

台灣地區豪雨及豪雨實驗計畫

劉廣英 葉文欽

(中華民國七十四年十一月二日收件，十一月廿五日修正)

摘 要

如同民國 70 年 5 月 28 日及 73 年 6 月 3 日般的局部性豪雨曾帶給我們不少的災害，這包括一般大眾的各種損失與氣象從業人員的苦惱與困惑，大家常問自己：究竟在此類天氣上我們能做些什麼？在民國 72 年 9 月 16 日舉行的「大型防災專案研究成果發表會」上，與會者根據當時的狀況認定氣象防災的研究工作應以豪雨為重點，因而組成了一個「劇烈區域性豪雨觀測與分析實驗計畫」規劃小組，在該小組的推動之下國內自己的實驗工作即將於明(75)年 5~6 月間展開，而國際間對此計畫相當重視，因為我們具有三個外國所沒有的特殊條件：(1)地理位置(處在亞熱帶且為海島)；(2)梅雨；(3)中央山脈；氣象科學家都想知道它們在中小尺度豪雨上的貢獻如何。吾人深信進一步的國際合作研究是可能的。本文之目的即在介紹實驗計畫的內容，並對該計畫所欲克服的問題做簡要的分析，除此以外，筆者等亦將個人對有關現象的氣候與綜觀特徵的看法在文中提出討論，希望能引發所有從業同志的興趣，亦願對未來的實驗與研究工作有所貢獻。

一、前 言

在國科會召開的「第一屆全國大氣科學學術研討會」(民國 65 年)中認定颱風、寒潮、乾旱、梅雨為台灣地區最重要的天氣現象，也是最可能導致災害的系統。到了民國 67 年該會就以此四種天氣系統為目標舉行了一次「台灣地區災變天氣研討會」，不但對有關問題做了頗為詳細的探討也留下了不少寶貴的資料(見各該研討會論文彙編)。在上述重大天氣系統中颱風、寒潮與梅雨都有可能帶來局部性的豪雨，造成生命財產的重大損失。陳泰然教授(1985)認為民國 48 年中部地區的「八七水災」所造成的財物損失以今日幣值言當在百億台幣以上(相當於目前行政院國科會全年支援科技發展預算的 4 至 5 倍)，而那次水災曾使得 669 人死亡，377 人失蹤，這就不是金錢所能代替得了的了！

在大家熱切的期待之下，行政院國科會於民國 70 年 11 月策訂了一個「大型防災計畫」，以科技整合的方式推動包括氣象、水文、地震、工程及

山坡地利用等五大部門的專案研究，並於民國 72 年 9 月 16 日舉行「大型防災專案研究成果發表會」，成就非凡。而其中的「氣象防災」的研究成果更為突出，此時，參與研究工作的人士已瞭解到加強豪雨研究提升有關預報的技術與能力已到了應該大力提倡的地步。

實際上，由於台灣的地理位置與地形條件特殊，大雨成災不但時有所聞且遍及全省。徐(1971)調查台北豪雨記錄得知在 1907 至 1970 年間計發生豪雨 108 次，即每年都有發生一至二次豪雨的機會。俞與黃(1975)對南部地區豪雨的調查分析則獲知在 1966 至 1975 年間共發生豪雨 27 次，平均較北部尤多。又在 1967~1983 年間(陳，1983、1985)國內學者所發表與天氣或氣象預報直接相關的論文共有 490 篇，其中「暴雨」(或類似辭)或「水災」兩字直接在題目中出現者就有 18 篇。凡此均顯示大家對豪雨災害的重視。而

今的國際合作計畫實在是長期努力的一個新里程。在後續的本文中，我們除了介紹正要舉行的

「豪雨計畫」的來龍去脈、科學內涵、作業方式及可能收穫外，對於台灣地區的豪雨以及其綜觀的條件亦將討論及之，尤其是對於觀測實驗預定實施期間（5~6月亦即本省梅雨季中）的豪雨將以較多的篇幅加以分析並提出我們的觀點。我們希望對該計畫能有所貢獻。

二、豪雨觀測實驗計畫

前面我們已經提到在「大型防災專案研究成果發表會」後氣象防災小組成員認定「如何防範豪雨？」應為後續研究的重點之一，並公推中央氣象局長吳宗堯、台大、中大、文大等三校的教授陳泰然、張隆男與曲克恭、俞家忠先生，以及本文第一作者劉廣英組成籌備小組，就有關問題詳加分析，發現無論就實際的需要，國內氣象界的能力，或國際上的條件而言，推動一個區域性的實驗計畫，以瞭解台灣地區豪雨問題，進而提升預報能力，實屬必要且時機恰當。經將上述初步認定與國科會企劃處協商亦獲得頗為肯定的支持，並由該處「防災科技研究專案小組」協調人，台灣大學教授蔡清彥先生於72年11月24日邀集前述籌備小組人員召開「劇烈天氣實驗計畫協調會議」研商有關事宜，經決定將全盤計畫劃分為三個階段實施，即先進行「可行性研究」，再做國內氣象界自己的觀測計畫，而後再進行國際合作的觀測計畫，並初步訂定各階段的時程為73年2月至7月，75年與76年的梅雨季。

有關第一步工作即「可行性研究」之目的可歸納如後（陳，1985）：

「實驗計畫」之終極目標在於增加對區域性劇烈豪雨之了解以改進對豪雨之預報能力，減少其帶來之損害並增加其經濟效益（水資源利用）。研究目的可分兩方面加以說明，一為基礎研究方面，一為應用研究及預報技術發展方面。

在基礎研究方面的目的可分兩項：

- (1) 研究在發展階段及在消散階段之中尺度對流系統之環境條件，包括綜觀尺度及 meso- α 尺度強迫

作用、靜力穩定度、垂直風切、水氣垂直分布等。

- (2) 辨認及研究產生局部地區中尺度對流系統之中尺度激發機制，包括梅雨鋒面、低層噴流、準滯性中尺度低壓、溢流邊界、地形等。

在應用研究及預報技術發展方面亦可分兩項：

- (1) 研究中尺度對流系統之產生、組織、強度及移行與大尺度環境條件及地形效應之關連。
- (2) 改進伴隨中尺度對流系統之降水量、發生時間及地點等之預報能力。

這些目的僅屬初步考慮，將透過不斷的國內外交流及學術界與實作人員間之交流而修訂，使更能符合客觀條件。

經蒐集、分析、研究有關資料後得到下述結論：

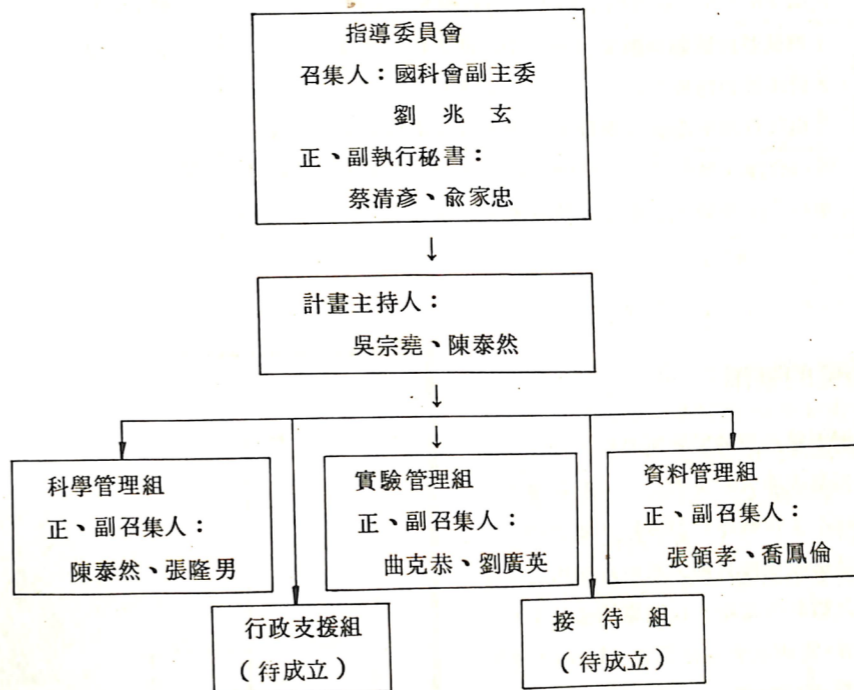
- (1) 我們對梅雨季的豪雨瞭解最少，致無論在觀測上或預報上都有所不足，造成了不少的災害，如民國70年的「五二八」及73年的「六三」與「六十」水災均為記憶猶新為例，每次的財物損失均達新台幣百億級，如再加上精神壓力所帶來的無形損失，災害之重更是難以評估，因而有詳加研究的必要。

- (2) 國內氣象界，在現階段已有能力執行此類實驗計畫。此一信心來自六方面，即①在國科會及各有關單位支援下，經過不斷的努力我們對豪雨問題已獲得一些瞭解，至少在實驗計畫的規劃上不至發生知識不足的誤差；②在國科會「大型防災計畫」第一個五年計畫中的「氣象測站及水文測站網規畫案」已完成，有關淡水河流域的測站網且已由中央氣象局實施中，完成後地面測站可達觀測中尺度系統的要求水準。同時，高空及氣象雷達測站亦將配合佈建，達到所需水準，這也就是說，我們即將擁有一個足以支援實驗的測站架構，只要運用得法定可獲得相當寶貴的資料；③美國已先後做過不少區域性實驗計畫（包括我們亦參與的「南海地區冬季季風計畫在內），而其「全國風暴計畫」（簡稱 STORM；劉，1983）已開始執行（PRE-STORM 實驗已於今年6~7月執行完畢），由而我們可以獲得很多

先進經驗；台灣地區的地理位置（在副熱帶）與地形（海島而且擁有高大的中央山脈）是獨一無二的，對於研究局部性驟烈天氣尤其是豪雨而言，全球沒有一個地方能與論比，因而我們自己當然該詳加研究，國際上的氣象學家也興趣濃厚，這也就是說，只要我們的計畫規劃良好，各方面配合充份，獲得國際合作應無困難；⑤國科會對本計畫反應積極，支援充份，使氣象圈的熱心與

努力獲得肯定；⑥本計畫已被氣象界視為一個屬於大家的工作，因而不但相關的所有學校、研究機構與作業單位已全部參與，即所屬個人亦熱烈響應，所謂「眾志成城」，因而不但使得實驗計畫內容充實且其成功亦可期。截至目前（74.10.30）為止該計畫國內部分的架構及主要人員編配如附表一。

表一 豪雨觀測實驗計畫組織架構



- (3) 實驗計畫的目標有三：即①進行基礎研究：透過本實驗瞭解台灣地區梅雨季中豪雨在發生及消散階段的環境及機制（mechanisms），前者包括對綜觀尺度及 meso- α 尺度的強迫作用、垂直風切、穩定度及水氣垂直分佈，後者則包括對梅雨鋒、低層強風（LLJ）、近似滯留的中尺度低壓、溢流邊界層（outflow boundaries）以地形作用的瞭解（陳，1985）；②改進豪雨預報能力：以百億級的水災而言，如能提升預報能力做出適當的防範措施而使損失減少，其貢獻一定相當可觀；③提升國內大氣科學研究水準，使我

們不但在科學上、實驗管理上以及協調合作上有所收穫，更能由而提升我們的裝備及觀測水準，這對我們的國際形象會有直接的貢獻。

- (4) 實驗計畫將分兩個階段進行，即①國內的實驗計畫與②國際合作的實驗計畫。二者的概略內涵如表二所示。
- (5) 實驗完成後不但對基礎大氣科學有貢獻，且透過基礎研究→應用研究→技術發展→納入作業系統的步驟而提升對有關豪雨的預報能力，減少生命財產的損失。

表二 豪雨實驗計畫簡介

| 階段 項目 | 第一階段 | 第二階段 |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 計畫名稱 | 劇烈區域性豪雨觀測與分析實驗 | 台灣地區中尺度實驗計畫 |
| 實驗地區 | 淡水河流域及桃竹地區 | 台灣近鄰之地區(500公里×500公里範圍) |
| 執行時間 | 民國75年5至6月間(初步決定觀測3次系統) | 民國76年5至6月間 |
| 實驗目標 | 1. 測試並校驗觀測網使達觀測中尺度系統的水準。 2. 訓練協調作業能力, 奠定第二階段工作基礎。 3. 由實作獲取經驗進而使第二階段計畫更形完美可行。 | (見本文) |
| 進行方式 | 國內合作; 參與單位有學校(台大、中大、文大)及作業單位(氣象局、空軍及民航氣象中心)。 | 國際合作 |

三、台灣地區的豪雨

不論受什麼天氣系統的影響所導致, 豪雨已被確認為本省受損最大的天然災變之一。有關豪雨的定義曲等(1982)和吳等(1984)曾選擇時雨量討論, 在本章節裡仍按目前大家最常採用之日雨量 $\geq 100\text{mm}$ 之標準的認定。以空軍測站為主, 並以中央山脈為界, 將測站所在分為北、中、南、東及台灣海峽五區(見表三和圖一), 取民國59~73年(1970-1984)共15年之資料, 統計分析台灣區的豪雨時空分布特徵。

表三 台灣分區空軍測站之涵蓋分布

| 區別 | 涵蓋測站 |
|------|--------------------|
| 台灣北部 | 松山、桃園、新竹、宜蘭、龍潭(部份) |
| 台灣中部 | 台中、清泉崗、嘉義 |
| 台灣南部 | 台南、岡山、屏東、屏北、佳冬、恆春 |
| 台灣東部 | 花蓮、台東 |
| 台灣海峽 | 馬公 |

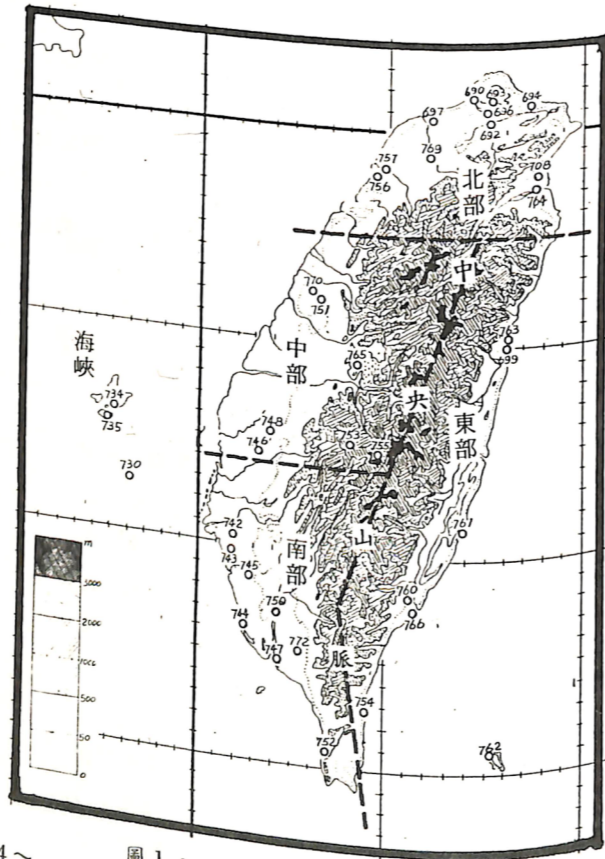


圖1: 以中央山脈為界之地理區分布。

氣象預報與分析
表四 民國59-73年台灣區逐年各月豪雨次數統計表

| 年度 月份 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 合計 | 百分比 |
|----------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0.7 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.3 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 5 | 1.7 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1.4 |
| 5 | 1 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 4 | 2 | 1 | 3 | 0 | 6 | 1 | 6 | 3 | 33 | 11.5 |
| 6 | 0 | 3 | 5 | 1 | 8 | 6 | 4 | 10 | 2 | 6 | 0 | 3 | 6 | 4 | 2 | 60 | 20.9 |
| 7 | 2 | 1 | 10 | 3 | 2 | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 1 | 4 | 7 | 0 | 1 | 45 | 15.7 |
| 8 | 4 | 2 | 6 | 3 | 5 | 7 | 4 | 6 | 5 | 6 | 2 | 2 | 3 | 4 | 7 | 66 | 23.0 |
| 9 | 4 | 9 | 0 | 0 | 7 | 2 | 3 | 4 | 2 | 0 | 3 | 7 | 0 | 1 | 1 | 43 | 15.0 |
| 10 | 4 | 2 | 1 | 4 | 4 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 22 | 7.7 |
| 11 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 6 | 2.1 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 |
| 合計 | 16 | 20 | 25 | 13 | 30 | 21 | 19 | 27 | 15 | 17 | 8 | 25 | 19 | 17 | 15 | 287 | x |
| 百分比 | 5.8 | 7.0 | 8.7 | 4.5 | 10.5 | 7.3 | 6.6 | 9.4 | 5.2 | 5.9 | 2.8 | 8.7 | 6.6 | 5.9 | 5.2 | x | 100% |

(一) 全年豪雨分布特徵

表四為15年來台灣地區豪雨出現之情況, 任一測站只要是日雨量 $\geq 100\text{mm}$ 即算出現一次豪雨, 從中吾人可再分析出現的地區, 逐年變化, 各月出現頻率以及豪雨之連續性等等。在15年間共有287天的豪雨, 每次豪雨少則1天多則連續5天

圖2為逐年豪雨出現之頻率變化, 以民國63

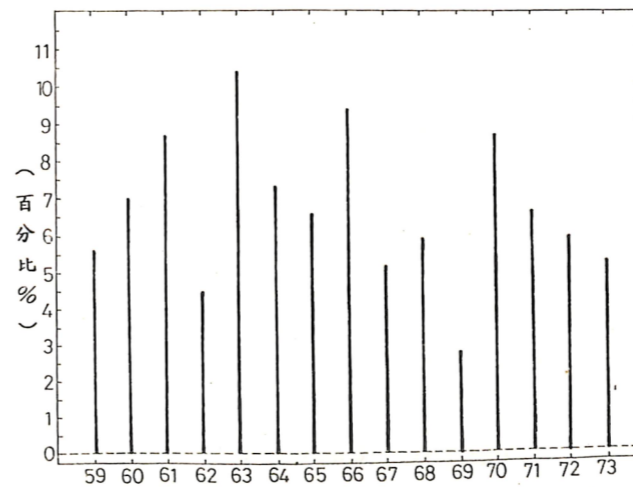


圖2: 台灣區逐年出現豪雨頻率變化。(共287天)

年出現30天佔10.5%為最多, 民國66年的27天佔9.4%次之, 而民國69年只有8天僅佔2.8%為最少, 這一年本省曾出現嚴重的乾旱。

圖3為逐月豪雨出現之頻率變化, 以5~10月份這半年合佔了近94%; 冬季出現豪雨機會甚少, 若有以北部為主。豪雨以8月份之66天佔

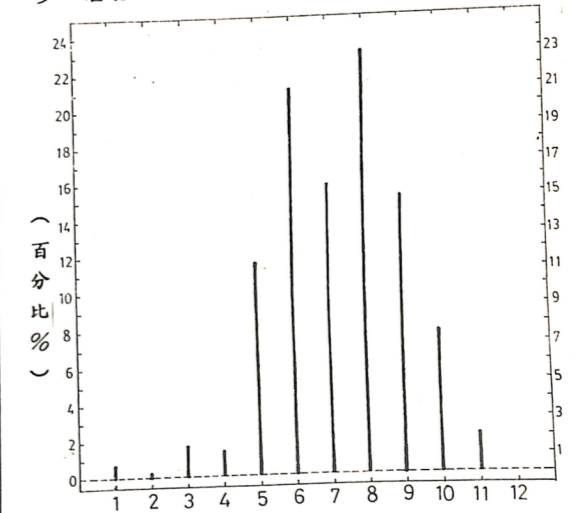


圖3: 台灣區逐月出現豪雨頻率變化。(民國59-73年共287天)

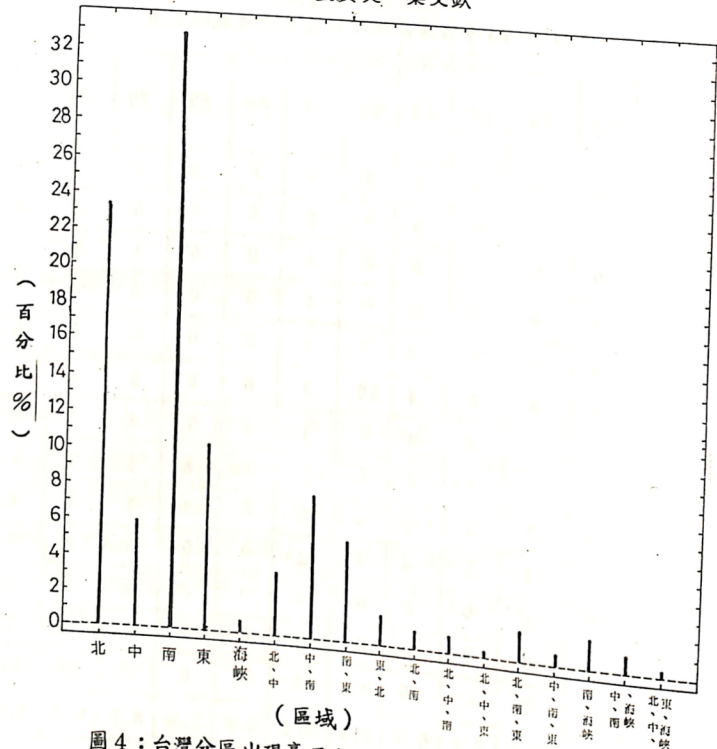


圖4：台灣分區出現豪雨頻率分布圖。(民國59-73年)

23.0%為最多，6月份之60天次之佔20.9%，前者是颱風侵襲最頻之月份，後者則是梅雨末期顯著的豪雨現象。在這引發台灣區豪雨現象的半年裡主要的系統或天氣現象為梅雨、颱風、熱雷雨、熱帶系統與東北季風雙重效應，其中以梅雨的預測最難掌握。

圖4則為台灣分區出現豪雨頻率的分布，因為在同一天當中出現達豪雨的測站，可能只局限於某一區，也可能廣被大部份的測站，在287天的豪雨個案中以僅出現於南部的97天佔33.8%為最多，其次在北部之66天佔23.0%，東部之30天佔10.5%又次之，出現於中、南部之豪雨有20天佔了7.0%，只出現在馬公測站的豪雨則只有2天尚不及1%。若將與別區同時出現豪雨也計算在內，則南部下豪雨之比例高達53.8%，與過去的研究結果相一致。

把出現豪雨的延時以次計算，發現1次豪雨由1天至持續5天不等，共有183次，其中豪雨只出現1天為115次佔了大多數為62.8%，持續2天有42次佔23.0%，連續3天為18次佔9.8%，繼

續4天的豪雨有6次佔3.3%，最長可連下5天的豪雨只有2次佔1.1%，其頻率變化分布如圖5所示。

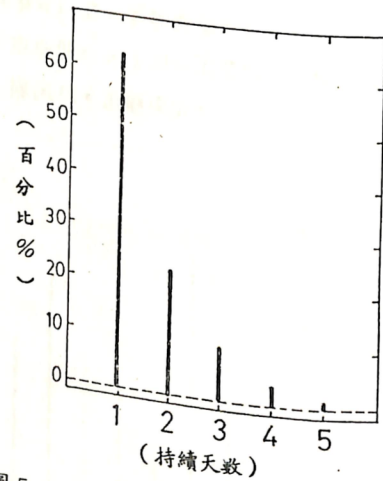


圖5：台灣區豪雨持續天數出現之頻率變化。(共183次)

以上的統計僅以本軍的測站為主，這些測站均位於平地，曲氏等(1982,1983)曾收集了包括山區在內的118個測站分析了中央山脈以西的大雨

中心區之分布(見圖6)，從圖中可見台灣區真正容易發生豪雨應以山區為主，故僅以本軍或中央氣象局的測站來研究台灣地區的豪雨分布實在尚嫌不足，但是也實在只有空軍、中央氣象局和民航局的逐時觀測最齊全，資料取得較容易，故常以這些資料來從事涵蓋了台灣區雨量分布之研究。

(二)梅雨期豪雨及其主要特徵

這次實驗中觀測重點放在5~6月份的梅雨期，梅雨期的兩個月在這15年間共出現93天，佔全部的32.4%，再將這兩個月的豪雨詳加分析，表五即其逐年豪雨次數統計表，5月出現33天佔35.5%，6月份有60天佔64.5%，明顯的顯示梅雨末期容易產生豪雨。在年變化民國69年沒有一次豪雨發生是明顯的空梅。民國66年出現12次佔12.9%，這顯著的梅雨現象陳氏(1981)曾做過合成結構分析。有關梅雨期之逐年變化如圖7所示，其分區出現豪雨之頻率見圖8，仍以南部的36天佔38.7%為最多，北部22天之23.7%次之，中部又比東部略多，中南部同時出現豪雨也常顯著有9天佔9.7%。豪雨之持續天數出現之頻率變化如圖9所示，在這55次豪雨中只出現1天者有30次佔54.5%，連續2天有17次佔30.9%，連續3和4天者均為3次，在這15年當中2次連續5天豪雨均出現在梅雨季，其中有一次由6月底持續至7月初，吾人將之歸併為梅雨期計算。

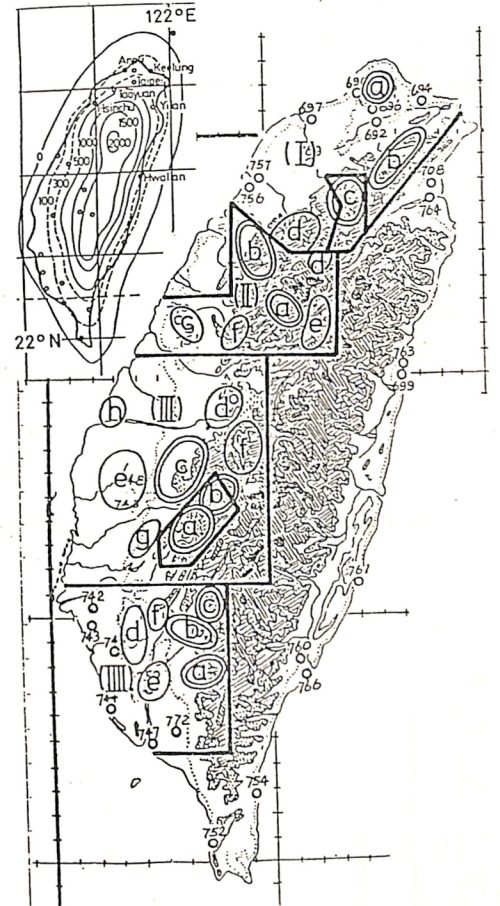


圖6：台灣西部分區及大雨中心區分布以及台灣平均地形圖(雙圈示最易發生大雨之處，單圈次之)。(摘自曲氏等，1983)

表五 民國59-73年台灣區梅雨期逐年各月豪雨次數統計表。

| 年度月份 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 合計 | 百分比 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-------|
| 5 | 1 | 0 | 2 | 1 | 3 | 0 | 4 | 2 | 1 | 3 | 0 | 6 | 1 | 6 | 3 | 33 | 35.5 |
| 6 | 0 | 3 | 5 | 1 | 8 | 6 | 4 | 10 | 2 | 6 | 0 | 3 | 6 | 4 | 2 | 60 | 64.5 |
| 合計 | 1 | 3 | 7 | 2 | 11 | 6 | 8 | 12 | 3 | 9 | 0 | 9 | 7 | 10 | 5 | 93 | 100.0 |
| 百分比 | 1.1 | 3.2 | 7.5 | 2.2 | 11.8 | 6.5 | 8.6 | 12.9 | 3.2 | 9.7 | 0.0 | 9.7 | 7.5 | 10.8 | 5.4 | | |
| 5/6月百分比 | 1.1/0.0 | 0.0/3.2 | 2.1/5.4 | 1.1/1.1 | 3.2/8.6 | 0.0/6.5 | 4.3/4.3 | 2.1/10.8 | 1.1/2.1 | 3.2/6.5 | 0.0/0.0 | 6.5/3.2 | 1.1/6.4 | 6.5/4.3 | 3.2/2.2 | 35.5/64.5 | |

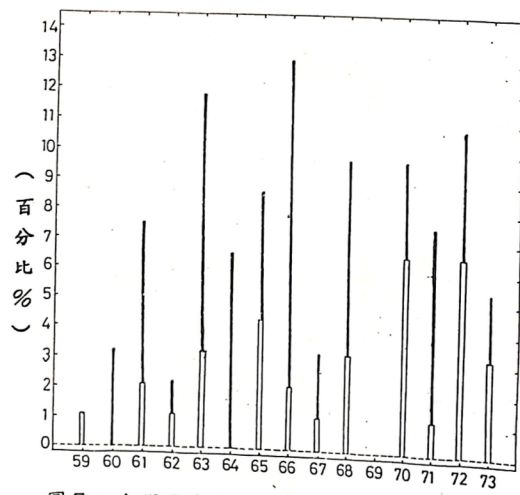


圖 7：台灣區梅雨期逐年出現豪雨頻率變化。
(共 93 天，□表示 5 月，■表示 6 月)

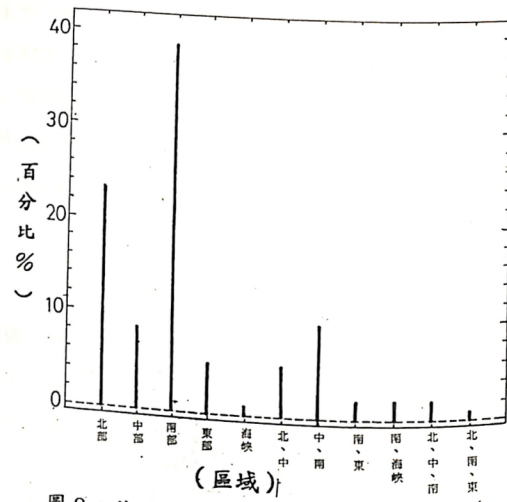


圖 8：梅雨期台灣分區出現豪雨頻率分布圖。
(民國 59-73 年)

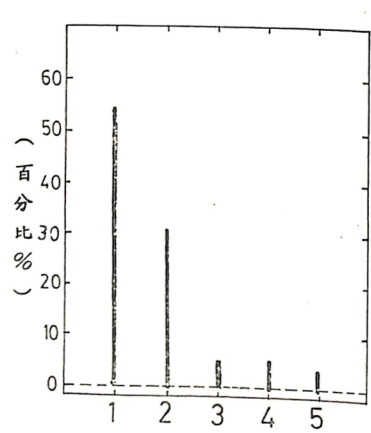


圖 9：台灣區梅雨期豪雨持續天數出現之頻率變化。
(共 55 次)

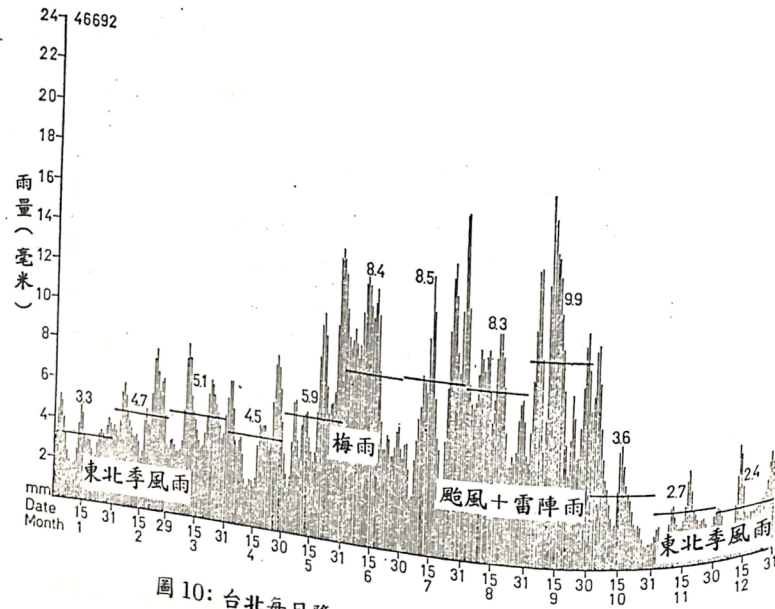


圖 10：台北每日降雨量氣候值 (1956-1975) 分布圖。
(摘自陳、吳 1978)

以上有關梅雨豪雨是以空軍測站所做的一些統計資料，接著將引用他人之研究來說明台灣區梅雨期的一些重要氣候和天氣現象特徵，這些現象也是將來實驗計畫加強觀測要去深入了解的問題。

梅雨原是我國江南特有的天氣現象，經國內氣象學者之研究，台灣區確定有梅雨期出現在冬夏氣流轉變期之 5、6 月份，以雨量為研究之重點大致把它定在 5 月中旬至 6 月中旬，時間較長江流域提前個把月，雖雨期平均較顯著只有個把月，但其雨

度層最厚，圖 11 為台灣北部 (桃園) 探空各層逐月相對濕度與年平均之偏差分布，在 5~6 月份之 500 mb 的相對濕度正偏差 16% 為最多，可見台灣區對流現象之顯著。濕氣層上傳的各種因素很多，這些因素往往導致台灣區的豪雨災變。

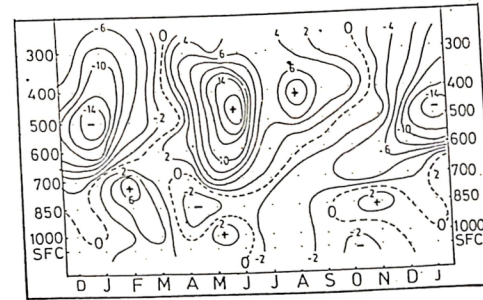


圖 11：台灣北部 (桃園) 探空各層逐月相對濕度與年平均之偏差分布圖。(單位以 % 表示，時間為民國 45-70 年，摘自劉等，1985)

圖 12 為多雨型的地面平均圖，圖 13 為利用顯著梅雨年八個個案 850mb 梅雨末期之合成風場和高度場。圖中顯示有梅雨鋒 (槽) 在台灣附近，長江下游有小高壓，其勢力雖不強但明顯存在於低對流層，對梅雨天氣扮演重要角色，鄂霍次克海的阻塞高壓和西藏至印度之季風低壓均明顯存在，而太平洋高壓迴流和印度低壓所造成西南氣流之滙流現象，在南海、華南至台灣一帶平均為一強風軸，加上中央山脈之迎風面是有相當充份的輻合作用。因而在衛星圖上之鋒面雲帶常會引發一連串之中幅度對流系 (Mesoscale Convective Systems: MC-

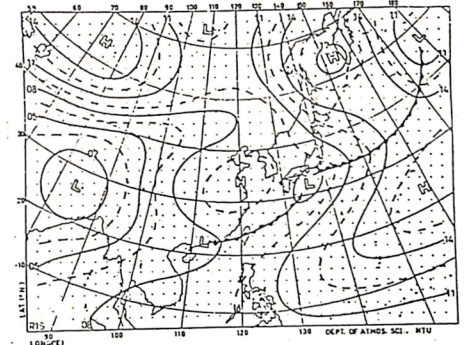


圖 12：台灣區梅雨期間多雨型之地面平均圖。
(摘自陳與蔡，1979)

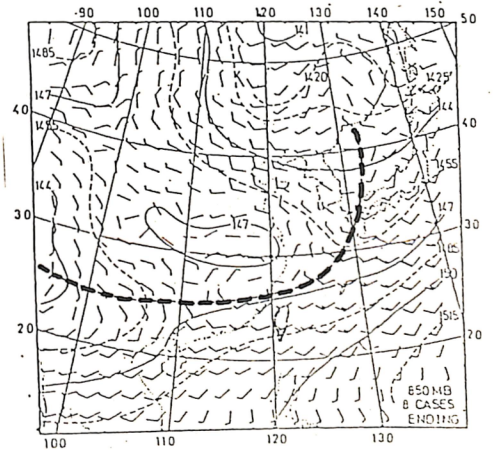


圖 13：八個梅雨個案末期之 850mb 合成風場與高度場 (dm) 分布。(摘自陳，1981)

S.) 如圖 14 所示，不斷由華南地區隨西南氣流向台灣區移來，導致豪雨災變。由於中央山脈之阻當，對西南氣流有強迫上升運動因此雨量的分布，根據陳氏 (1978) 以氣象局的測站利用六年的平均

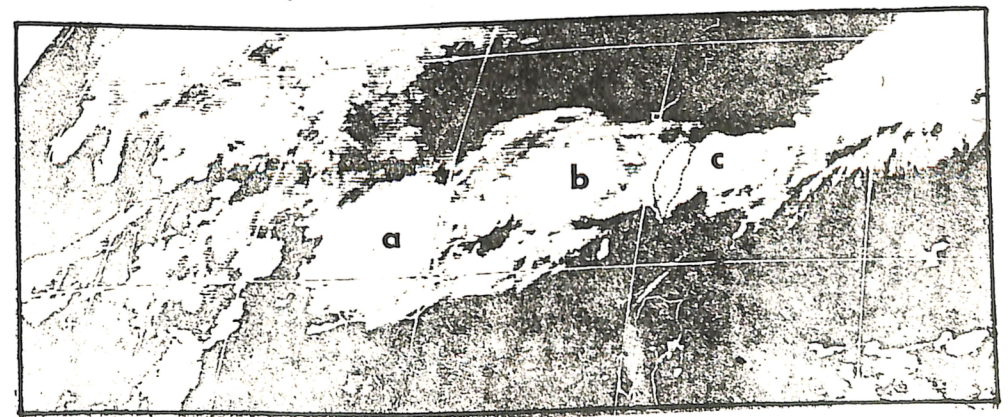


圖 14：民國 70 年 5 月 28 日 0000Z GMS-I 衛星雲圖顯示之一連串中幅度對流系統 (MCS) 實例圖。
(摘自郭，1985)

其分布如圖 15 所示，大雨中心發生在地形等高線
梯度最大且與西南氣流交角最大之阿里山區一帶，
雨量最小則發生於西南氣流背風面之花蓮一帶。

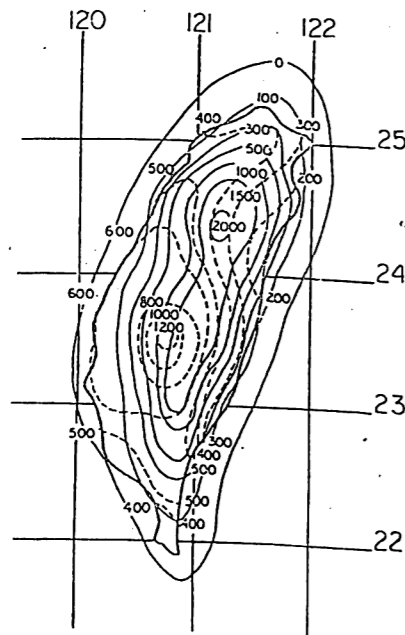


圖 15: 民國 61 年至 66 年 (1972-1977) 5 月 15-
6 月 18 日利用中央氣象局測站之總降水量年
平均值分布。虛線為等雨量 (mm) 實線為
均滑地形等高線 (m)。(摘自陳, 1978)

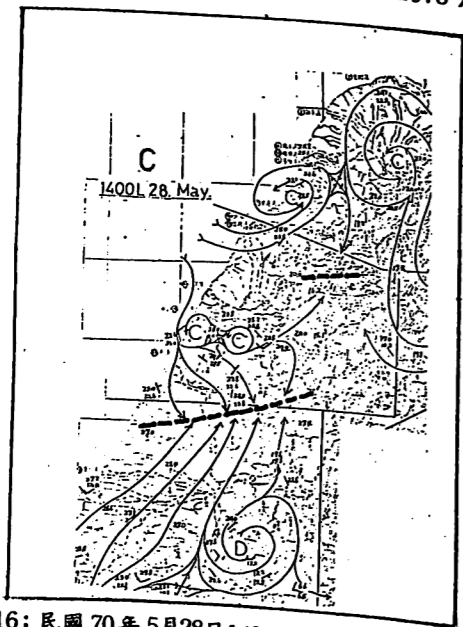


圖 16: 民國 70 年 5 月 28 日 1400 L 豪雨局地面風場
分析。(摘自曲等, 1983)。

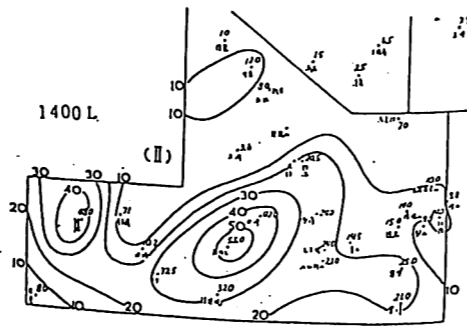


圖 17: 民國 70 年 5 月 28 日 1400L 時間降水區及最
大降水中心分布。(摘自曲等, 1983)。

地形所導致氣流軸合或小渦旋之產生被認為與
豪雨之產生關係密切，曲等 (1983) 曾利用山區
林務局等之資料加以分析，由圖 16 之「528」豪
雨局地面風場和圖 17 之降雨區分布特徵之對比
，除地形抬升作用有利於對流降雨外，對氣流產生
阻擋作用而致轉向並而形成向風面的局地渦旋或氣
流輻合可以產生大雨中心是非常明確的。

梅雨期低層強風軸 (Low-Level Jet, LLJ)
現象越明顯，台灣區的豪雨現象越顯著。這方面之
討論很多 (俞、黃 1975; 黃 1976; 陳 1979)
，在氣候現象方面由劉等 (1985) 之分析得知，
6 月份以 700mb 為中心是有一風速較強之風層 (

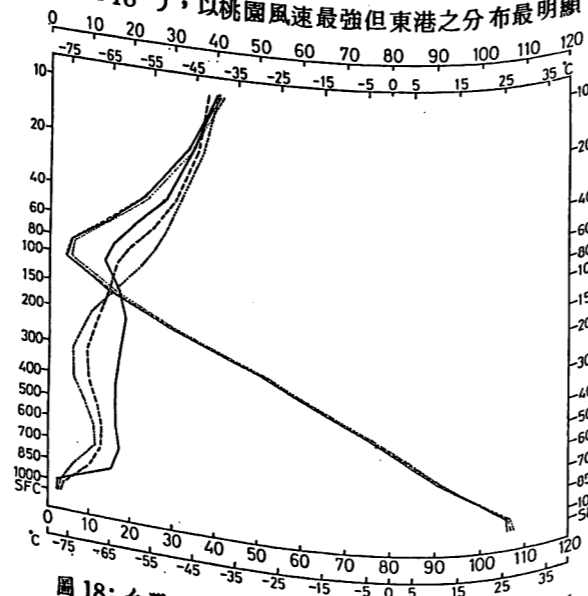


圖 18: 台灣區探空桃園測站 (實線)、馬公測站 (斷線)、東港測站 (點線) 6 月份平均溫度
和風速之垂直分布圖。
(民國 45~70 年, 摘自劉等 1985)

這種在氣候值也能顯現之現象，與一般認為在梅
雨末期 (6 月中、下旬) 之豪雨應該有所關連。至
於有顯著豪雨個案之強風軸分析可參見圖 19 及 圖
20，可知其風速較氣候值可達一倍以上，顯著之
主軸仍以 700mb 為最明顯，其與中幅度對流系統
之關係如何？正是觀測實驗想深入了解的。

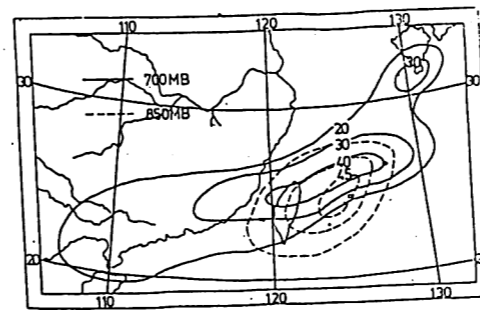


圖 19: 民國 66 年 6 月 1 日 1200 GMT 時 850 及 700
mb 低層強風分布。(摘自曲等 1983)

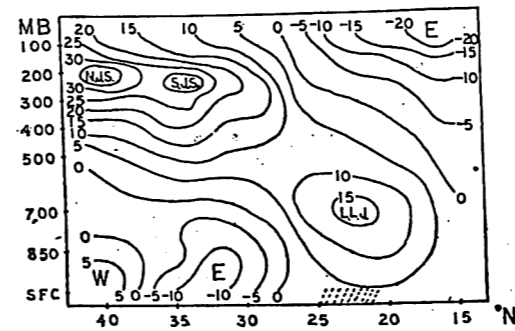


圖 20: 民國 64 年 6 月 11 日 0000Z 沿東經 120 度之
緯流風速 (m/s) 垂直剖面圖 (斜線區為大
雨及豪雨區, L.L.J. 為低層噴射氣流, N.
J.S. 為北支噴射氣流, S.J.S. 為南支噴射
氣流)。(摘自陳, 1979)

降水現象與鋒面系統的存在關係最密切，陳和
紀 (1978) 的研究指出，若以各間距絕對日降水
量 $\geq 25\text{mm}$ 之相對降水機率大於 50% 者視為鋒面
影響的範圍，則在台灣北部為鋒後 300 公里至鋒前
400 公里，南部為鋒後 200 公里至鋒前 500 公里，
是相當合理的如圖 21 所示。利用輻合量分析的結
果，可得影響台灣區鋒面垂直剖面上之次環流如圖
22 所示，在北部地區有兩個大小相當之次環流系
統對稱於鋒面，並於鋒面處呈上升運動，而南部亦
有二個範圍大小不同且在鋒面呈下沉運動之次環流

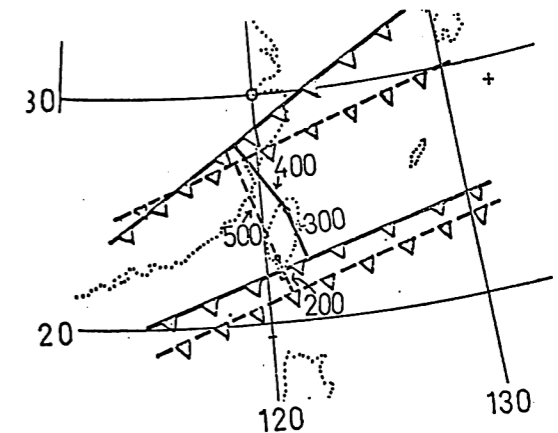


圖 21: 影響南部 (虛線) 與北部 (實線) 降水之鋒
面系統範圍。圖內數字為鋒面至南部和北部
之距離 (公里)。(摘自陳, 紀 1978)

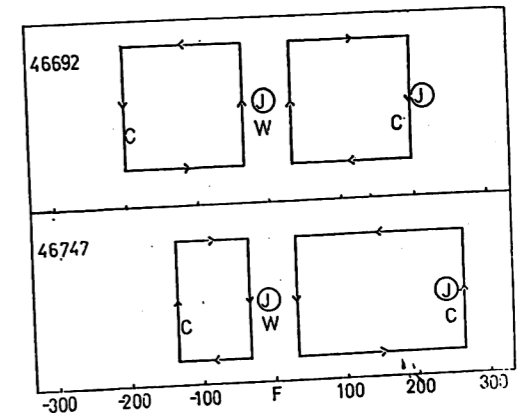


圖 22: 鋒面移動方向之垂直剖面上之次環流系統。
箭頭指氣流方向，J 表示低層最大風速帶，
C 表冷空氣，W 表暖空氣，X 軸上 F 表鋒面
位置，負值表鋒後公里數。上圖表示鋒面在
北部時 (692)，下圖則為在南部時 (747)
之環流形式。(摘自陳, 紀 1978)

系統。就大範圍氣流而言，在梅雨期低對流層本省
有顯著之西南氣流，加上山脈迎風面之阻擋，上升
氣流顯著，所以濕氣層厚度比任何季節還要厚，這
種上升運動如何由外流將它帶走，吾人發現此時西
藏高原對流層頂附近之高壓脊正好東伸至東南沿海
，偏北之氣流可視為低對流層上升氣流之外流邊界
，因為在圖 12 及 13 在西藏與印度一帶低對流層是
一個明顯的大低壓，而在其高層則出現高壓 (圖略
) 以為平衡。圖 23 為葉氏等 (1984) 分析桃園逐
月經流之氣候值分布圖，亦說明以 6 月份為中心之

太平洋高壓迴流和孟加拉匯合而來之偏南氣流是被對流層頂附近西藏高空高壓偏北之氣流所平衡，有一個明顯的環流系統存在，提供相當良好的外流條件助長梅雨期之上升運動。

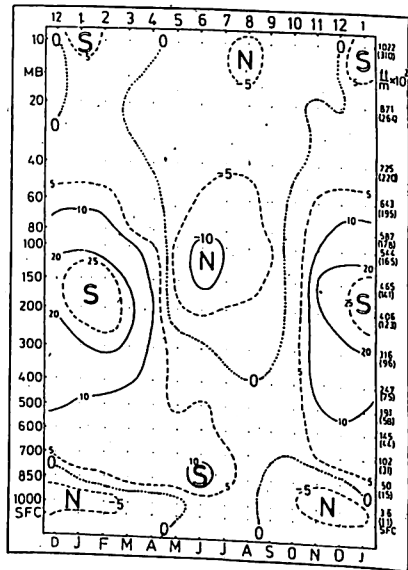


圖 23: 台灣北部 (桃園) 逐月經流之氣候值分布。(單位為 m/s, 摘自葉等 1984)

若以涵蓋範圍較小而圖面較大之天氣圖詳加分析，在台灣附近之梅雨鋒常會分析出顯著的中幅度低壓系統，尤其產生於廣東沿海及台灣海峽而向台灣移來者常導致本省之豪雨，陳 (1977) 發現用雷達回波與降水觀測資料均證實梅雨鋒附近存在著有組織的中幅度系統如圖 24 所示，有兩個中心分別位於台中附近及台東外海。而利用 6 年之資料所獲得之台灣附近的中幅度低壓之頻率分布如圖 25 所示，至於其出現位置與台灣區降水機率分布可在陳、紀 (1980) 之研究中獲得。

在民國 59~73 年這 15 年間僅有二次連續出現 5 天之豪雨，以民國 63 年 5 月 30 日~6 月 3 日出現豪雨為主的梅雨系統分布如圖 26 所示，天氣圖並取 6 月 1 日 0000Z，就天氣系統之分布而言有

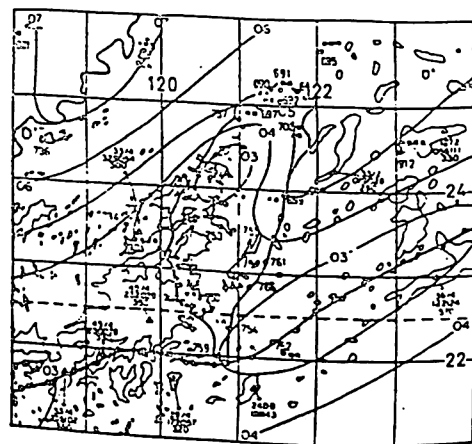


圖 24: 民國 64 年 (1975) 6 月 12 日 0600Z 地面天氣圖和雷達回波分布圖。(摘自陳, 紀, 1980)

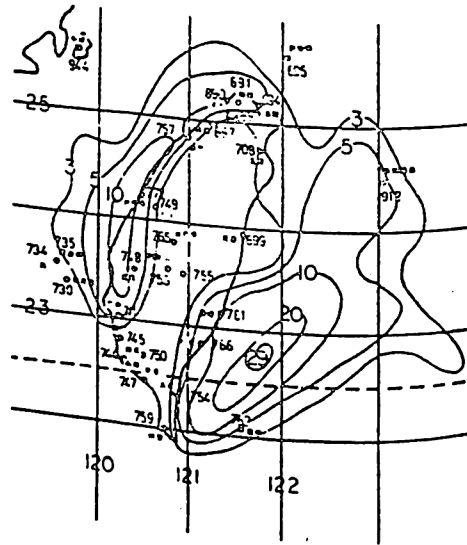


圖 25: 民國 61-66 年 (5 月 15 日 - 6 月 18 日) 梅雨期台灣附近每 0.5 度經緯度內中幅度低壓出現次數。(摘自陳, 1978)

典型的梅雨特徵，鋒面就在台灣附近緩慢移動上下徘徊，並不斷在梅雨鋒上有新生波動產生，長江下游之小高壓更南移至東南沿海，低對流層有明顯強風軸由華南延伸至本省，同時存在著一條組織完整的鋒面雲帶，這些現象配合本省的地形作用導致連續 5 天之豪雨的產生。

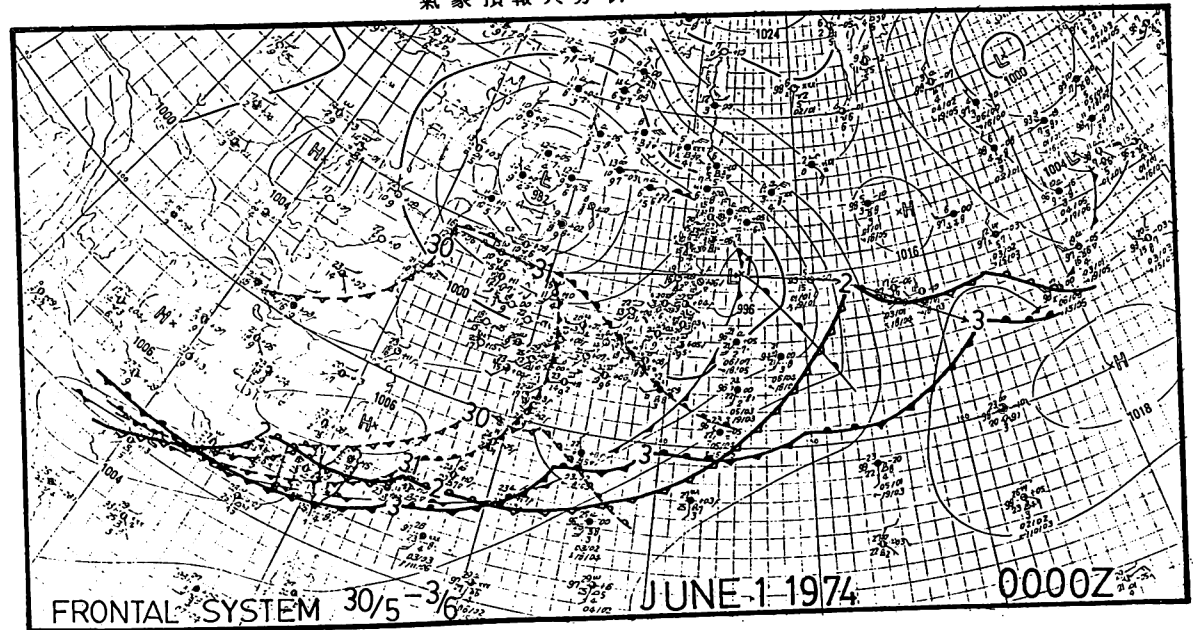


圖 26: 民國 63 年 6 月 1 日 0000Z 地面天氣圖和 5 月 30 日 - 6 月 3 日 0000Z 之鋒面系統分布圖

四、臺灣地區中尺度實驗計畫

本計畫作業除指導委員會負責督導全盤計畫並協助克服有關困難問題外，可概分為兩個層次，即計畫與執行。計畫的部分係由科學管理組負責，其主要內容包括科學目標的律定，各組工作策略的研擬，以及對外協調等工作。執行分由實驗管理組與資料管理組負責，前者的主要工作包括觀測網的建立與作業指揮；後者的主要工作則是如何將資料蒐集並儲存起來，並做不同程度的分析，建立資料檔案。

以上工作有一共同的依據就是我們實驗觀測的主要對象是什麼？由前面的介紹可知「台灣地區梅雨季 (五至六月份) 中豪雨」是本次實驗的觀測目標，而由我們對台灣地區歷史上豪雨的調查分析又可知，梅雨季中導致研究地區發生豪雨的基本條件是不外有利的綜觀及 meso- α (環境) 系統條件、中尺度 (meso- β) 系統的激發機制，以及地形的貢獻 (曲等, 1983)。準此，為了滿足需要，觀測的重點或方式就應該以能觀測到中尺度系統的特徵為準，計畫中的實驗區為 500 公里 \times 500 公里的範圍 (圖 27)。

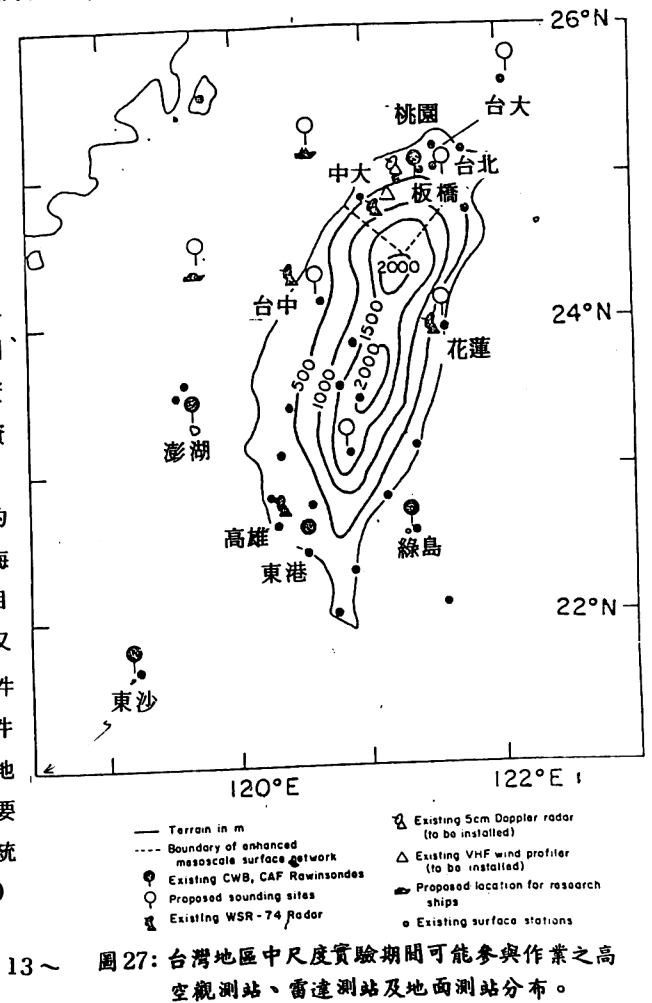


圖 27: 台灣地區中尺度實驗期間可能參與作業之高空中觀測站、雷達測站及地面測站分布。

歸納已有的研究成果(陳, 1985; 劉, 1980, 1981, 1982; 俞與黃, 1975; 黃 1976、曲等, 1983 以及其他文獻)可知台灣地區豪雨的形成是在適當的綜觀至 meso- α 系統中, 中小尺度系統與地形相互配合的結果。綜觀或 meso- α 系統所提供者為降大雨所必須的條件, 梅雨鋒面及滯留性中尺度低壓所伴之深厚的西南氣流、各層的噴射氣流及垂直風切、中下對流層南支(華南)短槽、大氣的穩定狀況、以及新舊鋒系或鋒面與 ITCZ 的合併系統均為其中要者。根據上述系統有經驗的氣象人員可做出很好的天氣(包括降水)預報但預報豪雨就有困難, 因為條件並不充份, 必須進一步對中小尺度系統與地形影響有所瞭解方能界定大雨區與大雨中心的分布。就現有的研究結果顯示, 梅雨鋒上的中尺度對流系統(MCS)、鋒前暖區的低層噴流(LLJ)、沿鋒帶兩側的中尺度低壓、對流系統之溢流邊界(outflow boundary)作用以及地形造成的局部環流對局部豪雨都有很大的貢獻, 只是自梅雨鋒面本身開始我們就有許多未瞭解的問題(郭, 1985):

1 對梅雨鋒而言有:

- (1)梅雨鋒的熱力及動力結構如何? 其與中緯度鋒系有何差別? 區內濕度梯度是否足夠造成伴有強盛垂直運動的中尺度環流?
- (2)橫跨在鋒面上的差別垂直混合(differential vertical mixing)以及層狀雲系所導致的差別太陽輻射(differential solar radiation)是否對中尺度環流的發生或維持有貢獻?
- (3)維持梅雨鋒的主要機制為何? 其與對流的關係以及對對流而言最有效的貢獻在那裡?

2 對低層噴流而言有:

- (1)其垂直與水平結構如何?
- (2)其形成機制為何?
- (3)其與中尺度對流系統的關係如何?

3 對準滯留性中尺度之低壓而言有:

- (1)其垂直與水平結構如何?
- (2)其形成之機制為何?
- (3)此類低壓與 MCS 之關係如何?

4 對地形與局部環流而言有:

- (1)台灣區局部環流結構以及其與 MCS 之關係如何?
- (2)台灣區山岳波的結構以及其與局部性積雲對流之關係如何?
- (3)地形與 LLJ 及梅雨鋒等系統間的交互作用為何?

5 對溢流邊界而言有:

- (1)實驗區內對流所形成之溢流邊界的熱力及動力結構如何?
- (2)溢流邊界是否引發新的對流?
- (3)溢流邊界與梅雨鋒間有無交互作用?

除上述各類系統外, 華南短槽的動力作用, 新舊鋒面或鋒面與 ITCZ 會合而形成的似包圍鋒(劉與陶, 1982), 以及沿華南沿海而來的低壓或擾動(劉, 1981), 對台灣區豪雨均有貢獻, 唯它們多在實驗區以外生成後移入, 因而本此實驗不易找出其生成機制等特性, 不過由本實驗應可瞭解其移動, 與梅雨鋒的關係等特性。

為了達到上述目標, 實驗中的各項觀測應全面加強, 其要點如下:

(1)高空觀測

除作業中的板橋、馬公、東港、綠島四探空站外, 將在花蓮、台灣大學各設一站, 再配以海研一號(在海峽北部)上使用 Q 定位的船用探空站, 形成環島高空觀測, 而後利用國軍的機動探空站, 在中央山脈適當的地點增設一至二觀測點, 以構成 500 公里 \times 500 公里內重點區域(本島及近海)的密集觀測網, 實驗中將實施每 6 小時一次的探空觀測。

由於下層的高空風受局部地形的影響很大, 而局部環流對台灣區豪雨及大雨中心的分布(曲與劉, 1984)有相當的貢獻, 因而在高空觀測上除了探空以外尚需配以氣球測風的觀測。現有的氣球測風作業僅空軍有, 但都分布在海邊, 實驗中除要求有關單位增加觀測次數外, 應增設臨時觀測點, 所需人員及裝備由台大、中大、空軍等單位支援。增設測站數最好在 5 站以上, 分配在自宜蘭經淡水至新竹一線的近山地區, 配合探空站每 6 小時觀測 1 次。

(2)地面觀測

在 500 公里 \times 500 公里的實驗區內, 地面觀測亦與高空觀測一般可概分為兩區, 其一為普通區, 包括實驗區的全部, 其觀測方式是利用所有的現有測站實施密集觀測; 其二是加強區即淡水河流域及桃竹地區(圖 28), 在此區內將配置氣象測站 33 個(圖 29)及雨量測站 62 個(圖 30), 實施連續性(自記儀器部分)及每 30 分鐘 1 次的人工觀測。不在此加強區以內的現有測站, 在實驗期間亦將實施與加強區時序相配合之密集觀測。

(3)雷達觀測

實驗區內現正作業中的氣象雷達有四分設於台中(空軍)、高雄(氣象局)、綠島(空軍)與花蓮(氣象局), 實驗期間將增加二傳統雷達, 分設於台北(氣象局)及中壢(中大), 可構成一頗為良好的觀測網, 另民航局在中正國際機場架設中的都卜勒氣象雷達屆時將與美方同型雷達配合作業, 以觀測雲內的風場結構。所有的雷達將實施 30 至 15 分鐘的密集觀測, 資料均將是數據化的, 否則將以照像保留。

除此以外, 國科會支助中央大學負責架設的 VHF 雷達屆時將參加作業, 對相關區內的高空風場(含垂直分量)將提供甚多寶貴的資料。

(4)氣象衛星

中央氣象局衛星測站於實驗期間除仍按時接收 NOAA-9 號軌道衛星(每天兩次)與日本 GMS-3 號同步衛星(每三小時 1 次)的雲圖外, 將協調日本氣象廳, 要求其 GMS-3 能每小時提供觀測資料一次。除此以外, 該局將對實驗期內所有的衛星資料以相同之標準做加強(enhanced)分析, 儲存備用。

(5)其他

為了發揮密集觀測的效能, 盡量增加可用的資料亦是重要的工作。目前「飛行員天氣報告」及非氣象雷達提供的氣象報告, 在實驗期間應加強, 尤其是後者, 多年來曾提供甚多劇烈天氣時的回波報告, 在實驗期間如能加強其作業, 或派氣象觀測人員參與工作, 會有更多的收穫。

除此以外, 在協調日本氣象廳加強 GMS-3 氣象衛星作業之同時, 亦應要求其在琉球的各類測

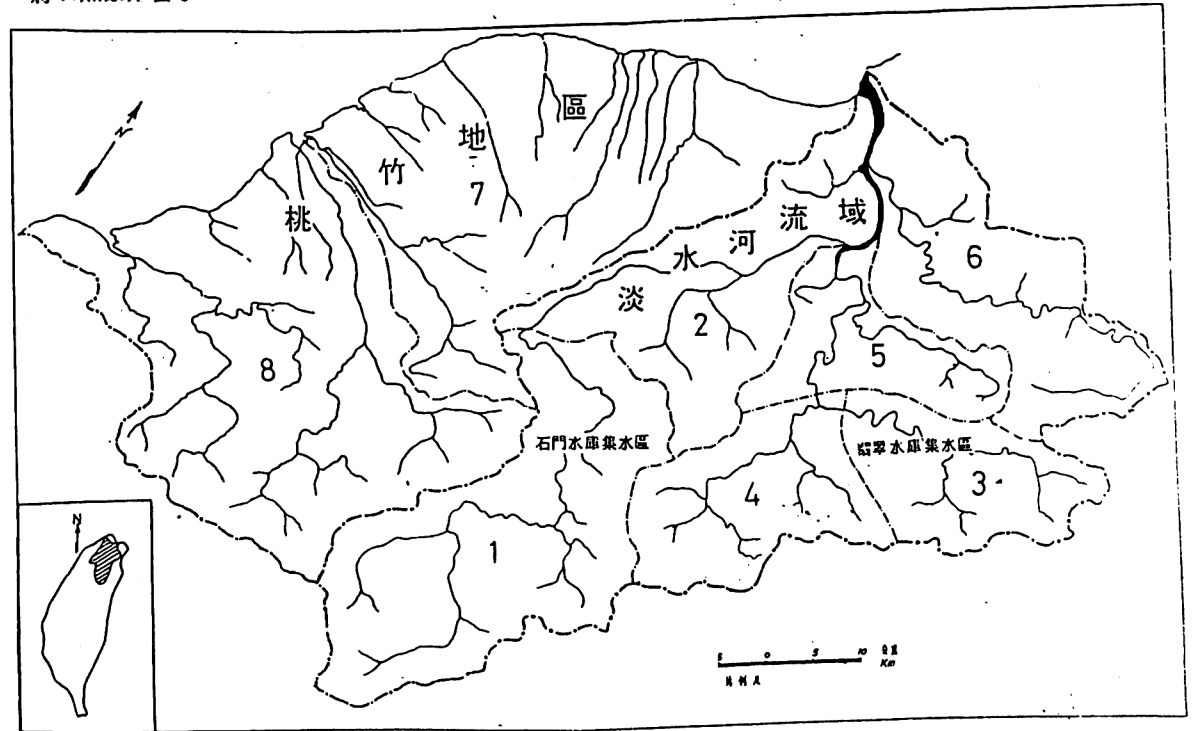


圖 28: 實驗加強觀測區。(摘自吳, 1984)

民國 74 年 11 月

劉廣英 葉文欽

6. 陳泰然、紀水上(1978)：台灣梅雨鋒面之中幅度結構。大氣科學，5，1，35-47。
7. 陳泰然(1978)：台灣梅雨期之中幅度天氣系統分析。台灣地區災變天氣研討會論文彙編，國科會，150-157。
8. 陳泰然、吳清吉(1978)：台灣五大城市之氣候特性分析。大氣科學，5，2，1-16。
9. 陳正改(1979)：梅雨鋒面所伴隨之低層噴射氣流和台灣地區豪雨之關係。大氣科學，6，1，29-37。
10. 陳正改、蔡清彥(1979)：台灣地區梅雨系統之降水特性及天氣型式。台大天氣科學系研究報告 Mei-Yu-003。
11. 蔡清彥(1979)：冬季季風實驗之科學目標。氣象預報與分析，78，48-49。
12. 陳泰然、紀水上(1980)：台灣梅雨季之中幅度降水與中幅度低壓研究。大氣科學，7，39-40。
13. 劉廣英、李紀恩及羅欣成(1980)：梅雨季中極端天氣預報之研究。空軍氣象中心研究報告 19 號。NSC-69M-0202-05(02)。
14. 劉廣英(1981)：梅雨季中台灣地區豪雨之分析研究。氣象預報與分析，88，7-12。
15. 劉廣英(1982)：民國 72 年 5 月 28 日豪雨與中範圍天氣系統之關係。氣象預報與分析，91，1-10。
16. 劉廣英、陶家瑞(1982)：華南似包圍鋒與台灣降水之關係。中範圍天氣系統研討會論文彙編，439-445。
17. 曲克恭、劉廣英、張儀峰及葉文欽(1982)：台灣地區豪雨及暴雨量分佈研究。空軍氣象中心研究報告 22 號，NSC71-0202-M070-02。
18. 劉廣英(1983)：美國大型防災計劃 STORM 簡介。氣象預報與分析，97，40。
19. 曲克恭、劉廣英、張儀峰及葉文欽(1983)：台灣地區豪雨及暴雨特殊分布之成因。空軍氣象中心研究報告 25 號，NSC-72-0202-M072-01。
20. 國科會(1983)：大型防災專案研究成果發表會論文彙編。
21. 陳泰然(1983,1985)：國內近年大氣科學研究成果納入實際氣象預報作業之可行性研究。國科會防災科技研究報告 72-09 號及 73-16 號。
22. 葉文欽、呂國財、王觀智、莊玉諱(1984)：台灣地區緯流與經流之垂直分布探討。航空氣象與飛航安全研討會論文彙編，503-516。
23. 葉文欽(1984)：對台灣梅雨的探討。空軍學術月刊，331，61-64。
24. 吳宗堯等(1984,1985)：台灣地區氣象及水文測站網調查規劃研究。國科會防災科技研究報告 72-36 號及 73-41。
25. 陳泰然(1985)：「劇烈區域性豪雨觀測與分析實驗計劃」之可行性研究，國科會防災科技研究報告 73-42 號。
26. 劉廣英、葉文欽、張儀峰(1985)：台灣區探空氣象因子量氣候參考值之分析。空軍氣象聯隊研究報告第 013 號，132 頁。
27. 郭英華，1985：個人資料。

On the Heavy Precipitation over Taiwan and
the Proposed Observational Project
Koung-Ying Liu
Wen-Ching Yeh

ABSTRACT

Heavy precipitation or flash flood has occurred throughout Taiwan in a rate of two to three time a year. This, among others, is a very severe natural disaster. Therefore, it is an important subprogram in the Multiple Hazards Mitigation Project of the National Science Council, R.O.C. Furthermore, an observational project is under planning. In this paper an introduction to the project will be given in the first. Then, the heavy precipitation over Taiwan will be discussed through a climatological point of view. Synoptic situations, mesoscale systems and topographic contributions are the major parts of the discussion.

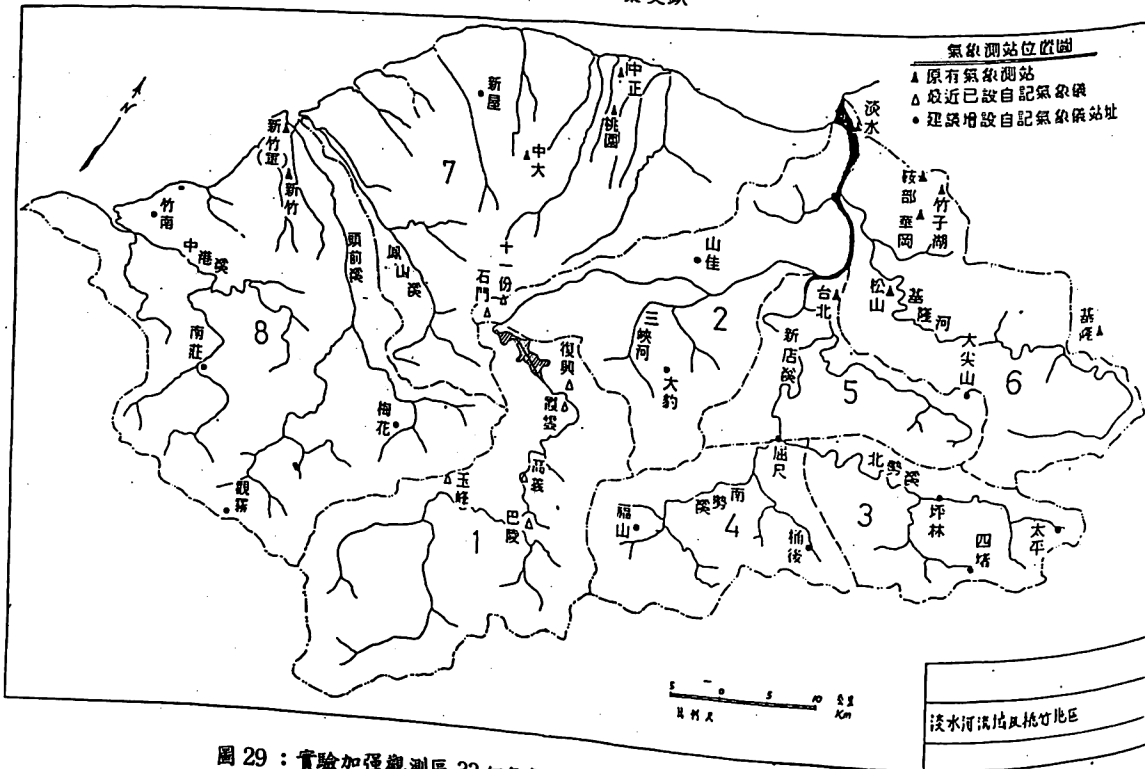


圖 29：實驗加強觀測區 33 個氣象測站分布圖。(摘自吳, 1984)

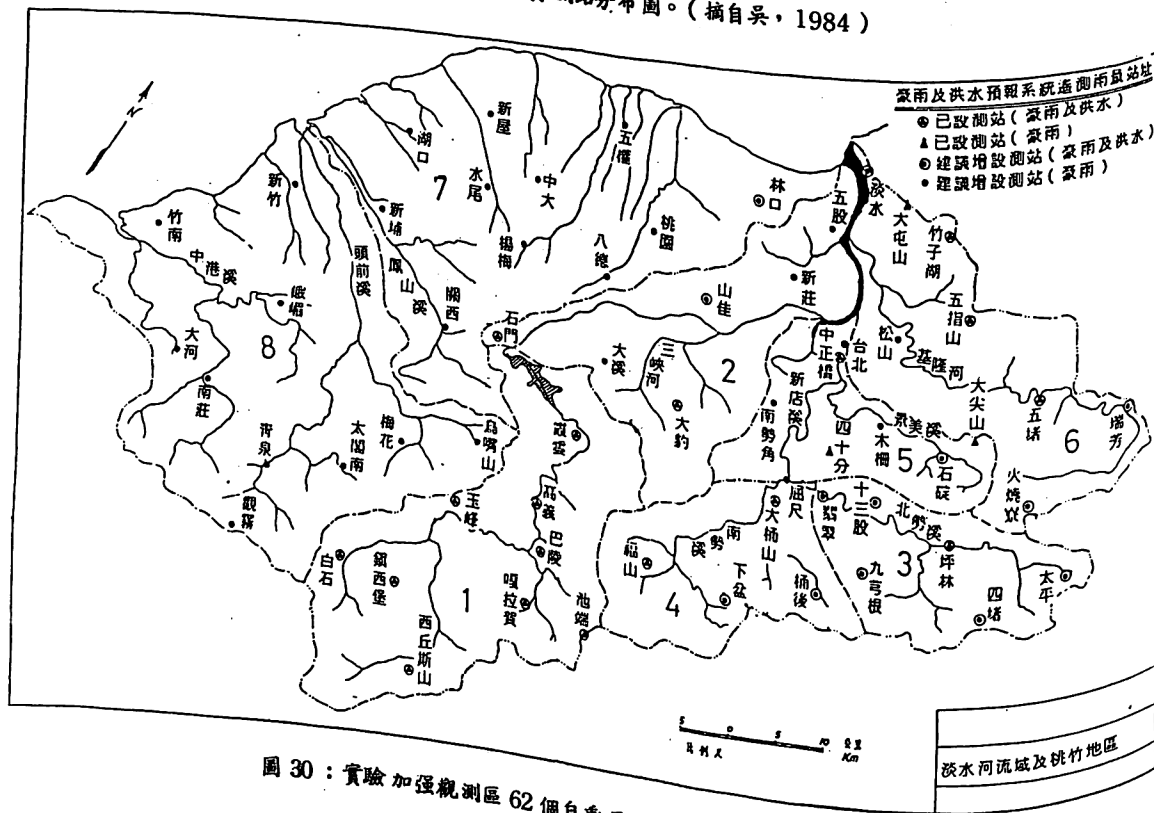


圖 30：實驗加強觀測區 62 個自動雨量站分布圖。(摘自吳, 1984)

站均能配合實驗，實施密集觀測，如此可增強研究區東北角資料的解析度，對實驗會有很大的幫助。資料保存與處理

所有觀測資料將先以原始方式交由資料管理組保存，該組將在實驗完畢後儘快加以處理。處理後的資料檔(含原始資料)將提供各研究者使用。

除了上述傳統的氣象觀測外，國科會海研一號及海軍的九連號將分在台灣海峽北部及南部實施作業——海研一號除傳統的海、氣象觀測外，並將使用本軍Ω定位的船用探空裝備實施高空觀測，而美方並將派遣氣象觀測機二至三架前來我國作業，這些觀測在我國均屬創舉，不但在暴雨問題上我們會獲得寶貴的知識，即在氣象觀測工作上亦將獲益良多，值得好好重視。

五、我們應有的準備

本次實驗規模龐大，中美雙方氣象界幾乎是全面動員。欣逢此大好機會，我們這些從事實際作業的空軍氣象人員自應全力以赴，以下僅略述己見以與大家共勉：

- 1 儀器要早作更新、改進及校驗，以期作業圓滿。
- 2 人力全面動員，共同執行各項任務。
- 3 每一次實驗都要認真按規定實施觀測，不可有任何差錯；因而我們必須儘早瞭解實驗內容及要求並預作準備或演練。
- 4 改善傳報系統提高工作能量。
- 5 與中外共同作業單位密切協調，全程掌握狀況。

除此以外，應即刻開始研讀有關文獻，一方面瞭解本次實驗內涵，另一方面提高參與工作的能力，更進一步能利用實驗所獲資料，深入研究大氣現象與本省暴雨的問題，以期對暴雨預報早有突破，造福全民。

六、結語

民國67年在旅美學人張智北教授規劃下，曾於我國南海地區實施國際合作的冬季季風實驗計畫(

蔡, 1979)，當時空軍氣象部隊不但全程參加，且派員攜帶裝備赴東沙作業，由於事前準備充份且工作熱誠，獲得極佳的評語。現在又一次更壯觀的科技合作實驗又要開始了，我們除了要熱切期經由實驗可以(1)進一步瞭解台灣地區與暴雨相關各中小尺度天氣系統的結構、形成機制、彼此關係、以及地形對它們的影響；(2)提升預報能力以外，更要將此次實驗視同一項作戰任務，只許成功不容有任何失誤，以保持固有的榮譽發揮氣象人員苦幹的工作精神。

在過去，對於梅雨季中的天氣現象曾有不少個別的分析與研究，根據本次實驗的規劃內容可知，梅雨鋒、低層噴流、滯留性中尺度低壓、溢流邊界、地形與局部環流等系統為觀測重點，而使用的裝備除了各種傳統儀器外，更包括了飛機、都卜勒氣象雷達、VHF雷達(也就是我們常說的「風程儀」wind profiler，基本上是利用雷達波的變化，如都卜勒位移，反求風場也就是水平及垂直風向與風速)等新式儀器，實驗的成果是可以預期的，唯人也就是我們所有參與作業的人員是決定實驗成果大小最重要的條件，實不容有任何一點疏忽。願共勉之！

致謝

本文之完成承台大大氣科學研究所陳泰然教授提供資料，氣象中心汪勝雄和陳箴二位學弟處理部份資料始克完成，特致謝意。

參考文獻

- 1 徐晉淮(1971)：台北地區暴雨之研究。氣象學報，17，3,49-71。
- 2 俞川心、黃中成(1975)：台灣南部暴雨成因之分析。氣象預報與分析，65，33-38。
- 3 黃中成(1976)：低層西風噴射氣流對台灣天氣之影響。氣象預報與分析，68，37-46。
- 4 國科會(1976)：第一屆全國大氣科學學術研討會論文彙編。
- 5 國科會(1978)：台灣地區災變天氣研討會論文彙編。