

空軍與臺灣中尺度實驗計畫及「渦度偶極子」對局部豪雨之作用

劉廣英¹ 蕭玲鳳² 張培臣³

¹ 中國文化大學理學院

² 中央氣象局科技中心

³ 空軍氣象中心

摘要

民國70(1981)年5月28日晨桃竹苗一場豪雨，對當地居民與全國經濟都有重大傷害，但確開啟了我國氣象的新里程。該個案可視為國內開啟中尺度氣象研究與建立新技術之鑰。75年5、6月執行之「臺灣地區中尺度實驗(TAMEX)」更是我國與美國合作的創舉，成果受到國際重視。期間空軍的貢獻有目共睹，功不可沒。本文作者¹，首先以身歷其境者的身份回顧當年我們做過的重要工作；其次概略介紹80餘年前的西北考察團，以證明我們的貢獻其來有自，實非偶然。而後以3人的力量，對「528豪雨」個案進行再分析，以探索豪雨發生之徵兆。

實驗期間空軍不但所有之測站全部投入，並一肩承擔漁訓一號海上探空作業，以及緊急支援東沙探空所需設備與人力，備極辛勞。更珍貴的是所得結果深獲參與者一致的肯定，成為科學圈稱譽的成功實例。當時擔任指導委員會招集人的劉兆玄先生就常提及TAMEX的成就不只有看得見的部分，更寶貴的是團隊精神的充分表現。

「528豪雨」發生後，進行診斷分析者甚眾，結果對實驗規劃都有貢獻。本文特針對綜觀特徵進行再分析，結果發現，除原有論述外，下對流層「渦度偶極子」所造成之強北風，與通過台灣之暖溼西南風輻合，與垂直非地轉風，是引起局部強對流的重要原因。

一、前言

民國76年5月1日至6月31日實施之臺灣地區中尺度實驗計畫(TAMEX)，至今已逾20年。我國氣象界此一學術壯舉可比美已滿80周年，即民國16年組成的「中瑞(典)西北考察團」。也可以說兩者一脈相傳，說「先有西北考察團後有TAMEX」恐亦不為過，因為主導此計畫的專家學者無一不是當年參加考察團且從事實地調查工作老師們的第一、第

二甚或第三代的學生。而空軍之能扮演如此重要角色，更是團中劉師衍淮與李憲之(亦曾任教空軍氣象班，後留任北京大學)兩位氣象觀測員於任務結束後，同至德國柏林大學進修，並於獲得博士學位後返國任教的貢獻。查該團由瑞典地理學家，也是探險家，更是政治人物的斯文哈定(Seven Hedin, 1865-1952)籌劃。這位曾於1893-1897年間，由蘇聯出發經帕米爾與西藏兩高原到達

當時北京的青年，後來雖因在第一次世界大戰中支持德國而被歐亞各國政府抵制，但也因此獲得一心想開闢歐亞航線之德國航空公司支持，而組成中瑞考察團，也就是我們說的西北考察團。由團員中8位是飛行機師，就可見當時德國人的想法，而團中專設氣象組並由德國柏林大學教授郝德（Waldemar Haude）負責，更證明探測大氣狀況以規劃東飛航線至少是考察團的重要目標之一。郝德當時招收北京大學物理系學生劉衍淮等4人為團中的氣象觀測員，沿考察路線，設站並實施地面與高空觀測。據劉師自述（劉，1966，1982），當時氫氣由駱駝載運，沿途共施放343次測風氣球（pilot balloon），最高記錄為2萬公尺，另進行風箏探空觀測123次，最高記錄為3千公尺。準此，西北考察團之氣象作業，無論在空間或技術上都開啟了我國現代氣象學的大門；以風箏帶儀器做高空氣象觀測更是亞洲創舉，可見我國現代氣象科學就是由國際合作之野外實驗開始。可惜的是4位氣象員中的1人「殉職於額濟納河畔」（劉，1966，文中未提姓名），讓人不勝唏噓。TAMEX是由我們自己提出規劃書，而後獲得美國學者的認同，並積極參與，當然是青出於藍而勝於藍的表現。所謂「江山代有才人出」正是此意。20年是一個值得紀念的日子，是緬懷過去以策勵未來的時間，尤其是當此西南氣流已成臺灣境內豪大雨的主角之時，回顧也許可以視同交棒，希望能讓氣象界再創新高峰。

二、TAMEX 緣起

民國70年5月28日清晨一場豪雨，讓大家體驗到大自然威力與天氣預報困境。約1年劉兆玄教授擔任國科會企劃處長，臺灣大學大氣科學系主任蔡清彥與陳泰然教授分任企劃處與自然處大氣科學學門協調人時，正當前一年發生「528」桃竹苗豪雨巨災之後。當時淹水、土石流、滑坡等情形為大家所重視，因而有「國家型（原稱大型）防災研究計畫」之推動，並以臺大顏清連與蔡清彥兩位教授為召集人。氣象災害之研究計畫由陳泰然與中央氣象局吳局長宗堯負責規劃。他們承續「台灣地區災變天氣研討會」（國科會，1978）的結果，認為解決梅雨期豪雨預報問題是具有急迫性的事，因而提出為期3年（73年7月至76年6月）總經費達900萬之「劇烈中尺度暴雨試驗」中程計畫一種。經氣象界於72年9月16日與11月24日兩次公開討論，確定於次（73）年2至7月完成可行性研究，並提出報告，以供氣象界做定奪。

三、可行性研究結果與第一階段實驗

可行性研究結果不但對實驗之推動給予肯定，並提出4項建議，即（一）於75年6、7月舉行第一階段（預）實驗，做為國內的熱身動作；（二）正式實驗於76年梅雨季舉行，並以中美合作方式，邀請美國學者參加以借重他們由風暴計畫（STORM）所獲得之經驗，強化我們外場實驗能力；（三）引進美國大氣科學研究中心（NCAR）CP-4氣象雷達，

與WP-3D氣象飛機等貴重儀器設備，以增進實驗之全面性與科學內容。(四)將民航局改以空運方式將已購買之都卜勒氣象雷達儘速運回並架設，以即時參加實驗觀測。在中央氣象局吳宗堯與臺大陳泰然主持下，75年的預實驗非常成功，充分證明國內各單位與學者不但學術與技術均可承擔實驗重責，且合作無間運行順暢，當時曾獲得劉處長兆玄等科學界人士的讚揚。當年11月美方就有11所大學與3個研究機構的40餘位教授組成「實驗設計委員會」，並推舉旅美學者郭英華博士為主席。隨即函邀研究團隊於12月3、4兩天在美國大氣科學研究中心(NCAR)舉行雙方合作之工作會議，會後各項準備工作已然就緒，創世之作的「TAMEX」就正式昂首起步了！

根據空軍氣象聯隊大事記記載，預實驗期間所屬各站均全程(75年5、6月)配合指揮中心要求執行之觀測與各項任務，其中5月12日與21至22日3天曾執行密集觀測，每日施放8次探空觀測。實作中，每次觀測，連同放球前準備時間，約需2小時左右，每3小時完成一次，可說沒有時間休息，其辛苦可想而知。但軍人執行任務的精神與決心就在於有毅力。在民國97年西南氣流實驗計畫實施中，空軍袍澤仍然保持這種堅忍之工作精神，因而也是貢獻良多，為實驗功德圓滿作出貢獻。

四、準備過程

諺曰：「凡事預則立，不預則廢。」TAMEX

計畫之成功首在預備功夫下的夠。不但規畫小組(成員包括氣象局吳宗堯、台大陳泰然、中大張隆男、文大曲克恭、空軍俞家忠與劉廣英等6人)早於民國72年9月16日即已組成，當年11月24日，國科會企劃處「防災科技專案小組」協調人蔡清彥，即召開「劇烈豪雨實驗計畫協調會」，會後氣象界幾乎是全體動員，並隨即極力展開相關準備工作。為確保研究計畫成功，研究團隊先後組團赴美日訪問以集思廣義，相關歷程陳泰然於空軍氣象預報與分析季刊117期，中尺度實驗計畫專刊中有詳細報導(陳，1987)，茲不再贅述。期間規劃小組備極辛勞，而陳泰然教授用心之專，思慮之周，企圖心之強，留給工作團隊極為深刻的印象。猶記得有一天蔡清彥主任在臺大大氣科學系他的辦公室與部分小組成員及學者座談，那時泰然首次提出安排NCAR WP-3D來臺參加實驗之事，當時雖有人認為不太可能。但泰然並不因而放棄，仍然各方張羅，努力爭取，後來飛機不但如大家所願參加了實驗，空軍中校氣象官葉文欽與少校電子官宋得芳還上機執行觀測任務。可見擇善固執與力求突破，在科學工作上亦可發揮功能。

五、空軍在 TAMEX 中的任務

歷經多次中美往返與論證TAMEX內容與目標遂確定，但為判斷計畫可行性，乃於75年5、6月舉行預實驗驗證之，結果很圓滿，TAMEX遂得以順利誕生。該計畫正式向國科會提出時，由陳泰然與吳宗堯共同主持，中

大張隆男、文大曲克恭、空軍俞家忠與劉廣英為協同主持人。並禮聘劉兆玄為指導委員會召集人。計畫設辦公室負管理之責，下設指揮中心負責指揮飛機、都卜勒雷達、傳統雷達、高空、地面等5個外場作業組、預報組負責統籌預報工作，以及後勤支援與資料管理兩個內勤部門，高空（探空與氣球測風）組由空軍氣象中心協調。當時WP-3D以琉球卡地納美空軍基地為起降場，我方登機工作的人員有4梯次共12位。前述空軍軍官葉宋2人與氣象局張修武為第一梯次，由臺大周仲島教授帶隊前往，共執行3次IOP任務，總飛行時間為25.6小時。其中第2次繞臺灣而飛，並特別對臺東近海之中尺度低壓進行詳細的密集觀測（圖1）。葉文欽（1987）對相關過程與機上裝備有詳細介紹。至於傳統觀測，空軍氣象聯隊所屬氣象單位除全部動員外，另派上尉氣象電子官馬榮富與氣象士官林明村上魚訓一號出海施放探空，其間所歷經之驚險與困難實非外人所能體會。電子官鍾嘉琪攜帶RD65A探空儀赴東沙島協助當地人員執行觀測任務。另外，有近20組人員於各地測站或指定地點施放測風氣球，亦是很大的負擔。期間空軍氣象中心負轉發指揮中心作業指令，並派員至TAMEX預報中心（時任副聯長之俞上校家忠負責）值班等重責，亦功不可沒。猶記中美雙方共同舉行TAMEX開幕典禮時，當時的空軍總司令後出任參謀總長的陳一級上將榮齡，親率氣象人員與會，空軍上下對TAMEX之重視可見一斑。

六、氣象精進案與與我國首部都卜勒雷達對 TAMEX 之貢獻

長官重視與氣象聯隊齊心協力的工作，固然是空軍圓滿完成TAMEX任務的原因，但另一項投入可能更具關鍵性，那就是當時空軍已完成於73年奉核定之「氣象精進案」，各項設備已全盤更新，使得任務得心應手。國軍氣象精進案受惠於中央氣象局之作業電腦化專案計畫，而中央氣象局的專案則源於當時的蔣經國總統對減少天然災害的重視。他於聽取氣象局專案計畫報告後，除指示「照案執行」外，並責成參謀總長郝一級上將柏村「應賡續提昇國軍氣象能力」。該指示促成了「國軍氣象精進案」，作者之一（劉廣英）負責規劃、建構、實施等全程工作，且未辱使命，是一項極大的光榮。更重要的是當時一群學有專長之青年幹部的投入，使得能以最少的預算達成最大效果。TAMEX等於是精進案的驗收。因此在當時「天時、地利、人合」，可稱無一或缺，TAMEX之成功好像事屬必然！

就我（劉廣英）個人而言，透過曾是空軍長官，與當時已調任交通部民用航空局劉局長德敏的部屬的關係，修書建請將民航局待採購之氣象雷達改為當年最新式的都卜勒氣象雷達並被接受，應也算是一項畫時代的貢獻。後來在氣象聯隊副聯隊長退伍出任民航局飛航服務總臺副總臺長之祝鴻鵬學長協調下，另一位局長陳嘉儒將軍批准將該雷達

改成空運回國以趕上計畫時程，亦為國爭光不少。該雷達是全球氣象界矚目之首部投入實際作業的都卜勒氣象雷達。後來，在 TAMEX 後續研究中，利用此一雷達資料者甚眾，論文登上國際期刊者亦不在少數，對民航局而言亦算是「投桃報李」，獲得了應有的榮耀。

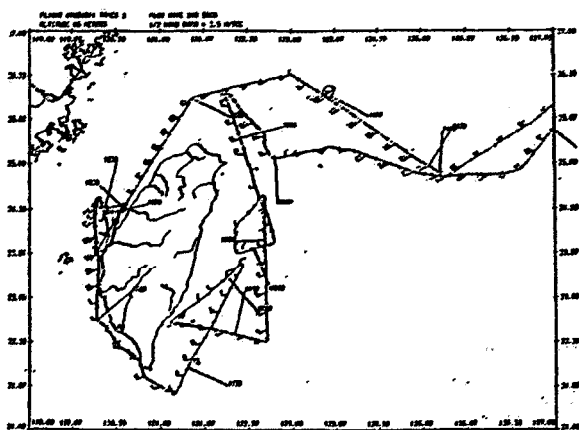


圖 1 WP-3D 飛機第 2 次 IOP 之飛行軌跡圖

七、「528」豪雨事件綜觀系統中的「渦度偶子效應」

如果說民國 68 年國科會舉辦之災變天氣研討會，是氣象界重視豪大雨成災的證明，發生於 70 年 5 月 28 日清晨 9 點以前的一場暴雨則是 TAMEX 的催生者。藉由此回顧的機會，重溫一下當時大氣的綜觀狀況，不但強化回顧之重要性，亦可找出一些可供西南氣流實驗參考的觀測重點。根據空軍桃園機場天氣中心的記錄，民國 70 年 5 月 28 日全日時雨量分布如圖 2 所示。時雨量超過 15 mm 的時段分別在 0300L，0500 至 0600L，及 0800 至 0900L 三段，其中後兩次的時雨量

更大於 40 mm。

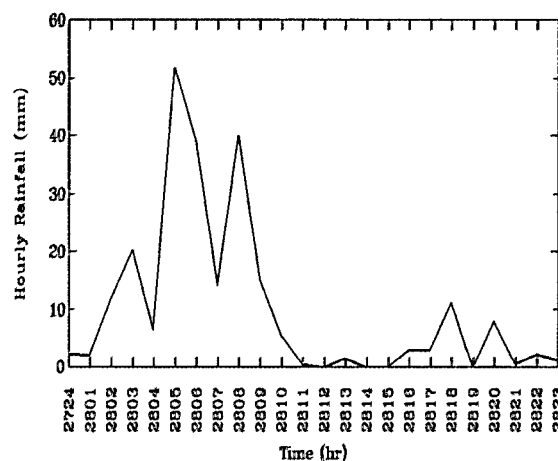


圖 2 空軍桃園天氣中心「528」時雨量分布圖

圖 3 是當日 0700L 之 GMS 紅外線衛星雲圖。圖中可見到 a,b,c 三個對流雲系（紀與陳，1984）。與降雨時間對比的結果顯示，只有 b,c 兩個對流雲系影響桃竹苗地區。預報之壓力就是來自觀測到的對流雲系何時或會不會來？

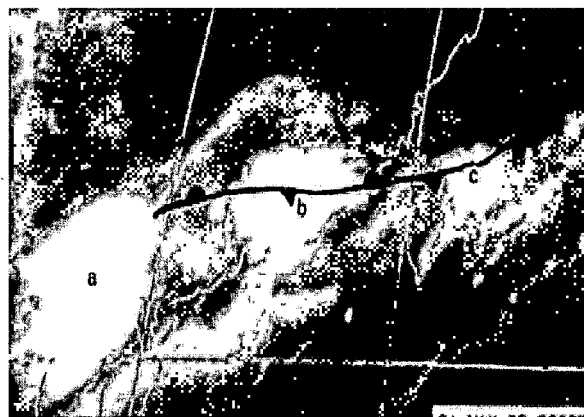


圖 3 1981 年 5 月 28 日上午 7 時之 GMS 地球同步衛星紅外線雲圖（紀與陳，1984）

劉（1980）曾用空軍各站的雨量，配合下對流層天氣圖，對 1970-1980 其中 11 年間梅雨期的豪雨個案進行診斷分析，認為在低層噴流支持下，華南短槽、華南沿海擾動、

華中生波，以及華西低壓東移；臺灣低壓，以及新舊鋒面在華南沿海合併所形成之似包圍鋒（劉與陶，1982）等天氣系統，都有利於生成強對流，或使移入之對流系統的維持與發展。陳（1981）針對 8 個梅雨系統所做之平均分析，張（2001）以及 Liu and Chang（2002）依據 9 個梅雨季豪雨個案之合成分析結果，所製成之合成概念圖如圖 4 所示。圖中符號代表之項目如右下角圖說所示。由可見，平均梅雨鋒位在北部；下對流層暖舌（相當位溫大於 343°K），水氣通量軸，以及低層噴流位於鋒前；850hpa 平均溫度 18°C 等溫線通過中部；自地面鋒至 500hpa 槽向上游傾斜。

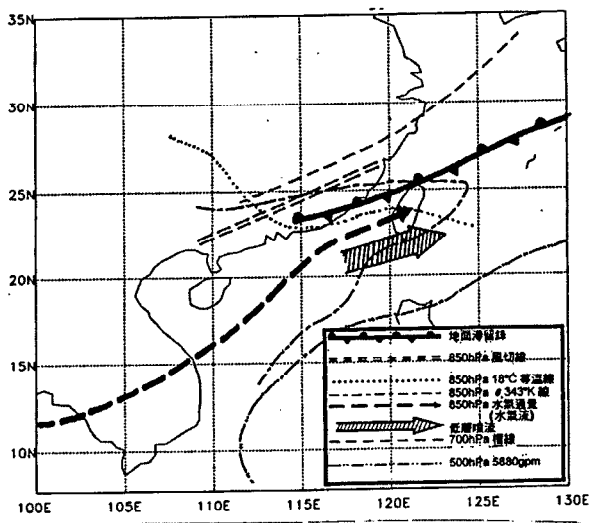


圖 4 梅雨季九次豪雨個案綜觀形勢合成概念圖（Liu and Chang, 2002）

另外，中尺對流系統（MCS）之貢獻亦大（見圖 2）。統計顯示（Liu and Shyu, 1992），造成梅雨季豪雨之中尺對流系統有百分之 70 源自海南島海域（參見圖 4）。再者，由圖 4

可知，梅雨季豪雨系統之形成原因複雜，因而研究者甚眾（陳與紀，1978；丘等，1982；1989），TAMEX 後以研究蒐集資料為基礎之研究更不勝枚舉。凡此均充分顯示梅雨季豪大雨問題之重要，以及 TAMEX 的貢獻。

為了進一步診斷「528」的綜觀條件，特用 NCEP/NCAR 再分析資料，重新分析當時的天氣圖（略），並製作 850hpa 風場與相對溼度（圖 5）、850hpa 渦度（圖 6）、渦度垂直剖面（圖 7）等非傳統分析圖。由圖 5 可見，豪雨開始時下對流層水氣帶在臺灣北部，此時北風與西風在臺灣北部輻合，所造成之垂直非地轉風會使南來之暖空氣上升增強。

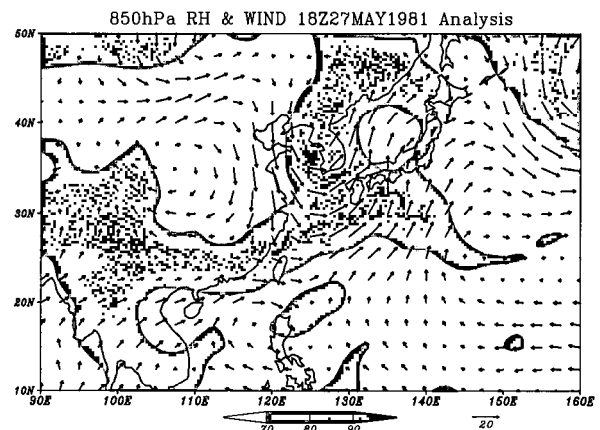


圖 5 「528」豪雨開始時 850hpa 風場與相對濕度分布圖

在 850hpa 面上，以山東半島中部為中心有一左右對稱之「渦度偶極子」（圖 6）。其負中心在西，正中心在東，是造成兩者交界區強北風（見圖 5），並與低層噴流間發生強輻合之原因。圖 7 為沿由巴士海峽伸至正渦度中心北方（渤海東部如圖中直線所示）之二緯剖面。由圖可見，造成豪雨之鄭渦度中

心隨高度向下游傾斜，與冬季冷鋒向上游傾斜相反，顯示鋒面為下滑鋒 (katafront)；此一結果與丘等 (1982) 以及劉 (1982) 主觀分析所得到者相同。

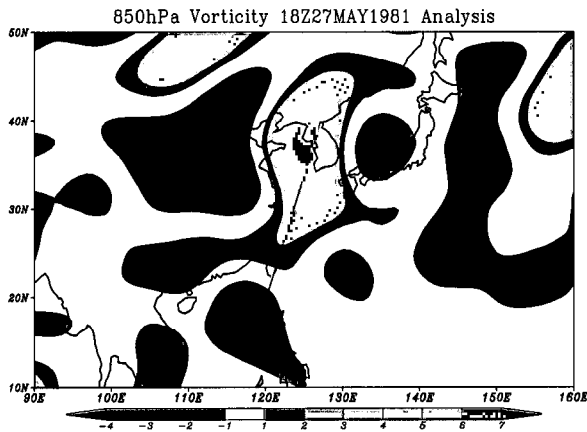


圖 6 豪雨開始時 850hpa 渦度「偶極子」(山東半島左右黑色為中心) 分布圖

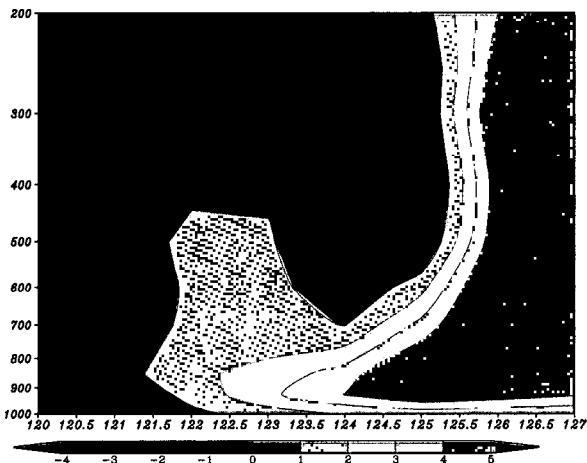


圖 7 沿 20°N 120°E 至 40°N 127°E 線之渦度剖面圖

八、結語

80 年與 20 年，雖然差了一甲子，但科學上的意義無異，因而西北考察團與 TAMEX 都是氣象界的壯舉，也都代表青年科學家全力向前的勇氣。有人說 20 年就是一代 (阿 Q 說 20 年又是一條好漢亦是此意)，而代代都有人才出，在此謹祝年青一代的西南氣流實

驗勝利成功。上節所述「渦度偶極子」假設 (postulate) 亦望能透過分析近 30 年已發生之個案與西南氣流實驗之密集觀測資料驗證之。

致謝

本文係根據我國氣象專業教育鼻祖，空軍氣象訓練班 (現空軍技術學院大氣科學系)，建立 70 周年紀念術研討會上的報告改寫而成。感謝大會與天氣分析與預報季刊的邀稿，也要感謝當年袍澤們各方面無私的奉獻。再者，為撰寫專題報告與本文，第一作者麻煩前聯隊長呂木村將軍等後進學弟者再，在此一併致謝。

參考文獻

- 丘台光、陳景森、郭英華，1989：梅雨季華南中尺度對流系統數值模擬研究 1981 年 5 月 27 日至 28 日個案。氣象學報，35，185-201。
- 丘台光、廖學鎰、洪理強，1982：民國 70 年 5 月 28 日之豪雨個案研究。中範圍天氣系統研討會。
- 紀水上、陳泰然：1984：1981 年 5 月 27~28 日華南及台南地區中尺度對流複合系統之初步分析。天氣分析與預報討論會。
- 陳泰然、紀水上，1978：台灣梅雨鋒面之中幅度結構。大氣科學，5，35-47。
- 陳泰然，1981：影響台灣地區八個梅雨系統平均結構之初步分析，大氣科學，8。
- 陳泰然，1987：台灣地區中尺度實驗計畫 (TAMEX) 之緣起規劃與執行。天氣預報與分析，113。

- 張培臣，2001：梅雨鋒面與中尺度對流系統交互作用對台灣地區豪大雨貢獻之研究。中國文化大學地學所博士論文。
- 劉衍淮，1966：西北考察團的氣流現象觀測結果。中國氣象學會會刊，7。
- 劉衍淮，1982：我服膺氣象學五十年。空軍氣象聯隊歷史文獻集。
- 劉廣英，1980：梅雨季極端天氣預報之研究。國科會研究報告（NSC-69M-0202-05（02））。
- 劉廣英、陶家瑞，1982：華南似包圍鋒及其與台灣降水之關係。中範圍天氣系統研討會論文彙編。
- 葉文欽，1987：赴琉球參與台灣地區中尺度實驗（TAMEX）之 WP-3D 飛機空中規劃報告。天氣預報與分析，112。
- 國科會，1978：台灣地區災變天氣研討會。台北市：中央研究院。
- Liu, Koung-Ying, and Pel-chen Chang, 2002: Study of the heavy precipitation in Taiwan during the Mei-Yu season. East Asia and Western Pacific Meteorology and Climate. Editors: C. P. Chang, Guoxing Wu, Ben Jou and C. Y. Lam. World Scientific, Singapore.
-]Liu, Koung-Ying, and Tian Yow Shyu, 1992: Heavy rainfall under the combined influence of the tropical and Mei-Yu frontal system. Proceedings of the Intl. Conference on East Climate. Edited by Kyle, W.J. and C.P. Chang. World Scientific, Singapore.