

出國報告（出國類別：其他）

赴南韓參加 2015 國際輻射防護系統
研討會（ICRP 2015）

出國報告

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：聶至謙 技正

派赴國家：南韓

出國期間：104 年 10 月 19 日至 10 月 25 日

報告日期：104 年 12 月 18 日

摘要

本次職奉派赴南韓首爾（Seoul）參加 2015 年第 3 屆國際輻射防護系統研討會（International Symposium of the System of Radiological Protection，ICRP 2015），其主辦單位為國際放射防護委員會（International Commission on Radiation Protection，ICRP）與韓國輻射防護協會（the Korea Association for Radiation Protection，KARP）。

會議主題為輻射生態學與環境，內容則包括：1.ICRP 回顧與展望、2.既存曝露狀況檢視、3.醫療輻射防護現況、4.輻射劑量、5.輻射效應新發展等主要議題，分別以專題演講方式進行，並藉由討論及分享國際間輻射防護最新觀點與標準之建議，與輻射作業規範之相關研究趨勢、管制作為及發展趨勢。

另因考量國內核醫藥局設置與輻射作業規模有增加趨勢，且將陸續興建迴旋加速器以供配製、調劑核醫藥物之核種來源，以供國內醫療院所使用，造福國民。爰透過本次公差行程參訪南韓首爾最大之峨山醫學中心（ASAN Medical Center）核子醫學部所設置之迴旋加速器及其非密封作業場所，並藉國際交流以瞭解與取得該國之輻射防護管制與管理作法，以作為日後國內輻防管制規定修訂之參考。

目次

壹、 出國目的與行程.....	4
貳、 會議及參訪內容.....	5
參、 心得與建議.....	37
肆、 附錄.....	38

壹、出國目的與行程

一、目的

此次赴南韓首爾參加 2015 年第三屆國際輻射防護系統研討會（International Symposium of the System of Radiological Protection；ICRP 2015），期希透過國際輻射防護機構及專家學者之研議與討論現行輻射防護系統現況與未來輻射防護系統之發展，以瞭解國際間對於輻射防護系統延革及國際管制趨勢、演進與建議，以達輻防管制經驗分享及交流，並藉此建議國內管制措施修訂，與國際間輻防管制趨勢接軌。

二、出國行程

日期	天數	地點	工作內容
104.10.19	1	首爾	去程（臺北-首爾）
104.10.20-104.10.22	3	首爾	參加國際輻射防護系統會議
104.10.23-104.10.24	2	首爾	峨山醫學中心參訪
104.10.25	1	臺北	返程（首爾-臺北）

貳、國際輻射防護系統研討會議及參訪行程

一、國際輻射防護系統研討會議

本次國際輻射防護系統研討會（International Symposium of the System of Radiological Protection; ICRP 2015）為國際放射防護委員會（International Commission on Radiation Protection, ICRP）所推動之第三屆國際型會議，該會議自 2011 年起每兩年即辦理一次，本年度假南韓首爾艾菲爾飯店（Mayfield hotel）會議廳舉辦（如圖 1），集結了 ICRP 各委員會成員及多國專家學者與輻防管制與研究機構，共計約 46 個國家 400 位人員參與，以發表與研討輻射防護管制系統之建議與作法。



圖 1、首爾艾菲爾飯店（Mayfield hotel）會議廳

本次ICRP 2015會議共為期3日，並專注於ICRP回顧及發展（Advancing Together After 87 Years）、既存曝露狀況檢視（Exploring Existing Exposure Situations）、醫療輻射防護現況（Radiological Protection in Medicine Today）、輻射劑量（The Science Behind Radiation Doses）、輻射效應新發展（New Developments in Understanding Radiation Effects）等項主要議題，會議議程如附錄所示。

會議開始由ICRP主席Claire Cousins進行致詞（如圖2所示），並陸續由核子安全與保防委員會（Nuclear Safety and Security Commission，NSSC）之Unchul Lee主席與韓國輻射防護協會（Korean Association for Radiation Protection，KARP）之Il Han Kim會長進行致詞，開啟本次會議之流程，而本次會議參與度相當踴躍，約計46國參加，共計約400人次出席，會議現況辦理情形如圖3所示。



圖 2、ICRP 主席 Claire Cousins 於會議致詞



圖3、ICRP 2015會議現場辦理狀況

(一)ICRP回顧及發展

ICRP自1928年成立至今已存在了87年，其成立宗旨係提供對游離輻射於各個方面防護的建議與指導，為輻射防護領域中之權威機構，且其所建議之內容亦作為全球輻射安全管制及標準之基礎。

ICRP之組織自成立迄今，目前已設有5個委員會，其組織如圖4所示。各委員會皆有其成立宗旨與目標，且於本次會議中回顧各該委員會之運作現況與未來目標，其分述如下：



圖4、ICRP之組織架構

(1) Committee 1 (輻射效應)：以科學知識評估輻射風險，檢視輻射防護系統上可能產生的影響。其主要針對游離輻射誘發癌症和遺傳病的機率效應風險與輻射作用的基本機制，及輻射誘發嚴重程度與組織/器官損傷和發育缺陷的確定性效應(組織反應)機制納入考量與探討。

另亦針對輻射對胚胎/胎兒於遺傳因素下之輻射反應，以及不確定性的影響的數據在提供輻射誘發的健康影響的判斷。此外，從流行病學調查以及對游離輻射防護相關之建議已公佈於ICRP第103號報告。

對於目前低劑量輻射之應用因日益普及(如圖5、6)，對於其產生之健康影響已成立多個任務編組進行低劑量輻射風險進行研究與探討，以提供低劑量輻射防護之相關評估因子建議(如LDEF、DREF等)。

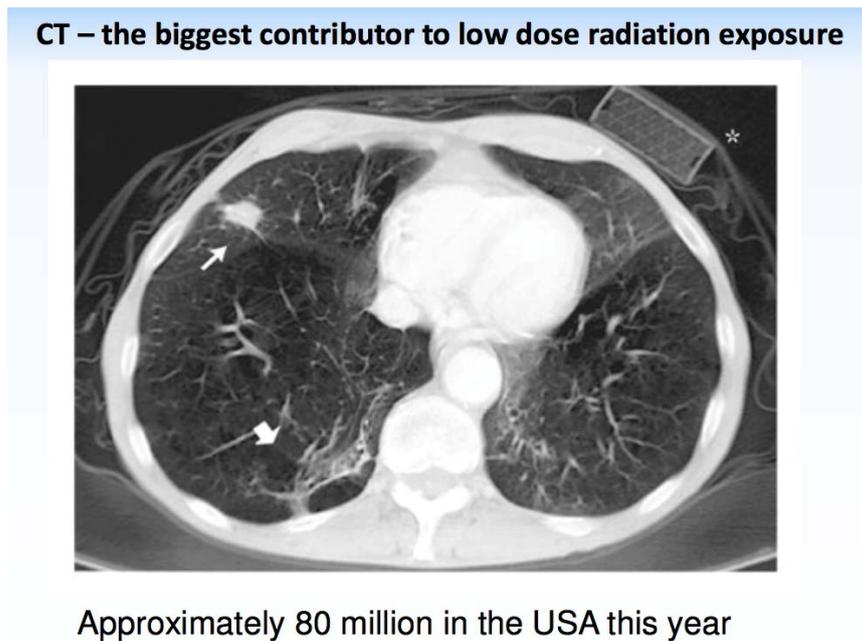


圖5、低劑量電腦斷層掃描儀之應用

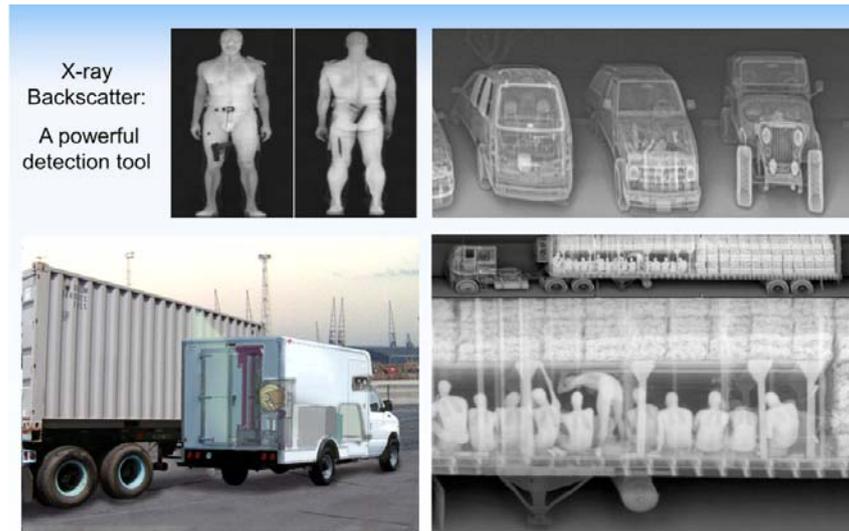


圖6、低劑量背散射輻射安檢設備之應用

- (2) Committee 2 (輻射曝露劑量)：制訂與發展參考模型和數據，包括輻射來自體內 (Sv per Bq intake) 和體外 (Sv per fluence or air kerma) 輻射源之劑量係數之計算。其下設置多個任務編組以進行核醫藥物、環境曝露、體內外之劑量係數研究及發展計算假體 (computational phantom) 與輻射遷移計算，並已發佈第119號及第128號報告之劑量評估之轉換係數供人員劑量評估。

目前正開發一組參考混合假體 (hybrid phantom) 如圖7所示，其基於醫學成像數據，並考量性別、年齡 (如圖8)，以進行不同年齡層、性別等之輻射遷移計算。描述人體組織的放射性核種於生物動力學模型之行為亦在更新，其將導致器官模型改變造成劑量和有效劑量係數有所差異。使用新的參考混合假體計算成年人的體外照射劑量係數公佈於ICRP第116號報告中，該報告提供吸入和食入放射性核種於體內之劑量係數。

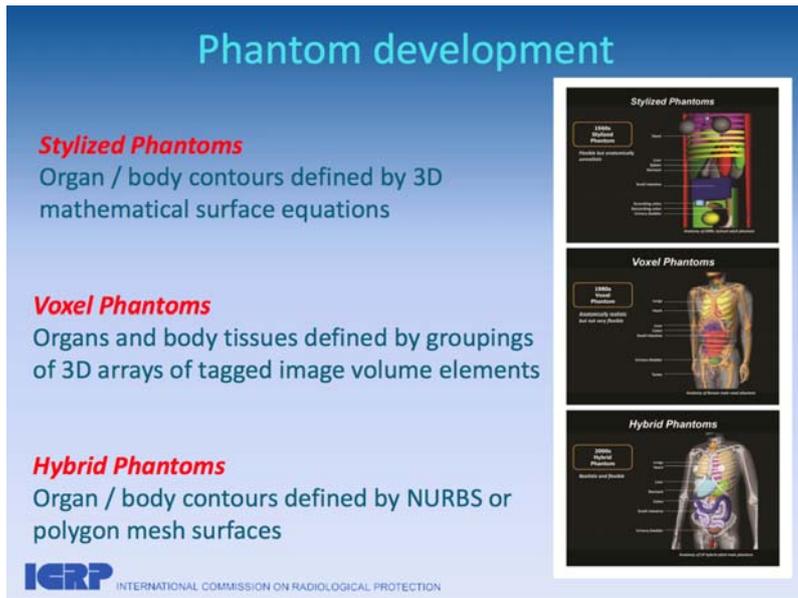


圖7、評估輻射劑量之計算假體發展歷程

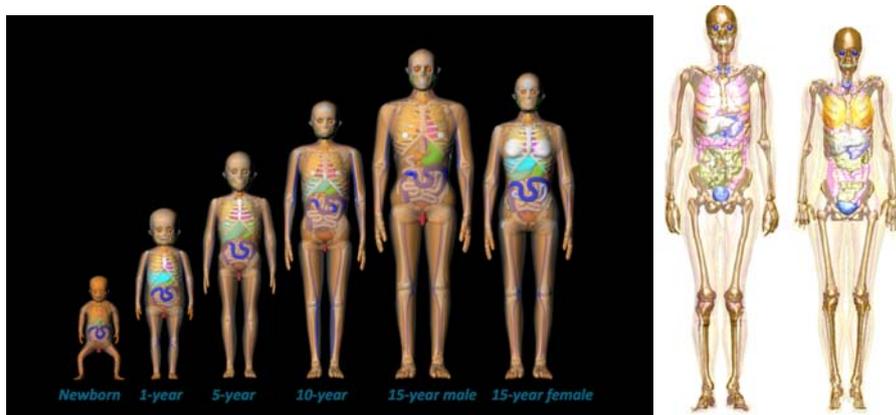


圖8、不同年齡層、性別之計算假體模型

(3) Committee 3 (醫學防護)：主要投入病患、工作人員，以及對醫學的民眾輻射照射、游離輻射用於醫學診斷，治療或生物醫學研究的輻防建議和導則。

該委員自2000年起陸續針對醫學防護上進行探討，並提出一系列之建議與導則，例如心導管攝影 (Cardiology)、離子射束放射治療 (ion beam therapy)、錐射束電腦斷層掃描 (Cone beam CT)、幼兒診斷

與侵入攝影（pediatric diagnostic and interventional radiology）、核醫藥物等輻射防護。目前正致力於探討近接治療之職業輻射防護、核醫病患之劑量評估、醫學影像之診斷參考水平（已提交委員會審查）等工作。另該委員會未來將針對醫用迴旋加速器、正子電腦斷層掃描職業防護，與病患曝露之最佳化程序及追蹤進行探討並推出相關建議與導則。

(4) Committee 4（委員會建議之應用）：制訂與人相關之所有曝露情況之輻射防護原則和建議。

本委員會匯整社會經濟價值倫理、科學知識與經驗制訂出輻射防護系統，其架構如圖9所示，依目前最新建議輻射防護系統需考量：（1）曝露情況可分為既存曝露、計畫曝露、緊急曝露；（2）輻射防護對象可分為輻射工作者、民眾、病患與環境；（3）劑量標準可分為參考水平、劑量約束與劑量限度；（4）必要項目可分為評估、責任、透明與包容。並透過正當化、最佳化與限制化之考量，制定相應之建議、標準與導則。

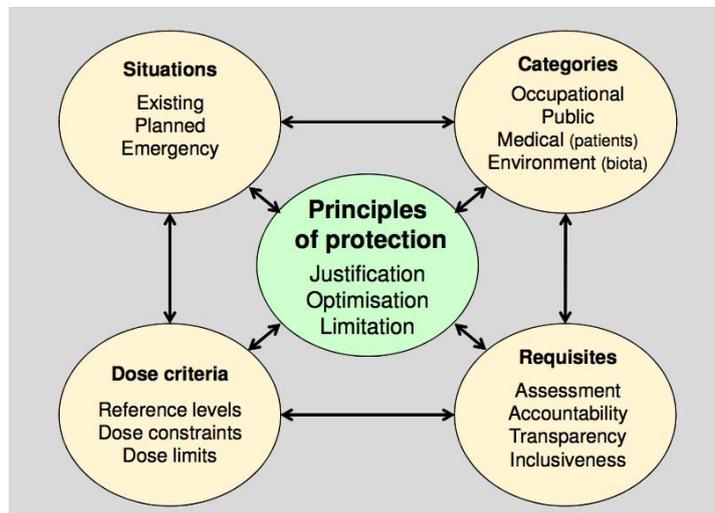


圖9、輻射防護系統之基本架構（ICRP 103）

本委員會目前主要工作主要為：（1）針對既存曝露狀況提出建議與導則，例如2014年提出之第126號報告氬氣之輻射防護。任務編組部

分主要針對宇宙射線之航空劑量與天然放射性物質（Naturally Occurring Radioactive Materials, NORM）、污染地區之曝露正進行探討，其中宇宙射線之航空劑量已提交委員會審查。（2）針對福島事件更新緊急曝露狀況之民眾防護（第109號報告）及長時間居住於污染區域之民眾防護（第111號報告）。（3）提出相關專題報告等任務。

(5) Committee 5（環境輻射防護）：制訂生體系統參考模型和數據，並對環境的輻射防護提出建議與導則。

本委員會考量生物多樣性之保持與確保物種之保護、自然棲息地與生態系統之健全與現況，將生態系統建立一個似人類防護之輻射防護框架（如圖10），以建立曝露與劑量之關係、劑量與效應之關聯性，並已於第108號及第114號報告中提出。

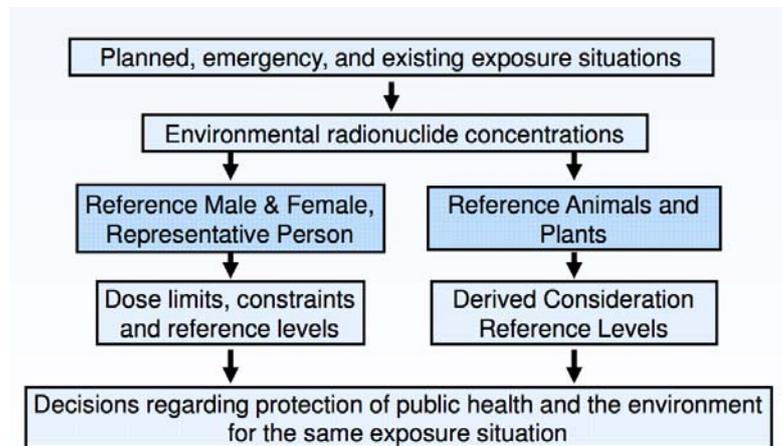


圖10、生態系統之輻射防護框架

該報告已針對特定動植物制定參考模型和數據，以供後續輻防評估。其在計畫、既存與緊急照射情況下的應用則是在第124號報告描述。例如第108報告中所描述的數據庫包括區域行動方案，傳輸參數，劑量轉換係數和效果數據，其衍生推定參考水平（DCRL）分別

建立為每個RAP（如圖11），代表劑量率的頻帶其內有可能成為游離輻射為該類型的參考動植物（Reference Animals and Plants，RAP）的個體的有害影響一些機會。

Wildlife group	Ecosystem ¹	RAP	DCRL, mGy d ⁻¹ (shaded)		
			0.1-1	1-10	10-100
Large terrestrial mammals	T	Deer			
Small terrestrial mammals	T	Rat			
Aquatic birds	F, M	Duck			
Large terrestrial plants	T	Pine tree			
Amphibians	F, T	Frog			
Pelagic fish	F, M	Trout			
Benthic fish	F, M	Flatfish			
Small terrestrial plant	T	Grass			
Seaweeds	M	Brown seaweed			
Terrestrial insects	T	Bee			
Crustacean	F, M	Crab			
Terrestrial annelids	T	Earthworm			

¹T, terrestrial; F, freshwater; M, marine

圖11、不同動植物類別及其推定參考水平

此外於會議中介紹一個簡易的評估程式BiotaDCC（如圖12），該程式以簡單之網路界面設計介面呈現，並可彈性調整與快速計算出初步結果。

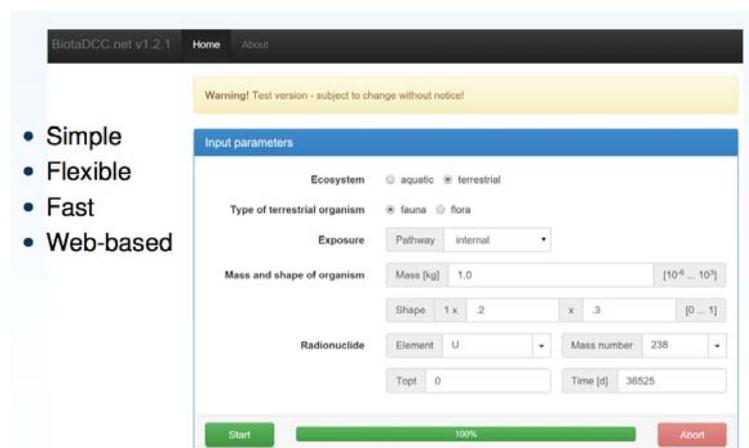


圖12、BiotaDCC評估生態系統劑量之操作界面

(二) 既存曝露狀況檢視

ICRP第103號報告已修正過去實踐 (practice) 與干預 (intervention) 之概念，而以曝露情境取代，其係指天然或人造輻射源導致人體曝露的過程，主要可分為三種曝露情境：(1) 既存曝露 (existing)、(2) 計畫曝露 (planning)、(3) 緊急曝露 (emergency)。其間之相關性可由圖13予以說明：當計畫輻射作業之輻射源失去控制時即會衍生為緊急狀況；同樣地，當輻射源存留之產生即成為既存狀況，當然緊急狀況透過適當處置後亦將與既存曝露相關聯，ICRP對於各曝露情境之輻射防護建議皆有出版相關之報告。

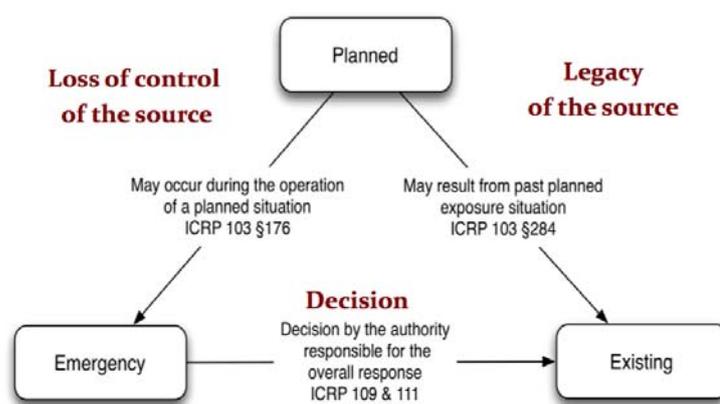


圖13、曝露情境間之相互關係

既存曝露係指當決定採取相關管制時，其曝露狀況就已經存在，其中輻射源可分為天然（如宇宙射線、氡氣、NORM等）與人造輻射源（污染建築物、污染區域等），對於人類曝露之防護建議於第103號報告中建議之有效劑量介於1-20mSv/y，且受曝露之人可區分為職業曝露與公眾曝露，並以參考水平 (reference level) 作為劑量標準，相關輻射源之參考水平建議值如表1所示。

表1、既存曝露情境之職業曝露與公眾曝露參考水平

曝露情況 Exposure situations	職業曝露 Occupational exposure	公眾曝露 Public exposure
Cosmic radiation	5-10 mSv/y	5-10 mSv/y
Radon	10 mSv/y	10 mSv/y
NORM	20 mSv/y*	10 mSv/y* long term=1 mSv/y*
Contaminated sites	Not yet defined	Not yet defined
Contaminated areas	20 mSv/y*	Lower part of 1-20 mSv/y* Long term=1 mSv/y*

*：代表尚未完成委員會認可之建議

另於本議題特別邀請法國G. Desmaris與日本R. Ando分別進行空服人員之輻射防護與從日本Suetsugi地區四年經驗中學習（what we learned from four years in Suetsugi）專題演講。

(1) 空服人員之輻射防護

航空宇宙輻射自1960年以來一直是關注的議題，在法國現已進行法航宇宙射線量測幾十年，結果顯示機組人員接受每年3至6毫西弗（750小時飛行時間）（如圖14），符合歐盟96/29 Directive所訂每年6毫西弗之參考水平，對於已懷孕空服員所受之劑量亦控制在1毫西弗以下。

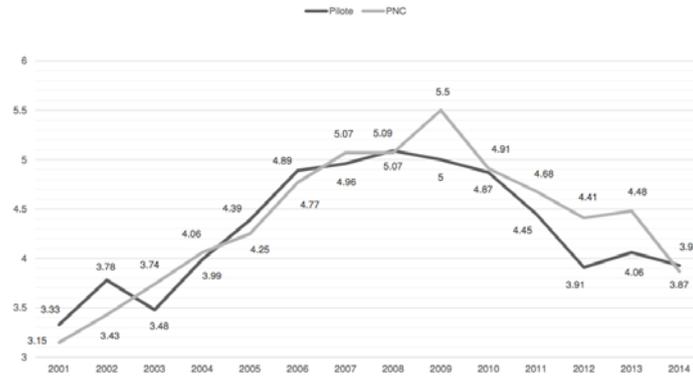


圖14、空服員受宇宙射線曝露之年劑量（750小時飛行時間）

對於輻射防護上之建議，除歐盟96/29 Directive要求會員國需依循旨引，對空服員之劑量需進行評估，以及評估結果所受劑量較高之空服員需作工作上之適當調整外，ICRP（TG 83）未來將提出最新之空服人員之輻射防護建議，以使相關人員所受曝露達到合理之水平，其建議如下表所示：

表2、空服人員之輻射防護建議

Reference level to be selected in the 5 – 10 mSv/year band	受曝露之個人	建議	曝露類別
	Exposed individuals	Recommendations	Categories of exposure
	Occasional flyers	<ul style="list-style-type: none"> General information 	Public*
Frequent Flyers	<ul style="list-style-type: none"> General information Self-assessment of doses Adjustment of flight frequency as appropriate 		

	Aircraft crew	<ul style="list-style-type: none"> • Individual information • Assessment of individual doses • Recording of individual doses • No specific additional medical surveillance • Adjustment of flight schedules as appropriate 	Occupational
--	---------------	---	--------------

*Some groups of frequent flyers may be managed in a manner similar to those occupationally exposed on a case-by-case basis according to the prevailing circumstances.

(2) 從日本Suetsugi地區四年經驗中學習

四年前發生福島事故，日本當局為因應事故劃定了三條安全與不安全之分界線，同時也造成了社會、人群、物種間之隔閡：

(a) 福島核電廠30公里內外之劃定區域：

2011年311日本發生大規模地震，同時也造成福島縣第一核電廠發生嚴重事故，日本當局依時序宣布自福島核電廠3公里內民眾疏散撤離陸續擴展到30公里，其中包含居家掩蔽（如圖15）。對民眾而言，在所劃定之區域內外皆存疑著輻射安全與否的問題，同時也需要政府提供輻射安全無虞的證明。

日本於2011年5月17日發布食品放射性污染暫行標準，其規定飲用水、牛奶、蔬菜、魚、肉、蛋等暫定限值（以年劑量5mSv推算），並於2012年4月1日更新相關食品污染之管制標準（以年劑量1mSv推算）（如圖16）。

對民眾而言，上述管制標準於短時間的改變，認為第一個暫行標準一定是錯誤決策，且懷疑政府所訂之標準是否可以信任，並以找尋零污染檢出之食品。

○放射性セシウムの暫定規制値※1		○放射性セシウムの新基準値※2	
Category	規制値	Category	基準値
Drinking water	200	Drinking water	10
Milk and Dairy products	200	Milk	50
Vegetables	500	General foods	100
Grains			
Meat, Eggs, Fish, etc.		Infant foods	50

Unit: Bq/kg (單位:ベクレル/kg)

※1 放射性ストロンチウムを含めて規制値を設定
 ※2 放射性ストロンチウム、プルトニウム等を含めて基準値を設定

圖16、暫定食品污染管制標準與更新之管制標準

對於距離福島核電廠27-28公里處之Suetsugi地區，約有一百戶家庭；約400位民眾，於2011年3月12日至4月22日間被劃定為居家掩蔽區域，但民眾要求撤離，且幾乎全數居民皆疏散。透過空間劑量率量測（如圖17）、土壤分析繪製輻射地圖（2011年9月至2012年3月間），並分析其結果得到每人年劑量增加之人數相當少（如圖18）

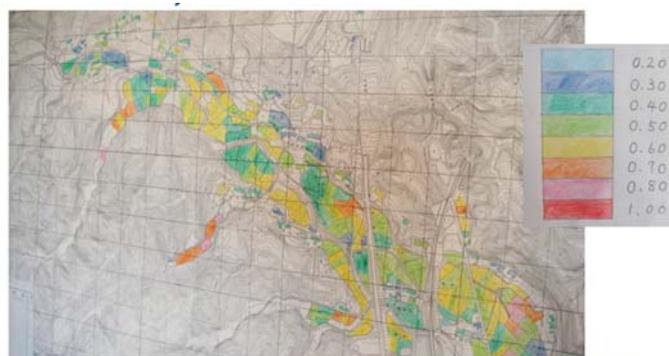


圖17、日本Suetsugi地區之輻射地圖

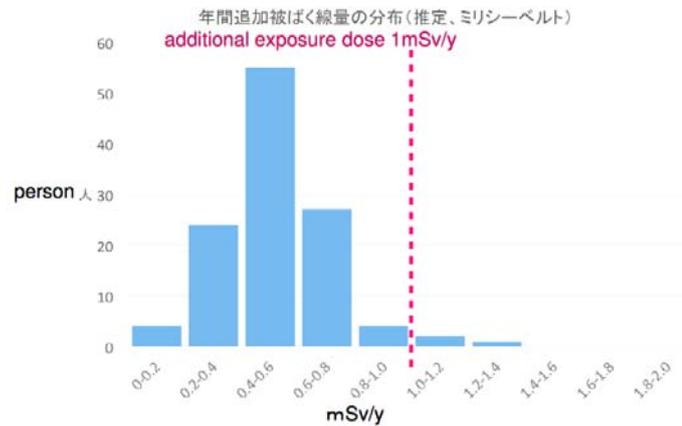


圖18、Suetsugi地區年劑量增加之分布

自2012年起，對於Suetsugi地區居民監測個人劑量，執行全身計測，以及監測食品污染情形，並將結果與居民公開共享，藉由討論相關數據與說明相關輻射防護之執行狀況，讓居民安心。

從經驗中學習：政府於事故中負起劃定管制界線之任務，但通常為技術面，並未考量居民生活與社會之影響層面，此單一界線將對居民生活造成衝擊，並撕裂社會結構。因此必需思考管制界線劃定之適當性與必需性，以及需降低居民的影響及其管制劃定之後果，並作為未來緊急應變計畫之重要參考標的。

(三)醫療輻射防護現況

自1928年ICRP創立後，即與醫學之輻射防護密切相關，它的創立源自於醫學界觀察到的游離輻射效應影響。並在創立後30年間陸續對輻射防護上提供相關之建議，在1950年ICRP更擴展到其範圍之輻射防護。1977年重新定位committee 3在醫學輻射防護上的任務，並除了考量工作人員外，亦將病患納入輻射防護之對象。在1980年，陸續提出病患在放射診斷、核子醫學

與放射治療領域之輻防建議，且自2000年起在醫學界針對來自特定受眾群體的具體問題，迄今已出版了近20個建議書及報告。

於本議題邀請南韓Kyung-Hyun Do博士、日本Yoshiharu Yonekura博士分別進行相關之專題演講。

(1) 南韓放射師、醫學放射物理師和製造商的當前角色議題

從診斷醫療成像的輻射照射在韓國有所增加。每個利益相關者效力於有關輻射安全每個病人為中心的護理系統，獨特的和互補的作用。放射學和核醫師協會對在韓國的輻射安全問題，包括指導方針、認證、宣傳、科學活動和教育之關鍵作用。任何醫療輻射照射必須是合理的，並使用游離輻射的檢查必須進行優化。在談到醫生和放射科醫生的教育也是很重要的理由。醫學物理學家和放射技師對質量管理和優化的重要作用。透過監管，以控制醫療輻射照射。因此，國家組織作出了顯著的努力來規範和使用指南、認可，甚至是法律管制醫療輻射照射。醫療輻射照射必須加以控制，這可以由衛生專業人員和機構持續的利益來實現。

(2) 離子束放射治療之輻射防護

近年在放射治療領域推出的新技術，對病患臨床結果具有顯的改善。離子束放射治療，包括質子和碳離子束，可提供了極佳的劑量分佈結果，並能有效降低鄰近腫瘤之正常組織之臨床效應，其需透過嚴謹的治療計畫要求，以達到最大限度之治療效率，並減少正常組織所受之劑量。其主要利用離子產生布拉格峰（Bragg peak）之物理特性（如圖19）來進行腫瘤劑量給予，相較於其他光子或中子射束，離子射束於表面所沉積之劑量相較於治療深度之劑量差異甚鉅，這也是利運用離子束放射治療之一大特點。另外，對於生物效應之考量，如圖20指出，離子束能提供較光子射束更佳之相對生物效應與增氧效應。

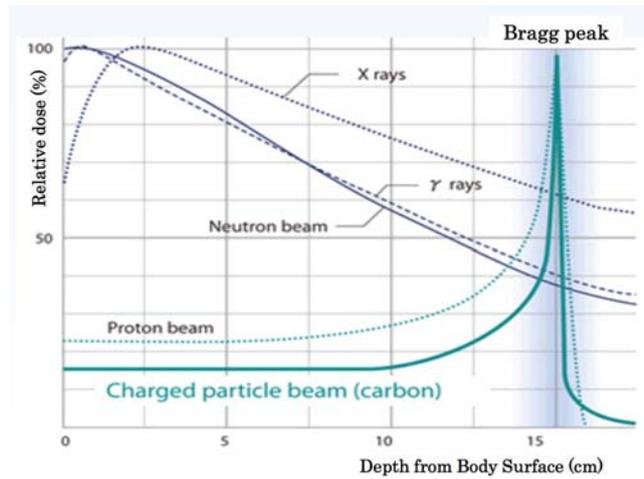


圖19、離子射束與輻射源之物理特性

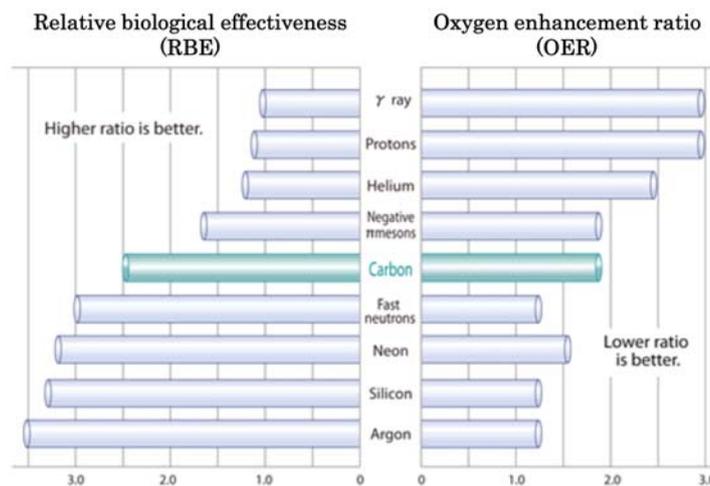


圖20、不同射束之相對生物效應與增氧效應之差異

對於病患及工作人員之輻射防護方面，治療設施產生之二次中子、光子、粒子碎片及活化產物之輻射曝露，亦應納入考量。這種新的治療技術需要複雜的程序和更精確地調整每一位患者之治療參數，例如射束傳送之方式（如圖21），射束行徑過程需透過相關組件來進行調控。因此，相關教育與培訓對參與治療程序之相關人員，均對治療和病患之保護至關重要。ICRP目前已提出了第127號報告，已針對離子束放射治療之輻射防護提出相關建議，相關工作人員必需瞭解不當使用設備之控制時所引的輻射風險。

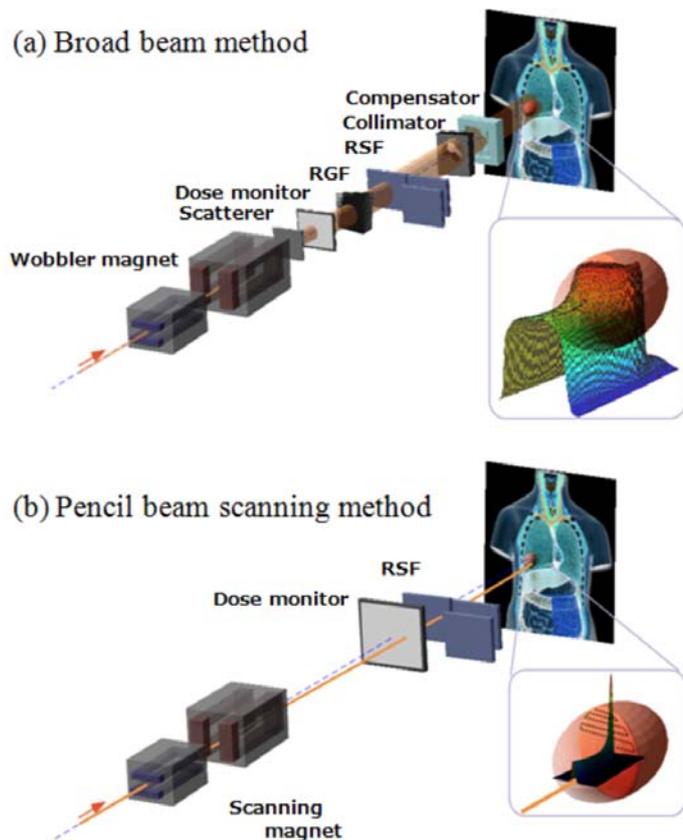


圖21、射束傳送系統：(a) 寬射束模式、(b) 掃描模式

(四) 輻射劑量轉換係數

ICRP committee 2當前主要工作係針對放射性核種攝入（包含食入與吸入）與輻射場曝露劑量係數之發展，其建立於輻射類別與組織加權因子（ICRP 103）、放射性核素衰變序列（ICRP 107）、參考成人男性和女性（ICRP 110）之計算假體、參考成年工作人員之體外劑量係數之理想輻射場（ICRP 116）（圖22）與放射性核種之生物動力學模型等基礎上。

對於體外劑量係數（external dose coefficient），在計算上必需描述環境放射性核種之分佈、輻射粒子於環境中之遷移，以及個別輻射粒子曝露於器官所造成之能量沉積。

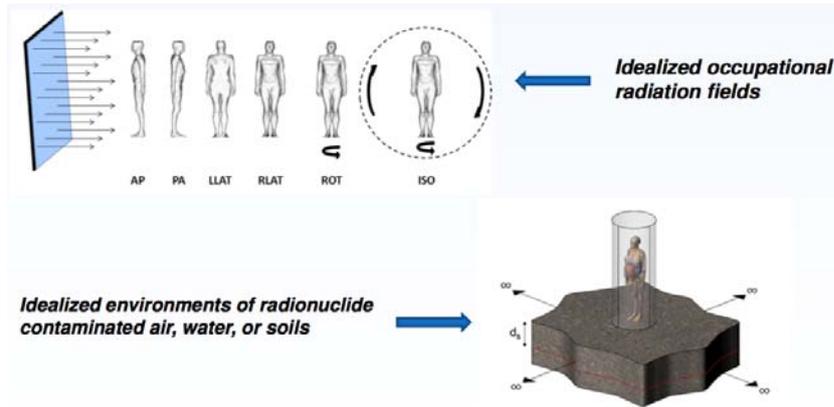


圖22、體外劑量係數評估之理想曝露輻射場

而體內劑量係數（internal dose coefficient）則必需評估器官本身之劑量、輻射粒子發射所造成之劑量（specific absorbed fraction，比吸收分率）、每次核衰變之吸收劑量（S值）、在源器官中的放射性核種之時間累積活性（吸入、食入、生物動力學模型），以計算由於吸入或攝入所造成單位活度所累積之器官等價劑量或器官有效劑量。相對於較早提出之ICRP第30號報告建議之劑量係數，目前對於劑量係數是計算細節者考慮得更周詳，例如採納青少年、兒童、嬰兒、胎兒等參考假體（如圖23），其對劑量係數的發展及劑量評估能提供更有效之結果。

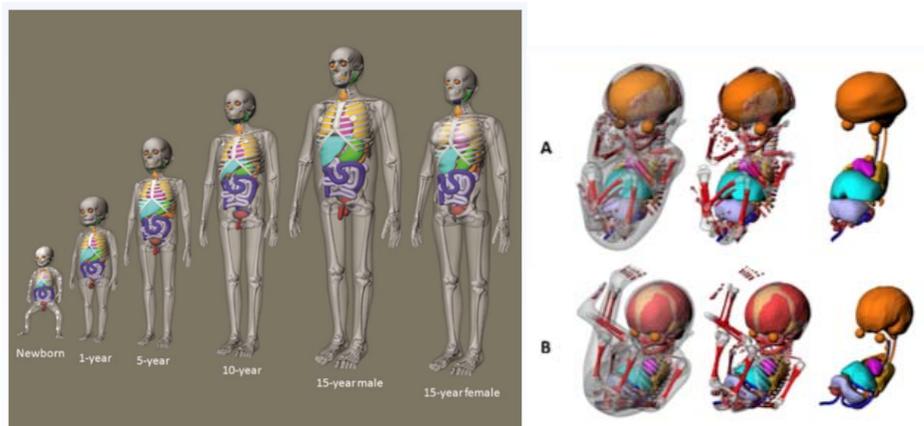


圖23、不同年齡層之參考人假體

針對前述體內與體外劑量轉換係數，於實務輻射作業時，相對之輻射量分別採以輻射量測與劑量模式計算。國際輻射與度量委員會（ICRU）為將操作量與輻射防護量作關連，制訂了一套可評估輻射防護量之作法，其所建議之輻射防護劑量系統如圖24所示，其透過ICRU建議之周圍等效劑量、直接等效劑量與個人等效劑量之量測，並與ICRP所建議之器官吸收劑量、器官等效劑量與有效劑量進行比較與評估，以得所需之量測有效性。

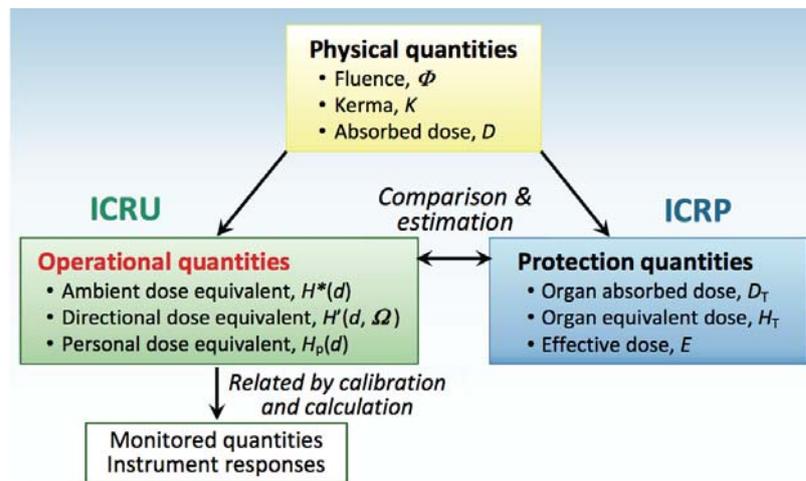


圖24、ICRU制訂之輻射劑量操作量系統

其中對於輻射防護量與操作量之關係，考量了輻射粒子貢獻於工作人員或公眾劑量之不同能量範圍，並可由圖25表示：（1）對於有效劑量之輻射防護量，可由環境監測1公分之周圍等效劑量與個別劑量量測1公分深之個人等效劑量等操作量來代表；眼球等效劑量之輻射防護量，可由環境監測0.3公分之直接等效劑量與個別劑量量測0.3公分深之個人等效劑量等操作量來代表；而皮膚等效劑量之輻射防護量部分，可由環境監測0.07公分之直接等效劑量與個別劑量量測0.07公分深之個人等效劑量等操作量來代表。

Protection quantities			
Control of	Effective dose E	Equivalent dose to lens of eye H_{lens}	Equivalent dose to local skin H_{skin}
	↕	↕	↕
Area monitoring	Ambient dose equivalent $H^*(10)$	Directional dose equivalent $H'(3, \Omega)$	Directional dose equivalent $H'(0.07, \Omega)$
Individual monitoring	Personal dose equivalent $H_p(10)$	Personal dose equivalent $H_p(3)$	Personal dose equivalent $H_p(0.07)$
Operational quantities			

圖25、輻射防護量與操作量之關係

目前ICRU正著手研究有別於現行定義操作量之替代方案，主要基於輻射通量於ICRU等效球中一點劑量（有效劑量、眼球劑量、及皮膚劑量）與輻射防護量（以參考人假體計算而得）之關係（如式1所示），以重新定義區域監測之操作量。例如重新定義1公分深劑量之區域監測結果與原定義結果之差異如圖26所示。

$$H^* = h_{E_{max}} \phi, \text{ 其中 } h_{E_{max}} = E_{max} / \phi \text{ (由參考人假體所計算而得)} \dots \text{式1}$$

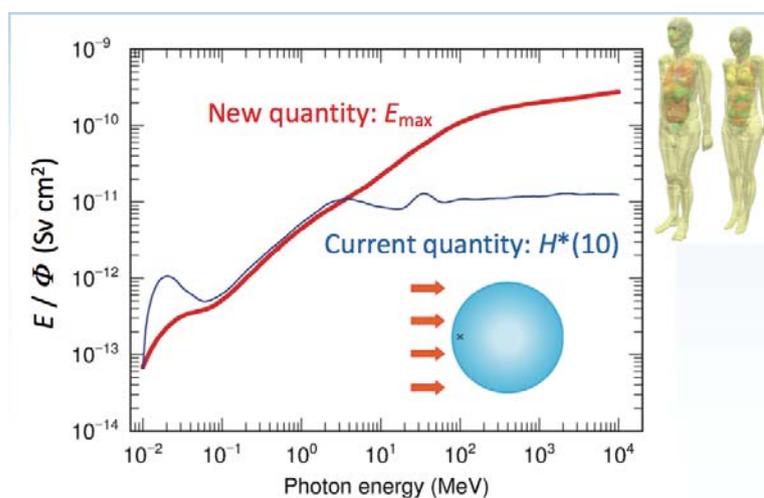


圖26、新定義與目前區域監測之反應函數差異

因此，對於重新定義與目前操作量評估劑量之方式，可由圖27看出，前者考量不同能量輻射粒子於參考假體之影響，後者則只以ICRU等效球所得之吸收劑量與Q值之影響。此一作法將可簡化輻射監測與劑量評估之系統，但對於重新定義之影響則包含校正假體、參考輻射場及轉換係數。

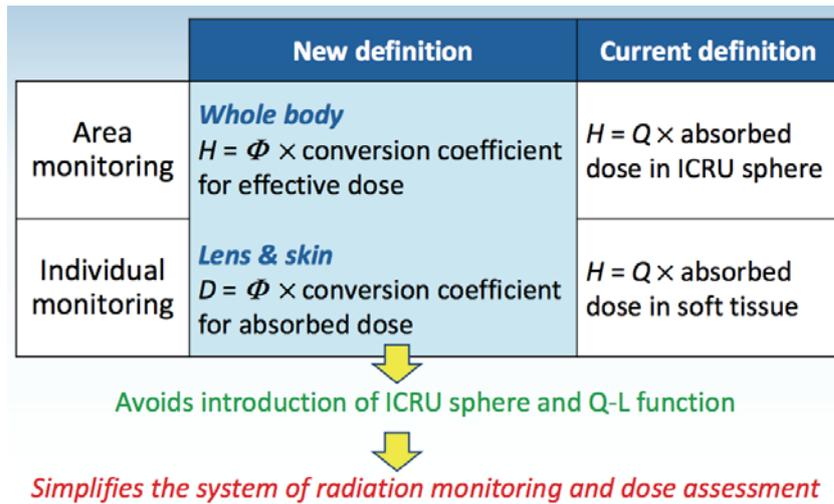


圖27、新定義與目前個人、區域監測評估劑量之差異

另外對於前述ICRP參考成年男性及女性假體，係採用ICRP第110報告建議之假體，該假體以男性與女性病患之電腦斷層掃描所得之體素（voxel）型式呈現（如圖28）。對於該假體之限制在於無法提供細微構造之描述，例如眼睛、皮膚或器官壁之描述，因此計算其劑量將具一定之限制性，特別是弱穿輻射。同樣該假體亦不能描述微米級厚度之靶組織中呼吸道和消化道。因此，獨立的模型化程式已被用這些組織器官劑量係數之計算。

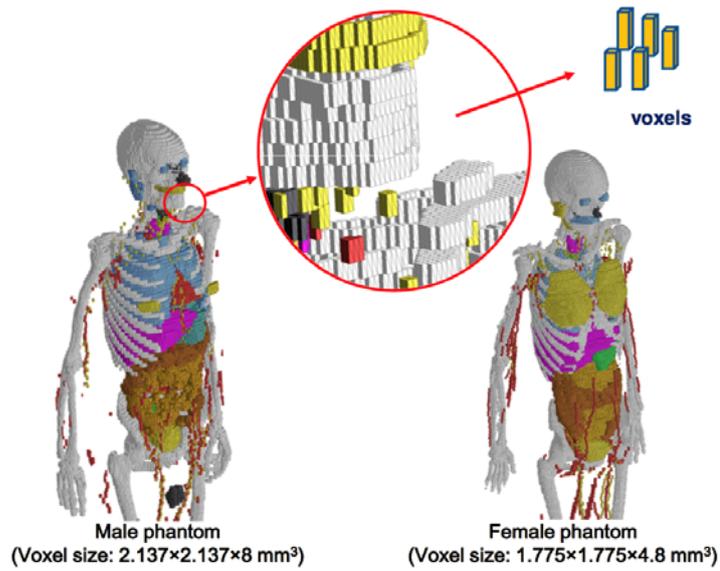


圖28、ICRP-110參考假體

目前ICRP commission 2正著手將ICRP第110號報告之參考假體轉換成多邊形網格格式 (polygonal-mesh format) (圖29)。轉換項目的最終目標是描述高品質多邊形網格格式之參考人假體，包括所有源和標器官，甚至是消化道和呼吸道器官微米級之分辨，可預期經轉換的假體將提供更準確的劑量係數。

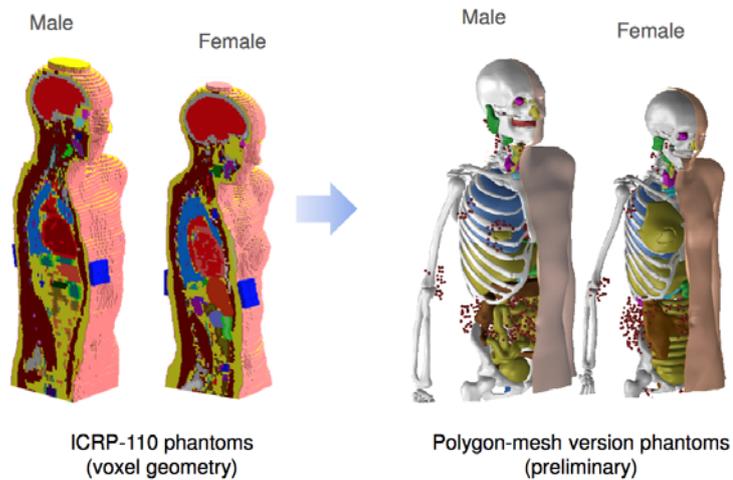


圖29、多邊形網格假體發展之初步結果

另針對動、植物劑量學方面，由於生物體與其環境輻射曝露的條件多樣性是非人類劑量一個特殊的挑戰。為此ICRP針對建議之參考動、植物提出劑量轉換係數，並透過簡化形態、均勻組成與密度，均質體內污染等相關假設之劑量模型，予以評估參考動、植物之劑量。方法學之發展造成了參考動植物劑量轉換係數的修正，並建立於Web軟件工具，可用於計算特定質量和形狀的生物體之劑量轉換係數。

(五)輻射效應新發展

ICRP自1928年成立起即對游離輻射曝露與其風險關係視為主要之議題，其主要之資訊來自於全身受曝於100毫戈雷（mGy）以上輻射劑量對健康效應之影響，但對於低劑量之輻射效應仍然存爭議。目前ICRP對工作人員與公眾之輻射防護建議，係建立在高劑量與高劑量率之研究分析上以得到風險係數（例如日本原子彈爆炸倖存者壽命研究的分析）。並透過劑量和劑量率有效因子（Dose and Dose Rate Effectiveness Factor, DDREF）減少低劑量與低劑量率曝露風險係數之假設。目前ICRP仍延續先前建議之DDREF值為2，但對於其它國際機構（如WHO、BEIR VII）建議使用不同的值，甚至放棄納入考量，導致低劑量或低劑量率曝露風險具有差異。對於該點疑議ICRP TG91目前正致力於探討，例如分析多種類動物資料、進行劑量反應曲線（線性與線性平方模型）之分析等課題。

對於輻射防護系統係為避免確定效應，與降低機率效應之風險，通常輻射防護標準假設所有人口成員之輻射健康效應都具有相同敏感性。但實際上每個個體對輻射敏感性卻不同，如圖30所示，在約1000個乳癌病患中，考量不同病患之治療剩餘數（residual score）即具有不同標準。近年來，遺傳和生活方式因素在個人遭受疾病過程中扮演重要角色，因此同樣可將相關因素納入輻射相關疾病之考量。從細胞、組織與人體之研究，所累積生物組織研究包含存在於人群輻射敏感性範圍，利用這些知識為輻射防護目的所需關鍵即係準確的方法來評估個人或群體之敏感性。

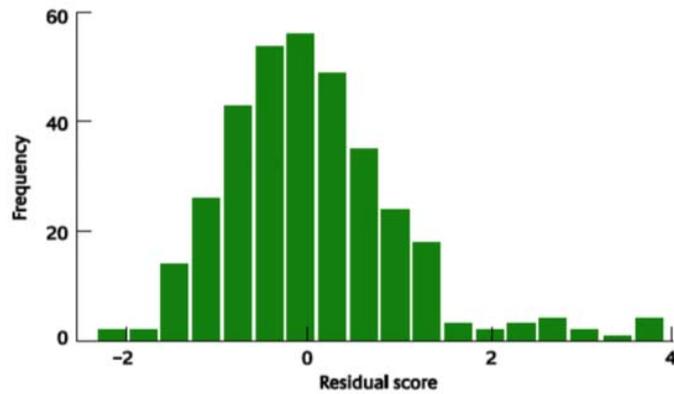


圖30、1010個乳癌病患治療剩餘數標準之分佈

另外，對於個人輻射敏感性之差異，可能取決於個體DNA修復基因之核苷酸差異。為了驗證這些影響輻射敏感性的差異，Dr Matsuura等人利用核苷酸變異培養於人體細胞中（如圖31），並評估其敏感性。這將提供獨立於不同遺傳背景之個體敏感性核苷酸變異影響之精確分析。然而，由於同源重組修復的頻率低，導致有效的人體細胞培養顯示困難，故透過人工核酸酶開發有效的同源重組基因組編輯以進行人體細胞培養。目前已開發出一種新的基因組編輯方式（如圖32），稱為TALEN-mediated two-stop single-base-pair editing，以bially引入染色體到培養的人類細胞相關核苷酸變異，並有效評估個體之輻射敏感度。

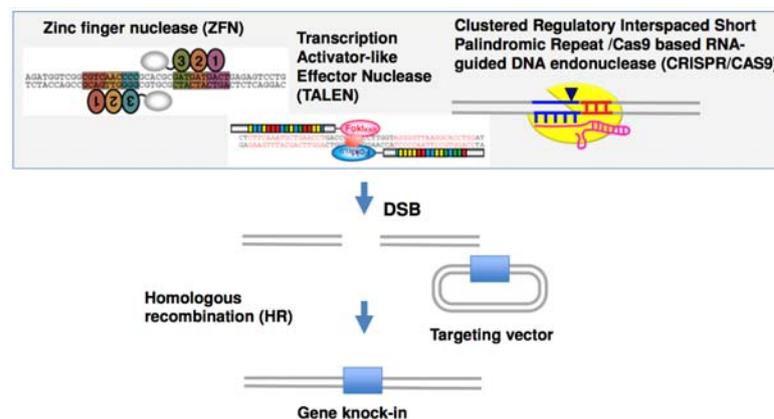


圖31、人工核酸酶基因組編輯之模式

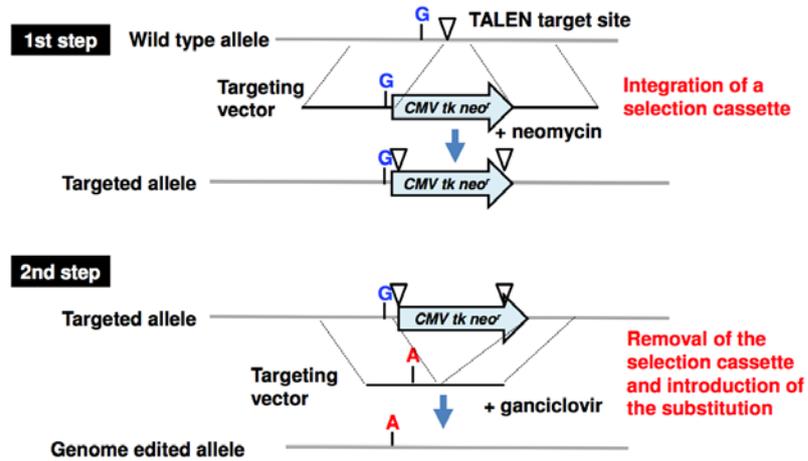


圖32、two-step single-base-pair editing strategy

二、峨山醫學中心（ASAN Medical Center）參訪

考量國內核醫藥局設置規模有增加趨勢，且將陸續興建迴旋加速器，藉由本次公差行程參訪南韓首爾峨山醫學中心（ASAN Medical Center）（圖 33）核子醫學部所設置之迴旋加速器及其非密封作業場所。



圖 33、峨山醫學中心西院外觀

本次參訪行程特別感謝台北榮民總醫院核子醫學部楊邦宏博士，與峨山醫學中心 Ho-Sung Kim 博士及其中心團隊協助（合影如圖 34 所示），才得以順利瞭解南韓之輻防相關管理。而本參訪行程主要針對迴旋加速器與非密封放射性物質作業場所進行相關瞭解，其過程分述如下：

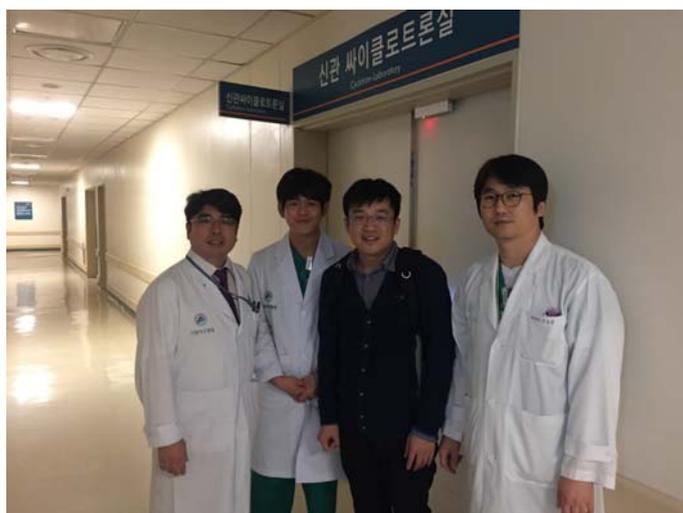


圖 34、職與峨山醫學中心核子醫學部團隊合影

(一)迴旋加速器之管理

峨山醫學中心核子醫學部共設置兩部迴旋加速器(如圖 35)，分別為 IBA 與 GE 所設計之設備，加速器相關規格與參數如表 3 所示。參訪當日因加速器正進行藥物生產，因此並無法進入管制區瞭解加速器室內部規劃與管理。



圖 35、峨山醫學中心迴旋加速器（左圖為 PETtrace-GE；右圖為 IBA-Cyclone18/9）

表 3、峨山醫學中心迴旋加速器之相關設備規格

제품명	GE PETtrace	IBA Cyclone18/9
제조사	GE	IBA
이온가속방식	H ⁺	H ⁺
설치년월	2008년 12월	2001년
Number of target	3개(¹⁸ F, ¹¹ C)	6개(¹⁸ F, ¹¹ C, ¹³ N)
Energy	16.5MeV proton, 8.2MeV deuteron	18 MeV proton, 9 MeV deuteron
생산 가능한 방사성 핵종	¹⁸ F, ¹¹ C	¹⁸ F, ¹¹ C, ¹³ N

相關核醫藥物之製程係藉由該中心人員以簡報方式進行相關解說，如圖 36 所示，主要透過迴旋加速器生產所需之放射性核種，再經純化、分離、標誌等程序製成最後醫學所需之藥物。

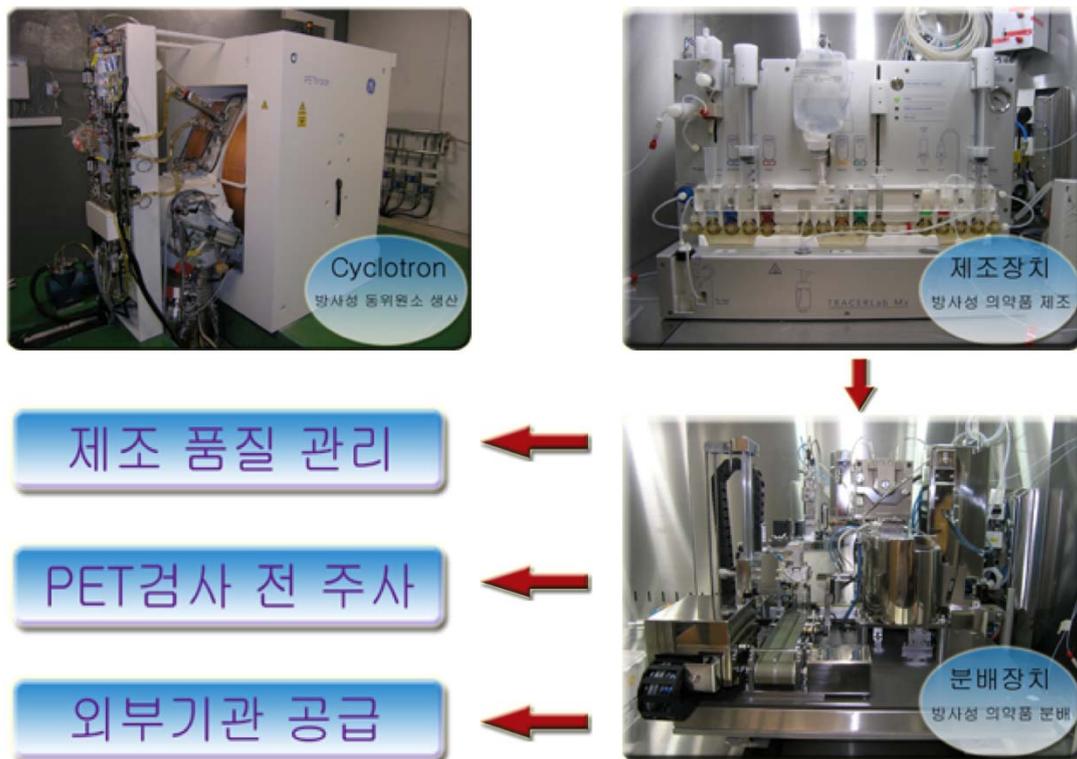


圖 36、核醫藥物之生產程序

另經詢問南韓醫療院所使用之核醫藥物來源，據該院表示南韓境內約有 5 家似國內核醫藥局之設置，提供該國核醫藥物之需求，但對於短半化期之正子藥物則由各院自行設置迴旋加速器生產，與我國供應鏈類似，但有些微比例上之差異，例如我國醫療院所具有一定比例非短半化期之核醫藥物調劑作業。

(二)非密封放射性物質作業場所之管理

對於非密封放射性作業場所之輻防管理，基本上具有一定程度之管制，例如：

1. 輻射管制區需有明顯之輻射示警標誌。
2. 放射性固態廢棄物需有專用儲存桶（如圖 37），並分類管理，待衰變後以一般廢棄物處理。
3. 清洗槽（如圖 37）之放射性廢水需集中儲存於廢水儲存槽，並經取樣分析符合規定予排放。
4. 放射性廢氣排放需經由濾層系統-包括高效率濾層（HEPA）及活性炭濾層（如圖 38），才得以排放。
5. 作業場所需採用無縫或易除污之地板。

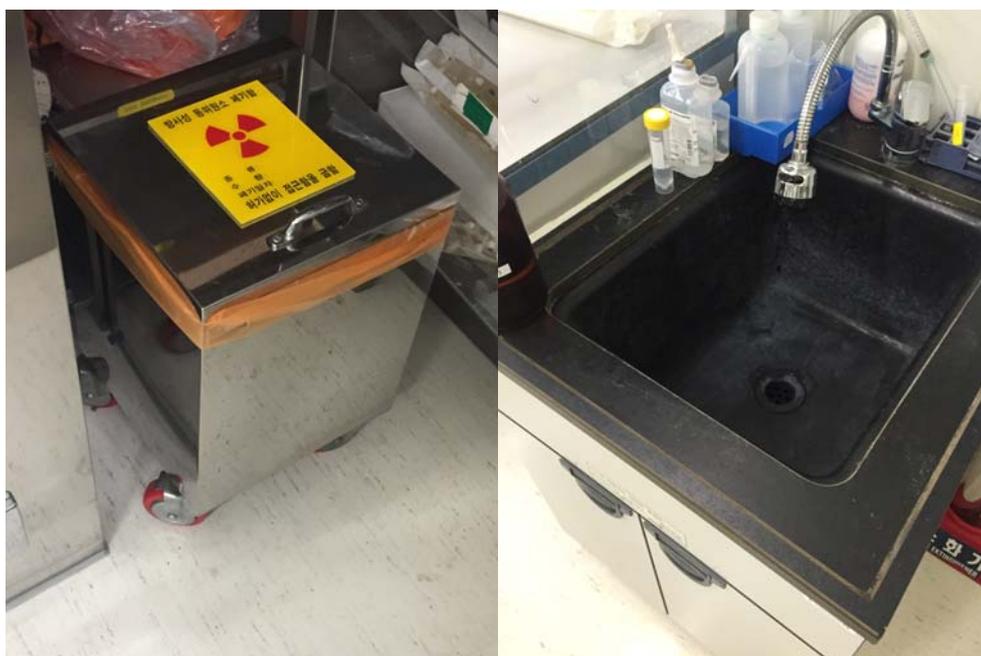


圖 37、放射性固態及液態廢棄物儲存桶（左圖）與水槽（右圖）



圖 38、放射性廢氣排放之濾層系統

對於管制上而言，大致與我國管制內容類似，但部份內容仍有相當程度之差異，例如：

1. 放射性廢氣排放經評估對輻射工作人員及公眾符合排放標準，則不需再設置監測設備與抽氣取樣設備進行管控，但需管控濾層系統之效率。
2. 無配置污染偵檢器之需求，只以直讀式人員劑量計（圖 39）監測。
3. 無需特定作業場所污染偵測管理，亦藉由直讀式人員劑量計作為監控。



圖 39、直讀式人員劑量計

綜上，南韓非密封放射性物質作業場所輻射安全管制上，較我國省略一定程序之管理措施。據該院人員表示，管制單位已審查與查核相關輻射作業之安全，其作業規模較核能設施小，且操作之放射性物質多以短半化期核種，因此正常作業情況下無輻射安全問題，即使發生意外事件亦不致產生大規模污染。反觀我國之輻防管制，係以人員輻射安全考量為首要，因此對於例行輻防管理、監測等措施皆訂有一套管制程序，以有效控管輻射作業及確保輻射安全。

參、心得與建議

本屆國際輻射防護系統研討會為 ICRP 第三次辦理之輻射防護系統研討會，透過會議瞭解當前 ICRP 因應各領域之輻射防護管制與措施所提出之建議與看法，並藉由與會專家學者之討論，對於 ICRP 所建議之作法能有更深層之認識。此外，會議中 ICRP 亦提出各委員會正著手研討之項目，亦提出未來將發表之報告書，對國內管制方面將可藉以檢視與蒐集相關資源，以作為未來管制革新之因應。另藉由此次公差行程，參訪南韓峨山醫學中心核子醫學部之迴旋加速器與非密封放射性物質作業場所之管制情形與作法，以增進相關國際管制視野與建交，並可作為未來國家輻防管制作法修訂之參考。

根據本次公差行程，建議事項如下：

1. 研析國際輻射防護組織提出之相關建議，作為國內輻防管制參考：

鑑於國際上輻防法規之制訂，係參考 ICRP 與國際原子能總署（International Atomic Energy Agency, IAEA）等機構所提出之輻射防護之觀點、建議與基本輻射防護標準。對於該組織著手研討之相關輻射防護觀點，將對國內輻防管制方向造成影響，因此國內輻防管制機構可針對 ICRP 最新提出之輻射防護建議進行相關研究，並檢視國內輻防管制之適用性，以因應未來國際輻防管制之變革。

2. 增進輻防管制視野，持續參與國際輻防管制會議與參訪相關機構：

對於輻射源應用日新月異，且輻射防護之觀點與作法亦有些許改變，其對國內輻防管制之影響需予作出相應之調整。因此針對我國輻防管制之修訂，除可透過蒐集與研析國際輻射防護機構提出之建議、國際上輻防管制之作法外，亦需藉由國際交流與相關機構之參訪，以增加對國際輻防管制之瞭解，並增進國內輻防管制之視野。

3. 培育輻防專業人才，提升輻防管制：

輻射防護係門有深度之科學課題，其基於輻射劑量與效應等觀點，建構出一套輻射防護系統，以降低機率效應與避免確定效應之發生。因此可藉由辦理國際研討會與輻防訓練課程等，並培育國內輻防人才，及增進相關人員對輻射防護之認識與瞭解，勢必可提升國內之輻防管制。

肆、附錄

ICRP 會議議程 (The Conference schedule)

	20th (Tue)	21st (Wed)	22nd (Thu)	23rd (Fri)
08:00-08:30	Registration	Registration	Registration	
08:30-09:00				
09:00-09:30	Welcome Remarks	Session 3. Radiological Protection in Medicine Today	Session 5. New Developments in Understanding Radiation Effects	KARP Annual Meeting
09:30-10:00	Session 1. Advancing Together After 87 Years		Coffee Break	
10:00-10:30				
10:30-11:00	Coffee Break	Session 3. Radiological Protection in Medicine Today	Session 5. New Developments in Understanding Radiation Effects	
11:00-11:30	Session 1. Advancing Together After 87 Years	Lunch	Lunch	
11:30-12:00				
12:00-12:30	Lunch	Session 4. The Science behind Radiation Doses	Session 6. Ethics in Radiological Protection	
12:30-13:00			Coffee Break	
13:00-13:30	Session 2. Exploring Existing Exposure Situations	Coffee Break	Session 6. Ethics in Radiological Protection	
13:30-14:00				
14:00-14:30	Coffee Break	Session 4. The Science behind Radiation Doses	Closing Remarks	
14:30-15:00	Session 2. Exploring Existing Exposure Situations			
15:00-15:30				
15:30-16:00				
16:00-16:30				
16:30-17:00				
17:00-17:30				
17:30-18:00				
18:00-18:30				
18:30-19:00				
19:00-19:30				
19:30-20:00				
20:00-20:30				
20:30-21:00				
21:00-21:30				

PROGRAM**Tuesday, October 20**

- 09:00-09:30 Welcome Remarks**
09:00-09:10 Claire Cousins (ICRP Chair)
09:10-09:20 Unchul Lee (NSSC Chair, Korea)
09:20-09:30 Il Han Kim (KARP President, Korea)

09:30-12:30 Session 1: Advancing Together After 87 Years
Co-Chairs: Claire Cousins (ICRP Chair), Christopher Clement (ICRP Scientific Secretary)

- 09:30-09:50 The Future of ICRP – Towards a Centenary and Beyond
Claire Cousins (ICRP Chair)
- 09:50-10:10 Overview of ICRP Committee 1: Radiation Effects
William Morgan (ICRP C1 Chair)
- 10:10-10:30 Overview of ICRP Committee 2: Doses from Radiation Exposure
John Harrison (ICRP C2 Chair)
- 10:30-11:00 Break**
- 11:00-11:20 Activities of Committee 3 on Protection in Medicine
Eliseo Vaño (ICRP C3 Chair)
- 11:20-11:40 Overview of ICRP Committee 4 Application of the Commission's Recommendations
Donald Cool (ICRP C4 Chair)
- 11:40-12:00 Protection of the Environment - Activities of ICRP Committee 5
Carl-Magnus Larsson (ICRP C5 Chair)
- 12:00-12:30 Q&A
- 12:30-14:00 Lunch**

14:00-17:00 Session 2: Exploring Existing Exposure Situations
Co-Chairs: Jean-François Lecomte (ICRP C4), Agneta Rising (WNA)

- 14:00-14:25 Understanding Existing Exposure Situations
Jean-François Lecomte (ICRP C4)
- 14:25-14:50 Cosmic Radiation in Aviation: The Radiological Protection of Air France Aircraft Crews
Gérard Desmaris (Air France, France)
- 14:50-15:15 Measuring, Discussing and Living Together – What We Learned from Four Years in Suetsugi
Ryoko Ando (Ethos in Fukushima, Japan)
- 15:15-15:45 Break**
- 15:45-16:10 Contaminated Sites from the Past – EPA Experience
Michael Boyd (ICRP C4)
- 16:10-16:35 Protection of the Environment in Existing Exposure Situation
David Coplestone (ICRP C5)
- 16:35-17:00 Panel Discussion

09:00-12:00 Session 3: Radiological Protection in Medicine Today**Co-Chairs:** Donald Miller (ICRP C3), Il Han Kim (KARP)

- 09:00-09:25 Eight Decades of ICRP Recommendations in Medicine: A Perspective
Pedro Ortiz-López (ICRP C3)
- 09:25-09:50 Current Issues in the Roles of Radiologists, Medical Physicists, Radiographers, and Manufacturers in Korea
Kyung-Hyun Do (University of Ulsan, Korea)
- 09:50-10:15 Current Global and Korean Issues in Safety of Nuclear Medicine Procedures
Ho Cheon Song (Chonnam National University Hospital, Korea)
- 10:15-10:45 **Break**
- 10:45-11:10 Radiological Protection in Ion Beam Radiotherapy: A Practical Guidance for Clinical Use of New Technology
Yoshiharu Yonekura (ICRP C3)
- 11:10-11:35 A Web-based ICRP Resource to Inform Healthcare Providers on the Risks and Benefits of Ionizing Radiation in Medicine
Sandor Demeter (ICRP C3)
- 11:35-12:00 Panel Discussion
- 12:00-13:30 **Lunch**

13:30-17:00 Session 4: The Science Behind Radiation Doses**Co-Chairs:** Jaiki Lee (ICRP MC), Hans Menzel (ICRU Chair, ICRP MC)

- 13:30-13:55 Dose Coefficients of ICRP – Their Computational Development and Current Status
Wesley Bolch (ICRP C2)
- 13:55-14:20 The Operational Quantities and New Approach by ICRU
Akira Endo (ICRP C2)
- 14:20-14:45 The Reference Phantoms: Voxel vs. Polygon
Chan Hyeong Kim (ICRP C2)
- 14:45-15:10 Assessment and Interpretation of Internal Dose: Uncertainty and Variability
Francois Paquet (ICRP C2)
- 15:10-15:45 **Break**
- 15:45-16:10 The Use of Effective Dose
John Harrison (ICRP C2 Chair)
- 16:10-16:35 Dosimetry for Animals and Plants – Contending Biota Diversity
Alexander Ulanovsky (ICRP C5)
- 16:35-17:00 Panel Discussion

09:00-12:00 Session 5: New Developments in Understanding Radiation Effects**Co-Chairs:** Werner Rühm (ICRP C1), Malcolm Crick (UNSCEAR)

- 09:00-09:25 New ICRP *Publication 131: Stem Cell Biology with Respect to Carcinogenesis Aspects of Radiological Protection*
Jolyon Hendry (Manchester University, UK)
- 09:25-09:50 Radiation-related Risks of Non-cancer Outcomes in the Atomic-bomb Survivors
Kotaro Ozasa (ERF, Japan)
- 09:50-10:15 Dose Rate Effects in Radiation Biology and Radiation Protection
Werner Rühm (ICRP C1)
- 10:15-10:45 **Break**
- 10:45-11:10 Evidence for Variation in Human Radiosensitivity and its Potential Impact on Radiological Protection
Simon Bouffler (ICRP C1)
- 11:10-11:35 Analysis of Individual Difference of Radiosensitivity using Genome-editing Technique
Shinya Matsuura (Hiroshima University, Japan)
- 11:35-12:00 Panel Discussion
- 12:00-13:30 Lunch

13:30-16:35 Session 6: Ethics in Radiological Protection**Co-Chairs:** Jacques Lochard (ICRP Vice Chair), KunWoo Cho (ICRP C4)

- 13:30-13:55 The Ethical Foundations of the Radiological Protection System
KunWoo Cho (ICRP C4)
- 13:55-14:20 The Focal Role of Tolerability and Reasonableness in the Radiological Protection System
Thierry Schneider (CEPN, France)
- 14:20-14:45 The Ethics of Radiological Risk Governance – The Justice of Justification as a Central Concern
Gaston Meskens (SCK-CEN, Belgium)
- 14:45-15:15 **Break**
- 15:15-15:40 The Ethical Foundations of Environmental Radiological Protection
Deborah Oughton (ICRP C4)
- 15:40-16:05 Are the Core Values of the Radiological Protection System Shared across Cultures?
Friedo Zölzer (University of South Bohemia, Czech)
- 16:05-16:35 Panel Discussion

16:35-17:30 Closing Remarks

Claire Cousins (ICRP Chair)
Jacques Lochard (ICRP Vice Chair)
Jacques Repussard (IRSN, France)