

應用空中偵測技術
建立環境背景輻射先期計畫
期末報告

原子能委員會 輻射偵測中心
中華民國中華民國一〇五年十二月十四日

摘要

本計畫中包含赴美技術交流與訓練行程係由美國能源部國家核子保安總署(National Nuclear Security Administration, NNSA)規劃邀請，我國代表與智利、阿根廷等國代表共同於位在拉斯維加斯的北拉斯維加斯機場(North Las Vegas Airport)，進行空中偵測技術實務操作訓練，包括基礎品質查驗、飛行引導與污染區模擬等並由 RSL(Remote Sensing Laboratory)專家群介紹與說明 AVID(Advanced Visualization and Integration of Data)系統，並以 AVID 展示偵測數據擷取，後處理與結果製圖之功能。接著參加空中偵測技術經驗交流國際研討會。各單位除了交換發展經驗外，也針對無人機發展的法規與技術限制、國際合作技術規範與遙測數據的一致性等議題進行討論，雖然各國歧見未能在會議中得到共識，但是對於國際合作與技術整合的方向均表達認同。

配合核安演習進行空中偵測團隊的執行計畫溝通、課程與實務訓練、現場演練等。共計執行車載演練狀況操作兩次，實際上機空中輻射偵測演練 4 次。車載演練完成高雄市街道輻射分布偵測練習，過程包括路線規畫、依路線引導執行、執行數據分析與渲染圖製作等。飛航偵測演練科目包括飛行前會議、飛行前品管、格線飛行、射源搜索等。執行結果均與美國能源部專家討論，確認以國內目前能量可執行污染偵測，但仍有部分問題建議改進，包括與飛航單位溝通克服降低飛行高度的飛安問題，以能測得低污染的區域。

關鍵字：空中偵測、AMS、國際緊急應變管理合作(IEMC)

目 次

壹、	前言.....	1
貳、	參加國際空中輻射偵測系統技術交流與訓練課程.....	2
參、	39 化兵群偵檢人員硬體操作與簡單維修訓練.....	20
肆、	高雄地區道路背景輻射偵測測試.....	21
伍、	台南歸仁航特部空中偵測飛航訓練(格線背景偵測).....	24
陸、	恆春地區飛航訓練(含射源搜索).....	26
柒、	美國能源部核安局專家 Dr. Piotr Wasiolek 再訓練課程.....	28
捌、	結論.....	29
玖、	附件.....	30
簡介		1
參考資料		10

壹、前言

鑑於日本311福島核災，行政院核定我國核能電廠現有安全防護體制全面體檢方案，原子能委員會為落實「國內核能電廠現有安全防護體制全面體檢方案總檢討報告」有關空中輻射偵測作業之檢討與精進規劃，委託核研所規劃四年期(101-104年)之空中輻射偵測系統引進與研發，完成我國空中輻射劑量偵測與地面污染調查評估之技術，強化我國於核子事故當下及核子事故後對國土大範圍輻射污染之調查技術與核子事故應變能力。藉由台美民用核能合作，核研所已與美國能源部國家核子安全局之技術團隊針對SPARCS空中輻射偵測系統進行多次的技術交流，使我國的空中輻射偵測技術更加成熟，並強化我國空中偵測於任務規劃與實務執行之經驗。102-104年透過幾次的訓練課程，在陸軍司令部化學兵處、陸軍航空601旅及化生放核訓練中心等單位的配合下，我國對於空中輻射偵測任務執行已具初步成果。

為將101-104年核研所空中輻射偵測技術建立成果，落實於實際操作演練及環境偵測背景建立，本年度主要的重點工作項目如下：

- (1) 辦理負責空中輻射偵測任務之相關人員(國防部、緊急應變南部監測中心及核研所保物組等)，赴美參加操作軟體更新再訓練及維運經驗分享課程。
- (2) 辦理原子能委員會空中及陸域輻射偵測設備各1套，移交緊急應變南部監測中心進行維運及訓練。
- (3) 搭配105年核安第22號演習時機，利用空中輻射劑量偵測評估技術，與國防部合作建立核三廠周圍環境背景輻射。
- (4) 辦理105年核安第22號演習空中輻射偵測及陸域輻射偵測設備實作演練。

希望能夠藉由本計畫，派員赴美受訓瞭解空中輻射劑量偵檢設備最新操作技術、飛行規劃及實務操作，建立國內自主化空中輻射偵測作業。針對SPARCS-A偵檢箱內部的各關鍵零組件進行簡易測試與故障排除，建立簡易備品維護技術；吸取各國使用SPARCS空中輻射偵測經驗回饋；期能達到兼具使用操作與維運故障排除之目標。並利用105年核安演習於核能三廠進行演練機會，協同負責核能三廠空中輻射偵測任務之相關人員，辦理105年核安22號演習空中輻射偵測及陸域輻射偵測設備實作演練；使得負責空中輻射偵測人員能更加熟練運用。

貳、 參加國際空中輻射偵測系統技術交流與訓練課程

本計畫包含國外會議，係由美國能源部國家核子保安總署(National Nuclear Security Administration, NNSA)規劃邀請，舉辦國際空中輻射偵測系統技術交流與訓練課程(International Training Course on Aerial Measurement System Technical Exchange)，我國參加成員經過與各單位協商後，核定成員為空勤總隊趙青松及原能會核能技術處賴佳琳、輻射偵測中心黃富祈與劉祺章等四人，與智利、阿根廷等國家代表，共同於位在拉斯維加斯的北拉斯維加斯機場(North Las Vegas Airport)，進行為期四天之空中輻射偵測系統(AMS)技術交流與訓練課程，主要為介紹與實作新的空中偵測數據擷取與分析處理軟體AVID(Advanced Visualization and Integration of Data)，其中兩天並安排實際於內華達國家安全區(Nevada National Security Site, NNSS)第三區(Area 3)以及國家沖刷地區(Government Wash)執行污染地區空中偵測實務訓練，並將偵測所得到之數據，利用AVID數據分析功能進行數據分析與結果製圖之講解與實作。

在空中偵測技術經驗交流國際研討會中除了介紹各國目前空中偵測相關的技術發展現況外，無人機發展之必要性與國際緊急應變管理合作為主要討論主題。由於各式無人機的技術發展方興未艾，加上由人駕駛直升機飛行成本與風險均高，若能使用適當的無人機取代進行空中輻射偵測將可解決這方面的問題。可是無人機的技術發展與管制法規各國差異頗大，因此由各國就現行狀況提出經驗交流。國際合作管理是另一個重要議題，國際原子能總署提出過去各國對於參與應變國際合作議題表示肯定，但是各國提報資料格式紊亂，造成負責國家整合不易，延宕數據處理與資訊呈現的時間，使得國際合作的成效無法達到緊急應變作業的需求。因此在此次會議中擬就空中偵測的技術規範與資料呈現規格的國際規範調和(international harmonized standards)進行討論，並希望能整合各國的意見後，完成草案提交國際原子能總署作為正式技術參考文件。此外美國不同國家實驗室與內華達大學則介紹目前輔助空中偵測設備的相關研究進展與初步成果介紹，雖然這些研究成果仍只是在初步測試的階段尚無法實務應用，但是構想十分新穎有趣，也是十分值得參考。

本次訓練課程與國際經驗交流會議主要目的為強化國內空中偵測實務操作經驗，並更新相關軟體，同時建立國內數據資料後處理與

結果製圖之能力。我們也希望藉此機會能夠與世界其他國家相關領域的專家們進行技術與經驗交流。並能參考其他國家研究的方向與內容以及國際間關心的課題，作為我們國內未來政策制定與相關技術發展或精進的借鏡。

一、 行程與紀要

行程概要如下：

04月02日	由桃園機場搭機前往洛杉磯。
04月03日	洛杉磯轉機至拉斯維加斯，並進行內部講習補充本次課程未安排之基礎課程。
04月04日至 04月07日	空中偵測技術訓練，課程內容包含儀器品保查驗；AVID軟體功能說明；直升機現場空中偵測；引導駕駛飛行實務；偵測結果處理；報表製作；模擬污染與任務規劃等。
04月08日至 04月10日	趙青松先行返國。 黃富祈與劉祺章準備國際技術交流會議簡報資料，報告台灣近年來空中偵測發展現況與無人機測試結果。。
04月11日至 04月15日	空中偵測國際技術交流會議，內容包括：日本福島空中偵測經驗分享與技術發展，美國相關技術發展現況與無人機展示，各國空中偵測技術發展現況分享與國際合作管理技術規範與數據整合一致性探討。

出國紀要

這次的空中偵測訓練課程安排為進階課程，對於游離輻射介紹、輻射劑量學概要、輻射防護、加馬能譜分析等基本技術觀念並不在安排的課程中。本次國內參訓人員均是第一次赴美參加空中偵測實務訓練，尤其來自內政部空勤總隊的飛行員趙青松教官並非輻射專業人員，對於游離輻射的基本觀念較為生疏。因此安排在課程開始前一天進行課程前的內部講習活動，由偵測中心介紹游離輻射種類特性與輻射度量及輻射防護等基本概念，本會賴佳琳技士介紹國內核能電廠緊急應變措施，而趙教官也提供國內直升機執行救災飛行勤務支援時須注意事項，與過去參與救災經驗等供其他人員參考。此外，也參考過

去在國內辦理的空中偵測講習內容進行意見交流，以便能夠適應上課的進度。透過這樣的講習交流，除了彼此更加熟悉工作內容，也能由不同的觀點來學習需要跨域整合的空中輻射偵測課程。



圖 1 會議前參訓人員進行輻射度量與防護講習與交換意見

(一)、進階空中偵測實務訓練與資料處理

上機前品管查核事項

本次課程除了講解改版軟體的設計理念與操作的概要外，也很重視實務操作的部分。因此讓每個人在上飛機前必須練習對偵檢器做品管檢測，包括信號傳輸、高壓設定、背景值、鉀 40 能峰的能量偏移等等進行品管查核。如果鉀 40 能峰有偏移，可以調整高壓值修正。雖然調整放大器也能做修正，但是可能會造成雜訊增加，因此美方建議以調整高壓為主。



圖 2 上飛機前品管檢查實務操作演練。

此外，由於空中偵測系統包括有四顆偵檢器，以擴展可偵測劑量率範圍。其中適用於高劑量量測的偵檢器因為體積小效率不高，因此

若在執行查核的地區背景值不高，可能預設的計測時間無法得到足夠信賴度的鉀 40 信號。此時就必須採用能譜加成模式來延長計測時間，或是直接使用銻 137 射源來進行查核。所以在執行任務時，最好能備有低於豁免值的銻 137 射源，以便在必要時作為品管查核的參考。這次的課程以數據處理為主，因此硬體架構的介紹較少，除了品管查驗確認外並沒有對於偵檢器特性與不同偵檢器功能講解。

空中偵測數據擷取與分析處理軟體 AVID

AVID 是一個圖層框架軟件，用於空中移動輻射偵測系統即時採集取樣，再利用視覺化和輻射數據分析相關的模擬。AVID 軟件的主要目的是使用於空中輻射偵測能量頻譜計算分析系統（SPARCS），對地面車輛載具應用單一組成封裝輻射偵測器移動偵測，均可設定添加於此軟體分析。AVID 軟件被設計用於輻射偵測系統數據採集和分析功能，具備擴展性及可塑性，也能提供對各種輻射偵測器模組的採集和分析。AVID 三個主要的應用：1. 數據採集-數據從一個或多個傳輸器即時的收集和進行視覺化。此外，還包括通過網路選擇用戶的數據流傳輸連接到中央伺服器。2. 遠程監控-從中央服務器檢索即時從多個獨立的遠端即時傳輸器回傳的數據信息，進行視覺化觀測分析。3. 數據處理-處理技術的應用，利用空間地理參考校正功能，進行能量頻譜數據轉換成定量的輻射值。目前的版本為 1.83 版。然而，提供給國內使用的國際版 AVID 並沒有數據傳輸與遠端監控的模組，因此數據只能做後製處理。

AVID 的地圖繪製(Mapping)是個強大的數據視覺化工具。它可用來結合覆蓋區域量測資料位置以及一般的背景訊息。當匯入具有 GPS 位置資訊的量測數據時，會在一個基礎圖層上繪製的黑點。為了快速呈現這些加馬總計數值的變化，再製圖功能列中點擊快速標記(quick symbol)便可依所有數據的最高值與最低值做出色階標記。標記的其他著色方式，可以點擊製圖功能列標記(symbol)的按鈕。

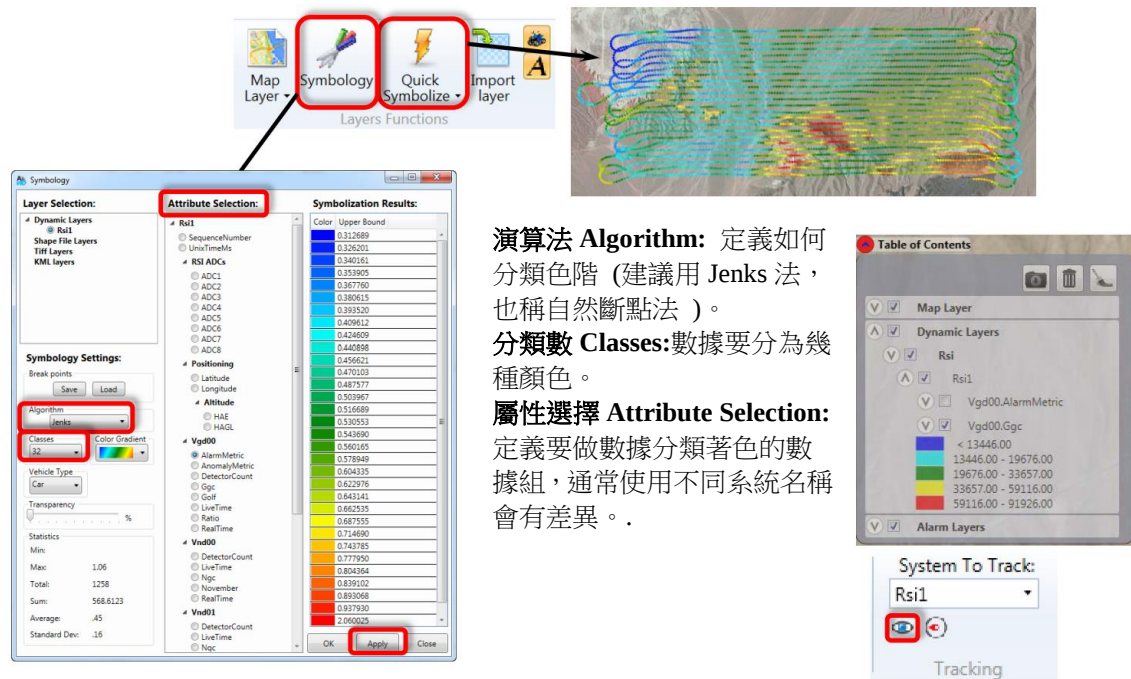


圖 3 偵測數據相對色階設定。

也可以使用遮罩(MASK)的功能，將有興趣的資料圖點範圍選取後，再進行空間內插(Spatial interpolation)處理做成渲染圖，其他區域的資料則不受影響。遮罩內的數據點可以刪除不需要或有問題的數據，兩個遮罩也可利用集合運算加以整合，使得遮罩的選用可以根據實際需求調整更有彈性。

地圖的左上角的目錄表中可以管理圖層的呈現，包括動態的（數據）層、使用的匯入層（KML，形狀，註解）、等數據選取顯示功能。

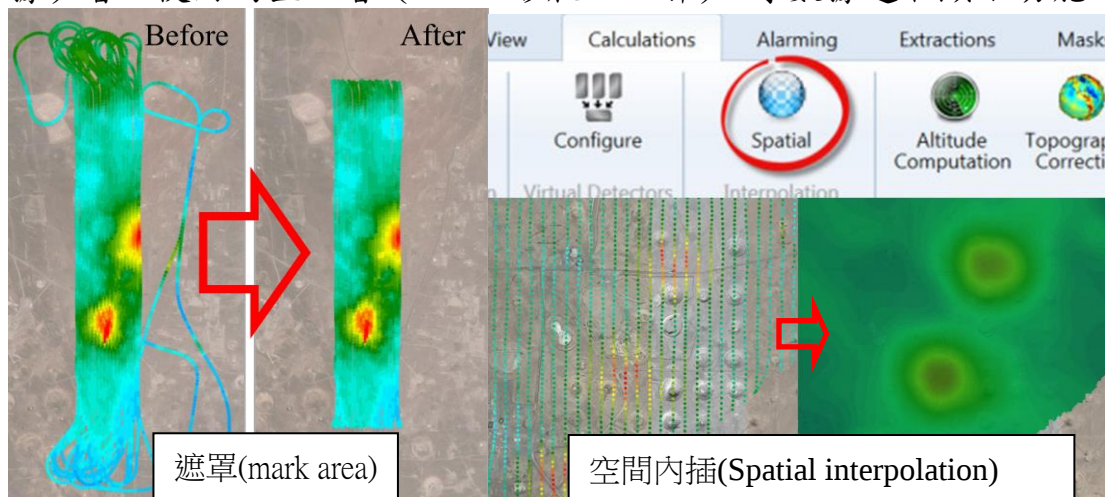


圖 4 利用遮罩進行渲染圖製作。

將污染的相對計數率透過地面偵測的結果可以使用轉換因子轉換為劑量率分布圖。也可以利用擷取(extraction)的計算把個別污染

核種的計數分布擷取出來，擷取的方式有主能峰高斯法、視窗指標法（雙視窗、三視窗）等等，可以套用到遮罩範圍內只展示個別核種或是污染指標的分布。

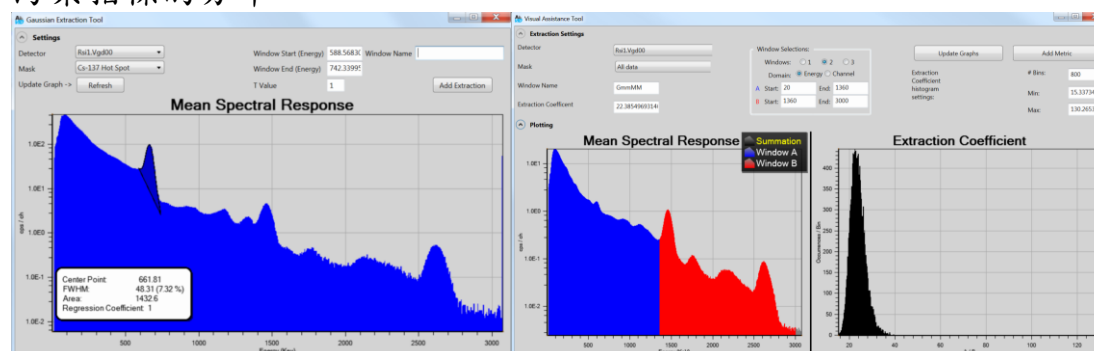


圖 5 污染物相對分布的分析方法。

實務飛行偵測訓練與任務溝通指令

今年參加實務飛行訓練的學員不多，因此共計飛航三個梯次，第一梯次是由 RSL 講師 Tom 帶領阿根廷代表與台灣包括偵測中心劉祺章及空勤總隊趙青松等三人，執行輻射污染區標繪作業。訓練安排於內華達國家安全區(Nevada National Security Site，簡稱 NNSS)第三區進行水平間格飛行任務，NNSS 是歷史上十分重要的陸地核子試爆場，許多核子武器爆炸威力、對各種類型建物的影響、污染規模評估等資料都是在該地區獲得的寶貴資料。現今已作為核子/放射性事故之測試、訓練及緊急應變使用。該區為軍事管制區，不許攜帶個人相機與一切電子通訊設備。

本次訓練直升機上已裝載飛行導航儀器 Trimble AgnNav 系統(圖 6A)，或稱為偏航指示系統，儀器安裝於後方乘客座前方，由操作人員事先將規劃的航道輸入設定與操作，飛行員可透過儀表板上方顯示光條(Lightbars)之偏移距離與角度等參數以及偏移光點，即可知道目前是否依照規劃路徑飛行以及如何修正。此外，趙青松與美方駕駛員也討論到，目前因直升機駕駛座未配有導航儀器，所以就加裝支架採用可拆式的導航儀(圖 6B)，只要事前將規劃的路徑匯入導航系統中，飛行時駕駛也可直觀的看導航儀上的位置是否偏離規劃的路線來加以修正。由於美國支援訓練的駕駛為美國空軍退伍，因此使用的導航軟體是他們過去慣用的 falconview®，這是 20 年前開始由美國喬治亞科技學院(Georgia Institute of Technology)為美國國防部所開發與維護發展。現在已經有公開版本可供有興趣的人免費下載於蘋果公司的 iPad 上使用，也有視窗版本但是需要註冊，且地圖檔

也要自行處理。

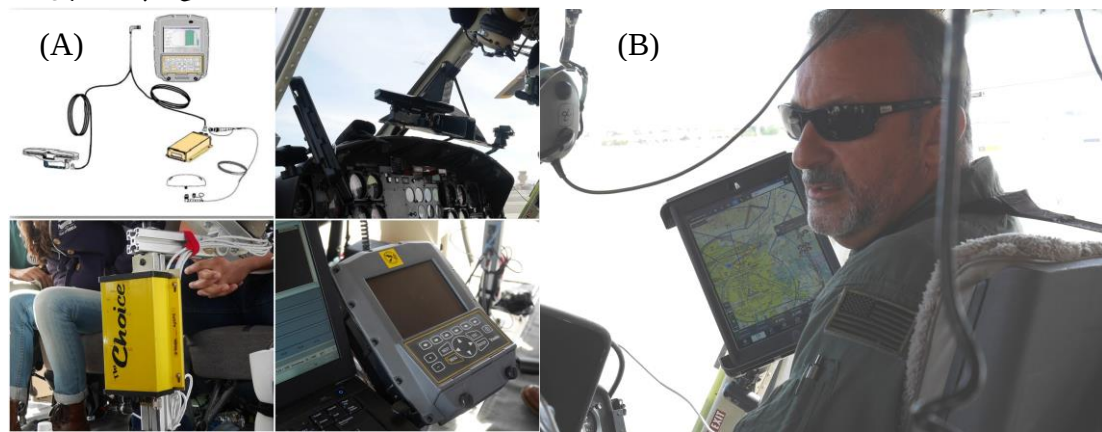


圖 6 (A)偏航指示導航儀及其在直升機上的配置(B)駕駛員另外使用 iPad 導航軟體協助進行需要精確航道的飛行任務。

上機前駕駛會進行安全說明，要求上機人員如何扣緊安全帶，以及上下機的方式，並提供耳塞與護目鏡。在飛行的過程中，除了和駕駛討論導航儀的功能和使用外，當離開任務區域時也要提醒駕駛迴轉做下一個格線飛行，有時因為側風影響而有不易修正的偏差時也會和駕駛討論如何因應。趙青松期間也與美國遙測實驗室工程師 Eugene V. Sheely Ph. D. 及飛行員 DAVID 討論空中偵測時機與輻射防護問題，基本所有的空中偵測過程均在安全無虞的狀態下方能執行，意即災害發生第 1 時間對於輻射狀況及範圍尚處於不明階段，不會冒然派員進入輻射災區實施偵測，需俟輻射災區污染狀況穩定後（或復原期），始開始執行偵測工作。除非執行過程發現有異常的輻射，顯示可能通過輻射煙雲，否則在安全的輻射劑量監控下，人員無需穿著特殊防護裝備執行空中偵測任務，於任務結束後亦無需進行飛機清洗工作。上述安全輻射劑量監控方式如下：

- (1) 執行偵測人員配戴「輻射電子劑量計」，當顯示累積暴露劑量超出標準時，飛機應隨即轉向脫離，避免再駛近污染區。
- (2) 當 AVID 警告燈/音響提出示警時，飛機應隨即轉向脫離，避免再駛近污染區。但可往下風向區域飛行確認污染大致邊緣位置。
- (3) 人員分批執行偵測任務，可有效控制/降低累積暴露劑量。

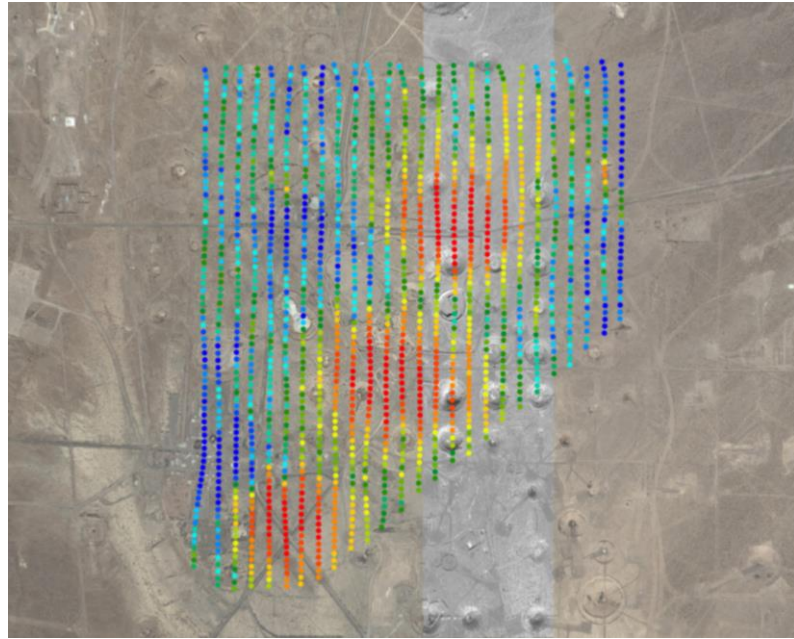


圖 7 污染分布圖標繪量測結果。

第二航次由智利代表與本會賴佳琳技士進行地表污染沉積範圍快速調查與 Government Wash 背景輻射偵測作業，此任務須在飛行前依模擬的污染範圍選擇特定區域，並以預先規劃之網格路徑飛行(Grid Pattern)進行空中輻射偵測，原則上，平行間隔須小於 2 倍的飛行高度(Altitude above Ground Level，簡稱 AGL)執行網格路徑飛行。這個演練的重點在於與飛行員間任務溝通指令(Voice Command)，偵測人員可監看筆記型電腦螢幕，確認飛行路線之正確性，然後須告訴飛行員當下飛行位置是否在規畫路徑上，且任務溝通指令須當機立斷，。在任務執行前必須與駕駛員進行飛行計畫的確認並視狀況與駕駛飛航經驗作調整修改，也要對於任務溝通指令達成共識。第三航次由黃富祈與劉祺章進行相同的飛航演練。演練偵測結果如圖 8。

圖 8(A)示範對於地面沈積的污染快速偵測方式，飛行規劃先在已知的外釋點上風處來回飛一次以確認背景狀況，然後以「之」字形往下風向進行初略的「背景-污染區-背景」來回偵測，直到路徑所有偵測結果都是背景值，顯示污染區的下風向底部。為了要快速得到資訊，所以飛行間距過大，無法使用內差演算得到足夠解析度的污染分布資訊，但是可以依經驗大致的繪出可能污染範圍，如圖中的黑色虛線，加上回推地面上可能的劑量率分布提供決策人員參考，以作為包括人員疏散的可能範圍及疏散最佳路線，或是工作人員作業的佈署與

動線規劃等的決策依據。

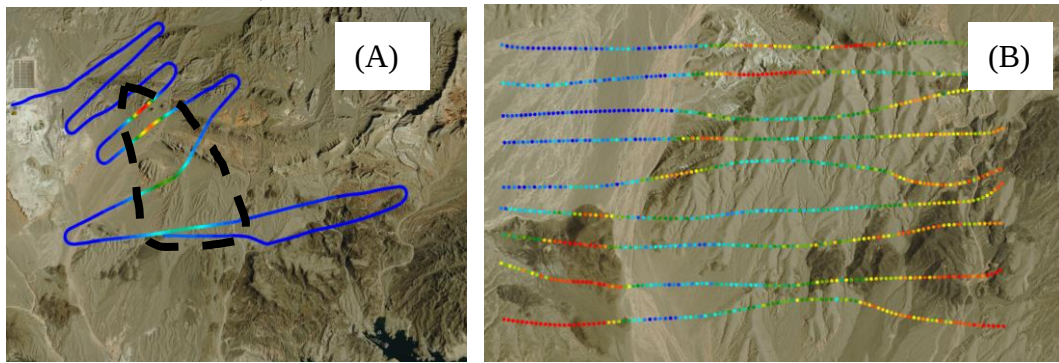


圖 8 (A)地表沉積快速調查，調查結果須依經驗研判可能的污染範圍，即手繪黑色虛線。(B)口語任務指令引導飛行網格偵測結果。

圖 8(B)是口語任務指令引導的格點偵測結果，相較圖 7 指引的方式明顯比較扭曲，會造成部分區域過寬的狀況，可能導致污染熱點漏失的問題。檢討為何口語指引無法達到須求，主要因素在於駕駛與後面偵測人員的溝通需要磨合，不熟練的偵測人員往往等到確認偏離航道角度才會通知駕駛改善，使得修正更加不易，有經驗的偵測人員在稍稍偏離時便會下達修正指令，雖然會造成提醒的次數較多但是可以讓飛行的軌跡更加接近由導航系統引導的結果。



圖 9 參加空中輻射偵測訓練人員合影。

(二)、空中輻射偵測技術交流研討會

日本福島污染偵測經驗

日本發生福島核災後美國支援空中偵測系統，對於偵測方式也在過程中透過經驗回饋不斷改進，初步測得結果很快確認了大致的污染區域後，開始組成幾個團隊分別以車載與空中進行偵測作業，以盡快完成污染區域的濃度分布分析。由於放射性碘的半化期不長，因此地對空的修正飛行每週都要進行一次。偵測結果顯示在陸地上放射性碘與銫的污染分布區域差異頗大，但是近海的空中偵測結果與預估的分布狀況差異不大。進入復原期後，空中偵測的任務有相當大的部分轉為證明除污的效果，為求數據的精確包括地形的修正與背景輻射的干擾去除等修正因素更顯重要。

但為了增加這些功能必須蒐集當地的地形資料，尺度達到 1 公尺等級的解析度，評估污染分布於地形高低起伏的狀況與假設平坦的狀況差異，一般而言在山谷的地區因為來自測向劑量貢獻較大，會成高估地面劑量率的現象，反之當地形成丘陵突起則容易低估。以日本福島縣為例有些區域高估達兩倍，因此地形修正對於地面實際污染分布的狀況有其必要性。然而這樣的作業會使得分析系統更顯複雜，地形資料庫檔案龐大，運行的時間會較污染分布平坦地面的假設分析增加很多，因此在事故初期需要在短時間(如數小時之內)這樣的修正可以忽略，但是復原時期要確認除污效果時就必須考量。

同時，在事故後期與復原期日本也開始使用各式無人機進行小區域但空間解析高的區域性輻射偵測。經過多次測試後建議不同狀況的污染下使用不同的載具可以得到最佳的效果。通常在選擇使用的機型，對於大面積(數百公里)污染情境，建議飛行高度約 300 公尺，使用有人運輸直昇機；幾十公里的污染情境，建議使用有人或無人的定翼機，飛行高度約 150 公尺以下，適用於核子事故與森林火災的任務；污染範圍在幾公里的情境，用小型直升機外掛偵檢器飛行高度約 50 公尺，適用於森林或農田、河川的偵測；污染大約數百公尺的規模則建議使用小型 UAV，飛行高度約 10 公尺，適合住家與森林。目前日本的技術規劃作法是控制偵測極限對於劑量率要小於 0.012 微西弗每時，銫 137 污染量分析 16 貝克每平方米公尺。

空中偵測的好處在於能夠快速提供大範圍污染分布的資訊，尤其對於田園與森林等人車不便於進入量測的區域，也能有監測的訊息。所以事故進展到了復原期，週期性的空中偵測可以讓民眾了解輻射污

染的現況，包括短半化期的核種衰變以及各地區除污的效，讓民眾得以安心地規劃生活。然而，空中偵測的任務執行也有其限制問題，日本的經驗提到對於民眾防護行動而言，空中偵測只能提供輻射污染分布的現狀，對於希望能夠提早判斷施行防護行動基準的建議需要配合決策人員的經驗。此外，因為日本負責單位(NRA 或 JEAE)沒有直升機，必須依賴自衛隊協助，可是在複合性災害的情境下自衛隊直升機以救人任務為優先，因此拒絕支援空中偵測。所以必須重新找民間合作的直升機重新訓練支援。

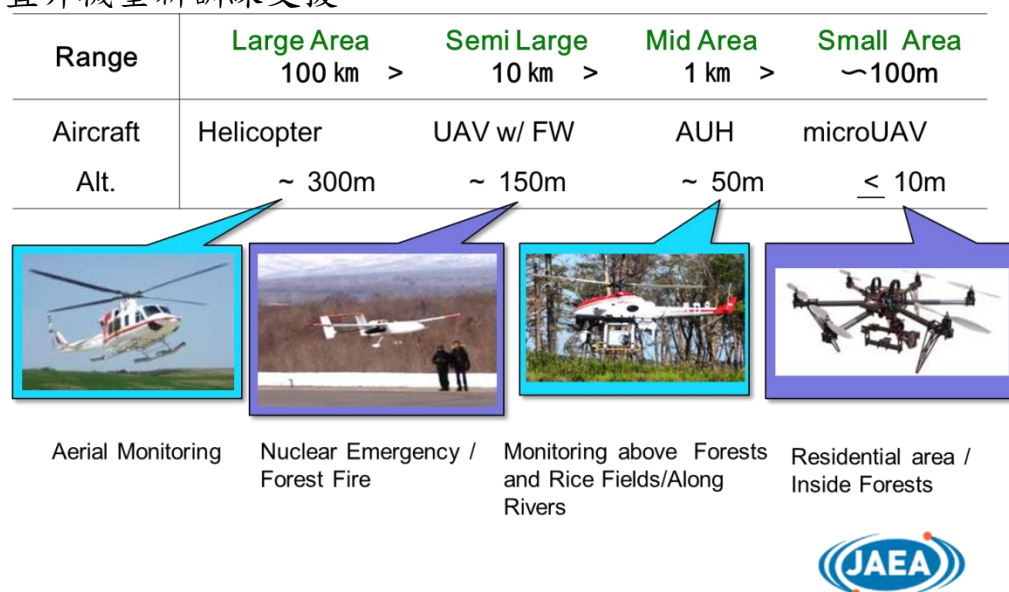


圖 10 日本對於不同情境下空中偵測載具選擇的建議

對於直升機駕駛的劑量管制，目前日本與歐洲國家都是採一般人每年 1 毫西弗的劑量限值來管制，而不是工作人員的單一年最高 50 毫西弗。雖然，在空中的劑量相對地面而言低很多，福島偵測的經驗也顯示飛行空中偵測任務只要不是碰到輻射煙雲，每次任務劑量監測結果幾乎都可忽略。但是目前管制區邊界大約是每年 20 毫西弗，因此如果駕駛前往支援，必須在管制區周圍停留較長的天數，就有可能超過 1 毫西弗。這也是後來日本積極發展無人機偵測的原因。

美國無人載具空中偵測發展與管制現況

由於人員駕駛的空中偵測有墜機失事的風險，導致人員的傷亡，因此隨著無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV 或是 Unmanned Aircraft System, UAS)的技術發展快速，因此開始測試無人飛行載具的使用。目前採用的是定翼無人載具，使用汽油引擎後側式螺旋槳，裝載輻射偵測設備包括 1 吋碘化鈉系統與蓋革偵檢器。在 NNSS Desert Rock Airport 飛行測試時，使用一組射源利用鉛屏蔽

與準直儀提供向上的窄射束進行射源搜索偵測。無人載具需要兩位操作人員，如同一般飛機飛行時需要正副駕駛，一位主操作員而另一位操作人員稱為觀察員，觀察員必須監看無人載具在電子地圖上回傳的位置資訊與氣象條件，協助主操作員進行飛行路徑的調整提醒，必要時可以接手操控。兩位操作人員都必須是取得執照的合格人員。試飛演練後安排一位具有直升機飛行執照也同時具有無人機操作執照的飛行員與大家交換心得，基本上駕駛直升機因為接近目標區域，可以依現場狀況調整偵測路線，無人機由遠方目視操控，對於遠方的距離感較差，操控比較不易。但是無人機因為價格與設備維護較容易，操控心理壓力較小。

無人載具的優點在於裝置整備與操作簡單直接，必要時部署容易可遷就現場環境，建置與維護費用較低，且人員輻射劑量也可忽略。缺點則是飛行時間短(尤其是電池驅動引擎)，負載力不佳偵檢器大小受限，且受氣候因素影響較大。隨著技術進展快速，未來無人載具應該能夠保持這些優點並改進缺點，成為未來空中偵測的重要課題。因此 NNSA 也將成立獨立的小組推動無人載具在空中偵測的應用。

無人飛行載具的管制在各國都是必須面對的新問題，過去發生過許多無人機飛越管制區或是失控撞擊民宅或民眾的事件，所以開始訂定管制法規。美國定義 25 公斤以上的無人飛行載具為大型 UAV，飛行前必須先向飛航管制局(FAA)申請，對於飛過民宅的部分，除非有特殊原因否則都會因為隱私侵犯的考量而無法同意。操作人員也比照飛機駕駛需要經過實務訓練並考執照後才能操作飛行。但是對於訓練機構的規模與課程目前並沒有特別的要求。丹麥分享經驗，目前丹麥有成立專門的無人飛行載具的訓練學校，訓練課程包含法規、技術與實際飛行操作也，甚至未來可能會要求只有飛行員才能參加。其他國家的法規差異很大，甚至部分國家尚未訂定任何管制法規。另外 8 公斤以上稱為小型無人機，以下成為微型無人機，目前法規還在訂定，但原則上飛行的範圍希望限制在操作人員目視可及的區域，因而限制了無人載具的功能。可想而知對於無人飛行載具的發展，會受限於管制法規的嚴謹程度，進而也影響在空中偵測的應用發展。

此外美國幾個國家實驗室與內華達大學報告了與空中偵測無人載具相關的技術發展，例如使用小型康普吞照相儀可以指引射源可能的方向與位置，從而強化了射源搜索的能力。以及 PNNL 利用無人飛行載具配合機械手臂，將類似太空任務的取樣小車，吊掛至高污染區

域或人員難以抵達的區域，然後脫離讓取樣車自行取樣，等任務結束取樣車回到定點，無人載具再去將其吊掛回來。雖然無人車也應該能做到，但是無人車可能造成污染散布的問題。無人機搭配機械手臂是目前正在發展的應用，如何遙控或讓人工智慧自動設定現場機械手臂自動進行任務，目前還有載重與機械手臂在精巧與扭力搭配上的問題，是亟待發展的重點。

國際原子能總署空中偵測技術指引草案

國際原子能總署 The Incident and Emergency Centre (IEC) 為了落實應變支援營運了應變支援網路 Response and Assistance Network (RANET) 以提供各國與地區在發生核子或輻射事故後尋求國際支援的協調窗口。目前 RANET 僅提供會員國註冊，只要相互支援的項目包括：除污、劑量評估、環境樣品取樣與分析、醫療協助、核設施評估與建議、輻射偵測、輻射防護評估與建議、射源搜尋與復原等，註冊國家標註可支援的項目。

在會議中 IEC 提出了國際應變與支援一致性指引(Guideline for the harmonization of response and assistance)，其中強調目前正在推動的國際輻射資訊交換標準(International Radiological Information Exchange (IRIX) standard)，對於輻射劑量率、空浮濃度等定義必要的資訊欄位與資料格式以及要求日期時間使用 UTC ISO-8601 格式，以便於將偵測結果提交國際輻射偵測系統(International Radiation Monitoring Information System, IRMIS) 時能夠相容，加快資訊的匯入處理時間，以能夠盡快彙整各會員國提交的數據。對於空中偵測的數據要求也提出草案如附件一，徵詢與會人員的意見並希望最後能夠定稿併入上述指引的附件中，做為未來空中偵測發展技術規範。

歐洲國家使用的衛星定位座標與美國不同，UTC 的時間格式通常也直接使用衛星定位儀的時間來做校正，因此建議不做修改，由 IAEA 人員依區域的差異做轉換即可，以避免第一線作業人員忙中出錯。此外，也對於空中偵測對於輻射雲團的監測及高自然背景輻射調查等項目表達不同的意見。最後，雖然一致同意建立這份文件以供各國技術發展參考對於日後國際合作有其必要性，但是對於內容的描述細節仍有許多歧見難以得到共識，因此建議在會議後兩周內將意見提供給 IAEA Baciú 博士彙整修改。

各國空中偵測發展經驗交流

瑞士過去自車諾比事件後就開始發展，當時的儀器設備十分笨重，多頻分析儀還是使用陰極射線管的螢幕，整個核儀模組與機箱加上偵檢系統佔據飛行載具的大部分空間，操作人員作業十分不方便，經過近三十年的發展，儀器越加精良體積也縮小，每年都會找一個區域進行飛行，但是也碰到系統越加複雜，使得新的操作人員學習需要較長的時間，如何在每年不多的實際飛行時間讓操作人員能熟悉系統是個兩難的課題，科學上希望運用最新的技術系統來增加偵測敏度或精確性，但又往往造成操作更加複雜。

歐洲國家去年舉辦了聯合空中偵測演練，主辦單位是德國，參加的國家包括法國、瑞士與捷克，因為德國有兩個團隊參與，所以共五個單位參加。演練項目包括射源搜尋與偵測分佈圖拼貼。射源搜尋採用近似競爭的方式，先由一組人員在空曠無人的地方置放射源，然後各國同時由不同地點起飛去搜尋。偵測結果分佈圖的做法是比照災害搜尋合作的方式，將偵測目標區域劃分五個相鄰小區域分別由各團隊就負責的區域進行偵測與分析，然後將分佈圖進行拼貼，顯示能夠無縫接軌。但是在執行偵測任務時，為了能夠達到時效所以同時進行，可是避免不同團隊飛行載具作業時太過靠近，可能發生意外，所以在飛行路徑的安排必須先行協調。

韓國目前空中偵測系統以無人機為主，整個系統是自行發展，目前已經有自行發展的商業化分析軟體。也示範了目前作業方式以及與日本進行比對測試的結果。與歐洲的做法不同之處在於雙方選定相同的區域進行偵測任務，偵測結果分析所得的分佈圖大致相同，但仍有部分結果因為演算法的不同而有差異。因此也提出目前對於偵測結果比對的差異如何定義是否符合需求，是必須考量的課題。

北歐國家常面臨多湖、雪地、冰洋等地理障礙，因此飛行載具成為緊急應變重要的工具，例如丹麥因為沒有核電廠所以由消防機構負責輻射偵測，因為配有直升機所以與醫院的放射物理師合作進行空中偵測的發展。挪威目前發展是利用無人機輻射偵測進行冰洋上大型貨輪的輻射偵測，以符合反恐以及海上事故的需求。

在會議中也由劉祺章報告台灣的發展經驗，目前空中偵測主要承襲美國提供的 SPARCS 系統，並尋求國軍的協助提供空中載具與機上操作的偵測人員，然後由緊急應變輻射監測中心負責數據分析與偵測系統每年進行維持狀況確認與維護。協調各單位執行並不容易，尤其是人員異動頻繁的狀況下，每年都盡量能夠有種子人員出國培訓，也

在國內辦理各項實務訓練，以能讓人員異動影響導致系統操作生疏的狀況降至最低。加上目前已將此項目納入例行的核安演習演練項目，每年也都假想狀況讓國內相關人員能夠實地進行測試，雖然在研發的部分能力比不上其他國家，但是在實務落實的演練操作上，因為在其他國家這方面業務屬於研究單位負責，因此對於國內能夠在很短的時間內將此技術納入例行作業，並且落實持續演練感到敬佩。此外對於無人機輻射偵測的發展，曾經由核研所與逢甲大學進行兩年的合作計畫，在核研所廠區測試飛行而有初步結果，但是對於數據無線傳輸、數據分析等架構尚未完全建立，與其他國家相比還算是起步階段。



圖 11 所有空中偵測技術國際交流與會人員在內華達核爆試驗區 Sedan 彈坑合影

二、出國人員心得與建議

這次會議與許多國際間知名學者相互討論，並聆聽其他國家目前關於空中偵測的發展政策、技術評估與教育訓練現況，歸納心得如下：

1. 過去未曾派駕駛參與相關訓練，導致駕駛人員對於空中偵測作業內容不甚了解，若沒有相關經驗與足夠的溝通默契，偵測人員無法正確的引導駕駛正確的在符合規畫的航道上飛行，結果導致飛行的格線間距過長，作圖容易造成誤差，甚至漏失部分熱點資訊。此外，駕駛人員對於輻射防護知識不足，業容易對於任務執

行產生排斥。因此，如果能夠讓駕駛員了解任務的全貌，應該比較能夠配合任務的執行。

2. 空中偵測需要不同專業領域的人相互合作才能達成任務，且每次任務執行所耗費的資源十分龐大，因此必須要有充分的溝通與事前的妥適準備後再執行，才能得到有用的資訊。因此國外團隊對於如何維持技術能在緊急應變時發揮感到十分困難。反觀國內的狀況，雖然已納入演習的例行演練，然而這幾年來空中偵測的負責人員如計測人員已有部分人員退休；駕駛員更是每年都有更換。且因為每年只實際飛行一次到兩次，往往無法熟悉飛行任務需求與儀器操作。雖然，為了能解決這個實務的問題，空中偵測系統已經盡量簡化上機後的操作程序，但是仍有必要持續發展軟體，逐年更新。因此，如何讓實務操作的人員都能夠熟悉系統並不容易，只能盡量落實分工，加強實務訓練才能達到。
3. 在這幾天的課程中，對於數據處理的做法，我們和美方討論了不少問題，例如關於空氣衰減係數的空對地修正因子計算，再實際以數據操作的過程就發現不同的人因為選擇數據群稍有不同，得到的參數也有些許差異。尤其是進行背景線(水線)的計算，因為計數值較低，也容易造成數據處理的差異。而進行污染核種擷取功能時介紹了幾種方法，究竟哪一種方法比較好或是適合甚麼時機或條件，其實沒有標準的答案，必須視實際情況而定。當目標是高污染區的量測，是否有扣除背景線的數據對於結果影響不大，但是對於污染不高或是地質調查、復原除污確認等目的，扣除背景線資料就可能是重要的因素。同樣關於污染指標的選用，也建議每個都加以嘗試分析後，再選擇最適合污染情境的指標。這些都需要操作人員實際參與練習，才能累積經驗已能在污染事件發生後做最快的決定。
4. 由國際原子能總署提出的國際合作概念以及歐洲國家的聯合演練，說明了輻射偵測區域性國際合作的重要性與可能性是應該重視的。宛如每次國際重大災難發生時，各國搜救人員均會無條件參與，前往災區接受分配不同任務區域執行搜救工作，以能在最短的時間完成任務。由於，核子或輻射事故發生機率極低，各國都面臨經濟狀況不佳時投入整備與維持的資源面臨困難，參與人員多是兼職操作時間短，不熟悉相關作業。因此同樣也希望在輻災發生時，能達到區域性人員設備相互支援的目標，以能在最短

時間得到資訊。原則上目前規劃設想最壞的狀況，事故發生國家可能無法提供支援國家人員任何協助，設備與人員食宿的各項問題需要支援國家自己處理的前提下，國際合作不太容易進行，加上政治問題更是造成這樣的合作大多無法正式簽署任何協議，現階段只能透過相關機構自行協調處理。但是未來將持續由國際原子能總署進行協調。

目前開始推動的第一步就是數據格式的標準化，讓各國量測的結果有固定的必要資料欄位(如附件一)，並且以逗號區隔文字格式(commma-separated values, CSV)作為主要的檔案交換格式。其次就是各國的儀器品管作業也必須接近一致，如此得到的結果才能夠相互比對與確認，建議的品管作業內容同樣列於附件一。

會議結束後日本 JEAE 的真田博士與韓國 KINS 的金博士與我方人員討論是否也如同歐洲國家一樣，建立東亞區域的輻射偵測相互支援機制，並且於明年在日本福島縣辦理空中偵測的比對測試，由日本負責規劃與申請進入污染管制區域，其他參與國家自行準備無人機載具對於指定區域進行偵測測試，分析後的數據與污染分布地圖在進行比對。執行細節等到初步規劃完成後，再另外使用電子郵件通知各國。同時也希望能藉此機會討論東亞區域的偵測數據格式一致性與偵測數據比對研判標準等合作議題。

5. 對於國內無人機進行輻射偵測的技術發展，目前還在起步階段，但是加拿大的代表 Dr. Fortin 提到，我提到核研所目前所使用的 1L 碘化鈉偵檢器重量約 7.5 公斤，需要搭配較大型的無人空中載具來進行。可是對於高污染區的偵測可以使用較小較輕的偵檢系統，如此就可以搭配使用較小的無人飛行載具進行，可以更快的建立偵測能量。此外目前他們所用的無人機，許多關鍵零組件是來自於台灣，因此認為台灣如果要在這方面的發展，將會比其他國家容易，進展速度也會快很多。挪威的代表也提到，如果使用小型無人機來進行偵測，可以大幅降低發展的費用。因為飛行高度必須要降低，對於數據無線傳輸的問題就可以比較容易解決，例如利用現場車輛當作臨時的中繼伺服器蒐集數據，然後再回傳主伺服器等方法。雖然這樣會限制無人機的飛行範圍，可是只要透過更多團隊參與與偵測數據一致化的要求後，可以多部無人機同時進行偵測作業，一樣可以達到需求。

雖然國外的空中偵測發展趨勢已經漸漸轉移到無人機的使用，可

是國內目前使用無人機進行輻射偵測的應用，不像其他國家有反恐等需求，實際上並不廣泛，因此無人機的業界與學術界投入領域的人員與資源的意願都不多，不容易形成技術群聚效應，加上目前無人機相關管制法規並未明確，操作人員的素質要求與飛航空域的限制與申請程序都不完備，對於技術發展要達到像日本與韓國般的規模，有相當大的限制與挑戰。

6. 空中偵測技術核心技術其實這 30 年差異不大，但是軟硬體的改良讓硬體設備的大體積與重量大幅減少，分析軟體的功能也提升很多。使得空中偵測技術的應用能在日本福島事件中有所發揮，提供了重要的資訊。但是如美國提到，在日本的空中偵測經驗，福島第一核電廠周圍 20 公里內的沉積污染偵測可在四天完成污染分布圖，但是實際作業的時間將近三個禮拜，主要的問題在於建立背景與品管數據，以能修正得到相容性最佳的數據。所以會議中也強調，建議各國能夠建立儀器在當地的背景資料(如水線資料)與品管數據(飛行前背景與不同高度修正值)，且作業方式能夠與國際規範相符，才能在實際參與事故處理時，能夠以最有效率的方式進行偵測作業。

總結以上心得，提出建議為：

1. 軍方從未派飛行員參與本訓練，空勤總隊人員對於輻射知識及地表沉積污染空中偵測技能所需要精確地格點飛行方式仍有待訓練，為能整體提昇偵測作為，全般防治災害污染，建議爾後仍能檢派飛行員參與相關訓練，方能於輻射災害發生後，空中載具能有效投入災區，蒐集正確資訊供相關單位決策使用。
2. 由於國內執行輻射空中偵測任務均以臨時編組方式實施（非專人）、各型飛機導航裝備各異（非專機），且後艙操作人員對於引導飛機術語生疏，終致飛機無法準確導引至偵測航線上。為解決此問題，建議循美方模式於此系統增建「Light Bar」導引功能（或是加裝可匯入任務路線的導航系統），飛行員可依此導航裝備準確飛行於設計航線上，此舉可有效減輕後艙操作人員導引飛機壓力，專注於裝備操作及資料蒐集分析。
3. 目前各核電廠輪流辦理核安演習，雖然都會辦理空中偵測講習訓練，但是實際上機操作演練只有參演的單位進行，造成部分偵測人員與駕駛可能因為太久沒有演練(例如南部核三廠的演習三年一次)，而不熟悉實際飛行的操作。因此，建議每年所有須上機

操作偵測人員最少須安排進行一次飛行演練，除熟悉儀器上機前品管查核以及上機後設備於機艙內固定程序外，也能利用此機會對於儀器設備加以檢修維護，並與駕駛員進行溝通。如此才能減少因為人員異動或退伍等因素導致操作不熟的問題。

4. 輻射偵測國際合作標準是這次重要的議題之一，尤其是歐洲國家區域性的合作是一個重要範例，在合作的過程中資料與資訊提供的標準化是成功合作的重要關鍵。因此國際原子能總署 IEC 才會希望各國除了依照 IRIX 標準提報輻射偵測數據外，空中偵測的數據在技術發展時也能夠依照標準規範來設計數據輸出格式，這樣在跨國或是國內不同團隊間合作時，可以減少因為數據格式差異所導致的整合問題，加速最後整體資訊的呈現與決策策略規劃應用。由於 IRIX 是一個網路交換格式標準，使用的是 XML 格式，要提供的資訊很多，關於輻射度量的部分分為劑量率與樣品分析兩部分。由於 XML 格式介面處理不易，因此在空中偵測的部份建議使用可匯入各種試算表軟體(如微軟公司的 EXCEL 或是自由軟體 Apache OpenOffice Calc)的文字檔格式，定義必要數據欄位，如此在進行資訊交換時可以更有效率。因此建議國內設計相關輻射量測數據資料庫時，也能參考其要求來設計輸出格式，可在緊急應變需要相互支援時提昇作業效率。也建議積極參與國際合作，如有必要也支援國際輻射污染區共同偵測作業，以提升國內緊急應變能量。

參、 國軍 8 軍團 39 化兵群偵檢人員硬體操作與簡單維修訓練

為了配合本計畫進行，聯繫軍方提供今年參與演習的兩套 SPARCS-A 進行儀器狀況測試。聯繫過程了解參與今年演習的 39 化兵群偵檢人員僅一位曾操作過 SPARCS-A 系統，且將於演習後退伍。故經溝通協調後，同意於儀器自軍方交接給偵測中心維護時辦理實作訓練課程與操作狀況測試，確定偵檢人員可在發現儀器異常時，便能即時做初步狀況排除，以避免任務中發生儀器異常現象仍持續進行，導致量測數據無法使用。

課程安排除了上午講解儀器硬體規劃設計、使用前品管查核以及軟體操作外，下午是實作測試包括接線全部拆除再接回以及用射源製造警報研判測試等，每個偵測人員均需一個人獨立操作給大家看，確認是否熟悉系統。在儀器品保作業過程中發現其中一部 SPARCS-A 不穩定，偵測技術率會隨機性的不預期提高，於是聯繫並委請核能研究

所保健物理組協助維修，以能將儀器保持在最佳狀況。維修後確認其中一個內部接線帽蓋燒毀，造成該處接觸不良，導致在操作過程引起不預期的雜訊。損壞狀況已通報美國，對於是否有其他可能問題也請美方提供建議檢查項目。推估可能造成故障的原因在於開機後才搬動偵測系統上機安裝，是與美方做法不同之處。美方事先於機上安裝且確認固定妥適後才開機進行各項測試，因此即使飛行期間有些許震動內部線路的影響不大。國內做法是先在地面進行開機測試，確認無誤後不關機直接搬運到停機坪上機固定，期間電源均為開啟的狀態，因為搬運路程較遠且安裝時震動較大，可能造成焦點略有鬆脫而引起短路。

為避免相關現象再度發生，已經於今年演練改為先於機上將偵測器安裝妥適，偵檢人員只帶數據擷取系統(ATU)上機連接。同時將原有軟體更新為新版的 AVID 配合無線網路擷取線上地圖，可讓在機上操作的偵測人員確定飛行位置是否與規劃相同，並能在出現警報信號時，對發生位置做更為精準的回報。



圖 12 國軍 8 軍團 39 化兵群偵測人員參加硬體操作與簡易維修訓練。

肆、高雄地區道路背景輻射偵測

為求實務訓練偵檢人員熟悉儀器連結、機上固定與機動偵測要求，今年規劃先於高雄市區以車載模擬偵測，路線規劃如圖 13 藍色路線，路線間距大約與美方建議的空中偵測差不多約 200~300 公尺，可以使用 google earth 或是美國機動偵測數據整合軟體 AVID 建立來建立 KML 檔。作業前檢測項目包括出發位置劑量率測試(回來後須作再確認)、GPS 定位測試與水線測試(橋上或河邊，確認可測最低值)。

由於實際作業途中遇到儀器不穩定而臨時停車檢修以及遇到塞車等問題，所以偵測路線依作業實況略作調整，初步偵測結果如圖 14。為了能夠訓練分析人員進行實務作業，色階故意調整由原本 20

微西弗/時到背景值的呈現，改變為最大值與最小值差異，紅色區塊為行駛在較高建物或狹窄道路中劑量率約為 0.08 微西弗/時，藍色代表道路較寬闊或屬於較空曠區域(例如旁邊有公園)。在左下方運河上水線背景約為 0.04 微西弗/時。色階為 16 色分布在 0.04~0.08 微西弗/時之間。此功能的目的是找出相對高劑量率的區域，以確認輻射污染分布範圍，事故調查的色階分布仍建議設定為空對地修正後背景值到 20 微西弗每時，區分 16 色階。

在作業過程中經過交流道涵洞便會發出警告聲，顯示偵測值高於之前十筆數據平均值加上 n 倍標準差的聲音(Golf n)提醒偵測人員應該注意。這次作業也訓練偵測人員隨時注意劑量率的變動，除了可及早發現是否真的污染或儀器異常外，也可以確保自己的安全。

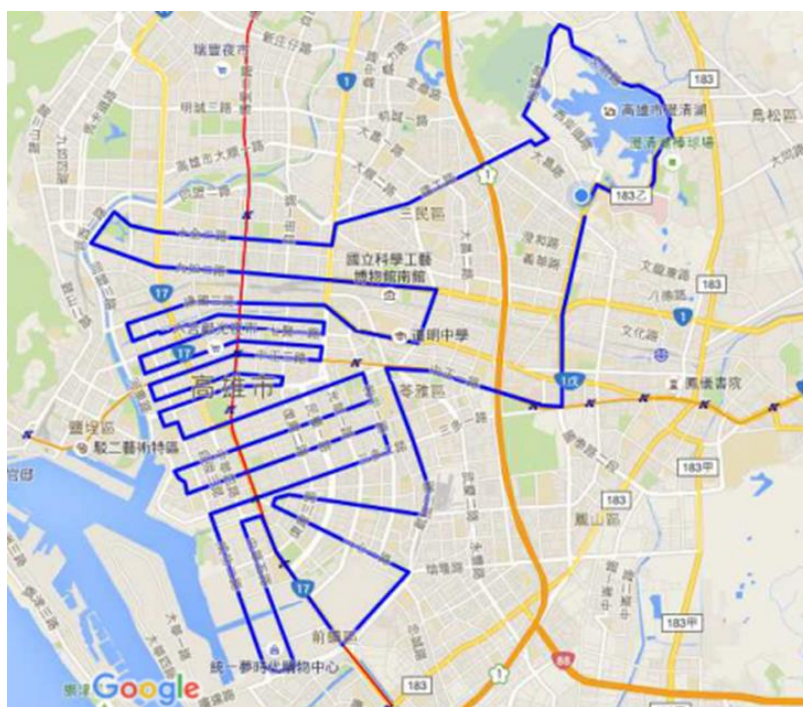


圖 13 高雄市區規劃背景偵測路線

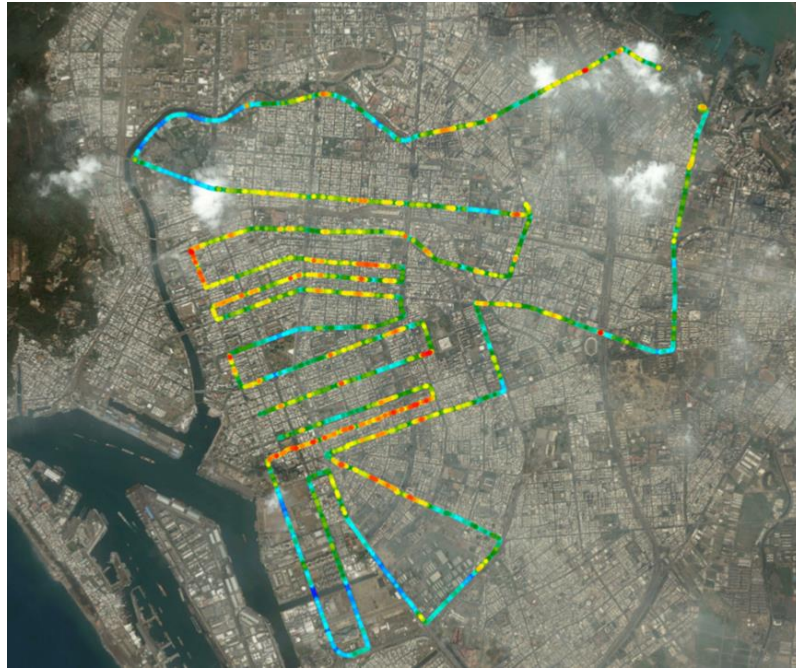


圖 14 高雄市區初步偵測結果

渲染圖的製作由於部分區域規劃的路徑間距過大，導致所得數據使用分析軟體外差推估結果無法取得足夠信賴度所以留下空白。對於外插間距的調整可以手動進行，預設建議在間距的一半到與間距相仿之間為最佳，必要時可視情況進行微調。

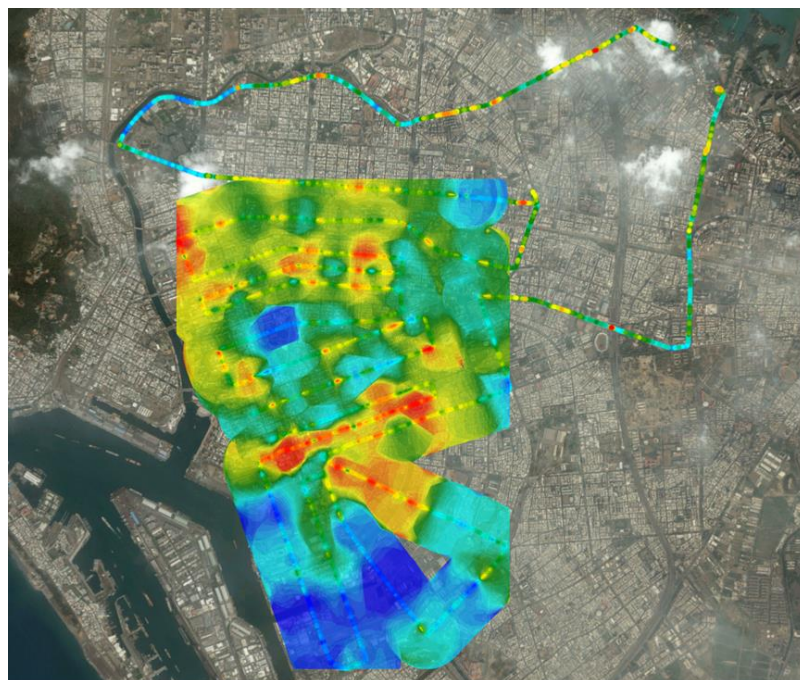


圖 15 高雄市區量測結果分析推估輻射劑量率分布圖

伍、台南歸仁航特部空中偵測飛航訓練(格線背景偵測)

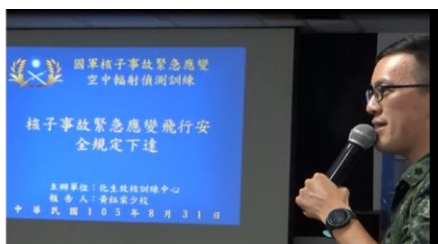
為了實地測試飛行量測的結果，透過陸軍航特部安排在台南歸仁訓練基地進行實務上機量測的飛行訓練。

日期	時程	授課內容	授課講師
8/31(三) (9月1日預備日)	08:00~08:50	飛機危險區域暨登(搭)機安全規定講解	講師： 吳柏璋上尉
	09:00~09:50	核子事故緊急應變飛行安全規定下達	講師： 化校黃鈺棠中尉
	10:00~10:50	核子事故緊急應變空中輻射偵測計畫原則講解	講師： 原能會輻射偵測中心劉祺章組長
	11:00~11:50	空中輻射偵測器機上安裝與資訊回報講解	講師： 廖銘祺士官長
	13:00~15:50	空中輻射偵測器機上安裝及空中輻射偵測飛行實作演練	講師： 核研所盧仲信
	16:00~	綜合討論	

飛行前先安排進行團隊訓練課程，分別由團隊派員提示飛行規劃與注意事項。飛行區域受限於航特訓練空域只能在固定的山區飛行，飛行高度也較美方建議的 300 英呎高，大約 800 英呎，格線飛行的範圍約 10 公里x10 公里大小，較美方建議 20 公里x20 公里小，格線間距大約 2400 英呎也較美方建議的 600 英呎大，但已經足以得到大範圍大致的污染分布訊息。課程安排如上，飛行時間約 60 分鐘，整個訓練課程於 17 時前結束。



空中偵測計畫總論



輻射防護



危險區域與登機安全



上機前檢查



圖 16 國軍航特部台南歸仁基地上機偵測訓練課程。

飛行結果如圖 17 所示，在格線飛行的區域內劑量率幾乎都一樣，經過高度修正後更是無法區分該區域內的差異，全部都成相同顏色。主要原因推估是因為飛行高度較高，加上該地區沒有偏高的天然放射性物質，所以不易得到細微的差異資訊。由圖 18 單一偵測點數據加馬能譜來看，單一能峰的計數值都不高，例如在中能量區域如鈾系列的鈾 214 豐度最高 609keV 能峰的計數值都沒超過 100。因此不容易進行核種分析，只能透過總計數率去推算地面劑量率分布。

目前國軍所用的直升機機型較為老舊，不適合進行低空飛行，主要原因是因為屬於單引擎飛機，與美方所使用的雙引擎飛機性能不同，因此在任務溝通時，飛行官在經驗上對於低空飛行與水線飛行的安排並不鼓勵，除非是在任務緊急的狀況下才會進行。由於飛行的高度偏高，偵測敏感度也相對較低，因此除非偵測過程中有較目前背景高出 5~6 倍以上劑量率的大範圍區域，否則不太容易區分出背景劑量率的分布狀況。

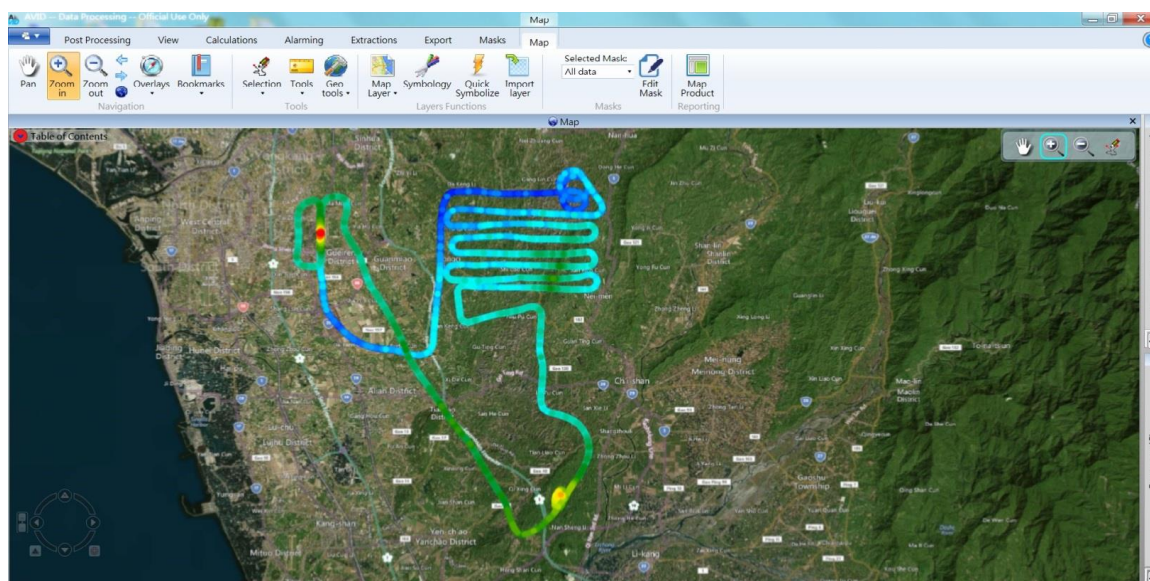


圖 17 台南歸仁空中偵測飛行結果。

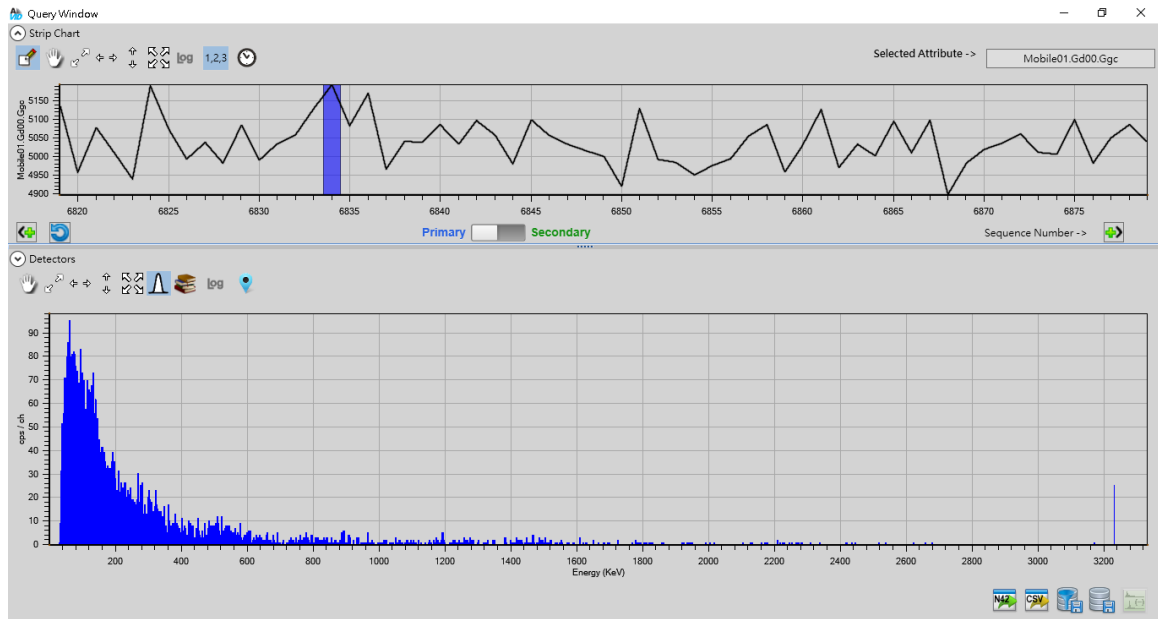


圖 18 空中偵測單一偵測點的加馬能譜資料。

陸、恆春地區飛航訓練(含射源搜索)

配合 105 年核安演習在核能三場舉行，規劃空中偵測演練項目包括 1. 於車城附近空曠區域進行不同高度盤旋飛行，演得到當地空對地劑量率修正因子；2. 恆春鎮附近地區上空進行背景偵測；與核能三廠廠區內射源搜索等作業。然而，在事前作業聯繫過程中，因國軍也同時進行演習，火炮射擊演練與我們規劃的空域重疊，雖不斷調整日期與飛行範圍仍無法得到同意空域申請。最後協調結果，只能申請到恆春機場以南，台 26 線(屏鵝公路)以西到核能三廠以北的空域範圍。受限於該腹地太小，格線飛行的部分只能進行 3 公里×3 公里範圍大小，加上在該區域內有高壓電線與電塔，因此航道必須事先注意障礙物位置，也事先安排飛行員到現場勘查核三廠預計放置射源的範圍附近是否有飛安的考量。

今年在核三廠廠區邊緣靠近大門口處置放活度 25 毫居禮 (9.25×10^9 貝克) 的鐳 226，採窄射束對空暴露，預期在空中的劑量率約 0.002 微西弗每時可略為超出偵檢器在 300 英尺(約 100 公尺)處的偵測極限。實際演練也發現原規劃高度 800 英尺無法測得，必須降低高度到 300 英尺以下才能測到，與事前評估一致。評估使用的軟體是核研所保健物理組的 MicroShield 9。2015 年演習使用的是銻 137 46.6 毫居禮(1.72×10^9 貝克)，由於核三廠沒有相當的射源，最高活度只有這顆鐳射源，經計算結果可以提供比 2015 年高的劑量率，可是因為鐳具有較多低能量能峰，容易造成較高的散射，因此評估只能

做為參考。飛行時仍須依賴偵測人員依偵測結果引導駕駛搜尋污染物所在位置。

核種	活度(Bq)	距離操作位置之劑量率(mSv/hr)				
		距離 30 cm	距離 6 m	距離 35 m	距離 50 m	距離 100 m
Cs-137	1.72×10^9	1.49	3.66×10^{-3}	1.03×10^{-4}	5.02×10^{-5}	1.13×10^{-5}
Ra-226	9.25×10^9	2.25	5.60×10^{-3}	1.60×10^{-4}	7.68×10^{-5}	1.75×10^{-5}

飛行任務當天早上，團隊中各單位包括航特部、8 軍團 39 化兵群、塔臺、氣象觀測站以及原子能委員會代表等，於龍勤營區舉行飛行前會議，會議中進行該次任務評估，包括天候預測、飛機保養狀況、飛行路線與任務、飛航過程如有必要迫降點規劃以及上機前安全提示。由於規劃飛行那幾天天候不佳雲層較低，不利於進行高空盤旋飛行，因此原定要作的空對地修正因子的飛行量測科目被迫取消。實際飛行時間也在塔台再三確認後直到下午才同意放行。



圖 19 飛行前會議任務提示與機場準備待命。

恆春機場總共進行三次飛行，以第一次飛行為代表，偵測結果如圖 20，由於腹地橫向縱深不足，直升機迴轉困難所以間距較大。在射源搜索時，原定應該在第一次測得訊號後，以類似四葉草的葉片形狀作交叉飛行確認，但飛行員評估附近高壓電線與山丘高度，實在不利作這樣的飛行模式，於是掉頭以重複飛行的方式進行確認動作。本次飛行結果雖然因為各項因素影響與預先規劃的飛行模式不同，但是基於飛安考量所作的改變是應該的，且射源也成功的偵測到，因此仍符合當初預期的目標。

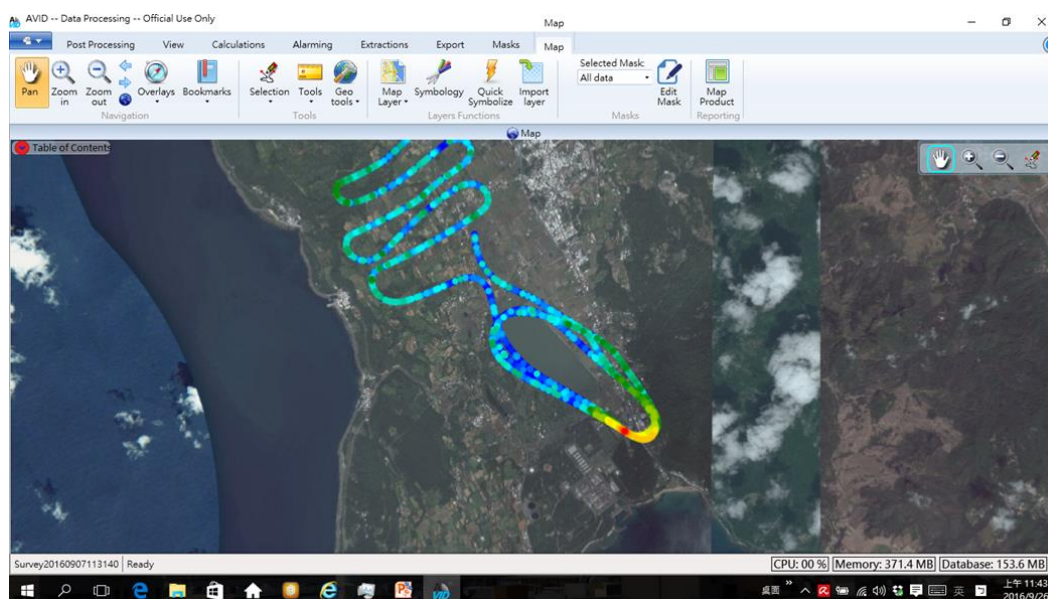


圖 20 105 年核安演習空中偵測飛行量測結果。

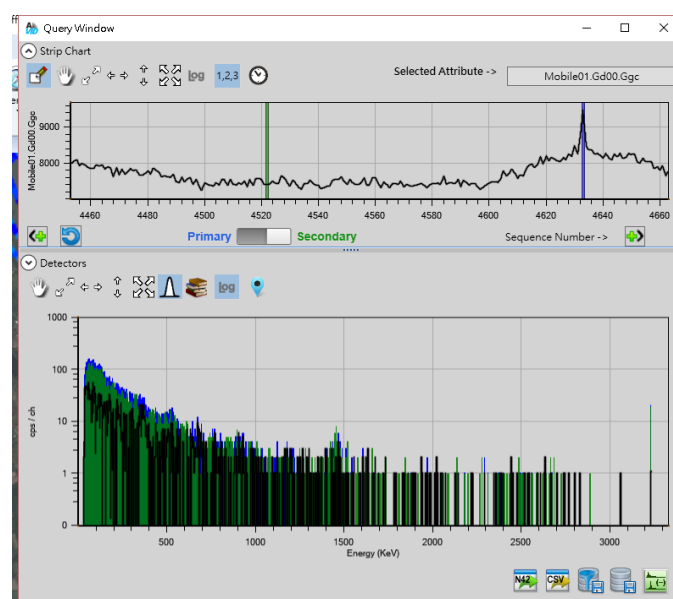


圖 21 偵測射源與背景能譜的差異，顯示各能峰差異不大，主要來自低能量的散射(黑色線為差異值)。

柒、美國能源部核安局專家 Dr. Piotr Wasiolek 再訓練課程

美國能源部派專家 Dr. Piotr Wasiolek 前來觀摩今年度核安演習，因此利用他來台期間安排兩天再訓練課程，第一天為教室內儀器與操作軟體介紹，第二天到戶外進行儀器偵測與校正訓練。上課過程中發現雖然內置鉀 40 射源，但是自動能量校正功能已經被關閉，必須重新進行能量校正。以偵測中心所提供豁免管制值以下的銫 137、銻 241 射源以及內置鉀 40 即可完成。這兩天的課程安排採用互動的

方式與講師問答以及現場儀器動手示範讓參與學員收穫良多。

Date	Time	Topic
09/09	08:30-10:00	Transportation (Hotel → TRMC)
	10:00-10:10	Welcome
	10:10-12:00	Introduction of SPARCS and AVID
	12:00-13:10	Lunch
	13:10-14:00	Briefing on execution of the typical AMS flight patterns: serpentine and (parallel lines) grid and communication with non-dedicated pilots
	14:10-15:30	Guideline of QA and troubleshooting of SPARCS system
	15:30-16:30	Transportation (TRMC → Hotel)
09/10	08:30-9:30	Transportation (Hotel → TRMC)
	9:30-12:00	Practical training: SPARCS-M & A testing & repair
	12:00-13:10	Lunch
	13:10-14:00	Transportation (TRMC → Hotel)

由於事先有將儀器損壞的維修報告以及台南歸仁基地飛行測試的資料提供給美方參考，利用課程期間也再交換意見。他與美國 NNSA 實驗室內工程師交換意見後，帶來了儀器維修的備料，以便日後可以持續維護。對於本次飛行高度認為太高，所以無法呈現出背景的差異值。至於無法進行空對地修正因子的部份，他認為可以使用美國或其他地區的修正因子，除非有污染造成劑量率與能量分布變化較大就需要重作，至於各地區的氣候、空氣密度等等所造成的差異雖仍會有明顯影響，但影響通常低於 30%。

捌、結論

新版的數據整合分析軟體 AVID 功能強大且比原有版本穩定，可適用於多種系統(車載與空中)，但是國際版的 AVID 軟體中的即時數據傳輸功能並未能提供，使得本計畫在應用執行的流程變得較為繁複，必須等飛機返航後再自 ATU 中取得記憶卡將偵測過程儲存的數據下載到分析人員的電腦後才能分析。分析人員無法及時得到資料，對於偵測任務執行中所遇到的特殊望況無法及時提供應變處理的意見。建議未來請美方提供技術支援，協助完整建購在台灣可用的數據即時傳輸功能。

由於新版 AVID 的功能很多，也使得作業人員因學習與練習操作的時間較短，對於內含的許多功能，未能完全熟悉操作方式，例如警報的設定與數位地理資料用於高度修正的作法都不熟悉。雖然在再訓練課程中有提到部分警報資訊讀取與能量校正的做法，但是參加的人

員沒有時間動手操作練習，效果不彰。建議未來請美方安排對於 AVID 軟體使用的專門課程。

核種分布分析的部分，因為偵測系統中內含氯化鉀晶體(鉀 40)作為能量飄移時自動修正系統，但這樣反而會干擾背景鉀 40 的分析而不易以鉀 40 作為練習。由於目前國內直升機飛行高度大多設定 800 英尺比美方建議最佳高度 300 英尺高，且不建議飛水線，探討可能原因在於國內使用單引擎飛機，低空飛行或是水體上飛行風險較大，因此經驗上已 800 英尺飛行是比較安全的飛行高度。但是飛行高度過高會使的偵測敏度下降，由於系統設定為每秒擷取一個能譜，如果地面放射核種的活度不夠，以至於要進行鈾系列或釷系列能峰擷取，作相對強度的空間分布分析時會遇到誤差太大的問題。因此只能做總計數換算大致劑量分布分析。未來如果有能力做低空的飛行，可加強這方面的練習。

綜合以上報告內容，檢討今年度的作業與預期有一些差異。主要的差異在於原本安排進行核三廠附近地區的背景量測，因為與其他演習時間重疊，空域無法申請而未能完成。只能改為使用車載的方式進行高雄地區街道的量測，在街道中所測的結果主要來自建物的天然放射性物質而非來自地表的輻射，因此不適合代表背景輻射值。在台南地區所作的飛行量測則因為高度過高，也無法得到背景輻射分布資訊。其餘規劃的訓練與演習演練均圓滿完成。

玖、 附件

1. IAEA 核子事故緊急應變空中輻射偵測(AMS)規範草案(中文翻譯)。
2. 人員赴美國訓練課程安排。

附件 1 IAEA 核子事故緊急應變空中輻射偵測(AMS)規範草案。

中文翻譯

空中偵測系統 (AMS) 應用於核子或放射性事故緊急應變 Aerial Measuring Systems (AMS) for Response to Nuclear or Radiological Emergencies

簡介

空中輻射測量已被證明在支援核子或放射性事故導致放射性物質大面積上散佈的緊急應變作業是非常有效的。為了達到效果, 量測系統必須能收集足夠的污染細節和維持數據的品質, 以符合緊急情況下緊急應變的需要。本附錄概述了要在空中平台 (飛機或直升機) 測量地面上大範圍的放射性物質 (放射性污染) 所須技術規範和系統的功能。包含在此附件中的訊息, 旨在協助緊急情況必須由多個空中測量系統 (AMS) 進行測量時, 確保在系統間與地面量測結果能夠技術上兼容和量測結果可相互比較。

最主要考慮使用 AMS 的情況一般限定為對於大量釋放放射性或核子材料至環境且具有高強度的伽馬射線成分的事故應變, 例如可能發生在核電廠或涉及核燃料處理事故或與放射性物質散佈裝置有關的事件。此外, 進行空中偵測的目的範圍, 在緊急情況時應侷限於緊急事故初始階段首要關心的問題, 包括基於放射性監測的詳細資訊以用來研判界定施行緊急和早期防護行動或其他必要應變行動等的區域範圍。從 AMS 得到的結果, 也可用於估算外釋的放射性物質的總量。

空中偵測系統其次的應用是用來搜尋大區域無保安放射源 (I, II 或 III 類) 的存在, 尤其當上述射源活度對人體健康有潛在危險。

系統的靈敏度取決於所用的輻射偵檢器大小和數量以及系統的操作方式。

該系統不適合在空中仍存在有放射性物質時使用。系統不進行空氣的採樣, 也不故意飛行通過放射性煙雲。這些限制的主要原因是因為上述活動有顯著可能導致飛行器被污染。而且這裡所描述的偵測系統會在這些情況下高估地面的污染, 因為它無法去除或正確的修正放射性煙雲的存在所造成的影響。

緊急情況空中輻射偵測

在緊急情況下, 空中輻射偵測是快速提供放射性污染狀況概述非常有效的方法。數據處理與分析後的結果, 可提供決策者多種用途參考:

1. 確認是否已發生放射性物質向環境的外釋；
2. 確定大範圍污染劑量率分佈或不受控制的射源等，可能超過操作干預基準 (OIL) 與確定防護措施實施的區域（例如限制人員進入相應的區域）。
3. 確定哪裡有污染，但尚未超過操作干預基準。
4. 確定系統檢測結果沒有污染但高於背景的地方。
5. 確定哪裡有較高的天然背景放射性。(這點在會議中討論後已確定會移除，因為不屬於緊急應變的範疇，應該建立另外的文件討論其用途，如地質調查與污染復原確認)

因為具有提供大範圍污染資訊圖示化的潛力，空中偵測系統的操作人員需要在數小時內提供緊急應變指揮人員和利害關係者透過所收集的數據得到的一些分析結果以支援緊急應變。分析結果最好包含顯示地面劑量率分布地圖；顯示 γ 放射性污染的相對濃度分布地圖，並標識觀察的主要污染核種。該系統操作人員還需要準備製作顯示任一或所有放射性核種的地面放射性濃度分布圖。在核子或輻射緊急事故況隨後的復原階段，空中輻射偵測可用於協助驗證除污工作的成效。

數據分析

要理解系統所需的技術規格並確保系統之間的相容性，先瞭解分析系統如何將其中的數據產生地表污染或在地面上空間劑量率的分布圖是有幫助的。分析需要使用多個應用程式修正數據以產製在地面上標稱高度位置的計數率。標稱高度是指收集的數據的平均高度，以用來作必要的修正。修正計數率的計算公式如下：

$$N' = \left(\frac{N}{t} - B \right) e^{-\mu(H-h)}$$

其中，N 是偵檢器所觀察到的計數，t 為測量設定時間，B 是來自非地表背景計數率（例如在飛機上自然背景輻射包括：宇宙射線、空氣中氡）， μ 是顯現的衰減係數，H 是標稱測量高度 h 是地面實際測量高度¹。這種分析可以在由系統檢測到的 γ 射線的能譜的任何部分來執行。多個能量範圍的 μ 可以被確定，做法是利用在調查測試區域多個不同高度量測航次所收集的數據推導得出。B 可由在一個大的水體(如一個湖泊)² 多個不同飛行高度來決定。從這個等式可

¹ 參閱 IAEA TECDOC-1363, Section S Airborne Gamma Ray Spectrometry for Natural Radioelement Mapping [4].

² 使用湖泊，是因為水不存在岩石和土壤常見的自然背景放射性物質。湖優於海洋是因為空氣中的氡也將在測量區域的地面上看到，會比較有代表性。

以看出，測量的靈敏度將取決於所用的檢測器的尺寸和數據收集的高度。

延遲修正

對於大多數的 AMS 系統中，GPS 通常存儲測量間隔開始時(或結束時)的位置，而測量值是在測量間隔的平均值。如果繪製未校正數據，將導致一個系統的空間誤差，來回飛行時的結果可能顯示為漣波圖案。校正作法，建議 GPS 的儲存位置需要調整到測量間隔的中間位置。

一般系統的技術屬性

一個典型的系統是由一個加馬射線偵檢器和紀錄所收集輻射資訊的地理位置（緯度和經度）、時間等的其他系統。在幾乎所有的系統中，一個或多個碘化鈉 (NaI) 閃爍體搭配多頻道分析器 (MCA) 以用於偵測加馬射線。能記錄加馬射線能譜的系統，優於無光譜偵測能力的系統，因為基於數據可以初步確認有哪些放射性核種，以提高污染物和自然背景活度的鑑別能力。該系統必須能記錄資訊，以便提供進一步的詳細處理和分析。所記錄的資訊應包括以下項目：

- **日期和時間測量**
 - 在預設情況下採用世界標準時間 (UTC)，全球定位系統 (GPS)，或類似的全球原子鐘公約
 - 日期和時間是必要的，如果污染物存在短半化期放射性核種，數據必須進行放射性衰變校正至基準時間
- **標示測量位置的座標系統**（注：這些都需要於任務開始前達成共識並標示清楚）
 - 世界大地座標系 1984（預設 WGS84），通用橫軸墨卡托 (UTM) 和軍事網格參考系統 (MGRS) 是用來紀錄位置常見的不同座標系公約
 - 數據可以在不同的坐標系統收集紀錄，但必須能夠轉換為一個共同的系統，以便正確地顯示相關空間資訊
 - 最終報告數據的產出需要能融入在地國家使用的地理數據，最終產出於展示平台中
- **標示高度測量的參考系統**
 - 上面所示的等式中地面以上的高度是相對量，可以用來將空中測得數據推導地面量測的活度
 - GPS 接收機顯示的高度通常是橢圓體（表面光滑地球模型）或大地水準面/平均海平面（重量分析測定光滑表面）上方的高度，取決於它們的設置

- 假設橢球或大地水準面的數據可以使用數字高度模型（DEMs）地圖修正地表高度
- 雷達或雷射高度計可紀錄地面以上（實際地形，樹梢，建築物）的高度
- **測量加馬射線能譜**
 - 30-3000 千電子伏(keV)是加馬能譜量測的典型能量範圍
 - 能譜的訊息可以幫助鑑別有高自然背景干擾下緊急情況的污染分布
 - 能譜訊息可揭示不同放射性核種的不同沉積模式
- **加馬偵檢器計測時間，無感時間和取樣時間**
 - 高計數率會導致偵檢器只能用較少的時間來記錄數據（即有較高的無感時間要注意）
 - 推算地面活度時，分析做法會用到加馬射線計數率和計測時間作適當換算

空中偵測系統通常不檢測中子。 α 或 β 的檢測也無關，因為這些粒子的射程不夠。

理想系統需要設計為能夠可靠地同步紀錄加馬射線能譜、位置座標和計測時間資訊。可能導致同步錯誤通常發生在對子系統請求數據時，子系統尚未準備好或無法提供新的數據。系統不同步，將導致在不可預測的時間間隔頻繁出錯。因為系統架構的差異，同步誤差可能導致不同的問題。在過去顯現同步問題的方式包括漏失、不完整或紊亂的數據。在某些情況下，同步誤差可能會導致重複紀錄數據。如果在分析過程中發現有同步誤差數據記錄通常會被捨棄。捨棄記錄可能導致一個測量規劃出現空缺，無法得到完整報告。

理想的加馬射線偵檢系統具有放大器增益穩定功能，使得加馬射線能峰的位置不會大幅改變。如前面提到的，分析可能集中於加馬射線能譜的部分，如果能量校準有變化會得到錯誤的結果。雖然有可能在分析時手動校正增益的變化，但往往有困難度和需要大量人力。值得注意的是，一個增益穩定程序依賴於自然背景放射性的自動增益穩定處理系統，當被測量的放射性污染物質具有在 1400-1600 千電子伏範圍很強的能峰信號，可能導致不預期的增益漂移。另外，當地面污染信號壓蓋過背景信號時，基於自然背景的自動增益穩定系統也可能失敗。基於這些原因，禁用增益穩定的選項，理想上必須是系統的一部分。

偵測系統需要在承受高計數率時仍有很好的表現。當計數率很高，有三個因素可能導致低估。第一效應是能譜朝向較低能量移動。能量的下降來自於不具有

足夠的時間在下一個脈衝到來之前讓耗盡電容完全恢復。下降可能導致脈衝被推到用於轉換/計數的脈衝閾值以下。另一個相關的現象是當前面的脈衝信號處理下降到低於閾值時，新脈衝同時到達。第三個效果是無感時間（系統沒有時間處理新脈衝）內計數可能被低估。在一個運行欠佳的系統，偵檢器要量的劑量率變得更大時觀察到的計數率可能反而更低，甚至使用修正計測時間功能後也無法改善。

系統可以由多個加馬射線偵檢器組成，以增加它的靈敏度和/或動態範圍。當多個檢測器被用來增加系統的靈敏度，各個檢測器的大小應相同且性能相似，因此，它們都可被視為是相同的。所有的檢測器的能量校準需求是相仿的，所以能譜可以相加，能量解析度的調整幅度極小。如果能量校準可以相匹配，便足以在分布地圖單個加乘能譜中顯示各個偵檢器的貢獻。如果該多個偵檢器的目的是增加動態範圍，偵檢器通常是不同的尺寸，使得觀察的飽和效應會落在不同的劑量率。當不同的檢測器用於擴展動態範圍，各偵檢器能譜必須單獨記錄，因為每一個偵檢器的計數率對映地面上的放射性方式不同。

下表比較了三種不同的空中輻射測量系統，這是目前使用原子能機構反應和援助網絡（RANET）註冊原子能機構成員國所使用的系統。系統之間的主要區別是在用來記錄偵檢器信號的前端電子。第一系統採用傳統的類比脈衝積分電路，而另一個系統使用數位信號處理。這種差別將導致更少的能譜漂移問題和高的數據速率。

	System 1		System 2	System 3
Detectors	Mobile Config. 2 2" x4" x16"	Aerial Config. 1 1" x1" 2 2" x4" x2" 1	1 to 4 4" x4" x16"	4 detectors 100mm x 100mm x 400mm
Spectrometer	1024		1024	256 or 512
Gain	Automatic		Automatic	Automatic
Stored spectra	Independent and summed detectors		User-defined summed detectors	Method not defined
Energy Resolution at 661 keV	<10%		<8%	Not defined
Energy Linearity	<10%		<1%	< 0.5%
Pulse integration electronics	Analog		Digital Signal Processor (DSP)	Digital Signal Processor (DSP)
Sample rate	1 sec ⁻¹		0.1-10 sec ⁻¹	0.1-1 sec ⁻¹
Maximum pulse rate	50,000 counts/sec		>250,000 counts/sec'	22,000 counts/sec per detector
Energy Range	40-3000 keV		25-3000 keV	50-3000 keV
Power	9-40 VDC, 40W		9-40 VDC, 50W	10 to 30 VDC, 50W

Position measurement	GPS receiver	GPS receiver	GPS receiver
Timing synchronization	GPS or internal synchronized	GPS or internal synchronization	GPS or internal synchronization
Elevation measurement	GPS or analog input for radar	GPS or analog input	Radar altimeter with

" In some early measurements over the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, the count rate in a detector exceeded 500,000 counts per second. The spectrum was devoid of distinguishing features in part due to the high count rate in the detectors and the effects of scattering in the air.

操作注意事項

任務目標和產出

使用 AMS 的任務類型將取決於緊急情況的性質、緊急情況的階段與進展和國家相關主管部門所需的資訊和產出，以能夠對於應對的防護措施與其他應變作業作適當的決策。

通常有下列任務目標類型：

- 煙羽調查：要確定放射煙雲的位置和範圍。可能正在發生或剛剛發生外釋過程中進行，所以，有可能放射性物質仍然在空氣中。調查的結果產出是煙羽（多個）的輪廓和高度。系統不是要通過煙羽飛行，而是透過對鑑別自然背景的增加而檢測煙羽的邊緣。（這點也有許多國家反對，雖然有強調飛行不通過煙羽，但不應該是空中偵測的目的，只是可能遇到的狀況，後來未達成共識）
- 沉積評估：為了迅速確定沉積在地面上的放射性物質的位置和範圍。假定外釋已經停止並且該放射性物質已全部沉積。由於污染物假定是在地面上，橫跨受影響區域飛行是安全的而不需注意對飛機的污染。飛航在一個固定的高度進行。釋放點的上風處所進行的測量是用來確定偵檢器系統的背景計數率。飛行模式通常採用橫跨影響地區自一邊背景到另一背景作蛇行圖案飛行。調查產出的初始地圖提供在地面上的沉積區域和相對輻射水平的低解析度數據。
- 詳細調查區域：這種調查的目的是要區分在指定的區域內地面活度分布。這種飛行模式適合於兩種不同類型的任務：1 – 描述並顯示在一個區域中的放射活度的變化；和 2 – 協助定位以及識別遺失的放射源。勘測區域通常是一個多邊形，飛機在一個固定的高度以平行線飛過測區。平行線之間的距離通常等於兩倍的高度。飛行高度和飛行平行線的間距之間的關係與偵測系統的

有效視野有關。系統主要偵測的範圍大致等於地面上以飛行高度為半徑的圓。所以如果量測飛行線由等於兩倍的高度的距離陸續偏移，全部勘測區域地面的污染都能涵蓋到。這對執行遺失放射源調查搜索是非常重要的。如果外釋的放射性物質已經影響到很大的面積，可合理假設污染活度分布將會是平滑變化。在此假設基礎上，也可適當調寬飛行行距並在測量之間進行內插。這樣做就可以減少調查受影響區域所需的時間。

- 道路測量：根據事件的性質可以在道路上空進行空中測量的行為可以有兩個不同的目的。在有放射性物質已經向環境的擴散的情況下，可進行道路上空的空中調查，以幫助確定使用的道路（多個）是否被視為安全的，不論是作為受影響的區域內的交通或該地區內民眾可能撤離的路線。或者執行道路上空的中空監測可作為搜索失去監管控制的輻射源可能方式的一部分。

高度量測

系統使用的作業高度的範圍約高於地面 50-1000 公尺。特定系統適用的實際飛行高度範圍則依賴於不同的高空作業平台（飛機或直升機）而有所不同。高度下界受限於飛行安全。高度上界決定於由於宇宙射線的貢獻越來越大和來自地面的信號由於空氣中的衰減而減小的可偵測範圍。高度範圍的上界也受限於確定飛行高度的量測設備。雷射高度計只在不高於 300 公尺內有效的，而雷達高度計最多可以運行到 500 公尺。

飛機速度

需求的飛行速度與測量的高度和計測時間有關。空中偵測系統的視野大小可以近似於在地面上一個等於測量飛行高度半徑的圓圈（或橢圓形）。為具有良好的地面涵蓋率，飛機移動不宜太快，每次計測時間所移動的距離應等於或小於飛行高度。例如，如果空中偵測系統每次計測時間設定一秒鐘，飛行在 100 公尺的地面上方的高度，建議飛機行駛速度不超過 100 公尺/秒（360 公里/小時，190 節）。

測量（劑量率）範圍 Measurement (dose rate) range

使用空中偵測系統在事故中可能遇到的污染活度範圍很大。以福島第一核電廠事故發生過程中，測得的最高地面劑量率大於 10 毫西弗/小時。與未被污染的地區天然背景放射性比較，背景值僅約 50 奈西弗/小時。

當核子或輻射緊急事故情況時，有必要考慮適當的建立應對行動基準。這樣量測結果可以與這些準則比對，以協助提供防護行動施行策略的決策。

因為要面對的潛勢劑量率範圍很大，量測作業如何進行便需要謹慎的考量與規劃。目前的共識是，專為低劑量率範圍的系統可在高劑量率範圍地區中使用，但要在較高的飛行高度作業。

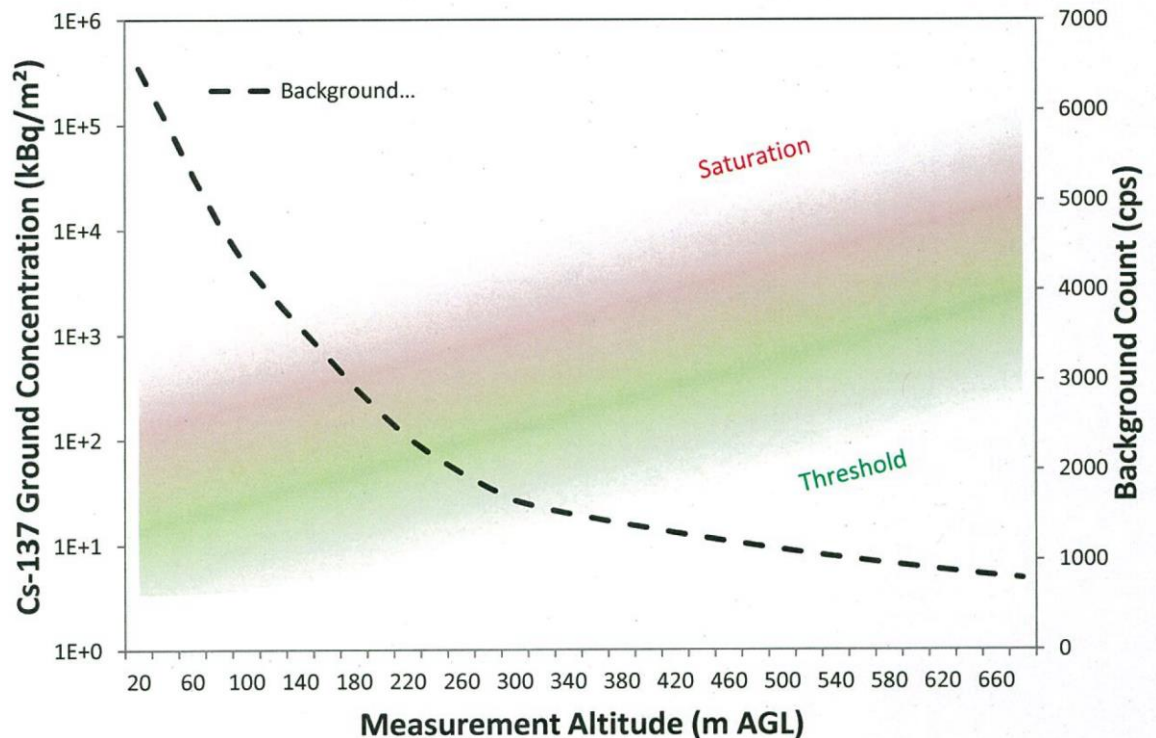


圖 空中輻射偵測操作範圍範例。是以 72 升體積 NaI(Tl) 系統與地表銻 137 污染為例。

關於使用無人機

最近有團隊有興趣使用無人飛行器 (UAV) 進行空中輻射測量。這種關注主要動機來自期望該系統能夠以較低的成本運行，並且操作簡單。如果系統價格足夠吸引人，預計地方應變組織會有需求，以便更容易快速地評估當地輻射的危害。

如果無人機輻射測量系統的主要考量設計參數是在於價格因素，就可能要在性能上犧牲。

- 用於 UAV 上的貨物重量限制以至於只能使用小型輻射偵檢器。小的輻射偵檢器將導致系統靈敏度降低。
- 該系統通常將需要在視線範圍內控制操作。這將限制可偵測區域的大小。
- 調查區域導致飛行時間拉長，可能會因為須常常停止做燃料補充而需要更多的調查時間。

如果這些功能犧牲是可被接受的，則在緊急應變作業中可能有些狀況下無人機依然證明是有用的。

- 無人機劑量率可以到事故現場進行快速偵測放射性狀況。蒐集的資訊可能有助於應變人員的行動規劃，以改善事故問題。
- 當這種狀況下，收集能譜數據進行分析和評估就不是那麼重要。
- 在日本有些團體在福島第一核電站[6, 7]外釋後，就使用無人駕駛直升機進行小區域放射性物質污染調查。這些調查只使用在特定且已經被大致偵測描述過的區域，且都用在緊急事故後期。

也可使用大的（軍用）無人駕駛飛機與符合本文件中提供的規格要求的系統來進行操作。但這些飛機很可能有他們自己的問題需要適當考量。

- 這些飛機可能比有人駕駛飛機更不容易取得
- 這些飛機的操作有時比有人駕駛飛機需要更多的支援人員
- 感應器設備必須證明不干擾飛機的操作
- 該機通常僅限於在海拔大於 300 公尺高空之上。這是為了避免操作員和飛機之間通信出現短暫間隙可能導致的墜機。

交互操作性和相容性

在大規模的緊急情況下，可能的是多個團隊來進行空中輻射測量。理想的狀況是從所有小組的空中偵測數據組合起來產生統一的环境輻射地圖。如果要產生組合的數據地圖時，所有相關參數存在數據中是必要的，這樣才能以一致的方式進行處理。所需的數據參數上面技術屬性部分已進行介紹。如果所有的小組都使用他們的數據收集相同的硬體，相對簡單共享原始數據文件。在在使用不同的系統情況下，不同的團隊需要提供自己的原始數據格式的詳細說明，和/或需要做好準備把他們的數據轉換為逗號分隔的文字檔文件，其中包括所有相關的參數與數據。

除了共享原始數據，所有進行空中偵測團隊遵守品質保證（QA）程序也是必要的。QA 程序的實施將有助於確保數據的品質，它能支持很多分析過程中數據修正的決定。下面是每個系統要考慮的品質保證程序列表。

- 每天在業務基地指定的位置計測飛行前和後背景能譜。這些測量的目的是確定飛行的過程中系統是否有變化。因此，這種測量必需選擇相同的位置。可能的變化原因來自飛機的污染或是因為一個或多個偵檢器的輻射反應有變化。
- 計測一個已知射源的飛行前能譜。執行這個計測用以確認該能譜能量校正正確，且能譜沒有不預期的波形。
- 執行飛行任務前、後的檢測線飛行。所謂檢測線是指一個簡單的線性特性

場地，可以很容易地在飛行任務前、後高度一致的飛過。有時可用相鄰跑道來執行。其目的是評估氬背景是否存在顯著變化，而必須在飛行的過程中作修正。

- 在指定的校正線上進行多個不同海拔高度的飛航。所謂校正線是一個簡單的線性特性場地約 3-5 公里長，可方便於飛行與地面進入車載偵側的一個平坦且放射性均勻的區域。未鋪設的道路或圍牆通常用於作為校準線。所有系統使用相同的校準線將降低系統之間結果不一致的可能性。如果可能的話理想上需要每日進行從多個海拔高度量測數據，並且將用於導出衰減係數（上面等式中的 μ ）。
- 執行水體上多個海拔高度飛航測試。建議的湖泊最好 3-5 公里長且足夠寬，使得湖岸不會對系統的信號作出顯著貢獻，因為如此氬在空氣中的濃度將類似地面上的濃度。理想的校準線收集來自多個海拔高度飛行計測其數據。這些數據用於確認來自飛機機體、檢測系統、空氣氬和宇宙射線（上面公式中 B）的背景。
- 地面真實劑量率或污染測量需要沿校正線進行。理想上地面真實量測需要與空中偵測數據報告中將呈現的分析結果有相同的項目（如加馬射線劑量率和沉積的放射性濃度）。

參考資料

1. The application of airborne gamma-ray spectrometry in the search for radioactive debris from the Russian satellite Cosmos 954 (Operation "Morning Light"), Q. Bristow, Current Research, Part B, Geol. Surv. Can., Paper 78-1B, 151-162 (1978).
2. Early measurements of the Chernobyl fallout in Sweden, Ingemar Vintersved, Lars-Erik De Geer, Bjorn Bjurman, Rune Arntsing, Siv Jakobsson and Hans Mellander, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. NS-34, No. 1 (1987).
3. Aerial measuring system in Japan, Craig Lyons and David Colton, Health Physcs, Vol. 102, No. 5 (2012).
4. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data, International Atomic Energy Agency, TECDOC 1363 (2003).
5. Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS OFFICE FOR THE CO-ORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH

ORGANIZATION, IAEA Safety Standards Series No. GSG-2, IAEA, Vienna (2011).

6. Aerial radiation monitoring around the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant using an unmanned helicopter, Yukihiisa Sanada, Tatsuo Torii, Journal of Environmental Radioactivity, 139 (2015) 294-299.
7. A study on micro-scale airborne radiation monitoring by unmanned aerial vehicle for rural area re/orm contaminated by radiation, Tomoyuki Furutani, Kei Uehara, Kazunori Tanji, Masaki Usami and Toshihiko Asano, Proceedings of the 9 “ Annual International Conference of the International Institute for Infrastructure Renewal and Reconstruction (2013).
8. Emergency radiation survey device onboard the UAV, S. Bogatov, N. Mazny, A. Pugachev, S. Tkachenko, A. Shvedov, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-1/W2 (2013).



Advanced I-AMS (iAVID/SPARCS) International Training

Las Vegas, NV

April 4-7, 2016

- **Photo Identification is required at time of badging. Please have your passports on Monday and Tuesday April 4-5.**
- Badges will be issued on Tuesday, April 5th and must be worn above the waist at all times while in a DOE facility. Passports should also be carried at all times for verifying identification, if requested by Security personnel. Badges will be returned at the end of the day and reissued the following morning if necessary.
- A group photo will be taken on Monday. A printed copy of this will be given to each traveler before departing Las Vegas.
- Smoking is only permitted in designated areas, so please refrain from smoking unless in a designated area.
- Recommended Attire:
 - NNSS – Casual
 - Closed-toe shoes and long pants are required
 - Light jacket, hat, and sunglasses are sometimes recommended as appropriate

Hotel:
TBD



Monday, April 4 – North Las Vegas Airport (NLV)

NOTE: Laptops, cell phones, cameras permitted

07:00	RSL vans arrive at Hotel
07:15	Depart for the North Las Vegas (NLV) Airport
08:00	Introductory Comments – Welcome (Grand Canyon Conference Room) (NNSA NFO)
08:30	International AVID (iAVID): Distribution and use policy (Mike)
09:00	Philosophy and History of AVID design (Mike, Piotr)
09:30	User Interface for Data Acquisition – demo (maps, display, available tools) (Rusty)
10:00	Overview of Real-Time In-Flight and Post-Flight Data Processing -demo (Avery) i. 1st level product generation (uncorrected gross count points) ii. 2nd level product generation (background and altitude corrected gross count point data, exposure rate calibration) iii. 3rd level product generation (raster/contour)
11:00	Interfacing SPARCS-A and SPARCS-M with iAVID (Ken)
12:00	Lunch (casino food court)
13:00	AVID Operator Practical Training and Exercises (All)
16:30	Depart NLV Airport for Hotel
17:15	Arrive at Hotel



Tuesday, April 5 – NNSS Desert Rock Airport (DRA)

NOTE: Personal laptops, cell phones (or ANY recording devices), portable data storage devices, firearms, alcohol, and cameras are strictly Prohibited.

07:00 RSL Van arrives at Hotel
08:30 Arrive at the NNSS Desert Rock Airport
08:30 SPARCS calibration and preflight checks – refresher (**Mark, Chris, Mike**)

09:30 Flying Team A – Survey of NNSS Area 3 (Mark, Chris, Mike)
Mission Briefing for the survey of NNSS Area 3 for Team A and B (Piotr)

Non-Flying Team

10:00 Operational airborne radiation detection – first 5 flights –refresher (**Rusty**)
11:00 Briefing on execution of the typical AMS flight patterns: serpentine and (parallel lines) grid and communication with non-dedicated pilots (**AMS/Aviation**)

11:30 Flying Team A Returns to NNSS Desert Rock Airport
Flying Team A post-flight debriefing and data transfer

11:30 Lunch – Mercury cafeteria

12:30 Flying Team B – Survey of NNSS Area 3 (Mark, Chris, Mike)

Non-Flying Team

13:30 Area 3 Post-Flight Data Analysis – practice (data file formats, level 1 data processing, map generations) (**Mike, Ashlee, Jez**)

14:30 Flying Team B – Returns to Desert Rock Airport
Flying Team B post flight debriefing and data transfer

16:00 Depart Desert Rock Airport for Hotel
17:30 Arrive Hotel



Wednesday, April 6 – North Las Vegas Airport

NOTE: Laptops, cell phones, cameras permitted

- 07:00 RSL Van arrives at Hotel
- 08:00 Arrive at the North Las Vegas Airport
- 08:00 SPARCS calibration and preflight checks (**Mark, Chris, Mike**)
- 09:00 Flying Team C–Proficiency flight at Government Wash with simulated data (Mark, Chris, Mike)**
 Mission Briefing for the survey of GW 1 mission for Team C (**Piotr**)
- Non-Flying Team**
- 09:00 Quality Assurance Measurements and Data – preflight and post flight Calibration Line, Ground Truth, Altitude Spiral, and Test Line (**Rusty**)
 i. Processing altitude spiral data (air attenuation coefficient and sensitivity coefficient) MS Excel – demo and practice (**Ashlee, Jez**)
- 10:30 Flying Team C– Returns to North Las Vegas Airport**
 Flying Team C post-flight debriefing
- 12:00 Lunch – (casino food court)**
- 13:30 Flying Team D – Proficiency flight at Government Wash with simulated data (Mark, Chris, Mike)**
 Mission Briefing for the survey of GW 2 mission for Team D (**Piotr**)
- Non-Flying Team**
- 13:30 2nd level product generation (background and altitude corrected gross count point data, exposure rate calibration) AVID Extraction Matrices - demo (**Mike**)
 Background (system, radon, cosmic rays, terrestrial)
 Altitude above ground level (AGL) Radar altimeter GPS and digital elevation map (DEM) - demo (**Mike, Ashlee, Jez**)
- 15:00 Flying Team D – Returns to Desert Rock Airport**
 Flying Team D post-flight debriefing
- 16:30 Depart DRA for Hotel
- 17:15 Arrive Hotel



Thursday, April 7 – North Las Vegas Airport (NLV)

NOTE: Laptops, cell phones, cameras permitted

- | | |
|--------------|--|
| 07:15 | RSLN Van arrives at Hotel |
| 07:30 | Depart for North Las Vegas Airport |
| 08:30 | Arrive at North Las Vegas Airport |
| 08:30 | I-AVID and SPARCS Data Management: sequel data base files, GIS shape files, kmz files, mps files, dat file, csv extraction - demo (Jeremy) |
| 09:00 | Advance Data Processing (3 rd level product generation-raster/contour) – demo (Mike) |
| 10:00 | Advance Data Processing (3 rd level spectral extraction 2-window, 3-window) demo (Mike) |
| 12:00 | Lunch (casino food court) |
| 13:00 | Data processing practical exercises (Dailey, Stampahar J, Malchow, Reed) |
| 15:00 | iAVID/SPARCS Enhanced Capabilities Spectral Simulator, and Telemetry – demo (Mike, Piotr) <ul style="list-style-type: none">a) IXP Dispersion Modeling – refresherb) iAVID spectral simulator – proficiency mission planning |
| 16:30 | Concluding Discussions |
| 17:00 | Depart NLV Airport for Hotel |
| 17:30 | Arrive Hotel |