

出國報告(出國類別：開會)

赴日本參加輻射生物效應
國際研討會(BER 2018)
出國報告

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：郭子傑技正

派赴國家：日本

出國期間：107年3月18日至3月23日

報告日期：107年5月16日

摘 要

本次赴日本大阪參加 2018 年 3 月 19 日至 3 月 21 日舉辦之輻射生物效應國際研討會(BER 2018)，為期 3 天的研討會主題包括：劑量與劑量率效應、從突變到癌症、大阪大學在醫學／化學及物理的學術活動、醫療數據資料庫、放射治療與癌症診斷之顯影技術、輻射生物學與醫療用途、輻射生物效應之國際合作與醫療應用之輻射防護等，分別以專題演講、口頭報告及論文發表等方式進行，並於會後參訪大阪府立大學輻射研究中心及鈷-60 照射廠。藉由參加本次研討會與參訪，可瞭解國際間目前對於輻射生物效應之研究成果與發展趨勢，及日本大型輻射設施之輻射作業管理經驗，以期作為本會輻射防護業務及精進管制作為之參考；最後提出心得與 2 項建議供參：

- 一、建議持續關注國際間對低劑量曝露和健康效應之研究報導，俾利提出適合國內情況之論述。
- 二、建議持續關注日本輻射防護管制法規或標準之修訂情形，以供本會研修相關規範之參考。

目 次

	頁碼
摘 要	1
目 次	2
壹、 目的與行程	3
一、 目的	3
二、 行程	3
貳、 會議過程	4
一、 輻射生物效應國際研討會(BER 2018)概況	4
二、 參訪大阪府立大學輻射研究中心	21
參、 心得與建議	27
肆、 參考資料	29
伍、 致謝	30
陸、 附件	31

壹、出國目的與行程

一、目的

此次赴日本公差之目的為參加輻射生物效應國際研討會 (International Workshop on the Biological Effects of Radiation, BER 2018)，以瞭解國際間目前對於輻射生物效應之研究成果與發展趨勢，並藉由研討會蒐集與會各國在輻射生物領域與醫療輻射應用之研究成果，以達到經驗交流的目的。會後並安排參訪大阪府立大學輻射研究中心（大阪府立大學地域連攜研究機構放射線研究センター）及鈷-60 照射廠，以瞭解當地大型輻射設施之輻射防護管理與實際運作情形。

二、行程

日期	行程	備註
3月18日	台北桃園國際機場→日本關西機場→大阪大學中之島中心	路程
3月19日 ↓ 3月22日	1.參加輻射生物效應國際研討會(BER 2018) 2.參訪大阪府立大學輻射研究中心及鈷-60 照射廠	1.大阪市 2.堺市
3月23日	大阪→日本關西機場→台北桃園國際機場	路程

貳、會議過程

一、輻射生物效應國際研討會(BER 2018)概況

(一)研討會簡介

本次輻射生物效應國際研討會是由日本科學促進會研究開發委員會(Japan Society for the Promotion of Science, JSPS)與大阪大學核子物理中心(Research Center for Nuclear Physics, RCNP)等共同舉辦，近百位日本國內外專家學者與會。研討會主要聚焦在輻射生物學和輻射醫療應用兩個領域，包括低劑量與劑量率效應、從突變到癌症、醫療數據資料庫、放射治療與診斷之技術、輻射生物學與醫療用途等。會議地點係大阪大學中之島中心(大阪大学中之島センター，圖1)，該中心位於大阪府大阪市北區，為大阪大學創校時的校園所在地，1993年該校遷至吹田市之後，原址改建為大阪大學中之島中心，並於2004年啟用。

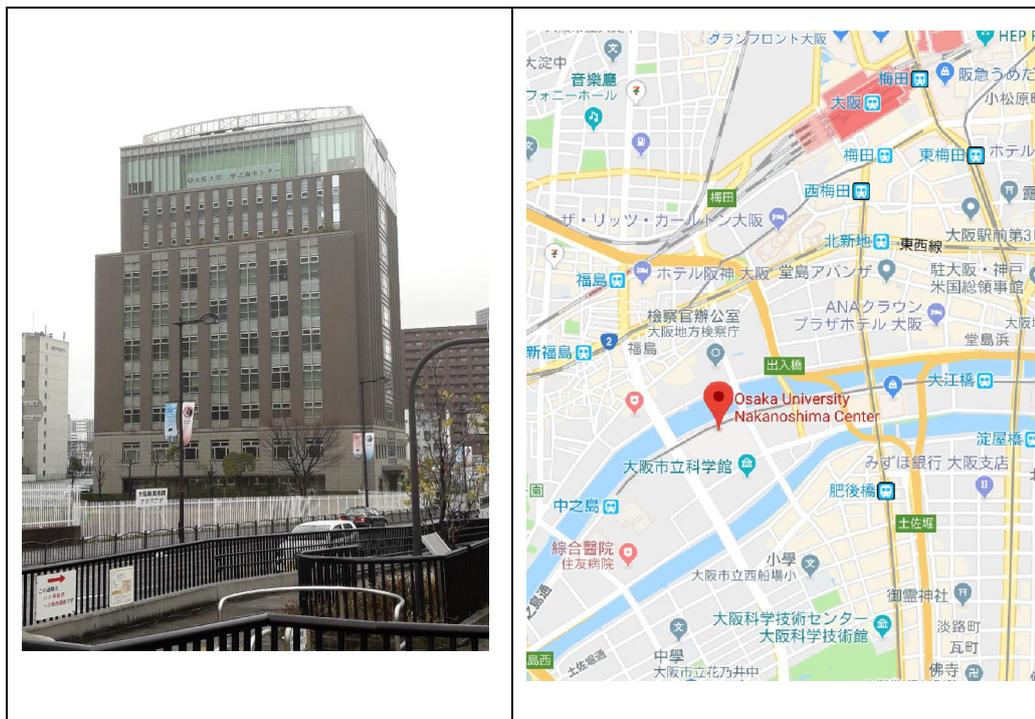


圖1 大阪大學中之島中心外觀及地理位置

1. 議程簡介

表 1 研討會議程簡介

日期 \ 議程	上午	下午
3 月 19 日	劑量與劑量率效應、從突變到癌症	大阪大學在醫學、化學及物理的學術活動
3 月 20 日	醫療數據資料庫	放射治療與癌症診斷之顯影技術、輻射生物學與醫療用途、壁報論文發表
3 月 21 日	輻射生物效應之國際合作	醫療應用之輻射防護

註：詳細議程請見附件



圖 2 研討會海報、議程及會場照片

2. 開幕式， 1st day (19th March)

本次研討會開幕式邀請 Dr. Wolfgang Weiss 及 Dr. Yoshiharu Yonekura 進行簡短的演講與致詞，兩位都是聯合國原子輻射效應科學委員會 (UNSCEAR) 前主席，Yonekura 博士也是日本放射科學研究所(National Institute of Radiological Sciences, NIRS)前會長。Dr. Weiss (圖 3) 在演講中表示：世界各國對於游離輻射在醫療的應用有逐步提升之趨勢，如何在癌症的診斷和治療過程減少不必要的輻射曝露，也是醫界和輻防界重視的議題之一。本次研討會的目標是交流有關輻射生物效應的知識，也希望能藉此搭起輻射生物學與醫療輻射應用之間的橋樑。

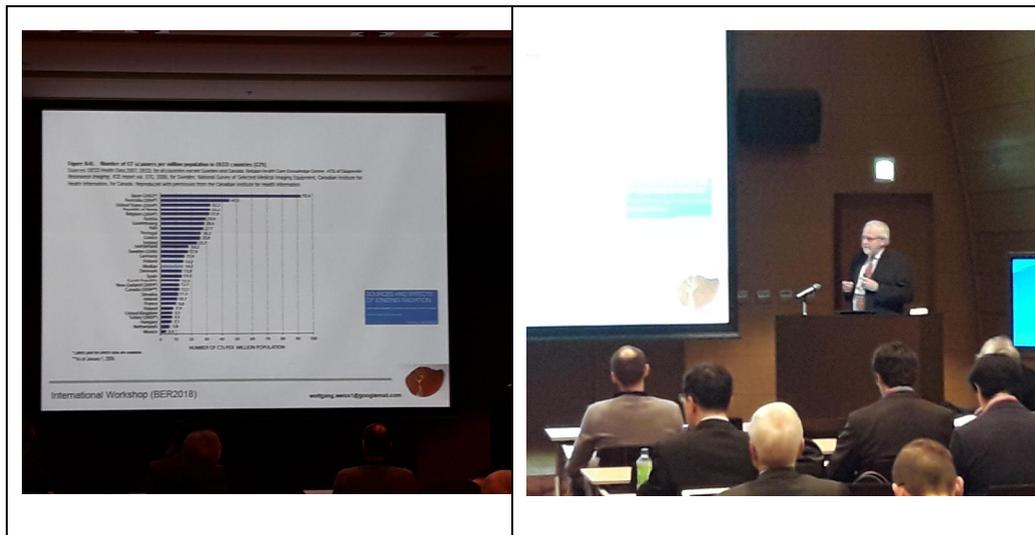


圖 3 Dr. Wolfgang Weiss 於研討會開幕式演講

Dr. Yonekura (圖 4) 在致詞中也提到：從過去的輻射研究提供我們許多關於輻射照射引起的健康影響的資訊，尤其是中高劑量的輻射領域的研究，對輻射防護標準的制定貢獻良多。同時，輻射對人類健康也有不少貢獻，醫療輻射已經成為人體接受輻射的主要來源。儘管如此，低劑量和低輻射劑量率的健康效應與影響仍位於尚待證實的階段。由於醫療輻射應用日趨增加，低劑量和低劑量曝露的生物效應研究不僅重要，也關係到醫療新技術的未來發展。本次研討會的目的即是概述輻射生物效應的最新發展，並聚焦在輻射醫療照射的應用等。



圖 4 Dr. Yoshiharu Yonekura 於研討會開幕式致詞

(二) 輻射生物學相關議題

1. 劑量與劑量率效應 (Dose and Dose-rate Effects), 1st day (19th March)

來自美國西北大學(Northwestern University)的 Dr. Gayle Woloschak (圖 5) 在本次研討會發表有關低劑量輻射生物效應之研究成果。Woloschak 表示隨著生物醫學技術的發展進步，例如大數據資料分析等，都為研究低劑量輻射生物學提供了新的方法。對於低劑量的輻射具有與高劑量曝露不同的生物效應，已有許多研究結果支持這樣的觀點；然而，這些方法和觀點尚不足以建構低劑量輻射曝露所需的理論架構。因此，現今的輻射防護政策還無法確認低劑量和低劑量輻射率的生物效應，其實不同於接受中、高劑量輻射曝露時引起的生物效應。

Dr. Woloschak 以實際從動物實驗得到的數據來闡述低劑量輻射生物效應之研究成果 (圖 6)：小鼠在同樣接受 0 到 1.5 戈雷(Gy)曝露下所得到的生命縮短曲線：黑色實線表示急性曝露的結果，紅色實線表示長期曝露的結果；而紅色虛線表示從急性曝露數據推導長期曝露的結果，此推導係使用和游離輻射生物效應委員會第七號報告(BEIR VII)的方法

相同，目前仍然應用於日本原子彈倖存者的急性曝露數據。結果顯示：由急性曝露模型推導長期曝露造成生命縮短結果（紅色虛線），可能會比實際從動物驗得到的數據（紅色實線）較為高估或保守。

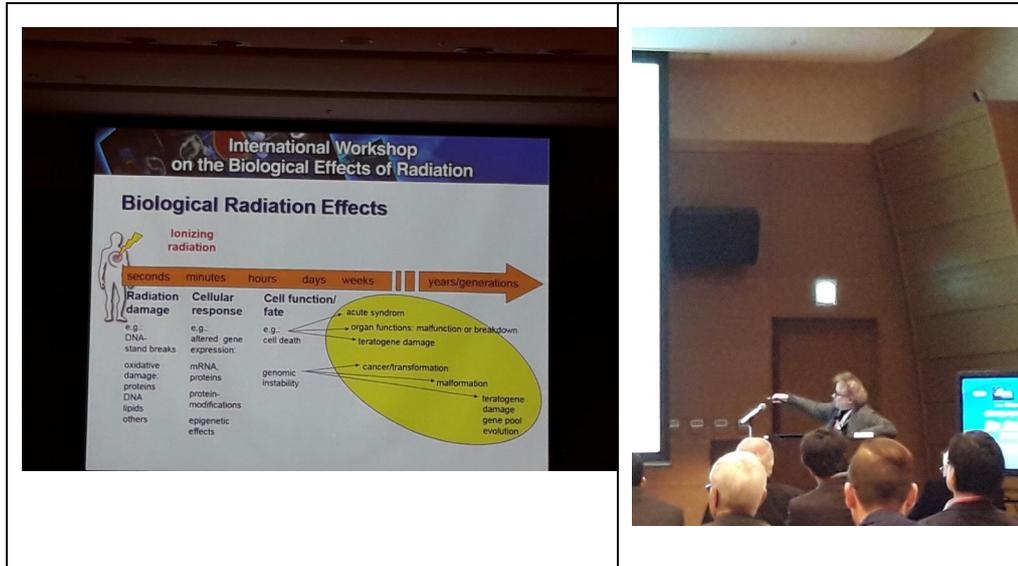


圖 5 Dr. Gayle Woloschak 發表專題演講

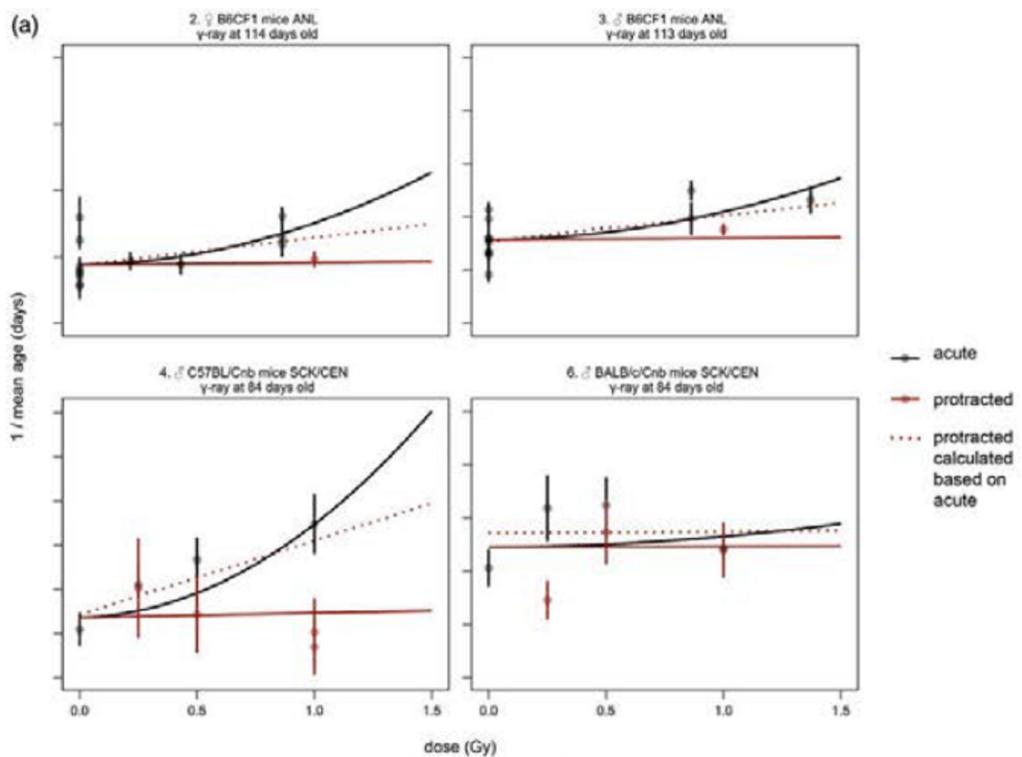


圖 6 黑色實線表示急性曝露數據，紅色實線表示長期曝露數據，紅色虛線表示從急性曝露數據推導長期曝露數據

此外，Woloschak 以 AIC 比較目前所使用的線性無低限值模型（圖 7(b)和另一種線性模型（圖 7(c)）的擬合優度：AIC (Akaike information criteria)是衡量統計模型擬合數據或資料的優度(goodness of fit)的一種標準。結果顯示：以相同的急性暴露和長期暴露數據，簡單的線性模型（AIC=-765）相較於線性-二次模型（AIC=-749）更能擬合動物實驗數據。

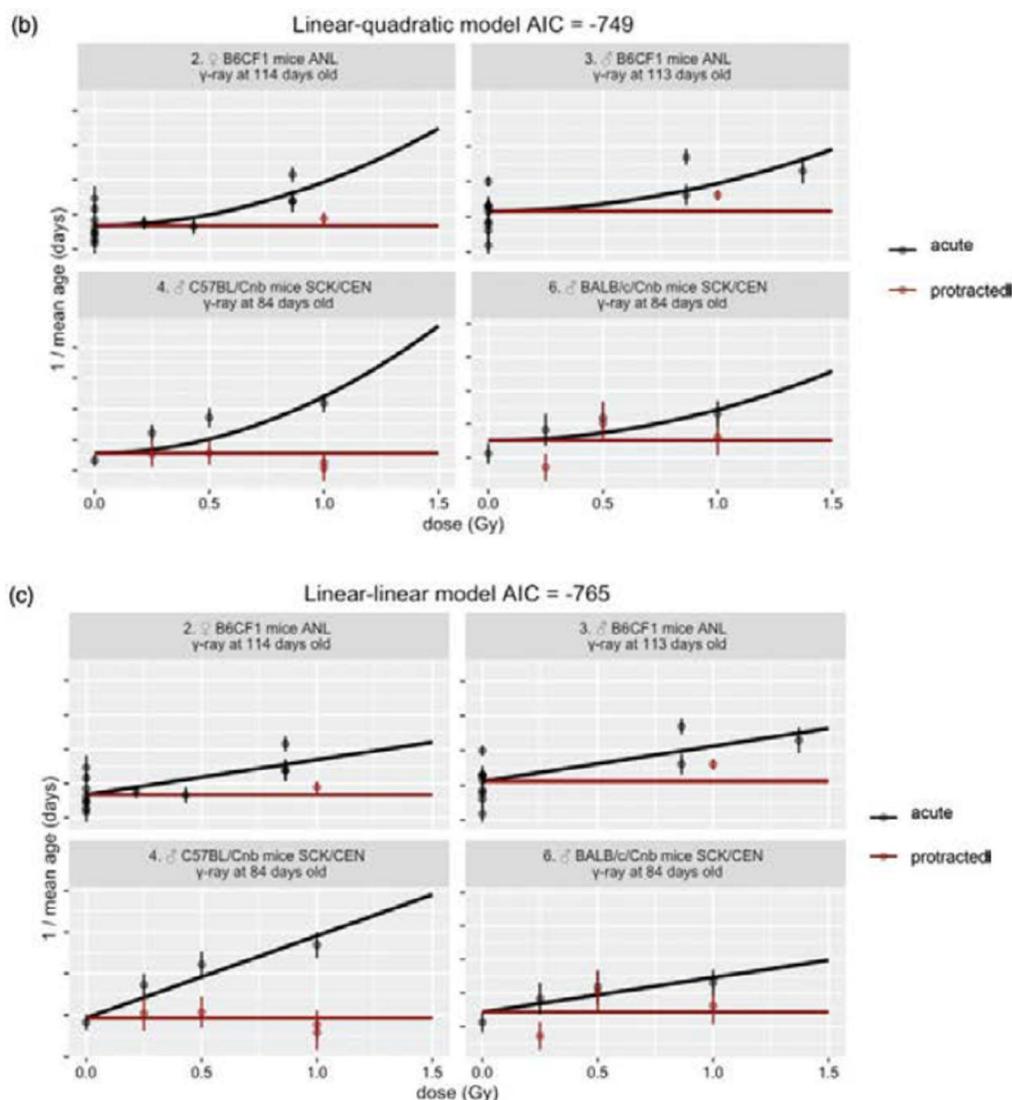


圖 7 (b)目前所使用的線性無低限值模型和(c)另一種線性模型

2. 突變到癌症 (From Mutation to Cancer), 1st day (19th March)

日本環境科學技術研究實驗室(Institute for Environmental Sciences, IES)的 Dr. Ignacia Braga-Tanaka 研究團隊及 Dr. Kimio Tanaka 研究團隊於本次研討會發表有關劑量率對長期照射小鼠壽命縮短，以及低劑量率對

染色體畸變率的影響。在低劑量率 γ 射線照射小鼠的壽命和腫瘤發生研究方面，以 Specific Pathogen Free (SPF) B6C3F1 小鼠接受以下三種條件照射（圖 8）：

$$0.05 \text{ mGy}/22\text{hours}/\text{day} \times 400 \text{ days} = 20 \text{ mGy}$$

$$1.1 \text{ mGy}/22\text{hours}/\text{day} \times 400 \text{ days} = 400 \text{ mGy}$$

$$21 \text{ mGy}/22\text{hours}/\text{day} \times 400 \text{ days} = 8000 \text{ mGy}$$

結果發現低劑量率 20 mGy /天(0.9 mGy / h)的長期照射引起的壽命縮短，其死因主要為早發性(early onset)腫瘤，而在低劑量率 0.05 mGy /天(0.0023 mGy / h)照射下未觀察到小鼠壽命縮短（圖 9）。

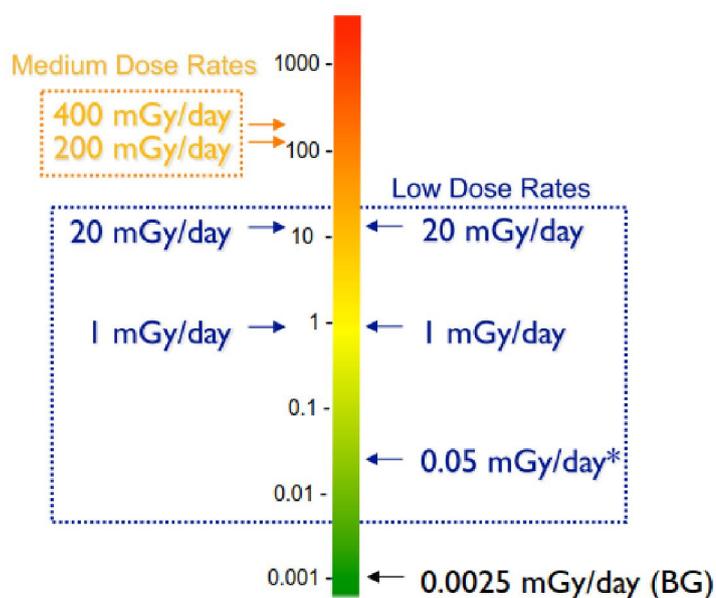


圖 8 低劑量率和中劑量率的範圍

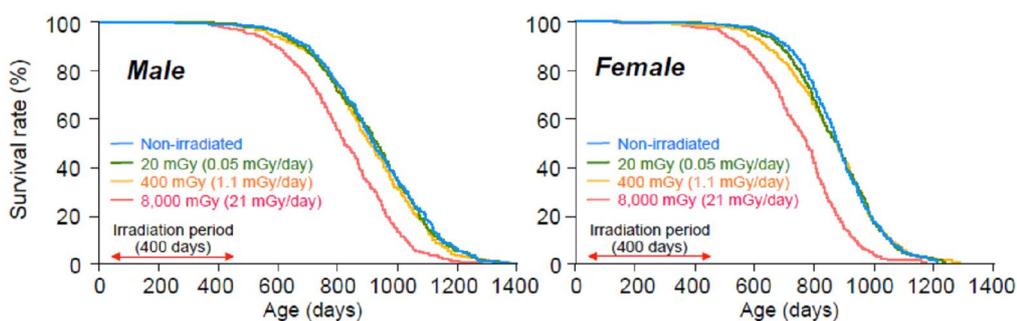


圖 9 以低劑量長期照射觀察到小鼠壽命縮短

另一項研究是低劑量率照射對染色體變異的影響：其研究背景是基於在低劑量率範圍 0.05 mGy/22 h/ day (0.0023 mGy/h)及 20 mGy/22 h/day (0.91 mGy/h)的輻射生物效應，之前都沒有相關的研究報告(圖 10)，因此研究團隊以觀察在低劑量率範圍的劑量反應及劑量率生物效應為目標，在調整相關的變數(如小鼠年齡差異)後，觀察接受照射的小鼠脾臟淋巴細胞其染色體變異(異位)情形，結果發現在劑量率為 20 mGy/天至 1 mGy/天的低劑量率範圍內，可觀察到劑量率對易位頻率的影響。這些結果將有助於估計低劑量率輻射曝露和輻射防護的風險，以期對福島健康管理研究有所貢獻。

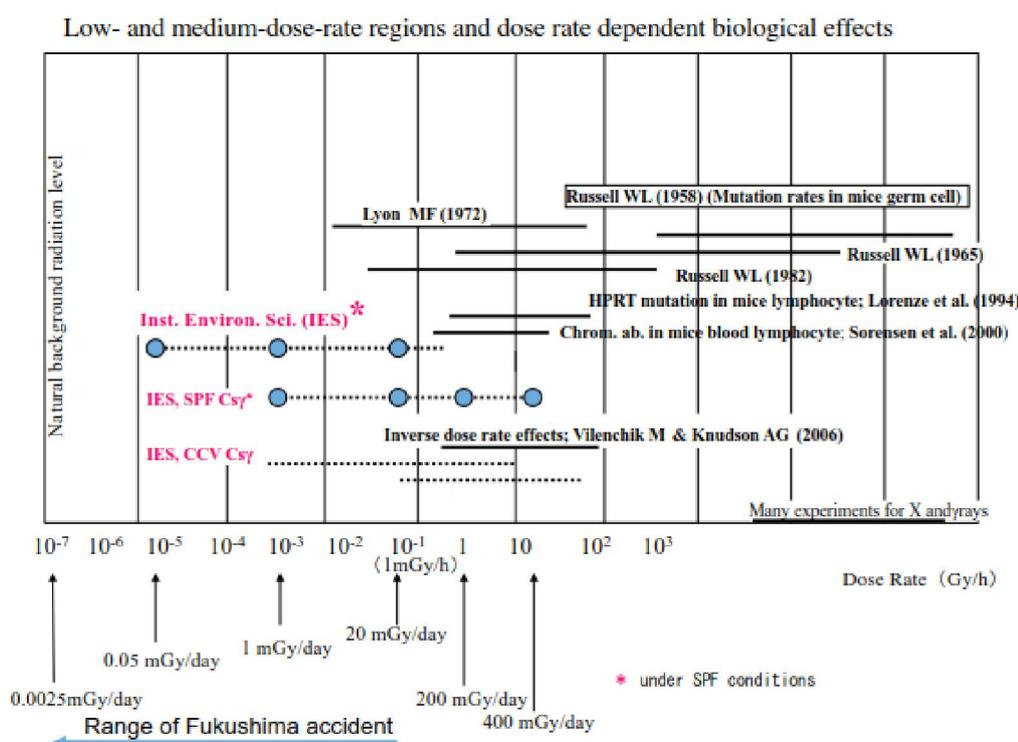


圖 10 IES 團隊的研究(紅色)和其他團隊的研究範圍

3. 輻射生物效應之國際合作 (International Cooperation in Biological Effects of Radiation), 3rd day (21st March)

來自歐洲、美洲及日本的專家學者於本次研討會除發表該國對輻射生物效應之研究成果，並共同探討低劑量曝露之生物效應(圖 11)，綜整討論內容如下：基於 BEIR VII 報告所示，長期低劑量率的輻射曝露對癌

症所造成的風險是沒有低限劑量的，而且劑量與增加的風險成正比。也就是所謂的「線性無閾假說 線性無低限值模型」(Linear Non-Threshold model, LNT)。線性無閾假說是以日本廣島和長崎原子彈爆炸倖存者，接受急性高劑量曝露後的資料作為基礎建立的，然而在接受低於 100 毫西弗(mSv)輻射曝露的倖存者中，並無法觀察到劑量與癌症風險的線性增加關係。儘管如此，現今輻射防護界多半是以此假說為基礎來評估風險。雖然大部分對於低劑量游離輻射所可能造成的生物效應之研究，是根據 BEIR VII 報告或 LNT 模型，藉由高劑量曝露結果再推估低劑量區而得到的資訊，推估出來的數據是否能確實反映實際於低劑量環境造成的生物效應，輻防界仍存有不同意見。



圖 11 輻射生物效應之提問與討論情形

然而，基於較為保守的輻射防護目的，輻防界人士大多無法直接否定低劑量所造成的風險。因此，包括國際輻射防護委員會(ICRP)等輻射防護相關組織都是以 LNT 來評估低劑量風險，亦即採用 LNT 模型當作輻射安全標準的基礎。與會專家學者的共識為：低劑量輻射曝露的確切輻射生物效應仍不甚明確，然而為了制定更好的輻射防護政策，有必要去瞭解低劑量輻射效應的生物機轉。隨著科技的進步和科學家的努力，未來會有更多低劑量曝露或長期曝露的研究結果，因此對於 LNT 假說勢必會持續的探討下去，這也是輻防界共同努力的目標之一。

(三) 輻射醫療應用相關議題概述

1. 大阪大學在醫學、化學及物理的學術活動 (Activities of the Consortium for Medicine, Chemistry and Physics at Osaka University), 1st day (19th March)

大阪大學在自然科學及醫學研究領域都有傑出成果，日本首位諾貝爾獎得主湯川秀樹博士即畢業於該校。本次研討會大阪大學研究團隊主要著重在同位素砹(Astatine, At-211)的介紹及應用。At-211 的半化期為 7.2 小時，其釋出之 α 粒子可應用於放射治療（表 2）。此外，由於 At-211 衰變產生的子核種釷（polonium, Po-211，半化期為 5 秒）可釋出能量為 77 和 79 keV 的 X 射線，因此 At-211 及其標記的化合物也用於放射診斷 (theranostics)(圖 12)。然而由於 At-211 的化學性質尚未得到很好的闡明，以致其作為核醫藥物的應用發展較為緩慢。即便如此，利用 At-211 釋出的 α 粒子，在癌症治療方面仍被寄予厚望。

表 2 放射性同位素砹(Astatine)的基本資料

Radio-nuclide	Half-life	Daughters	Half-life	Cumulative α /decay	E_{α} mean (MeV)	Range (μ m)
Tb-149	4.1 h			0.17	3.97	25
Pb-212	10.6 h	Bi-212 Po-212	1.01 h 0.3 μ s	1	7.74	65
Bi-212	1.01 h	Po-212	0.3 μ s	1	7.74	65
Bi-213	0.76 h	Po-213	4 μ s	1	8.34	75
At-211	7.2 h	Po-211	0.5 s	1	6.78	55
Ra-223	11.4 d	Rn-219 Po-215 Pb-211 Bi-211	4 s 1.8 ms 0.6 h 130 s	4	6.59	>50
Ra-224	3.66 d	Rn-220 Po-216 Pb-212 Bi-212	56 s 0.15 s 10.6 h 1.01 h	4	6.62	>50
Ac-225	10.0 d	Fr-221 At-217 Bi-213 Po-213	294 s 32 ms 0.76 h 4 μ s	4	6.88	>50

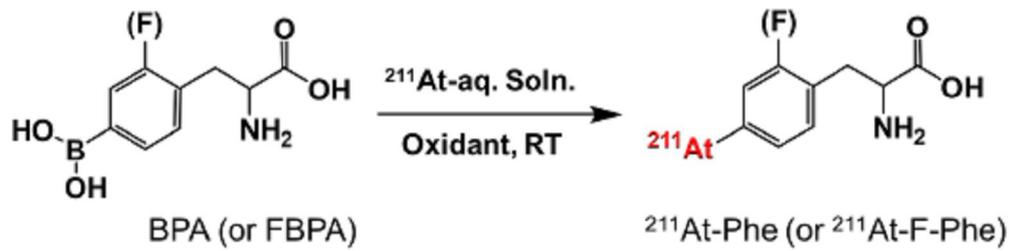


圖 12 將 At-211 標誌在小分子（如 BPA）上以用於放射診斷

大阪大學的目標是利用 At-211 作為 α 標靶治療(targeted alpha therapy)：標靶治療是將輻射源施用到體內，並將輻射從體內照射到癌細胞；而 α 粒子一方面比 β 粒子具有更大的能量應用，也具有更強的細胞殺傷能力；另一方面 α 粒子射程很短，因此對周圍器官的傷害較少。大阪大學的研究團隊開發了 α 射線體內療法：藉由將 At-211 與抗體中特異性的分子結合，特異性地照射癌細胞，從而殺死癌細胞。研究團隊發表如何製備 At-211 標誌抗體及其細胞毒殺活性(cytotoxicity)：抗 CD20 抗體(anti-CD20 antibody)被證明在淋巴瘤治療中是有效的，研究團隊先合成與癸硼烷(decaborane, $\text{B}_{10}\text{H}_{14}$)接合的抗 CD20 抗體，At-211 由迴旋加速器產生後迅速純化，再與癸硼烷接合的抗體結合成 At-211 標誌抗體。將製備的 At-211 標誌抗體添加到 Raji 細胞(一種會表現 CD20 的細胞)時，用 At-211 標誌的抗體顯示出顯著的細胞毒殺活性（圖 13）。

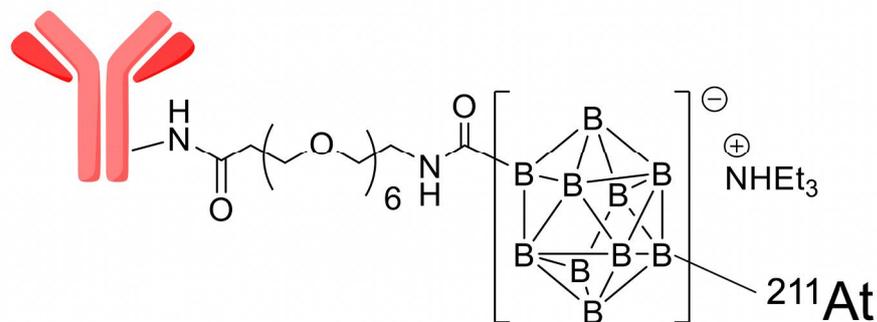


圖 13 將 At-211 標誌在抗體上以用於放射性標靶治療

2. 醫療數據資料庫 (Medical Database), 2nd day (20th March)

來自法國里昂癌症研究中心(Cancer Research Centre of Lyon)的 Dr. Pierre Saintigny (圖 15) 在會中除了介紹頭頸癌生物標誌(biomarkers)及放射治療的研究成果，另外介紹如何用大數據(big data)分析前述癌症的臨床醫療紀錄：此新一代大數據分析方法稱為 Continuum Soins Recherche (ConSoRe)，是由歐洲大型癌症研究機構 UNICANCER 與 Intel 等公司合作發展而出 (圖 14)。ConSoRe 匯集來自 4 個癌症中心的 1 百多萬名患者的醫療紀錄近 2 千多萬份資料，再從這些資料中提取各種的結構化 (structured) 和非結構化數據；此過程是藉由使用自然語言處理(natural language processing, NLP)技術來搜索這 2 千多萬份資料，並執行進階的數據探索與分析。ConSoRe 的目標是希望從實驗室研究到臨床治療的過程中，能更迅速地推動癌症研究與治療的各個階段。這種大數據分析的進步，可從各種數據源頭提取更有用的資訊，也為癌症研究人員提供了更有好的方法。

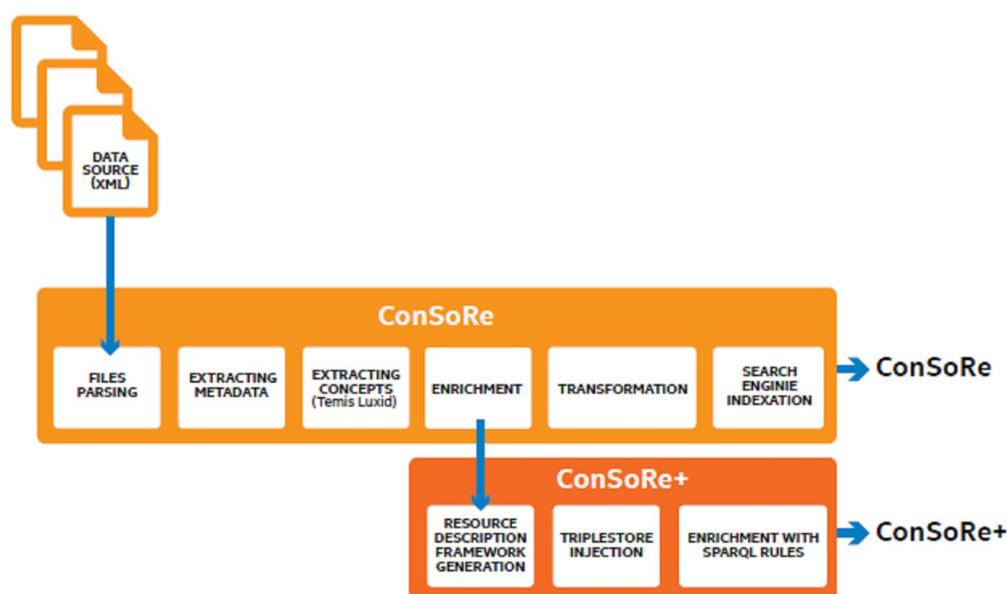


Figure 1. ConSoRe Processing Pipeline.

圖 14 ConSoRe 大數據分析法示意圖



圖 15 Dr. Pierre Saintigny 發表專題演講

3. 放射治療與癌症診斷之顯影技術 (Imaging Techniques for Radiotherapy and Cancer diagnosis), 2nd day (20th March)

醫學影像分析對腫瘤的結果判定很重要，隨著影像分析技術的提升，從醫學影像中可獲取更多有用的資訊以提高癌症診斷和治療的判斷。日本德島大學(Tokushima University)的 Dr. Akihiro Haga 於本次研討會介紹影像分析技術--Radiomics。Radiomics 指的是從斷層掃描(CT)，正子斷層掃描(PET)或磁共振(MRI)獲得的醫學影像中，提取(extract)和分析大量影像特徵資料進行自動化分析，以獲取對癌症的診斷、治療及預後(prognosis)等有價值的資訊。Radiomics 的一般流程為(圖 16)：獲取高品質的標準影像，並藉由電腦或人工勾畫、分割出腫瘤區域後，針對該區域提取大量的影像特徵，如密度分佈、不同密度層面的空間關係及紋理特性等。藉由醫學影像數據轉換成可以提供整個腫瘤三度空間特徵，這些提取的特徵可能與腫瘤表型(phenotype)、治療反應的結果以及分化成良性或惡性有關。

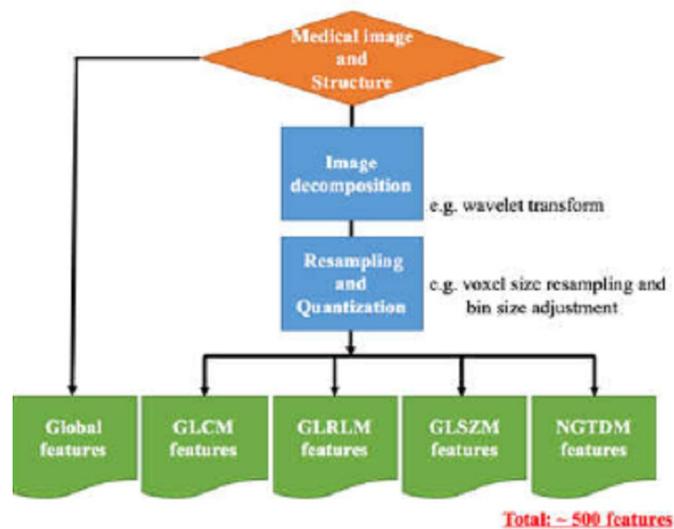


Fig. 1: Representative process in radiomics. As well as the shape and size based features (Global), texture based features are extracted (GLCM, GLRLM, GLSZM, and NGTDM). For extraction of texture features, pre-processing is necessary, which involved isotropic resampling and gray-level quantization.

圖 16 Radiomics 之紋理特徵分析示意圖

4. 較低輻射劑量之新醫療設備 (New medical equipment for less radiation dose), 3rd day (21st March)

日本日立綜合醫院(Hitachi General Hospital)的 Dr.Takeshi Nawa 於本次研討會介紹日本的低劑量 CT 肺癌篩檢：鑑於肺癌是日本癌症死亡的主要原因，日上市於 1998 年引進了肺癌低劑量 CT 篩檢（圖 17）。為了評估肺癌篩檢的有效性，日立綜合醫院對當地居民中，將參與以 CT 篩檢肺癌者和以 X 光篩檢者進行世代研究(cohort study)。於 1998 年至 2006 年間接受 CT 篩檢的 50 至 75 歲居民被定義為「CT 組」，同期接受 X 光篩檢但期間未接受 CT 篩檢者被定義為「X 光組」。日立綜合醫院使用住院登記、區域癌症登記和全國死亡統計調查 2012 年底第一次肺癌篩檢的肺癌死亡率和全因死亡率。結果與 X 光組相比，低劑量 CT 篩檢參與者在觀察期內的肺癌死亡率降低了 51%，亦即在引入 CT 篩檢後 4 至 8 年觀察到肺癌死亡率顯著降低。

CT Lung Cancer Screening in Japan

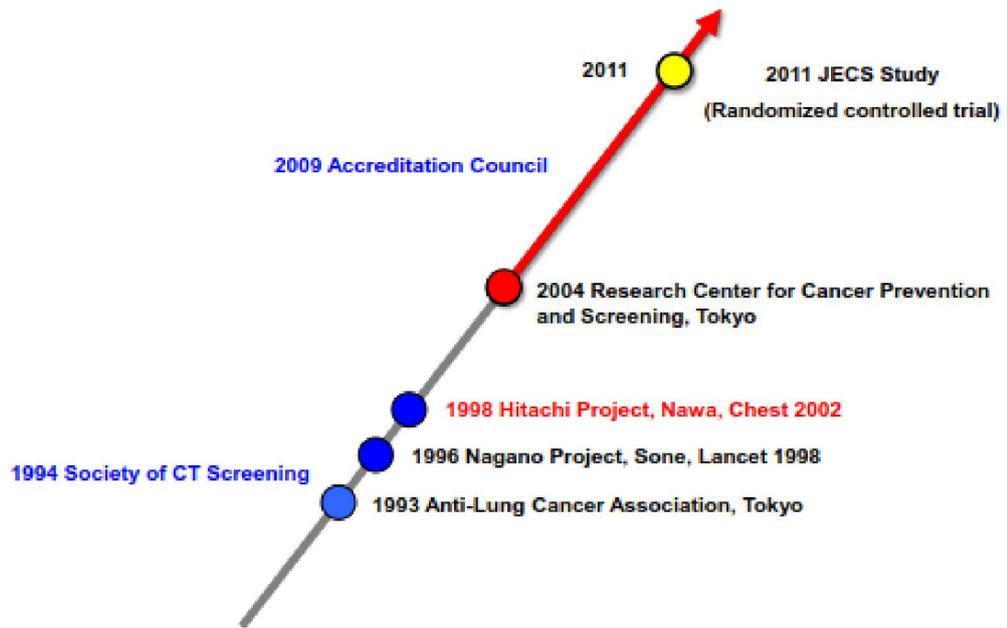


圖 17 日本 CT 肺癌篩檢期程



圖 18 輻射醫療應用之提問與討論情形

(四) 壁報論文發表(Poster Presentation)

本次研討會壁報論文發表於第2天傍晚假大阪大學中之島中心4樓舉行，來自日本各大學及研究單位共計發表7篇論文（表3），採現場口述及提問等方式進行，並由主持人做最後之總講評。除與會的專家學者外，亦有不少日本大學生參與，以把握難得之機會向專家學者請益，現場討論氣氛熱烈（圖19, 20）。

表3 壁報論文發表議題

P01	The influence of low dose-rate radiation on the mutation frequency in <i>Drosophila</i> Tomonori Onishi (Kansai University)
P02	Two-step model for the occurrence of retinoblastoma Tetsuhiro Kinugawa (Kansai University)
P03	Analysis of Childhood Thyroid Cancer Incidence in Fukushima based on Dose Response Relationship Takahiro Wada (Kansai University)
P04	Agendas and Issues of Participatory Dialogues by Junior-High and High School Students from Fukushima Hama-doori and Capital Area- "Exciting Class 2017" by Junior-and High Students on Thyroid Screening Test-Issues and Results of IWAKI Dialogues Tetsuo Sawada (Tokyo Tech.)
P05	The development of ESR dosimetry using human hair Seiko Hirota (Hiroshima Univ. RIRBM)
P06	Particle Therapy System Simulation Framework and its application for probing material composition in patient body Tsukasa Aso (National Institute of Technology, Toyama College)
P07	Twitter analysis of public response to radiation exposure after the Fukushima Daiichi Nuclear accident Kazuko Uno (Louis Pasteur Center for Medical Research)



圖 19 壁報論文發表現場（中間為 Dr. Gayle Woloschak）



圖 20 壁報論文發表現場討論情形

二、參訪大阪府立大學輻射研究中心

本次研討會結束後前往大阪府立大學輻射研究中心參訪（圖 21），該中心位於大阪府堺市，成立於 1959 年，是大阪府立大學研究推廣機構之一（圖 22），擁有日本西部最大的輻射設施。輻射研究中心的輻射設施包括鈷-60 加馬射線輻射照設廠、高能電子束(18 MeV)照射設施、低能量電子束照射設施以及非密封放射性物質作業場所，開放供大學內外的研究人員使用（圖 23）。



圖 21 輻射研究中心大門口與 C12 棟外觀

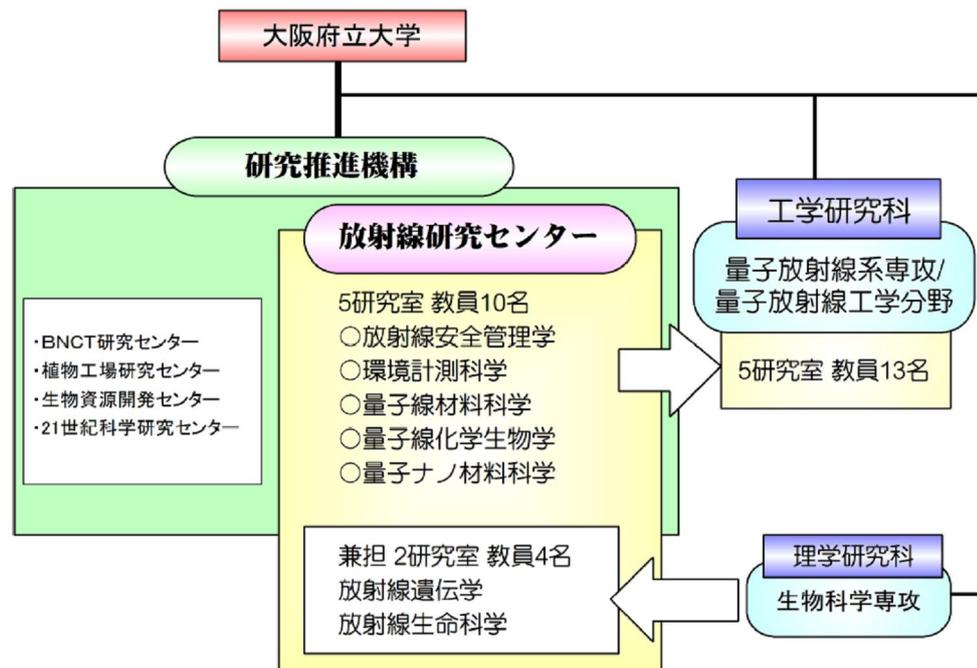


圖 22 大阪府立大學之研究推廣機構



圖 23 輻射研究中心各部門位置圖

本次參訪主要是瞭解鈷-60 照射廠輻射防護管理與實際運作情形，由該中心輻射安全管理研究室松浦寬人(Hiroto Matsuura)教授和秋吉優史(Masafumi Akiyoshi)副教授接待（圖 24），兩人表示輻射安全管理研究室不僅建立了輻射源安全系統，也進行環境輻射測量，並負責輻射教育等業務，並表示該中心最大的特點是在日本的研究機構擁有最高劑量率(50 kGy/h)的鈷-60 照射廠，總活度達到 1800 兆貝克(TBq)。

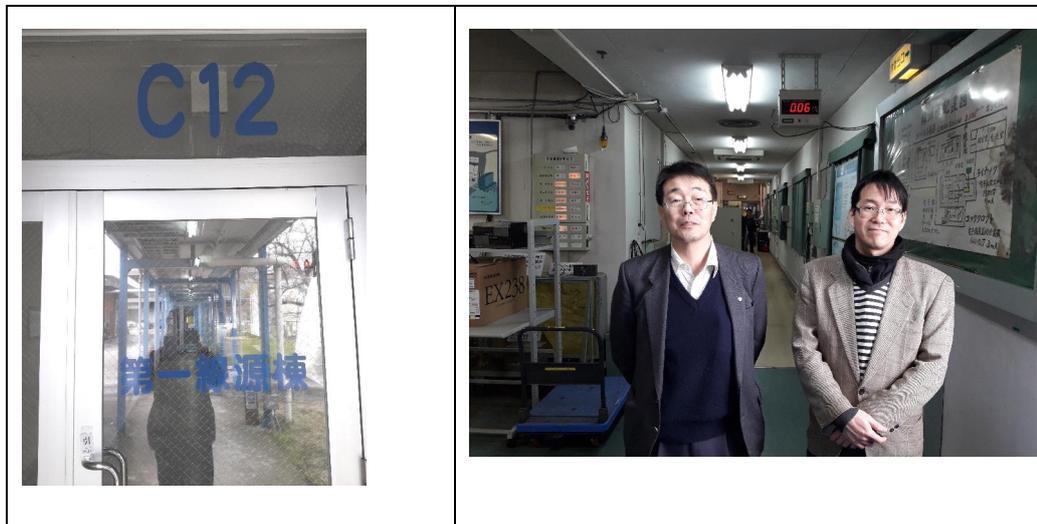


圖 24 C12 線源棟入口、松浦寬人教授（左）與秋吉優史副教授（右）

進入輻射管制區前，松浦教授先提供參訪者人員劑量計；進入管制區後須換鞋，並於「入棟者記錄簿」登記（圖 25 左），接著引導參訪者參觀整個鈷-60 照射廠，由秋吉副教授介紹整廠概況（圖 25 右），松浦教授在旁補充說明。該照射廠由 4 個照射室和 1 個照射池組成（圖 26, 27），各照射室資料如表 4 所示，不但可 24 小時持續照射，由於具有從低劑量率到日本國內最高劑量率，可供使用者依需求選擇不同照射室、射源活度和距離來進行照射。



圖 25 （左）松浦教授協助出入登記；（右）秋吉副教授介紹鈷-60 照射廠

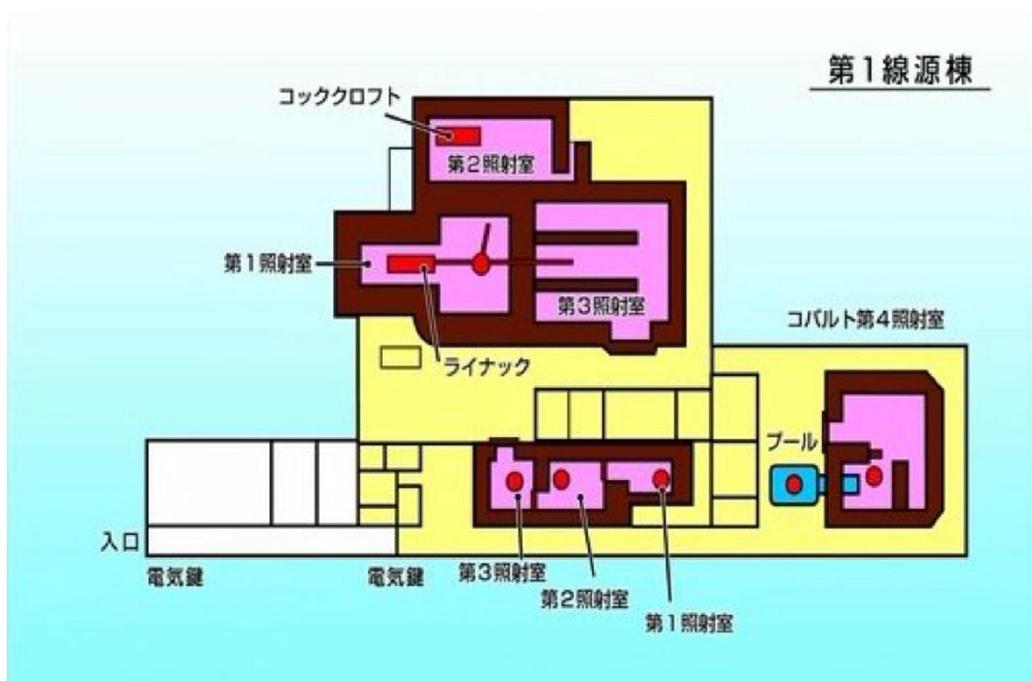


圖 26 鈷-60 照射廠各照射室相對位置

表 4 鈷-60 照射廠各照射室資料

照射施設の名称	施設の大きさ (m)	ガンマ線源の数量 (TBq)	利用線量率 (Gy/h)
第 1 照射室	2 × 3 × 3	97.6	1~100
第 2 照射室	4 × 4 × 3.1	78.6	10~100
第 3 照射室	4.5 × 4.5 × 3.4	0.66	0.1~1
第 4 照射室	8 × 11 × 4.5	1,623 (照射プールと線源を共有)	100~1,000
照射プール	3 × 5 × 5	1,623	10,000~ 50,000

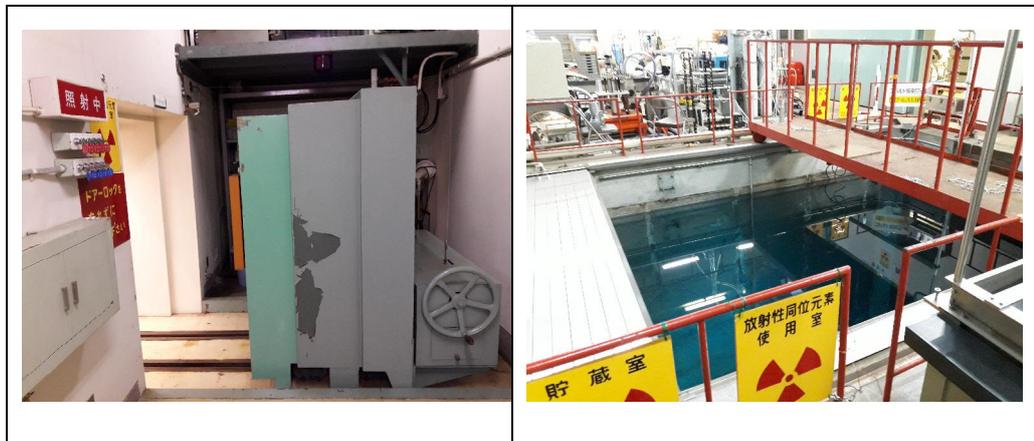


圖 27 (左) 第 1 照射室及 (右) 照射池外觀

秋吉副教授表示該照射廠廣泛應用於工業，醫療，農業及學術等領域，用戶範圍從製造商、檢驗公司到各大學和研究機構都是，應用項目包括各種電子零件的抗輻射測試與材質改進、玻璃和珠寶的著色、食品滅菌和醫療器械消毒、輻射偵檢器的校驗和特性測試、動植物接受曝露後之輻射生物效應研究等。

接著就照射廠輻射防護管理方面交換意見，該照射廠設有兩道門禁

管制措施，第一道位於 C12 線源棟入口（圖 24），第二道位於輻射管制區入口（圖 28 左）；進入管制區的人員須有防護措施(訪客於進入管制區前會給予人員劑量計等)，並於管制區入口處登記進出時間等。此外，管制區入口設有輻射示警標誌及輻射安全相關規定，區域偵檢器讀值亦設於該處，以便確認管制區之輻射安全，其他如照射時啟動警示燈號等皆與我國輻射作業安全規範相近。

有關保安措施部分，該照射廠也是遵照國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA) 第一、二類高風險密封放射性物質相關規範，例如照射廠入口設置門禁刷卡系統管制人員出入，並設置監視錄影系統（圖 28 右）等。秋吉副教授表示對於射源貯存場所應設置「雙重屏障」部分，日本管制機構認為該照射廠射源貯存室只有單層屏障，因此要求改善；然而此單層屏障已厚達 1 公尺，秋吉副教授表示他們還在思考該如何增加第二層屏障。職則認為該照射廠射源貯存室屏障及其建築物門禁應可視為雙重屏障，應已符合 IAEA 第一、二類高風險射源保安措施之規範。



圖 28 （左）輻射管制區入口與（右）監視錄影系統

另有關輻防管制法規部分，日本保健物理協會(Japan Health Physics Society, JHPS)曾於 2010 年第三屆亞太區域輻射防護會議(AOCP-3)報告表示（圖 29）：若 IAEA 新的基本安全標準(Basic Safety Standards, BSS) 於 2010 至 2011 年公布，則其國內輻防法規或標準預計於 2013 至 2015

年，亦即 IAEA new BSS 公布後 3 至 4 年修訂。由於 IAEA new BSS 已於 2014 年公布，因此研判日本輻防相關法規可能於 2017 至 2018 年修訂。此次參訪時就此部分和松浦教授及秋吉副教授交換意見，兩位表示日本新的輻防法規即將完成修訂，因此參訪時討論到的管制規定可能會有修正，惟此部分係屬日本管制機構權責，且修訂之內容尚未公布，故不便提供相關資訊。



圖 29 日本將 ICRP-103 建議書及 IAEA BSS 納入法規體系

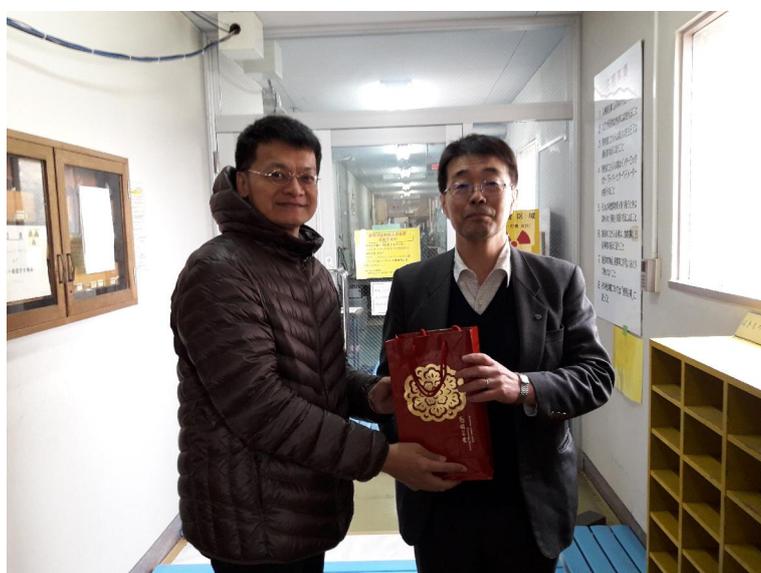


圖 30 參訪後與松浦教授等合影留念

參、心得與建議

本次參加輻射生物效應國際研討會並參訪大阪府立大學輻射研究中心鈷-60 照射廠，獲益良多，謹提供個人心得與建議各兩項供參：

心得一：從本次研討會對於低劑量輻射效應及 LNT 模型的探討有更具體的瞭解。LNT 模型是一個藉由高劑量曝露結果回推低劑量曝露而得到的「假說」(或假設)，因為在低劑量範圍目前尚無法得到實證。從本次研討會可知：在低劑量輻射曝露研究上，已有動物實驗數據反映出和由 LNT 模型推估的結果有所差異，也有專家學者提出新的劑量與反應模型。但無論如何，LNT 模型是建構在「以輻射防護為目的」而產生的假說，在尚未有其他更適合之模型或論述足以反對它之前，LNT 模型(假說)目前仍是輻防界(如 ICRP 等)用來評估低劑量風險的依據。

心得二：本次研討會雖僅有 3 天，但內容橫跨保健物理、輻射生物效應、輻射醫療應用、醫療影像處理技術及大數據分析等領域；會後參訪當地非醫用輻射設施管制，並就管制實務及輻防法規交換意見，行程緊湊但獲益良多。此外，研討會主辦單位鼓勵日本高中生參與，除於會場保留高中生座位，並另設高中生專題報告討論室(High school Special Session)，來自日本各高中共計發表 9 篇專題報告。而且不僅此次會議，在其他大型國際研討會(如前述之 AOCRP-3 等)，亦見學生參與及發表，由此可推測日本在學校的輻射知識與應用推廣，應已有一定基礎。

建議一：持續關注國內外對低劑量曝露和健康效應之研究報導，並就國內情況提出適當之論述：

國內外對於低劑量輻射曝露對健康的影響，目前仍有不同意見，有的認為若高估低劑量輻射的風險，可能會造成民眾對於輻

射應用的排斥；也有認為若低估其影響，可能會增加致癌或遺傳等機率效應的風險。然而，無論是既存的輻射屋，還是未來核能電廠除役後的環境，或是從醫學診斷到民生消費性商品，以及天然放射性物質(NORM/TENORM)的應用等，民眾都有可能長期接觸低劑量曝露的環境。因此，建議持續關注國際間對低劑量曝露和健康效應之研究報導，俾利提出適合國內情況之論述，以解除民眾疑慮。

建議二：持續關注日本輻防管制法規或標準修訂情形，以供本會修訂相關法規之參考：

本次參訪大阪府立大學輻射研究中心鈷-60 照射廠，承蒙該中心同仁接待，其對我國的輻射教育發展及輻射照射場等亦感興趣，並表示日本輻防法規即將修訂完成，惟囿於權責不便提供資訊。因此，建議本會與日本相關單位交流時（例如「台日核能管制資訊交流會議」等），可就管制法規或標準修訂等議題交換意見，以供本會參考。另亦可藉由「中日工程技術研討會」等會議，就本會關注之輻防議題，邀請日方專家學者來台分享實務經驗，並參訪輻射設施（如學校、醫院或照射廠等），以提升雙方民用核能應用之經驗交流。

肆、 参考資料

1. 大阪大學 <http://www.osaka-u.ac.jp/ja>
2. International Workshop on the Biological Effects of Radiation Proceedings.2018
3. International Workshop on the Biological Effects of Radiation <https://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/~ber2018/>
4. Tatjana Paunesku, et al. Biological basis of radiation protection needs rejuvenation. International Journal of Radiation Biology. 2017
5. Kimio Tanaka. Dose-Rate Effects on Life Shortening and Frequencies of Chromosome Aberrations at Low-Dose-Rate Range in Chronically Irradiated Mice. Institute for Environmental Sciences (IES). 2013
6. John D. Boice, Jr. LNT 101. The Boice Report. 2015
7. 福田光宏. RI 製造用高強度小型加速器開発の進捗状況と今後の計画.大阪大学核物理研究センター(RCNP). 2015
8. Intel White paper: Big Data Analysis of Clinical Records for Cancer Care. 2016
9. Nawa T, et al. A decrease in lung cancer mortality was seen following the introduction of low-dose chest CT screening in Hitachi, Japan. 2012
10. 大阪府立大學地域連携研究機構放射線研究センター <http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/index.html>

伍、致謝

首先要感謝輻射防護處的長官及同仁們的支持，以及綜合計畫處、人事室及主計室長官與同仁的協助；另要感謝日本 BER 2018 秘書處的接待，以及大阪府立大學輻射研究中心松浦教授與秋吉副教授等人協助安排參訪，使這次出國行程順利而圓滿。

陸、附件

輻射生物效應國際研討會(BER 2018)議程

1st day (19th March)

8:45 -	The hall & the reception desk (at 10F lobby) opening
9:30 -	Opening address Dr. Wolfgang Weiss (ex-UNSCEAR Chair) Overview of this workshop Dr. Yoshiharu Yonekura (ex- NIRS President, ex-UNSCEAR Chair)
9:45 - 11:45	Morning session 1.1. Dose and Dose-rate Effects Chairperson: Dr. Ulrike Kulka (BfS)
1M01	Dose- and Dose-Rate Effects of Ionizing Radiation for Cancer Incidence and Life-Shortening. Dr. Gayle Woloschak (Northwestern University)
1M02	Life span and tumorigenesis in mice exposed to continuous low dose-rate gamma rays. Dr. Ignacia Braga-Tanaka (Institute for Environmental Sciences)
1M03	How high can you go, radionuclide therapy is effective at low dose rate. Dr. Mark Konijnenberg (Erasmus MC)
11:45 - 13:00	Lunch break
13:00 - 15:30	Afternoon session I 1.2. From Mutation to Cancer Chairperson: Dr. Masako Bando (Kyoto University, Osaka University)
1A11	Overview: The divergence of approaches from molecular biology and macro level. Dr. Masako Bando (Kyoto University, Osaka University)

1A12	Responses to low dose radiation in vivo: DNA damage, aging, and immune regulation. Dr. Yi Wang (CNL)
1A13	Dose-rate effects of lymphocyte chromosome aberrations in chronically irradiated mice after age adjustment. Dr. Kimio Tanaka (Institute for Environmental Sciences)
1A14	WAM model - a dynamic equilibrium model for the dose-rate effect. Dr. Yuichi Tsunoyama (Kyoto University)
	Panel discussion "Overcome the divergence of approaches of molecular biology from macro level."
15:30 - 16:00	Coffee break
16:00 - 18:00	<p>Afternoon session II</p> <p>1.3. Activities of the Consortium for Medicine, Chemistry and Physics at Osaka University</p> <p>Chairperson: Dr. Atsushi Shinohara (Osaka University)</p> <p>Opening</p> <p>Dr. Atsushi Shinohara (Graduate School of Science, Osaka Univ.)</p> <p>16:05 - 16:20 1A21 Medicine and science collaborative research for targeted alpha therapy in Osaka University. Dr. Koichi Fukase (Graduate School of Science, Osaka Univ.)</p> <p>16:20 - 16:45 1A22 Production and isolation of At-211 for targeted alpha therapy at Osaka University. Dr. Zijian Zhang (Graduate School of Science, Osaka Univ.)</p> <p>16:45 - 17:10 1A23 Radiolabeling of small molecules with astatine(²¹¹At) for theranostics. Dr. Yoshifumi Shirakami (Graduate School of Medicine, Osaka Univ.)</p> <p>17:10 - 17:35 1A24 Preparation of novel anticancer drugs using At-211. Dr. Kazuya Kabayama (Graduate School of Science, Osaka Univ.)</p> <p>17:35 - 18:00 1A25 Imaging of the targeted alpha therapy for the clinical application. Dr. Tadashi Watabe (Graduate School of Medicine, Osaka Univ.)</p>

15:00 - 15:30	Coffee break	
15:30 - 17:30	<p>Afternoon session II</p> <p>2.3. Radiation Biology and Medical Use</p> <p>Chairperson: Dr. Akihiro Haga (Tokushima University)</p> <p>2A21 Contribution of biological analysis platform to optimize the medical use of ionizing radiation. Dr. Ulrike Kulka (BfS)</p> <p>2A22 Quantitative personalized oncology - Mathematical models for precision radiotherapy. Dr. Heiko Enderling (Moffitt Cancer Center)</p> <p>2A23 Medical radiation protection research strategies in Europe and the role of the medical physicist in Europe. Dr. Christoph Hoeschen (Otto-von-Guericke University)</p>	
18:00 - 19:30	Poster session	Room No.406 (4F)
19:30 - 21:30	Reception (Welcome meeting)	Salon (9F)

3A11	Radiation protection in therapy with radiopharmaceuticals. Dr. Makoto Hosono (Kindai University)
3A12	Experimental evaluation of the carcinogenic effect of carbon ions and neutrons in children. Dr. Tatsuhiko Imaoka (NIRS, QST)
3A13	Second cancer after radiotherapy. Dr. Jean-Marc Cosset (Amethyst Group, former ICRP C3 member)
15:00 - 15:30	Coffee break
15:30 - 17:30	Afternoon session II 3.2.2. New medical equipment for less radiation dose Chairperson: Dr. Makoto Hosono (Kindai University)
3A21	Cancer risk from paediatric CT scanning. Dr. Elisabeth Cardis (Institut de Salut Global de Barcelona)
3A22	Low-dose CT screening for lung cancer. Dr. Takeshi Nawa (Hitachi General Hospital)
3A23	Development of low dose diagnostic CT. Dr. Takashi Tanaka (Canon Medical Systems)
17:30 - 17:45	Closing Remarks