

出國報告(出國類別：實習)

參加 2019 年核設施除役輻射劑量 評估程式 RESRAD 訓練課程

服務機關：行政院原子能委員會放射性物料管理局

姓名職稱：鄭敬瀚 技士

派赴國家：美國

出國期間：108 年 6 月 1 日至 108 年 6 月 10 日

報告日期：108 年 7 月 26 日

摘要

本次前往美國阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory)參加核設施除役輻射劑量評估程式 RESRAD 訓練課程，目的主要是掌握該程式之劑量評估模式、曝露途徑和導出濃度指引水平(Derived Concentration Guideline Level, DCGL)推算過程，同時吸取國際上，運用此程式進行劑量評估之相關作法與經驗，以提升我國安全管理技術。

本次訓練所使用的程式分別為 RESRAD-ONSITE、RESRAD-OFFSITE 以及 RESRAD-BUILD 等三項，課程除包含上述三項程式之基本原理、劑量評估模式、重要參數設定、不確定度分析、靈敏度測試等內容進行講述，講師更是於課程中適當時間點提供參考案例，要求學員實際上機進行案例分析與劑量評估，藉由實際操作，除讓學員更加了解實務上如何使用 RESRAD 程式執行劑量評估作業，同時亦能釐清操作上所面臨之參數設定與運算問題，以提升學習效果。

此外，上述三項程式不僅能用來進行輻射劑量評估與 DCGL 推導，其中本次訓練有一項關鍵議題即是 RESRAD-OFFSITE 更是提供了射源項模型(Source Term Model)，讓使用者能對低放射性廢棄物最終處置設施內的處置容器進行情節假設與模擬，而此設源項模型即是假想在原本的污染土壤層內存放著許多處置容器，而使用者可以依照情節而設定核種釋出之含量、發生時間與機制，來進行遠場劑量評估。

最後，本次訓練除包含上述較為技術層面的議題，同時也著重於與實驗室專家討論如何使用 RESRAD 解決除役實務上所面臨之相關問題，例如對於較高污染區域，如何求得其 DCGL?對於數據具有其不確定性，如何加以推估最終之輻射劑量?藉由本次與美方專家進行交流的機會，進而提升我國除役安全管理之技術與能力。

關鍵字：RESRAD、除役、處置、劑量評估

目錄

一、 目的.....	1
二、 過程.....	2
三、 心得.....	21
四、 建議事項.....	22
附錄-訓練議題與議程.....	23

一、目的

依我國放射性物料管理法及其施行細則之規定，經營者依法所申請之核子原料、核子燃料生產或貯存設施、放射性廢棄物處理或貯存設施除役後，其對一般人造成之個人年有效劑量不得超過 0.25 毫西弗(mSv)；另依我國核子反應器設施管制法及其施行細則之規定，核子反應器設施除役後之廠址為限制性使用者，其對一般人造成之年有效劑量不得超過 1mSv，為非限制性使用者，其對一般人造成之年有效劑量不得超過 0.25mSv；因此，除役後之土地或建物表面所殘存的核種濃度要清除到什麼程度，才能確保其對人體所造成之有效劑量符合上述劑量限值，以證明廠址能釋出再利用，RESRAD 這個程式即是用來解決此關鍵問題。

RESRAD 程式過去已被美國政府廣泛使用，例如美國核管會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)已批准使用 RESRAD 進行除役、廢棄物處置要求之劑量評估作業，同時 NRC 亦支持 RESRAD 開發機率式模組，以證明符合執照終止規定；美國國家環境保護局(Environmental Protection Agency, EPA)亦使用 RESRAD 於輻射場清理法規(Radiation Site Cleanup Regulations)中進行相關分析，EPA 科學顧問委員會亦已審查 RESRAD 評估模型。另一方面，國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)過去亦贊助了許多 RESRAD 培訓課程，並有興趣開發多語言版本的 RESRAD，根據阿岡國家實驗室的統計資料，RESRAD 過去已使用超過 30 年，評估至少超過 300 個廠址，截至目前共計 114 個國家曾下載過 RESRAD。

因此，藉由參加核設施除役輻射劑量評估程式 RESRAD 訓練課程，其目的除掌握該程式之劑量評估模式、曝露途徑以及 DCGL 推算過程，另一方面更是期望能在訓練過程中與美方專家進行交流與討論，藉此吸取國際上使用 RESRAD 程式進行劑量評估之相關作法、經驗回饋以及建議事項，以提升我國安全管制之技術。

二、過程

(一)行程概要

本次出國行程如表 1，本訓練係由位於美國伊利諾州的阿岡國家實驗室舉辦，實驗室入口引導標誌如圖 1；由於此為國家級實驗室，因此進入實驗室之前，參訪者皆須預先上實驗室網站申請通行證，並且提送相關個人資料送審；申請核可後，參訪者於抵達當日，須先前往入口處外圍之資訊中心領取通行證才得以進入實驗室；根據本次訓練經驗，儘管已隨身配戴通行證，每次進入實驗室仍須核對護照資料，確認身分才允許進入，檢查相當確實，而本次訓練課程之會議室如圖 2 所示。

本次訓練包含講師與學員總共約 20 餘位，講師即是由 RESRAD 計畫團隊成員-Yu, Charley、Cheng, Jing-Jy、LePoire, Dave 以及 Kamboj, Sunita 等四人擔任，由於美國為本訓練的主辦國家，因此參與訓練之學員主要是來自美國政府機關及相關產業界人士，而課程主要亦是以美國核能電廠之除役經驗為主，此外由於本次訓練須實際上機演練，圖 3 為訓練課程現場之情況。

表 1 本次出國行程表(以當地時間表示)

月	日	內容
6	1	從桃園國際機場搭機前往芝加哥 O'Hare International Airport
6	2	抵達芝加哥 O'Hare International Airport
6	3	參加核設施除役輻射劑量評估程式-RESRAD 訓練課程
6	4	參加核設施除役輻射劑量評估程式-RESRAD 訓練課程
6	5	參加核設施除役輻射劑量評估程式-RESRAD 訓練課程
6	6	參加核設施除役輻射劑量評估程式-RESRAD 訓練課程
6	7	參加核設施除役輻射劑量評估程式-RESRAD 訓練課程
6	8	從芝加哥 O'Hare International Airport 搭機返回桃園國際機場
6	9	路程
6	10	抵達桃園國際機場

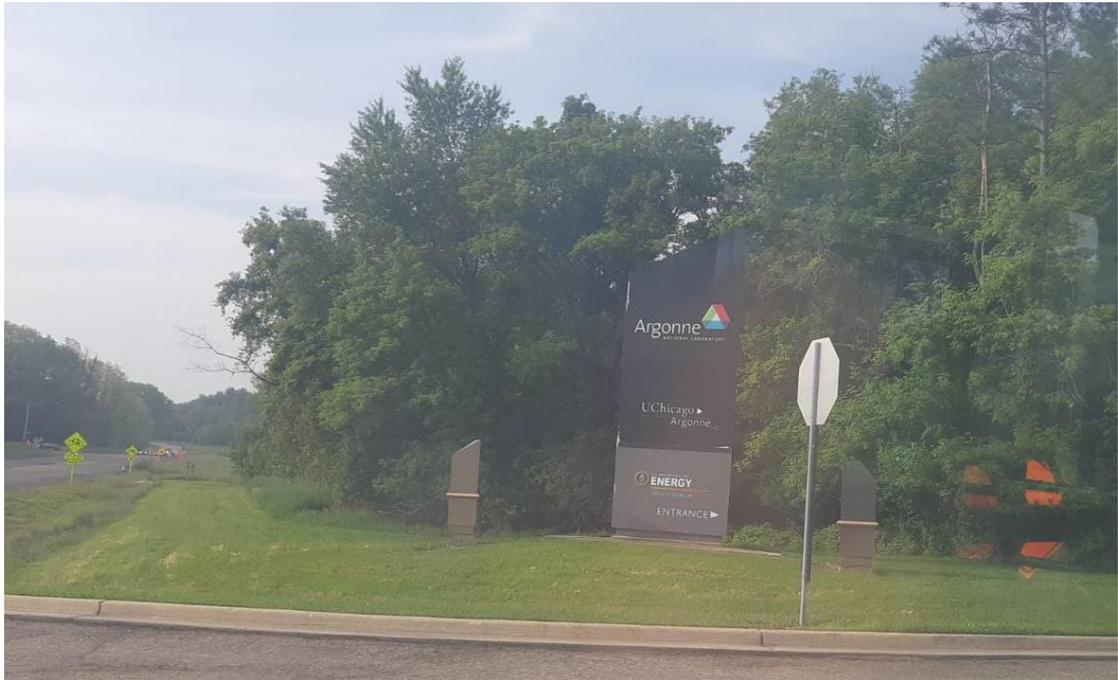


圖 1 阿岡國家實驗室入口引導標誌

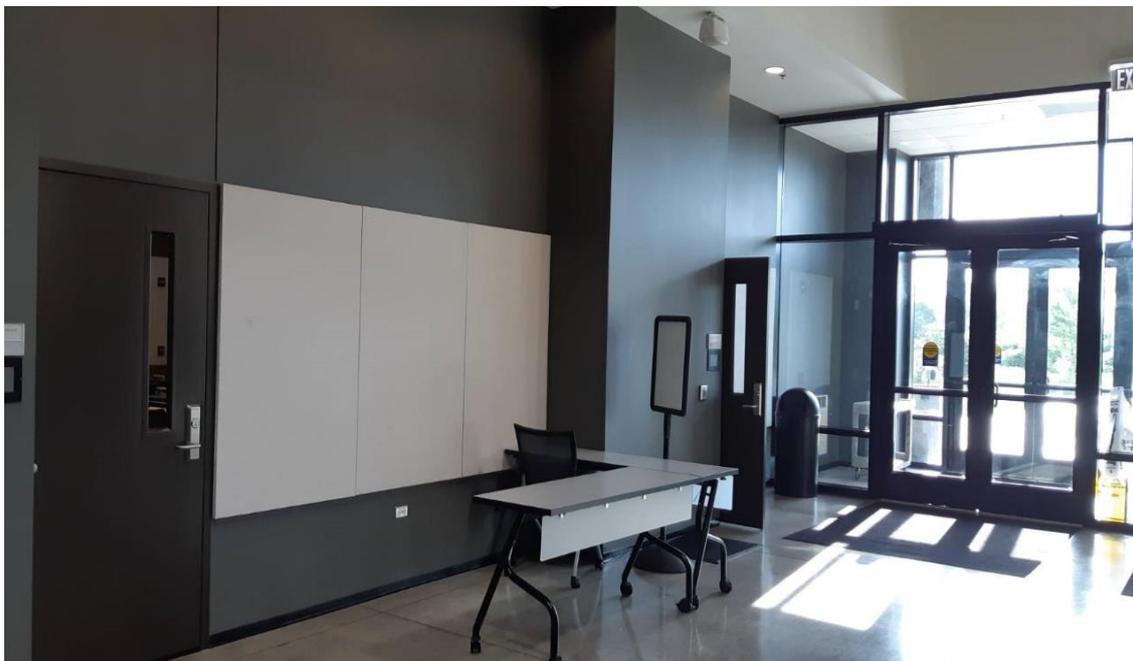


圖 2 本次訓練之會議室

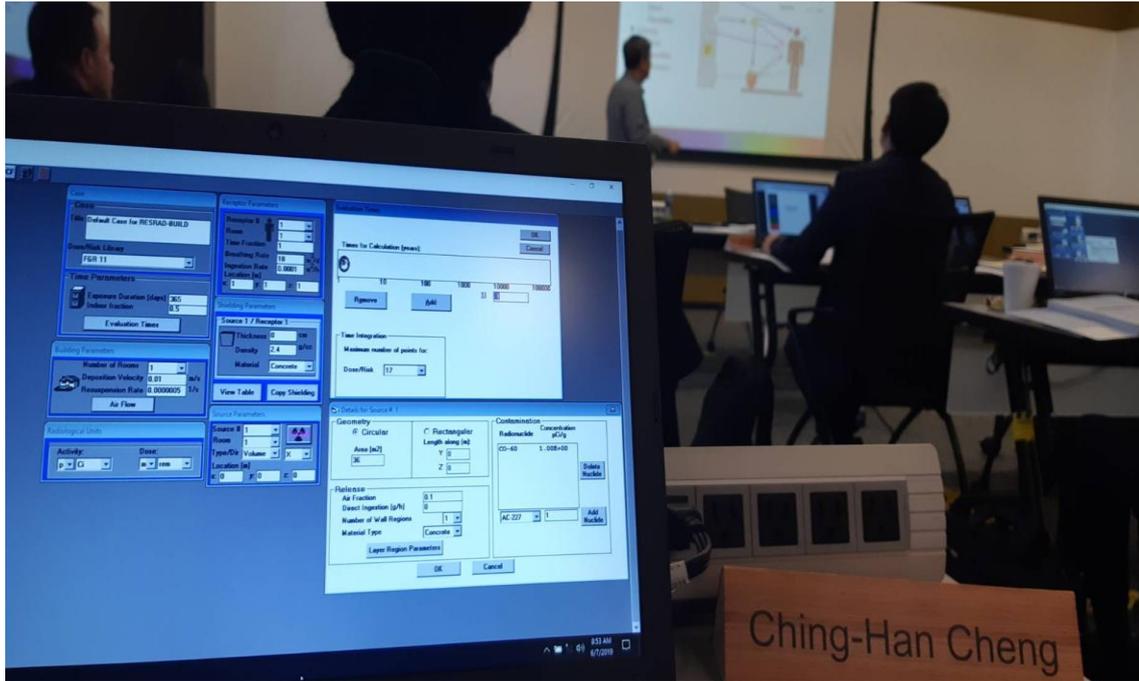


圖 3 訓練課程實際現場情況

(二)訓練重點內容

RESRAD 程式維護現狀

RESRAD 是由美國阿岡國家實驗室所開發設計的計算機程式，自過去共計開發 RESRAD-ONSITE、RESRAD-OFFSITE、RESRAD-BUILD、RESRAD-RDD、RESRAD-BIOTA、RESRAD-RECYCLE、RESRAD-BASELINE、RESRAD-CHEN 以及 RESRAD-ECORISK 等九項程式，其中本次訓練所使用的程式為前 3 項，而目前能使用並持續維護的程式為前 5 項(如圖 4 所示)，此 5 項程式皆可免費使用，任何人僅須連結到實驗室網站(<http://resrad.evs.anl.gov/>)之下載頁面，輸入個人相關資料後，實驗室即會電郵傳送下載連結，提供使用者於 24 小時內進行下載，至於剩餘的 4 項程式由於無法在目前的操作系統上運行，因此已停止更新。

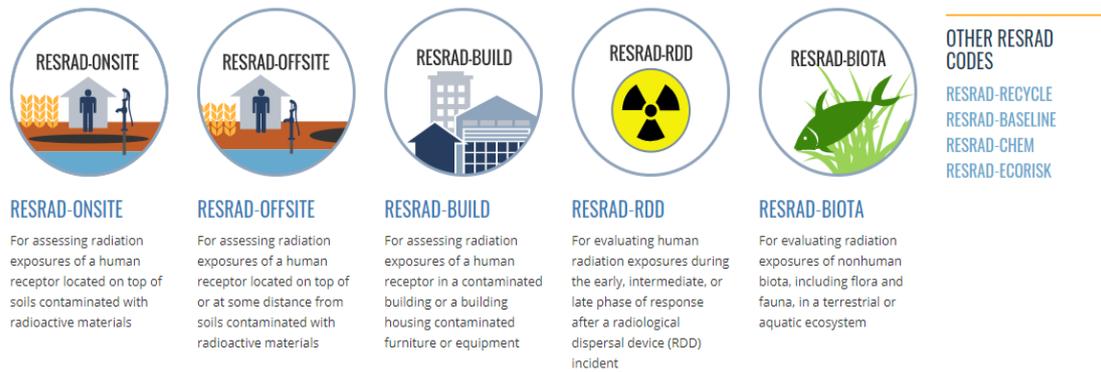


圖 4 RESRAD 目前能使用並持續維護的程式

RESRAD 程式曝露情節說明

除役後廠址未來若規劃為「非限制性使用」，通常 RESRAD 對此會使用「農場居民情節」(Resident Farmer Scenario) 來進行劑量評估，該情節示意圖如圖 5；反之，若規劃為「限制性使用」，則是使用「工業使用情節」(Industrial Use Scenario) 來進行劑量評估，該情節示意圖如圖 6。而將兩者情節示意圖進行比較，可發現不論是「非限制性使用」或「限制性使用」，對於 RESRAD 程式來說，主要差別僅是曝露來源與數量的不同；舉例來說，「農場居民情節」相較於「工業使用情節」，由於居民長時間居住在該土地，因此會受到較多的體外曝露，且居民亦可能會攝入該土地所種植的農作物、該土地所飼養的牲畜以及污染水源的魚類等，進而有核種造成體內曝露的機會，因此「農場居民情節」人員所受輻射曝露來源較多，所受到的輻射劑量亦較大，故為較保守之曝露情節。

註：圖 4 來源為 Argonne National Laboratory 網站(<http://resrad.evs.anl.gov/>)

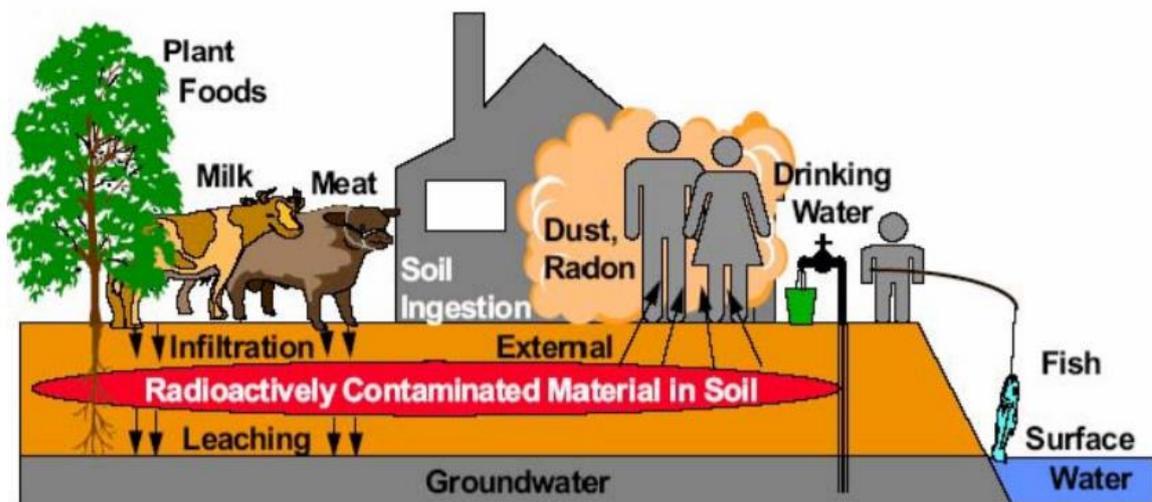


圖 5 「農場居民情節」示意圖



圖 6 「工業使用情節」示意圖

以 RESRAD-ONSITE 為例，程式初始操作頁面如圖 7 所示，包含選單、工具欄、導航視窗以及各項參數修改按鍵等，如上所述，「農場居民情節」與「工業使用情節」主要差別僅是曝露來源不同，因此使用者可先藉由右方的導航視窗來關閉或開起例如攝入奶類、肉類或植物等曝露途徑，接著再依序點擊各項參數修改按鍵(土壤污染濃度、計算時間、污染層參數、覆蓋層參數、飽和層參數、非

註：圖 5 來源為 <http://resrad.evs.anl.gov/docs/RESRADTechFactSheetr4-FINAL.pdf>

圖 6 來源為 <http://resrad.evs.anl.gov/docs/resrad6.pdf>

飽和層參數、佔用因數、攝取參數、氡氣、儲存時間、C-14)，完成該情節各項參數值設定後，程式即可計算出劑量隨時間之變化曲線，最後再查核劑量峰值是否有符合相對應的法規限值。

由此可知，劑量的高低是完全取決於使用者所假設之情節與參數，且部份參數更是對劑量具有高度的靈敏度，因此設施經營者在申請除役許可時，須詳細說明所假設之情節以及各項參數來源之依據，必要時亦須提出佐證資料以證明假設之合理性。

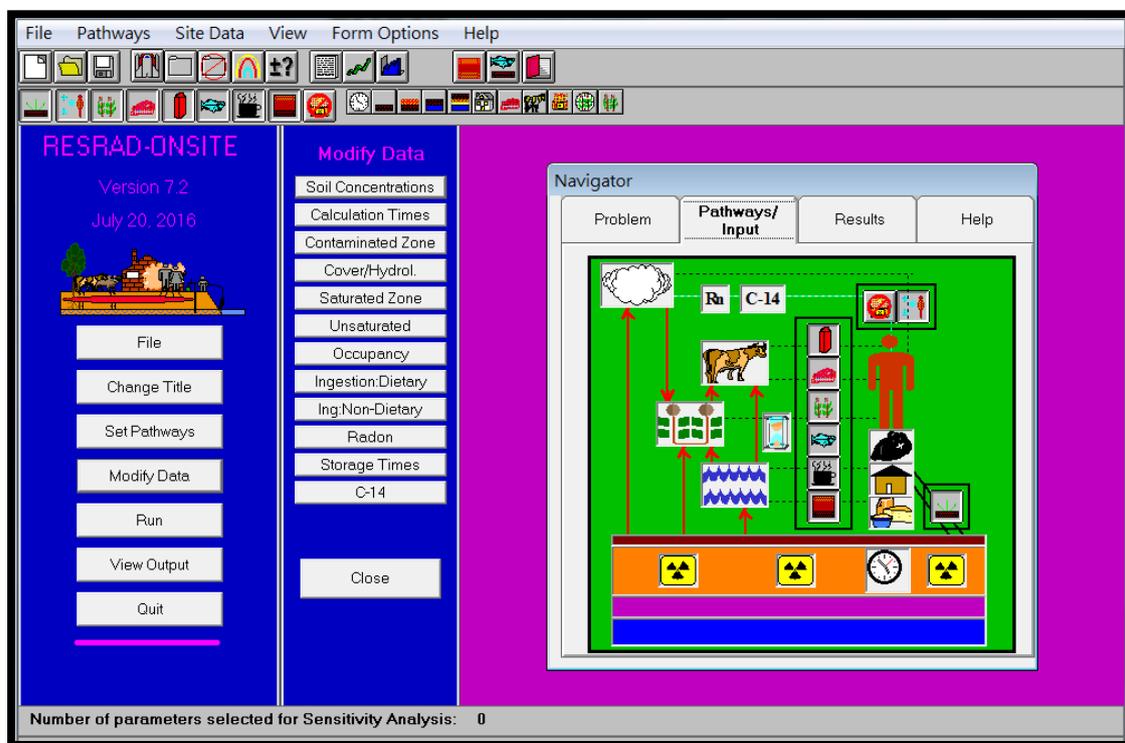


圖 7 RESRAD-ONSITE 程式初始操作頁面

DCGL 推算過程

RESRAD 程式所設定的曝露途徑如圖 8 所示，首先程式會依據使用者所輸入除役廠址土壤所殘存之核種濃度，運用各類數值傳輸模型加以推算核種遷移至環境(如地表水)與動植物之含量，再根據使用者所假設之情節，計算人員因吸入、攝入以及體外輻射所受之曝露量後，乘上相對應之劑量轉換係數，加以求得人體所受劑量隨時間的分布變化。

因此，不難理解 RESRAD 程式除了可從使用者所設定之污染濃度「順向」推得人體所受劑量隨時間的分布變化，亦可再從法規劑量限值「回推」該核種所允許的初始污染濃度值，此即為 DCGL；以非限制性使用年劑量限值 0.25mSv 為例，假設某土壤存在濃度為 100 pCi/g 的 Cs-137(參數設定如圖 9)，而在其餘參數都為程式預設值的情況下，程式所計算之劑量峰值會出現在第 0 年且劑量率為 2.139 mSv/yr，因此若要符合非限制性使用之劑量限值 0.25mSv/yr，DCGL 即為 $0.25 \times 100 \div 2.139 = 11.69 \text{ pCi/g}$ ，亦即除役廠址所殘存的污染核種濃度要低於 11.69pCi/g，才能確保對人體所造成之年有效劑量低於 0.25mSv，廠址才能釋出再利用。

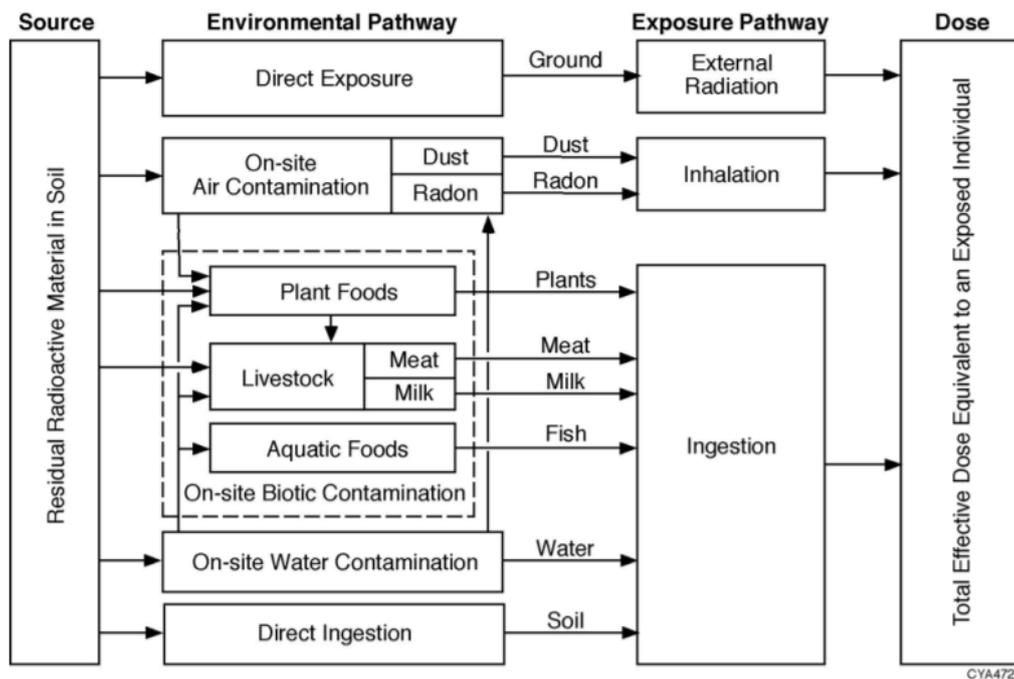


圖 8 RESRAD-ONSITE 程式所設定之曝露途徑

註：圖 8 來源為 <http://resrad.evs.anl.gov/docs/resrad6.pdf>

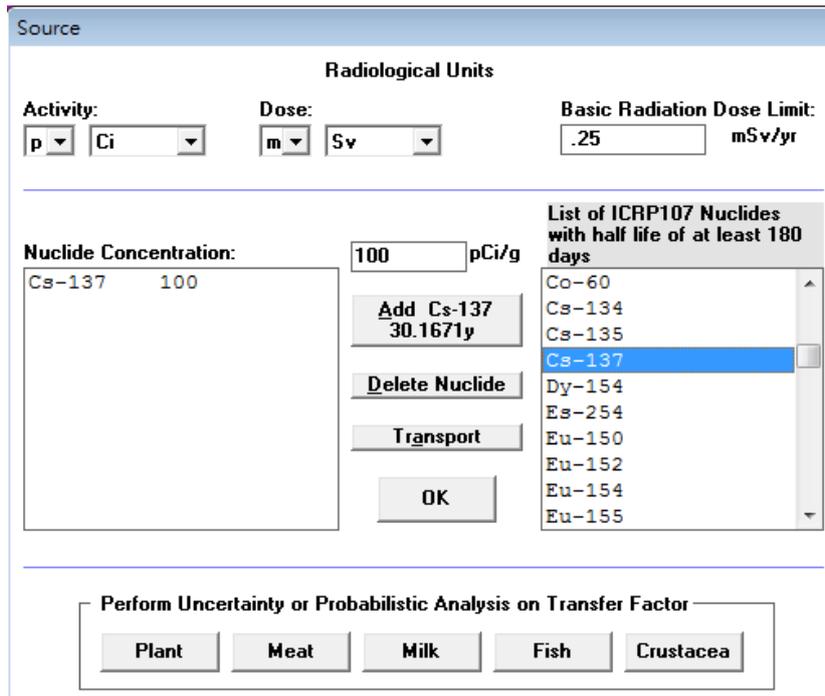


圖 9 射源項參數設定說明

多核種之判定方式

通常除役廠址並非僅存在單一核種而是多核種，要如何判定該廠址是否能釋出再利用，與一定活度或比活度以下放射性廢棄物判別方式一樣，意即各核種所量測之濃度與其 DCGL 比值總和須小於 1 才可釋出，但其與廢棄物能否外釋不同的是，此處判別已預先假設所有核種所產生的劑量峰值都發生在「同」一時間點，但實際並非如此，特別是有些如鈾系或鈾系核種其分配係數很大，而分配係數的定義即是核種停留在土壤中與遷移至水中之比值，因此該值越大，代表核種遷移的速度越慢，其劑量峰值可能甚至出現在數千年之後，因此美方專家提醒，有時候比值總和大於 1 不代表該廠址所造成之影響一定會超過年劑量限值 0.25 mSv，因此須再進一步針對劑量峰值出現的時間點確認。

參數靈敏度分析

以 RESRAD-ONSITE 為例，程式有上百個參數需要進行設定，由於要取得所有參數數據並不容易，因此程式內建參數靈敏度分析功能，讓使用者能對參數數值

進行倍率的調整來觀察劑量的變化，藉此來找出對劑量有顯著影響的參數，而建議使用者以此參數做為優先調查的對象；其中，對於劑量有顯著影響可以包括劑量峰值的大小，例如圖 10 顯示污染層厚度之靈敏度分析結果，可發現污染層厚度越高(紅線)，劑量峰值也就越高；此外，亦包括劑量峰值出現的時間點，如圖 11 顯示年降雨量之靈敏度分析結果，可發現年降雨量越少(藍線)，核種越不容易遷移，因此劑量峰值出現的時間點較晚；而美方專家特別提醒學員，有時劑量分析結果會呈現怪異的分佈如圖 12，使用者須要懂得推測其原因，本案例是顯示 U-238 於非飽和層分配係數之靈敏度分析結果，如同上述，該值越大，代表核種遷移速度越慢，因此當 U-238 的分配係數大到一個程度時(紅線)，代表 U-238 於非飽和層中不容易進行遷移，但其子核種如 U-234 又會先行釋出，因此劑量會由一個峰值分裂為兩個峰值，且峰值出現的時間亦會延遲。

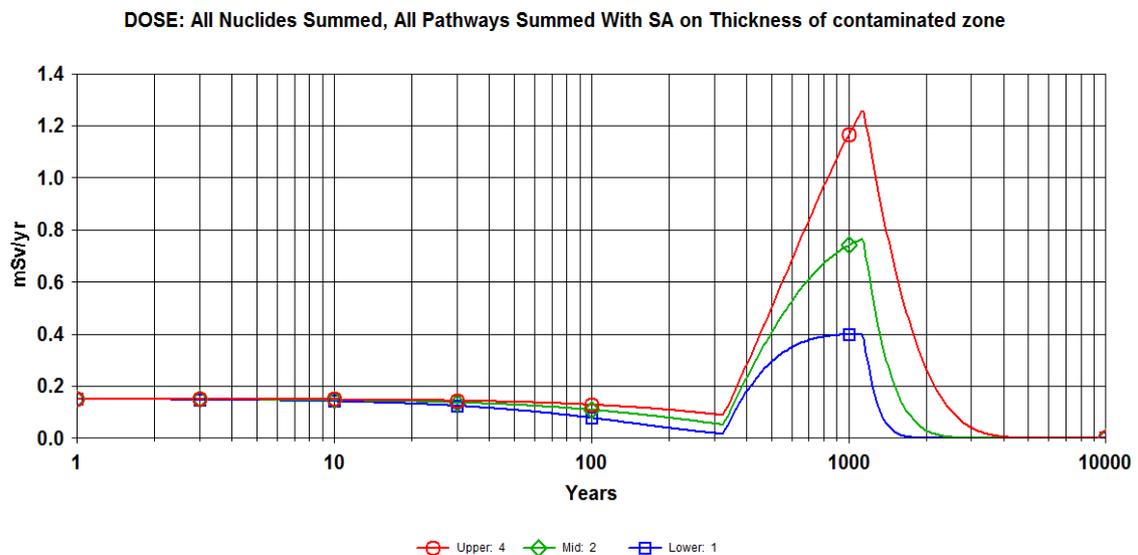


圖 10 污染層厚度之靈敏度分析結果

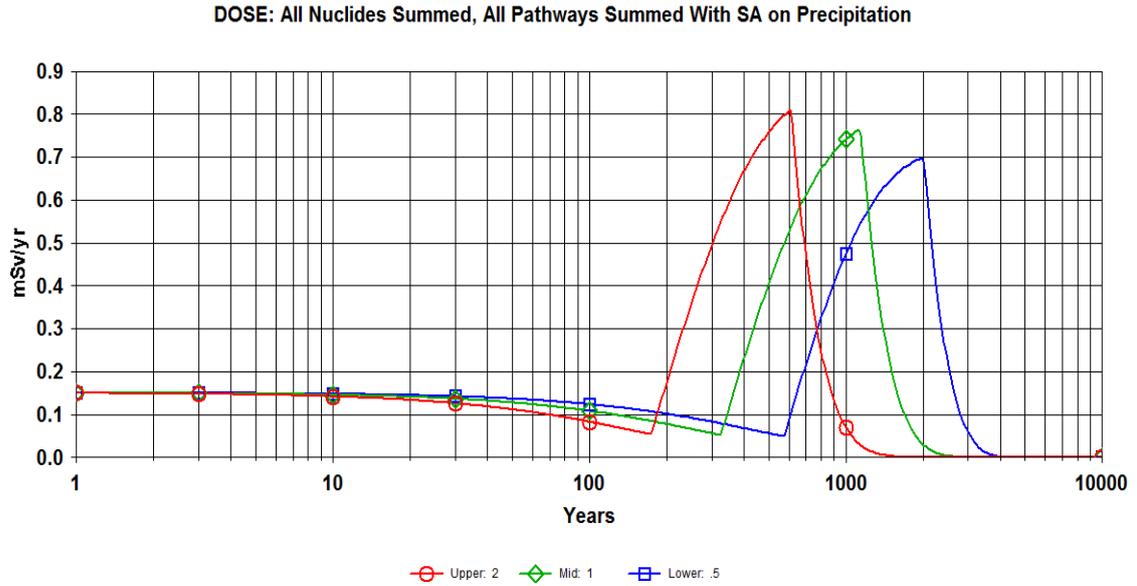


圖 11 年降雨量之靈敏度分析結果



圖 12 U-238 於非飽和層分配係數之靈敏度分析結果

高污染區 DCGL 之推算

除役廠址在進行除污過程中，有時會面臨某一小區域其污染活度相較於整體廠址要來的高很多，此時若以原先所推導之 DCGL 做為清潔標準似乎會過於保守，故美方專家建議此情況，能對原本大污染範圍所計算之 DCGL，乘上一個面積因子 (Area Factor) 來進行修正，而該面積因子必大於 1，意即讓此高污染區域允

許有較高的濃度限值。

而實務上要如何決定此小面積高污染區域之 DCGL，專家表示通常在所有條件都固定的情況之下，小面積相較於大面積污染所推得之 DCGL 會較高，因此根據許多美國電廠除役的經驗，即會在所有參數條件不變之情況下，使用 RESRAD 再額外推導一組污染面積為 10 公尺×10 公尺之 DCGL，來做為高污染區域之濃度標準，而此小面積高污染區域 DCGL 與原本大污染範圍 DCGL 之比值即為面積因子。接者，進一步詢問專家為何不能以更小污染面積例如 1 公尺×1 公尺來推導高污染區的 DCGL，專家表示使用過小面積所推導之 DCGL 會太高，亦即該 DCGL 相對不保守，且同時考量實務上很少發現有高污染區域其面積會超過 10 公尺×10 公尺，因此使用較嚴格的標準來規範較小面積之污染濃度似乎較為合理。

參數機率性分析

RESRAD 提供兩種模式供使用者進行劑量評估，第一種為「確定性分析」模式，既然為確定性，意即程式中的所有參數，皆輸入單一且通常會採用較保守之數值來進行後續的劑量計算，以抑制廠址特定參數其可變性對劑量所造成的影響。然而在實際情況，由於某些參數具有不確定性，使參數數值成一連續分佈範圍，對此，RESRAD 程式提供另一種「機率性分析(Probabilistic analysis)」模式，讓使用者可依參數的邊界條件及其機率分佈型式，來設定參數數值的分佈情況，進一步評估輸出劑量的不確定性。

如同上述，若以確定性分析模式進行分析，即可得到一條劑量隨時間的變化曲線，而後即可使用其劑量峰值來推算 DCGL。反之，若以機率性分析模式進行分析，由於輸入之參數為一連續分佈，因此程式即會計算出多條劑量隨時間的變化曲線，亦即每一條曲線皆有自己的劑量峰值；而要如何決定使用機率性分析模式所得之劑量，有兩種常用方式可用來推算其最終之輻射劑量，分別為「peak-of-the-mean dose」以及「mean-of-the-peaks dose」，所謂的「peak-of-the-mean dose」即是將多條劑量隨時間的變化曲線先取平均後，所

得新曲線之劑量峰值，而「mean-of-the-peaks dose」則是直接將多條劑量隨時間變化曲線之峰值取平均後所得之劑量值，因此可發現「mean-of-the-peaks dose」會恆大於或等於「peak-of-the-mean dose」。

至於要使用哪個劑量來推算 DCGL 較好？經查相關文獻仍建議使用「peak-of-the-mean dose」來證明是否符合法規標準，原因在於使用「mean-of-the-peaks dose」可能仍過於保守，且美方專家更是提醒並非所推導之 DCGL 越嚴格越好，而應視個案進行探討，例如須考慮設施經營者是否有能力清除到此較為嚴格之標準？是否有進行相關成本效益分析？此外，須再評估相關作業，是否有符合合理抑低之原則(As Low As Is Reasonably Achievable, ALARA)？

除役廠址外劑量評估作業

相較於 RESRAD-ONSITE，RESRAD-OFFSITE 則是用來計算廠址外人員所受之輻射劑量(如圖 13)，不難推測，在除役廠址內活動之人員其所受曝露理應會多於廠址外人員，既然如此，為何還需要執行廠址外劑量評估作業？美方專家表示，對於管制機關來說，有時關注的重點在於除役廠址下方是否含有地下水，原因在於這些地下水若遭受污染，核種即有藉由地下水而傳輸到遠場之疑慮，因此儘管 RESRAD-ONSITE 所推算之劑量符合限值，不代表對廠外民眾亦能完全符合劑量限值，因此會額外要求使用 RESRAD-OFFSITE 進行評估與確認。

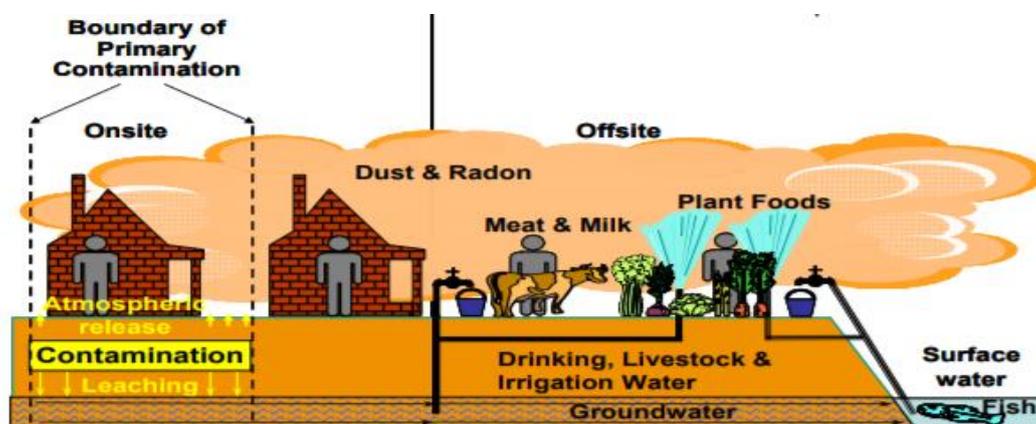


圖 13 RESRAD-OFFSITE 示意圖

註：圖 13 來源為 http://resrad.evs.anl.gov/docs/RESRAD_OFFSITE_INFO_BRIEF.pdf

RESRAD-OFFSITE 射源項模型

RESRAD-OFFSITE 程式初始操作頁面如圖 14 所示，與 RESRAD-ONSITE 相似，其主要的不同在於 RESRAD-OFFSITE 為了要計算遠場之劑量，除了新增了地下水傳輸與大氣擴散模型外，使用者亦可以點擊「Site Layout」自行設定放射性污染區、畜牧飼養區、農作物區、場外居住區、鑿井位置、地表水體以及地下水傳輸等位置與方向(如圖 15)；此外還有一項最大的不同，即是 RESRAD-OFFSITE 更是提供了射源項模型(Source Term Model)讓使用者可以藉由情節假設與模擬，來輔以進行低放射性廢棄物最終處置設施相關劑量評估作業。

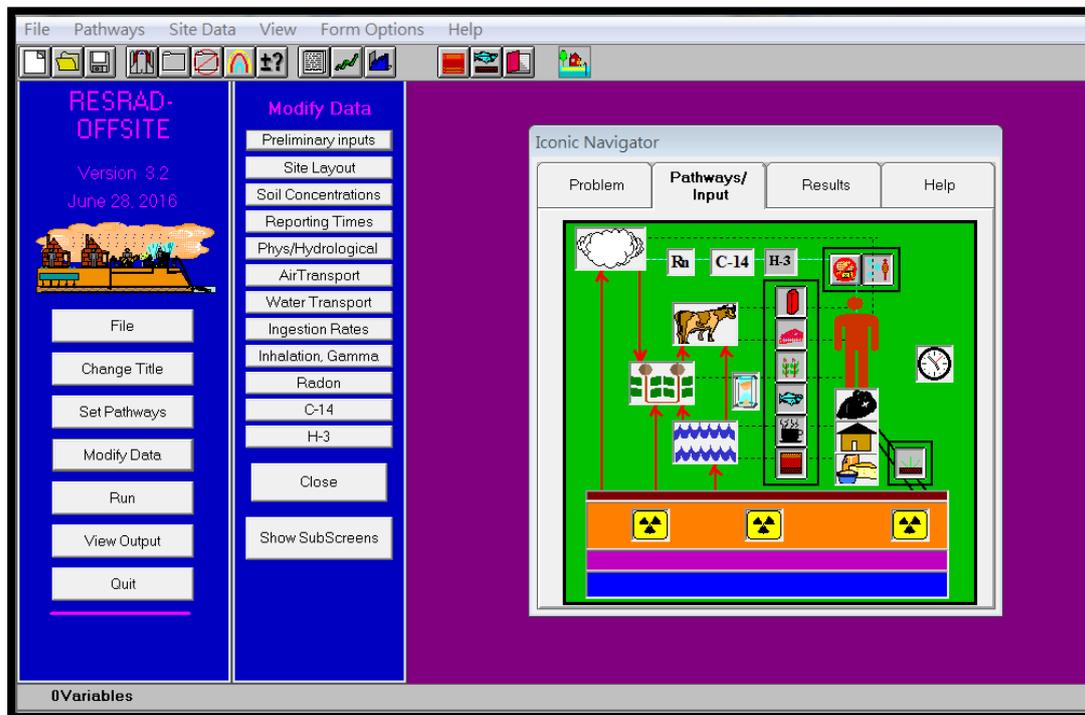


圖 14 RESRAD-OFFSITE 程式初始操作頁面

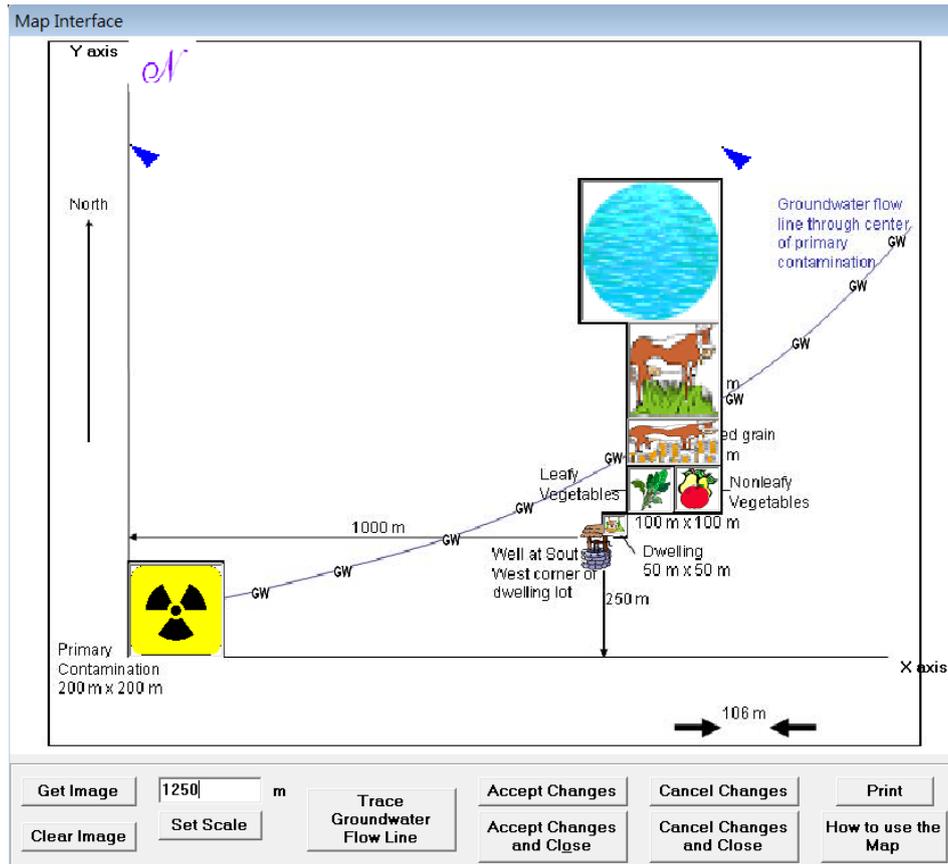


圖 15 Site Layout 設定視窗

所謂的射源項模型，可以想像為在原本的污染層中存放著許多處置容器，而核種若要從這些處置容器釋出，前提是容器遭受破壞，使水得以進入與內部的放射性廢棄物接觸，造成核種以水作為傳輸媒介而釋出(示意圖如圖 16)；因此要使用 RESRAD-OFFSITE 進行處置設施劑量評估作業，第一步驟即是要針對處置容器的保護能力進行設定，意即依情節設定處置容器遭受破壞所發生的時間點、核種釋放持續發生的時間以及釋放比例，並且須設定內含的核種是隨著時間釋放或是瞬間釋放；舉例來說，核種隨著時間釋放之情節，類似於處置容器歷經很長時間後，可能因鏽蝕而逐漸喪失保護力，使其內的核種會隨著時間而逐漸釋放出來；至於處置容器若因地震而造成結構瞬間破壞，導致容器完全喪失保護力，則此較類似於核種瞬間釋放之情節。

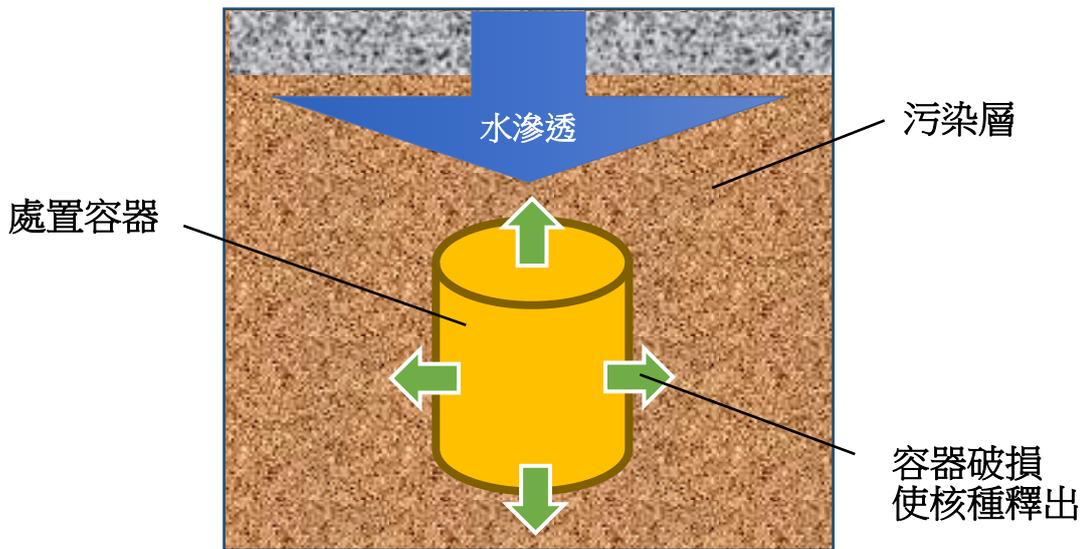


圖 16 RESRAD-OFFSITE 射源項模型示意圖

故第一步驟即是針對核種可釋放之含量進行設定，而第二步驟則是須進一步依廢棄物之型態來設定核種釋出機制，意即依情節來設定這些核種是隨著時間釋出或是瞬間平衡釋出；舉例來說，核種瞬間平衡釋出之機制可使用於核種附著能力較低如污染衣物、手套、工具等類型之廢棄物，由於其附著能力較低，因此該類廢棄物與水接觸後，核種即易溶於水而瞬間釋出；至於核種吸附力較高如水泥固化體此類之廢棄物，由於其型態穩定，因此廢棄物與水接觸後，核種並不會瞬間釋出，故可使用核種隨著時間釋出之機制，來做為後續傳輸之計算。

以下將使用程式操作介面進行案例說明與結果比較，圖 17 為案例一之射源項設定畫面，本案例情節是假設處置容器內含初始活度為 100pCi/g 之 Am-241 乾性廢棄物，在該廢棄物處置後的第 400 年，發生一場地震導致處置容器完全毀損，使得廢棄物內之核種全部釋出；而圖 18 為案例二之射源項設定畫面，本案例情節則是假設處置容器內含相同活度之 Am-241 水泥固化體，在該廢棄物處置後的第 400 年，因處置容器長期與水接觸而導致破損，使得廢棄物內之核種開始逐漸釋出，直到所有核種釋出為止，該釋放過程持續發生 500 年。

Radionuclide bearing material becomes releasable		
<input type="radio"/> Linearly over time	<input checked="" type="radio"/> Stepwise in time	
Time at which radionuclide first becomes releasable (delay time)	400	years
Fraction of radionuclide bearing material that is initially releasable	1	
Time over which transformation to releasable form occurs	0	years
Total fraction of radionuclide bearing material that is releasable	1	
Release mechanism		
<input type="radio"/> First Order Rate Controlled Release with Transport		
<input checked="" type="radio"/> Instantaneous Equilibrium Desorption Release		
Initial Leach Rate	0	/year
Final Leach Rate	0	/year
Distribution Coefficient in the contaminated zone:	20	cc/g

圖 17 處置容器核種釋出之情節假設與參數設定說明- 案例一

Radionuclide bearing material becomes releasable		
<input checked="" type="radio"/> Linearly over time	<input type="radio"/> Stepwise in time	
Time at which radionuclide first becomes releasable (delay time)	400	years
Fraction of radionuclide bearing material that is initially releasable	0	
Time over which transformation to releasable form occurs	500	years
Total fraction of radionuclide bearing material that is releasable	1	
Release mechanism		
<input checked="" type="radio"/> First Order Rate Controlled Release with Transport		
<input type="radio"/> Instantaneous Equilibrium Desorption Release		
Initial Leach Rate	.008245	/year
Final Leach Rate	.008245	/year
Distribution Coefficient in the contaminated zone:	20	cc/g

圖 18 處置容器核種釋出之情節假設與參數設定說明- 案例二

而在其餘參數都為預設值的情況之下，圖 19 與圖 20 分別為兩案例劑量評估結果，可明顯發現案例二相較於案例一，因為核種延遲釋出之緣故，導致劑量峰值較低，且劑量率上升與下降速率也較慢。

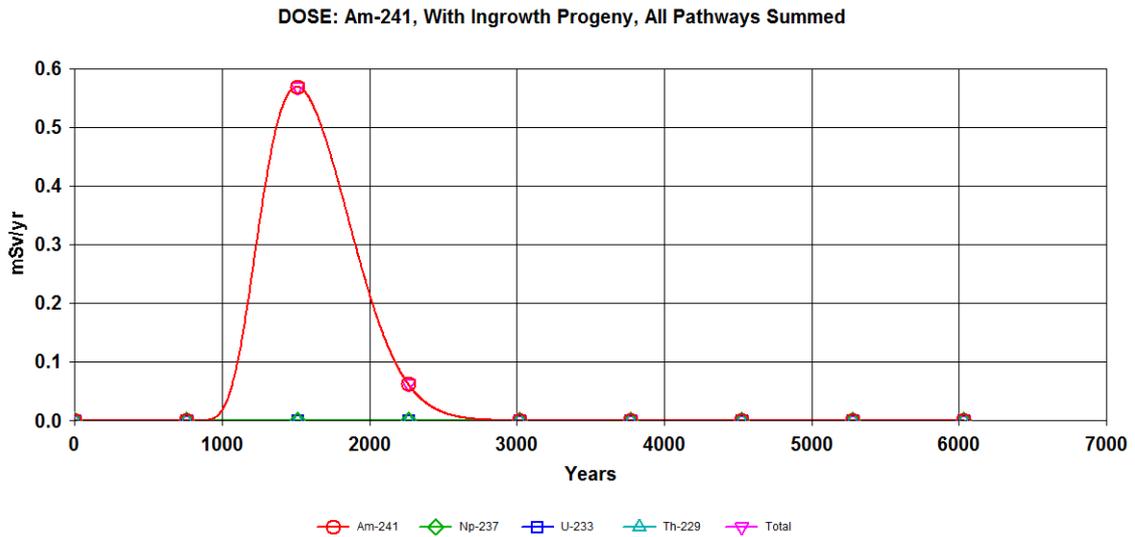


圖 19 處置容器核種釋出之劑量評估結果-案例一

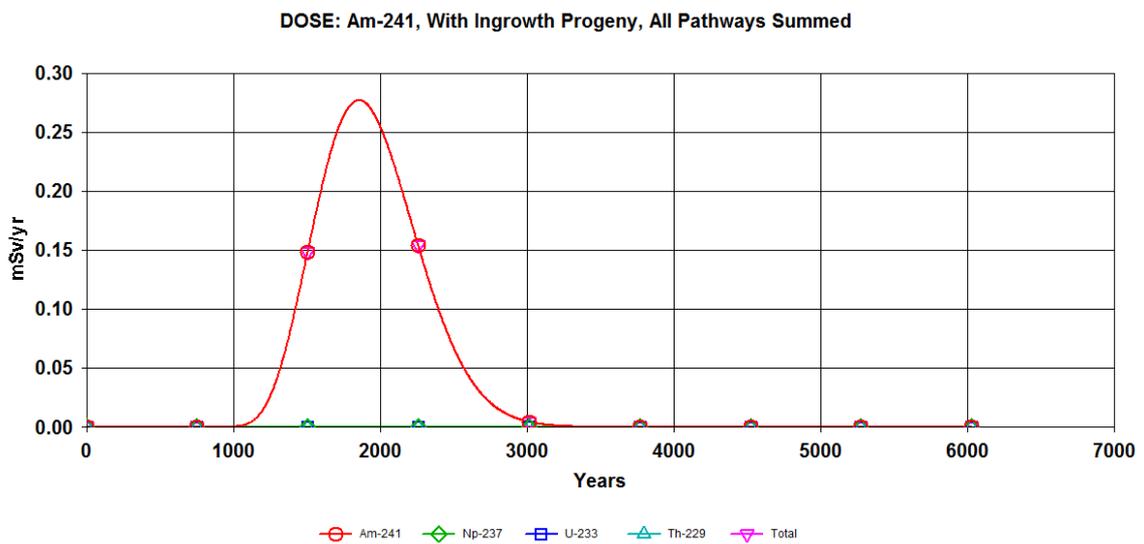


圖 20 處置容器核種釋出之劑量評估結果-案例二

須注意的是，若選擇核種隨著時間釋出之機制，使用者須設定核種初始及最終的滲出率(Leach Rate)，至於滲出率須維持定值或越變越快、慢，專家建議仍要以相關實驗分析結果來決定，例如有些廢棄物可能與水接觸的越久，核種就越容易溶出，因此滲出率會大幅升高。

RESRAD-BUILD 相較於 ONSITE 與 OFFSITE 之差異

RESRAD-BUILD 相較於 RESRAD-ONSITE 與 RESRAD-OFFSITE，最大的不同在於放射性污染是存在於建築物的表面而非污染土層，而程式會計算其所造成建物內人員之體外與體內曝露，程式初始操作頁面如圖 21；RESRAD-BUILD 所考慮的曝露途徑主要包含直接或間接嚥入、吸入空降、再懸浮以及氡氣等放射性物質與體外曝露等；可選擇之射源有點、線、面與體射源等四種型式，而程式亦能共置射源，例如在體射源上方放置面射源或在面射源內中設定污染熱點，且一次最多能同時運算 10 個射源與 10 個受體；此外，RESRAD-BUILD 亦提供射源與受體相對位置顯示示窗(如圖 22)，方便使用者進行幾何空間設置。

The screenshot displays the RESRAD-BUILD software interface with the following sections and values:

- Case:**
 - Case: Default Case for RESRAD-BUILD
 - Dose/Risk Library: FGR 11
 - Time Parameters:
 - Exposure Duration (days): 365
 - Indoor fraction: 0.5
 - Button: Evaluation Times
- Building Parameters:**
 - Number of Rooms: 1
 - Deposition Velocity: 0.01 m/s
 - Resuspension Rate: 0.0000005 1/s
 - Button: Air Flow
- Radiological Units:**
 - Activity: p Ci
 - Dose: m rem
- Receptor Parameters:**
 - Receptor #: 1
 - Room: 1
 - Time Fraction: 1
 - Breathing Rate: 18 m³/d
 - Ingestion Rate: 0.0001 m²/h
 - Location [m]: x: 1, y: 1, z: 1
- Shielding Parameters:**
 - Source 1 / Receptor 1:
 - Thickness: 0 cm
 - Density: 2.4 g/cc
 - Material: Concrete
 - Buttons: View Table, Copy Shielding
- Source Parameters:**
 - Source #: 1
 - Room: 1
 - Type/Dir: Volume X
 - Location [m]: x: 0, y: 0, z: 0

圖 21 RESRAD-BUILD 程式初始操作頁面

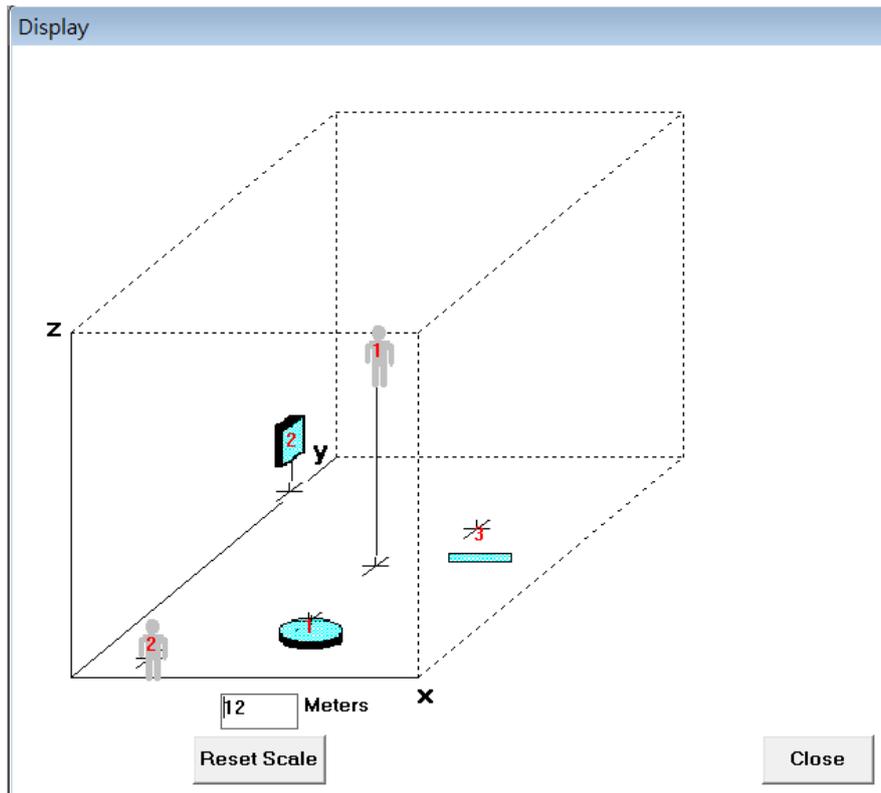


圖 22 RESRAD-BUILD 射源與受體相對位置顯示示窗

雖然 RESRAD-BUILD 程式易進行操作運算，但程式本身運算模式即有相關限制條件，例如建物的幾何模型最多僅能假設 3 個房間、射源與受體之間僅能設定一個屏蔽體(牆面、地面)，因此在計算較為複雜的案例時，可能須視情況調整、簡化模型，甚至得執行多次的運算後再將劑量進行加總。

以上為本次訓練重點紀錄，上述各項案例僅為方便說明所假設之情節，實務上皆須詳細說明所假設之情節以及各項參數來源之依據，必要時亦須提出佐證資料以證明假設之合理性。

三、心得

- (一)所謂的DCGL，即是依據除役廠址未來的用途(如限制或非限制性使用)，利用RESRAD程式進行劑量評估後，再藉由法規劑量限值回推該核種所允許殘餘之活度濃度；因此藉由本次的訓練，除能掌握該程式之劑量評估模式、曝露途徑和DCGL推算過程外，更能直接與開發RESRAD程式之專家，面對面討論如何使用該程式解決除役實務上所面臨之相關問題，進而提升我國安全管制之技術與能力。
- (二)藉由本次訓練，不難發現使用RESRAD進行核設施除役輻射劑量評估作業，所須輸入之參數數量相當龐大，而在時間或資源有限之情況下，對於仍未取得之參數，可藉由程式內建之靈敏度分析功能，找出對劑量有顯著影響之參數，可做為使用者優先進行規劃與調查之參考。
- (三)使用RESRAD程式評估輻射劑量可分為確定性分析與機率性分析兩種方法，通常使用確定性分析方法，即是針對各項參數使用單一較保守數值進行劑量之計算，雖操作上較為容易，但有時會計算出不切實際且過於保守之劑量值；然而考量實際情況，由於許多參數具有不確定性，故使用者仍應進行相關機率性分析作業，除能求得更為實際之劑量值，亦有助於掌握數據不確定度與劑量之關聯性。

四、建議事項

- (一) 本次前往美國阿岡國家實驗室受訓，除能充分掌握如何使用 RESRAD 進行相關劑量評估作業，亦能與開發程式之專家，就核設施除役以及放射性廢棄物最終處置相關技術議題進行交流與討論，藉此吸取國際相關經驗，有利於強化我國安全管理技術，經查本次亦有美國核能管制機關人員參與訓練，建議我國管制單位未來能持續派員參加，以掌握該程式最新之技術發展。
- (二) 執行核設施除役劑量評估作業時，針對各項參數設定，並非以較保守數值求得較嚴格之 DCGL 即可，建議仍須進一步評估相關作業是否符合「合理抑低」原則；因此，不論除役廠址未來用途為何，設施經營者在申請除役許可時，皆須詳細說明所假設之情節以及各項參數來源之依據，必要時亦須提出佐證資料以證明假設之合理性。
- (三) 本次訓練掌握如何使用 RESRAD-OFFSITE 所提供之射源項模型，對低放最終處置設施所假設之案例與情節，設定核種釋出之含量、發生時間與機制，以進行遠場劑量評估作業；依據實驗室專家表示，目前的射源項模型仍不斷的精進中，例如未來將新增多種核種釋出機制與增加核種釋出之時間點等，建議我國未來持續追蹤其發展狀況。
- (四) 由議程表不難發現訓練過程相當緊湊，建議往後有機會前往受訓之人員，出國前應預先蒐集、研析相關文獻資料，並且先行下載程式安裝，初步熟悉程式操作介面，更能使受訓期間達到事半功倍的效果。

附錄-訓練議題與議程

RESRAD-ONSITE Workshop Agenda	
Day 1	June 3, 2019
8:45 – 9:00	Registration
9:00 – 9:20	Opening Remarks/Introduction
9:20 – 9:50	RESRAD-ONSITE Overview
9:50 – 10:30	RESRAD-ONSITE Input Demonstration
10:30 – 10:40	Break
10:40 – 11:20	RESRAD-ONSITE Output Demonstration
11:20 – 12:00	Hands-on Walkthrough - RESRAD Case (Assumptions, Scenarios, Sensitivity)
12:00 – 1:00	Lunch
1:00 – 1:45	RESRAD-ONSITE Methodology
1:45 – 2:30	Hands-on Walkthrough - Cover Effect on Pathways
2:30 – 2:45	Break
2:45 – 3:45	RESRAD-ONSITE Methodology (continued)
3:45 – 4:45	Hands-on Problem and Review
Day 2	June 4, 2019
8:30 – 9:20	Analysis Tools
9:20 – 9:40	Nuclide Factors
9:40 – 10:30	Hands-on Problem and Review
10:30 – 10:45	Break
10:45 – 11:15	Putting It All Together – How RESRAD Fits In
11:15 – 12:00	Hands-on Problem and Review
12:00 – 1:00	Lunch
1:00 – 1:30	Special Radionuclides C-14, H-3, and Radon
1:30 – 2:30	Hands-on Problem and Review
2:30 – 2:45	Break
2:45 – 3:30	Additional Issues
3:30 – 4:20	Hands-on Walkthrough - Uncertainty, Sharing, Documenting
4:20 – 4:45	Verification & Validation

RESRAD-OFFSITE Workshop Agenda	
Day 3	June 5, 2019
8:30 – 9:00	Overview of RESRAD-OFFSITE
9:00 – 10:30	RESRAD-OFFSITE Input Demonstration
10:30 – 10:45	Break
10:45 – 11:45	RESRAD-OFFSITE Output Demonstration
12:00 – 1:00	Lunch
1:00 – 2:00	Hands-on onsite scenario to illustrate the similarities and differences between the RESRAD-ONSITE and RESRAD-OFFSITE codes
2:00 – 2:45	Contamination & Release Model
2:45 – 3:40	Hands-on and review
3:40 – 3:50	Break
3:50 – 4:30	Air Dispersion
4:30 – 4:45	Hands-on and review
Day 4	June 6, 2019
8:30 – 9:00	Groundwater Model
9:00 – 10:00	Hands-on and review
10:00 – 10:15	Break
10:15 – 10:45	Offsite Accumulation and Exposure
10:45 – 11:45	Hands-on and review
11:45 – 1:00	Lunch
1:00 – 2:30	Integrated Offsite Scenario
2:30 – 2:45	Break
2:45 – 4:45	Probabilistic Analysis

RESRAD-BUILD Workshop Agenda	
Day 5	June 7, 2019
8:30 – 9:15	Workshop Overview & Introduction to RESRAD-BUILD
9:15 – 10:00	RESRAD-BUILD Input Demo
10:00 – 10:10	Break
10:10 – 10:30	RESRAD-BUILD Output Demo
10:30 – 11:15	Hands-on
11:15 – 11:45	RESRAD-BUILD Methodology
11:45 – 1:00	Lunch
1:00 – 1:40	RESRAD-BUILD Methodology (Cont'd)
1:40 – 2:30	Hands-on and review
2:30 – 2:50	Advanced Features Demonstration
2:50 – 3:00	Break
3:00 – 3:15	Hands-on and review
3:15 – 3:40	Problem Solving Techniques
3:40 – 3:50	Verification and Validation
3:50 – 4:00	Hands-on/Course Evaluation