

出國報告（出國類別：會議）

參加美國能源部國家核子保安總署舉辦  
iAVID 輻射偵測數據後處理軟體進階技術  
交流會議

服務機關：核能安全委員會輻射偵測中心

國家原子能科技研究院

姓名職稱：林明仁技士、陳韋新副研究員兼組長

派赴國家：美國華盛頓哥倫比亞特區

出國期間：114 年 9 月 20 日至 114 年 9 月 28 日

報告日期：114 年 12 月 15 日



## 摘 要

本次受邀參加美國能源部(Department of Energy, DOE)國家核子保安總署(National Nuclear Security Administration, NNSA)舉辦之國際版 AVID (the International Advanced Visualization and Integration of Data, iAVID)輻射偵測數據後處理軟體進階訓練，於 2025 年 9 月 22 日至 26 日在美國華盛頓哥倫比亞特區舉行；參與國家共 15 國、參訓學員共 23 位，包含巴西 2 位、智利 2 位、德國 1 位、法國 1 位、阿根廷 1 位、波蘭 3 位、盧森堡 1 位、澳洲 1 位、約旦 1 位、立陶宛 2 位、菲律賓 1 位、摩洛哥 2 位、瑞典 1 位、羅馬尼亞 2 位及臺灣代表 2 位，美方 iAVID 講師專家群共 7 位。由美方 iAVID 講師專家群介紹與說明 iAVID 軟體的新增與擴充功能，並以美國本土及日本福島的直升機空中輻射偵測實際案例進行展示與解說，課程內容包含環境輻射偵測數據之品質保證、異常輻射源偵測數據擷取技巧、空中偵測相關校正因子之推導、輻射偵測數據後處理方法與輻射偵測渲染圖產製等功能。參與本次進階訓練可掌握美方 iAVID 軟體之最新發展現況，並透過與各國專家互相進行技術切磋及使用經驗交流，可有效強化我國空中輻射偵測實務操作經驗與偵測數據後處理及分析能力，有助於提升我國空中輻射偵測數據分析量能。近年來，NNSA 透過國際交流與技術研習推動空中輻射偵測協同合作，我方的積極參與對建立完整的空中輻射偵測數據分析能力非常重要，建議我國除了要持續派員參訓外，也要把經驗及技術有效傳承下來，積極進行人才培育、避免出現技術斷層。

關鍵字：iAVID、空中輻射偵測

# 目 次

壹、 目 的 .....	1
貳、 過 程 .....	2
參、 心 得 .....	37
肆、 建 議 事 項 .....	38
伍、 附 件 .....	39

# 圖 目 錄

圖 1：訓練地點Residence Inn Washington DC Downtown旅店 .....	1
圖 2：iAVID須申請授權並使用微軟Authenticator完成登入認證.....	3
圖 3：iAVID主介面可依任務類型選擇不同的偵測模式 .....	4
圖 4：iAVID可搭配模擬器（Emulator）進行歷史資料重播與訓練 .....	5
圖 5：iAVID的數據處理模組包含Map Window、XY Plotter、Histogram三個視窗區塊 .....	6
圖 6：iAVID於選取遮罩（Selected Mask）下拉選單中可隨時切換比較不同的ROI.....	7
圖 7：資料匯出功能區之IRIX/IRMIS格式.....	8
圖 8：每日系統檢查後報告生成時應涵蓋的項目 .....	9
圖 9：iAVID的表格警報介面（TAV）可以表格化方式呈現警報事件.....	11
圖 10：在帶狀圖（Strip Chart）中圈選感興趣的能峰 .....	12
圖 11：呼叫查詢視窗（Query Window）進行核種辨識 .....	13
圖 12：切換至 Primary 能譜視窗圖圈選感興趣的能峰(藍色) .....	14
圖 13：切換至 Secondary 能譜視窗圖圈選感興趣的能峰(綠色).....	14
圖 14：設定適當的GPS偏移因子可消除因偵測路徑間距過大所造成的偏移誤差 .....	16
圖 15：iAVID製圖及報告輸出模組之編輯頁面 .....	17
圖 16：利用擷取的劑量率模組可快速轉換能譜為劑量率.....	19
圖 17：三視窗擷取法取得特定能量區段的計數率.....	21
圖 18：高斯擷取法視窗.....	22
圖 19：IAEA視窗法之鉀、鈾、釷擷取 .....	23
圖 20：NASVD降雜訊後取得平滑且保留真實特徵的能譜.....	25
圖 21：日本福島核事故空中輻射偵測數據處理.....	27
圖 22：科羅拉多州大章克申（Grand Junction）的大型校正平台 .....	28
圖 23：擷取校正工具以差分量測方式求出 $\alpha$ 值.....	29
圖 24：使用 Aerial Calibration 模組求得空氣的衰減係數 $\beta$ 值.....	31
圖 25：利用 XY Plotter 繪製散布圖進行線性擬合 .....	33

圖 26：空中偵測理論校正假設的平面射源模型.....	34
圖 27：公式編輯器（Formula Editor）視窗 .....	36

# 表 目 錄

表 1：iAVID輻射偵測數據後處理軟體進階訓練行程表 .....	2
表 2：2025年9月22日(一) iAVID 訓練課程表 .....	41
表 3：2025年9月23日(二) iAVID 訓練課程表 .....	42
表 4：2025年9月24日(三) iAVID 訓練課程表 .....	43
表 5：2025年9月25日(四) iAVID 訓練課程表 .....	44
表 6：2025年9月26日(五) iAVID 訓練課程表 .....	45

## 壹、 目 的

本次出國公差訓練係由美國 DOE/NSA 發函邀請(如附件一)，參加國際版 iAVID 輻射偵測數據後處理軟體進階訓練，我國由核能安全委員會輻射偵測中心的林明仁技士及國家原子能科技研究院的陳韋新副研究員兼輻射監測中心技術組組長，共兩員代表出席，其他共同參訓的國家分別有巴西、智利、德國、法國、阿根廷、波蘭、盧森堡、澳洲、約旦、立陶宛、菲律賓、摩洛哥、瑞典、羅馬尼亞等，共同於位在華盛頓哥倫比亞特區的 Residence Inn Washington DC Downtown 旅店(如圖 1)二樓的 Washington 及 Jefferson 會議室，進行為期五天之 iAVID 軟體進階訓練，由美方 iAVID 講師專家群介紹與說明 iAVID 軟體的新增與擴充功能，並以美國本土及日本福島的直升機空中輻射偵測實際案例進行展示與解說，課程內容包含環境輻射偵測數據之品質保證、異常輻射源偵測數據擷取技巧、空中偵測相關校正因子之推導、輻射偵測數據後處理方法與輻射偵測渲染圖產製等功能。各國專家透過參與本次進階訓練可掌握美方 iAVID 軟體之最新發展現況並互相進行技術切磋及使用經驗交流，可有效強化我國空中輻射偵測實務操作經驗與偵測數據後處理及分析能力，有助於提升我國空中輻射偵測數據分析量能。



圖 1：訓練地點 Residence Inn Washington DC Downtown 旅店



## 貳、 過 程

本次出國公差的路程及訓練日程為自民國 114 年 9 月 20 日(六)至 9 月 28 日(日)，iAVID 輻射偵測數據後處理軟體進階訓練課程表如附件二，出國行程概述如表 1：

表 1：iAVID 輻射偵測數據後處理軟體進階訓練行程表

日期	地點	工作內容
9/20～9/21	台灣桃園國際機場 (TPE)→美國舊金山國際機場(SFO)→華盛頓 杜勒斯國際機場 (IAD)→華盛頓哥倫比亞特區	去程：台灣桃園國際機場(TPE)→美國舊金山國際機場(SFO)→華盛頓杜勒斯國際機場(IAD)→華盛頓哥倫比亞特區 Residence Inn Washington DC Downtown 旅店
9/22～9/26	華盛頓哥倫比亞特區 Residence Inn Washington DC Downtown 旅店	參加 iAVID 輻射偵測數據後處理軟體進階訓練
9/27～9/28	華盛頓哥倫比亞特區 →華盛頓杜勒斯國際 機場(IAD)→美國舊金山國際機場(SFO)→台灣桃園國際機場(TPE)	回程：華盛頓哥倫比亞特區 Residence Inn Washington DC Downtown 旅店→華盛頓杜勒斯國際機場(IAD)→美國舊金山國際機場(SFO)→台灣桃園國際機場(TPE)

## 2025-09-22\_iAVID 進階訓練第一天－偵測數據管理與探索

訓練目標：熟練掌握如何將偵測數據匯入 iAVID 軟體，進行視覺化分析與數據探索，並能將結果匯出以整合至其他分析工具或工作流程中。

### 一、iAVID 軟體介紹與安裝

iAVID (International Advanced Visualization & Integration of Data) 為一套整合式輻射數據視覺化與分析軟體，具備即時監測、資料整合、雲端同步與遠端通訊等功能，可支援空中、車載及手持式偵測任務。相較於早期的個人授權版 AVID，iAVID 2023 已全面支援微軟雲端傳輸機制。使用者須先透過 DOE/NNSA 申請授權，並使用微軟 Authenticator 完成登入認證，如圖 2。若需重設密碼，可於認證 App 內重新申請。安裝新版軟體前，須先移除舊版 AVID 以避免資料庫衝突。

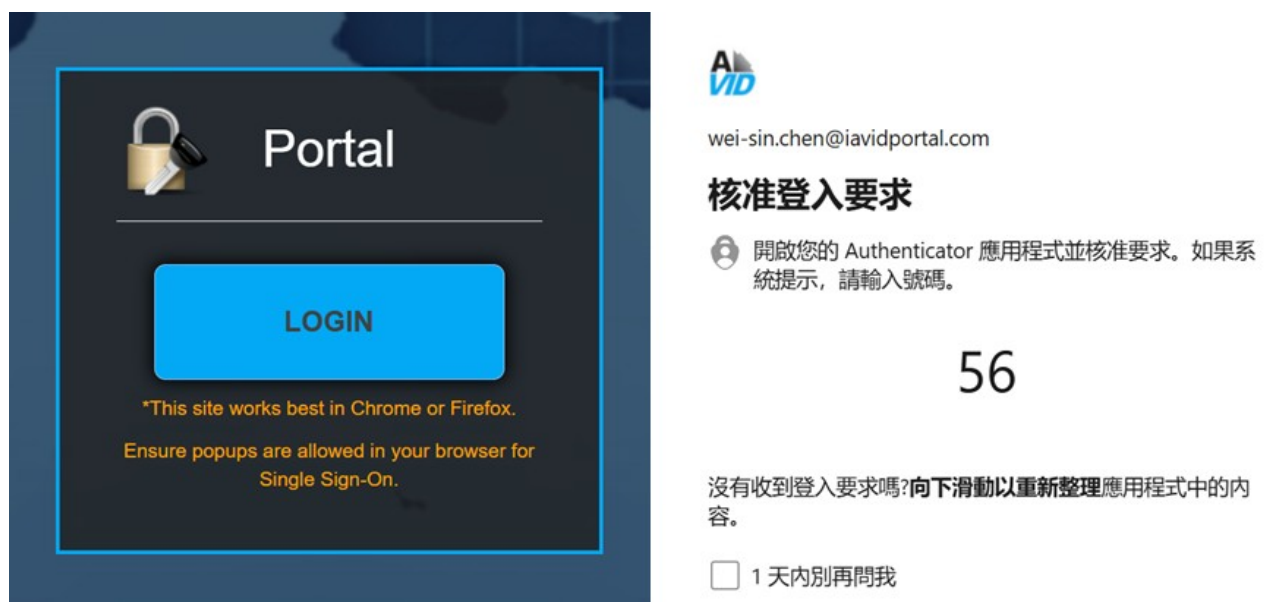


圖 2：iAVID 須申請授權並使用微軟 Authenticator 完成登入認證

iAVID 系統由三個主要模組構成：iAVID Desktop 電腦端主軟體，用於資料蒐集、遙測監控、數據分析與地圖圖資產出。Gamut App 行動端應用程式，提供手持式偵檢器連線、即時監測與圖片資料庫功能。SMC (Search Management Center) 雲端資料管理平台，負責任務數據上傳、備份與同步，確保任務資料在設備異常時仍可保存。

## 二、啟動器（Launcher）與操作模式

啟動 iAVID 時，使用者需登入個人帳號（同樣透過微軟認證）。主介面可依任務類型選擇不同的偵測模式，包括：空中偵測（Aerial）、車載偵測（Mobile）、步行偵測（Pedestrian）；系統會自動記憶使用者設定與偏好，下次登入可直接套用。如需回復預設設定，可勾選左下方的「Revert to Default」，如圖 3。主介面左側提供多項工具模組，例如地圖（Map）、聊天（SMC Chat）、能譜（Spectrum）、瀑布圖（Waterfall）、帶狀圖（Strip Chart）、表格警報介面（Tabular Alarm View, TAV）等；使用者可自由拖曳浮動視窗、調整版面配置，並透過「View」功能儲存常用的版面設定，以便快速切換。每次啟動軟體時，系統會自動建立以日期與時間命名的 survey 檔案，用以紀錄任務過程。若需延續前一次的任務，可於「Utilities」中匯入既有 survey 檔繼續作業。

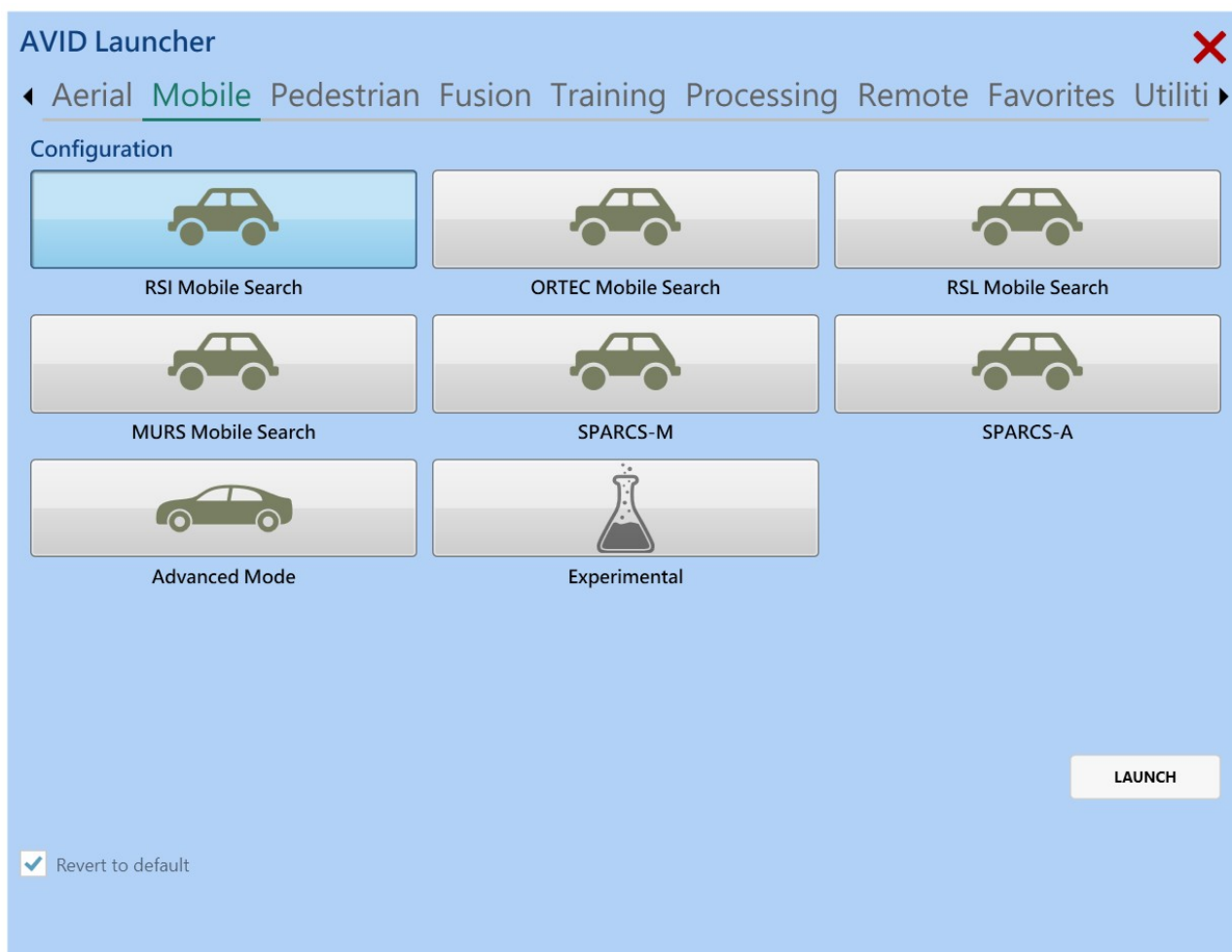


圖 3：iAVID 主介面可依任務類型選擇不同的偵測模式

### 三、模擬器（Emulator）

iAVID 除可接收即時偵測器訊號外，也可搭配模擬器（Emulator）進行歷史資料重播與訓練，如圖 4。模擬器可匯入 .csv 格式之歷史偵測資料，模擬真實量測過程，供使用者練習訊號處理與分析；模擬播放速率預設為 1000 毫秒（msec）一筆資料，可調整時間間隔以加快或放慢播放速度。

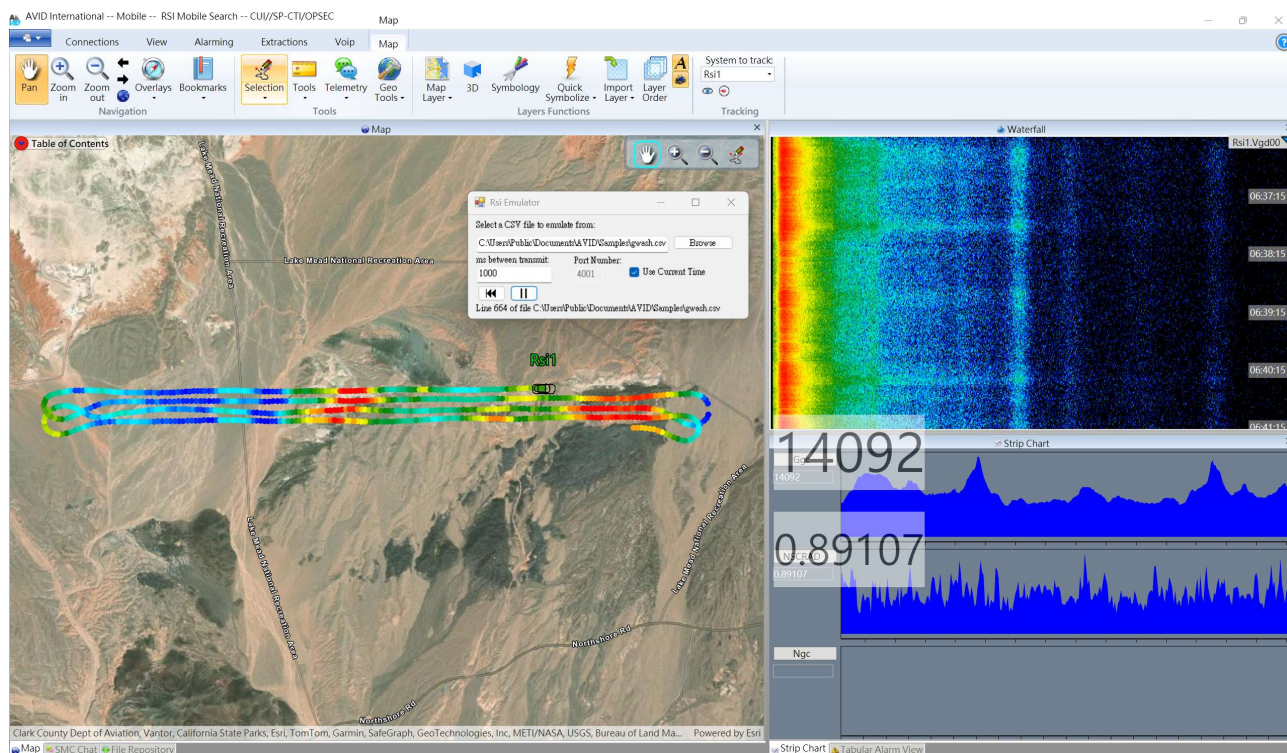


圖 4：iAVID 可搭配模擬器（Emulator）進行歷史資料重播與訓練

### 四、可視化模組（Visualization Modules）

iAVID 主要的可視化模組包含：

- (一)瀑布圖（Waterfall）：通常放置於iAVID視窗的右上角，如圖 4，以不同顏色顯示各能譜頻道強度，X 軸代表能譜頻道，Y 軸為隨時間的變化。瀑布圖可即時辨識輻射強度變化，例如因偵測高度改變、訊號連線異常或接近輻射源等狀況。使用者可於iAVID視窗右上角選擇偵檢器或訊號源來進行切換。
- (二)帶狀圖（Strip Chart）：通常放置於iAVID視窗的右下角，如圖 4，可顯示偵測資訊(如計數率或劑量率)隨時間變化的連續曲線，X 軸為時間、Y 軸為偵測資訊。可用滑鼠選



取特定時間區段進行感興趣區域（Area of Interest, AOI）的分析，亦可切換不同偵檢器或顯示警示訊號。

## 五、數據處理（Data Processing）介面

iAVID 的「Data Processing」模組可進行多項數據校正與後處理，包括 GPS 修正、海拔高度（Altitude）修正、空氣衰減（Attenuation）修正等，主要介面包含三個視窗區塊，如圖 5：

- (一)Map Window：可將偵測結果套疊於地圖圖資上，顯示偵測位置、軌跡與偵測範圍。
- (二)XY Plotter：可以二維或三維方式呈現計數率與時間的關係，用於尋找異常輻射趨勢。
- (三)Histogram（直方圖）：可顯示數據頻率分布與高度之間的關聯性。

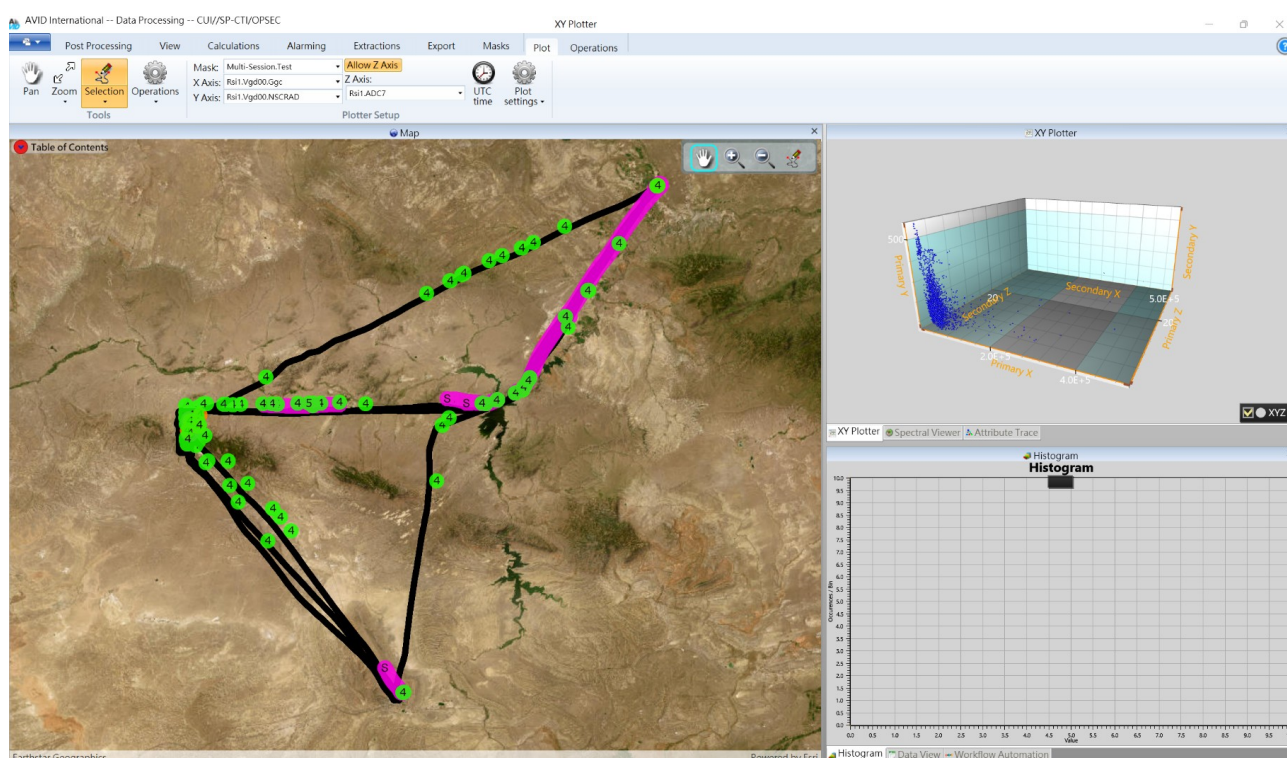


圖 5：iAVID 的數據處理模組包含 Map Window、XY Plotter、Histogram 三個視窗區塊

## 六、遮罩（Masking）功能

遮罩功能可用於篩選數據中感興趣的特定區域（Region of Interest, ROI），排除背景路徑或非調查區資料。操作方式如下：

- (一) 於 Map Window、XY Plotter 或 Histogram 視窗中啟用選取工具。
- (二) 使用點、手繪、直線、矩形、圓形或橢圓形等工具來圈選 ROI。

(三) 命名並儲存 Mas 鉀，於選取遮罩（Selected Mas 鉀）下拉選單中可隨時切換比較不同的 ROI，如圖 6。

(四) Mas 鉀亦可進行集合運算（聯集 Union、交集 Intersection、差集 Difference），方便進行多區域分析。筆者建議覆寫已裁剪之 Mas 鉀，以避免產生大量的重複檔案。

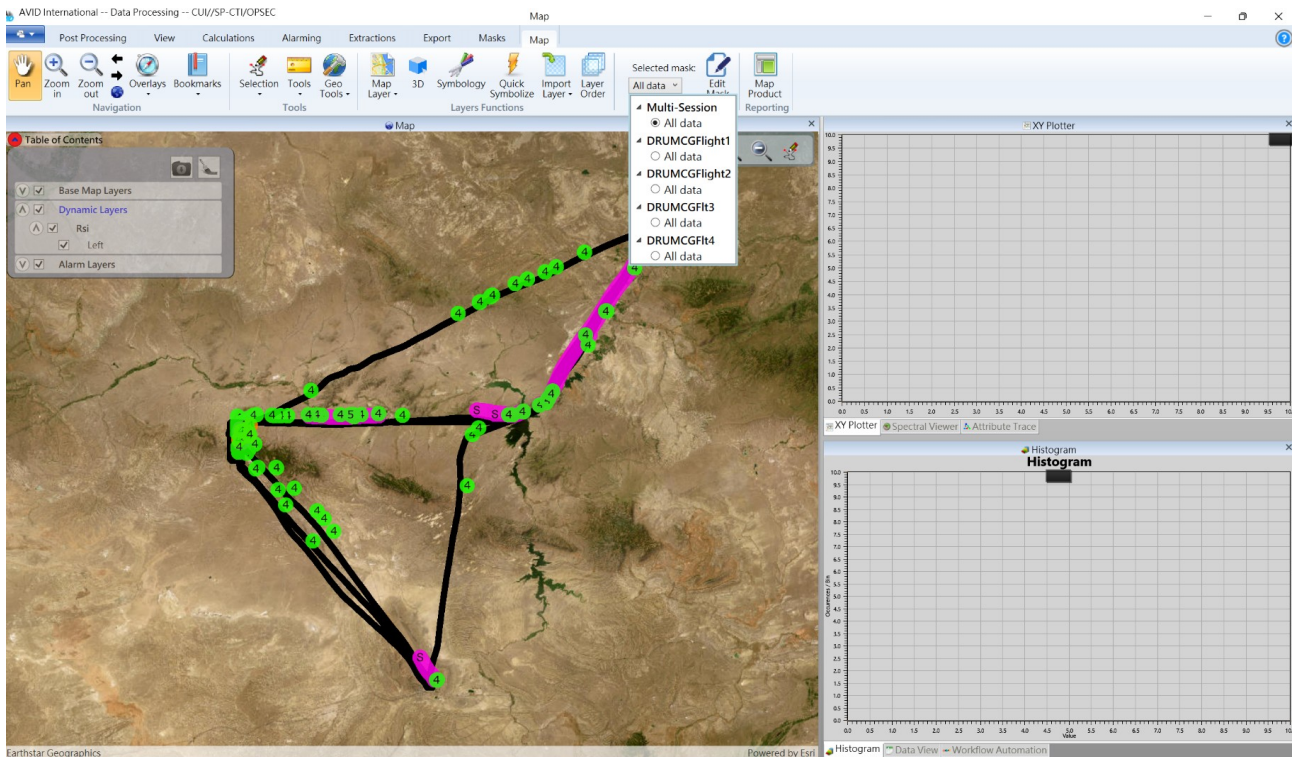


圖 6：iAVID 於選取遮罩（Selected Mas 鉀）下拉選單中可隨時切換比較不同的 ROI

## 七、資料匯出

AVID 支援多種資料匯出方法，可將資料匯出為各種檔案格式，這些方法在匯出( Export ) 功能區。此外，也可以從通用資料查詢( Generic Data Query )匯出資料；資料匯出格式主要是將資料分享給其他團隊，以便在其他應用程式或工具中使用，例如：ArcGIS、Google Earth、IRIX 等。匯出功能包括：

(一)能譜匯出( Spectral Export )：可匯出整個調查的 BA 鉀、CSV 能譜(給模擬器用)等。

(二)屬性匯出( Attribute Export )：只匯出屬性，不含完整能譜；支援 Shapefile、鉀 ML。

(三)含註釋的能譜( Annotated Spectra )：匯出 Mas 鉀 範圍的整合能譜。

(四)IRIX/IRMIS 格式：匯出資料以在 IRIX 或 IRMIS 系統中使用，如圖 7所示。操作方式為：選 Mas 鉀 → 選劑量欄位 → 指定單位 → 匯出。

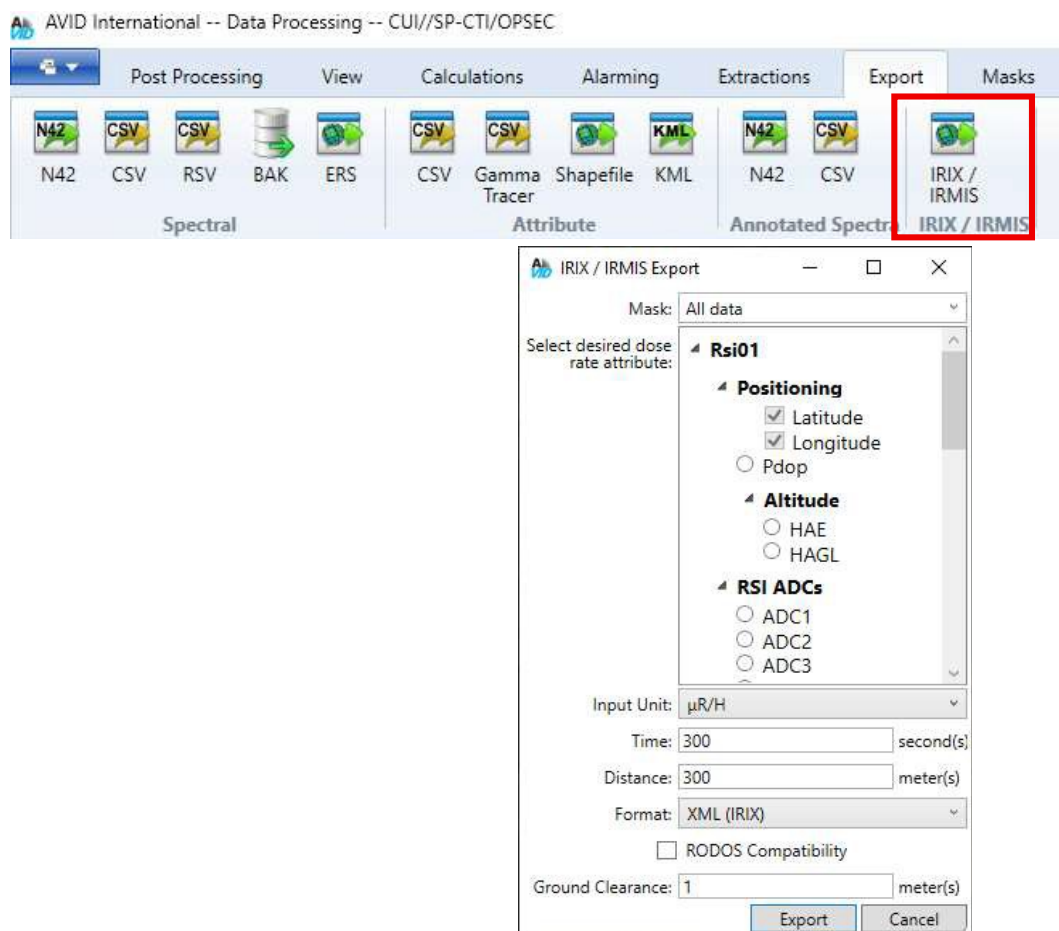


圖 7：資料匯出功能區之 IRIX/IRMIS 格式

## 2025-09-23\_iAVID 進階訓練第二天－偵測數據評估

訓練目標：使用iAVID軟體執行環境輻射偵測的品質保證(Quality Assurance, QA)與品質管制(Quality Control, QC)流程，並建立與展示輻射偵檢異常探索與製圖的基本工作流程。

### 一、每日系統檢查及報告生成

iAVID 系統檢查的主要目的在於調查前確認設備性能、確保數據品質並避免污染風險。檢查流程包括系統啟動與穩定化、收集背景與輻射源（如 銻-137）數據、比對結果一致性，藉此驗證系統反應是否穩定並可追蹤歷史變化。在調查作業的起始與結束階段，操作人員需於相同位置進行 1 分鐘測試，以確認偵測系統或現場是否受到污染。

iAVID 軟體亦提供自動化報告生成工具，可繪製能譜、趨勢圖與統計圖表，並檢查 GPS



資料，確保量測結果具再現性與可追溯性。整體而言，該系統檢查程序能提供可靠且具防護價值的數據，為後續輻射監測與公共安全決策奠定基礎。筆者依自身操作經驗，整理相關重點內容如下：

- (一) 核心目標：系統檢查的宗旨在於確保設備性能穩定、數據可追溯、操作人員與環境皆未受污染。
- (二) 操作流程：從系統啟動、背景量測、輻射源測試、數據比對到結果審查，皆遵循標準化程序。
- (三) 數據品質保證：透過重複性測試與歷史資料比對，確保結果具一致性與可溯性。
- (四) 污染監測：在偵測任務前後進行快速的 1 分鐘測試，以辨識任何潛在污染。
- (五) 報告自動化：iAVID 具備內建報告生成功能，能自動化產生圖表及能譜、進行統計分析，並完整保存紀錄。講者建議完成每日系統檢查後，報告生成時應涵蓋的項目勾選如圖 8。

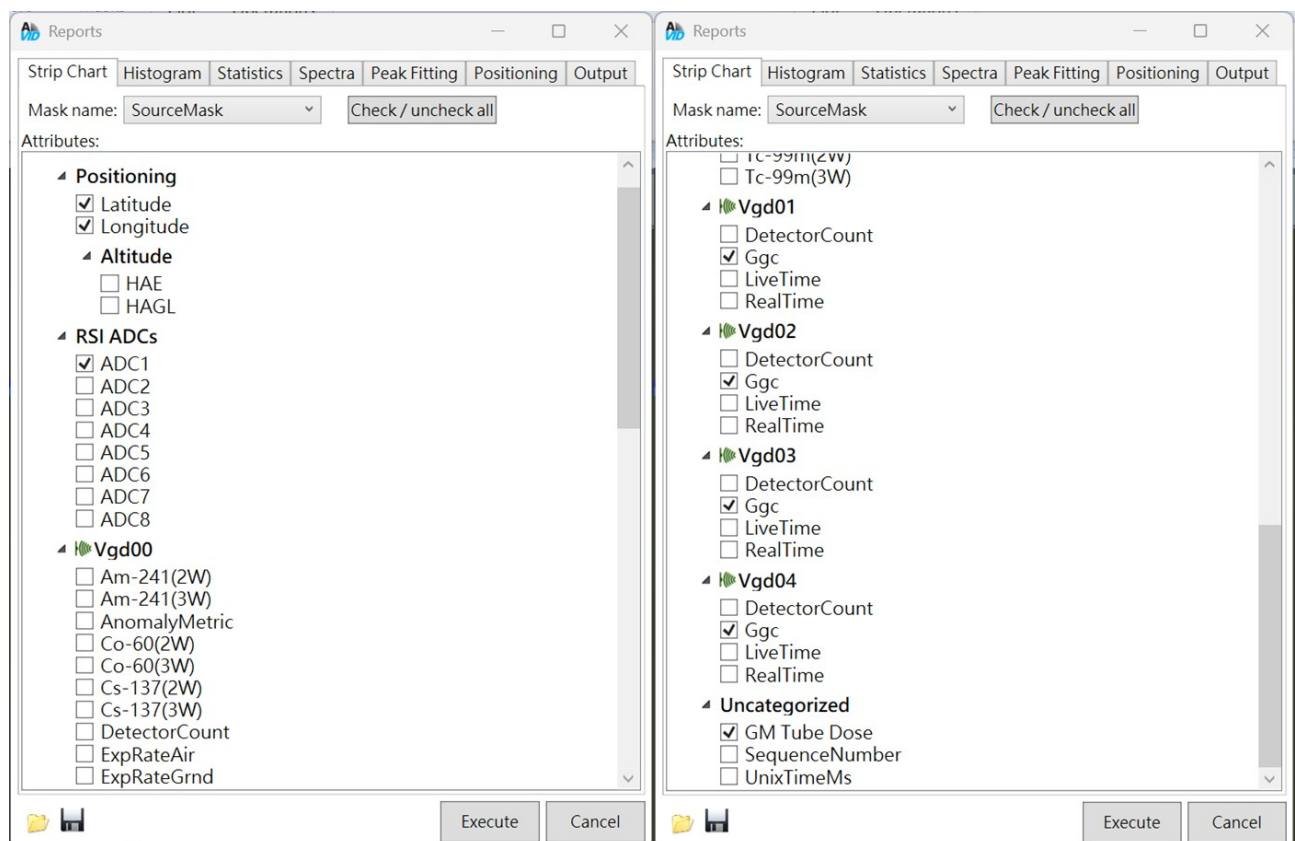


圖 8：每日系統檢查後報告生成時應涵蓋的項目



## 二、異常事件調查（Anomaly Investigation）模組介紹

iAVID 軟體的「異常事件調查（Anomaly Investigation）」模組旨在協助使用者發現、分析並歸納放射性數據中的異常現象，同時熟悉警報演算法與能譜分析流程。整體工作流程從異常偵測、警報判定、能譜分析到核種辨識，形成一套可追溯且具科學依據的分析體系。

在警報演算法方面，Golf 與 November 警報模式均採用「訊號與背景差異法」，以「訊號減去背景，再除以背景標準差」進行運算，背景可為動態（Dynamic）或靜態（Static）；動態 Golf 用於移動式系統，靜態 Golf 用於固定式系統，而 November 模式通常設定為靜態。Golf 與 November 警報模式分別用於偵測光子（Gamma）與中子（Neutron）異常，適用於移動式或固定式偵測系統。常見的設定值：光子 Golf 設定為 G-5，中子 November 設定為 N-4。

GNR（Gamma-Neutron Ratio）警報模式針對背景輻射（含光子與中子）進行校正，以反映環境的變化。光子背景輻射會受到天然放射性物質（NORM）的成分、數量與幾何分佈影響，故在都市環境中偵測到的計數率變化會較大，但能譜形狀變化則較少。中子背景輻射主要由宇宙射線與物質作用後而產生，偵測到的計數率變化程度通常很低，但背景輻射會受到周圍環境的屏蔽效應影響，故需定期地更新背景計數率。欲在 iAVID 中設定 GNR 警報，可透過警報功能列（Alarming Ribbon）進行初始化與音效設定，可命名警報、設定類型、背景與偵檢器，系統會自動初始化所有已連線的偵檢器，但 GNR 警報的 Ratio 比值功能現已停用，改而以 NSCRAD 取代。

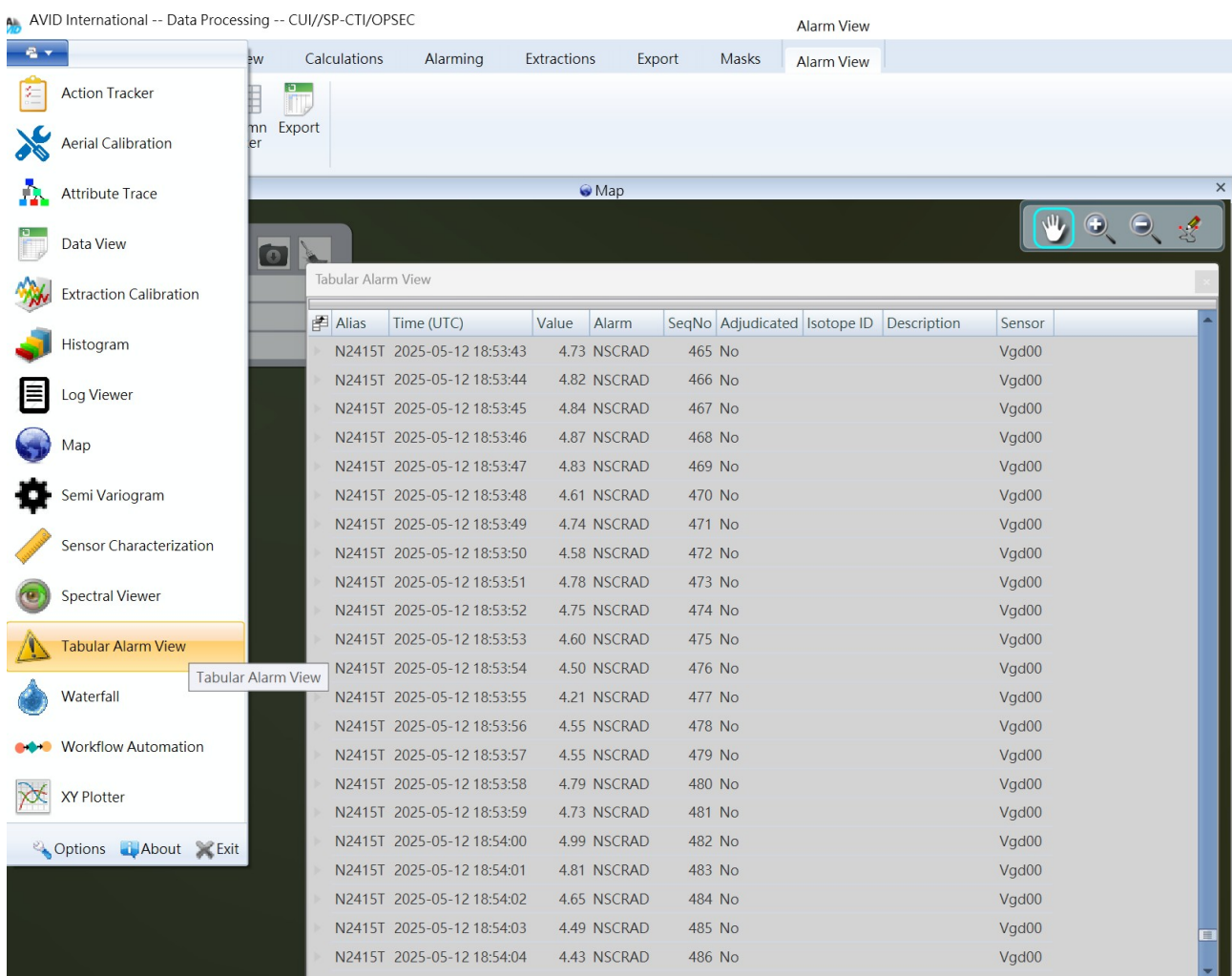
NSCRAD 演算法利用能譜形狀穩定性建立 Ratio 比值模型，藉由建立多個能窗區間，預測並比較不同區間的計數率比值，能有效抑制 NORM 所造成的假警報，並在光子異常檢出上顯著優於傳統的 GNR 方法，但 NSCRAD 演算法在異常能譜接近背景時，偵測的效能會下降。NSCRAD 演算法其預設的閾值約為 1.0，平均每小時約發生 1 次假警報，初始化時間約 60 秒（期間 NSCRAD=0），可支援靜態與動態模式，對於增益（Gain）漂移較為敏感，但能有效抑制 NORM 所引發的假警報。

對於核種鑑別（Isotope ID），iAVID 採用 GADRAS 演算法進行分析，透過比對前景（foreground）（註：指能譜中最受關注的部分）與背景（background）（註：指能譜中不那麼重要的部分），自動或手動辨識核種種類與信賴指標，適用於準確校正的偵測器環境。當

系統偵測到警報時，GADRAS 會以 1 秒前景數據與 10 秒背景數據進行核種分析。萬一若系統辨識不出已知的核種，則應檢查能量校正與核種的資料庫設定。

在操作層面，iAVID 提供多樣化視覺介面，如表格警報介面（Tabular Alarm View, TAV）及地圖警報介面（Map Alarm View, MAV）等。TAV 可以表格化方式呈現警報事件，如圖 9；MAV 則可顯示警報的地理位置與類型，方便後續比對。若需更進一步分析，則使用者可透過資料查詢介面（Data Query Shell）選取並比較兩段時間序列內的能譜，確認異常的能譜特徵，並可執行核種分析、人工 GADRAS 核種鑑別或資料匯出等，再以 InterSpec 工具進行能峰的峰值辨識與執行更細部的能譜分析。

整體而言，iAVID 的異常事件調查模組結合多種演算法與分析工具，從即時偵測、核種辨識到後續的資料審查，形成一條完整的輻射異常評估鏈，可確保數據品質與輻射安全決策的可靠性。



Alias	Time (UTC)	Value	Alarm	SeqNo	Adjudicated	Isotope ID	Description	Sensor
N2415T	2025-05-12 18:53:43	4.73	NSCRAD	465	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:44	4.82	NSCRAD	466	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:45	4.84	NSCRAD	467	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:46	4.87	NSCRAD	468	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:47	4.83	NSCRAD	469	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:48	4.61	NSCRAD	470	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:49	4.74	NSCRAD	471	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:50	4.58	NSCRAD	472	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:51	4.78	NSCRAD	473	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:52	4.75	NSCRAD	474	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:53	4.60	NSCRAD	475	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:54	4.50	NSCRAD	476	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:55	4.21	NSCRAD	477	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:56	4.55	NSCRAD	478	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:57	4.55	NSCRAD	479	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:58	4.79	NSCRAD	480	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:53:59	4.73	NSCRAD	481	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:54:00	4.99	NSCRAD	482	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:54:01	4.81	NSCRAD	483	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:54:02	4.65	NSCRAD	484	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:54:03	4.49	NSCRAD	485	No			Vgd00
N2415T	2025-05-12 18:54:04	4.43	NSCRAD	486	No			Vgd00

圖 9：iAVID 的表格警報介面（TAV）可以表格化方式呈現警報事件

### 三、偵檢數據查詢及分析

- (一) 使用地圖 (Map) 功能，可圈選感興趣的區域 (AOI)，然後透過滑鼠右鍵，選擇調查 (Investigate) 來深入進行偵檢數據分析。
- (二) 在帶狀圖 (Strip Chart) 中圈選感興趣的能峰以觀察其變化，如圖 10。
- (三) 在表格警報介面 (TAV) 中選出感興趣的警報紀錄，按滑鼠右鍵的調查 (Investigate) 可檢視詳情。
- (四) 可呼叫查詢視窗 (Query Window) 來進行進一步做核種辨識，或切換不同偵檢器的偵測數據，如圖 11。

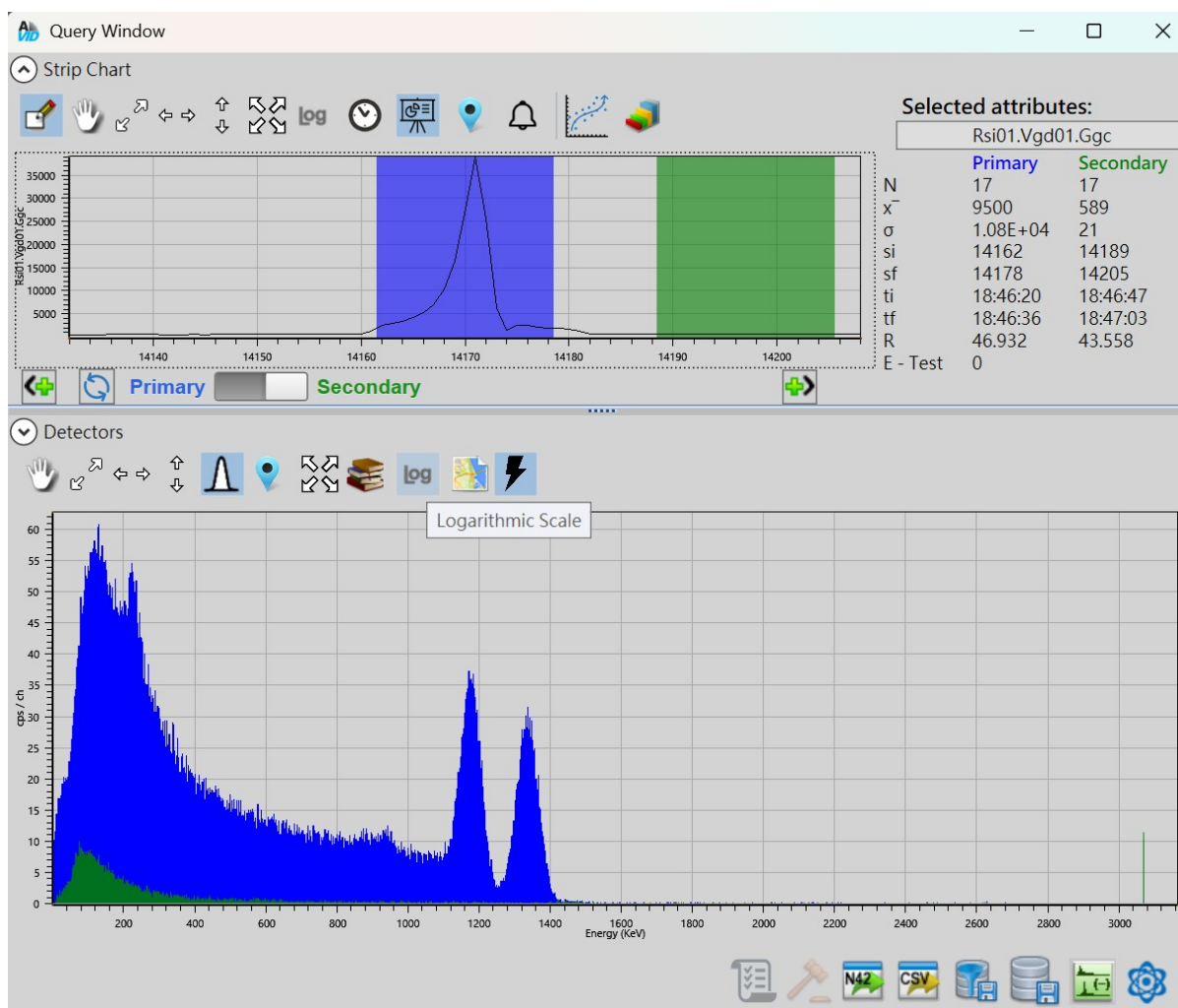


圖 10：在帶狀圖 (Strip Chart) 中圈選感興趣的能峰

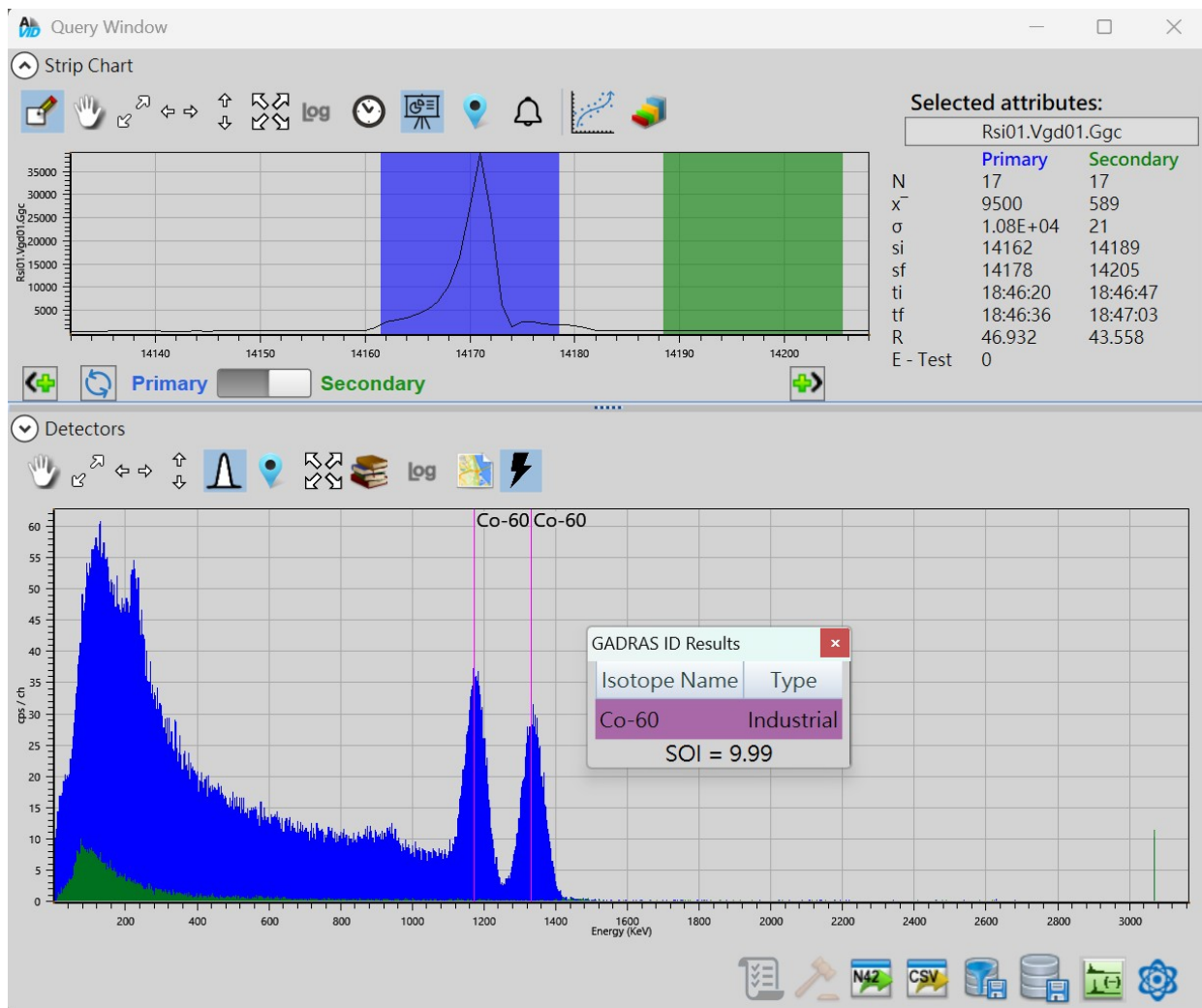


圖 11：呼叫查詢視窗（Query Window）進行核種辨識

#### 四、核種（能譜）分析流程

- (一) 切換至 Primary 及 Secondary 能譜視窗圖。
- (二) 在 Primary/Secondary 中圈選感興趣的能峰（可按住 Ctrl 鍵進行多重選取或不連續選取），如圖 12及圖 13。
- (三) 將 Primary 能譜減去 Secondary 能譜，以強化偵測訊號與背景訊號之間的差異。
- (四) 分析圈選能峰所對應的核種類別，善用查詢視窗（Query Window）可提供核種查詢的詳細資訊，或進行不同偵檢器偵測數據間的切換。

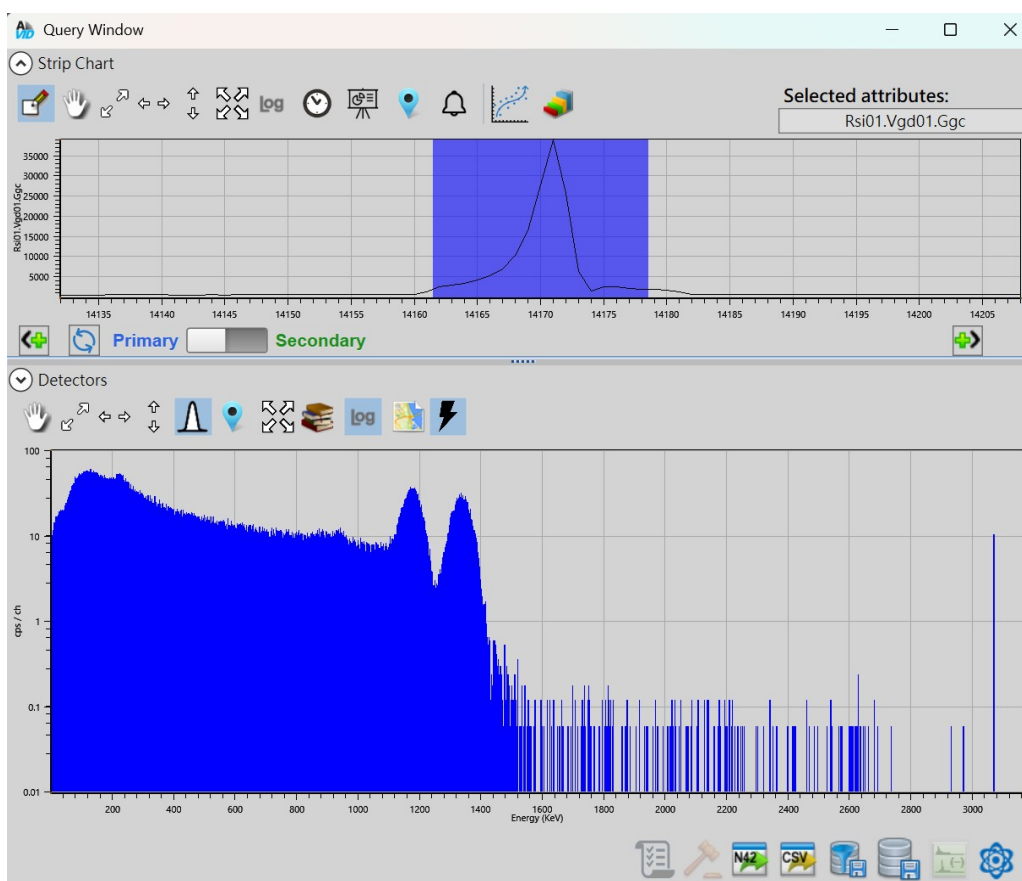


圖 12：切換至 Primary 能譜視窗圖圈選感興趣的能峰(藍色)

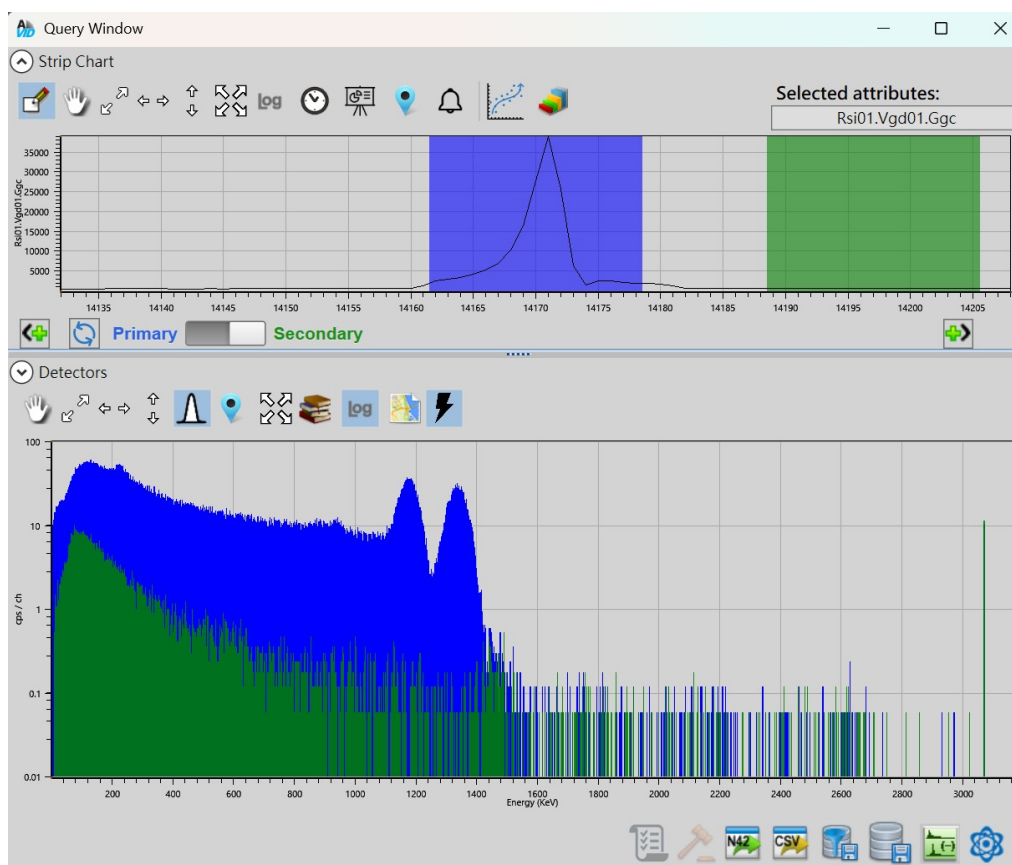


圖 13：切換至 Secondary 能譜視窗圖圈選感興趣的能峰(綠色)

## 五、數據校正功能介紹

在取得原始偵測數據後，為了更接近實際的輻射狀態，iAVID 提供多項數據校正功能，包含如下：

- (一) GPS 修正 (GPS correction)：透過內插法彌補 GPS 資料缺漏或偏移（如 GPS 飄移、空白點、重複點、錯誤點等），經修正後的 GPS 資料將自動納入地圖圖層管理。
- (二) 高度修正 (Altitude correction)：將空中偵測時的計數率轉換為地面參考值。若偵測的飛行載具（如直升機）未配備高度計，則可透過 GPS 高度、數值地形資料、正高 (Orthometric Height) 及大地起伏 (Geoid Height) 等進行換算，得出正確的離地面高度。
- (三) 衰減修正 (Decay correction)：與核種的半衰期或空氣衰減係數校正相關，可修正因時間或飛行高度對地面所造成的輻射衰減。

## 六、空間內插 (Spatial Interpolation)

為了從點的資料產生面狀的分布圖，iAVID 支援空間內插分析，流程如下：

- (一) 在「Calculations」欄中選取「Spatial」。
- (二) 使用如高斯分析法 (Gaussian) 或反距離加權法 (Inverse-Distance Weighted, IDW) 等演算法進行模擬計算。
- (三) 設定可調之參數，例如「GPS 偏移因子」建議值為 0.5 或 0.75，可用於消除偵測路徑間距過大所造成的偏移誤差，如圖 14。
- (四) 完成空間內插後，結果以 GeoTIFF 格式匯出，並自動新增至地圖圖層中，使用者可透過圖層點選比較不同演算法與參數設定的結果。



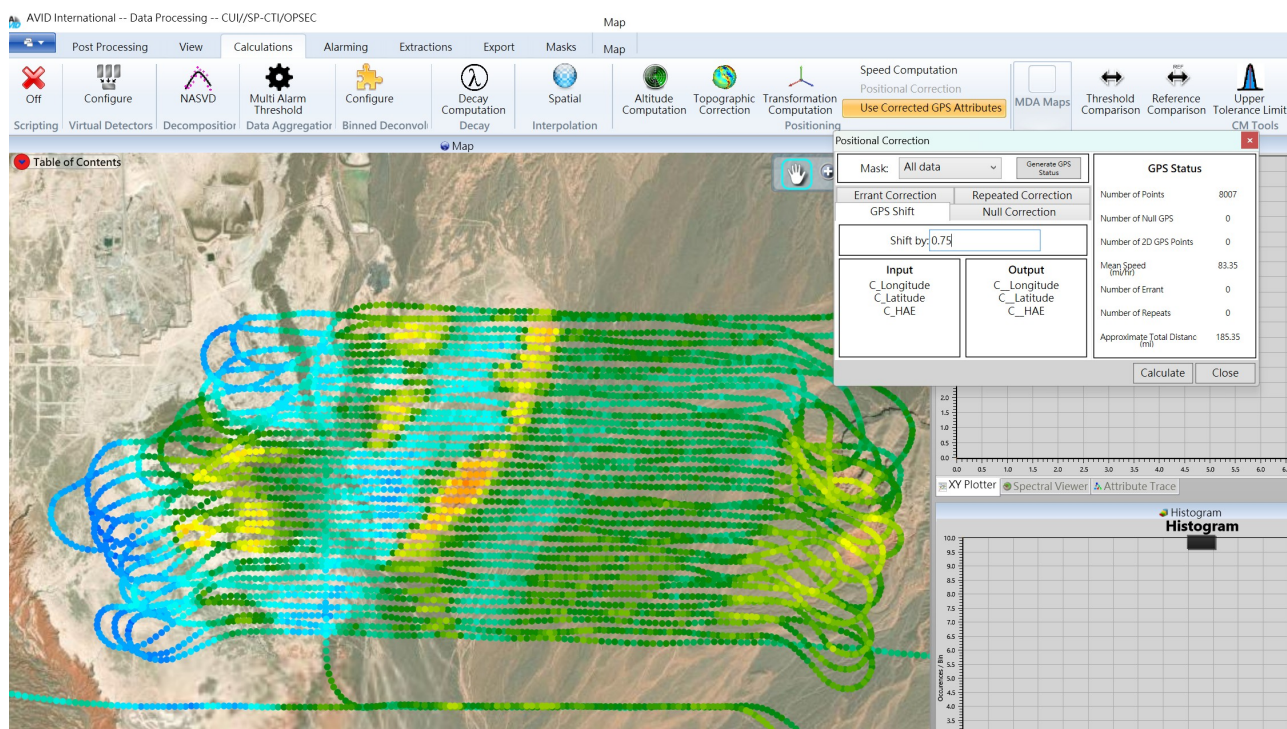


圖 14：設定適當的 GPS 偏移因子可消除因偵測路徑間距過大所造成的偏移誤差

## 七、偵測結果製圖與展示

為了將輻射偵測結果以直觀方式呈現，iAVID 提供完整的製圖及報告輸出模組。使用者可透過內建的樣板選擇適合的版型，樣板中的文字、單位、圖示、圖例說明等皆可依使用者需求來進行編輯，圖 15 顯示為筆者正在編輯的過程。說明欄位允許描述參數（如劑量率差異、圖層顏色區塊代表的意義等）。編輯確認後，報告可匯出為 PDF 檔，並將偵測資訊以圖像化方式呈現，方便應變主管決策者快速理解。

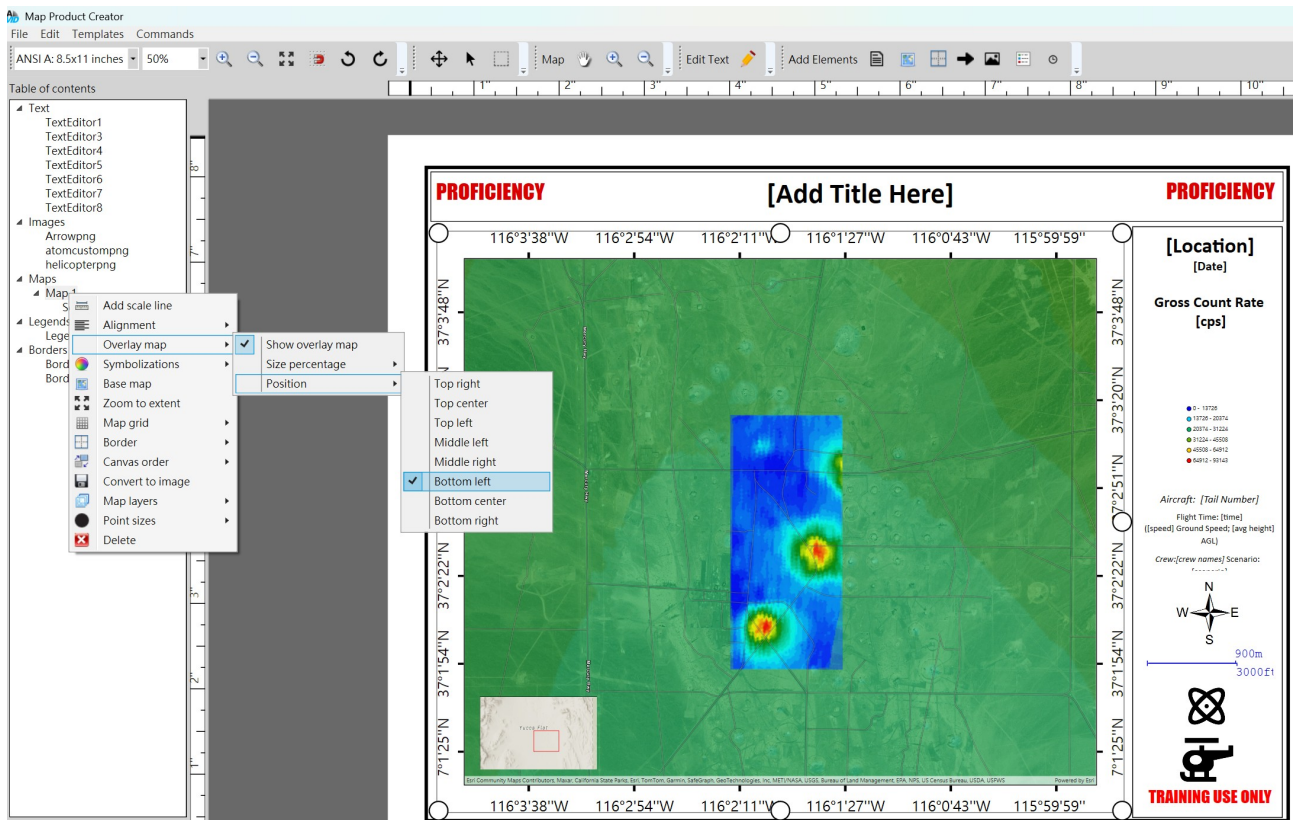


圖 15：iAVID 製圖及報告輸出模組之編輯頁面



## 2025-09-24\_iAVID 進階訓練第三天－能譜擷取與定量偵測

訓練目標：分析輻射能譜的時間序列偵測數據，以推導並繪製環境中的輻射劑量分布圖。

### 一、從能譜推估劑量率（Dose Rate from Spectra）

地面式行動輻射偵測系統可在短時間內取得大量能譜與計數率資料，是事故初期輻射特性調查的重要工具。為協助使用者迅速從能譜推估劑量率，iAVID 提供專用的劑量率推估功能，可在資料擷取與後處理兩階段使用。本課程介紹劑量率計算的基本設定、校正流程、調查作業原則，以及後處理修正方式。

(一) 行動偵測的預設設定：iAVID 的行動偵測模式以最符合現場操作為原則，預設開啟劑量率計算與 DetScale，並套用 鉀UT-2L-NaI 校正常數，單位為  $\mu\text{R/hr}$ 。背景扣除則預設為關閉，避免在快速任務中造成不必要的誤差。現場人員可直接啟動 iAVID 進行偵測，也可依任務需求建立不同的啟動配置。

(二) 校正設定與新校正建立：預設的校正係數是以單一根碘化鈉晶體特性為基準，但不同儀器或來源條件可能造成劑量率偏差。因此 iAVID 允許使用者建立新的校正檔，並輸入  $\alpha$ （計數率至曝露率的轉換係數）、 $\beta$ （空氣的衰減係數）、 $\gamma$  三個參數。這些參數可由實驗測得，也可透過輻射遷移計算模擬而得。新的校正可立即用於擷取模式與後續資料處理，如圖 16。

(三) 劑量率計算：劑量率計算的設定介面與其他擷取（Extraction）模組一致，可在擷取或後處理階段使用。使用者選擇欲使用的校正係數後，即可由能譜計算出  $\mu\text{Sv/hr}$  劑量率，作為事故初期的快速量化資訊。

(四) 調查作業原則：事故現場調查主要分為兩種類型：

1. 截面調查（Transect Survey）：目的是穿越放射性煙羽，建立污染分布的粗略輪廓。建議作法包含：(1)從低背景區域開始，避免誤判。(2)定期以手持儀器確認計算劑量率。(3)若有放射性煙羽模擬結果，可用於規劃路線。(4)在上風向進行截面調查以確認未受污染。
2. 邊界調查（Boundary Survey）：目的是界定污染邊界或高劑量區。原則包含：(1)

熟悉既定的撤退劑量率。(2)達到預設劑量率（如 10 倍背景值）需立即回報。

(五) 後處理與校正常數更新：若資料僅包含能譜，Dose Rate 模組可快速轉換劑量率。若劑量率數據與現場量測數據不一致，可利用現場量測結果反算新的校正係數，並重新套用於資料集。流程包括：(1)建立新校正。(2)輸入新  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  值。(3)在資料表中切換校正係數（CalCoeff）。(4)啟用屬性輸出（Attribute ON）。(5)重新執行劑量率模組。(6)更新校正係數，其可用於後續的行動偵測作業，使未來資料更為準確。

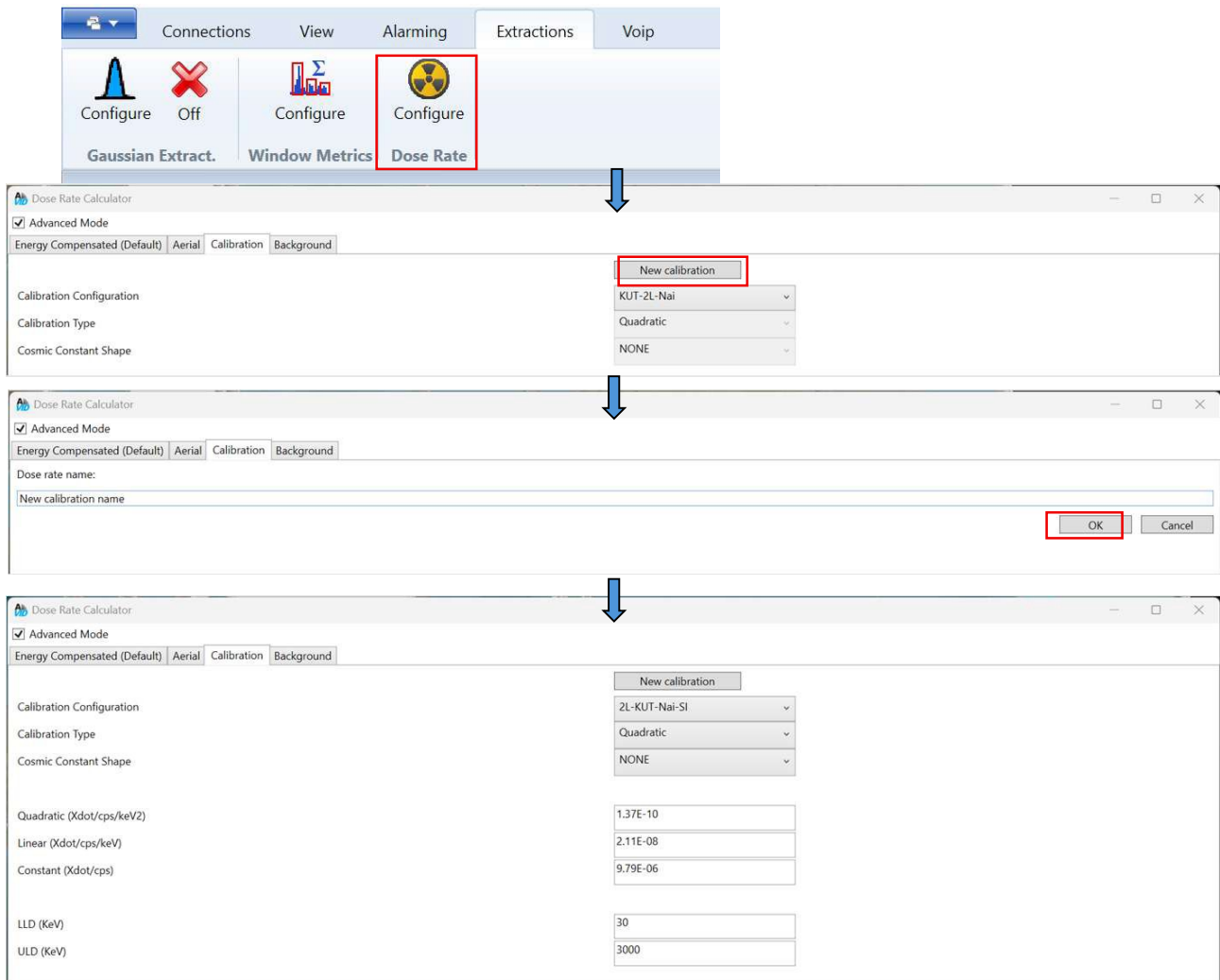


圖 16：利用擷取的劑量率模組可快速轉換能譜為劑量率

## 二、能量視窗擷取（Energy Window Extractions）

能量視窗擷取是 iAVID 中最核心的能譜分析方法之一。透過將能譜切分成不同的能量視窗（window metrics），使用者能快速取得特定能量區段的計數率，或進行背景扣除、比值分析與核種的能峰監測。

視窗擷取可用來：計算特定能量區間內（或整段能譜）的總計數（Gross counts）、測量能譜兩區段之間的比值、監測特定能峰是否出現，以及進行校正與單位轉換，其核心概念為在 ROI（Region of Interest）中定義能量範圍，並利用「擷取係數」（鉀 值）進行背景補償或量化。視窗擷取是整個能譜分析流程的基礎，能支援包括：曝露率換算、核種的能峰追蹤、背景扣除以及後端自動化模組整合等快速判識功能。透過適當設定視窗範圍與 鉀 值，使用者可有效提升資料分析的準確度與判斷效率，是現場快速輻射評估與後處理分析不可或缺的工具。

另整理三種視窗擷取方式之適用性及各自用途，說明如下：

(一) 單視窗擷取（1-Window Extraction）：

直接量測能量區段計數 → 最基本。

公式： $f = A - \text{鉀}$

僅使用一個視窗 A，用於計算某能量範圍的計數率。若 鉀=0 且能量範圍涵蓋整個偵檢器（0~3069 鉀eV），即為  $\gamma$  總計數（Gamma Gross Count）。

(二) 雙視窗擷取（2-Window Extraction）：

A 視窗扣除 B 視窗估計背景 → 適用於背景扣除。

公式： $f = A - \text{鉀} \cdot B$

利用 B 視窗估計 A 視窗中的背景貢獻，因此若為背景環境，其結果 f 應接近 0。

常用於扣除平滑背景、提升能峰辨識能力。

鉀 可設定為直方圖的平均值以達背景歸零。

(三) 三視窗擷取（3-Window Extraction）：

A 視窗扣除 B+C → 用於更精準背景估算，如圖 17。

公式： $f = A - \text{鉀} \cdot (B+C)$

使用兩個視窗（B 與 C）共同估計 A 視窗的背景，有助於提升背景補償精度，常用於能譜背景變化較大時。

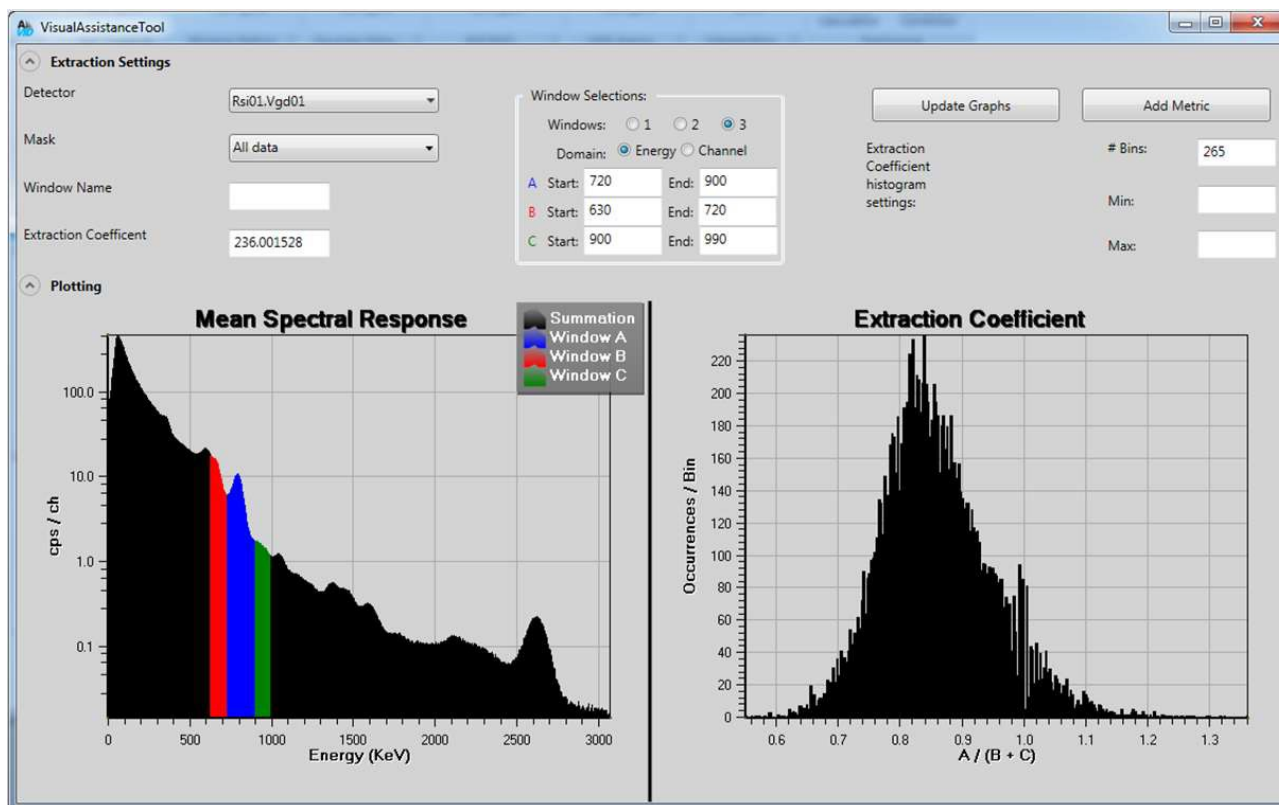


圖 17：三視窗擷取法取得特定能量區段的計數率

### 三、高斯擷取（Gaussian Extractions）

高斯擷取是一種利用高斯函數擬合特定加馬能峰的能譜分析技術，如圖 18。相較於傳統視窗擷取法，高斯擷取具有較高靈敏度，可更準確地識別能峰並量化核種訊號；然而，高斯擷取需要較佳統計品質與較高計算量能，因此通常應用在能峰明顯或統計條件足夠的情況下。

高斯擷取透過高斯曲線擬合能峰形狀，以辨識該核種是否在能譜中出現。其優勢包括：(1)能更準確估算能峰訊號、(2)對背景變化較不敏感、(3)限制為統計需求較高（需較高計數率）及(4)計算較傳統視窗擷取法耗時。

iAVID 提供高斯擷取的完整設定介面，並與視窗擷取法共享類似工作流程。使用 iAVID 的可視化輔助工具時，只需在感興趣的能峰上拖曳，即可建立擷取參數（包含能峰位置、半高全寬 FWHM、背景區域等）。

高斯擷取可在兩種模式中使用：一為即時擷取（Acquisition）模式，如車載輻射偵測搜索

任務或空中輻射偵測搜索任務，可即時監測全能峰（光電峰）是否出現；二為數據後處理（Post-processing）模式：適用於完整能譜分析與核種量化。總之，高斯擷取可作為能譜分析的高精度方法，特別適用於需要確認核種的存在與執行量化的任務。

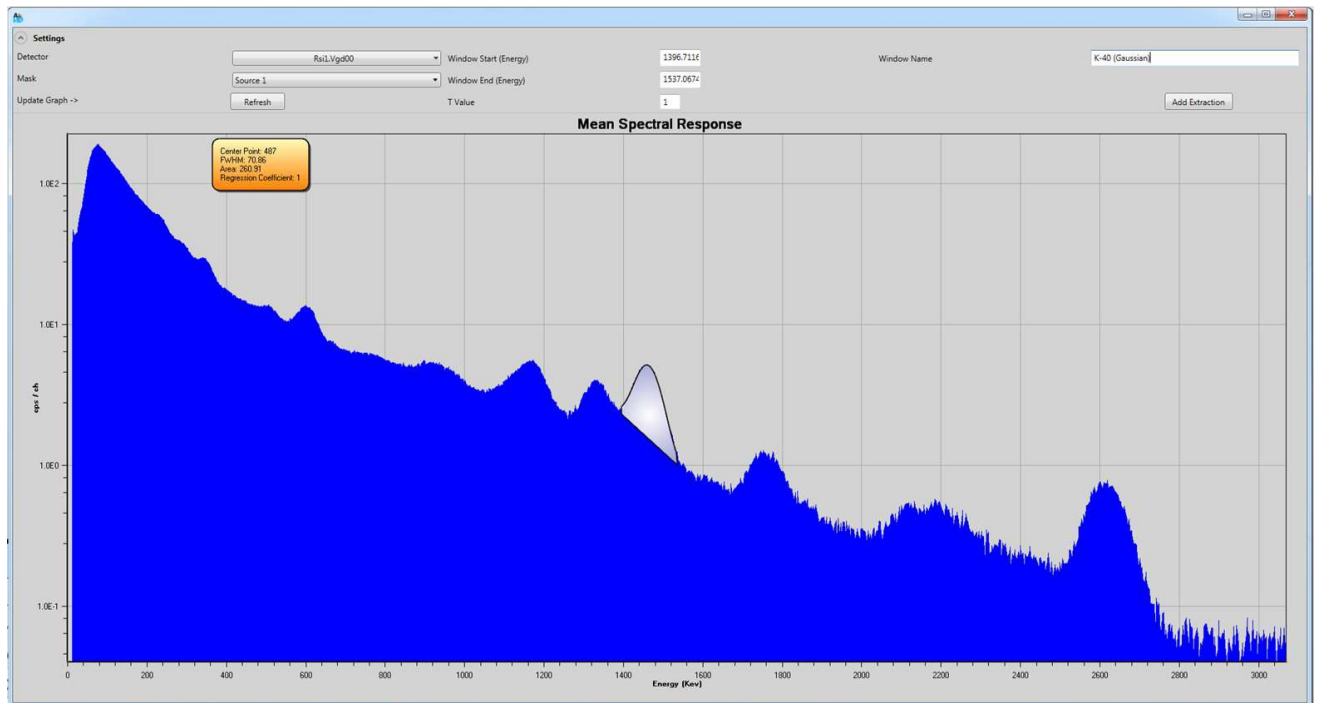


圖 18：高斯擷取法視窗

#### 四、鉀、鈾、釷擷取（鉀, U, T Extractions）

在空中或車載式輻射偵測任務中，天然放射性物質（NORM）會形成明顯背景輻射，因此常需估算鉀（鉀）、鈾（U）、釷（Th）三種地表輻射來源核種的濃度，以提供地表輻射分布與地質資訊。iAVID 提供兩種主要方式取得鉀、鈾、釷的結果：

- （一）高斯擷取（Gaussian Extraction）：以高斯擬合能峰，直接量化核種訊號，優點包含：  
不需純背景能譜即可使用、峰值位置與 FWHM 可自動調整，惟僅適用於能峰清楚的資料集；若遇核種的能峰有所重疊（如 Bi-214 與 Cs-137），則誤差可能會增加。
- （二）IAEA 視窗法：根據 IAEA TECDOC 1363 報告，將鉀、鈾、釷三個核種分別定義能量視窗，並利用三個視窗的計數與敏感度矩陣（3x3 Matrix）求解其核種濃度，如圖 19。其輸出可包括：%鉀、鈾 ppm、釷 ppm、全能峰計數、輻射曝露量。此方法兼具穩定性與可比較性，是空中輻射偵測的主流技術。

IAEA 模組提供高度修正、背景扣除與敏感度矩陣修正之功能：

- (一) 高度修正 (Altitude Correction)：亦可選擇不修正、使用固定高度、或使用高度計欄位。若無高度資料，可用 GPS HAE 計算距地高(GPSAGL)。
- (二) 背景修正 (Background Correction)：以視窗計數方式定義背景，使用計數對計數靈敏度分析矩陣 (counts-to-counts sensitivity matrix) 扣除背景後再求解。
- (三) 系統參數與縮放：預設支援 Bell 412 直升機系統。若偵檢器數量不同，可配合碘化鈉晶體數進行縮放，亦可進行指數的地面投影 (exponential ground projection)。

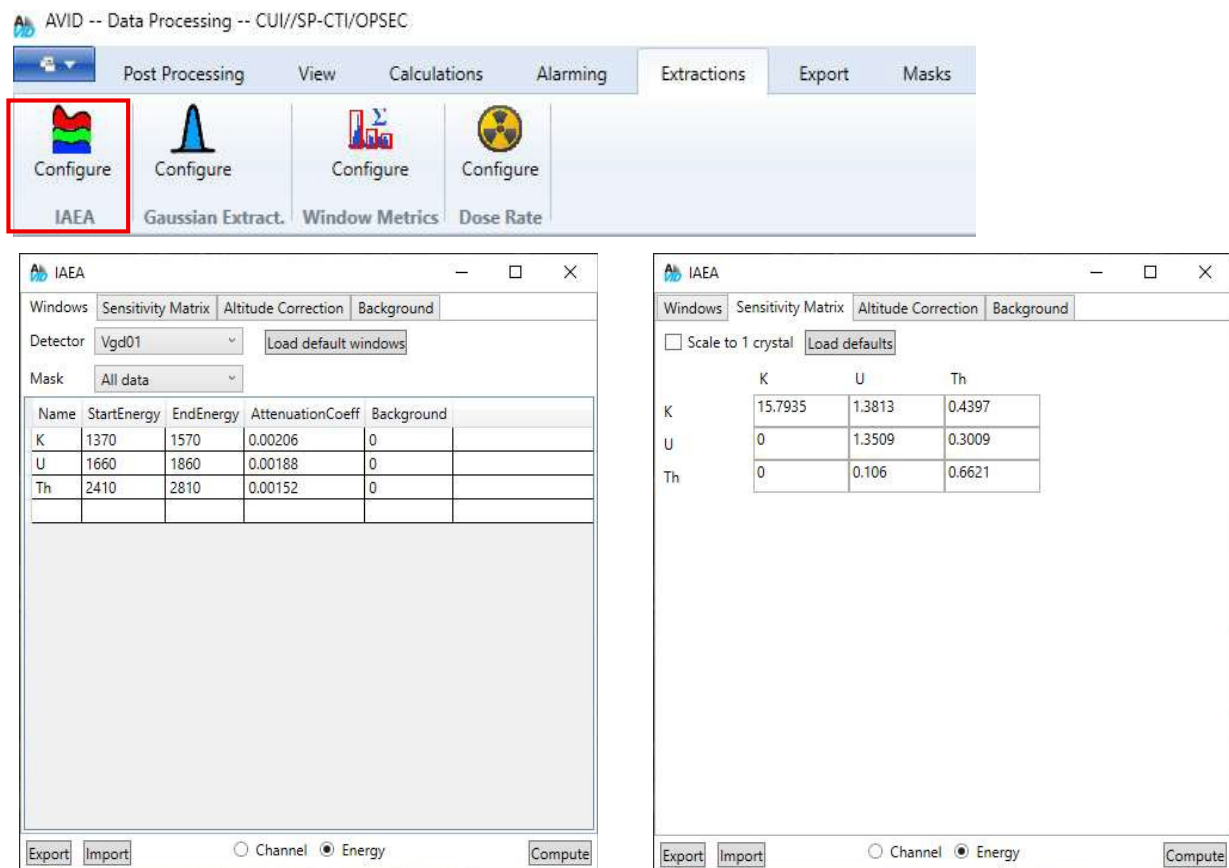


圖 19：IAEA 視窗法之鉀、鈾、釷擷取

在實務任務中，建議可依據能譜品質與任務需求，選擇以下策略：

- (一) 核種的能峰明顯 → 使用高斯擷取（精確度高）
- (二) 任務需與 IAEA 資料比對 → 使用 IAEA 視窗法（標準化方法）
- (三) 資料需快速計算 → 採用 IAEA 視窗法會較快

透過高斯擷取與 IAEA 視窗法的整合，即可建構完整的地表自然輻射分布圖，支援空中輻射偵測、機動式輻射偵測、水文與地質調查等跨域應用。

## 五、靈敏度評估及降雜訊 (Sensitivity Assessment & Denoising)

在加馬能譜量測中 (尤其是 NaI 偵檢器)，能譜資料常受到卜瓦松 (Poisson) 雜訊影響。特別是 1 秒量測下，由於計數偏低，雜訊會主導整體能譜，導致較弱的訊號難以被辨識，使同位素擷取靈敏度下降。為提升能譜品質，該課程介紹 iAVID 中的 NASVD (Noise-Adjusted Singular Value Decomposition) 降雜訊技術，講師並示範其對同位素擷取與靈敏度評估的影響。

NASVD 是一種具「雜訊辨識能力」的主成分分析 (PCA) 方法，專為能譜資料設計。其核心想法為：將能譜時間序列矩陣分解為特徵向量與特徵值、挑選代表主要能譜形狀的成分並捨棄雜訊相關的成分、於重建平滑且保留真實特徵的能譜下同時計數率不變。若使用者保留太多成分，則降雜訊的效果就有限；若保留太少成分，可能導致能峰被過度平滑。因此，合理選擇 4~6 個成分會是常見的做法。此外，不同環境界面 (如陸地與海洋交界) 應各自處理，以避免能譜形狀混雜而造成假影。

iAVID 中的 NASVD 操作流程整理如下：

- (一) 在 Calculation 分頁選擇 NASVD。
- (二) 選擇偵檢器 → 點選 Decompose。
- (三) 選擇欲保留的特徵向量數量 (針對 NORM 建議小於 6)。
- (四) 命名新的偵檢器 → 點選 Reconstruct。
- (五) 若採進階模式，亦可依「解釋變異量」選取主成分，並利用手動分群避免產生假影。
- (六) 上述程序完成後，iAVID 會自動生成一個新的「NASVD 虛擬偵檢器」，提供更平滑的能譜，以利用於後續的分析，如圖 20。



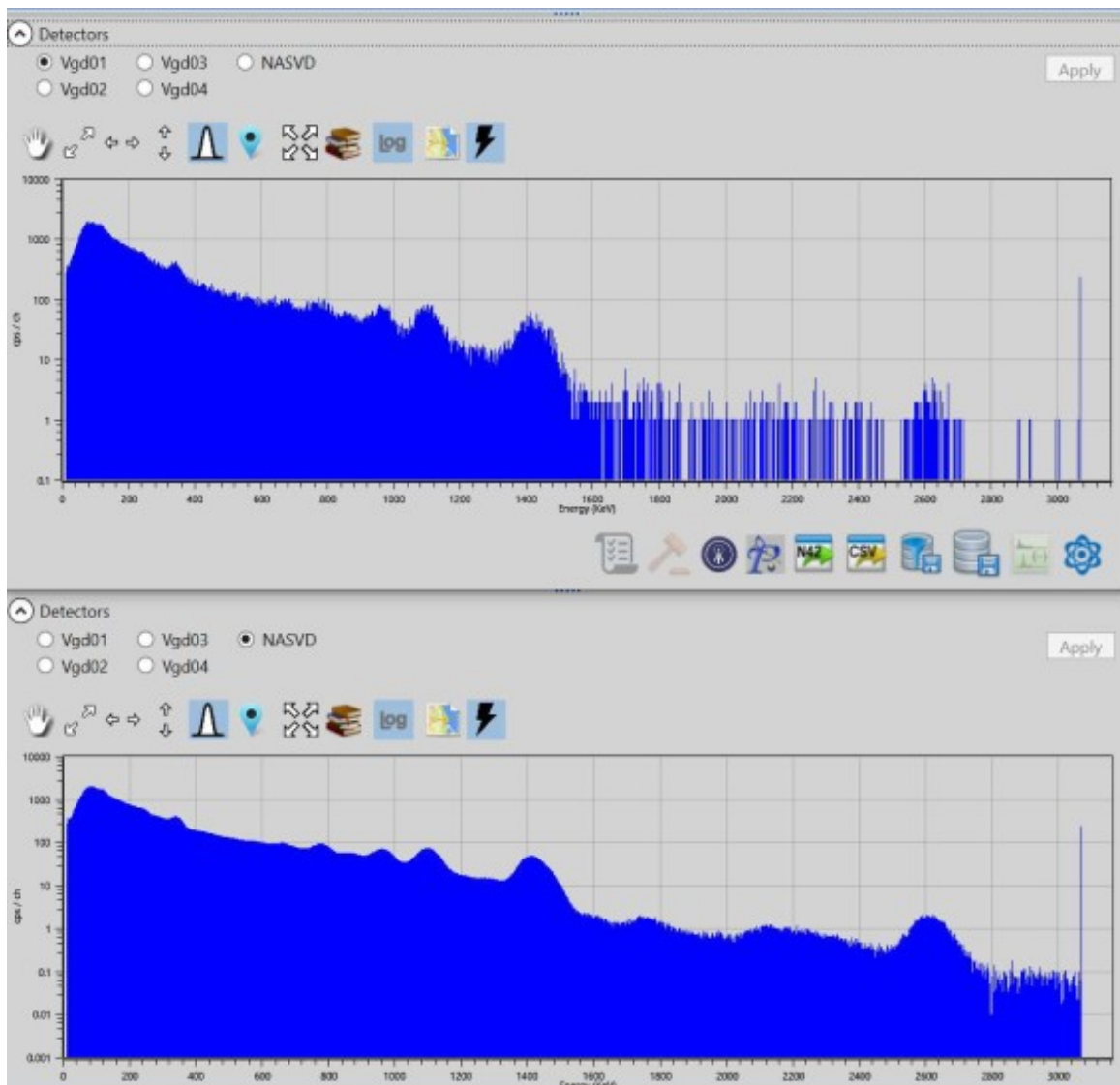


圖 20：NASVD 降雜訊後取得平滑且保留真實特徵的能譜

## 六、綜合實作（Capstone）：日本福島核事故空中偵測數據處理與分析

本課程的講師以美國曾在日本福島核事故後，於日本上空以三架特殊直升機所收集的空中輻射偵測數據為核心，示範從原始數據處理到輻射分布詮釋的完整流程。首先，課程介紹直升機量測數據的前處理方法，包括依指定區域建立新的 DEM（數值高程模型）並控制輸入的數據量。由於數據資料集通常十分龐大，若直接使用高解析度影像容易導致處理失敗，因此需先精簡資料並依地理區域重新設定；此階段也涉及同位素混合物的複雜性，使 DEM 建置與背景處理更加具挑戰性。

在能譜分析部分，課程著重說明銫同位素（尤其是 銫-134）的特性。直升機在 300 至 400 公尺高空飛行時，每秒能取得的計數率資料十分有限，且受到大氣與機體背景的干擾，因此



需要進行額外的平衡處理；特別是在 662 鉀eV 附近，銫-134（605 鉀eV）與銫-137（662 鉀eV）的能峰重疊，難以以高斯模型乾淨擬合；為避免能譜混雜，課程建議改以 796 鉀eV 處的銫-134 能峰進行分析，此能峰受背景的干擾較小，較適合作為後續同位素擷取的主要能峰。

為提升資料穩定性，課程介紹了使用七秒平衡（ $T=7$ ）的方法，以處理能譜的不一致性與雜訊。流程包括計算權重、比較不同高度的權重差異、再進行視覺化呈現。同時也展示 2D 空間平滑化技術，特別適用於長度達數公里的飛行線段，以改善資料連續性。在 GPS 訊號缺失或於水域地帶時，資料需進行手動修正與重新輸出，以確保後續數據分析的準確性。

GPS 與高度校正是空中偵測的另一個關鍵議題。課程指出，GPS 時間與實際執行任務時間之間存在系統性的時間差，一般約為實際執行任務時間的一半，加上直升機速度造成的位置偏移。例如直升機在偵檢期間移動 120 公尺，實際位置偏差約 60 公尺，通常仍在可接受的範圍內。然而，若地形起伏劇烈，如在山頂量測但 GPS 標示位置在 200 公尺外，則高度校正反而會造成更大錯誤，因此不宜貿然套用高度校正。是否需要進行校正有賴專業判斷，且必須視儀器解析度與地形條件而定。

課程進一步示範多項實際操作參數，包含高斯擬合的能窗設定等，並實務分析日本福島核事故銫-134 與碘-131 分裂產物的外釋沉積量，整理操作流程如下：

- (一) 匯入資料：NNSA\_Japan\_Merged.rsv。
- (二) 逐趟檢視飛行範圍與背景。
- (三) 使用 DEM 計算 AGL。
- (四) 將 GPS 時間偏移 0.5 秒。
- (五) 建立每趟飛行的線段與背景 mas鉀。
- (六) 建立銫-134（796 鉀eV）Gaussian extraction（ $T = 7$ ）。
- (七) 求得背景值並加入 f0 校正。
- (八) 使用下列係數將計數率 cps 轉成地表沉積量：  
銫-134 的  $\alpha = 2.37$  鉀Bq/m<sup>2</sup>、 $\beta = 0.0119$  m<sup>-1</sup>  
碘-131 的  $\alpha = 5.05$  鉀Bq/m<sup>2</sup>、 $\beta = 0.0151$  m<sup>-1</sup>
- (九) 對每趟飛行線執行 NASVD 能譜降雜訊。
- (十) 使用 NASVD 偵檢器重新計算 銫-134 或 碘-131 的擷取結果。

(十一) 比較 NASVD 前後的差異（含 histogram）。

(十二) 進行內插並製作沉積量地圖，如圖 21。

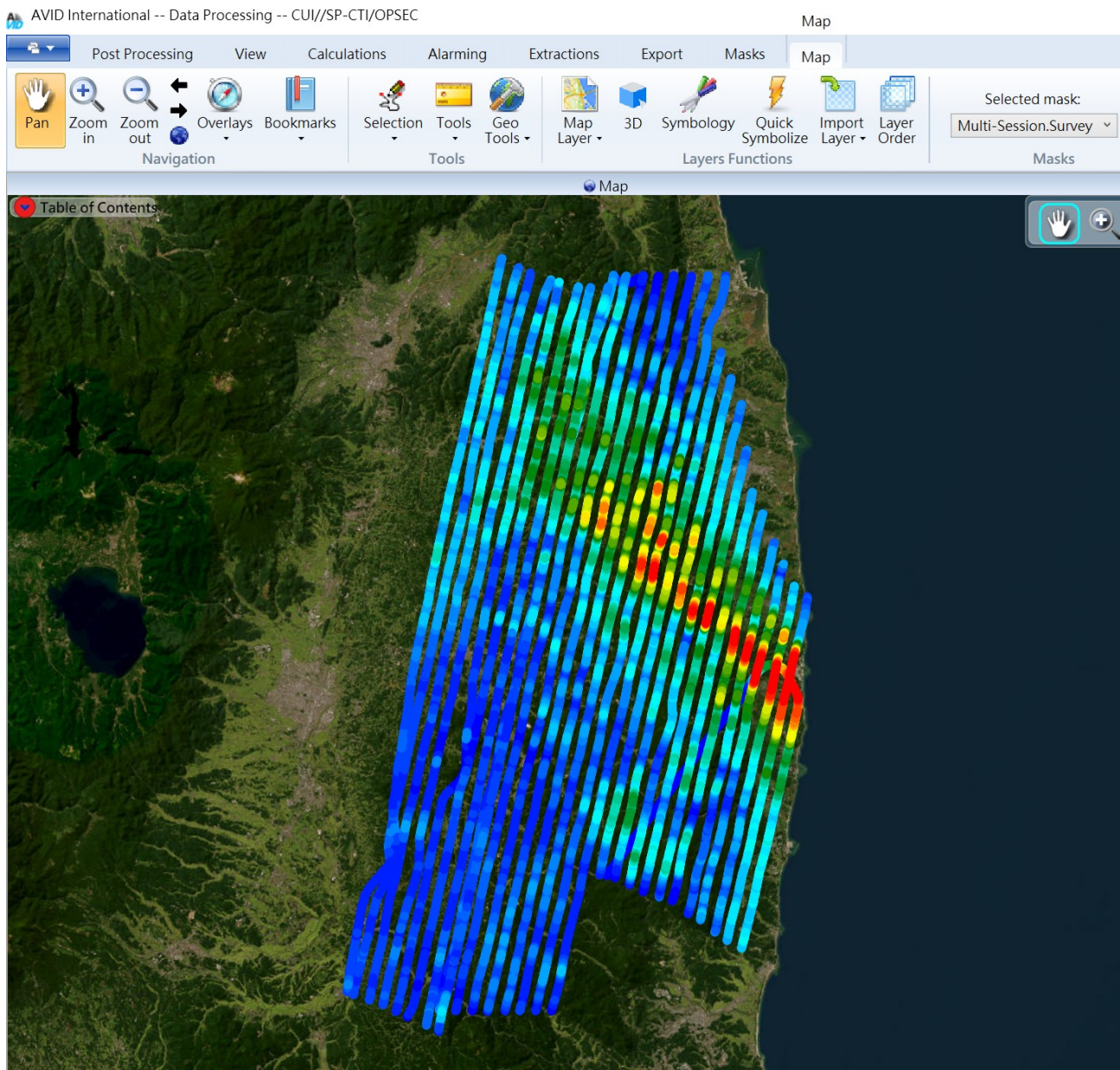


圖 21：日本福島核事故空中輻射偵測數據處理

2025-09-25\_iAVID 進階訓練第四天—定量偵測之校正

訓練目標：理解機動輻射能譜儀的校正程序，並使用iAVID軟體協助推導將原始能譜轉換為定量結果所需的校正參數。

## 一、從差分量測進行校正（Calibration from Differential Measurement）

本課程說明差分量測校正從計數率到曝露率的轉換流程，在輻射緊急應變與地球物理量測中，閃爍偵檢器所記錄的計數率（cps）並不具備直接解讀的物理意義，因此必須將其轉換為曝露率或活度濃度。本課程介紹如何利用位於科羅拉多州大章克申（Grand Junction）的大型校正平台，建立計數率至曝露率的轉換係數（ $\alpha$  coefficient）。

Grand Junction 的校正平台是一個標準化場址，每個平台都含有已知濃度的天然放射性物質（NORM），提供精準校正鉀、鈾、釷（鉀UT）系統的環境，如圖 22。參訓學員可利用 GJPads.ers 檔案進行示範操作，從資料擷取到校正流程做完整練習。

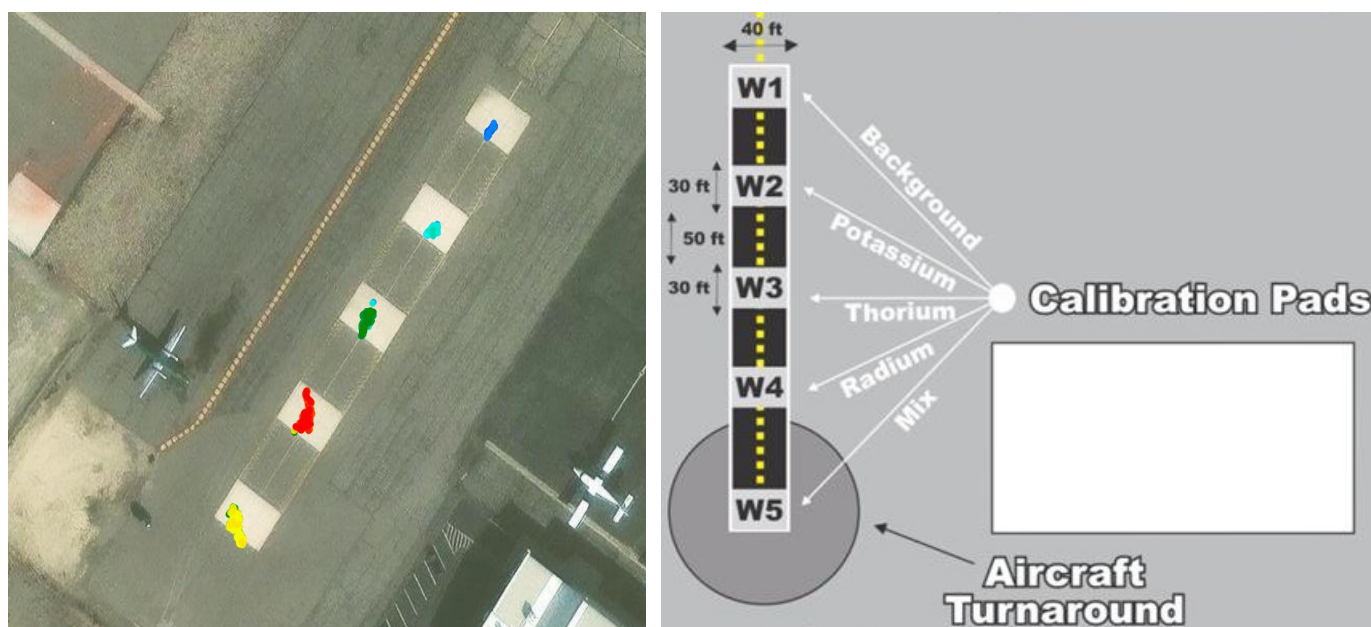


圖 22：科羅拉多州大章克申（Grand Junction）的大型校正平台

校正流程的第一步，是使用能量視窗（24 ~ 3066 鉀eV）擷取代表性的計數，以排除遠場貢獻與低能量的干擾。若資料是在飛行中取得，則視窗計數須投影至地面。接著，以每一個校正平台為單位建立遮罩（Mas鉀），並記錄各平台的平均視窗計數值。

取得這些基礎資料後，可在 iAVID 外利用 Python、MATLAB 或 Excel 進行最小平方法（least squares）的擬合，以求得將 cps 轉換為曝露率的  $\alpha$  係數。講師示範的範例中，系統的整體  $\alpha$  約為每 cps 對應 0.00028  $\mu$  R/hr，而若假設只有單一偵檢器，則  $\alpha$  約為每 cps 對應 0.005  $\mu$  R/hr。

另一方面，也可使用 iAVID 的擷取校正工具（Extraction Calibration Tool）完成相同的工



作，如圖 23。使用者需分別輸入 Raw Measurement 與 Calibration Measurement，並確保兩者的 ID 可互相對應。若採用差分量測法進行背景排除（background stripping），則兩組資料都必須同步設定背景項。完成設定後，工具會自動運算並生成包含新  $\alpha$  值的設定檔，可供後續資料重新處理或未來量測使用。

透過這套流程，偵檢器的計數率即可轉換為具有物理意義的曝露率或活度濃度，為實際輻射監測或緊急應變提供可靠的基礎。

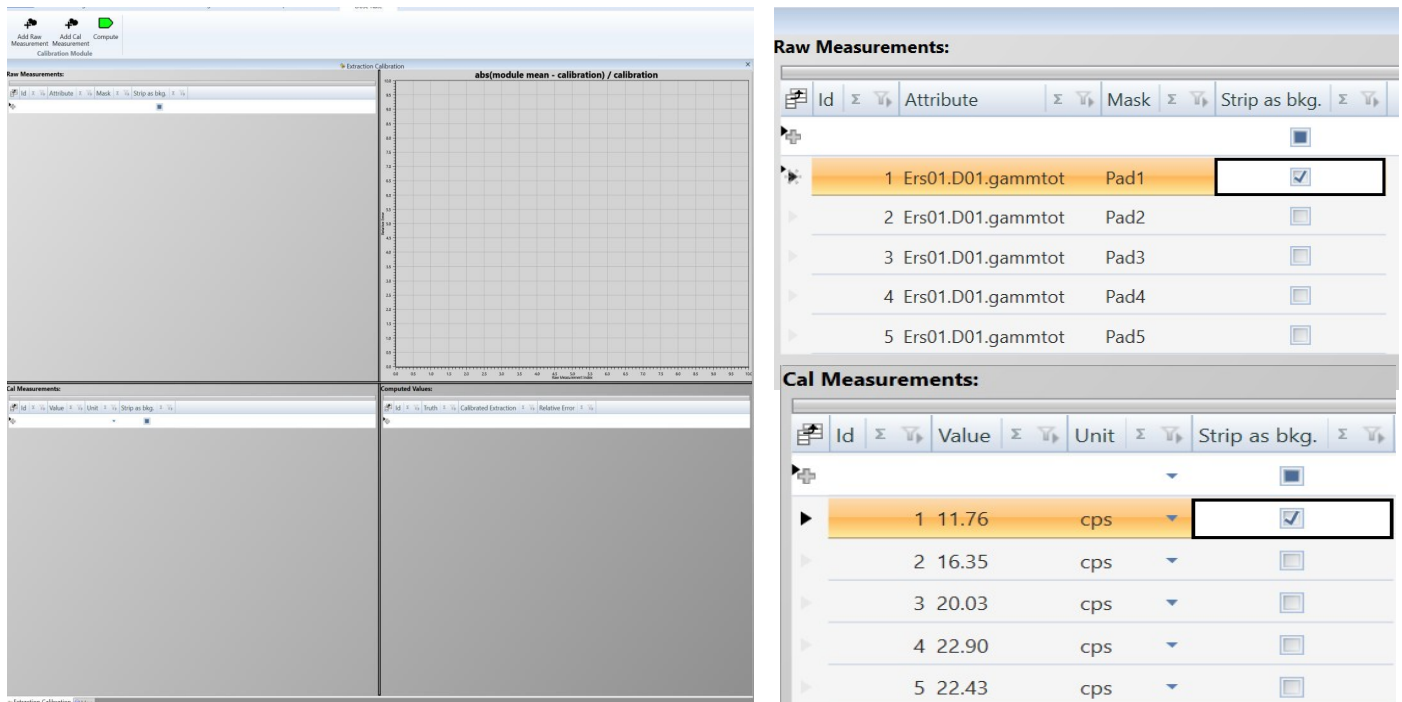


圖 23：擷取校正工具以差分量測方式求出  $\alpha$  值

## 二、空中螺旋校正（Aerial Spiral Calibration）

本課程說明空中螺旋校正由空中輻射量測推估地面輻射資訊的完整流程，空中輻射調查具備快速、全面覆蓋的優勢，但偵檢器在不同高度所量到的計數率強度皆會受空氣衰減與幾何效應影響，因此必須進行校正，才能將空中偵測數據準確投影至地面上，提供公共衛生與安全判斷所需的可靠資訊。以下介紹空中螺旋校正的原理與完整操作流程：

空中螺旋校正的核心在於建立兩項關鍵係數：

(一)空氣衰減係數  $\beta$ ：描述輻射訊號隨高度衰減的程度，用於飛行高度校正。

(二)計數率至曝露率轉換係數  $\alpha$ ：將淨計數率換算為曝露率、地表沉積量等物理量。

為取得穩定校正結果，需要在平坦且地質均一的區域進行飛行，並最好鄰近湖泊或寬河，以利用水面航段作為背景扣除。空中螺旋飛行需在至少三個高度下執行，並包含高於及低於預計調查高度的航段。所有飛行應盡量在相近時間內完成，避免氬氣造成的背景變化。

資料處理時，首先利用能量視窗（24 ~ 3066 鉀eV）擷取代表性的計數，排除低能與遠場效應；接著需建立陸線 land 與水線 water 的遮罩（Mas鉀），以便進行背景扣除，取得陸域的淨計數率；再以 iAVID 的 Aerial Calibration 模組，指定 land 為前景、water 為背景，求得空氣的衰減係數  $\beta$ ，如圖 24。

若額外具備校正線（calibration line）的地面實測曝露率或沉積量，即可結合淨計數率求得計數率至曝露率轉換係數  $\alpha$ ，此係數未來可用於將任意空中偵測結果轉換為地面的物理量（如曝露率）。

透過上述步驟，空中偵測資料即可進行高度校正、背景扣除與曝露率轉換，可廣泛應用於輻射污染監測、事故後調查、或自然背景分析，是測繪空中輻射偵測地圖的重要基礎。

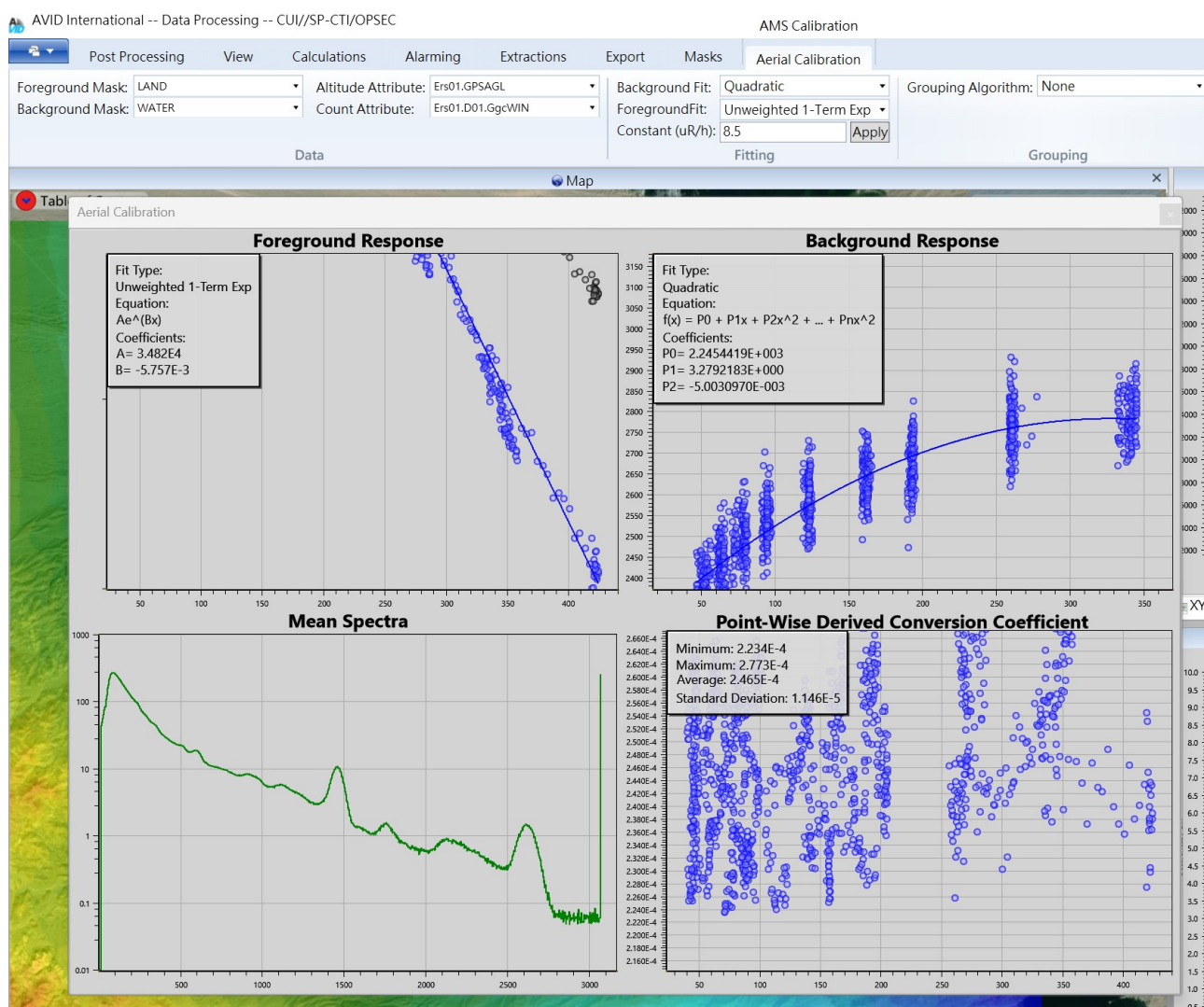


圖 24：使用 Aerial Calibration 模組求得空氣的衰減係數  $\beta$  值

### 三、系統交叉校正（System Cross Calibration）

在實際輻射監測作業中，完整的儀器校正往往耗時、繁瑣，且並非在所有情境下都能進行。因此，在多系統、多平台共同作業時，如何使不同系統的量測結果在空間分布上與量測值上具有一致性，便成為資料品質管理中的重要課題，系統交叉校正即是為了解決此問題。

不同系統因偵檢器類型、靈敏度、背景補償、飛行或車載平台等差異，所產生的量測結果往往不具一致性。若直接將這些資料整合，容易造成地圖呈現錯誤、輻射強度誤判等問題。因此，必須透過交叉校正來：快速判斷不同系統間的差異程度、修正靈敏度差異（斜率）與訊號偏移（截距）、使最終生成的地表輻射地圖具備一致性與可比較性。此方法不需兩儀器同時量測同一地點，而是可以透過數據後處理分析達到一致化，因此更具實務可行性。

此法並可延伸應用於特定核種的分析，如可用於核種特徵能窗（鉀-40、U-238、Th-232）之交叉校正，進而提升地表核種濃度估算的一致性。整理系統交叉校正的執行流程如下：

- (一) 使用兩套系統進行獨立調查：兩套系統完成各自的輻射偵測後，使用 iAVID 將原始數據轉換為地表輻射格柵（raster）值。
- (二) 建立覆蓋調查範圍的 鉀ML 檔案並進行點抽樣：利用 SessionGenerator 在該區域內隨機產生大量（如 1,000 個）抽樣點，以確保統計的代表性。
- (三) 使用 Surface Spot Tool 查詢格柵（raster）值：對每個抽樣點查詢兩系統的格柵值，形成配對資料，例如：系統 1 → GCD1、系統 2 → GCD2，重複此步驟以涵蓋所有系統（D1 至 D4）。
- (四) 使用 XY Plotter 進行系統間比較：在 XY Plotter 中繪製不同系統(如 GCD4 vs GCD1) 的散佈圖並進行線性擬合，斜率（slope）表示靈敏度相對比例，截距（offset）表示背景或零點偏移， $R^2$  表示兩系統的一致性程度。藉由比較不同偵檢器（如 D1、D2、D3、D4），可進一步了解每台系統的行為差異，如圖 25。
- (五) 根據結果進行忽略、修正或一致化：若兩系統高度一致，可直接整併；若存在零點偏移，則可進行線性校正，使其落在共同的尺度上。

系統交叉校正提供一種實務可行、快速且具統計學基礎的方法，能在不進行完整儀器校正的情況下，透過後處理分析達成不同系統間資料的一致性，特別適用於空中、車載或地面多機組同時作業的環境。藉由格柵（raster）值比對、隨機採樣及迴歸分析，可有效辨識靈敏度差異與偏移量，提升輻射調查資料的可靠性與整合性。

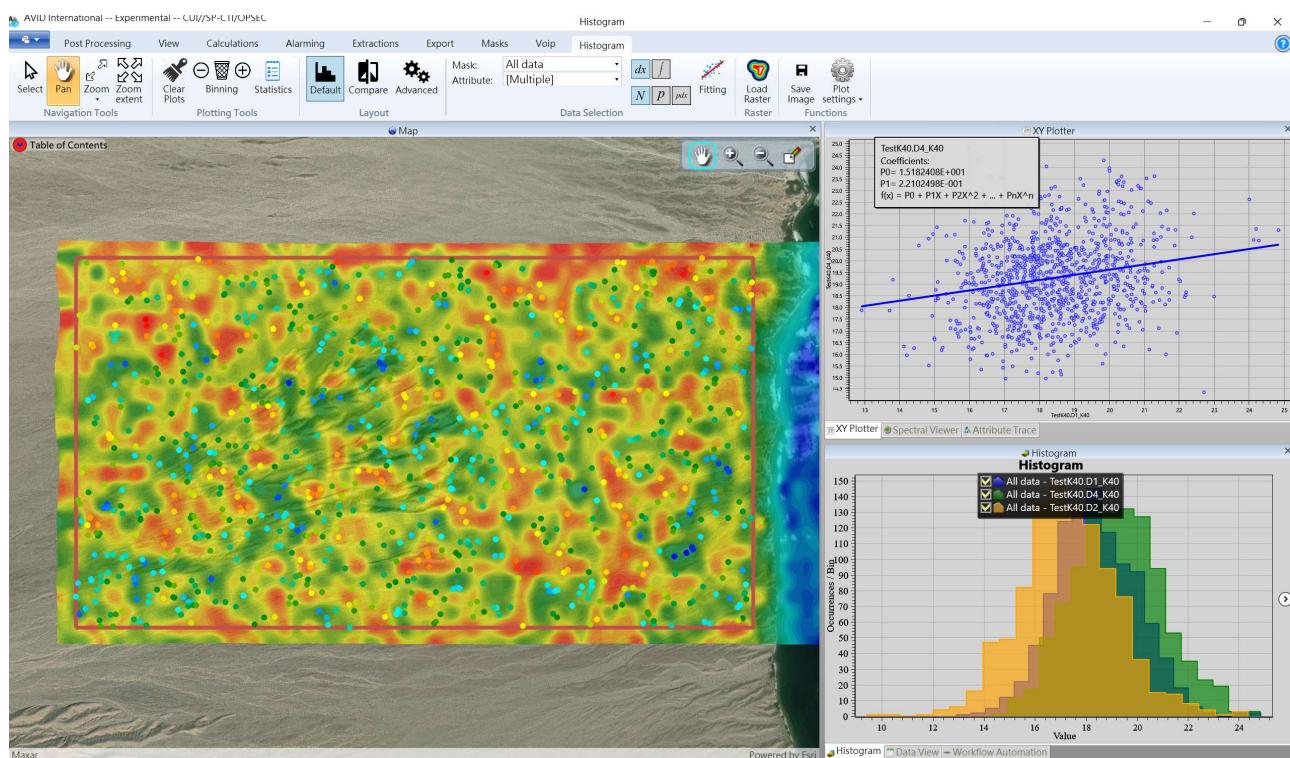


圖 25：利用 XY Plotter 繪製散布圖進行線性擬合

#### 四、以理論模型進行校正（Calibration From Theoretical Models）

在輻射應變與快速調查作業中，完整的實證校正往往因時間、器材或環境限制而無法進行。因此，必須以理論模型快速推估校正參數，使量測結果具備物理意義並可用於決策判斷。本課程介紹理論式校正的基本概念與計算方式，協助使用者理解校正數值的由來。

(一) 理論校正的目的：理論模型的目標，是在缺乏實際量測校正的情況下，利用物理參數（例如衰減係數、光子能量、偵檢器效率）推估：偵檢器對某核種的全能峰靈敏度（cps per 鉀Bq/m<sup>2</sup>）、空氣衰減係數（ $\beta$ ）、每秒的計數率（cps）與地表污染量（鉀Bq/m<sup>2</sup>）轉換係數，即靈敏度的倒數（1/Sens），這些數值可用於緊急應變、初步場址分析與快速輻射分布判讀。

(二) 理論校正基於「平面射源模型」：假設地面存在均勻輻射污染，光子以半空間向上傳遞至偵檢器，如圖 26。平面射源模型包含以下物理量：

1. 光子產率（Y, photons/Bq）：來自核種衰變的光子產率。能量越高，穿透力越強。
2. 空氣總線性衰減係數（ $\mu$ ）：描述光子在空氣中因散射、吸收而衰減的程度。
3. 非碰撞半空間傳遞（Uncollided Half-Space Propagation）：計算光子從地面傳至指



定高度（如 100 m 飛行高度）的機率。

4. 偵檢器效率（ $\eta$ ）：偵檢器在指定能量下對光子的響應比例。

(三) 全能峰靈敏度的推估：

綜合前述參數，即可推估理論靈敏度（Sens）： $Sens = f(Y, \mu, \eta, H)$

並可進一步得到：

$1/Sens$ （地表污染量轉換係數）：將 cps 轉為 鉀Bq/m<sup>2</sup>。

$\beta$ （空氣衰減係數）：單位為 1/m，用於繪製空中偵測校正曲線。

依據美方講師授課的理論模型，使用 Python 程式語言完成銻-134、銻-137、鈷-60、鉅-241、碘-131等關注核種之靈敏度（Sensitivity）與空氣衰減係數（ $\beta$ ）計算，如附件三。

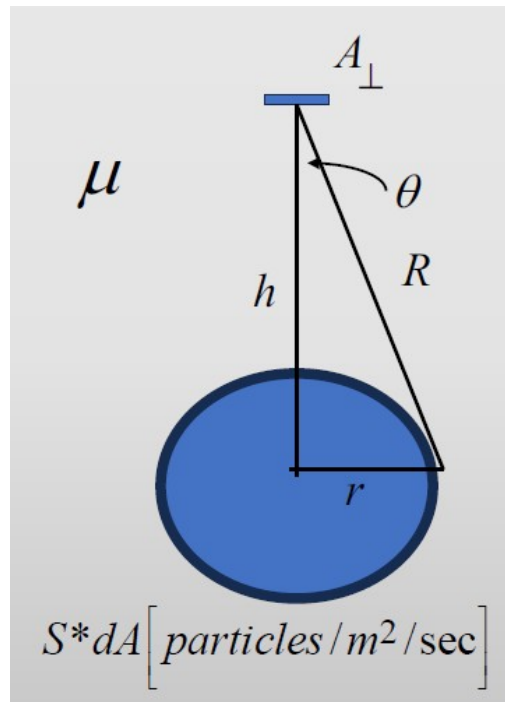


圖 26：空中偵測理論校正假設的平面射源模型

## 五、輔助校正因子（Auxiliary Correction Factors）

在真實環境的輻射量測中，資料往往會受到地形、時間變化及特定運算需求等因素影響。因此，除了基本校正外，iAVID 也提供一系列輔助性的校正工具，使使用者能針對特殊情況進行更精準的資料處理。以下針對三項主要功能進行分析說明。

(一) 公式編輯器（Formula Editor）：在某些特殊量測情境中，使用者可能需要執行 iAVID

預設流程無法涵蓋的「一次性」計算，例如針對事件資料執行簡單的加減乘除運算。

為此，iAVID 提供 Formula Editor，如圖 27，可在 Data View 中開啟，讓使用者以彈性的方式編輯事件屬性並進行即時計算，補強內建功能不及之處。

(二) 時間變化校正 (Time Variation Correction)：輻射訊號會因衰變、環境風化或劑量模型需求而隨時間改變，因此量測結果必須進行時間正規化。使用者可在 Computations → Decay 中設定時間變化函數，並輸入訊號成分  $A_i$  與其對應的衰變常數或半衰期。系統會以加權指數和模型自動調整量測值，使其對應到統一的參考時間，確保資料的一致性與可比較性。

(三) 地形校正 (Topography Correction)：傳統校正常假設環境為「無限半空間且平坦的地表」，但現地量測常因山坡、凹地等地形起伏而導致偵測效率偏差。iAVID 提供地形校正功能，可於 Computations → Positioning → Topographic Correction 中使用。使用者輸入高解析度地形模型 (DEM)、空氣總線性衰減係數 ( $\mu$ )，以及來源的對地高度 (AGL) 後，系統即可逐點計算地形校正係數 TopoCf，並依以下公式將原始資料修正為考慮地形影響後的更準確數值。

$$F_{\text{corrected}} = \text{TopoCf} \times F_{\text{raw}}$$

總結來說，iAVID 的輔助校正功能涵蓋：

- (一) 公式編輯器：處理未納入內建流程的個案運算。
- (二) 時間變化校正：針對衰變與環境效應進行時間正規化。
- (三) 地形校正：修正量測值因地形起伏造成的偏差。

透過這些功能，使用者可在各種真實量測條件下進行更精確、可靠的資料處理與分析。

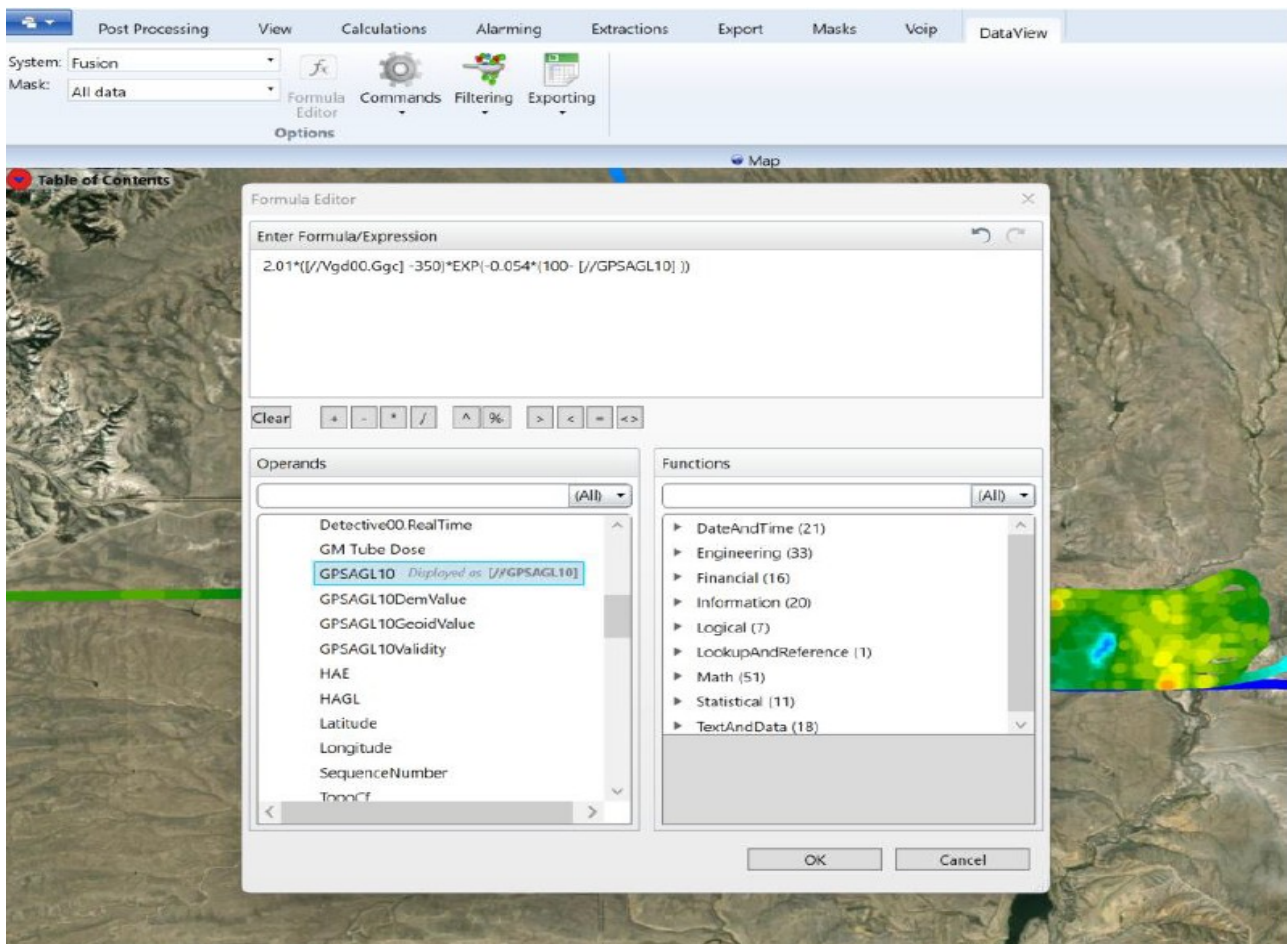


圖 27：公式編輯器（Formula Editor）視窗

## 2025-09-26\_iAVID 進階訓練第五天－特別主題與課程總結

第5天主要針對使用者特定需求與作業概念(Concept of Operation, CONOP)提供指導，提升對 iAVID 軟體進階功能的認識，並針對第1天至第4天的課程內容進行重點回顧，最後開放與會學員提問，進行使用經驗分享及交流討論，完成這次的進階訓練課程。

## 參、心得

- 一、美國能源部國家核子保安總署（NNSA）於 9 月 22 日至 26 日在美國華盛頓特區辦理 iAVID 軟體進階數據處理訓練課程。本次研習課程聚焦於 iAVID 軟體的進階操作與實務應用，透過國際專家系統化的教學，使與會人員能更深入理解偵測數據之處理流程與分析工具之使用方式。此外，各國專業人員亦分享空中輻射偵測數據分析及處理經驗，使我方能全面了解全球在此領域的技術應用趨勢。透過這次的訓練，不僅強化我方在空中偵測數據處理與判讀上的能力，也深刻體會美方 iAVID 軟體開發過程所需的技術量能，且軟體操作需要透過不斷的訓練與實務演練，才能真正發揮效益。
- 二、iAVID 軟體的深入異常事件調查模組結合多種演算法與分析工具，從即時偵測、核種辨識到後續的資料品保，形成一條完整的輻射異常評估鏈，能更清楚掌握其差異與適用情境，確保數據品質與輻射安全決策的可靠性。
- 三、在操作 GPS 修正功能時，GPS 偏移因子的設定，美方建議採用 0.5 或 0.75，可以有效減少偵測路徑之間因間距過大而造成位置偏移問題。
- 四、iAVID 軟體於 2025 年版本新增 IRIX 資料交換格式直接輸出功能，可直接上傳 IAEA IRMIS 系統平台。IRIX 格式是目前國際輻射監測資料的統一標準格式，可用來作為各國之間交換及傳輸輻射監測與事故通報等資訊。新增此模組的功能即可不需再透過外部模組進行資料格式轉換，顯著提升系統的實用度。

## 肆、建議事項

- 一、iAVID 軟體已從2024年的 Beta 測試版中進行多項細部更新，透過參與本次由美國能源部國家核子保安總署（NNSA）舉辦之 iAVID 軟體進階訓練，升級我國 iAVID 軟體至美方最新發布的 2025 年版；為確保與這些變更的相容性及與國際發展趨勢接軌，建議全面升級國內現有之 iAVID 軟體至 2025 年版。
- 二、近年來 NNSA 積極透過國際交流與技術研習推動空中輻射偵測協同合作，對我方建立完整的空中輻射偵測數據分析能力非常重要；建議我國除了要持續派員參訓外，也要把經驗及技術有效傳承下來，積極進行人才培育、避免出現技術斷層；同時，更需要挹注長期穩定的經費，才能持續掌握國際最新技術並提升我國的輻災應變量能。
- 三、目前國際通用之輻射監測資料交換標準為IRIX 資料格式，國際間重大聯合演習皆以此格式傳輸即時輻射監測資訊及事故通報內容；為確保相關人員能熟悉該功能並與國際使用趨勢接軌，建議將IRIX資料相關內容列入年度教育訓練，以強化國際資料通報作業能力。

## 伍、 附 件

### 附件一、美國能源部國家核子保安總署(NNSA)邀請文件

核能安全委員會輻射偵測中心-林明仁邀請函



Department of Energy  
National Nuclear Security Administration  
Washington, DC 20585



June 30<sup>th</sup>, 2025

LIN, MING-JEN  
Radiation Monitoring Center, NSC  
Taiwan

On behalf of the Department of Energy/National Security Administration (DOE/NNSA), Office of Counterterrorism and Counterproliferation, it is my pleasure to extend an invitation for you to participate in the International Advanced Visualization and Integration of Data (I-AVID) training course taking place from 22-26 September 2025 in Washington, DC USA.

Participation in this training will provide you with the software and the necessary accounts to access our fully developed international AVID software suite.

Please RSVP to confirm this proposal is amenable to you and your organization. Please also specify if your organization requires financial assistance for transportation, lodging, and meals during this training event.

If you have any questions or concerns, please reach me at [curtis.b.johnson@nnsa.doe.gov](mailto:curtis.b.johnson@nnsa.doe.gov) or (+1) 240-474-2653. We look forward to hosting you at this course.

Best Regards,

Curtis B.  
Johnson

Digitally signed by Curtis  
B. Johnson  
Date: 2025.07.02  
10:05:51 -04'00'

Curtis B. (CJ) Johnson  
Office of Nuclear Incident Preparedness and  
Collaboration  
National Nuclear Security Administration





**Department of Energy  
National Nuclear Security Administration  
Washington, DC 20585**



June 30<sup>th</sup>, 2025

CHEN, WEI-SIN  
National Atomic Research Institute  
Taiwan

On behalf of the Department of Energy/National Security Administration (DOE/NNSA Counterterrorism and Counterproliferation), it is my pleasure to extend an invitation for you to participate in the International Advanced Visualization and Integration of Data (I-AVID) training course from **22-26 September 2025 in Washington, DC USA**.

Participation in this training will provide you with the software and the necessary accounts to use the fully developed international AVID software suite.

Please RSVP to confirm this proposal is amenable to you and your organization. Please also specify if your organization requires financial assistance for transportation, lodging, and meals during this training.

If you have any questions or concerns, please reach me at [curtis.b.johnson@nnsa.doe.gov](mailto:curtis.b.johnson@nnsa.doe.gov) or (202) 546-2653. We look forward to hosting you at this course.

Best Regards,

Curtis B.

Digitally signed by Curtis B. Johnson

# 附件二、iAVID 輻射偵測數據後處理軟體進階訓練課程表

2025 年 9 月 22 日(一)訓練課程表

表 2：2025 年 9 月 22 日(一) iAVID 訓練課程表

Day 1 - Data Management & Data Exploration		
<i>Objective: Achieve broad proficiency with ingesting data into the AVID software, visualizing and exploring that data using the AVID software, and exporting data for incorporation into other tools and wor 鉀 flows</i>		
08:30	Introductions/Logistics	Overview of wee 鉀, logistics, introductions
09:00	Accounts/Installs	Validate/create accounts, confirm/facilitate installations
09:30	Brea 鉀	
09:45	AVID User Interface Overview	Review fundamentals of AVID UI from Intro AVID Course
11:15	Data Sourcing	Data import capabilities and common ingestion wor 鉀 flows
12:00	Lunch	
13:00	Tiered Data Management	Introduce data structures: event/mas 鉀 /system/detector/attribute, multiple files, etc.
14:30	Brea 鉀	
14:45	Data Exploration	Core visualization/investigation modules in AVID
16:15	Brea 鉀	
16:30	Data Export	Data outputs from AVID and external tool interoperability
17:30	Conclude for Day	

2025 年 9 月 23 日(二)訓練課程表

表 3：2025 年 9 月 23 日(二) iAVID 訓練課程表

Day 2 - Data Assessment		
<i>Objective: Utilize the AVID software to perform quality assurance and quality control workflows for environmental radiation measurements. Codify and demonstrate fundamental workflows for radiation survey anomaly exploration and mapping.</i>		
08:30	Daily Setup	Review previous day, field questions, summarize daily objectives
08:45	System Check out	Validating system performance prior to survey
09:30	Data Set QA/QC	Data set quality assurance & quality control
10:15	Break	
10:30	Anomaly Investigation	Find, investigate, and codify anomalies in data
12:00	Lunch	
13:00	Aerial-Specific Tools	DEM interrogation, Sensor/GPS alignment
13:45	Spatial Interpolation	Interpolating point-wise measurement data to rasters
14:30	Break	
14:45	Map Products	Basic map products using the AVID Map Product Generator (MPG)
15:45	Break	
16:00	Capstone Exercises	Exercises to assimilate and practice workflows
17:00	Conclude for Day	

2025 年 9 月 24 日(三)訓練課程表

表 4：2025 年 9 月 24 日(三) iAVID 訓練課程表

Day 3 - Spectral Extractions & Quantitative Measurements		
<i>Objective: Analyze radiation spectrometer time-series measurements to derive and map radiation levels in the environment</i>		
08:30	Daily Setup	Review previous day, field questions, summarize daily objectives
08:45	Dose Rate from Spectra	Introduce and practice standard wor 鉀 flows for mobile search
10:15	Brea 鉀	
10:30	Window Extractions	1, 2, and 3-window extractions
12:00	Lunch	
13:00	Gaussian Extractions	Gaussian photopea 鉀 extractions
14:00	鉀 UT Extractions	Window, Gaussian, and Matrix extraction of Potassium, Uranium, Thorium
15:00	Brea 鉀	
15:15	Sensitivity Assessment & Denoising	Limits of detection, smoothing, and NASVD
16:15	Brea 鉀	
16:30	Capstone Exercises	Exercises to assimilate and practice wor 鉀 flows
17:30	Conclude for Day	

2025 年 9 月 25 日(四)訓練課程表

表 5：2025 年 9 月 25 日(四) iAVID 訓練課程表

Day 4 - Calibrations for Quantitative Measurements		
<i>Objective: Understand calibration procedures for mobile spectrometers and use AVID to facilitate deriving the calibrations necessary to convert raw spectra to quantitative results</i>		
08:30	Daily Setup	Review previous day, field questions, summarize daily objectives
09:00	Calibration From Differential Measurement	Calibrations from differential empirical measurements
10:30	Brea 鉀	
10:45	Aerial Spiral Calibrations	Calibration of airborne spectrometers
12:00	Lunch	
13:00	System Cross Calibration	System to system cross calibration
14:30	Brea 鉀	
14:45	Calibration From Theoretical Models	Theoretical derivation of calibration factors
15:45	Brea 鉀	
16:00	Auxillary Correction Factors	Time varying correction factors - decay, weathering, shielding, etc.
17:00	Conclude for Day	



2025 年 9 月 26 日(五)訓練課程表

表 6：2025 年 9 月 26 日(五) iAVID 訓練課程表

Day 5 - Special Topics & Close-Out		
<i>Objective: Address user-specific, CONOP-driven needs as requested, promote general awareness of some advanced AVID capabilities, closeout training</i>		
08:30	Daily Setup	Review previous day, field questions, summarize daily objectives
08:45	Response Scenario Analysis	Discuss standard data analysis approaches for common response scenarios
09:15	Real World Issues & Mitigations	Accessibility, content, help
09:45	Data Management Best Practices	Event setup and permissions
10:15	Brea 鉀	
10:30	User-Driven Special Topics & Reviews	Open question/answer, and course reviews
12:00	Conclude Training	

### 附件三、關注核種之靈敏度（Sensitivity）與空氣衰減係數（ $\beta$ ）計算

#### Cs-134 關注核種 Python Code

```
from scipy.special import expn

E = 796
mu = 0.009
Y = 0.85
eta = 0.38
Adetector = (16 / 12) * (4 / 12) / (3.2801 ** 2)
z = 100
SO = 1 * 1000

Sensitivity = SO / 2 * Y * eta * Adetector * expn (2, mu * z)
beta = -mu * expn (1, mu * z) / expn (2, mu*z)

print(f"sensitivity: {Sensitivity:.6f} cps/(鉀 Bq/m^2)")
print(f"Beta: {beta:.6f} 1/m")
```

#### Cs-134 計算結果

```
sensitivity: 1.150174 cps/(鉀 Bq/m^2)
Beta: -0.013582 1/m
```

## Cs-137 關注核種 Python Code

```
from scipy.special import expn

E = 662
mu = 0.01
Y = 0.85
eta = 0.45
Adetector = (16 / 12) * (4 / 12) / (3.2801 ** 2)
z = 100
SO = 1 * 1000

Sensitivity = SO / 2 * Y * eta * Adetector * expn (2, mu * z)
beta = -mu * expn (1, mu * z) / expn (2, mu*z)

print(f"sensitivity: {Sensitivity:.6f} cps/(鉀 Bq/m^2)")
print(f"Beta: {beta:.6f} 1/m")
```

## Cs-137 計算結果

```
sensitivity: 1.173162 cps/(鉀 Bq/m^2)
Beta: -0.014774 1/m
```

## Co-60 關注核種 Python Code

```
from scipy.special import expn

E = 1332
mu = 0.0075
Y = 1.0
eta = 0.25
Adetector = (16 / 12) * (4 / 12) / (3.2801 ** 2)
z = 100
SO = 1 * 1000

Sensitivity = SO / 2 * Y * eta * Adetector * expn (2, mu * z)
beta = -mu * expn (1, mu * z) / expn (2, mu*z)

print(f"sensitivity: {Sensitivity:.6f} cps/(鉀 Bq/m^2)")
print(f"Beta: {beta:.6f} 1/m")
```

### Co-60 計算結果

```
sensitivity: 1.121076 cps/(鉀 Bq/m^2)
Beta: -0.011757 1/m
```

## Am-241 關注核種 Python Code

```
from scipy.special import expn

E = 60
mu = 0.025
Y = 0.36
eta = 0.8
Adetector = (16 / 12) * (4 / 12) / (3.2801 ** 2)
z = 100
SO = 1 * 1000

Sensitivity = SO / 2 * Y * eta * Adetector * expn (2, mu * z)
beta = -mu * expn (1, mu * z) / expn (2, mu*z)

print(f"sensitivity: {Sensitivity:.6f} cps/(鉀 Bq/m^2)")
print(f"Beta: {beta:.6f} 1/m")
```

## Am-241 計算結果

```
sensitivity: 0.117766 cps/(鉀 Bq/m^2)
Beta: -0.031462 1/m
```



## I-131 關注核種 Python Code

```
from scipy.special import expn

E = 365
mu = 0.012
Y = 0.82
eta = 0.7
Adetector = (16 / 12) * (4 / 12) / (3.2801 ** 2)
z = 100
SO = 1 * 1000

Sensitivity = SO / 2 * Y * eta * Adetector * expn (2, mu * z)
beta = -mu * expn (1, mu * z) / expn (2, mu*z)

print(f"sensitivity: {Sensitivity:.6f} cps/(鉀 Bq/m^2)")
print(f"Beta: {beta:.6f} 1/m")
```

## I-131 計算結果

```
sensitivity: 1.317211 cps/(鉀 Bq/m^2)
Beta: -0.017109 1/m
```