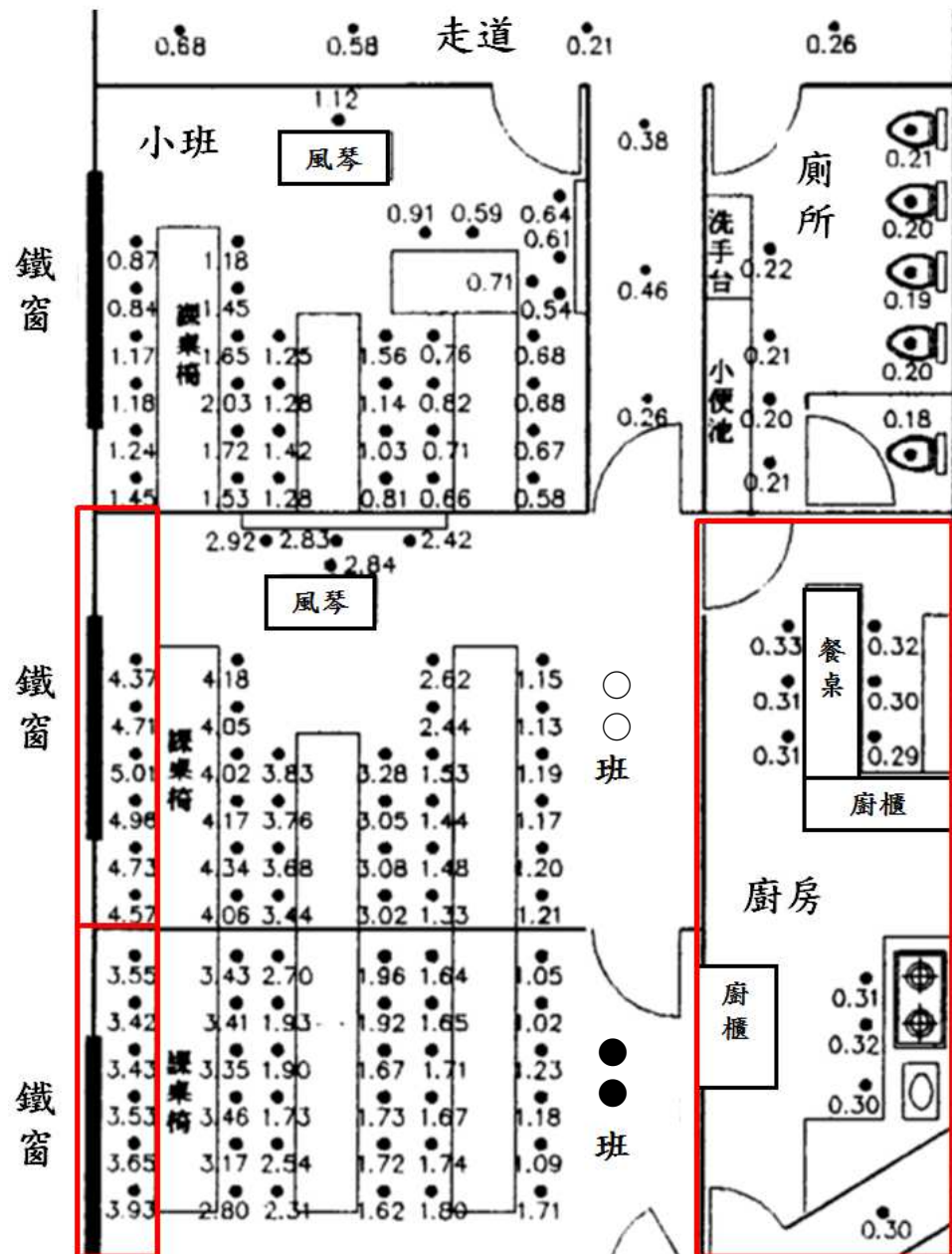


圖 7、輻射劑量的評估—學校

● 測量結果

平均背景值：0.10 ($\mu\text{Sv/hr}$)

背景值(BG)：0.08~0.12 ($\mu\text{Sv/hr}$)

特定點最高測量率：

○ ○班鐵窗：5.01 ($\mu\text{Sv/hr}$)

● ●班鐵窗：3.93 ($\mu\text{Sv/hr}$)

○ 廚房：0.33 ($\mu\text{Sv/hr}$)

七、癌症之最短潛伏期與發生率之計算

1. 觀察人年數 (person-years of observation) :

輻射屋的興建時間為 1982 至 1984 年間，但居民遷入時間不一，本研究以居民遷入輻射屋的時間起點作為的追蹤起點，以發生癌症或因癌症死亡的時間，或研究觀察終止日(2012 年 10 月 31 日)為追蹤結束時間點，根據每人的追蹤時間建立曝露族群的觀察人年數。

2. 癌症之最短潛伏期 (Cancer incubation period)

從輻射開始曝露到發生癌症的時間稱之為潛伏期。國際放射防護委員會(International Commission on Radiological Protection) 的第 60 號報告(ICRP-60; 1990)指出，白血病的平均最短潛伏期為 2 年，其他癌為 10 年。建議納入分析的人年數、癌症發生個數，需要考慮輻射曝露到發生癌症的最短潛伏期。本研究採用 ICRP 的建議，白血病的 shortest 潛伏期為 2 年，實體癌以 10 年為最短潛伏期。

3. 癌症發生人數

利用輻射屋世代與對照組世代的身份證號(ID)與癌症登記檔、健保資料庫和死亡檔串檔，得到癌症罹病與死亡人數(排除小於潛伏期之個案)。

白血病依細胞類型主要分為淋巴性白血病及骨髓性白血病，包括急性淋巴性白血病 (Acute lymphoblastic leukemia; ALL)、急性骨髓性白血病 (Acute myelogenous leukemia; AML)、慢性淋巴性白血病(Chronic lymphocytic leukemia ; CLL)、慢性骨髓性白血病(Chronic myelogenous leukemia; CML)，急性骨髓性白血病和慢性骨髓性白血病常見於成人，兒童中較常見的是急性淋巴性白血病。其中，根據

國際衛生組織(World Health Organization; WHO) 2013 年發佈之報告指出，慢性淋巴性白血病的發病原因與輻射曝露無關，在本研究中將慢性淋巴性白血病排除在白血病的定義。

4. 計算癌症粗發生率 (Crude Incidence Rate)

$$R = \text{癌症發生人數} / \text{族群人數} \times 10^5$$

根據以上公式，本研究的粗發生率為每十萬人中(僅有觀察人數而非觀察人年數)，有多少人發生癌症。由於尚未調整族群中的人口結構(性別、年齡)，故為粗發生率。

5. 計算癌症發生密度 (Incidence Density; ID)

$$ID = \text{癌症發生人數} / \text{族群的總追蹤人年} \times 10^5$$

依據以上公式可知，發生密度的定義為追蹤每十萬觀察人年(分母為觀察人年數)，有多少人發生癌症。流行病學上稱族群的追蹤人年為具罹病風險期間 (time at risk)，即群體從曝露於風險到發病所經歷的時間總合。

6. 癌症發生密度的描述

按性別、年齡、曝露劑量、曝露時間、曝露世代、遷入年、居住地等分組描述之。

八、輻射曝露之癌症風險與劑量效應評估的統計方法

為了控制生活型態、家族史、工作史等干擾因子，本研究採取二階段抽樣研究法。在第一階段中，已收集研究群體的基本資料(性別、年齡、居住地)、輻射曝露劑量、曝露時間、追蹤觀察時間。利用這些資料，我們進行回溯性的世代研究，觀察起點為受輻射污染的開始日，再追蹤輻射曝露對癌症發病的影響，主要的風險指標為發生密度(Incidence Density Ratio; IDR)、相對危險性(Relative Risk; RR)、額外增加風險(Excess Relative Risk; ERR)等。

在第二階段中，我們抽取部份樣本進行輻射屋居民流行病學問卷調查，以收集生活型態、家族史、工作史等因子的資料，這部份的問卷稱為『確證樣本』。再以這些問卷資料，校正第一階段未納入這些因子的分析結果。為了提高輻射屋居民的癌症問卷調查數，第二階段的樣本選取是非隨機的，而風險評估指標為勝算比(Odds Ratio; OR)。OR是流行病學上常用的風險評估指標，在研究設計上樣本無須隨機，且在缺乏母群體的情況下依舊能計算指標，因此在第二階段的分析中，將利用 OR 說明在可能的干擾因子存在下，曝露組相對於對照組的癌症風險，其中所使用的風險模式為羅吉斯回歸(Logistic regression)。在第一階段的分析中，要同步建立未校正生活型態、家族史、工作史等干擾因子的回歸模式，再利用二階段回歸模式中的回歸係數、回歸係數之標準誤及樣本數來校正第一階段的分析結果。其數學公式如下：

$$B_a = B + B_1 + \ln\left(\frac{n_2 n_3}{n_1 n_4}\right)$$

$$VB_a = VB + VB_1 - \frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_3} - \frac{1}{n_4}$$

$$OR_a = \exp(B_a)$$

$$lowerCI = \exp(B_a - 1.96\sqrt{VB_a})$$

$$upperCI = \exp(B_a + 1.96\sqrt{VB_a})$$

B :問卷之回歸係數； B_1 :第一階段之回歸係數； B_a =校正干擾因子之回歸係數
 VB :問卷之回歸係數變異數； VB_1 :第一階段之回歸係數變異數；
 VB_a :校正干擾因子之回歸係數
 n_1 :問卷中曝露組得癌症的人數； n_2 :問卷中曝露組未得癌症的人數；
 n_3 :問卷中對照組得癌症的人數； n_4 :問卷中對照組未得癌症的人數
 OR_a :已校正干擾因子之勝算比(Odds Ratio; OR)
 $lowerCI$: OR_a 的95%信賴區間下限； $upperCI$: OR_a 的95%信賴區間上限

以下為各項風險評估指標的定義與計算公式：

1. 發生密度比(Incidence Density Ratio; IDR)

發生密度比為曝露組與對照組的發生密度比值，說明兩組發生癌症的風險是否不同。當 $IDR=1$ ，表示兩組的發生密度相同；當 $IDR<1$ ，表示曝露組的發生密度小於對照組的發生密度；反之，當 $IDR>1$ ，表示曝露組的發生密度大於對照組的發生密度，IDR 的 95%信賴區間說明 IDR 的真值之可能範圍，IDR 及 95%CI 的公式如下：

$$IDR = \frac{ID_1}{ID_0} = \text{曝露組的發生密度} / \text{對照組的發生密度}$$

$$IDR \text{ 的 } 95\% \text{ 信賴區間公式} = IDR \times e^{\pm 1.96 \sqrt{\frac{1}{I_0} + \frac{1}{I_1}}}$$

2. 波瓦松對數線性模式 (Poisson Log-linear Model)

$$RR = \frac{\lambda_{d=1,x}}{\lambda_{d=0,x}} = \frac{\exp\left(\beta_0 + \beta_a + \sum_{j=1}^p \beta_j x_j\right)}{\exp\left(\beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j x_j\right)} = \exp(\beta_a) = \frac{\text{曝露組的癌症發生率}}{\text{對照組的癌症發生率}} = \text{癌症發生率比}$$

波瓦松對數線性模式簡稱波瓦松回歸(Poisson Regression)，所產生的指標為相對危險性(Relative Risk; RR)，在本計畫，RR 用

來表示曝露組相對於對照組，在調整了干擾因子(性別、年齡、遷入時間、遷入年齡、居住地)後，曝露組的癌症發生率是對照組的幾倍。當 $RR=1$ ，表示兩組的癌症發生率相等；當 $RR<1$ ，表示曝露組的癌症發生率小於對照組的癌症發生率；當 $RR>1$ ，則反之。

RR 是癌症發生率比的點估計值，其真值(true value)的區間估計以 95% 信賴區間(Confidence Interval; CI)表示，意指在樣本大小相同的情況下，每 100 次的估計中約有 95 次所得的信賴區間會包含母群體的真值。若區間包含 1， RR 的真值可能為 1，則兩組的癌症發生率可能相等。若 95% CI 的上限與下限皆在 1 以下，表示曝露組的癌症發生率小於對照組的癌症發生率；反之，若 95% CI 的上限與下限皆在 1 以上，可說明曝露組的癌症發生率大於對照組的癌症發生率。

A. 依變項：癌症發生人數

B. 自變項：

(I) 輻射劑量：將累積曝露劑量(單位：mSv) 分成輻射曝露組與對照組，計算各組人數。

(II) 基本資料：性別、初次曝露輻射年齡、居住地。

3. 額外增加風險模式(Excess Relative Risk; ERR model)

$$ERR = \lambda_0(a, s, b)[1 + \rho(d)\varepsilon_R(s, e, a)] = RR - 1$$

$\lambda_0(a, s, b)$ Baseline (Zero dose) risk function (a age at risk; s gender and b birth cohort)

$\rho(d)$ Dose-response shape, e.g. linear, linear-quadratic, threshold,...

$\varepsilon(s, e, a)$ Effect modification function, e.g. age at exposure (IRPA 11th; 2004)

在劑量效應分析中，ERR 用來表示相對於基準值，當考慮了性別、曝露時的年齡等干擾因子後，劑量增加特定的單位時，額外增加的風險是多少？在組別間的比較分析中，ERR 用來表示相對於對照組，當考慮了性別、曝露時的年齡等干擾因子後，曝

露組比對照組額外增加的風險是多少？該公式符合 Poisson 分配，與 Poisson Regression 估計的關係為 $RR-1$ 。在劑量效應分析中，當 $ERR=0.5$ ，表示每增加 1 個單位的劑量，額外多出 50% 的罹癌風險。本計畫的 ERR 係以 Poisson Regression 估算出 RR 後，再以 $RR-1$ 估計 ERR，以說明當考慮了性別、曝露時的年齡、居住地區後，曝露組相對於對照組額外增加多少發生癌症的風險，或在曝露組中，劑量增加特定的單位時，額外增加的風險是多少。

在組別間的比較分析中，當 $ERR=0$ ，表示曝露組相對於對照組額外增加的癌症風險為 0；當 $ERR<0$ ，即曝露組相對於對照組額外增加的癌症風險比 0 為小，即曝露組的癌症發生率小於對照組的癌症發生率；當 $ERR>0$ ，則反之。

ERR 是癌症額外發生風險的點估計值，其 95% 信賴區間若區間包含 0，則曝露組相對於對照組額外增加的癌症風險為 0。若 95% CI 的上限與下限皆在 0 以下，表示即曝露組相對於對照組額外增加的癌症風險比 0 為小；反之，表示即曝露組相對於對照組額外增加的癌症風險比 0 為大。

6. 罹病比(Odds Ratio ; OR)

流行病學中為討論曝露與疾病的關係時，以罹病比(Odds Ratio ; O.R)說明兩者的相關，簡單的文字定義為「得病者有曝露的 odds(勝算)與沒得病者有曝露的 odds(勝算)之比值」。而勝算定義是「兩個機率相除的比值」，得病者有曝露的 odds(勝算)為得病且有曝露的機率÷得病且未曝露的機率，沒病者有曝露的 odds(勝算)為未得病且有曝露的機率÷未得病且未曝露的機率。公式的推演如下：

	E	\bar{E}	
D	a	b	$a+b$
\bar{D}	c	d	$c+d$

$$OR = \frac{\frac{\pi_1}{1-\pi_1}}{\frac{\pi_0}{1-\pi_0}} = \frac{\frac{a/a+b}{b/a+b}}{\frac{c/c+d}{d/c+d}} = \frac{a/b}{c/d} = \frac{ad}{bc}$$

E, \bar{E} 為曝露與未曝露； D, \bar{D} 為得病與未得病。

π_1, π_0 為有病者與沒病者的曝露機率。

a, b, c, d 為樣本數。

本計畫利用 OR 說明發生癌症與否和曝露輻射的相關強度。當 $OR=1$ ，表示發生癌症且有曝露輻射的勝算與沒發生癌症者且有曝露輻射的勝算相同，因此發生癌症與否和曝露輻射無關。 $OR<1$ ，表示癌症的發生與曝露輻射呈負相關，即曝露輻射的機會愈高，發生癌症的機會卻愈低；反之， $OR>1$ ，表示癌症的發生與曝露輻射呈正相關，即曝露輻射的機會愈高，發生癌症的機會也愈高。

若 OR 的 95% 信賴區間包含 1，表示發生癌症與否和曝露輻射無關；若 95% 信賴區間的上下限皆小於 1，表示發生癌症與否和曝露輻射為負相關，且負相關的程度有統計上的意義。反之，若 95% 信賴區間的上下限皆大於 1，表示發生癌症與否和曝露輻射為正相關，且正相關的程度有統計上的意義。本研究對 OR 的文字解釋為：發生癌症與未發生癌症的兩組間，受到輻射污染的勝算是幾倍，一般的報告以「風險」代替勝算一辭。

九、樣本數的估計

1. 以控制干擾因子為目的

表 2、樣本數的估計

	Cancer	Non-Cancer	Total
Exposure	60	180	240
Non-Exposure	180	180	360
Total	240	360	600

在第二階段問卷調查的部份，本研究採用的設計為平衡設計 (Balanced Design)，即先決定曝露組的癌症預期收案人數，再估計預期收案人數，扣除了曝露組得癌症的人數後，再將剩餘人數平均分配至(1)曝露組未得癌症；(2) 對照組得癌症；(3) 對照組未得癌症等 3 種情況，這種收集樣本的方法是最有效率(efficient)的方法 (Schaubel D; 1997)，但非隨機取樣。

表 2 曝露組罹癌的 60 人係根據 Hwang(2008)在台灣輻射屋事件中的調查，在 7,271 位輻射曝露的居民中，追蹤至 2005 年，確定為癌症者為 141 人，若依照 ICRP-60 的建議考慮平均最短潛伏期 (白血病 2 年，實體癌為 10 年)，僅剩 95 位罹癌居民。根據戶籍資料抄錄的結果粗估，本計畫 12,000 位輻射屋居民，約可得到 150 位癌症患者，願意填寫問卷者 60 人(拒訪率 60%)。而粗估的 600 人乃根據 Schaubel 的計算，在樣本估計的強度($1-\beta$)定為 0.9；干擾因子(以抽菸為例)存在下的 $OR=4.0$ ；干擾因子的盛行率為 10%； $\theta=6(\theta = P_{11}P_{00}/P_{10}P_{01}; 1,0$ 表是否有干擾因子或是否為曝露組, P 為盛行率)等條件下所估算出。其中香菸在全體癌症的族群可歸因危險分率 (Population Attributable Fraction ;PAF)，在男性為 85%，女性為 80%，香菸與癌症的關聯性很強，以此代替總體干擾因子(Parkin DM, 2011)。此外根據 Vaughan et al.(1995)研究發現，吸菸與鱗狀細胞癌 (squamous cell cancer) 的 $OR = 16.9(95\% \text{ confidence interval (CI) } = 4.1-69.1]$ ；吸菸與腺癌細胞癌 (adenocarcinoma cell cancer) 的 $OR = 3.4(95\% \text{ CI} = 1.4-8.0)$ (Cancer Epidemiol Biomarkers Prev March 1995 4; 85)，本研究採保守估計，以 $OR=4$ 代替。(見表 2)

2. 以空間佔用因素估算

在輻射曝露劑量的重建中，考慮到每個住戶在污染建物中的空間佔用因素不同，因此發展出 2012 年北台灣一般民眾「居家生活空間之佔用時間調查(問卷)」，以估計不同族群在家停駐的時間。本計畫以 100 年度收到的 330 份「輻射屋居民流行病學調查及研究(問卷)」的人口結構進行佔用因子問卷的樣本數推估。

假設估計的信賴係數 $100(1-\alpha)\%$ 的容忍度誤差為 d 以內，樣本數的估算公式為 $n = Z_{\alpha/2}^2 S^2 / (d^2 + (1/N)Z_{\alpha/2}^2 S^2)$ ，其中 N 為輻射屋居民的世代總人數，根據 100 年度計畫戶籍抄錄為 12,850 人。若 N 非常大， n 可簡化約為 $n_0 = Z_{\alpha/2}^2 S^2 / d^2$ 。 n 與 n_0 的關係為 $n = n_0 / (1 + n_0 / N)$ ，其中 $Z_{\alpha/2}^2 = 1.96$ ， $d = 0.05$ ， $S^2 = p(1-p)$ (林進田，1993)，而 $p =$ 不同族群所佔比例 \times 佔用因素。佔用因素係居家時間在 24 小時所佔的比例。

根據以上定義及公式得到以下推估結果，學生(大專生)需 26 人，待業需 12 人，退休或家管需 92 人，有工作(正常上下班)者 158 人，有工作(輪班或部分工時)者為 75 人，總計需要 363 人即符合統計上的顯著性要求。(見表 3)

表 3、以佔用因素推估不同族群人口的樣本數

族群	問卷資料		居家時間	佔用因素	p	q	s ²	n ₀	n
	n	%							
學生(大專生)	23	7.0	11.86	0.49	0.03430	0.96570	0.033124	26	26
待業	6	1.8	19.14	0.80	0.01450	0.98550	0.01429	12	12
退休或家管	61	18.5	17.74	0.74	0.13663	0.86337	0.117965	93	92
有工作(正常上下班)	176	53.3	12.78	0.53	0.28400	0.71600	0.203344	160	158
有工作(輪班或部分工時)	64	19.4	13.31	0.55	0.10756	0.89244	0.095987	76	75
合計	330							367	363

董傳中教授在過去估用因素的推估中使用 1,000 份問卷(董傳中, 2000)，本計畫於 101 年度收集 2,375 份估用因子問卷。

十、本計畫的特色

本計畫針對幾項過去國內輻射屋流行病學研究的缺失進行改善，並建立本計畫之研究特色，主要的三項缺失包括：(1)世代的建立、(2)曝露資料的建立、(3)研究設計。

1.世代的建立

過去的研究利用「輻射受害者協會/輻射安全促進會」等輻射屋居民所組成的自救會，建立 7,271 位輻射屋居民的世代名單，由於建立的世代不夠齊全，可能會有選擇性偏差(Selection bias)，特別是參與研究的居民之基本資料、健康狀況是否與未參加者不同，會影響分析的準確性。

針對此項，本計畫利用 1,660 戶原能會偵測到的輻射屋門牌號碼至輻射屋所在的戶政單位，逐戶地建立 1982 至 2011 年曾設籍於輻射屋的名單，本計畫完成台北市 12 個行政區、新北市 5 個行政區、桃園縣的 8 個鄉鎮、基隆市的 4 個行政區、新竹縣竹北市及新竹市東區的戶籍資料抄錄，完成設籍輻射屋居民世代名單 12,850 人。透過原能會提供的輻射健檢名單，建立未設籍輻射屋居民 270 人。此外本研究透過公文行文至輻射校園，收集到受輻射曝露之教職員工及學生 15,368 人，行文至經濟部商業司以及勞保局，收集到輻射辦公室人員 4,328 人，世代的建立較過去的研究完整。如表 4、

表 5 所示。

表 4、輻射屋世代的建立

對象	資料來源		說明
住戶 (屋數 1534)	戶籍抄錄名單		總共 12,850 人。
	健檢申請名單	≥5 毫西弗/年	原能會提供健檢申請名單 270 人。
學校 (屋數 10)	學校提供名單		國中名冊共 10,776 人； 高中/職名冊共 1,614 人； 大專名冊 2,291 人；
	健檢申請名單	≥5 毫西弗/年	幼托名冊共 687 人 (原能會提供健檢申請名單)
公司 (屋數 87)	勞保局提供名單		總共 4,408 人。
	健檢申請名單	≥5 毫西弗/年	原能會提供健檢申請名單 40 人。

註 1：4,408 人來自勞保局所提供的名單，40 人來自原能會健檢申請名單，故來自公司行號之僱主與勞工名單共有 4,448 人。

註 2：4,448 位勞工中有 120 位在輻射屋興建前即退保不再加保，在統計分析時已扣除。有部份輻射屋無法比對出住戶或勞工資料。

表 5、輻射校園的世代建立

行政區	學校	發現日期	發現劑量 (mSv)	改善日期	改善工程	是否提供學生名冊
台北市	國小	1995/3/8	0.00	--	--	劑量極低未發文
台北市	國小	1995/3/16	0.10	1996/8/6	移除建物	無法提供
台北市	高中/職	1995/3/1	0.06	1995/3/17	抽換鋼筋	無法提供
台北市	國中	1998/1/8	0.30	1998/3/6	裝屏蔽	提供教師學生名冊
新北市	大專	1994/8/22	0.07	--	--	提供學生名冊
台北市	大專	1995/3/28	0.22	1995/9/14	抽換鋼筋	無法提供
台北市	大專	1995/1/17	0.01	--	--	無法提供
彰化縣	幼托	1995/6/15	2.61	1995/6/15	移除污染源	資料來自原能會健檢申請文件
新北市	高中/職	1995/4/20	0.30	1999/12/12	移除建物	提供學生名冊
桃園縣	大專	1995/5/13	0.05	1995/7/5	抽換鋼筋	無法提供

□ 向經濟部商業司行文

- 申請在輻射地址曾經登記過的所有公司完整名稱、負責人、設立日期、**統一編號**、核准變更日期、地址等資料。
- 提供**436**個地址。
 - 公司資料185筆
 - 商號資料121筆

利用統一編號串勞保資料檔

□ 向勞保局行發文

- 申請雇主與勞工的姓名、ID、生日、**統一編號**、加退保日期、行業別代碼、性別。

本計畫依空間劑量率平面圖區分出 436 間建物可能為輻射辦公室或行號，並將地址行文經濟部商業司以提供曾經登記在該地址之公司及行號基本資料，再藉由統一編號請求勞保局協助串檔，以取得受污染之雇主及勞工資料，最後僅 87 間建物可串到勞工承保資料。

2. 曝露資料的建立

過去的相關研究團隊透過自行測量，或自輻射屋居民取得原能會的輻射曝露資料，由於無法取得完整資料，部份民眾的資料無法併入健康風險的評估中，可能會影響評估結果。

本計畫接受原能會提供完整之輻射曝露資料，資料中涵蓋特定點劑量、改善施工日期、施工後年劑量等。在曝露資料的分組上，自建物興建至今或至改善日為止，所有曾經受到輻射污染的居民、教職員工或學生，以及辦公室勞工都被定義為曝露組，本計畫共收集 32,662 位的輻射屋世代資料，同時再以輻射屋所在縣市的一般民眾作為完全無輻射鋼筋曝露的對照組，利用世代資料的建立，推估輻射與健康的劑量效應關係(Dose-response effect)。

3. 研究設計

過去國內輻射屋的流行病學研究採回溯性世代研究(Retrospective cohort study)，雖然已發展健康風險評估模式，但欠缺干擾因子的控制。本計畫特別針對此項發展新的研究模式，所使用的方法為二階段抽樣研究方法(two-stage sampling approach)，透過從世代中所抽出的一部分名單，建立確證樣本，並經由問卷得知暴露組與對照組在生活型態(抽菸、喝酒、運動、飲食等)、家族史、工作史等是否有差異，而控制干擾因子，並利用第二階段的分析結果調整第一階段的健康風險分析結果，而得到更準確的流行病學結果。

肆、主要發現

一、居民問卷調查

本計畫利用在台大、彰基、仁愛醫院參與輻射健檢的民眾進行問卷收案，收案對象包括輻射屋家戶、輻射辦公室人員、輻射校園之師生。並以前往三家醫院健檢的一般民眾作為對照組。

本計畫之問卷調查持續至 2012 年 10 月底結束，根據檢定力大於 0.9 以上的樣本數估計，曝露組與非曝露組之收案數至少為 600 人，最終收案人數為 1048 人，曝露組 415 人，對照組為 633 人，已超出預期收案人數。曝露組中，曾經就讀○○國小的學生有 69 人，○○幼稚園有 106 人。（見表 6）

表 6、問卷來源

資料來源	本研究小組	彰基醫院	仁愛醫院	總計
對照組	224	155	254	633
曝露組-居民	213		7	220
曝露組-國小	13		56	69
曝露組-幼稚園	3	103		106
曝露組-公司	20			20
總計	473	258	317	1048

表 7 為曝露組與對照組癌症問卷收案人數，收回的癌症種類以乳癌(20.37%)所佔比例最高，其次為甲狀腺(14.8%)；對照組癌症預期收案人數係根據 2008 年癌症登記檔之侵襲癌發生人數之比例估算之，最終收案人數超出預期收案人數。實際收案結果以乳癌(23.65%)所佔比例最高，其次為肝癌(13.85%)及結腸直腸癌(13.85%)。(見表 7)

為能收集到曝露組癌症家戶之問卷，本研究由原能會發函至所有輻射屋家戶中，告知民眾國衛院將派員前往關懷，藉由前往輻射屋家戶訪視結果得知罹癌之居民，同時藉此收集癌症家戶問卷，為避免不必要之誤解，擬出「輻射家戶問卷調查來電詢問相關問題之

說帖」。

經過一年的收案，以及與輻射屋家戶的互動，更加瞭解居民的想法與面對輻射屋的困境。

表 7、曝露組與對照組癌症問卷收案人數

癌症別	曝露組(n=415)			對照組(n=633)			對照組 預期人數		
	女	男	合計 n (%)	女	男	合計 n (%)	女	男	合計
口腔癌	1	1	2 (3.70%)	1	20	21 (7.09%)	1	11	12
子宮頸癌	2	0	2 (3.70%)	7	0	7 (2.36%)	4	0	4
甲狀腺癌	4	4	8 (14.81%)	5	3	8 (2.70%)	4	1	5
白血病	1	4	5 (9.26%)	4	2	6 (2.03%)	2	2	4
何杰金病	--	--	--	--	--	--	0	0	0
卵巢癌	--	--	--	4	0	4 (1.35%)	3	0	3
肝及肝內膽管	1	4	5 (9.26%)	11	30	41 (13.85%)	8	15	23
乳癌	11	0	11 (20.37%)	69	1	70 (23.65%)	21	0	21
肺癌	1	4	5 (9.26%)	21	17	38 (12.84%)	9	12	21
非何杰金淋巴瘤	0	3	3 (5.56%)	2	5	7 (2.36%)	2	2	4
胃癌	0	1	1 (1.85%)	3	10	13 (4.39%)	3	5	8
食道癌	--	--	--	0	8	8 (2.70%)	0	4	4
胰臟癌	0	1	1 (1.85%)	0	2	2 (0.68%)	2	2	3
結腸直腸癌	2	1	3 (5.56%)	13	28	41 (13.85%)	12	13	25
結締組織癌	--	--	--	--	--	--	0	1	1
腦癌	--	--	--	--	--	--	1	1	1
膀胱癌	0	1	1 (1.85%)	3	3	6 (2.03%)	1	3	4
鼻咽癌	0	1	1 (1.85%)	0	5	5 (1.69%)	1	2	3
攝護腺癌	0	4	4 (7.41%)	0	12	12 (4.05%)	0	7	7
其他癌症	2	2	4 (7.41%)	10	10	20 (6.76%)	14	11	25
癌症人次	25	31	56	153	156	309			
癌症人數	24	30	54(100%)	150	146	296(100%)	90	90	180

*有些受訪者有 2 種癌，因此各癌合計大於癌症總合。

#對照組的收案人數以 2008 年癌症登記檔之侵襲癌發生人數之比例估算之，對照組的預期收案總人數為 180 人。

二、基本人口特性分析

以下為本研究對象之基本資料的描述性統計，總共回收 1,048 份問卷，曝露組與對照組所佔比例分別為 39.6%、60.4%。曝露組共 415 人，其中來自輻射屋住戶為 220 人(佔 21.0%)、輻射校園國小組 69 人(佔曝露組 6.6%)、輻射校園幼稚園組為 106 人(佔曝露組 10.1%)、輻射辦公室僱主或勞工為 20 人(佔 1.9%)；對照組共 633 人(佔 60.4%)。(見表 8)

表 8、研究對象基本資料敘述統計

人口學基本資料		n	%
曝露分組	曝露組		
	輻射屋	220	21.0
	國小	69	6.6
	幼稚園	106	10.1
	公司	20	1.9
	對照組	633	60.4
	合計	1048	100.0

表 9 為曝露組與對照組基本資料敘述統計之結果，根據分析結果，兩組在基本資料的分布上皆有統計上的顯著差異，包括年齡、教育程度、婚姻狀況、工作狀況、家庭收支。曝露組的年齡較低、教育程度較高、未婚比例較高、有工作的比例較高，家庭收支較為優渥。

曝露組中，輻射屋家戶的平均年齡為 47.5 歲，○○國小受輻射曝露的學生平均年齡為 31.6 歲，○○幼稚園受輻射曝露的學生平均年齡為 29.8 歲，過去曾曝露在輻射辦公室人員的平均年齡為 55.2 歲，曝露組的整體平均年齡為 40.7 歲。對照組的平均年齡為 49.2 歲。(見表 9)

表 9、曝露組與對照組基本資料敘述統計

人口學基本資料		曝露組										對照組 n=633		p value ^d
		輻射屋 n=219		國小 n=69		幼稚園 n=106		公司 n=20		合計 n=415				
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
性別	男	108	49.1	34	49.3	51	48.1	12	60.0	205	49.4	286	45.2	0.101
	女	112	50.9	35	50.7	55	51.9	8	40.0	210	50.6	347	54.8	
年齡	45 歲以下	87	39.5	63	91.3	103	97.2	3	15.0	256	61.7	253	40.0	<0.001
	45 至 64 歲	100	45.5	2	2.9	3	2.8	15	75.0	120	28.9	253	40.0	
	65 歲以上	33	15.0	4	5.8	0	0.0	2	10.0	39	9.4	127	20.1	
	平均年齡 ^a	220	47.5±17.5	69	31.6±11.3	106	29.8±4.6	20	55.2±11.8	415	40.7±16.6	633	49.2±17.5	<0.001
教育程度	國中以下 ^b	49	22.3	1	1.4	1	0.9	2	10.0	53	12.8	151	23.9	<0.001
	高中/高職	61	27.7	9	13.0	7	6.6	3	15.0	80	19.3	139	22.0	
	大學/專科	96	43.6	45	65.2	65	61.3	15	75.0	221	53.3	287	45.3	
	研究所以上	14	6.4	14	20.3	33	31.1	0	0.0	61	14.7	56	8.8	
婚姻狀況	未婚	69	31.4	52	75.4	82	77.4	3	15.0	206	49.6	186	29.4	<0.001
	已婚	132	60.0	17	24.6	24	22.6	14	70.0	187	45.1	390	61.7	
	其他 ^c	19	8.6	0	0.0	0	0.0	3	15.0	22	5.3	56	8.9	
工作狀況	學生	22	10.0	7	10.1	3	2.8	1	5.0	33	8.0	26	4.1	<0.001
	退休或家管(含待業)	82	37.3	12	17.4	9	8.5	3	15.0	106	25.5	280	44.4	
家庭收支	有工作	116	52.7	50	72.5	94	88.7	16	80.0	276	66.5	324	51.4	0.001
	有餘	65	29.5	36	52.2	63	60.0	10	50.0	174	42.0	222	35.3	
	收支平衡	112	50.9	30	43.5	32	30.5	7	35.0	181	43.7	270	42.9	
	入不敷出	22	10.0	1	1.4	2	1.9	1	5.0	26	6.3	88	14.0	
	不清楚	21	9.5	2	2.9	8	7.6	2	10.0	33	8.0	49	7.8	

a：平均值±標準差。b：包含小學與不識字。c：包含離婚、分居、喪偶、同居。d：以對照組與曝露組合計為分組進行統計分析，類別型資料使用 Fisher's exact test，連續型資料使用 student t test。

圖 8~圖 9 為本研究回收問卷之曝露組輻射屋所有權及居住狀況，包含住戶 89 戶(220 人)、公司 5 戶(20 人)，僅呈現收案結果，並非代表所有輻射屋居民。圖 8 為輻射屋居民的房屋所有權狀況，輻射屋屬於「自宅且自住」的情況佔 81.51%，「租給別人」或「向房東租賃」的比例佔 5.88%，「寄居親友家」者佔 2.94%。(見圖 8)

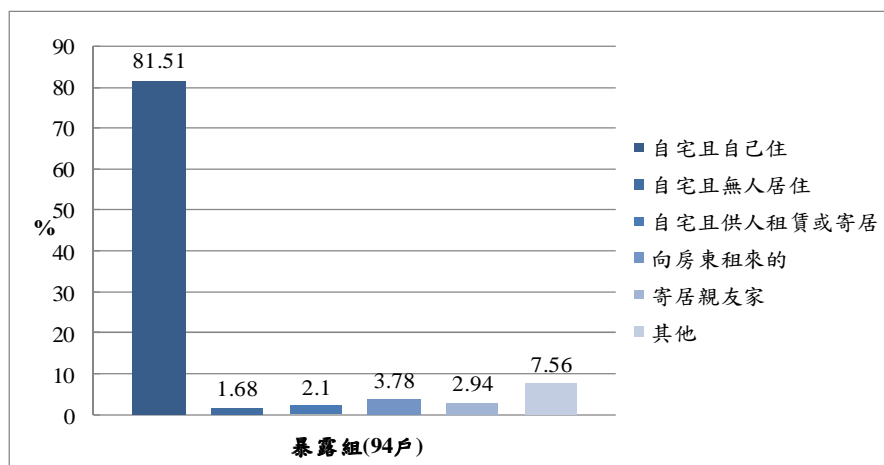


圖 8、輻射屋所有權

圖 9 為輻射屋居民的目前居住狀況，46.63%的輻射屋居民目前仍居住於輻射屋中，9.66%的輻射屋未被收購也無人居住，其他的居住狀況包括：出租(8.82%)、原能會收購且無人居住(4.62%)、原能會收購且已拆除(2.10%)、未被收購但已拆除(3.78%)、其他(23.94%)。(見圖 9)

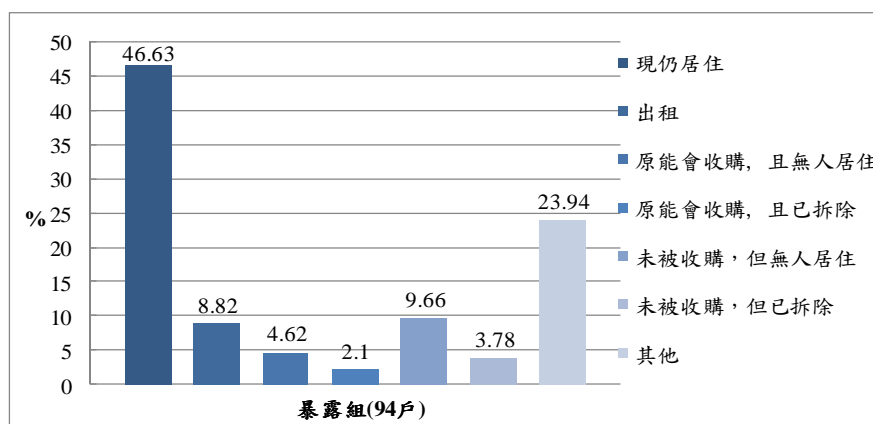


圖 9、輻射屋居民的目前居住狀況

圖 10 為輻射屋居民的目前處理現況，49.57%無任何異動，24.78%抽鋼筋，16.38%已拆除，6.72%裝屏蔽。(見圖 10)

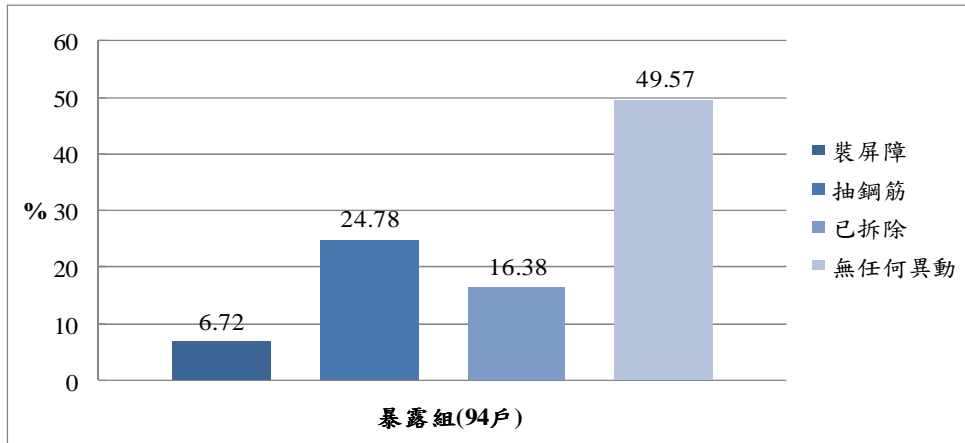


圖 10、輻射屋居民的目前處理現況

圖 11 為輻射屋居民在輻射屋的居住時間，24.36%的受訪者在輻射屋居住<10年，10至19年或20年以上者各佔37.81%，平均居住時間為15.9年。(見圖 11)

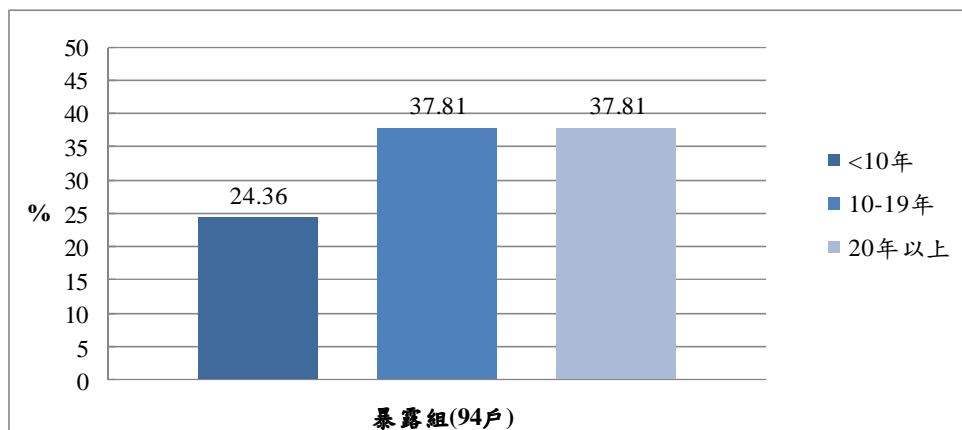


圖 11、輻射屋居民在輻射屋的居住時間

三、風險認知調查分析

表 12-表 13 為輻射風險認知之各題項的填答率，表中灰階部分為選擇題之正確答案，第一題：輻射屋是受到哪一種放射性輻射污染？此題的標準答案為「鈷 60」，兩組的答對率皆為三成左右，曝露組與對照組依序為 36.8%、30.1%，其結果不如預期，本計畫之預期為曝露組曾遭輻射污染，且可能危及健康以及家產，故對曝露源有較清楚的認知，根據分析結果，兩組並無差異。(見表 12 至表 13)

十題中答對率最低的 3 題在曝露組及對照組依序為

第九題：天然輻射無所不在，台灣地區一般人每年所接受的背景輻射劑量是多少毫西弗？(答對率：6.7% vs 4.5%)

第三題：輻射屋指的是任一年的累積輻射劑量超過多少毫西弗？(答對率：9.1% vs 7.0%)

第二題：輻射屋的放射性元素之半衰期(輻射物質衰退到只剩一半的時間)是多長？(答對率：12.9% vs 8.9%)

表 12 為選擇題部分的輻射風險認知答對率與勝算比，曝露組合計的部分「選擇第五題：用來衡量輻射對生物組織的傷害劑量，所用的單位為：」答對的勝算是對照組的 1.39 倍。

若依輻射曝露來源分，輻射屋居民在「第一題：輻射屋是受到哪一種放射性輻射污染？」「第二題：輻射屋的放射性元素之半衰期(輻射物質衰退到只剩一半的時間)是多長？」答對的勝算依序是對照組的 1.46 倍、2.57 倍，但「第六題：輻射可以經由何種途徑進到人體？」答對的勝算是對照組的 0.64 倍。國小組在「第四題：哪一種輻射線的穿透力是最強的，可以穿透鋼筋或水泥？」答對的勝算是對照組的 1.78 倍，但「第十題：核爆意外中不慎在短時間內曝露過

多的輻射劑量，在最初的幾小時還不會出現的症狀是？」答對的勝算是對照組的 0.53 倍。幼稚園組的答對率除第二題略低於對照組，其餘各題皆高於對照組，具有統計上顯著意義的為「第一題：輻射屋是受到哪一種放射性輻射污染？」、「第五題：用來衡量輻射對生物組織的傷害劑量，所用的單位為？」、「第七題：天然輻射存在於何處？」、「第八題：接受一次胸部 X 光攝影檢查約接受多少 毫西弗劑量？」與「第九題：天然輻射無所不在，台灣地區一般人每年所接受的背景輻射劑量是多少毫西弗？」，勝算比(OR)依序為 1.96、2.33、1.86、1.63、2.51。輻射辦公室員工在「第十題：核爆意外中不慎在短時間內曝露過多的輻射劑量，在最初的幾小時還不會出現的症狀是？」的答對率顯著低於對照組，勝算比(OR)為 0.28。以上各題的比較，具有統計上的差異。(見表 12)

表 13 為是非題部分的輻射風險認知答對率與勝算比，曝露組合計的部分有三題之答對的勝算不同於對照組，分別為「第一題：輻射是一種看不到、摸不到、嗅不到、聽不到，更感覺不出的能量，會藉由能量轉移，產生輻射傷害。」與「第四題：輻射物質進入人體後，會經由體內新陳代謝的機能排出體外。」答對的勝算依序是對照組的 0.22 倍、0.61 倍，但「第五題：輻射可以經由糞便、尿液、汗等排出體外，不會在器官內沉積與滯留。」答對的勝算為對照組 1.52 倍。

若依輻射曝露來源分，輻射屋居民在「第一題：輻射是一種看不到、摸不到、嗅不到、聽不到，更感覺不出的能量，會藉由能量轉移，產生輻射傷害。」、「第四題：輻射物質進入人體後，會經由體內新陳代謝的機能排出體外。」答對的勝算皆低於對照組，OR 依序為 0.16、0.49。國小組在「第五題：輻射可以經由糞便、尿液、汗等排出體外，不會在器官內沉積與滯留。」答對的勝算為對照組的 2.39 倍。幼稚園組的答對率除第一題、第四題略低於對照組，其餘各題略高於對照組，但皆不具統計上顯著的意義。輻射辦公室人員

在「第一題：輻射是一種看不到、摸不到、嗅不到、聽不到，更感覺不出的能量，會藉由能量轉移，產生輻射傷害。」、「第二題：超音波也是游離輻射的一種，它具有很強的穿透力，會對人體造成危害。」、「第四題：輻射物質進入人體後，會經由體內新陳代謝的機能排出體外。」與「第六題：游離輻射依產生的來源可分為天然輻射及人為輻射，我們所接受的輻射劑量中，兩種輻射約各佔 50%，人造輻射以醫療診斷佔大部分。」，答對的勝算皆顯著低於對照組，依序為對照組的 0.08 倍、0.23 倍、0.26 倍、0.37 倍。(見表 13)

根據表 14，為與輻射風險認知有關的人口學基本資料，曝露組中以當年曝露於幼稚園輻射污染源的學童認知得分最高，且高於對照組，在基本資料中，年齡、教育程度、婚姻狀況、工作狀況、家庭收支與輻射認知有關，較年輕、教育程度愈高、未婚者、有工作者、家庭收入愈高，輻射風險認知得分愈高。對照組中與輻射風險認知有關的基本資料同樣為年齡、教育程度、婚姻狀況、工作狀況、家庭收支，較年輕、教育程度愈高、未婚者、有工作者、家庭收入愈高，輻射風險認知得分愈高。(見表 14)

表 10、輻射風險認知之各題項填答率(選擇題)

題目	選項	曝露組		對照組		p Value
		人數	%	人數	%	
1. 輻射屋是受到哪一種放射性輻射污染？	(1) 碘 131	19	5.1%	28	7.8%	0.131
	(2) 鈷 60	137	36.8%	108	30.1%	
	(3) 銻 137	10	2.7%	17	4.7%	
	(4) 鈾 235	20	5.4%	15	4.2%	
	(5) 不知道	186	50.0%	190	52.9%	
2. 輻射屋的放射性元素之半衰期(輻射物質衰退到只剩一半的時間)是多長？	(1) 30 年	88	23.7%	71	19.8%	0.026
	(2) 6 小時	0	0.0%	5	1.4%	
	(3) 5.3 年	48	12.9%	32	8.9%	
	(4) 2 年	14	3.8%	11	3.1%	
	(5) 不知道	222	59.7%	238	66.3%	
3. 輻射屋指的是任一年的累積輻射劑量超過多少毫西弗？	(1) 1 毫西弗	36	9.7%	25	7.0%	0.034
	(2) 5 毫西弗	53	14.2%	30	8.4%	
	(3) 0.5 毫西弗	45	12.1%	42	11.7%	
	(4) 測得到輻射即算	34	9.1%	25	7.0%	
	(5) 不知道	203	54.6%	236	65.7%	
4. 哪一種輻射線的穿透力是最強的，可以穿透鋼筋或水泥？	(1) 阿法射線	36	9.7%	34	9.5%	0.636
	(2) 貝他射線	13	3.5%	10	2.8%	
	(3) X 射線、加馬射線	91	24.5%	76	21.2%	
	(4) 中子	14	3.8%	10	2.8%	
	(5) 不知道	217	58.3%	226	63.0%	
5. 用來衡量輻射對生物組織的傷害劑量，所用的單位為：	(1) 西弗	227	61.0%	190	52.9%	0.242
	(2) 雷得	4	1.1%	3	0.8%	
	(3) 貝克	4	1.1%	3	0.8%	
	(4) 居禮	4	1.1%	2	0.6%	
	(5) 不知道	131	35.2%	158	44.0%	

以 Fishers Exact test 分析；灰階部份為正確答案。由於大部份癌症家戶不便作答，曝露組僅 372 人填答；對照組有 359 人填答。

表 11、輻射風險認知之各題項填答率(選擇題)(續)

題目	選項	曝露組		對照組		p Value
		人數	%	人數	%	
6. 輻射可以經由何種途徑進入人體？	(1) 食物	3	0.8%	2	0.6%	0.236
	(2) 皮膚	35	9.4%	20	5.6%	
	(3) 呼吸道	6	1.6%	10	2.8%	
	(4) 以上皆是	265	71.2%	273	76.0%	
	(5) 不知道	58	15.6%	52	14.5%	
7. 天然輻射存在於何處？	(1) 太空中	11	3.0%	4	1.1%	0.025
	(2) 地表或土壤	14	3.8%	8	2.2%	
	(3) 空氣中	10	2.7%	26	7.2%	
	(4) 以上皆是	273	73.4%	264	73.5%	
	(5) 不知道	63	16.9%	55	15.3%	
8. 接受一次胸部 X 光攝影檢查約接受多少 毫西弗劑量？	(1) 100	9	2.4%	8	2.2%	0.794
	(2) 1000	2	0.5%	1	0.3%	
	(3) 0.02	95	25.5%	90	25.1%	
	(4) 2	14	3.8%	15	4.2%	
	(5) 不知道	250	67.2%	245	68.2%	
9. 天然輻射無所不在，台灣地區一般人每年所接受的背景輻射劑量是多少毫西弗？	(1) 2	25	6.7%	16	4.5%	0.397
	(2) 0.5	34	9.1%	26	7.2%	
	(3) 0.2	38	10.2%	32	8.9%	
	(4) 10	7	1.9%	13	3.6%	
	(5) 不知道	267	71.8%	271	75.5%	
10. 核爆意外中不慎在短時間內曝露過多的輻射劑量，在最初的幾小時還不會出現的症狀是？	(1) 噁心、嘔吐	47	12.6%	38	10.6%	0.319
	(2) 腹瀉	7	1.9%	3	0.8%	
	(3) 造血功能障礙	136	36.6%	138	38.4%	
	(4) 皮膚的傷害	25	6.7%	14	3.9%	
	(5) 不知道	152	40.9%	162	45.1%	

以 Fishers Exact test 分析；灰階部份為正確答案。由於大部份癌症家戶不便作答，曝露組僅 372 人填答；對照組有 359 人填答。

表 12、輻射風險認知答對率與勝算比(選擇題)

題目	曝露組										對照組 n=359
	住戶		國小		幼稚園		公司		合計		
	n=179	OR	n=68	OR	n=105	OR	n=20	OR	n=372	OR	
1. 輻射屋是受到哪一種放射性輻射污染？	38.5%	1.46*	23.5%	0.72	45.7%	1.96*	20.0%	0.58	36.8%	1.36	30.1%
2. 輻射屋的放射性元素之半衰期(輻射物質衰退到只剩一半的時間)是多長？	20.1%	2.57**	2.9%	0.31	7.6%	0.84	10.0%	1.14	12.9%	1.51	8.9%
3. 輻射屋指的是任一年的累積輻射劑量超過多少毫西弗？	11.7%	1.78	4.4%	0.62	9.5%	1.41	0.0%	-	9.1%	1.34	7.0%
4. 哪一種輻射線的穿透力是最強的，可以穿透鋼筋或水泥？	22.9%	1.11	32.4%	1.78*	26.7%	1.35	0.0%	-	24.5%	1.21	21.2%
5. 用來衡量輻射對生物組織的傷害劑量，所用的單位為：	59.2%	1.29	48.5%	0.84	72.4%	2.33**	60.0%	1.33	61.0%	1.39*	52.9%
6. 輻射可以經由何種途徑進入人體？	67.0%	0.64*	66.2%	0.62	83.8%	1.63	60.0%	0.47	71.2%	0.78	76.0%
7. 天然輻射存在於何處？	68.7%	0.79	69.1%	0.81	83.8%	1.86*	75.0%	1.08	73.4%	0.99	73.5%
8. 接受一次胸部 X 光攝影檢查約接受多少毫西弗劑量？	25.1%	1.00	17.6%	0.64	35.2%	1.63 *	5.0%	0.16	25.5%	1.03	25.1%
9. 天然輻射無所不在，台灣地區一般人每年所接受的背景輻射劑量是多少毫西弗？	6.1%	1.40	2.9%	0.65	10.5%	2.51*	5.0%	1.13	6.7%	1.54	4.5%
10. 核爆意外中不慎在短時間內曝露過多的輻射劑量，在最初的幾小時還不會出現的症狀是？	36.9%	0.94	25.0%	0.53*	47.6%	1.46	15.0%	0.28*	36.6%	0.92	38.4%

以 Logistic regression 分析；*: p<0.05, **: p<0.01。

OR: 來自曝露於不同污染源的輻射屋居民與對照組的勝算比。

表 13、輻射風險認知答對率與勝算比(是非題)

題目	曝露組										對照組 n=359
	輻射屋		國小		幼稚園		公司		合計		
	n=179	OR	n=68	OR	n=105	OR	n=20	OR	n=372	OR	
1. 輻射是一種看不到、摸不到、嗅不到、聽不到，更感覺不出的能量，會藉由能量轉移，產生輻射傷害。(○)	95.0%	0.16*	98.5%	0.56	98.1%	0.43	90.0%	0.08*	96.2%	0.22*	99.2%
2. 超音波也是游離輻射的一種，它具有很強的穿透力，會對人體造成危害。(X)	45.3%	0.75	45.6%	0.76	62.9%	1.54	20.0%	0.23*	48.9%	0.87	52.4%
3. 手機、微波爐、電腦都會產生電磁輻射微波，屬於非游離輻射的一種。(○)	87.2%	1.02	88.2%	1.13	89.5%	1.29	80.0%	0.60	87.6%	1.07	86.9%
4. 輻射物質進入人體後，會經由體內新陳代謝的機能排出體外。(○)	32.4%	0.49**	38.2%	0.64	48.6%	0.97	20.0%	0.26*	37.4%	0.61**	49.3%
5. 輻射可以經由糞便、尿液、汗等排出體外，不會在器官內沉積與滯留。(X)	79.3%	1.40	86.8%	2.39*	81.9%	1.65	65.0%	0.68	80.6%	1.52*	73.3%
6. 游離輻射依產生的來源可分為天然輻射及人為輻射，我們所接受的輻射劑量中，兩種輻射約各佔 50%，人造輻射以醫療診斷佔大部分。(○)	73.2%	0.83	73.5%	0.85	82.9%	1.48	55.0%	0.37*	75.0%	0.92	76.6%
7. 為預防放射性碘污染所造成的甲狀腺危害，可先自行服用碘片。(X)	68.2%	1.42	51.5%	0.70	69.5%	1.51	40.0%	0.44	64.0%	1.18	60.2%
8. 大理石或花崗岩建材含天然放射性核種，輻射劑量率若符合法規規定，則無安全顧慮。(○)	72.6%	1.14	61.8%	0.70	78.1%	1.53	75.0%	1.29	72.3%	1.12	69.9%
9. 輻射鋼筋是在煉製過程中，將夾雜於廢鐵原料中的廢棄輻射源不慎一併熔進熔煉爐中，製成鋼胚後再軋拉製成鋼筋所致。(○)	89.9%	1.15	86.8%	0.85	95.2%	2.58	85.0%	0.73	90.6%	1.24	88.6%
10. 所有輻射屋拆除後之輻射鋼筋，均由原子能委會集中作妥適管理。(○)	87.7%	0.67	89.7%	0.82	92.4%	1.15	90.0%	0.85	89.5%	0.81	91.4%

以 Logistic regression 分析；*: p<0.05, **: p<0.01。

OR: 來自曝露於不同污染源的輻射屋居民與對照組的勝算比。

表 14、人口學基本資料與輻射風險認知得分

人口學基本資料	曝露組					對照組				
	n	mean	SD	p	post hoc ^c	n	mean	SD	p	post hoc ^c
合計	372	11.00	3.22			359	10.85	3.02		
曝露分組 ^a										
輻射屋	179	10.87	3.49	<.001	<幼稚園					
國小	68	10.13	2.64		<幼稚園					
幼稚園	105	12.22	2.53							
公司	20	8.70	3.39		<幼稚園					
性別 ^b										
男	180	11.32	2.89	0.066		129	10.78	2.67	0.718	
女	192	10.70	3.48			230	10.90	3.21		
年齡 ^a										
45歲以下	249	11.37	2.90	0.002		218	11.44	2.77	<.001	
45至64歲	104	10.45	3.21			117	10.07	3.10		<45歲以下
65歲以上	19	9.16	5.57		<45歲以下	24	9.29	3.52		
教育程度 ^a										
中學以下 ^d	33	8.76	4.44	<.001		44	8.57	3.35	<.001	
高中/高職	70	10.53	2.85			57	10.05	2.66		>中學以下
大學/專科	210	11.25	2.93		>中學以下	209	11.23	2.83		>中學以下
研究所以上	59	11.92	3.25		>中學以下	49	12.22	2.66		>中學以下
婚姻狀況 ^a										
未婚	200	11.43	2.83	0.011		156	11.23	2.79	0.010	>高中/高職
已婚	153	10.61	3.46			183	10.74	3.17		>其他
其他 ^e	19	9.68	4.37			19	9.11	2.66		
工作狀況 ^a										
學生	31	11.48	3.24	0.005		23	10.30	3.82	<.001	
退休或家管 (含待業)	79	9.97	4.12		<有工作	98	9.88	3.05		<有工作
有工作	262	11.25	2.83			236	11.32	2.83		
家庭收支 ^a										
有餘	161	11.65	2.82	0.004		130	11.36	2.94	0.007	
收支平衡	161	10.43	3.50		<有餘	159	10.77	3.01		
入不敷出	17	11.59	2.62			48	9.60	3.14		<有餘
不清楚	32	10.34	3.41			20	11.10	2.77		

a : One-way analysis of variance

b : Independent t test

c : Scheffes method

d : 包含小學與不識字

e : 離婚/分居、喪偶、同居

f : Variance unequal

表 15 為曝露組與對照組輻射風險認知得分之分析，在未校正干擾因子的情況下，曝露組的輻射風險認知得分略高於對照組，統計上無顯著差異。若細分曝露來源，輻射辦公室人員的輻射風險認知得分顯著低於對照組，而幼稚園組顯著高於對照組。(見表 15)

表 15、曝露組與對照組輻射風險認知得分之分析（未校正干擾因子）

變項	b	standard error	95% CI		p value
			lower	upper	
單變項迴歸分析					
截距	10.852	0.165	10.529	11.176	<.001
曝露組 ^a	0.148	0.231	-0.306	0.601	0.523
多變項迴歸分析					
截距	10.852	0.162	10.535	11.169	<.001
曝露分組 ^a					
輻射屋	0.019	0.280	-0.531	0.569	0.946
國小	-0.720	0.405	-1.515	0.075	0.076
幼稚園	1.367	0.340	0.700	2.033	<.001
公司	-2.152	0.703	-3.533	-0.772	0.002

a：以對照組為參考組

表 16 為校正干擾因子後之複迴歸分析，在校正基本變項後，曝露組的輻射風險認知得分仍與對照組無異。若細分曝露來源，國小組與輻射辦公室人員的輻射風險認知得分顯著低於對照組，而幼稚園組顯著高於對照組。教育程度在高中/高職、大學/專科、研究所以上的輻射風險認知得分皆顯著高於中學以下。(見表 16)

雖然輻射屋居民與對照組在輻射風險認知上沒有差異，但是國小組與輻射辦公室人員的得分偏低，未來可在輻射健檢或相關活動中加強對國小組與輻射辦公室人員的輻射認知教育。(見表 17)

表 16、曝露組與對照組輻射風險認知得分之複迴歸分析一（校正干擾因子）

變項 ^a	b	standard error	95% CI		p value
			lower	upper	
截距	9.621	0.872	7.909	11.334	<.001
曝露組 ^b	0.032	0.228	-0.416	0.480	0.888
性別 ^c	0.049	0.231	-0.404	0.503	0.831
年齡 ^d	-0.017	0.013	-0.042	0.009	0.206
教育程度 ^e					
高中／高職	1.383	0.459	0.481	2.284	0.003
大學／專科	1.984	0.454	1.093	2.876	<.001
研究所以以上	2.713	0.533	1.667	3.759	<.001
婚姻狀況 ^f					
已婚	0.201	0.325	-0.436	0.838	0.536
其他	-0.153	0.623	-1.376	1.070	0.806
工作狀況 ^g					
退休或家管 (含待業)	0.101	0.565	-1.009	1.211	0.859
有工作	0.388	0.467	-0.529	1.306	0.406
家庭收支 ^h					
收支平衡	-0.451	0.254	-0.950	0.049	0.077
入不敷出	-0.469	0.437	-1.327	0.390	0.284
不清楚	-0.508	0.477	-1.444	0.428	0.287

a：Linear regression(Dummy variable)。b：對照組為參考組。c：女性為參考組。d：每增加 1 歲。
e：國中以下為參考組。f：未婚為參考組。g：學生為參考組。h：收支有餘為參考組

表 17、曝露組與對照組輻射風險認知得分之複迴歸分析二（校正干擾因子）

變項 ^a	b	standard error	95% CI		p value
			lower	upper	
截距	9.410	0.863	7.716	11.105	<.001
曝露分組 ^b					
輻射屋	0.347	0.281	-0.204	0.898	0.216
國小	-1.201	0.402	-1.990	-0.411	0.003
幼稚園	0.699	0.351	0.010	1.387	0.047
公司	-2.117	0.707	-3.505	-0.729	0.003
性別 ^c	0.018	0.227	-0.428	0.464	0.937
年齡 ^d	-0.009	0.013	-0.035	0.018	0.519
教育程度 ^e					
高中／高職	1.456	0.452	0.570	2.343	0.001
大學／專科	2.183	0.449	1.302	3.064	<.001
研究所以以上	2.787	0.527	1.753	3.821	<.001
婚姻狀況 ^f					
已婚	0.142	0.320	-0.486	0.770	0.657
其他	-0.204	0.613	-1.409	1.000	0.739
工作狀況 ^g					
退休或家管 (含待業)	-0.095	0.574	-1.221	1.031	0.869
有工作	0.253	0.472	-0.673	1.179	0.592
家庭收支 ^h					
收支平衡	-0.464	0.251	-0.957	0.029	0.065
入不敷出	-0.551	0.430	-1.396	0.294	0.201
不清楚	-0.614	0.472	-1.541	0.312	0.193

a：Linear regression(Dummy variable)。b：對照組為參考組。c：女性為參考組。d：每增加 1 歲。
e：國中以下為參考組。f：未婚為參考組。g：學生為參考組。h：收支有餘為參考組

四、輻射屋居民居住歷史與劑量評估資料

(一)輻射污染建物之分佈、改善情形與原能會評估輻射劑量

表 18 為原能會評估 1,660 間輻射污染建物回推至 1982 年之輻射劑量，有 6.7% 超過 100 毫西弗，31.3% 在 1 毫西弗以下。(見表 18)

表 18、輻射污染建物 1982 年之輻射劑量

評估建物 1982 年劑量(毫西弗)	n	%	mean	SD	Range
0-0.99	519	31.3	0.1	0.2	0.00-0.99
1-4.99	409	24.6	2.7	1.2	1.03-5.00
5-14.99	314	18.9	8.8	2.7	5.01-15.00
15-29.99	133	8.0	20.6	4.3	15.02-29.94
30-99.99	160	9.6	53.7	20.4	30.07-99.34
100+	112	6.7	343.9	169.8	104.74-998.56
遺漏值	13	0.8	-	-	-
合計	1660	100	32.7	96.4	0.00-998.56

1,660 間輻射污染建物中有 70.9% 未改善，14.2% 抽換鋼筋，6.1% 移除建物，5.7% 由原能會價購。被移除建物與原能會價購之輻射污染建物 1982 年之輻射劑量最高，依序為 275.3 毫西弗以及 275.0 毫西弗。(見表 19)

表 19、輻射污染建物之改善情形以及 1982 年之輻射劑量

改善情形	n	%	mean	SD	Range
未改善	1212	70.9	7.4	14.7	0.00-190.29
抽換鋼筋	242	14.2	29.3	71.1	0.00-437.14
局部抽換鋼筋	18	1.1	38.6	33.7	0.00-98.19
安裝鉛屏蔽	27	1.6	20.1	22.5	0.00-94.74
移除建物	105	6.1	275.3	229.2	0.57-998.56
清除污染源	8	0.5	15.3	11.8	0.91-36.30
原能會價購	98	5.7	275.0	171.8	29.08-868.06
合計	1710 ^a	100.0	32.7	96.4	0.00-998.56

a：有 50 間輻射污染建物包含 2 項改善項目。

1,660 間輻射污染建物主要分佈縣市為台北市(50.9%)及新北市(38.6%)。(見表 20)

表 20、輻射污染建物之縣市分佈以及 1982 年之輻射劑量

縣市別	n	%	mean	SD	Range
台北市	845	50.9	26.2	78.0	0.00-619.79
新北市	641	38.6	37.9	114.9	0.00-998.56
基隆市	36	2.2	111.2	176.9	0.00-581.23
桃園縣	133	8.0	27.7	56.8	0.00-415.68
其他 ^a	5	0.3	22.1	41.4	0.00-95.27
合計	1660	100	32.7	96.4	0.00-998.56

a：包含新竹市、新竹縣、彰化縣。

根據表 21，台北市、新北市、桃園縣之 1982 年輻射劑量超過 100 毫西弗的比例依序為 6.4%、6.4%、5.3%，基隆市的 36 間輻射屋有 27.8% 超過此值。(見表 21)

表 21、輻射污染建物之縣市分佈(依 1982 年輻射劑量分)

評估建物 1982 年劑量(毫西弗)	台北市		新北市		基隆市		桃園縣		其他 ^a	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
0-0.99	281	33.3	195	30.4	3	8.3	37	27.8	3	60.0
1-4.99	238	28.2	136	21.2	7	19.4	28	21.1	0	0.0
5-14.99	164	19.4	122	19.0	8	22.2	20	15.0	0	0.0
15-29.99	41	4.9	72	11.2	8	22.2	11	8.3	1	20.0
30-99.99	60	7.1	72	11.2	0	0.0	27	20.3	1	20.0
100+	54	6.4	41	6.4	10	27.8	7	5.3	0	0.0
遺漏值	7	0.8	3	0.5	0	0.0	3	2.3	0	0.0
合計	845	100.0	641	100.0	36	100.0	133	100.0	5	100.0

a：包含新竹市、新竹縣、彰化縣。

根據表 22，被原能會價購的輻射屋有 77.6% 之 1982 年輻射劑量超過 100 毫西弗，根據表 23，被原能會價購的輻射屋有 68.4% 分佈於台北市；26.5% 分佈於新北市。(見表 22、表 23)

表 22、輻射污染建物之改善情形(依 1982 年輻射劑量分)

評估建物 1982 年劑量(毫西弗)	未改善		抽換鋼筋		局部抽換鋼筋		安裝鉛屏蔽		移除建物		清除污染源		原能會價購	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
0-0.99	467	38.5	46	19.0	1	5.6	3	11.1	1	1.0	1	12.5	0	0.0
1-4.99	334	27.6	59	24.4	3	16.7	6	22.2	6	5.7	1	12.5	0	0.0
5-14.99	238	19.6	57	23.6	3	16.7	6	22.2	8	7.6	2	25.0	0	0.0
15-29.99	91	7.5	26	10.7	0	0.0	2	7.4	10	9.5	3	37.5	1	1.0
30-99.99	72	5.9	35	14.5	11	61.1	10	37.0	14	13.3	1	12.5	21	21.4
100+	3	0.2	15	6.2	0	0.0	0	0.0	64	61.0	0	0.0	76	77.6
遺漏值	7	0.6	4	1.7	0	0.0	0	0.0	2	1.9	0	0.0	0	0.0
合計	1212	100.0	242	100.0	18	100.0	27	100.0	105	100.0	8	100.0	98	100.0

表 23、輻射污染建物之改善狀況(依輻射污染建物之縣市分佈)

縣市別	未改善		抽換鋼筋		局部抽換鋼筋		安裝鉛屏蔽		移除建物		清除污染源		原能會價購	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
台北市	631	52.1	116	47.9	9	50.0	23	85.2	20	19.0	6	75.0	67	68.4
新北市	475	39.2	96	39.7	5	27.8	3	11.1	57	54.3	1	12.5	26	26.5
基隆市	14	1.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	22	21.0	0	0.0	0	0.0
桃園縣	91	7.5	28	11.6	3	16.7	1	3.7	5	4.8	0	0.0	5	5.1
其他 ^a	1	0.1	2	0.8	1	5.6	0	0.0	1	1.0	1	12.5	0	0.0
合計	1212	100.0	242	100.0	18	100.0	27	100.0	105	100.0	8	100.0	98	100.0

a：包含新竹市、新竹縣、彰化縣。

(二) 輻射屋居民居住歷史資料庫

1. 有設籍於輻射屋所在行政區之居民居住歷史

本計畫已完成輻射建物的戶籍資料之抄錄工作。人工抄錄的戶籍資料業已建檔完成，涵蓋的污染建物為 1,468 間，設籍人數為 12,850 人，平均每戶 8.42 人，當中有 3.9% 被註記為「寄居」，若與戶長有親屬關係，則很難分辨是否為「寄居」，因此實際的比例可能高於此。每一個門牌號碼平均有 2.3 戶設籍於此，分布的行政區為台北市 12 個行政區，以及新北市的 5 個行政區、桃園縣的 8 個鄉鎮、基隆市的 4 個行政區、新竹縣竹北市及新竹市東區。設籍的 12,850 人中，並不包含未設籍之租屋者、寄住者、經常出入之親屬及受祿母照顧之嬰孩等。

根據表 24 設籍於各縣市之人口分布，有 1,802 戶設籍於台北市，台北市的輻射屋戶數最多在文山區(288 戶)，設籍人數為 1,048 人，每一間輻射屋平均有 3.2 戶的家戶曾在此遷入及遷出，平均一間有 11.96 人設籍，佔台北市設籍於輻射屋居民的 15.9%。其次為北投區(268 戶)，設籍人數為 969 人，每一間輻射屋平均有 2.6 戶的家戶曾在此遷入及遷出。台北市曾設籍輻射屋的家戶人口共有 6,605 人，佔所有戶籍資料的 51.4%。

僅次於台北市的戶籍人口，新北市有 5,164 人曾設籍於輻射屋，有 1,200 戶家戶曾設籍於此，以新莊區的戶數最多，共 545 戶，每一間輻射屋平均有 2.0 戶的家戶曾在此遷入及遷出，新莊區也為 8 個行政區中設籍人口最多者(46.8%)，平均每間輻射建物的設籍人口為 8.56 人。新北市曾設籍輻射屋的家戶人口佔所有戶籍資料的 40.2%。

根據上述，台北市與新北市設籍於輻射屋的人口佔北台灣設籍於輻射屋人口的 91.6%。(見表 24)

表 24、輻射屋居民之人口分布

縣市	行政區	戶數	每間	合計		女		男	
			戶數	人數	%	人數	%	人數	%
台北市	士林區	144	2.3	502	7.6	267	7.8	235	7.4
	大同區	66	2.9	213	3.2	120	3.5	93	2.9
	大安區	209	2.7	675	10.2	356	10.4	319	10.0
	中山區	142	2.1	517	7.8	262	7.6	255	8.0
	中正區	132	2.6	460	7.0	227	6.6	233	7.3
	內湖區	125	2.9	463	7.0	236	6.9	227	7.1
	文山區	288	3.2	1048	15.9	540	15.8	508	16.0
	北投區	268	2.6	969	14.7	498	14.5	471	14.8
	松山區	87	2.0	300	4.5	162	4.7	138	4.3
	信義區	69	3.3	241	3.6	122	3.6	119	3.7
	南港區	199	2.8	913	13.8	471	13.7	442	13.9
	萬華區	73	1.6	304	4.6	165	4.8	139	4.4
	合計	1802		6605	100.0	3426	100.0	3179	100.0
桃園縣	大園鄉	1	1.0	6	0.8	3	0.8	3	0.8
	中壢市	44	2.3	208	26.4	107	27.2	101	25.5
	平鎮市	20	1.8	93	11.8	47	12.0	46	11.6
	桃園市	79	2.5	252	31.9	129	32.8	123	31.1
	龍潭鄉	2	2.0	3	0.4	2	0.5	1	0.3
	龜山鄉	41	2.2	204	25.9	95	24.2	109	27.5
	蘆竹鄉	5	1.7	23	2.9	10	2.5	13	3.3
	合計	192		789	100.0	393	100.0	396	100.0
基隆市	中山區	7	2.3	35	12.4	19	13.4	16	11.3
	中正區	1	1.0	4	1.4	3	2.1	1	0.7
	安樂區	15	1.5	76	26.9	36	25.4	40	28.4
	信義區	39	1.8	168	59.4	84	59.2	84	59.6
	合計	62		283	100.0	142	100.0	141	100.0
新北市	三重區	98	2.2	396	7.7	205	7.6	191	7.8
	土城區	30	1.9	131	2.5	69	2.5	62	2.5
	中和區	159	1.8	728	14.1	387	14.3	341	13.9
	永和區	61	3.1	257	5.0	138	5.1	119	4.8
	汐止區	1	1.0	3	0.1	2	0.1	1	0.0
	板橋區	247	1.9	1042	20.2	535	19.8	507	20.6
	新店區	59	2.1	190	3.7	102	3.8	88	3.6
	新莊區	545	2.0	2417	46.8	1269	46.9	1148	46.7
	合計	1200		5164	100.0	2707	100.0	2457	100.0
新竹市	東區	1	1.0	2	100.0	1	100.0	1	100.0
新竹縣	竹北市	1	1.0	7	100.0	5	100.0	2	100.0
Total		3258	2.3	12850		6674		6176	

表 25 為輻射屋居民遷入時之年齡分布，主要分布在 10 歲以下 (31.0%) 以及 25 至 34 歲 (23.1%)。根據家訪的經驗，這兩個年齡層通

常分別代表輻射屋居民的父母及年幼兒女等兩個世代，是經過 30 年後最容易在家訪中被收集到的年齡層，受訪之父母親多半形容在剛成家時買了輻射屋，兒女便在此時相繼出生，形成兩個人口高峰。全體居民遷入的平均年齡為 23.5 歲。(見表 25)

表 26 為輻射屋居民現今之年齡分布，主要分布在 25 至 34 歲(19.0%)以及 50 至 59 歲(20.0%)，若依遷入時間區分，1995 年以前遷入的家戶(共 9,099 人)，年齡的分布更明顯落於這兩段年齡區間，1996 年以後遷入者(3,751 人)的年齡分布為 10 至 19 歲(22.7%)以及 35 至 44 歲(18.3%)。(見表 26)

表 25、輻射屋居民遷入年齡的分布

年齡(歲)	1982 至 1995 年 遷入		1996 年以後 遷入		總人數	%
	人數	%	人數	%		
0-4	1803	19.8%	799	21.3%	2602	20.2%
5-9	999	11.0%	375	10.0%	1374	10.7%
10-14	801	8.8%	315	8.4%	1116	8.7%
15-19	548	6.0%	143	3.8%	691	5.4%
20-24	731	8.0%	212	5.7%	943	7.3%
25-29	1203	13.2%	374	10.0%	1577	12.3%
30-34	1002	11.0%	380	10.1%	1382	10.8%
35-39	663	7.3%	306	8.2%	969	7.5%
40-44	404	4.4%	256	6.8%	660	5.1%
45-49	256	2.8%	155	4.1%	411	3.2%
50-54	174	1.9%	121	3.2%	295	2.3%
55-59	160	1.8%	86	2.3%	246	1.9%
60-64	127	1.4%	53	1.4%	180	1.4%
65-69	98	1.1%	58	1.6%	156	1.2%
70-74	67	0.7%	44	1.2%	111	0.9%
75-79	39	0.4%	38	1.0%	77	0.6%
80-84	18	0.2%	21	0.6%	39	0.3%
85-89	6	0.1%	11	0.3%	17	0.1%
90-94	0	0.0%	4	0.1%	4	0.0%
合計	9099	100.0%	3751	100.0%	12850	100.0%
	平均值	中位數	平均值	中位數	平均值	中位數
年齡(歲)	22.9	23.2	25.2	25.5	23.5	23.8

表 26、輻射屋居民現今年齡的分布

年齡(歲)	1982-1995 年		1996 年以後		總人數	%
	遷入		遷入			
0-4	--	--	121	3.2%	121	0.9%
5-9	--	--	237	6.3%	237	1.8%
10-14	--	--	419	11.2%	419	3.3%
15-19	254	2.8%	430	11.5%	684	5.3%
20-24	654	7.2%	251	6.7%	905	7.0%
25-29	946	10.4%	216	5.8%	1162	9.0%
30-34	1017	11.2%	263	7.0%	1280	10.0%
35-39	707	7.8%	345	9.2%	1052	8.2%
40-44	671	7.4%	341	9.1%	1012	7.9%
45-49	776	8.5%	299	8.0%	1075	8.4%
50-54	1076	11.8%	255	6.8%	1331	10.4%
55-59	1053	11.6%	181	4.8%	1234	9.6%
60-64	673	7.4%	102	2.7%	775	6.0%
65-69	318	3.5%	75	2.0%	393	3.1%
70-74	262	2.9%	53	1.4%	315	2.5%
75-79	157	1.7%	41	1.1%	198	1.5%
80-84	183	2.0%	56	1.5%	239	1.9%
85-89	128	1.4%	37	1.0%	165	1.3%
90-94	105	1.2%	19	0.5%	124	1.0%
95-99	63	0.7%	5	0.1%	68	0.5%
100+	56	0.6%	5	0.1%	61	0.5%
合計	9099	100.0%	3751	100.0%	12850	100.0%
	平均值	中位數	平均值	中位數	平均值	中位數
年齡(歲)	46.7	47.0	34.0	33.0	43.0	42.0

現今年齡：以 2012 年 6 月 13 日計算

表 27 為輻射屋居民居住時間的分布，即曝露於輻射屋的時間。1995 年以前遷入者的平均居住時間為 9.7 年，58.1% 居住時間超過 5 年。1996 年以後遷入者的平均居住時間為 4.3 年，34.3% 居住時間超過 5 年。(見表 27)

表 28 為輻射屋居民在本計畫的追蹤時間，即曝露於輻射屋開始至本計畫觀察結束為止之追蹤時間。1995 年以前遷入者的平均追蹤時間為 24.3 年，54.4% 追蹤時間超過 25 年。1996 年以後遷入者的平均居住時間為 9.2 年。(見表 28)

表 29 為輻射屋累積劑量依遷入時間分，若劑量以原能會所測量的最高劑量且 24 小時計算，1995 年以前遷入者的平均累積劑量為 75 mSv，有 12.35% 的累積劑量超過 100 mSv。1996 年以後遷入者的平均累積劑量為 2.18 mSv，仍有 8.62% 的累積劑量超過 5 mSv。(見表 29)

表 27、輻射屋居民居住時間的分布

居住時間(年)	1982-1995 年 遷入		1996 年以後 遷入		總人數	%
	人數	%	人數	%		
0-4.9	3808	41.9%	2466	65.7%	6274	48.8%
5-9.9	1699	18.7%	864	23.0%	2563	19.9%
10-14.9	1238	13.6%	341	9.1%	1579	12.3%
15-19.9	770	8.5%	80	2.1%	850	6.6%
20-24.9	809	8.9%	--	--	809	6.3%
25-29.9	769	8.5%	--	--	769	6.0%
30+	6	0.1%	--	--	6	0.1%
合計	9099	100.0%	3751	100.0%	12850	100.0%
	平均值	中位數	平均值	中位數	平均值	中位數
年	9.7	6.9	4.3	2.9	8.1	5.2

現今年齡：以 2012 年 6 月 13 日計算

表 28、輻射屋居民在本計畫的追蹤時間

居住時間(年)	1982-1995 年 遷入		1996 年以後 遷入		總人數	%
	人數	%	人數	%		
0-4.9	--	--	799	21.3%	799	6.2%
5-9.9	--	--	1101	29.4%	1101	8.6%
10-14.9	--	--	1200	32.0%	1200	9.3%
15-19.9	1455	16.0%	651	17.4%	2106	16.4%
20-24.9	2689	29.6%	--	--	2689	20.9%
25-29.9	4744	52.1%	--	--	4744	36.9%
30+	211	2.3%	--	--	211	1.6%
合計	9099	100.0%	3751	100.0%	12850	100.0%
	平均值	中位數	平均值	中位數	平均值	中位數
年	24.3	25.0	9.2	9.0	19.9	22.0

追蹤結束日：以 2012 年 10 月 31 日計算

表 29、輻射屋累積劑量依遷入時間分

劑量(mSv)	1982-1995 年		1996 年以後		總人數	%
	遷入		遷入			
<0.01	2139	23.51%	1210	32.26%	3349	26.06%
0.01-1	621	6.82%	1413	37.67%	2034	15.83%
1.01-5	1416	15.56%	798	21.27%	2214	17.23%
5.01-30	2549	28.01%	268	7.14%	2817	21.92%
30.01-100	1216	13.36%	53	1.40%	1269	9.88%
≥100.01	1124	12.35%	3	0.08%	1127	8.77%
遺漏值	34	0.37%	6	0.16%	40	0.31%
Total	9099	100.00%	3751	100.00%	12850	100.00%
	Mean	Median	Mean	Median	Mean	Median
劑量(mSv)	75	6.48	2.18	0.26	53.71	2.28

以 1982 年 1/1 估計劑量(劑量以原能會所測量的最高劑量且 24 小時計算)

2. 未設籍於輻射屋所在行政區之居民居住歷史

本計畫依有設籍之住戶、未設籍之租屋者或寄住者、輻射校園之教職員工及學生、輻射辦公室之僱主或勞工等各別建立輻射曝露的世代資料。表 30 為未設籍於輻射屋之居民基本資料及居住歷史，在 270 位的居民中，男性佔 51.11%；遷入時的平均年齡為 23.14 歲，研究終止時的平均年齡為 47.54 歲；平均追蹤時間為 24.48 年；曝露於輻射污染建物的時間為 6.58 年；輻射污染建物的分佈以新北市(50.00%)、台北市(31.48%)為主。(見表 30)

表 30、未設籍於輻射屋之居民基本資料及居住歷史(n=270)

項目	%	平均值	範圍
性別，男性	51.11		
遷入時年齡(歲)		23.14	0-73
研究終止時年齡(歲)		47.54	16-100
追蹤時間(年)		24.48	6.0-29.9
曝露時間(年)		6.58	0.00-16.4
居住地區			
台北市	31.48		
新北市	50.00		
桃園縣	5.56		
彰化縣	--		
其他 ^a	12.96		

a：包含基隆市、新竹市、新竹縣。

3. 工作於輻射辦公室之勞工曝露歷史

表 31 為輻射辦公室勞工之基本資料及居住歷史，在 4,328 位的勞工中，男性佔 44.52%；遷入時的平均年齡為 28.27 歲，研究終止時的平均年齡為 48.62 歲；平均追蹤時間為 20.28 年；曝露於輻射污染建物的時間為 1.72 年；輻射辦公室的分佈以台北市(57.76%)、新北市(11.30%)、桃園縣(30.94%)為主。(見表 31)

表 31、輻射辦公室勞工之基本資料及居住歷史(n=4,328)

項目	%	平均值	範圍
性別，男性	44.52		
遷入時年齡(歲)		28.27	0-68
研究終止時年齡(歲)		48.62	20-94
追蹤時間(年)		20.28	0.46-30.8
曝露時間(年)		1.72	0.00-30.8
居住地區			
台北市	57.76		
新北市	11.30		
桃園縣	30.94		
彰化縣	--		
其他 ^a	--		

a：包含基隆市、新竹市、新竹縣。

4. 學生於輻射校園之曝露歷史

表 32 為輻射校園之基本資料及居住歷史，在 15,368 位的學生中，男性佔 57.88%；遷入時的平均年齡為 12.66 歲，研究終止時的平均年齡為 34.86 歲；平均追蹤時間為 22.17 年；曝露於輻射污染建物的時間為 2.66 年；輻射校園的分佈以台北市(70.12%)、新北市(25.41%)、彰化縣(4.47%)為主。(見表 32)

表 32、輻射校園學生之基本資料及居住歷史(n=15,368)

項目	%	平均值	範圍
性別，男性	57.88		
遷入時年齡（歲）		12.66	0-45
研究終止時年齡（歲）		34.86	21-71
追蹤時間（年）		22.17	15.2-31.2
曝露時間（年）		2.66	0.21-12.87
居住地區			
台北市	70.12		
新北市	25.41		
桃園縣	--		
彰化縣	4.47		
其他 ^a	--		

a：包含基隆市、新竹市、新竹縣。

(三)劑量評估資料庫

1. 住家

根據原能會提供的測量報告以及平面圖的特定點空間劑量率，將輻射污染建物依用途分為以下各項，主要為住家、非住家、住商共同、學校以及公共設施。但在整理 1,660 間輻射污染建物時，發現有分類上的困難，即部分建物が在測量報告所註明的用途與平面圖的空間配置不合，例如註明為住家卻為辦公室格局。(見表 33、輻射污染建物依用途分)

表 33、輻射污染建物依用途分

	平面圖封面分類		實際分類	
	戶數	%	戶數	%
住家	1360	81.93%	1293	77.89%
非住家	249	15.00%	267	15.84%
住商共同	22	1.33%	73	4.40%
學校	10	0.60%	10	0.60%
公共設施	6	0.36%	6	0.36%
無平面圖	13	0.78%	11	0.66%
總計	1660	100.00%	1660	100.00%

輻射污染建物依用途不同，針對不同曝露對象與建物類型則有不同的劑量計算方式。曝露對象分為三類：1. 居民且非勞工、2. 勞工且非居民、3. 居民且勞工，三種身份的確證必須透過與勞保局資料的比對結果。建物區分為 1. 純住家、2. 純辦公室、3. 住商共同。

因此會有三種主要的計算方式，首先，純住家且非在該建物工作之勞工，則以居民的生活佔用因子加權曝露劑量。若為在該建物工作之勞工且未設籍在此，則以勞工的工作佔用因子(工作區 8 小時、休息區 1.5 小時、其他 0.5 小時) 加權曝露劑量。無論是否設籍於純辦公室建物，只要工作於此，亦以勞工的工作佔用因子加權曝露劑量，純辦公室的勞工通常即為建物所有權人且以該建物為工作場所。

若為住商共用之建物，曝露對象設籍於此但非該場所之勞工，僅以居民的生活佔用因子加權曝露劑量。若為在該建物工作之勞工且未設籍在此，則以勞工的工作佔用因子加權曝露劑量。

若設籍於住商共用之建物且工作於此，則同時以勞工的工作佔用因子以及居民的生活佔用因子加權曝露劑量，即 8 小時在住商共用建物之工作區，其餘的時間以居民的生活佔用因子計算在住家的曝露劑量。(見表 34)

表 34、曝露對象與建物類型之劑量計算方式

	建物平面圖類型		
曝露對象身份	純住家	純辦公室	住商共同
居民&非勞工	住家劑量	劑量為 0	住家劑量
勞工&非居民	劑量為 0	辦公室劑量	辦公室劑量
居民&勞工		辦公室劑量	(住家+辦公室)劑量

圖 12 說明本計畫如何利用居家生活佔用因子加權曝露劑量，由於輻射屋家戶通常不會 24 小時都在家中活動，而且每個空間之劑量率亦不同，在此考量下，為更精準計算每個家戶的個人累積曝露劑量，本計畫已發展居家生活佔用因子的調查問卷，針對家中的佔用空間(客廳、臥室、浴室、廚房及其他)調查 24 小時的佔用時間，轉換成 24 小時的加權值，即為居家生活佔用因子(Occupancy factor)。除此之外，本計畫考慮不同年齡與職業身份者居家生活佔用因子的不同，將不同曝露年以及不同人生階段之累積曝露劑量與生活佔用因子相乘再加總，以得到更精準之累積曝露劑量。

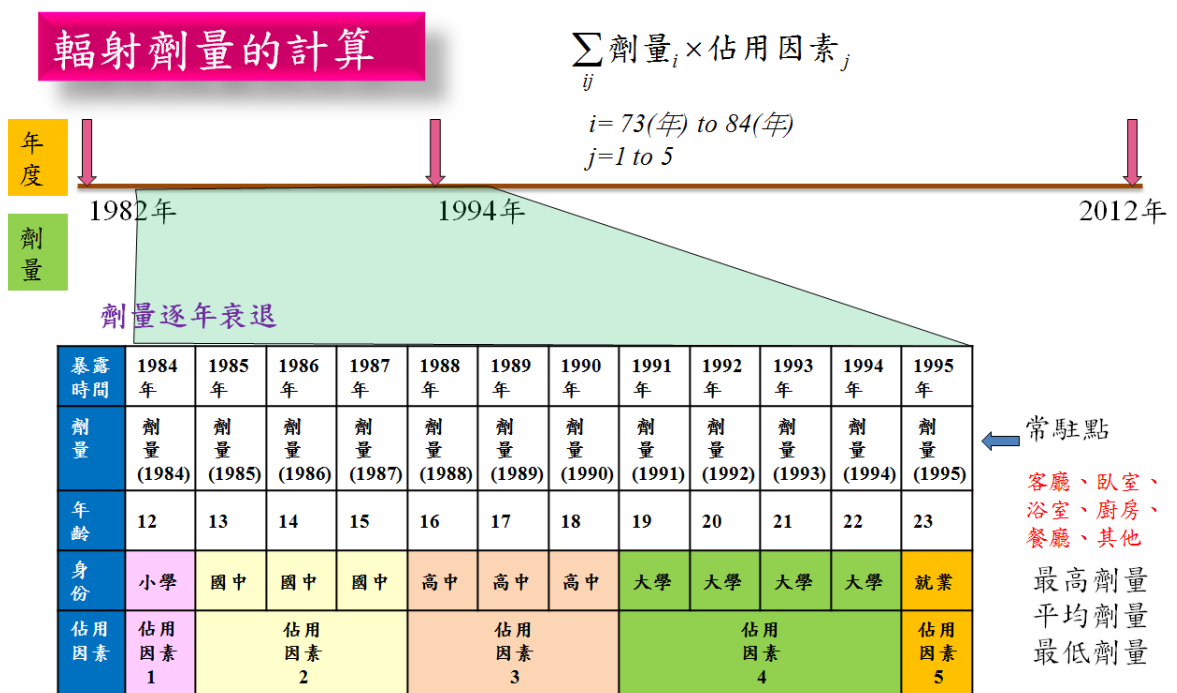


圖 12、住家輻射屋曝露重建

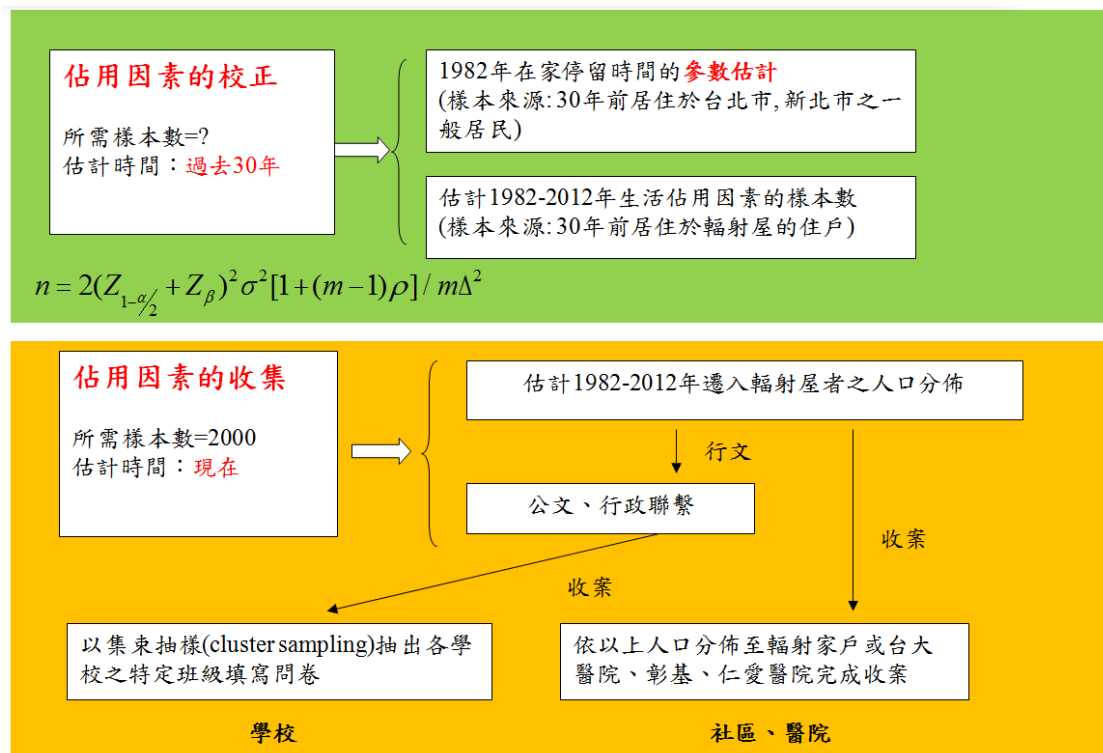


圖 13、佔用因素的校正以及收案流程

為達到以上劑量重建的需要，本計畫以 2,375 份居家生活佔用因子調查問卷，估算北台灣的台北市、新北市一般居民以及輻射屋家戶 24 小時在家中各空間點的佔用因子。收集的年齡層包含 0 歲至 100 歲，涵蓋所有輻射屋家戶的所有年齡層，收案人口分布係依 1982 至 2012 年遷入輻射建物家戶之現今年齡。

25 歲以下學生係透過行文至不同層級的學校，請求協助學生問卷的填寫，包括小學至大專，且學校必須位於輻射屋主要分布區域，收案的學校為台北市文山區辛亥國小、興華國小、萬芳國中、○○國中、萬芳高中、○○大學；新北市三重穀保家商、輔仁大學。除了台北市之○○國中、○○大學以外，其餘為非輻射校園。0 至 6 歲幼童透過台北市文山區辛亥國小、興華國小之園遊會已完成收集以上的孩童數。青壯年及老人佔用因子資料係至輻射家戶、台大、彰基、仁愛醫院，以及輻射分布之主要行政區收集。表 35 為不同性別、年齡之佔用因子收案情形。

表 35、2012 年北台灣一般民眾不同性別、年齡之佔用因子收案情形

年齡層	身份	預期收案樣本數 (份)			收案來源	實際樣本數(份)		
		男	女	合計		男	女	合計
0-6	幼托	14	15	29	辛亥國小	25	25	50
7-12	小學	29	32	61	興華國小	40	41	81
					辛亥國小			
13-15	國中	22	25	47	○○國中	38	41	79
					萬芳國中			
16-18	高中	31	34	65	萬芳高中。	48	48	96
					穀保家商			
19-25	大專	107	96	203	○○大學	128	152	280
					輔仁大學			
26-64	青壯 (有工作)	656	779	1435	仁愛醫院一般健檢	669	858	1527
					輻射屋社區一般民眾			
65+	老人	76	84	160	仁愛醫院老人健檢	130	132	262
合計		934	1066	2000		1078	1297	2375

除了○○國中、○○大學以外，其餘為非輻射校園。

由於以現今的佔用因子代替輻射屋家戶過去 30 年的居家佔用因子是不合理的，本計畫再以 25 歲以上輻射家戶作為受訪對象，請受訪者回想遷入時、1994 年、以及現在居家空間佔用時間，再調整不同時期之輻射屋住戶的居家空間佔用因子，較年輕的輻射家戶若無法回想，則請父母協助

表 36 表 36 為 216 份回溯性佔用因子問卷的年齡分佈。

表 37 為輻射屋住戶遷入輻射屋時與北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間之統計結果，且依不同性別、不同身份計算居家佔用因子。遷入時男性與女性的佔用時間分別為 14.82 小時與 16.46 小時，而 2012 年男性與女性的一般居民之佔用時間分別為 13.62 小時與 14.70 小時，整體而言，輻射屋住戶回溯遷入時的佔用時間比 2012 年的北台灣一般居民還長。(見表 37)

表 36、216 份回溯性佔用因子收案情形

年齡層 (現今年齡)	1982 至 1986 年遷入之 人口數(至今存活者)	%	預期樣本數(份)	完成數量(份)
24 以下	-	-	-	17
25-29	514	12.89	26	8
30-34	563	14.11	28	12
35-39	396	9.93	20	9
40-44	331	8.30	17	13
45-49	338	8.47	17	19
50-54	518	12.99	26	34
55-59	548	13.74	27	22
60-64	328	8.22	16	15
65 以上	453	11.36	23	26
合計	3989	100	200	216

表 37、輻射屋住戶遷入時與北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間(依性別區分)

身份	輻射屋住戶(遷入時)				北台灣一般居民(2012 年時)			
	居家佔用時間		居家佔用時間		居家佔用時間		居家佔用時間	
	男	女	男	女	男	女	男	女
	n	小時	n	小時	n	小時	n	小時
幼童	26	20.529	21	20.214	17	16.518	23	16.136
小學	6	14.028	4	16.646	44	13.612	39	14.112
國中	5	13.283	6	13.375	37	12.401	39	13.699
高中	2	16.500	6	14.222	50	12.725	53	13.015
大專	6	11.708	1	12.500	98	13.728	100	14.831
有工作者	57	12.665	49	14.042	635	12.731	682	13.321
待業中	1	11.000	--	--	32	16.146	28	16.261
家管	--	--	24	19.559	3	16.528	155	18.254
退休	2	17.917	--	--	162	16.729	175	17.289
合計	105	14.822	111	16.456	1,078	13.619	1,294	14.703

佔用因子：依照一天 24 小時劃分。

一、台北市立辛亥國小



國家衛生研究之獨立攤位



小學生填問卷--辛亥國小



青壯年填問卷--辛亥國小



老人填問卷--辛亥國小

二、台北市立興華國小



台北市立興華國小



國家衛生研究之獨立攤位



青壯年填問卷—興華國小



親子填問卷—興華國小

三、穀保家商



國衛院問卷填寫前之說明



高中生填問卷--穀保家商

四、輔仁大學



國衛院問卷填寫前之說明



大學生填問卷--輔仁大學

圖 14、在校園收「居家生活空間佔用時間調查」問卷

表 38 為輻射屋住戶遷入輻射屋時居家空間特定點佔用時間的統計結果(依不同空間)。依不同身份計算居家佔用因子，幼童 1 天在家中的平均時間為 20.39 小時；小學生為 15.08 小時；國中生為 13.33 小時；高中生為 14.79 小時；大專生為 11.82 小時；有工作者為 13.3 小時；家管為 17.92 小時；退休者為 19.56 小時。輻射屋住戶遷入時不同身份的人在家中特定點的時間佔用因素並不相同。(見表 38)

表 38、輻射屋住戶遷入時的居家佔用時間(依空間區分)

身份	客廳	床	書桌	臥室 其他	餐廳	廚房	浴室	前陽台	後陽台	其他	合計
幼童	4.351	14.277	0.387	0.032	0.619	0.090	0.440	0.140	0.053	0.000	20.388
小學	2.800	7.900	2.450	0.200	0.633	0.258	0.617	0.133	0.083	0.000	15.075
國中	2.394	7.273	1.455	0.182	0.682	0.364	0.682	0.098	0.205	0.000	13.333
高中	2.375	7.000	2.563	0.125	0.688	0.750	0.833	0.292	0.167	0.000	14.792
大專	2.000	6.571	1.143	0.000	0.714	0.357	0.607	0.202	0.226	0.000	11.821
有工作者	2.653	7.236	0.575	0.274	0.671	0.699	0.636	0.223	0.215	0.120	13.301
家管	4.000	7.500	0.000	5.000	0.750	0.000	0.667	0.000	0.000	0.000	17.917
退休	6.563	7.208	0.469	0.868	1.042	1.826	0.785	0.451	0.347	0.000	19.559

表 39 為 2012 年居家空間特定點佔用時間的統計結果(依不同身份)，表中將佔用因子依客廳、臥室、浴室、餐廳、廚房、前陽台、後陽台、其他等計算。依不同身份計算居家佔用因子，幼兒 1 天在家中的平均時間為 16.30 小時；小學生為 13.85 小時；國中生為 13.07 小時；高中生為 12.87 小時；大專生為 14.29 小時；就業中者為 13.04 小時；待業人士為 16.20 小時；家管為 18.22 小時；退休者為 17.02 小時。不同職種的人在家中特定點的時間佔用因素並不相同，國中生停駐在臥室床舖的時間最短(7.05 小時)，幼兒最長(9.96 小時)；大專生在臥室書桌的時間最長(2.78 小時)；家管或退休花費較多時間在客廳(4.59 小時及 4.53 小時)、餐廳(1.12 小時及 1.05 小時)及廚房(1.85 小時及 1.16 小時)，以上結果作為輻射曝露劑量重建時的佔用時間的

計算依據。(見表 39)

表 39、北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間(依空間區分)

身份	客廳	床	書桌	臥室 其他	餐廳	廚房	浴室	前陽台	後陽台	其他	合計
幼童	3.850	9.963	0.342	0.529	0.800	0.083	0.546	0.060	0.050	0.075	16.298
小學	2.119	8.358	1.237	0.521	0.645	0.119	0.528	0.079	0.070	0.172	13.847
國中	2.181	7.050	1.917	0.471	0.440	0.233	0.643	0.048	0.049	0.033	13.067
高中	1.662	7.126	1.954	0.380	0.530	0.286	0.648	0.066	0.072	0.150	12.874
大專	1.831	7.337	2.780	0.636	0.534	0.301	0.696	0.070	0.078	0.022	14.285
有工作者	2.102	7.129	1.066	0.608	0.582	0.543	0.624	0.118	0.148	0.117	13.036
待業者	2.760	7.725	2.400	0.583	0.849	0.718	0.686	0.119	0.227	0.133	16.199
家管	4.586	7.442	0.815	0.780	1.120	1.853	0.776	0.299	0.427	0.123	18.221
退休	4.529	7.396	0.839	0.559	1.045	1.156	0.676	0.236	0.275	0.309	17.020

表 40 為輻射屋住戶遷入輻射屋時的回溯性居家佔用時間與北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間的比較，雖然由圖 15 可知，輻射屋住戶遷入輻射屋時的回溯性居家佔用時間比北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間長。由於輻射屋住戶遷入輻射屋時的回溯性問卷回收份數較少，經過無母數統計結果，僅 0 至 4 歲以及 30 至 34 歲的年齡層居家佔用時間不同，這兩個年齡層亦為遷入輻射屋時的主要年齡層。(見表 40、圖 15)

根據圖 16，輻射屋住戶遷入輻射屋時的回溯性居家佔用時間與北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間最大的差異出現在客廳與臥室書桌，主要的年齡差異為 15 至 50 歲間。從輻射屋遷入時與現今的佔用時間比較，客廳的佔用時間縮短，臥室書桌的時間變長，是最主要的生活型態的改變，可能與電腦的使用與網路的發展有關。(見圖 16)

表 40、輻射屋住戶遷入時與北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間的比較

受訪者年齡 (年)	輻射屋住戶 (遷入時) 居家佔用時間		一般居民 (2012 年時) 居家佔用時間		p
	n	小時	n	小時	
0-4	40	21.0688	34	16.6216	<.0001**
5-9	11	15.4773	57	13.7301	0.1338
10-14	13	14.4295	87	13.6224	0.2959
15-19	19	13.9561	156	13.0781	0.1021
20-24	25	14.8933	203	14.2172	0.4673
25-29	39	13.7291	240	13.1956	0.9165
30-34	25	14.3753	278	13.2285	0.0124*
35-39	15	15.1522	179	13.4116	0.3181
40-44	9	15.6204	203	13.2585	0.0896
45-49	12	12.9375	191	13.8198	0.3956
50-54	6	16.2500	202	14.1733	0.2218
55-59	2	14.7083	545	15.9006	0.8380

以 Wilcoxon Two-Sample Test 分析，*: p<0.05; **: p<0.01。

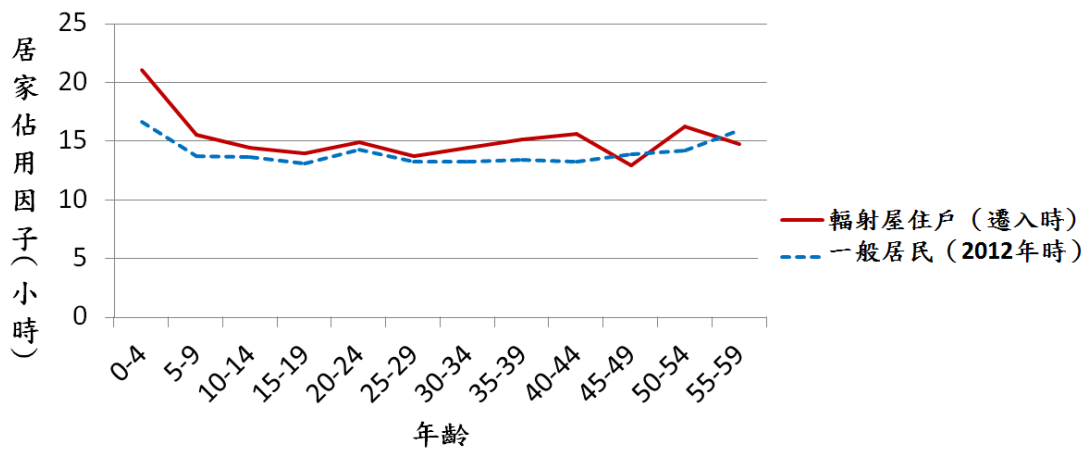
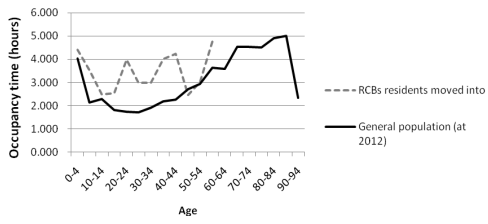
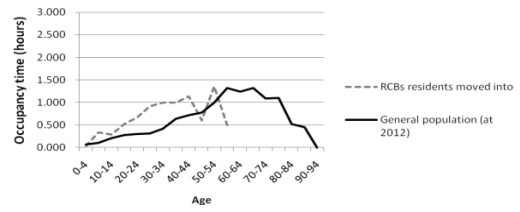


圖 15、輻射屋住戶遷入時與北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間的比較

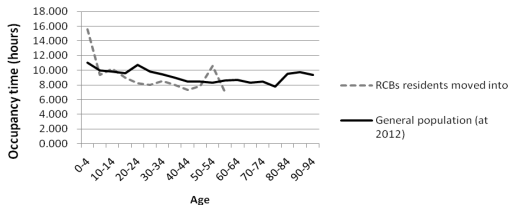
客廳



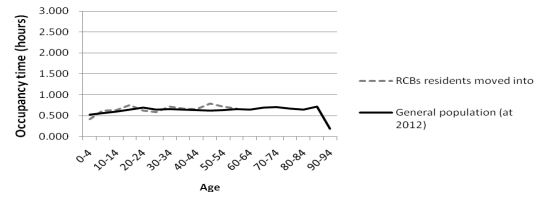
廚房



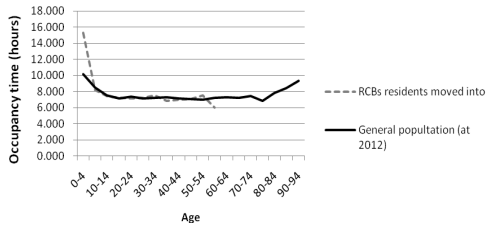
床舖



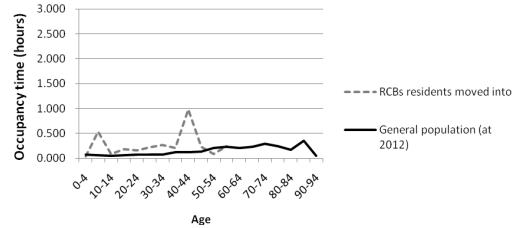
浴室



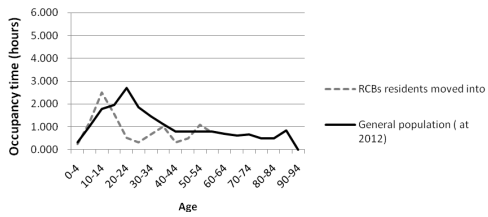
床舖



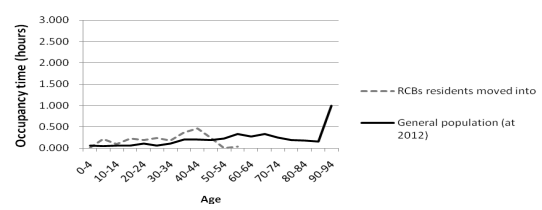
前陽台



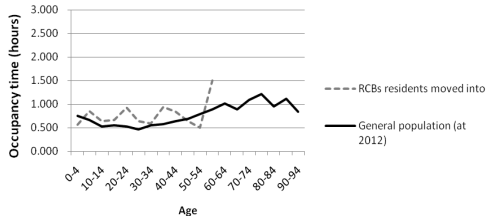
臥室書桌



後陽台



餐廳



其他

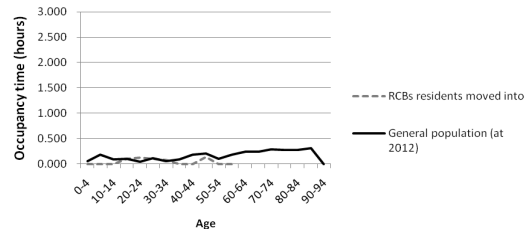


圖 16、輻射屋住戶遷入時與北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間的比較(依佔用空間)

表 41、表 42 為北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間，由統計結果可知，性別不同，佔用時間不同，女性居家佔用時間(14.702 小時)高於男性(13.618 小時)，其中以廚房的佔用時間在兩性間有最大的差異。(參見表 41、表 42 及圖 17)

表 41、北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間(依空間區分; 男性)

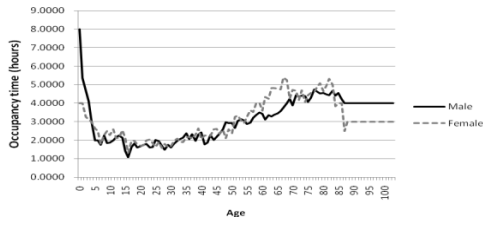
身份	客廳	床	書桌	臥室 其他	餐廳	廚房	浴室	前陽台	後陽台	其他	合計
幼童	4.471	9.529	0.324	0.618	0.824	0.078	0.454	0.074	0.059	0.088	16.518
小學	1.997	8.398	1.047	0.621	0.585	0.126	0.496	0.090	0.070	0.182	13.612
國中	1.944	6.937	1.509	0.532	0.468	0.274	0.569	0.041	0.060	0.068	12.400
高中	1.555	7.187	1.963	0.217	0.612	0.303	0.580	0.084	0.074	0.150	12.725
大專	1.843	7.130	2.745	0.477	0.534	0.215	0.609	0.085	0.090	0.000	13.728
有工作者	2.161	7.056	1.140	0.491	0.573	0.355	0.559	0.115	0.118	0.164	12.731
待業者	2.807	7.766	2.734	0.396	0.737	0.596	0.578	0.068	0.214	0.250	16.146
家管	5.667	6.833	0.667	0.333	0.833	1.000	0.528	0.000	0.667	0.000	16.528
退休	4.700	7.549	0.889	0.504	1.047	0.622	0.635	0.218	0.224	0.341	16.729

表 42、北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間(依空間區分; 女性)

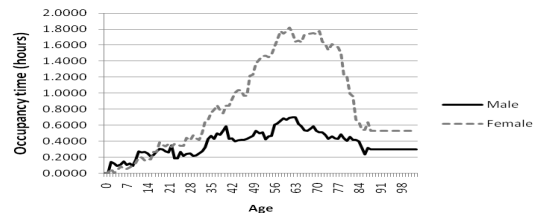
身份	客廳	床	書桌	臥室 其他	餐廳	廚房	浴室	前陽台	後陽台	其他	合計
幼童	3.391	10.283	0.355	0.464	0.783	0.087	0.614	0.051	0.043	0.065	16.136
小學	2.256	8.312	1.451	0.408	0.712	0.111	0.564	0.067	0.070	0.161	14.112
國中	2.406	7.158	2.303	0.415	0.415	0.194	0.714	0.056	0.039	0.000	13.699
高中	1.763	7.068	1.946	0.534	0.453	0.271	0.712	0.049	0.069	0.151	13.015
大專	1.819	7.540	2.815	0.792	0.534	0.386	0.782	0.055	0.066	0.043	14.831
有工作者	2.048	7.197	0.997	0.718	0.591	0.717	0.685	0.122	0.175	0.073	13.321
待業者	2.705	7.679	2.018	0.798	0.976	0.857	0.810	0.177	0.242	0.000	16.261
家管	4.565	7.454	0.818	0.788	1.125	1.870	0.781	0.304	0.423	0.126	18.254
退休	4.371	7.254	0.792	0.610	1.044	1.650	0.713	0.252	0.322	0.279	17.289

表 43 為原能會提供之空間劑量率平面圖的空間配置以及測量點數，客廳最多測 20 點，本計畫取各空間的平均劑量率、最低劑量率以及最大劑量率重建曝露量，一間建物中若有多個浴廁、臥室的情況下，則假設家戶中每人曝露在所有空間點的機率相等，因此家

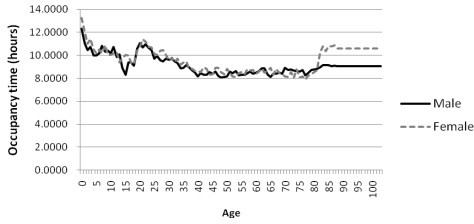
客廳



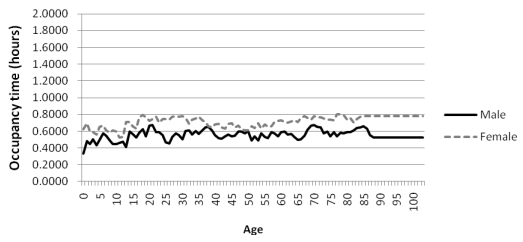
廚房



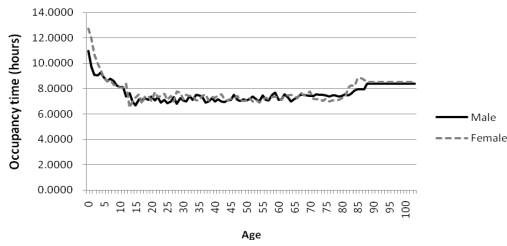
臥室



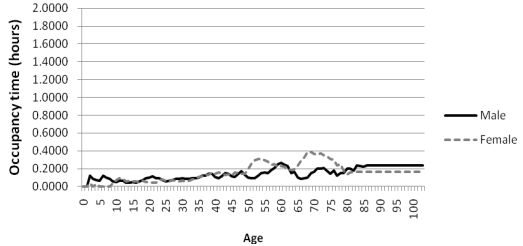
浴室



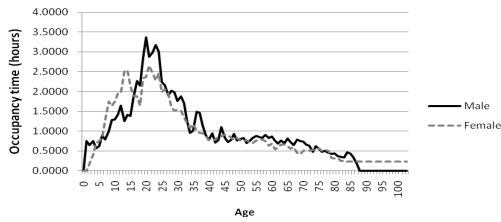
床鋪



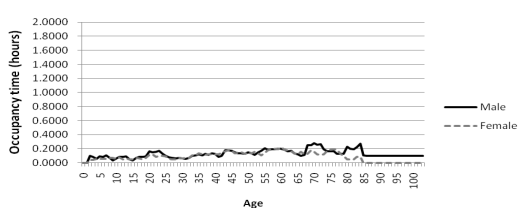
前陽台



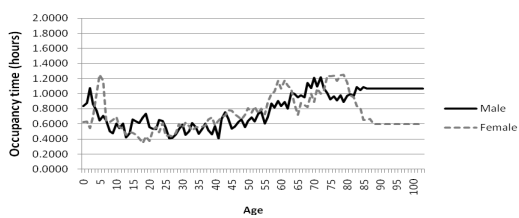
書桌



後陽台



餐廳



其他

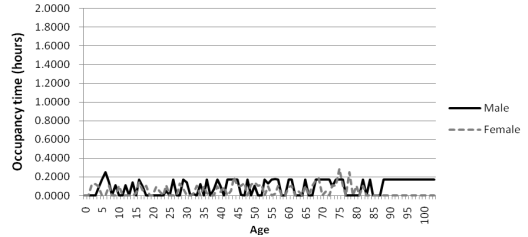


圖 17、北台灣一般居民 2012 年的居家佔用時間的性別比較(依空間區分)

戶中每人所對應的各空間劑量率是相等。(見表 43)

表 43、輻射屋居民佔用空間之空間點測量點數

空間	A	B	C	D	E	F	G	H
客廳	20							
餐桌	7							
廚房	5							
共同浴廁	5	3	3					
臥室浴廁	3	3	3					
臥室	12	12	12	12	12	8	6	6
臥室其他	6	7	9	5	5	1		
書桌	5	4	3	3	2	1		
前陽台	7							
後陽台	7	5						
其他陽台	4							
其他	17	23	5	5	1	2	2	3

註：測量點數：取平面圖上點數出現最多者

表 44 為居民居住歷史與佔用因子結合的資料檔(以某家戶為例)，該家戶在同一輻射屋建物有 3 次的遷入與遷出，第一次在 32 歲的時候，遷入日為 1986/3/31，遷出日為 1986/9/19，該年除了考慮曝露時間，輻射的衰變，還要考慮 32 歲時在該建物中的居家佔用因子，因此將 2012 年北台灣一般民眾「居家生活空間之佔用時間調查(問卷)」所估算之 32 歲的居家佔用因子合併進來。第二次的遷入遷出在 38 歲的時候，遷入日為 1993/1/20，遷出日為 1993/10/16，佔用因子為 38 歲的居家佔用因子。第三次的遷入遷出在 45 歲的時候，遷入日為 1999/3/16，遷出日為 2012/4/15，此次的居住時間長達 13 年，因此必須以遷入日為基準，以一年為觀察單位，產生每一年的觀察開始日以及結束日，因此第一年的觀察開始日以及結束日分別為 1999/3/16 以及 2000/3/15，佔用因子為 45 歲的佔用因子。最後一段觀察開始日以及結束日分別為 2012/3/16 以及 2012/4/15，佔用因子為 58 歲的居家佔用因子。觀察開始日以及結束日在戶籍抄錄資料檔中並不存在，係透過電腦程式的撰寫所產生，藉此即可連結每個年齡層之佔用因子並計算每年之累積曝露劑量。(見表 44)

表 44、居民居住歷史與佔用因子結合(以某家戶為例)

第幾次 遷入遷出	SNO	性別	遷入 年齡	遷入日	遷出日	開始日	結束日	空間佔用時間(小時)										
								臥室	床鋪	書桌	臥室 其他	客廳	餐廳	廚房	浴室	前陽台	後陽台	合計
1	10607169	女	32	1986/3/31	1986/9/19	1986/3/31	1986/9/19	11.37	9.60	1.00	0.77	1.43	0.60	0.00	0.47	0.10	0.00	14.17
2	10607169	女	38	1993/1/20	1993/10/16	1993/1/20	1993/10/16	8.94	7.13	1.37	0.44	2.37	0.45	0.20	0.68	0.07	0.05	12.93
3	10607169	女	45	1999/3/16	2012/4/15	1999/3/16	2000/3/15	10.55	7.70	2.60	0.25	1.87	0.42	0.40	0.74	0.20	0.27	14.44
	10607169	女	46	1999/3/16	2012/4/15	2000/3/16	2001/3/15	10.21	6.84	2.66	0.71	1.59	0.42	0.12	0.70	0.19	0.11	13.34
	10607169	女	47	1999/3/16	2012/4/15	2001/3/16	2002/3/15	10.43	7.30	2.35	0.78	1.83	0.43	0.32	0.56	0.11	0.15	13.84
	10607169	女	48	1999/3/16	2012/4/15	2002/3/16	2003/3/15	10.70	7.25	3.35	0.10	1.63	0.85	0.19	0.57	0.01	0.05	14.00
	10607169	女	49	1999/3/16	2012/4/15	2003/3/16	2004/3/15	10.65	7.06	3.18	0.41	1.72	0.61	0.15	0.63	0.07	0.10	13.98
	10607169	女	50	1999/3/16	2012/4/15	2004/3/16	2005/3/15	8.58	6.62	1.63	0.33	1.95	0.43	0.22	0.44	0.12	0.11	11.86
	10607169	女	51	1999/3/16	2012/4/15	2005/3/16	2006/3/15	9.79	6.76	2.08	0.95	1.87	0.40	0.15	0.46	0.07	0.04	13.02
	10607169	女	52	1999/3/16	2012/4/15	2006/3/16	2007/3/15	9.70	7.48	1.64	0.58	1.68	0.41	0.25	0.51	0.02	0.03	12.60
	10607169	女	53	1999/3/16	2012/4/15	2007/3/16	2008/3/15	9.52	6.82	2.07	0.64	1.62	0.41	0.26	0.70	0.11	0.10	12.72
	10607169	女	54	1999/3/16	2012/4/15	2008/3/16	2009/3/15	9.52	7.27	1.75	0.50	1.70	0.50	0.22	0.52	0.06	0.09	12.79
	10607169	女	55	1999/3/16	2012/4/15	2009/3/16	2010/3/15	9.63	7.06	1.86	0.71	1.54	0.62	0.24	0.52	0.05	0.05	12.82
	10607169	女	56	1999/3/16	2012/4/15	2010/3/16	2011/3/15	8.07	6.93	0.97	0.17	1.38	0.46	0.20	0.58	0.07	0.01	10.76
	10607169	女	57	1999/3/16	2012/4/15	2011/3/16	2012/3/15	9.65	7.38	1.92	0.35	2.40	0.68	0.17	0.61	0.09	0.04	13.67
	10607169	女	58	1999/3/16	2012/4/15	2012/3/16	2012/4/15	9.38	6.88	1.04	1.46	1.96	0.58	0.35	0.56	0.04	0.02	12.88

圖 18 為再次以表 44 家戶為例，說明累積曝露劑量的計算方式，該家戶第三次的遷入遷出在 45 歲的時候，遷入日為 1999/3/16，遷出日為 2012/4/15，此次的居住時間長達 13 年，以遷入日為基準，以一年為觀察單位，產生第一年的觀察開始日以及結束日，依序為 1999/3/16 以及 2000/3/15，佔用因子為 45 歲的佔用因子，最後遷出日為 2012/4/15。

由圖 18 可知，R 為遷入日至遷出日的總曝露時間，R2 為自遷入日累積至第二年年年底之累積劑量，R1 為第一年的累積劑量，R3 為第二年的累積劑量。R3 的計算方式為累積至第二年年年底之累積劑量扣除前一年的累積劑量所產生。本計畫採用的計算公式：

$$\frac{D_0 e^{\lambda T}}{\lambda} (1 - e^{-\lambda R})$$

因此只需利用偵測日之劑量率及偵測日期、遷入與遷出日期即可計算累積曝露劑量。偵測日之劑量率單位為微西弗/小時，必須乘以 24 小時，再乘以 365.25 天，最後除以 1000，換算成偵測時的劑量(單位：毫西弗)。再以每一段觀察開始日至結束日計算每個空間的累積劑量，並將每個空間的累積劑量乘上特定年齡的佔用因子，加總所有空間點的累積劑量，最後再加總不同空間、不同時期的累積劑量，即得到該家戶第三次遷入並遷出期間內的累積曝露劑量。有些家戶還需考慮建物的污染移除或重建後的劑量改變。(見表 45)

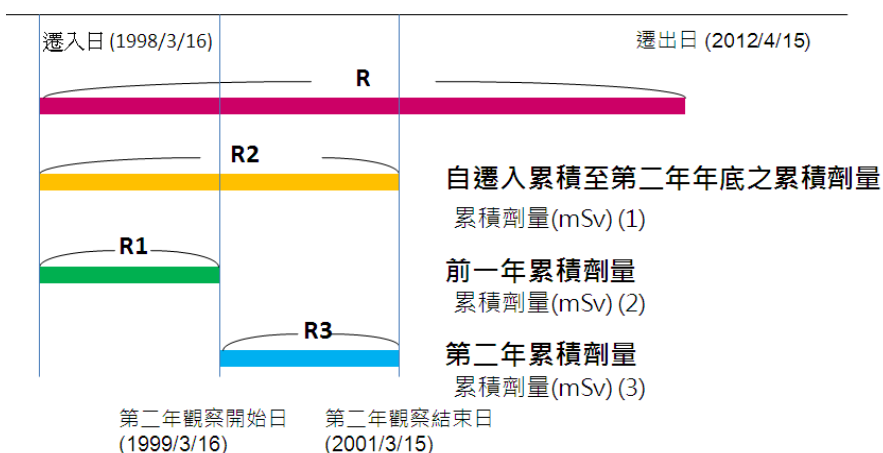


圖 18、依居民居住歷史計算每時期之累積曝露劑量

表 45、居民居住歷史與佔用因子、空間劑量率結合(以某家戶的客廳劑量為例)

第幾次 遷入遷出	SNO	性別	遷入 年齡	遷入日	遷出日	觀察 開始日	觀察 結束日	偵測日期	偵測時空間 劑量率(μ Sv/hr)	累積劑量 (mSv) (1)	累積劑量 (mSv) (2)	累積劑量 (mSv) (3)	客廳 佔用 時數	(3)×佔 用因子 (4)	所有空間之 累積劑量 總合(mSv)
1	10607169	女	32	1986/3/31	1986/9/19	1986/3/31	1986/9/19	1992/10/17	0.304	2.891	0.000	2.891	2.400	0.289	2.566
2	10607169	女	38	1993/1/20	1993/10/16	1993/1/20	1993/10/16	1992/10/17	0.304	1.809	0.000	1.809	2.438	0.184	1.549
3	10607169	女	45	1999/3/16	2012/4/15	1999/3/16	2000/3/15	1992/10/17	0.304	1.072	0.000	1.072	2.900	0.129	1.057
	10607169	女	46	1999/3/16	2012/4/15	2000/3/16	2001/3/15	1992/10/17	0.304	2.011	1.074	0.936	2.636	0.103	1.002
	10607169	女	47	1999/3/16	2012/4/15	2001/3/16	2002/3/15	1992/10/17	0.304	2.834	2.013	0.821	3.750	0.128	0.866
	10607169	女	48	1999/3/16	2012/4/15	2002/3/16	2003/3/15	1992/10/17	0.304	3.555	2.836	0.719	4.000	0.120	0.745
	10607169	女	49	1999/3/16	2012/4/15	2003/3/16	2004/3/15	1992/10/17	0.304	4.189	3.557	0.632	4.450	0.117	0.671
	10607169	女	50	1999/3/16	2012/4/15	2004/3/16	2005/3/15	1992/10/17	0.304	4.743	4.191	0.552	2.056	0.047	0.582
	10607169	女	51	1999/3/16	2012/4/15	2005/3/16	2006/3/15	1992/10/17	0.304	5.228	4.744	0.484	3.000	0.061	0.452
	10607169	女	52	1999/3/16	2012/4/15	2006/3/16	2007/3/15	1992/10/17	0.304	5.654	5.230	0.424	4.286	0.076	0.457
	10607169	女	53	1999/3/16	2012/4/15	2007/3/16	2008/3/15	1992/10/17	0.304	6.028	5.655	0.373	2.900	0.045	0.354
	10607169	女	54	1999/3/16	2012/4/15	2008/3/16	2009/3/15	1992/10/17	0.304	6.354	6.029	0.326	2.429	0.033	0.306
	10607169	女	55	1999/3/16	2012/4/15	2009/3/16	2010/3/15	1992/10/17	0.304	6.641	6.355	0.285	4.350	0.052	0.313
	10607169	女	56	1999/3/16	2012/4/15	2010/3/16	2011/3/15	1992/10/17	0.304	6.892	6.642	0.250	3.722	0.039	0.251
	10607169	女	57	1999/3/16	2012/4/15	2011/3/16	2012/3/15	1992/10/17	0.304	7.112	6.892	0.220	3.611	0.033	0.245
	10607169	女	58	1999/3/16	2012/4/15	2012/3/16	2012/4/15	1992/10/17	0.304	7.130	7.113	0.017	4.375	0.003	0.019
研究終止前的累積曝露劑量(mSv)(已扣除背景值)															11.434

[註 1] 累積劑量(mSv)(1)~(3)：如圖 18 所定義；[註 2] (4)：累積劑量(mSv)(3)乘上空間佔用因子之累積劑量；

[註 3] 所有空間之累積劑量總合(mSv)：乘上空間佔用因子之各個空間(客廳、餐廳、廚房、臥室、浴室...等)的累積劑量加總而得。

[註 4] 偵測時空間劑量率已扣除背景值，且取各點之平均值。[註 5] 若有施工改善情形，改善後的累積劑量須重新計算。

2. 職場

以下為輻射辦公室累積劑量的計算

$$\text{累積劑量} = \frac{D_d e^{\lambda T}}{\lambda} (1 - e^{-\lambda R}) \times \frac{6}{7} \times \frac{42}{52}$$

$$D_d = (\text{偵測劑量率} \times 24 \times 365.5) / 1000 \quad T = (\text{偵測日期} - \text{加保日期}) / 365.25$$

$$R = (\text{退保日期} - \text{加保日期}) / 365.25$$

偵測劑量率的調整因子:

1. 有休息區：工作區 $\times (7.5/24)$ + 休息區 $\times (1/24)$ + 其他 $\times (0.5/24)$ 。
2. 無休息區：工作區 $\times (8.5/24)$ + 其他 $\times (0.5/24)$ 。
3. 一週工作 6 天，一年工作 42 週。

過去無週休 2 日，一週工作 6 天，一年工作 42 週 (扣掉: 52 個週日+5 天過年+ 國定假日 12 天~約 10 週)。國定假日係依目前政府公告的一年 8 天，再加回過去的蔣公誕辰、國父誕辰、台灣光復節與行憲紀念日等假日，所以是 12 天。無加保日期的勞工，以公司起始時間或勞工 19 歲時的時間為開始時間。

表 46、職場勞工累積曝露劑量

劑量計算方式 (採特定點空間劑量率)	勞工數	Minimum	Maximum	Mean	SD
以最大值計算	4,328	0	1898.5692	13.1929	71.4998
以平均值計算	4,328	0	222.0415	2.9008	15.0212
以最小值計算	4,328	0	136.2815	0.5274	5.4889

3. 學校

累積劑量計算方式

$$\text{累積劑量} = \frac{D_d e^{\lambda T}}{\lambda} (1 - e^{-\lambda R}) \times \frac{A}{24} \times \frac{B}{7} \times \frac{40}{50}$$

$$T = (\text{偵測日期} - \text{開學日}) / 365.25$$

$$R = (\text{學年結束日} - \text{開學日}) / 365.25$$

1. 一天上課 A 小時。
2. 一週上課 B 天。
3. 一年上課 40 週。

表 47 至表 51 為本計畫重建之輻射校園累積劑量，以最高、平均與最低空間劑量率計算。(見表 47 至表 51)

表 47、四所學校累積曝露劑量

劑量計算方式	學生數	Minimum	Maximum	Mean	SD
採最大值計算	15,368	.01	41.96	1.4745	2.47799
採平均值計算	15,368	.00	22.76	.4831	1.21882
採最小值計算	15,368	.00	9.27	.0841	.42790

表 48、○○托兒所累積曝露劑量

劑量計算方式	學生數	Minimum	Maximum	Mean	SD
採最大值計算	687	.04	41.96	9.9809	6.12997
採平均值計算	687	.01	22.76	5.0859	3.09820
採最小值計算	687	.00	9.27	1.7648	1.06282

表 49、○○國中累積曝露劑量

劑量計算方式	學生數	Minimum	Maximum	Mean	SD
採最大值計算	10,776	.06	6.84	1.0487	.58190
採平均值計算	10,776	.01	1.70	.2569	.14234
採最小值計算	10,776	.00	.11	.0000	.00152

表 50、○○高商累積曝露劑量

劑量計算方式	學生數	Minimum	Maximum	Mean	SD
採最大值計算	1,614	.01	6.71	2.6818	1.99749
採平均值計算	1,614	.00	1.69	.6662	.50379
採最小值計算	1,614	.00	.02	.0053	.00619

表 51、○○技術學院累積曝露劑量

劑量計算方式	學生數	Minimum	Maximum	Mean	SD
採最大值計算	2,291	.02	4.64	.0790	.13280
採平均值計算	2,291	.01	2.42	.0388	.06577
採最小值計算	2,291	.01	1.89	.0309	.05226

(四)不同曝露世代與累積輻射劑量之資料整合

表 52 為本計畫所建立之各世代的基本資料與累積曝露劑量，依曝露的場所分，住家(無論是設籍或未設籍)人數為 13,120 人，輻射職場為 4,328 人(含僱主、勞工及勞工子女)，輻射校園為 15,368 人(包含學校教職員工及學生)，主要的受污染者為學生。其中 154 人同時出現在輻射職場與住家的世代資料中，合計有 32,662 位世代。

在基本資料的分佈中，住戶與職場員工為男性少於女性，校園世代則相反。住戶遷入輻射屋時的平均年齡為 23.14 歲；職場員工進入輻射辦公室時的平均年齡為 28.27 歲；校園世代進入輻射校園時的平均年齡為 12.66 歲，所有世代首次曝露年齡為 18.89 歲。研究結束後所統計之世代年齡分析中，住戶現在的平均年齡為 43.56 歲；職場員工的平均年齡為 48.62 歲；校園世代的平均年齡為 34.86 歲，所有世代的年齡為 40.23 歲。住戶的平均追蹤時間為 20.40 年；員工為 20.28 年；校園世代為 22.17 年，所有世代的平均追蹤時間為 21.23 年。住戶的平均曝露輻射時間為 8.25 年；職場員工為 1.72 年；校園世代為 2.66 年，所有世代平均曝露輻射時間為 4.77 年。

以最高、平均與最低空間劑量率計算累積劑量，住戶的累積劑量依序為 29.53 毫西弗、15.563 毫西弗、8.603 毫西弗；職場員工的累積劑量依序為 12.48 毫西弗、2.84 毫西弗、0.48 毫西弗；校園世代的累積劑量依序為 1.48 毫西弗、0.48 毫西弗、0.09 毫西弗；所有世代的累積劑量依序為 14.08 毫西弗、6.82 毫西弗、3.54 毫西弗。

住戶所曝露的輻射污染建物主要分佈在台北市(50.99%)及新北市(40.39%)；職場員工為台北市(57.76%)及桃園(30.94%)；校園世代為台北市(70.12%)、新北市(25.41%)與彰化縣(4.47%)。(見表 52)

根據表 53 輻射屋不同曝露來源世代之輻射累積曝露劑量分佈，以最高、平均與最低空間劑量率計算累積劑量，住戶的累積劑量超過 100 毫西弗的比例依序為 5.38%、3.01%與 1.68%；職場員工依序為 2.52%、0.76%與 0.14%；校園世代皆為 0.00%；所有世代的比例依序為 2.47%、1.30%與 0.68%。(見表 53)

表 52、輻射屋不同曝露來源世代之人口學變項及輻射曝露情形

特性	住家 (N=13,120)			職場 ^a (N=4,328)			學校 ^b (N=15,368)			合計 ^c (N=32,662)		
	%	平均值	範圍	%	平均值	範圍	%	平均值	範圍	%	平均值	範圍
性別，男性	48.13			44.52			57.88			52.26		
遷入時年齡（歲）		23.14	0-93		28.27	0-68		12.66	0-45		18.89	0-93
0-6（歲）	25.79			0.12			4.38			12.43		
7-12（歲）	11.04			--			66.00			35.38		
13-18（歲）	7.02			14.05			28.50			18.04		
19-25（歲）	10.69			38.10			1.03			9.76		
26-44（歲）	33.42			38.03			0.08			18.31		
45-64（歲）	8.89			9.59			0.01			4.80		
65 以上（歲）	3.16			0.12			--			1.28		
研究終止時年齡（歲）		43.56	1-117		48.62	20-94		34.86	21-71		40.23	1-117
追蹤時間（年）		20.40	1.00-30.8		20.28	0.46-30.8		22.17	15.2-31.2		21.23	0.46-31.2
曝露輻射時間（年）		8.25	0.00-30.8		1.72	0.00-30.8		2.66	0.21-12.87		4.77	0.0-30.8
累積曝露劑量 (mSv) ^d												
最大值		29.53	0-2608		12.48	0-1899		1.48	0-42		14.08	0-2608
平均值		15.56	0-1751		2.84	0-175		0.48	0-22.8		6.82	0-1751
最小值		8.60	0-1116		0.48	0-136		0.09	0-9.3		3.54	0-1116
居住地區												
台北市	50.99			57.76			70.12			60.79		
新北市	40.39			11.30			25.41			29.56		
桃園縣	6.13			30.94			--			6.55		
彰化縣	--			--			4.47			2.10		
其他 ^e	2.50			--			--			1.00		

a：包含勞工及其後代。 b：包含學校教師及職員。c：部分輻射屋居民在同一棟輻射屋中不但為住戶且為勞工。d：累積劑量是以平面圖上之最大、平均、最小空間劑量作計算。e：包含基隆市、新竹市、新竹縣。

表 53、輻射屋不同曝露來源世代之輻射累積曝露劑量

累積劑量分組		住家 (N=13,120)		職場 (N=4,328)		學校 (N=15,368)		合計 (N=32,662)	
		N	%	N	%	N	%	N	%
		最大值	<1	6,997	53.33	2,760	63.77	7,780	50.62
	1-5	2,152	16.4	747	17.26	6,617	43.06	9,473	29.00
	5-30	2,350	17.91	538	12.43	968	6.3	3,839	11.75
	30-100	915	6.97	174	4.02	3	0.02	1,079	3.30
	100+	706	5.38	109	2.52	--	--	808	2.47
平均值	<1	8,039	61.27	3,527	81.49	14,329	93.24	25,783	78.94
	1-5	2,130	16.23	486	11.23	773	5.03	3,377	10.34
	5-30	1,938	14.77	217	5.01	266	1.73	2,402	7.35
	30-100	618	4.71	65	1.50	--	--	677	2.07
	100+	395	3.01	33	0.76	--	--	423	1.30
最小值	<1	9,468	72.16	4,175	96.46	14,814	96.4	28,321	86.71
	1-5	1,830	13.95	92	2.13	545	3.55	2,457	7.52
	5-30	1,275	9.72	46	1.06	9	0.06	1,326	4.06
	30-100	327	2.49	9	0.21	--	--	335	1.03
	100+	220	1.68	6	0.14	--	--	223	0.68

註：累積劑量是以平面圖上之最大、平均、最小空間劑量作計算。

五、居民歷年健檢資料庫

(一) 資料整理重點

健檢資料包含早期的紙本健檢報告，以及後來的電子資料，此外除了不同時期的台大醫院、彰化基督教醫院，早期還有其他醫院參與輻射健檢工作。同一家醫院在不同時期有不同的資料格式，不同家醫院亦有不同的資料格式，資料的重整工作較為繁瑣。台大醫院的電子檔出現部分的資料缺失的情形，而資料的正確性堪慮，基於資料的正確性及完整性的考量，則依據紙本資料重新輸入。因此本計畫關於健檢資料的整理重點如下：

1. 整合不同時期(1992 至 1998 年)多家醫院之電子檔及紙本問卷資料(以下簡稱初檢年)。
2. 補齊台大健檢資料(1999 至 2011 年)之資料缺失的情形。

以上資料再加上過去已輸入完成之彰基電子資料，以及紙本問卷的數量，共計有 10,351 人次的健檢資料。(見表 54)

(二)歷年健檢資料統計

表 54、歷年健檢資料之資料內容概述

年份	版本	資料筆數	性別分布				年齡分布		
			男		女		平均	最小	最大
初檢年	版本 4	1466	698	47.6%	768	52.4%	24.76	0	85
1999	版本 1	321	153	47.7%	168	52.3%	34.49	2	86
	版本 2	343	165	48.1%	178	51.9%	16.75	8	67
2000	版本 1	365	173	47.4%	192	52.6%	33.08	4	81
	版本 2	254	118	46.5%	136	53.5%	17.13	11	24
2001	版本 1	334	173	51.8%	161	48.2%	32.09	5	89
	版本 2	275	133	48.4%	142	51.6%	18.53	11	44
2002	版本 1	509	243	47.7%	266	52.3%	34.95	6	86
	版本 2	247	113	45.7%	134	54.3%	19.36	13	26
2003	版本 1	438	214	48.9%	224	51.1%	36.05	7	87
	版本 2	227	108	47.6%	119	52.4%	20.35	12	42
2004	版本 1	443	206	46.5%	237	53.5%	36.73	8	88
	版本 2	238	110	46.2%	128	53.8%	21.67	13	72
2005	版本 1	483	224	46.4%	259	53.6%	37.35	8	81
	版本 2	203	91	44.8%	112	55.2%	22.84	14	48
2006	版本 1	439	204	46.5%	235	53.5%	38.59	11	82
	版本 2	228	107	46.9%	121	53.1%	24.23	15	74
2007	版本 2	244	111	45.5%	133	54.5%	24.92	16	75
	版本 3	452	205	45.4%	247	54.6%	39.95	10	91
2008	版本 2	252	119	47.2%	133	52.8%	25.88	17	51
	版本 3	466	208	44.6%	258	55.4%	39.74	11	84
2009	版本 2	244	110	45.1%	134	54.9%	27.06	18	52
	版本 3	478	215	45.0%	263	55.0%	40.94	12	84
2010	版本 2	226	109	48.2%	117	51.8%	28.08	19	78
	版本 3	474	215	45.4%	259	54.6%	42.58	13	84
2011	版本 2	217	107	49.3%	110	29.1%	29.12	20	54
	版本 3	485	217	44.7%	268	70.9%	43.24	14	85
合計		10,351							

版本 1：新護照(台大)，123 個變項數

版本 2：彰基，239 個變項數

版本 3：台大，133 個變項數

版本 4：早期(1992 至 1998 年)之各家醫院

原能會對於在居住期間任 1 年之年劑量達 5 毫西弗以上，安排健康檢查，符合此輻射健檢資格者共有 1,885 位民眾(原能會提供)。自初檢年至 2011 年，從未參與健檢的人數為 204 人，佔 10.82%的比例(見表 55)

表 55、初檢年至 2011 年參與過健檢與從未健檢人數

統計量	從未健檢	健檢	合計
n	204	1,681	1,885
%	10.82%	89.18%	100%

根據圖 19，有 504 人健檢次數超過 10 次以上(含 10 次)，約佔符合資格者的 26.7%，佔所有曾參與健檢者的比例為 30.0%。只有參與 1 次健檢者的人數為 449 人，約佔符合資格者的 23.8%，佔所有曾參與健檢者的比例為 26.7%。(見圖 19)

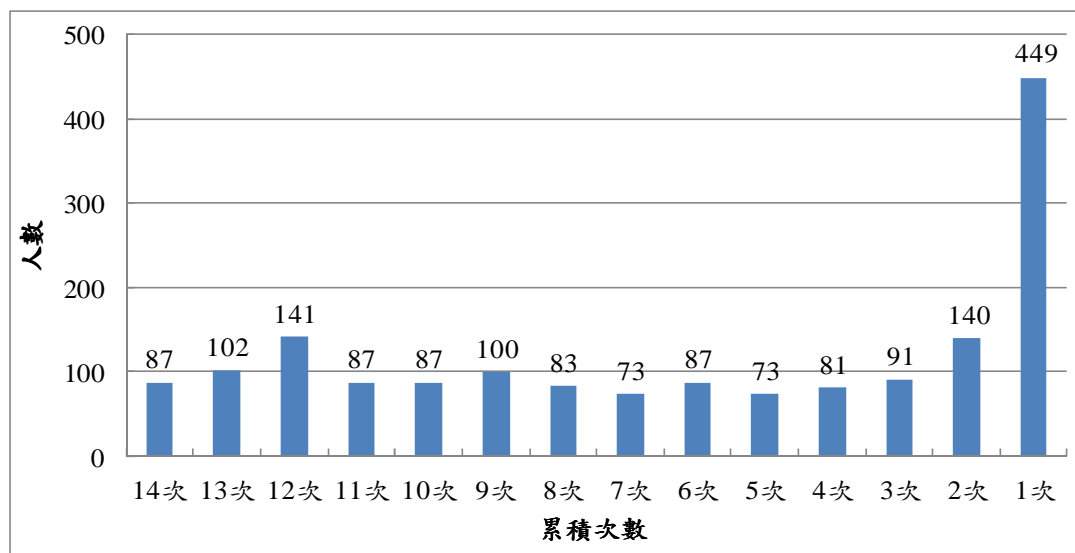


圖 19、歷年健檢每人累積健檢次數

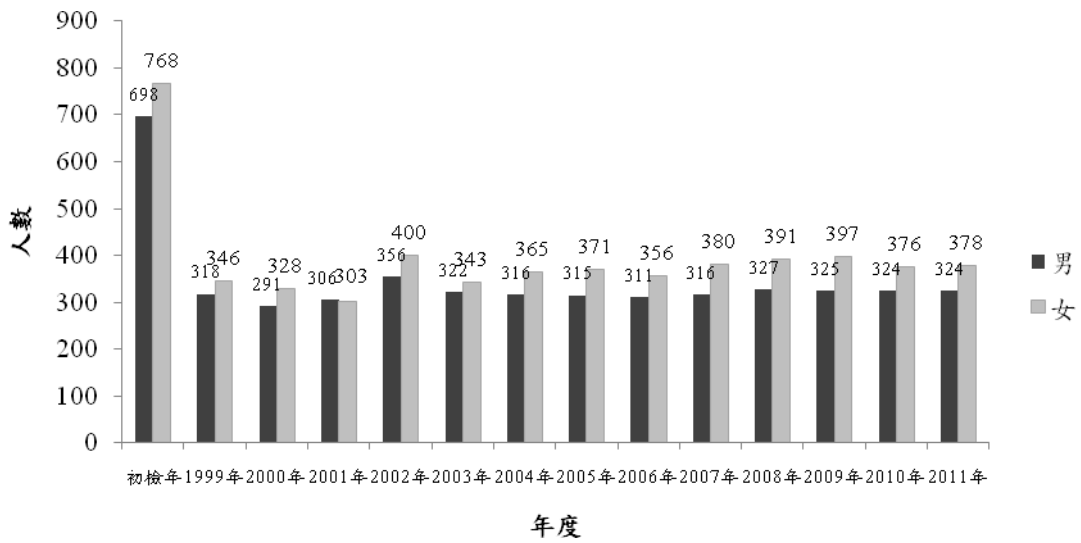


圖 20、台大與彰基輻射健檢每年男女之健檢次數統計

根據圖 20 與表 56，除了 2001 年，歷年曾參與健檢者的性別比例以女性為多；歷年參與輻射健檢之平均檢驗年齡以初檢年時(24.76 歲)為最低。(見圖 20、表 56)

表 56、歷年輻射健檢每年不同性別之健檢次數及健檢時年齡

檢驗年	男		女		合計 人數	年齡		
	人數	%	人數	%		平均值	最小值	最大值
初檢年	698	47.61	768	52.39	1466	24.76	0	85
1999年	318	47.89	346	52.11	664	25.77	2	86
2000年	291	47.01	328	52.99	619	27.07	4	81
2001年	306	50.25	303	49.75	609	26.48	5	89
2002年	356	47.09	400	52.91	756	30.36	6	86
2003年	322	48.42	343	51.58	665	31.20	7	87
2004年	316	46.40	365	53.60	681	31.98	8	88
2005年	315	45.92	371	54.08	686	33.56	8	81
2006年	311	46.63	356	53.37	667	34.17	11	82
2007年	316	45.40	380	54.60	696	35.18	10	91
2008年	327	45.54	391	54.46	718	35.38	11	84
2009年	325	45.01	397	54.99	722	36.76	12	84
2010年	324	46.29	376	53.71	700	38.41	13	84
2011年	324	46.15	378	53.85	702	39.38	14	85
合計	4849	46.85	5502	53.15	10351	31.74	0	91

六、血液學調查及分析

如前所述，本計畫利用輻射屋人口之個人資料、輻射曝露資料、佔用因子計算所有參與健檢家戶之累積曝露劑量，以下探討健檢資料與曝露劑量的關係。

表 57 為性別與血液功能、甲狀腺功能檢驗值的關係，嗜鹼性球、四碘甲狀腺素及甲狀腺促進激素與性別無關，其他血液、甲狀腺檢驗值皆與性別有關。(見表 57)

表 57、性別與血液、甲狀腺檢驗值的關係

檢驗值	女性			男性			p
	人數	平均值	標準差	人數	平均值	標準差	
白血球(WBC)	5494	6110.28	1631.71	4843	6572.67	1949.16	<0.001
嗜中性白血球(Neutrophil)	5451	55.69	9.06	4796	53.84	8.92	<0.001
淋巴球(Lymphocyte)	5452	35.42	8.32	4798	36.01	8.32	0.032
嗜酸性球(Eosinophil)	5441	2.54	1.93	4791	3.33	2.32	<0.001
嗜鹼性球(Basophil)	5311	0.52	0.38	4687	0.53	0.35	0.209
單核球(Monocyte)	5448	5.71	1.95	4795	6.14	1.93	<0.001
血小板(Platelet)	5489	259.98	61.39	4843	249.80	58.18	0.001
紅血球(RBC)	5495	4.47	0.45	4845	5.06	0.52	<0.001
血比容(Hematocrit)	5494	38.96	2.98	4845	44.33	3.49	<0.001
血紅素(Hemoglobin)	5493	12.99	1.10	4838	14.99	1.27	<0.001
四碘甲狀腺素(T4)	5360	8.17	1.72	4730	8.16	1.91	0.799
三碘甲狀腺素(T3)	5359	126.88	32.05	4727	136.27	34.58	<0.001
甲狀腺促進激素(TSH)	5489	1.53	1.97	4832	1.48	1.45	0.752

註：以 GEE model 進行分析。

原始值的單位：白血球、嗜中性白血球、嗜酸性白血球、嗜鹼性白血球、淋巴球、單核球、血小板為 $K/\mu L$ ；紅血球為 $M/\mu L$ ；血比容為%；血紅素為 g/dL ；四碘甲狀腺素、三碘甲狀腺素為 ng/dL ；甲狀腺促進激素為 $\mu IU/ml$ 。

表 58 為初檢年至 2011 年之累積曝露劑量分佈，在此之累積曝露劑量係指自輻射屋遷入為起始日，健檢日期為計算終止日，因此於健檢資料中每人歷年的累積曝露劑量皆不相同，劑量會逐年上

升。初檢年為輻射屋居民首次參加健檢的資料，參與人數最多(1,466人)，平均累積曝露劑量為 78.83 毫西弗；自 1999 年開始每年定期檢查，每年固定有 6~700 人參加，參與者並非為固定的一群人。而部份的輻射屋居民在參與健檢以前已搬離，其累積曝露劑量以遷出日為計算終止日。(見表 58)

表 58、初檢年至 2011 年之累積曝露劑量分佈

檢驗年	參與健檢人數	最小累積 曝露劑量	平均累積 曝露劑量	最大累積 曝露劑量	標準差
初檢年	1466	0.00	78.83	1749.11	189.44
1999 年	664	0.00	57.07	1398.97	172.77
2000 年	619	0.00	59.38	1398.97	160.05
2001 年	609	0.00	76.44	1398.97	182.95
2002 年	756	0.00	83.91	1518.82	190.87
2003 年	665	0.00	73.03	1398.97	185.21
2004 年	681	0.00	69.81	1398.97	173.71
2005 年	686	0.00	76.68	1398.97	182.23
2006 年	667	0.00	68.14	1398.97	173.78
2007 年	696	0.00	64.07	1398.97	159.62
2008 年	718	0.00	69.44	1398.97	169.35
2009 年	722	0.00	76.97	1398.97	186.79
2010 年	700	0.00	77.81	1398.97	182.63
2011 年	702	0.00	66.74	1398.97	165.94
合計	10,351				

表 59 為初檢年至 2011 年之累積曝露劑量分組，分為 <100 毫西弗與 ≥ 100 毫西弗。在累積曝露劑量 <100 毫西弗中，以 1999 年時之比例(89.2%)為最高；在累積曝露劑量 ≥ 100 毫西弗中，因 2002 年之家戶回流受檢率偏高，導致 2002 年之比例(18.8%)為最高。(見表 59)

表 59、初檢年至 2011 年之累積曝露劑量分組統計

檢驗年	參與健檢人數	<100mSv		≥ 100mSv	
		n	%	n	%
初檢年	1466	1226	83.6%	240	16.4%
1999 年	664	592	89.2%	72	10.8%
2000 年	619	534	86.3%	85	13.7%
2001 年	609	500	82.1%	109	17.9%
2002 年	756	614	81.2%	142	18.8%
2003 年	665	561	84.4%	104	15.6%
2004 年	681	573	84.1%	108	15.9%
2005 年	686	574	83.7%	112	16.3%
2006 年	667	570	85.5%	97	14.5%
2007 年	696	593	85.2%	103	14.8%
2008 年	718	607	84.5%	111	15.5%
2009 年	722	606	83.9%	116	16.1%
2010 年	700	579	82.7%	121	17.3%
2011 年	702	603	85.9%	99	14.1%
合計	10,351	8732	84.4%	1619	15.6%

本研究將檢驗值區分為異常與正常，而異常值定義詳見表 60。

表 60、異常值定義

檢驗項目	單位	參考值*	異常值
白血球 (WBC)	10 ³ /μL	4000~11000	<4000
嗜中性白血球 (Neutrophil)	%	40~75	<40
淋巴球 (Lymphocyte)	%	20~45	<20
嗜酸性球 (Eosinophil)	%	1~6	<1
嗜鹼性球 (Basophil)	%	0~1	<0
單核球 (Monocyte)	%	2~10	<2
血小板 (Platelet)	10 ³ /μL	120~320	<120
紅血球 (RBC)	10 ⁶ /μL	3.7~5.5	<3.7
血比容 (Hematocrit)	%	男性：36-50 女性：34-47	男性：<36 女性：<34
血紅素 (Hemoglobin)	g/dL	男性：12-18 女性：11.5-18	男性：<12 女性：<11.5
四碘甲狀腺素 (T4)	μg/dL	4.5~11	<4.5
三碘甲狀腺素 (T3)	μg/dL	80~200	<80
甲狀腺促進激素 (TSH)	μIU/ml	0.25~4.0	>4.0

*：2011 年臺灣大學醫學院附設醫院檢查報告書。

初檢年(1998年以前)的健檢資料與1999~2011年之長期追蹤資料在本計畫是無法直接比較，初檢年與1999年的資料雖然都來自台大醫院與彰化基督教醫院，但初檢年的1,466位輻射屋居民只有72.1%是1999~2011年的受檢者，每人只有一筆資料，屬於獨立樣本，且資料分散在不同年度，本計畫將1992~1998年的檢驗資料合併起來且調整干擾因子後取平均值，以分析高低劑量組的差異。1999年後的相依樣本資料(76.2%的居民至少有二次的健檢資料)，則計算各年度調整干擾因子後之平均值，因此表61與表62之1999年的檢驗數據不能直接相比，圖21中的1992~1998年之平均值與1999年的趨勢線亦不能直接相連接。兩個時期的收案條件以及醫院檢驗水準可能不同，且1999年才責成由台大與彰基作為任一年累積劑量大於5毫西弗輻射屋民眾的健檢醫院，故將資料分為2個時期分析，以初檢年的獨立樣本進行橫斷性的研究，比較該時期輻射劑量對血液與甲狀腺功能的影響。以1999~2011年的長期追蹤資料分析輻射劑量對血液與甲狀腺功能的長期影響，特別是不同劑量組的年變化率。

(一)初檢年之統計分析

表61為初檢年(1992-1998年)的輻射健檢資料，以原始檢驗數值來看，紅血球、四碘甲狀腺素、三碘甲狀腺素及甲狀腺促進激素之曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組與曝露劑量 < 100 毫西弗組間有統計上顯著差異，p值分別為0.021、0.001、 < 0.001 、 < 0.001 ，紅血球及三碘甲狀腺素是曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組的數值低於曝露劑量 < 100 毫西弗組，四碘甲狀腺素及甲狀腺促進激素則是高劑量組的數值高於低劑量組；而以異常率的部分來看，曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組與曝露劑量 < 100 毫西弗組的白血球有統計上顯著差異($p=0.034$)，且曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組比曝露劑量 < 100 毫西弗組異常的比例較高。(見表61)

表 61、初檢年之整體分析

檢驗項目	平均值			異常率(%)		
	<100 毫西弗	≥100 毫西弗	p value	<100 毫西弗	≥100 毫西弗	p value
白血球 (WBC)	6465.44	6609.22	0.278	3.27	5.93	0.024
嗜中性白血球 (Neutrophil)	3520.41	3806.20	0.573	8.45	5.51	0.900
淋巴球 (Lymphocyte)	2343.41	2222.07	0.601	2.89	4.64	0.679
嗜酸性球 (Eosinophil)	191.76	162.16	0.754	11.84	15.19	0.153
嗜鹼性球 (Basophil)	36.58	40.15	0.141	--	--	--
單核球 (Monocyte)	343.45	343.91	0.768	2.41	2.53	0.655
血小板 (Platelet)	273.02	263.80	0.861	0.57	0.84	0.600
紅血球 (RBC)	4.86	4.79	0.021	--	--	--
血比容 (Hematocrit)	41.42	40.77	0.053	3.51	6.67	0.384
血紅素 (Hemoglobin)	13.93	13.83	0.725	3.43	7.08	0.257
四碘甲狀腺素 (T4)	0.82	0.85	0.001	0.49	1.03	0.168
三碘甲狀腺素 (T3)	147.06	146.38	<0.001	--	--	--
甲狀腺促進激素 (TSH)	1.11	1.72	<0.001	2.48	3.35	0.222

Adjusted：性別、檢驗時年齡、醫院別；以 Multiple Linear regression, Logistic regression 進行分析。健檢人數為 808 人(彰基：573 人、台大：235 人)。

異常率：檢驗值異常的健檢人數/所有健檢人數×100。

--：無異常。

表 62 為 1999 年至 2011 年之整體分析，屬於輻射健檢民眾的重覆測量資料，76.2%的民眾至少接受 2 次以上的健檢，由於資料檔中，相同人的資料重覆出現多次，故為相依樣本，在統計分析方法上採用 Generalized Estimating Equations method，簡稱 GEE Method。GEE method 是一種半母數的估計方式，估計的模式較為單純，只對依變項的期望值及變異數做假設及估計。可對依變項為各種型態的資料進行相依樣本的重覆測量，需要的樣本數毋須很大，而 GEE method 在考慮有影響因子的情況下有不錯的估計效果。健檢的回歸模式中同時放入性別、健檢年齡、曝露劑量(<100 毫西弗、≥100 毫西弗)、健檢年、檢驗年*曝露劑量的交互作用項。因直接投入檢驗年，將使回歸係數膨脹，因此以標準化檢驗年代替檢驗年，而標準化檢驗年=檢驗年減去 2005，數值則為 -6~6。紅血球、血比容和血紅素的回歸模式中需要再放入平均血球容積(Mean corpuscular volume; MCV)作為調整因子。

由於原始檢驗值的分佈不符常態分配假設，模式中先將其取自然對數後再放入回歸模式中分析。當檢驗年*曝露劑量的交互作用項顯著時，係指不同曝露劑量組的年變化率有統計上的差異。本計畫關心的是不同劑量組的血液與甲狀腺功能之平均值與異常率自觀察起始點(1999年)至2011年間的變化是否有差異，以追蹤這段期間受輻射照射的影響。

1. 依平均值作判斷

根據重覆測量的結果，以平均值的部分來看，曝露劑量 ≥ 100 毫西弗與曝露劑量 < 100 毫西弗的淋巴球、血小板、紅血球、血比容、血紅素、三碘甲狀腺素之檢驗年與曝露劑量的交互作用項呈統計上顯著，即兩組的年變化率有顯著差異，p值分別為 < 0.001 、 0.014 、 < 0.001 、 < 0.001 、 0.008 、 < 0.001 ，根據圖21，曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組的年變化率(斜率)大於曝露劑量 < 100 毫西弗組，趨勢線大致呈左下至右上的折線，曝露劑量 < 100 毫西弗組的變化較不明顯，因此兩條趨勢線產生交叉的現象，稱為檢驗年與曝露劑量間的交互作用。

根據圖21，淋巴球、血小板、紅血球、血比容、血紅素、三碘甲狀腺素在兩組的年變化率有統計上的差異，這些檢驗值分別在2002年、2007年、2002年、2005年、2006年、2003年之前為曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組低於曝露劑量 < 100 毫西弗組，但往後的幾年，曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組的檢驗值高於曝露劑量 < 100 毫西弗組。三碘甲狀腺素雖有逐年略微下降的情形，但在2003年之前三碘甲狀腺素較曝露劑量 < 100 毫西弗組低，之後才略高於曝露劑量 < 100 毫西弗組。這些淋巴球、血小板、紅血球、血比容、血紅素、三碘甲狀腺素之檢驗值在1999-2002年為曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組低於曝露劑量 < 100 毫西弗組，但往後的幾年(2003-2011)，兩條趨勢線產生交叉的情形，曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組的檢驗值高於曝露劑量 < 100 毫西弗組。交互作用的現象說明曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組可能受到長期低

劑量輻射照射的影響，在曝露後的前幾年血液與甲狀腺功能略受影響，經過一段時間的修復後，檢驗值反而高過於曝露劑量 < 100 毫西弗組。

雖然統計上觀察到一些檢驗值的年變化率在曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組與曝露劑量 < 100 毫西弗組兩組間有統計上的差異，但事實上，兩組的平均值尚在正常值的範圍內。

2. 依異常率作判斷

以平均值比較曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組與曝露劑量 < 100 毫西弗組的血液與甲狀腺功能，可能都在正常值的範圍值內比較兩組的差異，縱有差異，但檢驗值卻都是正常的。以下將以檢驗結果是否正常，判斷曝露劑量 ≥ 100 毫西弗與曝露劑量 < 100 毫西弗受到輻射照射的影響是否不同。

根據表 62，以異常率來看，只有血小板在曝露劑量 ≥ 100 毫西弗與曝露劑量 < 100 毫西弗之異常率的年變化率有顯著差異 ($p=0.047$)；2005 年以前曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組的血小板異常率高於曝露劑量 < 100 毫西弗組，之後則反之。

綜合平均值與異常率的分析結果，針對輻射屋居民健康檢查的血液常規分析中發現，累積曝露劑量超過 100 毫西弗居民的白血球數、淋巴球數、血小板數、紅血球數、血紅素、血比容、三碘甲狀腺素在 2002 年以前較低，且低於低劑量組(指小於 100 毫西弗居民)，顯示早期受到長期低劑量輻射的照射，造血功能受到影響。但除了血小板的異常率較高，其他檢驗值的異常率在大於 100 毫西弗與小於 100 毫西弗兩組則無差異，表示雖然平均值較低，但並不至於達到異常狀況。經過一段時間追蹤，受影響的血液與甲狀腺功能會出現自我修復的情形，2002 年之後大於 100 毫西弗組上昇至高於低劑量組。(參見表 61-表 62、圖 21)

表 62、1999 年至 2011 年之整體分析

檢驗項目	原始值		異常率(%)	
	兩組年變化率的比較 (檢驗年*曝露劑量)	p_value	兩組年變化率的比較 (檢驗年*曝露劑量)	p_value
	β 係數		β 係數	
白血球 (WBC)	15.909	0.374	-0.074	0.229
嗜中性白血球 (Neutrophil)	-4.451	0.740	-0.066	0.28
淋巴球 (Lymphocyte)	22.333	<0.001	-0.009	0.87
嗜酸性球 (Eosinophil)	0.458	0.755	0.018	0.609
嗜鹼性球 (Basophil)	-0.319	0.175	--	--
單核球 (Monocyte)	-1.033	0.464	-0.002	0.978
血小板 (Platelet)	1.294	0.014	-0.33	0.047
紅血球 (RBC)	0.019	<0.001	-0.008	0.927
血比容 (Hematocrit)	0.13	<0.001	-0.081	0.147
血紅素 (Hemoglobin)	0.028	0.008	-0.03	0.482
四碘甲狀腺素 (T4)	0	0.800	-0.01	0.929
三碘甲狀腺素 (T3)	1.457	<0.001	0.021	0.807
甲狀腺促進激素 (TSH)	0.013	0.464	0.871	0.871

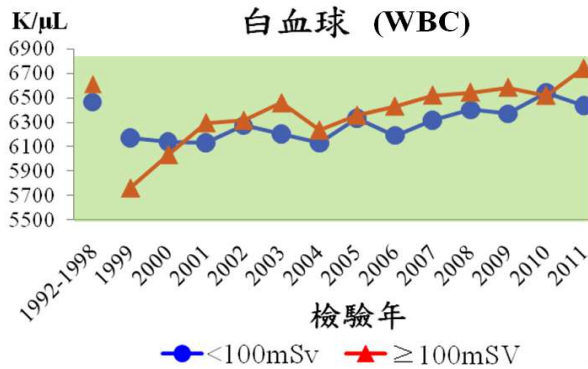
Adjusted：性別、檢驗時年齡、檢驗年。年變化率：以「檢驗年*曝露劑量」交互作用項去檢驗不同劑量組(<100 毫西弗; \geq 100 毫西弗)的年變化率是否不同。

以 GEE method 進行分析。

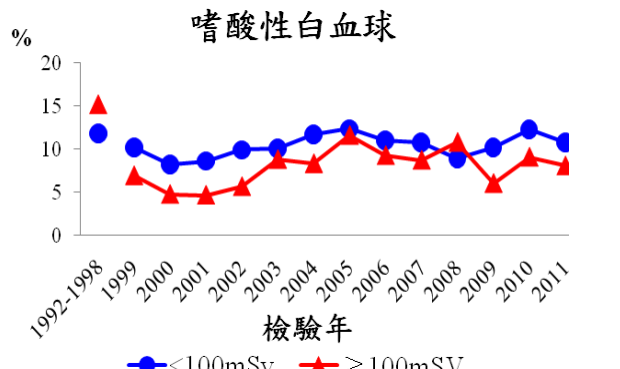
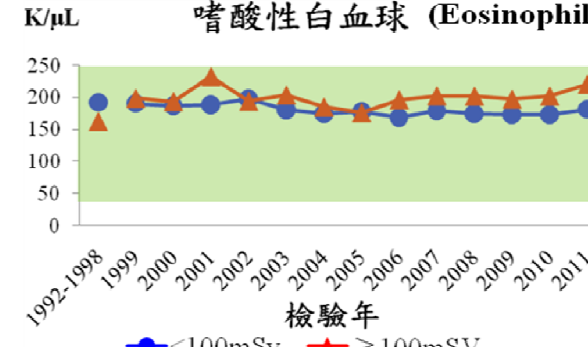
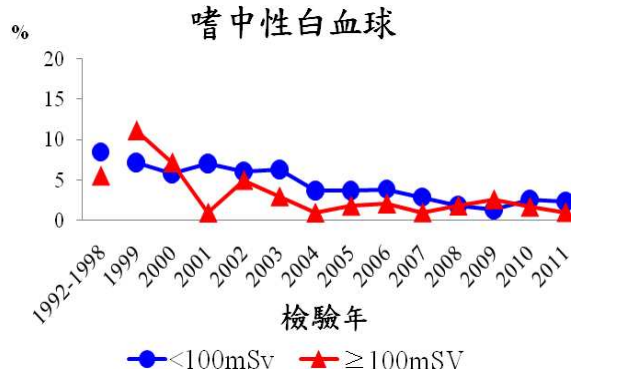
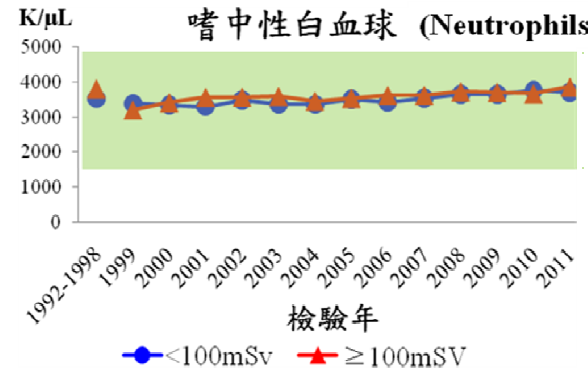
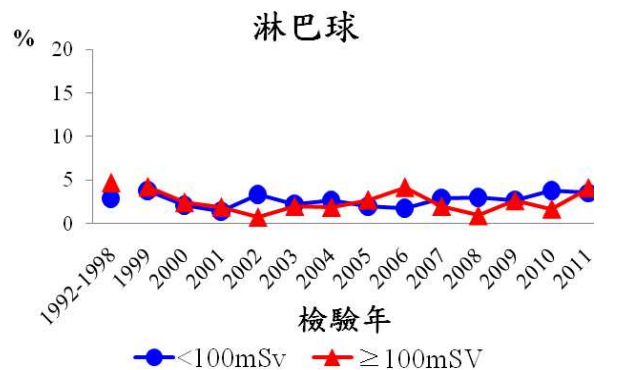
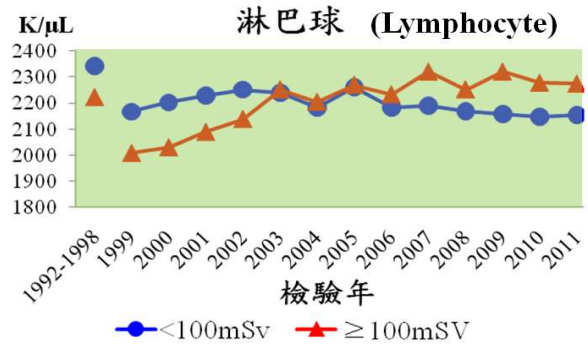
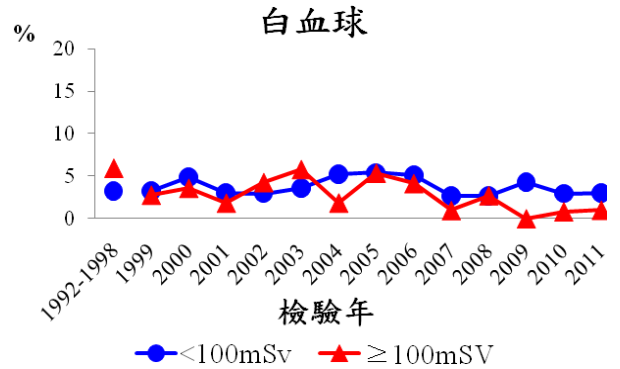
檢驗年*曝露劑量：檢驗年與不同劑量組(<100 毫西弗、 \geq 100 毫西弗)的交互作用

異常率：檢驗值異常的健檢人數/所有健檢人數 \times 100。

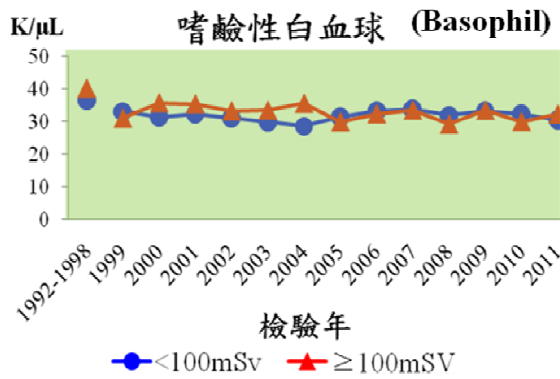
1992 年至 2011 年之平均檢驗值
(網點區域為正常值範圍；參見表 60)



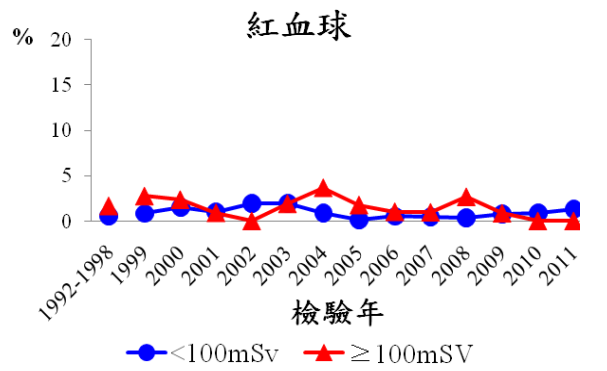
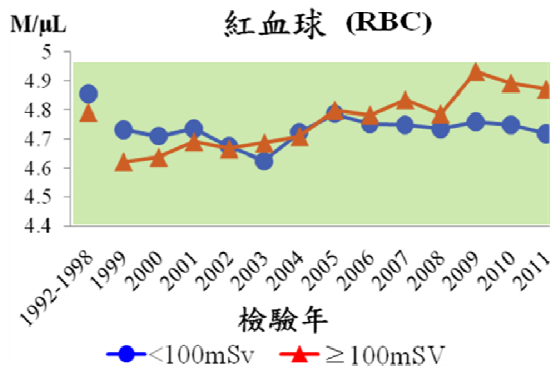
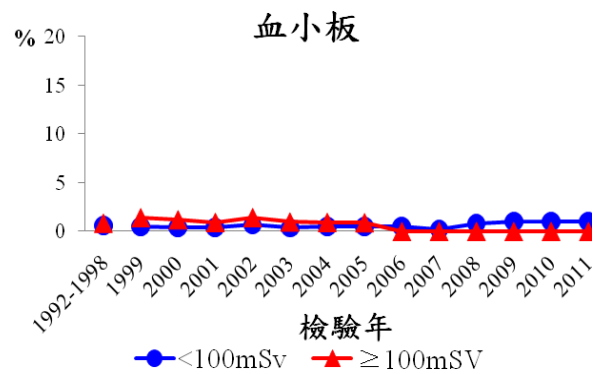
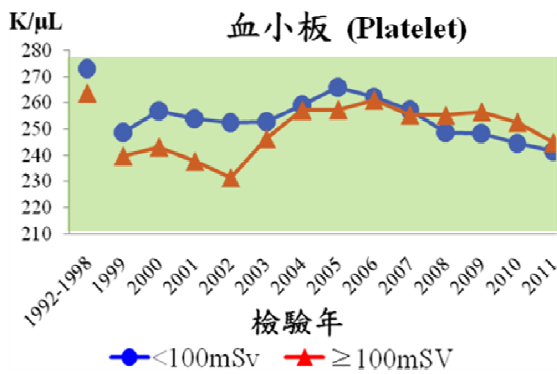
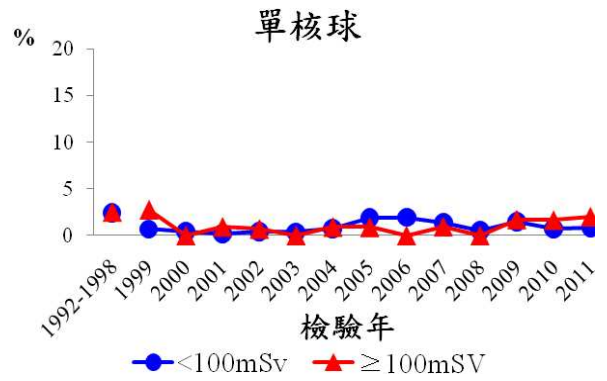
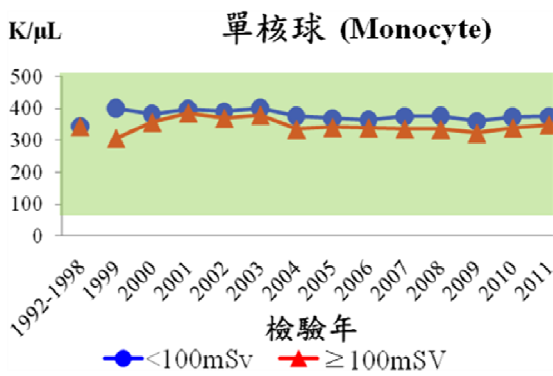
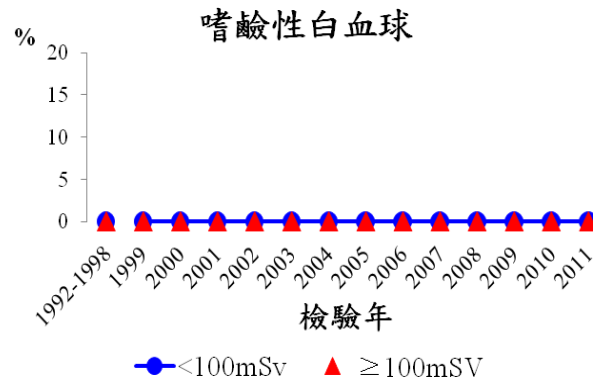
1992 年至 2011 年之異常率



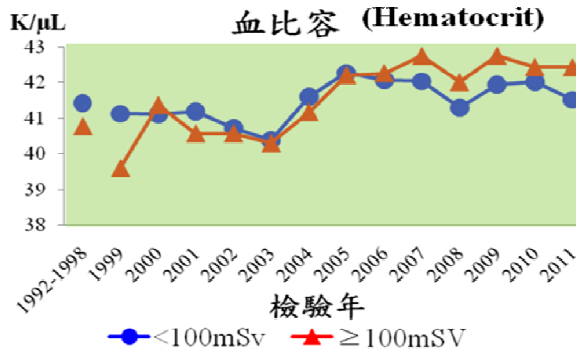
1992 年至 2011 年之平均檢驗值
(網點區域為正常值範圍；參見表 60)



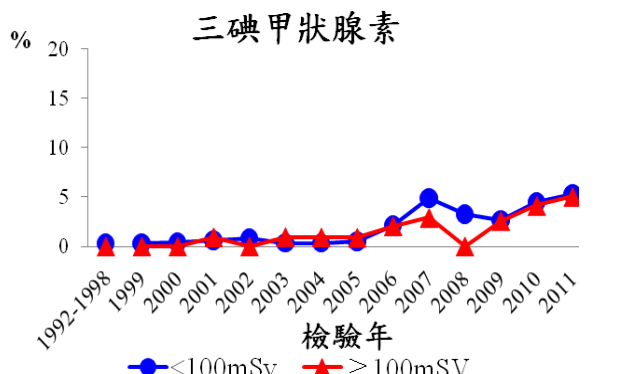
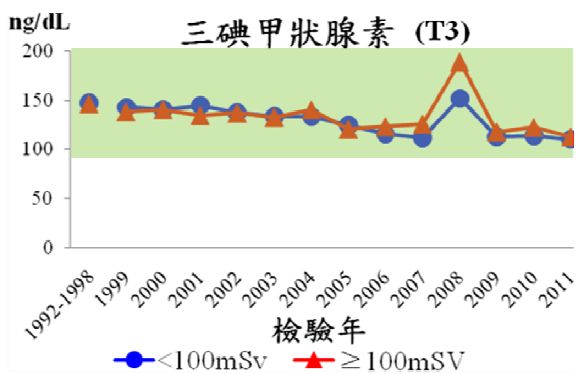
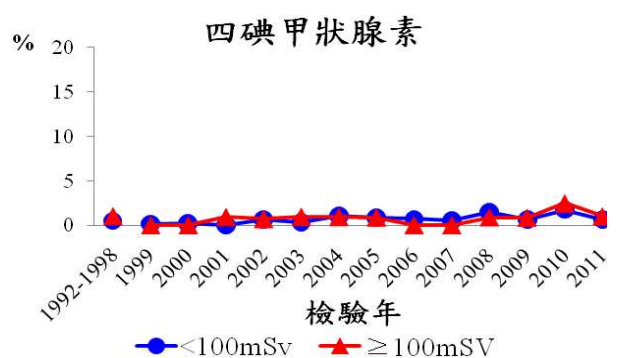
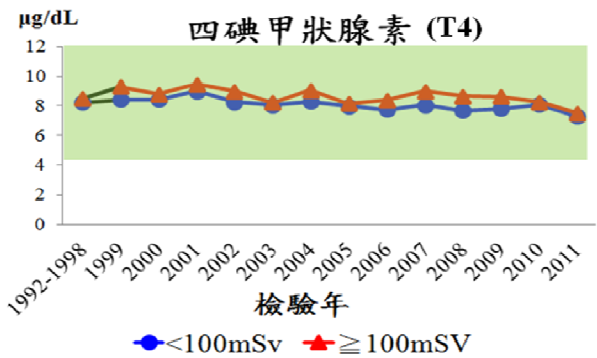
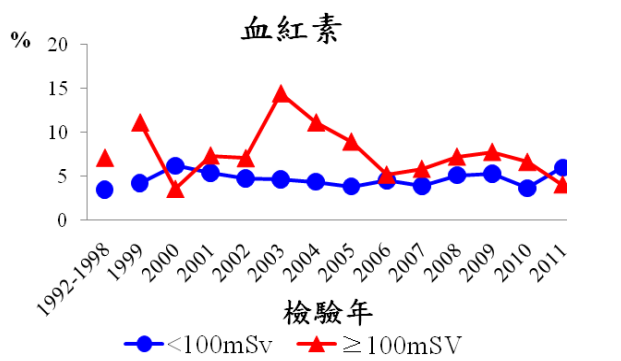
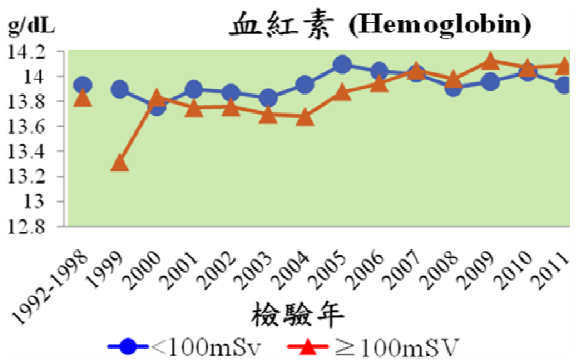
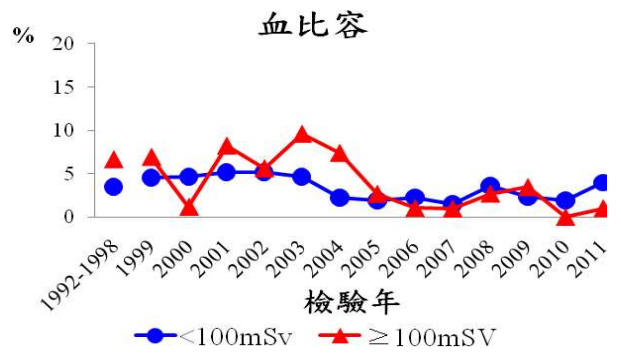
1992 年至 2011 年之異常率



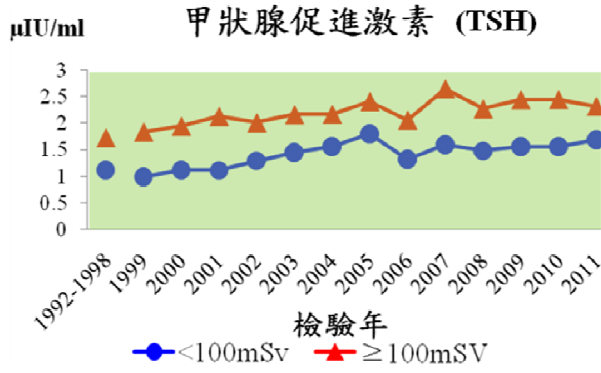
1992 年至 2011 年之檢驗值
(網點區域為正常值範圍；參見表 60)



1992 年至 2011 年之異常率



1992 年至 2011 年之檢驗值
(網點區域為正常值範圍；參見表 60)



1992 年至 2011 年之異常率

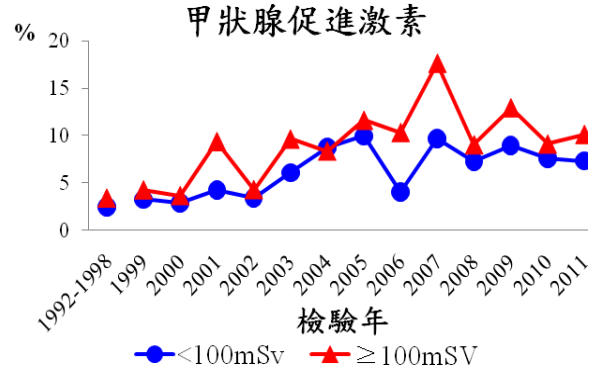


圖 21、不同劑量組在 1992 年至 2011 年之檢驗值與異常率

七、游離輻射曝露與癌症之相關性分析

本癌症風險評估研究在第一階段的主要工作為利用回溯性世代研究法(Retrospective cohort study)建立過去 30 年之輻射屋曝露世代，並以輻射屋所在之六縣市的全體居民作為對照組，並申請衛生署的死亡檔、癌症登記檔、健保資料庫的資料串檔，估算曝露組和對照組罹患癌症之人數及風險，並進一步分析輻射曝露與癌症間的相關性，以建立癌症風險評估的模式，風險指標包括發生密度比(IDR), 相對風險比(RR), 額外增加風險(ERR)等。

(一) 對照組的來源

圖 23 為對照組世代的建立方式，本計畫以 2001-2010 年之健保承保歸人檔以及 1985-2010 年死亡檔作為對照組的來源檔。本研究的基本假設為健保資料庫中在 2010 年仍存活著，1982-2009 年間也必活著，再將這段期間的死亡人數加入對照組的母群體中。若回溯家戶遷入時間為 1985 年，即從資料庫中找到 1985 年時與輻射家戶同性別、同年齡(曝露組遷入年齡)、同行政區的對照組，存活性與過去死亡者都包含在世代檔中，以此建立完整的對照組之來源檔。

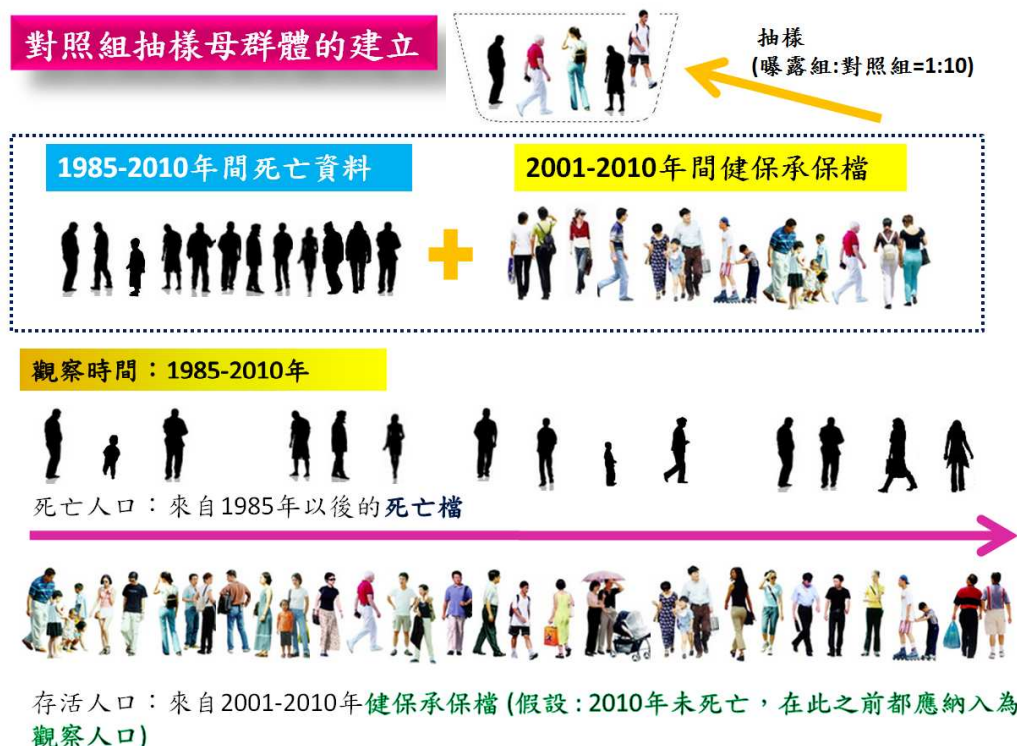


圖 22、對照組的來源檔之建立

(二) 對照組的產生

對照組的世代檔必須由以上所述之完整的來源檔以配對方式產生。圖 23 為曝露組與對照組的配對方式，若曝露組遷入的時間為 1985/9/2，即從對照組的來源檔中找到 1985 年與輻射屋家戶同性別、同年齡、同居住縣市的對照組，再追蹤兩組的癌症觀察時間(或觀察人年)，以及發生癌症的情形。透過如此方法建立對照組，並進行長期追蹤，可得到輻射對健康影響之風險評估模式。(見圖 23)

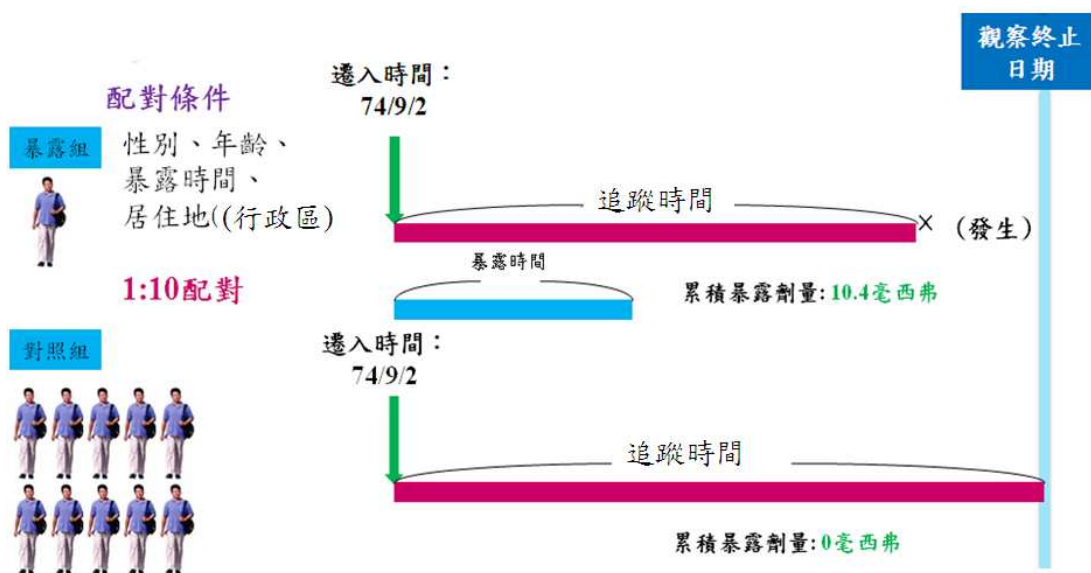


圖 23、第一階段研究之對照組的選取(範例)

(三) 輻射曝露組與對照組的配對結果

表 63-表 69 為輻射曝露組與對照組的配對結果，且依不同曝露世代配對。根據有身份證號的輻射屋世代人口統計，曝露於輻射校園的世代共 15,305 人(幼稚園：687 人；國中：10,742 人；高商：1,612 人；技術學院：2,264 人)，住家世代共 12,968 人(包含設籍與未設籍輻設屋的住戶)，職場世代共 42,320 人，合計 32,505 人次。因部份住戶與勞工為同一人，依身份證號歸戶後，共有 32,356 人。配對的過

程為依不同世代各別配對，且依縣市別、行政區、學校的不同進行配對。若有同一行政區無法完整配對到 10 倍的對照組，再從周邊的行政區進行配對。根據配對結果，兩組在性別、遷入年齡、追蹤時間、縣市別的分佈皆無統計上的顯著差異。(見表 63-表 69)

A. 全體

表 63、曝露組與對照組的基本資料描述

Characteristics	曝露組 (N=32356) (觀察人年=624037.14)			對照組 (N=325050) (觀察人年=6265466.66)			p
	%	Mean±SD	(min, Max)	%	Mean±SD	(min, Max)	
性別 (男性=1)	16928(52.32)			169920(52.28)			0.883
遷入年齡		19.04±13.95	(0,94)		19.06±13.96	(0,94)	0.787
追蹤時間		19.29±6.24	(0,29)		19.28±6.26	(0,29)	0.759
縣市別							1.000
台北市	19680(60.82)			197890(60.88)			
新北市	9548(29.51)			95850(29.49)			
桃園縣	2115(6.54)			21180(6.52)			
彰化縣	687(2.12)			6870(2.11)			
基隆市	316(0.98)			3160(0.97)			
新竹縣市	10(0.03)			100(0.03)			
遷入年							1.000
1982-1995	26095(80.65)			262130(80.64)			
1996-2012	6261(19.35)			62920(19.36)			

B. 學生世代

表 64、曝露組(幼稚園)與對照組的基本資料描述

Characteristics	曝露組 (N=687) (觀察人年= 16153.80)			對照組 (N=6870) (觀察人年=161374.94)			p
	%	Mean±SD	(min, Max)	%	Mean±SD	(min, Max)	
性別 (男性=1)	331(48.18)	-	-	3310(48.18)	-	-	1.000
遷入年齡	-	4.30±3.26	(0,41)	-	4.30±3.26	(0,41)	1.000
追蹤時間		23.51±3.29	(9.29,28.42)		23.49±3.32	(0,28.42)	0.858
地區別							
彰化市	687(100)	-	-	6870(100)	-	-	-
遷入年							
1982-1994	687(100)	-	-	6870(100)	-	-	1.000

表 65、曝露組(國中)與對照組的基本資料描述

Characteristics	曝露組 (N=10742) (觀察人年=206209.39)			對照組 (N=107420) (觀察人年=2062685.56)			p
	%	Mean±SD	(min, Max)	%	Mean±SD	(min, Max)	
性別 (男性=1)	5540(51.57)	-	-	55400(51.57)	-	-	1.000
遷入年齡	-	12.00±0.63	(11, 36)	-	12.00±0.63	(11, 36)	1.000
追蹤時間	-	19.20±3.60	(1.04,25.33)	-	19.20±3.60	(0,25.33)	0.880
地區別							
台北市南港區	10742(100)	-	-	26881(25.02)	-	-	<0.001
台北市內湖區	-	-	-	38770(36.09)	-	-	
台北市松山區	-	-	-	20977(19.53)	-	-	
台北市信義區	-	-	-	15597(14.52)	-	-	
台北市文山區	-	-	-	5195(4.84)	-	-	
遷入年							
1985-1997	10742(100)	-	-	107420(100)	-	-	1.000

表 66、曝露組(高商)與對照組的基本資料描述

Characteristics	曝露組 (N=1612) (觀察人年=36156.56)			對照組 (N=16120) (觀察人年=361488.28)			p
	%	Mean±SD	(min, Max)	%	Mean±SD	(min, Max)	
性別 (男性=1)	1603(99.44)	-	-	16030(99.44)	-	-	1.000
遷入年齡	-	15.90±0.95	(14, 45)	-	15.90±0.95	(14, 45)	1.000
追蹤時間	-	22.43±4.04	(0.79,27.33)	-	22.42±4.00	(0, 27.33)	0.964
地區別							
新北市三重區	1612(100)	-	-	16120(100)	-	-	1.000
遷入年							
1983-1995	1612(100)	-	-	16120(100)	-	-	1.000

表 67、曝露組(技術學院)與對照組的基本資料描述

Characteristics	曝露組 (N=2264) (觀察人年=51889.02)			對照組 (N=22640) (觀察人年=517597.97)			p
	%	Mean±SD	(min, Max)	%	Mean±SD	(min, Max)	
性別 (男性=1)	1388(61.31)	-	-	13880(61.31)	-	-	1.000
遷入年齡	-	15.96±1.42	(14, 25)	-	15.96±1.42	(14, 25)	1.000
追蹤時間	-	22.92±3.49	(2.87,29.00)	-	22.86±3.57	(0, 29.00)	0.467
地區別							
新北市土城區	2264(100)	-	-	6521(28.8)	-	-	<0.001
新北市板橋區	-	-	-	16119(71.2)	-	-	
遷入年							
1982-1995	2264(100)	-	-	22640(100)	-	-	1.000

C. 住家世代

表 68、曝露組(住家)與對照組的基本資料描述

Characteristics	曝露組 (N=12968) (觀察人年=239560.21)			對照組 (N=129680) (觀察人年=2391383.35)			p
	%	Mean±SD	(min, Max)	%	Mean±SD	(min, Max)	
性別 (男性=1)	6242(48.18)			62420(48.18)			1.000
遷入年齡	23.53±18.57 (0, 94)			23.53±18.56 (0, 94)			0.997
追蹤時間	18.47±7.83 (0,29.00)			18.44±7.86 (0,29.00)			0.653
地區別							1.000
台北市	6599(50.89)			65990(50.89)			
新北市	5252(40.50)			52520(40.50)			
桃園縣	791(6.10)			7910(6.10)			
基隆市	316(2.44)			3160(2.44)			
新竹	10(0.08)			100(0.08)			
遷入年							
1982-1995	9355(72.14)			93550(72.14)			
1996-2010	3613(27.86)			36130(27.86)			

D. 職場世代

表 69、曝露組(職場)與對照組的基本資料描述

Characteristics	曝露組 (N=4232) (觀察人年=76739.80)			對照組 (N=42320) (觀察人年=770936.57)			p
	%	Mean±SD	(min, Max)	%	Mean±SD	(min, Max)	
性別 (男性=1)	1888(44.61)			18880(44.61)			1.000
遷入年齡	28.53±10.73 (0, 68)			28.53±10.73 (0, 68)			1.000
追蹤時間	18.13±6.89 (0.06,29.00)			18.22±6.86 (0,29.00)			0.450
地區別							1.000
台北市	2448(57.84)			24480(57.84)			
新北市	457(10.80)			4570(10.80)			
桃園縣	1327(31.36)			13270(31.36)			
遷入年							
1982-1995	3050(72.07)			30500(72.07)			
1996-2010	1182(27.93)			11820(27.93)			

本計畫已完成輻射屋居民癌症發生與死亡之資料庫，根據本計畫所建立的世代資料與衛生署死亡檔、癌症登記檔、健保資料庫的串檔結果，至 2010 為止，超過 796 人發生癌症(有 4 種癌人數少於 5 人，依衛生署統計室規定不得釋出)，考慮了實體癌的 10 年潛伏期、

白血病的 2 年潛伏期後，得到曝露組為 548 位癌症人數，對照組為 5,398 位。

(四) 曝露組與對照組的全癌症發生人數與粗發生率

表 70-表 81 為曝露組與對照組各世代全癌症發生人數及粗發生率的長期趨勢圖，兩組的長期趨勢方向一致，但曝露組的世代人數較少，粗發生率的變化起伏較大。曝露組中，無論是全體、學校、職場或住戶，各世代之粗發生率有增加的趨勢，而增加的趨勢主要受到世代人口的年齡逐年增加的影響。對照組的不同世代亦出現粗發生率有增加的趨勢，增加的趨勢亦受到世代人口的年齡逐年增加的影響。(見圖 24-圖 35、表 70-表 81)

表 70、曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (男性)

年度	曝露組 (N=16,928)		對照組 (N=169,920)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1986-1990	4	5.69	65	7.46
1995	5	35.95	44	31.54
1996	6	41.2	59	40.39
1997	6	39.62	57	37.54
1998	11	71.84	72	46.90
1999	12	77.72	82	52.96
2000	15	96.17	104	66.48
2001	10	63.78	106	67.37
2002	7	44.28	164	103.39
2003	13	81.7	178	111.58
2004	21	130.78	203	126.11
2005	22	136.1	198	122.18
2006	25	153.63	240	147.12
2007	26	159.16	230	140.44
2008	31	188.86	246	149.50
2009	29	175.91	311	188.14
2010	28	169.04	325	195.71
合計	271	79.57	2684	78.58

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數 $\times 10^5$

1986-1990 年之年平均粗發生率為 5.69(每十萬)

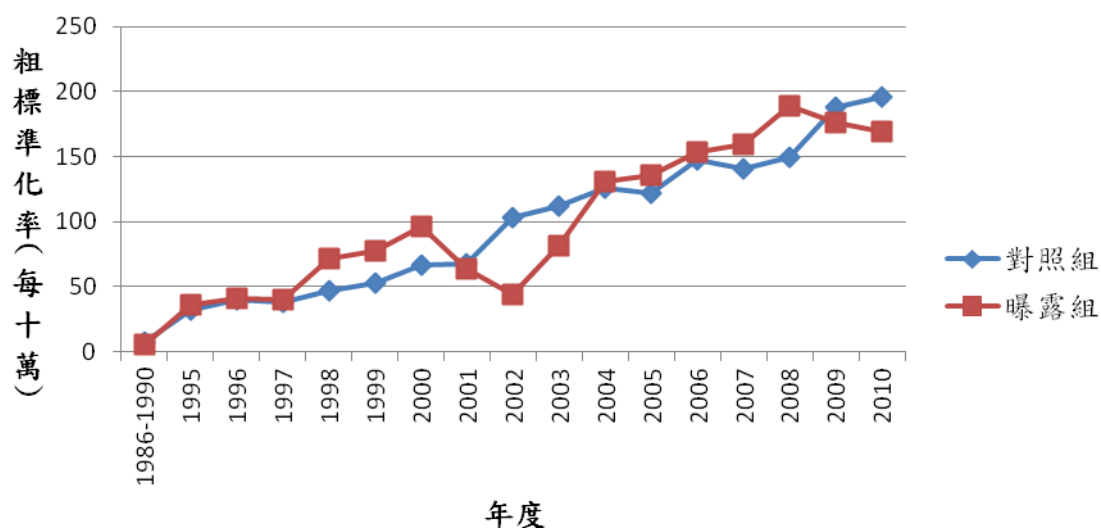


圖 24、曝露組與對照組世代全癌症發生率(男性)

表 71、曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (女性)

年度	曝露組 (N=15,428)		對照組 (N=155,130)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1986-1990	9	14.62	60	10.82
1995	6	49.69	39	32.12
1996	7	55.1	54	42.27
1997	7	52.33	60	44.63
1998	16	117.76	67	49.06
1999	4	29.15	76	55.06
2000	16	115.12	128	91.57
2001	11	78.55	116	82.37
2002	9	63.61	149	104.73
2003	22	154.49	179	125.09
2004	20	139.21	234	162.04
2005	24	165.32	236	161.79
2006	27	184.58	253	172.1
2007	26	176.71	263	177.84
2008	19	128.25	271	182.01
2009	26	174.39	257	171.59
2010	28	186.19	272	180.01
合計	277	91.73	2714	89.41

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數×10⁵

1986-1990 年之年平均粗發生率為 14.62(每十萬)

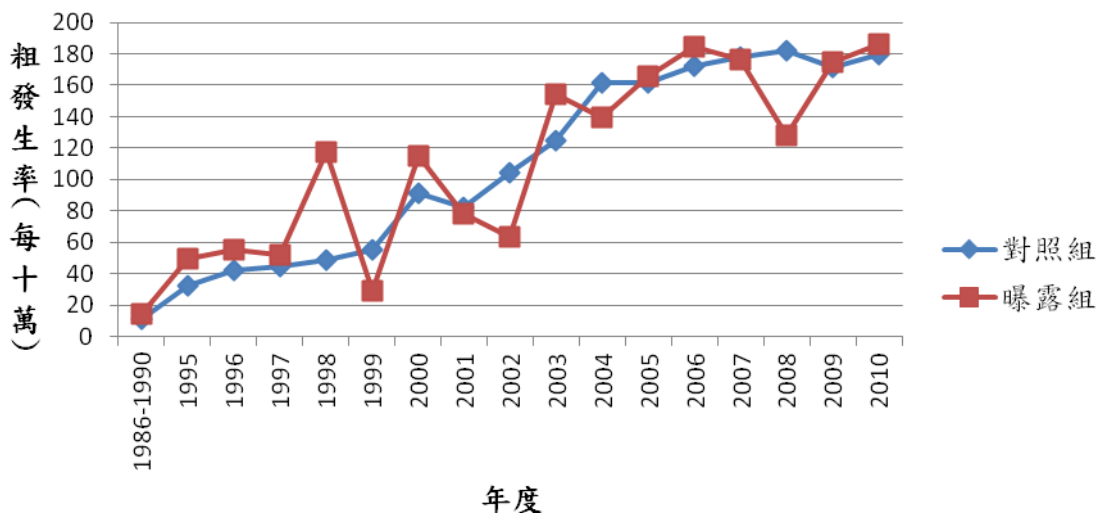


圖 25、曝露組與對照組世代全癌症發生率(女性)

表 72、曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (合計)

年度	曝露組 (N=32,356)		對照組 (N=325,050)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1986-1994	13	9.86	125	7.37
1995	11	42.34	83	31.81
1996	13	47.68	113	41.27
1997	13	45.58	117	40.87
1998	27	93.43	139	47.91
1999	16	54.86	158	53.95
2000	31	105.1	232	78.32
2001	21	70.75	222	74.45
2002	16	53.41	313	104.02
2003	35	116.08	357	117.97
2004	41	134.76	437	143.10
2005	46	149.93	434	140.94
2006	52	168.28	493	158.96
2007	52	167.48	493	158.19
2008	50	160.11	517	164.94
2009	55	175.19	568	180.27
2010	56	177.2	597	188.23
合計	548	85.28	5398	83.68

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數 $\times 10^5$

1986-1994 年之年平均粗發生率為 9.86(每十萬)

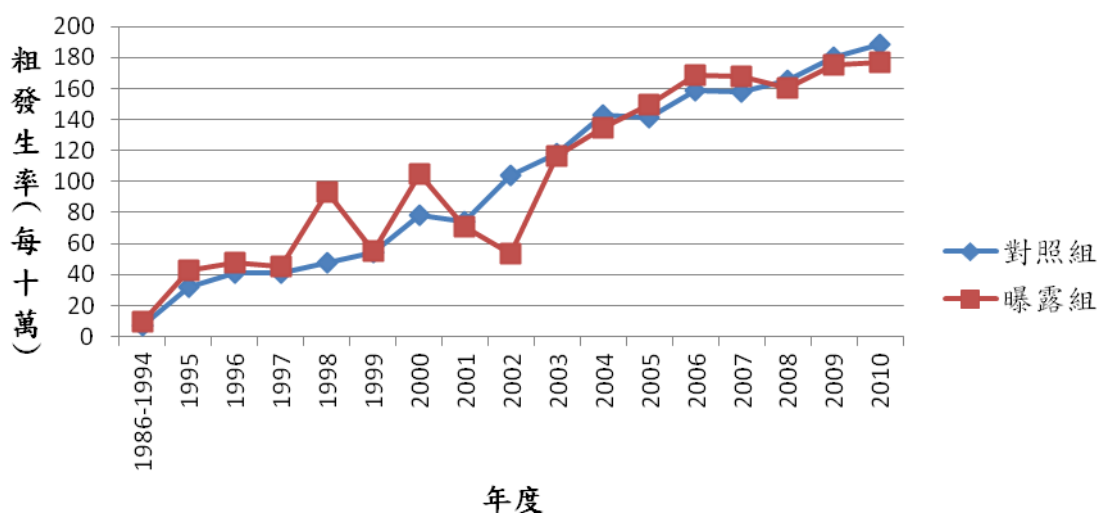


圖 26、曝露組與對照組世代全癌症發生率(合計)

表 73、學校曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (男性)

年度	曝露組 (N=8,862)		對照組 (N=88,620)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1990-1997	3	5.24	38	5.27
1998-2000	5	18.83	31	11.68
2001-2004	5	14.13	120	33.94
2005-2006	7	39.59	96	54.38
2007	3	33.96	34	38.55
2008	5	56.61	41	46.51
2009	4	45.32	77	87.39
2010	4	45.34	78	88.61
合計	36	19.14	515	27.4

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數 $\times 10^5$

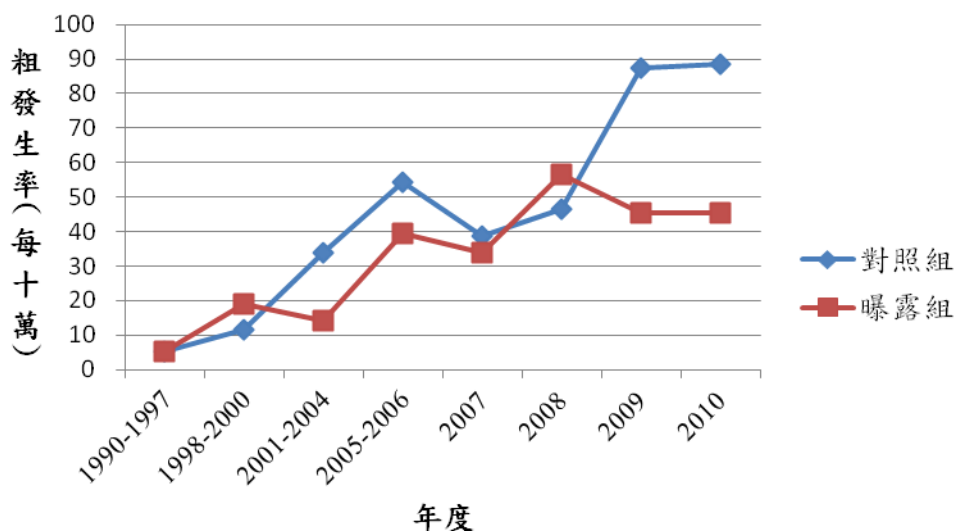


圖 27、學校曝露組與對照組世代全癌症發生率(男性)

表 74、學校曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (女性)

年度	曝露組 (N=6,443)		對照組 (N=64,430)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1990-1997	4	10.03	16	3.61
1998-2000	4	20.73	26	13.47
2001-2004	3	11.67	101	39.30
2005-2006	12	93.50	81	63.11
2007	6	93.63	55	85.79
2008	6	93.72	53	82.75
2009	5	78.17	42	65.63
2010	6	93.88	46	71.93
合計	46	34.76	420	31.73

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數×10⁵

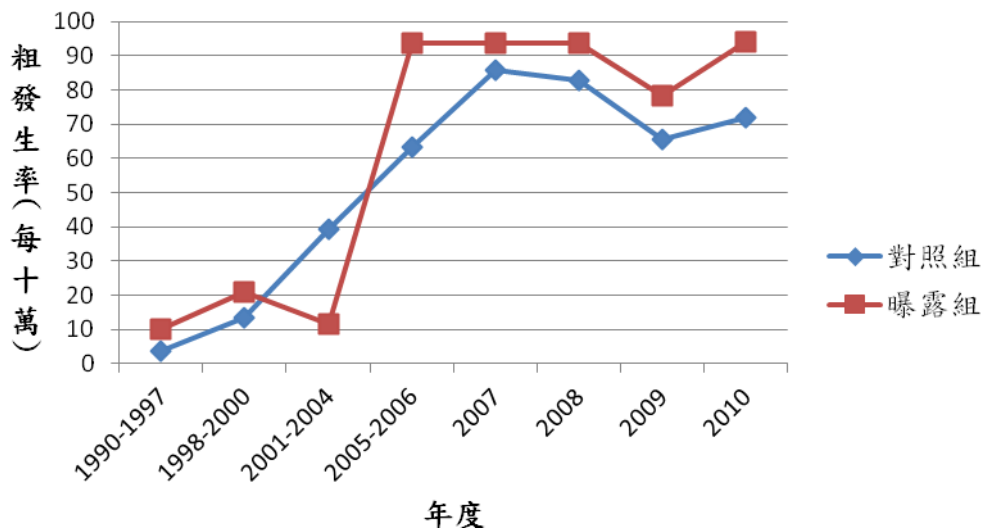


圖 28、學校曝露組與對照組世代全癌症發生率(女性)

表 75、學校曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (合計)

年度	曝露組 (N=15,305)		對照組 (N=153,050)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1990-1997	7	7.21	54	4.88
1998-2000	9	19.63	57	12.44
2001-2004	8	13.10	221	36.20
2005-2006	19	62.27	177	58.06
2007	9	59.04	89	93.63
2008	11	72.21	94	93.72
2009	9	59.12	119	78.17
2010	10	65.73	124	93.88
合計	82	25.59	935	29.19

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數 $\times 10^5$

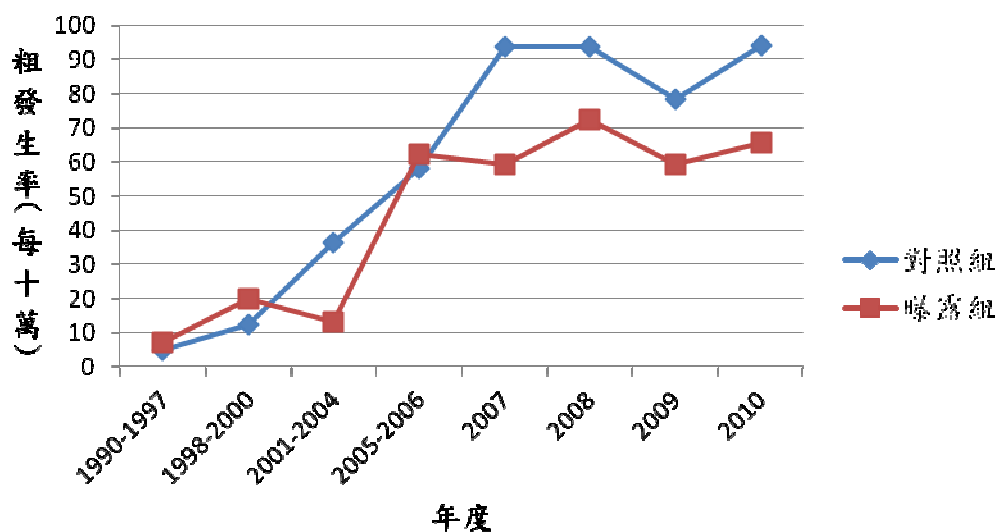


圖 29、學校曝露組與對照組世代全癌症發生率(合計)

表 76、住家曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (男性)

年度	曝露組 (N=6,242)		對照組 (N=62,420)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1988-1994	3	11.91	42	15.19
1995	4	88.52	35	77.55
1996	5	106.36	48	102.21
1997	3	61.88	48	99.16
1998	4	80.52	58	117.01
1999	12	236.36	62	122.48
2000	12	231.88	76	147.17
2001	6	114.31	78	148.88
2002	4	74.75	105	196.71
2003	8	147.36	122	225.65
2004	14	252.48	142	257.29
2005	14	248.67	127	226.63
2006	19	331.53	153	268.28
2007	15	259.52	146	253.67
2008	19	324.73	149	255.73
2009	15	253.04	189	320.2
2010	20	332.89	183	306.03
合計	177	148.01	1763	147.80

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數 $\times 10^5$

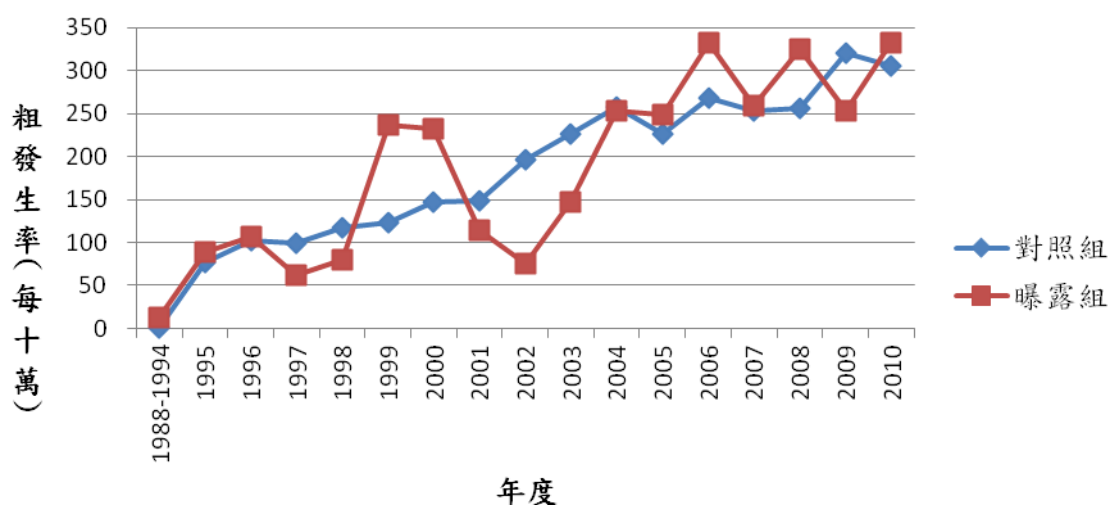


圖 30、住家曝露組與對照組世代全癌症發生率(男性)

表 77、住家曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (女性)

年度	曝露組 (N=6,726)		對照組 (N=67,260)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1988-1994	6	22.86	41	15.20
1995	4	84.18	33	69.47
1996	5	101.3	47	95.23
1997	4	78.16	49	95.81
1998	11	209.28	56	106.67
1999	3	55.88	59	109.9
2000	10	182.92	97	177.51
2001	8	143.86	85	152.98
2002	5	88.25	94	166.15
2003	17	295.5	123	214.35
2004	13	221.69	137	234.04
2005	12	200.23	149	249.11
2006	17	278.64	150	246.51
2007	17	275.13	152	246.71
2008	12	191.48	160	255.99
2009	16	251.61	159	250.86
2010	18	278.29	153	237.24
合計	178	140.75	1744	138.00

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數 $\times 10^5$

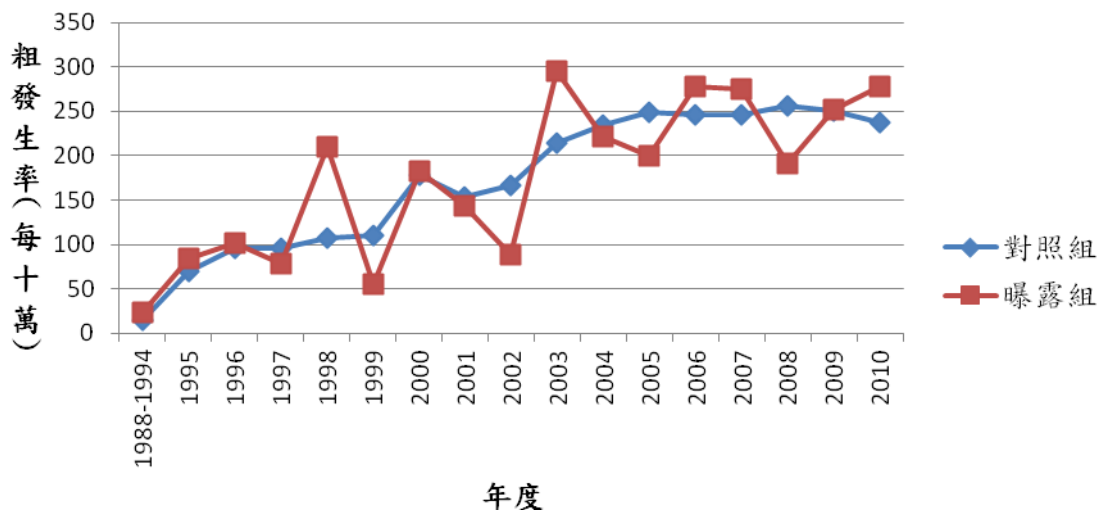


圖 31、住家曝露組與對照組世代全癌症發生率(女性)

表 78、住家曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (合計)

年度	曝露組 (N=12,968)		對照組 (N=129,680)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1988-1994	9	17.5	83	15.2
1995	8	86.29	68	73.41
1996	10	103.77	95	98.63
1997	7	70.24	97	97.44
1998	15	146.71	114	111.7
1999	15	143.6	121	116.01
2000	22	206.73	173	162.77
2001	14	129.51	163	150.99
2002	9	81.69	199	180.98
2003	25	223.57	245	219.83
2004	27	236.66	279	245.32
2005	26	223.69	276	238.24
2006	36	304.26	303	257.05
2007	32	267.58	298	250.07
2008	31	255.82	309	255.86
2009	31	252.3	348	284.3
2010	38	304.58	336	270.34
合計	355	144.28	3507	142.8

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數 $\times 10^5$

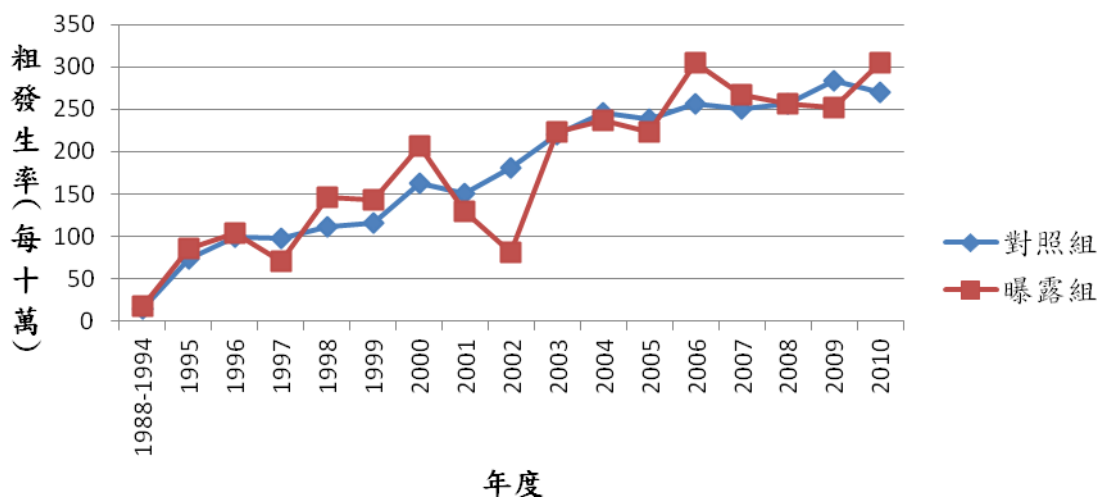


圖 32、住家曝露組與對照組世代全癌症發生率(合計)

表 79、職場曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (男性)

年度	曝露組 (N=1,888)		對照組 (N=18,880)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1993-1997	3	46.65	14	13.82
1998-1999	4	128.53	16	51.21
2000-2001	3	91.77	23	70.14
2002-2003	5	148.37	55	162.11
2004	8	462.43	21	120.45
2005	3	171.14	26	146.74
2006	4	226.50	36	201.73
2007-2008	15	419.46	106	293.32
2009	10	557.10	45	247.74
2010	5	278.24	64	350.92
合計	60	175.79	406	118.32

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數 $\times 10^5$

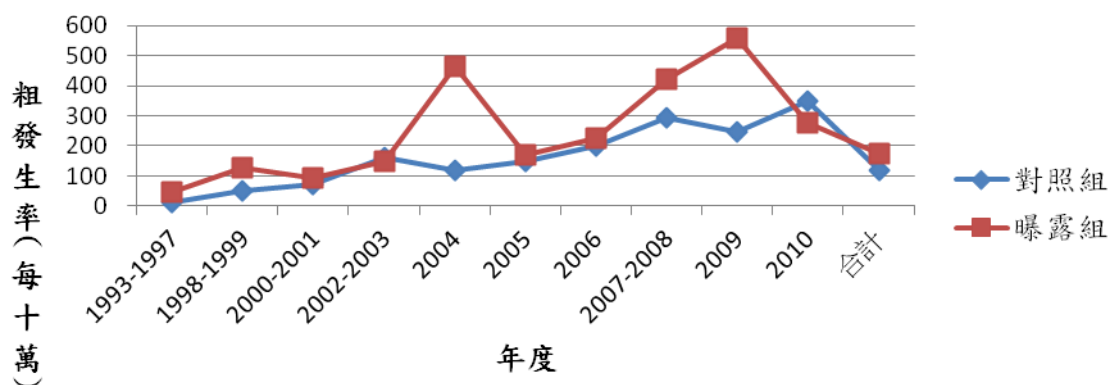


圖 33、職場曝露組與對照組世代全癌症發生率(男性)

表 80、職場曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (女性)

年度	曝露組 (N=2,344)		對照組 (N=23,440)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1993-1997	6	69.85	27	18.34
1998-1999	4	100.96	17	42.66
2000-2001	7	168.35	34	81.38
2002-2003	8	187.62	66	154.01
2004	6	278.81	54	191.94
2005	5	229.99	47	184.41
2006	5	228.62	62	245.89
2007-2008	5	113.02	114	272.79
2009	5	224.11	56	249.00
2010	4	177.15	73	334.96
合計	55	123.08	550	122.63

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數 $\times 10^5$

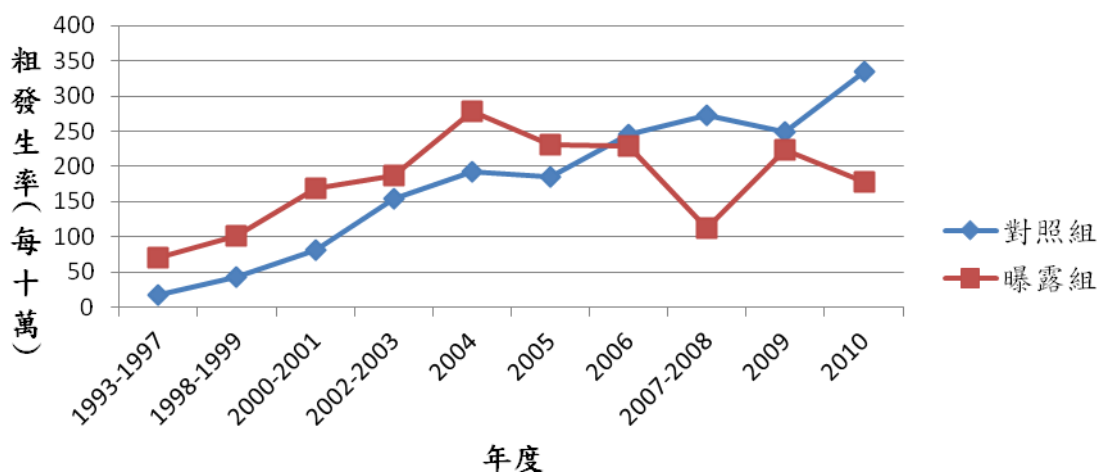


圖 34、職場曝露組與對照組世代全癌症發生率(女性)

表 81、職場曝露組與對照組世代全癌症發生人數及發生率 (合計)

年度	曝露組 (N=4,232)		對照組 (N=42,320)	
	發生 人數	粗發 生率	發生 人數	粗發 生率
1993-1997	9	59.92	41	16.29
1998-1999	8	113.09	33	46.42
2000-2001	10	134.64	57	76.42
2002-2003	13	170.29	121	157.6
2004	14	360.64	75	191.94
2005	8	203.72	73	184.41
2006	9	227.68	98	245.89
2007-2008	20	250.00	220	272.79
2009	15	372.58	101	249.00
2010	9	221.95	137	334.96
合計	115	145.90	956	120.76

N：世代人數。

粗發生率：全癌症人數/世代人數 $\times 10^5$

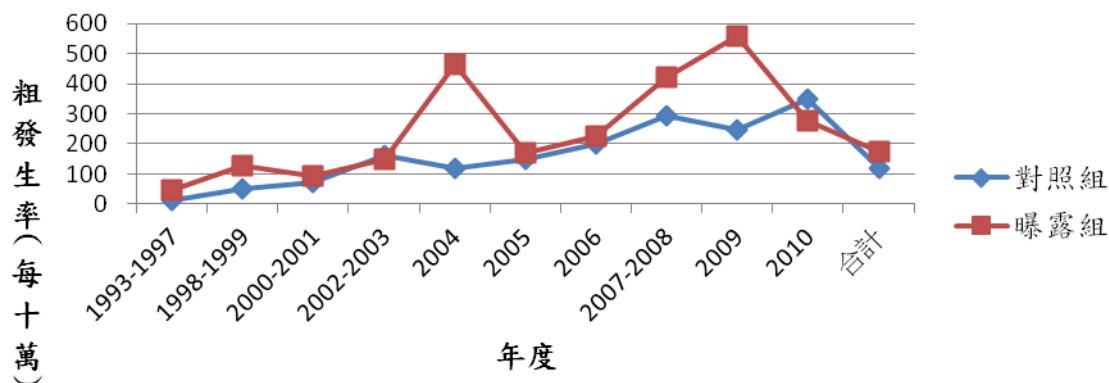


圖 35、職場曝露組與對照組世代全癌症發生率(合計)

(五) 輻射曝露組與對照組的基本資料描述

表 82 為曝露組世代基本資料，曝露組以男性居多，遷入平均年齡為 19.40 歲、目前平均年齡為 38.57 歲、平均輻射暴露時間 4.79 年、平均累積曝露劑量為 6.87 毫西弗、平均追蹤時間為 19.29 年、平均癌症發生密度(ID)為 87.80 (單位： 10^{-5} 年⁻¹)。

對照組亦以男性居多，追蹤起點的平均年齡為 19.06 歲、目前平均年齡為 38.5 歲、平均追蹤時間為 19.28 年、平均癌症發生密度(ID)為 86.15 (單位： 10^{-5} 年⁻¹)。

根據分析結果，兩組僅在目前年齡的分布上有統計上的顯著差異，但年齡的差距極微，是受到大樣本的影響而產生統計上的差異。(見表 82)

表 82、輻射屋世代與對照組世代之基本資料的比較

分析變項		輻射屋世代				對照組世代			
		人數	%	Mean	SD	人數	%	Mean	SD
性別	男	16928	52.32			169920	52.28		
	女	15428	47.68			155130	47.72		
	全體	32356	100.0			325050	100.0		
暴露世代	住家	12968	52.32			129680	52.28		
	職場	4232	47.68			42320	47.72		
	學校	15305	100.0			153050	100		
	幼稚園	687	40.08			6870	39.90		
	國中	10742	13.08			107420	13.02		
	高中	1612	47.30			16120	47.09		
	大專	2264	2.12			22640	2.11		
居住地 ^a	台北市	19680	60.82			197890	60.88		
	新北市	9548	29.51			95850	29.49		
	桃園縣	2115	6.54			21180	6.52		
	彰化縣	687	2.12			6870	2.11		
	基隆市	316	0.98			3160	0.97		
	新竹縣市	10	0.03			100	0.03		
	合計			4.79	5.74			--	--
暴露時間	<5 年	13259	78.33			--	--		
	≥5 年	3669	21.67			--	--		
	合計	32356	100.0	4.79	5.74	--	--	--	--
遷入年齡	<18 歲	20704	64.14			20704	64.14		
	≥18 歲	11602	35.86			11602	35.86		
	合計	32356	100.0	19.40	13.95	325050		19.06	13.96
目前年齡	<40 歲	20733	64.08			209950	64.59		
	≥40 歲	11623	35.92			115100	35.41		
	合計	32356	100.0	38.57	14.26	325050		38.50	14.38
累積暴露劑量	<100 毫西弗	31936	98.70			--	--		
	≥100 毫西弗	420	1.30			--	--		
	合計	32356	100.0	6.87	52.07	--	--	--	--
追蹤時間		32356	100.0	19.29	6.24	325050		19.28	6.25
遷入年	1982-1995	26095	80.65			262130	80.64		
	1996-2010	6261	19.35			62920	19.36		

a:居住地的配對條件為各縣市之鄉鎮區。以卡方檢定、獨立樣本 T 檢定、U-test 等方法檢定。

(六) 輻射曝露組與對照組的發生密度比

根據表 83，發生密度比(Incidence Density Ratio ;IDR)在兩組有統計上的顯著意義者為白血病(IDR=1.66, 95%CI = 1.14-2.41)。全癌症的發生密度(ID)在輻射曝露組為 87.82(每年每十萬)，對照組為 86.15(每年每十萬)，IDR 為 1.02(95%CI=0.93-1.11)，即輻射曝露組的癌症發生密度是對照組的 1.02 倍，95%信賴區間包含 1，故無統計上的顯著差異。(見表 83)

表 83、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR)

癌症	輻射組		對照組		IDR	95% CI of IDR	Sig.
	癌症人數	ID	癌症人數	ID			
口腔癌	25	4.01	297	4.74	0.85	0.56-1.27	
子宮頸癌	16	2.56	159	2.54	1.01	0.6-1.69	
甲狀腺癌	22	3.53	149	2.38	1.48	0.95-2.32	
白血病	32	5.13	194	3.10	1.66	1.14-2.41	+
何杰金病	3	0.48	31	0.49	0.97	0.3-3.18	
卵巢癌	8	1.28	66	1.05	1.22	0.58-2.53	
肝癌	52	8.33	515	8.22	1.01	0.76-1.35	
乳癌	48	7.69	558	8.91	0.86	0.64-1.16	
肺癌	43	6.89	488	7.79	0.88	0.65-1.21	
非何杰金淋巴瘤	25	4.01	235	3.75	1.07	0.71-1.61	
胃癌	22	3.53	237	3.78	0.93	0.6-1.44	
食道癌	8	1.28	113	1.80	0.71	0.35-1.46	
胰臟癌	6	0.96	98	1.56	0.61	0.27-1.4	
結腸直腸癌	50	8.01	497	7.93	1.01	0.76-1.35	
結締組織癌	5	0.80	29	0.46	1.73	0.67-4.47	
腦癌	8	1.28	62	0.99	1.30	0.62-2.71	
膀胱癌	8	1.28	77	1.23	1.04	0.5-2.16	
鼻咽癌	13	2.08	130	2.07	1.00	0.57-1.78	
膽囊癌	4	0.64	45	0.72	0.89	0.32-2.48	
攝護腺癌	14	2.24	123	1.96	1.14	0.66-1.99	
合計	548	87.82	5398	86.15	1.02	0.93-1.11	

Sig.: 顯著性。+表示曝露組高於對照組；-表示曝露組低於對照組。已經由配對方式控制性別、年齡、地區別的干擾；ID 單位: 1/10⁵年。一個人可能罹患多種癌，各癌相加人數會大於合計的人數。

1. 依性別分層

依性別分層，根據表 84-表 85，男性發生密度比(IDR)在兩組有統計上的顯著意義者為白血病(IDR=1.94, 95%CI=1.24-3.03)；女性發生密度比(IDR)在兩組皆無統計上的顯著意義者。(見表 84-表 85)

表 84、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR)(男性)

癌症	輻射組		對照組		IDR	95% CI of IDR	Sig.
	癌症人數	ID	癌症人數	ID			
口腔癌	21	6.35	274	8.26	0.77	0.49-1.2	
甲狀腺癌	4	1.21	35	1.06	1.15	0.41-3.22	
白血病	23	6.95	119	3.59	1.94	1.24-3.03	+
肝癌	37	11.19	387	11.67	0.96	0.68-1.34	
肺癌	24	7.26	319	9.62	0.75	0.5-1.14	
非何杰金淋巴瘤	14	4.23	136	4.10	1.03	0.6-1.79	
胃癌	13	3.93	130	3.92	1.00	0.57-1.77	
食道癌	7	2.12	104	3.14	0.67	0.31-1.45	
胰臟癌	4	1.21	56	1.69	0.72	0.26-1.98	
結腸直腸癌	32	9.67	287	8.65	1.12	0.78-1.61	
結締組織癌	4	1.21	17	0.51	2.36	0.79-7.01	
腦癌	5	1.51	43	1.30	1.17	0.46-2.94	
膀胱癌	8	2.42	58	1.75	1.38	0.66-2.9	
鼻咽癌	12	3.63	101	3.04	1.19	0.65-2.17	
膽囊癌	3	0.91	22	0.66	1.37	0.41-4.57	
攝護腺癌	14	4.23	123	3.71	1.14	0.66-1.98	
合計	271	81.93	2684	80.91	1.01	0.89-1.15	

Sig.: 顯著性。+表示曝露組高於對照組；-表示曝露組低於對照組。

已經由配對方式控制性別、年齡、地區別的干擾；ID單位: 1/10⁵年。

一個人可能罹患多種癌，各癌相加人數會大於合計的人數。

表 85、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR)(女性)

癌症	輻射組		對照組		IDR	95% CI of IDR	Sig.
	癌症人數	ID	癌症人數	ID			
口腔癌	4	1.36	23	0.78	1.75	0.6-5.06	
子宮頸癌	16	5.46	159	5.39	1.01	0.61-1.69	
甲狀腺癌	18	6.14	114	3.87	1.59	0.97-2.61	
白血病	9	3.07	75	2.54	1.21	0.6-2.41	
卵巢癌	8	2.73	66	2.24	1.22	0.59-2.54	
肝癌	15	5.11	128	4.34	1.18	0.69-2.01	
乳癌	48	16.37	558	18.93	0.86	0.64-1.16	
肺癌	19	6.48	169	5.73	1.13	0.7-1.82	
非何杰金淋巴瘤	11	3.75	99	3.36	1.12	0.6-2.08	
胃癌	9	3.07	107	3.63	0.85	0.43-1.67	
結腸直腸癌	18	6.14	210	7.12	0.86	0.53-1.39	
腦癌	3	1.02	19	0.64	1.59	0.47-5.36	
合計	277	94.46	2714	92.05	1.03	0.91-1.16	

Sig.: 顯著性。+表示曝露組高於對照組；-表示曝露組低於對照組。

已經由配對方式控制性別、年齡、地區別的干擾；ID單位: 1/10⁵年。

一個人可能罹患多種癌，各癌相加人數會大於合計的人數。

3. 依曝露輻射的場所分層

依曝露輻射的場所分層，根據表 86-表 88，住家發生密度比 (IDR) 在兩組有統計上的顯著意義者為甲狀腺癌 (IDR=2.16, 95%CI = 1.19-3.94)；職場發生密度比 (IDR) 在兩組皆無統計上的顯著意義者；學校發生密度比 (IDR) 在兩組有統計上的顯著意義者為白血病，即學校曝露組的白血病發生密度是學校對照組的 1.92 倍 (IDR=1.92, 95%CI = 1.08-3.40)。(見表 86-表 88)

表 86、輻射曝露組與對照組的發生密度比 (IDR) (住家)

癌症	輻射組		對照組		IDR	95% CI of IDR	Sig.
	癌症人數	ID	癌症人數	ID			
口腔癌	14	5.84	188	7.85	0.74	0.43-1.28	
子宮頸癌	11	4.59	104	4.35	1.06	0.57-1.97	
甲狀腺癌	13	5.42	60	2.51	2.16	1.19-3.94	+
白血病	14	5.84	108	4.51	1.29	0.74-2.26	
卵巢癌	6	2.50	38	1.59	1.58	0.67-3.73	
肝癌	37	15.44	382	15.96	0.97	0.69-1.36	
乳癌	32	13.35	371	15.50	0.86	0.6-1.24	
肺癌	32	13.35	376	15.71	0.85	0.59-1.22	
非何杰金淋巴瘤	16	6.68	141	5.89	1.13	0.68-1.9	
胃癌	14	5.84	176	7.35	0.79	0.46-1.37	
食道癌	7	2.92	84	3.51	0.83	0.38-1.8	
胰臟癌	4	1.67	76	3.18	0.53	0.19-1.44	
結腸直腸癌	39	16.27	351	14.66	1.11	0.8-1.54	
結締組織癌	3	1.25	15	0.63	2.00	0.58-6.9	
腦癌	4	1.67	33	1.38	1.21	0.43-3.42	
膀胱癌	8	3.34	54	2.26	1.48	0.7-3.11	
鼻咽癌	4	1.67	66	2.76	0.61	0.22-1.66	
膽囊癌	3	1.25	39	1.63	0.77	0.24-2.49	
攝護腺癌	11	4.59	97	4.05	1.13	0.61-2.11	
合計	355	148.10	3511	146.67	1.01	0.91-1.13	

Sig.: 顯著性。+ 表示曝露組高於對照組；- 表示曝露組低於對照組。

已經由配對方式控制性別、年齡、地區別的干擾；ID 單位: 1/10⁵年。

*住戶及勞工世代會有重覆個案

一個人可能罹患多種癌，各癌相加人數會大於合計的人數。

表 87、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR) (職場)

癌症	輻射組		對照組		IDR	95% CI of IDR	Sig.
	癌症人數	ID	癌症人數	ID			
口腔癌	6	7.82	41	5.32	1.47	0.62-3.46	
子宮頸癌	5	6.52	38	4.93	1.32	0.52-3.36	
甲狀腺癌	4	5.21	34	4.41	1.18	0.42-3.33	
白血病	4	5.21	16	2.08	2.51	0.84-7.51	
肝癌	10	13.03	69	8.95	1.46	0.75-2.83	
乳癌	10	13.03	126	16.34	0.80	0.42-1.52	
肺癌	9	11.73	75	9.73	1.21	0.6-2.41	
非何杰金淋巴瘤	7	9.12	35	4.54	2.01	0.89-4.52	
胃癌	7	9.12	40	5.19	1.76	0.79-3.92	
結腸直腸癌	9	11.73	86	11.16	1.05	0.53-2.09	
鼻咽癌	5	6.52	25	3.24	2.01	0.77-5.25	
攝護腺癌	3	3.91	24	3.11	1.26	0.38-4.17	
合計	115	149.86	956	124.01	1.21	0.996-1.47	

Sig.: 顯著性。+表示曝露組高於對照組；-表示曝露組低於對照組。

已經由配對方式控制性別、年齡、地區別的干擾；ID單位: 1/10⁵年。

*住家及工作場所世代會有重覆個案

一個人可能罹患多種癌，各癌相加人數會大於合計的人數。

表 88、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR) (學校)

癌症	輻射組		對照組		IDR	95% CI of IDR	Sig.
	癌症人數	ID	癌症人數	ID			
口腔癌	6	1.93	68	2.19	0.88	0.38-2.03	
甲狀腺癌	5	1.61	55	1.77	0.91	0.36-2.27	
白血病	14	4.51	73	2.35	1.92	1.08-3.4	+
肝癌	5	1.61	64	2.06	0.78	0.31-1.94	
乳癌	8	2.58	61	1.97	1.31	0.63-2.74	
腦癌	4	1.29	19	0.61	2.10	0.72-6.19	
鼻咽癌	4	1.29	39	1.26	1.03	0.37-2.87	
合計	82	26.42	935	30.13	0.88	0.7-1.1	

Sig.: 顯著性。+表示曝露組高於對照組；-表示曝露組低於對照組。

已經由配對方式控制性別、年齡、地區別的干擾；ID單位: 1/10⁵年。

一個人可能罹患多種癌，各癌相加人數會大於合計的人數。

5. 依輻射屋所在縣市分層

台北市及新北市受輻射污染的人口佔 90.33%，若依輻射屋主要的分佈縣市，觀察台北市及新北市的癌症風險，根據表 89-表 90，發現台北市的癌症發生密度比(IDR)在兩組有統計上的顯著差異者為白血病(IDR=2.16, 95% CI =1.30-3.59)及全癌症(IDR=1.16, 95% CI= 1.03-1.30)，其他癌症在兩組皆無統計上的差異；新北市的癌症發生密度比(IDR)在兩組皆無統計上的顯著差異。(見表 89-表 90)

表 89、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR)(台北市)

癌症	輻射組		對照組		IDR	95% CI of IDR	Sig.
	癌症人數	ID	癌症人數	ID			
口腔癌	11	3.04	101	2.77	1.10	0.59-2.04	
子宮頸癌	6	1.66	76	2.09	0.79	0.35-1.82	
甲狀腺癌	12	3.31	81	2.22	1.49	0.81-2.73	
白血病	18	4.97	84	2.31	2.16	1.30-3.59	+
何杰金病	3	0.83	15	0.41	2.01	0.58-6.95	
卵巢癌	6	1.66	34	0.93	1.78	0.75-4.23	
肝癌	31	8.56	226	6.20	1.38	0.95-2.01	
乳癌	23	6.35	304	8.34	0.76	0.50-1.16	
肺癌	25	6.90	235	6.45	1.07	0.71-1.62	
非何杰金淋巴癌	18	4.97	135	3.70	1.34	0.82-2.19	
胃癌	10	2.76	126	3.46	0.80	0.42-1.52	
食道癌	3	0.83	46	1.26	0.66	0.20-2.11	
胰臟癌	4	1.10	53	1.45	0.76	0.27-2.1	
結腸直腸癌	32	8.83	278	7.63	1.16	0.80-1.67	
腦癌	5	1.38	24	0.66	2.10	0.80-5.49	
鼻咽癌	8	2.21	51	1.40	1.58	0.75-3.33	
攝護腺癌	11	3.04	74	2.03	1.50	0.79-2.82	
合計	313	86.41	2715	74.51	1.16	1.03-1.30	+

Sig.: 顯著性。+表示曝露組高於對照組；-表示曝露組低於對照組。已經由配對方式控制性別、年齡、地區別的干擾；ID單位: 1/10⁵年。一個人可能罹患多種癌，各癌相加人數會大於合計的人數。

表 90、輻射曝露組與對照組的發生密度比(IDR)(新北市)

癌症	輻射組		對照組		IDR	95% CI of IDR	Sig.
	癌症人數	ID	癌症人數	ID			
口腔癌	10	5.13	164	8.40	0.61	0.32-1.16	
甲狀腺癌	7	3.59	40	2.05	1.75	0.78-3.91	
白血病	12	6.15	86	4.41	1.40	0.76-2.55	
肝癌	16	8.20	231	11.84	0.69	0.42-1.15	
肺癌	13	6.67	176	9.02	0.74	0.42-1.3	
非何杰金淋巴瘤	3	1.54	70	3.59	0.43	0.14-1.36	
胃癌	4	2.05	74	3.79	0.54	0.2-1.48	
食道癌	4	2.05	50	2.56	0.80	0.29-2.22	
結腸直腸癌	11	5.64	167	8.56	0.66	0.36-1.21	
腦癌	3	1.54	31	1.59	0.97	0.3-3.17	
膀胱癌	5	2.56	32	1.64	1.56	0.61-4.01	
鼻咽癌	5	2.56	61	3.13	0.82	0.33-2.04	
合計	161	82.54	1974	101.15	0.82	0.69-0.96	-

Sig.: 顯著性。+表示曝露組高於對照組；-表示曝露組低於對照組。已經由配對方式控制性別、年齡、地區別的干擾；ID單位: 1/10⁵年。一個人可能罹患多種癌，各癌相加人數會大於合計的人數。

(七) 以 Poisson regression 計算輻射曝露組與對照組的相對風險比及額外增加風險

根據表 91，以 Poisson regression 估計兩組的癌症相對風險比值 (Relative Risk;RR)，發現 RR 在兩組有統計上的顯著意義者為白血病 (RR=1.65, 95% CI=1.14-2.4)。全癌症的 RR 為 1.02(95% CI = 0.93-1.11)，無統計上的顯著差異。結果與 IDR 分析結果一致。曝露組相對於對照組，白血病的額外增加風險(Excess Relative Risk; ERR) 為 0.65(95%CI =0.14-1.40)。(見表 91)

表 91、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析

癌症	輻射組 人數	對照組 人數	RR	95% CI	ERR	95% CI of ERR	p
口腔癌	25	297	0.84	0.56-1.27	-0.16	-0.44-0.27	0.4100
子宮頸癌	16	159	1.01	0.6-1.69	0.01	-0.40-0.69	0.9689
甲狀腺癌	22	149	1.48	0.95-2.32	0.48	-0.05-1.32	0.0840
白血病	32	194	1.65	1.14-2.4	0.65	0.14-1.40	0.0083**
何杰金病	3	31	0.97	0.3-3.18	-0.03	-0.70-2.18	0.9617
卵巢癌	8	66	1.22	0.58-2.54	0.22	-0.42-1.54	0.5987
肝癌	52	515	1.01	0.76-1.34	0.01	-0.24-0.34	0.9436
乳癌	48	558	0.86	0.64-1.16	-0.14	-0.36-0.16	0.3331
肺癌	43	488	0.88	0.65-1.21	-0.12	-0.35-0.21	0.4331
非何杰金淋巴瘤	25	235	1.07	0.71-1.61	0.07	-0.29-0.61	0.7554
胃癌	22	237	0.93	0.6-1.44	-0.07	-0.40-0.44	0.7516
食道癌	8	113	0.71	0.35-1.45	-0.29	-0.65-0.45	0.3434
胰臟癌	6	98	0.61	0.27-1.4	-0.39	-0.73-0.40	0.2435
結腸直腸癌	50	497	1.01	0.75-1.35	0.01	-0.25-0.35	0.9559
結締組織癌	5	29	1.73	0.67-4.47	0.73	-0.33-3.47	0.2582
腦癌	8	62	1.29	0.62-2.7	0.29	-0.38-1.70	0.4930
膀胱癌	8	77	1.04	0.5-2.15	0.04	-0.50-1.15	0.9220
鼻咽癌	13	130	1.00	0.57-1.77	0.00	-0.43-0.77	0.9946
膽囊癌	4	45	0.89	0.32-2.47	-0.11	-0.68-1.47	0.8210
攝護腺癌	14	123	1.13	0.65-1.97	0.13	-0.35-0.97	0.6611
全癌	548	5398	1.02	0.93-1.11	0.02	-0.07-0.11	0.6913

以 Poisson regression 分析 (校正性別、初次曝露年齡、居住地)。*:p<.05;

**p<0.01。

1. 依性別分層

依性別分層，根據表 92-表 93，發現男性的 RR 在兩組有統計上的顯著意義者為白血病(RR=1.94, 1.24-3.03)；男性的 ERR 為 0.94 (95%CI = 0.24-2.03)。女性的 RR 在兩組無統計上的顯著意義。(見表 92-表 93)

表 92、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(男性)

癌症	輻射組 人數	對照組 人數	RR	95% CI	ERR	95% CI of ERR	p
口腔癌	21	274	0.77	0.49-1.2	-0.23	-0.51-0.20	0.2414
甲狀腺癌	4	35	1.15	0.41-3.23	0.15	-0.59-2.23	0.7947
白血病	23	119	1.94	1.24-3.03	0.94	0.24-2.03	0.0037**
肝癌	37	387	0.96	0.68-1.34	-0.04	-0.32-0.34	0.7906
肺癌	24	319	0.75	0.50-1.14	-0.25	-0.50-0.14	0.1820
淋巴癌	14	136	1.03	0.6-1.79	0.03	-0.40-0.79	0.9078
胃癌	13	130	1.00	0.57-1.77	0.00	-0.43-0.77	0.9972
結腸直腸癌	32	287	1.11	0.77-1.60	0.11	-0.23-0.60	0.5654
腦癌	5	43	1.17	0.46-2.94	0.17	-0.54-1.94	0.7451
攝護腺癌	14	123	1.13	0.65-1.97	0.13	-0.35-0.97	0.6611
全癌	271	2684	1.01	0.89-1.14	0.01	-0.11-0.14	0.8745

以 Poisson regression 分析 (校正初次曝露年齡、居住地)。*:p<.05, **p<0.01.

表 93、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(女性)

癌症	輻射組 人數	對照組 人數	RR	95% CI	ERR	95% CI of ERR	p
口腔癌	4	23	1.74	0.6-5.04	0.74	-0.40-4.04	0.3046
子宮頸癌	16	159	1.01	0.6-1.69	0.01	-0.40-0.69	0.9689
甲狀腺癌	18	114	1.59	0.97-2.61	0.59	-0.03-1.61	0.0683
白血病	9	75	1.21	0.6-2.41	0.21	-0.40-1.41	0.5956
卵巢癌	8	66	1.22	0.58-2.54	0.22	-0.42-1.54	0.5987
肝癌	15	128	1.17	0.69-2.00	0.17	-0.31-1.00	0.5562
乳癌	48	558	0.86	0.64-1.16	-0.14	-0.36-0.16	0.3331
肺癌	19	169	1.13	0.70-1.81	0.13	-0.30-0.81	0.6205
淋巴癌	11	99	1.12	0.60-2.08	0.12	-0.40-1.08	0.7286
胃癌	9	107	0.84	0.43-1.67	-0.16	-0.57-0.67	0.6257
結腸直腸癌	18	210	0.86	0.53-1.39	-0.14	-0.47-0.39	0.5393
腦癌	3	19	1.59	0.47-5.36	0.59	-0.53-4.36	0.4576
全癌	277	2714	1.03	0.91-1.16	0.03	-0.09-0.16	0.6909

以 Poisson regression 分析 (校正初次曝露年齡、居住地)。*:p<.05, **p<0.01.

2. 依曝露輻射的場所分層

依曝露輻射的場所分層，根據表 94-表 96，發現住戶的 RR 在兩組有統計上的顯著意義者為甲狀腺癌 (RR=2.16, 95%CI=1.19-3.94)，曝露組相對於對照組，甲狀腺癌的額外增加風險(ERR) 為 1.16(95% CI= 0.19-2.94)；學生的 RR 在兩組有統計上的顯著意義者為白血病(RR =1.92, 95% CI =1.08-3.39)，即曝露組學生的白血病發生率是對照組學生的 2.00 倍，曝露組相對於對照組，白血病的額外增加風險(ERR)為 0.92(95% CI=0.08-2.39)。(見表 94-表 96)

表 94、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(住家)

癌症	輻射組 人數	對照組 人數	RR	95% CI	ERR	95% CI of ERR	p
口腔癌	14	188	0.74	0.43-1.28	-0.26	-0.57-0.28	0.2822
子宮頸癌	11	104	1.05	0.57-1.96	0.05	-0.43-0.96	0.8682
甲狀腺癌	13	60	2.16	1.19-3.94	1.16	0.19-2.94	0.0117*
白血病	14	108	1.29	0.74-2.25	0.29	-0.26-1.25	0.3712
卵巢癌	6	38	1.58	0.67-3.73	0.58	-0.33-2.73	0.3010
肝癌	37	382	0.96	0.69-1.35	-0.04	-0.31-0.35	0.8328
乳癌	32	371	0.86	0.60-1.23	-0.14	-0.40-0.23	0.4150
肺癌	32	376	0.85	0.59-1.22	-0.15	-0.41-0.22	0.3721
淋巴癌	16	141	1.13	0.67-1.90	0.13	-0.33-0.90	0.6405
胃癌	14	176	0.79	0.46-1.37	-0.21	-0.54-0.37	0.4070
食道癌	7	84	0.83	0.38-1.79	-0.17	-0.62-0.79	0.6324
胰臟癌	4	76	0.52	0.19-1.43	-0.48	-0.81-0.43	0.2068
結腸直腸癌	39	351	1.11	0.80-1.54	0.11	-0.20-0.54	0.5452
結締組織癌	3	15	1.99	0.58-6.89	0.99	-0.42-5.89	0.2753
腦癌	4	33	1.21	0.43-3.41	0.21	-0.57-2.41	0.7214
膀胱癌	8	54	1.47	0.70-3.09	0.47	-0.30-2.09	0.3084
鼻咽癌	4	66	0.60	0.22-1.66	-0.4	-0.78-0.66	0.3282
膽囊癌	3	39	0.76	0.24-2.47	-0.24	-0.76-1.47	0.6545
攝護腺癌	11	97	1.12	0.60-2.09	0.12	-0.40-1.09	0.7160
全癌	355	3511	1.01	0.90-1.12	0.01	-0.10-0.12	0.8939

以 Poisson regression 分析 (校正性別、初次曝露年齡、居住地)。*:p<.05
住戶及勞工世代會有重覆個案

表 95、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(職場)

癌症	輻射組 人數	對照組 人數	RR	95% CI	ERR	95% CI of ERR	p
口腔癌	6	41	1.47	0.62-3.45	0.47	-0.38-2.45	0.3819
子宮頸癌	5	38	1.33	0.52-3.37	0.33	-0.48-2.37	0.5534
甲狀腺癌	4	34	1.18	0.42-3.33	0.18	-0.58-2.33	0.7525
白血病	4	16	2.50	0.84-7.49	1.50	-0.16-6.49	0.1007
肝癌	10	69	1.45	0.75-2.81	0.45	-0.25-1.81	0.2731
乳癌	10	126	0.80	0.42-1.52	-0.2	-0.58-0.52	0.4936
肺癌	9	75	1.21	0.60-2.41	0.21	-0.40-1.41	0.5930
淋巴癌	7	35	2.01	0.89-4.52	1.01	-0.11-3.52	0.0918
胃癌	7	40	1.76	0.79-3.93	0.76	-0.21-2.93	0.1672
結腸直腸癌	9	86	1.05	0.53-2.09	0.05	-0.47-1.09	0.8888
鼻咽癌	5	25	2.01	0.77-5.26	1.01	-0.23-4.26	0.1532
攝護腺癌	3	24	1.25	0.38-4.16	0.25	-0.62-3.16	0.7121
全癌	115	956	1.21	1.00-1.47	0.21	0-0.47	0.0538

以 Poisson regression 分析 (校正性別、初次曝露年齡、居住地)。
住戶及勞工世代會有重覆個案

表 96、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(學校)

癌症	輻射組 人數	對照組 人數	RR	95% CI	ERR	95% CI of ERR	p
口腔癌	6	68	0.88	0.38-2.03	-0.12	-0.62-1.03	0.7665
甲狀腺癌	5	55	0.91	0.36-2.27	-0.09	-0.64-1.27	0.8376
白血病	14	73	1.92	1.08-3.39	0.92	0.08-2.39	0.0258*
肝癌	5	64	0.78	0.31-1.94	-0.22	-0.69-0.94	0.5935
乳癌	8	61	1.31	0.63-2.74	0.31	-0.37-1.74	0.4730
腦癌	4	19	2.10	0.72-6.19	1.10	-0.28-5.19	0.1762
鼻咽癌	4	39	1.02	0.37-2.87	0.02	-0.63-1.87	0.9630
全癌	82	935	0.88	0.7-1.1	-0.12	-0.30-0.10	0.2519

以 Poisson regression 分析 (校正性別、初次曝露年齡、居住地)。*:p<.05.

3. 依輻射屋分佈縣市分層

依輻射屋所在縣市分層，根據表 97-98，發現台北市的 RR 在兩組有統計上的顯著差異者為白血病 (RR=2.15, 95%CI=1.3-3.58; ERR=1.15, 95%CI=0.30-2.58)、全癌症 (RR=1.16, 95%CI=1.03-1.3; ERR=0.16, 95%CI=0.03-0.30)；雖然新北市的 RR 在兩組有統計上的顯著差異者為全癌症 (RR=0.81, 95%CI =0.69-0.95)，但曝露組的癌症風險小於對照組。(見表 97-表 98)

表 97、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(台北市)

癌症	輻射組 人數	對照組 人數	RR	95% CI	ERR	95% CI of ERR	p
口腔癌	11	101	1.09	0.59-2.04	0.09	-0.41-1.04	0.7804
子宮頸癌	6	76	0.80	0.35-1.83	-0.20	-0.65-0.83	0.5895
甲狀腺癌	12	81	1.49	0.81-2.73	0.49	-0.19-1.73	0.1964
白血病	18	84	2.15	1.3-3.58	1.15	0.30-2.58	0.0031*
何杰金病	3	15	2.01	0.58-6.95	1.01	-0.42-5.95	0.2687
卵巢癌	6	34	1.78	0.75-4.23	0.78	-0.25-3.23	0.1940
肝癌	31	226	1.38	0.94-2	0.38	-0.06-1.00	0.0964
乳癌	23	304	0.76	0.5-1.16	-0.24	-0.50-0.16	0.2088
肺癌	25	235	1.07	0.71-1.61	0.07	-0.29-0.61	0.7629
非何杰金淋 巴癌	18	135	1.34	0.82-2.19	0.34	-0.18-1.19	0.2449
胃癌	10	126	0.80	0.42-1.52	-0.20	-0.58-0.52	0.4872
食道癌	3	46	0.65	0.2-2.1	-0.35	-0.80-1.10	0.4734
胰臟癌	4	53	0.76	0.27-2.09	-0.24	-0.73-1.09	0.5902
結腸直腸癌	32	278	1.15	0.8-1.66	0.15	-0.20-0.66	0.4411
腦癌	5	24	2.10	0.8-5.49	1.10	-0.20-4.49	0.1325
鼻咽癌	8	51	1.58	0.75-3.32	0.58	-0.25-2.32	0.2319
攝護腺癌	11	74	1.48	0.78-2.79	0.48	-0.22-1.79	0.2261
全癌	313	2715	1.16	1.03-1.3	0.16	0.03-0.30	0.0138*

以 Poisson regression 分析 (校正性別、初次曝露年齡)。**p<0.01.

表 98、以 Poisson regression 分析輻射曝露的癌症風險分析(新北市)

癌症	輻射組 人數	對照組 人數	RR	95% CI	ERR	95% CI of ERR	p
口腔癌	10	164	0.61	0.32-1.15	-0.39	-0.68-0.15	0.1255
子宮頸癌	5	56	0.89	0.36-2.23	-0.11	-0.64-1.23	0.8106
甲狀腺癌	7	40	1.75	0.79-3.91	0.75	-0.21-2.91	0.1708
白血病	12	86	1.39	0.76-2.55	0.39	-0.24-1.55	0.2828
肝癌	16	231	0.69	0.41-1.14	-0.31	-0.59-0.14	0.1478
乳癌	18	169	1.07	0.66-1.73	0.07	-0.34-0.73	0.7968
肺癌	13	176	0.73	0.42-1.28	-0.27	-0.58-0.28	0.2766
淋巴癌	3	70	0.43	0.13-1.36	-0.57	-0.87-0.36	0.1491
胃癌	4	74	0.54	0.2-1.47	-0.46	-0.80-0.47	0.2240
食道癌	4	50	0.79	0.29-2.2	-0.21	-0.71-1.20	0.6557
結腸直腸癌	11	167	0.65	0.36-1.2	-0.35	-0.64-0.20	0.1734
腦癌	3	31	0.97	0.3-3.16	-0.03	-0.70-2.16	0.9536
膀胱癌	5	32	1.55	0.6-3.98	0.55	-0.40-2.98	0.3623
鼻咽癌	5	61	0.82	0.33-2.04	-0.18	-0.67-1.04	0.6666
全癌	161	1974	0.81	0.69-0.95	-0.19	-0.31--0.0	0.0113*

以 Poisson regression 分析 (校正性別、初次曝露年齡)。*:p<.05, **p<0.01.

以下將針對之癌症分析中有統計上顯著意義的癌症，分析全體世代在不同劑量組別之癌症發生風險比值(RR)，根據表 99 發現，甲狀腺癌與全癌症僅在曝露組 ≥ 100 毫西弗相對於對照組的情形下，相對危險比值(RR)是顯著，依序是 $RR=5.57(95\%CI = 1.32-23.52)$ 、 $RR=2.09(95\%CI = 1.44-3.04)$ 。白血病在曝露組 ≥ 100 毫西弗相對於對照組，以及曝露組 < 100 毫西弗相對於對照組的情形下，相對危險比值(RR)皆為顯著，依序是 $RR=7.91(95\%CI = 2.50-25.08)$ 、 $RR=1.55(95\%CI = 1.05-2.30)$ 。(見表 99)

表 99、不同劑量組別之癌症發生風險比值(RR)

癌症類別	RR (95% CI)				
	對照組 (0 毫西弗)	曝露組 (< 100 毫西弗)	P	曝露組 (≥ 100 毫西弗)	P
甲狀腺癌	1.00	1.42 (0.89-2.27)	0.1388	5.57 (1.32-23.52)	0.0196*
白血病	1.00	1.55 (1.05-2.30)	0.0272*	7.91 (2.50-25.08)	0.0004**
全癌症	1.00	1.04 (0.95-1.14)	0.3645	2.09 (1.44-3.04)	0.0001**

以 Poisson regression 分析 (校正性別、初次曝露年齡、居住地)，*: $p<.05$; **: $P<0.01$ 。輻射劑量已扣除背景值。

表 100 為再針對不同劑量組別之癌症發生風險比值(RR)有統計上的顯著意義之癌症進行劑量效應分析，以 Poisson regression 進行分析，將劑量每 100 毫西弗劃分為一組，最高劑量為 1,751 毫西弗，發現僅白血病與全癌症有統計上的顯著意義，輻射劑量每增加 100 毫西弗，白血病發生風險增加 25.2%，全癌症發生風險增加 9.5%。(見表 100)

表 100、不同癌症的劑量風險分析

癌症類別	n	RR _{100mSv}	95 % CI of RR _{100mSv}	ERR _{100mSv}	95% CI of ERR _{100mSv}	p
甲狀腺癌	22	1.065	0.645-1.761	0.065	-0.355-0.70	0.8048
白血病	32	1.252	1.053-1.489	0.252	0.053-0.48	0.0111*
全癌症	548	1.095	1.014-1.182	0.095	0.014-0.18	0.0200*

以 Poisson regression 分析 (校正性別、初次曝露年齡、居住地)，*: $p<.05$; **: $P<0.01$ 。輻射劑量已扣除背景值。

(八) 以二階段抽樣研究方法校正干擾因子後計算癌症的風險

本研究進一步採取二階段抽樣研究方法(two-stage sampling approach)估計癌症風險，第一階段以輻射曝露世代建立初步的未校正干擾因子的風險評估，第二階段以問卷收集所有與健康效應(癌症)有關之可能干擾因子，控制干擾因子後計算此階段的風險。並由其校正全體樣本所推估之結果，可得到更正確之罹患癌症的風險。以下為分析原理與架構。

Study Design : two-stage retrospective cohort study

Hypothesis : Low dose radiation is associated with occurrence of Cancers, hematological defects, and other abnormalities

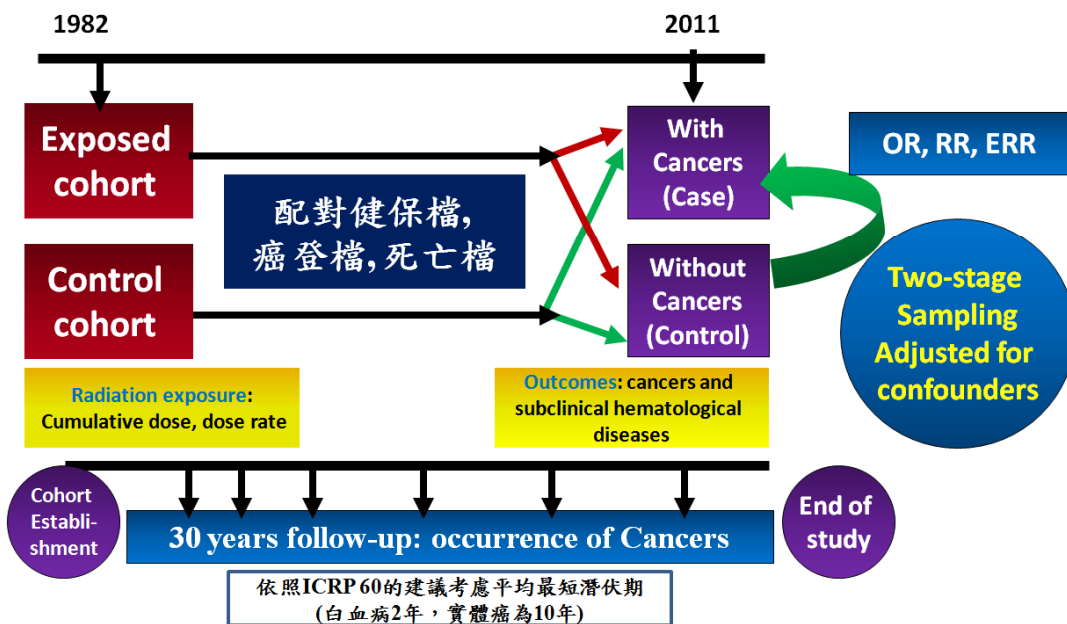


圖 36、二階段研究之研究假設及研究設計

無論這些癌症個案發生在曝露組或對照組，癌症發生的原因與輻射間的關聯，會受干擾因子的影響，包括醫療輻射(CT Scan、X-ray等)、宇宙射線、環境致癌物的曝露、飲食習慣、生活習慣(抽菸、飲

酒、作息、運動習慣等)，若要控制這些干擾因子，必須發展問卷以瞭解這些因子在曝露組與對照組間的分布狀況，並在風險模式中加以控制。

過去國內關於輻射屋世代的曝露風險估計，在解釋變數上只考慮曝露劑量、性別、罹病年齡、曝露年齡、出生世代等，並未控制基本資料以外的所有可能干擾因子，包括職業環境的輻射曝露、醫療上的輻射曝露、家族史、過去病史、抽菸、喝酒等健康風險因子等，因此結果的可靠性受到學術界的質疑。本研究採二階段抽樣研究方法(two-stage sampling approach)控制可能的干擾因子，再估計輻射曝露的風險比值。(註：因本計畫所收集的醫療輻射劑量資料不齊全，未列入分析。)

在二階段抽樣研究方法中，第一階段以所有可追溯到的輻射曝露族群作為曝露組，及建立其對照組，對照組的母群為一般民眾，是無輻射曝露族群，來自台北市、新北市、新竹縣、桃園縣、基隆市、彰化縣居民，以曝露組遷入輻射屋的年齡、性別、輻射屋所在行政區、污染建物用途(住家、辦公室、學校)與之配對。由於此階段的研究個案數量龐大，無法得到每位研究對象之詳細資料，因此缺乏準確的確證變項，以排除可能的干擾因子，所以第一階段的研究個案稱為「非確證樣本」(non-validation sample)，所採用的變項稱為「替代變量」(surrogate variable)。第二階段的研究樣本來自一小部分的樣本，這些樣本自第一階段的所有樣本中所取得，此階段所測量的變項是不易取得的，需要花費較多的人力與時間，然而可以得到較為精準的測量變數，故稱為「確證樣本」(validation sample)，第二階段以問卷蒐集所有與健康效應有關之可能干擾因子，並以此資訊校正第一階段由替代變量所得到的不精確的結果。

Retrospective cohort Study

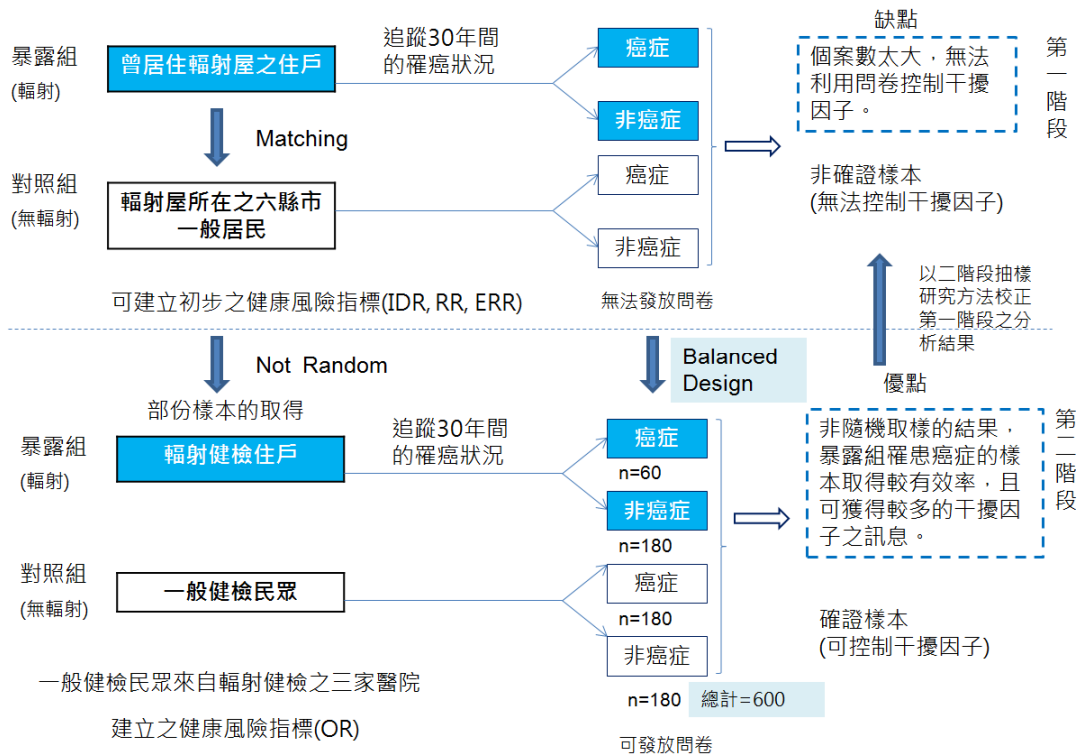
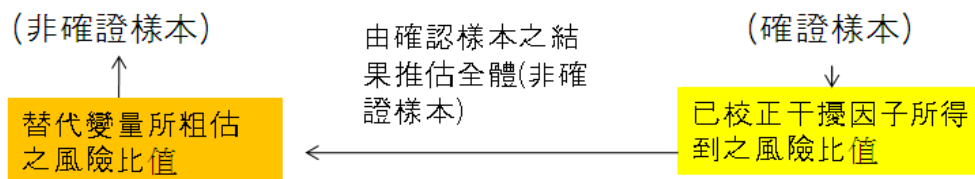


圖 37、Retrospective cohort Study 的二階段抽樣方法

根據上述「二階段抽樣」方法所建立之「確證樣本」所推估之輻射曝露與健康效應之迴歸係數、迴歸係數之標準誤(Standard Error)，以及問卷樣本數，再調整「非確證樣本」中推估之輻射曝露與健康效應之風險比值，統計方法為邏輯斯迴歸。「確證樣本」所推估之結果已控制干擾因子，由其校正全體樣本所推估之結果，可得到更正確之罹患癌症的風險。由於二階段抽樣統計分析的校正公式需統計專業知識，本計畫邀請一位國內對「二階段抽樣」方法極富經驗之統計學家參與供諮詢。



第二階段的收案目的為控制癌症干擾因子，根據本研究的估計，曝露組的癌症收案人數為 60 人，大部份為台大輻射健檢之家戶為收案對象，最終收集 54 位癌症家戶的癌症問卷。對照組的癌症病人的收案目標為 180 人，由彰基、仁愛醫院護理人員協助收案，因為臨床業務繁忙，2012 年 4 月開始改由國家衛生研究院人員至仁愛醫院腫瘤科收案。由於 2012 年 5 月份以來於仁愛腫瘤科門診收 62 份，每位訪員每週於腫瘤科門診僅能收 8 份左右，符合收案資格的人數已越來越少。本研究團隊在三軍總醫院的醫學試驗倫理委員通過後，於該醫院血液腫瘤科、放射腫瘤科、胃腸肝膽科、婦科、核子醫學與皮膚科等完成對照組癌症患者的收案工作，最終共收 296 位癌症病人的問卷資料。(見表 101)

表 101、依控制癌症干擾因子目的之收案人數

收案份數	Cancer	Non-Cancer	Total
Exposure	54	361	415
Non-Exposure	296	337	633
	350	698	1048

表 102 為問卷中曝露組與對照組之人口學基本資料、吸菸及其他生活習慣、運動、飲食的分佈，以作為各癌症的調整變項，表 103 為問卷中曝露組與對照組之女性初經與停經資料的分佈，以作為女性癌症的調整變項。(見表 102-表 103)

表 102、問卷中曝露組與對照組之人口學基本資料、吸菸及其他生活習慣、運動、飲食的分佈

變項	曝露組 (n=415)			對照組 (n=633)		
	合計 n	非癌症 n (%)	癌症 n (%)	合計 n	非癌症 n (%)	癌症 n (%)
全體	415	361(86.99)	54(13.01)	633	337(53.24)	296(46.76)
性別						
女性	210	186 (88.57)	24 (11.43)	347	198 (57.06)	149 (42.94)
男性	205	175 (85.37)	30 (14.63)	286	139 (48.60)	147 (51.40)
目前年齡						
<40 歲	243	233 (95.88)	10 (4.12)	216	210 (97.22)	6 (2.78)
≥40 歲	172	128 (74.42)	44 (25.58)	417	127 (30.46)	290 (69.54)
教育程度						
不識字或小學	30	14 (46.67)	16 (53.33)	103	13 (12.62)	90 (87.38)
國中以下	23	16 (69.57)	7 (30.43)	48	6 (12.50)	42 (87.50)
高中/高職	80	68 (85.00)	12 (15.00)	139	50 (35.97)	89 (64.03)
大專以上	282	263 (93.26)	19 (6.74)	343	268 (78.13)	75 (21.87)
婚姻狀況						
未婚	206	199 (96.60)	7 (3.40)	186	165 (88.71)	21 (11.29)
已婚	187	146 (78.07)	41 (21.93)	390	159 (40.77)	231 (59.23)
其他	22	16 (72.73)	6 (27.27)	56	12 (21.43)	44 (78.57)
遺漏	--	--	--	1	1 (100.00)	0 (0.00)
工作狀況						
學生	33	31 (93.94)	2 (6.06)	26	26 (100.00)	0 (0.00)
退休或家管(含待業)	106	79 (74.53)	27 (25.47)	280	62 (22.14)	218 (77.86)
有工作	276	251 (90.94)	25 (9.06)	324	249 (76.85)	75 (23.15)
遺漏	--	--	--	3	3 (100.00)	0 (0.00)
家庭收支						
有餘	174	158 (90.8)	16 (9.20)	222	135 (60.81)	87 (39.19)
恰好收支平衡	181	153 (84.53)	28 (15.47)	269	150 (55.56)	120 (44.44)
入不敷出	26	18 (69.23)	8 (30.77)	88	32 (36.36)	56 (63.64)
不清楚	33	31 (93.94)	2 (6.06)	49	20 (40.82)	29 (59.18)
遺漏	1	1 (100.00)	0 (0.00)	4	0 (0.00)	4 (100.00)
吸菸						
否	322	287 (89.13)	35 (10.87)	484	291 (60.12)	193 (39.88)
是	93	74 (79.57)	19 (20.43)	149	46 (31.87)	102 (69.13)
家中吸二手菸						
否	310	269 (66.77)	41 (13.23)	507	264 (52.07)	242 (47.93)
是	103	90 (87.38)	13 (12.62)	125	73 (58.40)	52 (41.60)
遺漏	2	2 (100.00)	0 (0.00)	1	0 (0.00)	1 (100.0)
工作吸二手菸						
否	295	259 (87.80)	36 (12.20)	501	273 (54.49)	228 (45.51)
是	118	102 (86.44)	16 (13.56)	132	64 (48.48)	68 (51.52)
遺漏	2	0 (0.00)	2 (100.00)	--	--	--
飲酒						
否	372	327 (66.77)	45 (12.10)	551	313 (56.81)	238 (43.19)
是	43	34 (79.07)	9 (20.93)	82	24 (29.27)	58 (70.73)
嚼檳榔						
否	397	347 (87.41)	50 (12.58)	592	329 (55.57)	263 (44.43)
是	18	14 (77.78)	4 (22.22)	41	8 (19.51)	33 (80.49)
常曬太陽						
否	288	258 (89.58)	30 (10.42)	424	243 (57.31)	181 (42.69)
是	126	102 (80.95)	24 (19.05)	208	93 (44.71)	115 (55.29)
遺漏	1	1 (100.00)	0 (0.00)	1	1 (100.00)	0 (0.00)

--:沒有數據

表 102、問卷中曝露組與對照組之人口學基本資料、吸菸及其他生活習慣、運動、飲食的分佈(續 1)

變項	曝露組 (n=415)			對照組 (n=633)			
	合計 n	非癌症 n (%)	癌症 n (%)	合計 n	非癌症 n (%)	癌症 n (%)	
常運動	否	207	176 (85.02)	31 (14.98)	324	190 (58.64)	134 (41.36)
	是	208	185 (88.94)	23 (11.06)	308	147 (47.57)	162 (52.43)
輪大夜班	否	345	303 (87.83)	42 (12.17)	533	278 (52.16)	255 (47.84)
	是	69	57 (82.61)	12 (17.39)	100	59 (59.00)	41 (41.00)
睡眠時數	遺漏	1	1 (100.00)	0 (0.00)	--	--	--
	<7 小時	148	129 (87.16)	19 (12.84)	270	120 (44.44)	150 (55.56)
	≥7 小時	266	232 (87.22)	34 (12.78)	363	217 (59.78)	146 (40.22)
睡覺開夜燈	遺漏	1	0 (0.00)	1 (100.0)	--	--	--
	偶爾/無	63	49 (77.78)	14 (22.22)	125	50 (40.00)	75 (60.00)
	每晚/經常	349	309 (88.54)	40 (11.46)	507	287 (56.61)	220 (43.39)
烹飪使用油品	遺漏	3	3 (100.00)	0 (0.00)	1	0 (0.00)	1 (100.00)
	否	283	256 (90.46)	27 (9.54)	404	233 (57.67)	171 (42.33)
	是	132	105 (79.55)	27 (20.45)	229	104 (45.41)	125 (54.59)
常搭乘國際航班	否	385	334 (86.75)	51 (13.25)	593	314 (52.95)	279 (47.05)
	是	30	27 (90.0)	3 (10.00)	40	23 (58.97)	17 (42.50)
飲用下以下食物							
高茄紅素	偶爾/無	228	203 (89.04)	25 (10.96)	350	175 (50.00)	175 (50.00)
	總是/經常	186	158 (84.95)	28 (5.05)	282	161 (57.09)	121 (42.91)
蔥蒜類	偶爾/無	162	149 (91.98)	13 (8.02)	240	134 (55.83)	106 (44.17)
	總是/經常	252	212 (84.13)	40 (15.87)	393	203 (51.65)	190 (48.35)
高胡蘿蔔素	偶爾/無	149	128 (85.91)	21 (14.09)	244	132 (54.10)	112 (45.90)
	總是/經常	263	231 (87.83)	32 (12.17)	388	205 (52.84)	183 (47.16)
高維生素 C	偶爾/無	157	139 (88.54)	18 (11.46)	254	142 (55.91)	112 (44.09)
	總是/經常	257	222 (86.38)	35 (13.62)	379	195 (51.45)	184 (48.55)
	遺漏	1	0 (0.00)	1 (100.00)	--	--	--
綠茶	偶爾/無	254	217 (85.43)	37 (14.57)	417	195 (46.76)	221 (53.24)
	總是/經常	260	144 (90.00)	16 (10.00)	215	142 (66.05)	73 (33.95)
	遺漏	1	0 (0.00)	1 (100.00)	--	--	--
牛奶	偶爾/無	262	235 (89.69)	27 (10.31)	420	210 (50.00)	210 (50.00)
	總是/經常	152	126 (82.89)	26 (17.11)	213	127 (59.62)	86 (40.38)
	遺漏	1	0 (0.00)	1 (100.00)	--	--	--
亞硝酸鹽	偶爾/無	315	276 (87.62)	39 (12.38)	525	266 (50.67)	259 (49.33)
	總是/經常	99	85 (85.86)	14 (14.14)	108	71 (65.74)	37 (34.26)
	遺漏	1	0 (0.00)	1 (100.00)	--	--	--
碳烤肉類	偶爾/無	376	326 (86.70)	50 (13.30)	593	302 (50.93)	291 (49.07)
	總是/經常	37	34 (91.89)	3 (8.11)	40	35 (87.50)	5 (12.50)
	遺漏	2	1 (50.00)	1 (50.00)	--	--	--
高溫油炸食物	偶爾/無	348	302 (86.78)	46 (13.22)	548	280 (51.09)	267 (48.91)
	總是/經常	66	59 (89.39)	7 (10.61)	85	57 (67.06)	28 (32.94)
	遺漏	1	0 (0.00)	1 (100.00)	--	--	--
高油脂食物	偶爾/無	363	319 (87.88)	44 (12.12)	543	295 (54.33)	248 (45.67)
	總是/經常	51	42 (82.35)	9 (17.65)	90	42 (46.67)	48 (53.33)
	遺漏	1	0 (0.00)	1 (100.00)	--	--	--

--:沒有數據

表 102、問卷中曝露組與對照組之人口學基本資料、吸菸及其他生活習慣、運動、飲食的分佈(續 2)

變項		曝露組 (n=415)			對照組 (n=633)		
		合計 n	非癌症 n (%)	癌症 n (%)	合計 n	非癌症 n (%)	癌症 n (%)
癌症家族史	否	255	215 (84.31)	40 (15.69)	453	225 (49.67)	228 (50.33)
	是	160	146 (91.25)	14 (8.75)	179	112 (62.57)	67 (37.43)
	遺漏	--	--	--	1	0 (0.00)	1 (100.00)
工作中曝露致癌物質	否	353	307 (86.97)	46 (13.03)	544	296 (54.41)	248 (45.59)
	是	61	54 (88.52)	7 (11.48)	89	41 (46.07)	48 (53.93)
	遺漏	1	0 (0.00)	1 (100.00)	--	--	--

--:沒有數據

表 103、問卷中曝露組與對照組之女性初經與停經資料的分佈

變項		曝露組 (n=210)			對照組 (n=347)		
		合計 n	非癌症 n (%)	癌症 n (%)	合計 n	非癌症 n (%)	癌症 n (%)
初經年齡	<14 歲	95	82 (86.32)	13 (13.68)	181	87 (48.07)	94 (51.93)
	≥14 歲	115	104 (90.43)	11 (9.57)	166	111 (66.87)	55 (33.13)
停經	否	139	136 (97.84)	3 (2.16)	157	145 (92.36)	12 (7.64)
	是	70	50 (71.43)	20 (28.57)	189	52 (27.51)	137 (72.49)
	遺漏	1	0 (0.00)	1 (100.00)	1	1 (100.00)	0 (0.00)
停經年齡	<50 歲	48	32 (66.67)	16 (33.33)	107	35 (32.71)	72 (67.29)
	≥50 歲	23	18 (78.26)	5 (21.74)	83	18 (21.69)	65 (78.31)
	遺漏	139	136 (97.84)	3 (2.16)	190	145 (92.36)	12 (7.64)
是否使用荷爾蒙	否	186	167 (89.78)	19 (10.22)	294	184 (62.59)	110 (37.41)
	是	19	15 (78.95)	4 (21.05)	51	13 (25.49)	38 (74.51)
	遺漏	5	4 (80.00)	1 (20.00)	2	1 (50.00)	1 (50.00)

表 102-表 103 為問卷中之癌症干擾因子，在第二階段的問卷分析中，採用逐步回歸的方式挑選每一種癌症的干擾因子，有些罹癌者的生活習慣、飲食習慣可能因罹患癌症而改變，雖然問卷中有提示依癌症前的習慣填答，但從回歸模式所保留的變項，以及與癌症的相關性，仍發現可能有因果時序倒置的現象，則將該變項刪除。由於逐步回歸的分析方式可能將重要的變項從模式中剔除，例如組別變項(曝露組與對照組)，因此再採用強迫進入法選擇適當的干擾因子，因變項數多，若全放入模式中，可能造成模式無法收斂，因此先將與癌症的相關性較低的變項剔除，剔除的條件為 p 值大於 0.2，直到將影響性較大的干擾因子挑出來為止，並保留組別變項，再將

挑選出的干擾因子投入羅吉斯回歸模式中，以計算第二階段的回歸係數與其變異數。表 104 為各癌最後進入回歸模式的干擾因子。

表 104、各癌在回歸模式中之干擾因子

癌症	干擾因子
口腔癌	遷入年齡、檳榔、吸菸、家庭收支、家族史
子宮頸癌	遷入年齡、維他命 C、荷爾蒙的使用、初經年齡
甲狀腺癌	遷入年齡、性別、工作場所二手菸、吸菸、宇宙射線、綠茶
白血病	性別、遷入年齡、工作場所二手菸、吸菸
肝及肝內膽管	性別、遷入年齡、家族史
乳癌	遷入年齡、荷爾蒙的使用、初經年齡、停經年齡、家庭收支
肺癌	性別、遷入年齡、家庭收支、工作場所吸二手菸、吸菸
非何杰金淋巴瘤	性別、遷入年齡
胰臟癌	遷入年齡
結腸直腸癌	性別、遷入年齡、開夜燈入睡、飲酒、家族史
攝護腺癌	遷入年齡、睡眠時數、吸菸、家庭收支
全癌症	遷入年齡、輪值大夜班、吸菸、教育程度、家族史

白血病：干擾因子的部份有考慮放入苯、工作中所曝露的輻射，但因白血病病人皆未曝露，而未放入估計模式。

甲狀腺癌：干擾因子的部份有考慮放入工作中所曝露的輻射，但因甲狀腺癌病人皆未曝露，而未放入估計模式。

表 105 為第一階段的羅吉斯迴歸(Logistic regression)分析結果，以及利用二階段抽樣方法控制干擾因子後的罹病比(Odds Ratio)及其 95%信賴區間。經過第二階段之羅吉斯迴歸的回歸係數(Estimate)、標準誤(Standard Error)與問卷樣本數的調整後，發現曝露組罹患白血病的風險高於對照組。

第一階段的分析結果僅有白血病的發生與輻射污染有關，罹病比(OR)為 1.66，即曝露組發生白血病的風險是對照組的 1.66 倍，95%信賴區間(95% CI)為 1.140-2.410。

經由第二階段的調整，輻射屋居民發生全癌症的風險為對照組的 0.890 倍($OR_a=0.890$; $95\%CI_a=0.670-1.20$)；輻射屋居民發生白血病的風險為對照組的 2.020 倍($OR_a=2.020$; $95\%CI_a=1.250-3.266$)。雖然輻射屋居民全癌症沒有增高，但經校正干擾因子後，白血病的癌症

發生有統計上的顯著增高，因此輻射屋居民之特定癌症的風險確實有增高的情形。(見表 105)

表 105、依控制癌症干擾因子目的之收案人數

癌症	第一階段評估結果					調整干擾因子後之評估結果			
	暴露組 對照組		OR	95% CI of OR		OR _a	95% CI _a of OR		Sig.
	癌症 人數	癌症 人數		下限	上限		下限	上限	
口腔癌	25	297	0.846	0.562	1.272	1.046	0.639	2.252	
子宮頸癌	16	159	1.011	0.605	1.691	2.229	0.975	5.096	
甲狀腺癌	22	149	1.484	0.948	2.322	1.68	0.99	2.86	
白血病	32	194	1.658	1.140	2.410	2.020	1.250	3.266	+
何杰金病	3	31	0.973	0.297	3.181	--	--	--	
卵巢癌	8	66	1.218	0.585	2.537	--	--	--	
肝癌	52	515	1.014	0.763	1.350	1.389	0.966	1.998	
乳癌	48	558	0.846	0.643	1.161	0.884	0.511	1.530	
肺癌	43	488	0.885	0.648	1.209	1.017	0.652	1.588	
非何杰金淋巴瘤	25	235	1.069	0.708	1.614	1.510	0.895	2.550	
胃癌	22	237	0.933	0.602	1.444	--	--	--	
食道癌	8	113	0.712	0.348	1.458	--	--	--	
胰臟癌	6	98							
胰臟癌	6	98	0.615	0.270	1.402	1.005	0.511	1.530	
結腸直腸癌	50	497	1.011	0.756	1.352	2.280	0.857	6.069	
結締組織癌	5	29	1.732	0.671	4.475	--	--	--	
腦癌	8	62	1.297	0.621	2.708	--	--	--	
膀胱癌	8	77	1.045	0.504	2.163	--	--	--	
鼻咽癌	13	130	1.005	0.568	1.777	--	--	--	
膽囊癌	4	45	0.893	0.321	2.483	--	--	--	
攝護腺癌	14	123	1.144	0.658	1.988	1.168	0.387	3.529	
全部	548	5398	1.020	0.934	1.115	0.890	0.670	1.20	

OR_a, 95% CI_a: 經由第二階段分析結果調整過之勝算比及其 95% 信賴區間。

+ : 校正干擾因子後的 OR_a 有統計上顯著意義，且暴露組高於對照組。

暴露組人數：32,356；對照組人數：325,050。

-- : 問卷之暴露組無癌症病人或樣本數太少，模式無法收斂。

白血病：干擾因子的部份有考慮放入茶、工作中所曝露的輻射，但因白血病病人皆未曝露，而未放入估計模式。

甲狀腺癌：干擾因子的部份有考慮放入工作中所曝露的輻射，但因甲狀腺癌病人皆未曝露，而未放入估計模式。

(九) 白血病的時期(period)效應分析

根據先前的輻射健檢之血液分析結果，發現 2002 年以前的血球數在曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組有數目明顯下降的情形，若將觀察時間以 2002 年作為切割點，發現 2002 年以前白血病的發生與是否居住輻射屋是有關的，若將世代再細分為男性、台北市以及學校等不同曝露世代，都發現相同的情形。在全體世代、男性世代以及台北市世代中，白血病的發生與輻射曝露有統計上相關及劑量效應關係，但 2002 年以後所發生的白血病與輻射曝露則無統計上相關。

根據表 106，2002 年以前，全體世代的白血病之額外增加風險(Excess Relative Risk; ERR)為 1.47 倍 (95%CI = 0.53-2.98)；男性世代的 ERR 為 2.14 倍 (95%CI = 0.79-4.50)；台北市居民的 ERR 為 3.47 倍 (95%CI = 1.26-7.82)；學校世代的 ERR 為 2.623 倍 (95%CI = 0.87-6.01)。2002 年以後發生的白血病則與居住輻射屋無統計上的相關。(見表 106)

表 106、不同時期發生白血病的癌症風險分析

年份	世代	白血病 人數	RR	95 % CI of RR	ERR	95% CI of ERR	p
2002 年 以前	全體	21	2.471	1.532-3.983	1.471	0.53-2.98	0.0002**
	男性	16	3.139	1.790-5.505	2.139	0.79-4.50	<0.0001**
	台北市	12	4.469	2.264-8.822	3.469	1.26-7.82	<0.0001**
	學校	12	3.626	1.871-7.015	2.626	0.87-6.01	0.0001**
2002 年 以後	全體	11	1.073	0.577-1.996	0.073	-0.42-0.90	0.8248
	男性	7	1.149	0.527-2.506	0.149	-0.47-1.50	0.7266
	台北市	6	0.985	0.424-2.284	-0.015	-0.58-1.20	0.9714
	學校	—	1.073	0.577-1.996	0.073	-0.42-0.90	0.8248

—：人數 ≤ 2 ；--：無資料。

扣除背景值之後，取特定點空間劑量率的平均值估計輻射劑量，則輻射屋世代的最小累積劑量為 0 毫西弗，最大累積劑量為 1,751 毫西弗。若將劑量以每 100 毫西弗分組，根據表 107，全體世代每

增加 100 毫西弗，白血病的額外增加風險(ERR)為 0.308 (95%CI = 0.10-0.56)；男性世代每增加 100 毫西弗，白血病的 ERR 為 0.335 (95%CI = 0.11-0.60)，以上之劑量效應關係具有統計上的劑量效應關係。(表 107)

表 107、2002 年以前發生白血病的劑量效應分析

世代	白血病 人數	RR _{100mSv}	95 % CI of RR _{100mSv}	ERR _{100mSv}	95% CI of ERR _{100mSv}	p
全體	21	1.308	1.096-1.560	0.308	0.10-0.56	0.0029**
男性	16	1.335	1.112-1.603	0.335	0.11-0.60	0.0019**
台北市	12	1.998	0.750-5.318	0.998	-0.25-4.32	0.1661
學校 ^a	12	1.098	0.650-1.857	0.098	-0.35-0.86	0.7260

a：學生以每增加 1 毫西弗計算，其他世代以每 100 毫西弗計算。

伍、討論

本計畫的主要分析工作包括：(1) 輻射風險認知的問卷調查；(2) 健檢資料的分析；(3) 癌症風險評估及與輻射的劑量效應關係。

1. 輻射風險認知的問卷調查

在輻射風險認知的問卷調查部分，輻射屋居民與對照組在輻射風險認知上沒有差異，但是曝露組的小學學生與辦公室人員相對於對照組的得分偏低，僅曝露組的幼稚園學生的得分較對照組高。

曝露組的小學學生組所接受的輻射累積劑量為任一年 1-5 毫西弗，幼稚園學生組則為任一年的累積曝露劑量大於 5 毫西弗，本計畫推測受到較高輻射劑量照射的幼稚園學生，可能因此而更注意輻射的相關知識與輻射對健康的影響。

2. 健檢資料的分析

雖然本研究參與輻射健檢的居民之每年平均累積劑量約為 60-80 毫西弗，我們仍以輻射流行病學研究所謂之低劑量率與細胞學實驗所採用的 100 毫西弗做為切點(Hill et al. 1984; Cardis et al. 1995; Azzam et al. 1996; Donald et al. 2000; Brenner et al. 2003; Hwang et al. 2008)，發現健檢初期(1998 以前)的紅血球、三碘甲狀腺素(T3)、甲狀腺促進激素(TSH)檢驗平均值在曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組與曝露劑量 < 100 毫西弗組間有統計上的差異，但兩組的平均值都在正常範圍內。根據 1999~2011 年之長期追蹤資發現，曝露劑量 ≥ 100 毫西弗組之血液常規分析中的白血球數、淋巴球數、血小板數、紅血球數、血紅素、血比容、三碘甲狀腺素在 2002 年以前較低，且低於小於 100 毫西弗組，顯示早期受到長期低劑量輻射的照射，造血功能受到影

響。但除了血小板的異常率較高，其他檢驗值的異常率在曝露劑量大於 100 毫西弗與小於 100 毫西弗兩組則無差異，表示雖然平均值較低，但並不至於達到異常狀況。

初檢年(1998 年以前)的健檢資料與 1999~2011 年之長期追蹤資料在本計畫是無法直接比較，初檢年與 1999 年之後的資料雖然都來自台大醫院與彰化基督教醫院，但初檢年的 1,466 位輻射屋居民每人只有一筆資料，屬於獨立樣本，本研究以初檢年的檢驗平均值比較高低劑量組的差異。1999 年後的相依樣本資料(76.2%的居民至少有二次的健檢資料)，則計算各年度調整干擾因子後之平均值，因此表 61 與表 62 之 1999 年的檢驗數據不能直接相比，圖 21 中的 1992~1998 年之平均值與 1999 年的趨勢線亦不能直接相連接。兩個時期的收案條件以及醫院檢驗水準可能不同，且 1999 年才責成由台大與彰基作為任一年累積劑量大於 5 毫西弗輻射屋民眾的健檢醫院，故將資料分為 2 個時期分析，以初檢年的獨立樣本進行橫斷性的研究，比較該時期輻射劑量對血液與甲狀腺功能的影響。以 1999~2011 年的長期追蹤資料分析輻射劑量對血液與甲狀腺功能的長期影響，特別是不同劑量組的年變化率。

3. 癌症風險評估及與輻射的劑量效應關係

與過去國內輻射屋研究之比較(Hwang 2005)發現，本研究所建立之世代較過去的研究完整，過去國內輻射屋流行病學研究的輻射屋居民人數為 7,262 人，癌症之追蹤時間至 2005 年止(Hwang 2008)，本研究經由戶政單位、輻射校園、勞保局的協助，共建立世代 32,662 人，且可區分住家、學校與職場等不同曝露世代，癌症之追蹤時間至 2010 年止。本研究藉由原能會所提供的污染建物資料，並進行輻射屋居民以及北台灣一般民眾的佔用因子問卷調查，可建立民眾不同時期或年齡之佔用因子，因而重建本研究所有曝露世代之累積輻

射曝露劑量資料，重建的輻射劑量資料較過去的流病研究完整。本計畫利用衛生福利部之全民健康保險資料庫以及死亡檔建立了輻射屋居民的對照組，且以性別、年齡、輻射屋居民遷入時間、輻射屋所在行政區完成比對 1:10 的配對，而控制了潛在的干擾因子，且可詳細計算曝露組與對照組之追蹤人年資料(person-year)，故可計算發生密度比(IDR)、相對風險比(RR)、額外增加風險(ERR)等流行病學指標以進行風險評估。

本計畫最重要的工作為建立最適合的流行病學模式，以評估輻射對健康的影響，計畫中採取二階段抽樣研究方法(Two-stage sampling approach)，分析過程分為二階段，第一階段藉由世代的建立與健康資料串檔，得到初步的母體癌症發生率與發生密度，但未控制生活習慣、工作史、家族史、過去健康史等干擾因子。第二階段是以建立的世代資料為基礎並抽取部份研究對象進行問卷調查，曝露組與對照組主要來自輻射健檢醫院，前者參與輻射健檢民眾，後者參與一般健檢或癌症門診，對照組癌症病人若不足再轉往非輻射健檢醫院收案，由於研究採取平衡設計(Balance design)，決定了曝露組之癌症人數後(本研究在輻射屋居民中最多可收案的癌症人數)，曝露組非癌症、對照組癌症與對照組非癌症等 3 項人數的預估人數，為預定總人數扣除曝露組之癌症人數後之平均數，再以羅吉斯回歸分析第二階段的癌症風險，為了收集預期的癌症人數，收案的過程非隨機取樣，而是方便取樣，由於沒有母群體的資料，因此採用病例對照研究法(case-control study)，以計算控制干擾因子後的回歸係數以及係數的標準誤，以此作為調整第一階段癌症風險指標的參數。此方法受到問卷設計、收案流程、對照組選樣是否有偏差、受訪者的填答狀況以及樣本數之大小等條件影響評估的結果，是很重要之研究限制。在第二階段的收案過程中，由於輻射屋居民之癌症人數受限於資料來源無法確認患者，造成收案不易，且罹癌種類的分佈非隨機的，以致有些癌症是收集不到的，因此無法在第二階段進行干擾因子的調整。另外有些癌症雖有個案，但樣本數太少，

亦無法取得第二階段的回歸模式中的回歸係數與回歸係數之標準誤，是研究另一限制。本計畫的世代資料之建立雖較國內過去的研究完善，但仍有部份的輻射校園學生無法收案至世代名單中，亦是研究限制之一。

根據第一階段的分析結果，輻射屋居民相對於對照組的癌症發生密度比(IDR)為 1.66 (95% CI=1.14-2.41)，相對危險比(RR)為 1.65 (95% CI=1.14-2.40)。雖然全癌症在輻射屋居民沒有顯著增加，但白血病在輻射屋居民有統計上顯著增高，經過分層分析發現，男性世代、輻射校園世代、台北市輻射屋居民是白血病風險較高的族群。若將所有觀察對象分為對照組、低曝露組(<100 毫西弗)、高曝露組(≥ 100 毫西弗)，發現<100 毫西弗組與 ≥ 100 毫西弗組相對於對照組發生白血病的相對危險比值(RR)皆達統計上的顯著，分別為 1.55、7.91，即兩組發生白血病的風險分別為對照組的 1.55 倍和 7.91 倍。在白血病的劑量效應關係分析中，發現輻射劑量愈高，發生白血病的風險愈高，風險比值($RR_{100 \text{ mSv}}$)為 1.243 (95%CI = 1.048-1.474)，即每增加 100 毫西弗的劑量，風險增加 24.3%。

根據二階段抽樣方法的分析結果，輻射屋居民發生全癌症的風險為對照組的 0.890 倍($OR_a=0.890$; 95% $CI_a=0.670-1.200$)；發生白血病的風險為對照組的 2.020 倍($OR_a=2.020$; 95% $CI_a=1.250-3.266$)。雖然輻射屋居民全癌症沒有增高，但白血病經校正干擾因子後確有統計上的顯著增高。

若再進一步依血液學常規分析中之各檢驗值變化的趨勢，將白血病的癌症風險分析分為二個時期，以 2002 年為時間切點，發現輻射曝露的前期(2002 年以前)，不僅血液與甲狀腺功能受到長期低劑量輻射的影響，白血病的發生風險與輻射劑量效應皆有統計上的顯著增加，相對於對照組的額外增加風險(Excess Relative Risk; ERR)為 1.47 (ERR=1.47; 95% CI=0.09-23.71)；每增加 100 毫西弗，額外增

加的風險為 0.31 倍 ($ERR_{100mSv}=0.31$; 95% CI=0.26-0.37)。經過一段時間追縱，受影響的血液與甲狀腺功能會出現自我修復的情形，2002 年之後上昇至高於低劑量組。癌症風險估計亦發現 2002 年之後的白血病發生風險則沒有顯著增加情形。

根據文獻的探討，本研究的分析結果與過去國內過去的輻射流行病研究之分析結果有部份的差異性，本研究在資料庫分析階段發現全體世代的白血病的發生風險較高，若依時期效應進一步分析，癌症的高風險發生在 2002 年以前。過去的輻射流行病學研究無法收集至輻射曝露後期的資料，無法觀察此一現象。根據過去國內的研究(Hwang et al. 2005)，若以標準化發生率比(Standardized Incidence Ratio; SIR)分析癌症發生風險，追蹤時間至 2002 年，對照組為台灣一般民眾，發現甲狀腺癌與淋巴癌的癌症風險較一般民眾為高，SIR 及其 95%CI 分別為 2.6(1.1,5.4)和 3.1(1.0,7.2)。若延長追蹤時間至 2005 年，再分析白血病與輻射劑量的相關性，在顯著水準(α level)定為 0.1(一般常用的顯著水準為 0.05)的情況下，才發現白血病與輻射間具有劑量效應關係($HR_{100mSv}=1.19$; 90%CI=1.01-1.31) (Hwang et al. 2008)。本研究的輻射劑量效應評估所採用的風險指標與國際上常用的指標為額外增加風險(Excess Relative Risk; ERR)一致，可與國際間的輻射風險評估相比較，較國內過去的研究使用之危險比值(Hazard Ratio; HR) (Hwang et al. 2008)更具參考性。過去的研究無法控制生活習慣、家族史、生育史與工作史等干擾因子，本研究利用二階段抽樣方法以及問卷收集方式，在校正干擾因子的情況下得到輻射屋居民的癌症風險評估數據。在分析的質與量上，較過去的研究在研究方法上有更大的突破與嚴謹度。

居住在輻射屋接受長期低劑量游離輻射所產生的健康影響，因係國際之首例，無國外文獻可直接比較，國際上對於長期低劑量率的研究對象主要為醫療放射人員、航空人員、核武器測試人員、核電廠員工(Wakeford et al. 2009)，這些皆屬職場的輻射曝露，此外環

境中的輻射曝露與醫療輻射曝露亦是長期低劑量率的研究主題。

一篇綜合美國、英國、加拿大核電廠員工的死亡率調查(Cardis et al. 1995)，共收集 95,673 名勞工(其中男性佔 85.4%)游離輻射的體外曝露資料，以及至少 6 個月以上的核電廠工作史，以瞭解長期低劑量的體外加馬射線(Gamma ray)曝露對致癌的影響。為了加強統計檢定的強度，個案來自不同的研究，曝露的總人年數為 2,124,526，有 15,825 人死亡，3,976 人罹患癌症。在全癌症的分析中並無充份的證據顯示癌症與輻射間的相關性，但白血病(排除慢性淋巴性白血病)與輻射劑量間具有統計上的相關，此結果與日本原爆存活者的研究有一致的結果，但後者為瞬間高劑量的輻射曝露。額外增加風險(ERR)的劑量效應評估中，全癌症與白血病(排除慢性淋巴性白血病)的每西弗額外增加風險(ERR_{1Sv})依序為 -0.07(90% CI = -0.4-0.3)和 2.18(90% CI = 0.1- 5.7)，100 毫西弗的累積曝露劑量相對於 0 毫西弗的累積曝露劑量的組間比較之 RR，依序為 0.99 和 1.22，但未達統計上的顯著。另一個以加拿大 45,468 核電工廠勞工為研究對象的研究(Zablotska et al. 2004)，平均追蹤時間為 7.4 年，平均累積劑量為 13.5 毫西弗。白血病(排除慢性淋巴性白血病)的每西弗額外增加風險(ERR_{1Sv})為 52.5 (95% CI = 0.205- 291)；實體癌(solid cancers)的每西弗額外增加風險(ERR_{1Sv})為 2.8 (95% CI = 0.038-7.13)。在一篇 15 個國家的跨國核電廠勞工的癌症回溯性世代研究(retrospective cohort study)(Cardis et al. 2005)中，參與的 407,391 名勞工有個人的體外輻射曝露劑量資料，總追蹤人年數為 520 萬。研究結果發現白血病的每西弗額外增加風險(ERR_{1Sv})為 0.97(95%CI = 0.14-1.97)；白血病(排除慢性淋巴性白血病)的每西弗額外增加風險(ERR_{1Sv})為 1.93(95%CI = < 0 - 8.47)，1-2%的死亡可歸因於輻射的曝露。作者在研究的結論中認為輻射對癌症的額外增加風險並不高，即使是在 15 國的核電廠勞工中進行觀察研究。在美國一個長達 18 年(1979~1997 年)的核電廠勞工長期追蹤研究(Howe et al. 2004)，個人輻射曝露資料是由美國核管理委員會和美國能源部建立與維護。但該研究發現了嚴重的健

康工人效應(healthy worker effect)，導致癌症與非癌症死亡率皆低於一般民眾。白血病(排除慢性淋巴性白血病)與所有癌症的額外增加風險(ERR)依序是 5.67 (95% CI = -2.56-30.4)及 0.506 (95% CI = -2.01-4.64)，這部份的結果與日本原爆存活者的結果相近，但信賴區間太寬，而未達統計上的顯著，可能與樣本數不大，以及健康工人效應有關，是為研究上的主要限制。

在核電廠員工的體外長期低劑量的輻射曝露的風險評估結果雖然存有不一致的情形，但白血病(排除慢性淋巴性白血病)在長期低劑量的輻射曝露下，發生癌症的風險仍不可忽視。本研究雖然與核電廠員工同為體外長期低劑量的輻射曝露，也同樣觀察到白血病(排除慢性淋巴性白血病)在長期曝露所產生的風險，但本研究的輻射屋居民的年齡分佈較核電廠員工廣泛，其中包含較敏感的老人與小孩，曝露劑量亦會隨時間不斷衰退，以致後期的影響並不顯著，在不同曝露族群的比較上是需要留意的。

在許多文獻中提到低劑量的輻射曝露與癌症的關係，包括線性無閾值模式(Linear-Non-Threshold Model; LNT Model)與線性關係模式(linear energy transfer Model; LET Model)兩種假說，在線性模式中亦提到一次線性模式與二次線性模式(Elaine 1998)。在中高輻射劑量的日本原爆存活者的研究中，輻射劑量與癌症間的一次線性關係模式已較為明確，但對於相對低的劑量(一般文獻指 100 毫西弗以下)，輻射劑量與癌症間的關係仍是以動物實驗來驗證假說的階段。由於樣本數不夠大，本研究對於不同劑量的風險僅以 100 毫西弗做為切點，不再細分，因此對於 100 毫西弗以下之輻射劑量與癌症間的關係仍是不清楚，在未來的流行病學研究中應可進一步探討。

陸、結論

一、健檢資料的分析

本研究經由輻射屋居民健康檢查的血液常規分析中發現，累積曝露劑量超過 100 毫西弗(相對高劑量)居民的白血球數、淋巴球數、血小板數、紅血球數、血紅素、血比容、三碘甲狀腺素在 2002 年以前較低，且低於小於 100 毫西弗居民，顯示早期受到長期低劑量輻射的照射，造血功能受到影響。但除了血小板的異常率較高，其他檢驗值的異常率在大於 100 毫西弗與小於 100 毫西弗兩組則無差異，表示雖然平均值較低，但並不至於達到異常狀況。經過一段時間追縱，受影響的血液與甲狀腺功能會出現自我修復的情形，2002 年之後上昇至高於低劑量組。

二、癌症風險評估及與輻射的劑量效應關係

癌症風險評估中，輻射屋居民經過二階段抽樣方法(two-stage sampling approach)校正干擾因子後，發現發生所有癌症的風險沒有增高情形($OR_a=0.89$; $95\%CI_a=0.67-1.20$)；然而白血病(排除慢性淋巴性白血病)的發生風險有統計上的顯著增高 ($OR_a=2.02$; $95\%CI_a=1.25-3.27$)，且呈現劑量效應關係，其他癌症發生風險則沒有顯著增加情形。

三、白血病的時期效應

根據健檢資料的分析結果，發現累積曝露劑量超過 100 毫西弗居民的白血球數、淋巴球數、血小板數、紅血球數、血紅素、血比容、三碘甲狀腺素在 2002 年以前較低，且低於小於 100 毫西弗居民，顯示早期受到長期低劑量輻射的照射，造血功能受到影響。2002 年之後受影響的血液與甲狀腺功能會出現自我修復的情形，相對高劑量的居民之血液與甲狀腺檢驗值上昇至高於低劑量組。本研究依此

現象將 2002 年作為時期效應分析的分界點，發現 2002 年以前白血病的癌症風險在統計上是顯著增加的，相對於對照組的額外增加風險 (Excess Relative Risk; ERR) 為 1.47 (ERR=1.47; 95% CI=0.53-2.98)；每增加 100 毫西弗，額外增加的風險為 0.31 倍 (ERR_{100mSv}=0.31; 95% CI=0.10-0.56)。2002 年之後的白血病發生風險與劑量效應則沒有顯著增加情形。

四、總結

本研究依據輻射屋門牌號碼所抄錄或收集之輻射屋世代共 32,662 人，依住家、職場、學校等不同曝露環境所收集之人數分別為 13,120 人、4,328 人、15,368 人。1982 年之 1,660 間輻射屋的平均評估劑量為 32.7 毫西弗(範圍：0-998.6)，輻射劑量超過 100 毫西弗的污染建物比例為 6.7%。若以輻射屋平面圖上的特定點劑量率取平均值，且考慮 24 小時居家佔用因子，輻射屋世代的平均累計輻射劑量為 6.82 毫西弗 (範圍：0-1751 毫西弗)，依住家、職場、學校等不同曝露環境估計累積曝露劑量分別為 15.6 毫西弗(範圍：0-1751 毫西弗)、2.84 毫西弗(範圍：0-175 毫西弗)、0.48 毫西弗(範圍：0-22.8 毫西弗)。輻射劑量超過 100 毫西弗的比例為 1.3%。依住家、職場、學校等不同曝露環境估計累積曝露時間依序為 8.25 年 (範圍：0-30.8 年)、1.72 年 (範圍：0-30.8 年)、2.66 年 (範圍：0.2-12.9 年)。

本研究的癌症發生率之觀察時間，依可串聯到的癌症登記檔以及健保資料庫之資料年份，共建立了 26 年(1985-2010 年)的觀察資料。根據 ICRP 的建議，白血病的最低潛伏期為 2 年，實體癌(Solid Cancer)為 10 年，無論是急性或慢性的癌症，皆有足夠長的觀察時間納入研究分析。在輻射健檢資料分析中，2002 年以前，血液與甲狀腺功能檢驗平均值在相對高劑量的組別(≥ 100 毫西弗)中有低於相對低劑量的組別(< 100 毫西弗)的情形，2002 年以後，則發生平均值的

翻轉現象且高於低劑量組，以此作為癌症發生之時期效應分析的依據，發現白血病(排除慢性淋巴性白血病)的發生風險主要來自 2002 年以前，不僅風險高於對照組，且有輻射劑量效應關係，相對於一般民眾，額外增加風險(Excess Relative Risk; ERR)為 1.47 (ERR=1.47; 95% CI=0.53-2.98)；每增加 100 毫西弗，額外增加的風險為 0.31 倍 (ERR_{100mSv}=0.31; 95% CI=0.10-0.56)；2002 年以後，隨著輻射劑量的衰變以及人體的自我修復，則無統計上顯著增加情形。在 32 名白血病患者中，有 23 位為男性 (71.88%)，曝露場所以住家以及輻射校園為主，各佔 43.75%；輻射屋所在行政區以台北市為主，佔 75%，平均累計輻射劑量為 48.9 毫西弗 (範圍：0-983 毫西弗)。實體癌與輻射的相關分析中，經由校正干擾因子後，發現輻射屋世代與對照組的癌症發生率相近，因此在實體癌的癌症風險分析上，無統計上的顯著差異。綜合所有癌症在輻射屋世代與對照組的風險比較中，亦無統計上的顯著差異。

柒、建議

根據本研究的發現，2002 年以後，輻射屋居民的造血功能已自我修復，且白血病的發生風險已無統計上顯著增加情形。國內過去的研究(李世代; 2009)也發現，在文明病方面，輻射屋居民較一般民眾有較健康的傾向，但心理健康、社會關係方面的生活品質滿意度都比國民健康調查族群低，這些影響造成居民自我概念、個人控制及生活世界，以及家庭及社會關係的轉變(畢恆達; 1999)。鑑於此，除了建議居民應定期健康檢查以維護自我健康外，居民所承受的心理壓力、對自身與家人健康的不確定感與懷疑、家庭成員間的疏離與指責、社會關係的轉變等都應該受到更多的關切與重視，並去除輻射屋居民的被標籤化，使輻射屋居民能從長期的事件陰影中走出來。

捌、致謝

感謝行政院原子能委員會提供輻射屋居民的輻射曝露劑量重建相關資料，以及任一年五毫西弗以上之輻射屋居民健檢名單與檢查資料，並協助與相關部門之行政溝通與聯繫。感謝經濟部商業司協助提供輻射辦公室之企業統一編號，以及勞動部勞工保險局提供輻射辦公室之勞工承保資料。感謝曾受污染之4所輻射校園提供受污染之教職員工個人基本資料。感謝內政部戶政司協助本研究至台北市、新北市、桃園縣、基隆市、新竹縣市等戶政事務所抄錄輻射屋居民的戶政資料，以及台北市大安區戶政事務所提供人員與場地指導與協助本研究的戶政資料抄錄訓練與實際抄錄。感謝台大醫院、彰化基督教醫院、台北市立聯合醫院仁愛院區、三軍總醫院之多位醫師、研究助理與護理人員協助輻射屋流行病學問卷的收案流程。感謝台北市立辛亥國小、台北市立興華國小、新北市穀保家商、輔仁大學等學校，以及熱心之社區民眾協助北台灣一般居民之「居家生活空間佔用時間調查」的問卷收集。感謝台灣輻射安全促進會及王玉麟理事長對本研究提供寶貴意見以及各項協助，亦感謝接受家訪之輻射屋居民在訪視過程中的配合與協助。最後要感謝本研究之專業諮詢委員以及顧問們的專業協助，使本研究能臻於完善。

玖、 參考文獻

1. Hwang SL, Hwang JS, Yang YT, et al., *Estimates of Relative Risks for Cancers in a Population after Prolonged Low-Dose-Rate Radiation Exposure: A Follow-up Assessment from 1983 to 2005*, Radiation Research 2008 ,170(143-148).
2. Chang WP, Hwang JS, Hung MC, Hu TH, Lee SD, Hwang BF, *Chronic low-dose gamma-radiation exposure and the alteration of the distribution of lymphocyte subpopulations in residents of radioactive buildings*, International Journal of Radiation Biology, International Journal of Radiation Biology ,1999, 75(10): 1231-1239.
3. Chen FD, Chen KY, Ngo FQH, et al., *Chromosomal damage in long-term residents of houses contaminated with cobalt-60*, the Lancet 2000,355.
4. Tsai MH, Hwang JS, Chen KC, et al. Dynamics of changes in micronucleus frequencies in subjects post cessation of chronic low-dose radiation exposure, Mutagenesis , 2001, 16(3):251-255.
5. Hwang SL, Guo HR, Hsieh WA, *Cancer risks in a population with prolonged dose-rate γ -radiation exposure in radiocontaminated buildings, 1883-2002*, International of Radiation Biology 2006, 82(12) 849-858.
6. 王蓉君、張武修、王榮德，游離輻射曝露對孩童成長影響之探討，Chin J Public Health. (Taipei):1999, 18(1):3-12。
7. 許雅慧，長期低劑量率游離輻射曝露對水晶體混濁度影響之研究，國立陽明大學，2003，環境衛生研究所。
8. Lin CM, Chang WP, Doyle P , *Prolonged time to pregnancy in residents exposed to ionizing radiation in Co-60 contaminated buildings*, Occupational and Environmental Medicine, 2010 Mar;67(3):187-95.
9. 李世代、林逸芬、黃正仲等，國際上低劑量游離輻射曝露相關之健康風險研究文獻探討與臺北市低劑量游離輻射曝露民眾健康檢查結果比較分析計畫，2009，台北市政府衛生局計畫。
10. Thompson DE, Mabuchi K, Ron E, Soda M, et al. *Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part II: Solid tumors, 1958-1987*, Radiation research, 1994; 137(2 Suppl):S17-67.

11. Preston DL, Kusumi S, Tomonaga M, et al. *Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III: Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987*, Radiation research, 1994; 137(2 Suppl):68-97.
12. Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, et al. *Studies of Mortality of Atomic Bomb Survivors. Report 13: Solid Cancer and Noncancer Disease Mortality: 1950-1997*, Radiation Research, 2003, 160:381-407.
13. Preston DL, Cullings H, Suyama A, et al. , *Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors Exposed In Utero or as Young Children*. JNCI J Natl Cancer Inst, 2008, 100(6):428-436.
14. Ivanov VK, Tsyb AF, Gorsky AI, et al. *Leukemia and thyroid cancer in emergency workers of Chernobyl accident: estimation of radiation risks (1986-1995)*. Radiation and Environmental Biophysics, 1997, 36(1):9-16.
15. Noshchenko AG, Moysich KB, Bondar A, et al. *Patterns of acute leukemia occurrence among children in the Chernobyl region*. International Journal of Epidemiology, 2001, 30(1):125-129.
16. Willwyn D, *Twenty years' experience with post-Chernobyl thyroid cancer*, Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism, 2008, 22(6):1061-1073.
17. Hatch M, Ron E, Bouville A, et al. *The Chernobyl disaster: cancer following the accident at the Chernobyl nuclear power plant*, Epidemiology Research, 2005, 27:56-66.
18. Brenner DJ, Doll R, Goodhead DT, et al. *Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know*, PNAS 24(2003) 13761-13766.
19. National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation:BEIR VII Phase 2*, 2006.
20. National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation:BEIR VII Phase 2*, 2006.
21. Ware WR, *Low-Dose Radiation Exposure and Risk of Cancer*, International Health News, November, 2008.
22. Luckey TD (1991). *Radiation Hormesis*. Boca Raton, FL: CRC

Press.ISBN 0-8493-6159-1.

23. Feinendegen LE, *Evidence for beneficial low level radiation effects and radiation hormesis*, British Journal of Radiology, 2005 (78):3-7.
24. 張天鈞，低劑量輻射效應及流行病學研究—低劑量輻射與甲狀腺疾病之關係，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，1999。
25. 盛業瑄、吳岱穎、陳哲民、林光洋、陳建志、郭冠良，長期低劑量輻射照射與乳房超音波結果異常之分析，北市醫學雜誌 7(1): 34-40。
26. Evans, HJ, 1984. *Human peripheral blood lymphocytes for the analysis of chromosome aberrations in mutagen tests*. In: Kilbey, B.J., Legator, M., Nichols, W. and Ramel, C., Editors, 1984. *Handbook of Mutagenicity Test Procedures*, Elsevier, Amsterdam, pp. 405–427.
27. Chen WL, Shieh MC, Chen ST, et al. *Effect Of Cobalt-60 Exposure On Health Of Taiwan Residents Suggest New Approach Needed In Radiation Protection*, Dose-Response, 2007 5:63-75.
28. Dainiak N, *Hematologic consequences of exposure to ionizing radiation*, Experimental Hematology, 2002, 30:513-528.
29. Cronkite EP, *Kinetics of human hematopoiesis*. In: *Effects of Ionizing Radiation on the Hematopoietic Tissue*. Vienna: International Atomic Agency, 1967.
30. Cronkite EP, Fliedner TM, *The radiation syndromes*. In O Hug, A Zuppinger (eds): *Encyclopedia of Medical Radiobiology*. Berlin: 1972, Springer, p299.
31. Fliedner TM, Nothdurft W, Steinbach Kh, *Blood cell changes after radiation exposure as an indicator for hematopoietic stem cell function*. Bone Marrow, 1988, Transplant 3:77.
32. Fliedner TM, Friesecke I, Beyrer K (2001) *Medical Management of Radiation Accidents: Manual on the Acute Radiation Syndrome*. Oxford: British Institute of Radiology, p.18.
33. Dainiak N, Sorba S, *Early identification of radiation accident victims for therapy of bone marrow failure*. Stem Cells 1997, (Suppl 2):275.
34. Baranov A, Guskova A, Nadejina N, *Chernobyl experience: biological indicators of exposure to ionizing radiation*. Stem Cells 1995 (Suppl 1):69.

35. Finch SC, *Leukemia: lessons from the Japanese experience*. Stem Cells 1997, 15 (Suppl 2):135.
36. Beebe GW, Kato H, Lande CE (1977) *Studies of the mortality of A-Bomb Survivors: Mortality Experience of A-Bomb Survivors, 1950-1974*. RERF Technical Report 1-27. Hiroshima: Radiation Effects Research Foundation.
37. 畢恆達、郭一勤，科技神話的夢魘：民生別墅住宅輻射災害的社會心理衝擊，台灣社會研究季刊，1999，35:203-253。
38. Yen PN, Yang CC, Chang WP, et al. *Perception of quality of life of a cohort population years after relocation from previous low-dose radiation exposure in Co-60 contaminated buildings in Taiwan*, International Journal of Radiation Biology, Posted online on January 10, 2011.
39. *Gamma irradiators for Radiation Processing*, International Atomic Energy Agency Vienna, Austria, 2005.
40. 楊易達，長期低劑量率游離輻射暴露人群健康風險追蹤調查研究，國立陽明大學環境衛生研究所，2007，p17-18。
41. 許嘉芸，以 EGS4 程式重建輻射鋼筋屋空間劑量，1999，清華大學原子科學系。
42. 董傳中。輻射鋼筋建築物之中低污染居民的居民劑量重建。2001，行政院國家科學委員會。
43. 陳澤永，長期低劑量游離輻射對人體健康影響之研究：周邊血液白血球之分析，國立陽明大學公共衛生研究所，1998，p24-27。
44. *International commission on radiological protection, 1990 Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 60*, Pergamon Press, Oxford and New York(1990).
45. National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, *Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (BEIR V)*. National Academy Press, Washington, DC, 1990.
46. World Health Organization 2013, *Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation*, ISBN 978 92 4 150513 0.

47. International Radiation Protection Association 11th International Congress, Madrid Spain-May 23-28, 2004.
48. 蔡顯智、許世明、張國華、陳為立, 鈷-60 輻射污染鋼筋建物居民輻射風險因子之研究, 放射治療與腫瘤學 Therapeut Radiol Oncol 2005; 12(3):235-239。
49. 程毅豪、林惠文, 二階段抽樣設計上的迴歸分析: 回顧與展望, Journal of the Chinese Statistical Association, 2006, 44(79-90).
50. Collet JP, Schaubel D, Hanley J, et al. *Controlling confounding when studying large pharmacoepidemiologic databases: a case study of the two-stage sampling design*, Epidemiology 1998, 9(3) 309-315.
51. Breslow NE, Cain KC, *Logistic regression for two-stage case-control data*, Biometrika 1988, 75(1):11-20.
52. Schaubel D, Hanley J, *Two-Stage Sampling for Etiologic Studies*, American Journal of Epidemiology, 1997, 146(5):450-458.
53. Parkin DM, 2. *Tobacco-attributable cancer burden in the UK in 2010*, Br J Cancer. 2011 December 6; 105(S2): S6–S13.
54. T L Vaughan, Davis S, Kristal A, Thomas DB, *Obesity, alcohol, and tobacco as risk factors for cancers of the esophagus and gastric cardia: adenocarcinoma versus squamous cell carcinoma*, Cancer Epidemiol Biomarkers Prev March 1995, 4; 85.
55. Chen YH, *A robust imputation method for surrogate outcome data*. Biometrika, 2000, 87, 711-716.
56. Chen YH, and Chen H, *A unified approach to regression analysis under double sampling design*. Journal of the Royal Statistical Society, Ser B, 2000, 62, 449-460.
57. 林進田, 抽樣調查-理論與應用, 國立編譯館主編, 1993, 194。
58. 董傳中, 輻射鋼筋建築物之中低污染居民的居民劑量重建, 行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告, 2000, 17-18。
59. Hill CK, Han A and Elkind MM, *Fission-spectrum neutrons at a low dose rate enhance neoplastic transformation in the linear, low dose region (0-10 cGy)*, Int J Radiat Biol Relat Stud Phys Chem Med. 1984 Jul;46(1):11-5.
60. Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, Gilbert E et al., *Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15*

- countries*. BMJ 2005; 331:77.
61. Azzam EI, Raaphorstt GP and Mitchel REJ, *Low-Dose Ionizing Radiation Decreases the Frequency of Neoplastic transformation to a Level below the Spontaneous Rate in C3H 10T1/2 Cells*. radiation research 1996;146:369-373.
 62. Donald AP and Dale LP, *Radiation-Related Cancer Risks at Low Doses among Atomic Bomb Survivors*. Doses among Atomic Bomb Survivors. Radiation Research: August 2000, Vol. 154, No. 2, pp. 178-186.
 63. Wakeford R, *Radiation in the workplace-a review of studies of the risks of occupational exposure to ionising radiation*. J Radiol Prot. 2009 Jun; 29(2A):A61-79.
 64. Cardis E, Gilbert ES and Carpenter L et al., *Effects of Low Doses and Low Dose Rates of External Ionizing Radiation: Cancer Mortality among Nuclear Industry Workers in Three Countries*. Radiation Research: May 1995 142(2): 117-132.
 65. Zablotska LB, Ashmore JP, and Howe GR, *Analysis of Mortality among Canadian Nuclear Power Industry Workers after Chronic Low-Dose Exposure to Ionizing Radiation*. Radiation Research: June 2004 161(6): 633-641.
 66. Cardis E, Vrijheid M and Blettner M, *Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries*. BMJ. 2005 Jul 9; 331(7508): 77.
 67. Howe GR., Zablotska LB., Fix JJ., Egel J. and Buchanan J. *Analysis of the Mortality Experience amongst U.S. Nuclear Power Industry Workers after Chronic Low-Dose Exposure to Ionizing Radiation*. Radiat. Res.2004 162: 517–526.
 68. Elaine R, *Ionizing Radiation and Cancer Risk: Evidence from Epidemiology*. Radiation Research: November 1998 150(5s): S30-S41.