

出國報告 (出國類別：開會)

## 出席第 52 屆美國保健物理年會



服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：秦清哲、輻射防護處技正

派赴國家：美國

出國期間：96年7月7日至96年7月19日

報告日期：94年9月15日

## 摘 要

本次奉派參加由美國保健物理學會（HPS）於2007年7月8日至7月12日假美國奧瑞岡州波特蘭市舉行之第52屆年會，會議係假奧瑞岡會議中心(Oregon Convention Center)及波特蘭雙樹飯店(Double Tree Hotel)舉行，會後參加由奧瑞岡州立大學主辦的2007 HPS Professional Development School訓練課程（PDS）。美國保健物理學會，從1955年開始每年固定於7月間召開國際會議一次，每年元月時再召開年中會中會議乙次。由於美國是居世界保健物理發展先進地位，故HPS在世界核能界及保健物理界極具影響。藉由參與此會議，與各國專家交換輻防管制上的經驗與資訊，了解各國在此一領域發展的現況與趨勢，以作為我國研擬輻防管制法規及執行稽查作業時之參考。對於HPS的運作，訓練課程，儀器展示與輻射防護師的認可等作業方式亦可值得國內參考。

## 目 次

	頁次
一、目的.....	1
二、行程.....	4
三、會議紀要.....	5
(一) 美國保健物理學會年會.....	5
(二) 美國保健物理學會訓練課程.....	13
(三) 參觀輻射儀器展示.....	49
(四) 參訪奧瑞岡州州立大學輻射中心.....	51
(五) 其他活動.....	54
四、心得與建議.....	56
(一) 心得.....	56
(二) 建議.....	60

### 留參資料

(一)、Final Program "52nd Annual Meeting of the Health Physics Society (American Conference of Radiological Safety)", July 8-12, 2007, Portland, OR

(二)、Health Physics, The Radiation Safety Journal, Vol. 93, No. 1, July 2007

## 一、目的：

美國保健物理學會（Health Physics Society, HPS）是一個國際間知名之非營利組織，目前會員超過6,500人，學會創立於1955年，學會的宗旨為防止人們及環境不當的輻射曝露，主要是針對游離輻射防護。該學會自從1955年起迄今已辦理52屆的年會，具有相當的傳統，本次第52屆年會在美國奧瑞岡州波特蘭市舉行，會議期間為2007年7月8日至7月12日，會議場地假奧瑞岡會議中心(Oregon Convention Center)（圖1）及波特蘭雙樹旅館(Double Tree Hotel)（圖2）舉行。這年會會議期間各地保健物理專業人士多能參加，除美國當地會員外，亦有來自加拿大、歐洲、亞洲國家的代表（台灣、日本、大陸及香港等），與會人士約八百人左右。經國內保健物理前輩的努力協商，台灣亦成立美國保健物理學會台灣分會，目前由財團法人中華民國輻射防護協會辦理。



圖1 奧瑞岡會議中心(Oregon Convention Center)及外景



**圖2 波特蘭雙樹旅館(Double Tree Hotel)**

本會近年來皆派員參加該年會，以瞭解：

1. 美國在輻射防護實務與管制上之現況與發展之趨勢。
2. 現今美國所關注輻射防護議題及美國保健物理學會的運作。
3. 國際上新的輻射防護議題及新知。

參加此次會議除可拓展國際視野外，並可作為原子能委員會草擬游離輻射防護安全相關管制規定的參考。美國保健物理學會每年舉辦之年會是國際上有關輻射防護領域中一項重要的會議，它提供一個學術研究與實務經驗交流的平台。由於美國在該領域相關研究具有領導地位，且我國核能電廠等設施是採用美國設計及製造，因此在相關的法規考量需要借助於美國的經驗，可供我國輻射防護、安全管制與輻射度量之參考。

在大會舉行期間，年會的內容包括了會議、訓練課程及輻射防護設備展。會議方面則包括美國保健物理學會委員會會議（Health Physics Society Committee Meetings）、大會會議開幕式的專題報告(Plenary Session)、分組口頭報告、論文張貼方式（Poster Session）及晚宴；而訓練方面包括AAHP Courses、Professional Enrichment Program（PEP）、Continuing Education

Lectures (CEL) 及會後的2007 HPS Professional Development School訓練課程 (PDS)。

承蒙長官的同意，經簽奉核可後參加美國保健物理學會會後的2007 HPS Professional Development School訓練課程，本年度的訓練課程是委託由奧瑞岡州立大學 (Oregon State University, OSU) 主辦，訓練的期間為7月13日 (星期五) 至7月16日 (星期一)，即大會結束後緊接舉行，利用週末期間進行。本年度訓練的主題為Radiological Assessment: Detection, Identification, and Evaluation (圖3)，以往訓練課程為五天，但今年度縮短為四天，為不影響總時數 (總數32小時)，延長每日上課時數，其中二個晚上亦安排課程。

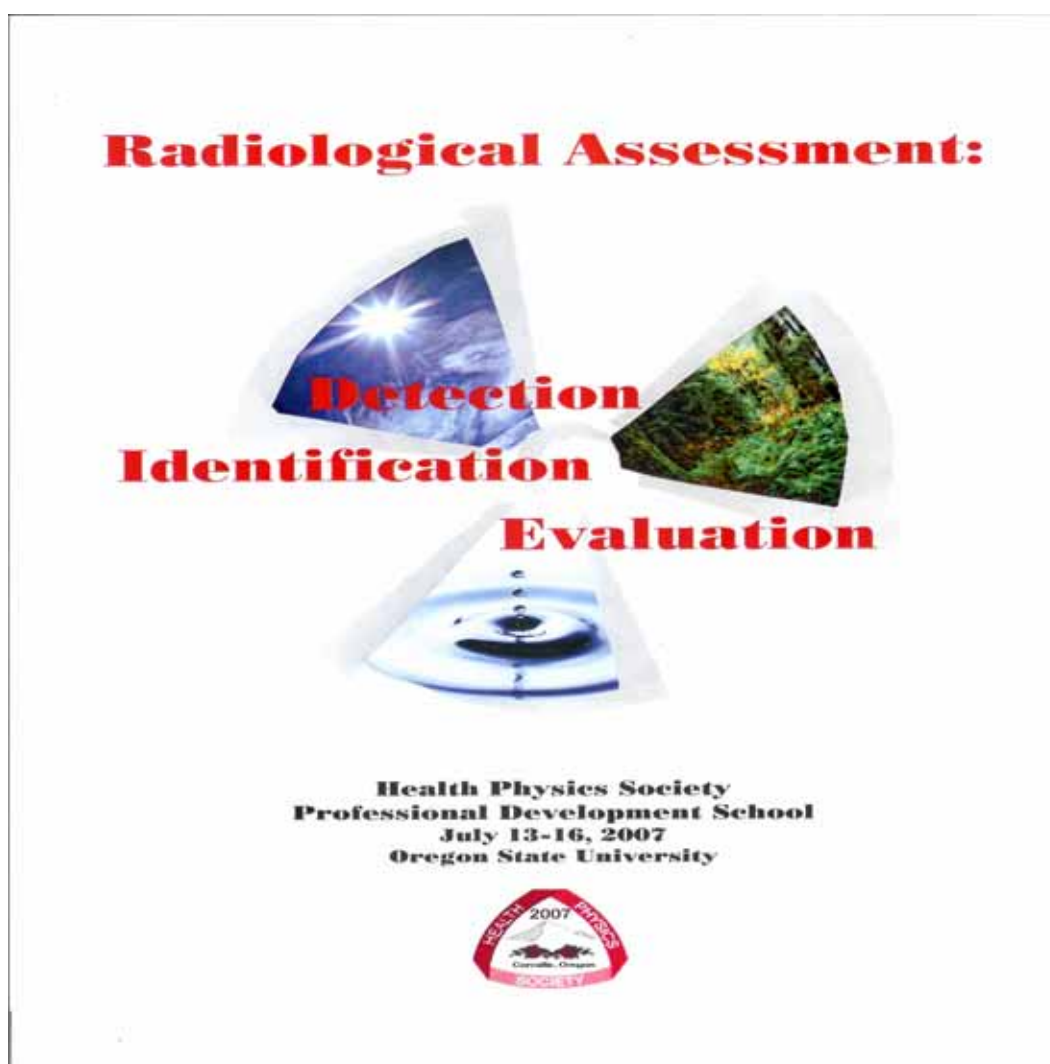


圖3 2007 HPS Professional Development School 訓練主題

## 二、行程：

日期	工作內容
96/7/7	台北→波特蘭（去程）
96/7/8~96/7/12	參加美國保健物理學會（HPS）52nd 年會及相關會議活動
96/7/13~96/7/16	參加美國保健物理學會會後的 2007 HPS Professional Development School 訓練課程
96/7/17~96/7/19	波特蘭→台北（回程）

### 三、會議紀要：

#### (一)美國保健物理學會年會：

美國保健物理學會（Health Physics Society, HPS）第 52 屆年會於 2007 年 7 月 8 日至 7 月 12 日假美國奧瑞岡州波特蘭市舉行，會議地點為奧瑞岡會議中心(Oregon Convention Center)及波特蘭雙樹飯店(Double Tree Hotel)舉行，會後參加由奧瑞岡州立大學主辦的訓練課程。美國保健物理學會為國際間頗具規模的輻射防護研究學術組織，在輻射防護研究學術領域中具有重要地位，本會近年均派員出席參與此項盛會。

在大會舉行期間，有關會議方面則包括美國保健物理學會委員會會議（Health Physics Society Committee Meetings）、大會會議開幕式的專題報告(Plenary Session)、分組口頭報告、論文張貼方式(Poster Session)及晚宴等。茲將會議行程分別說明如下：

#### 1. 保健物理學會委員會會議：

保健物理學會委員會會議在正式年會前即開始，會議地點則在雙樹飯店舉行，年會正式開始後之委員會會議則依與會人數及現況，分別於奧瑞岡會議中心或雙樹飯店召開，前後 7 天的期間（含正式年會前）合計召集 43 次會議，顯示保健物理學會組織規模之龐大及活動能力的旺盛，值得我們借鏡。

- 7 月 6 日  
ABHP BOARD MEETING
- 7 月 7 日  
FINANCE COMMITTEE  
ABHP BOARD MEETING  
CONTINUING EDUCATION COMMITTEE



AAHP EXECUTIVE COMMITTEE

HPS EXECUTIVE COMMITTEE

● 7月8日

HPS BOARD OF DIRECTORS

AAHP EXECUTIVE COMMITTEE

PROGRAM COMMITTEE

HP/ORS JOURNAL BOARD MEETING

● 7月9日

RSO SECTION EXECUTIVE BOARD COMMITTEE

NOMINATING COMMITTEE

CHAPTER COUNCIL MEETING

HPS WEB EDITORS

ANSI N13.14 WORKING GROUP

AEC ACCREDITATION SUBCOMMITTEE

SCIENTIFIC AND PUBLIC ISSUES COMMITTEE

HISTORY COMMITTEE

AWARDS COMMITTEE

● 7月10日

RULES COMMITTEE

RADIATION SAFETY WITHOUT BORDERS

INTERNATIONAL COLLABORATION COMMITTEE

GOVERNMENT & SOCIETY RELATIONS COMMITTEE

HP PROGRAM DIRECTORS ORGANIZATION

PUBLIC INFORMATION COMMITTEE

MEMBERSHIP COMMITTEE

ANSI N320 (REACTOR EMERGENCIES)

CSU RECEPTION - ALL ARE WELCOME

● 7月11日

SCIENCE SUPPORT COMMITTEE

AAHP PROFESSIONAL DEVELOPMENT COMMITTEE  
SOCIETY SUPPORT COMMITTEE  
ANSI N13.12 WRITING GROUP  
LAB ACCREDITATION COMMITTEE  
STUDENT BRANCH MEETING  
HPS DECOMMISSIONING SECTION  
STANDARDS/HPSSC MEETING  
ACADEMIC EDUCATION COMMITTEE  
ANSI N42.50 (RADON PROGENY)  
HOMELAND SECURITY COMMITTEE

- 7 月 12 日  
LOCAL ARRANGEMENTS COMMITTEE  
PROGRAM COMMITTEE  
HPS BOARD OF DIRECTORS  
HPS BOARD OF DIRECTORS MEETING

## 2. 大會開幕式的專題報告(Plenary Session) :

Plenary session 由大會主席 Brian Dodd 博士主持，是現任保健物理學會主席（圖 4）。開幕式會議演講議題計有五個專題演講，分別概述說明如下：

- Update and Insights on the Po-210 Incident
- The International Radiological Work of the U.S. Department of State
- The International Radiation Protection and IRPA12
- Radiation Safety Infrastructure in Developing Countries: A Proactive Approach for Integrated and Continuous Improvement
- The CRITr Program: Training International Law Enforcement Personnel in Radiation Detection



圖 4 大會開幕式

首先由英國 Health Protection Agency (HPA) Michael R Bailey 博士報告 2006 年英國倫敦發生輻射毒物<sup>210</sup> Po 案件 (圖 5)，民眾可能曝露於輻射風險事件。報告內容包括事件背景、事件的初起和結果、環境監測、尿樣分析、訴訟程序等，英國當局除忙於進行防止事件蔓延外，同時確保民眾接收到最新的相關資訊，此案情處理經驗值得國內學習。



圖 5 倫敦<sup>210</sup> Po 案件受害者 Alexander Litvinenko 先生

其次由美國國務院 Bureau of International Security and Nonproliferation 的 Andrew G. Sowder 博士報告「美國國務院國際輻防工作」，主要內容為國土安全機制建置與輻射安全無國界概念，提請支持放射性物質管制，國務院佔美國聯邦政府預算的 1.2% (2007 年)。對外，以 IAEA 法規為基準、技術援助和外交支持對全球高活度放射性物質進行管制；對內要求核管會 (NRC)、能源部 (DOE)、環保署 (EPA) 等單位協調建立系統化應變能力。

接著由國際原子能總署 (IAEA) Department of Nuclear Safety & Security 的 Khammar Mrabit 博士報告「開發中國家的公共建設之輻防安全」，主要內容為提供法規條文、經由 Model Project 進行輻安，發展和加強地區的專門技術及建立關係，和分享知識及經驗，成立區域性的教育訓練中心，如馬來西亞、白俄羅斯、希臘、摩洛哥和敘利亞，回饋的信息改善所使用之法規條文。

另包括簡介國際輻射防護協會 (IRPA) 現況，並邀請與會專家參加 2008 年 10 月預計在阿根廷布宜斯諾艾利斯的國際輻射防護會議。

### 3. 分組口頭報告：

分組口頭報告是年會最重要的活動 (圖 6)，論文中皆為保健物理界所關心的問題，如輻射防護的法規與管制、體內外輻射劑量量測、除役等，大部分與原子能委員會業務相關。在會議期間每天有 5-6 個場地同時分別進行報告，與會者可就所感興趣的主題及場次自由選擇參加，每個報告人只有 15 分鐘的時間，但可惜大會並不提供會議相關資料，且時間緊促如發問題時太熱烈，往往會時間延誤。會議期間

總計有 32 個主題、246 篇論文，除了輻防、劑量評估、環境等主題外，反而因應 911 事件後的國土安全、緊急應變等備變、應變作部份的論文亦不少，顯示美國對於國土安全政策等經費是集中在此領域。



圖 6 分組口頭報告現場

- 7 月 9 日下午
  - NIOSH Dose Reconstruction Project，計6篇
  - Reactor Health Physics，計6篇
  - Regulatory/Legal Issues，計7篇
  - First Responders，計3篇
  - Waste Management，計6篇
- 7 月 10 日上午
  - AAHP Special Session on Health Physics Education: Status of Academic Programs, Student Recruitment, Funding and Accreditation，計10篇
  - External Dosimetry A，計12篇
  - Medical Health Physics，計12篇

Community Preparedness for Radiological Terrorism Response  
Special Session, 計12篇

Environmental/ Radon Special Session, 計5篇

Uncertainty Special Session Sponsored by the Decommissioning  
Section, 計11篇

- 7月10日下午

AAHP Special Session on Health Physics Education Funding and  
Accreditation of Academic Programs, 計7篇

External Dosimetry B, 計5篇

Decommissioning, 計8篇

Community Preparedness for Radiological Terrorism Response  
Special Session, 計6篇

CRSO Plenary Session, 計3篇

- 7月11日上午

Environmental, 計12篇

Accelerator Section Session, 計11篇

Internal Dosimetry and Bioassay, 計11篇

Homeland Security, 計11篇

Joint CRSO and RSO Special Session, 計9篇

Global Threat Reduction

- 7月10日下午

Environmental, 計8篇

Bioeffects, 計6篇

Emergency Response Instrumentation, 計8篇

Radiation Safety Without Borders, 計7篇

ADJUNCT TECHNICAL SESSION: Aerosol Measurements, 計8篇

- 7月12日上午

Current Topics in Internal Dose Assessment Special Session ,  
計7篇

10 CFR 835 Roundtable Session

Operational Health Physics , 計12篇

Emergency Response , 計5篇

Instrumentation , 計12篇

#### 4. 論文張貼方式 (Poster Session)

本次年會壁報論文，共有 15 個主題 84 篇論文，其主題如下所示：

- Accelerator , 計6篇
- Decommissioning , 計2篇
- Emergency Planning Response , 計2篇
- Environmental , 計8篇
- External Dosimetry , 計7篇
- Homeland Security , 計4篇
- Internal Dosimetry and Bioassay , 計7篇
- International and Student , 計6篇
- Medical , 計4篇
- Non-Ionizing , 計2篇
- Operational Health Physics , 計8篇
- Regulatory/Legal , 計3篇
- Risk Assessment , 計1篇
- Special International Poster Session , 計13篇
- Works-In-Progress , 計9篇

## (二)美國保健物理學會訓練課程：

美國保健物理學會(HPS)屬民間團體，為輻射防護從業人員提供所有輻射安全的方面的訓練，從輻射原理、儀器、章程、運輸、安全等輻射防護之最佳服務與保證。HPS 也提供最佳的網上訓練的需求，為所有輻射安全需要提供諮詢包括：校正、密封射源和設備註冊、現場審查、輻射安全項目發展和專家協助。每年七月舉辦年會的同時會舉辦 Certified Health Physicist (CHP)的考試，五年內需參加規定的會議或訓練課時數（稱為 Continuing Education Credits, CEC）才能再核發新 CHP 執照。

在大會舉行期間，訓練課程方面包括 AAHP Courses、Professional Enrichment Program (PEP)、Continuing Education Lectures (CEL) 及會後的 2007 HPS Professional Development School (PDS) 等訓練課程。茲將訓練課程分別說明如下：

### 1. AAHP 訓練課程：

AAHP 課程在 7 月 7 日(星期六) 於 08:00~17:00 舉辦，分別進行 8 小時深入的訓練課程，本次計有三個課程同時分別在不同的教室舉行，這課程需要收費(US\$200 元)，課程內容分別簡述如下：

**AAHP1：8 小時 OSHA 有害廢棄物作業在職再訓練 (Eight-hour OSHA Hazardous Waste Operations Refresher Training)**

這課程的目的是對曝露的危險物質、有害健康或在操作危險廢棄物，有安全危害之虞的工作人員，應依 29 CFR 1910.120 (e)，每年應重新再訓練，訓練完成後發予認可證書，課程內容包括法規、指引等介紹及有關對化學品、化性、物性及遷移，及工作人員安全及健康。並討論危險化學品監測方法、個人防護設備、醫護監護，這課程亦會討論輻射曝露健康及安全。



## AAHP 2：緊急劑量的評估（Emergency Dose Assessment）

核電廠發生意外事故時，必須立即對廠內工作人員及廠界之民眾進行輻射防護行動，輻射防護行動之決定取決於輻射潛在影響的評估，核電廠有設備可評估及監測排放至環境。電廠緊急應變組織包括合格之人員，以便進行監測及評估。這課程包括緊急事故時，評估廠內工作人員劑量及場外民眾劑量評估，內容包括如下：

- (1) 評估放射性排放量、形式、種類。
- (2) 評估擴散至環境之排放。
- (3) 評估下風向之物質遷移。

## AAHP 3：保健物理專家對國土安全儀器設備之使用（Homeland Security Instrumentation for the Health Physicist）

當國土安全發生放射性物質的狀況時，輻射防護的保健物理專家是重要的顧問諮詢，從不同的輻射防護觀點、功能、輻射偵測設備。

本課程讓保健物理人員了解不同之輻射設備，如污染偵檢器、門框偵檢器、搜索用射源儀器、核種鑑別設備、瞭解儀器的功能、應用、靈敏度及偵測極限。

## 2. Professional Enrichment Program (PEP) 訓練課程：

PEP(Professional Enrichment Program) 訓練課程分別於7月8日(星期日)至7月11日(星期三)舉行，這課程提供參加年會人員繼續教育的機會，每一課程2小時，可進行深入的討論，不像年會簡報人只有短短的15分鐘報告。

- 7月8日(星期日)從08:00至16:00提供了24門課程。
- 7月9日(星期一)至7月11日(星期三)每天12:15~14:15分別提供5門課程。

PEP課程合計39門課程，每課程收費60元，限名額60人參加，採用先到先佔位方式入場。學生可候補免費進場參加課程，並於開始上課15分鐘內停止進場。課程科目說明如下：

7月8日（星期日），08:00~ 10:00

- 1-A 電磁場(0-300GHZ)鑑定與控制( Identification and Control of Electro-magnetic Fields (0 - 300 GHz) (Part 1 of 3))
- 1-B 醫用體內劑量計算-現行方法與工具 ( Medical Internal Dose Calculations - Current Methods and Tools )
- 1-C 中子劑量 ( Neutron Dosimetry )
- 1-D Saving Lives and Changing Family Histories: Appropriate Utilization of in utero Radiation Risk Estimates from Human and Animal Studies in Order to Counsel Pregnant Women Who have been Exposed to Ionizing Radiation
- 1-E EH&S “ Boot Camp ” for University and Hospital Radiation Safety Professionals: A Unique 3 Part PEP Course Series: Basics of Fire & Life Safety and Risk Management & Insurance (Part 1 of 3)
- 1-F 911事件後的整體緊急計畫 ( ON ALERT: Post 9/11 Integrated Emergency Planning )

1-G MARSAME之綜述與現況 (Multi-Agency Radiation Survey and Assessment of Materials and Equipment Manual (MARSAME): Overview and Current Status)

1-H 醫療保健物理在職再訓練 (Medical Health Physics Refresher)

7月8日 (星期日), 10:30~ 12:30

2-A 非游離輻射:非游離輻射風險之綜述( Non-ionizing Radiation: An Overview of Incoherent Non-ionizing Radiation Hazards (Part 2 of 3))

2-B 第一線應變人員對RDD/IND之認知體驗訓練 (RDD/IND Awareness Training for First Responders)

2-C 醫用輻射劑量定做假體和器官模型之精進研究 (Advances in Customized Phantoms and Organ Models for Medical Dosimetry Studies – Stylized to Voxel to Hybrid)

2-D 民眾宣導: 保健物理學家對輻射風險溝通之基本原則 (Fundamentals of Radiation Risk Communication for Health Physicists, Dealing with the Public (Part 1 of 2))

2-E EH&S “Boot Camp” for University and Hospital Radiation Safety Professionals: A Unique 3 Part PEP Course Series: Basics of Biological & Chemical Safety and Security 101 for Radiation Safety Professionals (Part 2 of 3)

2-F 保健物理專家對耗乏鈾之觀點 (Health Physics Aspects of Depleted Uranium (DU) )

2-G 職業工作人員體內劑量評估 (Occupational Internal Dosimetry Calculations (Part 1 of 2))

2-H 評論國際航空運輸協會對放射線物質空運規定 (Review of IATA Requirements for Air Transportation of Radioactive Material )

7月8日 (星期日), 14:00~16:00

3-A 保健物理學家對雷射的安全 (Laser Safety for Health

Physicists (Part 3 of 3) )

- 3-B 工業輻射流程之設計考量 ( Design Considerations for Industrial Radiation Processing )
- 3-C 非限制性排放之儀器選擇、校正和使用 ( Instrument Selection, Calibration, and Use for Unrestricted Release )
- 3-D 對輻射工作人：保健物理學家對輻射風險溝通之基本原則 ( Fundamentals of Radiation Risk Communication for Health Physicists, Dealing with Radiation Workers (Part 2 of 2) )
- 3-E (EH&S “Boot Camp” for University and Hospital Radiation Safety Professionals: A Unique 3 Part PEP Course Series: Measuring and Displaying Radiation Protection Program Metrics That Matter (to Management) (Part 3 of 3))
- 3-F 膠片佩章劑量學 ( Photographic Film Dosimetry )
- 3-G 職業工作人員體內劑量持評估 ( Continuation of Occupational Internal Dosimetry Calculations (Part 2 of 2))
- 3-H 劑量重建的假定和方法 ( Assumptions and Methods in Dose Reconstruction )

7月9日 (星期一) , 12:15 分~14:15

- M-1 基本統計學 ( Basic Statistics )
- M-2 ( Design, Fabrication, and Use of Anthro-pometric Phantoms for Calibrating Direct In Vivo Measurements of Internally- Deposited Radio-active Materials )
- M-3 低輻射劑量的細胞與分子的效應 ( Cell and Molecular Effects of Low Doses of Radiation )
- M-4 對醫療檢查人員及驗屍官處理INDs事件死亡者之課程訓練 ( Training for Medical Examiners and Coroners in Handling Fatalities from INDs )
- M-5 保健物理學家技術稽核 ( Technical Auditing for Health

Physicists (Part 1 of 3 on Laboratory Accreditation, See PEPs T5 and W5))

7月10日 (星期二) , 12:15~14:15

- T-1 應用輻射性能的指示劑 (Choosing Radiological Performance Indicators)
- T-2 評論輻射設施與設備之設計 (Radiological Design Review of Radiological Facilities and Equipment)
- T-3 統計學的好處 (Statistics - What Is It Good For? (A Practical Primer for the Practicing Professional))
- T-4 概述輻射流行病學計畫 (Overview of Interactive Radioepidemiological Program (IREP))
- T-5 HPS 實驗室認證計畫評鑑員訓練 (HPS Laboratory Accreditation Program Assessor Training (Part 2 of 3 on Laboratory Accreditation, See PEPs M5 and W5))

7月11日 (星期三) , 12:15~14:15

- W-1 大型學校/醫療機構的混合廢棄物管理 (Mixed Waste Management at a Large University / Medical Institution)
- W-2 保健物理人員關心的中子曝露，臨界安全與臨界事件 (Health Physics Concerns of Neutron Exposures, Criticality Safety and Criticality Accidents)
- W-3 HPS對第一線應變人員之技術支援 (Health Physics Society Technical Assistance to First Responders)
- W-4 中子偵測和系統的基本原理 (Fundamentals of Neutron Detection and Detection Systems)
- W-5 簡介不確定性評估 (Introduction to Uncertainty Calculation (Part 3 of 3 on Laboratory Accreditation, See PEPs M5 and T5))

大會於年會正式議程開始前，已經舉行了數場 PEP 訓練課程，如電磁波防護、低劑量輻射生物效應及緊急情形下保健物理人員之訓練等。

在百年來，在工業、科學、醫學、軍事上應用非游離輻射，可能放射出一種或一種以上的非游離輻射能量，包括 MW、RF、ELF(0-300GHz)。這電磁輻射能量對健康的影響也日漸受到主管機關、專家及民眾之關心。因此，科學機構及主管機關也提供曝露指引和標準，以保護工作人員。這課程探討安全議題及電磁光譜，包括電池至燈泡，或 DC 至陽光。探討無線通信、低頻區域、新武器、法規標準 ANSI/IEEE-2006、ACGIH 和 ICNIRP。

- 如何建立測量背景，以進行計算及測量，明白健康風險評估。
- 案例探討，以明白真實曝露之危險度。

另有關大氣擴散課程主要內容為，美國聯邦法規 40CFR51 (EPA) 的規定中，並無明確評估模式之不準度，而且亦未指明如何執行該規定，故電腦程式執行該規定時存在一些不準確度，如風向之量測、擴散係數甚至電腦程式中本身就已存在一些不準度，不過該規定本身就是相當保守的，這些不準度應不致影響其評估之劑量的應用，由於大氣擴散的分析在輻射防護上會用以評估核設施氣體排放造成民眾的劑量，以及緊急應變課題中在意外下之民眾劑量評估，在使用擴散分析的電腦程式時，國內均會針對本土的參數，如風向、風速等的測定，需符合相關偵測規範的要求，可以使不準度的影響儘可能減少。

此外 NORM 的課程介紹天然放射性物質之來源，除了來自地表的鈾、釷系列的子核及鉀 40 外，鈦礦、石油及煤工業亦會伴隨產生一些 NORM，一般美國許多保健物理從事人員對於此類礦物較為陌生，所知有限，本課程即廣泛介紹大部份的 NORM 的來源及型態。

### **3. Continuing Education Lectures (CEL) 訓練課程：**

7月9日(星期一)至7月12日(星期四)，每天早上7時至8時，每天同時各舉行2場課程，合計8門CEL訓練課程，而CEL訓練課程是免費進場即可參加課程。課程科目說明如下：

#### **CEL1. Workforce Pipelines for the Nuclear Renaissance**

核能工業的春天來到了，新電廠、舊電廠延壽、武器級物料管理、廢料管理及燃料循環，因此，未來對管路工作小組具有挑戰性，這演講提供保健物理人員在這範籌更大的需求、機會及挑戰。

#### **CEL2. Medical Reserve Corps (MRC) – Volunteer Opportunity for Health Physicists to Contribute to Their Local Communities**

醫療服務志工，是以技術及經驗對當地社區醫護及公共健康的照顧。美國目前超過500個組織，超過8萬人專業人員及一般民眾參與。75%以上的MRC在當地的健康衛生部門服務，一旦發生輻射緊急狀況時，這些免費的志工均能熟悉社區個人並肩負起社區內的輻射防護。

HP人員可在社區訓練MRC人員，以增加輻防護知識，訓練所需時間雖不多，但影響是重大明顯的。

#### **CEL3. ON ALERT: Post 9/11 Integrated Emergency Planning**

911事件後，建立改變全國性的反應機制，並發展預防、整備、復原，各級政府、非政府間組織能力。保物人員及輻安人員擔任重要角色，在各級緊急反應事件中包括：

- 危險及評估
- 輻射知識
- 緊急指揮系統
- 緊急計畫及管理
- 災害時心理

**CEL4. Image-Based Methods in Internal Dose Calculations –  
Current Status**

診斷治療之劑量評估，已由核醫劑量評估進而為影像方法及模式，這種技術會取代以往的評估技術。本演講探討模式現在研究回顧人類及動物、身體及器官模式、網路軟體工具和資源，並使用 MC 技術探討影像模式在輻射傳送計算，特別是核醫治療方面。

**CEL5. Ingestion Derived Intervention Levels (DILs) and Derived  
Response Levels (DRLs) for Emergency Planning and  
Response**

1998 年 FDA 公告更新 1982 年核意外事故、人類食物及動物飼料放射污染的建議值，因此建立 DIL，以供食入污染食物的導引。本演講提供概述有關食入之 DILS 及 DRL 在緊急計畫及反應；並討論其在 SRS 發展與應用。

**CEL6. 2006 Gamma Irradiator Accident in Belgium**

在 2006 年 3 月，比利時發生照射廠意外事件，造成工作人員曝露之事件，因機械問題，造成照射廠房高劑量，Co-60 射源



活度為 77 萬居里，造成工作人員曝露劑量為 4.4 至 4.8Gy 間，討論意外事件之時間序列、系統設計及作業程序、改善行動及防護措施。

**CEL7. Training First Responders on Radiological Dispersal Devices (RRDs) and Improvised Nuclear Devices (INDs)**  
提供於 RDD 及 IND 事件之第一線工作人員之訓練，及 RAM 及 SNM 之背景資訊評估，並探討現行導引 NCRP Commentary No.19。

**CEL8. Subsurface Soil DCGLs**

#### **4. 2007 HPS Professional Development School (PDS) 訓練課程：**

2007 HPS Professional Development School訓練課程，是委託由奧瑞岡州立大學（Oregon State University，OSU）主辦，訓練的期間為7月13日（星期五）至7月16日（星期一），為期四天的訓練課程，而其中亦安排二個晚上上課，訓練課程的主題為Radiological Assessment : Detection, Identification, and Evaluation，合計12科目。分別由Kathryn Higley教授和Steve Reese教授擔任教務主管及行政主管，參與人員有52人，另外尚有OSU的研究生，因此合計有60人，絕大多數是美國人，有三位是來自加拿大，只有我一人是來自亞洲，至於的職業分佈在產官學各領域，茲將課程科目說明如下：

7月13日（星期五）

- Source Terms for Radiological Assessment
- Major Biogeochemical Processes of Radionuclide Dispersal in Terrestrial Environments
- Atmospheric Dispersion
- New Development in Instrumentation – show & tell

7月14日（星期六）

- Radiation Detection Instrument Standards – 2006
- Sampling & Analysis Protocols
- Tour of OSU Radiation Center Facilities

7月15日（星期日）

- Statistical Issues in Applied Health Physics
- Tools for Assessing Radiological Doses to Human and Biota
- Health Risk Assessment at Low Doses of Ionizing Radiation

Exposure

- Data Quality Objectives – What Can Go Wrong?

7月16日（星期一）

- Practical Examples and Special Considerations – Accidents
- Planning for a Successful Decommissioning Project Using Backwards Planning Data Management
- Practical Examples and Special Considerations of Radionuclide Releases
- Resources and calculational tools and closeout

第一章 射源來源的輻射評估

(Source Terms for Radiological Assessment)



Professor J. E. Martin

***“Radiological assessment is a ... quantitative process of estimating the consequences to humans resulting from the release of radionuclides to the biosphere.”***

—John E. Till and H. Robert Meyer, 1981

一系列廣大的輻射源存在，即代表可經由環境途徑造成對個人的潛在曝露。主要的可以概述如下：

- 活化產物是應用不同的材料，經由核撞擊產生正子放射核種(例如， $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{18}\text{F}$  經由質子和氬核的相互作用的)和其他與來自中子相互作用的核種( $^{14}\text{C}$ 、 $^{36}\text{Cl}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、TRUs 等)。
- 超過 1200 種的分裂產品的放射性核種是來自  $^{235}\text{U}$  和  $^{239}\text{Pu}$ 。大多數是短半化期核種，也會產生一些長半化期核種(例如， $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{129}\text{I}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  等)，因為潛在的環境活度，也需要注意。
- 來自宇宙射線的天然輻射及原始的天然放射性物質，其中很多被包含在環境物質。鈾、釷為一長衰變系列的母核，含有放射性衰變的子核種(例如，氦和其產物)，最後形成穩定的元素。鈾、釷和原始的天然放射性物質，主要是  $^{40}\text{K}$ ，當地球形成時，這些天然放射性物質也形成且持續存在，是因為長半化期。
- 穩定比率的宇宙射線在大氣中作用，因此氬、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^7\text{Be}$ 、 $^{36}\text{Cl}$  在環境中是平衡。因此，不同的天然的輻射及天然放射性物質，在海平面對人每年產生大約 100 mrem (1 mSv)的劑量，不包括氦和其產物。

總之，輻射和核種是無所不在的，因此會曝露在不同的環境，特別是曝露在天然環境下。曝露在射源下，會有不同程度地曝露是可能的，主要取決於環境的狀況。體認、生活習慣及不同的政策和控制，能降低其中的一些曝露，但並不是完全可達到。對現代科技社會的挑戰，在於達到這些可能性和他們的環境間的最佳平衡。

## 第 2 章 在陸地環境中核種擴散的主要的生物地球化學過程 (Major Biogeochemical Processes of Radionuclides Dispersal in Terrestrial Environments)



Dr. T. G. Hinton

本章介紹核種在陸地生態系統中重要的生化地質的傳輸過程，而這些過程發生在生態系統，這過程取決於天然的化學、物理、生物、生態現象。一些過程，例如大氣沈積和土壤剝蝕，能夠運輸大多數對土壤和顆粒粒子強烈結合的核種化學過程。這些過程可以被認為是與核種獨立。核種容易揮發，或不會與土壤結合(例如， $^3\text{H}$ )，則不是這組別。另一方面，有些過程取決於特殊核種的化性，過程包括傳輸污染物穿透生物薄膜或傳輸生理系統的特殊核種化學的過程。當涉及生物過程時，因此，例如根的攝入、腸壁的吸收、組織的改變，核種的化性及物性，對過程及比率有很重大的影響。在這情況的過程可被認定為核種-dependent。

當決定核種散布到環境的命運時，所有這些過程都可能是重要的。因

此，準確定量核種釋放到環境的風險在時，需要射源特性的知識(例如，化學組成、物種、活度)、環境傳輸(即，對射源散布的空間和時間的特性和在特別介質或生物組織濃度)、導致關鍵器官的劑量和導致有害健康效應影響的可能性。確定風險的大小，並且和其他風險相比對，管理的放射污染環境，和對核子事故正確的反應或核恐怖活動的潛在回應。

### 第 3 章 大氣的散佈 (Atmospheric Dispersion)



Professor J. E. Martin

大氣散佈模式是估算污染物被釋放到自由流動的大氣濃度剖面圖的過程，在某一位置的濃度，可經由呼吸、浸入、地表沉積，或經由濕沉降或乾沉降的途徑，來評估其輻射曝露。(例如草、母牛、奶、甲狀腺途徑)。

在下風向(或者  $x$ )的擴散完全由風速  $u$  支配；不過，垂直和水平濃度的外形是高斯 (Gaussian) 分布，(如圖 7) 以高斯散佈系數  $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$  來描述剖面圖，也會隨下風向距離  $x$  而變化。

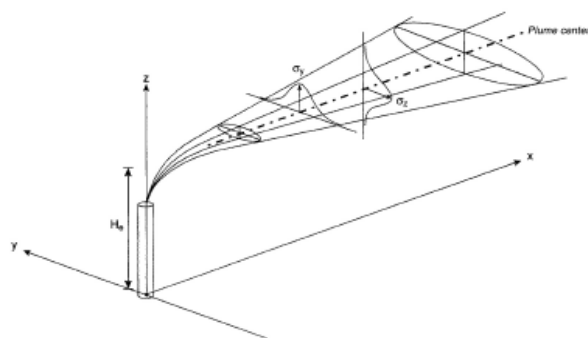


圖7. Gaussian dispersion. 高斯擴散

大氣散佈模式是估算污染物被釋放到自由流動的大氣濃度剖面圖的過程，被釋放到自由流動的空氣。高斯煙羽模式可以用於煙囪排放，如果相當於是以「點」排放，和風場有相同的紊流、有垂直溫度剖面圖的特性、在地形上是相對平坦且不受干擾的地形。這理想化狀態是很少存在，但實際上「點」排放是可以使用於平坦且不受干擾的地形，和排放點高於周圍建築物和受干擾的地形 2.5 倍。

當受建築物和干擾的地形，產生煙燻狀態或機械的紊流時，使用高斯煙羽模式是不適當，對不同的環境需要不同模式每情形。當煙羽遷移到下風向，會受到不同的影響，和擴散、稀釋，這傾向於降低物質的濃度。大粒子會沉降下來，煙羽污染物可能沈積在植物、地表面或者經其他物理和化學過程的物體。

實際上，對大多數設施的輻射評估而言，排放放射性物質(或者其他)到大氣是持續長時間。大氣狀況，特別是風向和大氣穩定度條件，將顯而易見在長時期變化，並且解釋決定平均濃度這樣的變化是必要的。通常在做每年或每季評估，根據風速度和穩定度，確定下風向區域的  $\chi/Q$  平均值。因而，長期的區域平均值，成為評估核設施排放至環境的一個重要因素。



## 第 4 章 輻射偵測儀器標準-2006

### (Radiation Detection Instrument Standards-2006)



Dr. Morgan Cox

本章的目標是為保健物理學家提供合理的概述和 American National Standards Institutes (ANSI)和 International Electrotechnical Commission (IEC) 標準對輻射偵測儀器標準的遠景。

1. 滿足需要、目的和這樣的標準的起源；
2. 描述發展標準及有關的資料的組織和相關團體；
3. 描述通常那些人會受標準的影響；
4. 使這些標準與國內和國際的法規相結合；
5. 簡明描述各種標準。

本章也將試圖說明標準 (standard)、導則文件 (guidance document) 或實作文件 (practices document) 和技術建議 (technical recommendations) 之間的差異。

在過去 10 到 15 年間，產生了 ANSI 和 IEC 標準，並以性能基本

(performance based) 闡明輻射偵測儀器，在預期的操作條件下應具有之功能。早期的標準，是規格描述 (specification-driven)。在這方面產生改變，是因為一些儀器在描述或詳細的實體很好，但功能並不理想。

輻射偵測儀器能確認及定量，輻射和放射性物質極小或極大的數量。另能夠精確地測量地球上任何位置或任何高度的天然背景輻射，或準確地測量核反應爐核心中的高輻射和核燃料極強的放射性。

輻射偵測器的應用是具有寬廣的範圍如生物學、醫學、商業和工業、教育、食品保存、消毒和其他有興趣的相關領域。因此，為了提供使用者最好、最可靠、最容易的多重目的數據，輻射偵測器依據標準執行是很重要。

在本章中介紹研訂標準的幾個標準組織，說明如下：

1. ANSI N42 輻射偵測器(RPI)；
2. ANSI N42 國土安全偵測器(HSI)；
3. ANSI N42 輻射測量(RM)；
4. ANSI N13 保健物理學會標準；
5. ANSI N43 保健物理學會標準；
6. IEC 技術委員會(TC)45、小組委員會(SC)45B 輻射偵測器和 SC 45A 核反應爐輻射偵測器。

3 個 ANSI N42 委員會是由 Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)贊助的，而 ANSI N13 和 ANSI N43 委員會是由 Health Physics Society(IEEE)贊助的。

## 第 5 章 取樣和分析規範

### ( Sampling and Analysis Protocols )



Dr. G. Timothy Jannik

執行環境輻射的取樣、分析，以收集廣泛的數據。這些活動包括排放監測、環境監測、緊急應變、日常環境的監測、背景評估、核電廠執照終止、補證、停用和退役(D&D)、廢棄物管理和場所描述和運轉前評估。在本章裡將討論，核設施排放的監測和環境偵測計畫，和為補救措施的輻射取樣、分析計畫，和 D&D 作業。

大多數運轉中輻射設施被要求有環境輻射偵測計畫( **Radiological environmental monitoring program, REMP** )，以進行管理其排放和環境偵測的活動。REMP 有兩個主要目的：一是顯示符合聯邦、州和地方政府法規，二是在監控運轉中設施內外場所環境的影響。

執行輻射排放監測的理由如下：

- 確定射源項目的數量以符合聯邦、州和地方政府法規；
- 確證在環境影響報告的承諾；

- 確認可能引起環境影響的營運問題；
- 評估排放處理的需要和（或）效率和控制作業；
- 為提供支持允許的活動和承諾；
- 要偵測、描述特性、並報告非計畫的排放

執行環境輻射監測的理由如下：

- 確證符合環境承諾；
- 描述並確定在物理和生物環境的趨勢；
- 建立環境質量的基線；
- 評估減輕污染和排放控制計畫；
- 評估工廠營運和圍阻體的適合性；
- 證實或定量新或既存的环境問題；
- 鑑定並且確定新或者存在的環境的數量；
- 證實或修訂預測環境模式；
- 評估關鍵群體和民眾，對實際或潛在的污染曝露；
- 執行研究污染物轉移至環境

許多聯邦和州法律、規章和導引，適用在輻射取樣和分析活動，然而，新近的兩本非常詳述、多單位的共識資料，已經成為對發展輻射的取樣和分析計畫的標準參考，Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM) 和 Multi-Agency Radiological Laboratory Analytical Protocols Manual (MARLAP)。MARSSIM 是由美國國防部(DOD)、能源部(DOE)、環境署(EPA)和核管會(NRC) 合作發展出來。MARLAP 也是由前 4 單位與國土安全部(DHS)、聯邦食品及藥品管理局(FDA)、美國地質勘探局(USGS)和國家標準和技術研究所((NIST) 合作發展出來。

每年，政府機構和主管機關花費幾十億美元來蒐集環境輻射數據，以符合規章、決定政策和研究。這些數據主要依據法律，以確保人體健康和環境保護。大多數的這些費用是由納稅人或核能消費者支付，因此其目標要消除不必要和過度保守的數據，使這些費用減到最小。在所收集的數據需要有足夠的數量和質量，能信守承諾和決定政策，因此，全部排放和環境輻射取樣和分析的協定書，應該建立為整個流程的一部分，稱為數據的生命週期。如圖 1 中所示，對數據的生命週期有 4 個主要的階段：計畫、實施、評估和確定。

Data Life Cycle Process		
	Process	Process Output
Planning	Planning Process	Development of Data Quality Objectives (DQO) and Measurement Quality Objectives (MQO)
	Plan Documents	Sampling and Analysis Plan (SAP) and Quality Assurance Project Plan (QAPP)
	Services	Statement of Work and Contracts
Implementation	Sampling	Laboratory Samples
	Analysis	Complete Data Package of Analytical Results including Quality Control Samples
Assessment	Verification	Data Verification Report
	Validation	Data Validation Report
	Data Quality Assessment	Assessment Report
Decision	Decide If the Final Data Results Demonstrate Compliance with Applicable Regulations	Annual Site Environmental Report or Project Close Out Report

圖 8 數據的生命週期

在圖 8 數據的生命週期顯示為線性關係，但是在實際上是一反覆回饋

連續循環的過程，可以改進數據的品質。如果沒有完全理解或使用數據生命週期的 4 個完整階段，分析的結果可能沒有滿足最後的決策要求或可能增加費用，造成工程失敗。

數據生命週期過程應該被用於所有的目標，當(1)目標的目的是蒐集環境輻射資料，以符合法規章或；(2)目標的結果，做為具體清除的決定。數據生命週期過程可能不適用全部的數據，特別是具有最後尚未被確定的鑑別，例如研究和基本科學。不過，數據生命週期架構仍然是幫助這些類研究的一件有價值的工具，並且保證蒐集的數據的品質和數據蒐集的可靠性。

#### SRS 的決定 MDC 值的案例研究

除了飲用水外，在環境輻射的樣品分析方面，現有的聯邦或州政府沒在規定最小偵測濃度( minimum detectable concentrations, MDCs )的導則。在 Savannah River Site (SRS)，基於風險度來考量，以提議有關環境樣品的 MDCs，考慮以下內容：

- 對人類的適用和合理的途徑，
- 適合 SRS 地區最大曝露個人使用率，
- 美國能源部(DOE)批准的劑量因子，
- 國際輻射防護委員會(ICRP) 60 號出版物的劑量危險因子(每 mrem 7.3 E-07 危險度)，
- 30 年的曝露時間。

執行計算是確定環境介質的核種濃度，相當於潛在的危險度為 1E-06，這案例研究描述環境介質，選擇適合的 MDCs 的過程。此外，將討論基於危險度的 MDCs 與 SRS 環境偵測存在所提供的 MDCs 相比較。

## 第 6 章 應用在保健物理學方面的統計問題

### ( Statistical Issues in Applied Health Physics )



Dr. Daniel J. Strom

保健物理學的應用經常與測量輻射或放射性有關，輻射防護係依測量的結果來採取措施。因為測量不精確，對輻射或放射性物質經常不能切中要點，因此需要統計工具。

本章回顧一般的統計概念，包括機率性的意義；統計分佈；母體與樣品統計；相互關連性和不確定度；不確定度的來源；以及不確定的表達方式。其次是討論決定各種不同的閾值，例如放射性物質是否高於背景水準，來自 MARSSIM 和 MARLAP 的觀念。最後，在案例研究探討重建 X 光劑量，重建工作人員劑量和體內劑量測定的不確定度。建議使用 ISO 和 MARLAP 的專有名詞時要仔細分辨不確定度、變異性、偏差、精密度、系統和隨機不確定度、blunder 和誤差。把測量結果以使用有效數字與不確定度結合的陷阱，是由於明顯的數據被捨去太多。對低活度放射性的計測來說，需要兩個統計參數的概念：決定水準(決定閾值)和最小偵測極限。DL 值用於比較偵測的結果，而 MDA

值是一個參數被表示為使用系統的能力。最後，注意到在輻射防護使用的 LNT 模式是重要的，在高劑量到低劑量間使用內插法，而不是外插法。



## 第 7 章 對人類和動植物輻射劑量的評估工具 (Tools for Assessing Radiological Doses to Humans and Biota)



Dr. Charley Yu (余家禮)

有很多工具和程式可應用於進行輻射劑量評估價，使用者使用任何工具時，需要理解所選擇的工具，如限制、設計的目的、輸入參數的靈敏度和如何解釋所獲得的結果。對使用者很重要的是，所選擇的使用工具，已經被適當地測試、基準、證認、或已核准生效。適當的文件和使用手冊對使用者在進入使用時是有用的工具。在許多場合，當選擇一特別的工具做獨特性應用時，使用者對主管機關的承諾或者核准要謹慎。

RESRAD(onsite)程式最初在 1980 年代初期發展出來，從那以後，由於不同狀況、需求、以及使用者之要求，因此在過去 20 年間陸續開發了整套的程式，這整套風險評估的程式即被稱為 RESRAD 家族程式。

RESRAD 家族程式包括：

1. RESRAD(onsite) 程式為評估被核種污染的土壤；
2. RESRAD-BUILD 程式為評估被核種污染的建築物；
3. ESRAD-CHEM 程式為評估被危險的化學品污染的土壤；
4. RESRAD-BASELINE 程式為對所測量的核種和化學品的濃度，做一基本的風險估計；
5. RESRAD-ECORISK 程式為評估曝露於危險化學品的生物風險；
6. RESRAD-BIOTA 程式為評估非人類生物曝露於核種的劑量；
7. RESRAD-RECYCL 程式為評估輻射污染的金屬和設備之再循環和再使用；
8. RESRAD-OFFSITE 程式為評估廠外人類受體的輻射劑量。

**Table 1.** Comparison of RESRAD family of codes

Computer code	Source of contamination	Type of contamination	Transport model	Receptors	Operating system	Development status	Uncertainty analysis
RESRAD	Soil	Radionuclides	Yes	Human	Windows	Distributed	Deterministic/ Probabilistic
RESRAD-BUILD	Buildings	Radionuclides	Yes	Human	Windows	Distributed	Deterministic/ Probabilistic
RESRAD-CHEM	Soil	Chemicals	Yes	Human	DOS	Test/evaluation	Deterministic
RESRAD-BASELINE	All media	Radionuclides and chemicals	No	Human	Windows	Test/evaluation	Deterministic
RESRAD-RECYCLE	Scrap metals/ equipment	Radionuclides	No	Human	Windows	Distributed	Deterministic
RESRAD-ECORISK	Soil	Chemicals	Yes	Biota	DOS	Test/evaluation	Deterministic
RESRAD-OFFSITE	Soil	Radionuclides	Yes	Human	Windows	Test/evaluation	Deterministic/ Probabilistic
RESRAD-BIOTA	Soil, water, sediment	Radionuclides	No	Biota	Windows	Distributed	Deterministic

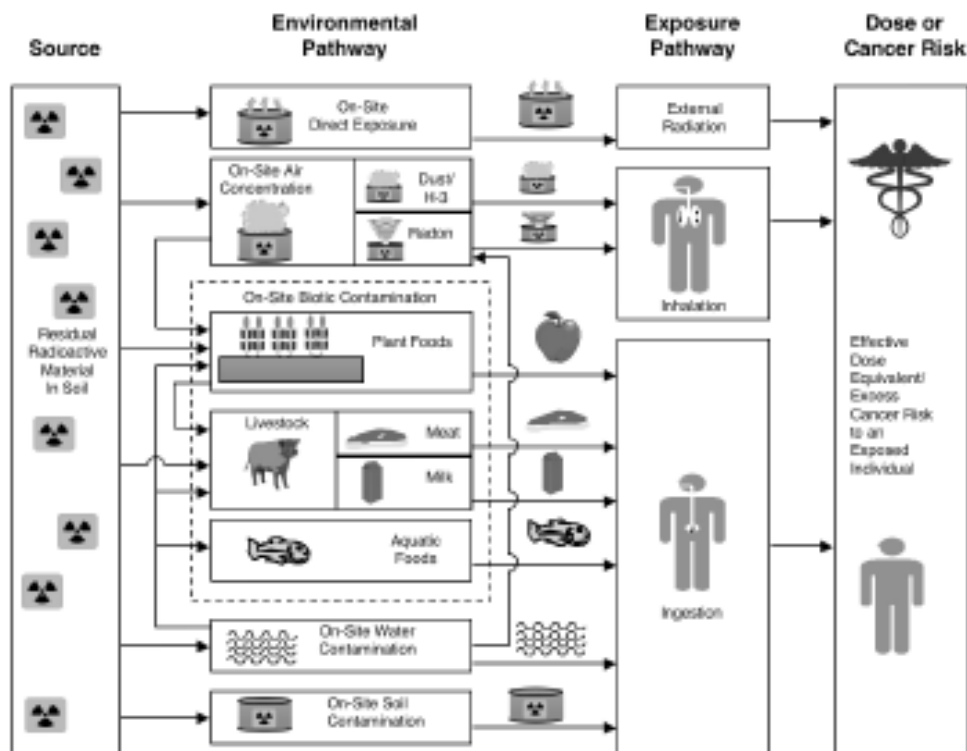


圖9 主要的環境途徑

其中 RESRAD(onsite)、RESRAD-BUILD、RESRAD-OFFSITE 等 3 個程式具有機率分析的能力，允許使用者自行輸入參數。另外 RESRAD(onsite)、RESRAD-BUILD、RESRAD-RECYCLE、RESRAD-OFFSITE、RESRAD-BIOTA 等 5 程式均定期維護及更新。其它 3 個程式 RESRAD-CHEM、RESRAD-BASELINE 和 RESRAD-ECORISK 為測試和評估用的  $\beta$  版本，因此較少維修，全部 RESRAD 家族程式都是使用者操作方便的界面並能提供線上服務。表 1 為 RESRAD 家族程式的特性和發展狀況。

RESRAD 家族程式已經被保健物理學家和輻防工程師作為輻射風險評估的工具（圖 9），目前 RESRAD 已經被廣泛地使用在美國和世界各

國，並已獲聯邦和州政府核准，包括美國能源部（DOE）和美國核管會（NRC）。美國環保署（EPA）已經使用 RESRAD 家族程式應用在一般的研究上，包括在清除輻射污染場所方面立法的提議和評估市政府的污水、污泥和灰燼的。美國陸軍工程師和美國國防部，已經在很多 FUSRAP（(Formerly Utilized Sites Remedial Action Program)）和其他點站，使用 RESRAD 程式評估。最近許多新特性增加到 RESRAD 家族程式；包括結合 ICRP-38 超過 830 核種的核種資料庫，提升機率分析的特性（在 RESRAD、RESRAD-BUILD、和 RESRAD-OFFSITE），以及明顯地改進使用界面（在 RESRAD-OFFSITE 和 RESRAD-BIOTA），大多數 RESRAD 家族程式會定期更新，和準備文件方便使用者應用。全部 RESRAD 程式和文件可以從 RESRAD 網站免費下載（ <http://www.evs.anl.gov/resrad> ）。

## 第 8 章 在低劑量游離輻射的健康風險評估

### (Health Risk Assessment at Low Doses of Ionizing Radiation Exposure)



Professor Kenneth L. Mossman

對低劑量游離輻射主要的軀體效應是癌症的產生，評估低劑量的公眾影響是一重大的挑戰，因為癌症風險是很低的並且不易被測量好，理論上，可估計確定小的風險值，但有其不確定性，因此風險要小心的解釋，理解和傳達非常低的風險必須考慮不確定的來源（表 2）。

Source	Population	Average dose (whole-body equivalent)
Cosmic radiation and terrestrial gamma rays	U.S. population: 300 million	0.9 mSv
Radon gas and progeny	U.S. population: 300 million	1.2 mSv
Three Mile Island accident	2 million living in vicinity of TMI	0.02 mSv
Chernobyl accident	240,000 liquidators	~100 mSv (with high individual variation)
Nuclear fuel cycle	110,000 U.S. nuclear workers	10–27 mSv
Mayak accident	12,763 resettled residents	400–600 mSv

<sup>a</sup>Sources: UNSCEAR 2000; Alexakhin et al. 2004; Cardis et al. 2005.

表 2 來自天然的輻射源、技術和意外的人類輻射曝露劑量

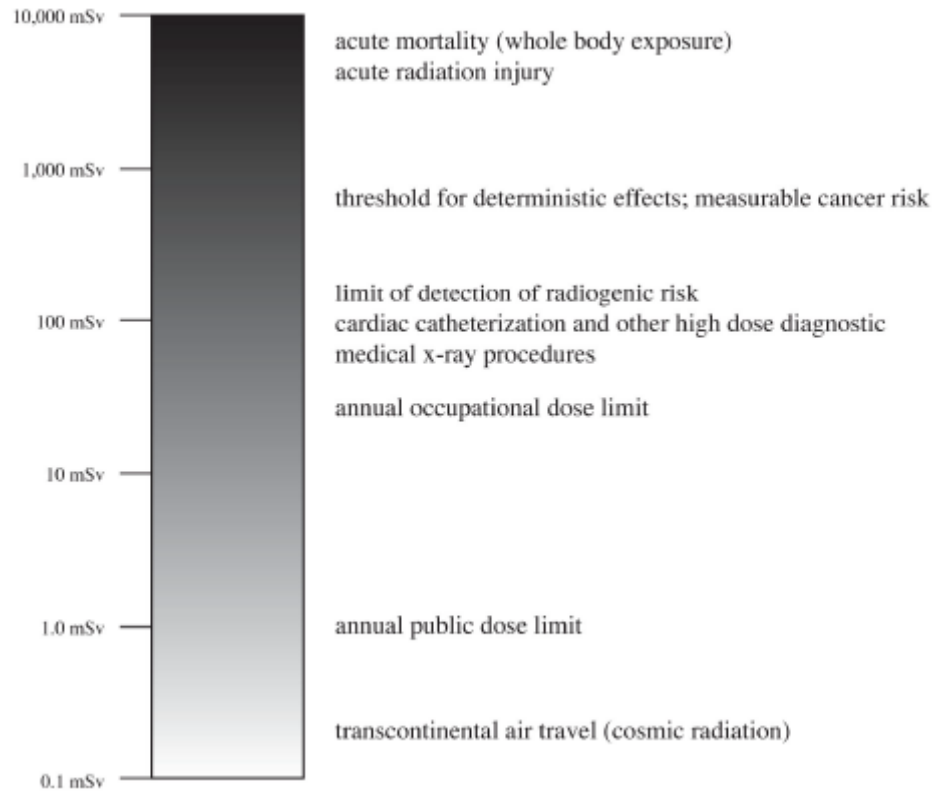


圖 10 輻射劑量基準

對於低的風險我們應該發多少心思注意？這取決於風險的性質、什麼引起曝露、曝露和結果可以被管制容易度。低機率的風險可能發生嚴重的事件，如果造成的結果是嚴重的，且大數目的人會受到影響。

個人曝露到低劑量致癌物的風險不會影響到公眾（圖 10）。個人風險為 100 萬分之 1，但無關人口數的大小，用統計術語可預測 1000 萬人口將有 10 個案例，或者 1 億人口將有 100 個案。這樣的計算建議公眾健康問題簡化，因為大的人口數被引進計算。如果個人沒有受到化學品的損害，則公眾人口也不會受到影響。

## 第 9 章 實際的例子和特殊的考量：意外事故

### ( Practical Examples and Special Considerations: Accidents )

Dr. K. L. "Ken" Groves

本課程的重點如下：

- 評論最近 10 年來的核意外事故和輻射意外事故。
- 概述可能供恐怖分子使用到的放射性物質(工業和醫學)。
- TOPOFF 2、Goiania、DOD 和 DOE 輻射意外事故演練。
- 評論說明聯邦 (DOD、DOE、EPA、CDC 和 NRC)、州政府 (National Guard WMD Civil Support Teams), 和區域(例如紐約市消防隊)可提供的資源。
- 評論在輻射或核子意外事故或事件時，保健物理人員需要提出的關鍵問題(事件指揮官想要從你那裡得到的信息，和你能提供什麼信息給他們?)
- 評論輻射排放的模式 (HOTSPOT 和 NARAC)和任何相關模式的問題
- 評論相關的 NCPD 出版物
  - 138 報告「Management of Terrorist Events Involving Radiological Material」。
  - 19 號補充報告「Key Elements of Preparing Emergency Responders for Nuclear and Radiological Terrorism」。
  - 未來的 ICRP 報告。
- 提供保健物理學人員對輻射或核子意外事故反應的出版物和參考資料。

## 第 10 章 數據品質目標：什麼會出錯？

( Data Quality Objectives: What Can Go Wrong? )



Dr. Raymond H. Johnson, Jr.

本章是非常實用的直接計畫程序，如於 MARLAP 所示，MARLAP 也確定數據品質目標(DQOs)。驗證研究目標的定性和定量陳述，確定最合適的數據蒐集的類型，確蒐集數據的最合適的條件(包括取樣和分析，決定可容忍的誤差限極，DQOs 應該包括蒐集全部數據活動的總不確定度，包括分析和取樣活動。

建立 DQOs 7 個步驟的過程 (MARLAP，附錄 B)：

- 1.說明需要輻射測量的問題
- 2.鑑定解決問題的決定
- 3.對決定鑑定輸入
- 4.確定研究邊界
- 5.發展決策規則
- 6.確定關於決定錯誤的極限，
- 7.優化獲得被要求的決定的設計。



本篇評論影響數據的質量的因素，主要考慮是手提式偵測儀器和實驗室輻射測量儀器。這兩個種類應該被分別考慮，因為手提式偵測儀器與控制得較好條件的實驗室相比，有較大的不確定度。試圖提供一寬廣的評論能影響輻射偵測儀的質量的因素，特別是手提式偵測儀器，提供實際的導引訊息，幫助選擇輻射儀器，確認正確地操作和使用，要知道可能引起儀器的讀值不正確原因，儀器讀值代表的意義，和保護測量的品質。評論手提式偵測儀器和實驗室儀器，以作為污染監測和曝露率測量，要對可靠的輻射測量來說，應該使用合適的儀器或應該瞭解的設備的限值。特別地，儀器使用者需要理解校正時的重要條件，能量的依存性，測量結果的幾何形狀。最好的輻射測量在校準的條件，可得到儘可能接近再現性。儀器使用者需要知道如何使用射源檢查證實儀器。儀器使用者應該特別注意超過輻射測量的意義。在進行重大的措施之前，至少應該重複測量確認。儀器使用者應該練習手提式偵測儀器，如此才知道儀器的反應及儀器的讀值所代表的意義。

## 第 11 章 實際的案例和特別的考慮核種的排放

### ( Practical Examples and Special Considerations of Radionuclide Releases )



Professor Kathryn Higley

這章的目的是在 RDD (Radiological Dispersal Device) 之後經由核種釋放環境的評估，讓讀者回顧整個過程。輻射影響、環境行為和偵測的課題，及包括有關  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{238}\text{Pu}$  和  $^{90}\text{Sr}$  的排放問題已被精簡的檢查，預測這 3 個類似大小不同的核種足跡，主要是考量劑量率或實際活度，一部分是由於射源大小的差異，但是，更重要的是因為輻射放射、預測環境的移動性，和主要的曝露途徑。

對田野和實驗室的 MDC (minimum detectable concentration) 的分析，顯示田野偵測可能對這些核種在一特定要控制的強度時，會成為不確定的問題(例如，DRLs(derived response levels)或每年 0.02 mSv 控制的強度)。由於可能受到來自非常迅速的形成的，輻射的足跡會受快速的排放的影響而改變，風險影響的決定是非常的複雜，因為預測生物攝食的工具是基於環境污染物的平衡的推測，最終的結果我們所預測的影響可能與實際的現況上不同。

## 第 12 章 計畫成功的除役工程-使用向後計畫和數據管理

### ( **Planning for a Successful Decommissioning Project Using Backwards Planning and Data Management** )

Dr.David G. Rynders

在這裡使用「**backwards**」的方式探討計畫工程的主要的任務。不論在公眾集會期間或與利益相關者坐在一起的時候，你準備做幾項挑戰，你的證書，你的想法過程，你的正直和你的組織能力。這些挑戰或許在指引你個人或許將傷害並且使你忿怒，保持你的專業特性並且堅持艱難事實，並且準備你知道可能將發生的事。

### (三)參觀輻射儀器展示：

會議期間計 91 個儀器展示攤位（圖 11），除大部分為儀器商外，亦有協會團體(如 American Nuclear Society，Nuclear Energy Institute、Illionis Institute of Technology 等)，有機關(構)(如 Pacific Northwest National Lab., Radiation Safety Branch/National Institutes of Health 等)，學校(如 Oregon State University，OSU)，訓練機構(如 Radiation Safety Academy, Radiation Safety Associates 等)及出版商（如 Health Physics 等）。所展示的大都為輻射防護所使用的儀器，亦有放射性廢棄物處理公司與除役顧問公司等。TSA System Ltd.提供之偵檢設備可自動顯示污染，它裝在機場或海港，對輻射污染物件的自動拆除和測量機件相當方便。



圖 11 輻射儀器展示

Thermo Scientific 公司最近發展的 FHT 1377 PackEye（圖 12）系統是為迅速的偵測和的發現放射性射源位置，它提供一組調查隊用一件工具能有效地處理，如使孤兒射源的問題、輻射污染和惡意地的射源。依靠專有的 NBR (Natural Background Rejection) 技術，在背景輻射的變動下能被迅速發現人造核種的輻射，NBR 是為極其快的區別天然和人造核種之間  $\gamma$  輻射，而 NBR 的系統不需使用  $\gamma$  能譜的決定。目前全世界已有 2000 個設備，是利用此技

術使用中。

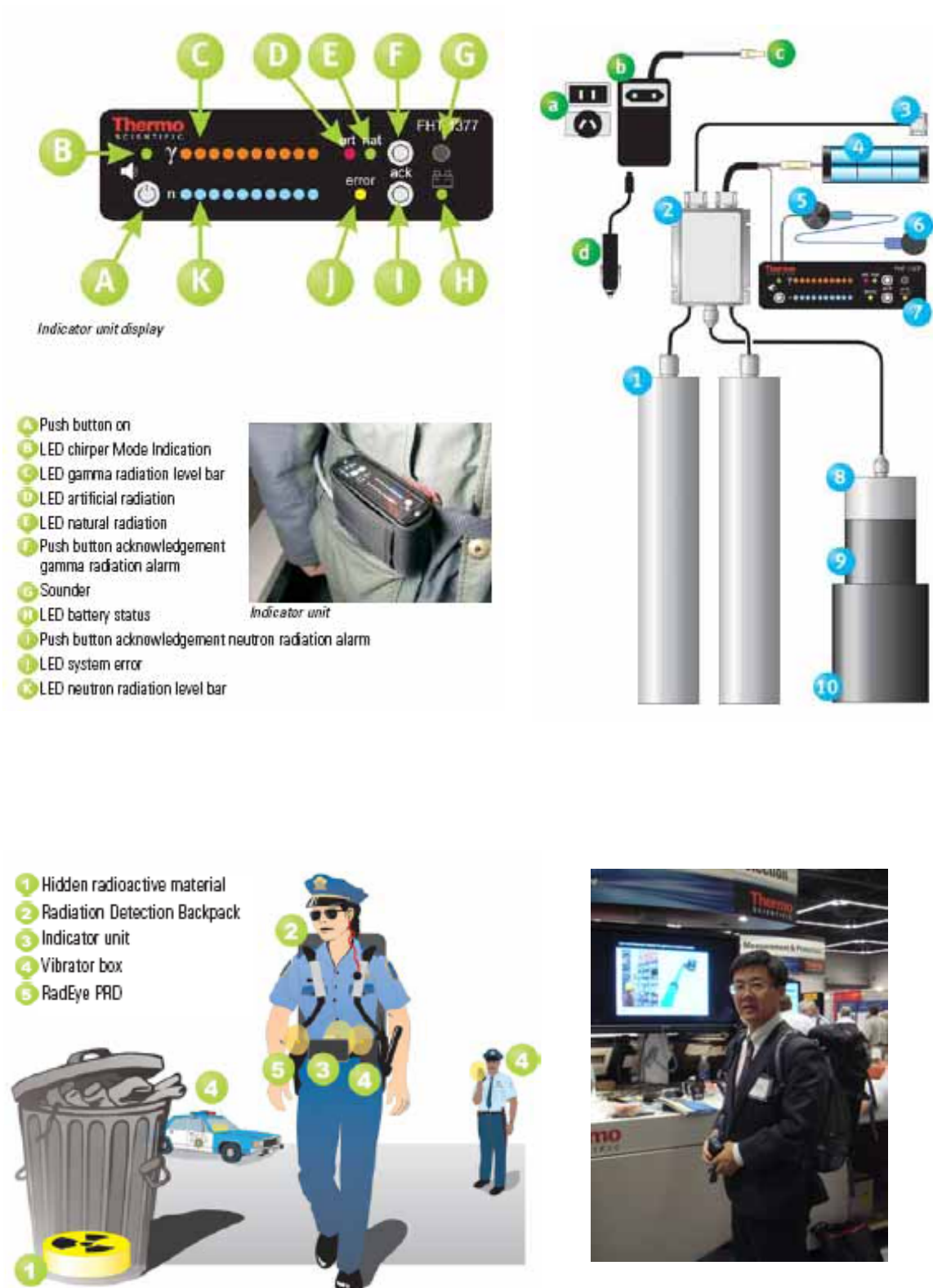


圖 12 NBR (Natural Background Rejection) 技術設備展示

#### (四) 參訪奧瑞岡州州立大學輻射中心 (Radiation Center) :

奧瑞岡州州立大學號稱是美國西部最佳的核子工程學系，台電公司當年要進行核能發電工程時，第一批薦派的人員即是至此校進行為期二年之訓練。奧瑞岡州州立大學輻射中心的 TRIGA Mk. II 型研究用反應爐(OSTR)是一種水池式冷卻，使用鈾/鋳氫化物燃料（圖 13~14）。一層石墨包圍著核心，以石墨為反射體，能將中子反射回核心。核心在一個 22 英尺水深，水裝滿了反應槽，反應槽是由整塊的混凝土塊作成，被作為整體的輻射屏蔽體和架構支撐。這反應爐有多種能力，且獲美國核管會批准操作穩定的能量為 1.1 MW，也能到大約 3000 MW 的峰值功率跳動。OSU TRIGA 反應爐(OSTR)有許多照射設備，適合作用中子活化分析(INAA)、同位素生產或[<sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar] 地球年代學或其他用途。



圖 13 奧瑞岡州州立大學輻射中心的 TRIGA Mk. II 型研究用反應爐(OSTR)

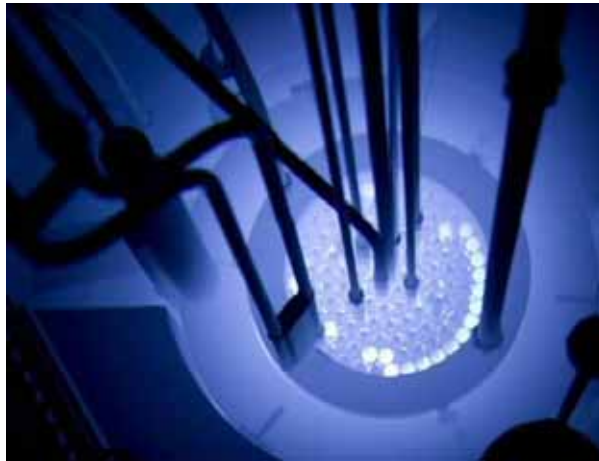


圖 14 奧瑞岡州州立大學輻射中心的 TRIGA Mk. II 型研究用反應爐(OSTR)爐心

Thermal Neutron Fluence Rate ( $n\text{ cm}^{-2}\text{ s}^{-1}$ )	Epi-thermal Neutron Fluence Rate ( $n\text{ cm}^{-2}\text{ s}^{-1}$ )	Cadmium Ratio for Gold
$3.0 \times 10^{12}$	$1.2 \times 10^{11}$	2.6

奧瑞岡州州立大學輻射中心的主要任務是「作為大學校園廣泛的教導、研究和計畫與游離輻射和放射性物質的用途有關的服務設施。」在近年內這項任務，已經擴大至大學校區外，和包括其他州立大學、州政府，以及提供服務國內、國際上的機構。

#### 教育方面：

輻射中心提供空間和技術支持，校內各類型和校外的教育活動，包括核子科學、核子工程、核化學和輻射化學、輻射防護和類似的計畫。目前，在輻射中心每年提供 70-75 門不同的課程，全部或部分來教導；40%的這些課程需要使用反應爐；且 40%的反應爐運轉時數支持這些課程。

### 研究方面：

輻射中心支持與核科學和工程、輻射防護有關的研究、發展和服務計畫，提供一個空間，來使用和操作放射性同位素和其他射源的游離輻射。在輻射中心每年執行大約 200 萬美元的研究，70%的計畫使用反應爐，研究計畫包括應用：

- 中子活化分析 (Neutron activation analysis)
- 放射追蹤技術 (Radiotracer techniques)
- 醫用同位素發展和生產 (Medical isotope development and production)
- 地質年齡測定學 (Geological age dating)
- 中子射線照相學 (Neutron radiography)
- 核蒸汽系統的熱水力學 (Thermal hydraulics of nuclear steam systems)
- 輻射消毒 (Radiation sterilization)
- 輻射劑量計測試 (Radiation dosimeter testing)
- 硼中子捕獲治療 (Boron neutron capture therapy)
- 放射化學分析學 (Radiochemical methodologies)



(五) 其他活動：

會議期間遇見一些相當有成就華人，如孫連陞（BNL），陳士友(ANL)（圖 15）他們在美國輻射防護領域均有專業有足以傲人之處，已於美國保健物理界鼎立而有一席之地。特別是陳士友博士，目前兼任 NCRP 的技術委員會副主席，陳博士在百忙之中也參加了此次年會，提出了不少工作經驗與建議。大會於 7 月 10 日晚間於奧瑞岡會議中心安排晚宴，並頒發獎項。

會議期間遇見了中國輻射防護學會理事長潘自強教授及中國輻射防護研究院副院長常學奇研究員，潘教授目前身兼 ICRP 的副主席，在國際輻防領域相當活躍，他們是應美國保健物理學會邀請來參加年會。



圖 15 美國保健物理學會晚宴集景

在 2007 HPS Professional Development School 訓練課程中，遇到邱鴻誠博士(Washington TRU solutions LLC)、洪國鐘博士(Entergy 公司)，邱鴻誠博士目前在 WIPP 工作，在年會時有發表論文「Conversion of 4-20 mA Analog Current Signals to the Information of Interest in Log Scale Range」，而洪國鐘博士在紐約 Entergy 總公司服務，專程來參加訓練課程。

## 四、心得與建議：

本次奉派參加美國保健物理學會（HPS）在美國奧瑞岡州波特蘭主辦之第 52 屆年會及 PDS 訓練課程。參加此次會議除可拓展國際視野外，並可作為原子能委員會研擬游離輻射防護安全相關管制措施的參考。

### (一) 心得：

1. 美國保健物理學會年會為美國輻射防護產、官、學界最大規模的會議，其可提供與會專家學者瞭解輻射防護的最新觀念與實務，並藉以相互的交流。循例由國際輻射防護著名專家做最新輻射防護觀念之介紹，所以 HPS 年會十分值得國內輻射防護界的管制單位、學者、專家等參加。於每年會議的訓練課程也值得本會派員積極參加，以獲取國際輻射防護新知。本次會議及訓練課程，參加人員年齡分佈呈兩極化，由於保險之因素，絕大多數的美國人要 65 歲才能退休，目前雖說核能春天到了，有部分年輕人進入這領域，但已形成斷層，於會議上可明顯看出。
2. HPS 民間團體運作，取代許多我國政府機關的功能(例如，輻防人考試證照管理與輻防師（員）證照制度建立，輻射防護發展趨勢與技術精進等)。原子能委員會應可善加輔導國內相關民間團體之非營利機構，落實其公信力與專業的說服力，建立良好的運作模式。將可更直接參與更多的輻安管制之工作。
3. 與會期間曾試圖購買新的輻防輔助標幟，但在輻射儀器展示會場上卻無廠商販賣，問了一些廠商，雖然知道此事，但 NRC 並未要求，因此尚未廠商開始販售。而在 IAEA 的攤位上，雖有新輻防輔助標幟在宣導，但並無實體的輻防輔助標幟，叫我自行至 ISO 洽詢購買。

4. 911 事件造成保健物理很大的商機，美國政府很大的經費預算發在這國土安全上，也造成在輻射防護領域上灌注了相當的經費，也提昇了輻射領域技術的提昇。例如法規的增訂、射源的加強管制、以避免孤兒射源的產生、及建立多邊的管制程序等。
5. 國內雖然於 19 家煉鋼廠要求裝設車輛門框偵測器，但主要發現 80% 的是天然放射性物質(NORM)。而如今的廠商已可應用 NBR (Natural Background Rejection) 技術，在背景輻射的變動下，能極快速的區別天然核種和人造核種之間  $\gamma$  輻射，此偵測技術能迅速發現人造核種的輻射，建議煉鋼廠家循序漸進改用此技術之設備，以降低異常射源通報，節省本會處理此事項之人力。
6. 加強本職學能，我國將於 97 年開始實施新的游離輻射安全標準，其內容主要採用新的體內評估模式，因此有必要對新的體內評估程式進行訓練，以瞭解使用的程序、方法及限制。另對環境之評估，台電公司放射試驗室，本會輻射偵測中心，均曾派員至 ORNL 學習 RESRAD 評估軟體，本會身為主管機關亦應派員使用此程式，以便在日常業務上或緊急事故時進行評估。目前國內對體外曝露的人員劑量計讀，已達一定水準以上，但對體內劑量評估部分，尚有待加強，如何加強對此部分之體內劑量評估之能量，含生物劑量評估能力之提昇，加強本職學能是目前重要的課程，如計算 RG-1.109、RG-1.110、RESRAD 劑量評估、生物劑量及體內污染評估之能力。
7. ICRP-2007 報告已出版，本處雖組成研讀小組，進行討論報告，但對新的觀念，尤其是對環境方面有重大的演進，本會對環境輻射之研究亦要未雨綢繆。
8. 奈米科技的應用，以往總以為與高科技劃上等號，想不到與輻射竟然也有相當的關係，例如將銻元素核種奈米化，製成 Radiological

Dispersal Device (RDD) (即髒彈) 或 Improvised Nuclear Device (IND), 所造成擴散區域範圍擴大, 因此影響區域也擴大, 對民眾之心理可想而知也加大。

9. 美國保健物理學會所辦之繼續教育課程之學分點數, 承認方式是 1 小時課程承認 2 學分。而我國「輻射防護人員管理辦法」於九十五年八月八日修訂時, 已將第七條條文所指學術活動或繼續教育之積分, 修正為於六年內輻射防護師至少九十六點以上, 輻射防護員至少七十二點以上。參加政府機關、學校、研究機構、學(協、公)會或事業單位所舉辦之輻射防護相關繼續教育課程、學術研討會或國內外專家學者專題演講者, 每小時得積分一點, 授課或擔任演講者每小時得積分二點, 顯示已與國外制度不相上下。
10. 美國保健物理學會此次邀請中國輻射防護學會理事長潘自強教授, 及中國輻射防護研究院副院長常學奇研究員參加年會, 是由於 2006 年 IRPA 於北京召開 2008 年之預備會議, 大陸在舉辦此國際輻防會議時, 邀請美國保健物理學會人員參加, 加強互相交流, 而台灣是美國保健物理學會分會, 亦宜加強交流。
11. 輻安與工安不可分, 工安一定會影響輻安事件, 而輻安未必會影響工安。本會人員除有輻安之訓練外, 亦需加強工安觀念之建立, 如七月間派員至台電訓練所上工安課程, 除可教學相長外, 亦可由工安的角度來落實輻安, 從這次美國保健物理學會年會經驗得知, 這是一個非常進步之觀念。
12. 由於 CO<sub>2</sub> 等氣體造成全球溫室暖化, 核能的春天已漸復甦, 因能源缺乏與 CO<sub>2</sub> 排放總量限制, 對核能看法已有所改變, 而同時接踵而來的就是核能人才之斷層問題, 另保健物理與核能人才培訓亦是現階段首當之要務。

**13.911** 事件後，在美搭飛機安檢頗為嚴謹，也造成旅客不便，對大多數的美國人而言，寧願多搭一段汽車，採直飛方式，避開轉機安檢。而波特蘭的捷運交通，是在路面上兩節式車廂，可攜帶自行車上車，另一特色是分區制，只要在域中區(zone 1)內搭車是免費，對觀光客而言也是免費，這是非常便民，值得我們借鏡參考。

## (二) 建議：

### 1. 積極參與國際組織及國際會議：

由於我國並非是聯合國會員，要參加國際組織及會議，是不容易，能參加此的國際盛會，聆聽來自各專家對目前實務作法、未來輻射防護的趨勢及國際組織運作之理念，對於未來在管制作業上及在國際交流上更邁進一步，而為能與國際輻射防護脈動接軌，建議國內應派員參加。

### 2. 迎頭趕上國際輻射防護的趨勢：

ICRP公布了2007年的新報告，這將是輻射防護體系未來的新方向與新趨勢，我國應未雨綢繆，積極迎頭趕上國際輻射防護的趨勢。現在更發展以個人為基礎的倫理哲學，以公平為基礎的準則，以當地物種為主體，評估物種所受到的環境輻射衝擊，補強輻射防護的基礎概念，並從自然生態保護的立法層面，增加考量其他附加的需求，以促使輻射防護管制機制更臻完備。輻防處雖已成立讀書會，目前完成處內研讀討論報告，唯其內容之實施我們仍需全力以赴。

### 3. 加強環境輻射業務及偵測技術：

ICRP26號報告於1977年出版，經過多年後，IAEA於1981年出版IAEA安全系列9號報告，我國於民國80年(1991年)研訂公佈實施；而ICRP60號報告於1991年出版，IAEA於1996年出版IAEA-115號報告，我國現行之輻射防護法於91年通過，92年2月施行。而現今ICRP於（本）2007年出版新報告，由以往之經驗，推估IAEA約於2010年會出版新的IAEA報告。由ICRP91號報告，可看出輻射防護的新觀念的趨勢，尤其在對環境方面的輻射保護上，我國實應加強此部分之準備。注意及蒐集國際輻射

趨勢，加強環境輻射業務之推展及研習新的偵測技術。

4. 培養新進及應用退休之輻防人才：

原子能委員會職司輻安及核管制工作，雖然於「游離輻射防護法」將執照分為登記類及許可類，唯在新法實施階段，業務量並未減縮，尚有待該法51條委外辦理之BOT案配合實施，方足以減輕工作負荷，提升品質，且目前正逢政府組織再造，人員遇缺不補，明顯人力不足及老化。雖然核能已漸現春天，因此人力需求亦大增，例如美國NRC人力需求達900人，也鬧人才荒。為因應國際輻防之新趨勢，及我國輻防人才之培育，目前本會申請替代役以獲得新血，及高考晉用人員，可從中擇優培養人力，以減輕人力老化之問題。亦可運用退休人員之經驗、時間協助例時業務或專案的執行，進而協助蒐集國際輻射新的資料及偵測技能。

5. 蒐集國外最新之輻射防護資訊：

為迎頭趕上國際輻射防護的潮流、加強環境輻射本質學能及培養輻防人才，首先要能充實智識。目前ICRP委託 Elsevier Science公司負責出版其出版物，然而其價位並不便宜，例如ICRP-91定價美金80元。建議編列寬裕的專業書刊預算，經由國內圖書單位或經由駐外單位蒐集國外最新之資料，供國內單位研讀參考。