

104 年度政府科技發展計畫

績效報告

(D006)

計畫名稱：輻射事故緊急應變管制技術發展

主管機關：行政院原子能委員會

執行單位：行政院原子能委員會核能技術處

中華民國 105 年 2 月 15 日

目 錄

【104 年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】	84
【104 年度績效自評意見暨回復說明(D007)】	85
壹、 目的、架構與主要內容	89
一、 目的與預期成效	89
(一) 目的	89
(二) 預期成效	90
(三) 實際達成與原預期差異說明	90
二、 架構	90
三、 主要內容	91
(四) 實際執行與原規劃差異說明	92
貳、 經費與人力執行情形	93
一、 經費執行情形	93
(一) 經資門經費表 (E005)	93
(二) 經費支用說明	95
(三) 經費實際支用與原規劃差異說明	95
(一) 計畫人力結構 (E004)	96
(二) 人力實際進用與原規劃差異說明	97
參、 已獲得之主要成果與重大突破(含量化 output) (E003)	98

【104 年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】

審議編號	1010002442				
計畫名稱	輻射事故緊急應變管制技術發展				
主管機關	行政院原子能委員會				
執行單位	行政院原子能委員會核能技術處				
計畫主持人	姓名	徐明德	職稱	處長	
	服務機關	行政院原子能委員會核能技術處			
	電話	02-2232-2085	電子郵件	mthsu@aec.gov.tw	
計畫類別	延續型一般計畫				
計畫群組及比重	環境科技 100%				
執行期間	104 年 1 月 1 日至 104 年 12 月 31 日				
全程期間	101 年 1 月 1 日至 104 年 12 月 31 日				
全程計畫 資源投入 (104 年度以前 請填決算數)	年度	經費(千元)		人力(人/年)	
	101	10,552		5.4	
	102	9,240		5.4	
	103	10,732		5.8	
	104	9,689		6.0	
	合計	40,213		22.6	
當年度 經費投入 明細 (請填決算數)	104 年度	人事費	0	土地建築	0
		材料費	0	儀器設備	2,000
		其他經常支出	5,689	其他資本支出	2,000
		經常門小計	5,689	資本門小計	4,000
		經費小計(千元)		9,689	
計畫連絡人	姓名	謝佳慧	職稱	技正	
	服務機關	行政院原子能委員會核能技術處			
	電話	02-22322230	電子郵件	chhsieh@aec.gov.tw	

【104 年度績效自評意見暨回復說明(D007)】

計畫名稱：輻射事故緊急應變管制技術發展

績效審查委員：白寶實、施純寬、董傳中

序號	審查意見	回復說明
壹、執行之內容與原計畫目標符合程度(評等：8) 9-10：超越計畫原訂目標。 8：達成計畫原訂目標。 7：大致與原計畫目標相符。 1-6：未達原訂目標。		
1-1	附件之佐證資料未含第三項研究子題之成果。	1. 檢附第三分項「輻射事故風險管理策略研究」相關成果，請參考。 2. 本報告係初步研究成果，俟本會相關處室審查等程序完成後，才會正式出版這幾份資料。
1-2	輻射事故緊急應變管制技術，包括大氣擴散模式與驗證技術發展：以及國內核鑑識能力盤整與技術建立：此兩大技術繁複，相關技術質量高，工作負荷度大，具有核電使用國家技術必備之關鍵高階技術：此計畫之重要性高，優先度排序前列。	謝謝委員鼓勵。
貳、計畫經費及人力運用之妥適度(評等：9) 9-10：與原規劃一致。 7-8：與原規劃大致相符，差異處經機關說明後可以接受。 1-6：與原規劃不盡相符，且計畫經費、人力與工作無法匹配。		
2-1	此計畫經費應屬龐大，但計畫執行單位使用小額經費，即能完成如此難度高之工作，實屬	謝謝委員鼓勵。

	不易，應予以獎勵，本計畫經費運用極優；人力運用極優。	
參、已獲得之主要成果(重大突破)與成果滿意度(評等：8) 9-10：達成原訂 KPI，且獲得成果績效超越原計畫預期。 8：達成原訂 KPI，且獲得成果績效與原計畫預期相符。 7：大致達成計畫原訂 KPI 與預期效益。 1-6：未達成計畫原訂 KPI 與預期效益。		
3-1	P104「招募新人加入工作」，似與「提高人民或業者收入」之主旨不符。	本計畫提供具有輻射防護與氣象專業之人員工作機會。
3-2	本計畫複雜性高難度大：在大氣擴散模式中要考慮源項放射性核種之衰變，在擴散途中乾、濕沉降，地形建物之影響，以致構成行經路徑上之各點空氣中所含放射性強度值；再運轉化成在該點人員之體外、體內劑量值，與急性致死率與晚期罹癌致死率之數值，要能得到精確之估算，實屬不易。	謝謝委員鼓勵。
肆、評估主要成就及成果之價值與貢獻度(評等：8) 9-10：超越原計畫預期效益。 8：與原計畫預期效益相符。 7：大致與原計畫預期效益相符。 1-6：未達成原計畫預期效益。		
4-1	缺「輻射事故風險管理策略研究」之研究資料。	1. 檢附第三分項「輻射事故風險管理策略研究」相關成果，請參考。 2. 本報告係初步研究成果，俟本會相關處室審查等程序完成後，才會正式出版這幾份資料。
4-2	原本的成果預期規劃就有偏低。	本年度主要工作內容「大氣擴散模式與驗證技術發展」部分：主要為

		新一代劑量評估系統的雛形發，與根據日本 JAEA 之文獻，建立外釋射源項回推方法，均屬新技術之研發；「輻射事故鑑識技術發展」部分：主要為強化國內相關放化實驗室阿伐核種分析技術，以儲備國內緊急應變能量，較屬國內各放化實驗室技術訓練，故在預期成果規劃上較為保守。
4-3	本計畫之成就均符合預期所估；效益、價值與貢獻度均符合預期所列；但能以如此拮据之經費達成如此優良之成果，個人認為應給予超越原計畫預期效益之分數。	謝謝委員鼓勵。
伍、跨部會協調或與相關計畫之配合程度(評等：10) 10：認同機關所提計畫執行無須跨部會協調，且不須與其他計畫配合。 9-10：跨部會協調或與相關計畫之配合情形良好。 7-8：跨部會協調或與相關計畫之配合情形尚屬良好。 1-6：跨部會協調或與相關計畫之配合情形仍待加強。		
5-1	認同機關所提計畫執行無須跨部會協調，且不須與其他計畫配合。	謝謝委員意見。
5-2	本計畫執行期間，有關大氣資訊與氣象預測方面有與氣象局專家合作；並就該項次要與交通部氣象局協調配合，執行效果頗佳。	謝謝委員鼓勵。
陸、後續工作構想及重點之妥適度(評等：8) 9-10：後續工作構想良好；屆期計畫成果之後續推廣措施良好。 7-8：後續工作構想尚屬良好；屆期計畫之後續推廣措施尚屬良好。 1-6：後續工作構想有待加強；未規劃適當之屆期計畫後續推廣措施。		
6-1	檢討與展望中，未有後續工作之構想。	本計畫「大氣擴散模式與驗證技術發展」部分：後續工作重點為持續

		驗證事故外釋射源項回推技術並進行程式化，以即時化預報技術整合境內境外之核子事故劑量評估系統，提升人機操作介面與結果顯示效果，例行之劑量評估系統應用與運維。後續之研發經費將由核子事故緊急應變基金支援。 「輻射事故鑑識技術發展」部分：將朝提升輻射事故緊急應變檢測能量規劃
6-2	後續工作就是落實本計畫研發出之技術，使此技術執行無礙，成果使用達陣，成就我國在核災緊急應變管制上合於國際水準要求。	謝謝委員建議。
柒、總體績效評量暨綜合意見 (評等：8) (10:極優 9:優 8:良 7:可 6:尚可 5:普通 4:略差 3:差 2:極差 1:劣)		
7-1	只有國內會議論文一篇，是十分可惜的一件事，而且又沒有任何年輕人力的培育，這個在未來的計劃中應該要加強。至於電廠事故後的輻射源項之回推評估，應該是國際上很熱門的技術，學術價值與難度都非常高，又具有實用價值，不應尚只在方法論上的探討而已，而且本人期望應有高水準的論文出現才可能有突破。	事故外釋射源項回推技術開發於104年度第四季完成，後續仍將持續針對此技術進行更進一步的精進與驗證，期能獲得較佳的結果，以投稿國際期刊為目標。
7-2	本計畫總體績效極優，並建議主管機關對此計畫負責人與關鍵執行人員給予適度之獎勵。	謝謝委員鼓勵。

壹、目的、架構與主要內容

一、目的與預期成效

(一) 目的

原能會是核能管制及輻射安全的主管機關，緊急應變是核安管制的最後一道防線，其目的在保障民眾和環境之安全。

緊急應變管制業務包括廠內、廠外應變作業程序、設施整備、應變組織編組、動員測試、人員訓練、演習實作、應變決策支援系統發展等，為提升應變效能，除參考國際輻射防護及緊急應變技術實務做法外，亦須與國際發展接軌。

日本 311 福島核電廠事故後，原能會全面檢討國內核電廠之緊急應變計畫，並將緊急應變計畫區由原來的 5km 擴大為 8km。因應緊急應變計畫區擴大，緊急事故應變系統中劑量評估系統的評估範圍亦配合擴充。本計畫除強化精進劑量評估系統之軟硬體介面整合能力及評估效能。也參酌日本福島民眾防護措施實施之經驗，[檢討現行整備作業之能量，以落實核安輻安、民眾心安之目標。](#)

在大氣擴散模式與驗證技術發展上，利用降尺度氣象預報技術，建立台灣區域 2.5 公里解析度氣象預報場，開發可評估全台灣 2.5 公里解析度之劑量評估系統，並達成多電廠多機組同時發生事故之評估能力，建立整合輻射偵測、空氣取樣量測與擴散模擬分析結果，完成事故期間外釋射源項定量與外釋時序回推之方法論。

在國內核鑑識能力盤整與技術建立上，引進新進輻射偵測技術，加強分析一般環境輻射偵測不易遇到的核原料污染核種，提升人員輻射度量經驗與分析品質。精進阿伐放射性含量濃度與同位素比例分析技術與相關系統建立，以提高處理效率與時效，可快速正確提供決策單位資訊得以掌握實際狀況。

(二) 預期成效

本計畫執行成效如下：

- (1) 建立全真化氣象預報技術，使劑量評估之擴散模擬可適用於各種氣象條件，不受氣象參數資料庫之限制。
- (2) 建立可評估全台灣2.5公里解析度之劑量評估系統，並達成多電廠多機組同時發生事故之評估能力。
- (3) 整合輻射偵測資料，完成放射性物質外釋定量與时序回推方法論建立，強化事故後外釋射源項取得之能力。
- (4) 建立輻射事故中穿透力較差阿伐核種確認的能力。
- (5) 建立現場採樣後送分析超鈾元素的程序。
- (6) 藉由風險溝通策略及模式，降低國人對輻射災害或核子事故不必要之疑慮。

(三) 實際達成與原預期差異說明

計畫成果符合預期。

二、架構

細部計畫		子項計畫		主持人	執行機關	說明
名稱	預算數/ (決算數) (千元)	名稱	預算數/ (決算數) (千元)			
輻射事故 緊急應變 管制技術 發展	9,689 9,577	大氣擴散 模式與驗 證技術發 展	5,559 5,506	徐明德 處長	原子能委員會 核能技術處	
		輻射事故 鑑識技術 發展	3,380 3,371			
		輻射事故 風險管理 策略研究	750 700			

三、主要內容

(一) 大氣擴散模式與驗證技術發展

- (1) 因應全真化氣象預報、大氣擴散與劑量評估計算，配合 4 座核電廠之緊急應變計畫區，進行台灣區 2.5 公里解析度以上之模式網格設計規劃。
- (2) 全台灣版劑量評估系統介面設計、程式執行及檔案傳輸流程規劃、顯示底圖製作與系統程式開發。
- (3) 提升氣象預報廠之預報能力，引入 CWB/WRF (氣象局中尺度數值天氣預報模式)5 公里解析度作業化模式 3 天之預報資訊，進行 MDDS 降尺度的分析及其作業化模組的建置。
- (4) 以 NCEP/GFS(美國國家環境預報中心全球預報模式) 8 天預報資訊，進行 MDDS 不同解析度及不同網格化的分析(配合 CWB/WRF 45、15、5 公里以及台灣區 2.5 公里解析度以上及範圍)及其作業化模組的建置。
- (5) 不同氣象預報資訊來源的預報時間間距，改進大氣擴散與劑量評估計算模式的作業效能。
- (6) 最佳化作業氣象資訊的挑選機制的規劃，並進行常規化大氣擴散與劑量評估計算作業模組的氣象輸入機制的建置。
- (7) 核一、二、三廠作業化台灣區 2.5 公里解析度以上的全真化大氣擴散與劑量評估計算系統的建置。
- (8) 多電廠同時發生事故多外釋源之大氣擴散與劑量評估計算模組的建立。
- (9) 核一、二廠同時發生事故之作業化台灣區 2.5 公里解析度以上的全真化大氣擴散與劑量評估計算系統的建置。

- (10) 劑量評估系統建立各電廠嚴重事故外釋情節資料庫。
- (11) 建立以輻射劑量率偵測數據、氣象與大氣擴散及劑量評估模組所組成的外釋射源項回推具體做法。
- (12) 以模擬事故的劑量評估結果所得的假想事故偵測數據，進行外釋射源項回推技術的測試，並建置劑量評估系統外釋射源項回推功能。
- (13) 以核電廠劑量評估統計，分析探討核電廠緊急應變計畫區輻射偵測布站之策略。

(二) 輻射事故鑑識技術發展

- (1) 建置新阿伐能譜分析儀實驗室及相關設備。
- (2) 改進現行阿伐核種分析方法穩定性並提供相關實驗室參考。
- (3) 提升國內相關放化實驗室阿伐核種分析技術。

(三) 輻射事故風險管理策略研究

- (1) 風險溝通策略探討
- (2) 建立輻射災害風險溝通手冊

(四) 實際執行與原規劃差異說明

計畫執行成果達成預期規劃工作項目。

貳、經費與人力執行情形

一、經費執行情形

(一) 經資門經費表 (E005)

1. 線上填寫經資門經費時，須依細部計畫、子項計畫逐項填寫預算數與初編決算數，本表則由細部計畫、子項計畫經費加總產生。
2. 初編決算數：因績效報告書繳交時，審計機關尚未審定 104 年度決算，故請填列機關編造決算數。
3. 實支數：係指工作實際已執行且實際支付之款項，不包含暫付數。
4. 保留數：係指因發生權責關係經核准保留於以後年度繼續支付之經費。
5. 105 年度預算數：如績效報告書繳交時，立法院已審定 105 年度法定預算，則本欄位資料為法定預算數，其金額應與「105 年度綱要計畫申請書(法定版)」一致，如立法院尚未審定 105 年度法定預算，則本欄位資料為預算案數，其金額應與「105 年度綱要計畫申請書(行政院核定版)」一致。
6. 106 年度申請數：本欄位資料係自動產生，資料來源為 106 年度綱要計畫申請書(機關送審版)。

單位：千元；%

	104 年度					105 年度 預算數	106 年度 申請數	備註
	預算數 (a)	初編決算數			執行率 (d/a)			
		實支數 (b)	保留數 (c)	合計 (d=b+c)				
總計	9, 689	9, 577	0	9, 577	98.84%	11, 672	12, 000	
一、經常門小計	4, 689	4, 589	0	4, 589	97.87%			
(1)人事費								
(2)材料費								
(3)其他經常支出	4, 689	4, 589	0	4, 589	97.87%			
二、資本門小計	5, 000	4, 988	0	4, 988	99.77%			
(1)土地建築								
(2)儀器設備	5, 000	4, 988	0	4, 988	99.77%			
(3)其他資本支出								

(二) 經費支用說明

1. 大氣擴散模式與驗證技術發展

委託專業氣象研究機構開發中尺度動力降尺度氣象場預報作業化系統，處理 NCEP/GFS 與 CWB/WRF 網格預報資料預報，及最佳化作業氣象資訊的挑選機制規劃 240 萬。

2. 輻射事故鑑識技術發展

購買能譜分析系統核儀標準模組，藉以提升放射性核種能譜分析能力。

購買水洗塔及抽風系統改善工程，可改進阿伐核種分析前處理實驗室環境，避免酸氣迴流等以維護儀器使用壽命及操作人員健康。

(三) 經費實際支用與原規劃差異說明

經費實際支用情形與原規劃相符。

計畫人力運用情形

(一) 計畫人力結構 (E004)

(填寫說明：線上填寫計畫人力結構時，須依細部計畫、子項計畫逐項填寫原訂人力、實際人力，差異值則由系統自動計算產生。)

計畫名稱	執行情形	104 年度						
		研究員級	副研究員級	助理研究員級	助理級	技術人員	其他	總人力 (人年)
大氣擴散模式與驗證技術發展	原訂	0	2.0	1.2	0.6	0.0	0.0	3.8
	實際	0	2.0	1.2	0.6	0.0	0.0	3.8
	差異	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
輻射事故鑑識技術發展	原訂	0.6	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	1.2
	實際	0.6	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	1.2
	差異	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
輻射事故風險管理策略研究	原訂	0.2	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0
	實際	0.2	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	1.0
	差異	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

- 研究員級：研究員、教授、主治醫師、簡任技正等，若非以上職稱則相當於博士滿3年、或碩士滿6年、或學士滿9年以上之研究經驗者。
- 副研究員級：副研究員、副教授、助理教授、總醫師、薦任技正，若非以上職稱則相當於博士、或碩士滿3年、或學士滿6年以上之研究經驗者。
- 助理研究員：助理研究員、講師、住院醫師、技士，若非以上職稱則相當於碩士、或學士滿3年以上之研究經驗者。
- 助理級：研究助理、助教、實習醫師，若非以上職稱則相當於學士、或專科滿3年以上之研究經驗者。
- 技術人員：指目前在研究人員之監督下從事與研究發展有關之技術性工作。
- 其他：指在研究發展執行部門參與研究發展有關之事務性及雜項工作者，如人事、會計、秘書、事務人員及維修、機電人員等。

(二) 人力實際進用與原規劃差異說明

人力投入符合預期規劃

參、已獲得之主要成果與重大突破(含量化 output) (E003) (系統填寫)

填寫說明：

1. 績效指標之「原訂目標值」應與原綱要計畫書一致，惟因 104 年度績效指標項目修正，部分績效項目整併或分列，機關得依績效項目之調整配合修正原訂指標項目與原訂目標值，惟整體而言，不得調降原訂目標值。
2. 項目 A.論文、G.智慧財產、H.技術報告及檢驗方法、J1.技轉與智財授權、S1.技術服務、L.促成投資等 6 項目指標，因統計需要請務必填寫，無則填「0」即可。
3. 得因計畫實際執行增列指標項目以呈現計畫成果。

屬性	績效指標類別	績效指標項目		104 年度		105 年度目標值	106 年度目標值	效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
				原訂目標值	實際達成值				
學術成就 (科技基礎研究)	A.論文	期刊論文	國內(篇)	1				於 2015 臺灣災害管理學會年會暨研討會發表「由福島事故探討國內核子事故輻射緊急應變相關作業人員輻射防護改善作業」供國內輻射緊急應變相關作業人員輻射防護參考。	
			國外(篇)						
		研討會論文	國內(篇)		1				
			國外(篇)						
		專書論文	國內(篇)						
			國外(篇)						
	B.合作團隊 (計畫)養成	機構內跨領域合作團隊(計畫)數						核電廠大氣擴散評估、輻射劑量評估及建立核鑑識分析等 3 個研究團隊。培養相關核事故評估與輻射劑量評估，可維護台灣地區環境安全與人民健康。	
		跨機構合作團隊(計畫)數		3	3				
		跨國合作團隊(計畫)數							
		簽訂合作協議數							
		形成研究中心數							
		形成實驗室數							

屬性	績效指標類別	績效指標項目	104 年度		105 年度目標值	106 年度目標值	效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值				
學術成就 (科技基礎研究)	C.培育及延攬人才	博士培育/訓人數					效益說明可包含學生畢業後從事相關行業、延攬國際級專業科研人才情形等。	
		碩士培育/訓人數						
		學士培育/訓人數						
		學程或課程培訓人數						
		延攬科研人才數						
		國際學生/學者交換人數						
		培育/訓後取得證照人數						
	D1.研究報告	研究報告篇數	1	2			建立氣象參數統計分析流程與即時化降尺度氣象預報開發技術	
	D2.臨床試驗	新藥臨床試驗件數					效益說明可包含新藥、醫療器材於國內外臨床試驗通過情形等。	
		醫療器材臨床試驗件數						
	E.辦理學術活動	<u>國內</u> 學術會議、研討會、論壇次數					學術活動包含研討會(workshop)、學術會議(symposium)、學術研討會(conference)、論壇(forum)等；效益說明可包含主辦國際重要研討會情形等。	
		<u>國際</u> 學術會議、研討會、論壇次數						
		<u>雙邊</u> 學術會議、研討會、論壇次數						
		出版論文集數量						
	F.形成課程/教材/手冊/軟體	形成課程件數					效益說明可包含課程、教材、手冊、軟體被引用情形，或其他個人或團體之加值利用情形等。	
		製作教材件數						
		製作手冊件數						
		自由軟體授權釋出教材件數						

屬性	績效指標類別	績效指標項目			104 年度		105 年度目標值	106 年度目標值	效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
					原訂目標值	實際達成值				
	其他									
技術創新 (科技技術創新)	G.智慧財產	申請中	國內	發明專利(件)					效益說明可包含智慧財產應用、引用、授權情形等。	
				新型/新式樣(件)						
				商標(件)						
				品種(件)						
			國外	發明專利(件)						
				新型/新式樣(件)						
				商標(件)						
				品種(件)						
		已獲准	國內	發明專利(件)						
				新型/新式樣(件)						
				商標(件)						
				品種(件)						
			國外	發明專利(件)						
				新型/新式樣(件)						
				商標(件)						
				品種(件)						
		著作/出版品		國內(件)						
				國外(件)						
		與其他機構或廠商合作智財件數								

屬性	績效指標類別	績效指標項目		104 年度		105 年度目標值	106 年度目標值	效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
				原訂目標值	實際達成值				
技術創新 (科技技術創新)	H.技術報告及檢驗方法	新技術開發或技術升級開發之技術報告篇數		1	1			完成「104 年難測核種銻化學分析實務交流技術報告」並提供國內相關放化實驗室參考。	
		新檢驗方法數							
	I1.辦理技術活動	辦理技術研討會場次		1	1			辦理國內相關放化實驗室「104 年度難測核種銻化學分析實務技術交流」。	
		辦理技術說明會或推廣活動場次							
		辦理競賽活動場次							
	I2.參與技術活動	發表於國內外技術活動(包含技術研討會、技術說明會、競賽活動等)場次						效益說明可包含於國際重要技術活動發表、競賽活動獲獎情形等	
	J1.技轉與智財授權	技轉(含先期技術) <u>國內</u> 廠商或機構	件數					效益說明可包含技轉與智財授權情形、商品化情形等。	
			金額(千元)						
		技轉(含先期技術) <u>國外</u> 廠商或機構	件數						
			金額(千元)						
		專利授權 <u>國內</u> 廠商或機構	件數						
			金額(千元)						
		專利授權 <u>國外</u> 廠商或機構	件數						
			金額(千元)						
		自由軟體授權件數							
		其他(不含專利)授權	件數						
			金額(千元)						

屬性	績效指標類別	績效指標項目	104 年度		105 年度目標值	106 年度目標值	效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值				
技術創新 (科技技術創新)	J2.技術輸入	引進技術件數					效益說明可包含引進技術之應用情形。	
		引進技術經費(千元)						
	S1.技術服務 (含委託案及工業服務)	技術服務件數					效益說明可包含技術服務收入等。	
		技術服務家數						
		技術服務金額(千元)						
	S2. 科研設施 建置及服務	設施建置項數					效益說明可科研設施服務收入、服務滿意度等。	
		設施運轉穩定度(%)						
		設施運轉運轉效率(%)						
		設施服務項目數						
		設施使用人次						
		設施服務件數						
		設施服務時數						
		設施服務收入						
	其他							

屬性	績效指標類別	績效指標項目	104 年度		105 年度目標值	106 年度目標值	效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值				
經濟效益 (經濟產業促進)	L.促成投資	促成廠商投資件數					效益說明可包含廠商或產業團體投資或成立新創事業所推出之新產品上市項數、產量、產值等情形。	
		促成生產投資金額(千元)						
		促成研發投資金額(千元)						
		促成新創事業投資金額(千元)						
		促成產值提升或新創事業所推出新產品產值(千元)						
	M.創新產業或模式建立	成立營運總部數					效益說明可包含增加台灣產業運籌電子化擴散面積、衍生公司投資金額、創新模式衍生新產品產值、環境改善或體系建立等提高產品競爭力、促進產業發展效益。	
		衍生公司家數						
		建立產業發展環境、體系或營運模式件數						
		參與產業發展環境、體系或營運模式之產業團體數						
		促成企業聯盟家數						
		創新模式衍生新產品上市項數						
		促成產值提升或創新模式衍生新產品產值(千元)						
	N.協助提升我國產業全球地位	建立國際品牌或排名提升					效益說明可包含相關產業(品)產值國際排名提升情形等。	
		相關產業產品產值世界排名提升						
		促成國際互惠合作件數						
		促進國際廠商在台採購(千元)						

屬性	績效指標類別	績效指標項目		104 年度		105 年度目標值	106 年度目標值	效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
				原訂目標值	實際達成值				
經濟效益 (經濟產業促進)	O. 共通/檢測技術服務及輔導	輔導廠商或產業團體技術或品質提升、技術標準認證、實驗室認證、申請與執行主導性新產品及關鍵性零組件等	件數					效益說明可包含輔導廠商或產業團體獲得國家/國際證照、通過實驗室認證、申請或獲得專利情形、輔導對象相對投入情形、輔導個人獲得相關專業證照情形、國內二級校正衍生數等。	
			廠商家數						
			廠商配合款(千元)						
		技術、作業準則等教育訓練人次							
		提供國家級校正服務件數							
	P. 創業育成	新公司或衍生公司家數						效益說明可包含新公司或衍生公司投資金額、年營業額等。	
	T. 促成與學界或產業團體合作研究	媒合與推廣活動辦理次數						效益說明可包含合作研究產品上市項數、產量、銷售金額、降低產品成本、提升產品附加價值等	
		促成合作研究件數							
		廠商研究配合款金額(千元)							
		合作研究產品上市項數							
	U. 促成智財權資金融通	輔導診斷家數						效益說明可包含協助中小企業取得融資及保證情形等	
		案源媒合家數							
		協助廠商取得融資家數							
		協助廠商取得融資金額(千元)							
	AC. 減少災害損失	開發災害防治技術與產品數						效益說明可包含預估降低環境危害風險或成本等。	
		建立示範區域或環境觀測平台數							
		建築或橋梁補強數							

屬性	績效指標類別		績效指標項目	104 年度		105 年度目標值	106 年度目標值	效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
				原訂目標值	實際達成值				
			輔導廠商建立安全相關生產或驗證機制之件數						
			預估降低環境危害風險或成本(千元)						
	其他								
社會影響	社會福祉提升	AB. 科技知識普及	科普知識推廣與宣導次數					效益說明可包含於國際重要報章媒體刊登或宣傳情形。	
			科普知識推廣與宣導觸達人數						
			新聞刊登或媒體宣傳數量						
		Q. 資訊服務	設立網站數					效益說明可包含網站訪客人數或人次、縮短行政作業時間比率、服務使用提升率、服務滿意度、外部評鑑或查核機制獲獎情形等。	
			提供客服件數						
			知識或資訊擴散(觸達)人次						
			開放資料(Open Data)項數						
			提供共用服務或應用服務項目數						
			線上申辦服務數						
			服務使用提升率						
		R. 增加就業	廠商增聘人數					效益說明可包含降低失業率、提升國民生產毛額等。	

屬性	績效指標類別		績效指標項目	104 年度		105 年度目標值	106 年度目標值	效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
				原訂目標值	實際達成值				
社會影響	社會福祉提升	W. 提升公共服務	旅行時間節省(換算為貨幣價值，千元)					效益說明可包含運輸耗能節省金額、減少二氧化碳排放量等。	
			運輸耗能節省金額(千元)						
			減少二氧化碳排放量(公噸)						
		X. 提高人民或業者收入	受益人數	2	2			招募新人加入工作	
			增加收入(千元)						
		XY. 人權及性別平等促進	人權、弱勢族群或性別平等促進活動場次					效益說明可包含性別或弱勢族群之受益比例等。	
			活動參與人數						
		其他							
	環境安全永續	V. 提高能源利用率及綠能開發	技術或產品之能源效率提升百分比(%)					效益說明可包含技術或產品上市銷售帶動節約能源量、減少二氧化碳排放量、提升新能源及再生能源占比等。	
			技術/產品達成綠色設計件數						
			減少二氧化碳排放量(公噸)						
			提升新能源及再生能源產出量						
		Z. 調查成果	調查筆數					效益說明可包含國土、環境、健康等各式調查之調查重要發現，以及調查結果可輔助決策之準確度等。	
			調查圖幅數						
			調查面積						
			影像資料筆數						

屬性	績效指標類別	績效指標項目	104 年度		105 年度目標值	106 年度目標值	效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值				
		調查物種數						
	其他							
其他效益 (科技政策管理及其他)	K. 規範/標準或政策/法規草案制訂	參與制訂政府或產業技術規範/標準件數	0	1			完成「放射分析實驗室基礎設制要求建議規範」乙份，可做為我國建立放射性備援實驗室之參考	
		參與制訂之政策或法規草案件數						
		草案被採納或認可通過件數						
		草案公告實施或發表件數						
	Y. 資訊平台與資料庫	新建資訊平台或資料庫數					效益說明可包含資訊平台或資料庫整合服務加速行政作業時間、使用人次提升率、滿意度等。	
		更新資訊平台功能項目						
		更新或新增資料庫資料筆數						
		資訊平台或資料庫使用人次						
	AA. 決策依據	新建或整合流程數					本計畫之目標在於建立更完善之核子事故評估與劑量評估系統，強化緊急應變之能力	
		提供政策建議或重大統計訊息數						
		政策建議被採納數						
		決策支援系統及其反應加速時間(%)	1	1				
	其他							

104 年度計畫績效指標實際達成與原訂目標差異說明：

目 錄

壹、 主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome).....	109
一、 學術成就(科技基礎研究).....	109
二、 技術創新(科技技術創新).....	109
三、 經濟效益(經濟產業促進).....	110
四、 社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)	110
五、 其他效益(科技政策管理、人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導等).....	112
貳、 跨部會協調或與相關計畫之配合	115
參、 檢討與展望.....	115

壹、主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome)

(填寫說明：請說明計畫所達成之主要成就與成果，以及其價值與貢獻度；若綱要計畫為多年期計畫，請填寫起始年累積至今之主要成就及成果之價值與貢獻度。)

一、學術成就(科技基礎研究)

在福島事故後，國際間均在尋求可於事故期間獲取外釋射源項之方法，而利用環境偵測資料配合大氣擴散模擬回推外釋量與外釋時序，為目前國際間共同之因應對策並致力精進之技術，主要如日本 WSPEEDI，美國 NARAC、RASCAL，歐洲 RODOS、ARGOS，英國 NAME 等劑量評估與決策系統，都投入以偵測資料達成外釋射源項回推等之研發議題。

本計畫為開發射源項回推之功能，先收集國際間之相關文獻並針對較具可行性的文獻做初步了解及方法整理，經評估後以日本 JAEA 的射源項回推方法為基礎，並配合大氣擴散模式煙陣傳遞方式的擴散特性將回推方法予以調整及精進，如附件一。所得結果顯示本系統推估出來之釋放率較 JAEA 之釋放率有高估的情形，但能掌握整體擴散趨勢與高劑量時間點之變化，準確度仍有提升的空間。未來期望此射源項能使劑量評估系統可評估已發生的放射性物質外釋結果並預測未來影響趨勢。

二、技術創新(科技技術創新)

為改進以天氣類型法的氣象資料庫造成的氣象預報的限制，且考量目前 A2C 模式在緊急應變的要求下仍無法即時作業化，本計畫利用去年度開發新的緊急應變全真化氣象預報系統，完成全台灣 2.5 公里網格解析度劑量評估能力建立。此技術可改善氣象資料庫類型之氣象場問題，降低風場延遲和局部區域風場誤差，使得環境氣象場能夠更接近實際大氣情況。詳如附件二。

本年度劑量評估系統結合事故評估之專業技術，建立各核電廠嚴重事

故外釋射源項資料庫，後續將整合各嚴重事故射源項類別之事件樹，以期使劑量評估系統於事故初期，具有初始猜測(initial guess)外釋射源項之能力，作為後續劑量修正與射源項回推之基礎假設條件。

三、經濟效益(經濟產業促進)

建立全台灣 2.5 公里網格解析度之劑量評估能力，提供核子事故放射性落塵之擴散趨勢與放射性核種沉降濃度預估，第一時間提供政府決策部門之應變參考，並對國內民眾傳達正確的資訊，協助國內農漁牧產品之影響預估，對於可能受污染之區域進行進一步之產品輻射量測與管制作為，避免大規模衝擊民生物資之消費信心。並可作為預先規劃食品進口準備之參考，事故後更可進一步作為國內食品輸出產地是否有輻射塵污染之先期篩選依據。

四、社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)

1.大氣擴散模式與驗證技術發展方面

利用現有之劑量評估系統，評估氣象局全球模式作業系統在各核電廠附近之 8 天預報結果以及各廠區之緊急應變計畫區有其獨立不同的地形特徵。一方面了解氣象局全球預報模式在各電廠區之預報能力，提供系統發展人員做為系統改進的依據與標準；另一方面可供緊急應變劑量評估人員做背景參考，增進評估人員對劑量評估結果的了解與解析能力；並藉由了解不同廠區的輻射擴散特性，回饋至緊急應變計畫區內民眾防護措施之分析及規劃。詳如附件三。

2.輻射事故鑑識技術發展方面

雖然國內發生核子事故的機率很低，但是災害應變仍須參考國外核子事故的經驗，預先規劃國內的輻射污染物分析能量，評估目前是否足以因應。民眾於福島事故後對於食品輻射檢測的關切，使得如何在最短時間擴充最大支援能量成為重要的議題。國內若發生核子事故，污染地區必須進行嚴密的輻射監測，現有之放射分析實驗室能量與資源雖已規劃因應，但由日本福島事故之經驗顯示，事故後將有更多低污染或非污染地區的商品流通，放射性輻射檢測需求將大幅增加，國內輻射檢測能量勢必無法及時因應，將導致商品流通受阻，影響社會經濟層面極為廣大。為提升核子事故環境輻射偵測能量，提供民眾快速取得輻射污染區域輻射監測資訊，以安定社會民心，因此規劃未來備援實驗室之設置，以減輕輻射災害對人民生活後續影響之衝擊。經參考國外資訊與過去作業經驗，完成放射分析實驗室基礎設置要求，建議規範草案如附件四，作為事故應變時檢測能量擴充參考。另外為了提供輻射污染事件緊急應變處理人員必要裝備之參考，以健全核子事故緊急應變體制與能量，完成第一波應變人員作業裝備建議草案如附件五，並以福島事故對國內核子事故輻射緊急應變相關作業人員輻射防護改善作業進行檢視與討論如附件六。

3.輻射災害風險溝通方面：

對內部與外部利害關係者，應提出風險溝通的架構與策略。在進行風險溝通前，組織工作小組，進行溝通策略研擬、釐清利害關係者、發展有效訊息，以及將風險分析資訊結合至風險溝通等工作，並就輻射災害的風險來源研究予以分析，彙整地方政府面臨之輻射災害潛勢，並針對地方政府在輻射災害管理上，提出建議。另因輻射災害風險溝通之專業與特殊性（中央各部會及地方政府對於輻射災害之風險溝通策略相較於一般天然災害較為薄弱），建立公私部門及民眾之風險溝通手冊，並根據不同領域利害關係人之需求，分眾擬訂手冊內之輻射災害關鍵訊息，以健全輻射災害防救體系。透過訪談及問卷調查，針對不同類別之利害關係人（一般民眾、

校園教師、第一線緊急應變人員、第二線緊急應變人員、特定組織或媒體)，研擬溝通策略，並分眾設計規劃輻射災害風險溝通手冊（輻射災害種類包括核子事故、放射性物料管理及運送等意外事件、放射性物質意外事件、輻射彈、境外核災等五類，而現在較廣為人知、發生時災害規模相對較大的是輻射彈與核子事故，因此手冊在規劃上即以此二類事件之風險溝通為主），以建立其正確風險認知，可依據災害階段及處置階段，找到相對應的作為，提高溝通成效。

五、其他效益(科技政策管理、人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導等)

核鑑識在國際上已公認為核安全貫徹措施中的重要技術，其主要目的是運用各種分析技術鑑識放射性材料特徵，為核子事件溯源提供必要的科學依據，以迅速查明責任方，從而有效嚇阻核擴散行為及提供資訊供決策參考。於分析技術上主要分為事件現場快速非破壞性分析及難以使用非破壞性的分析方法，在短時間得到資訊穿透力較差的阿伐核種與貝他核種之分析。本計畫自 2014 年起除強化現場度量能力外，鑑於國內目前放化實驗室多未將阿伐核種列為例行監測項目，為提升國內相關放化實驗室阿伐核種技術，儲備國內緊急應變能量，以利於事故時互相支援輻射偵測作業，本會輻射偵測中心一方面著手強化本身實驗室相關設備，另一方面則探討改進現行阿伐核種分析方法穩定性，並辦理實務技術交流以提升國內相關放化實驗室阿伐核種分析技術，其成效包括：

1. 增置高效率加馬能譜分析儀現場度量：

由於現場環境條件不像專業實驗室對於溫度與濕度難以控制，因此增置、操作簡便、維護簡易、價格便宜與不需液態氮冷卻等優點的移動式碘化鈉偵檢系統，強化現場度量能力。

2. 建置新阿伐核種分析實驗室及相關設備擴充應變能量：

已建置阿伐核種分析實驗室及相關設備，並同時更新前處理室作業環境，包括實驗排氣櫃、水洗塔、實驗桌、鋪設環氧樹脂地板、能譜分析系統核儀標準模組等。

3. 改進現行阿伐核種分析方法穩定性，增加數據可靠性：

鑑於國內目前放化實驗室多未將阿伐核種列為例行監測項目，以致於國內若發生核原料走私或髒彈攻擊，導致必須進行阿伐核種分析甚至已經造成阿伐核種污染環境之事故時，無足夠的經驗及技術進行可靠的分析，以提供決策者在最短的時間進行研判與決策依據。在阿伐核種的同位素分析中，鈾同位素的分析一向是國際社會最關注的目標核種；2014 年邀集國內主要放射化學實驗室進行「難測核種鈾化學分析實務技術交流」，結果顯示雖各單位使用的分析方法皆同(皆源自日本分析中心早期的方法)，但實驗結果差異卻相當大，因此有必要重新檢視該方法穩定性。本計畫先特別針對國內現行使用的鈾核種化學分析方法進行穩定性探討，發現現行分析僅利用過氧化氫進行鈾價數調整，效果相當不穩定，若輔以亞硝酸鹽則可使分析結果更為穩定。

4. 提升國內相關放化實驗室阿伐核種分析技術：

將上述開發的方法提供國內相關放化實驗室參考，於 2015 年 4 月再邀集相關技術人員進行實務技術交流，各單位同時進行 3 種不同樣品的相對標準偏差皆小於 5%，與去 (2014) 年大於 20% 相比較，本年度方法改進後各單位實測結果相當一致，顯示國內相關放化實驗室阿伐核種分析技術能力皆提升至相同水平，相關技術報告如附件七。

5. 建立實驗室中鈾同位素分析的能力：

鈾(Pu) 是一種與核武和能源領域密切相關的人工放射性核種，具有極強毒性及非常長的半衰期，在環境和核武監測研究中是一種非常重要的研究對象，若能進行其同位素特徵分析，將有助於遏止輻射污染或非法販運的放射性物質核子事件。以環境樣品為例，本會輻射偵測中心以傳統分析方法進行全國環境土壤中鈾放射性核種背景含量調查，初步結果顯示全國背景活度皆在 1 貝克/公斤以下。傳統分析方法對於長半衰期鈾放射性核種，主要以阿伐能譜儀進行計測，不但分析時間長、靈敏度低，通常只能測定 ^{238}Pu 和 $^{239+240}\text{Pu}$ ，無法分別測定 ^{239}Pu 和 ^{240}Pu 。目前國際上多轉向以半衰期更長的 ^{240}Pu (6561 年)及 ^{239}Pu (24110 年)來作指標，利用質譜儀進行同位素分析，依台灣緯度目前鈾的平均沉降 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比值約為 0.178 ± 0.019 ，武器級鈾的 ^{240}Pu 含量較低， $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比值為 0.03~0.07，若源於核電廠反應器由於製造技術和設計上的不同，Pu 同位素比值不盡相同，一般 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比值會大於 0.2。本計畫建置的外接式溶劑去除濃縮裝置(Apex)可提高質譜儀感度，並結合質譜儀進行同位素分析，初步應用於台灣地區土壤分析， $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比值約為 0.18，顯示來源多為核爆落塵。

貳、跨部會協調或與相關計畫之配合

本計畫執行期間無跨部會協調或與相關計畫之配合

參、檢討與展望

大氣擴散模擬技術為完備國內核電廠緊急應變之重要工具，同時亦可針對國際間之核子事故與核子試爆等輻射污染擴散狀況進行評估，提供模擬數據並分析訊息，以供政府議題擬定及決策之參考。

輻射污染事故的鑑別需要專業的儀器設備，也需要專業的人員進行操作。當發生大規模輻射污染事件時，需要相當的人力來進行輻射偵測。平時這些人力如何保持其專業能力及如何提升國內相關放化實驗室分析能力是一個值得深思的課題。

註：本計畫執行期間係 101 年~104 年，每年參與計畫之性別人數（比例）分別為：101 年男 6/女 5（男 55%/女 45%）、102 年男 6/女 5（男 55%/女 45%）、103 年男 13/女 5（男 72%/女 28%）、104 年男 10/女 6（男 63%/女 37%）。

附件一 半自動化外釋射源項回推系統開發與建置

基於福島事故經驗，當事故包含非計畫性的意外排放時，緊急事故評估系統將無法獲知此意外的外釋射源資料，使得劑量評估系統無法有效預報並評估劑量的影響，因此期望建立外釋射源資料。為開發射源項回推之功能，先收集國際間之相關文獻並針對較具可行性的文獻做初步了解及方法整理，經評估後採用最適合的方法作為緊急事故評估系統之射源回推基礎，並配合大氣擴散模式的擴散特性將回推方法予以調整及精進。

1-1 各國射源回推相關文獻之重點摘要

為建立射源項回推之功能，蒐集及瀏覽各國的相關資訊及文獻後彙整出四篇文獻，擷取其回推方法之重點並經過比較及評估後，再判定劑量評估系統採用之射源項回推方法。

第一篇文獻是日本原子力研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency)與日本原子力安全委員會(Nuclear Safety Commission)合作研究，於 2012 年發表的文章：「Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. Part1: Source term estimation and local-scale atmospheric dispersion in early phase of the accident」提出的方法；雖然觀測資料種類繁多，但在時間上並不連續也不完整，所以，該研究是將福島核災事件從 2011 年 3 月 12 至 15 日分為 13 個時段進行回推，再根據不同狀況使用不同的觀測資料及方法去估算釋放率(見表 1-1)。一共使用了三種估算法，分段說明如下：

表 1-1 釋放率回推之方法採用表

No.	Duration (JST)	Release time of sampled air	Data code in Fig. 1	Release rate of ^{131}I (Bq h ⁻¹)	GPV input data ^a	$(^{132}\text{I}+^{132}\text{Te})/^{131}\text{I}$ ^b	$^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ ^f	Estimation method in subsection 2.2
1	3/12 05:00-3/12 09:30	3/12 08:00	a	3.7×10^{13}	GMS	2.0	10	Method 1, $h=20$ m
2	3/12 09:30-3/12 15:30	3/12 11:30	b	1.7×10^{13}	GMS	2.0	10	Method 1, $h=120$ m
3	3/12 15:30-3/12 16:00	3/12 15:30	—	3.0×10^{15}	MSM	2.0	10	Method 2, Volume ^c
4	3/12 16:00-3/13 23:00	3/13 13:00	c	8.4×10^{13}	GMS	1.3	10	Method 1, $h=120$ m
5	3/13 23:00-3/14 11:00	3/14 09:00	—	3.6×10^{13}	—	1.3	10	Method 3, $h=120$ m
6	3/14 11:00-3/14 11:30	—	—	3.0×10^{15}	—	1.3	10	Assumed same as No. 3 ^e
7	3/14 11:30-3/14 21:30	3/14 21:00	—	2.3×10^{13}	GMS	1.3	10	Chino et al. (2011)
8	3/14 21:30-3/15 00:00	3/14 22:30	d	1.3×10^{15}	GMS	1.0	10	Method 1, $h=120$ m
9	3/15 00:00-3/15 07:00	3/15 01:00	d	3.5×10^{14}	GMS	1.0	8.8	Chino et al. (2011)
10	3/15 07:00-3/15 10:00	—	—	3.0×10^{15}	MSM	1.0	10	Katata et al. (2011)
11	3/15 10:00-3/15 13:00	—	—	8.0×10^{13}	MSM	1.0	10	Katata et al. (2011)
12	3/15 13:00-3/15 17:00	—	—	4.0×10^{15}	MSM	1.0	10	Katata et al. (2011)
13	3/15 17:00-3/17 00:00	3/16 04:00	d	2.1×10^{14}	GMS	1.0	70	Chino et al. (2011)

方法一:沿用(Chino et al., 2011)方法為回推射源項之理論基礎，方法之概念是將觀測資料當成參考值，取模式計算出來的結果相互比對後，去估算出釋放率。方法一選用的觀測資料為採樣式的觀測資料(dust sampling data)。釋放率是觀測點上量測到的核種濃度(Mi)與 WSPEEDI 模式計算出來之濃度(Ci)之比值，如式(1-1):

$$Q_i = M_i / C_i \quad (1-1)$$

其中， Q_i 是某核種之釋放率(Bq/hr)， M_i 是觀測之核種濃度(Bq m^{-3})， C_i : 稀釋因子(hm^{-3})，相當於模式在單位釋放率設定為 1Bq/hr 下模擬出的核種濃度。

方法二:方法二的原理與方法一類似，差異在於觀測資料，方法二是採用自計式的資料(monitored data)，自計式的觀測資料的特性為資料分布範圍較採樣式資料來得廣。釋放率由觀測資料之空氣劑量率(air dose data)和模擬之空氣劑量率，兩者以空間分布圖繪製比對後，取距離釋放源最相近之觀測點作為參考值，如圖 1-1 橘色圓圈處，將模擬的空氣劑量率乘上一轉換因子，使得觀測及模擬的空氣劑量率是相近的，即可得轉換因子(C)，得到的轉換因子即是釋放率。

$$\frac{\text{airdose}^O}{\text{airdose}^M} = \frac{C}{1} \quad (1-2)$$

其中， M_i :模式在單位釋放率設定為 1 Bq/hr 下模擬出的空氣劑量率

($\mu\text{Gy/hr}$)， O_i :量測之空氣劑量率($\mu\text{Gy/hr}$)， C_i :轉換因子，即為釋放率(Bq/hr)。

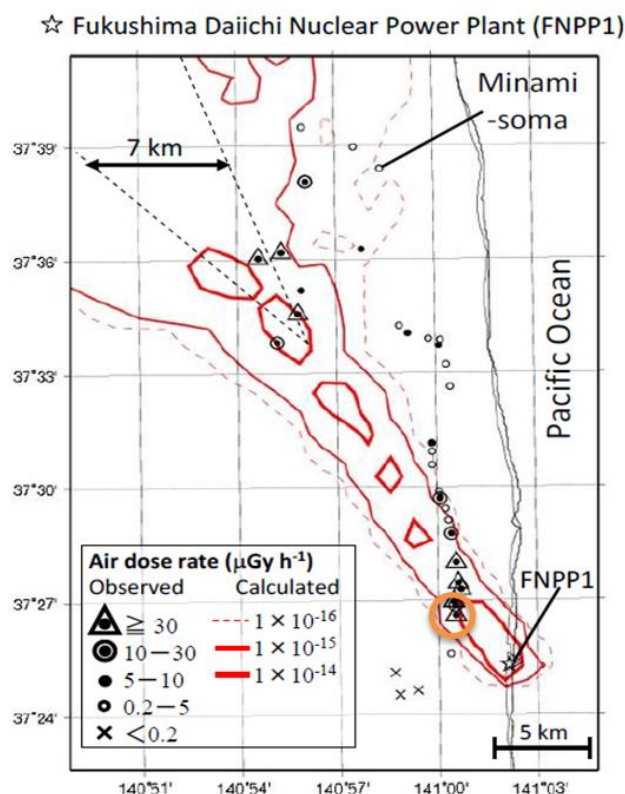


圖 1-1 福島事故觀測資料點與劑量模擬計算結果

方法三:此方法的使用時機是因為在 3/13 23:00 至 3/14 11:00 的時段內找不到鄰近釋放源的觀測資料，且當日風向主要為東南風，因此採用距離較遠(下風處)之西北向之單一站點資料來回推釋放率。釋放率(Q)由 Gaussian plume model (Taki et al., 1990)搭配觀測之空氣劑量率推估而得，如式(1-3)，此方法需要額外的資訊，如風速(U)，大氣穩定度(σ_y , σ_z)，釋放高度(H)，下風處距釋放點的距離($x, y, 0$)，輻射物內主要的核種及核種之間的比例。

$$\chi(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (1-3)$$

除日本的射源回推方法外，亦參考了其他國家對核電廠發生事故所做的回推釋放源方法研究。其一是由美國 NCAR(National Center for Atmosphere Research)應用研究實驗室之 G. Cervone et al.在 2014 年發表的文章: Source Term

Estimation for the 2011 Fukushima Nuclear Accident 提到的方法，主要是利用觀測濃度和模擬濃度誤差最小化來辨認出釋放率的變化。首先設定一個釋放率的假設值為常數 q ，對應到一連串 N 個離散的 Q_n ， $n=1 \dots N$ ，如圖 1-2，而 Q_n 的大小可由 q 乘上一純量 ω_n ，所以重建釋放源的目標就是得到一向量 $W=\{\omega_1 \dots \omega_N\}$ 。藉由最小化各個觀測點觀測到的放射性物質及由大氣擴散模式的模擬值的誤差，來得到一隨機優化的向量 W 。

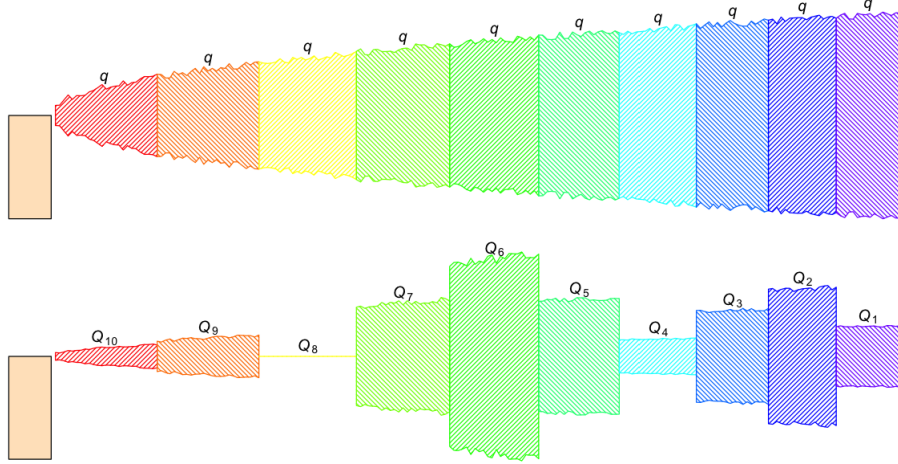


圖 1-2 釋放率時序變化

如果是在每個觀測位置 $x = (x,y,z)$ 和每個釋放時間 t 的放射性物質濃度總和可寫成以下：

$$C(x, t) = \sum_{n=1}^N c_n(x, t) \quad (1-4)$$

其中， c_n 為每段釋放期間每個觀測位置和時間模擬得到的濃度值。

為找出未知的釋放率 Q_n ，首先，在整個空間中定義出 M 個離散的觀測站，以及共有 K 個樣本時間 t ，然後將 N 個釋放量都是 q 的釋放源在大氣擴散模式進行模擬，其中每段釋放都得到一個濃度 ϵ_{nmk} ，其中 $n=1 \dots N, m=1 \dots M, k=1 \dots K$ ，也就是說，是在第 n 個釋放期間在測站 m 的時間 k 得到的濃度值。若是由真實的釋放量 Q_n 產生的濃度則可表示如下：

$$c_{nmk} = \omega_n \epsilon_{nmk} \quad (1-5)$$

其中 ω_n 則是未知向量 W 中的一個，而濃度相對應到真實的釋放率 Q_n 則可表示如下：

$$C_{mk} = \sum_{n=1}^N c_{nmk} = \sum_{n=1}^N \omega_n \varepsilon_{nmk} \quad (1-6)$$

並且假設濃度和釋放率之間是線性關係：

$$Q_n = \omega_n q \quad (1-7)$$

未知的 ω_n 則可透過最小化在位置 m 時間 k 的模擬濃度 C_{mk} 和觀測濃度 C_{mk}^o 之間的平均平方差來得到：

$$\Delta = \frac{1}{M+K} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K (C_{mk} - C_{mk}^o)^2 \quad (1-8)$$

求解此價函數 即可得到 ω_n 。

其二為法國輻射防護與核安全學院及國立橋路學校 EDF 聯合實驗室之研究人員 Saunier et al.於 2013 所發表的文章，An inverse modeling method to assess the source term of the Fukushima Nuclear Power Plant accident using gamma dose rate observations，也提出了對核事故的釋放源回推的方法，此方法考慮了同時且多核種的影響，並且也藉由福島事件作為驗證的個案。

主要利用各個測站的環境監測劑量率以及大氣擴散模式進行回推，觀測資料來自東京電力公司(TEPCO,2012)所提供。而環境劑量率包含了煙流裡和沉降下來的放射性物質所貢獻。第一步先分析每個測站環境劑量率(ambient dose rate)的時間變化分布，如圖 1-3，曲線是一理想化的劑量率信號變化，在 1 的地方表示偵測到一個煙流通過，2 表示煙流移動到較遠的地方，3 則表示為由沉降量所貢獻的劑量率。

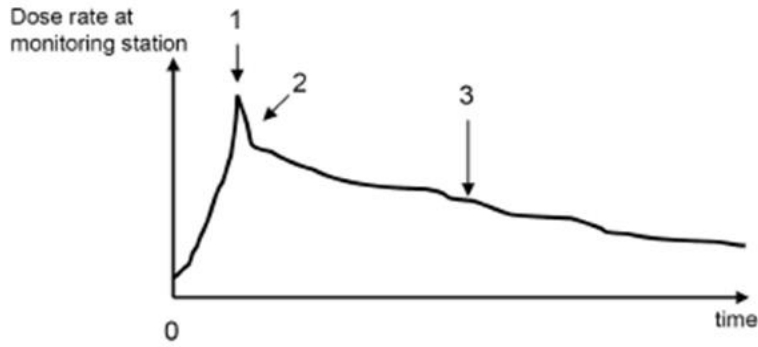


圖 1-3 測站環境劑量率(ambient dose rate)的時間變化分布

第二步，將重建釋放源當作是一個描述源-受(source-receptor)之間關係的逆問題:

$$\mu = H\sigma + \varepsilon \quad (1-9)$$

$\mu \in \mathbf{R}^d$ 是觀測劑量率的向量，其中 d 是觀測劑量率的筆數， $\sigma \in \mathbf{R}^N$ 是釋放源的向量，其中， N 是核種數乘上時間步階，也就是 σ 包含了每一個核種隨時間的變化。 ε 是誤差向量。 H 是 Jacobian 矩陣，包含了沉降模式在觀測點的結果。

而此逆問題的解可以由最小化下列價函數來得到:

$$J(\sigma) = (\mu - H\sigma)^T R^{-1} (\mu - H\sigma) + (\sigma - \sigma_b)^T B^{-1} (\sigma - \sigma_b) \quad (1-10)$$

$R = E[\varepsilon\varepsilon^T]$ 為模式和觀測間的誤差斜方差， E 是數學期望值，而矩陣為初始猜測場 σ_b 的此誤差斜方差。以下共分三個步驟進行求解。

第一個步驟:將所知的資訊進行定義

可藉由毀壞核電廠的爐心成分等相關資訊定義出可能釋放出的相對應核種，並且由觀測的劑量率中分辨出一些主要貢獻的核種，也可由沉降當中放射性物質隨著時間衰減的變化分辨出排放源中同位素之間的比例，我們可以將每個時間步階的核種釋放率表示成以下的關係式:

$$\frac{1}{b_i} \leq \frac{\sigma_1(t)}{\sigma_i(t)} \leq a_i \quad (1-11)$$

$\mathbf{a}_i$ 和 $\mathbf{b}_i$ 為同位素的限制值，其值可藉由爐心成分和地表及濃度活度的觀測來預估。

第二個步驟:定義出可能的釋放週期

先假設釋放出來的核種為單一核種，就像是把它當作一個被動的追蹤子。以下用 μ_{plumes} 代表劑量率觀測的向量，進行分析觀測到的劑量率的斜率及極端值，圖 1-4 即為在福島事件當中 Tsukuriya 測站的劑量率時序圖。

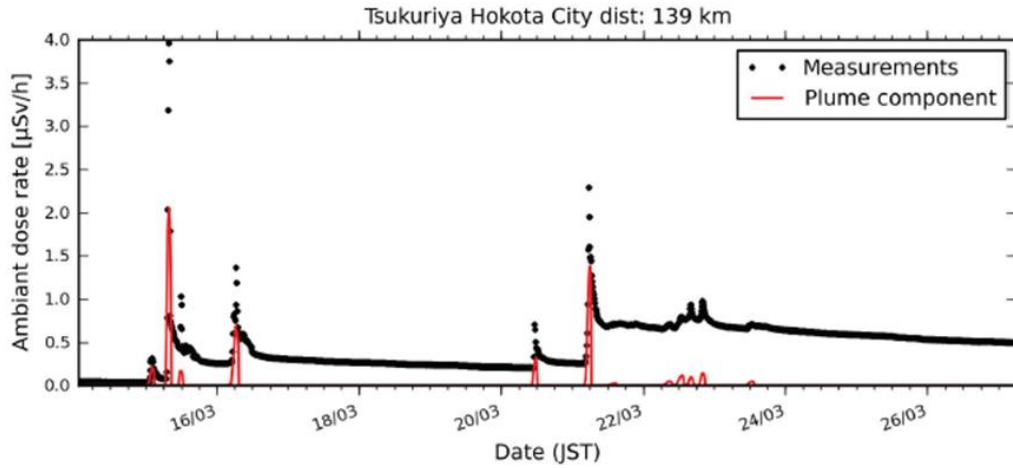


圖 1-4 Tsukuriya 測站的劑量率時序

黑線為劑量率的觀測，紅線則為煙流取樣的部分。將初始猜測 σ_b 設定為 0，則價函數可改寫成：

$$J_1(\sigma_1) = (\mu_{\text{plume}} - H_1\sigma_1)^T R_1^{-1} (\mu_{\text{plume}} - H_1\sigma_1) + \sigma_1^T B^{-1} \sigma_1 \quad (1-12)$$

最小化 J_1 可提供 σ_1 向量的預測。並且可以 σ_1 當作基準將 σ_{plume} 向量套用在下列規則中：

$$\begin{cases} \sigma_{\text{plume}}(t) = 0 & \text{if } \sigma_1(t) = 0 \\ \sigma_{\text{plume}}(t) = 1 & \text{if } \sigma_1(t) > 0 \end{cases} \quad (1-13)$$

其中 $t \in [0; N_t]$ ，為時間步階的數量，而 $\sigma_{\text{plume}} \in \mathbb{R}^{N_t}$ 。

第三步驟:釋放源回推

利用以上的約束條件解逆問題，得到回推的釋放源 σ 。根據步驟 1 和步驟 2

得到的同位素之間的關係，價函數可以變成如下：

$$J_2(\sigma) = (\mu - H_2\sigma)^T R_2^{-1} (\mu - H_2\sigma) + (\sigma - \sigma_b)^T B^{-1} (\sigma - \sigma_b) + \sum_{i=1}^{M_{selec}-1} r_i(\sigma) \quad (1-14)$$

μ 包含了所有的劑量率觀測， $M_{selec}-1$ 是在釋放源當中同位素組成數量， r_i 是在核種 1 的關係中與其同位素的約束條件：

$$r_i(\sigma) = \exp\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_i} - a_i\right) + \exp\left(\frac{\sigma_i}{\sigma_1} - b_i\right), \quad 1 \leq i \leq M_{selec} - 1 \quad (1-15)$$

由於日本 JAEA 的方法最為基礎且較為簡單，美國及法國的方法均建立在三維變分法上，難度較高。貿然採用美法的方法，在開發時期會花較多的時間且期間須克服的難題很多。而日本 JAEA 的方法較為直觀且可在開發時期逐步了解射源項回推所需認知的偵測資料與 A2Ct&d/DOSE 模式中須注意並處理的問題，這些問題在產用美法兩國的方法時都會碰到，故先利用日本 JAEA 的射源項回推方法，對將來產用較高自動化且較高科技的回推方法(如美法之方法)，並無重複投資的問題，而是循序漸進的保險方式。

1-2 本系統之外釋射源項回推方法建立

本研究之外釋射源項回推技術大致上根據 JAEA 之方法進行回推，此技術的方法流程如圖 1-5，為了降低大氣擴散及劑量評估模式(A2Ct&d/DOSE, 以下簡稱劑量評估模式)的誤差，以便提高此劑量回推方法的適用性與準確度，我們以福島事件為參考案例(可參照圖 1-6)，再利用劑量評估模式運算出一組（以 JAEA 及 NSC 之釋放源時序做為輸入資料）劑量評估結果，並在福島電廠的北方、西北方、西方、西南方、南方取模式網格點的輸出資料(五個站點位置如圖 1-7)，建立一組假想的觀測數據(**airdose^F**)。在進行劑量回推時，由於無法知道實際的釋放源資料，會再以單位活度的釋放率(即 1Bq/s)進行劑量評估模式的模擬，建立另一組模擬結果(**airdose^U**)，希望透過此模擬結果(**airdose^U**) 與假想觀測數據(**airdose^F**) 的比較，回推釋放源的大小與時序。由於此兩種數據(**airdose^F** 及 **airdose^U**) 的來源均為劑量評估模式的模擬結果，除了設定的釋放源不同外，其

輸入的氣象場資料及其餘條件設定均相同，如此一來即可探討此劑量回推方法的可用性與準確性。

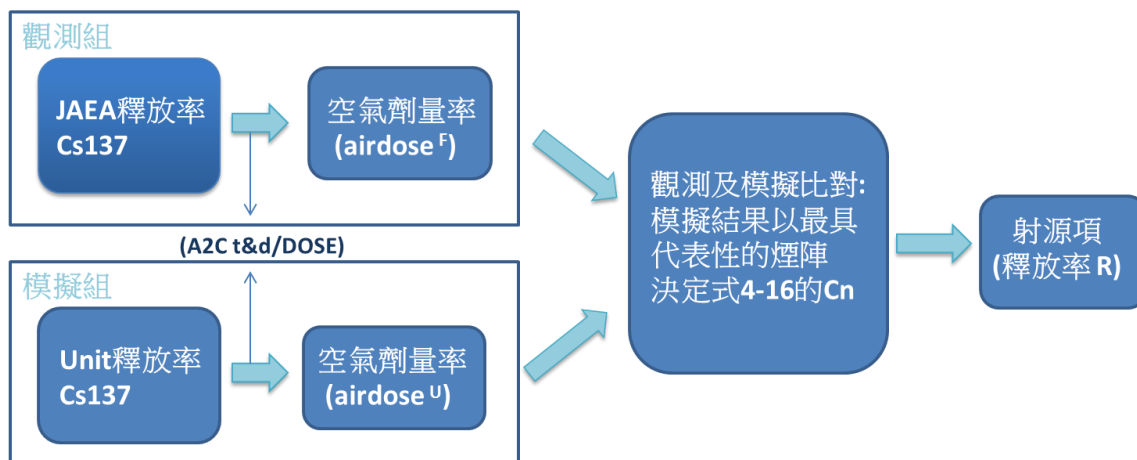


圖 1-5 射源回推流程示意圖

表 1-2 JAEA 發表之釋放源時序資料(Bq/s)，時間為 UTC，共 15 個時段。紅字標示依時間先後分別為核電廠機組 1、機組 3 的爆炸時段及機組 2 計畫性的洩壓輻射排放。

s1(15)	sd	ed	rate(/s)
20110312 0500		20110312 0930	1.0278E+09
20110312 0930		20151101 0630	4.7222E+08
20110312 1530		20110312 1530	8.3333E+10
20110312 1600		20110313 2300	2.3333E+09
20110313 2300		20110314 1100	1.0000E+09
20110314 1100		20110314 1130	8.3333E+10
20110314 1130		20110314 2130	6.3889E+08
20110314 2130		20110315 0000	3.6111E+10
20110315 0000		20110315 0700	1.1111E+10
20110315 0700		20110315 1000	8.3333E+10
20110315 1000		20110315 1300	2.2222E+09
20110315 1300		20110315 1700	1.1048E+11
20110315 1700		20110317 0600	8.3333E+08
20110317 0600		20110317 0900	2.7778E+09

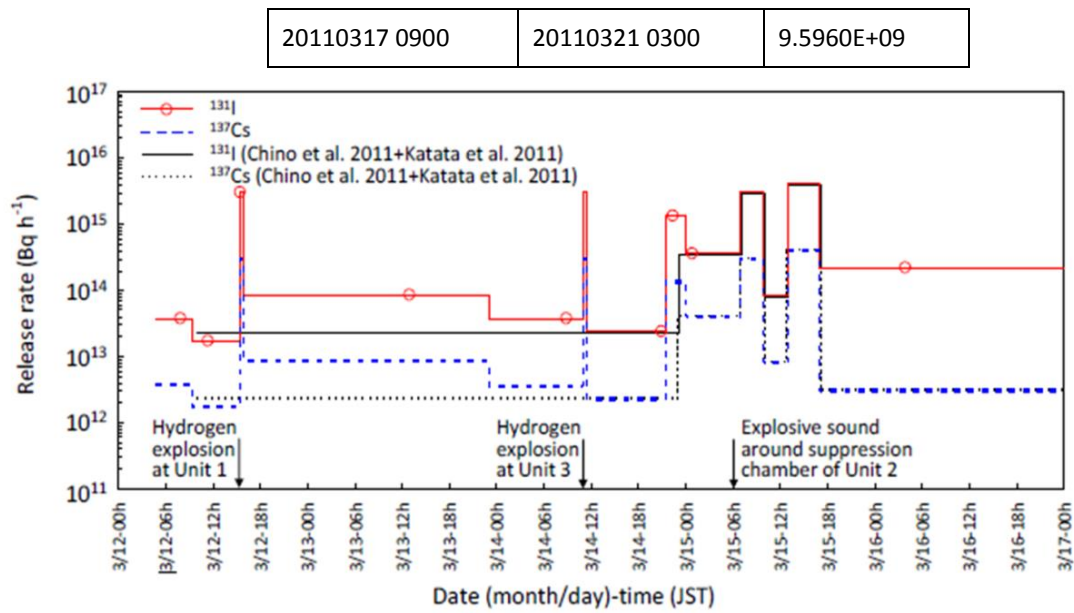


圖 1-6 福島事件之釋放源時序(Bq/hr) ，紅線及藍線分別為 I-131 及 Cs-137 之釋放源時序

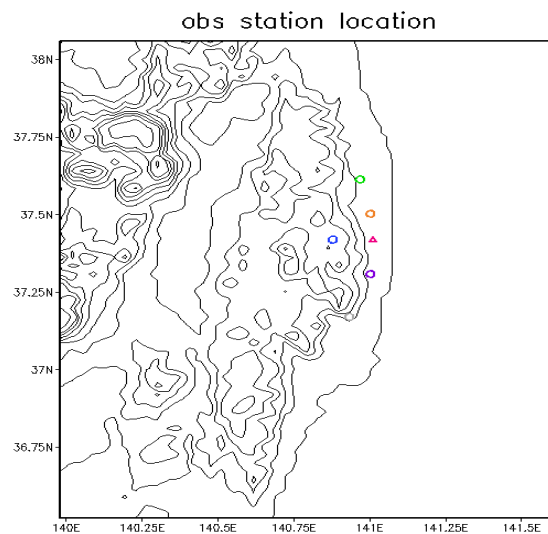


圖 1-7 觀測站點分布(紅三角為福島電廠所在位置，橘、綠、藍、灰、紫點分別為以福島電廠為中心之北、西北、西、西南、南方之站點)，黑實線為地形(間距 150m)

因劑量評估模式中之大氣擴散模組是以煙陣的方式作傳遞，為推估出較具有代表性的釋放率，在計算時會考量各煙陣對於觀測點上貢獻量最為顯著的煙

陣。計算貢獻量之方法及使用程式如圖 1-8 所示，處理步驟說明如下：



圖 1-8 計算煙陣在觀測點上貢獻量之處理程序及程式

步驟一：將劑量評估模式之輸出資料 airdose 轉換出五個測站之空氣劑量率數據檔(時序檔，1~192hr)並繪圖，如圖 1-9。再利用 read.f 及 timing.f 兩支程式挑選出各觀測點空氣劑量率有明顯突增(後一小時較前一小時之空氣劑量率 >10SV)之時間點(hr)，其中一例可參照圖 1-9 紅色箭頭處，將所有符合上述條件之時段篩選出來。特別注意的是，由於觀測數據(『 airdose 』[↑]F) 及模擬結果『 (airdose) 』[↑]U)之空氣劑量率時序變化並不一致，因此時段篩選上必須選擇兩者同時上升的時段，且為了達到足夠的樣本數，時段至少取到 3hr。

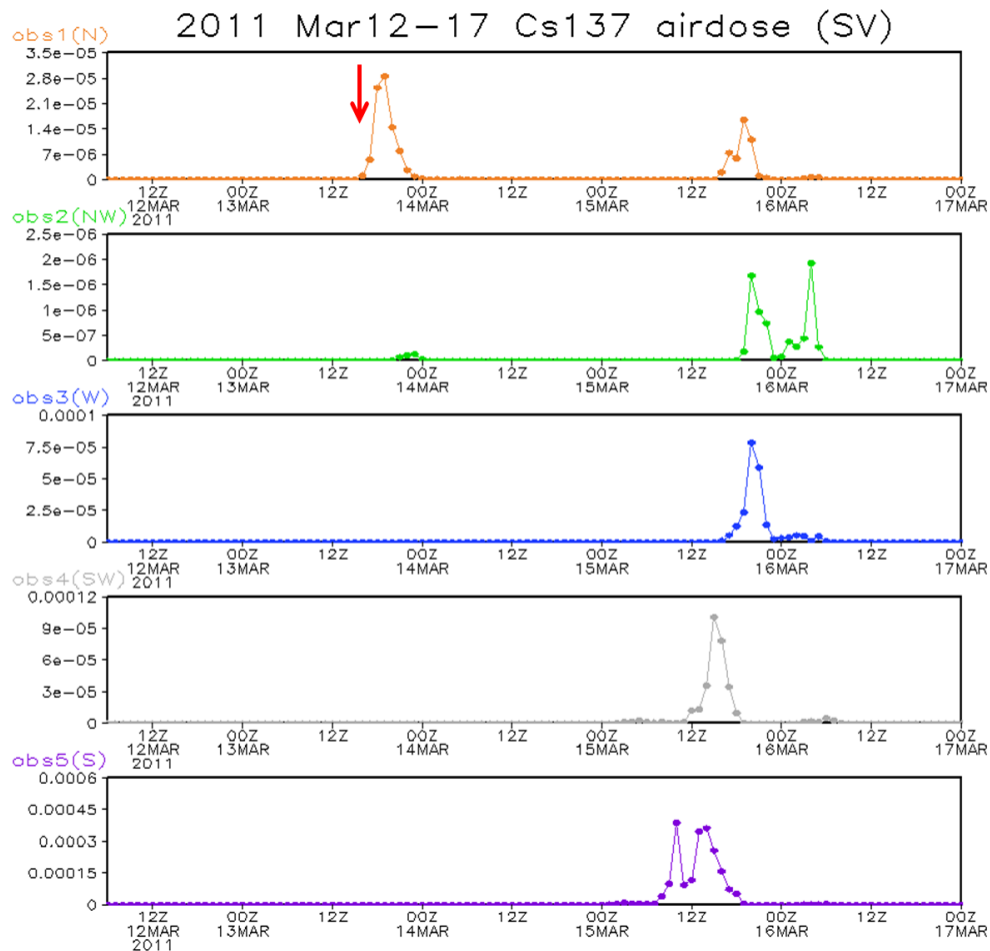


圖 1-9 測站之空氣劑量率時序(單位: SV)，由上而下分別為北方(橘)、西北方(綠)、西方(藍)、西南方(灰)、南方(紫)之站點時序

步驟二：針對五個觀測點空氣劑量率突增的時段，透過程式 `estimation_source.f` 計算出各煙陣在觀測點上之空氣劑量(即煙陣對於觀測點空氣劑量之貢獻量)。為計算各煙陣對於觀測點的貢獻量，在模擬劑量評估模式時需額外輸出煙陣(每五分鐘一筆)的相關資訊，如：煙陣代碼、煙陣位置(含經度、緯度及高度)、煙陣半徑、煙陣中心之活度濃度...等，並進行讀取。貢獻量算法如下，先以各觀測點為中心，向外界定一範圍(朝經緯度方向正負兩度)去過濾出對於觀測點影響較為顯著的煙陣(如：距離觀測點較接近或煙陣中心活度濃度較高之煙陣)，如圖 1-10。再將過濾出來的煙陣的相關資訊進行高斯分配並經過劑量轉換，使得單位由原本的活度濃度(Bq)換算成空氣劑量(Sv)，最終加總出各煙陣每小時對於觀測點之貢獻量。

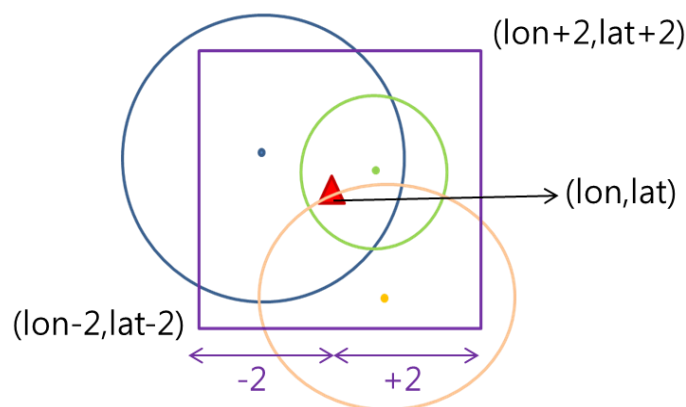


圖 1-10 煙陣搜尋方法示意圖，其中，紅三角為觀測點，紫色框框為煙陣影響範圍(以觀測點為中心朝經緯度方向各 2 度)，藍、橘、綠圓圈為煙陣

步驟三:估算釋放率(R)。採用 Nagai 等人的方法之精進版本如式(1-16)，式(1-2)左側為觀測及模擬結果之比值，式(1-16)左側也是相同概念，兩者的差異在於式(1-16)在分母多了一項方程式，調整此項的原因是因在各觀測點上，影響其煙陣數不同，且每個煙陣對於觀測點上的總空氣劑量所佔之比例也不盡相同，這一項的作用主要是加總出各煙陣之比例。

$$\frac{airdose^F}{(C_1 * \%_{p1} + C_2 * \%_{p2} + \dots + C_n * \%_{pn}) * airdose^U} = \frac{R}{1} \quad (1-16)$$

(表 1-3)為五個觀測點在空氣劑量率突增時段所篩選出的煙陣及各煙陣對於觀測點的貢獻量結果。在回推釋放率的過程中，會以抓取到最為顯著的煙陣作為釋放率時間考量的基準。舉觀測點一 t16~t20 的時段來看，此時觀測點空氣劑量率之貢獻量主要來自於煙陣代碼(puffid)23、30 及 35 的煙陣，先看到 t16 抓取到的煙陣(23 和 30)，其煙陣對應到的初始釋放率(init_R)分別為 4.72×10^8 和 2.33×10^9 ，為兩不同初始釋放率的煙陣共同貢獻的情況，若考慮進總釋放率的平均，無法確切回推釋放率的時間，使得結果複雜混淆。因此，若是由多個不同初始釋放率的煙陣貢獻情況，在計算總釋放率時，會避免納入做平均。而 t17~t20 的時段，抓取到的煙陣為 30 及 35，其煙陣對應到的初始釋放率一致，此時的總釋放率為 t17~t20 的 R 平均值(4.70×10^9)。又由於模擬設定為每一小時排放兩顆煙陣，每個煙陣代碼代表了其釋放時間，估算出來的總釋放率就相當於第 15~17.5hr 的釋放率。

表 1-3 五個觀測點在空氣劑量率突增時段篩選出之煙陣及各煙陣對於觀測點的

$$\frac{air(F)}{air(U)}$$

貢獻量結果。其中， $R=\frac{air(F)}{air(U)}$ ，機組爆炸時段釋放出的煙陣之初始釋放率以紅字標示，影響較為顯著之煙陣以粗體字黃底標示。

obs1								
init_R	4.72E+08	4.72E+08	4.72E+08	4.72E+08	8.33E+10	2.33E+09	2.33E+09	2.33E+09
puffid	14	17	18	23	24	25	26	28
t16	1.24E-36	4.72E-28		2.86E-25	1.42E-31	3.28E-28	4.03E-34	3.13E-29
t17	1.59E-37	7.96E-38	1.36E-36	1.76E-25		2.50E-25	3.69E-37	1.25E-22
t18			2.75E-33	2.96E-29		6.62E-27		5.64E-20
t19			2.84E-34	7.96E-38				9.76E-20
t20								1.20E-23

init_R	2.33E+09	2.33E+09	2.33E+09	2.33E+09	2.33E+09			
puffid	30	32	33	35	36	air(U)	air(F)	R
t16	2.29E-25					5.16E-25	1.45E-12	2.81E+12
t17	5.41E-19	4.28E-26	2.52E-34			5.41E-19	3.34E-07	6.18E+11
t18	7.07E-18	9.12E-21	8.95E-28	5.04E-29		7.13E-18	8.74E-08	1.22E+10
t19	1.13E-18	6.55E-21		3.74E-17	3.06E-31	3.86E-17	5.10E-08	1.32E+09
t20	2.68E-30	3.19E-36		1.95E-16		1.95E-16	1.01E-07	5.16E+08

obs1								
init_R	1.00E+09	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08
puffid	107	115	116	119	120	121	122	123
t62	1.69E-28	1.50E-25	5.29E-25	2.87E-28	1.56E-24	2.41E-33		
t63	5.84E-29	9.02E-37	1.50E-26	3.01E-27	2.44E-21	1.25E-23	9.46E-25	
t64	3.93E-31		1.12E-28	7.91E-27	1.41E-20	5.21E-21	8.37E-21	1.08E-35
t65	8.88E-35		1.05E-27	2.44E-27	7.05E-21	3.47E-20	2.47E-19	6.22E-35
t66	1.34E-34		1.25E-26	6.62E-27	4.82E-22	1.54E-20	7.59E-19	1.00E-36

init_R	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08			
puffid	124	125	126	127	air(U)	air(F)	R
t62					2.23E-24	1.38E-15	6.19E+08
t63					2.46E-21	2.74E-12	1.11E+09
t64	1.51E-37	1.33E-38			2.77E-20	4.00E-11	1.44E+09
t65	1.63E-28	7.71E-27	5.83E-27		2.89E-19	7.22E-11	2.50E+08
t66	2.13E-26	8.68E-23	1.16E-23	1.00E-25	7.75E-19	2.81E-11	3.63E+07

表 1-3 (續)

obs2								
init_R	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09
puffid	51	57	62	63	64	65	66	67
t36	1.54E-25	2.18E-33		1.59E-38	2.93E-25	1.90E-28	1.28E-30	
t37	1.27E-24	4.98E-36		9.30E-36	1.23E-24	2.97E-24	5.01E-24	
t38	8.23E-25			1.07E-33	1.76E-22	1.00E-20	2.10E-20	
t39	2.79E-26			2.41E-33	1.32E-20	1.60E-19	5.44E-20	1.42E-31
t40	4.21E-26		3.74E-37	4.57E-36	7.95E-21	5.93E-19	1.58E-18	9.20E-27

init_R	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09			
puffid	68	69	70	71	73	74	air(U)	air(F)	R
t36							5.14E-25	3.83E-16	7.45E+08
t37							1.72E-23	2.13E-15	1.24E+08
t38	2.46E-31	2.84E-27	3.07E-29				3.12E-20	4.00E-13	1.28E+07
t39	2.04E-22	1.51E-20	1.63E-23	4.39E-30			6.69E-19	6.11E-10	9.14E+08
t40	8.15E-21	1.55E-19	4.09E-22	8.66E-24	2.66E-32	9.17E-29	2.72E-18	1.31E-08	4.80E+09

obs2					
init_R	2.78E+09	2.78E+09			
puffid	306	311	air(U)	air(F)	R
t156	5.97E-32		5.97E-32	2.23E-22	3.74E+09
t157	1.40E-29	4.63E-30	1.86E-29	1.05E-19	5.62E+09
t158	2.03E-29	5.29E-32	2.04E-29	4.15E-20	2.04E+09

表 1-3 (續)

obs3								
init_R	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	3.61E+10	3.61E+10	3.61E+10	3.61E+10
puffid	122	123	129	131	137	139	141	150
t80		7.55E-34		1.24E-34	2.54E-31	1.59E-38	1.53E-36	1.10E-31
t81		1.61E-32		1.58E-33	4.92E-31			3.77E-31
t82	9.15E-35	6.01E-32		4.91E-35	1.67E-32			2.69E-29
t83	5.75E-27	3.75E-32	2.12E-36		6.69E-32			1.14E-26
t84	2.91E-25	4.75E-32	6.39E-34		1.97E-30			5.39E-22

init_R	8.33E+10	8.33E+10	8.33E+10	8.33E+10	8.33E+10	8.33E+10	2.22E+09	2.22E+09
puffid	151	152	153	154	155	156	157	158
t80	1.62E-32		3.02E-27		2.65E-39			
t81	5.78E-27	2.65E-39	2.72E-23	2.01E-34	1.29E-27			
t82	1.36E-23	8.72E-28	1.44E-20	1.86E-26	9.54E-23	3.09E-29	5.52E-30	3.62E-31
t83	4.84E-21	4.02E-21	4.03E-19	2.74E-21	4.64E-20	1.65E-22	1.30E-26	8.79E-24
t84	1.66E-19	1.89E-19	1.25E-18	2.82E-17	1.02E-17	3.91E-19	6.66E-23	1.63E-18

init_R	2.22E+09	2.22E+09	2.22E+09	2.22E+09	1.10E+11			
puffid	159	160	161	162	163	air(U)	air(F)	R
t80						3.02E-27	3.77E-16	1.25E+11
t81						2.72E-23	2.09E-12	7.69E+10
t82	1.75E-28					1.45E-20	3.31E-10	2.29E+10
t83	3.29E-20	9.30E-29	3.60E-27			4.94E-19	3.50E-08	7.08E+10
t84	8.15E-18	1.59E-20	9.71E-21	4.93E-23	1.86E-38	5.02E-17	7.19E-06	1.43E+11

表 1-3 (續)

obs4								
init_R	1.00E+09	1.00E+09	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08
puffid	105	107	115	116	117	118	119	120
t69		1.28E-32		2.12E-24			8.38E-22	1.18E-32
t70		7.63E-30		1.87E-20			2.46E-19	2.27E-26
t71		2.67E-25	3.42E-37	1.28E-20			4.74E-21	7.91E-23
t72		7.49E-24	1.29E-33	1.76E-25	7.17E-38	1.93E-34	5.79E-28	1.19E-19
t73	7.78E-37	2.15E-24	1.23E-30	1.59E-38	8.08E-33	2.25E-34	1.37E-33	5.82E-19

init_R	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08
puffid	121	122	123	124	125	126	127	128
t69		8.31E-19	8.76E-38		2.33E-30	1.00E-23	9.05E-19	8.18E-19
t70	2.65E-39	1.81E-18	3.89E-30	1.38E-30	9.18E-25	9.95E-20	1.27E-18	1.18E-18
t71	1.10E-35	3.50E-19	8.73E-22	1.99E-23	1.45E-19	9.71E-19	1.41E-18	1.06E-18
t72	1.05E-30	1.37E-19	4.82E-19	2.07E-20	9.59E-19	1.30E-18	5.73E-19	1.71E-19
t73	5.07E-22	1.38E-20	3.13E-18	4.20E-19	1.48E-18	1.01E-18	1.99E-20	1.68E-20

init_R	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	3.61E+10	3.61E+10	3.61E+10	3.61E+10	3.61E+10
puffid	129	130	131	132	133	134	135	136
t69	5.81E-19	4.94E-21	3.48E-20		8.85E-25	1.25E-25		
t70	9.94E-19	4.96E-19	1.05E-18	7.46E-33	9.51E-19	3.21E-18	1.90E-27	6.90E-36
t71	7.82E-19	1.03E-19	5.95E-19	1.83E-19	1.71E-18	1.20E-18	5.42E-19	7.86E-21
t72	3.76E-19	2.66E-18	5.54E-20	2.18E-18	1.13E-17	1.19E-17	2.01E-18	4.43E-18
t73	3.93E-20	1.43E-19	1.68E-21	1.00E-17	1.87E-17	1.02E-19	5.67E-19	1.13E-17

init_R	1.11E+10	1.11E+10	1.11E+10	1.11E+10	1.11E+10	1.11E+10	1.11E+10
puffid	137	138	139	140	141	142	143
t69							
t70							
t71	2.73E-20	1.88E-18					
t72	1.29E-17	1.55E-18	3.81E-26	3.98E-38			
t73	2.01E-17	1.37E-16	4.71E-21	3.53E-19	4.62E-22	5.08E-28	3.77E-37

init_R			
puffid	air(U)	air(F)	R
t69	3.77E-18	1.94E-09	5.14E+08
t70	1.13E-17	2.24E-07	1.99E+10
t71	1.36E-17	1.18E-06	8.68E+10
t72	5.38E-17	1.49E-06	2.76E+10
t73	2.05E-16	2.85E-06	1.39E+10

表 1-3 (續)

obs4								
init_R	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+09	8.33E+10
puffid	99	101	102	105	107	108	109	111
t92	1.40E-29	3.47E-20	1.64E-28		2.96E-24	2.11E-27	8.52E-21	1.01E-35
t93	1.31E-31	2.08E-20		5.57E-38	2.81E-31		1.01E-21	1.90E-26
t94	2.75E-34	1.51E-19		3.53E-37			9.08E-27	6.83E-24
t95	4.70E-37	3.68E-20		3.24E-37			2.76E-37	1.54E-24
t96	5.31E-39	1.10E-21		2.34E-37				2.65E-29

init_R	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08
puffid	112	115	116	120	121	123	124	125
t92	9.20E-22	1.93E-27		6.53E-27	8.59E-24	4.41E-25	2.21E-28	6.99E-23
t93	6.37E-26	1.14E-27		2.33E-25	7.96E-39	3.73E-23	7.52E-30	8.46E-23
t94	7.75E-32	2.56E-30	2.49E-37	3.19E-24		1.68E-21	3.39E-35	1.89E-24
t95	3.08E-37	5.31E-32	3.76E-34	1.61E-25		4.01E-22		5.71E-27
t96		2.21E-35	7.35E-27	4.46E-26		2.12E-25		1.90E-28

init_R	6.39E+08	6.39E+08	6.39E+08	3.61E+10	3.61E+10	3.61E+10	1.11E+10	1.11E+10
puffid	126	128	130	133	135	136	139	140
t92	1.30E-34		2.13E-30	1.23E-23			7.08E-30	9.13E-22
t93	1.64E-29	2.12E-38	1.44E-27	1.13E-21	2.84E-37		5.03E-30	1.58E-20
t94	5.51E-27	2.74E-36	4.42E-23	4.03E-21	2.77E-34		1.03E-28	7.87E-19
t95	1.22E-25	2.99E-36	1.28E-20	1.30E-22	7.06E-28	5.62E-28	9.53E-29	1.01E-18
t96	1.00E-21	5.45E-35	8.41E-21	2.46E-25	6.54E-24	4.64E-21	4.16E-29	3.74E-19

init_R	8.33E+10	2.22E+09	2.22E+09	1.10E+11	1.10E+11	1.10E+11	1.10E+11	1.10E+11
puffid	152	157	162	163	164	165	167	168
t92	2.60E-37			2.72E-36		3.47E-36	1.71E-25	
t93				1.08E-31	6.70E-34	6.21E-32	3.66E-23	
t94				5.61E-25	1.95E-28	7.43E-26	5.40E-20	2.65E-39
t95		2.65E-39	6.52E-36	1.39E-19	2.72E-24	3.99E-21	3.26E-18	1.49E-31
t96		3.30E-30	1.91E-24	2.36E-18	2.57E-19	2.40E-18	5.32E-18	3.67E-24

init_R	1.10E+11	1.10E+11	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08
puffid	169	170	171	172	173	174	175	176
t92		1.03E-35	6.50E-21	1.77E-32	2.39E-38	5.97E-24	1.02E-29	6.11E-22
t93	1.92E-33	3.53E-29	1.00E-20	1.27E-26	3.27E-31	9.76E-22	3.05E-24	1.03E-19
t94	4.27E-28	3.27E-23	4.51E-18	2.75E-23	1.53E-25	2.51E-19	2.27E-19	6.35E-18
t95	2.71E-23	3.38E-20	3.06E-17	4.25E-21	2.10E-21	5.16E-18	2.37E-17	4.38E-17
t96	9.19E-19	2.17E-19	5.22E-18	2.65E-20	2.30E-19	1.74E-19	2.65E-17	8.02E-17

表 1-3 (續)

init_R	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08
puffid	177	178	179	180	181	182	183	184
t92	2.77E-25	9.16E-25	1.95E-23	7.73E-29	4.80E-36			
t93	2.46E-20	7.88E-22	2.51E-20	1.31E-21	2.31E-22	4.93E-24	2.98E-24	7.69E-30
t94	1.56E-18	5.34E-20	5.70E-18	1.49E-19	9.87E-19	3.58E-19	7.82E-18	3.33E-18
t95	3.61E-17	9.09E-19	7.80E-17	9.04E-18	1.34E-17	2.19E-17	1.55E-17	9.50E-17
t96	7.19E-17	1.91E-20	2.49E-17	3.46E-18	1.28E-17	4.35E-17	2.06E-16	2.26E-16

init_R	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08	8.33E+08
puffid	185	186	187	188	189	190	191
t92							
t93							
t94	9.59E-21	3.36E-27					
t95	2.31E-17	5.02E-17	5.92E-20	1.62E-32	1.64E-27		
t96	7.55E-17	7.44E-17	6.96E-20	5.11E-20	9.37E-17	7.96E-39	3.01E-35

init_R			
puffid	air(U)	air(F)	R
t92	5.37E-20	1.20E-10	2.24E+09
t93	2.10E-19	6.29E-10	3.00E+09
t94	3.80E-17	4.22E-09	1.11E+08
t95	4.86E-16	1.33E-07	2.74E+08
t96	9.57E-16	2.31E-06	2.42E+09

表 1-3 (續)

obs5									
init_R	1.03E+09	1.03E+09	1.03E+09	4.72E+08	4.72E+08	4.72E+08			
puffid	8	9	11	12	14	17	air(U)	air(F)	R
t6	6.44E-28						6.44E-28	3.21E-19	4.98E+08
t7	3.32E-26	6.71E-30	2.94E-34	5.29E-29			3.33E-26	5.25E-17	1.58E+09
t8	2.17E-31	9.25E-31		7.61E-26			7.61E-26	3.40E-15	4.47E+10
t9		7.43E-38		7.22E-25			7.22E-25	2.02E-14	2.80E+10
t10				1.01E-23	3.64E-36	1.38E-29	1.02E-23	7.82E-13	7.64E+10

obs5							
init_R	2.78E+09	2.78E+09	2.78E+09	2.78E+09			
puffid	252	254	256	260	air(U)	air(F)	R
t127	5.31E-39	7.96E-39			1.33E-38	3.49E-29	2.63E+09
t128	2.31E-36	1.03E-34			1.06E-34	1.24E-24	1.18E+10
t129		1.56E-33	1.63E-22		1.62E-22	2.62E-13	1.61E+09

obs5								
init_R	9.60E+09	9.60E+09	9.60E+09	9.60E+09	9.60E+09			
puffid	367	372	374	375	377	air(U)	air(F)	R
t187	2.39E-30	5.18E-31				2.91E-30	1.24E-19	4.25E+10
t188	1.15E-32	2.63E-37	5.34E-27	3.60E-30		5.34E-27	4.46E-16	8.36E+10
t189			2.69E-22	7.55E-24	6.05E-34	2.76E-22	8.36E-12	3.03E+10
t190			9.28E-22	1.15E-32	7.19E-24	9.35E-22	1.96E-12	2.10E+09

1-3 釋放率結果分析與討論

表1-4為JAEA釋放率與本研究劑量回推系統所推估出來的釋放率比較結果。共需估算15個時段，仍有4個時段(3, 6, 9, 11時段)無法被估算出來，將直接沿用JAEA的釋放率；其中，第3個時段(11.5~12hr)及第6個時段(55~55.5hr)是為期半小時機組爆炸時段，可能因為時間解析度太小，所以本研究的回推方法無法掌握到如此細微的變化。未來可朝增加觀測點數並擴大站點分布範圍的方向做精進，以便在空氣劑量率的突增時段作更多的分析。另外，由於本研究的觀測站取點較為接近，所以有些時段觀測點會有重複回推的情況，如第7個時段(55.5~65.5hr)及第14個時段(122~179hr)，此時的總釋放率會以觀測點與福島核電廠的距離進行權重內插求得。

整體來說，本研究的回推方法可以大致估算出釋放率的變化，除了第12個時段(81~85hr)是低估的，大部分都是高估的情形；表現最不理想的是第2個時段(5.5~11.5hr)，其他時段高估的幅度都在5倍以下。

表 1-4 JAEA 釋放率與本系統所推估出來的釋放率比較結果

Time(hr)	R(JAEA)	obs	R	obs	R	R(estimate)	
1: 1~5.5	1.03E+09	5	1.04E+09			1.04E+09	+
2: 5.5~11.5	4.72E+08	5	4.97E+10			4.97E+10	+
3: 11.5~12	8.33E+10					8.33E+10	
4: 12~19	2.33E+09	1	4.70E+09			4.70E+09	+
5: 19~55	1.00E+09	2	1.32E+09			1.32E+09	+
6: 55~55.5	8.33E+10					8.33E+10	
7: 55.5~65.5	6.39E+08	1	6.93E+08	4	5.14E+08	6.44E+08	+
8: 65.5~68	3.61E+10	4	3.71E+10			3.71E+10	+
9: 68~75	1.11E+10					1.11E+10	
10:75~78	8.33E+10	3	8.77E+10			8.77E+10	+
11:78~81	2.22E+09					2.22E+09	
12:81~85	1.10E+11	3	4.84E+10			4.84E+10	-
13:85~122	8.33E+08	4	9.35E+08			9.35E+08	+
14:122~179	2.78E+09	2	3.80E+09	5	5.33E+09	4.82E+09	+
15:179~192	9.60E+09	5	2.86E+10			2.86E+10	+

附件二 台灣區 2.5 公里高解析度全真化大氣擴散與劑量評估系統開發與建置

當台灣發生核子事故意外時，為了可以立即提供事故地區附近的高解析度核種沉降資訊及劑量評估結果，大氣擴散模式需要核電廠附近的高解析度氣象資料才能運作。以往的氣象資料是由建立一整年的氣象統計資料庫中取得，依照天氣類型選擇所需的氣象資料，但該資訊與當下的氣象條件不一定一致，會有失真的疑慮。為了提供更即時且更準確的氣象資料，本計畫利用中央氣象局發展的中尺度動力降尺度系統(Mesoscale Dynamic Downscale System ,MDDS)建立台灣地區即時高解析度(2.5 公里)氣象資料庫。

2.1 NCEP/GFS 及 CWB/WRF 氣象資料簡介

NCEP/GFS 是美國國家海洋和大氣管理局(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)轄下國家氣象局(NWS, National Weather Service)之下國家環境預報中心 (NCEP, National Centers for Environmental Prediction)所發展的全球預報系統(GFS, Global Forecast System)，其系統會產生每天 00、06、12、18UTC 之全球分析資料及其後 16 天的預報資料，一般來說，8 天內的預報是準確度較可以參考的時間，預報時間越長則結果越不可信。

CWB-WRF(Central Weather Bureau (WRF) Weather Research and Forecasting Model)；中央氣象局，區域預報系統。WRF 是美國近年來集合美國學術界和作業單位人力所發展之中尺度數值模式。CWB WRF 數值模式，現行作業版本為 WPS V3.1、WRF V3.1 和 WRF VAR3.1 等，其中包括前置處理、客觀分析、模式預報的資料同化和後處理輸出產品等。CWB WRF 為三層巢狀網格，解析度分別為 45/15/5 公里，垂直分層為 45 層，模式網格設定資訊參考(表 2-1)。其由增加垂直解析度與擴增模式範圍改進在台灣地區的預報能力。目前 CWB WF 共有 3 個系集成員，代號為 M00、M01、M02，其中 M00 即為 WRF_D，M01 即為 Typhoon WRF，三個模式均使用相同的颱風 bogus 和 relocation 方法，現行建立於即時氣象應用資料以抓取 M00 資料為主軸。CWB-WRF 模式的預報作

業同樣每日執行四次，分別為每日的 00UTC、06UTC、12UTC、18UTC。每次作業均預報 84 小時，每小時輸出一筆資料。

表 2-1 CWB_WRF 模式網格設定資訊

	Domain 1	Domain 2	Domain 3
巢狀網格設定			
投影法	Lambert		
網格解析度(km)	45 km	15 km	5 km
X方向格點數	222	184	151
Y方向格點數	128	196	181
垂直層數	45層		
參考經度	120°	120°	120°
參考緯度	10°、40°	10°、40°	10°、40°
中心經度	118.59	122.27	121.07
中心緯度	27.07	22.87	24.28
模式頂高度(Pa)	3000 Pa		
積分時間間隔	180 s	90 s	30 s
DMS 輸出X方向格點數	221	181	148
DMS輸出Y方向格點數	127	193	178
DMS輸出左下端點座標	-5.347277°N 77.91266°E	9.278562°N 109.7712°E	20.07030°N 117.3342°E
DMS輸出右上端點座標	-5.347277°N 77.91266°E	35.26799°N 137.7381°E	28.24893 °N 124.9106°E

2.2 模式網格設計規劃

中尺度動力降尺度系統 (MDDS) 對台灣地區高解析度的範圍如圖 5 所示(紅色 2500m 方框)，其中包含了台、澎、金、馬及部分大陸沿岸地區(亦涵蓋離台灣最近的核電廠-福清電廠)。MDDS 對台灣地區的設定如下：中心經緯度為北緯 24.0124 度、東經 120.4536 度；垂直 24 層，分別為 250、750、1250、1750、2250、2750、3250、3750、4250、4750、5250、5750、6250、6750、7250、7750、8250、8750、9250、9750、10250、11250、13000、15000 公尺高度；水平網格

共有 257*257 點，解析度 2.5 公里；採麥卡托投影，參考緯度為北緯 30 及 60 度。地形及地表利用資料以 USGS 30 秒的資料為基礎，台灣地區部分再以中央大學太空及遙測研究中心（NCU-CSRSR）的高解析度數值地形模型（DTM）資料更新。NCU-CSRSR 高解析度數值地形模型（DTM）資料提供地形高度 100 公尺解析度及土地利用 40 公尺解析度。

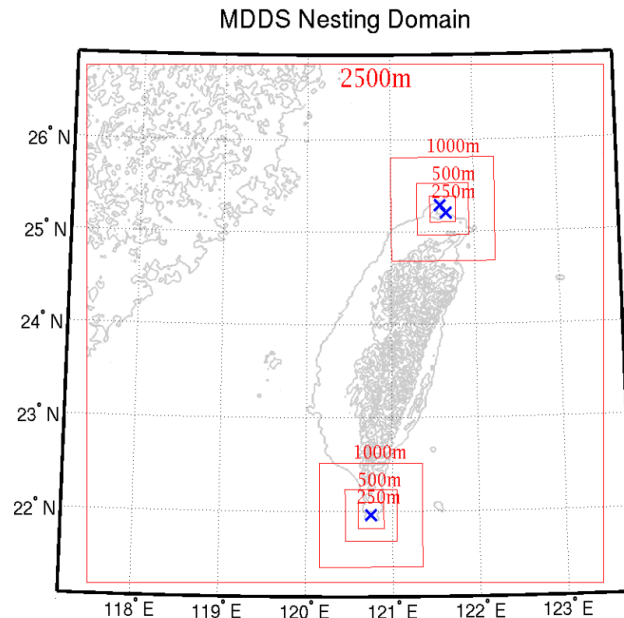


圖 2-1 MDDS 高解析度氣象資料範圍及設計次網格之範圍。藍色 X 為核電廠之位置。

另外為了處理多核電廠的同時發生事故的擴散模擬評估，MDDS 格點設計並兼顧了多核電廠的更高解析度的次網格設計(圖 2-1)，用 MDDS 產生出 2.5 公里解析度的氣象資訊在核電廠周圍提供更高解析度的氣象資料。次網格設計必須要滿足現行的核子事故緊急應變計畫區範圍，故其設計要滿足下條件：1、在核電廠中心 250 公尺解析度下需要有半徑 10 公里的解析範圍；2、在核電廠中心 500 公尺解析度下需要有半徑 20 公里的解析範圍；3、在核電廠中心 1 公里解析度下需要有半徑 30 公里的解析範圍。因此對於北部地區的次網格設計，經測試後決定以核一廠和核二廠兩點距離中心點為次網格的中心(25.2444°N, 121.6252°E)；而對於南部地區次網格設計則以核三廠為次網格的中心點(21.9581°N, 120.7516°E)。其流程為：先決定北部和南部次網格 1 公里解析度的範圍及格點位置，將 MDDS 每日固定產出的 2.5 公里解析度以四點差分法內插

至次網格範圍的 2 公里網格解析度(65*65 格點)，其後降尺度至 1 公里解析度(129*129 格點)，再取一半的網格(1 公里解析度)降尺度到 500 公尺解析度，再取一半的網格(500 公尺解析度)降尺度到 250 公尺解析度。次網格的設計可以快速獲得核電廠附近高解析度的氣象資訊，並可減少機器所需消耗的資源，以提供擴散模式所需。

2.3 以 NCEP/GFS 補足 CWB/WRF 不同解析度未來 4-8 天預報氣象資料

CWB/WRF 不論 45、15 或 5 公里解析度均只提供未來 84 小時的預報(三天半)，不能滿足 A2ct&d 作業化需求的八天預報氣象資訊，因此規劃將後面的第 4 到 8 天預報每六小時預報由 NCEP/GFS 補足。如此，在台灣地區可以採用 5 公里高解析度 CWB/WRF 當作 MDDS 的初始資料，若範圍不在台灣地區，也可以選擇 CWB/WRF 不同的解析度(45 公里、15 公里)當作初始資料。CWB/WRF 各種不同解析度的範圍及 MDDS 範圍如圖 2-2，不論是哪一種 WRF 解析度，其內均包含 MDDS 所需要的範圍。MDDS 對補齊 CWB/WRF 資料庫之實際做法為，首先參考表 2-1，設定各解析度的參考經緯度、投影法以及相同的中心點經緯度，這是因為 MDDS 及 CWB/WRF 均是採用等距離網格點。對 45 公里解析度，直接將 NCEP/GFS 0.5 度(約 50 公里解析度)資料經四點內插至 WRF 同範圍的 45 公里網格解析度(221*127 個格點)並整合進資料庫中(範圍如圖 2-3 所示，藍色風場為 MDDS 降尺度範圍，紅色框框則為 CWB/WRF 所需範圍)。對 15 公里解析度則取較 WRF 範圍大的 60 公里網格解析度(65*65 個格點)，經兩次降尺度至 15 公里解析度 257*257 個格點，然後取出 CWB/WRF 同範圍的格點(181*193 個格點)並整合進資料庫中(範圍如圖 2-4 所示)。對 5 公里解析度部分，則取台灣地區 40 公里解析度 33*33 個格點，經三次降尺度至 5 公里解析度 257*257 個格點，最後再取出 CWB/WRF 同範圍的格點(148*178 個格點)並整合進資料庫中(範圍如圖 2-5)。詳細的 MDDS 設定如表 2.2。

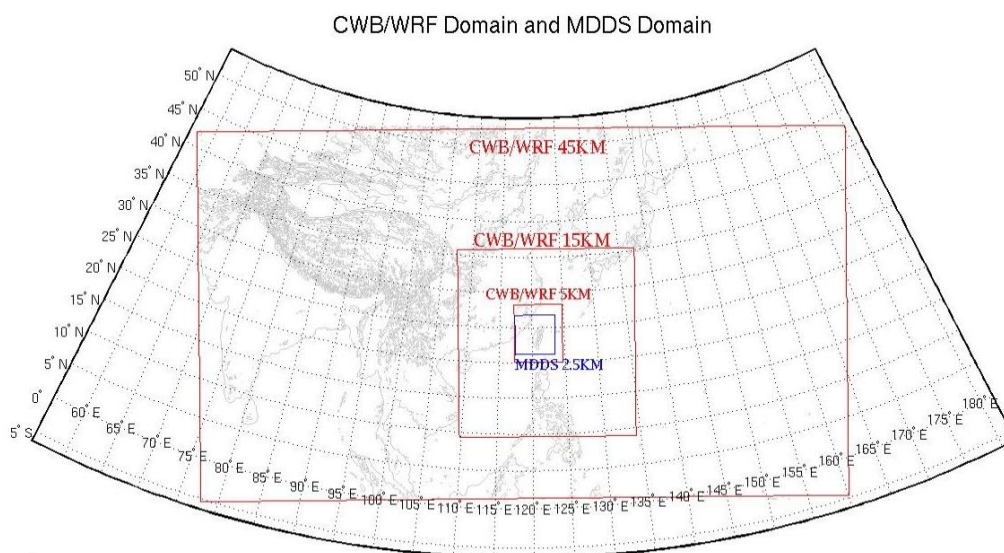


圖 2-2 CWB/WRF 不同解析度所包含的範圍及 MDDS 高解析度氣象資訊之範圍。紅色方框為 CWB/WRF，藍色方框為 MDDS。

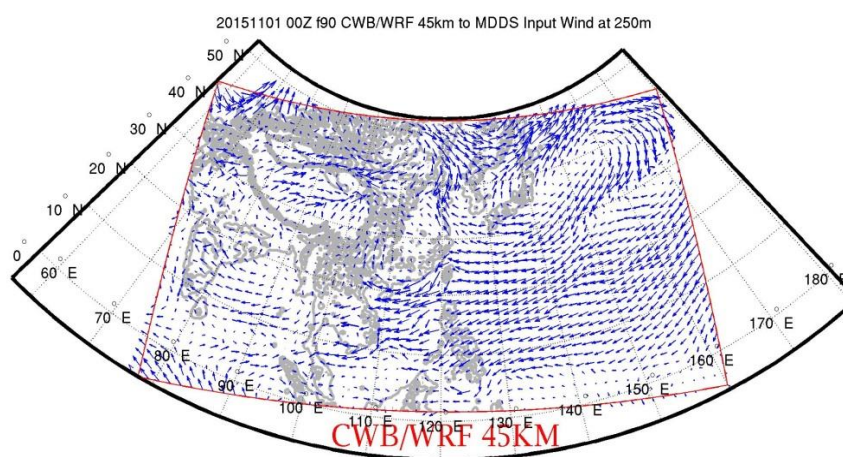


圖 2-3 MDDS 降尺度範圍與 CWB/WRF 45km 所需範圍

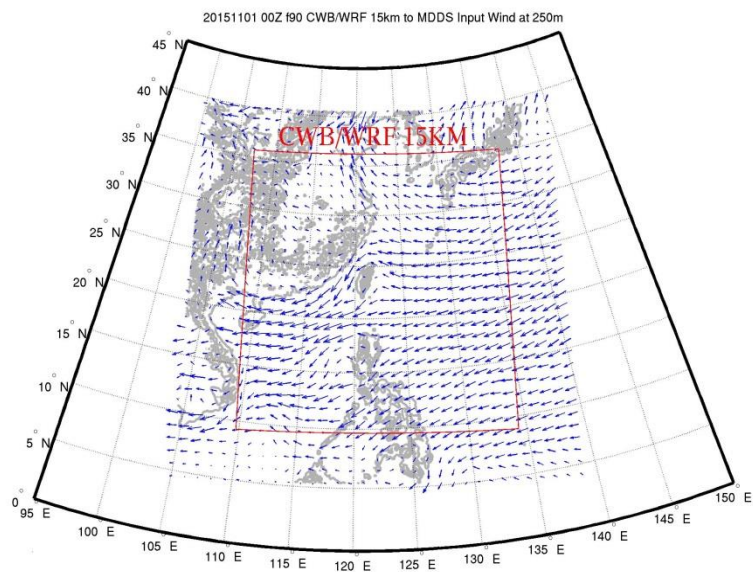


圖 2-4 MDDS 降尺度範圍與 CWB/WRF 15km 所需範圍

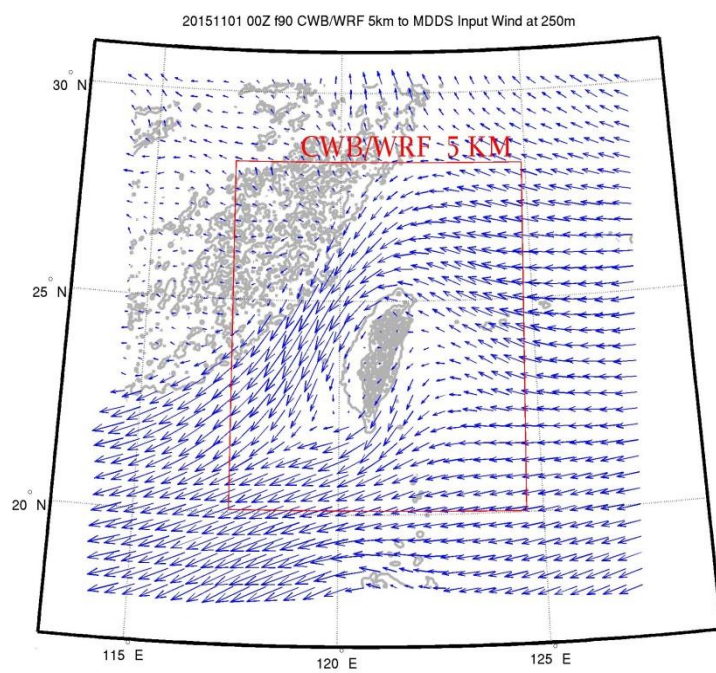


圖 2-5 MDDS 降尺度範圍與 CWB/WRF 5km 所需範圍

表 2-2 以 MDDS 將 NCEP/WRF 補足 CWB/WRF 4~8 天氣象
資料之模式設定

	Domain 1	Domain 2	Domain 3
投影法	Lambert		
網格解析度	45 km	15 km	5 km
垂直層數	24 層		
參考經度	120°	120°	120°
參考緯度	10°、40°	10°、40°	10°、40°
中心經度	118.59	122.27	121.07
中心緯度	27.07	22.87	24.28
降尺度次數	0	2	3
MDDS 輸出 X 方 向格點	221	257	257
MDDS 輸出 Y 方 向格點	127	257	257
MDDS 整合進資 料庫格點數	221	181	148
MDDS 整合進資 料庫格點數	127	193	178

2.4 MDDS 台灣地區 2.5 公里解析度氣象預報作業流程規劃

MDDS 規劃可以有兩種不同來源的輸入場：NCEP/GFS 及 CWB/WRF。其氣象預報作業流程規劃圖為圖 2-6。

NCEP/GFS 為全球網格 0.5 度資料格式，每日提供 00Z、06Z、12Z、18Z 四個時間的分析場及其之後 16 天預報場。若 MDDS 採用 NCEP/GFS 輸入場，模式會從 NCEP/GFS 0.5 度網格點四點內插至 MDDS 範圍 40 公里解析度，並降尺度至 2.5 公里解析度。每日 MDDS 均會固定提供四個時間的高解析度氣象分析場及其後八天每六個小時的預報場。

若 MDDS 採用 CWB/WRF 輸入場，則需選擇採用哪一種解析度(45/15/5km)當作初始場，並由初始場四點內插至 MDDS 所需要的範圍。若選擇 45 公里解析度當作初始場，則 MDDS 將會從 40 公里解析度降尺度到 2.5 公里解析度(五

層降尺度)；若選擇 15 公里解析度做初始場，則 MDDS 會從 10 公里解析度降尺度到 2.5 公里解析度(三層降尺度)；若選擇 5 公里解析度，MDDS 則從 5 公里降尺度到 2.5 公里解析度(兩層降尺度)。由於 CWB/WRF 提供每日四個時段 00Z、06Z、12Z、18Z 的氣象分析場及每個時段未來三天半的預報，無法達到計畫所需求的八天預報場，故在作業方面若採用 CWB/WRF 初始場，則每個時段的前三天預報場採用 CWB/WRF 初始場，第四到八天預報場採用前一小節經 MDDS 處理過之 NCEP/GFS 在 CWB/WRF 網格點上的補足資料。

無論採用 NCEP/GFS 或者 CWB/WRF 均可以產出每個時段八天的高解析度氣象資料，以提供 A2Ct&d 做即時的沉降量及劑量評估。

台灣地區2.5公里解析度全真化大氣擴散與劑量評估
計算系統高解析度氣象資料庫建立流程圖

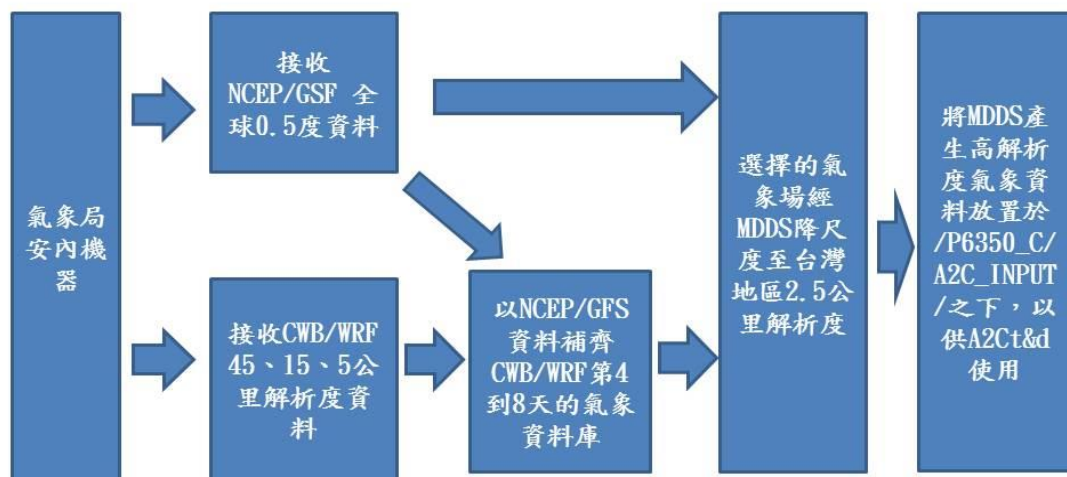


圖 2-6 MDDS 2.5 公里解析度氣象資料庫建立流程圖

2.5 MDDS 台灣地區 2.5 公里解析風場與測站觀測資料比較

觀測風場的測站主要採取氣象局屬人工測站以及局屬自動氣象站，經人工依地形選擇較能代表當地的測站點。採用的測站點如表 2-3，測站地點及地形高度如圖 2-7 所示。其觀測風場利用 Power law 公式($U_{250}/U_{10} = [$

(Z_{250}/Z_{10})^{1/7})差至 250 公尺高度以便和 MDDS 2.5 公里解析度輸出第一層 250 公尺風場做比對。MDDS 2.5 公里解析度的風場範圍如圖 2-8，其範圍包含台、彭、金、馬及大陸福建省沿岸地區(包含福清核電廠)，藍色風標為 MDDS 2.5 公里解析度所得的解析風場，紅色風標則為所取測站的風場。

案例選擇夏秋季較有的天氣類型作代表，其主要為副熱帶高壓籠罩西太平洋、颱風、東北季風、強烈冷氣團等五個案例。

表 2-3 選定之氣象觀測站之位置與測站代碼

測站代碼	測站位置	測站代碼	測站位置	測站代碼	測站位置
466950	彭佳嶼	C0R270	琉球嶼	C0D570	新竹香山
466990	花蓮	C0AC40	大屯山	C0E540	苗栗後龍
467620	蘭嶼	C0A950	鼻頭角	C0E550	苗栗明德
467300	馬公	C0A970	三貂角	C0F9V0	台中清水
467350	東吉島	C0U640	羅東公園	C0I091	南投鹿谷
467530	阿里山	C0T9H0	加路蘭山	C0G840	彰化北斗
467550	玉山	C0S740	花蓮池上	C0G710	彰化台西
467440	高雄	C0H9C1	合歡山	C0H960	彰化草屯
467780	台南七股	C0T791	大禹嶺	C0X190	台南安平
467770	台中梧棲	C0AC70	台北信義	C0V530	高雄阿蓮
467050	桃園新屋	C0AD00	新北三芝	C0R430	高雄東港
467660	台東	C0A940	新北金山	C0R350	貓鼻頭
C0U750	龜山島	C0C520	桃園中壢	C0R590	屏東里港
C0S730	綠島	C0C630	桃園大溪		

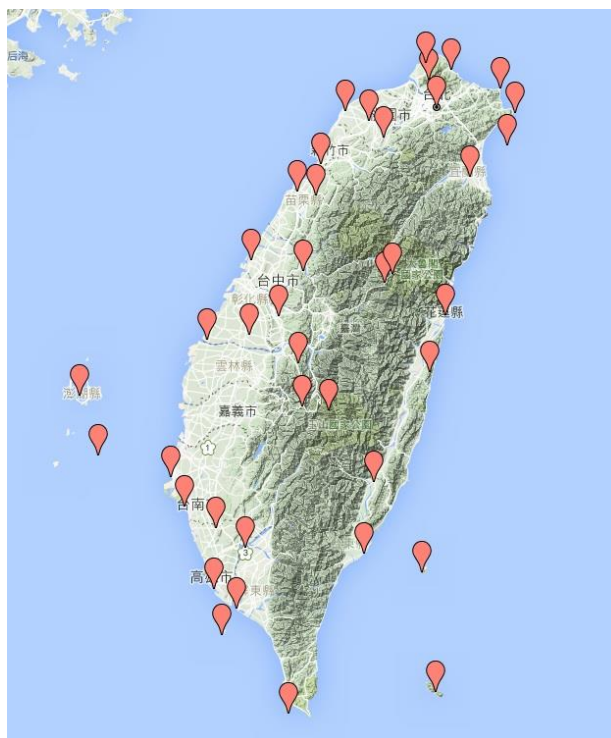


圖 2-7 選取的氣象觀測站點與台灣地形圖。

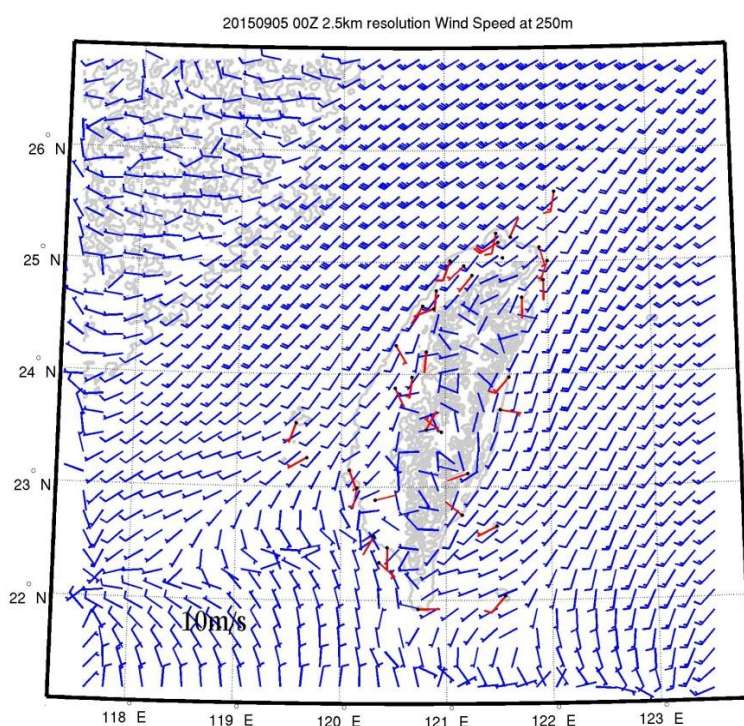


圖 2-8 MDDS 2.5 公里解析度解析範圍示意圖。紅色風標為測站風場。

副熱帶高壓籠罩台灣

2015 年 9 月 5 日早上 8 點，其地面天氣圖如圖 2-9，此時天氣概況為滯留鋒因太平洋副熱帶高壓的增強北退至長江流域一代，台灣地區上空籠罩在副熱帶高壓下，台灣地區風向主要為微弱的西南風，全台的風場較小。MDDS 解析的風場在遇到台灣的部分有偏折(圖 2-10)，如西部的風場沿著中央山脈及雪山山系逐漸地偏轉，風場遇到屏東的中央山脈尾端有繞流並沿著海岸山脈轉向。外島測站的風向如彭佳嶼、澎湖、東吉島、綠島、蘭嶼等角不受地形影響的風向均大致和 MDDS 的風向差不多，均為西南風系，西部沿岸的測站表現也與 MDDS 差不多，大部分為西南風系。東部的降尺度風場也和測站大致相同但仍有些微差距，如東北部測站沿龜山島、三貂角、基隆有些微繞流的風向 MDDS 則為西南風系，加路蘭山及台東測站的風向則有較大的偏差。因測站風場觀測為整點前 10 分鐘內之最多的風向風速，當風速小的情況下，風向的誤差是會比較大。整體來說此情況下 MDDS 2.5 公里解析度有抓到測站風場表現，但風場在東北角的繞流較小。

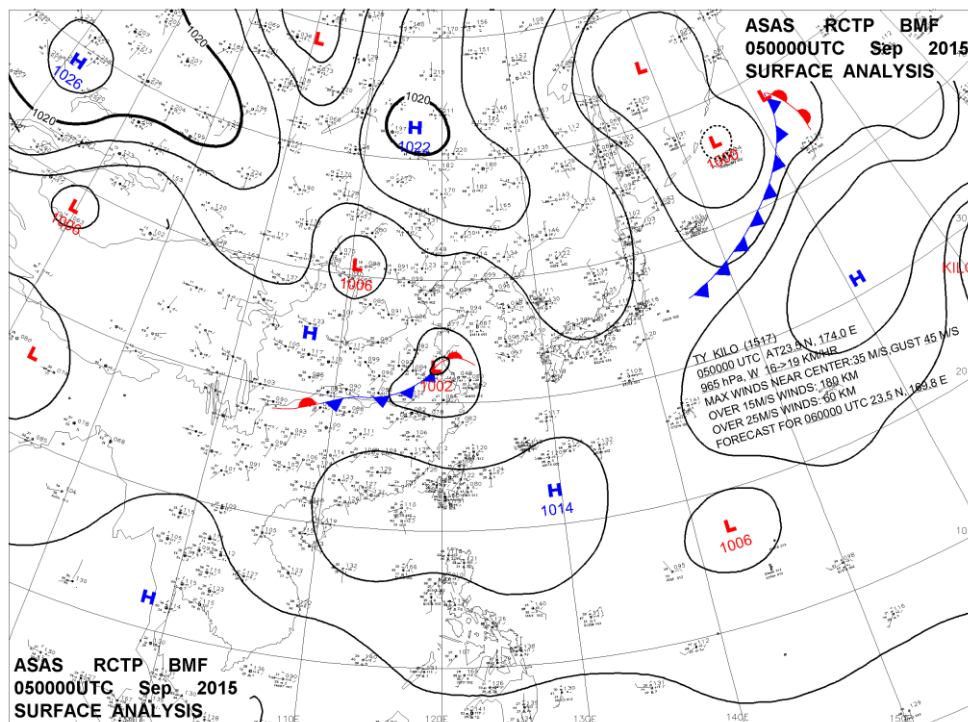


圖 2-9 2015/09/05 00Z 副熱帶高壓籠罩台灣地面天氣圖。

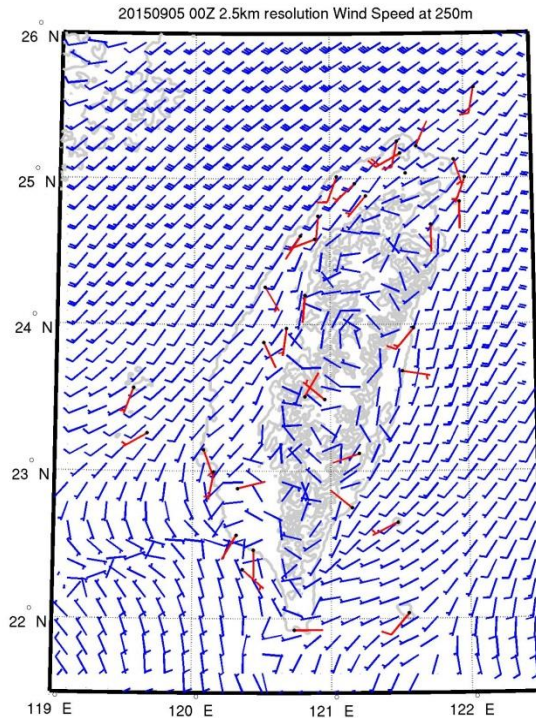


圖 2-10 2015/09/05 00Z MDDS 解析風場及測站觀測風場。

大陸冷高壓過境

2015 年 9 月 10 日早上八點，大陸冷高壓分裂一部分向東移動，但此冷高壓勢力並不強(為 1018 百帕)，此時中心約位在長江以南近出海口(圖 2-11)，台灣位在弱冷高壓勢力範圍內，風向主要為東北風向。MDDS 解析風場(圖 2-12)除了海面場較強勁的東北季風外，風場遇到中央山脈仍有向東半部及西半部轉向。離島測站如彭佳嶼、澎湖、東吉島、綠島等皆為東北風系，除蘭嶼偏向北風，西部沿海測站也已東北風為主，東北部的基隆、三貂角有偏向繞流，此地方為 MDDS 繞流有一點不足。鵝鑾鼻及東港為東北風向，維小琉球為東南風，此風速小可能亦有存在誤差。整以來說 MDDS 於中弱東北季風仍有一定的表現。

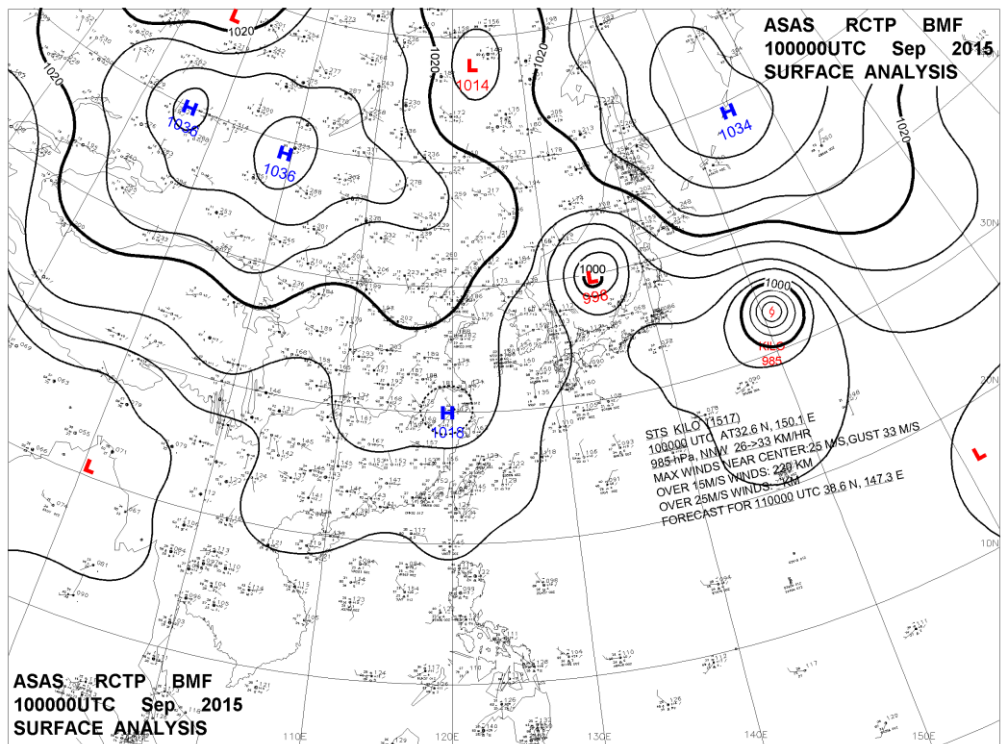


圖 2-11 2015/09/10 00Z 大陸冷高壓過境台灣地面天氣圖。

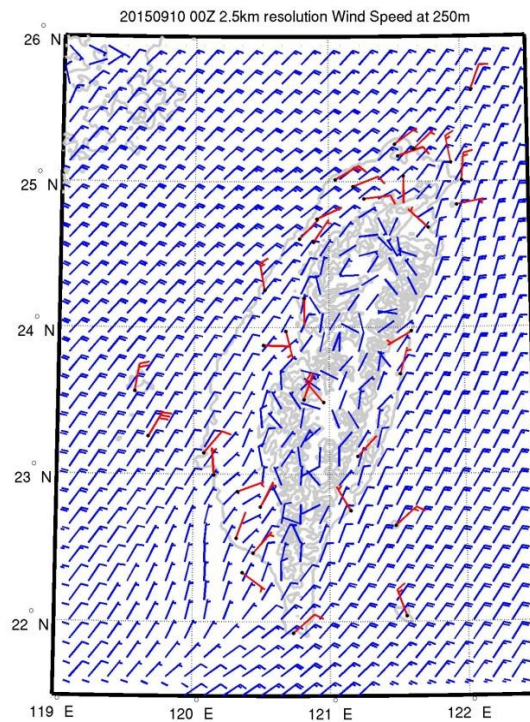


圖 2-12 2015/09/10 00Z MDDS 解析風場及測站觀測風場。

颱風過境

2015 年 9 月 29 日早上八點，此時為杜鵑颱風過境台灣，颱風中心在福建外海正準備登陸。杜鵑為一侵台強烈颱風，其路徑於 28 日 17 時由宜蘭登陸，29 日 1 時由彰化出海，強度並減弱為中度颱風。29 日 8 時全台仍籠罩在杜鵑颱風(中颱)的外圍環流下，主要的風場為西南風(圖 2-13)。MDDS 解析風場中(圖 2-14)，風向遇到中央山脈有明顯的分割，東半部為南南西風轉東南風向，西半部靠近台灣部分受中央山脈影響轉為南風。測站部分如澎湖、東吉島為受颱風外圍環流的西南風系，小琉球、東港、高雄、里港為南風，鵝鑾鼻、蘭嶼、綠島為南南西風，三貂角、基隆、彭佳嶼為東南風系。MDDS 在強颱過境後的強風下，解析風場與測站一致性不錯。

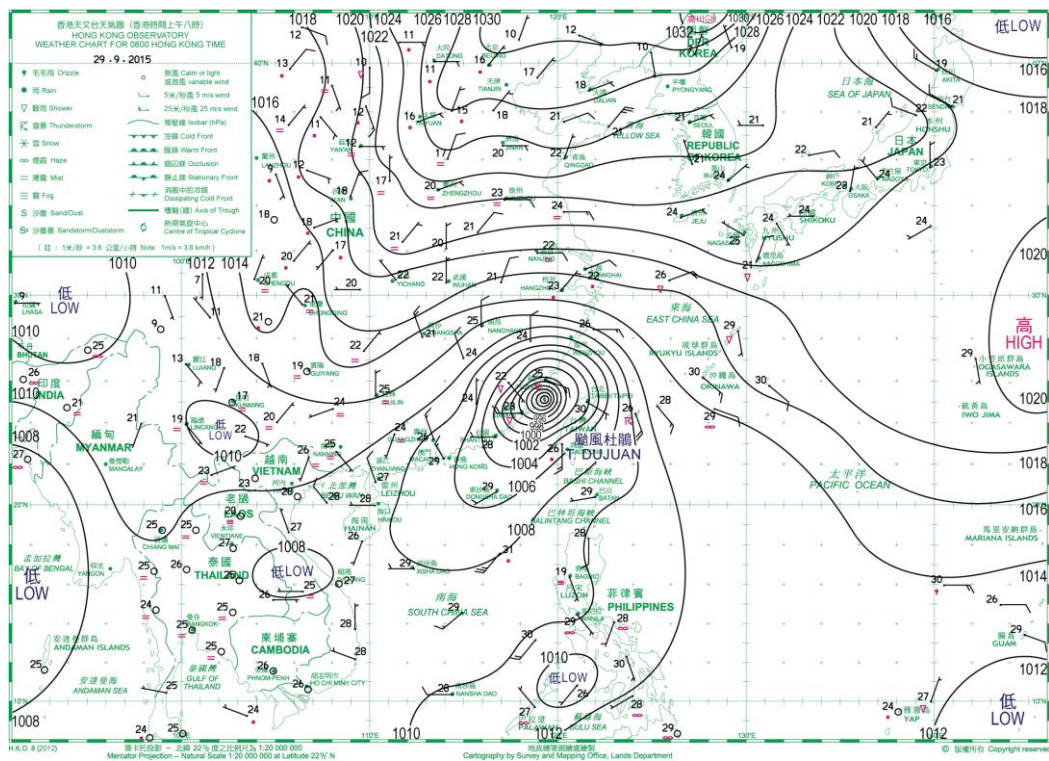


圖 2-13 2015/09/29 00Z 颱風過境台灣地面天氣圖。

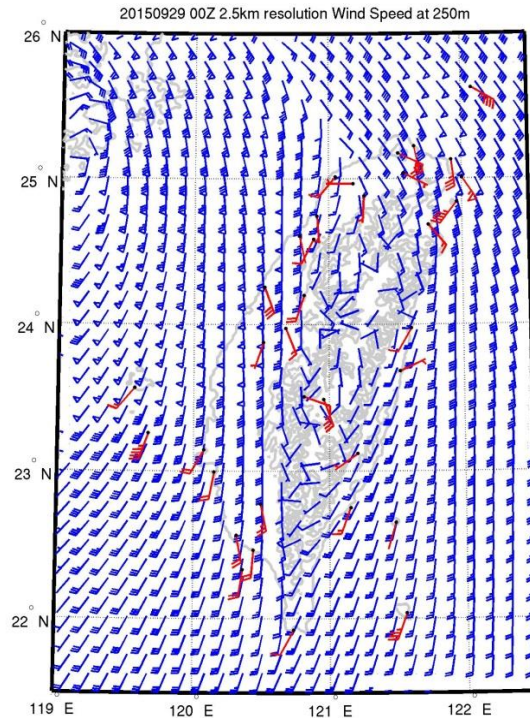


圖 2-14 2015/09/29 00Z MDDS 解析風場及測站觀測風場。

強烈冷氣團

2015 年 11 月 3 日早上 8 時，此時一從西伯利亞移出之強烈冷高壓正中心處於黃海上方準備登陸南韓(圖 2-15)，受其影響，台灣籠罩在強烈東北季風下。MDDS 解析風場為北部外海為偏東風(圖 2-16)，西邊受地形影響，於台灣海峽轉為東北風，東邊氣流遇山則沿台灣東部山脈繞流出墾丁。離島測站及沿海測站主要測站風向與 MDDS 解析風向差不多，如彭佳嶼、澎湖、東吉島、綠島、鵝鑾鼻為東北風，北部如三芝、金山、龜山島為偏東風，西南部為東北季風的尾流區，風場較弱，七股、安平、阿蓮、里港、高雄、小琉球為偏北風。在此案例較強的東北季風下，MDDS 的解析風場可以大致解析出和測站相似的風向。

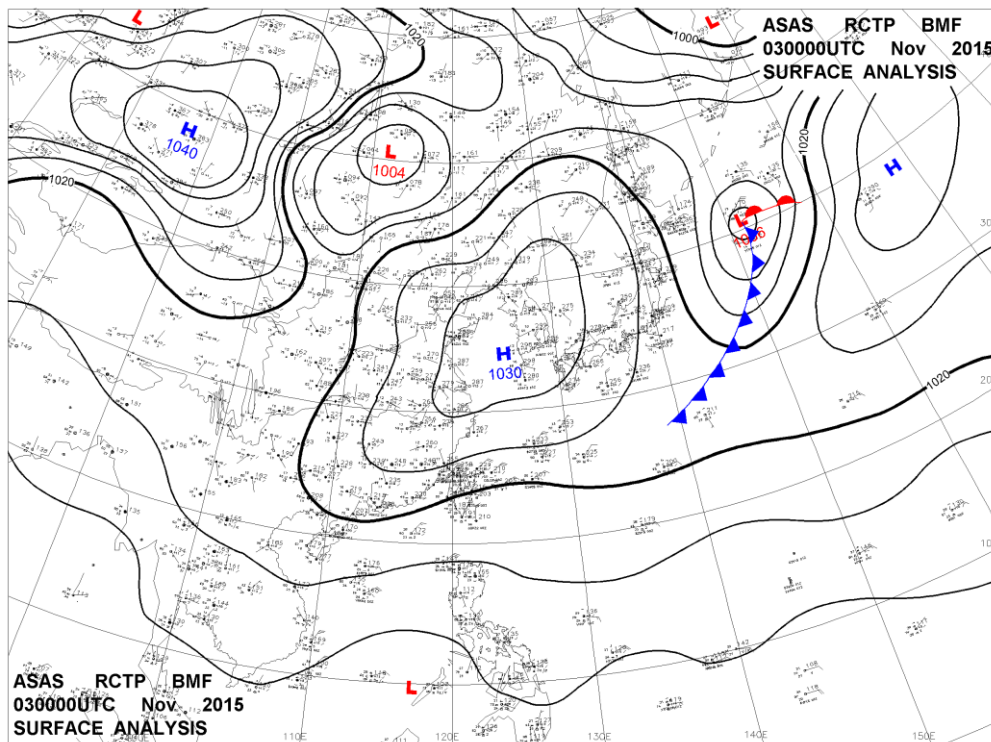


圖 2-15 2015/11/03 00Z 強烈冷氣團過境台灣地面天氣圖。

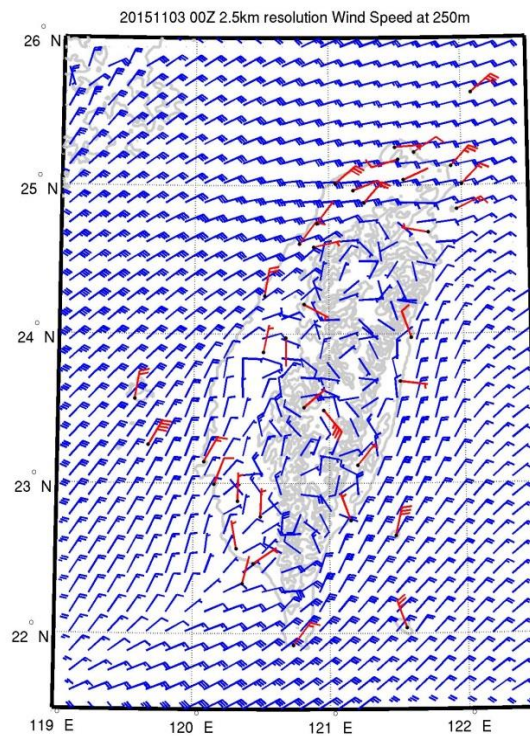


圖 2-16 2015/11/03 00Z MDDS 解析風場及測站觀測風場。

強烈冷氣團過後之弱環流

2015 年 11 月 6 日早上 8 時，此時為強烈冷氣團過後，大陸另一波強烈冷氣團仍在西伯利亞上尚未移出，台灣此時受到較為弱之外圍環流的影響(圖 2-17)，風場偏向東風系。MDDS 解析風場為東風場受台灣地形影響，分別為往北繞過中央山脈、雪山山脈經台北吹往台海峽，及往南沿海岸山脈及中央山脈繞出屏東兩部分(圖 2-18)。往北向的風場在桃園新竹一帶產生迴流，風場在中央山脈背風區的西半部平原有風速較小的地區。測站部分可以看到綠島、蘭嶼、鵝鑾鼻、澎湖、東吉島為東北風系，彭佳嶼為東南東風，龜山島及三貂角為南南西風而 MDDS 在此則為南風。西北平原測站部分，因為繞流在這地方建立為弱的迴流中心，大溪測站為西南風、中壢測站為東南風，與 MDDS 所建立的環流相符。但仍有風速較小的部分測站風場與 MDDS 有所不同。

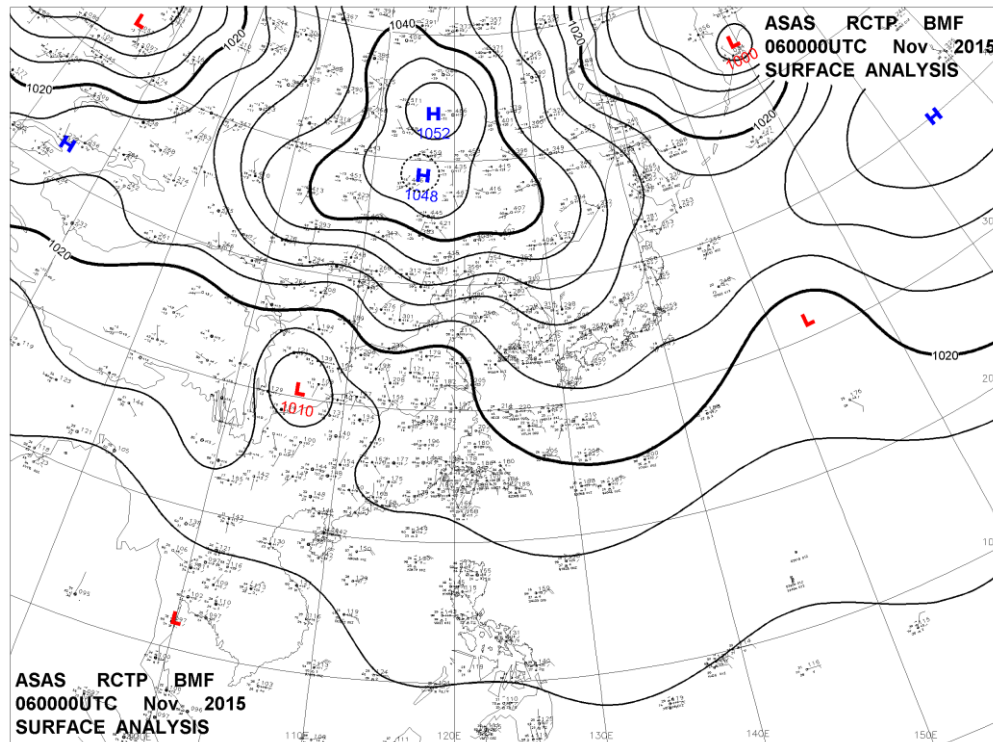


圖 2-17 2015/11/06 00Z 強烈冷氣團過境台灣後之弱環流地面天氣圖。

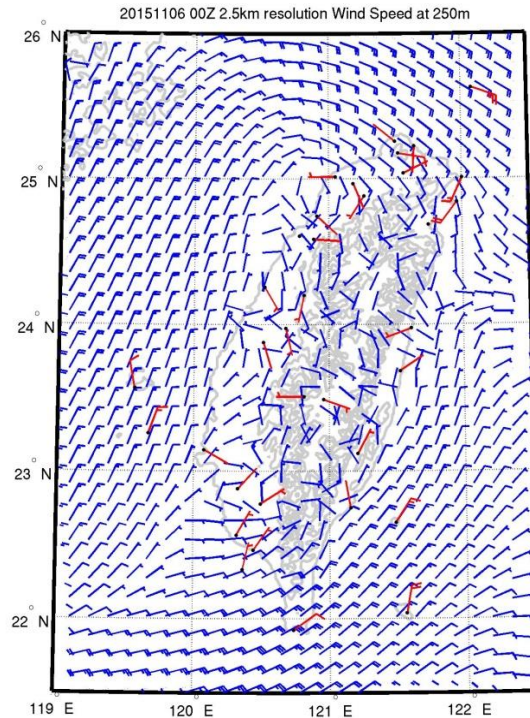


圖 2-18 2015/11/06 00Z MDDS 解析風場及測站觀測風場。

2.6 全台灣區域評估範圍之劑量評估系統

因應全真化大氣擴散與劑量評估計算，配合 4 座核電廠之緊急應變計畫區，需進行台灣區 2.5 公里解析度以上之模式網格設計規劃。考量涵蓋台灣本島與離外島等區域，定義之劑量評估系統區域如圖 2-19，粉紅色線內區域為評估範圍，空間解析度為 2.5 公里，共有 257×257 個網格。

在系統的氣象風場預報資料中，包含全球模式預報資料，分別有 NCEP GFS 及 CWB GFS，區域模式則有 CWB WRF 三種解析度，45km、15km、5km 的預報資料，再加上經過 MDDS 處理的高解析度資料，每日固定時間進行整合處理程序並儲存於伺服器供使用者挑選（如圖 2-20 所示），當國內核電廠發生事故時，即可馬上提供預報資料供大氣擴散模式進行模擬，能夠在最短的時間內掌控更好的即時資訊。

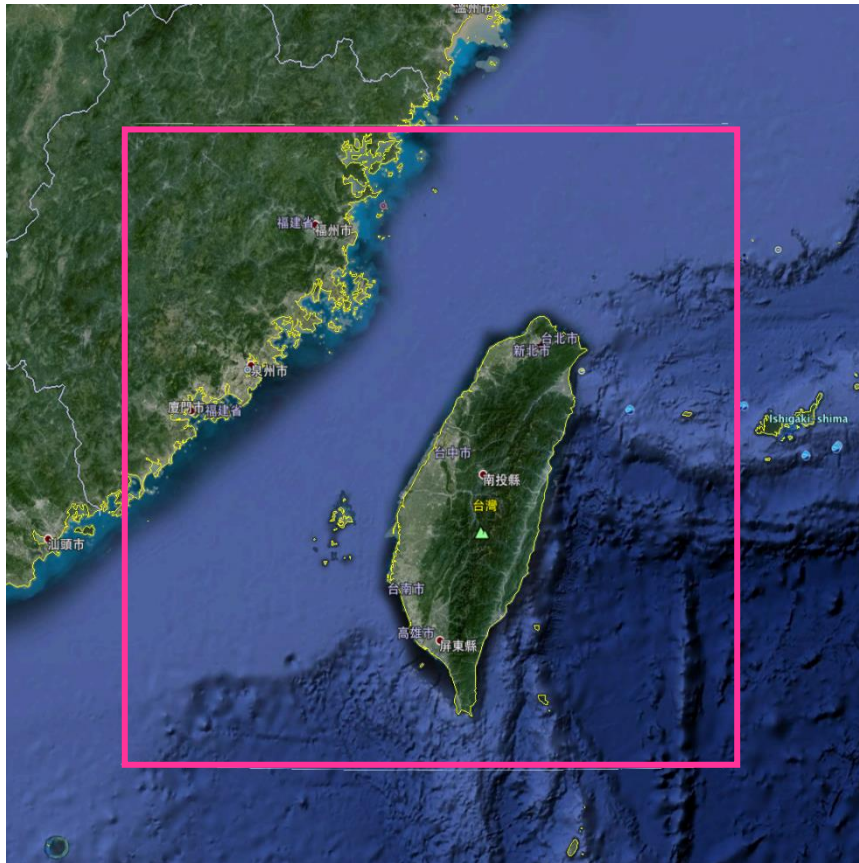


圖 2-19 全台範圍劑量評估系統定義之計算網格區域

模式挑選

全球模式 (必選)

☒ NCEP_GFS (預設模式，模式最新時間：2015-07-01 14:00:00)

☐ CWB_GFS

全球模式時間

2015-07-01 14:00:00

模式說明

區域模式 (任選)

☐ WRF_05KM

☐ WRF_15KM

☐ WRF_45KM

☐ MDDS_NCEP_TW

圖 2-20 即時氣象預報資料庫

本計畫已完成核一、二、三廠台灣區 2.5 公里解析度大氣擴散與劑量評估系統的建置作業。功能規劃之劑量評估輸出項目包括：有效劑量、甲狀腺等價

劑量、Cs-137 沉降濃度。評估結果可在 Google Earth 圖台呈現，還可依時序進行連續動態播放。圖 2-21 至圖 2-23 分別為核一、二、三廠之有效劑量輸出結果。圖 2-24 為核一廠 Cs-137 沈降濃度輸出結果。圖 2-25 則為同假想案例但以不同氣象場網格解析度之輸出套疊結果。

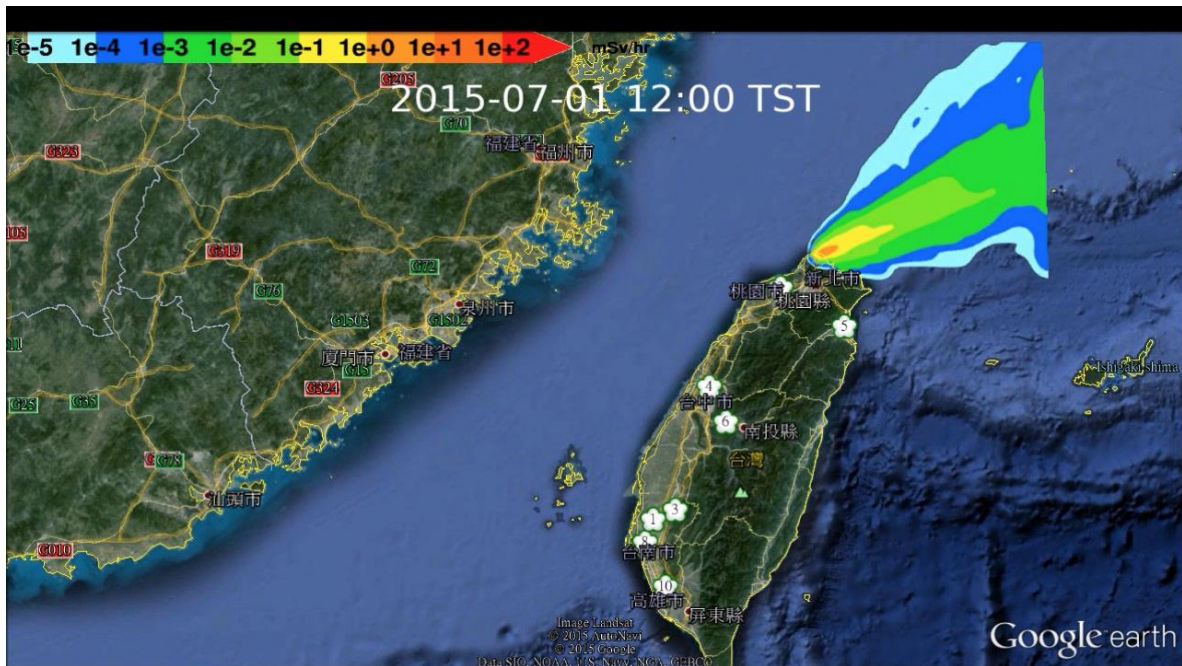


圖 2-21 核一廠案例有效劑量輸出結果

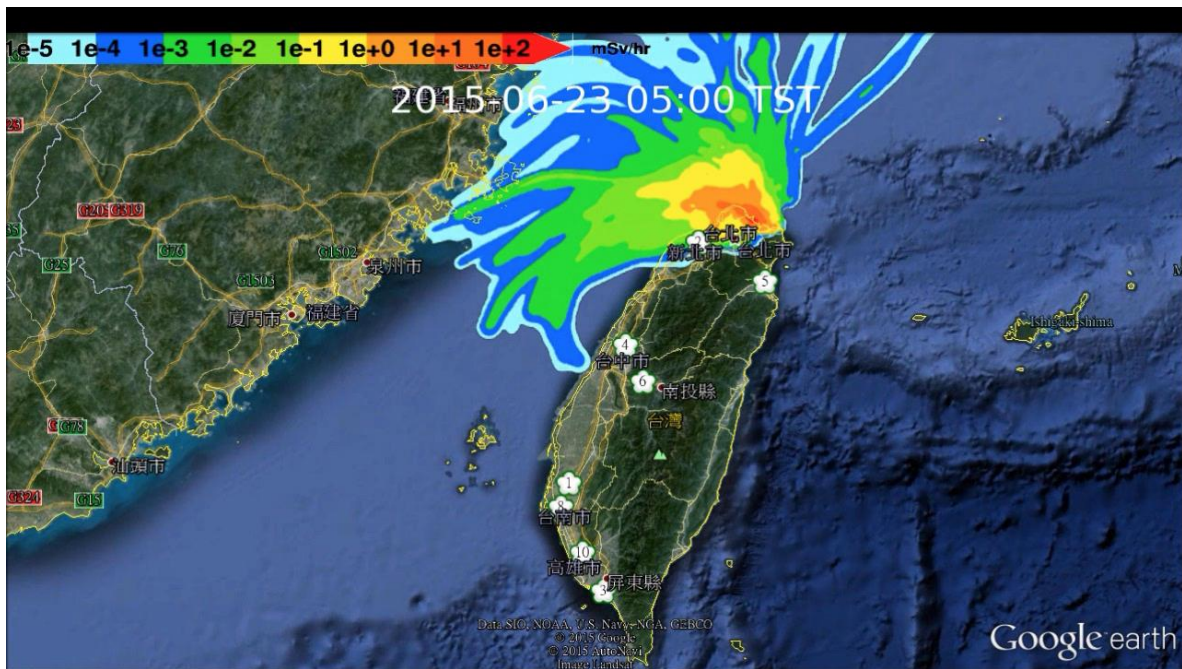


圖 2-22 核二廠案例有效劑量輸出結果

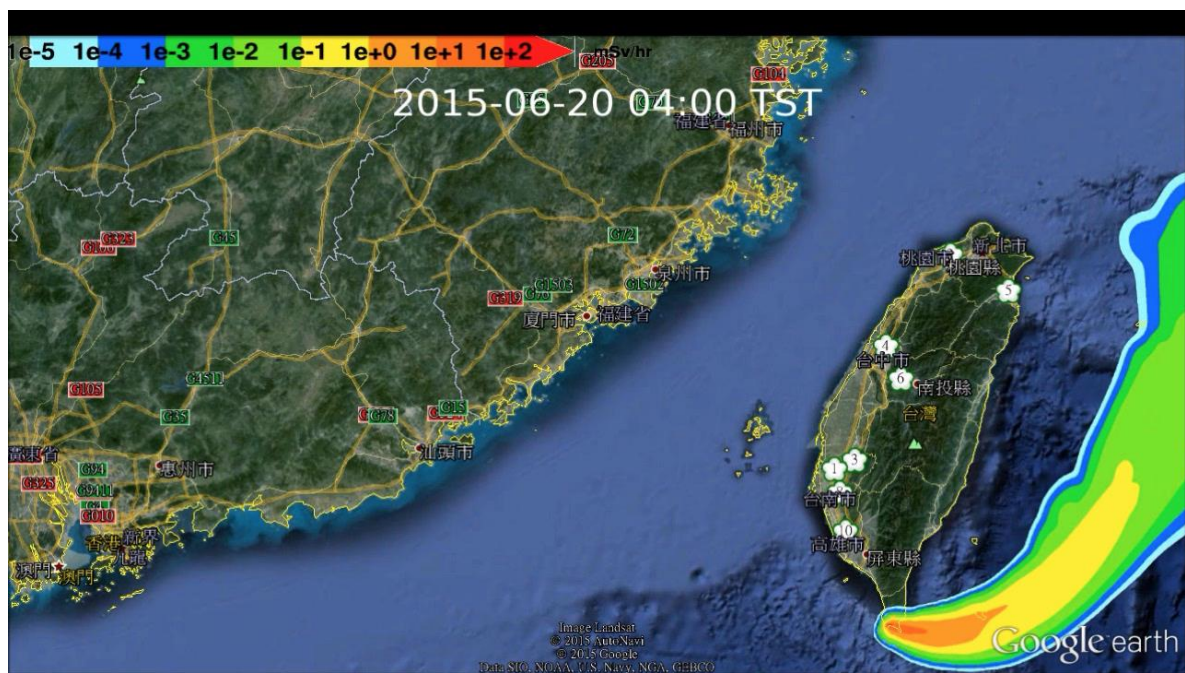


圖 2-23 核三廠案例有效劑量輸出結果

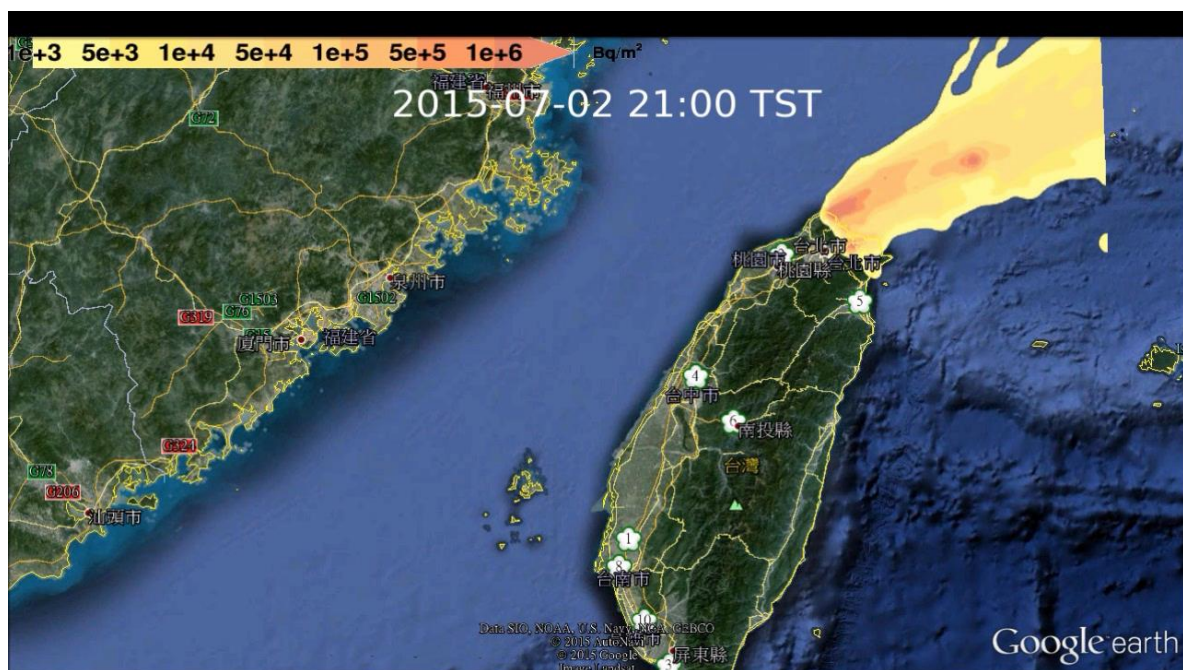


圖 2-24 核一廠案例 Cs-137 沉降濃度輸出結果

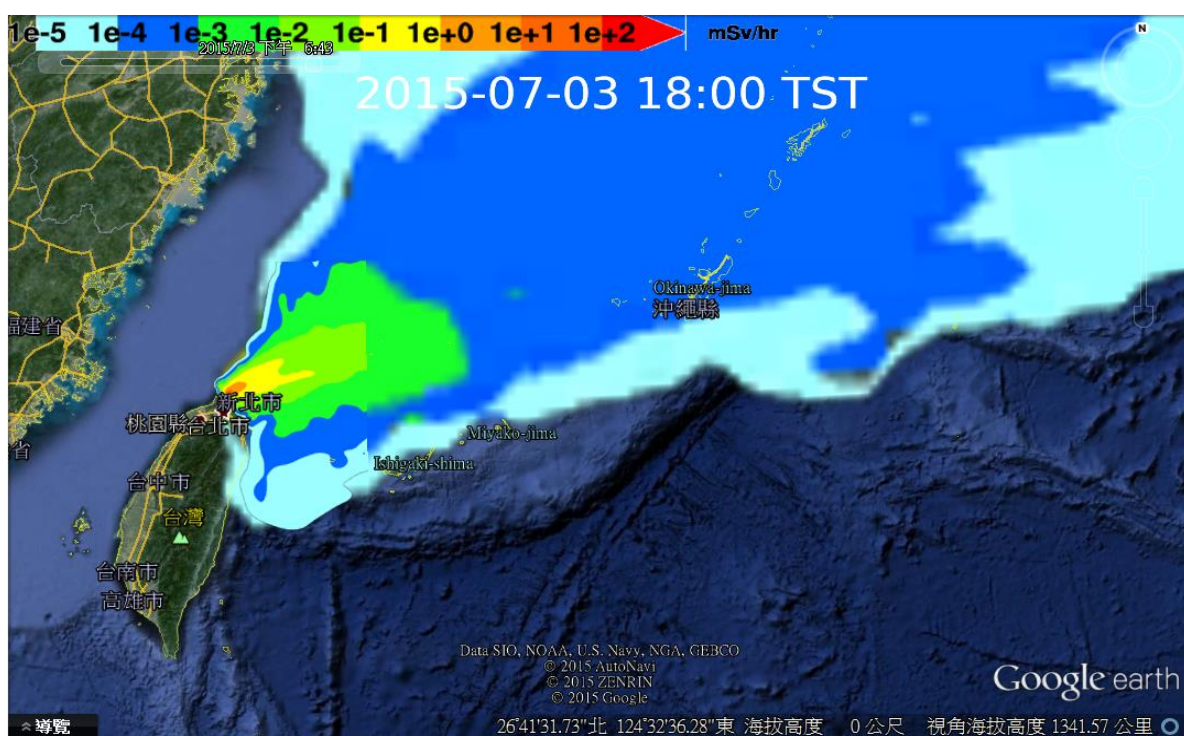


圖 2-25 核一廠不同氣象場網格解析度之劑量輸出套疊結果

2.7 多核電廠同時發生事故之大氣擴散與劑量評估建立與模擬個案測試

自 2011 年 3 月 11 日福島核災發生以來，各國在核災防護上開始注意到核子事故的發生並不會只侷限於單一機組，天然災害所導致的核災可能為同一廠址多個機組同時發生問題或者多個核電廠同時發生事故。有鑒於此，台灣在做核災劑量評估系統的時候也於今年度建立多核電廠多機組同時發生事故的評估能力，並完成假想案例之運行測試。

案例測試假定核一廠及核二廠同時發生事故，利用大氣擴散模式與劑量評估模式(A2Ct&d)進行多釋放源的模擬，氣象場則採用經 MDDS 降尺度所獲得的高解析度（2.5 公里解析度）的氣象資料，並以對台灣影響較大的東北風系之風場運行模擬案例，模擬時間為 2015/09/10/00Z 至 2015/09/17/00Z 共 8 天 192 小時，初始風場受大陸冷高壓逐漸移出華中地區的東北風為主，其後風場隨著冷高壓的出海而逐漸轉為東風；核一及核二廠釋放源假設為同時釋放 Cs-137 單一核種，釋放濃度為每小時釋放 10^{10} 貝克，連續釋放 192 小時。

圖 2-26 為個案期間之累積沉降量結果，(A)、(B)、(C)、(D)分別為第 2、4、6、8 天的累積沉降量。案例期間內受到東風和東北風的影響，輻射污染物往西方及西南方擴散並進行沉降，在設定兩個核電廠連續釋放下，可以看到廠區附近都是沉降量較高的區域，尤其從圖(A)和圖(D)可以明顯發現在核一及核二廠區有兩個相對的極值區。圖 2-27 與圖 2-28 分別為與 Google Earth 結合之空氣劑量率與地表沉降濃度之等值曲線。

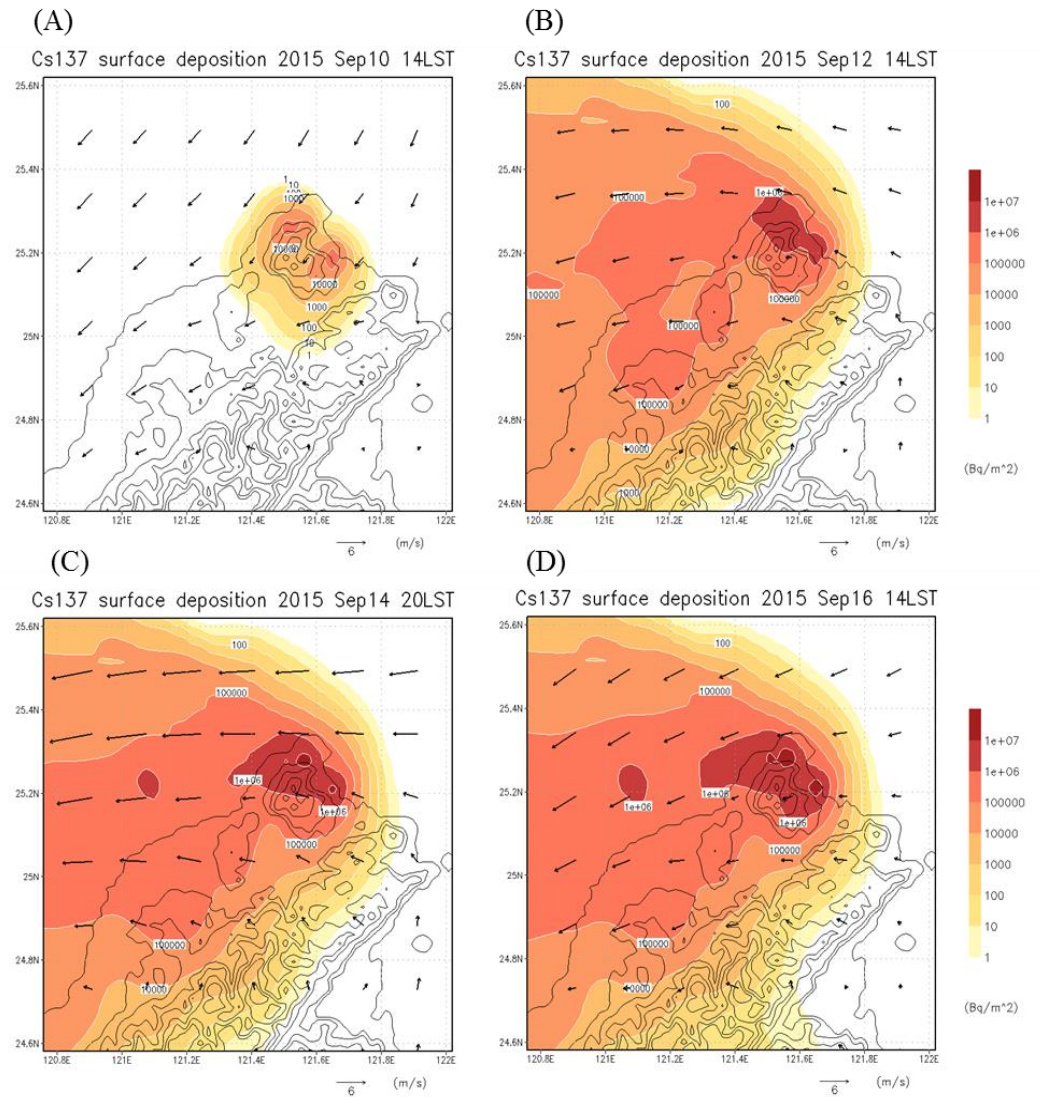


圖 2-26 個案期間之累積沉降量結果(兩天一筆，時間為台灣當地時間 14LST)。
圖中，細黑實線為地形等高值，粗黑箭頭為風向。

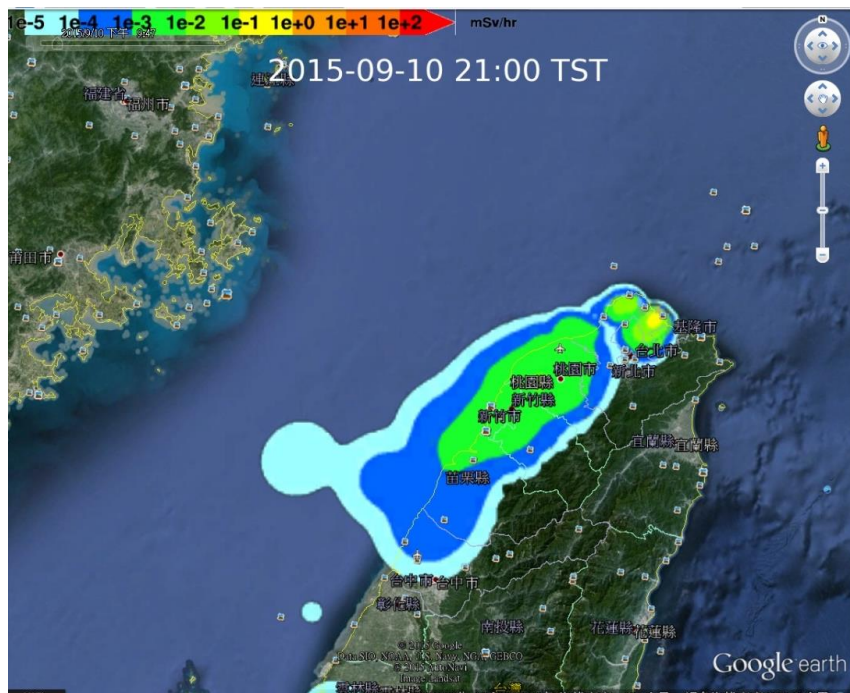


圖 2-27 劑量率與 Google Earth 結合之案例評估結果

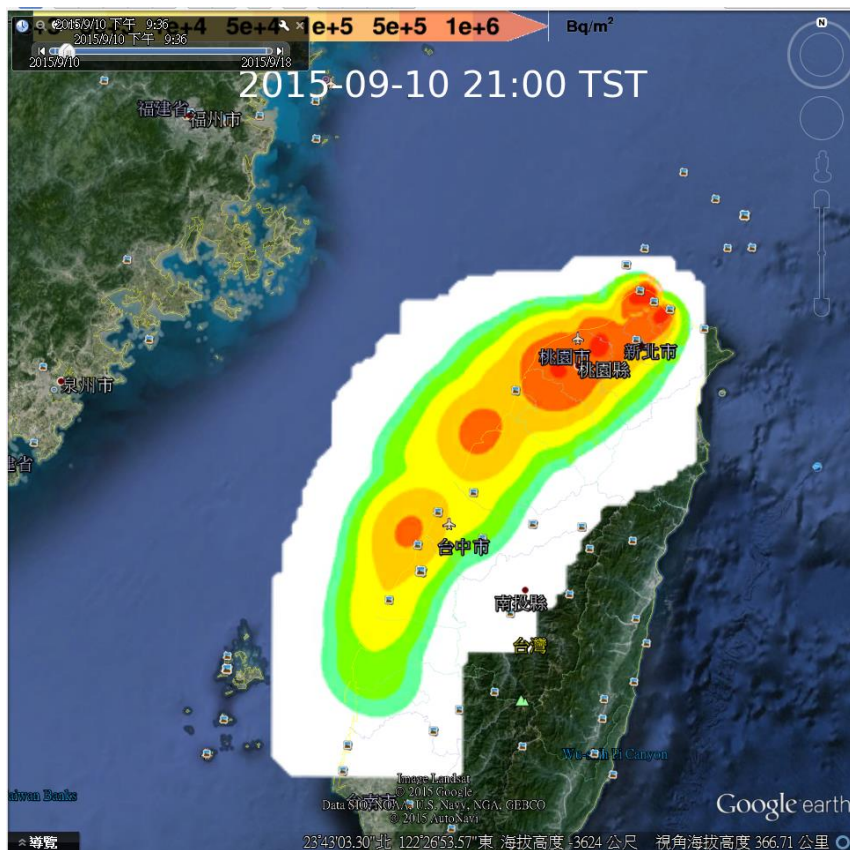


圖 2-27 地表沉降濃度與 Google Earth 結合之案例評估結果

附件三 北部核電廠緊急應變劑量評估系統模擬個案分析與布站策略

在整年度的統計分析上，北部核電廠輻射污染物分布趨勢是以東北-西南為主要的走向，且夏半季和冬半季之間污染物有明顯的分布差異(如圖 3-1)。因此本研究挑選季節轉換的過渡時期之秋季個案進行模擬(以核一廠為案例)，希望在多元的天氣狀態及風場結構下，探討其結果可能的擴散與沉降之熱點，並以現行的輻射偵測站作為基礎，加入熱點以分析輻射監測布站之最佳策略。

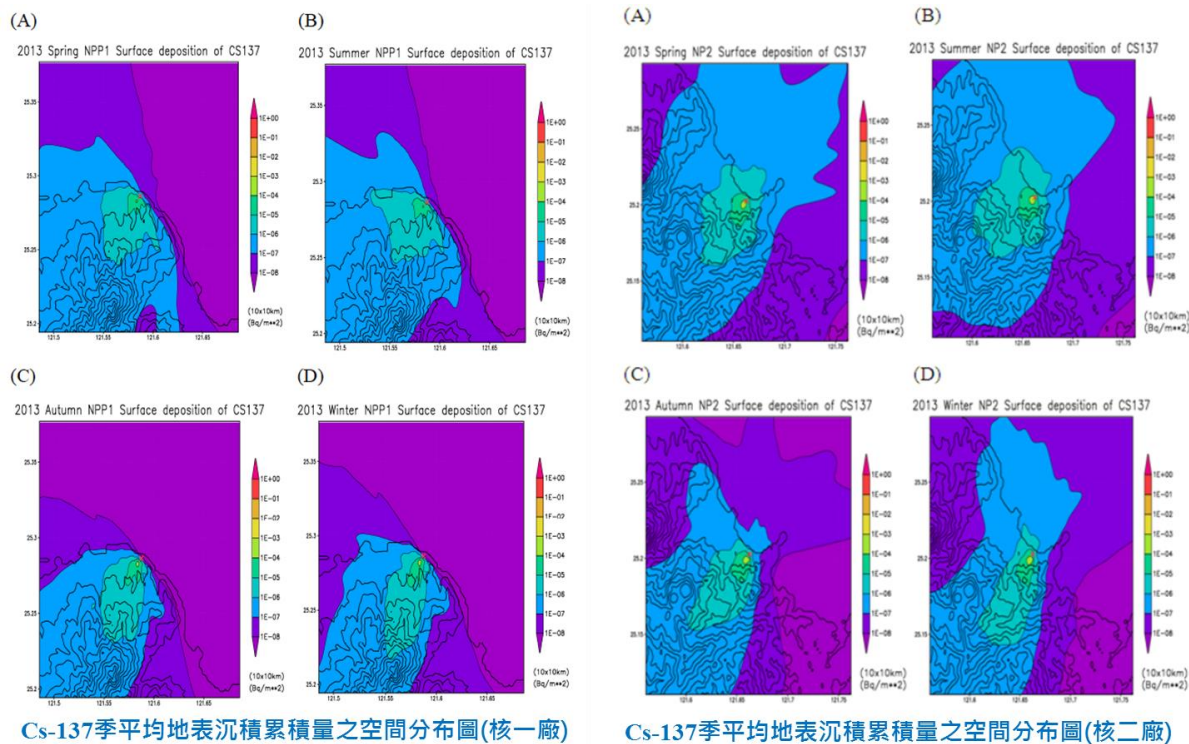


圖 3-1 核一、二廠 Cs-137 季平均擴散沉降空間分布圖

3.1 核一廠區現行輻射偵測站的相對位置及分布狀況

核一廠位於台灣東北角，其東北方面海而其餘方向為地勢較高的丘陵，為一封閉峽谷地帶(僅東北方有缺口)。核一廠為中心外延約 20 公里的範圍，共包含三個行政區，自西往東依序是三芝區，石門區(核一廠所在行政區)，以及金山區。現行的觀測站點主要來自兩個單位，其一為行政院原能會輻射偵測中心，

截至 2013 年 10 月底，輻射偵測中心已於全國各地建置 45 處的測站，各站均全天候 24 小時自動化監測當地的環境輻射量，即時地將監測結果傳輸至資訊監控中心，並透過網站公布資訊，達到資訊透明化的目標，強化核子事故緊急應變能力。圖 3-2 為現行輻射偵測中心設置在核一廠周遭五座監測站的位置圖，分別為位於核一廠西方的石門站和石崩山站，東南方的茂林站；較為偏遠的則有西南方三芝區的三芝站及東南方金山區的陽明山站。其二為台灣電力公司所架設的監測站，位置分布如圖 7-2，以距離核一廠之遠近來看，緊鄰核一廠有生水池前後站、放射試驗室站、茂林社區站、乾華民宅站，尚位於石門區內核一廠西側有石門分駐所、富基里站及北觀處站，位於較為偏遠的西南方三芝區內有橫山國小站，東南方金山區的萬壽社區站、兩湖里站、六三社區站及金美國小站，最遠的則是在萬里區的萬里國小站。根據 104 年度”地面機動偵測儀輻射監測計畫”，當事故發生時，架站的考量應遵循以下要點：1. 下風處 2. 高輻射區 3. 距離遠近 4. 人口密集區 5. 水源區 6. 主要產物區...等，總結各項，以前三項為最關鍵的架站考量因素。



圖 3-2 核一廠周邊原能會輻射偵測中心之測站分布(資料來自:行政院原子能委員會網站 <http://www.trmc.aec.gov.tw/utf8/showmap/trmcuser.php>)

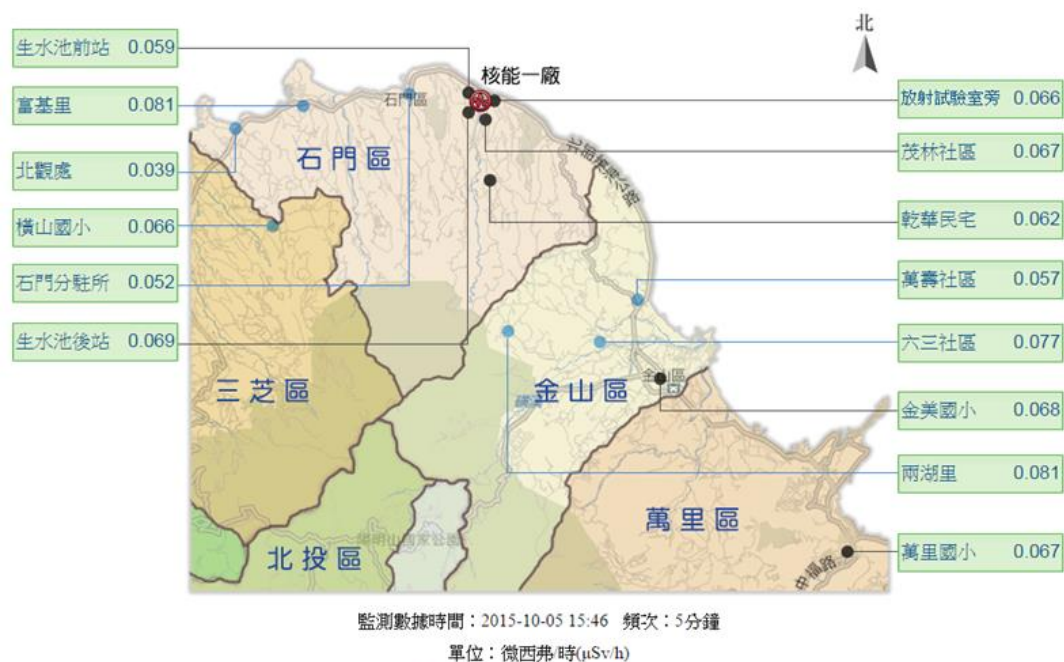


圖 3-3 核一廠周邊台灣電力公司架設之測站分布(資料來自:台灣電力公司官網
<http://nu1.radmon.info/pub/>)

目前的監測站分布涵蓋四個行政區，範圍廣泛，因此接下來我們引進福島事故的釋放源，放入至核一廠進行情境模擬，將既有的站點作為布站的基礎，探討模擬結果之沉降極值發生的位置，再分析輻射物傳遞速度及極值區距離站點的遠近，策略性地評估並研判架站的優先順序。

3.2 核一廠個案氣象場資料來源及模擬設定

本節挑選 2015 年 10/31~11/7 的秋季個案，進行 8 天(192 小時)的劑量評估計算。前端氣象場(A2C flow)來源，共三層設定，第一層為全球範圍 NCEP GFS 0.5 度的資料，第二層是 NCEP GFS 經過 MDDS 降尺度後的高解析度(解析度 2.5km 公里)資料，網格點數為 253×253，範圍囊括整個台灣地區，第三層同樣是 MDDS 降尺度後的高解析度資料(解析度:500 公尺)，網格點數為 81×81，範圍是以核一廠為中心向外延伸 20km 的區域。

後端模擬(A2C t&d)設定部分，釋放源指定單一核種 Cs-137，位置在核一廠(經緯度:121.5874、25.2863)進行福島事故情境。

3.3 個案結果分析及討論

為觀察核一廠附近細微的風場和地形的交互關係，本節著重在核一廠 25km 範圍內的結果。先看到氣象場的部分，圖 3-4 為個案期間每日 14LST 北台灣地區(將 domain 2 的結果擷取適當範圍呈現)的風場圖，大致可分為三個時期探討: 1. 10/31 至 11/2，由於大陸冷高壓南下，鋒面過境台灣，這三天主要吹強勁的東北風，如圖 3-4 (a)和(b)，北台灣海面上的風速可達 8~10m/s，而地面上的風也十分可觀，核一廠周圍地區的風約 7.5~8.5 m/s，往南的大屯火山區風速則略為下降，風速來到 4~7 m/s，此現象也表示氣流不易過山，汙染物易在低窪地區或是山腳下累積。2. 11/3 至 11/5(圖 3-4 (c)和(d)11/5 分布類似，省略無展示)，大陸冷高壓漸漸遠離東移，對於台灣的影響降低，北台灣地區的風向也因而轉變為東風，大小約在 4~7.5 m/s，同樣大屯火山區有風速相對較低的區域，11/3(圖 3-4 (c))可以明顯發現高度 500m 以上的山區都籠罩在低風速帶。11/6 和 11/7(圖 3-4 (e)和(f))為高壓迴流的天氣型態，11/6 吹溫暖的東南風，風速大幅減弱，約 2~4m/s;11/7 幾乎是靜風的情況。

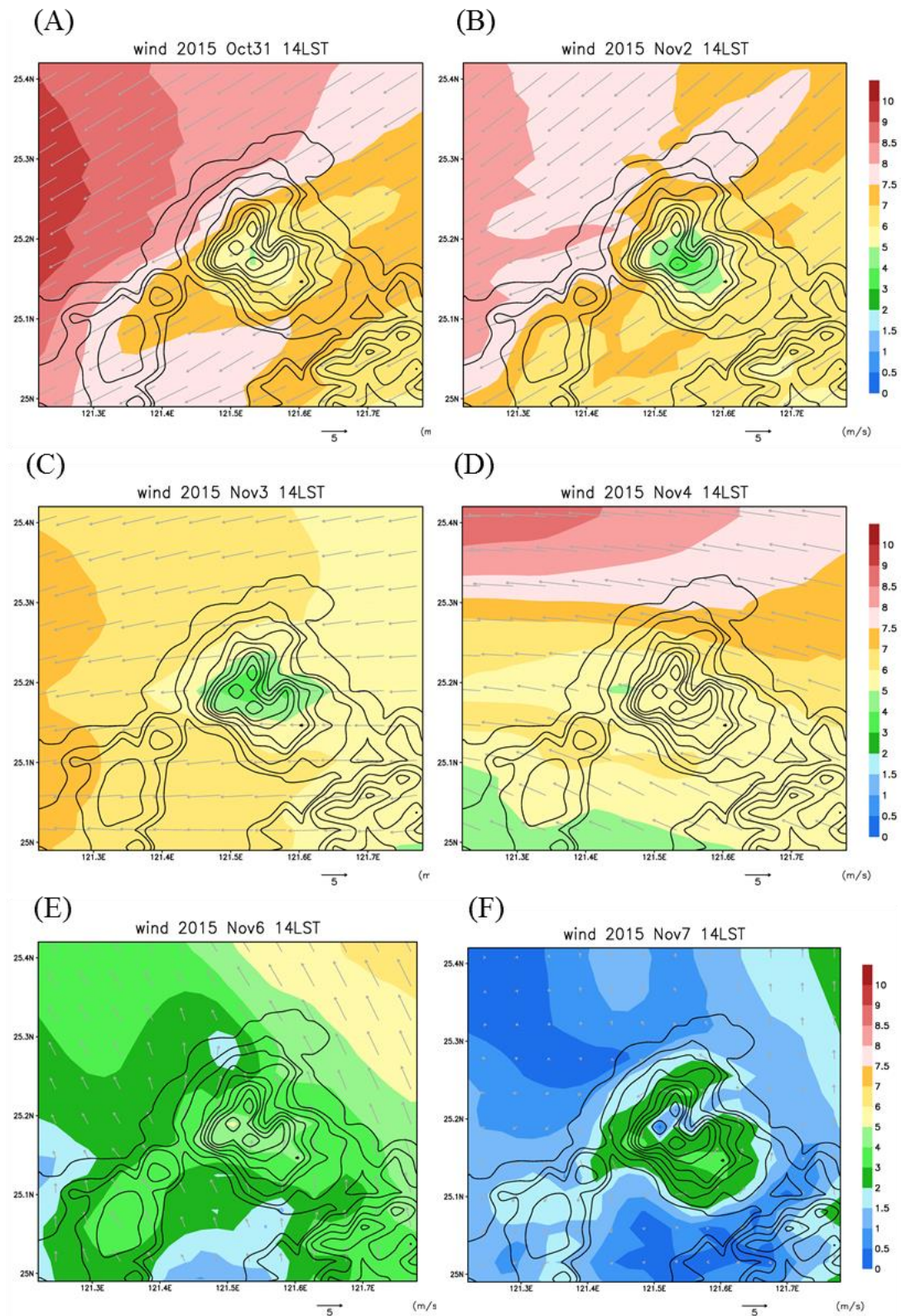


圖 3-4 個案期間內北台灣地區風場分布，(圖中陰影為風速間距可參考右方彩條，灰色箭頭為風向)

以下就三個具有不同天氣型態(冷高壓影響，高壓東移，高壓迴流)的時段分開進行地表累積沉降量結果的討論。

1. 冷高壓影響:10月31日至11月2日地表累積沉降量分析

在東北風主導的天氣形態下，造成核一廠西方及西南方都有 $10^4 \left(\frac{\text{Bq}}{\text{m}^2} \right)$ 的極值產生(圖 3-5 (a)和(b))，污染物透過東北風吹送，在平均風 8 m/s 的狀況下(相當於 28.8km/hr)，約 15~20 分鐘便可抵達緊急應變疏散的規定範圍(8km)。此時架站位置首選核一廠鄰近的生水池前後站，石門區內西及西南邊的石門站、石崩山站、石門分駐所及富基里站也是優良的選擇，再往西南方延伸至三芝區的橫山國小站，仍可為適當的布站位置;反觀位於東南方金山區和萬里區的各測站都不太理想，其中最不佳的站點為陽明山站，由於地勢較高，可能無法監測到輻射物的變化，總的來說，在核電廠東南方設站，對於輻射物的捕捉難度將增高。此外，若經費及人力許可，可以針對緊急應變區內(核一廠為中心外延 8km 之同心圓範圍)西南方的大屯山迎風面之山腳處增設站點(如圖 3-5(b)經緯度位置 (121.56,25.27)的 v 型地帶)，因山腳容易因地形阻擋產生輻射物累積效應。

2. 高壓東移:11月3日至11月5日地表累積沉降量分析

圖 3-5(c)和(d)為 11/3 及 11/4 的累積沉降量結果，此三天漸轉變為東風影響，造成污染物持續在核一廠西方及西南方沉降， $10^4 \left(\frac{\text{Bq}}{\text{m}^2} \right)$ 的等值線範圍可以向西橫跨至 10~12km，推斷架站位置同樣先考量首當其衝的生水池前後站，石門區內的石門站、石崩山站、富基里站及北觀站為次要的站點，反觀位於東南方的測站則不太理想。

3. 高壓迴流:11月6日至11月7日地表累積沉降量分析

11/6 日和 11/7 日則因為南風甚至無風的風場結構，導致污染物難以擴散，僅些微往西北方及北方的海面移動，大部分都是直接進行沉降，此時，最保險的架站方式為把握鄰近核一廠站點，如生水池前後站、放射試驗室站、茂林社區站，其餘站點皆不適宜架站。

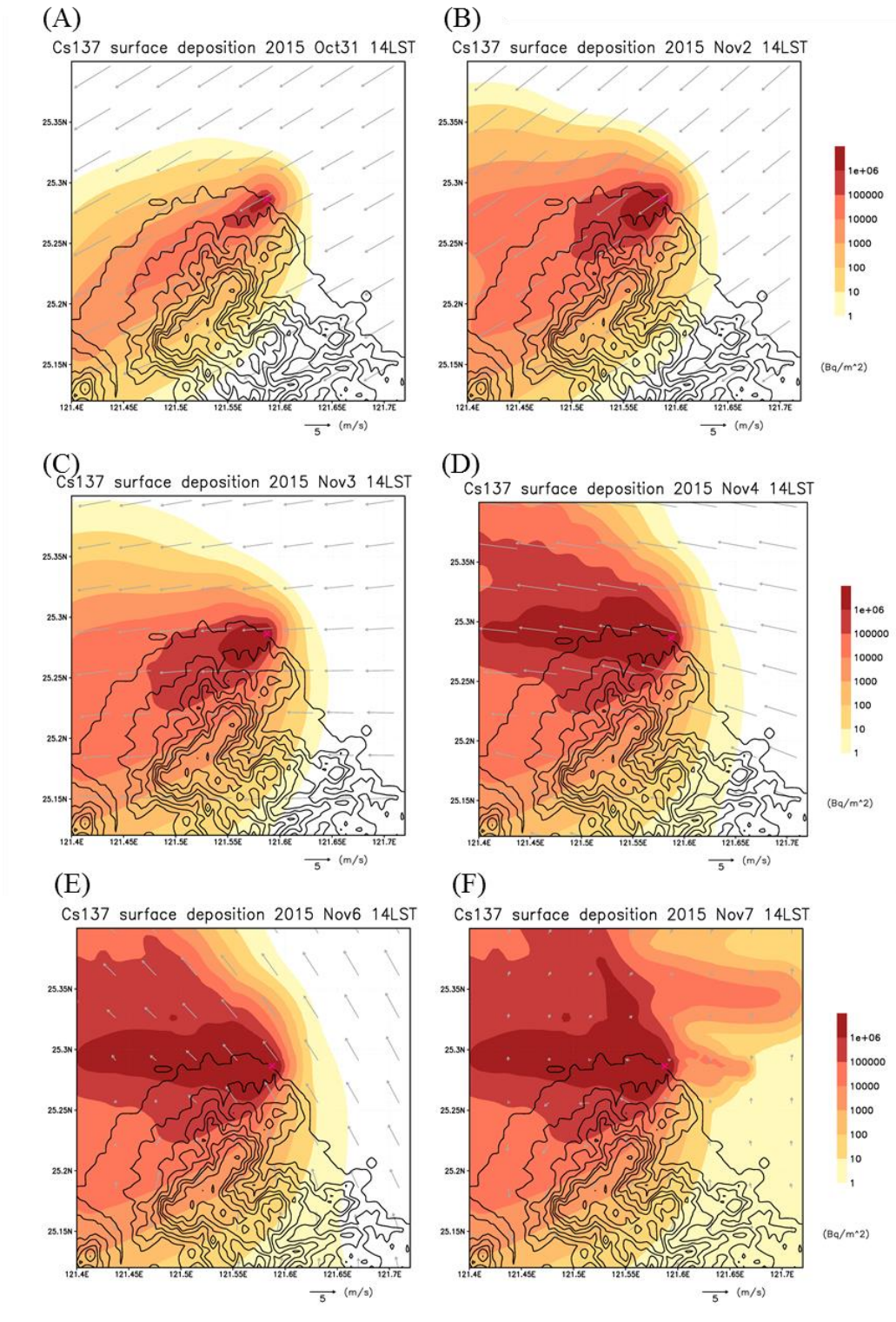


圖 3-5 個案期間 Cs-137 累積沉降量之空間分布圖，色階為 Cs-137 累積沉降量，間距如右方彩條所示，粗黑實線為地形高度等值線(間距 100m)，灰色箭頭為風向，圖中紅色叉叉代表核一廠所在位置。

附件四 放射分析實驗室基礎設置要求建議規範（草案）

前言

國內若發生核子事故，污染地區必須進行嚴密的輻射監測，現有之放射化學實驗室能量與資源雖已規劃因應，但由日本福島事故之經驗顯示，有更多低污染或非污染地區的商品流通仍有放射性物質輻射檢測之需求，國內輻射檢測能量是否足以因應之疑慮，並可能導致商品流通受阻，影響社會經濟層面廣大。為提升核子事故環境輻射偵測能量，提供民眾快速取得輻射污染區域輻射監測資訊，以儘快安定社會民心，因此規劃備援放射分析實驗室之設置。

一、目的

本文件可作為核子事故放射分析實驗室規劃設置之技術建議。

二、名詞與定義

2.1 活度(activity)

指一定量之放射性核種在一段時間內發生之自發衰變數目，活度之單位為貝克(Bq)。

2.2 濃度(concentration)

單位體積或質量之試樣中放射性物質之含量。

2.3 背景(background)

儀器度量時與欲測試樣中放射性核種含量無關的信號反應。

2.4 待測核種(analyte)

待測定的放射性核種。

2.5 適宜空白試樣(appropriate blank sample)

與待分析之試樣有相同的物理及化學組成，但不含待測放射性核種之試樣。

2.6 最小可測量(minimum detectable amount, MDA)

在無其他放射性核種干擾下，試樣所含放射性核種有 95%之機率可被偵測出的最小量。

2.7 可接受最小可測量(acceptable minimum detectable amount, AMDA)基於良好的操作及要求下，可被接受的最小可測量。

2.8 測試項目選擇

放射分析實驗室所分析之樣品依試樣種類及其所含放射性核種而分類。試

樣種類計分六類，各試樣類內所含之放射性核種則依其主要放射形式，分為六組。各實驗室依其需要，可選擇適當的項目建置。

2.8.1 分析測試的試樣，分為六類：

- (1) 水樣，包括雨水、河水、湖水、井水、排水、自來水、海水。
- (2) 空浮微粒與擦拭試紙。
- (3) 肉類試樣，包括海產及農畜試樣。
- (4) 乳品試樣，包括牛、羊鮮奶及奶粉試樣。
- (5) 植物試樣，包括蔬菜、食物、草、茶、樹葉及水生植物。
- (6) 土壤試樣，包括表土、河底污泥、海底污泥、海砂。

2.8.2 上述各試樣中，待分析之放射性核種，依主要放射形式，分為六項：

- (1) 總阿伐與總貝他活度。
- (2) 貝他核種；貝他平均能量小於 100keV，包括 ^3H ， ^{14}C ， ^{35}S ， ^{147}Pm ， ^{210}Pb ， ^{228}Ra ， ^{241}Pu ， ^{99}Tc ， ^{63}Ni 。
- (3) 貝他核種；貝他平均能量大於 100keV 以上者，包括 ^{32}P ， $^{89/90}\text{Sr}$ ， ^{131}I 。
- (4) 加馬核種。
- (5) 阿伐核種；相關同位素包括 ^{210}Po ， ^{226}Ra ， ^{228}Th ， ^{230}Th ， ^{232}Th ， ^{234}U ， ^{235}U ， ^{238}U ， ^{237}Np ， ^{238}Pu ， $^{239/240}\text{Pu}$ ， ^{241}Am ， ^{242}Cm ， ^{244}Cm 。
- (6) 質量測定(質譜儀)：指長半化期之天然鈾及超鈾元素。

2.8.3 放射分析實驗室視其目標設施之特性，選擇適當的項目建置。由於貝他核種與阿伐核種分析需進行繁複前處理與非密封射源的使用，不要求作為必要項目。放射分析實驗室以總阿伐/貝他與加馬核種為必要建置之測試項目，樣品種類以空浮微粒、擦拭試紙、土壤、水樣與食品為主要目標樣品。

三、管理要求

3.1 組織

實驗室內由實驗室主管綜理整體測試、校正之管理，且應

- (1) 制定輻射安全措施，以確保實驗室安全。
- (2) 確保每一測試均依既定之標準操作程序執行，其輻射安全及環保措施皆符合相關法令之要求。

3.2 品質系統

須符合國際 ISO 17025 實驗室品質系統要求，如要執行對外技術服務，需通過財團法人全國認證基金會(TAF)認證 (1)。

四、技術要求

4.1 概述

實驗室規劃與運作，如需使用放射性物質皆須符合相關法規之要求 (2, 3)，實驗室運作人員至少兩人以上，空間設置至少 20 平方公尺。

4.2 人員

- 4.2.1 實驗室人員應定期接受在職訓練，其項目應包含放射性物質操作、輻射防護、輻射度量、輻射污染處理、放射性廢棄物貯存與處理等知識和經驗。
- 4.2.2 實驗室內從事放射性工作之人員，年齡須滿十八歲，接受輻射防護講習及體格檢查合格者。
- 4.2.3 實驗室內從事放射性工作之人員，應依操作放射性物質的種類與活度等規定，以訓練代替證書或領有原子能委員會核發之證書。
- 4.2.4 實驗室除須依原子能委員會規定並視操作射源活度設置輻射防護人員外，由於放射分析實驗室可能在事故支援的檢測業務中，必須處理與貯存輻射污染的樣品，因此須具有輻安證書以上的人員，負責督導輻射防護計畫之執行。
- 4.2.5 實驗室人員若認定為輻射工作人員，應實施定期健康檢查。
- 4.2.6 實驗室人員必須遵守實驗室輻射安全之相關規定。

4.3 設施與環境條件

- 4.3.1 實驗室的配置應適當規劃或安排，使檢測作業得以順利執行，並符合輻射安全的要求。
- 4.3.2 輻射安全與工業衛生安全均應兼顧，實驗室須備有清楚的輻射與一般安全警示標誌。根據操作之放射性核種與活度，實驗室如需進行化學分析應備有適當之煙櫃、通風系統、放射性污染管制措施、去污用具等。對於放射源及放射性廢棄物、接收之試樣、化學品均應有特定的貯存區域。
- 4.3.3 實驗室應備有偵檢放射性污染及除污的設備與作業能力。
- 4.3.4 校正用射源、參考物質、放射源、放射性廢棄物（液體及固體）等均應收存於特定場所，並須符合輻射安全規定，必要時加上屏蔽以維護人員安全。

- 4.3.5 安置輻射度量及其他儀器的場所，須與化學實驗室區隔。該場所的溫度、相對濕度應予控制。電源、防火系統、遮蔽措施通風系統應適當配置。必要時應有穩壓裝置以維護儀器正常功能。
- 4.3.6 廢棄物處理設施，除放射性廢棄物須依輻射安全規定外，一般廢棄物須執行以下措施：
 - (1) 一般廢棄物之處理應以不干擾檢測過程完整性為原則。
 - (2) 檢測產生之廢液及廢氣應有適當之處理設施。
- 4.3.7 實驗室應依據放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法之規定申請相關之放射性物質及可發生游離輻射設備之執照。
- 4.3.8 實驗室負責人應負責實驗室內及其外圍之輻射安全。
- 4.3.9 實驗室應使用適當的方法，使工作人員所接受的輻射曝露符合合理抑低原則。
- 4.3.10 輻射作業場所主管應確保其輻射作業，對一般人造成之年有效等效劑量，每年不超過 1 mSv 之劑量限值。
- 4.3.11 輻射工作人員職業曝露全身之有效等效劑量一年內不得超過 50 mSv，眼球水晶體之等效劑量一年內不得超過 150 mSv，其他個別器官或組織之等效劑量一年內不得超過 500 mSv。
- 5.3.12 輻射作業場所應有適當的輻射防護裝備，如輻射偵檢儀器、個人劑量計及屏蔽等。
- 4.3.13 所管制之射源遺失或失竊時，實驗室負責人應向原子能委員會報告。
- 4.3.14 實驗室依規定如有必要需定期測試密封射源的洩漏輻射及放射性污染。
- 4.3.15 儀器或射源之校正報告應至少保存三年，工作人員之劑量紀錄自其停止參與輻射工作之日起，應至少保存三十年。

4.4 設備

- 4.4.1 取樣與前處理設備應注意清洗與檢測，以避免交互污染。樣品進入實驗室之前應先使用手提式偵檢器篩測，樣品可近表面測得高於背景十倍以上之樣品可視為高活度樣品，須注意實驗室污染管控與樣品流程及貯存處理。
- 4.4.2 如監測目標核種包含放射性碘，空浮微粒之抽氣取樣設備需加裝活性炭罐或活性炭濾紙。抽氣設備需定期進行流量驗證或校正。
- 4.4.3 偵測設備建議至少有加馬能譜分析系統(純鍺偵檢器或碘化鈉偵檢器)與總阿伐/貝他計數器(比例計數器或液態閃爍計數器)以進行空浮微

粒、擦拭試紙、土壤、水樣與食品之偵測。

- 4.4.4 偵測設備應定期校正與查驗，包括空白背景、效率等，以確認儀器的使用不受污染干擾並維持在正常操作狀態。儀器設備進行維修或損壞或超出品管範圍之狀態時，必須有清楚標示以避免誤用。

4.5 試驗方法確認

實驗室品質系統需通過 TAF 認證，並定期參加國內外能力試驗或實驗室比對活動，以確認試驗方法。

4.6 結果報告

檢測報告之內容應至少包含：

- (1) 檢測名稱、性質及目的。
- (2) 取樣及檢測日期。
- (3) 取樣及檢測過程中所產生數據之完整紀錄。
- (4) 分析數據所用之統計方法或演算公式。

4.7 能力要求

- 4.7.1 實驗室檢測的最小可測量(MDA)，須低於環境輻射監測規範(4)之可接受最小可測量(AMDA)(如附件 A 表 1 所示)要求。如目標核種與試樣種類未在表列之中，或適用情況為既存污染(5)，可接受最小可測量值為法規標準的五分之一以下。若檢測試樣來自於邊境管制食品(6)，或事故後市場流通食品檢測，對於有時效要求而使用定性分析法，對放射性銫 134+137 之可接受最小可測量應小於每公斤 10 貝克，定量分析應小於每公斤 1 貝克。

- 4.7.2 最小可測量值(MDA)之計算方法如下：

$$MDA = \frac{(4.65S_B + 2.71)}{60 \times E \times R \times V \times T}$$

單位＝貝克(Bq)／體積或質量

T：適宜空白試樣計數時間(分)。

S_B ：一組得自適宜空白試樣計數值的標準差。適宜空白試樣之化學處理程序、計測方法、計測時間及幾何形狀均與待分析之試樣相同。

E：待測核種的計數效率。

R：化學回收率。

V：試樣量。以體積或質量為單位。

參考文件

- (1) CNS 17025 測試與校正實驗室能力一般要求第 2 版(2005 年版)，全國認證基金會。
- (2) 游離輻射防護法，原能會，民國九十一年一月三十日。
- (3) 游離輻射防護安全標準，原能會，民國九十四年十二月三十日。
- (4) 環境輻射監測規範，原能會，民國九十八年十一月十一日。
- (5) 核子事故民眾防護行動規範，原能會，民國九十四年七月十五日。
- (6) 食品中原子塵或放射能污染安全容許量標準，衛福部食藥署，民國一〇二年八月二十日。

輻射污染事件或核子事故的發生時間難以預料，因此實驗室應及早規劃處理大量樣品與減少樣品運轉時間(turn around time)的計畫，以便能夠快速且順暢的自例行運作狀態移轉至樣品量大的事故運作狀態。也才能真正在事故發生時作最佳化的實驗室資源運用，並回饋至例行運作時的資源規劃。

由於要處理事故時大量緊急樣品，實驗室處理的能量與能力要求與平時例行運作方式不同。能力要求主要在於最小可測量的要求，涉及方法驗證與確認。一般而言很難在短時間內完成分析方法的開發驗證，因此必須在平時做好準備。當方法確認後，就可以評估作業時間與關鍵步驟，進而評估實驗室因應事故的作業能量。

實驗室平時須具有偵測背景輻射的能力，以建立實驗室的背景輻射資料並能夠協助輻射應用業者確實瞭解環境中放射性物質的累積狀況、評估輻射工作場所排放的放射性核種對周圍環境之影響、驗證輻射工作場所之安全運轉及管制放射性排放與提供輻射工作場所附近正確環境輻射資訊。環境輻射監測實驗室之試樣分析能力應符合環境輻射監測規範中對於環境試樣放射性分析之行動基準可接受最小可測量 (Acceptable Minimum Detectable Amount, AMDA) 要求如表 1。

在事故初期實驗室可能會收到部分來自污染區的高活度樣品，且還須支援一般市場流動商品的檢測。為了要能夠增加實驗室作業能量以應付大量樣品，但是短時間又無法及時的得到資源以擴充硬體設備時，可以利用提高潛在高活度樣品(使用手提式偵檢器測得表面劑量高於背景，或來自污染區域須及時得到輻射資訊)可接受最小可測量的設定，以縮短計測時間進而增加作業能量。以一般分析實驗室的設定要求，可參考相關法規如核子事故民眾防護行動規範的食物及飲水管制行動基準 (如表 2)，五分之一以下作為可接受最小可測量的設定。另外也可利用增加樣品量的方式來增加計測效率以縮短計測時間，同樣也可增加實驗室運作能量。

以食品受到輻射塵影響的狀況，參考衛福部食藥署所制定食品中原子塵或

放射能污染安全容許量標準與食品緊急計測之放射性含量檢測方法，放射性銫¹³⁴⁺¹³⁷的可接受最小可測量為每公斤 1 貝克。當待測樣品數量且具有時效性時可先採定性分析，將可接受最小可測量提高為每公斤 10 貝克以下。以相對效率 30%以上純銻偵檢器置於兩吋以上的鉛屏蔽內為例，可將計測時間縮短到 1000 秒以內即可達到此要求。如此可使每天每部偵檢器至少檢測 20 件樣品以上，可提供符合管制時效的作業能量。

對於民生用水水源的監測，參考經濟部頒布的自來水事業因應輻射污染淨水場監測措施以及主要供水水庫管理單位因應輻射污染監測措施中規定，平時實施總 α/β 監測，當總 α 輻射濃度大於每立方米五百五十貝克 (Bq/m^3) 或總 β 輻射濃度大於每立方米一千八百貝克 (Bq/m^3)時要增加取樣頻率，並執行加馬能譜分析以確認污染源。要達到總 α/β 監測在上述規定五分之一以下作為可接受最小可測量的要求，須使用 2 公升以上的水樣濃縮方能達到此要求，濃縮作業過程須耗時 2 天，因此對於有時效性的樣品建議採 1 公升樣品直接定性計測並依偵測設備評估所需的時間。例行監測作業因為還須考量天然放射性物質的干擾，所以仍建議採總 α/β 監測作業。

放射分析實驗室偵測設備建議如表 3，至少有加馬能譜分析系統(純銻偵檢器或碘化鈉偵檢器)、總阿伐/貝他計數器(比例計數器或液態閃爍計數器)及手提式輻射偵檢器。

表 1 環境試樣放射性分析之行動基準可接受最小可測量

核種	水 (貝克／ 升)	空氣 (毫貝克 ／立方公 尺)	農魚產品 (貝克／ 仟克·濕 重)	蔬菜、草 樣(貝克 ／仟克· 濕重)	奶樣 (貝克／ 升)	沉積物 (貝克／ 仟克·乾 重)
總貝他	0.1	1	5	5	5	100
氚(H)-3	10	—	—	—	—	—
錳(Mn)-54	0.4	0.6	0.3	0.5	0.4	3
鐵(Fe)-59	0.7	1.2	0.5	0.9	0.7	6
鈷(Co)-58	0.4	0.6	0.3	0.5	0.4	3
鈷(Co)-60	0.4	0.6	0.3	0.5	0.4	3
鋅(Zn)-65	0.9	1.5	0.5	1.0	0.9	7
銦(Sr)-89	0.1	1.0	1.0	1.0	—	—
銦(Sr)-90	0.1	1.0	1.0	1.0	10	10
鋯(Zr)-95 ／鈮(Nb)- 95	0.7	1.0	0.5	0.9	0.7	6
碘(I)-131	0.1	0.5	—	0.4	0.1	3
銫 (Cs)-134	0.4	0.6	0.3	0.5	0.4	3
銫 (Cs)-137	0.4	0.6	0.3	0.5	0.4	3
鋇 (Ba)-140 ／釷 (La)-140	0.4	2.0	1.0	1.0	1.0	10
直接輻射 (μ Sv/h)	—	0.01	—	—	—	—

註：1、主管機關九十二年九月二十二日會輻字第 0920025255 號公告沉積物包括土壤、底泥與岸砂。

2、水樣碘(I)-131 可接受最小測量值適用於飲水。

表 2 核子事故民眾防護行動食物及飲水管制之行動基準

放射性核種	行動基準（千貝克／公斤）	
	一般食品	牛乳、嬰兒食品、飲水
銻-134, 銻-137, 釷-103, 釷-106, 鐳-89	1 以上	1 以上
碘-131		0.1 以上
鐳-90	0.1 以上	
鐳-241, 鐳-238, 鐳-239	0.01 以上	0.001 以上

說明：參考國際原子能總署安全系列第一〇九、一一五號報告訂定。

表 3 建議儀器設備

儀器設備	數量	功能與用途	備註
1. 純鍺偵檢系統 (含鉛屏蔽)	2~3 套	環境試樣加馬能譜分析	
2. 碘化鈉加馬能譜分析系統	1 套	環境試樣加馬活度快篩	
3. 液態閃爍計數器*	1 套	水樣純貝他核種及總貝他/總 阿伐活度計測	
4. 低背景比例計數器*	1 套	環境試樣貝他及阿伐活度計測	
5. 手提式輻射偵檢器	數套	環境輻射劑量率偵測	

*3, 4 可依監測目標擇一。

附件五 第一波應變人員作業裝備建議(草案)

第一波應變人員作業裝備建議(草案)

一、 目的：

為提供輻射污染事件緊急應變處理人員必要裝備之參考，以健全核子事故緊急應變體制與能量。

二、 適用時機：

輻射污染事件平時整備、實兵演練及國內發生輻射污染事件或有發生之虞。

三、 適用對象：

執行輻射污染事件平時整備、實兵演練及緊急應變處理措施之相關應變單位及人員。

四、 裝備配置原則：

(一)適合使用在輻射污染事件處理之輻射偵測儀器、個人防護裝備與作業現場輔助設備等通用之代表類型。然而實際發生的輻射污染事件之作業現場狀況與使用儀器設備的類型十分廣泛，必須依狀況不同而採取彈性調整，並可參考國際原子能總署等國際組織之出版品所列更全面性的儀器和設備列表[1-3]，以在各項資源條件考量下選擇最適合的儀器和裝備。一般選用設備的通則：

1. 能承受各種環境的因素，譬如適當範圍內的溫度、濕度和惡劣天氣條件的情況。
2. 容易安裝、穿戴、使用、除污和使用後移除。
3. 方便使用、校正、維修與人員使用培訓。
4. 能夠永續（容易維護、耗材及零配件供應良好）。

(二)當輻射污染作業現場有核原料或其他放射性物質且已被證實，處理人員除了要評估輻射安全風險，還要能夠確認可能的放射性物質。適用於評估輻射安全所使用的輻射檢測儀器，如表 1；另適用於作業現場進行核種識別所使用的輻射檢測儀器，如表 2。

(三)輻射污染作業現場之個人防護裝備（PPE）的選擇項目包括：

1. 呼吸防護裝備（RPE）。
2. 手套（手套最好戴兩層）。
3. 鞋類（可沖洗長靴或鞋套）。

4. 內裡(降溫)
5. 防護衣服或其他外衣。

PPE 傳統上以不同級別的保護代碼來描述:A 級(保護等級最高)至 D 級(保護級別最低)。對於複合式輻射污染作業現場應佩戴的個人防護裝備級別,由現場指揮官從毒化物質的專家、安全評估專家和保健物理專家等所提供的建議綜合判斷決定。若是非緊急暴露的輻射污染事件,以 D 級防護即可(參考「核子事故各應變中心救災及防護裝備配置要點」)。

PPE 的選擇,還要考慮它在使用上對於業務能力的限制。這些限制包括:

1. 限制行動性和靈活性。
2. 視力干擾(就視力和視覺清晰度的兩個領域而言)。
3. 通信能力障礙。
4. 長時間操作能力障礙,考慮到穿著防護服的熱危害(可能中暑)。

其他須注意的事項包括:

1. PPE 的重量負荷。
2. 使用者最好經醫療評估身體狀況。
3. 注意保存期限,定期採購以確認品質。
4. 穿戴個人防護裝置有可能會導致穿著者心理壓力,因而誘發幽閉恐怖症的心理感覺。

(四) 輔助設備包括:

1. 通信設備

對於輻射污染作業現場處理,能有效和及時的溝通相當重要,譬如需要回報災害控制區域的輻射資訊。同樣,資訊經過評估後也可能需要對現場人員進行溝通,以確保他們達到累積的輻射劑量限度之前退出該區域。另外現場工作人員對於不熟悉的項目或遇到不尋常的放射性物質更需要與外部各相關專家進行通報諮詢如何處理方式。現場人員穿戴個人防護用品對於通信而言的一些問題,譬如呼吸防護設備對於語音通信會造成音量下降,而個人防護裝備遮蓋耳朵會造成聽力障礙。因此裝備的選擇須注意:

- (1) 與 PPE 儘量相互搭配,使其不會降低 PPE 提供的保護。
- (2) 方便操作人員佩戴。

(3) 具有安全保護設計，通信設備不會妨礙警報識別，不會產生火花，避免因作業現場有易燃氣體或粉塵而意外著火。

2. 簡單除污設備：

除污是指使用化學或物理方法，除去或固定放射性污染，以避免無意間將污染物擴散至污染作業現場以外的環境。對於大部分的狀況而言，現場作業人員離開時須小心脫除 PPE 和正確包裝樣品，以及謹慎對開放的放射性物質污染現場進行管控，可以使用簡單工具達到防止污染擴散。例如：

(1) 放射性廢棄物桶。

(2) 必要時可使用手持噴霧器(室內花卉使用)以甘油或髮膠固定防護衣之鬆散污染物再脫除。

(3) 膠帶可固定小範圍污染物或黏除身上的污染。

(4) 黏塵地墊。

(5) 水桶與擦洗海綿，對於可除污器材或工具濕擦拭。

(6) 準備乾淨的衣物，讓作業人員更換。

3. 樣品採集、封裝和運輸工具：

如有必要進行樣品採集帶回實驗室做進一步分析，採樣工具應具備容易除污、操作方便等特性，譬如長柄夾、剪與取樣鏟等，操作過程要注意交互污染的問題，不同取樣位置間作業需作工具的簡易除污，或是採用可拋棄式的工具。樣品封裝須注意污染隔離與清楚標示取樣地點。貯存或運送時如有輻射劑量率過高之樣品應置於適當的鉛屏蔽或鉛罐之中，以符合放射性物質安全運送等相關安全規定。

4. 其他：包括圍籬裝置、輻射警示標誌、照明設備、相機、各式表單(譬如：現場紀錄表、樣品清單、樣品標籤、人員管制進出紀錄表等或視作業現場而異)、皮尺(或雷射距離量測器)及油性筆等等。

五、 對於各式輻射污染事件建議整備之裝備，詳如表 3。其中所述之裝備得依實際需要隨時修正。

六、 參考資料：

1. IAEA, Personal protective equipment, IAEA-PRTM-5, 2004.

2. IAEA, Radiological crime scene management implementing guide, IAEA NUCLEAR SECURITY SERIES No. 22 - G, 2014

3. IAEA, Manual for First Responders to a Radiological Emergency, 2006
4. 原子能委員會，核子事故各應變中心救災及防護裝備配置要點

表 1 適用在評估輻射安全風險的輻射偵測儀器

設備	功能
加馬和中子劑量率偵測儀 (高劑量率時需要伸縮桿)	射源監測 區域監測 繪製現場劑量分布圖 初步確認輻射種類
電子式個人劑量佩章(可發出警報，進入緊急曝露區域須能偵測累積劑量 250 毫西弗) 被動式劑量佩章(熱發光劑量計、光激發螢光劑量計等)	個人劑量計(現場計讀) 個人劑量計(劑量重建)
α/β 污染監測儀	監測人員、設備和現場 α/β 污染 確定 α/β 污染區範圍 確定 α/β 射源位置
空氣監測設備 (或空氣採樣器與濾紙，可以用輻射偵檢儀/能譜分析儀分析樣品)	監測空浮放射性核種

表 2 適用在現場放射性核種鑑別的輻射偵測儀器

設備	功能
中低解析度能譜分析儀	鑑別單一或較少混合之加馬核種
高解析度能譜分析系統(含分析軟體可解析多能峰核種)	鑑別多核種混合之加馬核種 進行污染活度定量分析

表 3 輻射污染事件建議裝備

輻射災害類別 裝備類別	共通性裝備	放射性物質意外事件	放射性物料管理及 運送等意外事件	輻射彈爆炸事件
A. 個人防護裝備	1. 個人輻射劑量計或警報器（主動式）—Thermo EPD-G 2. 個人輻射劑量配章（被動式）—TLD	1. 輻射防護包（含不織布防塵衣、N-95 口罩、頭套、鞋套、棉手套） 2. 工作防護帽（可調式頭環） 3. 鉛衣（連身式，身圍可調式固定、0.5mm 鉛當量）		1. 輻射防護包（含不織布防塵衣、N-95 口罩、頭套、鞋套、棉手套） 2. 工作防護帽（可調式頭環） 3. 護目鏡（可掀式面罩） 4. 全罩防護面具（附濾毒罐 2 只）—3M-6800-N 5. 半面式防護面具（附濾毒罐 2 只）—3M-6200-N 6. 橡膠手套 7. 橡膠鞋 8. 鉛手套 9. 黏膠式除污墊
B. 輻射偵檢設備	輻射偵測儀器（ γ ）—RadEye G10	1. 手提式輻射偵測儀器（ β 、 γ ）—RadEye PRD-ER 2. 移動式污染偵測儀器—RadEye B20 3. 1u—IdentiFinder 2-NGH		1. 手提式輻射偵測儀器（ β 、 γ ）—RadEye PRD-ER 2. 移動式污染偵測儀器—RadEye B20 3. 手提式能譜分析儀器—NaI（ γ 、 η ）— 4. 手提式能譜分析儀器—Ge—ORTEC 5. 手提式空浮樣品計數器（ α 、 β ）—RadEye HEC

				IdentiFinder 2-NGH
C. 輔助設備	延伸桿	1. 輻射警示圍籬組 (1) 圍籬橫桿(2 米) (2) 三角錐 (3) 安全警示繩索(黃紅相間及附連接鉤, 30 公尺式) (4) 輻射示警標誌(貼紙, 尺寸 $\geq 12 \times 13$ 公分) (5) 輻射標誌布旗(可掛繩索上, 尺寸 $\geq 20 \times 30$ 公分) 2. 輻射警示圍籬帶(聚乙烯) 3. 手電筒(手持式、		1. 輻射警示圍籬組 (1) 圍籬橫桿(2 米) (2) 三角錐 (3) 安全警示繩索(黃紅相間及附連接鉤, 100 公尺式) (4) 輻射示警標誌(貼紙, 尺寸 $\geq 12 \times 13$ 公分) (5) 輻射標誌布旗(可掛繩索上, 尺寸 $\geq 20 \times 30$ 公分) 2. 輻射警示圍籬帶(聚乙烯) 3. 手電筒(手持式、含蓄電池、可充電式) 4. 自縮式皮尺(30 公尺) 5. 射源長柄夾(95 公分)
				11. 文具(藍黑色簽字筆各 1、藍色原子筆 1) 12. 擦拭紙(1 吋) — Hi-Q 47mm filter paper 抽氣濾紙(2 吋) — Hi-Q 13. 手提型空浮抽氣設備(電池式及太陽能) — Hi-Q CF993 series 14. 透明/布紋膠帶(密封袋 1L) 15. 捲尺(5 米) 16. 噴漆(黃色) 17. 圓輪型延長線插座 18. 發電機(柴油式)

		含蓄電池、可充電式) 4. 自縮式皮尺 (30 公尺) 5. 射源長柄夾 (95 公分) 6. 應變箱 (托拉式) 7. 偵檢儀器箱 (托拉式) 8. 鉛罐 (或鉛桶) 9. 資通訊設備 (筆記型電腦、攝影設備、GPS、無線網路、無線對講機) 10. 可掛置至少兩件鉛衣專用之旋臂式架 11. 文具 (藍黑色簽字筆各 1、藍色原子筆 1)		6. 應變箱 (托拉式) 7. 偵檢儀器箱 (托拉式) 8. 鉛罐 (或鉛桶) 9. 資通訊設備 (筆記型電腦、攝影設備、GPS、無線網路、無線對講機、<u>衛星電話</u>) 10. 可掛置至少兩件鉛衣專用之旋臂式架
--	--	--	--	--

附件六 由福島事故探討國內核子事故輻射緊急應變作業人員輻射防護改善作業

由福島事故探討國內核子事故輻射緊急應變

相關作業人員輻射防護改善作業

Improvements of Radiation Protection for Workers and Helpers During Nuclear Accident: Experience After the Fukushima Accident

劉祺章¹ Chi-Chang Liu 蔡文賢¹ Wen-Hsien Tsai 洪明崎¹ Ming-Chi Horng

行政院原子能委員會輻射偵測中心

李承龍² Cheng-Lung Lee

臺灣警察專科學校 刑事警察科

摘 要

2011 年 3 月 11 日日本福島發生複合性災害，造成放射性物質外洩污染環境。四年來國際輻射防護相關機構，基於日本的經驗對於現行的核子事故處理作業提出一些修正建議，包括建議事先規劃對於輻射作業、應變人員與志願者提供短期的訓練(just in time training)、提供相關人員適當的防護與監測設備、適時提供碘片、建立人員劑量監測紀錄與管控系統、建議取得工作人員簽署志願同意書以及定期進行相關人員的適任評估(包括劑量、醫療、心理等狀況)等。國內經福島事故後的檢討改善方向，包括擴大緊急計畫區、預防性疏散與接待學校規劃等納入應變計畫中，與國際機構建議的做法幾乎相同。顯示基於福島事故的經驗，國內對輻射事故的整備能量已更加完備。惟輻射基礎知識的科普教育推動仍需時間建立，相關人員適任性的評估制度，也仍建議檢討精進。國內萬一需要進行核子事故的處理時，除少數特殊專業人員外，期許健全的修正制度，可以將相關人員的暴露，管控在計畫暴露的職業暴露劑量限值要求內，而不會有緊急暴露的情境。

關鍵詞：福島事故、緊急應變、輻射暴露

一、前言

在 2011 年 3 月 11 日日本東北大地震引起的海嘯，不但大規模破壞了民生和基礎設施，也造成相當大的生命損失。接踵而來的是福島核能電廠處理失當，造成放射性物質外洩污染環境，且須在惡劣的環境下對可能處在風險環境下的民眾進行強制疏散。惟於事後的檢討中發現，不當的疏散作法對於年老的病人，在前三個月內死亡率增高為平時三倍，統計一年內增加約 40%，整體的評估顯示疏散對於老年病人不論是志願或強制都是很大的健康負擔(Tanigawa, 2012; Yasumura, 2013, 2014; Nomura, 2013;)。

對於核子事故的防護行動建議中，室內掩蔽與疏散作為，主要針對加馬直接輻射與放射性空浮落塵的曝露途徑來討論，可提供不同程度的防護效果。最佳狀況是在輻射煙羽飄來之前進行疏散，即可 100%有效的避免所有的輻射曝露。然而疏散的有效性取決於許多因素，例如，是否可落實且迅速地執行疏散作為。若核子事件劑量的主要來源是來自吸入的體內劑量，當實施疏散的期間又正好遇到短期的輻射煙羽飄襲而過，則疏散過程可能會增加輻射曝露，因為用於運送撤離人員的車輛所能提供的輻射防護十分有限。室內掩蔽是一種低成本、低風險的防護行動，但是可以提供的防護效率可能從零到接近 100%，取決於污染釋放的類型、掩蔽住所的類型、煙羽流動路徑、持續時間和氣候條件等等。雖然美國環保署的規範建議利用四天預估劑量值來做為防護行動選擇掩蔽或疏散的參考依據，但是規範中也提到，預估劑量模式並不是一種精確的管理科學，尤其是考慮到時間急迫性，可能會無法深入分析。因此決策過程應該同時考量現實與「最佳估算」劑量模型的結果，並應考慮到疏散時可能產生的不可避免的劑量和潛在掩蔽失敗的問題（例如，屋子發生火災或通風系統造成輻射落塵滲入等）。上面也提到對於行動不便的老人及病患，掩蔽為優先選擇，然後依事故發展的狀況與外在資源條件，來進行疏散的規畫與行動執行，可以對民眾的防護達到最佳的效果(USEPA, 2013)。然而，若是要將需要居家看護的老人及病患以掩蔽作為主要防護的行動，則必須有照護人力陪同留

下，這些照護人力可能不是原先規劃的緊急應變工作人員，他們的自我認知也可能只是一般民眾，如何讓他們能願意理解必須留下伴隨病患，還能確認得到正當、適當且最適化的防護，是個值得探討的問題。

另外一個案例是福島某醫院的護理團隊，與來自學術機構支援的輻射專業人員與放射師等組成輻射安全評估團隊，協助進行疏散人員離開管制區的輻射量測與引導病患進行必要的照護。參與的護理人員大部分未受過輻射緊急應變的訓練，但是配合輻射專業人員的作業，可以對於無助的居民與小孩提供醫療方面的諮詢，安慰疏散民眾的焦慮，並以健康照護的經驗，及早發現疏散民眾中需要健康協助的民眾。之後，由於人力資源不足，這些護理人員也投入協助醫師進行輻傷相關的工作。因此在檢討時提到，不論是哪一種形式的災害，護理人員因為受過專業的醫療照護訓練，因此能夠扮演最好的協助角色，並在第一時間提供各項彈性的支援。但是對於發生機率低的大型災難如核子事故或複合性災害，因為累積的經驗不足，人力資源評估困難，因此有可能需要缺乏緊急應變訓練的護理人員參與，以志願性質參與的人員也因此也承受很大心理壓力，更需要輻射專業人員提供安全評估的資訊與說明(Noto, 2013)。目前福島事故的狀況已經受到控制，國際輻射防護相關組織也陸續提出新的防護建議，國內這幾年也規畫許多改善措施，因此本文希望能參考國際檢討經驗，對應國內參與緊急應變相關的作業人員的輻射防護目前的檢討補強作法進行檢視與討論。

二、作業人員輻射防護探討

1、相關作業人員的範圍與問題

本文所謂緊急應變相關作業人員，簡單的說是指災害發生後緊急應變情況下具有規定的工作責任必須進入或停留在災區的人。也就是不論是全職、兼職；有雇用關係或是志願，只要在核子事故緊急應變的過程中，以工作人員身分參與應變過程的人員。這些人員有些是編制內的緊急應變人員與支援人員，例如為了生命救援與避免災害擴大的專業人員、初期除污人員、協助民眾疏散的相關警消與輻射監測人

員等等；有些是直接或間接因為受雇關係而參與的人員，例如照護停留在災區病患的短期看護、為了減少財物損失而進行留守與運送的金融機構人員，以及後期參與除污處理的聘僱人員等等。

福島事故顯現許多事故緊急應變問題的面向，首先這是第一次遇到如此大規模的複合性災害，使得應變的人力與資源規劃都受到嚴峻的考驗，大部分的人員都沒有處理類似狀況的經驗。其次，媒體的參與方式是空前的，透過網路如 youtube、facebook、部落格等與電視媒體幾乎是現場實況的轉播，將災害的所有相關事項全面性的呈現在世人面前。這種媒體的發展固然可以讓資訊透明化，不過其中也充滿許多錯誤的資訊解讀，造成的恐慌與恐懼持續影響所有人員，包括民眾與所有作業人員。再來是事故發生第一個月內，政府的官方資訊反應太慢，使得應變人員與民眾對於污染的現況與未來可能的發展無法得到清楚的認知，加上記者、專家學者、醫師與名嘴評論等發表的意見常常有衝突，導致對於政府的不信任與疏散民眾的焦慮感，更增加了作業人員的工作壓力(Alder-Collins, 2013)。許多未受過緊急應變訓練的專業人員如之前提到的醫院醫護人員與書記、學術機構的輻射專業人員等在地方救災人手資源缺乏時，基於對於專業的尊嚴，無私且勇敢投入應變作業，這種可能讓自己暴露在風險中的做法讓人敬佩，但也反映出現代可能發生的災害型態與規模，可能與傳統的天然災害狀況迥然不同。對於極少發生的災害類型，平時能夠投入的資源包括人員訓練與設備的備存等都明顯有所不足。使得這些作業人員在本身資訊不足的狀況下，還要提供撫慰一般民眾心理的協助更顯不易。對於運用新媒體進行資訊公開與危機溝通以取得信任的方式已有許多討論(Kurokawa, 2012)。

對於人員的問題包括如何適當提供參與人員足夠的訓練與演練以解決參與人員的風險認知？如何提供足夠的設備以讓參與人員能夠自行規劃作業動線與污染管控區域？如何提供義務的志願人員在參與過程的劑量監測與管控以減少非輻射專業人員的輻射風險疑慮？事後

如何提供追蹤人員健康的機制?(Khasawneh, 2014)以能夠讓參與人員不需只是以榮譽來支持其作業的信念(Alder-Collins , 2013)。

2、 對於作業人員的防護干預基準與國內做法

福島事故的處理過程中，日本政府對於工作人員的劑量干預，隨事故時序的進展而做了調整，如表 1 所示。

當日本決定將工作人員劑量限值由原先事故前的 100 毫西弗調高到 250 毫西弗時，曾經引起日本國內輿論爭議，但是由國際輻射防護委員會(ICRP)(Radiation Council in Japan, 2011)與國際原子能總署(IAEA, 2015)的建議干預限值 500 毫西弗來看，這樣的調整並不會造成急性(確定性)的輻射效應。當此修訂值執行約 8 個月後又逐步調整，約一年後事故處理確定進入復原期，便要求回歸法規對職業曝露的要求。統計整個事故過程中體內與體外曝露合併後超過 250 毫西弗共有 6 人，超過 100 毫西弗(含前面 6 人)共計 173 人，佔所有參與人員的比例小於 1%。由此可見即使是在面對如此複雜的災害狀況下，除了極少數專業人員在事故初期為了避免事故惡化，可能受到較高的輻射暴露外，幾乎所有參與人員都能控制在法規職業曝露限值以下。因此，由福島事故的檢討經驗顯示，在整備規畫時應該以所有工作人員都能低於例行法規限值為目標，且應該有能力可以達到。

表 1 日本政府於福島事故期間工作人員干預基準(Shimura T. ,2015)

事故前	事故後					
	14/3/2011	1/11/2011		16/12/2011		30/4/2012
100 毫西弗	250 毫西弗	新工人 作員	100 毫西弗	維持電廠冷卻系統運行與減少放射性物質外釋人員	100 毫西弗	五年有效劑量不得超過 100 毫西弗，任何單一年有效劑量不超過 50 毫西弗
			250 毫西弗(特殊專業人員)			
		11 月 1 日前 工作 人員	250 毫西弗		特殊專業人員	

國際原子能總署基於福島事故後的檢討，除了上述的干預限值外，也同樣建議事先規劃對於輻射作業人員與志願者提供短期的訓練(just in time training)、提供作業人員適當的防護與監測設備、適時提供碘片、建立人員劑量監測紀錄與管控系統、如果可以建議取得同意書以及定期進行作業人員適任評估(包括劑量、醫療、心理等狀況)。

對於輻射曝露的情境，可分為計畫性曝露、緊急曝露與既存曝露(另外還有醫療曝露與環境曝露不在本文討論範圍)，目前國內的游離輻射防護安全標準中對於工作人員緊急曝露的規定，要求應於符合下列情況之一時，始得為之：一、搶救生命或防止嚴重危害。二、減少大量集體有效劑量。三、防止發生災難。且設施經營者對於接受緊急曝露之人員，應事先告知及訓練。設施經營者應盡合理之努力，使接受緊急曝露人員之劑量符合下列規定：一、為搶救生命，劑量儘可能

不超過單一年劑量限度之十倍(500 毫西弗)。二、除前款情況外，劑量儘可能不超過單一年劑量限度之二倍(100 毫西弗)。除實際參與上述之緊急曝露情況外，其餘參與應變人員所受之劑量，不得超過輻射工作人員職業曝露之劑量限度，規定為：一、連續五年週期之有效劑量不得超過一百毫西弗，且任何單一年內之有效劑量不得超過五十毫西弗。二、眼球水晶體之等價劑量於一年內不得超過一百五十毫西弗。三、皮膚或四肢之等價劑量於一年內不得超過五百毫西弗。這些劑量限值與國際機構所建議的干預基準一致。

福島事故後，原子能委員會立即進行國內核能總體檢(原子能委員會, 2012)，除了強化核能電廠防災抗震等技術能力外，也針對緊急應變的法規與整備作業進行檢討與修改。其中災害防救法修正草案已將輻射災害納入規範，對於緊急應變計畫區內或更大範圍的行政區域，會結合災害防救體系，將民眾防護措施納入地方政府地區災害防救計畫中，如碘片集中貯放、預先規劃輻射偵測路線、結合防空民防廣播系統擴大預警範圍、規劃大規模收容安置與演練及加強民眾教育溝通等，以供必要時採行靠近電廠 3 公里內預防疏散區預防性之疏散與掩蔽作業，如此可大幅減少行動不便的老人與病患的健康風險與照護人員可能的曝露問題。緊急應變計畫區由 5 公里擴大到 8 公里與規畫防護準備區 8~16 公里，可以補強防護與監測設備資源之作業能量，也可利用各項演練進行訓練，增加可能在應變時成為志願者或參與應變的作業民眾，能夠對於輻射相關基本知識如健康效應與輻射偵檢等，應該可降低事故時的心理焦慮。

由日本近日對於福島縣護理人員的工作意願調查與因子分析結果顯示，兒童教育與孩童健康效應是護理人員想離職的最重要原因，但也發現公衛護理人員對輻射相關認知十分缺乏(Sato, 2015)。因此國內的檢討作業中，也增加了接待學校的制度的規畫，位於預防疏散區的學校都有明確的對應接待學校，以作為核子事故時疏散出來學生的暫時安置中心，在此有校方的照顧，可確保學生在安全的情況下等候家長接回，同時也對於學童的教育機會有一定的保障。平時則可利用演練的機會，讓學童與家長可以清楚在預防性疏散的對應學校，並

進行輻射基礎知識的教育訓練，透過對於兒童的教育與照護規畫，讓家長可以安心。

醫療照護方面自 89 年起衛福部(當時為衛生署)已規劃建置核子事故緊急應變機制，律定核子事故緊急醫療規劃為第一級(提供核電廠內之緊急醫療)、第二級(核電廠附近，可提供檢傷分類、醫療除污及支持性治療)及第三級(核電廠附近之醫學中心，可提供輻傷治療、骨髓移植、放射性污染拮抗藥物給予、燒傷治療和嚴重創傷治療)。同時並規劃 19 家核災急救責任醫院，日本福島核電廠核子事故發生後也由三軍總醫院辦理「疑似輻射傷害病患緊急醫療處置示範演練」，也邀請美日等國外專家舉辦講習增進第一線醫療處理能力，能即時採取正確的處理方法並確保安全。對於受傷人員及疏散民眾，另安排提供心理創傷評估及支持性諮商服務。

3、對於作業人員防護相關的其他建議

由上述的討論可了解國內目前的檢討補強措施與國際建議的方向幾乎相同，在整備的能量與資源也獲得大幅的改善。然而由日本復原過程的經驗，發現對於輻射專業人員或事先設定的緊急應變人員來說，持續的適任性(fitness)評估包括輻射劑量、疾病疫情、心理壓力與熱衰竭狀態都十分完備，但是對於部分聘僱從事除污的作業人員就比較不足(Hiraoka, 2015)。原因在於除污與廢土運送作業需要大量人力，許多作業人員是以短期契約的方式由外包公司聘僱，當公司規模不大時對於勞工權益的重視就比較不足，加上從事相關工作的短期工人有著可能被社會貼標籤(與造成污染的東電公司同路人)的心理壓力而不願配合，使得對於約聘人員的健康管理系統不夠完備。

目前的作業人員適任性評估是以每個月劑量佩章讀值與每年游離輻射工作人員體格及健康檢查來綜合評估。然而在污染作業現場，環境條件較例行作業惡劣，在夏天工作人員穿著防護衣物容易有中暑(熱衰竭)的現象，2011 年福島通報有 43 例，其中嚴重程度為中重度者有十例，除了 5 例在六月發生其他都在七月，發生時間都在上午 7:00 到 12:00。冬天則有感冒造成暈眩的問題(Hiraoka, 2015)。由

於作業地點離醫療機構都有一段距離，相關的防護衣物也會造成症狀減緩的困難，因此若處理不當可能造成作業人員的生命威脅。此外，若身體狀況不佳可能使得現場作業的行動有所拖延，造成在輻射污染區域作業時間拉長，而增加工作人員的劑量。因此適任性的評估應該更為頻繁，週期應調整較例行作業短，讓支援人員包含軍警消等也能及早得到相關資訊，而能調整安排人員勤務，以達到所有人員劑量符合工作人員職業曝露劑量限值的目標。未來若穿戴式裝置技術的發展，可達到記錄作業人員的劑量與血壓、心跳、體溫各項身體條件等，將更能夠及時的反應作業人員在災害現場作業的適任性。

此外，輻射基礎知識科普教育的推動，是降低現場非輻射專業人員作業心理壓力很重要的作法。因為由福島事故的經驗，對於輻射風險認知的落差所造成的焦慮，會使得作業人員對於現場作業有心理沮喪甚至創傷後症候群的現象，形成事故初期作業人員最大的健康風險，比輻射傷害更需重視。平時能夠透過各種管道與方法加強對於輻射健康風險的認知將有助於減少心理方面的壓力與問題。

三、結 論

福島事故至今已過四年，美國環保署、國際原子能總署與國際輻射防護委員會等國際機構，基於日本的經驗對於現行的核子事故處理作業提出一些修正建議，國內的防護體制全面體檢的結論與改善的方向，與國際機構的建議差異不大，顯示目前推動的各項安全作業改善確實可讓核子事故的應變作業更加完備。對於輻射基礎知識的科普教育建議持續加強並作為應變的一部分，並建議對於作業人員的適任性評估系統在事故時能夠更為密集，以期能作適當人力資源安排，達到除特殊專業人員外，所有作業人員都能管控符合游離輻射防護安全標準中職業曝露的限值要求。

參考文獻

1. Alder-Collins J.K., 2013, Courage and selflessness in professional actions; International Nursing Review 60, 201 – 204.

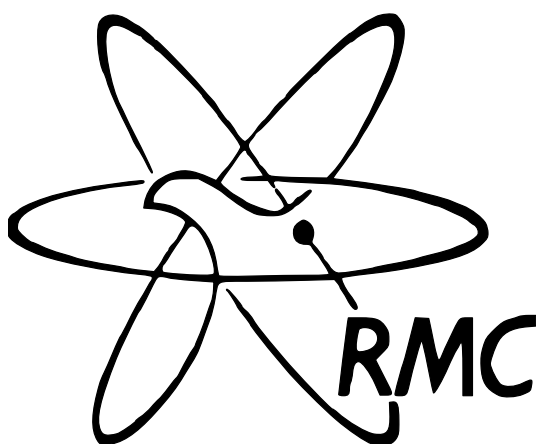
2. Hiraoka K, Tateishi S, Mori K., 2015, Review of health issues of workers engaged in operations related to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant., **J Occup Health**. Accepted.
3. IAEA, 2015, Preparedness and response for a nuclear or radiological emergency, Series No. GSR Part 7 (Draft), IAEA, VIENNA.
4. Khasawneh K. and Cho K.W. , 2014, Suggestions for improvements of the radiation protection for the emergency workers during the Fukushima nuclear power plant accident, *Journal Of Radiation Protection*, 39(2), 103-108.
5. Nomura S, Gilmour S, Tsubokura M, et al., 2013, Mortality risk amongst nursing home residents evacuated after the Fukushima nuclear accident: a retrospective cohort study. *PLOS ONE*, 8(3) : e60192.
6. Noto Y., Kitamiya C., Itaki C., Urushizaka M., Kidachi R. & Yamabe H., 2013, Role of nurses in a nuclear disaster: experience in the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *International Nursing Review* 60, 196 – 200.
7. Radiation Council in Japan. Considering ICRP 2007 recommendations for radiation regulation. (in Japanese) http://www.nsr.go.jp/archive/mext/b_menu/shingi/housha/toushin/_icsFiles/afieldfile/2011/03/07/1302851_1.pdf.
8. Sato Y, Hayashida N, Orita M, Urata H, Shinkawa T, Fukushima Y, et al., 2015, Factors associated with nurses' intention to leave their jobs after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *PLoS ONE* 10(3): e0122389
9. Shimura T. et al., 2015, Radiation occupational health interventions offered to radiation workers in response to the complex catastrophic disaster at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Journal of Radiation Research*, 56(3): 413 – 421.
10. Tanigawa K, Hosoi Y, Hirohashi N, et al., 2012, Loss of life after evacuation: lessons learned from the Fukushima accident. *Lancet*, 379 : 889 – 891.
11. U.S. Environmental Protection Agency, 2013, protective action

guides and planning guidance for radiological incidents, PAG Manual(Draft)

12. Yasumura S, Goto A, Yamazaki S, et al., 2013, Excess mortality among relocated institutionalized elderly after the Fukushima nuclear disaster. Public Health, Feb ; 127(2) : 186 – 188.
13. Yasumura S, 2014, Evacuation effect on excess mortality among institutionalized elderly after the fukushima daiichi nuclear power plant accident. Fukushima J Med Sci. 60(2):192-195.
14. 原子能委員會，游離輻射防護安全標準，民國 94 年 12 月 30 日修正。
15. 原子能委員會，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，民國 101 年 8 月。

附件七 104 年難測核種銻化學分析實務交流技術報告

104 年難測核種銻化學分析實務交流技術報告



行政院原子能委員會輻射偵測中心

中華民國 104 年 9 月

一、目的

本中心依據 104 年「輻射事故緊急應變管制技術發展」分項「輻射事故鑑識技術發展」計畫，改進現行阿伐銻核種分析方法穩定性提供相關實驗室參考，並辦理實務技術交流研討會以達提昇提升國內相關放化實驗室阿伐核種分析技術之目。

二、前言

運用各種分析技術鑑識放射性材料特徵，為核子事件溯源提供必要的科學依據，以迅速查明責任方，從而有效嚇阻核擴散為輻射事故緊急應變重要的一環。若放射性物質屬加馬核種，易於事件現場由加馬偵檢器直接進行分析，對於穿透力較差的阿伐核種與貝他核種則很難使用非破壞性的分析方法在短時間得到資訊，常需要於實驗室內經冗長化學分離及計測才能得到結果。鑑於國內目前放化實驗室多未將阿伐核種列為例行監測項目，本中心曾於 103 年邀集國內主要放射化學實驗室進行「難測核種銻化學分析實務技術交流」，結果顯示各單位技術尚未熟稔且穩定性仍極待加強。因此，104 年度藉執行「輻射事故緊急應變管制技術發展」分項「輻射事故鑑識技術發展」計畫，由本中心改進現行阿伐銻核種分析方法穩定性，再邀集行政院原子能委員會核能研究所、清華大學原子科學技術中心及台灣電力股份有限公司放化實驗室、核三工作隊等放射化學分析相關技術人員進行技術交流，以強化國內相關放化實驗室阿伐核種分析技術，儲備國內緊急應變能量，以利於事故時互相支援輻射偵測作業。

三、課程內容

本次分析實務技術交流研討會，係藉由原理講授、實務實作、觀摩及

互相討論之方式以提昇彼此技術，並讓操作人員瞭解此分析作業流程中各相關之技術及應注意事項等。

104 年度難測核種銻化學分析實務技術交流時程

四、分析方法概述

日 期	時 間	授 課 內 容	備 註
4/28 (二)	9:00~10:30	標準射源添加、樣品消化	授課講師： 劉祺章 蔡文賢 李碧芬
	10:30~11:00	最低可測活度（MDA）介紹	
	11:00~11:30	實驗原理說明、各單位經驗報告	
	11:30~15:30	樣品過濾、蒸煮及層析前處理	
	15:30~17:00	層析液備製、層析管柱安裝及前處理	
4/29 (三)	08:30~09:45	層析前處理、流洗	操作講師： 潘嘉吟 郭炎泉 蔡文賢 李碧芬
	09:45~12:00	層析步驟、各單位經驗報告	
	12:00~13:00	用餐午休	
	13:00~16:30	層析步驟、電鍍原理說明	
	16:30~18:00	層析步驟、各單位經驗報告	
4/30 (四)	9:00~10:00	收集樣品處理	
	10:00~11:30	電鍍前處理	
	11:30~13:30	電鍍、用餐午休	
	13:30~14:00	電鍍片處理	
	14:00~17:00	計測及數據處理說明	

鑑於國內目前放化實驗室多未將阿伐核種列為例行監測項目，技術熟

稔度有待加強，而國內放射化學分析實驗室採用之鈾的分析方法皆為早期翻譯自公益財團法人日本分析中心（Japan Chemical Analysis Center, JCAC）的方法，本中心於 103 年邀集各實驗室進行「難測核種鈾化學分析實務技術交流」時發現該分析方法穩定性有待改進，經由文獻探討亦發現近幾年來有關鈾的分析方法多半強調需特別經過價數調整的步驟方能得到較佳穩定性及回收率。因此，104 年本中心投以阿伐分析小組人力進行方法穩定性探討，發現價數調整確實有其必要性，相關修改後分析流程概述如下：

一、分析原理

鈾(Pu)核種分析的原理，乃是利用在高濃度硝酸 7-8M 硝酸溶液中，Pu(IV)易與硝酸根形成陰離子錯合物 $\text{Pu}(\text{NO}_3)_6^{2-}$ ，可與陰離子交換樹脂 Dowex 1x8 形成較強的吸附，而 Am、Fe、Cm 和 U 較不易被吸附，因而達到分離純化的目的。為達到鈾價數調整目的，實驗過程中加入亞硝酸鹽，以達到較佳穩定性及回收率。

二、分析流程

（一）試樣前處理

- 1 以瓷蒸發皿(外徑 12cm)稱取乾燥細土 50g，放入高溫爐內以 500°C 加熱 4 小時以分解有機物。
- 2 冷卻後移入 1 升燒杯中，精確加入 0.5 毫升 ^{242}Pu 或 ^{236}Pu (0.02Bq/ml) 標準射源溶液。

- 3 徐徐加入 250 毫升的硝酸(3:2)，觀察硝酸之發泡情形。
- 4 蓋上錶玻璃，在加熱板加熱並隨時攪拌，煮沸至少 2 小時。
- 5 趁熱以玻離纖維濾紙(GA-100)抽氣過濾，濾紙上的殘留物以少量硝酸(3:2)洗淨之。
- 6 合併濾液和洗液加熱濃縮至呈糖糊狀，濃縮液趁熱加入 50 毫升硝酸(3:2)。
- 7 加入 1 毫升過氧化氫，加熱直至過氧化氫不再發泡為止，使過氧化氫充份分解。
- 8 加入 2 克亞硝酸鈉，加熱直至紅棕色氣體消失後，加入 100 毫升硝酸(3:2)靜置冷卻。
- 9 冷卻後，若有不溶物以玻璃纖維濾紙(GA-100)抽氣過濾，以 500 毫升燒杯接收濾液，以少量硝酸(3:2)洗淨，合併濾液及洗液。

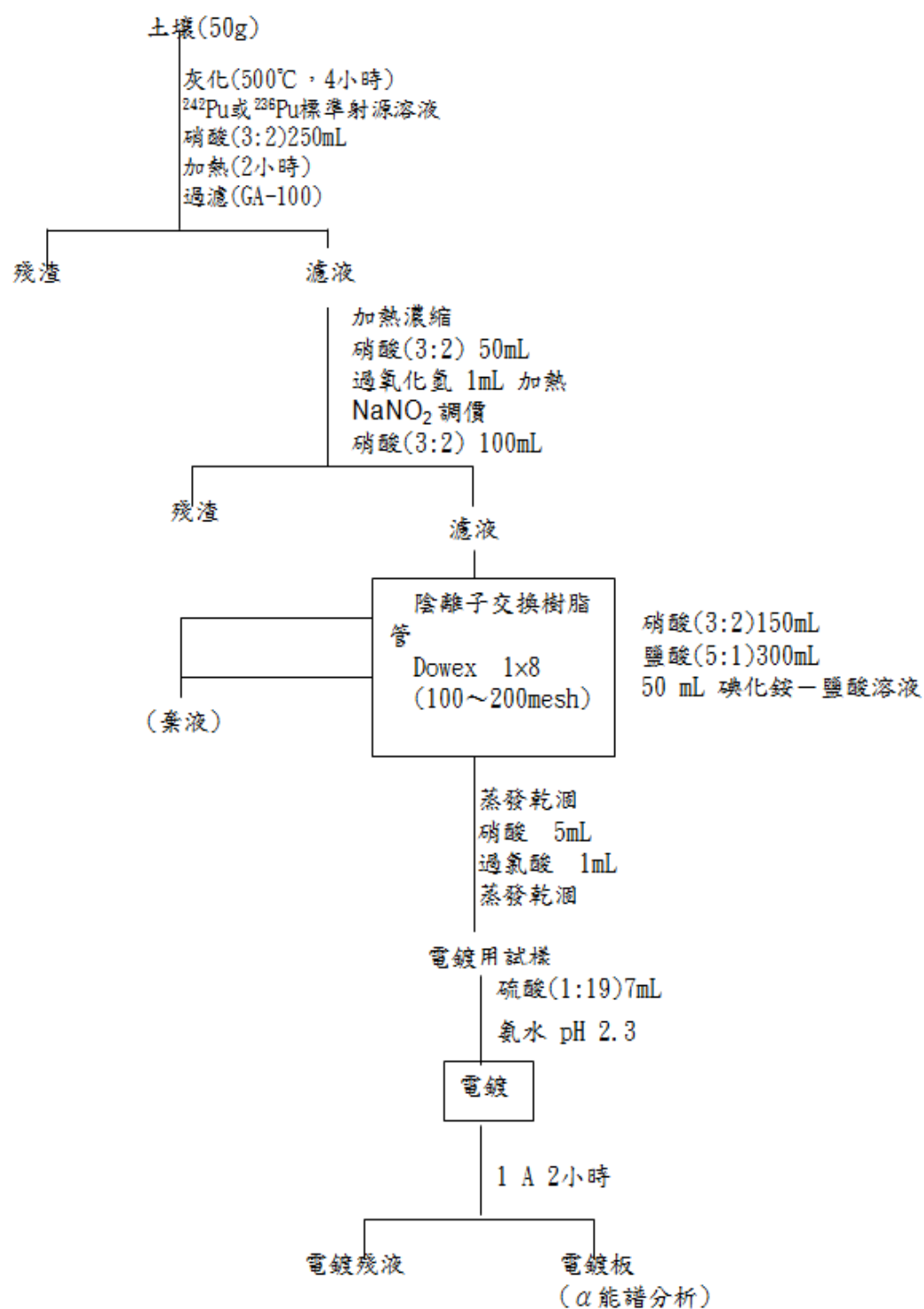
(二) 銻的分離

- 1、前處理 9 得到之溶液以每分鐘 2 毫升以下的流速通入硝酸系陰離子交換樹脂管 (Dowex 1x8,100~200mesh，樹脂高 7cm)，並以 150 毫升硝酸(3:2)洗淨，流出液與洗液合併供銻的分析。
- 2 用 300 毫升鹽酸(5:1)洗滌樹脂管。洗出鈷，洗滌液丟棄。
- 3 用 50 毫升〔29:71〕碘化銨溶液(5w/v%)-鹽酸混合液將銻溶離出來，以每分鐘 1 毫升以下的流速流過約 20 毫升後。關起樹脂管栓，靜置 30~60 分鐘後，再打開栓讓剩餘 30 毫升流出。

- 4 流出液蒸乾，乾涸物中加入 5 毫升硝酸及 1 毫升過氧化氫，加溫溶解，蒸發乾涸之。重覆此一步驟 1 次後，於乾涸物中加入 1 毫升過氯酸，蒸發乾涸直至過氯酸不再產生白煙為止，做為電鍍試樣。

(三) 電鍍步驟

- 1 銻經分離，純化所得電鍍試樣中，加 7 毫升(1:19)硫酸加熱溶解。
- 2 冷卻後，用氨水調整 pH 至 2.3。
- 3 將試樣溶液移入裝有不銹鋼電鍍片的電鍍槽中，燒杯用少許水洗滌，洗液倒入電鍍槽。
- 4 白金電極插入電解液中(8.10)通直流電 1.0 安培電鍍 2 小時。
- 5 在電鍍結束前，加入 2~3 滴氨水，繼續通電 1 分鐘。
- 6 停止通電，迅速將電解槽溶液倒至燒杯，電解槽內用水洗滌，洗液與溶液合併。
- 7 取出電鍍片，用水和乙醇洗滌，用本生燈燒灼後放冷，作為阿伐計測試樣。



本中心修改後之土壤銻阿伐核種分析方法流程

三、研習實況

1. 本中心劉祺章組長課程講授及清華大學加速器實驗室牛震教授經驗分享



2. 各單位(本中心、核能研究所、台電放化實驗室及核三工作隊、清大原子科學技術發展中心)技術人員實務操作



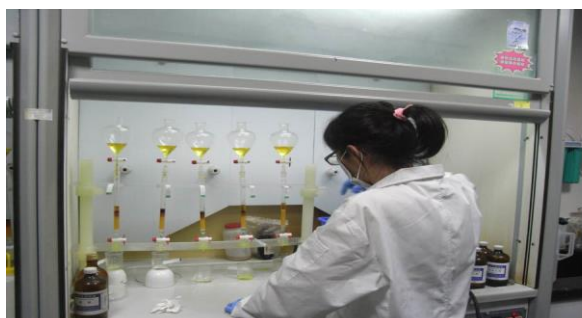
3. 講師分組操作示範



4.各單位樣品前處理萃取液及利用亞硝酸鹽進行銻價數調整



5.銻的層析分離及收集液蒸乾



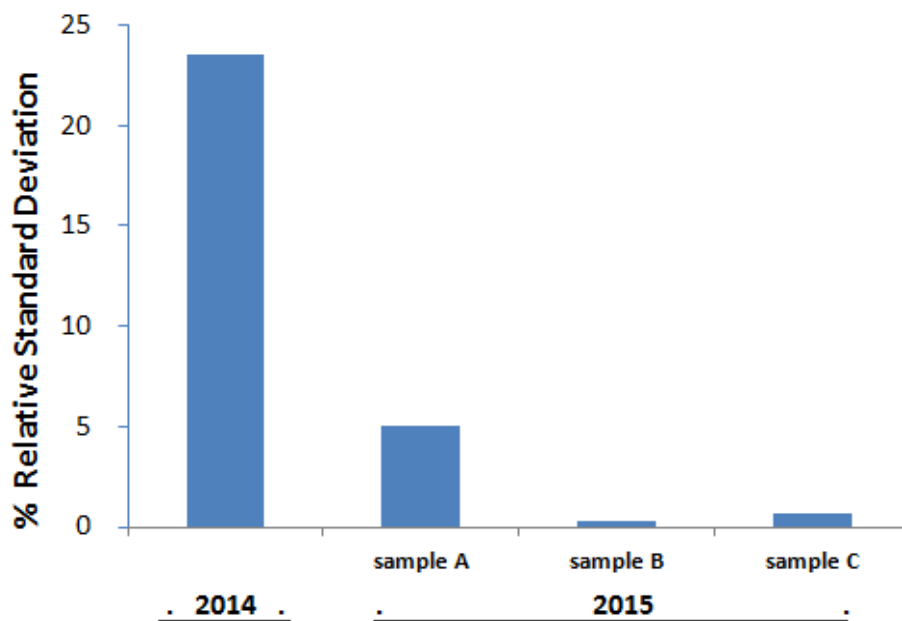
6.電鍍及討論交流



四、實驗結果與討論

(一) 本次實驗因電鍍過程中 2 個電鍍片折損，數據不予計算，僅以其中 8 組數據進行討論，各單位技術人員操作熟稔度宜再加強。

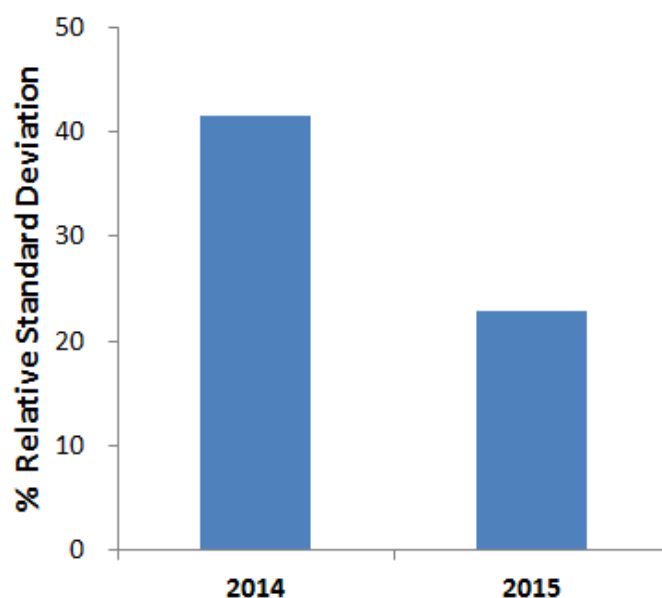
(二) 土壤 ($^{239+240}\text{Pu}$)計測結果如下圖所示，本年(2015)度各單位同時進行 sample A(台電提供)、sample B(台電提供)及 sample C(本中心)分析，結果顯示 3 種不同樣品的相對標準偏差皆小於 5%，與去年(2014)大於 20%相比較，本年度方法改進後各單位實測結果相當一致。(Sample A、B、C 之分析結果分別為 0.347、0.349、0.155 Bq/Kg)



土壤 ($^{239+240}\text{Pu}$)分析結果相對標準偏差之比較

(三) 回收率 tracer (^{242}Pu) 說明：

- 1、本年度各單位實作實驗的電鍍過程，雖未採納本中心建議以 pH meter 取代指示劑，結果如下圖所示，tracer 計測值的相對標準偏差約為 20%，與去年 40% 的比較，顯示改進後的方法較為穩定。
- 2、經核能研究所直接以 tracer 進行電鍍測試，電鍍過程若採指示劑，其相對標準偏差可達 25% 以上，初步估算本年度平均回收率約為 80%。



tracer 計測相對標準偏差之比較

- (四) 結論：本年度各單位以改進後的方法進行 3 種不同土壤樣品鈾分析，各單位不論 $^{239+240}\text{Pu}$ 及 tracer 計測結果皆較去年一致且穩定，惟為使回收率更為穩定，各單位電鍍過程宜採納本中心及核能研究所建議，以 pH meter 取代指示劑。