

出國報告（出國類別：會議）

參加「第 6 屆空中輻射偵測不確定度國際技術交流會議」出國報告書

服務機關：原子能委員會輻射偵測中心

姓名職稱：黃富祈 技正

林明仁 技士

派赴國家/地區：美國/內華達州拉斯維加斯

出國期間：107 年 6 月 24 日

至 107 年 7 月 1 日

報告日期：107 年 7 月 30 日

摘要

2018年6月25~28日美國能源部核子保安局(DOE/NNSA)於拉斯維加斯的北拉斯維加斯機場(North Las Vegas Airport)，舉辦第6屆空中輻射偵測不確定度國際技術交流會議，參加國家美洲地區有地主國美國及加拿大；歐洲地區有丹麥、法國、冰島、挪威、瑞典、英國；亞洲地區有日本、韓國與台灣共11個國家。大都以空中偵測現況交換經驗，少數針對空中偵測不確定度議題討論；雖然各國針對空中輻射偵測不確定度僅提出初步做法，對於國際合作與技術交流的方向均表示認同。因此，建議先進行空中偵測不確定度評估進行技術交流。

目次

一、	目的	1
二、	過程	2
三、	心得及建議.....	24
四、	附錄	25

一、 目的

本次出國公差行程係由美國能源部國家核子保安局(National Nuclear Security Administration, NNSA)邀請，參加第6屆空中輻射偵測不確定度國際技術交流會議 (6th AMS International Technical Exchange on Uncertainty in Radiological Aerial Measurements)。主要目的為空中輻射偵測現況經驗交流，以及空中偵測不確定度議題討論；各國針對空中輻射偵測不確定度初步做法，進行技術交流；其中一天安排參觀內華達國家安全區(Nevada National Security Site, NNSS)行程。

二、 過程

(一)、行程安排

本次的技術交流會議時程為 6 月 25 日(一)至 6 月 28 日(四)，議程安排如附錄。行程概述如下：

日期	行程
6 月 24 日	台灣桃園至韓國仁川轉美國拉斯維加斯
6 月 25-26 日	空中輻射偵測不確定度國際技術交流會議
6 月 27 日	內華達國家安全區(NNSS)參觀行程
6 月 28 日	空中輻射偵測不確定度國際技術交流會議
6 月 29-7 月 1 日	美國拉斯維加斯至韓國仁川轉台灣桃園

(二)、會議過程紀要：

1. 6 月 25 日空中輻射偵測不確定度國際技術交流會議

這次會議舉辦的地點主要位於美國拉斯維加斯的北拉斯維加斯機場(North Las Vegas Airport)，地處國際有名賭城，此次舉辦的技術交流會議，規劃安排各國與會人員入住指定賭場飯店 TUSCANY SUITE & CASINO，由美國能源部主辦單位租巴士接送所有與會人員，以利保安管制。

6 月 25 日會議開始前，由召集人 Dr. Piotr Wasiolek 說明日本與會人員因故於 6 月 26 日才會出席會議，所以議程配合日方做調整，並說明 6 月 27 日內華達國家安全區(NNSS)參觀行程及注意事項，其屬於管制區域不得攜帶任何筆電、手機及照相機等電子產品。

會議開場邀請美國能源部國家核子保安局(NNSA)NA-81 計畫負責人 KIRK CZAP 先生致詞，針對美國核事件政策合作辦公室反恐反擴散工作現況說明(如圖 1)。



圖 1 NNSA NA-81 計畫負責人 KIRK CZAP 先生致詞簡述工作

6月25日第1場係由美國 Remote Sensing Laboratory(RSL) Dr. Piotr Wasiolek 報告，主題為-空中輻射偵測系統(AMS)國際技術交流會議發展歷史(如圖 2)。說明自日本福島事故之後，空中輻射偵測能夠快速提供輻射污染分布，成為核子事故緊急應變重要的技術。因應日本福島事故空中輻射偵測扮演重要角色，並持續推廣至世界各國參與技術發展及應用，故在 2012 年 4 月 9-12 日於美國拉斯維加斯召開空中輻射偵測系統(AMS)國際研討會，會中決議往後每年以國際技術交流會議方式辦理。以下為 2013 至 2018 年共 6 次會議，分別說明如下：

1. 2013 年第 1 屆空中輻射偵測系統(AMS)國際技術交流會議，主題為空中輻射偵測系統設備處理操作(AMS Consequence Management Operations)。
2. 2014 年第 2 屆空中輻射偵測系統(AMS)國際技術交流會議，主題為空中輻射偵測系統資料分析(AMS Data Analysis)。
3. 2015 年第 3 屆空中輻射偵測系統(AMS)國際技術交流會議，主題為輻射異常偵測演算法(Radiological Anomaly Detection Algorithms)。
4. 2016 年第 4 屆空中輻射偵測系統(AMS)國際技術交流會議，主題為輻射異常無人機/無人機系統運用(UAV/UAS for Radiological Emergencies)。
5. 2017 年第 5 屆空中輻射偵測系統(AMS)國際技術交流會議，主題為空中輻射偵測進階數據分析(AMS Advanced Data Analysis)。
6. 2018 年第 6 屆空中輻射偵測系統(AMS)國際技術交流會議，主題為空中輻射偵測不確定度(Uncertainty in Radiological Aerial Measurements)。

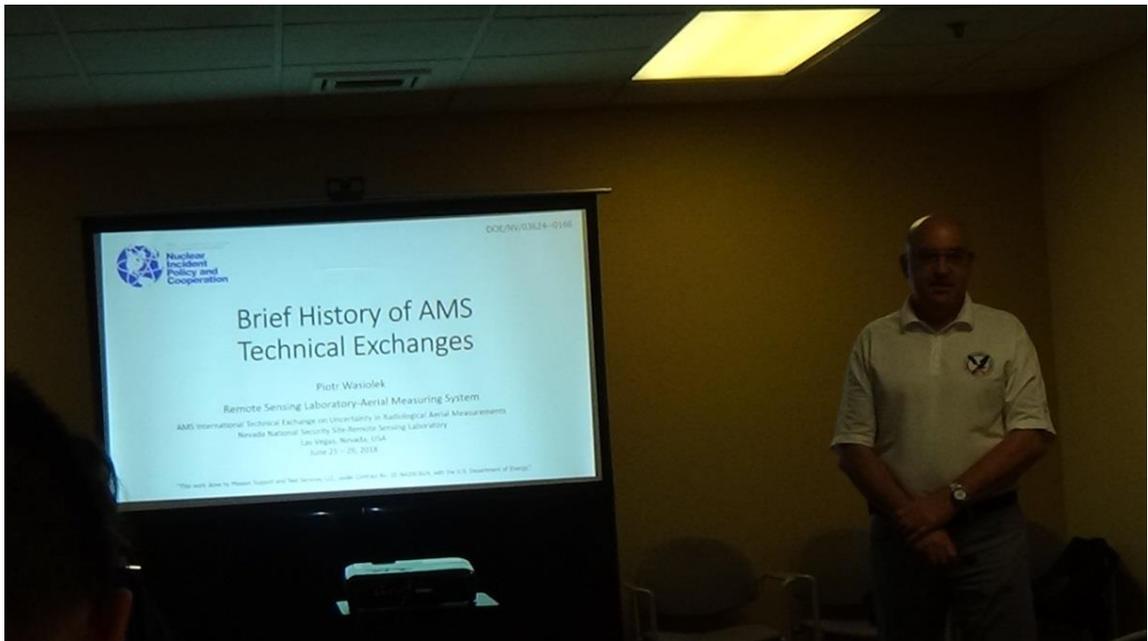


圖 2 Dr. Piotr Wasiolek 說明空中輻射偵測系統(AMS)國際技術交流會議發展歷史

第 2 場由加拿大 Natural Resource Canada(NRCan) Dr. Laurel Sinclair 報告，主題為-加拿大空中輻射偵測不確定度觀點 (如圖 3)。介紹加拿大核子事故緊急應變做法、無人機空中輻射偵測研究現況、輻射偵測不確定度評估及空中輻射偵測不確定度分析等。

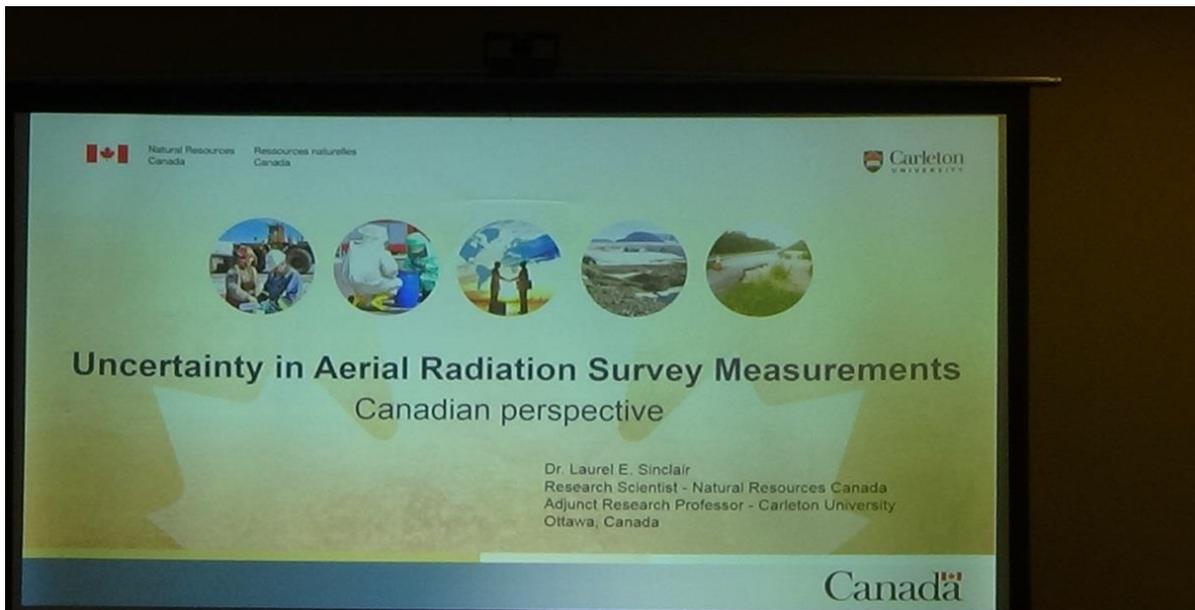


圖 3 加拿大簡報主題: 空中輻射偵測不確定度觀點

第 3 場由台灣 Atomic Energy Council(AEC)Ming-Jen Lin(林明仁)報告，主題為-台灣空中輻射偵測現狀與不確定度評估(如圖 4)。介紹自 2010 年起，美國國家核子保安局(NNSA)因台美民用核能合作關係提供台灣 SPARCS-M(Mobile)移動式輻射偵測設備，適用於放射性事故和反恐緊急應變地面輻射偵測。2011 年日本福島事故後，再提供 SPARCS-A(Aerial)能進行空中輻射偵測任務。於 2012 和 2013 年在台灣進行 SPARCS 空

中輻射偵測培訓課程。2014 年原能會派員參加拉斯維加斯實作飛行和 SPARCS 培訓課程。2015 年派員參加拉斯維加斯的 SPARCS 數據處理培訓課程。2016 年派員參加拉斯維加斯高階 SPARCS 數據處理培訓課程。自 2013 年以來，SPARCS 系統在台灣核電廠緊急應變年度演練中空中輻射偵測為重要演練項目，利用每次核安演習運作對應台灣空中輻射偵測作業程序修正。會議中以動畫展示 2015 年金山核電廠演習、2016 年台南歸仁培訓、2016 年馬鞍山核電廠演習以及 2017 年的國聖核電廠演習飛行偵測成果。為建立 SPARCS 的維護能力，2015 年美國國家核子保安局(NNSA)派專家來台灣進行 SPARCS 電子設備維護培訓課程，課程涵蓋了 SPARCS 硬件設計概念、維護、檢查和故障排除，使 SPARCS 基本檢測和故障排除的能力已在台灣確立。目前四套設備分配給台灣陸軍化生放核(CBRN)軍隊進行運作，每年 SPARCS 系統召回進行校準和系統穩定性檢查。有關空中輻射偵測地面劑量率的不確定度評估，基於 ISO GUM 1994 和 BIPM GUM 2008 指導準則進行評估，首先建立劑量率轉換方程式，分析可能變異數來源，進行變異數不確定量化計算，最後統計所有變異數不確定度組合。另外放射性污染核種活度不確定度評估，是台灣未來的挑戰，空中輻射測量結果轉換呈現放射性污染核種活度地面分佈，有待進行校正及驗證測試，其不確定度評估是不容易驗證，台灣又沒有適當的放射性污染區域當作標準校正區域來進行量測作業，這是目前面臨困難及挑戰。



圖 4 台灣主題-空中輻射偵測現狀與不確定度評估

第 4 場由丹麥 Danish Emergency Management Agency(DEMA)Helgi&Sune 報告，主題為-丹麥空中輻射偵測不確定度(如圖 5)。介紹丹麥緊急事務管理局核子科工作、現有輻射偵測現狀、輻射偵測校正、不確定度評估狀況以及未來發展等。

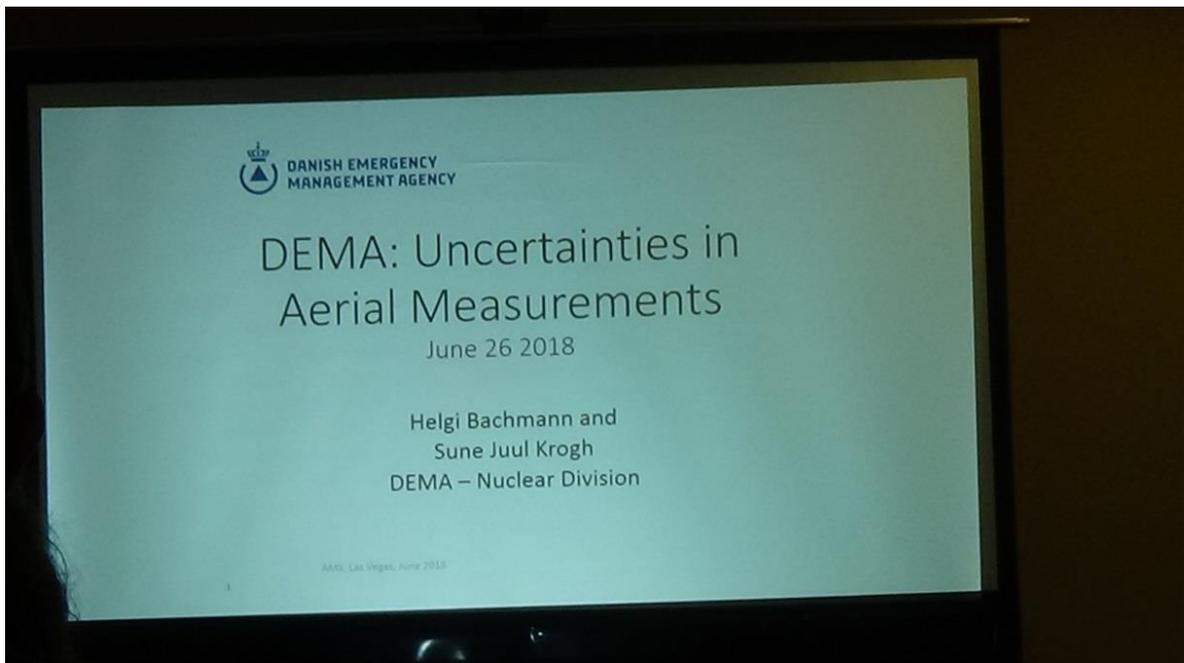


圖 5 丹麥簡報主題-空中輻射偵測不確定度

第 5 場由法國 French Alternative Energies and Atomic Energy Commission(CEA) Marc Wansek 報告，主題為-使用 HELINUC 加馬輻射偵測系統空中輻射偵測不確定度 (如圖 6)。其說明法國替代能源和原子能委員會自 1983 年開始使用 HELINUC 加馬輻射偵測系統，其包含 4 顆 16 公升碘化鈉及 2 個 70%純鍺偵檢器，該系統 20 年來進行空中輻射偵測任務 100 次以上，該系統透過參數設定及能譜分析軟體，利用高度修正、空氣衰減因子、背景修正、水線扣除宇宙射線、土壤成分、土壤濕度、能譜分析 STRIPPING RATIOS、核種活度校正、IAEA -Extended Windows Method 等方式，進行鑑別天然放射性鉀(K-40) 釷(Th-232)鈾(U-238)系列核種，計算淨計數值後換算成地面活度值，其不確定度評估可利用蒙地卡羅法(MCNP)程式模擬。

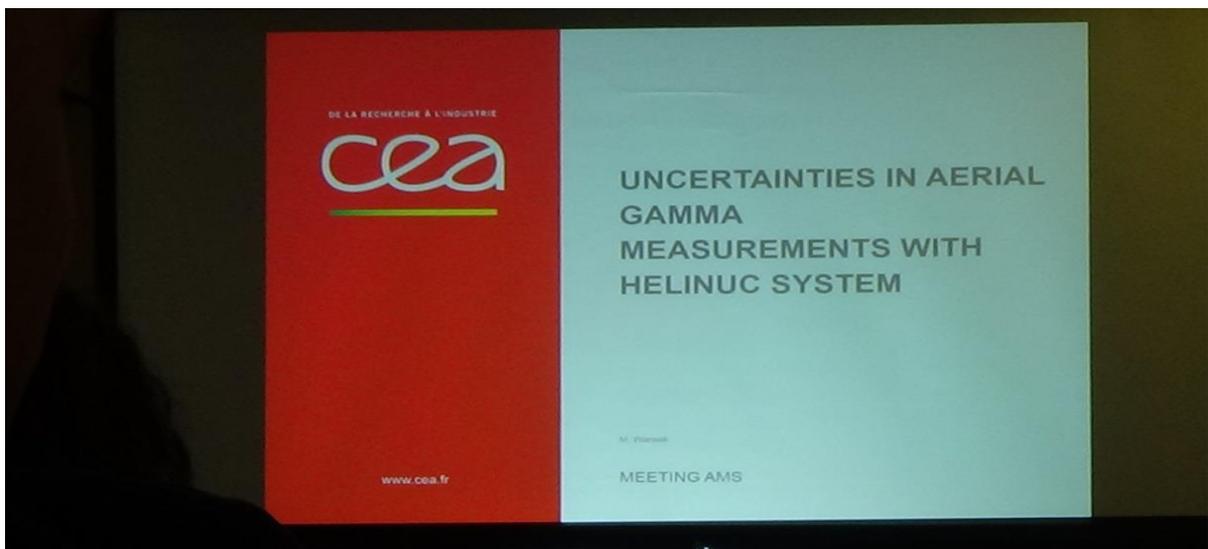


圖 6 法國 CEA 簡報主題-使用 HELINUC 加馬輻射偵測系統空中輻射偵測不確定度

第 6 場由法國 Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety(IRSNI)-Christophe Debayle 報告，主題為-空中輻射偵測系統(AMS)活度不確定度(如圖 7)。其說明法國放射防護與核安全研究所(IRSNI)於 2002 年起接受法國政府委託進行環境輻射偵測這項重要任務。平時進行例行性環境輻射偵測，核子事故時進行緊急應變輻射偵測任務。會中介紹該所在法國扮演角色及任務、主要輻射偵測工具及策略、空中輻射偵測系統及飛行載具、其他移動式輻射偵測應用、國際合作經驗、空中輻射偵測系統(AMS)進展及誤差不確定性評估等。針對空中輻射偵測系統(AMS)活度不確定度提出因素來源、加權、評論及問題等供探討。

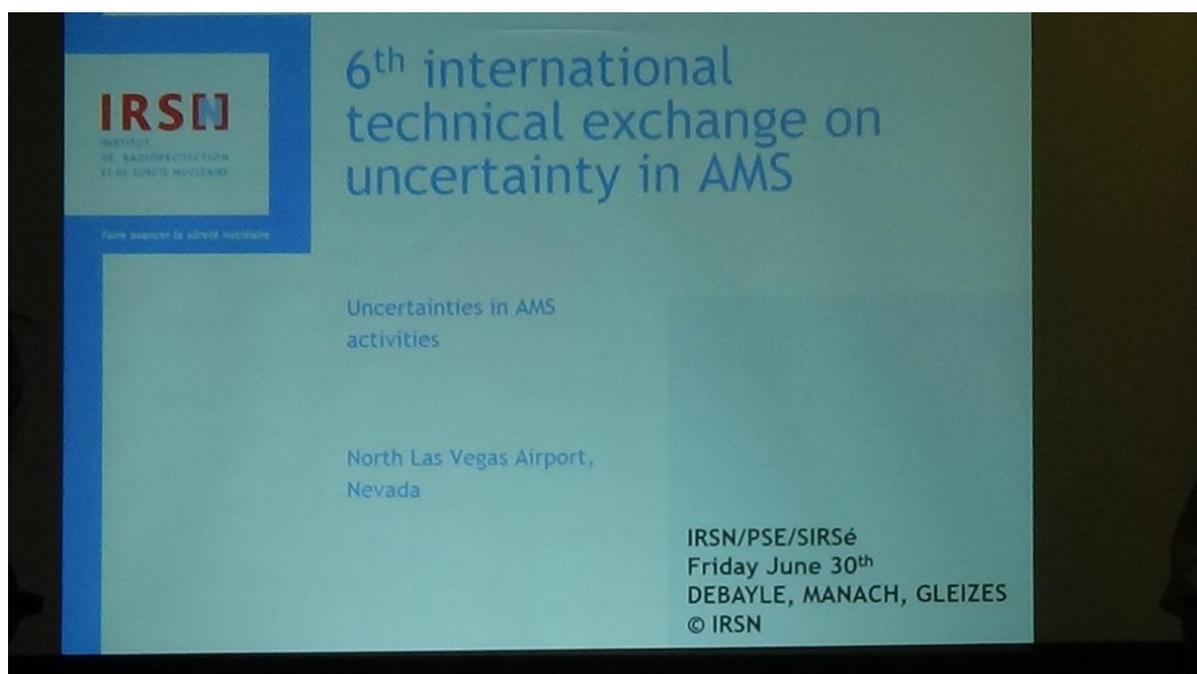


圖 7 法國 IRSNI 簡報主題-空中輻射偵測系統(AMS)活度不確定度

2. 6 月 26 日空中輻射偵測不確定度國際技術交流會議

第 1 場由冰島 Icelandic Radiation Safety Authority(IRSA)-Gisli Jonsson 報告，主題為-冰島空中輻射偵測挑戰 (如圖 8)。其介紹冰島是一個大區域海洋人口稀少(35 萬人)的國家，負責全國游離及非游離輻射的輻射安全局(IRSA)僅 11 名員工，說明在游離輻射偵測方面的例行作業內容，以及國內合作項目。在緊急應變偵測設備上，引進 3 套美國核子保安局(NNSA) SPARCS 空中偵測系統，提及冰島環境空間加馬輻射量測狀況，最後說明使用 SPARCS 實際偵測狀況以及面臨問題挑戰。



圖 8 冰島 IRSA 簡報主題-冰島空中輻射偵測挑戰

第 2 場由日本 Japanese Atomic Energy Agency(JAEA)-Yukihisa Sanada 報告，主題為-日本福島事件後空中輻射偵測活度準確性修正(如圖 9)。其簡述說明日本福島事件發生，造成輻射污染區域範圍，推估日本福島事件各反應器洩漏污染核種活度，直至目前輻射污染狀況。日本福島事件，第一次使用美國能源部核子保安局(DOE/NNSA)SPARCS 進行空中輻射偵測，日本 1980 年代發展空中輻射偵測系統(AMS)無法派上用場，福島事件後 JAEA 學習美國空中輻射偵測系統(AMS)，考量調整日本實際狀況進行目前運作，針對污染區空中輻射偵測，小區域使用無人機及大區域使用直升機分別進行量測作業，目前污染區實際空間加馬輻射劑量率比物理衰減降低很多。污染區空中輻射偵測核種活度量測分析使用美國能源部核子保安局(DOE/NNSA)MMGC(Man Made Gross Count)方法，進行加馬能譜天然輻射區分方式分析污染核種活度。針對空中輻射偵測量測結果準確度修正的部分，須考量 GPS 準確性、氦子核影響、地形效應及土壤放射性銫滲透效應評估等因素，最後針對 GPS 準確性及氦子核影響等兩部分進行說明，GPS 準確性部分，飛行越高 GPS 高度偏差大進行校正修正；氦子核影響部分，利用向上及向下偵檢器差異進行修正。

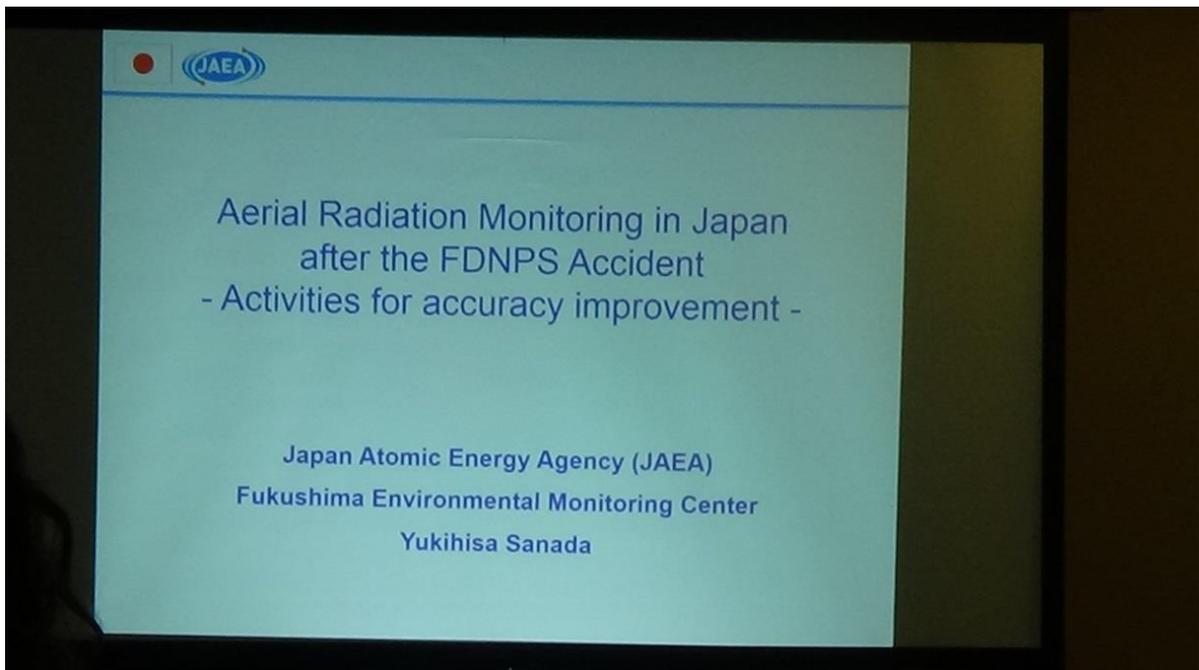


圖 9 日本 Yukihisa Sanada 簡報主題-日本福島事件後空中輻射偵測活度準確性修正

第 3 場由日本 Japanese Atomic Energy Agency(JAEA)-Azusa Nagakubo Ishizaki 報告，主題為-空中輻射偵測地形輻射修正模式應用(如圖 10)。其說明日本及核電廠所處為多山地形，造成地形輻射效應很大，使用蒙地卡羅法(MCNP)程式模擬評估地形輻射效應修正，利用不同地形參數表示量級，進行複雜地形模擬評估地形輻射效應修正，將地形輻射效應模擬應用到空中輻射偵測量測值進行修正，其與地面量測值比較準確性有提高。透過蒙地卡羅法(MCNP)程式模擬評估，考慮地面相對於平均海拔高度和低地區域的高度，提高了空中輻射偵測的測量精度，目前將此修正應用於過去的量測數據，並進一步進行驗證。

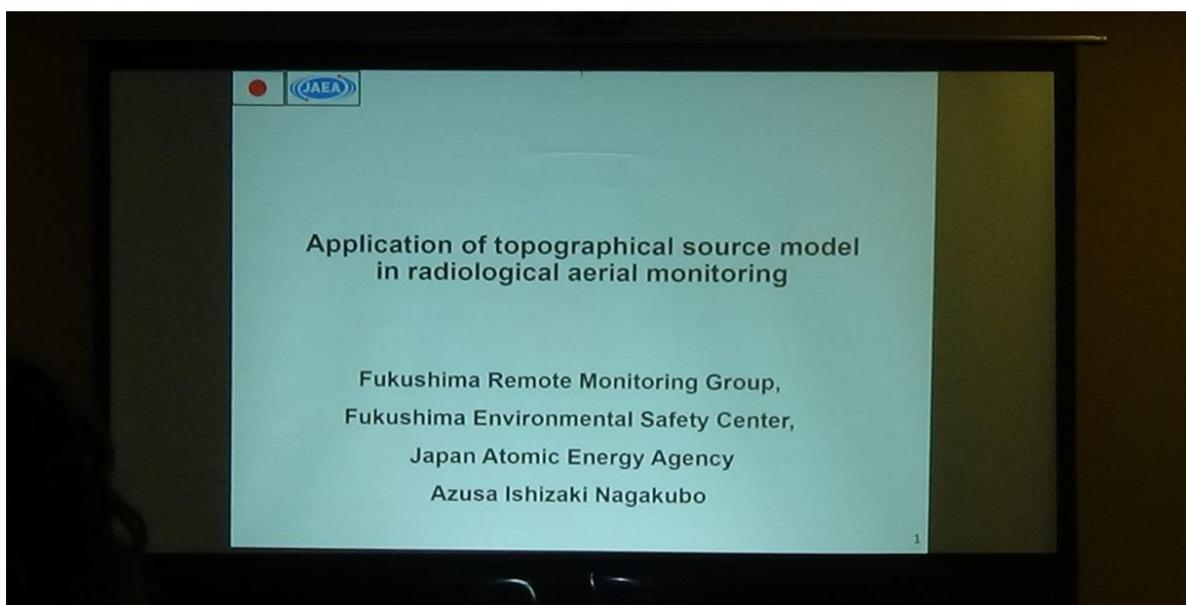


圖 10 日本 Azusa Nagakubo Ishizaki 簡報主題-空中輻射偵測地形輻射修正模式應用

第 4 場由日本 Japanese Atomic Energy Agency(JAEA)-Kotaro Ochi 報告，主題為-空中輻射偵測能譜分析估算土壤放射性銫垂直分布(如圖 11)。其說明日本福島污染地區，由於降雨、反轉耕作及野生動物干擾等因素，造成地面土壤放射性銫垂直分布改變，有必要知道放射性銫在土壤中的分佈狀況進行調查。探討方法是利用無人機以快速簡易方法，進行大規模調查地面土壤放射性銫垂直分布。利用深層土壤放射性銫來自上層土壤屏蔽作用，造成散射加馬輻射增加，觀察土壤放射性銫散射(50-450keV)及直接加馬輻射(450-760 keV)比值(RPC)差異，來辨別地面土壤放射性銫垂直分布。無人機使用偵檢器(溴化鏷)在實驗室模擬放射性銫-137 射源不同水體深度(垂直分布)進行測試，推算放射性銫散射及直接加馬輻射比值與水體深度關係式，其中深度相對應考慮到土壤含水率與密度係數 β (土壤鬆弛質量深度，單位:克/平方厘米)非常重要，透過簡單及複雜案例進行反復運算，導出 RPC 與 β 關係式，運用到地面土壤放射性銫垂直分布。日方認為其所開發方法對於大規模調查地面土壤放射性銫是有效的，也有助於瞭解放射性銫沉積對空間劑量率的影響。

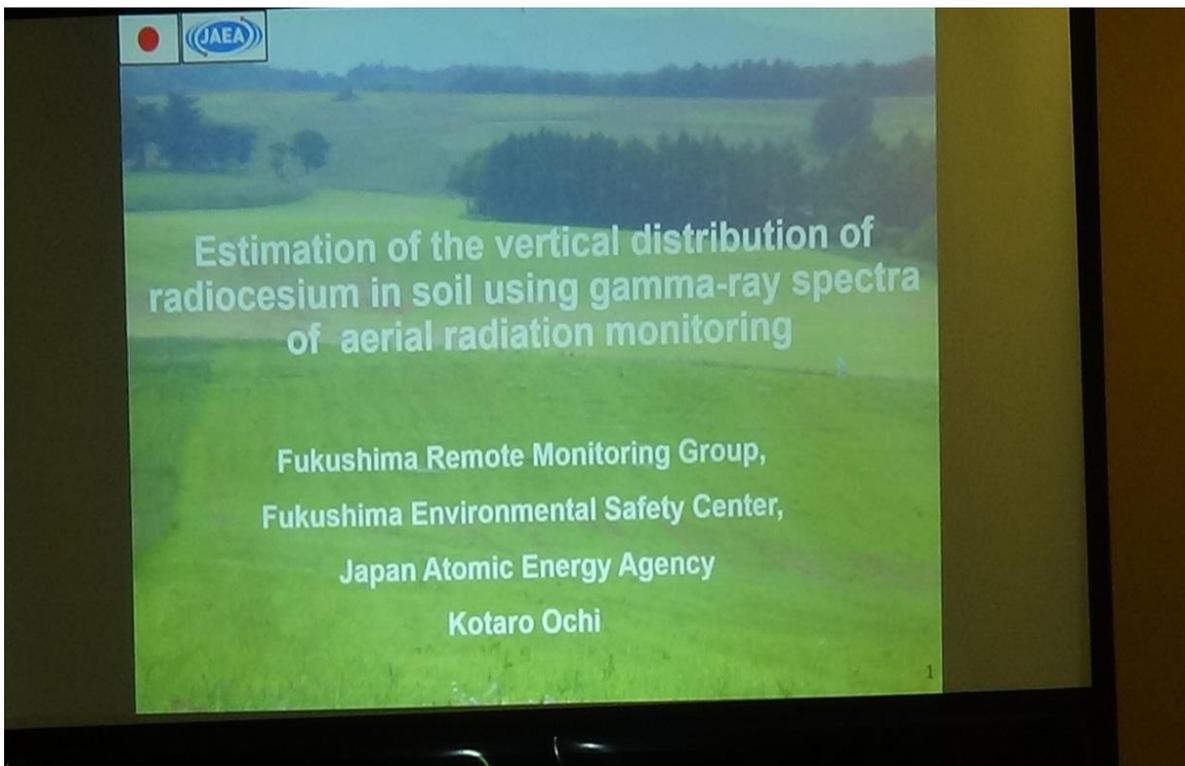


圖 11 日本 Kotaro Ochi 簡報主題-空中輻射偵測能譜分析估算土壤放射性銫垂直分布

第 5 場由韓國 Korea Institute of Nuclear Safety(KINS)-Byoung-Jik Kim 以及 Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI)-Young-Yong Ji 報告，主題為-韓國現場量測技術及應用(如圖 12)。其說明韓國核研究所(KINS)現場量測技術是環境輻射偵測中一個研究項目，包含地面 1 公尺固定式、簡易移動式背包車載及空中飛行等現場量測技術。放

射性核種沉積造成劑量率，以地面 1 公尺偵檢器量測計數率(cps)換算為基準，使用不同量測儀器的放射性核種的地面沉積評估，各類型現場量測儀器需進行計數率(cps)與劑量率(nGy/h)間轉換，其中所有加馬能譜偵測儀透過蒙地卡羅法(MCNP)程式模擬轉換。此外介紹簡易移動式背包及車載現場量測技術，並遠赴至日本福島放射性污染區域進行現場量測。另外韓國原子能研究所(KAERI)-Young-Yong Ji 說明 KAERI 開發多用途環境輻射測量系統在空中輻射偵測的應用，該系統使用 2 顆 2 吋溴化鏷偵檢器，淨重 6 公斤電池供應約 12 小時電力，除了應用於無人機空中輻射偵測外，也應用在簡易移動式車載及現場固定點量測等。



圖 12 韓國簡報主題-韓國現場量測技術及應用

第 6 場由挪威 Norwegian Radiation Protection Authority(NRPA)-Morten Sickel 報告，主題為-挪威空中輻射偵測系統(AMS)現況及發展(如圖 13)。其說明挪威約 2 個佛羅里達州大小，南北 1500 公里長，該國境內無核能電廠，有兩個研究用反應器，鄰近國家有核能電廠及核動力潛艇出沒於該國海域。環境輻射偵測由挪威輻射防護局負責(NRPA)，目前使用之空中輻射偵測系統(AMS)為 NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE (NGU) 委託挪威軍方進行實際飛行量測作業。透過與美國能源部核子保安局(DOE/NNSA)進行兩方空中輻射偵測系統(AMS)比對，持續精進空中輻射偵測系統(AMS)發展。

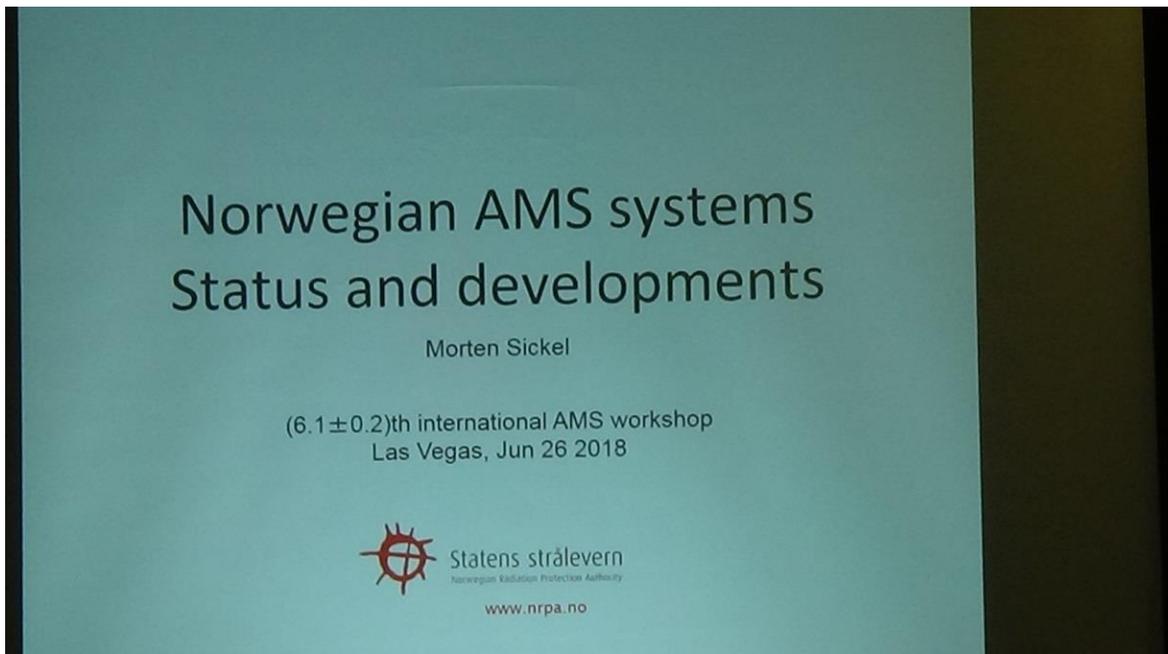


圖 13 挪威簡報主題-挪威空中輻射偵測系統(AMS)現況及發展

第 7 場由瑞典 Swedish Radiation Safety Authority(SSM)-Simon Karlsson 報告，主題為-瑞典空中輻射偵測最近發展(如圖 14)。其說明瑞典空中輻射偵測狀況，其使用 4、16 公升 NaI 偵檢器及 120%HPGe 純鍺偵檢器，以及內部發展"Nugget"分析軟體。回顧瑞典緊急應變計畫部分，為了加強瑞典空中輻射偵測，規劃 2016-2018 年發展第二套空中輻射偵測系統，找尋適當區域進行校正作業，針對不同場景制定偵測策略，以蒙地卡羅法(MCNP)程式模擬，發展數據分析及地理資訊顯示方法，調查地面實測值的不確定度及偵檢器限度，飛行人員教育訓練，以及空中輻射偵測演練等課題。

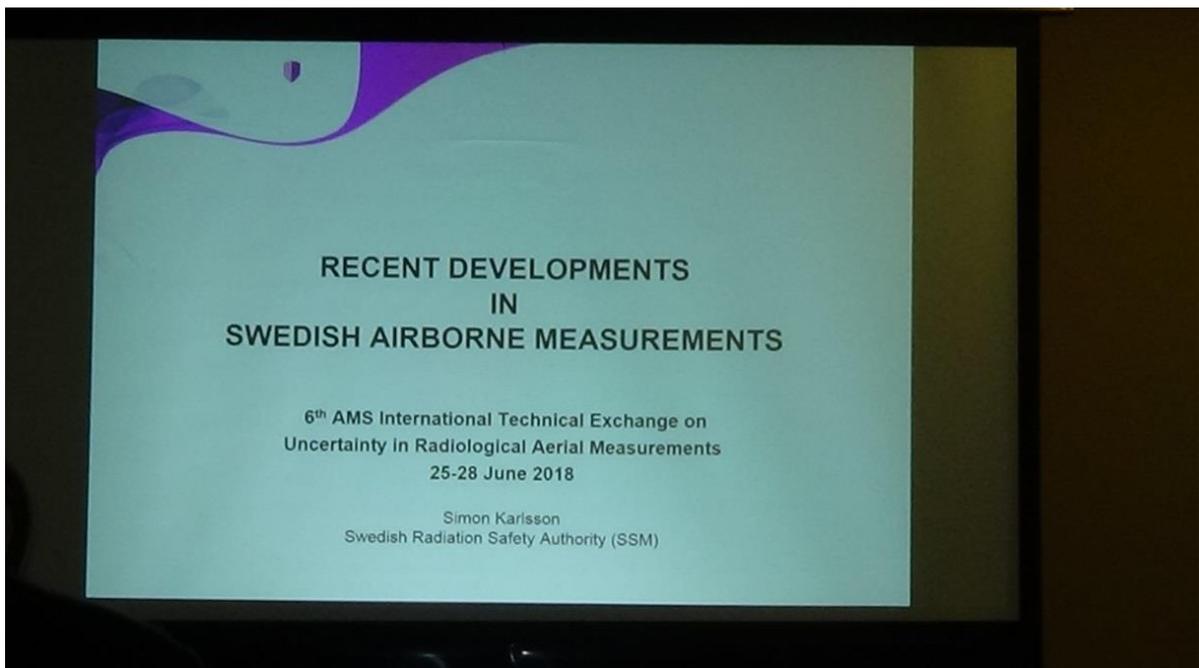


圖 14 瑞典 SSM 簡報主題-瑞典空中輻射偵測最近發展

第 8 場由瑞典 Geological Survey of Sweden(SGU)-Cecilia Jelinek 報告，主題為-瑞典 SUG 針對空中輻射偵測天然核種能譜量測(如圖 15)。其說明瑞典地質調查局(SGU) 1969 年開始發展空中偵測技術，早期主要進行地形及礦物偵測。1986 年車諾比事故後，開始加入空中輻射偵測任務。其空中輻射偵測使用 4、16 公升 NaI 偵檢器及 120%HPGe 純鍺偵檢器，利用天然放射性鉀(K-40)釷(Th-232)鈾(U-238)校正射源墊，進行地面至 150 公尺高的空氣衰減影響評估，以及量測海域平面 300 至 500 公尺高，進行宇宙射線及系統本身背景修正等校正作業。計算地面活度時，假設地面長期平衡及密度 1700 千克/立方米，以空中輻射偵測量測天然核種能譜，並利用網格內插方式，推算出地面活度。

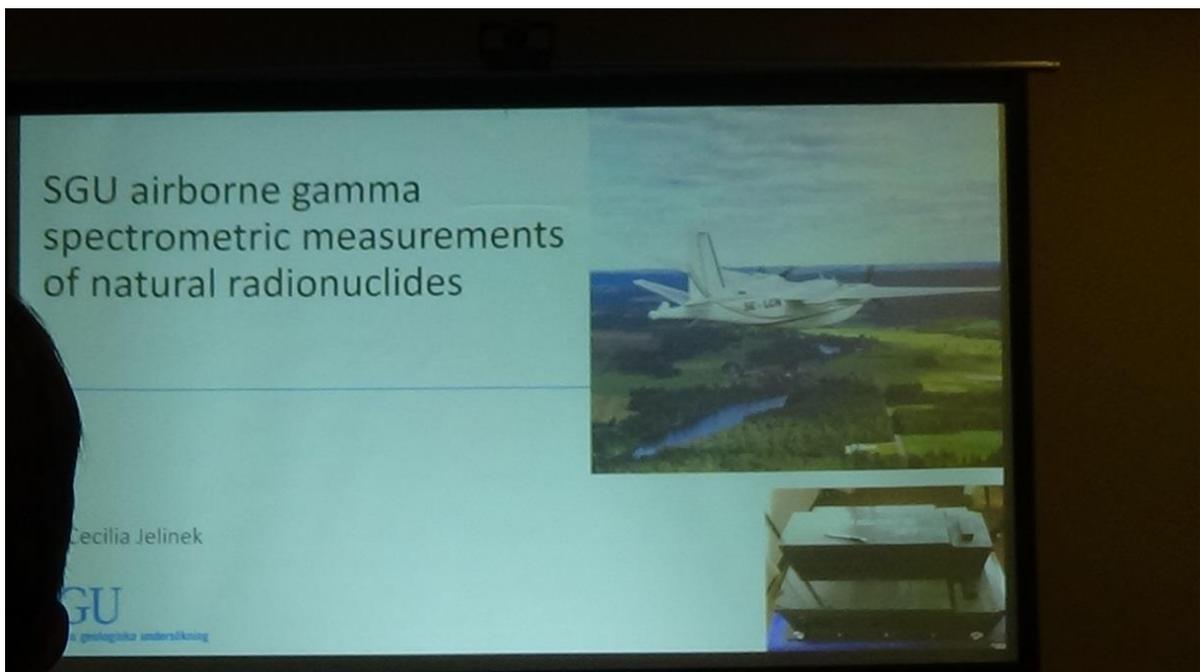


圖 15 瑞典 SGU 簡報主題-瑞典 SUG 針對空中輻射偵測天然核種能譜量測

第 9 場由瑞典 Geological Survey of Sweden(SGU)-Henrik Johansson 報告，主題為-瑞典 SUG 空中輻射偵測不確定度(如圖 16)。其說明瑞典地質調查局(SGU)探討空中輻射偵測不確定度計算目標，找到簡易快速方法，提供 NaI 能譜分析模擬練習，發展出一種不確定度評估模擬方式，將不確定性評估納入資料庫處理。簡報列舉出空中輻射偵測不確定度因素非常多，利用 NaI 加馬能譜偵測儀透過蒙地卡羅法(MCNP)程式模擬，初步運跑劑量率不確定度。利用天然放射性鉀(K-40)釷(Th-232)鈾(U-238)，初步運跑背景不確定度。利用 3-windows 法，初步運跑計算放射射性銫及碘等結果加以說明。

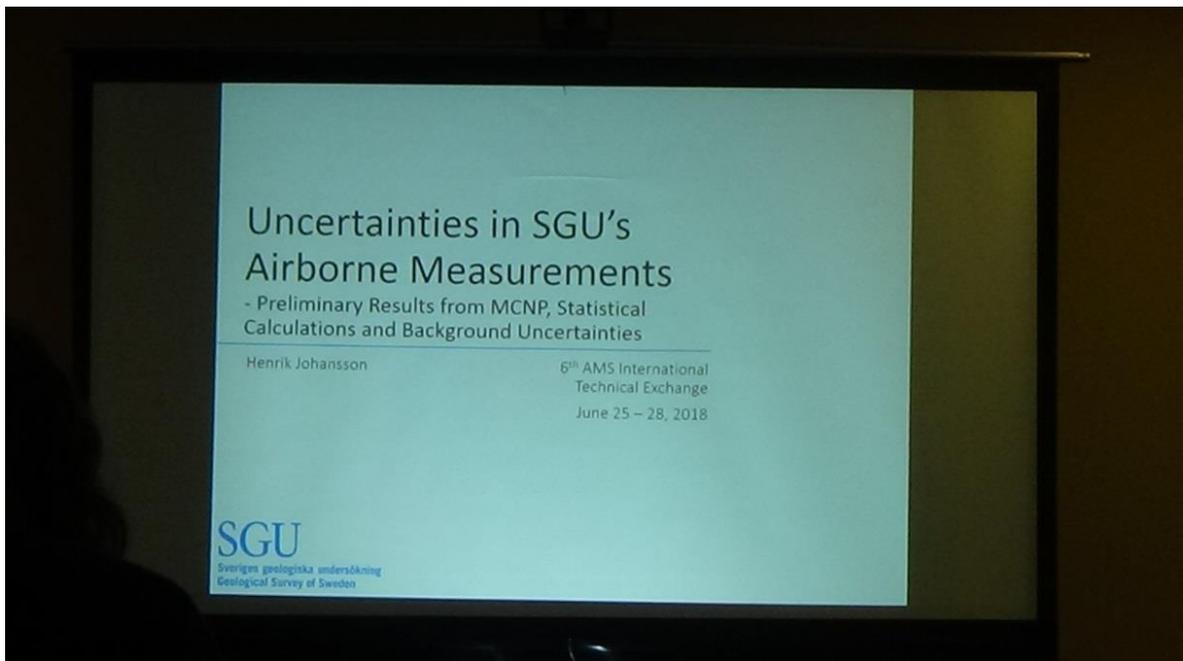


圖 16 瑞典 SGU 簡報主題-瑞典 SGU 空中輻射偵測不確定度

3. 6月27日內華達國家安全區(NNSS)參觀行程

6月27日安排與會人員進行內華達國家安全區(NNSS)一天參觀行程，其屬管制區域要求不得攜帶任何筆電、手機及照相機等電子產品。內華達國家安全區(NNSS)位於內華達州南部偏遠，高度安全的地區，是一個首屈一指的室外、室內和地下國家實驗室。它是支持美國國家核子保安局(NNSA)核武庫存管理計畫、國防計畫、國家安全研究、開發和培訓計畫以及其他聯邦機構重要計畫的實驗首選地點。美國杜魯門總統於1950年12月建立了NTS(NNSS前身)，作為該國的陸上核武器試驗區。在1950年之前，大多數測試都是在太平洋地區進行的。1951年1月27日，第一枚炸彈是從飛機上掉落的一枚千噸級彈頭，在1951年至1962年間，在試驗場的邊界內進行了126次大氣原子武器試驗。內華達國家安全區(NNSS)通過支持核威脅的管理，提供緊急應變能力和培訓，以及為關鍵的防核武擴散和軍備控制舉措做出貢獻，幫助確保美國及其盟國的安全。

首先參觀團到達內華達國家安全區(NNSS)外沙漠岩機場(Desert Rock Airport)，展示小型無人機以及模擬飛行影片。接續安檢進入達內華達國家安全區(NNSS)內，參觀核試爆時建置儀器感應塔，再前往核爆試驗區 Sedan 彈坑合影(如圖 17)；接續參觀核試爆後建物損毀效應遺跡等。

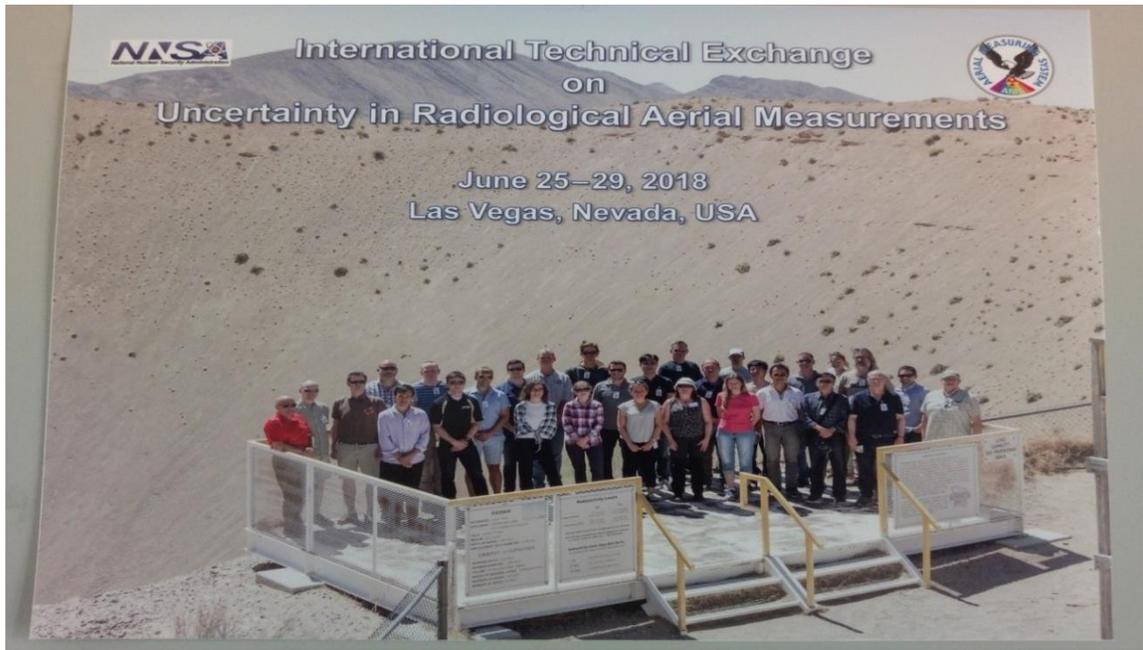


圖 17 所有與會人員在內華達核爆試驗區 Sedan 彈坑合影

4. 6月28日空中輻射偵測不確定度國際技術交流會議

第1場由美國 Radiological Assistance Program 5(RAP5)-Frank Moore 報告，主題為-美國 RAP5 區空中輻射偵測系統(AMS)運作基本概況 (如圖 18)。其說明美國能源部(DOE)放射性援助方案(Radiological Assistance Program)總共依各州地區性共劃分為8個區域(如圖 19)，第5區(RAP5)為中北部各州，負責各種重要會場進出口輻射安全偵測，例如芝加哥馬拉松、美國大聯盟芝加哥小熊總冠軍賽及小熊隊獲世界冠軍遊行等。介紹第5區(RAP5)空中輻射偵測支援載具類型及機種，利用海關與邊境保護夥伴關係，於加拿大相鄰密西根湖，利用船艇載運標準射源方式，進行飛行校正作業。

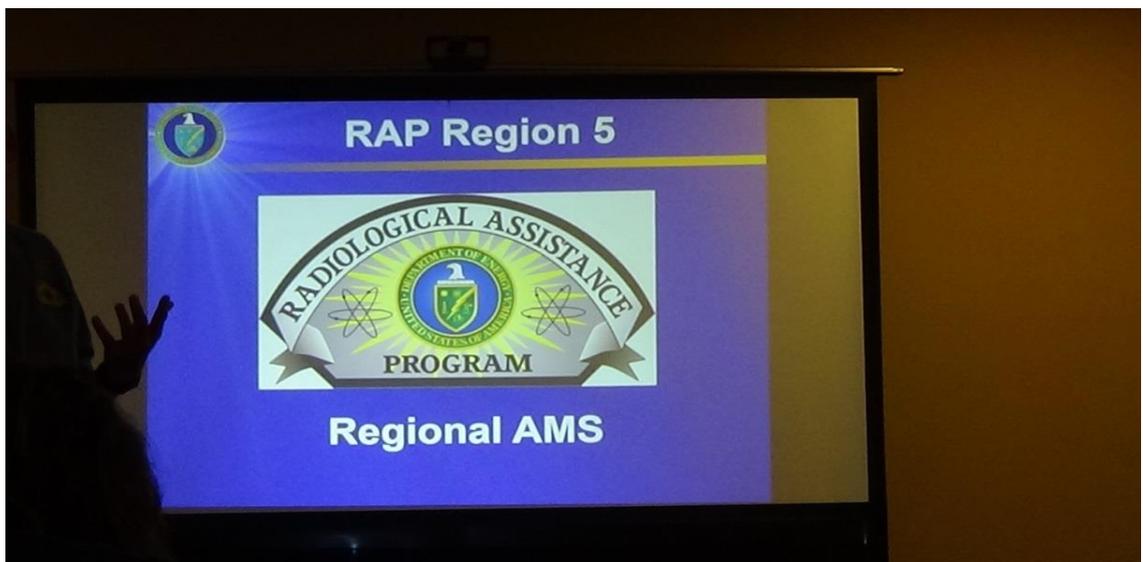


圖 18 美國 RAP5 簡報主題-美國 RAP5 區空中輻射偵測系統(AMS)運作基本概況

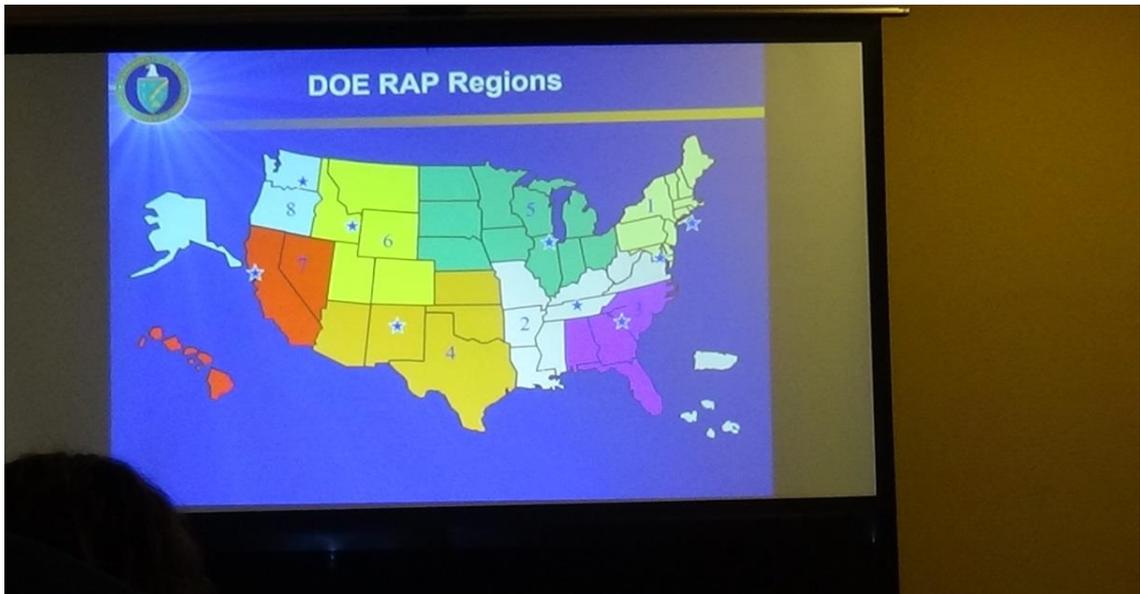


圖 19 美國能源部(DOE)放射性援助方案 8 個區域劃分

第 2 場由美國 Radiological Assistance Program 3(RAP3)-Ron Smith 報告，主題為-美國 RAP3 區空中輻射偵測系統(AMS)運作基本概況(如圖 20)。其說明美國能源部(DOE)放射性援助方案第 3 區(RAP3)為東南部各州，簡介空中輻射偵測歷史及整體概念。利用支援日本福島、薩凡納河遺址及南卡羅萊內洲沿海等空中輻射偵測結果，說明 RAP3 區空中輻射偵測系統(AMS)運作成果。

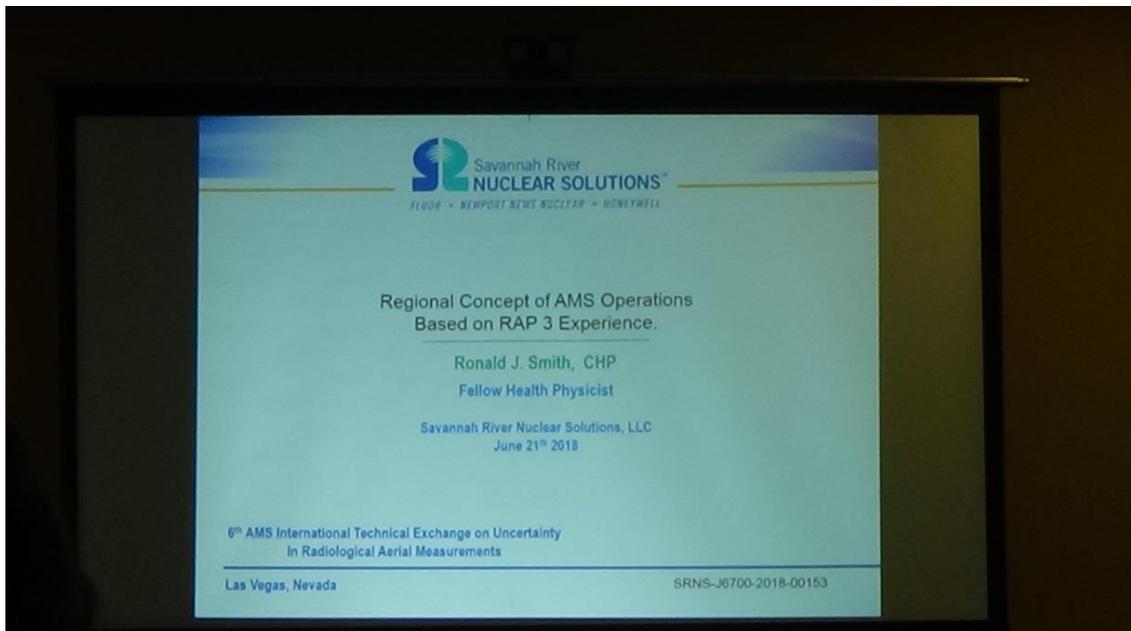


圖 20 美國 RAP3 簡報主題為-美國 RAP3 區空中輻射偵測系統(AMS)運作基本概況
第 3 場利用車輛接駁方式，至北拉斯維加斯機場(North Las Vegas Airport)美國能源部(DOE)直升機 Bell 412 停機棚，參觀裝載空中輻射偵測(AMS)設備展示(如圖 21-26)。



圖 21 美國能源部(DOE)直升機 Bell 412



圖 22 直升機 Bell 412 裝載空中輻射偵測系統(AMS)設備



圖 23 直升機 Bell 412 裝載空中輻射偵測系統(AMS)設備



圖 24 直升機 Bell 412 裝載空中輻射偵測系統(AMS)設備



圖 25 直升機 Bell 412 裝載空中輻射偵測系統(AMS)設備



圖 26 直升機 Bell 412 裝載空中輻射偵測系統(AMS)設備

第 4 場由英國 University of Glasgow(UG)-Dr. David Sanderson 報告，主題為-從英國及國際比對工作經驗透視空中輻射加馬能譜分析不確定度(如圖 27)。首先說明空中輻射偵測系統(AMS)不確定度來源分為隨機及非隨機性，需要考量因素很多，經該團隊 30 年經驗探討英國 AGS 移動式輻射偵測系統不確定度，許多工作需待進行調查。透過前蘇聯車諾比事故對英國影響，1988 年對西坎布里亞事件的調查，造成不確定性散佈，以及日本福島事件污染區作為英國 AGS 移動式輻射偵測系統與國際上比對作業，其認為儘管無人機空中輻射偵測發展進步迅速，但英國 AGS 移動式輻射偵測系統對空中輻射偵測也有不錯成績。



圖 27 英國簡報主題-從英國及國際比對工作經驗透視空中輻射加馬能譜分析不確定度

第 5 場由美國 Pacific Northwest National Laboratory(PNNL)-Mitchell Myjak 報告，主題為-空中及地面射源偵測定量能譜分析法(如圖 28)。其說明研究開發放射性煙羽及地面沉降區分的方法，建立放射性煙羽即時偵測警報能力，同時建立放射性煙羽存在下如何定量地面沉降活度，讓此方法能運用於任何飛行載具及不同空中輻射偵測狀況。此方法是在三個朝下偵測偵檢器硬體上增加 1 組朝上偵測偵檢器，利用朝上、朝下及周圍不同偵檢器偵測到結果，使用三種分析軟體(spectral anomaly detection algorithm、discrimination algorithm to indicate direction(up/down/surrounding)、quantification algorithm to subtract aerial source term)進行交叉詳細分析，在佛羅里達大學訓練反應器(University of Florida Training Reactor UFTR)進行放射性煙羽 Ar-41 模擬洩漏擴散空中輻射偵測試飛。首先區分異常放射性污染源及背景，再依幾何區分空中及地面放射性污染源，最後進行空中及地面放射性污染源定量化。

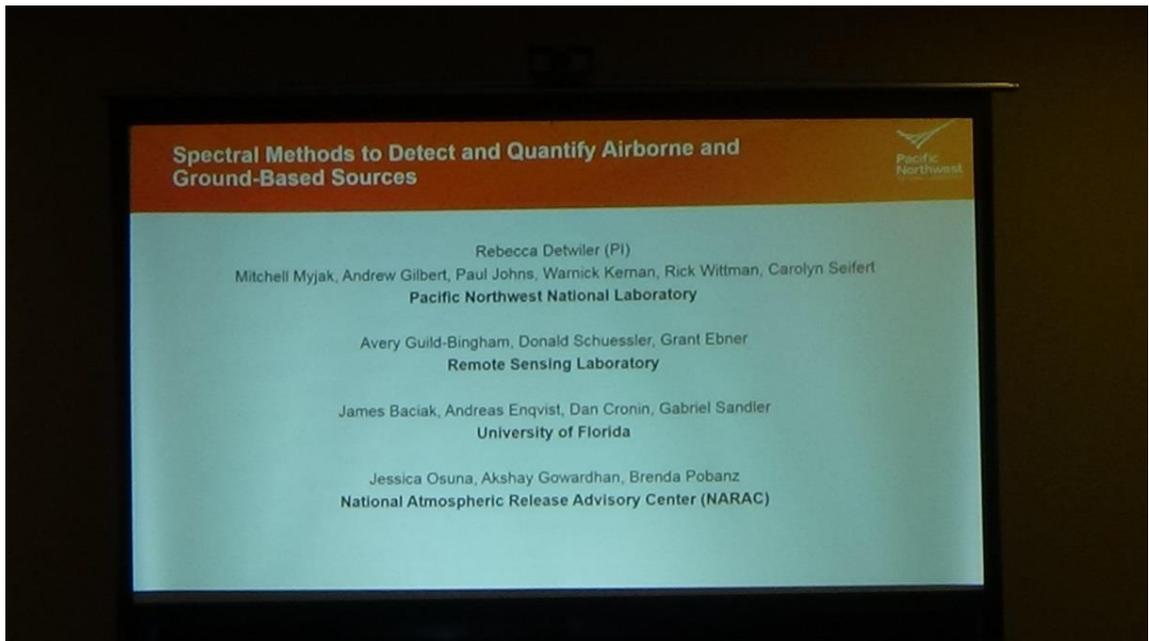


圖 28 美國 PNNL 簡報主題-地面射源空中偵測定量能譜分析法

第 6 場由美國 Pacific Northwest National Laboratory(PNNL)-Mitchell Myjak 報告，主題為-空中輻射偵測系統(AMS)資料處理結果不確定度分析(如圖 29)。其說明資料處理結果透過評估導致不確定性的主要影響，量化空中輻射偵測數據處理結果的預期準確性，利用建置模式和歷史量測進行運跑貢獻，為空中輻射偵測系統(AMS)使用者開發可用現場量測指南。其主要目的除了提供一個空中輻射偵測系統(AMS)資料處理結果準確性機制外，對於改善空中輻射偵測系統(AMS)數據處理結果準確性，其設備及方法精進是必要的。



圖 29 美國 PNNL 簡報主題-空中輻射偵測系統(AMS)資料處理不確定度分析

第 7 場由美國 Pacific Northwest National Laboratory(PNNL)-Warnick Kernan 報告，主題為-地面及空中輻射偵測資料關聯性能譜分析(如圖 30)。其說明地面、移動式及空中輻射偵測，在空間範圍、不確定度及量測單位等存在不同類型數據資料。該團隊正在發展視覺化、可分析及不確定度評估，適當整合不同類型數據的技術，藉著合併多方類型數據，同時評估不確定性來源，提出行動決策依據，有效公共輻射防護。

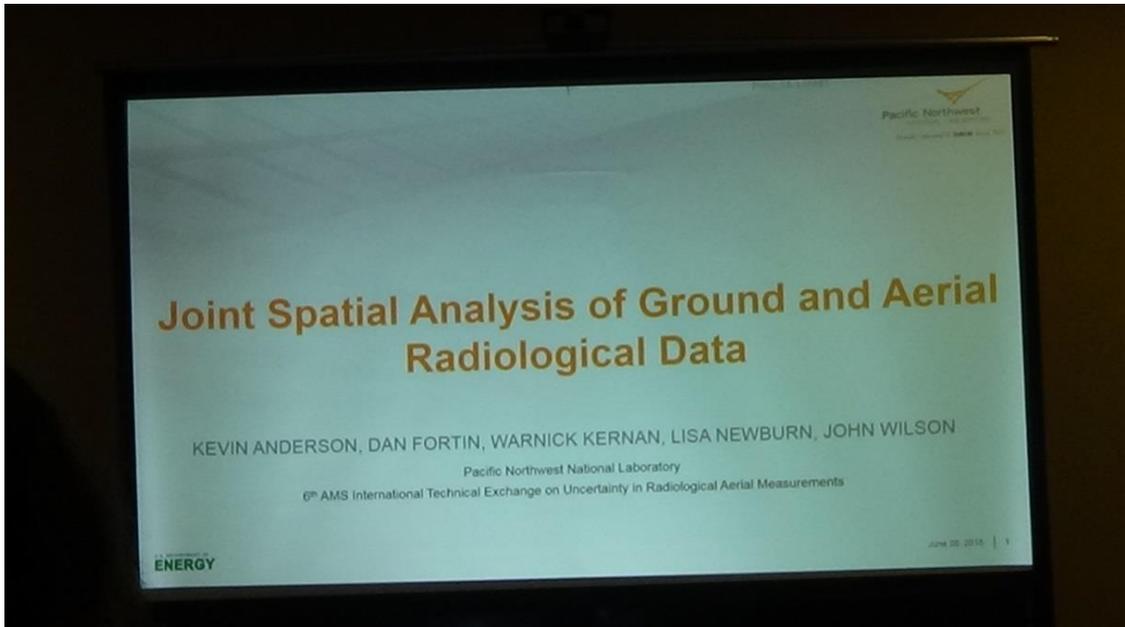


圖 30 美國 PNNL 簡報主題-地面及空中輻射偵測資料關聯性能譜分析

第 8 場由美國 Remote Sensing Laboratory(SNL)-Lainy Dromgoole Cochran 報告，主題為-資料處理產製結果不確定度分析(如圖 31)。其說明資料處理結果不確定度分析，使用美國環境保護局(EPA)行動基準環境放射水平(Derived Response Level DRL)值，進行蒙特卡羅法(MCNP)程式模擬分析，確保資料處理結果可信度，作為公共輻射防護行動決策。分析過程中找出不確定度主要來源，並進一步研究如何降低不確定度。

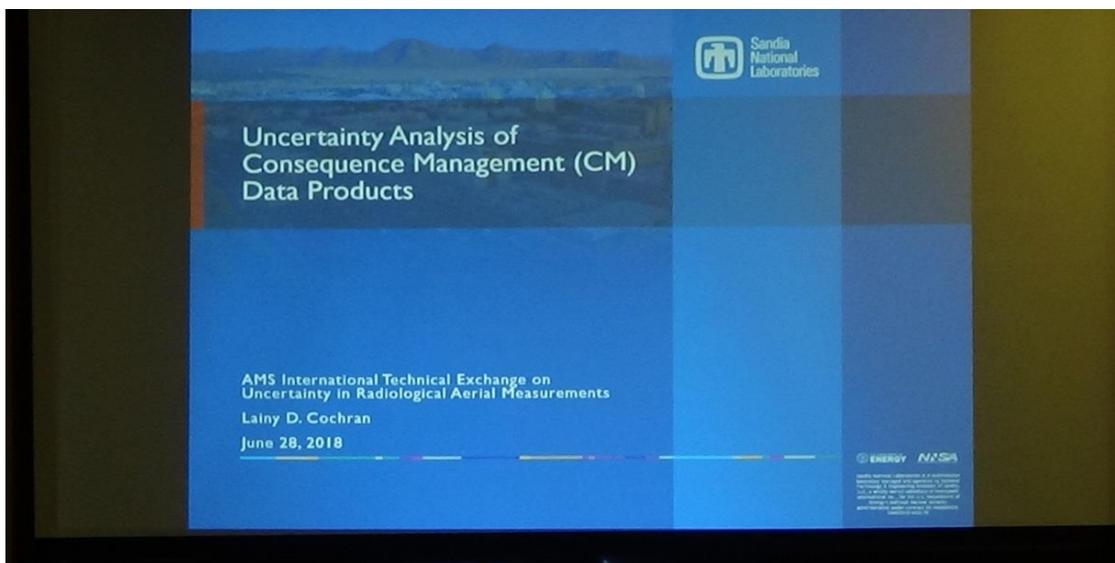


圖 31 美國 SNL 簡報主題-資料處理產製結果不確定度分析

第 9 場由美國 Remote Sensing Laboratory(SNL)-Scott Suchyta 報告，主題為-波士頓馬拉松賽空中輻射偵測系統(AMS)不確定度分析(如圖 32)。其說明利用 2018 年波士頓馬拉松賽空中輻射偵測詳細資料為例，首先計算陸地 1 米高曝露劑量率方程式，針對方程式中每個變數詳細進行不確定度統計分析，最後將個別變數不確定度進行組合，推算出陸地 1 米高曝露劑量率總不確定度。此外，再將過去 2014 至 2018 年波士頓馬拉松賽空中輻射偵測資料進行相互比對，做出差異分析。

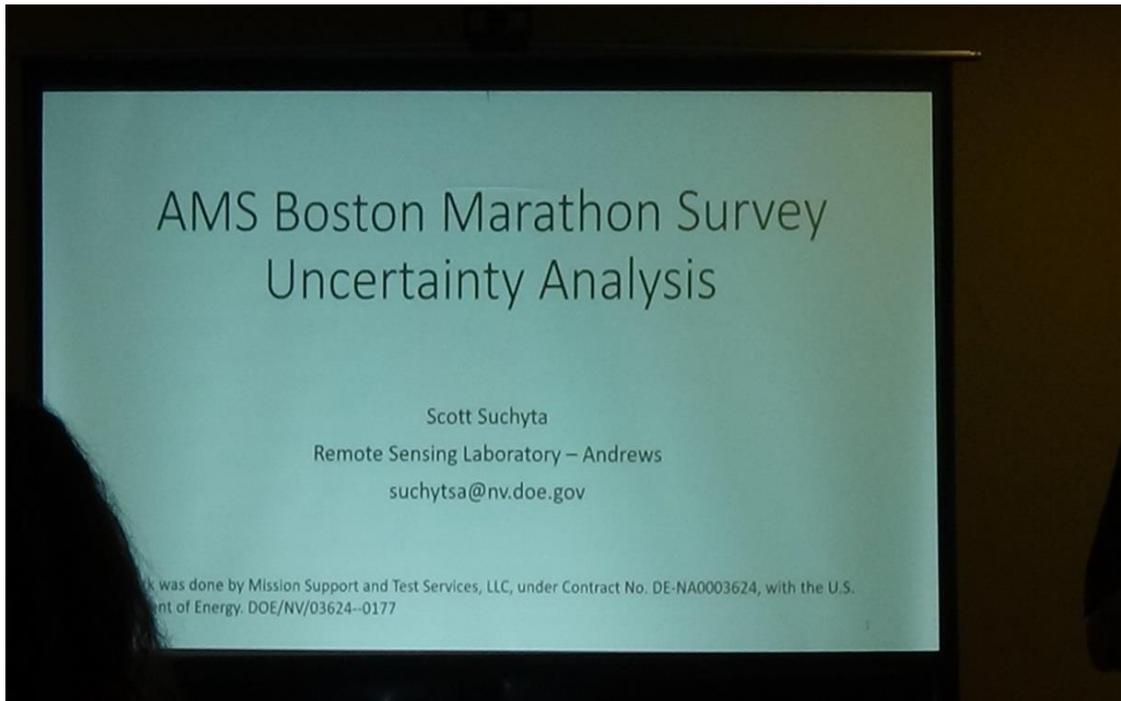


圖 32 美國 SNL 簡報主題為-波士頓馬拉松賽空中輻射偵測系統(AMS)不確定度分析

第 10 場由美國 Remote Sensing Laboratory(SNL)-Daniel Haber 報告，主題為-使用高斯擴散法放射性鉀鈾鈷等活度不確定度量化分析(如圖 33)。其說明針對空中輻射偵測系統(AMS)中放射性核種活度不確定度量化分析，目前採用 IAEA 擴散方法(IAEA extraction method)及高斯擴散方法(Gaussian extraction method)兩種，比較兩種方法後，採用容易連續計數統計少雜訊的高斯擴散方法。利用加入已知量放射性鉀鈾鈷礦石當作校正射源進行實驗，採取核種(鉀鈾鈷)能譜視窗扣除背景後計數值進行資料收集分析，換算出活度與淨計數的比值。針對氬氣子核干擾及核種鉀進行考慮，最後將兩種方法針對核種活度不確定度量化分析結果比對，發現高斯擴散方法(Gaussian extraction method)較優。

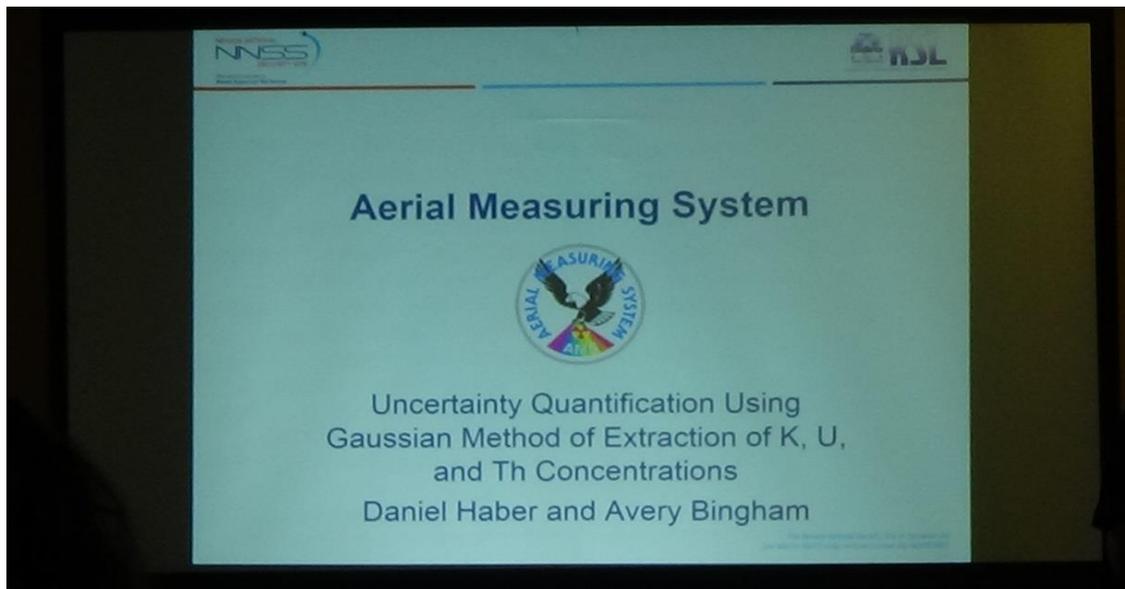


圖 33 美國 SNL 簡報主題-使用高斯擴散法放射性鉀鈾鈾等活度不確定度量化分析
最後第 11 場由美國 Remote Sensing Laboratory(SNL)-Avery Guild-Bingham 報告，主題為-利用空中輻射偵測系統(AMS)校正曲線不確定度經驗量化分析(如圖 34)。其說明以美國能源部(DOE)直升機 Bell 412 裝載 12 顆碘化鈉(NaI) 2 公升偵檢器，於 2010-2018 年間，利用莫哈維湖(Lake Mohave)及附近區域進行 11 次空中輻射偵測系統(AMS)飛行偵測作業。將陸地飛行不同高度的區域與水面不同高度飛行的區域，建立不同高度背景校正及水線校正曲線函數，扣除水線計算所得的函數為陸地上隨著不同高度之計數率分布。以不同高度背景校正曲線函數，推算不同高度輻射空氣衰減因子，再利用精確的地面劑量率量測，推算出計數率與劑量率間的轉換因子，即可建立陸地上隨著不同高度計數率轉換劑量率的分布。針對 11 次不同高度水線校正曲線函數，進行地面計數修正與劑量率估算差異分析，推算出平均值及偏差值，即依空中輻射偵測系統(AMS)不確定度理論，經驗量化分析出校正曲線不確定度。

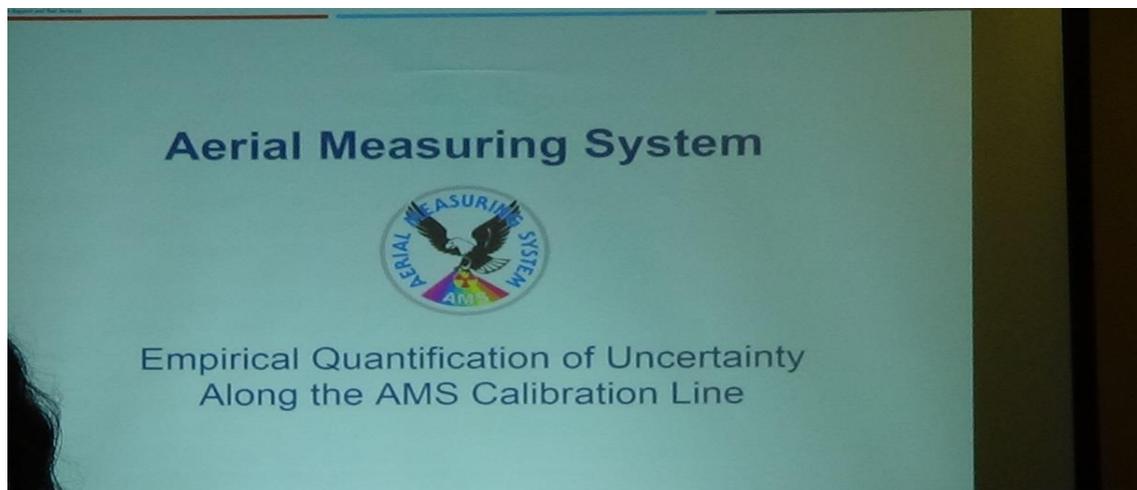


圖 34 美國 SNL 簡報主題-利用 AMS 校正曲線不確定度經驗量化分析

三、 心得及建議

1. 心得

- (1) 空中輻射偵測是一個技術門檻較高，且需要不同技術背景(如駕駛、儀器維護人員、偵測人員、數據分析人員等)專業團隊，互相協調分工合作才能進行，不容許任何環節出現失誤或偏差，並不容易普及推廣的技術；加上國內沒有像美國核試爆區及日本福島輻射污染區，作為適當的放射性標準區域來進行訓練量測作業，以及品保作業上比對測試不確定度評估等問題；期待國內能建立一個永續本土化的訓練場所，作為核事故應變整備需求，是一個值得思考的問題。
- (2) 不確定度評估是研判偵測數據是否一致的重要依據。因此，本中心須針對加強偵測數據分析及不確定度評估能力，作為今後在空中輻射偵測數據處理能力精進。

2. 建議

本次美國能源部核子保安局(NNSA)舉辦之空中輻射偵測不確定度評估國際技術交流會議，其目的為推廣空中輻射偵測技術，我國多年參加美國舉辦之訓練活動，為提升國內人員之偵測技術能力。然而空中輻射偵測屬高階且技術層面高的一項技術，需靠儀器裝備保養人員、直升機駕駛、偵測人員及分析人員等不同專業領域人員結合而成，實屬不易維持及推廣的偵測技術。應藉由國內各項訓練、演習及講習等，廣續維持國內空中輻射偵測技術，以有效執行相關任務。

四、 附錄

議程



U.S. Department of Energy, National Nuclear Security Administration
Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation



6th AMS International Technical Exchange on Uncertainty in Radiological Aerial Measurements

Nevada National Security Site-Remote Sensing Laboratory
Las Vegas, Nevada, USA
June 25 –29, 2018

Participating Organizations

Natural Resources Canada (NRCan) - Canada
Danish Emergency Management Agency (BRS) - Denmark
Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN) - France
French Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA) - France
Icelandic Radiation Safety Authority (IRSA) - Iceland
Japanese Atomic Energy Agency (JAEA) - Japan
Korea Institute of Nuclear Safety (KINS) - Korea
Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) - Korea
Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA) - Norway
Geological Survey of Sweden (SGU) - Sweden
Swedish Radiation Safety Authority (SSM) - Sweden
Atomic Energy Council (AEC) - Taiwan
University of Glasgow (UG) – United Kingdom
National Nuclear Security Administration Aerial Measuring System (AMS) – USA
Pacific Northwest Laboratory (PNNL)
Sandia National Laboratory (SNL)
DOE Radiological Assistance Program Region 3
DOE Radiological Assistance Program Region 5
DOE Remote Sensing Laboratory (RSL)

Location

Technical Exchange will be held at the North Las Vegas Airport
Address: 1205 Airport Dr, North Las Vegas, NV 89032

Accommodation

Tuscany Suites and Casino
Address: 255 E Flamingo Rd, Las Vegas, NV 89169
Phone: (702) 893-8933, <https://www.tuscanylv.com/>

Transportation:

A bus service will be provided to and from the hotel to the North Las Vegas Airport and for NNSS tour.





U.S. Department of Energy, National Nuclear Security Administration
Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation



June 25 (Monday) – North Las Vegas Airport

07:30 Bus leaves Tuscany Suites

8:00 – 09:00 *Welcome, Introductions, International Program Update* – Kirk Czap, NNSA NA-81 (US)

09:00 – 09:45 *Brief History of AMS Technical Exchanges* – Piotr Wasiolek, RSL (US)

09:45-10:00 Break

10:00 – 10:45 *Uncertainty in Aerial Radiation Survey Measurements: Canadian Perspective*, Laurel Sinclair, NRCAN (Canada)

10:45 – 11:00 Q&A on Canadian RSI Presentation

11:00 – 11:45 *Current Status of Aerial Radiation Measurement Practice and Uncertainty Evaluation in Taiwan*, Fu-Chi Huang and Ming-Jen Lin, AEC (Taiwan)

11:45 – 12:00 Q&A on Taiwan Presentation

12:00 –13:30 Lunch

13:30 – 14:15 *Uncertainties in Aerial Measurements*, Sune Juul Krogh, DEMA (Denmark)

14:15 – 14:30 Q and A on Denmark Presentation

14:30 – 15:15 *Uncertainties in aerial gamma measurements with Helinuc System*, Marine Wansek, CEA (France)

15:15 – 15:30 Q and A on French CEA Presentation

15:30 – 15:45 Break

15:45 – 16:30 *Uncertainties in AMS activities*, Christophe Debayle, IRSN (France)

16:30 – 16:45 Q and A on French IRSN Presentation

17:00 End of Day – Transportation to the Hotel





U.S. Department of Energy, National Nuclear Security Administration
Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation



June 26 (Tuesday) - North Las Vegas Airport

07:30 Bus leaves Tuscany Suites

08:00 – 08:45 *Challenges of aerial measurements in Iceland, Gísli Jónsson, (IRSA), (Iceland)*
08:45 – 09:00 Q&A on Iceland Presentation

09:00 – 09:30 *Accuracy evaluation of airborne radiation monitoring after the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident, Yukihisa Sanada, JAEA (Japan)*

09:30 – 10:00 *Application of topographical source model for air dose rates conversions in aerial radiation monitoring, Azusa Ishizaki, JAEA (Japan)*

10:00 – 10:30 *Estimation of the vertical distribution of radiocesium in soil using gamma-ray spectra of aerial radiation monitoring, Kotaro Ochi, JAEA (Japan)*

10:30 – 10:45 Q&A on Japan Presentations

10:45 – 11:15 Break

11:15 – 12:00 *Field Radiation Measuring Technologies and their Applications in Korea- "Assessment of the ground deposition of radionuclides using diverse survey platforms, Byoung-Jik Kim and Young-Yong Ji, KAERI and KINS (Korea)*

12:00 – 12:15 Q&A on Korea Presentation

12:15–13:45 Lunch

13:45 – 14:30 Norway Presentation

14:30 – 14:45 Q&A on Norway Presentation

14:45 – 15:30 *Recent developments in Swedish Airborne measurements Simon Karlsson, SSM (Sweden)*

15:30 – 15:45 Q&A on Sweden SSM Presentation

15:45 – 16:00 Break

16:00 – 16:45 *Uncertainties in SGU's Airborne Measurements-Preliminary Results from MCNP, Statistical Calculations and Background Uncertainties, Henrik Johansson, SGU Sweden*

16:45 – 17:00 Q&A on Sweden SGU Presentation

17:00 End of Day – Transportation to the Hotel





U.S. Department of Energy, National Nuclear Security Administration
Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation



June 27 (Wednesday), Nevada National Security Site

07:30 Bus leaving Tuscany Suites

09:00 NNSS Tour start at the Mercury Badge office

Points of Interest on the Tour:

- ✦ Desert Rock Airport;
- ✦ Mercury, NV
- ✦ Frenchman Flat (Atmospheric Tests at the NTS)
- ✦ Nonproliferation Test and Evaluation Complex (NPTEC)
- ✦ Icecap Ground Zero;
- ✦ Sedan Crater
- ✦ T-1 Training Area
- ✦ Apple II Houses (Civil Effects Tests)

16:30 EOD

The following items are prohibited on the Nevada National Security Site tour:

• Cameras/Camcorders	• Any Item Prohibited by Law
• Cellular phones	• Controlled Substances
• Bluetooth enable devices	• Incendiary Devices
• Portable Data Storage Devices	• Binoculars
• Computers	• Optical Instruments
• Recording Devices	• Alcoholic Beverages
• Weapons	• Chemical Irritants
• Explosives	• Global Positioning System (GPS)
• Pets & Animals	• Geiger Counters
• Ammunition	• Recorders
• PDA, Blackberry, etc.	





U.S. Department of Energy, National Nuclear Security Administration
Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation



June 28 (Thursday), North Las Vegas Airport

07:30 Bus leaves Tuscany Suites

08:00 – 08:30 *Regional Concept of AMS Operations based on RAP 5 Experience*, Frank Moore, RAP5 (US)

08:30 – 09:00 *Regional Concept of AMS Operations based on RAP 3 Experience*, Ron Smith, RAP3 (US)

09:00 – 10:00 Demo of US DOE Bell 412 helicopter with AMS radiation detection system

10:00 – 10:15 Break

10:15 – 11:00 *Uncertainties in aerial gamma spectrometry – experience and perspectives from UK and international intercomparison work*, David C.W. Sanderson, SUERC, (UK)

11:00 – 11:15 Q&A on UK Presentation

11:15 – 12:00 *Spectral Methods to Detect and Quantify Airborne and Ground-Based Sources*, Mitchell Myjak; Pacific PNNL (US)

Uncertainty Analysis for AMS Data Products, Mitchell Myjak, PNNL (US)

Joint Spatial Analysis of Ground and Aerial Radiological Data, Warnick Kernan, PNNL (US)

12:00 – 12:15 Q&A on PNNL Presentation

12:15–13:45 Lunch

13:45 – 14:30 *Uncertainty Analysis of Consequence Management (CM) Data Products*, Lainy Dromgoole Cochran, SNL (US)

14:30 – 14:45 Q&A on SNL Presentation

14:45 – 15:30 *AMS Boston Marathon Survey Uncertainty Analysis*, Scott Suchyta, RSL (US)

15:30 – 15:45 Q&A on RSL (US) Presentation

15:45 – 16:00 Break

16:00 – 16:30 *Uncertainty Quantification Using Gaussian Method of Extraction of K, U, and Th Concentrations*, Daniel Haber and Avery Bingham, RSL (US)

16:30 – 17:00 *Empirical Uncertainty Estimate for AMS Measurements*, Avery Guild-Bingham, RSL (US)

17:00 - 17:15 Q&A on 2 RSL (US) Presentations

17:15 End of Day – Transportation to the Hotel





U.S. Department of Energy, National Nuclear Security Administration
Office of Nuclear Incident Policy and Cooperation



June 29 (Friday), North Las Vegas Airport

No transportation provided from the hotel to North Las Vegas Airport

08:00 – 12:00 US AMS – French IRSN Discussion on final report after the joint survey (room 1)

08:00 – 12:00 US-AMS – Norway NRPA Discussion on preliminary results on 2018 joint survey (room 2)

