

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

地形對降水系統影響之雷達觀測研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2119-M-034-002-

執行期間：92年12月01日至93年07月31日

執行單位：中國文化大學大氣科學系

計畫主持人：游政谷

計畫參與人員：邱國娟(碩士班研究生)

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 1 日

## 一、計畫摘要

### (一) 中文摘要

許多劇烈天氣(豪雨、強風)的發生常是透過地形與綜觀天氣系統的交互作用，很多過去的理論研究已針對乾大氣下之地形效應進行探討，這使得我們對於氣流受地形影響下之基本動力有所瞭解。然而相反地，由於地形附近常缺乏高解析度的觀測資料，而且伴隨降水的非絕熱效應常導致問題的複雜化，這使得我們對於地形降水的瞭解非常有限。

本研究計畫主要的科學目的在於藉著地形附近所收集的高解析度都卜勒雷達資料(包括台灣地區雷達資料與其他中尺度實驗計畫所收集的雷達資料)來檢視地形效應對降水系統的影響，而研究方向將同時著重地形上游效應(Upstream Effects)與地形斜坡強迫機制(Upslope Forcings)的探討。

關鍵詞：地形降水，地形上游效應，都卜勒雷達

### (二) 英文摘要

It has been recognized that interactions between synoptic systems and orography can result in the occurrence of severe weather (such as heavy rainfall and high winds). The fundamental dynamics of orographic effects have been explored in previous observational and modeling studies for the special, idealized case of adiabatic condition (i.e., without precipitation). In contrast, our understanding of orographic precipitation is largely limited due to the lack of high-resolution observations in the vicinity of topography.

In this study, detailed ground-based and airborne Doppler radar observations collected from the Taiwan area and recent mesoscale field experiments are used to document the mesoscale impact of orography on the modification of atmospheric airflow and precipitation. Both the upstream effect and the upslope forcing will be investigated.

Key words : orographic precipitation, upstream effect, Doppler radar

## 二、研究計畫之背景及目的

在世界各地許多劇烈天氣的發生(如強風、豪雨)常是透過地形與綜觀天氣系統的交互作用(Kuo and Chen 1990; Bond et al. 1997; Bougeault et al. 2001)，很多過去的理論研究已針對乾大氣下之地形效應進行廣泛探討(Smith 1979)，這使

得我們對於氣流受地形影響下之基本動力有所瞭解；然而相反地，我們對於瞭解地形與降水的相關則相當有限。雖然過去我們對於各種地形降水的型態有所基本認識(Houze et al. 1998)，但由於缺乏地形附近高解析度的觀測資料，而且伴隨降水的非絕熱效應常導致問題的複雜化，這使得我們無法對該科學議題作深入探討。

1970年代之後雷達觀測技術的進步，讓我們有機會去研究地形附近降水的中尺度結構。早期研究學者(Hobbs et al. 1975; Parsons and Hobbs 1983; Trier et al. 1990)利用單都卜勒雷達資料去檢視鋒面降水如何受地形影響而改變其分佈與強度，雖然他們提供一些有趣的初步概念，不過因為缺乏雙都卜勒雷達觀測，這些早期研究並無法分析山區附近詳細的三維風場結構，而它與降水的物理相關也不甚清楚。隨著近期一些中尺度實驗計畫的進行與研究(如1987 TAMEX, Kuo and Chen 1990; 1993&1995 COAST, Bond et al. 1997; 1997 CALJET, Ralph 1997)，許多研究學者已藉著詳細的雙都卜勒雷達觀測與中尺度數值模式，對地形與降水的關係作進一步的探討(Braun et al. 1997; Yu and Smull 2000; Chien et al. 2001; Doyle and Bond 2001; Yu et al. 2001; Colle et al. 2002; Yu and Bond 2002)。這些研究結果指出了地形上游阻礙(Upstream Blocking)的重要性以及說明該地形效應如何對天氣系統內部風場結構及降水強度造成影響。

由於高解析度觀測資料主要集中在地形上游區域收集，因此這些先前所提及的研究工作常侷限在對於地形上游效應(Upstream Effects; Pierrehumbert and Wyman 1985)的檢視，至於與地形斜坡相關的降水機制並沒有探討。然而，大部分的地形降水型態都與伴隨地形斜坡的動力強迫有關，因此如何拓展我們對於地形降水的認識仍有賴進一步的實驗觀測與分析。另外需要提及的是，1999年晚秋初冬，在義大利北部阿爾卑斯山區所進行的“阿爾卑斯山中尺度實驗計畫”(MAP, Mesoscale Alpine Program, Bougeault et al. 2001)是一個結合地面及飛機都卜勒雷達密集觀測的國際大型研究計畫，其主要的科學探討重心在於了解山區局部豪大雨的降水動力過程。有別於過去的外場中尺度實驗(如COAST與CALJET)，MAP之實驗區域及季節常常具有對流不穩定性的環境大氣條件，而且在山地斜坡及其上游區皆有密集都卜勒雷達觀測資料收集，所以將可提供我們廣泛檢視地形效應及其對於深對流降水的影響。

在台灣方面，從過去一些個案研究(TAMEX期間與TAMEX之後)我們已大略認知到暖季(即梅雨與颱風季節)豪雨或強風的發生常與台灣地形有所關連(Lin 1993; 林與郭 1997; Li and Chen 1998)。從台灣豪大雨事件(>100 mm/day)在梅雨季的氣候頻率分佈(陳與楊 1988)顯示梅雨季豪雨頻率之極大值位於台灣西南部中央山脈西側的斜坡上，而且其極值軸心從中央山脈西側斜坡向西南延伸到沿岸平原地區，此結果強烈暗示著地形效應的重要性以及它與強降水事件的密

切相關。另外，對於侵台的颱風而言，其外圍環流與地形的交互作用也常造成局部豪雨的發生(張2000; Wu et al. 2002)。然而，受限於都卜勒雷達資料的缺乏，以往我們對於這些降水系統的了解只能透過低解析度的傳統觀測資料或透過數值模擬來進行。隨著近年來國內地面氣象都卜勒雷達全島觀測網的陸續建置完成，它提供了一絕佳機會來檢視發生於台灣本島及附近海域的降水系統，並探討地形(斜坡)在這些降水系統可能扮演的角色。另外如我們所知的，台灣梅雨季節環境大氣常具有明顯的對流性不穩定度，與MAP實驗計畫地理位置的環境條件類似，因此我們可預期的是，透過MAP的研究經驗與成果，對於台灣梅雨季地形降水方面的研究將有重要參考價值。

本研究計畫主要的科學目的在於藉著地形附近所收集的高解析度都卜勒雷達資料(包括台灣地區雷達資料與其他中尺度實驗計畫所收集的雷達資料)來檢視地形效應對降水系統的影響，而研究方向將同時著重地形上游效應(Upstream Effects)與地形斜坡強迫機制(Upslope Forcings)的探討。

### 參考文獻

- 陳泰然與楊進賢，1988：台灣梅雨期豪雨之時空分佈特徵。大氣科學，16，151 – 162。
- 林熹閔與郭鴻基，1997：1994 年南台灣夏季午後對流之研究。大氣科學，24，249-280。
- 張保亮，2000：登陸中颱風環流變化分析：賀伯(1996)個案研究。國立台灣大學大氣科學研究所博士論文，158 頁。
- Bond, N. A., C. F. Mass, B. F. Smull, R. A. Houze, Jr., M.-J Yang, B. A. Colle, S. A. Braun, M. A. Shapiro, B. R. Colman, P. J. Neiman, J. E. Overland, W. D. Neff, and J. D. Doyle, 1997: The Coastal Observations and Simulations with Topography (COAST) experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 1941-1955.
- Bougeault P., P. Binder, A. Buzzi, R. Dirks, R. Houze, J. Kuettner, R. B. Smith, R. Steinacker, and H. Volkert, 2001: The MAP Special Observing Period. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **82**, 433-462.
- Braun, S. A., R. A. Houze, Jr. and B. F. Smull, 1997: Airborne dual-Doppler observations of an intense frontal system approaching the Pacific Northwest coast. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 3131-3156.
- Chien, F.- C., C. F. Mass, and P. J. Neiman, 2001: An observational and numerical study of an intense landfalling cold front along the northwest coast of the United States during COAST IOP 2. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 934-955.
- Colle, B. A., B. F. Smull, and M.- J. Yang, 2002: Numerical simulations of a

- landfalling cold front observed during COAST: Rapid evolution and responsible mechanisms. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 1945-1966.
- Doyle, J. D., and N. A. Bond, 2001: Research aircraft observations and numerical simulations of a warm front approaching Vancouver Island. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 978-998.
- Hobbs, P. V., R. A. Houze, Jr., and T. J. Matejka, 1975: The dynamical and microphysical structure of an occluded frontal system and its modification by orography. *J. Atmos. Sci.*, **32**, 1542-1562.
- Houze, R. A., Jr., J. Kuettner and R. Smith, Eds., 1998: Mesoscale Alpine Programme U.S. Overview Document and Experiment Design. UCAR, Boulder, Colorado (available from UCAR via email request to [rjm@ucar.edu](mailto:rjm@ucar.edu)).
- Kuo, Y.-H., and G. T.-J. Chen, 1990: The Taiwan Area Mesoscale Experiment (TAMEX): An overview. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 488-503.
- Li, J., and Y.-L. Chen, 1998: Barrier jets during TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 959-971.
- Lin, Y.-L., 1993: Orographic effects on airflow and mesoscale weather systems over Taiwan. *Terrestrial Atmos. Oceanic Sci.*, **4**, 381-420.
- Parsons, D. B., and P. V. Hobbs, 1983: The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. IX: Some effects of orography on rainbands. *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1930-1949.
- Pierrehumbert, R. T., and B. Wyman, 1985: Upstream effects of mesoscale mountains. *J. Atmos. Sci.*, **42**, 977-1003.
- Ralph, F. M., 1997: The California Land-Falling Jets Experiment (CALJET). NOAA/ERL/Environmental Technology Laboratory, Boulder, Colorado.
- Smith, R. B., 1979: The influence of mountains on the atmosphere. *Advances in Geophysics*, **21**, Academic Press, 87-230.
- Trier, S. B., D. B. Parsons, and T. J. Matejka, 1990: Observations of a subtropical cold front in a region of complex terrain. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 2449-2470.
- Wu, C.-C., T.-H. Yen, Y.-H. Kuo, W. Wang, 2002: Rainfall Simulation Associated with Typhoon Herb (1996) near Taiwan. Part I: The Topographic Effect. *Wea. and Forecasting*, **17**, 1001-1015.
- Yu, C.-K., and B. F. Smull, 2000: Airborne Doppler observations of a landfalling cold front upstream of steep coastal orography. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1577-1603.
- Yu, C.-K., B. J.-D. Jou, and D. P. Jorgensen, 2001: Retrieved thermodynamic structure of a subtropical, orographically influenced, quasi-stationary convective line. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 1099-1116.

Yu, C.- K., and N. A. Bond, 2002: Airborne Doppler observations of a cold front in the vicinity of Vancouver Island. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2692-2708.

### 三、研究工作執行

為了達到本研究計劃的科學目的，研究工作進行如下：

針對發生在台灣地區與阿爾卑斯山區的降水系統，利用地面都卜勒雷達資料與飛機都卜勒雷達資料來進行詳細的個案研究分析，而為了瞭解深對流降水與地形的關係，具有對流不穩定環境大氣條件的個案將列為優先的優先選取對象。由於在地形附近所收集的雷達資料常包含非大氣現象的地形及地面回波，這些雜波會顯著降低觀測降水場與風場的正確性，事實上對於利用雷達資料研究地形降水而言，這是一個關鍵且具挑戰性的問題。因此，如何能夠正確地將這些地面雜波從雷達資料中去除將是本研究計畫技術發展的重點。而本研究計畫會先針對飛機都卜勒雷達資料處理部份來進行技術發展。

### 四、研究成果說明

研究成果從二方面來作簡短說明:

(一) MAP 實驗計畫飛機(雙)都卜勒雷達觀測資料的分析—此方面的研究重點可分為兩部份。一為個案研究分析部份;目前已針對個案 IOP#5 進行地面與飛機都卜勒雷達資料分析,此個案的獨特性在於其具有組織性深對流的中尺度特徵,而且山區的飛機雷達觀測資料也相當完整,提供研究地形降水機制的好個案。另一研究重點為雷達資料處理技術部份;由於MAP飛機都卜勒雷達資料絕大部份都是在山區收集,飛機都卜勒雷達之天線為一前一後連續性的傾斜垂直掃描,所以其資料中會包含顯著的地形及地面回波,如何能夠正確地將這些雜波從雷達資料中去除與如何從山區觀測資料反求得飛機各種飛行角度(位置、速度)的誤差是一個重要且具有挑戰的問題,唯有準確掌握這些不確定性,才能獲得在山區附近合理且正確的風場與降水資訊。而這部份的技術發展重點包括了雷達地面雜波客觀(自動)去除及各種飛機航空誤差(navigation errors)求取與其伴隨之雷達風場修正。關於MAP IOP#5之相關研究結果正在進行彙整,而論文的撰寫也正在預備當中。

(二) 台灣地區氣象都卜勒雷達觀測資料的分析—此部份的研究工作著重在台灣本島或沿岸發展的個案研究分析,現階段已針對發生在梅雨季台灣東南部外

海之線狀對流進行分析，而其研究成果已投稿至 *Monthly Weather Review* 期刊，目前正在根據審稿者意見修定論文當中。另外一個研究議題為台灣冬季降水分佈特性與地形效應相關之探討，目前由碩士班研究生進行傳統觀測資料與都卜勒雷達資料之分析工作，近期內將會有相關的研究成果。

## 五、研究成果著作 (近五年已投稿或發表著作)

### (A) 期刊論文

Yu, C.- K., and B. J.-D. Jou, 2004: Radar observations of the diurnally forced offshore convective lines along the southeastern coast of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, accepted with revision. (SCI)

林品芳、周仲島與游政谷，2003：北台灣夏季雷暴之雙都卜勒雷達分析。大氣科學, **31**, 333-354。

Yu, C.- K., and N. A. Bond, 2002: Airborne Doppler observations of a cold front in the vicinity of Vancouver Island. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2692-2708. (SCI)

Yu, C.- K., B. J.- D. Jou, and D. P. Jorgensen, 2001: Retrieved thermodynamic structure of a subtropical, orographically influenced, quasi-stationary convective line. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 1099-1116. (SCI)

Yu, C.- K., and B. F. Smull, 2000: Airborne Doppler observations of a landfalling cold front upstream of steep coastal orography. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1577-1603. (SCI)

Yu, C.- K., B. J.-D. Jou and B. F. Smull, 1999: Formative stage of a long-lived mesoscale vortex observed by airborne Doppler radar. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 838-857. (SCI)

### (B) 研討會論文

Yu, C.- K., 2004: Upstream Influences of Orographic Blocking on Precipitation Associated with Landfalling Fronts: An Overview and Perspective. *Preprints*, 8<sup>th</sup> Atmospheric Sciences Conference, Taoyuan, 247-250.

Yu, C.- K., D. P. Jorgensen, and F. Roux, 2003: Airborne Doppler Observations of a Cold Frontal System Encountering the Eastern Alps during MAP IOP5. *Proceedings*, 31<sup>th</sup> International Conference on Radar Meteorology, Seattle, Washington, 6-12 August 2003.

林品芳、周仲島與游政谷，2002：北台灣地區雷暴之形成機制與結構特徵。海峽兩岸大氣科學研究生學術研討會，台北，35-37。

Yu, C.- K., and B. J.- D. Jou, 2002: Characteristics and Formative mechanism of the Offshore Convective lines along the Southeastern Coast of Taiwan. *Proceedings*, International Conference on Heavy Rainfall/Snowfall in East Asia, Tokyo, Japan, 491-496.

- Yu, C.- K.**, 2001: Airborne Doppler observations of a strongly retarded cold front upstream of coastal orography. *Preprints*, 7<sup>th</sup> Atmospheric Sciences Conference, Taipei, 45-49.
- Yu, C.- K.**, and B. J.- D. Jou, 2001: Single Doppler radar observation of the offshore convection along the southeastern coast of Taiwan. *Proceedings*, International Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon in East Asia, Taipei, Taiwan, 76-81.
- Yu, C.- K.**, F. Roux, and D. P. Jorgensen, 2001: Airborne Doppler observations of a convective system over the eastern Alps during MAP IOP5. *Preprints*, 30<sup>th</sup> International Conference on Radar Meteorology, Munich, Germany, 530-532.
- Yu, C.- K.**, P.- L. Chang, C.- M. Chou, and B. J.- D. Jou, 2000: A preliminary Doppler radar analysis of Typhoon Xangsane (2000). Workshop on the Location of Tropical Cyclone, 8-9 December, Hongkong Observatory, Hongkong, China.
- Yu, C.- K.**, and B. J.- D. Jou, 2000: Radar observation of diurnally forced moist convection along the southeastern coast of Taiwan. *Proceedings*, 4<sup>th</sup> workshop on Recent Development of Radar Meteorology, Taipei, Taiwan, 55-66.
- Yu, C.- K.**, and C.- H. Liu, 2000: Green Island and Kendin radar observational strategy during GIMEX. Planning workshop on Green Island Mesoscale Experiment, Taipei, 62-68.
- Yu, C.- K.**, B. F. Smull, and B. J.- D. Jou, 2000: Aircraft observation of a landfalling Pacific front upstream of Vancouver Island. *Proceedings*, Atmosphere Conference on Weather Analysis and Forecasting, Central Weather Bureau, Taipei, 96-100.
- Yu, C.- K.**, B. J.- D. Jou, and D. P. Jorgensen, 2000: An orographically influenced convective line observed by airborne Doppler radar during TAMEX. *Preprints*, International Conference on Mesoscale Convective Systems and Heavy Rain in East Asia, Seoul, Korea, 217-222.
- Hsu, W.- R., and **Yu, C.- K.**, 2000: GIMEX Science Plan. Planning workshop on Green Island Mesoscale Experiment, Taipei, 31-61.
- Smull, B. F., **Yu, C.- K.**, and B. A. Colle, 2000: Rapid evolution of a landfalling cold front upstream of steep coastal orography. Pacific Northwest Weather Workshop, 4-5 February, Seattle, Washington.
- Yu, C.- K.**, 1999: Modulation of frontal circulations and precipitation by coastal orography. *Proceedings*, 3<sup>rd</sup> Workshop on Recent Development of Radar Meteorology, Taipei, Taiwan, 60-67.