

# 國際輻射災害應變技術開發研究

## Development and Research of the Emergency Response Techniques for the International Radiological Accidents

主管單位：行政院原子能委員會

汪子文 方新發 彭恩琪

Tzu-Wen Wang, Hsin-Fa Fang, Hui-Mei Peng

行政院原子能委員會核能研究所

### 摘 要

本計畫為行政院原子能委員會委託之計畫，為期三年，自 100 年至 102 年，其目的在建立我國在發生國際性重大輻射或核子事故時，國內有充分的緊急應變能力，確保民眾的安全。計畫執行之初，適逢日本於 100 年 3 月 11 日發生規模 9 級的地震，引發巨型海嘯，導致東京電力公司福島第一核電廠內的三部機組發生爐心熔損事故，成為國際間一直高度關切輻射的國際擴散效應，更凸顯本計畫的前瞻性。

本計畫的研究領域包括放射性核種大氣層擴散、放射性核種輻射偵測與核化學分析、及緊急應變策略三大部分，其目標為：(1)完成鄰近國家輻射事故影響台灣評估與應變程序研擬；(2)舉辦農產品放射性分析能力試驗；(3)精進事故分析與偵測技術及民眾防護措施，藉以提升國內核能安全與輻射災害應變主管機關以及其他相關單位在災害應變方面之規劃、預警、應變等各階段之能力與技術。本報告依據計畫目標，敘述本計畫 102 年度的研究項目與成果概要。

**關鍵詞：**核子事故、緊急應變、能力試驗

## **Abstract**

This three years research project from 2011 to 2013 was sponsored by the Atomic Energy Council, Executive Yuan. The main purpose is to establish the full domestic emergency response capability in order to ensure the public safety in the case that an important international radiation or nuclear accident happens. At the beginning of the project, on the March 11, 2011, there is a nine degree earthquake which happens in Japan. The earthquake not only induces a huge tsunami but also make the core meltdown accident in the Fukushima nuclear power plant which belongs to the Tokyo Electric Power Company, Inc. Then the accident becomes an international radiological dispersion problem in which the international community has serious concern, so this points out the foresight of this research project.

The major research area included the atmospheric dispersion of radionuclides, the detection and chemical analysis of radionuclides and the emergency response strategies. The research objectives are to: (1) implement the frame of the process of the assessment and emergency response for an international radiation accident which will effects Taiwan; (2) hold the agriculture product radiological analysis proficient test; (3) promote the accident analysis and detection technology and the public protection measures. So the objectives could enhance the capability and technology of the domestic nuclear safety and radiation emergency response official authorities and other institutes for the planning, precaution and emergency phases. The report will describe the research items and result during 2013 based on the project objectives.

**Keywords: Radiological Accident, Emergency Response, Proficiency Test**

## 一. 前言

本計畫於100年度開始執行，為期三年，計畫總目標為：(1)完成鄰近國家輻射事故影響台灣評估與應變程序研擬；(2)舉辦農產品放射性分析能力試驗；(3)精進事故分析與偵測技術及民眾防護措施。

台灣周遭地區，除了日本與韓國外，中國大陸沿海也有多座核電廠，總數加起來將近百座，這些電廠如果發生事故，皆可能對台灣造成相當大的影響，針對此，我們有必要仔細評估這些核變災害風險，首要之務即是了解萬一這些核電廠發生事故後，在怎樣的條件之下會有多少的輻射物質影響台灣地區民眾的健康，而一套能夠即時模擬核災事故評估輻射物質大氣擴散傳輸的模式系統實為必需，因此必須建立更完善之系統，提供事故發生時正確的即時資料，以供應變。

發生國際性如日本福島核電廠事故時，必須對進出事件發生國家的民眾與物資執行輻射偵測與取樣做放射性核種分析，在國內也必須針對可能有放射性核種沈積的熱點(Hot Spot)地區，取環境樣品與農作產品進行放射性核種分析，以提供政府做為對污染區範圍鑑定、民眾污染防護與醫療救助、農作產品與進出口產品管制的依據。為確保環境樣品放射性核種活度分析結果的精確度與準確度，依據全國認證基金會(TAF)ISO 17025規範對實驗室參加能力試驗之要求，主辦國內能力試驗比對計畫，提升我國游離輻射領域量測實驗室之農產品量測能力，並參加國際原子能總署主辦之國際比對試驗。

核能電廠發生重大的緊急情況，如反應器爐心或用過燃料池中的燃料棒熔毀，放射性物質外釋到廠外時，除可能造成人員死亡外，也會對民眾造成嚴重的健康效應、心理效應、經濟與社會效應。欲減輕或避免這些效應的不良後果，必須及時採取適當的防護與應變行動。因此建立國內採取緊急應變行動的干預基準與法規基礎，實屬必要。

## 二. 鄰近國家輻射事故影響台灣評估與應變程序研擬

### 2.1 成果概要

#### 2.1.1 建立核設施放射性災害分析技術

本項研究係委託長榮大學利用多尺度大氣擴散模式(CMAQ)與中尺度氣象模式(MM5)模擬核災時之放射性核種的擴散，建立的技術可應用於核災或輻射事故之應變管理，重要成果包括：(1)可結合MM5與CMAQ的多尺度大氣擴散模式應用程序；(2)鄰近國家核設施災害大氣擴散模式分析運跑方式；(3)異地模式運跑備援方法；(4)大氣擴散模式運跑結果驗證方法；(5)大氣擴散模式與健康危害分析模式結合應用方法。

本項技術以2011年福島事件建立大氣擴散模式評估分析與驗證，利用美國環保署空氣品質模式修改排放進行輻射劑量I-131模擬評估日本區域福島事件所產生I-131濃度擴散與分布，分別進行模式設定、氣象場、排放量數據、驗證觀測數據。模擬結果與觀測值比較，其趨勢大致一致(如圖1)，顯示本項技術可應用於評估與分析國際輻災對國內的影響程度。本技術可評估發生重大核子或輻射事故鄰近國家的範圍如圖2。

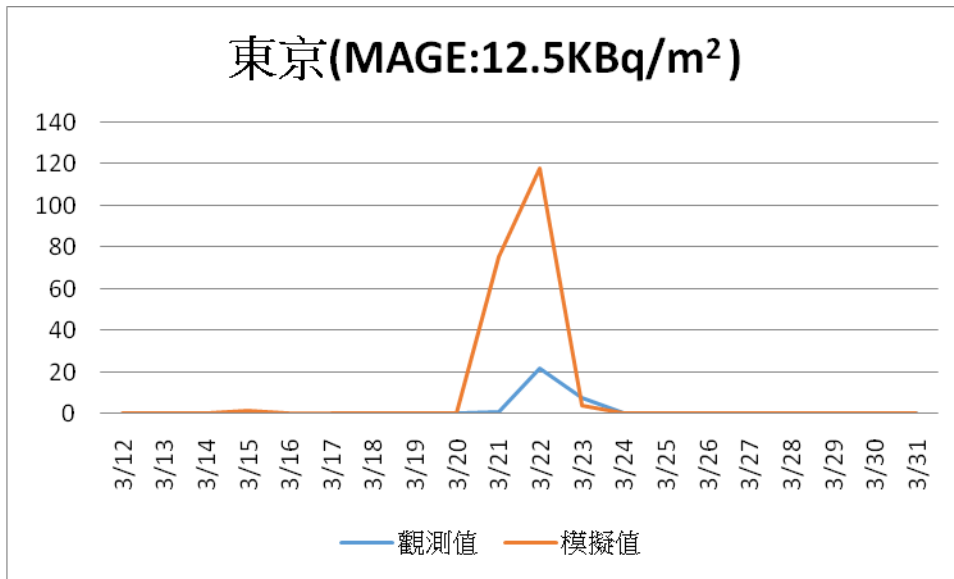


圖 1 模擬與觀測東京 I-131 沉降時間序列

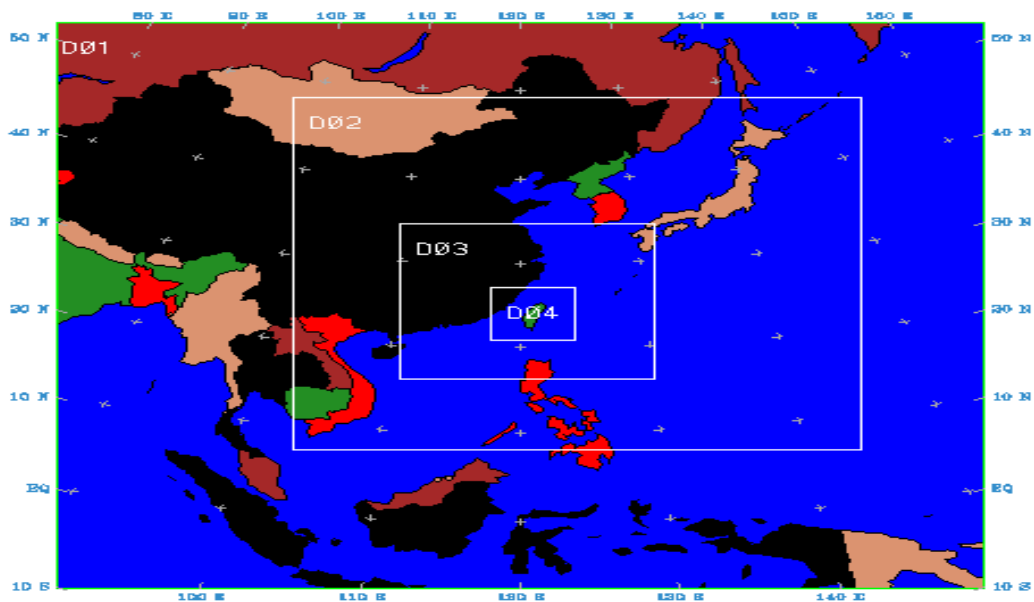


圖 2 評估發生重大核子或輻射事故的鄰近區域國家

### 2.1.2 建立GIS為基礎之核子事故災難預防與援救資訊平台

大氣擴散與劑量影響評估結果的驗證關係到整體評估品質，而從此次福島核能事故以及其他大型核子事故經驗來看，民眾必定急於知道大氣擴散狀況以及了解可能受到的衝擊影響，因此相關資訊整合平台之建立非常重要。而此必須以地理資訊系統整合各種不同評估結果，以將成果視覺化統合不同專業領域意見提供給決策者，而使與公眾之溝通更加順利。本計畫在大氣擴散模式模擬驗證方法上，採用美國與台灣環保署所訂之模式模擬規範進行校正，建構網路化資料處理流程，完整透過網頁設計將驗證結果、大氣擴散評估結果與輻射劑量之空間分布，搭配大氣風場圖式來顯示擴散方向、範圍與速

度，結合在Google Earth上進行驗證與整合展示(如圖3)，達到輔助決策，增強公眾溝通的目的。

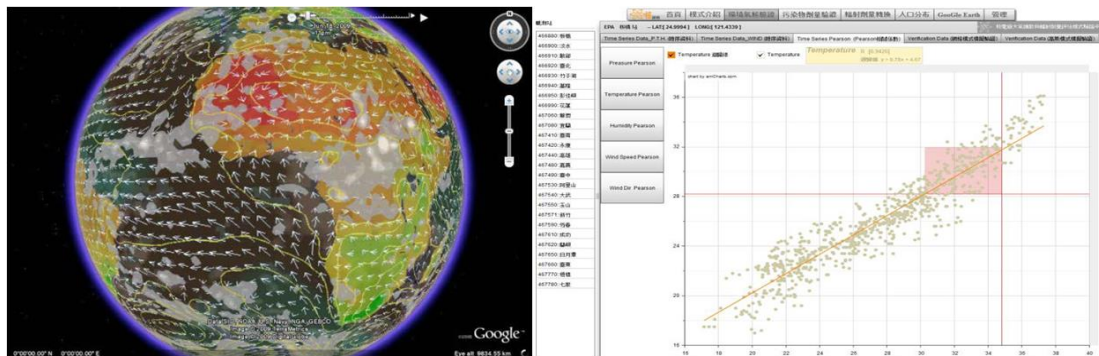


圖 3 大氣擴散模式風場於 Google Earth 展示及統計驗證

### 2.1.3 完成人口網格化地理資訊處理系統使用手冊

日本福島事件之後，釋放出大量的放射性物質到大氣中，隨著大氣的飄散到世界各地，而引起各國關心。要評估民眾可能接受的輻射劑量，除了需排放量與大氣擴散模式以評估空氣濃度或沉降量分布情形外，同時也要利用人口分布資料，以統計可能受到污染的人數。如果人口越精細可靠，評估結果也相對替可以越精細可靠。本計畫亦參考內政部推動的最小統計區工作，解決以往以行政區界發布災害緊急應變行動時，所造成之地理空間扭曲問題，從而建立較以往村里層級更小的人口統計，與提供更高解析度的人口分布資料。

## 2.2 成果探討

我國周遭國家日本、韓國與中國大陸等均有核能發電廠，發生重大核子事故時，將對台灣造成重大影響。本計畫完成之核設施放射性災害分析技術、人口網格化地理資訊處理系統以及以 GIS 為基礎之核子事故災難預防與援救資訊平台，可於我國周遭國家發生重大核子事故時，評估放射性核種在大氣層擴散對台灣的影響，提供政府採取預防措施與穩定民心的工具。

## 三. 舉辦農產品放射性分析能力試驗

### 3.1 成果概要

#### 3.1.1 建立核子事故輻射劑量評估模式

日本福島核子事故大量的放射性物質外釋到環境與海洋，除造成人員輻射曝露、土地與建築物污染外，海洋中的生物也受到輻射影響。為評估事故對人員的健康影響，本計畫參考國際衛生組織 2012 年日本福島初期劑量估算報告，彙整放射性核種沈積地面的體外曝露、雲團中放射性核種的體外曝露、吸入雲團中放射性核種的體內曝露、攝入食物與水中放射性核種的體內曝露等四種曝露途徑的劑量評估模式與參數，並統計環境

取樣種類與取樣數，提供民眾輻射防護、劑量重建與建立國內放射性核種分析能力的準則。

日本福島事故後六個月內，共取國內自己生產的食物進行放射性核種 I-131、Cs-134、Cs-137 分析，食物的種類分別穀類、蛋類、魚及海產類、水果類、肉類、奶類、菇類、稻米、蔬菜類，總分析數統計結果如圖 4，可做為國內建立環境樣品放射性核種分析能力的基礎。

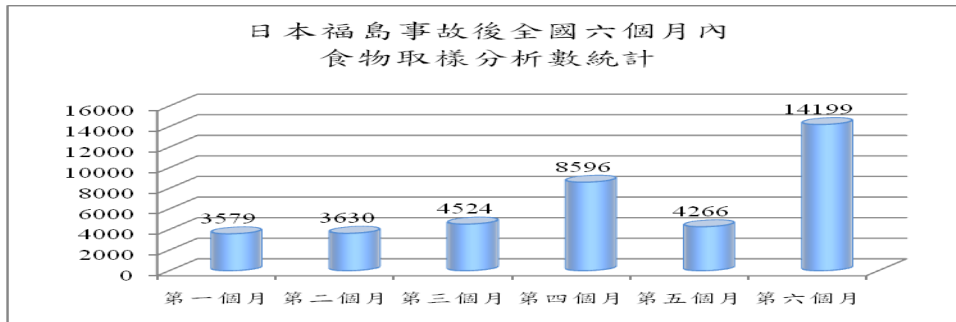


圖 4 日本福島事故後全國食物取樣分析數統計

### 3.1.2 參加環境樣品放射性國際比對試驗

本計畫每年均參加國際原子能總署 IAEA 2013 年國際比對水樣與土樣放射性核種分析，於 5 月 13 日回報數據，共計 3 件水樣、1 件植物樣及 1 件土樣的分析結果。

### 3.1.3 主辦農產品放射性分析能力試驗

依據全國認證基金會(TAF)國際標準組織 ISO 17025 規範對實驗室參加能力試驗之要求，主辦 2013 年農產品放射性分析能力試驗，配置土壤、稻米、香菇與茶葉含放射性核種 Co-60、Sr-85、Sr-90、Cs-134 與 Cs-137 之標準樣品，提供國內放射性核種分析實驗室分析，於 10 月 25 日召開能力試驗研討會。

## 3.2 成果探討

發生核能事故時，也必須計算放射性核種擴散與沈積在環境中造成民眾的體內與體外劑量。本計畫完成之日本核子事故輻射劑量評估模式，可計算國際輻災時評估民眾可能接受的輻射劑量，做為政府採取民眾疏散、掩蔽或食物管制等防護措施的依據。

環境樣品放射性核種分析能力試驗有助於提升實驗室分析結果的公信力，日本福島核子事故發生後至今，仍持續為國內衛生福利部食品藥物管理署、財政部國庫署、經濟部標檢局與漁業署、農委會等政府單位每月委託核能研究所分析日本進口之食品物品數千件做放射性核種分析，本計畫建立之技術亦可為國人健康把關。

## 四. 精進事故分析與偵測技術及民眾防護措施

### 4.1 成果概要

#### 4.1.1 研究核子事故操作干預基準

核能電廠發生重大的緊急情況，如反應器爐心或用過燃料池中的燃料棒熔毀，放射性物質外釋到廠外時，除可能造成人員死亡外，也會對民眾造成嚴重的健康效應、心

理效應、經濟與社會效應。欲減輕或避免這些效應的不良後果，必須及時採取適當的防護與應變行動及民眾溝通技術。從 1979 年美國三哩島、1986 年前蘇聯車諾比以及 2011 年日本福島核能電廠的核子事故顯示，當民眾對政府官員與科學界不信任或有情緒性的時候，很難建立一套採取民眾防護與應變行動判斷的標準。除此之外，從以往的核子事故也顯示，決策者因為缺乏應變行動的標準，以致延遲做出執行防護行動的決定。因此，必須建立核子事故民眾緊急應變與防護行動的操作干預基準(Operational Intervention Levels)，做為決定執行應變行動的標準。

本計畫參考國際原子能總署 IAEA EPR-NPP 2013 報告與國際輻射防護委員會 ICRP 96 號報告，除研究核子事故通報與應變時機、民眾防護行動(包括服用碘片、掩蔽、疏散等)效能分析、健康影響與效應、應變範圍評估外，並研究核子事故緊急應變採取防護行動的操作干預基準，共分為地表沈積劑量率、皮膚劑量率、食物牛奶與飲用水中 I-131 與 Cs-137 濃度、甲狀腺劑量率四類，提供發生國際輻射或核子事故時，中央相關部會採取民眾防護行動、食物管制與醫療照護的決策標準，也可供國內發生輻射或核子事故時，採取相關緊急應變行動的準則。相關操作干預基準及應採取之防護行動，如下各表所述。

操作干預基準	設定值	防護與應變行動
OIL1	離地面 1 公尺高處劑量率：1000 $\mu$ Sv/h	<p><b>立即執行：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1)指示民眾服用碘片；</li> <li>(2)安全疏散行動；</li> <li>(3)注意飲食習慣；</li> <li>(4)停止食用或利用所有當地生產的作物、野生動物(如野菇與獵物)、牛羊奶、雨水、動物飼料；</li> <li>(5)停止所有商品交易，直到評估安全；</li> <li>(6)登記民眾資料與提供輻射偵測、除污作業與醫療照護。</li> </ul> <p>數天內評估民眾輻射劑量以決定是否要就醫檢查或諮詢及追蹤管理。</p>



操作干預基準	設定值	防護與應變行動
OIL2	核子反應停機 ≤ 10 天 離地面 1 公尺高處 劑量率：100 $\mu$ Sv/h	立即執行： (1)指示民眾暫時離開家園與注意飲食習慣； (2)停止食用或利用所有當地生產的作物、野生動物(如野菇與獵物)、牛羊奶、雨水、動物飼料。
	核子反應停機 > 10 天 離地面 1 公尺高處 劑量率：25 $\mu$ Sv/h	7~30 天內： (1)登記輻射影響區內民眾名冊； (2)安排可能高輻射曝露地區民眾安全疏散，暫時離開家園； (3)評估民眾輻射劑量以決定是否要就醫檢查或諮詢及追蹤管理。

操作干預基準	設定值	防護與應變行動
OIL3	離地面 1 公尺高處 劑量率：1 $\mu$ Sv/h	立即執行： (1)停止食用或利用所有當地生產的作物、野生動物(如野菇與獵物)、牛羊奶、雨水、動物飼料； (2)停止所有商品交易，直到評估安全。  數天內： (1)由外部補給食物、牛羊奶、水等基本民生物資，否則疏散民眾暫時離開家園； (2)登記與評估民眾食用或飲用當地生產的作物、牛羊奶、雨水的輻射劑量，決定是否要就醫檢查或諮詢及追蹤管理。

操作干預基準	設定值	防護與應變行動
OIL4	距離皮膚 10 公分處 劑量率：1 $\mu$ Sv/h	立即執行： (1)尚未服用碘片者，要求服用碘片； (2)指示民眾注意飲食習慣； (3)登記所有接受偵測的民眾資料與紀錄偵測結果； (4)超過 OIL4 民眾進行除污與提供醫療照護； (5)保證負責治療與運送受到輻射污染民眾的人員穿戴適當的防護防止受到感染。 數天內：評估民眾輻射劑量以決定是否要就醫檢查或諮詢及追蹤管理。



操作干預基準	設定值	防護與應變行動
OIL7	食物、牛奶、飲用水中 I-131 活度： 1000 貝克/公斤	(1)停止食用或利用當地的食物、牛奶或水； (2)由外部補給食物、牛奶、水等物資，否則疏散民眾暫時離開家園； (3)評估民眾食用或利用超過 OIL7 的食物、牛奶、飲用水的輻射劑量，以決定是否要就醫檢查或諮詢及追蹤管理。
	食物、牛奶、飲用水中 Cs-137 活度： 200 貝克/公斤	

操作干預基準	設定值	防護與應變行動
OIL8	7 歲(含)以下孩童甲狀腺 劑量率：0.5 $\mu$ Sv/h	立即執行： (1)尚未服用碘片者，要求服用碘片； (2)指示民眾注意飲食習慣； (3)登記所有接受偵測的民眾資料與紀錄偵測結果； (4)超過 OIL8 民眾提供醫療照護。 數天內： 評估超過 OIL8 民眾的甲狀腺劑量，以決定是否要就醫檢查或諮詢及追蹤管理。 (註：曝露後要連續六天偵測甲狀腺劑量率)
	7 歲以上民眾甲狀腺 劑量率：2 $\mu$ Sv/h	

#### 4.1.2 研究核子或輻射事故民眾溝通技術

從以往發生核子或輻射事故的緊急應變經驗中，與民眾溝通也是一項重要的議題。民眾溝通作業不單是面對民眾的意見交流，也包括緊急事件前整備階段與事件期間應變階段提供或傳達民眾所需之軟硬體資料或資訊。緊急事件對民眾影響層面，不應僅從專家或應變人員的觀點考慮，也要從一般民眾不同的認知來考量。欲有效達成傳達民眾所需的資訊及民眾溝通工作，最重要的因素係建立一套成功的緊急應變管理系統，將能有助於減輕事故的風險，提供防護行動的支援以及降低負面的心理衝擊，以及得到民眾的信任與信心，有助於顯示緊急應變的成果與確保民眾的福祉。本計畫研究輻射事件發生前如何做緊急溝通的準備與訓練；輻射事件時有效民眾溝通的必要性；以及提供溝通原則與工具，以達成有效的緊急應變行動及減輕事件的影響。

#### 4.1.3 調查歐美日核能電廠廠外演習經費來源

本計畫調查法國、芬蘭、日本與美國政府執行核能電廠廠外演習(如國內核安演習)

之經費來源，做為國內核子事故緊急應變基金運用的參考，結果如下：(1) 芬蘭 Radiation and Nuclear Safety Authority(STUK)緊急整備主管 Ms. Hannele Aaltonen 於 2013.10.2 電郵告知(經由我國駐法經濟合作與開發組織 OECD 代表侯榮輝博士聯絡)，由政府負擔核能電廠廠外演習經費。(2) 法國 Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN) 官員 Dr. Olivier 於 2013.10.2 電郵告知(經由我國駐法經濟合作與開發組織 OECD 代表侯榮輝博士聯絡)，由政府負擔核能電廠廠外演習經費。(3) 2013.10.28 訪問日本原子力基礎工學研究部門(JAEA)，其部門長茅野政道博士告知日本核能電廠廠外演習經費由主管的政府單位負責編列預算支應。(4) 美國聯想法規 10CFR Part 170 (Licensing and inspection services)與 10CFR Part 171 (Annual fees) 規定運轉中核能電廠每部機組每年須提供美金 4,784,000 元給美國核管會 NRC，供 NRC 執行監督核能電廠各項之檢查與稽查之用，也可應用於核能電廠廠外演習(資料來源：NRC Annual Fee Assessment for Small Reactors, October 2010)。

#### 4.2 成果探討

本計畫研究完成之核子事故民眾緊急應變與防護行動之操作干預基準以及民眾溝通技術，可提供做為政府對污染區範圍鑑定、民眾污染防護與醫療救助、農作產品與進出口產品管制的依據，並可做為增修訂相關核子事故緊急應變整備程序書與法規以及採取相關緊急應變行動的準則。

### 五. 檢討與建議

我國周遭國家日本、韓國與中國大陸等均有核能發電廠，發生國際重大如日本福島核能電廠輻射事故時，將對台灣造成重大影響。本計畫建立的國際輻射災害應變技術可以在發生國際輻災時，提供：(1)評估放射性核種在大氣層擴散對台灣的影響，做為政府採取預防措施與穩定民心的工具；(2)環境樣品與進出口產品精確的放射性核種分析，做為政府對污染區範圍鑑定、民眾污染防護與醫療救助、農作產品與進出口產品管制的依據；(3)核子事故民眾緊急應變與防護行動策略，包括民眾溝通技術與操作干預基準等，做為政府增修訂相關緊急應變整備程序書與法規等建立法規基礎及採取緊急應變行動的準則。

本計畫建立之技術，建議未來仍須維持與持續精進。為因應國際或國內發生重大輻射或核子事故，我國「核子事故民眾防護行動規範」修訂亦可參考 IAEA 最新報告 EPR-NPP 2013 報告進行核子事故民眾緊急應變與防護行動之操作干預基準。

## 參考文獻(核能研究所報告)

1. 汪子文(2013),「核子或輻射緊急事故的民眾溝通技術」(INER- 9798)
2. 方新發(2013),「GIS 為基礎之核子事故災難預防與援救資訊平台」(INER-9918)
3. 汪子文、林益弘(2013),「日本核子事故輻射劑量評估模式」(INER-10111)
4. 汪子文、楊雍穆、林益弘(2013),「核子事故民眾緊急應變與防護行動之操作干預基準」(INER-10322)。
5. 彭恩琪、王正忠(2013),「101 年環境試樣放射性核種分析能力試驗總結報告」(INER-10513)
6. 方新發(2013),「氣冷蒸餾裝置於植物樣品氚分析應用」(INER-PT-0085)。
7. 方新發(2013),「人口網格化地理資訊處理系統使用手冊」(INER-OM- 1915R)
8. 方新發(2013),「核設施放射性災害分析技術建立」。