

出國報告（出國類別：其他）

參加第 15 屆國際輻射研究會議

服務機關：行政院原子能委員會輻射偵測中心

姓名職稱：林明仁技士、高億峯技士

派赴國家：日本

出國期間：104 年 5 月 24 日至 104 年 5 月 30 日

報告日期：104 年 7 月 23 日

摘 要

本次出國參加第 15 屆國際輻射研究會議（15th International Congress of Radiation Research, ICRR）在日本京都市國際會議中心舉行。會議為期 5 天，主題為「輻射科學塑造地球和人類未來」。主要活動包括：專題演講、論文發表、論壇及海報展覽等方式呈現。綜觀議題包含：生物效應、核子事故（包括原子彈爆炸、福島核電廠）的健康影響、輻射防護、放射化學、放射醫學（包括放射診斷、核子醫學）、生命科學、非游離輻射（包括電磁場）、放射腫瘤學、放射治療生物學以及放射治療（包括粒子治療、BNCT、適應性治療）。藉由參加此次會議，可以了解近年及未來國際輻射科學、防護、核災緊急應變及應用等相關研究領域的重點和方向，有益於環境輻射監測業務推展。

一、目的

參加 2015 年第 15 屆國際輻射研究會議 (15th International Congress of Radiation Research, ICRR)，主要係原能會輻射偵測中心自 101 年起 4 年期「建構國土安全輻射監測網」科技發展計畫，建構全國矩陣網狀偵測點系統、圖資平台及行動版環境輻射資訊查詢等系統。整合現有各項輻射監測資訊，除了作為平時或事故時工作人員之作業平台，亦開放民眾多元化之輻射監測資訊共享平台。日本 311 福島核電廠事故後，各國均對輻射災害應變整備相當重視。派員參加國際會議，吸取國外經驗，提升台灣輻射監測技術，使得能維持與先進國家相同水準。並藉由與國際友人接觸建立友誼的機會，促進經驗交流，奠定日後進行相關技術資訊交換與合作機會的基礎。此外，強化輻射災害緊急應變作為，作為未來我國整合環境輻射監測系統及災害應變整備之參考，以達國土的安全與永續發展。

二、行程

整個會議期程總共為 5 天，第一天為報到及開幕演說，其他 4 天的議程主要以專題演講及壁報展示為主，每天議程以 9 個研究主題進行研討，會議行程如表 1 所示。

表 1 參加第 15 屆國際輻射研究會議行程表

時間	行程與工作內容
5 月 24 日(日)	高雄小港國際機場 → 日本關西國際機場
5 月 25 日(一)	國際輻射研究研討會，第 1 天。報到，開幕典禮及大會演說
5 月 26 日(二)	國際輻射研究研討會，第 2 天。討論會、會議演講、海報展
5 月 27 日(三)	國際輻射研究研討會，第 3 天。討論會、會議演講、海報展
5 月 28 日(四)	國際輻射研究研討會，第 4 天。討論會、會議演講、海報展
5 月 29 日(五)	國際輻射研究研討會，第 5 天。討論會、會議演講、海報展
5 月 30 日(六)	日本關西國際機場 → 高雄小港國際機場

三、過程紀要

第 15 屆國際輻射研究會議(International Congress of Radiation Research, ICRR) 於 2015 年 5 月 25 日至 5 月 29 日在日本京都市舉行。輻射研究係涵蓋放射醫學、藥學、化學、物理及生物學等研究領域的一個重要國際會議，每 4 年舉辦一次，分別於世界各國舉行，迄今已有 60 年的歷史。本屆 ICRR 係由隸屬於國際放射性研究學會的日本放射性研究學會及日本京都大學共同主辦，會議主題為「輻射科學塑造地球和人類的未來(Radiation Science Shaping the Future of the Earth and Mankind)」。規劃的主題非常廣泛，主要分為 9 大類：生物效應、核子事故（包括原子彈爆炸、福島核電廠）的健康影響、輻射防護、放射化學、放射醫學（包括放射診斷、核子醫學）、生命科學、非游離輻射（包括電磁場）、放射腫瘤學、放射治療生物學以及放射治療（包括粒子治療、BNCT、適應性治療）等領域。探討放射性對人類及地球環境的貢獻，並保護全球環境。

2011 日本福島第一核電廠事故後，全球對超輻射劑量曝露的風險甚為關切，特別開闢一個後福島事故相關的特別專區，期能針對此議題提供一個討論與交流平台。另外，輻射科學在醫用藥品方面的改革、放射性治療等方面對人類有很大的貢獻，也是本次會議的重點。希望藉由此次會議互相交流，提供最佳的研究成果分享。

(一) 開幕會議

開幕會議首先由諾貝爾獎得主日本京都大學山中伸彌 (Shinya Yamanaka) 教授開場，主講 iPS 細胞研究與應用的最新進展。誘導性多功能幹細胞 (Induced pluripotent stem cells, iPS)，為利用導入特定基因或是特定基因產物 (蛋白質) 等方式送入體細胞，例如皮膚細胞或肝臟細胞中，使該體細胞變成為具備如同胚胎幹細胞 (ES cell) 般，具有分化成各式細胞之多功能分化能力，並且可以持續增生分裂。而這項新的技術，在 2006 年首度由日本京都大學山中伸彌教授團隊，將老鼠之纖維細胞製作而成。山中伸彌因為這項研究與英國約翰·格登 (John Gurdon) 共同獲頒 2012 年諾貝爾生理學或醫學獎。

iPS 細胞製作過程可分成 4 步驟，如圖 1 所示。

1. 從身體取得細胞並加以培養。
2. 利用病毒載體，或是其他方式把特殊基因或是其產物(蛋白質)「導入」細胞，紅色的是已被「導入」的細胞。
3. 當細胞群落形成，並利用 ES 細胞之培養法進行培養。
4. 培養後便會形成類似 ES 細胞之 iPS 細胞群。

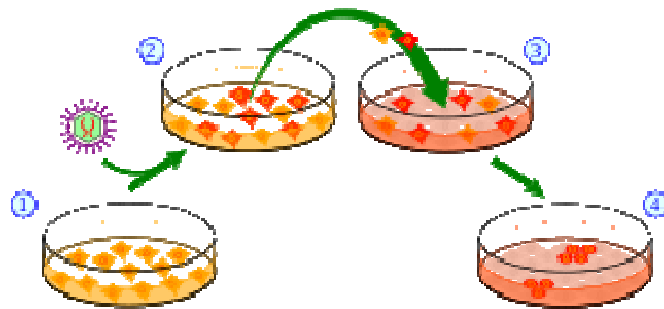


圖 1 iPS 細胞製作過程

誘導多功能幹細胞的（iPS 細胞）的吸引力是它們能夠幾乎無限制增殖並分化成各式細胞，如圖 2 所示。雖然最初從纖維細胞產生，再擴大至各種體細胞，大幅提升了醫療應用。配合以 iPS 細胞為基礎的治療，研究疾病機制和開發新藥工作目前廣泛進行中。目前，我們正在建立最佳的技術，可高效率製造安全的 iPS 細胞，並降低免疫反應和移植排斥反應的風險。在 2014 年，使用 iPS 細胞的臨床首例，是研究黃斑病變進行移植 iPS 細胞，其衍生於視網膜色素上皮細胞（RPE）。

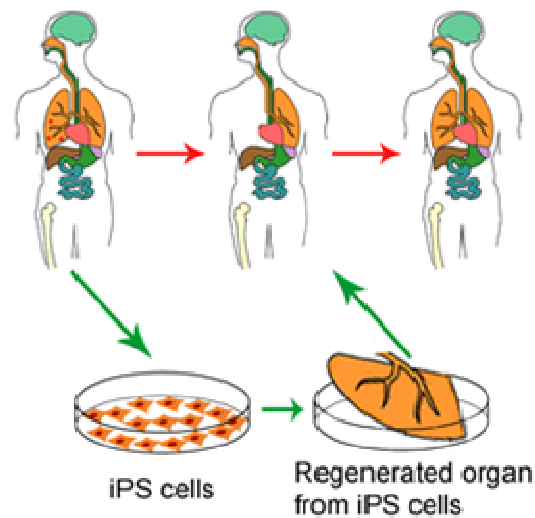


圖 2 利用再生醫學手段，將受損之肺臟以 iPS 細胞所形成之臟器組織進行再生

具有分化成身體各式細胞之來源，主要是來自於胚盤胞期之內部細胞塊所培養而成的胚胎幹細胞，或是由胚胎幹細胞和體細胞所融合之細胞，或是由生殖細胞培養而得之細胞。然而，iPS 細胞的製作，是首度沒有使用受精卵或是胚胎幹細胞而創造出具有萬能分化能力之幹細胞。

在理論上，具有萬能分化性之細胞，可以經過基因誘導分化之手段，使其分化成為身體中所有之組織與器官。如果使用人類病患自身細胞所創造出之 iPS 細胞，則培養出之組織或是器官作為移植回原患者身體內時，將可避開自身免疫系統之攻擊之難題。另一方面，以往人類胚胎幹細胞所產生之道德倫理問題，也可以取得根本的解決方式。因此，iPS 細胞可成為再生醫學中，備受注目之重要的細胞來源。

除了再生醫學之應用之外，利用患者本身之細胞所形成之 iPS 細胞，將其做特定細胞誘導分化後，可以成為良好之人類細胞研究材料，解決以往人類組織細胞培養上之困難點，也可以成為研究致病機制之契機。另外，由於由患者本身體細胞得來，可以獲得具有「個別性」、「專一性」之細胞材料，可用為藥劑效用或是毒性評估。當技術成熟後，例如女性細胞也可以製作出精子、老化細胞的重生，

也不再是遙不可及的夢想，甚至可應用於修補細胞的輻射傷害，對核子事故的傷患治療技術可望再突破。

開幕會議第 2 篇報告由日本知名政治人物有馬朗人(Akito Arima)主持，演說議題為「福島核子事故、輻射及世界能源未來」，如圖 3 所示。演講內容分成三部分，分別敘述如下。

1. 第一部分簡要討論 2011 年 3 月 11 日發生地震和海嘯及其嚴重後果，以及隨後的福島核子事故。
2. 第二部分海水和鄰近福島核電廠城市的輻射狀況。福島核子事故銻-137 的排放量約為車諾比(Chernobyl)的六分之一，高度污染地區則約為車諾比的 6%。福島電廠旁邊港口外的海水幾乎測不到銻-134、銻-137、 β 核種。福島事故後，日本人民極度關心輻射曝露對環境的影響程度，例如海域、土壤、甚至人體健康。問題在於如何評估低輻射水平但長期曝露對人體健康的影響，這完全不同於廣島和長崎原子彈爆炸產生短時間高劑量的情況。民眾想要知道，輻射水平究竟要低於多少才是安全，以及超過水平時將承受的健康危害程度。
3. 第三部分主題為世界能源的未來。探討世界人口、主要能源及電力需求的未來。由於世界人口和經濟快速發展，全球暖化日益嚴重。再生能源的發展期待解決能源危機和全球暖化的問題，但需要足夠的時間和金錢。未來能源需朝向不排放二氧化碳的方向發展，包括再生能源和核能。由於複合式輻射事故的長期影響比當初預期的還大，政府、核能工業和專家學者必須面對社會大眾現今反對核電的結果，還要更努力重建社會大眾對核能的信任及支持。核能發電在過去的 40 年中扮演日本重工業及經濟上關鍵重要的角色及作用，必須繼續維持下去。

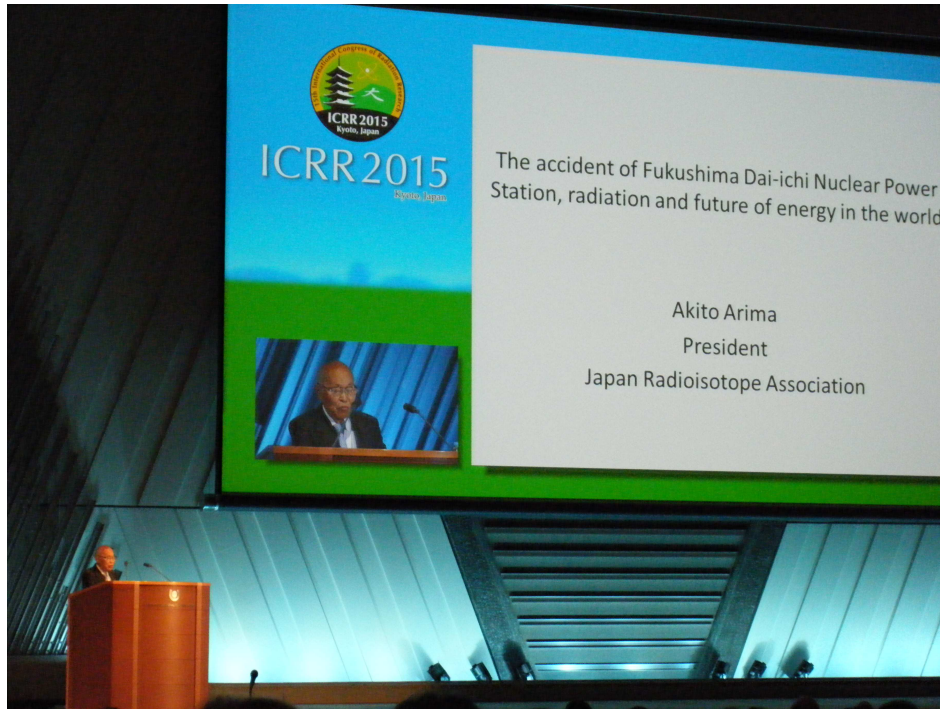


圖 3 Akito Arima 演講主題為「福島核子事故、輻射及世界能源未來」

(二) 劑量與輻射生物效應

Werner Ruehm 先生談到劑量率對輻射生物和輻射防護的影響。許多機構，包括 ICRP、NCRP、RERF、UNSCEAR、NRPB 等，均研究輻射致癌和遺傳效應的風險評估工作。基於所有這些研究工作，ICRP 和 NCRP 認為，在低劑量和低劑量率曝露條件下，終生致死癌（nominal lifetime fatal cancer risk）的風險值，對於所有年齡的群體可以採用 $5 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ ，對於工作人員群體採用 $4 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ 。這些數值反映出這種風險評估比高劑量和高劑量率條件下得到的數據約低 1 倍（降低了因數 2），此即稱為劑量和劑量率效能因子（dose and dose - rate effectiveness factor, DDREF）。

假設線性無低限（linear non-threshold hypothesis, LNT），採用無「低限值」的線性假說，認為不管多低的輻射也與劑量成比例而提升風險(risk)。如今被世界各國奉為圭臬的「LNT 假設」乃形成輻射防護基準的基礎，但被證明其有缺陷。劑量和劑量率效能因子（DDREF）用來外推輻射風險，以量化高劑量、高劑量率如日本原子彈爆炸倖存者的壽命研究，引入適用低劑量、低劑量率如一般輻射防

護情節。ICRP 103 號報告提出此值為 2，並強調具有相當的不確定度。

然而其他組織，如 UNSCEAR、NCRPUSA、SSK 有著不同的結論。近來，ICRP 也因此成立了一個工作小組，歸納現有有關細胞研究、動物實驗及人類流行病學調查的文獻，試著澄清此項議題。

Kotaro Ozasa 先生主要針對原子彈爆炸倖存者輻射誘發癌症的流行病學調查。原子彈爆炸倖存者輻射誘發癌症的流行病學調查，如圖 4 所示。包括成人、胎兒、小孩族群。原子彈爆炸後初期，白血病風險顯著增加，尤其是年輕人。固體癌風險在爆炸後 10 年也明顯增加，直至今日。性別、年齡都在風險評估範圍。倖存者是接受非選擇性的全身曝露。對肺癌風險而言，輻射曝露和輕微抽菸有正相關，如圖 5 所示。對成人而言，輻射致原發癌的位置隨個體而異。對胎兒而言，輻射致癌風險類似小孩，可能提供為組織幹細胞的輻射敏感性的研究線索。造成體細胞突變和基因多態性並非絕對是輻射致癌風險。對遺傳效應而言，父母接受輻射曝露後，小孩的致癌風險目前統計並無增加。

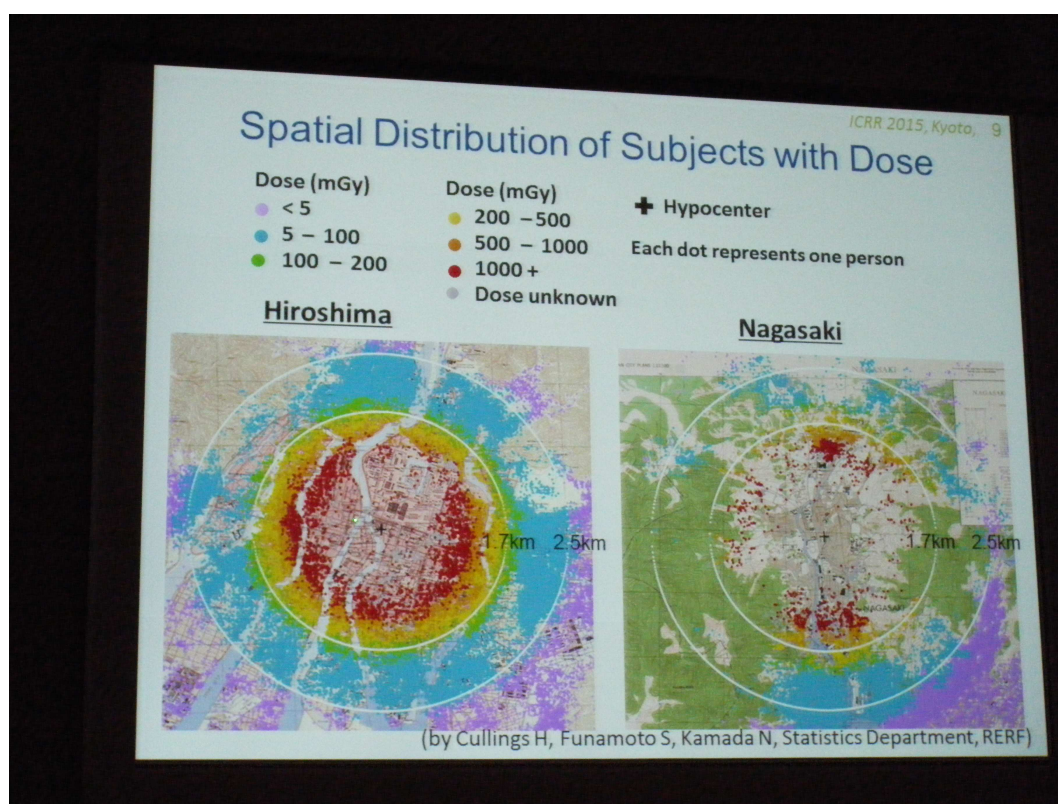


圖 4 廣島/長崎輻射劑量的空間分布

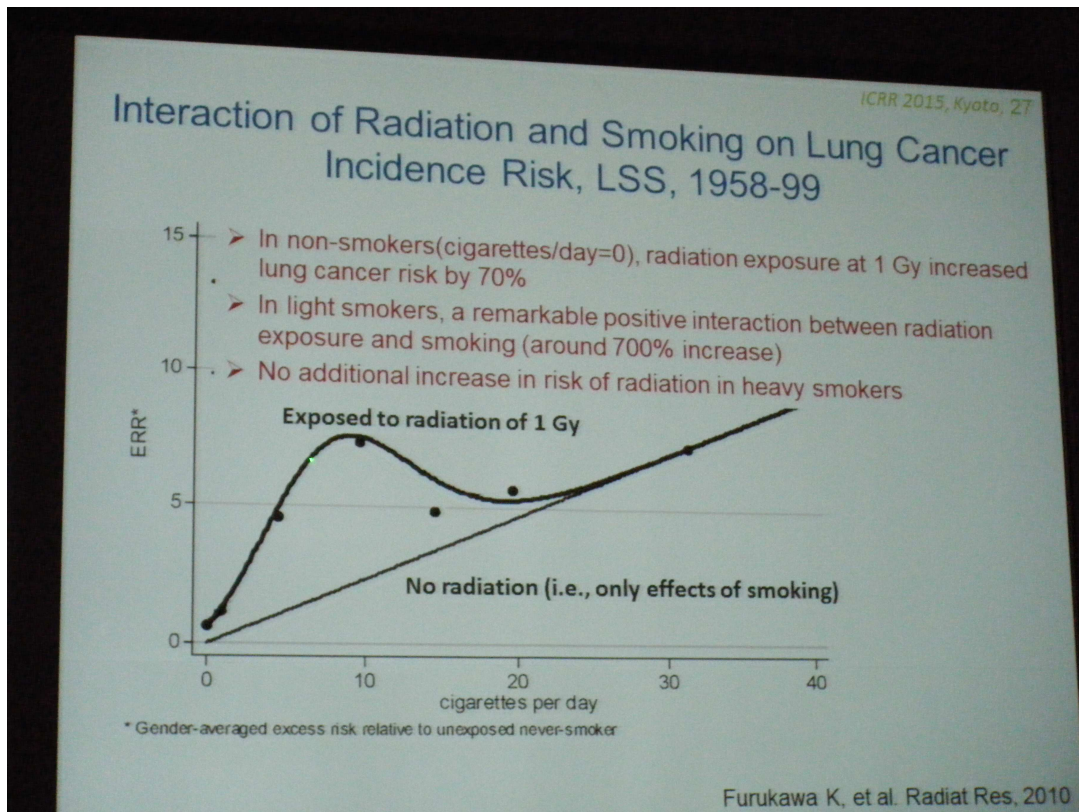


圖 5 輻射曝露和輕微抽菸的正相關

(三) 福島核子事故的健康效應與低劑量輻射研究

Kenji Kamiya 主要發表福島核子事故後的人體健康效應與低劑量輻射之研究。2011 年 3 月 11 日福島核子事故，大量放射性物質釋放到環境中，因此需要說明輻射對人體的健康效應，並採取防護措施。根據線性無低限假設，致癌風險隨輻射劑量線性增加，因此評估輻射劑量，是任何核子事故對健康效應的基本工作，如圖 6 所示。

440,000個福島居民的體外劑量已由福島健康管理調查（Fukushima Health Management Survey）進行評估，93.9%小於2毫西弗，平均為0.8毫西弗。在Soso區（相對劑量較高的區域），約77.6%小於1毫西弗，最高值是25毫西弗。體內劑量是全身計測(WBC)得到，約定有效劑量99.9%小於1毫西弗。

甲狀腺劑量的調查數據並不充足，但 Tokonami 指出，甲狀腺等價劑量小於 50 毫西弗，遠低於車諾比（Chernobyl）事故後測得的平均劑量。UNSCEAR 認為車諾

比事故小孩罹患甲狀腺癌的現象並不會出現在福島。

福島必須持續關注低劑量/低劑量率曝露對健康的效應，然而這些效應沒有足夠的科學證據。低劑量效應是從高劑量/高劑量率曝露外推評估，但可能無法完全適用於有機體。最近研究發現，細胞接受輻射曝露後，會誘發數種DNA損傷反應，如DNA修復、細胞週期停滯、細胞死亡及細胞衰老，這些反應的分子機制仍需要釐清。這些細胞級的反應對輻射造成的健康風險帶來效果，但影響程度仍是未知。除了流行病學調查，需要更多有關低劑量輻射對細胞反應和DNA、幹細胞造成效應的研究，以釐清低劑量/低劑量率曝露的健康風險。

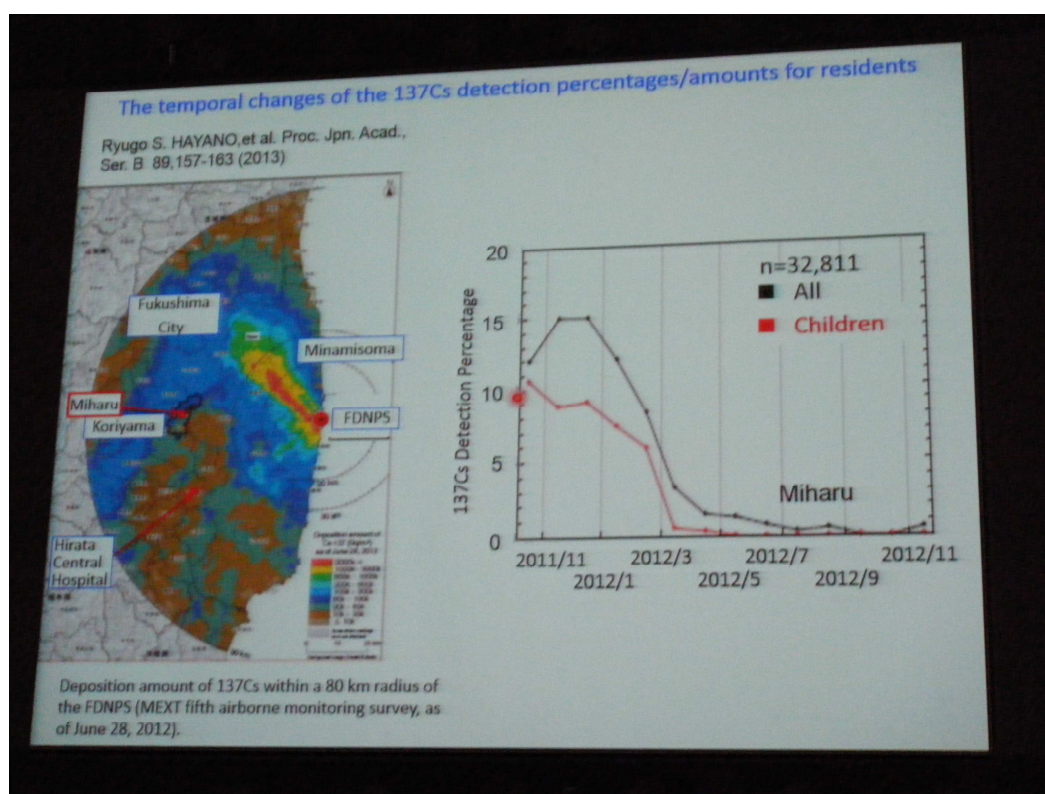


圖 6 人體殘留銫-137 放射活度變化之趨勢

(四) 輻射劑量相關之輻射健康風險等議題

Shunichi Yamashita 先生談到藉由車諾比和福島學習輻射健康風險管理的課題，主要 2015 年是廣島/長崎原子彈爆炸的 70 週年，這個事件除了帶來兩個城市大規模破壞和傷亡，而且產生急性和慢性的輻射生物效應。人類藉由廣島/長崎原子彈爆炸、車諾比和福島核電廠事故的教訓，建立了體外和體內曝露的輻射防

護規範。輻射安全和防護文化的缺失導致日本發生福島事故。由於輻射防護和輻射健康風險管理知識和教育不充足，已由大眾傳播媒體，引發嚴重混亂和不良反應的訊息，內容為低劑量輻射效應仍然有不確定性，混淆了民眾的風險認知。一旦發生核子事故，對健康的影響可分類為急性和慢性效應，以及兩個目標人群：第一類是應優先保護的核電廠和緊急應變人員，第二類是容易產生輻射恐懼和焦慮的一般民眾。因此，輻射防護的概念應先建立在輻射生物學和流行病學的基礎上，其次才是管制科學。與車諾比事故比較，福島並沒有急性輻射症候群的例子，然而，新聞卻被報導疏散後才死亡民眾，特別是老年人和重症病患，就是心理影響造成的健康傷害遠大於輻射引發的健康傷害。

Hiroshi Tanooka 主講廣島/長崎與福島事件來看輻射劑量率對致癌的影響。不僅劑量，劑量率也是重要決定輻射的癌症風險。問題是如何外推由高劑量率如廣島/長崎得到的癌症資料，引入適用於低劑量率如福島事故。福島事故發生後，環境輻射有升高的現象。

輻射致癌有兩個重要的實驗發現：X 光照射老鼠(Upton et al.)，以及全身/局部曝露差異(Kaplan et al.)。這些發現可提供評估不同曝露狀況下的致癌風險。為了完整評估劑量和劑量率的效應，需要不同劑量率對於不同物種和器官的劑量反應曲線，雖然目前可用數據有限。除了體外曝露，在中劑量率範圍的體內曝露研究也有重要發現，其中大部分的劑量反應曲線並非直線(Finkel et al., Raabe et al. Yamamoto et al.)。高 LET 氦 α 射線也會出現劑量率的效應(Monchaux et al.)。

「不致癌劑量 (non tumor dose, D_{nt})」可量化不同曝露狀況的致癌風險，如圖 7 所示。定義為統計上誘發癌症沒有顯著增加的輻射水平 (即最低致癌風險)，是歸納 IJRB, 87, 645, 2011 文獻得到。不致癌劑量 Y ，表示為： $Y = AX - b$ ， X 為劑量率， a 和 b 是不同曝露狀況的常數，即全身低 LET、局部低 LET、全身高 LET、局部高 LET 的狀況。分析結果：1.環境背景水平增加 100 倍的 D_{nt} ，相當於低 LET 持續全身曝露 70 年；2.電腦斷層 (CT) 診斷劑量約為 0.3Gy，而以相當於高劑量率、低 LET、局部曝露的 D_{nt} 為 4Gy，因此致癌風險預期為低；3.由原子彈爆炸至環境水平的 DDREF 值評估為 16.5。

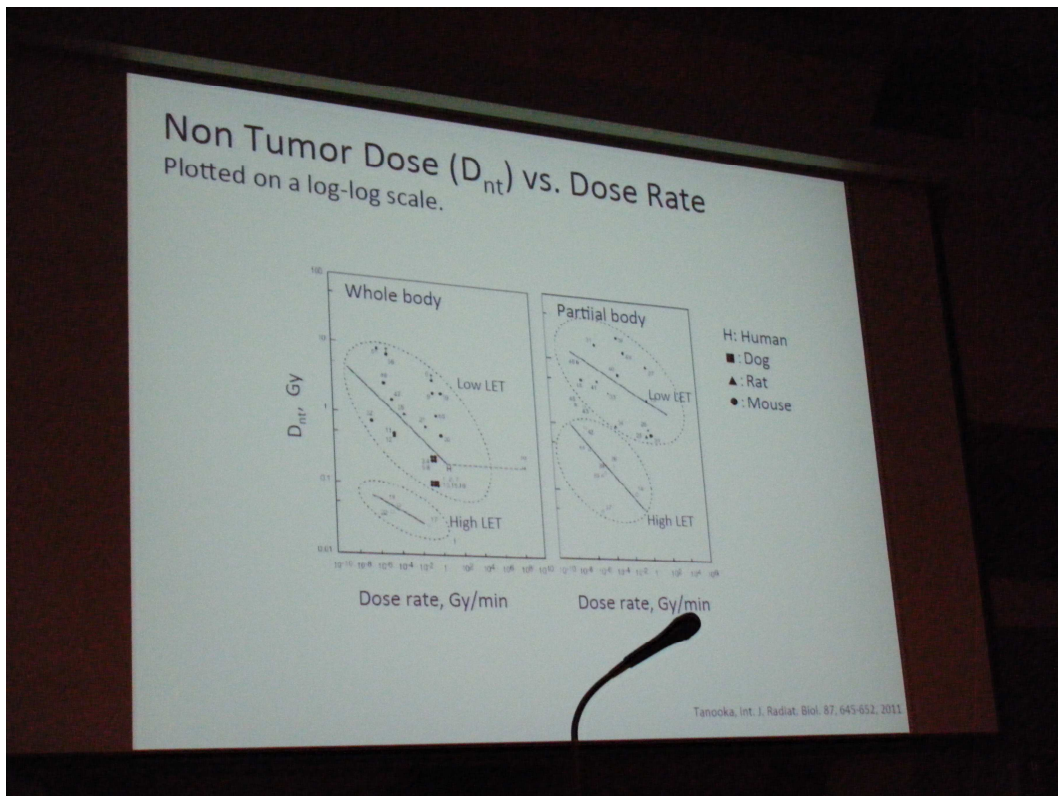


圖 7 不致癌劑量和劑量率的關係圖

(五) 日本福島事故後輻射對環境影響議題

本次會議在環境的相關研究方面，東京大學川井美瑛博士針對福島事故後農作物及生物放射性核種遷移及劑量累積影響的研究，如圖 8 所示。範圍包括：穀物、動植物、魚類、樹木及野生物等。結果顯示核種遷移及吸收受到時間、環境及物種的影響很大，例如放射性銫核種在土壤中易與土礦物鍵結，而不易被生物或植物吸收。此外，也造成地表的銫沉降速率非常慢，在福島事故後 3 個月沉降速率約為水的 1/10。之後 6-12 個月，沉降速率降至水的 1/100-1/200。鳥類方面主要輻射劑量分布在其羽毛上，但不易去除，且在其下一代中也有發現少許有輻射反應。稻米的輻射劑量主要分布在稻殼上，去除稻殼後的米輻射劑量則非常低。樹幹上的放射性銫則直接從樹皮表面吸收進入內部。另外，放射性物質在水中比在土壤中容易被植物吸收。蘑菇會吸附較多的放射性物質，這可作為本中心未來環境取樣物種選擇的參考。

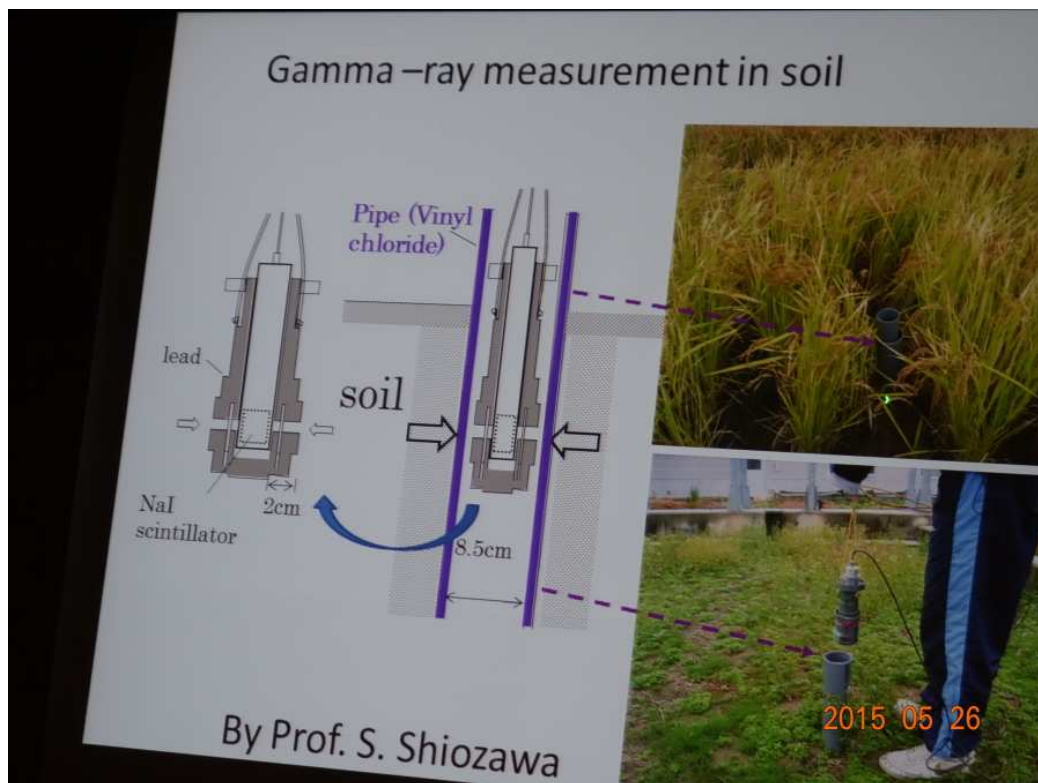


圖 8 土壤中加馬放射性含量分析

利山酒田先生的報告指出，日本民眾接受較低的輻射劑量，係因政府執行了適當的民眾防護行動所致。福島事故發生時，在主要放射性物質外釋前，即疏散電廠方圓 20 公里內的居民，避免了輻射煙羽及來自地表的體外劑量和吸入的體內劑量。當大量放射性物質沉降發生時，適度考量疏散 20 公里以外的居民，因此避免食用遭受輻射污染的食物，減少攝入的體內劑量。但最後他也提到，快速疏散措施固然對民眾健康有利，但卻也要面臨疏散區龐大且複雜的放射性污染廢棄物等管理課題。雖然如此，作者還是認為應以民眾的健康為首要考量，而不是以復原成本來衡量，這是比較適當的一種作法。

達朗蒼野教授針對福島第一核電廠輻射污水污染海水的議題進行探討。海水污染主要來自 2 個途徑：輻射煙羽沉降以及污水直接排放。報告顯示事故前海水銫-134 和銫-137 含量為 1-2mBq/L，事故後濃度高達 1000 至 2000Bq/L，且銫-134/銫-137 比值達 1，顯示放射性物質快速擴散至太平洋海域所致。但電廠污水停止排放後，海水中放射性物質大量遞減，但海生物及沉積物之放射性物質則遞減緩慢。達朗蒼野教授指出，由於海水的擴散作用，放射性物質濃度則下降很快。在

海生物及沉積物的研究中，主要發現銫-134、銫-137、銀-110m 等放射性核種。其中銀-110m 存在大多數的海生物體中，特別是軟骨類生物。銳-90 核種則未被發現。另針對放射性銻-239+240 調查，結果顯示電廠 30 公里內海生物內臟的銻-239+240 含量和事故前大約相同，並無顯著增加。這與日本當局在福島核電廠偵測到的銻，含量僅相當於背景值是一致的。

另外日本札幌醫科大學的物理學家高田純教授，從 2011 年福島核子事故後，即開始針對福島電廠 20 公里範圍內的居民進行劑量評估的工作。研究結果顯示，在此區域內的居民年有效劑量低於 10mSv，這數值代表對人體健康的影響是可以忽略的。他特別指出，人體劑量評估是一件艱辛且困難的工作，不同的評估方式可能導致很大的差異，例如採用空間劑量率進行評估，可能導致年有效劑量高達 50mSv 的情形。高田純教授係採用手提式碘化鈉偵檢器及全身計測器對人及牛隻等生物直接偵測，度量人及生物的體外劑量、體內甲狀腺劑量和全身銫含量。結果顯示福島縣大部分地區的體外劑量都已低於 10mSv，甚至有些區域已達背景值 0.5mSv，另外銫核種的濃度亦逐年遞減。因此高田純教授在會議中不斷強調，福島核電廠 20 公里強制疏散區內其實已經很安全了，政府應該解除返鄉的限制，盡快進行災區的復原工作，開放居民返回居住。另外，對於作者將年暴露劑量分成 6 個等級，並分成高劑量危險區和低劑量安全區，將廣島核爆和車諾比核子事故納入比較，福島事故僅在 D 級，屬於低劑量安全區，如圖 9 所示。重點就是要證明福島事故和車諾比事故是截然不同的，這種表示簡單易懂，可以增進與民眾的溝通，這令我印象深刻，且值得學習。

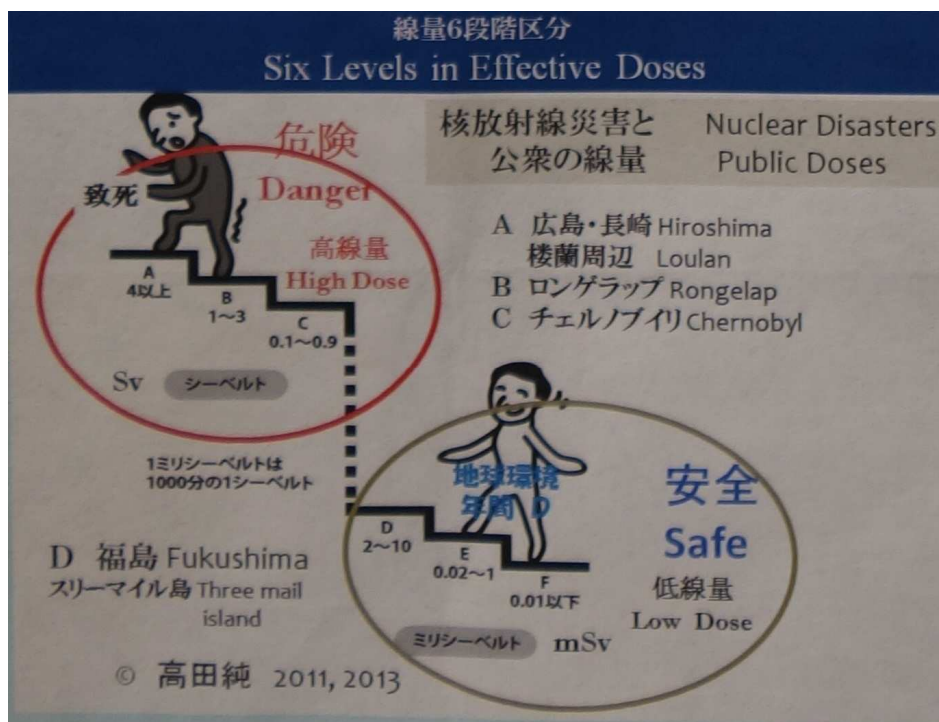


圖 9 年有效劑量 6 階段示意圖

(六) 民眾劑量評估及健康效應相關議題

惠一赤羽先生為福島政府及福島醫學大學進行福島縣居民健康管理調查工作，採用國家放射性科學學會(NIRS)發展的體外劑量評估系統進行民眾劑量評估。這套系統考量民眾行為模式、監測輻射劑量值和數學模式計算值。結果顯示到 2014 年 10 月底，居民最大有效劑量(不包括工作人員)為 25mSv，如果包括輻射工作人員約 66 mSv。甲狀腺等價劑量平均為 10 mSv，90%值為 30mSv。另外針對兒童碘-131 造成的體內甲狀腺劑量，實際度量值和數學模式估計值的綜合結果，平均甲狀腺等價劑量低於 10mSv。這與世界衛生組織公布的結果大致相合。

福島事故初期，評估民眾體內甲狀腺劑量是一件重要工作。大塚和枝教授提到評估體內甲狀腺劑量是很困難的，原因之一為碘-131 半衰期很短。之二為事故初期資源投入在體內劑量評估的部分也比較少。大塚和枝教授的研究包括：1.事故初期直接量測 1030 個兒童的甲狀腺劑量。2.針對各地約 3000 個民眾進行全身計測。3.大氣擴散模擬程式(WSPPEEDI)計算數值。結果顯示只有非常少數的孩童甲狀腺受到高劑量影響，90%的兒童甲狀腺劑量約在 30mSv 以下。作者特別提

到，劑量評估參數中的吸入比(Intake ratio)必須謹慎的考量，因為受環境及個人行為等因素影響很大。有鑒於此，大塚和枝建議民眾的行為模式應該要列入考慮，這可利用事後問卷調查等方式來驗證此評估是否與事實符合。

日本原子能機構的新吉先生，研究以全身計測器度量福島縣浪江町居民的甲狀腺等價劑量，浪江町是福島縣受輻射污染影響較大的區域。新吉先生引用碘-131/銫-134 的比值，作為預估碘-131 進入甲狀腺的比例，進而推導甲狀腺吸收係數，求出等價劑量。結果顯示最大甲狀腺劑量為 18mSv，如表 2 所示。這個值遠小於日本官方建議服用碘片的劑量值 50mSv。他也同樣提到，事故初期很難針對民眾劑量進行直接監測。一般採用空間輻射劑量率等監測數據來評估體內劑量。福島縣政府曾在 2011 年 3 月至 7 月進行 400,000 人的個人劑量評估，並針對居住於電廠周圍的 1062 個兒童進行監測，結果顯示受調的所有兒童甲狀腺劑量皆未超過 50mSv。事故後期，政府從 2011 年 7 月至 2013 年 3 月針對 132011 人以全身計測器進行銫核種的度量，只有 27 人被測出累積劑量超過 2mSv。這證實福島事故日本民眾接受的劑量曝露是很低的。作者也強調，事故發生時應要加強民眾劑量的度量和評估等作業，因為這方面的資料是很不足的。

表 2 甲狀腺劑量評估結果一覽表

Results of the Estimation			
90 percentile of thyroid equivalent dose (rounded to nearest 10%)			
Unit: mSv			
Municipality	Children (1-yr-old)	Adults	Methods ^{*1}
Futaba	30	10	WB
Okuma	20	< 10	WB
Tomioka	10	< 10	WB
Naraha	10	< 10	WB
Hirono	20	< 10	WB
Namie	20	< 10	WB, Thyroid ^{*2}
Iitate	30	20	Thyroid, WB
Kawamata	10	< 10	Thyroid, WB
Kawauchi	< 10	< 10	WB
Katsurao	20	< 10	Same values as Namie
Iwaki	30	10	Simulations, Thyroid
Minami-soma	20	< 10	Same values as Namie
Other Fukushima areas	< 10	< 10	Simulations

*1: WB: Whole-Body meas., Thyroid: Thyroid meas., Simulations: WSPEEDI-II
 *2: Tokonami et al., (2012)

東京大學著名的核工專家早野龍五教授對幼兒及兒童的體內劑量特別感興趣。2012 年針對福島縣及鄰近茨城縣地區民眾的體內劑量進行大規模全身體測調查。結果顯示體內含放射性銫的成人約 1%，兒童為 0%，平均年劑量為 0.04mSv。研究團隊發現，有 4 未受調者年劑量達 1mSv，這些人年齡平均介於 66 歲至 74 歲之間。研究人員發現，這些人之所以劑量較高，是因為經常食用野生蘑菇和野豬所致。且經勸導停用此類食物後，這些人的體內照射量已大幅下降。這個調查報告公布後，仍有許多父母親關心甚至擔憂兒童的體內劑量超標。因此 2013 年東大與 CANBERRA 公司合作開發全球首創針對幼兒的全身計測器(最低可測值小於 50Bq/人)，並著手進行 2000 位兒童的全身體測，如圖 10 所示。結果顯示 2000 位兒童體內並未發現放射性銫的存在。龍五教授曾對日本民眾進行問卷調查，結果顯示雖然政府部門一再努力證明民眾受到輻射傷害的風險很低，但部分的家庭仍然對飲用水和福島產品產生排斥，顯然日本民眾對輻射的焦慮仍然很大。



圖 10 幼童的全身計測器

..

(七) 現場儀器設備及海報成果展

本次國際會議有關儀器設備及海報成果展安排於國際會議中心的展示廳

內，如圖 11 所示。本次參展計約有 18 個設備商，主要銷售產品為醫用放射診斷及放射治療的設備，包括國際大廠 ELEKTA、ACCURAY、VARIAN、HITACHI、TOSHIBA、CANBERRA 等。其中 HITACHI 及 CANBERRA 有展出輻射偵檢器。HITACHI 展示 3 款輻射偵檢器，分別為 ICS-331 為塑膠閃爍偵檢器，可量低能量加馬、X 光、或 Beta 射線。TCS-172 為 NaI 偵檢器，高效率適用於一般作業環境。TGS-146 為大尺寸高效率蓋革偵檢器，短時間可偵測 Beta 射線，適用於表面污染偵測、毒化物、生命科學等領域。

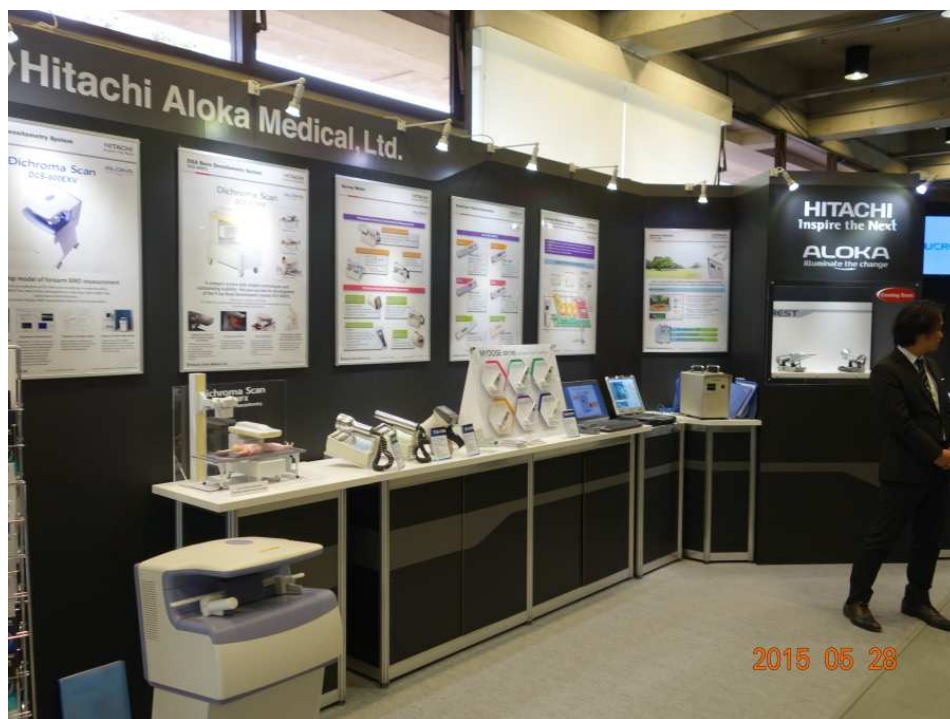


圖 11 會議現場偵測儀器設備展示區

Canberra 公司展出加馬輻射偵測及核種鑑定儀器，現場展示材質為 LaBr 晶體的塑膠閃爍偵檢器，如圖 12 所示。其特色為解析度較 NaI 晶體高，如圖 13 所示。其操作溫度介於-20 至 50°C，能譜穩定不易飄移，故不須使用銻-137 射源進行能量校正。



圖 12 LaBr 加馬輻射偵測器

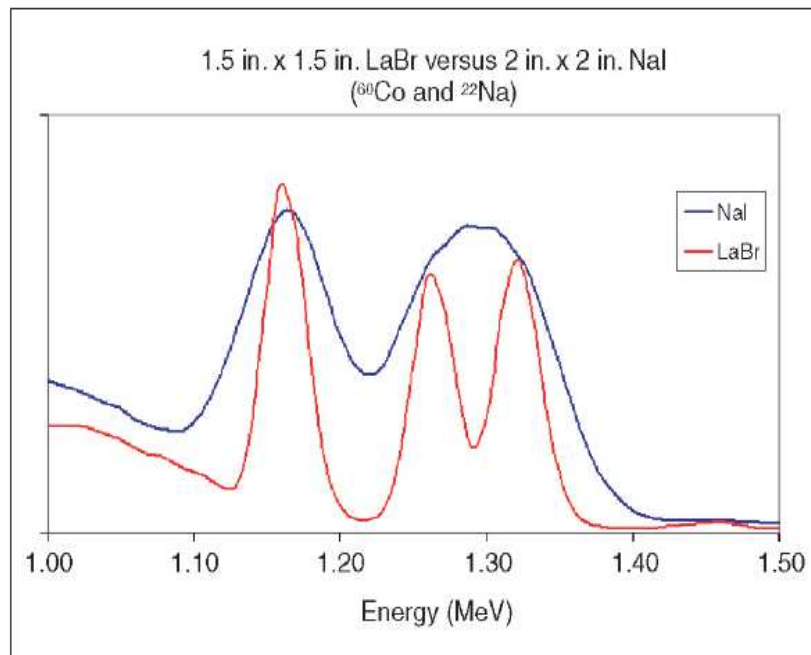


圖 13 LaBr 與 NaI 晶體解析度比較

四、心得及建議

(一) 心得

1. 國際輻射研究會議為放射性相關的大型年會，與會者眾多，場地亦非常大，每場會議發表的演講者也是在該領域擁有相當傑出的研究成果，並且在國際知名期刊上發表。本次會議地點在日本京都舉辦，日本學者專家出席人數眾多，約占出席人數之半，主要發表輻射生物學、福島事故後輻射劑量及健康影響等相關論文，顯示日本在輻射領域上深厚技術基礎研究，值得我國參考學習。
2. 假設線性無低限 (linear non-threshold hypothesis, LNT) 的缺陷，在於使用無 DNA 修復機能的果蠅成熟精子實驗，是否適用於具有 DNA 修復能力的人體？高估低輻射對人體的傷害，增加社會不安，受低劑量曝露後之墮胎疑慮。ICRP 使用 LNT 假設並建議 DDREF 值為 2 的原因，是可允許人員不管劑量率和分次劑量的狀況下，增加接受後續的高或低劑量的照射，因此大大地簡化輻防作業與方便劑量的安全管制。無論如何，LNT 假設漸漸地被誤解為致癌風險和劑量呈現比例關係，甚至連微小劑量也有致癌風險。有兩個原因使 LNT 假設的正當性遭受質疑：第一經由動物實驗分析，低於 100 毫西弗的劑量缺乏致癌效應的證據，第二因科學進步，了解致癌機制和基因的複雜性，以及細胞受照射後反應的多樣性和有效性。細胞不是被動地接受照射後傷害累積的影響，而是經過許多機制參與反應。
3. 愈來愈多證據顯示，機率效應也有低限值，甚至科學家提出「不致癌劑量 (non tumor dose, Dnt)」可量化不同曝露狀況的致癌風險，進而說明 ICRP 建議 DDREF 值過於保守，引發經濟損失與心理疑慮，造成實質上更大的健康傷害。但 LNT 假設也促使人們隨時注意輻射，因而接受劑量大為降低。
4. 福島核子事故的放射性物質釋放量遠低於車諾比核子事故，日本當局為了降

低曝露劑量也迅速採取相關行動，經由儀器偵測和健康調查後得知多數人遭受的輻射劑量很低，即便如此，類似車諾比事故造成的心理影響，引起的健康傷害比預期更高。為了降低民眾的疑慮，針對輻射造成的健康效應，必須透過更好的方式向民眾說明，任何形態的能源生產都有其風險存在，因此在決定未來的能源政策時，應根據相對風險之科學根據加以決策。

5. 針對福島地區環境輻射劑量及民眾健康等議題，日本當局強調災區民眾健康無虞等證據，但不少民眾仍對輻射安全充滿疑慮。此係因輻射科學本為艱深難懂的學科，再加上輻射看不到摸不著，輻射傷害也非短時間顯現。特別印象深刻是日本札幌醫科大學高田純教授將年劑量值分成 6 階段，0.1Sv 以上則為危險區，2mSv 以下為安全區域，將長崎廣島、車諾比、福島等歷年重大核事故以及環境年劑量值放入圖中，資訊簡易明瞭。這值得我們注意如何將難懂的資訊公開及與民眾溝通，作為我們政府機關學習的目標。
6. 福島事故後放射性物質對環境的衝擊，也是與會專家關心的議題。針對輻射在陸域、海域、動物、植物的分布及遷移情形等相關研究，有助於我們了解放射性物質在環境中的遷移特性，例如海生物輻射累積情形、菇類等植物特別容易吸附輻射物質等，都是相當寶貴的資料。
7. 有關福島地區食品輻射安全，日本國家保健醫療科學院環境健康部提出一份檢測報告，探討自 2011 到 2014 年日本當局針對食品取樣及檢測等作為。其中提到至 2014 年食品輻射超標已趨近於 0，但檢測件數不減反增。由此看出雖然福島事件已過了 4 年，但日本當局對食品安全仍未鬆懈，持續把關取得民眾信任的積極作為，值得我們學習。另外特別提到檢測樣品中以牛肉為大宗，佔 70%以上，其中碘-131、銫-134、銫-137 最低可測活度訂在 10Bq/kg，本中心於福島事故時最低可測活度曾訂為 1 Bq/kg，這些皆可作為未來訂定事故時監測目標及擬定監測計畫的參考。

8. 會議期間，環境劑量、民眾體內、外劑量評估等議題也在與會中熱烈討論，值得一提的是劑量評估本來就是無法準確估算的一項工作，其受到環境、樣本取得、實際作業等種種因素影響。因此劑量評估技術結合直接計測、數學模式計算、現場情境以及統計學等多元方式進行，比起使用單一設備或方法進行評估，能提供更有用的資訊和客觀的結果。

(二) 建議

1. 未來為了解決低劑量/低劑量率曝露的問題，「實際可行的」低限值或「實質上的」安全劑量觀念，或許可以考量納入新的輻射防護體系內。輻射誘發癌症的流行病學調查須與其他有害健康因素合併考慮，如紫外線，有毒化學物質。低劑量造成的健康效應與低限值的存在需要更多流行病學調查、細胞實驗的科學證據，畢竟輻射安全管制最須嚴謹看待。主管機關即使採用較保守的假設線性無低限(LNT)，仍需向民眾解釋低劑量輻射可能的微小風險，進而在風險與利益間取得平衡，才是輻射防護管制作為思考的方向。
2. 日本發生福島核子事故已四年，但核電廠附近居民仍充滿焦慮、不安，除了須面對災情的長期疏散及避難生活壓力，也擔心著目前的輻射現況是否影響健康。經由福島事故後重建及恢復經驗，回頭審視我國是否有能力提供讓民眾信任的生活環境、健康、食品等輻射限量標準。輻射偵測中心是帶有科技性質的行政機關，擁有專業儀器設備執行環境輻射監測作業，也應持續擴充和精進資源、人力，以因應萬一發生境內外核災，告訴民眾生活環境是否安全及可能的健康危害程度，並將環境監測數據提供主管機關，作為制定劑量標準和防護行動的參考，緊急應變愈迅速，愈能提高民眾的信賴感。政府理性實施管制工作的同時，也應考量社會氛圍以安民心，例如福島居民長期避難，普遍都有回家的期待心理，此時防護行動依據是空氣吸收劑量或有效劑量，形成人權與輻安之間的拉鋸戰。

3. 如何獲得安全、乾淨的能源？核能是目前已知的其中選擇之一。因為核能沒有 CO₂，SO₂，NO_x 污染廢氣。當石油存量還剩 40 年可用時，核能更顯得必要。如果民眾也了解輻射的真義，不再害怕輻射，則輻射在能源、醫學及其他方面的應用將更令人享受輻射帶來的益處，此時處置放射性廢棄物將不再是個問題。再生醫學的技術突破更是輻傷患者的一大福音，為達此目標，我們必須要了解低輻射劑量的健康效應。輻射防護專家不須要去說服科學家，但他們必須說服害怕輻射的一般民眾，民眾們想要自己判斷並做決定。

4. 日本自二戰廣島及長崎核爆到福島第一核能電廠事故，數十年來不斷投入民眾輻射劑量與健康的相關研究，建立廣泛且完善的資料庫。台灣雖未經歷嚴重之輻射事故傷害，但面臨中國核電工業蓬勃崛起，未來遭遇境外核子威脅恐不亞於日本，甚至遠超過 311 日本核災的影響。台灣不僅要提升環境輻射監測技術，突破傳統輻射監測的舊思維，建立機動和多元的偵測理念。另外，積極持續建立國人輻射劑量水平，建立完整之資料庫，是相當重要的一項工作。除了讓民眾了解自身環境的輻射曝露劑量，一旦發生事故時，可有效進行體內及體外等劑量評估工作，更可作為事故時劑量評估的參考依據，讓民眾安心放心。

五、附件

1. ICRR 2015 Pocket Program.
2. ICRR 2015 Late-Breaking Abstract
3. CanberraModel IPROL-1 技術資料