

# 氣象教育進展-以颱風為例之教學與研究

宋偉國<sup>1</sup> 馮信璋<sup>1</sup> 石琦堅<sup>2</sup>

<sup>1</sup>空軍航空技術學院 <sup>2</sup>空軍氣象聯隊

## 摘要

本文回顧氣象教育，從作者進入氣象組至今已近二十年，期間台灣經歷八八風災、全球極端氣候演變，作者嘗試以一位氣象教育人員，回顧氣象教育概況。由於氣象教育議題相當廣泛，本文以颱風教學課程為例，說明氣象系從課程設計到實際教學做初步探討，並兼述近年來畢業生與氣象研究所銜接情形。民國91年氣象系成立，開始二技課程設計，初期期待以軍事氣象課程突顯本系特色，但受限師資背景與員額有限，逐步將課程調整為基礎學科與實務課程之融合，並透過課程規畫使學生與研究所接軌。本系從氣象組高職、專科部到二技暨二專部，均有專科或二技畢業生進入研究所就讀，研究項目以實務為主，例如研究熱對流、颱風路徑等實務問題，發展劇烈天氣研究能力。在課程設計與執行方面，本系從「大氣科學」教導學生認識颱風結構、路徑特性，而後「天氣學」介紹天氣圖上如何分析颱風移動情形，之後在「天氣診斷分析」課程上實際分析與預報颱風路徑。在培訓學生進入研究所之銜接上，「天氣診斷分析」課程內容已引進天氣分析與預報基礎能力，在分析工具上，訓練學生判讀斜溫圖、天氣輔助圖、雷達、衛星、數值模式，並在「專題製作」訓練學生閱讀期刊、下載氣象資料，分組完成颱風等專題研究。學生進入研究所後，本文以成大研究所為例，學生透過GPS衛星反演可降水量進行模式同化，模擬颱風路徑與降水分布，透過這些學習過程，培養軍士官氣象研究能力。未來氣象防災日趨重要，氣象教育亦須與國防大學或民間大學研究所合作，在學生二技教育、部隊歷練、研究所深造三方面更密切銜接，為本軍培養優秀預測報人才。

**關鍵字：**氣象教育、颱風、數值模式

## 一、前言

民國28年12月1日成立本系(空軍航空技術學院軍事氣象系)前身-「航空委員會測候訓練班」，之後歷經雲南、成都、岡山各階段，到明年民國108年將滿80年，近80年期間持續培養國家氣象人才，對國軍氣象人才培訓有重要貢獻。值此80周年紀念之際，回顧本文第一作者剛從台大博士班畢業並服役二年後，於民國86年剛到空軍航空技術學校任職時，適逢氣象教育六十周年，當時透過舉辦氣象研討會慶祝氣象一甲子，主持人為劉廣英老師。當時氣象班已改為氣象組，班隊除了訓練班次外，基礎班隊有高職與專科班。民國91年學校改制升格為學院，成立二技與二專部，氣象組原成員一部分納入戰航管氣象組，由鄧資嘉主教與其他教官

負責氣象訓練。另一部分具有碩博士師資則搭配專科組師資成立軍事氣象系，由宋偉國副教授擔任創系系主任。

本系科設立宗旨為「培育氣象部隊任務特性所需之軍事氣象人才」，二技部軍官氣象教育以預報能力培養為主，二專部士官氣象教育以測報能力為主。另外，二技、二專之畢業生須具備未來深造能力。在教育目標確認後，第一件事就是二技課程設計，原氣象組時代即已有專科部，但二技課程從無到有，當時以台大、中央、文化三所具有氣象科系之院校課程為參考，在教育部技職科系課程規範下，系上老師一起完成第一屆二技93年班課程如圖1a所示。圖中紫色為基礎學理課程，包含「動力氣象」、「天氣學」等學科，黃色區塊為應用課程，包含「衛星氣象」、「雷達氣象」、「數值天氣預報」，核心

課程則為「天氣診斷分析」，學生經過基礎學科訓練後，須具備了解天氣系統結構、天氣分析能力、天氣預報能力。另外，為因應軍事氣象之特色，開了一系列特殊性選修課如「彈道氣象」、「核生化氣象」等特色課程。但受限於專任教師僅五位，且各教師有其學術領域，故於94年班課程除保留「空氣汙染學」外，其餘軍事氣象選修課程簡化為「應用氣象學」、「大氣遙測學」等課程如圖1b。

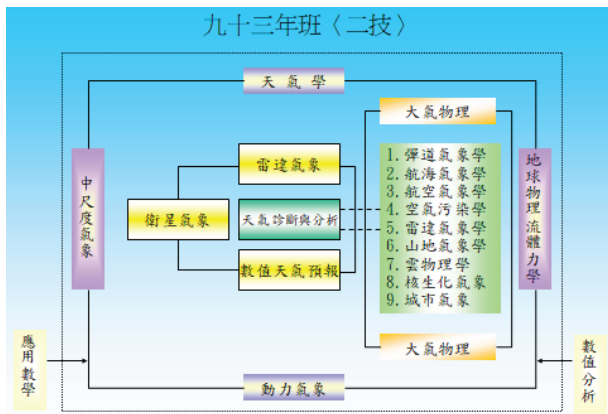


圖1a 空軍航空技術學院二技93年班課程設計概念圖

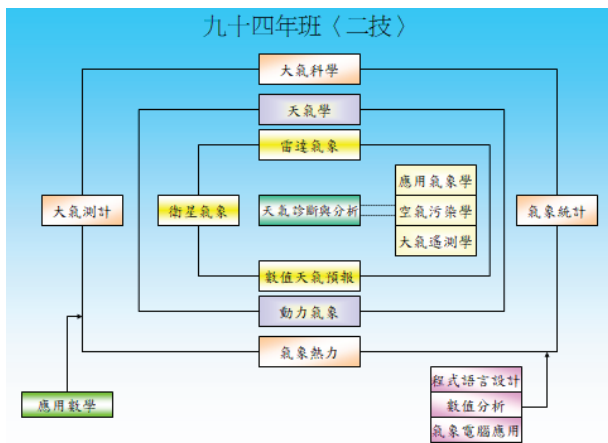


圖1b 空軍航空技術學院二技94年班課程設計概念圖

軍事氣象系課程大致在此架構內底定，之後每年按照當時部隊需要、學生學習情況做細部課程修訂，其中系上核心課程-「天氣診斷分析」增加實習時數，授課內容包含鋒面、梅雨、寒潮、颱風主題，以及如何繪製這些系統天氣圖，甚至預報天氣系統走勢。支持「天氣診斷分析」這門課，需有

「天氣學」、「動力氣象學」為基礎，而「天氣學」、「動力氣象學」之更基礎課程則為「大氣科學」。天氣診斷分析的輔助工具為氣象遙測如衛星、雷達，以及數值預報模式，透過這些課程彼此配合、銜接，使核心課程能培訓學生天氣分析與預報能力。

氣象教育即將邁入八十年，八十年來科技快速進步，高速電腦興起，衛星、雷達遙測技術日新月異，另一方面全球氣候也在轉變中，民國88年台灣遭逢莫拉克颱風侵襲，之後台灣成立「災防中心」、「颱洪中心」，而民間「天氣顧問公司」也興起一批氣象服務人才，為台灣天氣預報與媒體傳播的結合有重要貢獻。面對這些環境的轉變，面對氣象部隊在防災任務日趨重要下，氣象教育除了保持課程架構完整性外，需要在課程內容上做更多的充實與更新，以因應未來氣象任務的挑戰。另一方面，氣象教育涉及師資培訓，本系從專科至二技階段，已有許多畢業生獲得碩博士學資，並返回學校協助氣象教育精進，本文即以颱風議題之教學與研究為例，說明近年來從基礎學科到核心課程，在教學內容之銜接性及氣象人才之培育上，概述本系最近氣象教育的發展。

## 二、颱風議題各階段課程銜接性

二技學生進入本系後，因其背景多非本科系學生，故以「大氣科學」為基礎課程，該科以C. Donald Aherens的「Meteorology Today: An Introduction to Meteorology」為教材，該教材在颱風單元中，從颱風定義、結構、移動路徑、風雨影響做初步介紹。例如圖2a在衛星雲圖上，可以看到不同地區出現颱風形成、發展、消散各階段雲圖，圖中含熱帶積雲簇階段、熱帶氣旋、熱帶風暴、颱風。至於颱風的移動，涉及環境許多因素，造成颱風移動軌跡相當複雜，圖2b顯示侵襲美國颱風各種路徑，颱風移動不僅是拋物線，更有接近陸地時轉折各種可能性。



圖 2a 從衛星看颱風各個階段 (摘自 Meteorology Today)



圖 2b 侵襲美國颱風路徑圖 (摘自 Meteorology Today)

二技學生上完「大氣科學」課程後，一年級下學期開始上「天氣學」課程，通常民間大學到大三才上此門課，本系學生二技一年級雖然是大三學資，但除二專士官回流就讀二技外，多數學生並無上過「流體力學」等物理性課程，因此此階段實際授課時，以介紹天氣系統為主體，在颱風單元方面，介紹從天氣圖分辨颱風結構、颱風與大尺度環流相關性，例如圖3在台灣附近出現颱風，在颱風東側另有一颱風，而颱風北側中國大陸出現鋒面，這些環流是否會引導颱風侵台，在「天氣學」上介紹引導颱風移動的相關理論，當中也介紹渦度方程式、正壓渦度方程式等數理基礎，讓學生對學理與實務結合有初步認識。

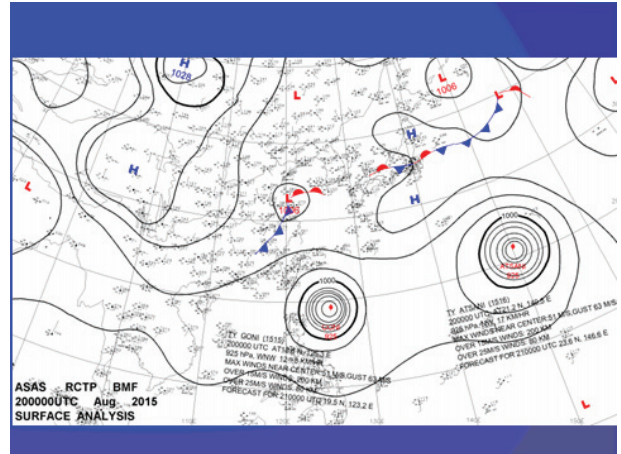


圖 3 天氣圖之颱風與環流分

上完「天氣學」後，二年級開始進入「天氣診斷分析、實習課程」，學生要能運用雷達回波、衛星雲圖、輔助圖、數值模式，綜合判斷天氣系統發展趨勢與預報。由於氣象課程設計包含未來需有深造能力，「天氣診斷分析」課程銜接部隊實務以及學生將來做研究之基礎，故此門課相當重要，授課教師也會隨時將最近天氣情況、分析工具引進課堂中。

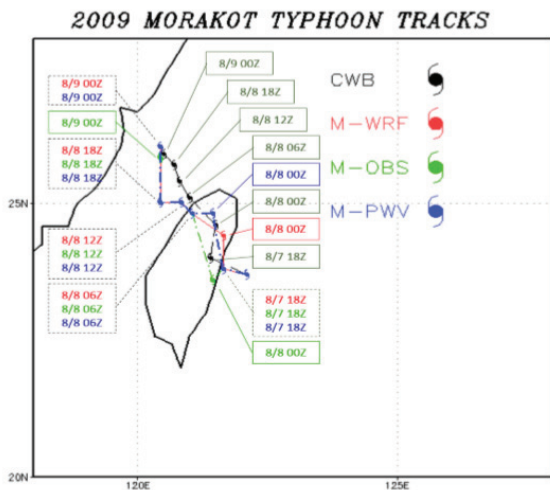
### 三、畢業生在研究所研究颱風現況

本系學生透過二年教育後分發部隊，之後可以用同等學歷或二技學資報考研究所，近幾年來，畢業生或就讀國防大學中正理工學院研究所，或是進入民間一般大學如成功大學、第一科大，顯示本系與民間大學研究所接軌並無明顯困難。

本校學生進入研究所後，或以統計方式，或以模式為研究工具，並配搭現有同化技術，將衛星等現代化遙測技術引進數值模式，研究颱風等相關議題。本節以本校畢業生進入成大為例，說明學生現階段研究颱風之近況。

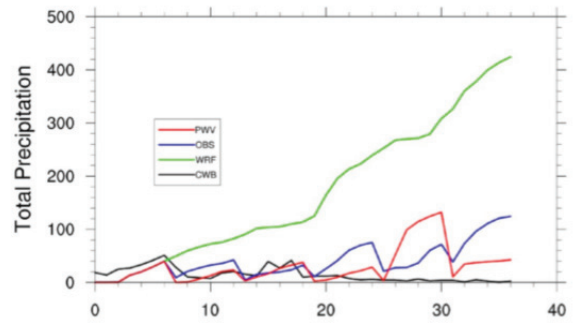
學生在天氣診斷課程中，已上過颱風路徑受大尺度環流、科氏力、地形影響，導致不同颱風強度有不同路徑變化，學生亦在「專題製作」課程學習過閱讀學術期刊、下載資料，以分組方式進行專題製作，故當學生進入研究所後，在閱讀國際期刊、收集氣象資料上已經具備基礎能力。本文作者之

一：馮信璋在成大研究所期間，嘗試將衛星反演得到之GPS可降水量置入WRF模式做同化，分析莫拉克颱風移動路徑與降雨預報。以該論文為例，先收集侵台颱風論文，分析颱風路徑與地形相關性。例如Jang and Chun (2013) [1]分析Saomai(桑美)颱風的移行，顯示受到另一颱風Bopha(寶發)及台灣中山脈影響顯著，Bopha颱風遇到中央山脈產生強度與環境氣流改變，低層氣流與高層氣流結構改變後，導致隨後接近台灣的Saomai颱風路徑產生改變。Wu et. al., (2015)[2]以MM5理想模式模擬熱帶氣旋移動路徑與中央山脈相關性，顯示地形以及狹管效應對於引發颱風路徑偏折有重要影響。由於馮就讀之成大地球科學所有GPS可降水量之資料，且近年來透過遙測資料作模式同化過程，對於颱風路徑的改善視個別個案有所不同(李等，2010[3])，故馮[4]將衛星反演得到之GPS可降水量置入WRF模式做同化，分析莫拉克颱風移動路徑與降雨預報(圖4a-b)，結果顯示雖然颱風路徑並沒有因同化而改善很多，但降水預報結果最接近氣象局觀測值，而單純WRF模式則明顯預報降雨量過高。



2009年莫拉克颱風數值模擬與實際颱風路徑比較圖

圖4a 莫拉克颱風路徑預報與恆春降水預報分析(黑色為氣象局觀測、綠色為WRF控制組模擬、藍色為探空觀測之同化、紅色為可降水量之同化模擬)



恆春測站 (467590) 模擬與實際降水量時序圖

圖4b 莫拉克颱風路徑預報與恆春降水預報分析(黑色為氣象局觀測、綠色為WRF控制組模擬、藍色為探空觀測之同化、紅色為可降水量之同化模擬)

本系另一位畢業生石琦堅現正就讀成大研究所，透過本文第一作者與成大饒瑞鈞教授指導，延續馮[4]研究，將已開發完成之三維同化技術放入WRF。根據馮[4]研究結果，同化時間對模式預報有很大影響，故本文將同化時間調整後，研究結果WRF未經同化處理之模擬(控制組)與同化後(同化組)之颱風路徑與降水比較，同化後之模擬颱風路徑比未同化之模擬結果好很多(圖5)。在降水回波與颱風強度方面，未經同化之控制組與經過同化之降水回波比較(圖6)，2014年9月20日2100UTC二者降水中心位置已經有所不同。颱風強度及路徑之比較(圖7)，控制組模式模擬2014年9月21日0300UTC氣壓比觀測低許多(圖7a)，此時颱風已迅速北移。而三維同化模擬2014年9月21日0300UTC地面氣壓與觀測較為接近，颱風中心仍在沿海附近(圖7b)，顯示透過同化結果，模式模擬颱風位置好很多。

除了上述二位學生外，本系許多系友均已取得研究所學位並在各地提供專業服務，以最近104-105年班為例，94年班二位同學一位已經國防大學畢業，一位正在第一科大就讀，而105年班畢業生今年亦以就讀國防大學，顯示本系在氣象教育課程實施上，已能提供學生至研究所之能力，也預期未來有更多學生進入國防大學或岡山附近研究所深造。

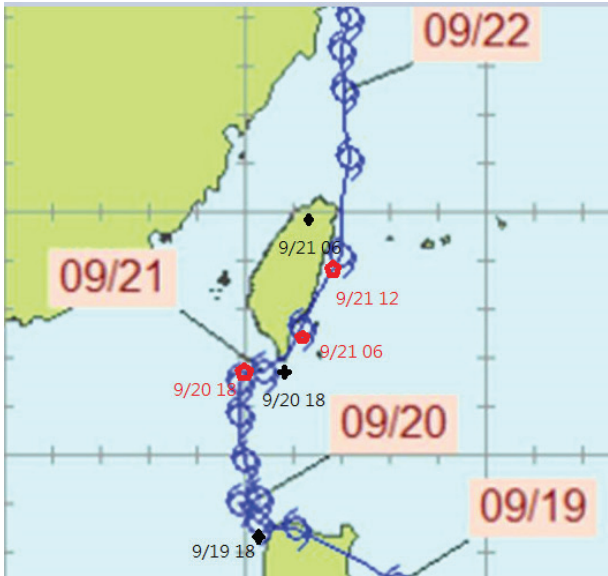


圖5 鳳凰颱風觀測與模擬路徑。藍點為觀測，黑點為未同化之模擬路徑，紅點為經三維同化處理之模擬路徑

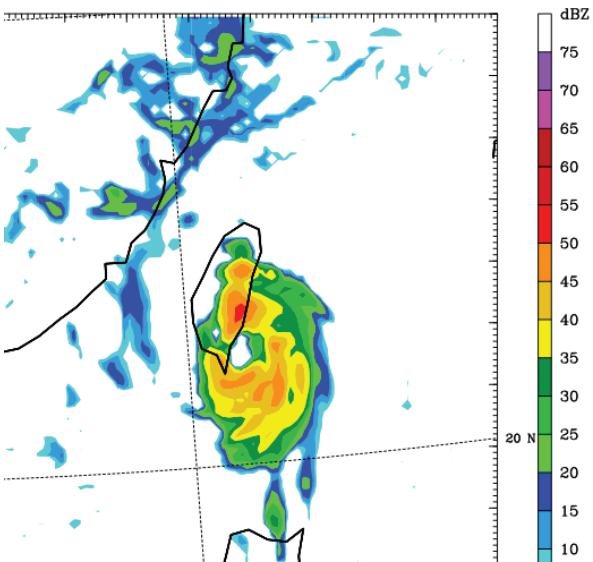


圖6a 控制組之2014年9月20日2100UTC模擬降水回波分佈

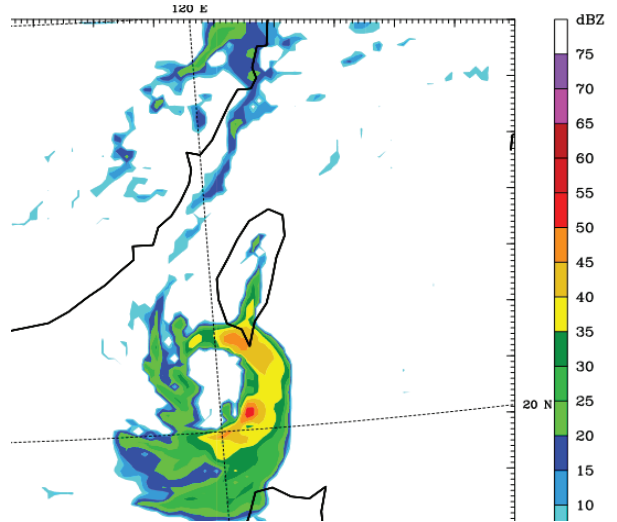


圖6b 同化之2014年9月20日2100UTC模擬降水回波分佈

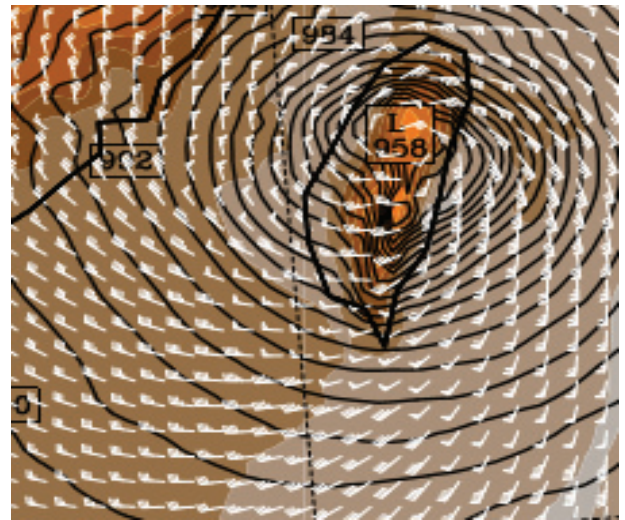


圖7a 控制組模式模擬2014年9月21日03UTC地面氣壓與風場

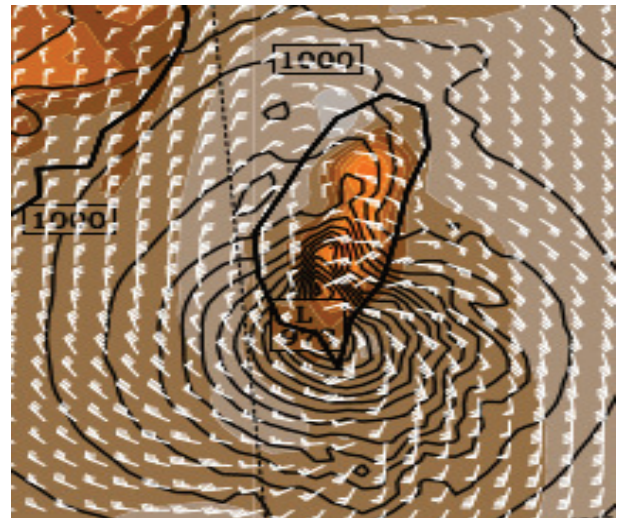


圖7b 三維同化模擬2014年9月21日03UTC地面氣壓與風場

#### 四、結論

本文回顧氣象教育，從作者進入氣象組至今已近二十年，期間台灣經歷八八風災、全球極端氣候演變，作者嘗試以一位氣象教育人員，回顧氣象教育概況。由於氣象教育議題相當廣泛，本文以颱風教學課程為例，說明氣象系從課程設計到實際教學做初步探討，並兼述近年來畢業生與氣象研究所銜接情形。民國91年氣象系成立，開始二技課程設計，初期期待以軍事氣象課程突顯本系特色，但受限師資背景與員額有限，逐步將課程調整為基礎學科與實務課程之融合，並透過課程規畫使學生與研究所接軌。本系從氣象組高職、專科部到二技暨二專部，均有專科或二技畢業生進入研究所就讀，研究項目以實務為主，例如研究熱對流、颱風路徑等實務問題，發展劇烈天氣研究能力。在課程設計與執行方面，本系從「大氣科學」教導學生認識颱風結構、路徑特性，而後「天氣學」介紹天氣圖上如何分析颱風移動情形，之後在「天氣診斷分析」課程上實際分析與預報颱風路徑。在培訓學生進入研究所之銜接上，「天氣診斷分析」課程內容已引進天氣分析與預報基礎能力，在分析工具上，訓練學生判讀斜溫圖、天氣輔助圖、雷達、衛星、數值模式，並在「專題製作」訓練學生閱讀期刊、下載氣象資料，分組完成颱風等專題研究。學生進入研究所後，本文以成大研究所為例，學生透過GPS衛星反演可降水量進行模式同化，模擬颱風路徑與降

水分布，透過這些學習過程，培養軍士官氣象研究能力。未來氣象防災日趨重要，氣象教育亦須與國防大學或民間大學研究所合作，在學生二技教育、部隊歷練、研究所深造三方面更密切銜接，為本軍培養優秀預測報人才。

#### 五、參考文獻

- Jang Wook and Chun Hye-Yeong, 2013: The effects of Topography on the Evolution of Typhoon Saomni(2006) under the Influence of Tropical Storm Bopha(2006). *Mon. Wea. Rev.*, 141, 468-489.
- Wu Chun-Chieh, Li Tsung-Han, and Huang Yi-Hsuan, 2015: Influence of Mesoscale Topography on Tropical Cyclone Tracks Further Examination of the Channeling Effect. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 72, 3032-3050.
- 李精進、汪建良、陳萬金，2010：氣象遙測資料同化對颱風模擬之影響。氣象預報與分析，空軍氣象聯隊，39, p25-36。
- 馮信璋，2018：GPS可降水量資料同化分析—以2009年莫拉克颱風為例。成大碩士論文。