

# 行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別： 其他 )

## 赴日參加 2013 年日本醫學物理學會會議 暨參訪日本國立癌症中心東病院（NCCH）

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：陳志平 簡任十一職等技正兼科長  
范盛慧 薦任九職等技正

出國地區：日本

出國期間：102 年 09 月 14 日至 09 月 21 日

報告日期：102 年 10 月 21 日

# 目 次

## 摘 要

### 壹、出國目的與行程

一、前言..... 1

二、行程..... 1

### 貳、出席 2013 年第 106 屆日本醫學物理學會會議..... 2

一、市民公開演講..... 2

二、日本醫學物理師現況..... 6

三、國際醫學物理組織 50 年的回顧與展望..... 9

四、日本粒子治療現況..... 11

五、放射治療系統於地震前後之品保及輻射安全檢測. 13

### 參、參訪日本國立癌症中心東病院質子治療設施（National Cancer Center Hospital East）..... 14

肆、心得與建議..... 18

伍、附件及參考資料..... 20

## 摘 要

本次奉派出國主要目的是赴日參加 2013 年第 106 回日本醫學物理學會會議，並順道參訪日本國立癌症中心東病院質子治療設施。

本會自 94 年起大力推動輻射醫療曝露品保作業，期從建立制度、法規及技術層面進行規範與輔導，要求醫療院所確實執行各項醫療曝露品保作業，使受檢者在接受合理的劑量下，獲得最佳的診斷影像，以保障國內接受放射診斷檢查者的輻射安全與醫療品質，在放射治療方面，確保接受放射線治療的民眾劑量是照的不多不少、不偏不倚，得到最好的治療品質。

日本醫學物理學會年會會議中，發表許多與放射治療醫療品保、劑量正當化等相關的論文，聽取日本最新的醫療曝露品保作業規範及執行方式、參訪日本國立癌症中心東病院質子治療設施，除可了解該院執行質子設施的實際運轉狀況外，並可參考日本質子治療輻射防護及醫療曝露品保相關規定，作為國內質子治療設施輻射防護管制及未來本會精進放射治療醫療曝露品保作業之參考，保障就醫病患之健康與安全。此外年會會議中，針對日本醫學物理師的培育制度部分，也有詳盡的說明，可以作為國內推行醫學物理師制度的參考。

## 壹、 出國目的與行程

### 一、 出國目的

由於科技發達，醫療院所使用可發生游離輻射設備及放射性物質診治病患，已非常普遍，且相關醫療設備及器材愈來愈精密，相對的病患至醫療院接受的醫療曝露的機會也隨之增加，根據衛生福利部 101 年的統計資料顯示，每年接受乳篩的婦女有 62.7 萬人、接受電腦斷層掃描檢查的民眾有 175 萬人次、接受放射治療的有 118 萬人次，可以得知國民的醫療劑量與日俱增。本會自 94 年起大力推動輻射醫療品保作業，期從建立制度、法規及技術層面進行規範與輔導，要求醫療院所確實執行各項品保作業，使受檢者在接受合理的劑量下，獲得最佳的診斷影像，以保障國內接受放射診斷檢查者的輻射安全與醫療品質；在放射治療方面，確保接受放射線治療的民眾，劑量是照的不多不少、不偏不倚，得到最好的治療品質。

近年來各種癌症的發生率都持續上升，新的癌症治療技術也日益更新，國內林口長庚醫院的質子設施目前已進入試運轉的階段，因此本次奉派出國參加日本第 106 屆醫學物理學會會議，並順道參訪日本國立癌症中心東病院質子治療設施，除了可了解日本質子治療輻射防護及醫療曝露品保相關規定與現況外，並與相關與會醫學物理師進行經驗交流，會後參訪日本國立癌症中心東病院質子治療設施，更可了解目前日本質子治療最新的技術與運作現況，可供國內質子治療設施輻射防護管制參考，進而保障就醫病患之健康與安全，並作為未來本會精進輻射醫療曝露品保作業及管制之參考。

### 二、 行程

102 年 9 月 14 日（星期六）台北啓程—抵達日本大阪

102 年 9 月 15 日（星期日）假日

102 年 9 月 16 日（星期一）日本醫學物理學會年會  
102 年 9 月 17 日（星期二）日本醫學物理學會年會  
102 年 9 月 18 日（星期三）日本醫學物理學會年會  
102 年 9 月 19 日（星期四）路程暨參訪日本國立癌症中心東病院  
102 年 9 月 20 日（星期五）假日  
102 年 9 月 21 日（星期六）東京回程

## 貳、 出席 2013 年第 106 屆日本醫學物理學會會議

日本醫學物理學會 JSMP(Japan Society of Medical Physics)其前身是 1953 年 11 月成立的日本醫學放射線學會物理委員會，因為近年來醫療技術迅速的發展，醫學物理在放射治療方面，已成為不可缺少的技術，因此 2000 年從日本醫學放射線學會獨立出來，成為日本醫學物理學會，總部設於東京都新宿區山吹町，目前會員約 1900 人。JSMP 成立的目的是推動物理在醫學及生物上的應用，並且舉辦各種醫學物理師相關的訓練，發行多種科學期刊例如醫學物理、Radiological of Physics and Technology，並定期出版相關技術報告及辦理相關研討會，以及參與日本醫學物理師的認證工作。

本次會議從 9 月 16 日至 9 月 18 日共 3 天，在大阪大學會議中心舉行。第一天是學會訓練課程及對民眾的公開演講，第 2 及第 3 天則為專題演講及一般教育演講及壁報展示等。

### 一、 市民公開演講

日本醫學物理學會每年春秋各舉辦 1 次學術會議，其中秋季大會時，均會針對不同的話題舉辦市民公開演講，讓民眾了解輻射在醫療方面最新的發展。醫學物理學會舉辦會議前，在會議的網頁上註明市民演講需要事先用明信片報名，接受報名後會以明信片通知民眾會議的地點及時間，今

年的講題是「不需開刀簡單治癒癌症---最尖端放射治療」，與會民眾非常踴躍，大都是中高年齡層的民眾，顯見日本民眾對於健康的議題非常的重視，演講內容分為 4 個講題，會後並舉辦綜合討論讓民眾提出問題，演講內容摘述如下：

(一) **放射治療與醫學物理師**(大阪大學研究所醫學系研究科 大谷侑輝 教授主講)

目前日本每 2 個人中就約有一個人會罹患癌症，已是日本死亡原因的第一位，可說是非常嚴重的國民疾病。癌症的治療方法大致分為開刀切除、化療或放射治療，近年來由於電腦科技神速的發展，使得放射治療設備也有很大的改進，選擇接受放射治療癌症的病患，也佔癌症病患中很高的比例。和其他了兩種癌症治療的方式比較，放射治療最大的好處是可以減少對身體的負擔、可以保存器官的功能及型態，例如喉癌的病患切除後將失去發聲的功能，變的無法正常說話，放射治療則沒有這些缺點，對於高齡或有併發症的病患而言，放射治療也是較好的選擇。

在放射治療過程中，醫學物理師是不可或缺的人物，但是醫學物理師到底是屬於醫學還是物理?很多人都不清楚，在演講中詳細的說明了醫學物理師在整個治療計畫中負責的工作，是將物理工程的知識運用於醫療的一個科目，很令人驚訝的是與會的民眾約 99%的人都沒有聽過醫學物理師這個名稱。

(二) **放射治療技術的更新---強度調控放射線治療**(京都大學研究所醫學研究科 溝脇 尚志 教授主講)

強度調控放射治療(IMRT)是最新的 X 光治療技術，它和傳統的 X 光放射治療最大的不同點是(1)以往完全利用人工計算訂定的治療計畫，部分改由電腦軟體程式的協助來處理。(2)利用電腦控制放射治療設備進行複雜的治療計畫。換句話說 IMRT 可以說是電子產業運用於臨

床醫療成功的例子。

由於這種新的技術，以往治療上非常困難的腫瘤，因為可以正確的用更高的劑量、並且降低周圍重要器官劑量，兩全其美的治療方式下進行，確實在臨床上有很好的治癒率。目前常用來治療腦部腫瘤、攝護腺癌、頭頸部癌症、子宮癌、胰臟癌等。在演講中除了以淺顯的方式介紹 IMRT 的原理外，並且展示各種癌症治療的成果，同時也分析了 IMRT 的缺點以及爲了克服 IMRT 瓶頸所做的各項努力，例如呼吸調控設備的研發等，希望減少因爲呼吸位移而影響 IMRT 的治療結果。

### (三) 硼中子捕獲治療法 BNCT(京都大學原子爐實驗所附屬粒子線腫瘤研究中心 小野 公二 教授主講)

硼中子捕獲治療法 BNCT 的原理是利用硼與熱中子作用產生鋰並放出  $\alpha$  粒子，利用  $\alpha$  粒子的能量來殺死癌細胞，由於是直接作用在細胞分子內，且因爲  $\alpha$  粒子的射程非常短，幾乎對鄰近的細胞沒有影響。因此可以用很高的劑量來殺死癌症細胞、且不會損傷正常的細胞；美國大約從 1951 年起就開始發展這種治療癌症的方法，但是並沒有得到良好的成效，因而中斷這方面的研究，治療效果不佳的原因是硼的化合物無法集中於腫瘤患部、熱中子在人體表面就被吸收無法深入患部、再加上必須在能產生熱中子的原子爐進行照射等，這些限制使得治療成效並不佳。近年來由於使用新的硼化合物(BSH)因此獲得較佳的成果，進而再次引起世界各國對於硼中子捕獲治療法的研發。

京都大學原子爐實驗所利用住友公司研發的 BNCT 用迴旋加速器取代原子爐來生產熱中子，(住友公司研發的 BNCT 用迴旋加速器，質子電流最大值 2mA、能量 30MeV；利用迴旋加速器產生之質子撞擊 5mm 鈹靶產生中子)其生產之熱中子強度爲原子爐的 1.8 倍，5 公分處的熱中子強度約爲原子爐的 2 倍。

這次演講中小野教授介紹了許多接受硼中子捕獲治療後腫瘤縮小的照片以及存活率增加的圖示，例如在腦瘤部分一般的存活期約 10~12 個月，經過硼中子捕獲治療後 2 年存活率約 50% 。

過去硼中子捕獲治療法大多用於治療癌症復發已沒有其他療法的病患，由於 BNCT 用迴旋加速器研發成功，（不必像原子爐一樣有很多麻煩的管制規定、每年要停爐歲修 3 ~ 4 個月等）、加上新的硼化合物不斷的研發，未來對於癌症治療應有很大的功效。

#### (四) 重粒子治療(群馬大學重粒子醫學研究中心 金井 達明 教授主講)

美國從 1970 年起開始研發重粒子治療技術，日本放射線醫學研究所以及德國重離子研究所繼之進行研發，目前日本及歐洲已設立了重粒子醫療設施，以日本重粒子治療先驅的放射線醫療研究所為例，至今已治療超過 7000 人以上的患者，治療效果非常好。群馬大學也從 2010 年開始使用碳粒子治療病患。

由於要將碳粒子加速到一定的能量需要很大的加速器，群馬大學的迴旋加速器直徑約 20 公尺，重粒子的能量比質子更高，對於細胞的殺傷能力更大，相對的生物效應約為質子的 2 倍。在日本重粒子治療平均須治療 13 次、3 週( 1 ~ 5 週)，所需費用為 314 萬日圓，目前僅進行水平及垂直方向的照射，和質子治療設施不同的並沒有會旋轉的機架，而是利用移動病人的方式來進行治療，雖然目前重粒子治療尚屬於研發的階段，目前仍有許多問題尚待解決，但未來對於癌症的治療應有很大的功效。

日本醫學物理學會邀請各方面的專家，以非常淺顯易懂的方式，將他們的專業介紹讓民眾了解，經過說明後民眾也很熱烈的提出問題參與討論，例如民眾詢問醫學物理師證照的問題、治療排程的問題、放射治療適用性等問題，與會的專家們均一一答覆。反觀國內目前相關學會舉辦學術

會議時，很少有同時針對一般民眾舉辦專題演講的情況。

## 二、 日本醫學物理師現況

日本的醫學物理師現況和台灣的醫學物理師現況相似，其資格的取得並非採國家考試的方式，而是由醫學物理士認定機構(JBMP)來認定；在台灣的醫學物理師現況則是由醫學物理師學會考試認證，日本醫學物理師現況簡述如下：

### (一) 醫學物理師的培育

2007 年由於日本政府實施「癌症對策基本法」，文部科學省成立了「培育癌症專家」的計畫，在此計畫經費的支援下，有幾個大學的研究所開設了放射治療方面的醫學物理教育課程，使得有系統的醫學物理教育，在日本得以急速的發展。這些教育課程必須取得醫學物理士認定機構(JBMP)的認證後，修習課程獲得碩士以上學位的學員，才能取得醫學物理師認證考試的資格。

目前取的認證合格的學校如下表

系所名稱	名稱	認定學程
筑波大學研究所人類綜合科學研究科	醫科醫學物理學程	碩士
	醫學物理學人才培養學程	博士
	住院醫學物理師學程	臨床研修生
大阪大學研究所醫學系研究科醫學專攻	高度臨床醫學物理師培育學程	博士
東北大學研究所醫學系研究科	醫學物理師培育學程	碩士
	醫學物理師培育學程	博士
茨城縣立醫療大學研究所保健醫療科學研究科放射線科學技術專攻	醫學物理學程	碩士
大阪大學研究所醫學系研究科保健學專攻	先端醫學物理學程	碩士
	先端的醫學物理研究學程	博士
北海道大學研究所醫學研究科、理學院	先端醫學物理學程	碩士
	先端醫學物理學程	博士

京都大學研究所醫學研究科放射線醫學講座	醫學物理師培育學程	碩士
	先端醫學物理研究者培育學程	博士
首都大學東京研究所人類健康科學研究科放射線科領域	研究所	碩士
北里大學研究所醫療系研究科學專攻碩士課程	醫學物理師、癌症專科放射師培育學程	碩士
九州大學研究所醫學系學府	醫學物理師、放射治療品質管理士培育學程	碩士
東京大學研究所醫學系研究科	醫學物理師培育學程	博士
國際醫療福祉大學研究所放射資訊科學 放射線治療學	醫學物理學程	碩士
東海大學研究所醫學系研究科	醫學物理師培育學程	碩士
廣島大學研究所醫齒藥保健學研究科醫齒科學專攻	醫學物理師培育學程	碩士

必需修習的科目及學分如下表

科目			最少時數	最少單位(1小時為1單位)
基礎科目	基礎物理學(至少選2科共8單位)	力學(必修)	30	2
		電磁氣學(必修)	30	2
		熱力學、統計力學(選修)	30	2
		量子力學(選修)	30	2
		原子核物理學(選修)	30	2
	物理數學(選修)		15	1
	解剖學(必修)		15	1
	生理學(必修)		15	1
	病理學(必修)		15	1
	放射線物理學(必修)		30	2
統計學(必修)		15	1	

保健物理學/輻射防護學（必修）	30	2
放射線診斷物理學（必修）	15	1
核醫學物理學（必修）	15	1
放射線治療物理學（必修）	30	2
放射線計測學（必修）	30	2
資訊處理學/圖像工學（必修）	15	1
醫療資訊學（選修）	15	1
放射線診斷學/核醫學（必修）	15	1
放射線腫瘤學（必修）	15	1
輻射生物學（必修）	15	1
輻防法規及規定/醫療倫理（必修）	15	1
科學英語（選修）	15	1
實習(保健物理學/輻射防護學、放射 診斷物理學、核醫學物理學、放射治 療物理學)（選修）	60	2
臨床研修（碩士選修、博士必修）	30(碩士) 60(博士)	1 2
論文（必修）	60(碩士) 150(博士)	2 5

## (二) 醫學物理師資格認定

日本醫學物理師的認定測驗，是由日本醫學物理士認定機構(JBMP)，依據醫學物理師認定制度規程第 6 條規定辦理考試，考試的內容包括解剖學、生理學、放射線診斷學、核醫學、放射線治療學、輻射生物學、放射線基礎物理學、輻射防護、放射線診斷物理學、核醫學物理學、放射線治療物理學、輻射度量、資訊處理以及輻防相關法規等，每年辦理一次考試。

日本從 1987 年開始實施醫學物理師的認證測驗，測驗方式經過數次的變更，截至 2013 年共進行了 27 次的測驗，醫學物理士認定機構(JBMP)是從 2009 年開始辦理醫學物理師的認定測驗，由於 2012 年修訂了醫學物理師認定制度規程及施行細則，和 5 年前考生的資歷相比較，目前理工科系畢業具有碩士學位的考生增加很多。

從 2003 年開始醫事放射師也能參加醫學物理師的認證測驗後，參加考試的人數激增，每年合格人數約 50 至 100 人之間，合格率約 30%。下表為近年來參加測驗人數及合格率。

作成 2012.10.13  
修正更新 2013.09.24

西曆 (年度)	平成 (年度)	認定 申請者	受験 資格認定者	受験 資格認定率	受験者数	試験 合格者数	試験 合格率
2005	17				128	87	68.0
2006	18		142		137	65	47.4
2007	19	208	204	98.1	194	76	39.2
2008	20	244	244	100.0	221	80	36.2
2009	21	261	261	100.0	241	74	30.7
2010	22	298	298	100.0	267	103	38.6
2011	23	271	271	100.0	238	75	31.5
2012	24	286	286	100.0	267	80	30.0

\*医学物理士認定機構における認定試験は2009(平成21)年度より

醫學物理師的認證測驗合格、取得日本醫學物理學會（JSMP）或日本醫學放射線學會（JGS）正會員資格、並且符合醫學物理師認定制度規程所訂教育積分、臨床實習時數等認定條件後，才能成為認證合格的醫學物理師，截至 2013 年 2 月，目前日本認證合格的醫學物理師共有 673 人。

### 三、 國際醫學物理組織 50 年的回顧與展望

國際醫學物理組織 (IOMP, International Organization of Medical Physics) 1963 年在英國成立，剛開始只有美國、英國、加拿大及瑞典的醫學物理組織加入，現在 IOMP 已經發展為擁有 84 個國際會員組織、6 個區域組織及超過 18000 名會員的國際組織。IOMP 主要任務為推動全球醫學物理作業，過去以來 IOMP 藉由與其他國際組織合作，推展醫學物理主要的三大領域，包含科學、教育訓練及專業議題。國際醫學物理組織總裁 Kin Yin Cheung 在本次會議中以「50 Years of IOMP and the Way Forward」為題，發表專題演講，本次演講主要內容包括醫學物理師面臨的挑戰與 IOMP 未來的策略與創新作法，現將重點摘述如下：

(一) 根據近來大規模的調查顯示，許多國家在醫學物理師的進入門檻、角

色、責任及人力的需求上有很大的差異，這主要原因在於醫學物理屬於健康照護的專業及醫學物理師在臨床的重要性，尚未被全球所建立與認可。現今各國使用高科技輻射醫療技術非常普遍，一項由 AFOMP 調查顯示，在 2008 年到 2011 年間，先進的放射治療設備增加了 102%，傳統放射治療設備也增加了 11%，同時間醫學物理師人數雖然增加了 30%，但對照 IAEA 每 400 個病患配置 1 個醫學物理師的建議，醫學物理師不足的現象依舊存在，講者要大家思考一個問題：高科技醫療技術的大量投資，如果缺少醫學物理師的協助，其臨床的效益是否真能完全實現？

(二) 高科技醫療器材的使用愈來愈多，醫學物理師的教育訓練也必須跟著進步，但根據 IAEA、EFOMP 及 AFOMP 在 77 個國家的調查顯示，大部分的國家並沒有一個對醫學物理師進行教育及訓練的正式組織，這樣將無法訓練出足夠數量高品質的醫學物理師來面對增加的需求。此外，根據多區域的調查顯示，多數的開發中國家都沒有對醫學物理師專業證明的認證系統，這些認證系統在歐洲及北美洲的開發中國家都已建立。然而，多數的認證系統都沒有官方的認可或法源依據。事實上，多數國家的衛生當局在健康專門職業方面並不承認醫學物理師。甚至多數民眾對醫學物理師的角色及責任也都不是很清楚。

(三) 為了解決上述問題，IOMP 採取了許多方法，其中之一是 IOMP 目前已經成功使聯合國的國際勞工組織（ILO）將醫學物理師的專門職業

列入國際職業分類標準（ICSO-08），的第 2 主群（Professionals）、第 21 次主群（Science and engineering professionals）、第 211

Groups	Major Groups	Sub-major Groups	Minor Groups	Unit Groups
Total No.	10	43	130	436
1.	Managers			
2.	Professionals	21 Sci. & Eng. Prof.	211 Physical & Earth Sci. Prof.	2111 Physicists & Astronomers
3.	Technicians & Assoc. Prof.	22 Health Prof.	226 Other Health Prof.	2269 Health Prof. Not Classified Elsewhere
4.	Clerical Support Workers	23 Teaching Prof.		
5.	Service & Sales Workers	Etc.		
6.	Skilled Agricultural, Forestry etc.			
7.	Craft and Related Trades			
8.	Plant & Machinery Operators			
9.	Elementary Occupations			
10.	Unemployed			

圖一、醫學物理師在國際勞工組織（ILO）的國際職業分類標準（ICSO-08）屬於第 2111 群組（Physicists and astronomers）

次群 (Physical and earth science professionals)、第 2111 群組 (Physicists and astronomers) 如圖一，長期而言這可增加醫學物理師在政府部門的可見度，特別是在國際健康照護及教育系統。IOMP 也提出了策略陳述[4 policy statement No.2]，對醫學物理師應具備的資格與教育訓練的架構提供了指導。IOMP 目前正與 IAEA 合作準備建立醫學物理師教育訓練導則。同時 IOMP 目前正在探究將醫學物理師分為科學與健康照護兩類的可行性，其中科學類的醫學物理師無須負責臨床的責任；健康照護類的醫學物理師則有臨床的責任，也必須要像醫師或藥師一樣在醫學大學接受健康專業的教育與訓練。此外，IOMP 將持續與其他國家或國際組織合作，支援開發中國家的醫學物理師(包括:協助醫學物理師出席科學及教育的活動)，並接受雜誌、刊物及設備的捐贈，支援科學及教育的活動等。IOMP 同時也將包含教育訓練的資源上網，供相關單位及人員參考使用。為了增加政府部門及社會大眾對醫學物理師這個行業的瞭解，從 2013 年起，每年 11 月 7 日的國際醫學物理師日(IDMP, International day of Medical Physics)，IOMP 在各地舉辦一系列的科學及教育活動。

#### 四、 日本粒子治療現況

日本目前共有 8 家質子治療設施 (千葉縣的國立癌症中心東醫院、靜岡縣的靜岡縣立癌症中心、茨城縣的筑波大學附設醫院、福島縣的財團法人腦神經疾病研究所附設南東北癌症質子治療中心、鹿耳島縣的財團法人癌症粒子治療研究中心、福井縣的福井縣立醫院、愛知縣的名古屋西部醫療中心、兵庫縣的兵庫縣立粒子線醫療中心)，4 家碳離子治療設施 (千葉縣的獨立行政法人放射線學研究所、群馬縣的國立大學法人群馬大學醫學部附設醫院、兵庫縣的兵庫縣立粒子線醫療中心、佐賀縣的九州國際重粒子線癌症治療中心)，其中兵庫縣的兵庫縣立粒子線醫療中心同時具備質子及碳離子治療設施。由於粒子治療相對於光子治療，有較佳的劑量分佈，對於腫瘤以外的正常組織所造成的劑量相對較低，因此較大體積的腫

瘤適合使用粒子治療，另粒子與 DNA 的作用主要為直接游離輻射，有較強的 DNA 破壞能力，部分缺氧、對輻射作用較不敏感的腫瘤，亦較適合使用粒子治療。此外，粒子治療時，由於粒子通過身體會產生正子，可藉由 PET/CT 確認粒子行進路徑及照射區域。但粒子治療較光子治療的成本高。本次會議有多位講者發表有關質子治療及碳粒子治療相關主題的演講，其中 Nobukazu Fuwa 介紹位於福島縣的 Southern Tohoku Proton Therapy Center(STPTC) 及位於兵庫縣的 Hyogo Ion Beam Medical Center(HIBMC)。

STPTC 成立於 2008 年 10 月 1 日，為日本第 1 家私立粒子治療設施，該設施使用同步迴旋加速器，可將質子加速到光速的 70%，其 Gantry 重達 180 公噸，可圍繞病患 360 度旋轉；此外該設施配置 PET-CT 作為診斷設備，至 2013 年 1 月 STPTC 總共已經治療了 1852 位病患，其治療部位包括：頭頸部 638 位、肺 254 位、攝護腺 225 位、食道 174 位、肝臟 118 位…等。

HIBMC 在 2001 年成為全球第 1 個可以使用質子及碳粒子的粒子治療設施，該設施也是使用同步迴旋加速器，至 2012 年底總已經治療了 5381 位病患，其治療部位包括：攝護腺 1780 位(全部使用質子)、肝臟 992 位(質子 568 位、碳粒子 414 位)、頭頸部 728 位(質子 299 位、碳粒子 429 位)、肺 515 位(質子 246 位、碳粒子 269 位)、胰腺 314 位(質子 311 位、碳粒子 3 位)、骨及軟組織 199 位(質子 74 位、碳粒子 125 位)…等。另 Nobukazu Fuwa 也對質子治療及碳粒子治療在生物及設備方面進行比較，在 RBE (Relative biological effect) 方面：質子為 1.1，碳粒子為 2~3；在 OER(Oxygen enhancement ratio) 方面：質子較高，碳粒子較低；在 LET (Linear energy transfer) 方面：質子較低、碳粒子較高；在 Radio-sensitivity of cell cycle 方面：質子對於不同分化階段的細胞影響較大，碳粒子因為是直接破壞 DNA 因此與細胞之分化階段無關；在 TGF (Therapeutic gain factor) 方面：質子及碳粒子都有(其中  $TGF = \text{tumor effect} / \text{effect to the surrounding normal tissue}$ )。在設備方面，質子治療室的 gantry 可 360 度旋轉，碳粒子治療室的 gantry 僅有水平、垂直及 45 度角三個方向；在半影 (Penumbra) 方面，

碳粒子較質子佳。對於質子治療或碳粒子治療的選擇部分，基本上 HIBMC 對每位病患都會進行質子治療及碳粒子治療計畫評估，然後選擇劑量分布較佳的治療計畫，一般而言，在相同的情況下，碳粒子總是比質子有較佳的劑量分布。由於碳粒子有較佳的半影區及劑量分佈特性，降低治療區域外正常組織劑量的特性較為明顯，該院對於 skull base tumor、頭頸部癌、肺功能或肝功能較差之肺癌或肝癌患者會優先考慮使用碳粒子治療。

Nobukazu Fuwa 對於質子或碳粒子治療的總結為：在生物效應及劑量分佈方面，碳粒子比質子佔優勢；分析 HIBMC 所治療的結果，質子與碳粒子治療都是有效的，且並沒有重大的不同；對經濟成本而言，質子治療較碳粒子治療佳。

## 五、 放射治療系統於地震前後之品保及輻射安全檢測

在本次會議的壁報展示區，有一篇『Quality control of the radiation therapy system before and after an earthquake with a reporting responsibility』論文，其內容是有關放射治療設施於地震後，對醫用直線加速器進行品質保作業及輻射安全檢測及分析比較。日本氣象廳統計過去 5 年來，日本國內發生 4 級以上的地震超過 400 次。依據日本政府 15 科原安第 26 號的規定（如附件二），發生 4 級以上的地震，設施經營者必須對相關可發生游離輻射設備進行檢測，如有設備異常故障、人員接受曝露、污染或人身事故時，放射線治療設施必須填具附件二的通報書，向原子力規制委員會（Nuclear Regulation Authority）提出通報。

2013 年 4 月 13 日在日本淡路島發生 6.3 級地震，位於和歌山市的日本紅十字會和歌山醫療中心也有 4 級的震度，該院放射治療單位於地震後，立即依規定對該院醫用直線加速器（6、10MV）進行醫療曝露品保及相關輻射安全的測試，並進行地震前後相關測量數據分析，主要測試項目包含該院醫用直線加速器 Collimator、Couch 及 Gantry 旋轉中心軸的機械準確

性，Couch 及 Multi Leaf 位置準確度、劑量輸出準確度、光與輻射照野的一致性、影像驗證系統(OBI、CBCT 或 EPID)準確性及建物輻射屏蔽量測等。經過該院實際量測分析結果顯示，該醫院在 4 級地震後，醫用直線加速器旋轉中心軸的誤差為 0.11mm，Couch 的最大位移為 0.8mm，Output 的誤差為 1.22%，光與輻射照野的誤差為 0.05%，影像驗證系統(OBI)的最大誤差為 0.1mm，醫用直線加速器室屏蔽輻射量測的劑量率誤差在  $0.04 \mu$  Sv/h 以內。此次 4 級地震對該院醫用直線加速器的醫療曝露品保及輻射安全影響輕微，並未達向原子力規制委員會提出通報的情況，但作者建議平日就要做好相關醫療曝露品保作業，面對不可預知的天災，才能確保放射治療設備的性能維持在一定的品質。

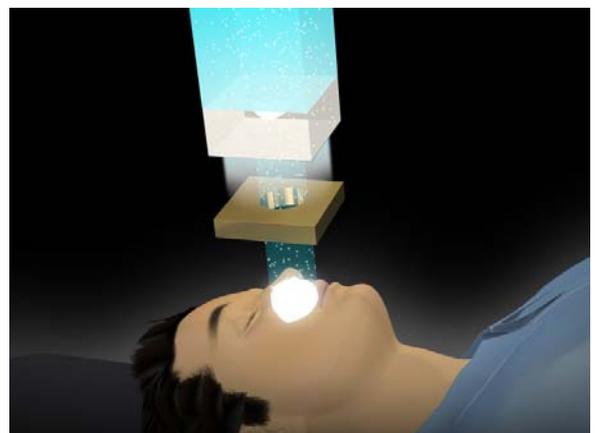
## 參、參訪千葉縣的國立癌症中心東醫院質子治療設施

本會人員於 2013 年 9 月 19 日，前往位於千葉縣柏市國立癌症中心東醫院，參訪該院的質子治療設施，瞭解該設施的運作現況，並與該院迴旋加速器原廠（住友重機械工業公司）人員（古藪幸夫、佐田野奎吾）及醫學物理師（堀田健二）就質子治療設施設置相關法規、輻射安全及醫療曝露品保等議題進行討論。日本醫療院所設置質子治療設施時必須遵守原子力基本法、放射線障害防止法、醫療法、醫療法施行規則、勞動安全衛生法及人事院規則等。醫療院所必須檢送相關證件及輻射安全評估資料，向主管機關提出設置申請，取得許可後即可施工，設施工程完竣後，主管機關會派檢查人員進行現場檢查，確認與原申請內容相同，主要查核重點包含施工平面圖、相關屏蔽材料證明文件（鋼板、鉛、水泥密度）、屏蔽厚度（屏蔽牆、門）、設備位置及性能、示警標誌、安全連鎖裝置及環境輻射測量（包含管制區、環境區域、病房、設施邊界）等；另定期檢查部分，因該院尚有其他醫用直線加速器等放射治療設備，每年主管機關會派 2 位檢查員至該院進行 2 天的檢查，通常以書面紀錄的檢查為主，檢查內容包含：工作人員的教育訓練紀錄（每年接受一次講習）、體檢紀錄（每年

一次)、人員劑量(體外及體內曝露)紀錄、污染偵測紀錄、廢氣廢水排放紀錄、可發生游離輻射設備的使用紀錄(含設備廠牌、型號、使用日期、操作人員姓名、使用時間等)、管制區人員進出紀錄(人員姓名、進出時間、劑量計種類、劑量)、設施輻射安全自主檢查紀錄(醫院提供之資料如附件三)。

國立癌症中心東醫院的質子治療設施面積為 52.5 公尺×30 公尺，主要包含一間迴旋加速器室(迴旋加速器直徑 4.3 公尺、能量為 230MeV、最大電流 900nA、平均在 300nA 以下)、射束傳送系統、2 有間有 Gantry 的質子治療室、一間固定質子束(水平)方向的治療室，因其他治療室已足夠治療病患，因此固定質子束(水平)方向的治療室目前沒有用於臨床治療。該設施於 1998 年正式運轉，為日本第一家質子治療設施(全世界第二家)，至今已有 14 年的運轉經驗，在 2011 年 311 地震時，質子治療設備曾受到輕微影響而產生位移，後來經調整後，設備功能已恢復正常。該院迴旋加速器由原廠工程師操作，且操作人員不需取得政府核發的執照；但在質子治療室，使用質子束治療病患的操作人員，則需具備醫事放射師資格。該院質子治療設施治療的對象以攝護腺癌、肺癌、肝癌的病患者為主，由於該院在去年曾為某位知名的作家治療，因治療成效非常良好，該作家回去後大力為該院質子治療宣傳，以致於該院去年的質子治療人數增加許多(去年共治療 234 人)。該院對質子治療的收費，不分治療的部位及次數，一個病患整個質子治療流程收費為 288 萬日幣。

在治療技術方面，雖然該院第一質子治療室的 Nozzle 已配置多葉準直儀(46 對的 MLC)，但目前尚未使用 MLC，仍以傳統方式製作每一個照野的 collimator。該院目前仍使用 Broad-beam(passive)治療模式治療病患



圖二、質子治療 Broad-beam(passive)治療

(如圖二)。質子束經過照射區域 (target) 後，在 1 公分的距離內，劑量即可由 100% 降為 10%；同樣的距離，10MV 的光子劑量僅降低約 3%，因此放射治療時，如果治療位置會移動，劑量給予的準確性將會受到影響，也會增加正常組織接受的劑量，造成治療上的困擾，特別是粒子治療。對於容易因呼吸而移動的腫瘤(如：肺癌或肝癌)，該院目前在 Broad-beam(passive)的治療模式已搭配呼吸調控技術，此項技術可同步監測病患的呼吸頻率及腫瘤移動的位置，藉由控制質子束輸出的時間，使質子束正確的照射在腫瘤區域，使用呼吸調控技術時，真正質子束照射時間只有 2~3 分鐘，但加上呼吸調控的過程，一位病患總治療時間約 15 分鐘。另該院預計今年秋天才會使用 scanning-beam 的治療模式，屆時也將逐步將呼吸調控技術應用在 scanning-beam 的治療模式上，而質子治療的強度調控 (IMPT) 也還在研發中。

該院第二直子治療室設置了一台 on-rail CT，病患治療前可透過機械手臂控制的 couch 將病患送至該部 CT 進行定位，完成定位作業後，病患不需移動，機械手臂會自動將 couch 及病患移至質子治療位置。當病患完成質子射束治療後，因身體內的  $^{16}\text{O}$ 、 $^{14}\text{N}$ 、 $^{12}\text{C}$  經質子活化後，產生  $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$  等半化期在 2~20 分鐘左右的活化核種，這些短半化期的核種會在短時間內產生能量在 1MeV 附近的正子（主要來自於  $^{15}\text{O}$  及  $^{11}\text{C}$ ），進而造成正負電子互毀，產生兩個互毀光子。該院於第二間質子治療室還設有一套 on-line PET（如圖三），當完成質子治療後，病患仍躺在 Couch 上時，可透過 Gantry 旁的兩個影像偵檢器測量病患體內的互毀光子，立即進行 PET 影像分析，這套 on-line PET 可以用來驗證質子射束的路徑及照射



圖三、國立癌症中心東醫院質子治療室的 on-line PET

區域。但由於質子治療的時間短，病患身體內的活化產物量太低，目前該院很少使用 on-line PET。

由於該院目前仍使用準直儀(collimator)，每個照野的 collimator 由 3 片 2 公分厚的銅合金組成（6 公分的銅合金已可有效阻擋照野外的質子射束），雖然 collimator 的活化情形不嚴重，但目前該院累積了不少病患使用過的 collimator 及 compensator，這些被活化的廢棄物



均存放在貯存室內（如圖四），並依年份標示分別排列，以往這

圖四、國立癌症中心東醫院質子治療室使用過的 collimator 及 compensator

些物質必須廢棄，但目前日本政府政策已改變，只要使用過的 collimator 及 compensator 表面劑量率為背景值，這些物質是可以重新回收再利用。

該院去年才開始治療兒童病患（10 位），由於接受放射治療的過程中，父母親無法全程陪伴在旁安撫其情緒，兒童常因害羞、恐懼、緊張、不安等原因，不願意依照醫療人員的指示，獨自安靜的接受治療，該院對這情形則有一些特別的作法，如：為了讓兒童願意戴上面具（固定位置及定位使用），特別將面具製作成各種卡通圖案造型（如圖五）；另為了讓兒童不吵鬧、安靜的單獨留在治療室，院方則在治療室內設計一套影音播放系統（如圖六），可在兒童接受治療時，播放卡通影片，將影片投射至 Gantry 旁的牆



圖五、國立癌症中心東醫院質子治療設施特別為兒童設計的造型面具



圖六、國立癌症中心東醫院質子治療設施特別為兒童設計的影音播放

上，吸引其注意力，有效安撫兒童的情緒，順利達到治療的目的。

「質子的優點是它會停下來，但它的缺點是我們總是不知道它會停在那裡！」，在質子治療領域常會聽到這句話，這也凸顯質子治療醫療曝露品保的重要性。本次參訪時，本會人員與該院醫學物理師堀田健二討論質子治療機 QA 的項目，由於粒子治療設施仍然很少，各粒子治療設施的加速器及射束傳送系統差異也很大，且各粒子治療設施都發展出各自的 QA 工具與方法，同時各 QA 程序都有其設備的獨特性，很難建立標準的程序，因此，目前粒子治療仍沒有正式的 QA 文件資料。以質子治療系統為例，共包含 accelerator、beam transport system (bending and focus magnets)、treatment delivery (passive scattering and pencil beam)、patient support (treatment couches and chair)、patient positioning (imaging system、image analysis、lasers)、treatment control、treatment safety、treatment planning、patient imaging for treatment planning/positioning 等子系統。一般而言，在質子治療室每日 QA 項目包含劑量輸出、SOBP 的寬度、Range、劑量監測的一致性、散射體完整性的驗證；每月 QA 項目包含照野的平坦性及對稱性、射束輸出、Gantry 等中心點及 Couch 移動的一致性、系統性能趨勢的審視；年度 QA 項目包含劑量的驗證、機械一致性的驗證、影像的驗證、aperture 與 range compensator 性能驗證、輻射偵測器及安全連鎖的驗證。堀田健二物理師提供該院質子治療機 QA 表格供本會參考（如附件四）

## 肆、心得與建議

一、本次會議中許多的講者以醫學物理師的定位、資格、責任、進入門檻、教育、訓練及未來發展等議題，發表許多有關的專題演講，其中一項議題多次被提出討論，那就是醫學物理師目前面臨的最大問題在於：各國衛生主管機關對其在健康專業的重視不足，以及民眾對醫學物理師的角色及責任不瞭解，造成醫學物理師在醫療體系的定位不明。事實上，醫療院所設置眾多高科技的

放射診療設備，如缺少專業醫學物理師的協助，不僅難以達到放射診療的效果，甚至會造成一些醫療意外事件。IOMP 已經與相關組織合作，在各地辦理醫學物理師教育訓練，持續提升全球醫學物理師專業能力，特別是開發中國家的醫學物理師，同時也讓民眾瞭解到醫學物理及醫學物理師在放射診療領域的必須性與重要性。國內醫學物理師學會可嘗試多參與該組織活動，進一步提升國內醫學物理師專業素質與國際視野。

二、許多國家的放射診療體系中專業醫師、醫事放射師或護理師都有其法律的定位，藉由國家考試取得其專業資格，但醫學物理師卻無明確的法律定位，醫學物理師的認可，多由相關團體辦理。因此各國對醫學物理師的進入門檻、角色、責任及在醫療體系的人力需求上有很大的差異。我國醫學物理師的現狀與其他國家類似，目前國內已經有多家大專院校開設醫學物理相關課程，惟教育單位並未針對醫學物理相關課程，訂定相關必須修習的學科內容，國內醫學物理師資格仍由民間組織（醫學物理師學會）自行認可，醫學物理師在醫療領域也沒有法定的定位，這會降低相關科系學生從事醫學物理領域的意願，也會衝擊國內醫學物理的發展，進而影響病患的輻射診療品質，衛生主管機關應重視醫學物理師在健康照護的專業，具體作法是儘速制定醫學物理師相關法規（如：醫學物理師法），將醫學物理師納入醫事人員範疇，明確規範醫學物理師應具備的資格、執業內容、醫事人員專業證照的取得、醫療機構應配置的醫學物理師人力等事宜，以提升國人輻射醫療品質。未來如果國內建立醫學物理師制度時，建議考量開放醫事放射師參加醫學物理師之測驗或認證。

三、由於用於癌症的治療，放射治療設備除了輻射防護的要求非常嚴謹，另外不論在機械系統、光學系統、劑量系統也必須有很高的精準度，雖然醫療院所品保人員平日已經依照醫療曝露品質保證標準執行各種不同頻度的醫療曝露品保作業，以確保放射治療設備各項性能隨時維持一定的品質，但由這次會議發現，日本政府部門要求設置放射治療部門的醫院，在四級以上的地震

發生後，相關人員必須立即進行醫用直線加速器等放射治療設備的各項品保作業，並分析、比較地震前後，輻射屏蔽效果及放射治療設備性能的差異，確認相關設備的品質現況，如有異常情形，就要立即向原子力規劃委員會通報，此項作法非常值得參考，未來本會可適時將其納入醫療曝露品質保證標準，供相關醫療院所遵循。

四、面對兒童的放射治療，國立癌症中心東醫院質子治療設施特別提供各種卡通圖案造型的面具，供兒童於治療時配戴，並在質子治療室內設計影音系統，播放卡通影片，吸引其注意力，安撫兒童情緒的做法非常值得國內放射治療機構參考。

五、目前國際上粒子治療設施不多，且各粒子治療設施的系統也有差異，各設施雖然有執行醫療曝露品保作業，但其作業內容、程序、方法與工具，多依其粒子治療系統的特性自行設計與訂定，至今國際上仍沒有一套適用全部粒子治療設備的醫療曝露品保作業程序。由於國內第一個質子治療中心目前仍處於試運轉階段，其他粒子治療設施也在籌備中，未來有關粒子治療設施醫療曝露品保作業，建議初期仍應先以各設施參考原廠家所訂定的內容為主，本會再考量國內粒子治療醫療曝露品保作業現況，並參考國外粒子治療設施之醫療曝露品保作業內容，同時邀集粒子治療相關單位共同討論，適時研議制定適合國內之粒子治療醫療曝露品保法規。

六、日本醫學物理學會每年在其秋季學術會議大會時，均會針對不同的話題舉辦市民公開演講，邀請各方面的專家以非常淺顯易懂的方式，讓民眾了解輻射在醫療方面最新的發展，經過說明後民眾也會很熱烈的提出問題參與討論，反觀國內目前相關學會舉辦學術會議時，很少有同時針對一般民眾舉辦專題演講的情況，建議國內相關學會舉辦學術會議時亦能參考此模式，將其專業介紹讓民眾了解。

## 伍、 附件及參考資料

- 一、會議及參訪照片
- 二、日本政府 15 科原安第 26 號規定
- 三、國立癌症中心東醫院提供之資料
- 四、質子治療機每日 QA 表格