

# 台灣地區人造雨試驗計畫個案分析

丘台光 林民生 王光義

中央氣象局科技中心

## 摘要

"台灣地區人造雨試驗計畫"自八十一年五月九日起至六月二十五日止，總計實施地面造雨任務三次，地面及空中六氟化硫(SF<sub>6</sub>)追蹤劑實驗六次(四次地面追蹤劑實驗及二次空中追蹤劑實驗)。本研究乃就上述人造雨及追蹤劑實驗個案，針對選擇個案的決策過程，當時天氣的條件、環流的特性、降雨的分布，以及追蹤劑時空的分布情況加以分析，以期歸納出不同的適當的造雨氣象條件，作為未來實施長期性人造雨計畫的參考。

研究結果顯示，在5-6月梅雨期間較有利於實施人造雨之氣象條件，係當梅雨鋒面系統接近時，鋒面前方引進較潮濕之偏南氣流，配合鋒面系統伴隨之強對流、以及地形抬升或海陸風次環流的作用，其產生之垂直上升運動可有效地將六氟化硫及碘化銀微粒垂直輸送至8,000呎或更高處，期增加凝結核並配合潮溼的大氣，以達成致雨的效應。

## 一、前言

"天上無雲就不可能下雨"是大家熟知的常識，但是縱使天上有雲，卻也不一定會下雨。人造雨的理念即是：選擇在有雲的天氣條件下促成降雨，以提高降雨的機率及增加降雨量。

根據雲微物理學理論，自然界成雲的要件有二：即水汽及微核。雲是雨雪之母，而水汽則是雲的泉源；但光有水汽而無所附著時，亦不能成雲致雨，此水汽之附著物即為微核。在自然界大氣中，水汽有三種變化途徑，即水汽凝結成水滴、過冷水滴凍結成冰晶及水汽直接昇華成冰晶，此三種變化均需有微核之存在。凝結需要凝結核，凍結需要冰晶(凍結)核，昇華需要昇華核，經過前述結核過程，水汽才可能轉化為雲滴。較小雲滴依自然方式長大至20-30微米，並在上升、下降運動過程中，藉著碰撞、合併等機制繼續成長，待成長到5毫米以上，當雲系統內之上升氣流無法再承載時，即可降落至雲底之下，唯蒸發作用常使之消失，但如能降落至地面，便成為吾人可利用之水資源。

一般大氣的雲滴在沒有微核的情況下，要長大成雨滴需時數日以上，故在沒有對流性天氣系統引發降雨的情況下，要增加降雨的機會，則有賴實施人造雨作業。其中之一種方法即是將冰晶核由外界送至過冷水層，引發凍結效應(雲中普遍存在有過

冷水滴)，以促進水滴成長速度，增加降雨機率及降雨量。經由實驗發現，碘化銀及乾冰約在-5°C左右之氣溫即可產生凍結效應，愈冷效果愈佳，凍結釋放之潛熱又可加強雲內之對流作用，經由碰撞合併過程使雲滴迅速成長為較大雨滴，終至降落雲底之下，使不雨的密雲降雨，故碘化銀及乾冰常被選為人造雨之雲種。

人造雨的方式一般常用的大致可分成地面造雨法及空中造雨法。所謂地面造雨法，就是利用地面造雨器燒碘化銀，使碘化銀煙粒隨熱氣飄升，上達高空以充當雲種。為了確保碘化銀煙粒能到達雲內過冷水層，必須依造雨區域地形、氣象條件妥善規劃地面造雨器之佈建位置，以及燃燒時機和劑量。地面造雨一般花費較少、設備簡單且容易實施為其優點，但較難把握碘化銀煙粒是否準確地升達選定的高度及地點，則為其缺點。而空中造雨法，乃利用飛機播散碘化銀或乾冰雲種於雲中，由於播散之雲種可精確地運送至足夠低溫之雲中，故一般造雨效果比地面造雨方法好。但因飛機須飛入雲內，危險性高且成本亦較大；此外飛機之後勤支援煩瑣、整備任務費時且動員人力龐大為其缺點。

就人造雨之成效而言，美國氣象學會根據多年來各種人造雨試驗之累積經驗評估顯示，充分規劃並執行成功的長期人造雨方案，若以地面造雨方式燃燒碘化銀，平均約可增加10%降雨；若使用空中

造雨方式，於適當的對流性雷雨胞內灑以碘化銀，平均約可增加15%降雨。但人造雨之成效，仍受各地區氣象條件、執行技術及行政配合等因素之影響，而呈現某些不確定性。

本次"台灣地區人造雨試驗計畫"由臺灣省政府建設廳主導，與本局共同推動，自八十一年五月九日至六月二十五日止，總計實施地面造雨任務三次，地面及空中六氟化硫(SF<sub>6</sub>)追蹤劑實驗六次，本文乃就上述人造雨及追蹤劑實驗個案加以分析，以期歸納出不同天氣系統的造雨條件，作為未來實施長期性人降雨的參考。

## 二、地面造雨實驗個案分析

"台灣地區人造雨試驗計畫"的實驗區選在曾文水庫及周圍附近區域如圖 1所示，在實驗區內西邊、南邊及西南邊佈置15個地面造雨器。地面造雨實驗乃是利用地面造雨器燃燒碘化銀，使碘化銀煙粒隨熱氣及上升氣流，升到高空以充當雲種。為了使碘化銀煙粒達到-5°C高度以上，選擇適當造雨的氣象條件實施人造雨作業，方可提高人造雨成功之機率。本次實驗計進行三次，地面造雨作業如表 1，有關造雨任務的說明、造雨決策的依據，可參考陳文恭等(1993)文章，本節乃就三次中執行時間最長且降水亦最大的個案(五月十七、十八日)，就當時天氣的條件，環流的特性以及降雨的分布，加以討論。

1992年 5月17日00UTC至18日00UTC之24小時累積雨量可看出在台灣中北部及南部地區發生強烈降水，最大降雨量超過120mm，由日本GMS紅外線氣象衛星雲圖分析及天氣圖分析，可知此次豪(大)雨主要是由鋒面上及附近中尺度對流系統移至台灣所引起。圖 2為南部地區水文網每小時降雨量分布，由圖中可看出第一波降水在08UTC(16L)至10UTC(18L)，降水量最大在曾文上游附近 30-40mm左右，第二波明顯降水大約在 15UTC(23L)起，16UTC移至曾文西邊，17UTC 移至實驗區，降水移動亦可由追蹤雷達回波雨帶的前緣移動如圖 3所示，由於新營雨量站在16UTC時雨量達到67mm，超過50mm/時之人造雨上限標準，且17UTC又下了 22mm雨量，由雷達回波及衛星雲系分析，顯示後方仍有對流降水，乃立即中止人造雨作業。

## 三、人造雨試驗計畫期間大氣平均特徵及可造雨氣象條件

人造雨試驗計畫從 5月4日至6月24日止，合計52觀測天中，由每天衛星、雷達資料、天氣圖以及曾文水庫實驗區附近目視雲系的發展，研判以具有合適的大氣溫溼條件與綜觀及或中小尺度系統伴隨著，被認為可作人造雨的氣象條件著，合計有22天，但22天中有13天造雨條件與鋒面有關，9天屬於

氣團降水。五月份較多鋒面系統影響，六月份氣團性降水較常發生，其中有一些氣團性雷雨引發局部相當大降水，非常適合人造雨作業。

從實驗區附近嘉義義竹機動探空車92個觀測資料(一般每天00UTC及06UTC兩次，在執行人造雨及追蹤劑實驗期間將增加觀測次數)作分類統計分析如表 2所示，分成(a)所有92個平均特徵。(b)44個可作人造雨的平均大氣特徵，(c) 26個可作人造雨鋒面型平均大氣的特徵，(d) 18個可作人造雨氣團型平均大氣的特徵，以及(e) 48個不適合作人造雨的平均大氣特徵。

就表中可人造雨個案平均大氣結構與不可人造雨個案平均比較，前者比後者凝結面(0°C高度)低，但-5°C及-10°C高度相近，低層1000-4000ft平均風速或最大風速均較大並且風向較偏南風，較不穩度(K及TT指數均大)且較潮溼(溫度露點差小)。又可人造雨(鋒面)個案平均大氣結構與可人造雨(氣團)個案平均比較，前者比後者 0°C，-5°C及-10°C的高度較高，低層 1000-4000ft平均風相似，但最大風速較大，並且更偏南風，垂直風切較大，整層亦較潮溼。由以上分析比較結果，顯示有組織低層偏南氣流對降水及造雨的潛勢在實驗期間扮演著重要的角色。

## 四、追蹤劑實驗個案分析

實施追蹤劑實驗作業之目的，在於藉此瞭解實驗區域內六氟化硫在不同氣象條件下的擴散情形，藉此推斷地面造雨站所燃放之碘化銀(Ag I)微粒在造雨目標區之三維擴散的情形，可了解不同氣象條件下，碘化銀隨大氣擴散情形及用於改善地面造雨站之布建地點，以確保地面造雨的成效。

實施追蹤劑實驗作業，計進行四次地面追蹤劑實驗及二次空中追蹤劑實驗作業，六次作業的時間、SF<sub>6</sub>釋放時間、釋放率以及追蹤時間如表 3所示，由表中可看出分別在鋒面、海陸環流以及午後熱對流氣象條件下實施，其中有二次實驗(5月17日及6月23日)因追蹤車電力系統中斷及滅定用之氬氣外洩，迫使中斷追蹤作業，無法蒐集較完整資料殊為可惜，6月18日追蹤實驗，因大氣穩定不予討論，以下將就其餘三次追蹤劑實驗個案，就天氣的條件，環流特性與SF<sub>6</sub>擴散情形做討論：

### (一)5月27日地面追蹤劑研究個案

5月27日00UTC地面天氣圖顯示鋒面已南移至巴士海峽，南部地區地面以微弱偏北風為主，由義竹06UTC探空資料分析(如圖4)亦看出低層氣流在7000ft以下，均為微弱偏北風，圖 5為SF<sub>6</sub>煙流隨時間三度空間擴散的情形，由圖中可看出SF<sub>6</sub>煙流剛開始受微弱偏北風影響分布在釋放點的南邊，SF<sub>6</sub>最大濃度大約600ppt

，由於接近中午，日射增強，海風鋒面影響愈往南濃度愈小(圖 5b,5c)，圖5d至5h煙流東西向濃度增大，最大濃度隨時間逐漸往內陸(往東)移，圖 5i 為SF6釋放終止後1小時，所剩殘餘量南北分布情形。圖 6為追蹤車上所分析各項參數隨時間的變化。

## (二)5月30日地面追蹤劑研究個案

由5月30日00UTC地面天氣顯示鋒面在本省西北方，預計晚上移至南部地區，但由 5月30日06UTC(14L)義竹探空資料分析(如圖 7)，低層主要吹微弱偏南風至8000ft以上明顯轉為西南風，由台南測站每小時風場亦顯示從 14L至23L均為南風或東南風，風速小於 5kts，顯示在鋒面仍在本省中北部。由 SF6煙流隨時間三度空間擴散情形如圖8，圖中SF6濃度的分布較集中及近似南北走向擴散像高斯分布，與此偏南風風速小亦有關。

## (三)6月24日飛機追蹤劑研究個案

由於鋒面在前一天通過北部後減弱，24日00UTC微弱鋒面南移至本省中部，由06UTC探空分析(圖 9)顯示低層氣流比前一天較不組織且風主要吹西北風(3000ft以下)，而6000-9000ft均為南風，顯示垂直風向變化頗大與前一天同一時間風向有很大差異(前一天以西南風為主)。為考慮地面釋放點所釋放 SF6能被飛機上儀器偵測到，特別決定將釋放點由台南站往北移至西港水文站附近。圖10為整個飛行路徑及SF6 煙流三度空間分布，圖中很明顯看出午後加熱的作用，SF6濃度在海平面8000ft附近達到100ppt，所有 SF6煙流接近釋放點或一點偏東附近，並且 SF6偵測位置及垂直分布與每一積雲發展相配合。顯示如果地面燃燒之Ag I 微粒可透過熱力積雲作用垂直傳送到高空，由06UTC探空發現在7500ft附近有一逆溫層存在，此逆溫層使得 SF6垂直傳送受到限制，由此可推斷如果當時沒有逆溫存在，SF6 煙流可能到達更高的高度。

## 五、結論與建議

本次"台灣地區人造雨試驗計畫"，自八十一年五月九日起至六月二十五日止，總計實施地面造雨任務三次、地面 SF6追蹤劑實驗四次，空中追蹤劑實驗二次，經上述個案分析討論，可獲得下列幾點討論：

1. 因地面造雨次數僅三次，無法應証造雨的實際成效，必須執行更多次的造雨個案，以增強其統計意義。
2. 地面造雨作業若配合追蹤劑同時進行，可確切了解Ag I 對造雨的功效。
3. 可造雨的氣象條件主要與鋒面及氣團對流有關，

低層 (1000-4000ft)有組織偏南氣流對降水及造雨的潛勢占有重要的角色。

4. 地面造雨器的設置位置可藉此次實驗加以調整，以增加造雨的功效。
5. 鋒面系統預報之掌握，對於人造雨試驗之成功關係密切。
6. 空中追蹤劑實驗之實施，能確切的描述 SF6之三度空間擴散情況，對於人造雨試驗之成功扮演重要的角色，值得繼續實施。
7. 鑑於碘化銀粒微助長水滴成長之過程，必需借重空中即時量測之雲物理觀測資料加以佐證，以確認碘化銀方式之人造雨效果，建議下次人造雨試驗必需包含此項觀測。

## 六、致謝

台灣地區人造雨試驗計畫得以成功地推展，最主要得助於中央氣象局蔡局長清彥之高瞻遠矚及全力支持，特別致以崇高之敬意。此外，感謝所有參與本次人造雨試驗計畫之各相關單位、中美工作人員，由於大家的熱誠參與，使得此項引進之人造雨技術，努力有初步的成果，然而後續之研發作業更需大家的支持、參與。本研究之得以完成，其中有部份結果得自NAWC之協助，在此特以申謝。

## 參考文獻

- 中央氣象局，1992：人造雨作業手冊。  
陳文恭、林民生、王光義，1993：臺灣地區人造雨試驗計畫評介投稿八十二年分析與預報研討會。
- Keith, B., 1992: Report on a two month ground based Cloud Seeding and Atmospheric Tracer research program in the Tsengwendam area of Taiwan. NAWC Report WM 92-12.
- Keith, B., 1992: Taiwan Weather Modification feasibility program interimreport. NAWC WM 92-2.

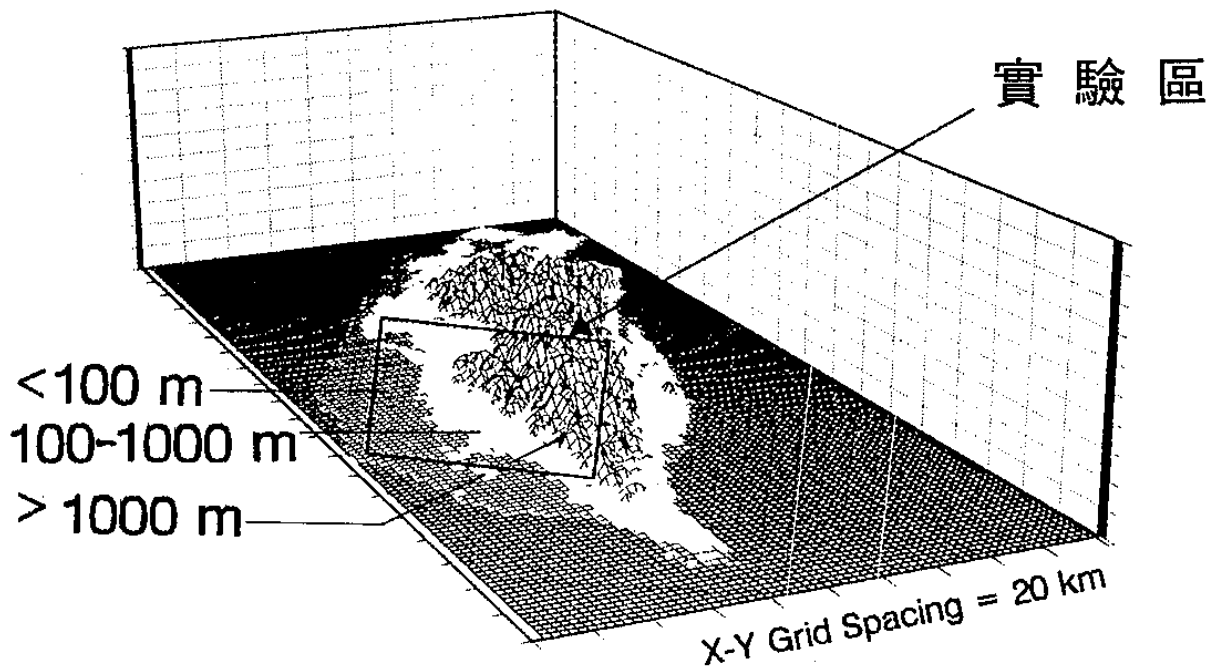


圖 1 台灣地形與"台灣地區人造雨試驗計畫"曾文水庫實驗區位置圖。

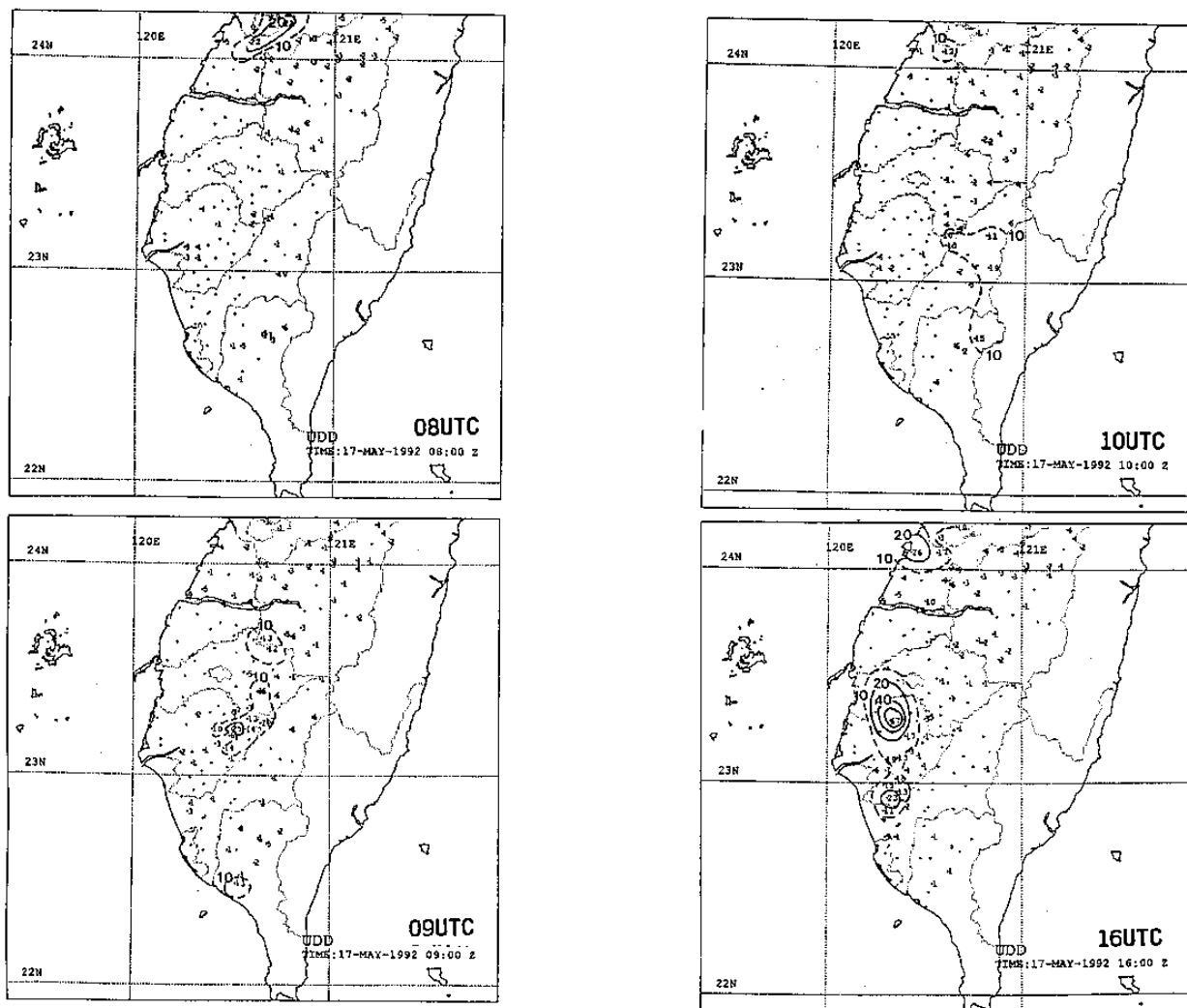
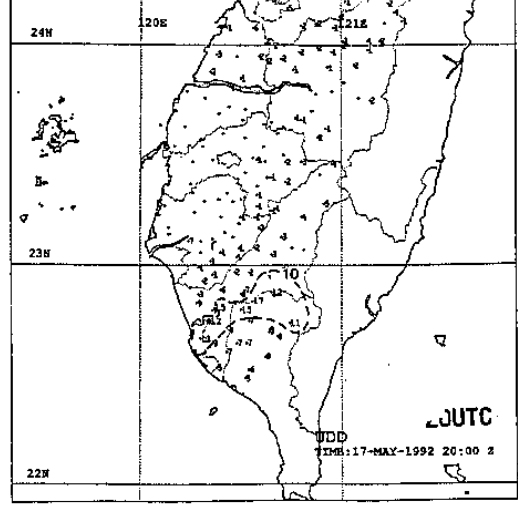
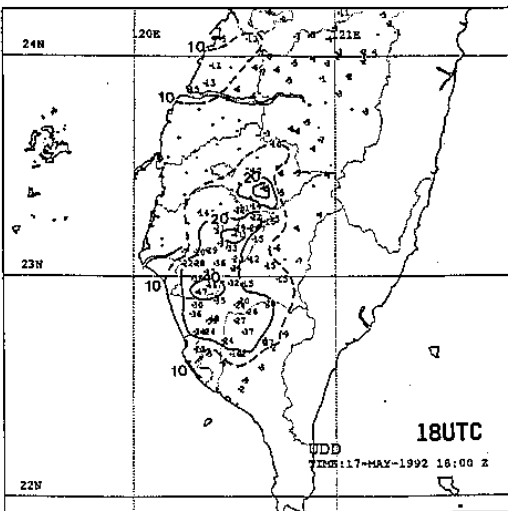
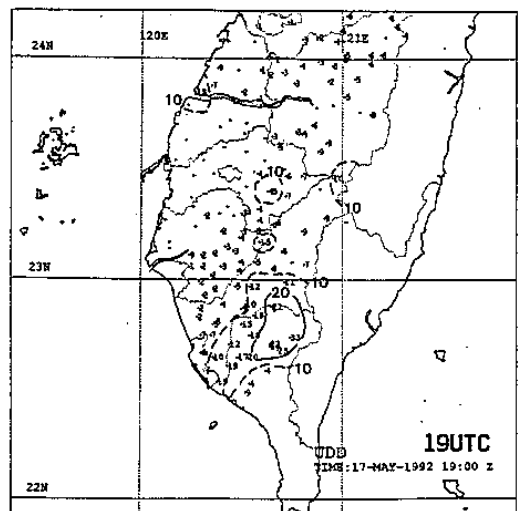
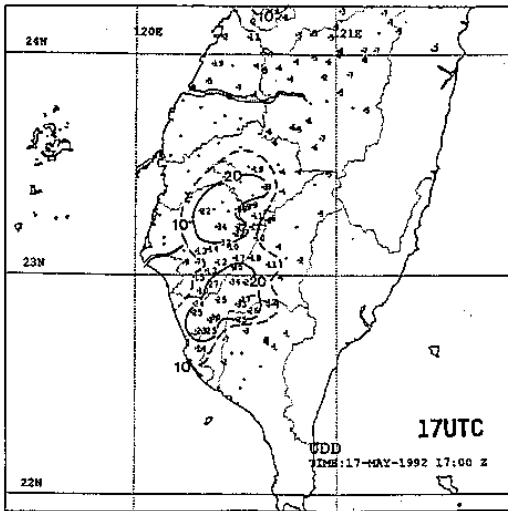


圖 2 台灣南部地區地面水文網時雨量分布，時間民國81年 5月17日08UTC (16L)至10UTC及16 UTC至20UTC。



續圖 2

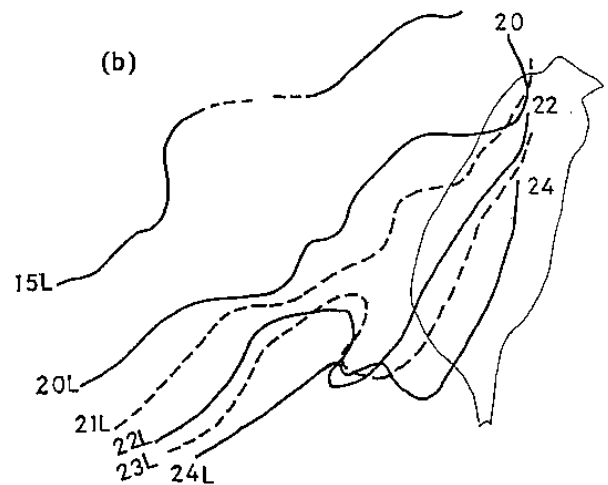
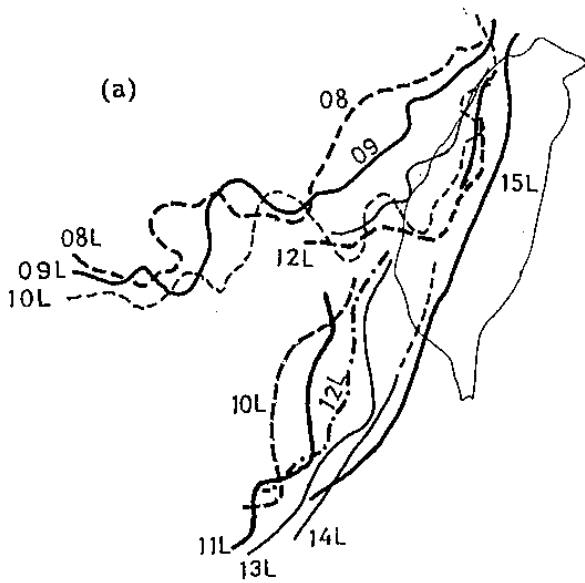


圖 3 高雄雷達所觀測降水回波前緣追蹤圖，時間 (a) 81年5月17日08L至15L (b) 15L至24L。

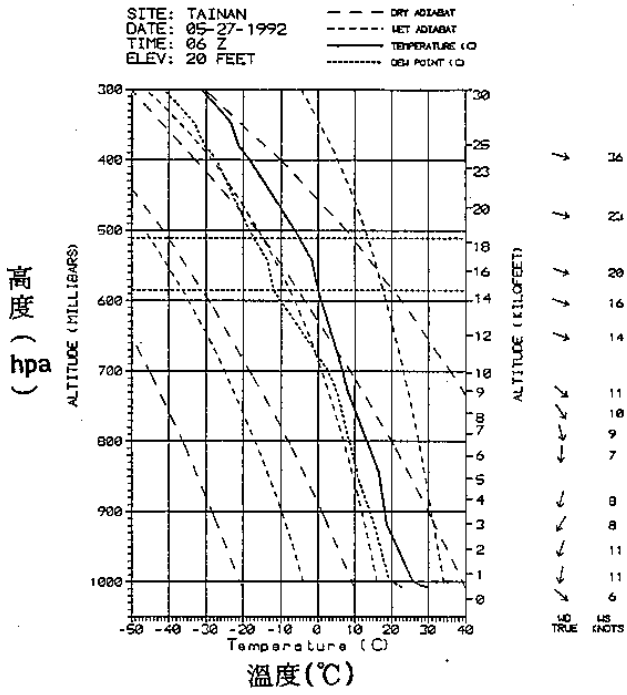


圖 4 嘉義義竹機動探空車所觀測81年 5月27日06 UTC 之探空資料。

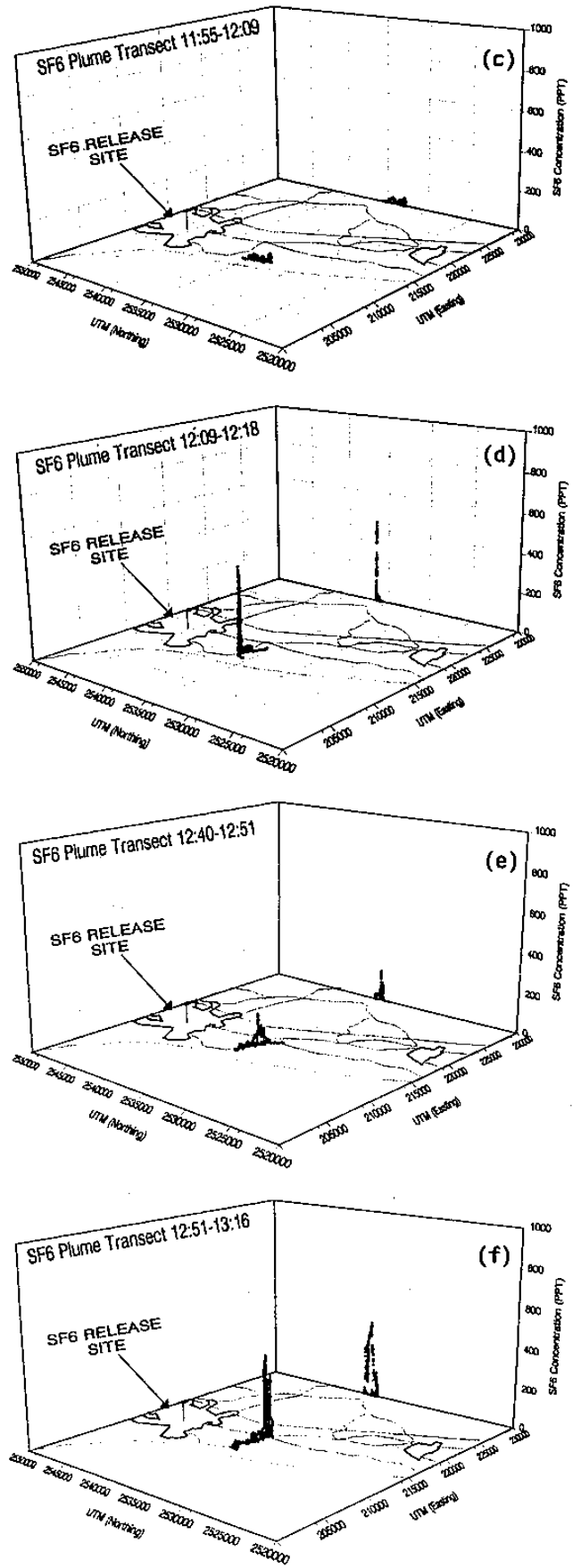
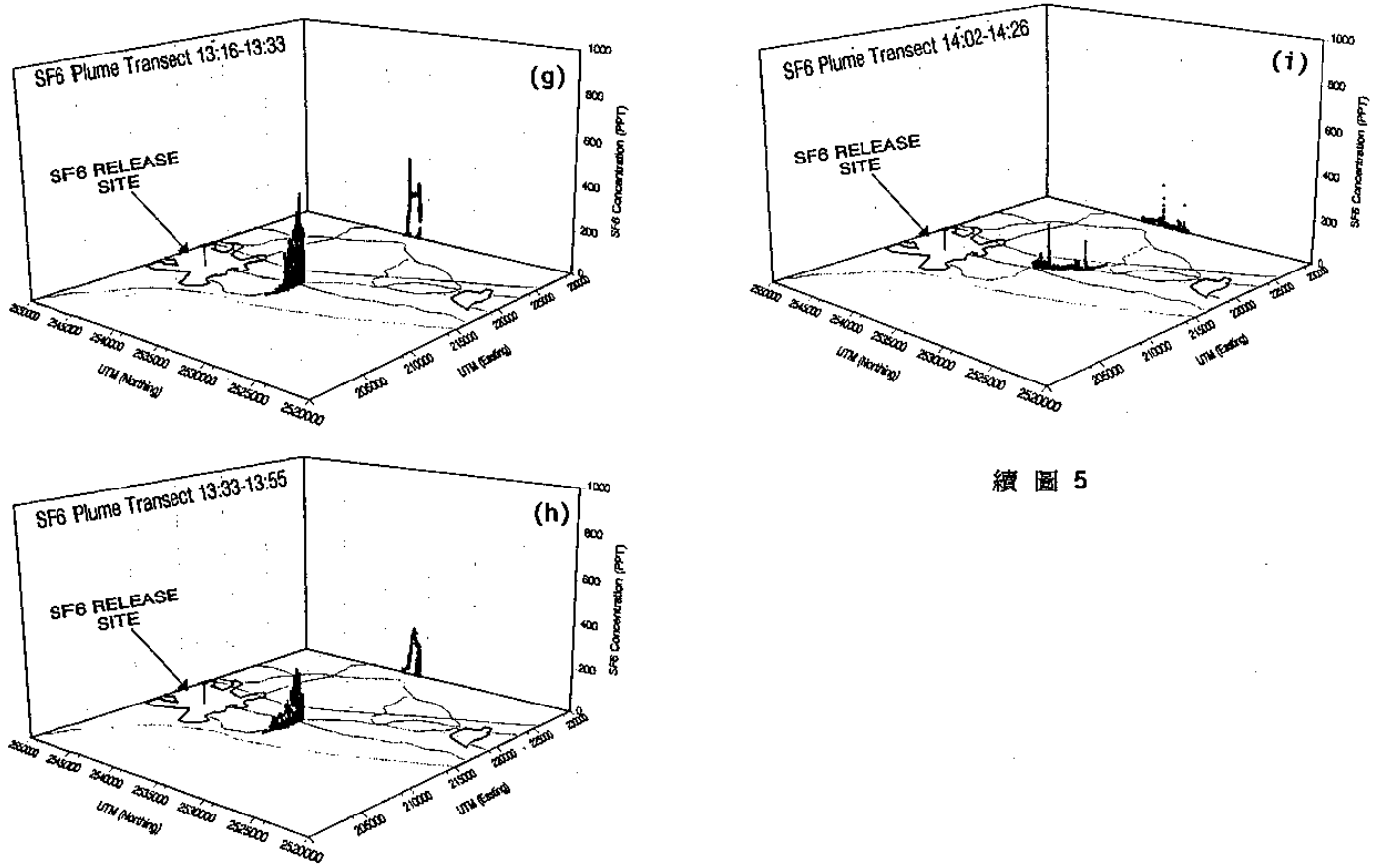


圖 5 地面追蹤劑實驗之 SF6三度空間擴散情形，時間為81年 5月27日1114L至1426L。



續圖 5

CWB TRACER EXPERIMENT - MAY 27, 1992 - MOBILE VAN TRACER DATA

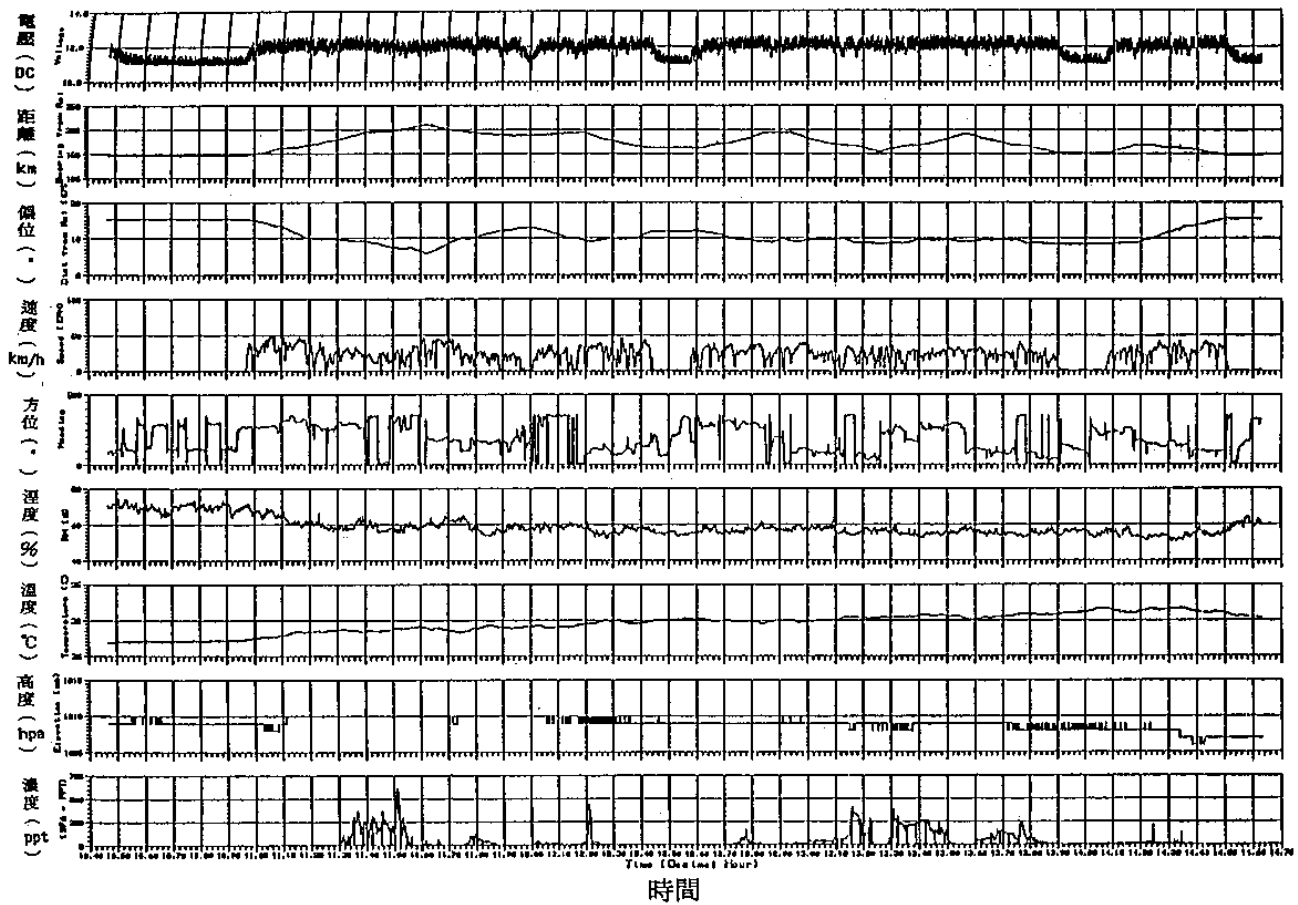


圖 6 地面追蹤劑實驗之 SF6濃度、大氣溫度、濕度... 等各項變數值時間之變化情形。

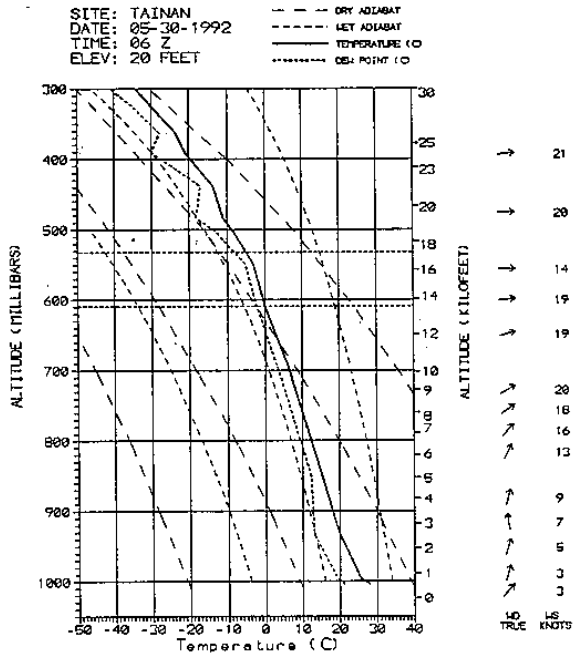


圖 7 與圖 4 同，但時間為 81 年 5 月 30 日 06 UTC。

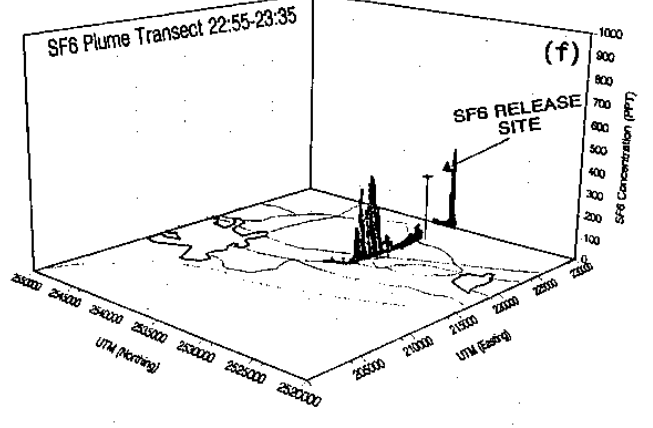
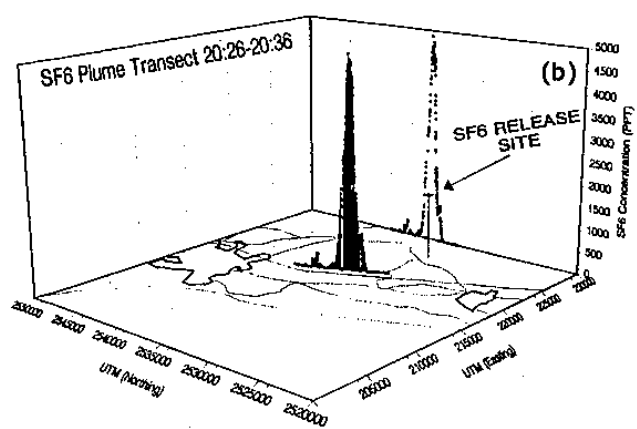
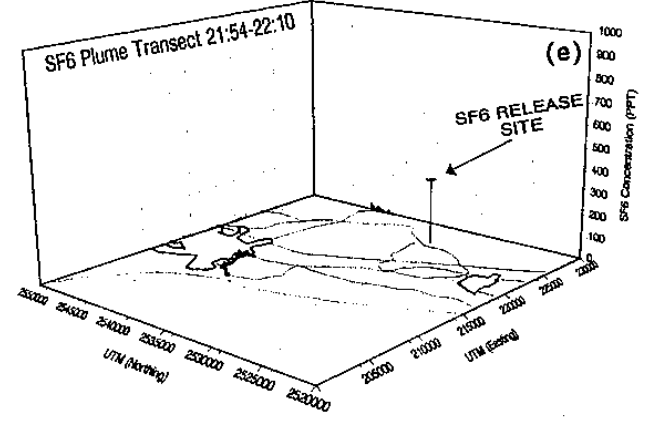
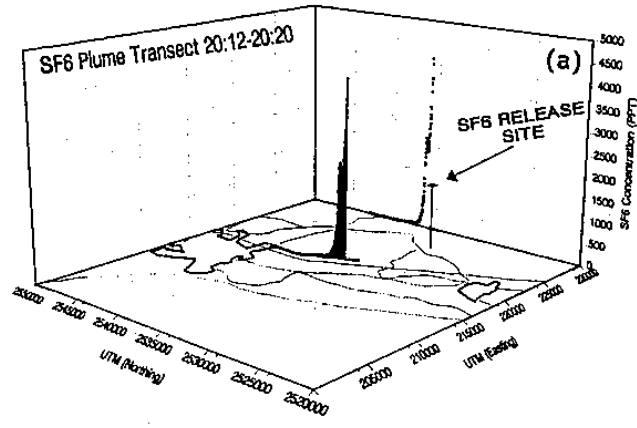
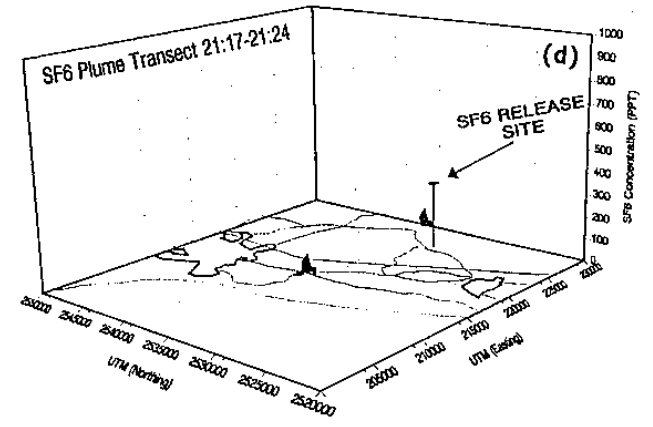
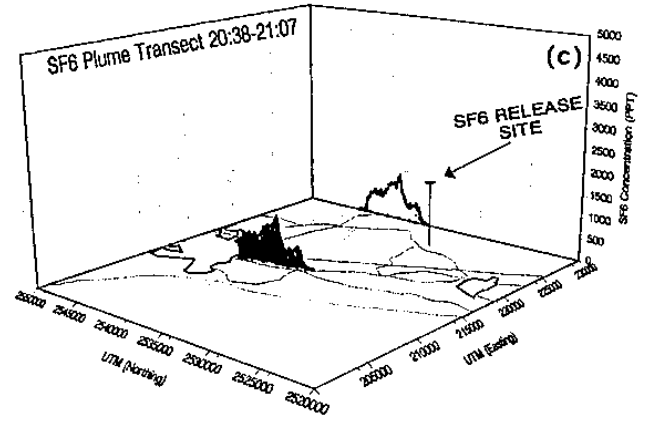


圖 8 與圖 5 同，但時間為 81 年 5 月 30 日 2012L 至 2335L。



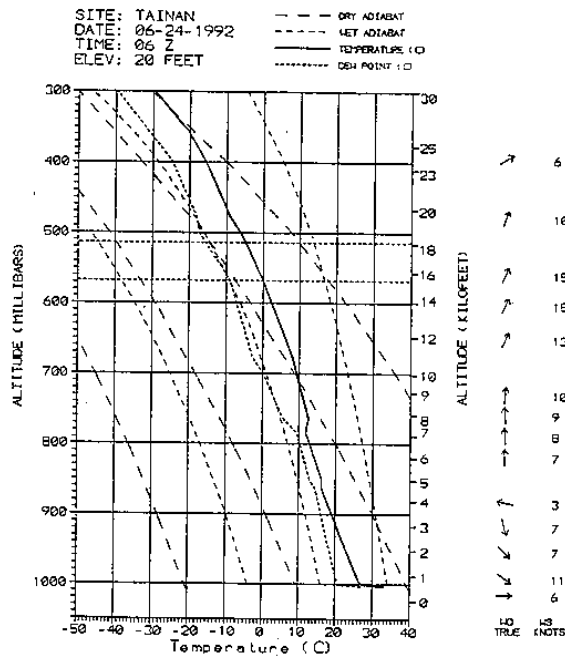


圖 9 與圖 4 同，但時間為 81 年 6 月 24 日 06 UTC。

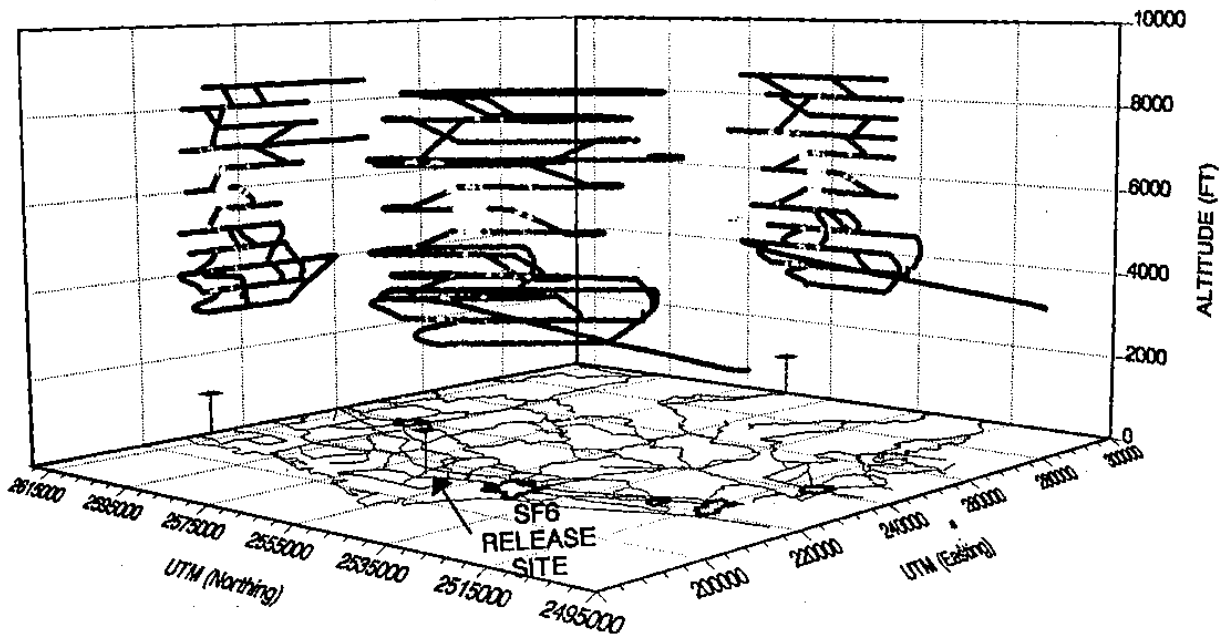


圖 10 空中追蹤劑實驗之 SF6 三度空間擴散情形，時間為 81 年 6 月 24 日。

表 1 地面造雨實驗作業統計表

實驗	時間	Ag I 燃燒地點	燃燒起止時間	天氣系統	實驗區 最大降雨量
1	5/ 9/92	仕安、鹿草、鹽水 西港、台南、曾文	1332-1705	鋒 對 面 流	曾文 44mm 1400-1600L
2	5/16/92	仕安、鹿草、鹽水 西港、台南、曾文	1330-1646	氣 團 對 流	里佳 40mm 1500-1600L
3	5/17/92   5/18/92	仕安、鹽水、西港 新市、湖南、阿蓮 台南、曾文	1530-0200	鋒 對 面 流	新營 116mm 2300-0100L 曾文 84.5mm 0000-0200L

表 2 台灣人造雨試驗期間之平均大氣特徵

0°C 高度 (hpa)	-5°C 高度 (hpa)	-10°C 高度 (hpa)	1000   4000 平均 風速	1000   4000 平均 風向	1000   4000 最大 風速	最大 風速 風向	最高 風速 (ft)	大 風速 風向	平 均 風 向 偏 角	K 指 數	T 指 數	850 hpa 溫 度	850 hpa 露 點	700 hpa 溫 度	700 hpa 露 點	850 hpa 溫 度
所有探空個案—92個探空資料																
575	509	456	8	205	10	221	2293	48	32	42	16.8	13.7	8.4	4.2	-5.7	
520	418	404	2	12	3	5	1000	0	19	25	11.8	5.0	2.4	-5.0	-10.7	
638	565	508	20	338	24	360	4000	227	41	50	21.6	18.7	13.8	10.2	2.6	
可人造雨個案(鋒面和氣團)—44個探空資料																
577	508	457	9	198	11	213	2636	30	34	43	16.9	14.5	8.3	5.2	-5.8	
536	475	420	4	55	4	5	1000	0	22	36	11.8	8.2	2.4	-3.6	-8.9	
638	560	491	20	282	24	330	4000	153	41	49	21.6	18.7	11.2	10.2	-1.3	
可人造雨個案(鋒面)—26個探空資料																
575	506	454	9	191	12	211	2885	36	34	42	16.8	14.5	8.5	5.5	-5.5	
547	475	420	4	55	5	5	1000	8	22	36	13.8	8.8	6.0	-2.6	-8.7	
609	534	491	20	282	24	330	4000	138	39	47	19.0	17.2	11.2	10.2	-1.3	
可人造雨個案(氣團)—18個探空資料																
580	512	461	9	208	11	216	2278	21	34	44	17.1	14.4	8.0	4.7	-6.1	
536	488	440	4	170	4	175	1000	0	23	38	11.8	8.2	2.4	-3.6	-8.9	
638	560	488	16	251	18	310	4000	153	41	49	21.6	18.7	11.0	9.0	-3.7	
不可人造雨個案—48個探空資料																
573	509	455	6	212	9	228	1979	65	30	41	16.7	13.0	8.5	3.2	-5.5	
520	418	404	2	12	3	10	1000	2	19	25	12.0	5.0	3.6	-5.0	-10.7	
623	565	508	18	338	21	360	4000	227	39	50	20.2	17.3	13.5	9.0	2.6	

表 3 SF6追蹤劑實驗作業統計表

實驗	時 間	SF6 釋放地點	SF6 釋放率(Kgs/hr) 釋放時間	地面採樣蒐集時間	移動監視時間 追蹤器	天氣系統
1	5/17/92	阿 蓮	75 Kgs/hr 2250-2315 (2)	2100-0600	2117-2300(2) 追蹤車	鋒面
2	5/27/92	台 南	50 Kgs/hr 1000-1300	0700-1600	1030-1430 追蹤車	鋒後 海陸風
3	5/30/92	阿 蓮	50 Kgs/hr 1800-2100	1700-0200	1725-2345 追蹤車	鋒面
4	6/18/92	台 南	50 Kgs/hr 1400-1600	1300-2200	1330-1700 追蹤車	微弱鋒前
5	6/23/92	阿 蓮	75 Kgs/hr 1100-1330	1000-1900	1200-1250(3) 飛機	午後對流
6	6/24/92	西 港	75 Kgs/hr 1130-1330	1000-1900	1200-1530 飛機	午後對流

# Cases Analysis on the Cloud Seeding Experiment in the Taiwan area

Tai-Kuang Chiou Ming-Sen Lin Kwang-Yi Wang

Research & Development Center  
Central Weather Bureau

## Abstract

The cloud seeding experiment in Taiwan area had been conducted from May 9 to June 25 last year, it totally completed 3 experiments of ground-based AgI cloud seeding and 6 experiments on tracing of Sulfur Hexafluoride (SF<sub>6</sub>) at the surface and up in the air. The object of this paper is try to use these cases to analyze the weather condition, the circulation characteristics, the distribution of precipitation and the concentration of SF<sub>6</sub> to find a few suitable meteorological condition for conducting the cloud seeding experiment in the near future.

The preliminary results show the organized frontal system and airmass thunderstorm are the suitable meteorological condition for cloud seeding experiment in Taiwan area during the Mei-Yu period. The importance and predictive value of organized low level southerly flow relative to precipitation and seedability become readily apparent as the field season progressed.

