

人們飲用自來水量之多寡，係與氣溫高低成比例，在炎熱之夏天，台北市民每天約需自來水一二〇萬公噸，此等水自上游流入青潭堰，再由青潭堰流入自來水管。如進入青潭堰之流量少於取水量，則必須有儲水可資補充，不斷流入青潭堰而使水位達到一定之標準，始可維持吸取足量之正常用水。台北市自來水事業處根據過去十八（民國四十二年）至五十九年）年間之流量資料，開闢直潭埧為儲水之用。此埧海拔高度為 33.50 公尺，最高滿水位為 44.70 公尺，最大儲水量為四二〇萬公噸。表一右方所示為新店溪十八年間部份流量統計資料，流量絕對稀少情形，曾發生於民國五十二年四五月間，絕對最枯旬平均流量為每秒 6.19 立方公尺（ CMS^{-1} ），絕對最枯二旬及三旬平均流量分別為每秒 7.05 及 7.71 立方公尺，但因當時尚未臻炎熱季節，用水量較少，故未以此項資料為設計儲水埧之依據。在六、七、八月間最枯旬平均流量為每秒 9.78 立方公尺，最枯二旬平均流量為每秒 11.77 立方公尺，在如此情況下，每日流入青潭堰之水量分別約為八五及一〇二萬公噸，如以每日需水一二

○萬公噸而論，僅分別缺水卅五及十八萬公噸，則直潭壩滿水位所儲之四二〇萬公噸水，已可分別補充台北市十二天及廿三天用水之不足，現在藉表一左方所列六十九年夏季之流量情形發現，六月上旬流量尚稱豐沛，中旬後即顯著減少，至七月二十一日，流量已減至每秒8.6立方公尺，即每日進入青潭壩之水量約為七十四萬公噸。當時直潭壩之儲水已陸續放出補充，水位已降至40.9公尺，儲水量僅有一七〇萬公噸，設若進入青潭壩之流量不再惡化，而仍對台北市民維持全區全程供水，則直潭壩一七〇萬公噸之儲水量，尚不足以補充台北市民四天之所需，由此可見，當時問題之嚴重性。台北市自來水事業處處長徐整備及督察陳潤泉兩位先生，於七月二十二日親至氣象中心，告知上述嚴重缺水之緊急情況，並經詢問獲知北部短期內無明顯的區域性降水系統後，即口頭商請空軍支援實施人工造雨，以解決人民困苦。

貳、實施人工造雨籌備經過及作業程序簡述

空軍氣象聯隊於受到此項重大付托後，深知時間之急迫與為民服務責任之重大，除由聯隊長林少將迅速向總司令馬島上將報告後，即刻展開有關籌備工作。實施空中造雨，主要係由空運部隊及氣象部合作作業，故準備工作中，包括飛機之派遣、造雨材料之購置、及天氣資料之蒐集與研判等。扼要簡述如下：

一、台北市自來水事業處提出正式申請：——奉命由筆者以電話向總部作戰署航務組連絡，經該組與國防部有關部門連繫後獲知，造雨事宜請自來水事業處正式提出申請，乃即刻轉知對方循序辦理，並迅速獲准實施。空運部隊奉命後，於極短時間內即完成準備工作，選出最佳飛行人員及空投兵，候令起飛實施造雨任務。

二、成立人造雨氣象作業小組：——空軍於接獲台北市自來水事業處口頭提出人工造雨構想後，當天聯隊長即在氣象中心召開會議，挑選最適當人選，成立人造雨作業小組，分配工作，分別迅速展開有關工作。由於造雨區域係在台北市近郊，任務機在台北松山機場起飛，故氣象作業小組中，除氣象中心人員外，尚包括第八基地天氣中心人員。

三、迅速完成準備工作：——根據工作分配，

於短期內協同採購造雨所需水桶、皮管、投冰器及乾冰、鹽粉等造雨劑。同時，迅速在松山覓得打乾冰地點及打碎乾冰之人手，搬運乾冰及鹽粉上飛機之空運車輛，商請台北市消防水車至松山機場負責裝水任務，挑選負責盡職之隨機氣象作業人員，凡此種種，皆在大家共同努力下，迅速完成。

四、瞭解造雨區地理特性及天氣日變化：——台北市自來水集水區，亦即準備造雨區域，詳如附圖一所示。本區位於台北市南至東南方，係一山區，四周為高低不平之分水嶺所包圍，區內有北勢溪及南勢溪兩流域，北勢溪大致成東西走向，流域較長。南勢溪呈南北走向，流域較短，上游分成兩支。本區東南面與宜蘭相接，分水嶺上海拔較高，由南向北遞減，至北勢溪流域達最低。本集水區西南方之塔曼山及達觀山一帶，海拔為2130及2030公尺，係本區與石門水庫集水區之分水嶺，此山嶺呈東南偏南至西北偏北之走向，塔曼山左方山坡下方之巴陵站，為石門水庫流域內五個雨量站之一。在南勢溪上游，海拔高度超過1400公尺之山峯有四座，此等山峯之走向，分別呈東西向、南北向、及東南至西北向。一般而論，本區內之山脈地形，西部比較複雜，東部比較單純，氣流受地形影響很大。如無明顯較大之高空風情況下，局部形成對流性雲內實施人工造雨，西部地區似較東部地區者為有利。由於此區內缺乏雲層及風等觀測資料可供參考，故在籌備期間起即派氣象人員赴山區實施目視觀測，以了解其日變化。同時，並利用機會在坪林及信賢兩地，委託家中裝有自動電話而熱心公益之老百姓，經過當面教導如何觀測雲層及風之簡單方法後，請其就近代為觀測，所獲結果，由氣象中心值班預報長打電話向其索取，此項資料之獲得，對研判山區是否適於人工造雨，頗有貢獻。在烏來地區，每日均派有氣象專業人員觀測，在籌備期間，筆者曾去烏來實地觀測三天，坪林先後觀測二天，對了解當地雲層之日變化，頗有助益。後來，烏來地區之天氣觀測，由氣象中心預報長擔任，觀測結果，藉公用電話系統向氣象中心值班預報長反映。此外，注意地面及高空圖上氣壓系統之動態，並明瞭台灣及其鄰近地區探空資料所顯示氣團秉性之變化，以供人造雨之參考。

五、造雨之作業程序：——人工造雨，必須在

適當的天氣條件下實施，始有相當成效。但因迫於事實需要，無法等待適當造雨條件之到達，乃在其他造雨所需準備及支援工作完成後，於七月二十五日起正式實施人造雨作業。負責升空執行人造雨之

C-119型飛機三架，於二十五日下午自屏東基地飛抵松山，隨機飛行人員三組（其中一架為待命機），空投兵兩組亦隨機同時到達，飛行人員均是技藝高超而經驗豐富之分隊長或以上人員。此等C-119機及空投兵，連續駐在松山三天，然後換防返屏東，完全以作戰方式來執行人工造雨任務。因此，每天均處於待命狀態，俟機實施人工造雨，其作業程序如下：

(一)、此次空軍實施人工造雨，由氣象聯隊長林少將主持，派筆者每日在氣象中心及松山機場負責督導，航務組組長周上校及自來水事業處陳觀察等人，均每日在松山機場負責任務機派遣及有關協調準備工作。

(二)、任務提示：待命執行人造雨期間，於每日上午九時至九時卅分，飛行人員及有關人員即聚集於松山機場天氣室，舉行任務提示，首先由筆者作天氣講解，再由航務組周組長或其代理人宣達有關航行規定。天氣講解方面，一般包括下列要項：

1、執行上一次人造雨之成效檢討：飛行人員冒著亂流進入雲中作業，都希望有優良效果，所以對提出之成效檢討，都非常重視。有時，他們明明體會到，山區的雨是經由他們連番飛入雲中作業所獲之結果，返航時興高彩烈，但翌日却由報上所載標題「雨是由西南氣流所引起」數個字弄得面帶倦容。

2、天氣圖趨勢敘述：利用天氣圖，說明高低壓與界面系統所在位置及其移動趨勢，並配合氣象中心當日八時卅分所接收之同步氣象衛星雲圖，闡述台灣係處於何種氣流之下

3、台北氣團秉性分析：根據台北1200Z探空資料，加以分析介紹，說明當地高空風隨高度之分佈、濕度分佈、空氣穩定度、雲之發展情形及雲底與雲頂之可能高度。

4、綜合結果：根據天氣圖及氣團秉性情況，並配合前一日造雨情形，研判當日造雨成功機率，預估第一架造雨飛機之可能起飛時間，及如何選擇適當地區之雲層實施造雨，俾可獲得顯著成效

而不致造成之雨移出範圍（實際上，很多造成之人造雨均移出範圍而下在其他地區）。

(三)、蒐集山區觀測資料：山區雲量多寡及其發展情形，係由下列來源獲得：

1、山區地面觀測：每日派往烏來地區之預報長，所觀測之資料較為詳細，如雲量、雲狀、雲高、風向風速、附近雲之多寡及其發展概況。此外，委託坪林及信賢兩地人民所觀測雲之情況，均按時由氣象中心值班預報長報到松山機場天氣室，此等連續性之觀測資料，對判斷整個山區雲之多寡及當地雲層之變化，頗具參考價值。

2、在機場觀測山區雲層發展：台北市自來水集水區，係在松山機場南方至東南方。因此，在松山機場即可觀測到山區對流性雲之發展情形，此項觀測，最為方便快捷，實施最為頻繁。同時，由雲層之駐留性及移動性，可以提供山區造雨成功與否之線索。

3、飛機空中觀測：在造雨期間，吾人常親自委請飛行人員或經由塔台委託在空飛機，實施空中雲層觀測。此項資料最為可靠，應用價值頗高。尤其空軍運輸機，飛行人員都清楚此等資料在判斷是否適於造雨之重要性，所以他們都非常樂意提供，自動提供。根據此等資料，遂可判斷是否可實施造雨及何時起飛造雨。

(四)、飛機升空實施造雨：根據所蒐集之山區雲層資料，預判雲層發展至自由對流高度（LFC）之大概時間，以決定飛機起飛作業時間，一般並預置將塊狀乾冰打碎裝入袋子或箱子及搬運造雨劑上飛機所需時間。飛機起飛後，由隨機氣象人員記錄飛至山區後，即各高度上之風向風速及溫度情形，飛至山區後，選擇最佳雲層及最佳位置，通知空投兵實施造雨，並將造雨後雲層發展情形，透過塔台迅速通知地面氣象人員並轉知第二架飛機是否應起飛繼續實施，及在草山之何方向及那一地區內作業（有關方位及距離，請見圖一）。因積雲發展至消失，生命時間大多以一小時左右，故實施造雨時機之配合，非常重要，故隨機氣象人員責任非常重大，在造雨期間，被選擇上機之氣象人員，都具有相當經驗之優良軍官，表現都相當好。最值得稱道的是他們冒著亂流的危險為民服務的熱忱。

叁、實施人工造雨概況及其成效檢討分析

一、實施人工造雨概況：——自民國六十九年七月二十五日下午，飛機升空在烏來坪林山區展開人工造雨起，以迄同年八月廿六日預測「諾瑞斯」颱風將侵襲台灣並可解除台北市自來水水荒而停止外，前後共歷時一月有餘，期間除天氣條件極端不利造雨而暫停外，共計實施人工造雨二十七天，出動造雨飛機 103 架次。造雨期間逐日升空之飛機架次、福山坪林大桶山之降水量、直潭壩水位高度及其儲水量，詳如表二所示。每日出動造雨飛機之多寡，主要係依據當日天氣條件而決定，即根據觀測所得之雲層分佈及經過種雲後所引起之雲層反應情況而決定，多則六次，少則一次，每一架次飛機，自松山機場起飛，按計畫航線飛抵目標區實施造雨作業後，再飛返松山降落，歷時一個鐘頭左右，返航時碰到人造雨已擴及松山而無法降落而必須降落他場，所需時間更久。此次長時間實施人工造雨，參與空中作業及地面支援任務者，共計 2943 人次。在火傘高照之炎夏，實施此項人工造雨，其持續時間如此之久，出動飛機如此之多，以及參與人員如此之衆，不僅開中華民國造雨史上之先例，深信即使在外國亦不復多見。我們空軍大家同心同德，冒險與大自然作戰，為民服務，為民解除困苦的熱忱及至高無尚的情操，是最值得我們自傲的。

二、人造雨成效檢討：

(一)、雨量站代表性——實施空中造雨期間，根據飛機連番飛入雲中觀測顯示，凡對同一雲塊先後經過二次種雲後，雲層顯著向上發展，均曾發生降水現象，有時且發現打擊機頭玻璃之水滴相當大，但因佔地面積 712 平方公里之自來水集水區內，僅有福山、坪林及大桶山三個自動量雨站，實施每小時雨量觀測，且此三測站分佈並不均勻。因此，凡人工造雨所得之降水範圍，未涵蓋此等雨量站者，均無降雨紀錄。尤其在此山區造雨，係在局部性積雲中實施，有時此種近似圓形積雲之半徑，僅有 3—5 公里而已。故表二所列三個測站之雨量，並不足以代表山區造雨所獲之真正成果。為了彌補此種缺點，表中乃附有直潭壩逐日水位及其儲水量之多寡，由其前後兩日之水位變化趨勢，可供研判山

區是否有雨之參考。不過，在久旱不雨之山區，土壤非常乾燥，大部份河流之上游河床已呈乾涸，致降在地面之雨量，甚至降在距河流較遠地區之較大降水量，均有被地表吸收殆盡而無法流入直潭壩之可能。同時，降落雨量與流入直潭壩所需之時間，又視降水強度及其降雨地區距溪流之遠近而定。因此，由直潭壩水位之升降（係假定每日自青潭壩所引取之自來水用水量為近似常數，流量多於需要量時，直潭壩水位升高，流量少於需要量時，直潭壩放水加以補充，直潭壩水位即下降）趨勢，亦難以完全決定何日山區之真正降水情形。但由上述三測站之連續數日無雨量紀錄情況下，發現期間水位升高，則必曾有降水發生。

(二)、人造雨結果：——由表二左方所列飛機出動架次獲知，期間由於氣象條件顯著不適宜，而飛機未予升空實施造雨者，計有八月二、三、十、十六及廿三日等五天。此外，八月一、十四及十七日等三天，因作業一次後，發現實際高空風太大或雲層無明顯反應而未再後續實施而作罷，故真正造雨二次（含）以上者，共計有廿四天。就表中所列三個雨量站之紀錄顯示，位於西部南勢溪流域之福山及大桶山，出現有雨量者均為九天，位於北勢溪流域之坪林，有雨量者僅有四天，三個測站同時均出現有雨量者計四天，福山及大桶山兩地同時發生有雨量者亦為四天，福山或大桶山單獨出現有雨量者為三天，此三個測站之總雨量，以大桶山 150 公厘為最多，福山 70.6 公厘為次多，而以坪林 37 公厘為最少，顯示局部性造雨成效，頗受地形影響，即在西部山區造雨，其成效遠較在東部山區者為優。此點事實，筆者在前節中述及地形時業已指出。在三個測站同時獲有雨量之四天中，其成效以八月十八日為最佳，該日坪林及福山雨量各為 16 公厘，大桶山雨量竟多至 103 公厘。其次，八月四日三個測站所獲雨量亦相當多，坪林為 18 公厘，福山及大桶山分別為 7 及 3 公厘，其他八月五日及八日，雖三個測站均同時獲有降水，但雨量並不多，均在 3 公厘及以下。由表二右方所列直潭壩水位及其水位升降趨勢獲知，八月十三及十四日水位均略有上升（根據每日八時觀測），顯示十二日及（或）十三日可能有降水發生。從逐日降雨量分佈中，可知山區內降雨之連續性較差，最多僅能下雨兩天，

而且第一天下雨範圍廣而雨量較多者，翌日雨量必較少。有關此項現象之發生，將在氣象因子與人工造雨之關係一節中加以研究。

(三)、本次人造雨效益：——在七、八月間，於溫帶鋒面系統難於接近台灣而又缺乏熱帶氣旋侵襲之情況下，在山區實施人工造雨，雖難獲得充沛雨量而無法完全解決台北市自來水荒，但效益相當顯著，扼要介紹如下：

1、紓解台北市自來水荒，維持隔日分區供水：——台北市自來水集水區於進水流量減至每秒 8.6 立方公尺及直潭壩水壩水位降至 30.9 公尺之緊急情況下，空軍自七月二十五日起實施人工造雨，並獲甘霖，但因當時仍維持全程供水，致直潭壩水位繼續下降，於是台北市自來水事業處採取分區隔日供水之措施，在此種情況下，每日所用水量為 80—90 萬噸。由表一左方所列每日流量獲知，自七月廿六日起，流量已降至每秒 7.7 立方公尺，但在八月十五日前，逐日流量均維持 7.7 至 8.6 之間，自八月十六日起，流量漸次下降，至十八日已減至每秒 6.4 立方公尺，由表二所列直潭壩水位顯示，期間水位降至 37 公尺以下者，計有八月四日及十五至十八日共計五天。經查此種低水位現象，係於連續數日未實施人工造雨情況下所發生，所幸均經飛機適時升空造雨獲得雨量，而使問題得以紓解。其中尤以八月十八日清晨八時，水位降至 35 公尺最為嚴重，當時直潭壩儲水量僅存 21 萬噸，幸虧該日出現適當氣象條件，自上午十一點卅三分第一架飛機起飛後，連番出動五架飛機升空造雨後，山區普遍獲得豐沛雨量，乃使進水流量迅速增加至每秒 44 立方公尺，遂使直潭壩水位由 35 公尺而升至 39.5 公尺，儲水量急增為 120 萬噸。以後數日，水位繼續增高，至廿三日晨八時，水位已回復至 40.95 公尺，儲水量為 172 萬噸，已較七月廿五日開始造雨時之 170 萬噸稍多。再從表一列進水流量顯示，十八日下午造雨所獲山區大雨所造成之高流量，於廿一日即減小為每秒 8.0 立方公尺，自廿六日停止造雨後，流量更繼續減小，待二十七日晨八時，流量已小至每秒 6.9 立方公尺，所幸諾瑞斯颱風正如預測於廿八日侵襲台灣北部，帶來豐沛降水，徹底解決台北市自來水缺水之嚴重問題，凡此種種事實，皆顯示連續不斷實施人工造雨所帶來

或多或少之雨量，對維持台北市自來水隔日分區供水任務之圓滿完成，是具有何等重大之貢獻。

2、為民服務，增強團結：——我大有為政府，係以三民主義為建國藍圖，為民服務，解決民困，為我政府之一貫政策，此次在嚴重乾旱缺水情況下，我空軍以作戰待命方式，全力支援實施人工造雨，圓滿解決台北市二百多萬市民之自來水飲水問題，充分顯示我空軍為民服務之熱忱，對加強軍民團結及增進人民對政府之向心力，有莫大貢獻。這種鼓舞民心士氣並解決真正問題之人造雨工作，對國家無形戰力之提高，是難以估量的。

3、累積經驗，改進造雨作業：——此次在山區長期實施人工造雨，並高度期望有優良成效之心態下，不斷累積經驗，改進缺點，使造雨作業程序及其有關支援工作，均有所增進，對今後造雨成效之提高，有積極性作用。綜合此次造雨期間，有關造雨改進措施如下：

(1)、在此次長時間之造雨任務中，所用造雨劑包括乾冰、鹽粉及清水。其中因乾冰係在苗栗製造及昇華迅速之特性，故對其預訂、運達、打碎及上機時間之配合，是一個相當困難的問題。有時因乾冰配合不上而喪失部分機會，有時因打碎乾冰恰遇雲層迅速變薄而招致損失。為改進此困擾問題，乃在大家協力合作下，於松山基地覺得一孤立小屋，稍加必要之隔熱設施後而造成乾冰儲存庫，隨時儲滿乾冰，每逢山區氣象條件適合，可隨時自冰庫取出乾冰，加以打碎分包裝送上飛機備用，如此既可免除先一日預訂乾冰之困擾，且對減少乾冰損耗，節省人力，把握造雨時機及增進成效方面，均有莫大之助益。有關此冰庫之改進，原作戰署航務組長周其幹上校的貢獻相當大。

(2)、此次在 712 平方公里之山區內實施人工造雨，係以對流性雲為對象，因此種雲胞發展之生命史有限，故對所覺得之適當雲層（塊），必須施以連番造雨，以期於短時間內能觸發該等雲層之迅速發展。故對目標雲之所在位置必須能正確定出，為達到此目的，筆者乃設計出以草山導航台（位於基隆金瓜石東南方山上）為中心，以方位及距離定出台北市自來水集水區之位置，例如坪林，它係位於草山 227 度 13 浬處，詳如圖一所示。當飛機升空發現有良好雲層後，氣象官或飛行人員即可透

過陸空通信系統，迅速通知地面人造雨指揮中心，準備後續造雨飛機起飛，正確飛往目標區，實施連續性造雨。

(3)、造雨飛機中所使用之冰箱及有關投放器材，不斷加以改進，投放造雨劑速度易於控制。同時，隨機氣象官與機長間之協調更趨密切，配合更為良好。使每架飛機所帶之造雨劑，能投放散佈於最適當之位置及較廣之雲層中，使造雨發生最大之效果。此次長時期造雨期間，對台北市消防大隊水車之支援，基地空運分隊協助搬運造雨劑時間之配合等，經由工作經驗之累積，均有顯著改進。

(四)、影響山區造雨氣象因子之分析研究：——本期造雨，係利用乾冰、鹽粉及清水等為造雨劑。期間雖因受飛機性能限制影響，無法飛至 0°C 等溫線所在高度附近投撒乾冰，致乾冰對造雨成效貢獻暫且不提，但由連續使用乾冰、鹽粉及水等造雨劑後發現，雲層大多有良好發展，茲就此期間造雨所獲之雨量結果，與氣象因子間之關係，加以分析研究，前面業已言及，此次造雨期內，既無地面鋒面通過台灣，又無颱風系統直接侵襲，致台灣及其附近天氣圖上之地面氣壓系統變化不大，台灣大多為太平洋高壓所控制。因此，探討此問題，先由造雨期間台灣各空軍基地及自來水集水區各測站之雨量加以比較着手，求其相互關係，再藉台北板橋探空資料之分析，以明瞭氣象因子對烏來坪林山區造雨之影響。

1、台北山區造雨期間台灣各地雨量比較：——民國六十九年七月廿五日至八月廿五日造雨期間，台北市自來水集水區測站及台灣各空軍基地逐日雨量統計，詳如表三所示，表中附有石門水庫測站之雨量紀錄，顯而易見，自八月四日至十一日間，台灣西部地區均普遍有雨。雨量以中南部為最多，漸向南北地區遞減。但在山區，尤其是台北市自來水集水區之降水量分佈，顯與西部地區者有所差異。要檢討此問題，必須要明瞭造成西部地區逐日有雨之原因，經檢查逐日高空圖發現，此種降水之發生，主要係由於期間台灣盛行顯著西南風所引起。茲以 850 mb 圖加以說明，民國六十九年八月三日至十二日引起台灣西南氣流之 850 mb 低壓系統運動圖並附 031200Z 和 120000Z 等高線與鋒

面系統，詳如圖三所示。由於原位於蘇聯濱海省之高壓向西南擴展，迫使在長江以北地區之輻合帶，迅速位移至華南，且期間先後有四個低壓系統在華南至琉球一帶海上活動，其中以 #1 及 #3 兩套低壓比較接近台灣，致造成台灣地區高度較低而盛行顯著西南風，兼之氣流受西部地區之地形作用，乃造成普遍之降水現象。待十二日，北方高壓勢力減弱，太平洋高壓乘虛而入，高壓中心移至台灣東南方近海上，台灣地區之高度升至 1500 重力公尺以上，迫使低壓系統移至長江以北，台灣區高度梯度減小，氣流方向亦有所改變，乃導致西部地區每日連續陣雨之停止。再看表三，在八月四日至十一日間，即台灣西部地區普遍陣雨期間，台北市自來水集水區各雨量站却僅四天獲有降水量。此種降水分佈，與塔曼山一山之隔石門水庫區域之降水，亦有相當差異，顯示引起西部地區陣雨活動頻繁之西南氣流，因受本區地形影響，並非均有利於造雨之因子，詳細情形，將作進一步分析研究。

2、中、下對流層等壓面高度與風向風速對降雨影響之分析：——民國六十九年七月二十五日至八月二十五日間，台北板橋每日 0000 Z 之 850 mb、700 mb 及 500 mb 等壓面高度與風向風速情形，詳如圖四所示，經分析其與山區降雨之關係，獲得下列結果：

(1)、各等壓面上之高度下降而其風速減小至每小時十哩以下，為適於造雨成功之有利條件。八月四日及十八日造雨後獲得區域性之降水，即為明顯之實例。

(2)、等壓面上風向風速對造雨之影響遠較高度為重要；各等壓面上風速大，尤其是低層風速大，每不利於造雨。例如七月三十一日、八月三日、六日、七日、九日等，均屬等壓面上高度較低風速較大而造雨無成效之實例。七月二十八、二十九、及八月十九日獲得造雨成功，均屬風速較小（起碼是低層風速較小）而高度較高情況下之實例。

(3)、中、下對流層較大之東南風，每不利於山區造雨，雖 850 mb 層上風速較小，亦不例外。七月二十七日、八月十六、十七日，即因出現顯著東南風而未獲得降水之實例。

(4)、850 mb 等壓面上風之大小，對造雨成功與否，關係至為密切。風大為絕對不利造雨，

風小為造雨有利因素，但風小並非均能造雨成功，故在下節中將對風作進一步之分析。

3、台北板橋探空資料與山區造雨成效之分析——本次夏季在山區造雨，係在對流性積雲中實施，其成效係與空氣穩定度、自由對流面、水汽含量及風向風速等有關。故將造雨期間上述各有關因子，逐日加以計算及調查，結果詳如表四所示。茲將重點扼要報告如下：

(1)、自由對流面 (LFC)：——表中所列逐日自由對流面，係依據 0000Z 所觀測之探空曲線，並預估午後所出現之低層溫度加以修正而求得。由表獲知，逐日均有自由對流面存在，平均高度為 7680 呎，造雨成功各日自由對流面平均高度為 7000 呎，顯示較低的自由對流面，有利於實施人造雨。八月四日及十八日顯著造雨成功，自由對流面均較平均為低。

(2)、700 mb 溫度：——根據造雨飛機隨機氣象人員之觀測資料獲得經驗，10000 呎高度上較低之溫度，有利於降水之發生，故將此項資料予以統計。由表獲知，溫度分佈有較大變化，期間低的溫度為 8.8°C ，而高的溫度為 14.5°C 。大致而言，較低的溫度，每有利於人造雨成功。

(3)、850 mb、700 mb 及 500 mb 之濕度：——由表中顯示，八月四日至十一日，各層溫度露點差較小，致台北松山大多均有雨。在山區，較低值的溫度露點差，亦有利於降水之發生，顯示水汽多寡，對造雨成功具有重要性。

(4)、低層高空風：——前面業已論及，低層高空風小為造雨之有利因素，故對此作更詳細之分析。表中列有低層風速小於 10 kts 之厚度及最多風向，風向一欄中列有 V 及 B 兩字，係分別表示風向隨高度而順轉及逆轉之意。此外，所列風速小於 10 kts 之厚度中，偶而亦夾有一層 (1000 呎) 風速較 10 kts 為大之情況，例如八月四日是。由表中獲知，凡低層風速小而其厚度大，為造雨成功之有利因子，已看得很清楚。例如八月四日至十一日西南風期內，除五日（此日小風速厚度僅 1000 呎，但參考同一時間其他地區低層風，此種風速分佈值得質疑）外，小風速厚度在 7000 呎及以上者，造雨始可獲得降水量。其他時間，小於 10 kts 之厚度在 6000 呎及以上者，始可有雨。同時，10000 呎

以下所出現之較大風速，每不利於降水之發生。

(5)、300 mb 高空風：——造雨期間逐日台北 300 mb 高空風情形，詳如表四右方所示。在 32 天中，出現東南象限的風有 11 天，其中有 5 天造雨成功，佔 45 % 強。出現東北象限的風亦有 11 天，造雨成功者 3 天，佔 27 %，出現西南象限的風有 3 天，未發生降水，出現於西北象限的風有 7 天，有 2 天造雨成功，佔 28 %。由此可知，西南象限的 300 mb 高空風，不利於台北區之造雨，東南象限的高空風，最利於山區造雨。經查 300 mb 天氣圖，發現高壓中心位於東海至日本西南部時所出現之東南風，利於台北山區造雨。但八月四日及十八日所造成之普遍性降水，係發生於 300 mb 出現東北象限之風情況下。

4、台北烏來坪林山區降雨之連續性：——由表三獲知，在此次山區造雨作業中，降雨之連續性（第一天有雨，第二天亦有雨），最多僅有兩天。在整個造雨期間，連續兩天發生有雨者，福山計有二次、坪林一次、大桶山有三次。同時發現，連續下雨兩天後，即使繼續每天實施造雨，最少亦需兩天後，始可再度發生降水。此項發現，對今後在山區實施造雨時機之選擇，極有助益。茲將上述有關原因闡述如下：

(1)、地形影響，空氣置換不易：——台北市自來水集水區，四面環山，地形特殊，積存於山中之空氣，置換遠較平地困難。尤其適於山區造雨成功之空氣，低層高空風微弱為其最主要特性，故空氣替換更為困難。

(2)、下雨釋放潛熱，空氣趨於穩定：——適於下雨而近似滯留之山區空氣，經過連續兩天下雨後，釋放相當潛熱，使空氣趨於穩定，午後對流作用減小，積雲不易發展，故不利於實施造雨，此即連續下雨最多僅有兩天之主要原因。

(3)、山區水汽補充不易：——適於山區造雨而移動極緩慢之空氣，經過普遍性下雨後，水汽減少，無法迅速獲得補充，此亦使造雨成功之連續性僅有兩天原因之一。

(4)、山區因日射增熱，使空氣趨於不穩定：——雨後所造成之較穩定空氣，經逐日日射而角度變得不穩定，或低層風向風速顯著改變而使原空氣被置換而變得不穩定後，始可再度獲得造雨成

功。在此次長期造雨作業中獲知，由雨後之穩定空氣變成適於下雨之不穩定空氣，最少需時兩日。

肆、結論

台北市為我中華民國政治、經濟及文化中心，未來人口繼續增加，乃必然之趨勢。因此，在興建中之翡翠谷水庫未完成前，如遭久旱不雨之情況，則僅憑直潭壩之儲水量 420 萬噸，更難解決缺水之不足。故未來繼續在山區實施人工造雨，仍有相當可能性，茲將此次研究所獲氣象因子與造雨有關之初步結果，述之如下，俾供今後造雨及繼續研究之參考。

一、適於西部地區雷陣雨活動頻繁之西南氣流，因受本區特殊地形影響，並非是利於造雨成功之氣象因子。民國六十九年八月四日至十一日台灣出現顯著西南氣流期間，西部地區普遍有雨，而台北市自來水集水區僅造雨成功四天。

二、低層高空風風速小而厚度大，為山區造雨之最有利氣象因子，研究顯示，凡低層高空風小於 10 kts 而其厚度在 6000 呎以上者，均適於造雨成功。同時，10000 呎以下所出現之最大風速，對造雨亦有相當影響，風小為有利造雨，風大則不利。因此，造雨期間，每日在山區舉行高空風觀測，實有必要。

三、上對流層之風向，對造雨有相當關係，發生於東南象限的風，較利於造雨成功，在造雨成功的十一次實例中，有 45 % 係出現於上對流層之東南風情況下。同時顯示，發生東南風時，有 45 % 的機會造雨會獲得成功。不過，中、下對流層風速較

大的東南風，則不利於山區之造雨。

四、850mb 至 500mb 等壓面高度對造雨之影響，遠不如風速之影響來得大，但各層高度普遍由高降低而其風速亦減小至 10 kts 以下時，為成功造雨之最有利因素，並可獲得山區普遍性之降雨。八月四日及十八日造雨所獲豐沛雨量，即為顯著之實例。

五、逐日 700mb 等壓面上如出現較低的溫度，每有利於實施人工造雨，造雨期間，根據隨機工作氣象人員所測得之 10000 呎溫度紀錄，亦獲得此種經驗。

六、根據台北板橋探空觀測計算所得之自由對流面 (LFC)，對判斷山區造雨有相當參考價值。一般而論，較低的自由對流面，有利於實施人工造雨。此次造雨期間，造雨成功各日 0000Z 自由對流面之平均高度為 7000 呎。

七、台北山區實施人工造雨，那些適於造雨成功低層高空風較小之空氣，因受地形影響，致移動緩慢，替換不易，下雨後釋放潛熱使原空氣漸趨於穩定，兼之山區空氣水汽補充較慢等原因，乃造成逐日實施造雨成功之持續性 (第一天造雨成功，第二天亦成功) 得短，最多僅有兩天。雨後之較穩定空氣，經日射或低層風向風速明顯改變而再度引起可以造雨之情況，最少需時兩日。此等事實之被發現，對今後山區造雨時機之選擇，頗具參考價值。

八、中、下對流層各等壓面上之高度對造雨之影響，遠較其風向風速影響為小。常發現高度較低而風速較大不下雨，而高度較高風速較小下雨之情況。

致 謝

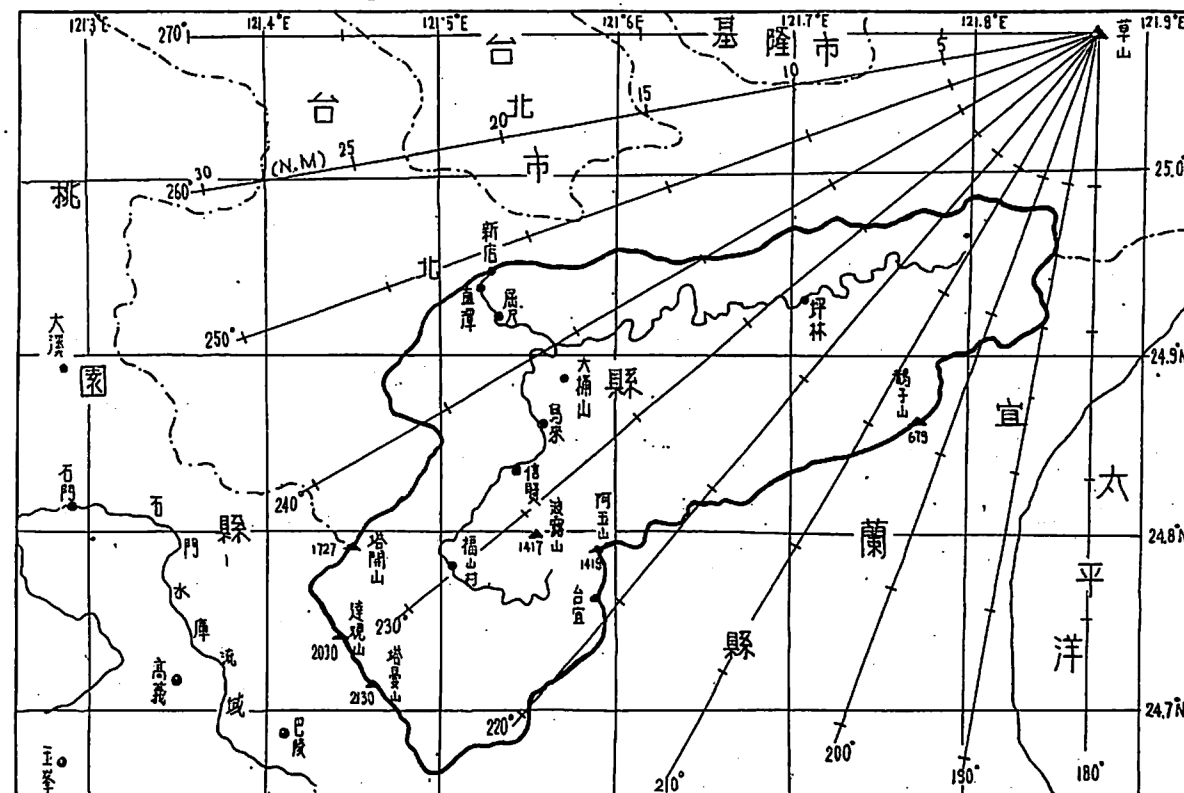
本研究之完成，承蒙台北市自來水事業處視察陳潤泉先生熱心提供烏來坪林山區雨量及直潭壩流量等資料。此外，氣象聯隊部吳天渠學長熱心代為繪製圖表，在此一併深致十二萬分之謝意。

參考文獻及資料

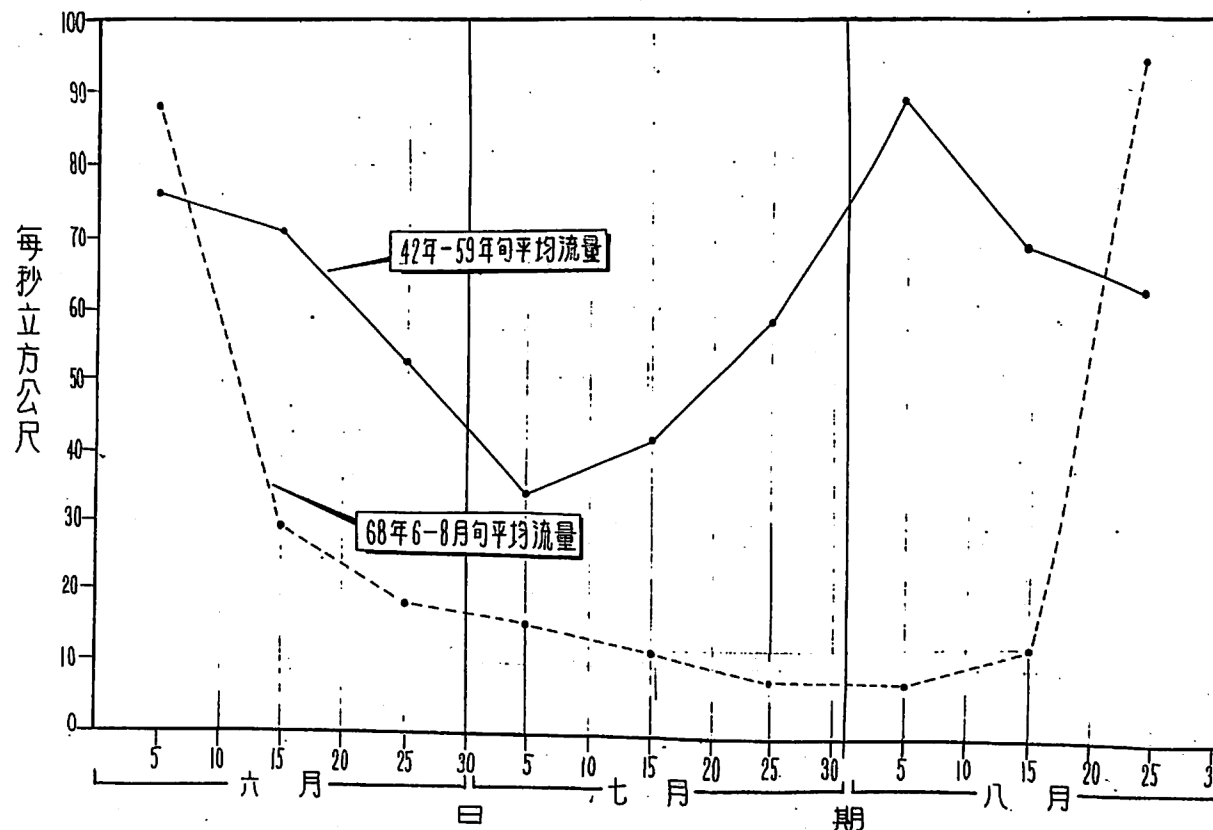
- 1、俞家忠，1973：台北地區雷雨之研究，氣象預報與分析 NO. 50, P16—26。
- 2、吳宗堯、王時鼎、鄭 俠，1981：民國 69 年台灣地區乾旱分析兼論雨量長期預報問題，中央氣象局異常氣候研討會論文集編，P 11—24。
- 3、俞家忠，1981：民國 36—68 年台灣乾旱之研究，中

- 央氣象局異常氣候研討會論文集編，P 55—72。
- 4、台北市自來水事業處所提供台北水廠青潭水源水質保護區域圖、直潭壩流量資料、山區降水資料……等。
- 5、空軍氣象中心所屬 69 年 7 及 8 月份各種天氣圖、斜溫圖、降水資料。

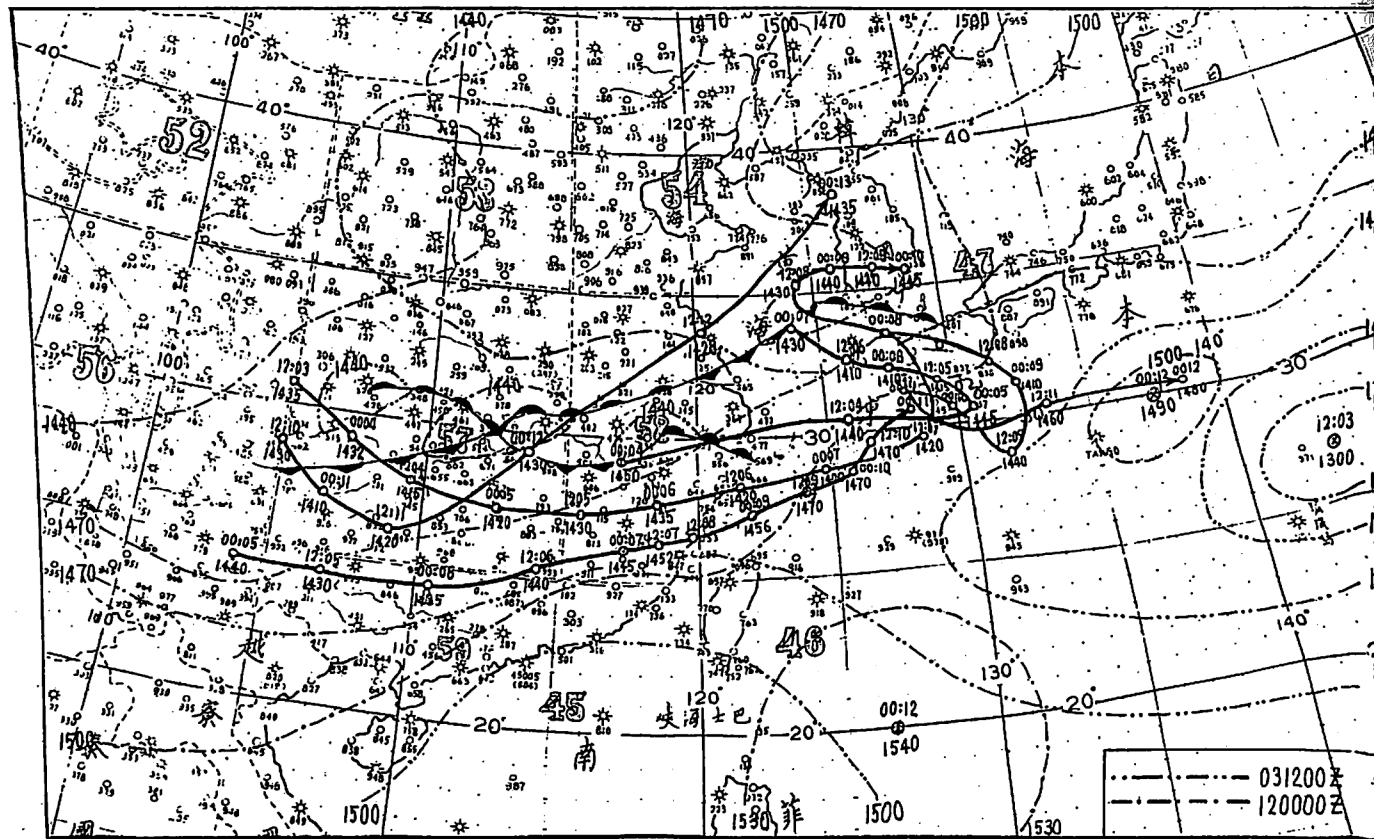
圖一 台北市自來水集水區域圖



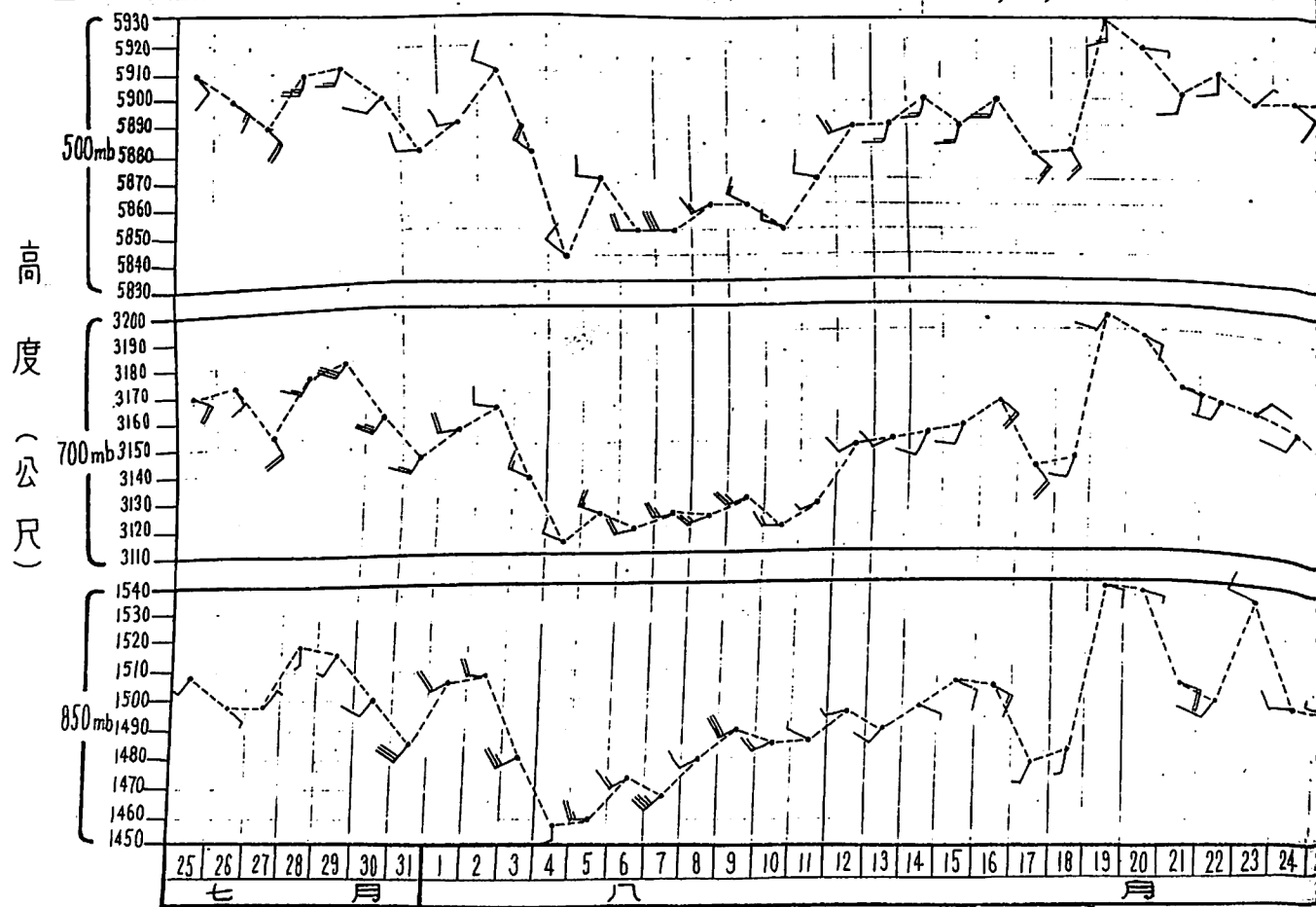
圖二 民國 68 年 6—8 月直潭壩平均流量及十八年 (民國 42 年—59 年) 旬平均流量圖



圖三 民國六十九年八月三至十二日引起台灣西南氣流之850mb低壓系統運動圖(附031200Z及120000Z等高線及鋒面)



圖四 民國六十九年夏季台北烏來山區實施人工造雨期間板橋(46692)逐日0000Z 850,700,500mb高度及風向風速



表一 民國69年夏季新店溪直潭逐日流量及民國42年-59年間流量概況

日 期	六 月			七 月			八 月			項 目	流 量 (每 秒 方 尺)	發 生 時 間
	日 期	旬 平 均	流 量	日 期	旬 平 均	流 量	日 期	旬 平 均	流 量			
1	1438	16	24.5	1	17.0	16	11.0	16	7.4	絕對最枯旬平均流量	6.19	52年5月上旬
2	964	17	24.5	2	16.0	17	10.0	17	6.7	絕對最枯二旬平均流量	7.05	52年4月下旬至5月上旬
3	1156	18	23.3	3	14.1	18	9.8	18	6.4	絕對最枯三旬平均流量	7.71	52年4月中旬至5月上旬
4	1137	19	21.0	4	13.5	19	9.8	19	44.0	夏季(6,7,8月)旬平均流量	9.78	45年7月中旬
5	964	20	21.0	5	15.0	20	9.8	20	24.2	夏季(6,7,8月)二旬平均流量	11.77	45年7月上旬至中旬
6	729	21	18.4	6	14.1	21	8.6	21	8.0	夏季(6,7,8月)三旬平均流量	16.68	46年7月中旬至8月上旬
7	574	22	18.4	7	14.1	22	8.6	22	8.0	98%流量大於	10.28	
8	38.0	23	18.4	8	14.7	23	8.6	23	7.7	95%流量大於	13.64	
9	38.0	24	16.6	9	17.0	24	8.6	24	7.4	90%流量大於	16.84	
10	107.8	25	16.0	10	17.0	25	8.6	25	7.4	十八年平均流量	67.96	42-59年
11	64.2	26	15.3	11	14.7	26	7.7	26	7.2	最豐年平均流量	92.89	45年
12	38.0	27	15.3	12	14.7	27	7.7	27	6.9	最枯年平均流量	47.39	44年
13	30.6	28	15.3	13	12.9	28	7.7	28	5939	絕對最大旬平均流量	676.52	52年9月中旬
14	28.2	29	30.0	14	11.0	29	7.7	29	156.7	69年造雨期間最枯旬平均流量	8.21	69年7月下旬
15	24.5	30	19.0	15	11.0	30	8.6	30	115.3	69年造雨期間最枯二旬平均流量	8.46	69年7月下旬至8月上旬
						31	7.9	31	1098	69年造雨期間最枯三旬平均流量	9.91	69年7月下旬至8月中旬

表二 民國六十九年夏季烏來坪林山區實施人工造雨期間逐日出動
作業飛機架次、降雨情況及直潭壩水位統計表

時間		出動飛機架次	山區測站降雨量 (公厘)			直潭埧情況			附註
			福山	坪林	大桶山	水位 (公尺)	水位 升降勢	水容量 (萬噸)	
7	25	2	14.0		13.0	40.90		170	
	26	2				40.30	—	149	
	27	6				39.00	—	105	
	28	6	1.6		4.0	38.20	—	83	
	29	6	2.0		11.0	38.60	+	93	
	30	6				39.10	+	108	
	31	6				38.40	—	88	
8	1	1				38.10	—	81	氣象條件顯著不適宜
	2	0				37.60	—	69	" "
	3	0				37.00	—	57	" "
	4	4	7.0	18.0	3.0	36.60	—	47	
	5	2	1.0	1.0	1.0	37.00	+	57	
	6	4				37.78	+	72	
	7	4				37.90	+	77	
	8	4	3.0	2.0	3.0	37.40	—	65	
	9	4				37.67	+	70	
	10	0				37.50	—	67	氣象條件顯著不適宜
	11	4	12.0		7.0	37.40	—	65	
	12	4				37.20	—	61	
	13	2				37.45	+	66	
	14	1				37.50	+	67	
	15	5				36.50	—	45	
	16	0				36.25	—	41	氣象條件顯著不適宜
	17	1				35.95	—	37	
	18	5	16.0	16.0	103.0	35.00	—	21	
	19	4			2.0	39.50	+	120	
	20	3				40.45	+	154	
	21	3				40.60	+	161	
	22	6	14.0			40.65	+	163	
	23	0				40.95	+	172	氣象條件顯著不適宜
	24	5				40.85	—	170	
	25	3			3.0	40.40	—	153	
合計		103	70.6	37.0	150.0				

表三 民國六十九年夏季台北烏來山區實施人工造雨期間自來水集水區測站及各地(包括石門水庫)
逐日雨量統計表(單位:公厘)

雨量 測站	日期	七							八							月							總雨量											
		25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
空軍測站	松山				16.5								12.5		4.0	4.0	T	5.0	T	T	1.5			T	28.0			2.0				3.0	76.5	
	桃園				0.5						T	16.3	0.6	2.1	4.4	5.4	0.1	T								T						29.4		
	新竹		4.3								T	33.4	4.1	14.1	15.7	7.4	21.5	3.8						16.6	0.8							121.7		
	公館		T								0.3	16.4	25.7	5.1	6.38	5.01	0.3	19.0							0.8	1.1							182.6	
	水湳					2.8	0.2				3.0	3.4	7.9	15.4	34.0	25.3	T	6.10							0.2	1.3							154.5	
	嘉義										48.9	22.9	5.1	15.1	5.0	3.5	1.2	4.2				0.6		38.5	14.9	0.8		T	T	T	2.8		162.9	
	台南										7.75		7.9	4.8	1.3	5.7	5.8	0.1						2.9			0.1				5.8		111.9	
	岡山			4.1							4.1	T	3.5	T	T	T	T	13.6	T					6.2									31.5	
	屏東		1.0								39.1	17.8	6.9	8.9		0.5	9.1	T				0.6	0.9	T				23.5	16.3	T	2.09		151.5	
	恒春	0.3	13.0	2.3							T		0.8					0.8	9.9					2.5	11.6	T			7.6	0.7			49.5	
石門水庫	台東																																	
	花蓮																																	
	宜蘭										15.0	1.3				36.2	3.8	1.0															57.3	
	石門										0.2	13.5		3.5	11.4	0.2		79.0			6.8				45.6	30.6			1.6		3.03		238.8	
	霞雲		8.5	7.6																		2.0				2.1	27.6			9.2	1.1	1.2		99.4
	高義		4.0	9.0								1.5		1.2	4.5		9.2	26.8							11.8	3.1			3.8		3.0		63.5	
	王峰			25.0								6.0						3.0								6.5	25.8			4.8		3.6		149.8
	巴陵			82.5							2.5	7.8		2.8	7.3	0.5	5.7								16.7	13.6			8.7		1.7		115.8	
	福山	14.0			1.6	2.0										3.0		12.0							16.0				14.0				70.6	
	坪林										18.0	1.0				2.0								16.0									37.0	
大桶山	13.0			4.0	11.0					3.0	1.0				3.0		7.0							103.0	2.0						3.0	150.0		

表四 民國六十九年夏季造雨期間,台北板橋 0000Z 探空要素與當日烏來坪林造雨成果關係統計表

日期		山區造雨概況		自由對流面 (LFC)	700mb 溫度 (°C)	各層 T-Td			低層小於 10 KTS		10000呎 以下		300 mb	
月	日	造雨次數	有雨測站			850 mb	700 mb	500 mb	最多 風向	風速 之厚度 (千呎)	最大 風速 及 風向	所在 高度 (千呎)	風 向	風 速
7	25	2	2	8500	12.5	2	2.5	6	210°	25	170°/8	8	120°	13
	26	2		9500	14.5	5	6	4	070°	10	160°/22	10	070°	20
	27	6		8500	13.5	1.5	8	5	050°	8	210°/22	10	090°	18
	28	6	2	8500	11.3	3	6	7	230°	9	210°/10	10	130°	8
	29	6	2	8500	12.5	5	5.2	6	050°	6	230°/8	10	100°	17
	30	6		9500	12.8	4	6.5	10	240°	5	240°/24	9	090°	13
	31	6		11000	12.0	6	6	8	240°	1	240°/28	5	030°	6
8	1	1		13500	11.4	13	11	14	NONE		250°/31	3	070°	13
	2	0		6000	12.6	6	10	10	240°	2	270°/18	5	020°	8
	3	0		1000	10.8	5	2	9	250°	2	250°/26	4	310°	15
	4	4	3	6000	10.0	5	2.5	4	090°V330°	25	260°/14	7	010°	22
	5	2	3	9000	12.0	3.5	4	3	250°	1	270°/34	8	290°	6
	6	4		6500	9.8	3	1	1.5	230°	3	250°/24	8	250°	17
	7	4		8300	9.8	6	1	1	240°	1	250°/35	8	290°	25
	8	4	3	7000	9.6	5	1.6	2	240°	7	250°/26	10	270°	14
	9	4		5000	10.2	1.5	2.6	2.5	240°	1	240°/32	6	290°	7
	10	0		4000	8.8	0	1	6	260°	4	270°/14	10	300°	12
	11	4	2	4000	11.0	1.8	5	7	120°V235°	16	125°/4	2	325°	3
	12	4		8000	12.2	1.2	3	6	240°	12	240°/11	10	320°	5
	13	2		7800	12.2	3	6	7	220°	2	230°/20	6	170°	5
	14	1		13000	13.2	2.5	9	7	50°V180°	14	140°/8	6	130°	16
	15	5		9000	12.4	4.1	13	11	240°	4	130°/10	5	105°	6
	16	0		7000	12.8	2.5	5	6.5	120°	5	160°/27	8	240°	8
	17	1		4500	13.0	7	8	7	220°	8	160°/20	10	050°	11
	18	5	3	4500	11.8	1.2	4	10	250°V180°	10	200°/8	10	070°	8
	19	4	1	7800	11.4	4	6	14	120°	9	220°/12	10	110°	15
	20	3		9000	11.2	5	6	12	100°	25	100°/6	10	130°	12
	21	3		8500	11.8	6	8	10	090°	3	120°/15	5	060°	9
	22	6	1	4600	11.6	2	3	7	230°V100°	35	210°/10	7	100°	8
	23	0		8700	11.4	4	5	9	250°V060°	20	060°/6	10	040°	16
	24	5		9500	12.8	2	4	6	240°	13	240°/9	9	100°	16
	25	3		9000	12.4	5	6	9	240°V160°	10	160°/11	1	110°	24