

# 臺灣中南部地區雲種散播可能及方法之研究\*

亢玉瑾 白一瑾

國立臺灣大學大氣科學系

On The Possibility And Method Of Cloud Seeding  
Over The Central And Southern Parts Of Taiwan

Yu-Chin Kang Yi-Tsuei Pai

Department Of Atmospheric Sciences,  
National Taiwan University

## Abstract

In the central and southern parts of Taiwan, China, rainfall normally concentrates in the period from June to September, leaving the other months dry or even a little bit drought. The first author studied the success possibility of cloud seeding over there to augment rainfall but with no affirmative conclusion due to insufficiency of data.

For further study, data of surface observation concerning clouds from June 1970 to September 1971 have been investigated. It is found that frequencies and amounts of convective clouds were high enough for seeding purpose.

3 days in April and 7 days in May, 1973 were selected for case study. Analyses of surface observation data, forenoon satellite pictures, routine 0000Z (0800 LST) soundings and additional 0600 Z (1400 LST) soundings and radar cloud photos and the results of the SSL model calculations show that:

1. Cloud-seeding may be conducted with success in 5 days in May.
2. 0000Z sounding may be used to make nearly as good operation decision in case there is no computer available and no 0600Z sounding.
3. Cumulus cloud seeding should be taken place in early afternoon and the optimum radius of cloud for seeding is 2 km.

It is suggested that pyrotechnic seeding agents be fired into target areas of clouds by very pistol on aircraft and that mission control center is either in Taipei or Ching Chuan Kuang, using the latter as air base.

## 摘 要

臺灣中南部地區，雨量多集中於6至9月，其餘月份缺雨乾旱。有關單位，思以雲種散播增加雨水，作者之一曾初步研究其成功之可能性。因資料不足，難作定論。

本文利用民國59年10月至民國60年5月地面觀測之雲資料，統計分析後，知在此期間目標區出現之積狀雲次數與雲量，雖非衆多，但如其他條件適合，足供散播。

更於民國62年4月選定三天，5月選定4天，增加1400時無線電探空資料，配合原有之0800時探空，人造衛星雲圖觀測，雷達觀測，地面雲觀測，並利用一維穩定拉格郎奇模式，分別作積狀雲之個例研究。所得結果大致為：

1. 4月中之三天中無可散播雲，5月之七天中有五天，可從事雲種散播。
2. 模型計算結果與探空資料分析，大致符合，且0800時與1400時之探空分析結果，相差不大，必要時僅利用0800時探空資料，亦可大體研究是否舉行雲種散播。
3. 積狀雲應於午後散播，理想散播雲半徑應在2公里左右。

由上可知目標區有雲種散播可能。

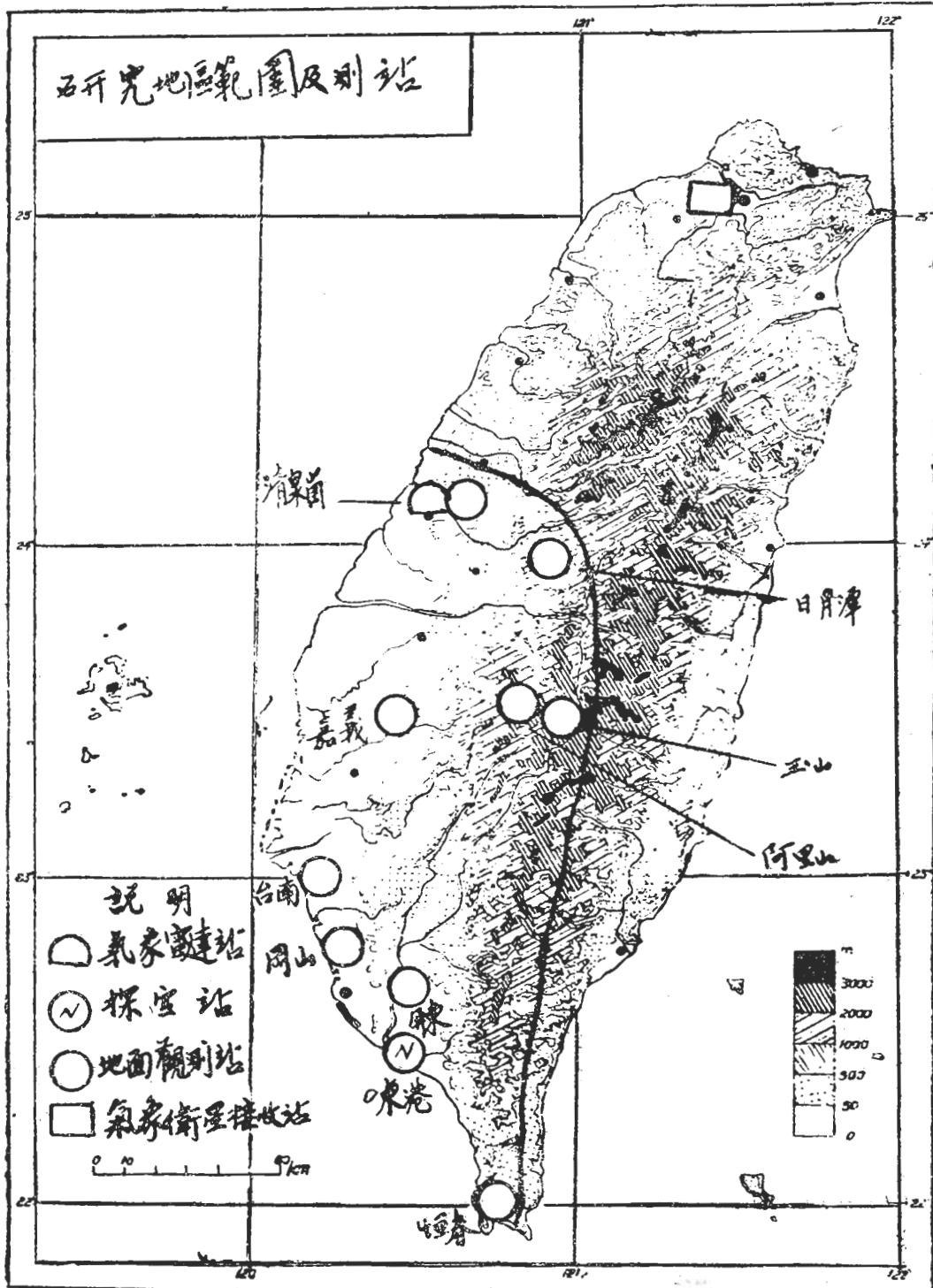
雲種散播應利用飛機以手槍射擊碘化銀散播彈入雲中目標區，飛機應以清泉崗為基地。任務指揮中心設於臺北或清泉崗。

\*本文之完成得國家科學委員會之補助

### 壹、前 言

鑑於臺灣中南部地區旱季時缺水情況嚴重，有關單位擬利用雲種散播以增加降水。筆者曾於年前從事「臺灣中南部地區雲種散播之策劃及其可能性之初步研究」。(以下引用本文時簡稱「初步研究」)除依

據已有氣象資料，初估雲種散播之可能性外，主要目的乃在增加觀測項次，進一步研判其可能性。惟所擬觀測計劃，因牽涉甚多，未能適時實施，不得已乃將本研究需用該項觀測部份，以權宜措施獲得之資料予以瓜代。其結果雖不能如原訂計劃週密可靠，但對問



The Region and Stations of Study





題之瞭解，已較以往為深入，可供實施雲種散播之依據。

### 貳、研究範圍與使用資料

一 研究範圍 本文所指之臺灣中南都地區（以後簡稱目標區）包括臺中（清泉崗在其西方約十五公里）以南與中央山脈以西之地區，即附圖一中實線與臺灣西南海岸間之地區。該區為臺灣之最大平原，乾旱時如能以雲種散播增加降水，經濟效益極高。

二 使用資料 本文所用之資料（各測站之位置亦請參閱附圖一）如下：

1. 清泉崗、日月潭、嘉義、阿里山、玉山、臺南、岡山、屏東、恆春九地59年10月至60年5月與62年4月至5月選定十日之地面觀測有關雲之目測資料。包括雲狀、雲量、雲底高度。

2. 清泉崗 FPS-77 型雷達於選定日拍攝之雲照片。除由平面示波器（PPI）測知有雲之地區外，尤注意以距高示波器（RHI）攝取雲之發展照片，藉以實

測與雲種散播有密切關係之雲頂高度及其變化。

3. 東港0000Z 之無線電探空資料，與商請空軍氣象聯隊於十個選定日在本地增測之無線電探空資料。

4. 空軍氣象中心印送國立臺灣大學大氣科學系之天氣圖表與人造衛星照片。

### 參、雲種散播可能性研究

目標區之雨季為六至九月<sup>(2)</sup>，故本文僅研究其餘月份之情況，以觀察該時期是否有雲。鑑於目前暖雲之散播成效不如冷雲散播卓著<sup>(3)</sup>。本文暫僅研究垂直發展雲。復鑑於目標區在雨季以前，需水特別殷切，故在4、5兩月中選定十天，作個例研究，目的在根據各種資料，較「初步研究」更精確測定雲種散播之可能性。

一 民國59年10月至60年5月目標區雲況

為求確知目標區乾旱季節是否有雲乃製訂附表一之格式，轉錄表列各站前述月份，當地 0800, 1100, 1400與1700時之雲狀、雲底高度與雲量。以清泉崗為

附表一 臺灣中南部地區各測站59年10月份0800時雲況

Table 1. The Cloud Condition of Stations in the Central and Southern Parts of Taiwan, 0800Z, Oct. 1970

區分日期	清泉崗		嘉義	台南	岡山	屏東	恆春	日月潭	阿里山	玉山
	雲狀	雲底高(百呎)	雲量(八分數)							
1	Sc Fs Fs	25 8 5	8 6 2							
30										

例，59年10月 0800時，該地出現高 2500 呎之層積雲（Sc），雲量8/8；高 800 呎之碎層雲（Fs），雲量6/8；高5000呎之碎層雲，雲量2/8。其餘類推。

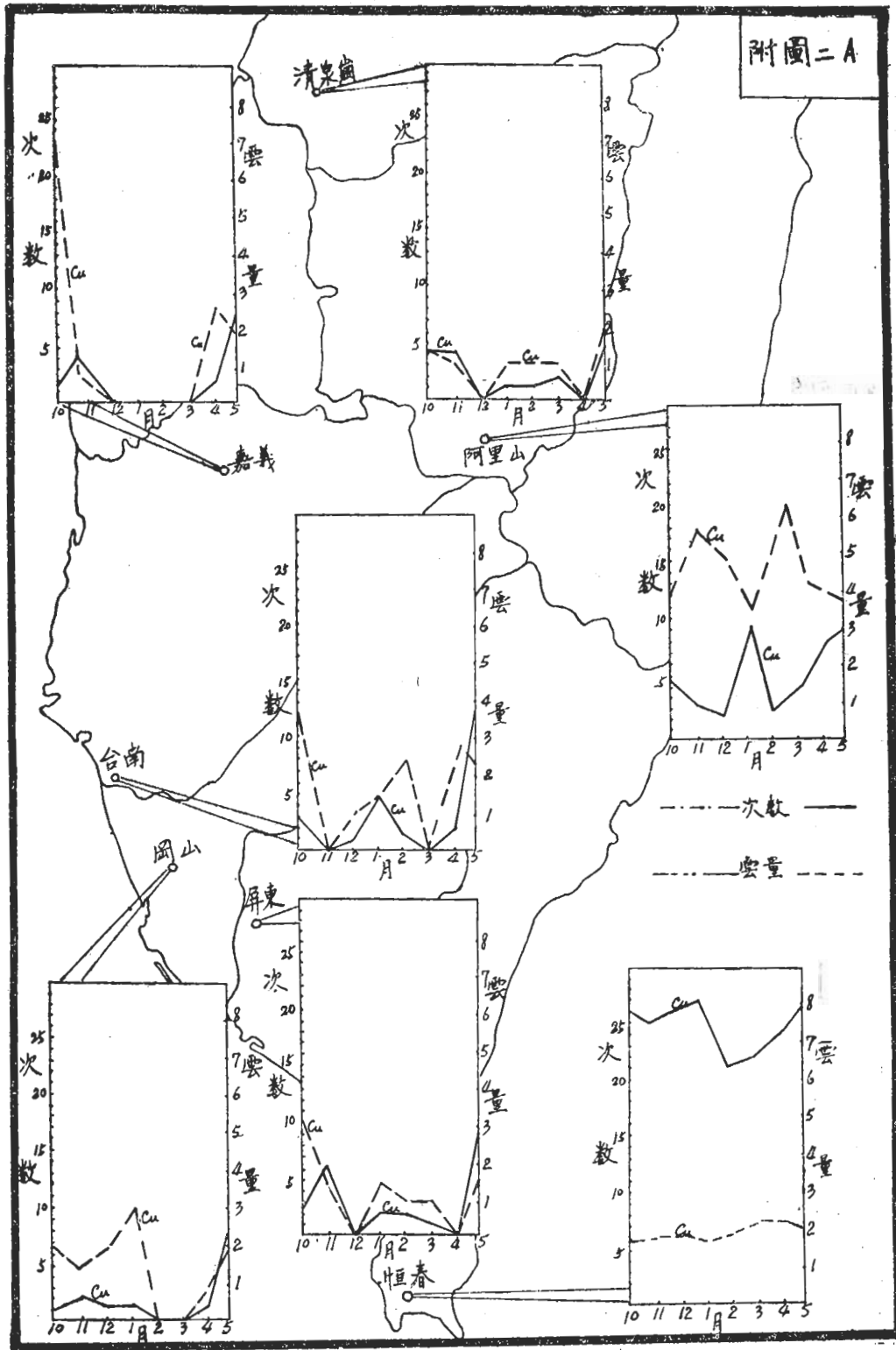
上述資料所佔篇幅過多且不易窺知要點，從略。茲據以摘製臺灣中南部地區積雲出現次數統計表如附表二。以清泉崗為例，59年10月0800 時共計出現4次，該4次之平均雲量為1.2/8，出現頻率佔全月之12.9%（4/31）。餘類比。

由上表知表列九站於前述之10個月內選定時間共

出現積雲2979次。計0800時375次，1100時899次，1400時1006次，1700時699次。其發生最多時適為對流旺盛之時間。以各月出現次數而論，每月均有積雲，冬季最少，愈接近雨季之月份，次數愈多，此亦與夏季多積雲之一般現象吻合。各地出現次數，依序為恆春、屏東、阿里山、臺南、嘉義、岡山、清泉崗、玉山與日月潭。恆春三面臨海且地處臺灣最南端之熱帶，雖積雲次數最多，雲種散播後增加之降水，陸上受益之機會不多，但中南部平原各站，仍有足夠之

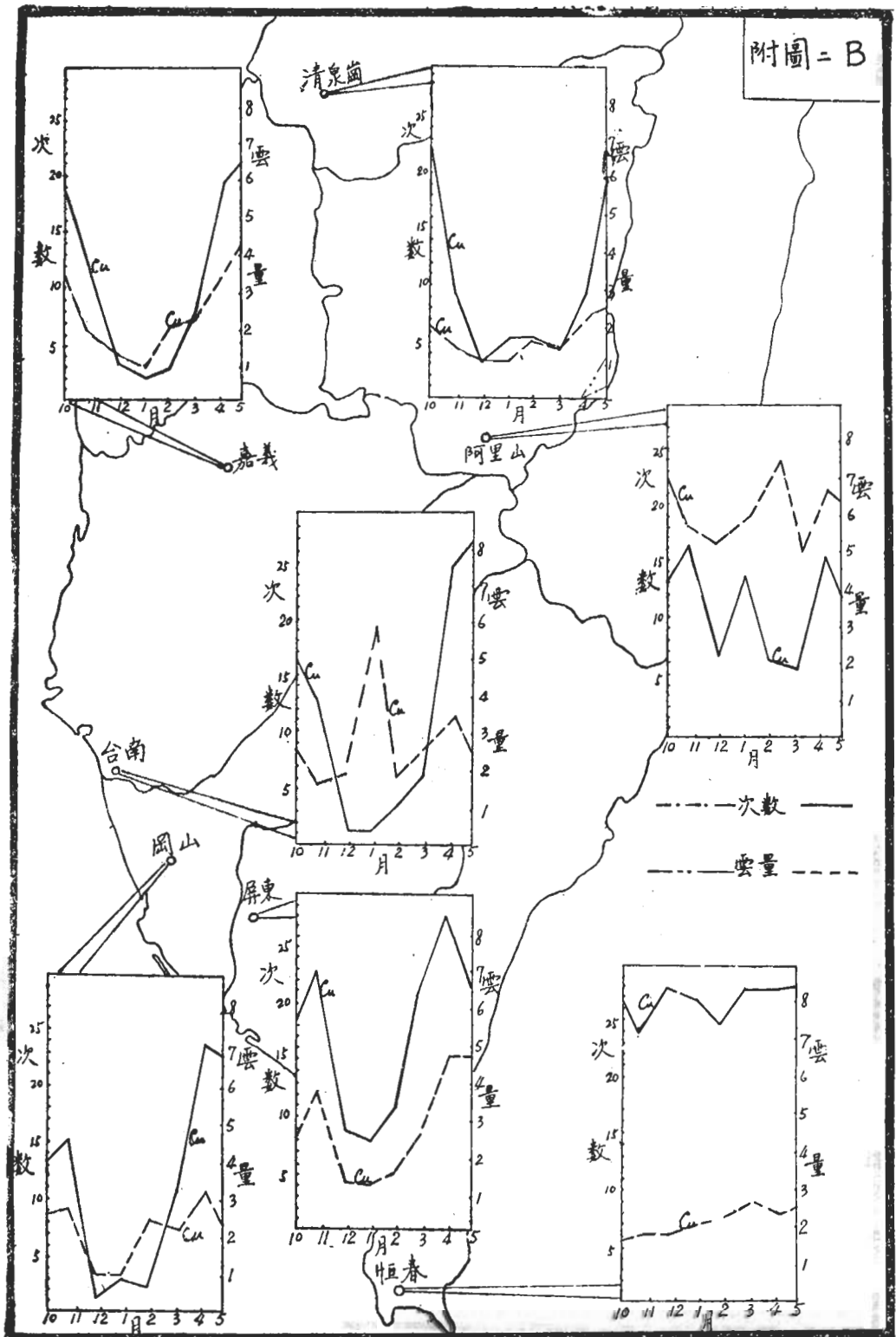
臺灣中南部地區59年10月至60年5月0800時積狀低雲之雲量及出現次數

Fig. 2A The Amount and Frequency of Cumulo-Type-low-Clouds over the Central and Southern Parts of Taiwan, at 0800 from Oct. 1970 to May, 1971.



臺灣中南部地區59年10月至60年5月1100時積狀低雲之雲量及出現次數

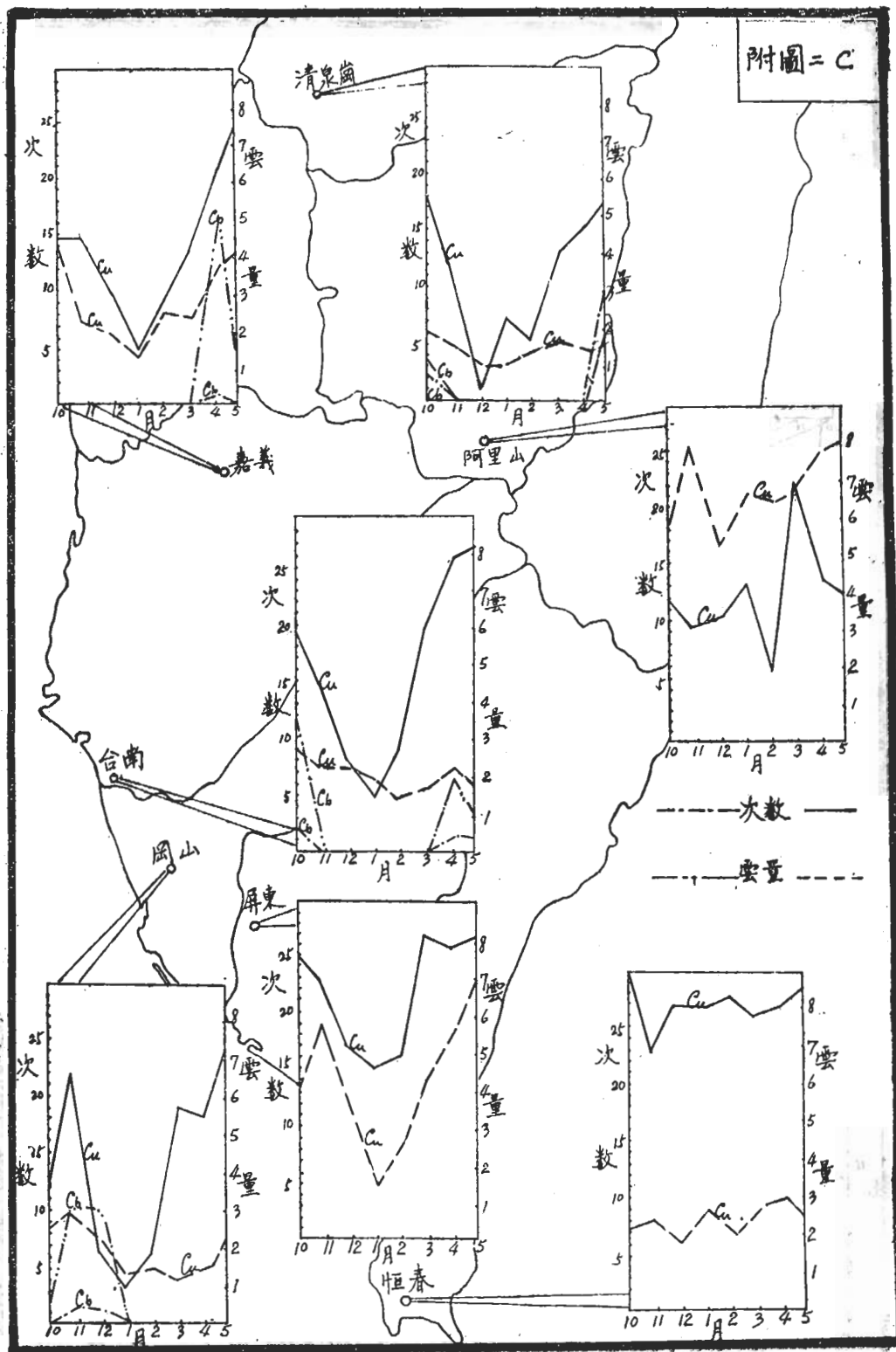
Fig. 2B The Amount and Frequency of Cumulo-Type-Low-Clouds over the Central and Southern Parts of Taiwan, at 1100 from Oct., 1970 to May, 1971.





臺灣中南部地區59年10月至60年5月1400時積狀低雲之雲量及出現次數

Fig. 2C The Amount and Frequency of Cumulo-Type-Low-Clouds over the Central and Southern Parts of Taiwan, at 1400 from Oct., 1970 to May, 1971.







雲，可供散播。至於山區之日月潭、阿里山、玉山三站，因高度、地形不同，較乏比較意義，且於西南季風時期，雲種散播後將進入山區，對目標區難有實際裨益。若有東來風向，氣流為下坡運動，散播效果必減。故上述三站雲況，僅供參考。

積雨雲在上述期間僅共出現35次詳如附表三。計0800時1100時各2次，1400時15次，1700時16次。60年1至3月各地均未發生積雨雲。雨季前之5月最多計19次，雨季後之10月次之計8次，其餘月份僅2、3次而已。各站中以清泉崗之18次為最多，佔總數一半以上。中南部平原之積雨雲與積雲出現次數比較如此之少，表示該區積雲因天然條件發展為可能降

雨之積雲機會至罕，故人為散播促使積雲進一步發展，可能機會尚多。

為求更能明顯顯示各地雲況分佈，及其隨月份之變化，特由附表二、三之資料，合併繪製臺灣中南部該時期內七個測站各月份積狀低雲之雲量及出現次數如附圖二。各站積狀雲自0800時開始增加，至1400時後即行減少之情形，一如附表二、三所示。最值得注意者為七個測站1100時、1400時、1700時上述時期各月份均有積狀雲。且每月1400時出現次數及雲量，均非過少，而缺水最嚴重之三、四、五月，積狀雲出現次數及雲量較多，僅就雲量與次數二因素而論，可謂利於目標區乾季實施雲種散播。

附表四 臺灣中南部地區六個測站選定月份雨量與準平均之比較

Table 4 Rainfall amounts comparison between the months of study and the normals of the 6 stations in the Region

地點	區分	月份		10	11	12	1	2	3	4	5
		年	年								
清泉崗	準平均	49~59	59	17.3	15.5	17.6	29.7	55.8	81.8	74.3	141.6
	雨量	59	60	11.6	0.0	39.9	46.1	124.2	16.8	17.7	71.9
	差			5.7	15.5	-22.3	-16.4	-68.4	50	57.3	63.7
嘉義	準平均	39~59	59	28.4	19.1	15.9	17.9	29.7	48.1	59.9	169.2
	雨量	59	60	7.9	27.6	10.1	17.5	9.7	1.9	7.9	9.1
	差			20.5	-6.5	5.8	0.4	20.0	46.2	52.0	160.1
臺南	準平均	36~59	59	24.8	20.1	13.4	15.1	16.7	29.3	62.0	162.7
	雨量	59	60	11.3	19.3	11.7	9.5	2.5	0.7	22.5	8.7
	差			13.5	0.4	1.7	5.6	14.2	28.6	39.5	154.0
岡山	準平均	39~59	59	33.4	16.4	9.9	11.3	15.8	26.4	51.1	151.8
	雨量	59	60	47.5	3.6	2.6	10.6	3.4	1.1	4.3	0.0
	差			-139	128	7.3	0.7	11.4	25.3	46.8	151.8
屏東	準平均	36~59	59	62.5	24.2	11.7	15.3	10.9	31.3	47.2	133.1
	雨量	59	60	142.9	17.8	15.0	7.1	2.1	0.3	0.3	22.7
	差			-80.4	6.4	-3.3	8.2	88	31.0	46.9	110.7
恆春	準平均	40~59	59	89.8	48.4	20.0	17.7	12.2	4.3	51.5	150.4
	雨量	59	60	211.7	1.3	7.4	29.5	64.9	8.6	9.3	62.7
	差			131.9	47.1	12.6	-11.8	-52.7	-43	42.2	87.7

因使用資料僅為一個乾季，可能發生隨機誤差，特就目標區平原，選定六站，比較選定月份之雨量與表列年間之準平均並求取其差值，詳如附表四。表中差值正者為準平均較高，負者為準平均較低。由上表中可看出選定十個月之降雨量多半較準平均為低。雲量與降水正相關之可能頗大，故選定月份雲況，當不致較正常情況偏高，而可能具有頗高代表性。

二 民國62年4至5月中之10日個例研究。雲種散播及期望之降水，均係在短時間內舉行與發生，故必須研究雲在短時間之變化。東港每日僅在0800時及2000時舉行無線電探空觀測，與下午對流旺盛時間，均嫌相隔過久，故特洽得空軍氣象聯隊同意，於民國62年4至5月間增加1400時之無線電探空觀測10次。探空日期係於上午根據目標區之地面觀測紀錄決

臺灣中南部地區選定十日1400地面觀測圖

附圖三

Fig.3 Surface Observations at 1400 in the Ten Days of the 7 stations in the Region

年月日	清泉崗	嘉義	台南	岡山	屏東	東港	恆春
4	10 85c30 69t13 29t8	28 093 600 7Ac80 25 3Cu15	27 088 600 6Ac80 24 1St8	27 091 7Ac80 20 24 5Cu25 3St25	28 100 5= 85c25 25 6St10	25 0/0 85c	100 7Ac70 40 2Cu10
	20 28 106 600 7Ac120 23 1Cu25	28 103 7 3Ac170 23 3Cu25	30 094 24 1Cu20 28	37 098 7 1St11 24 80	32 101 7 4Cu25 73 83	009 30 3ci 2Cu	31 110 7 3Cu25 23 24
	26 27 500 24 24 29 6Ac80 2Cu25 1Cu20	32 076 730 7Ac130 23 3Cu25	31 071 7 6Ac100 25 2Cu15	31 6Ac80 24 1Cu25 13 1St12	32 099 7 6Ac100 24 5Cu25 78	29 009 6ci 3Cu	095 3ci25 2Cu25
5	4 23 8Ac80 7 2Sc20 17 2St8	27 131 7 7Ac120 24 2Cu25	40 118 500 7Ac100 24 3Cu15	102 118 31 7 7Ac90 24 3Cu24	01/23 121 7 6Ac100 22 5Cu25	1131 012 5ci 5Cu	28 126 7 60 23 6Cu25
	8 28 113 600 7Ac80 22 35c30 48	32 104 25 7Ac120 68 2Cu25	33 105 7 7Ac80 48 1Cu25	32 111 7 6Ac100 22 2Cu24 00	32 125 7 6Ac100 56 3Cu25	32 010 7Ac 5Cu	32 112 7 65c30 2 3Ac100 2Cu20
	14 7 2Cu25 25t8	32 113 7 2Cu25 25 5Cu25 89	32 112 7 5Cu25 26 2Cu20	31 111 7 5ci25 25 2Cu25	32 1AC 2 1Cu20	31 011 3cu 3cb	81 120 7 30 25 3Cu25
	16 31 083 7 7ci20 28 2Cu25	32 093 24 7ci20 68 3Cu25	30 091 7 6ci25 24 3Ac100 24 3Cu16	30 085 70 7 7Sc30 22 3Cu18	296 098 32 6ci20 7 5Cu25	31 009 7Ac 5Cu	100 086 30 7 7ci20 25 3Ac80 2Cu25
	22 27 500 22	31 125 7 6Cu25 25	30 118 7 2Cu25 23	195 121 30 7 1Cu25 24	33 121 7 5Cu25 24	31 011 3ci 2Cu	104 123 7 1Cu22 25
	25 27 116 400 3Cu20 22 1St12	16130 107 7 6ci300 24 4Cu25	43 108 30 7 1ci25 23 1Cu25	45 118 30 7 1ci300 24 1Cu22	131 118 70400 6Cu25 23	308 4Cu	31 120 7 4Cu25 23
	29 28 092 38 8Ac100 23 55c20	32 079 7 7Ac100 25 55c60 2Cu25	32 081 7 7ci25 25 3Ac100 1Cu25	32 077 70 7 7Ac100 25 1Cu21	33 087 7 7Ac100 49 23 5Cu25	32 007 8Cu 3Ac 5Cu	81 086 7 1ci20 25 2Cu20

說明：「○」表示天空狀況，如天空為裂雲，即記為「①」，又如天空狀況為上裂下疏，即記為①/①。欄內右上方數字，係以 mb 為單位之氣壓百位、十位及個位數。次為雲量雲狀及雲高，依其高度層次填記。天空狀況左側最上數字為溫度(°C)，次為能見度，再次為露點。能見度與天空狀況間為天氣，如霾(∞)，陣雨(☉)等項。箭頭方向表示風向箭尾橫線示風速，長者示每小時十哩，短者示每小時五哩。又箭尾的數字前一位為風向角之十位數。末一位為風速之個位數。

定，即該區測站中有積狀雲達3/8 或以上時，由軍空氣象中心通知東港測站 施放探空及 清泉崗基地 拍攝雷達照片。探空資料取得後，再以一維穩定拉格郎奇模型 (One-dimensional Steady-State Lagrangian(SSL) Model) 計算可能發生之降水及散播效果 (Seeding Effect)，所謂散播效果，即雲種散播後之雲頂較未散播之自然發展雲頂可能增加之高度<sup>(4)</sup>。照上述原則選定之10日為4 月中之10日、20日、26日，5 月中之4日、8日、14日、16日、22日25日與29日。茲就取得之各類資料，討論如下：

1. 地面觀測 目標區內位於平地之清泉崗、嘉義、臺南、岡山、屏東、東港、恆春所測得上述十天1400時之地面觀測資料如附圖三。由該圖可看出上述各測站該時多半有積狀雲，且除清泉崗於5月29日有陣性降水外，其他各地均無降水。由表中可亦看出各地雲底高，惟為求能一目瞭然各站積狀雲之雲底高及雲量，特根據類似附圖三之全部資料，繪製該十天0800時、1100時、1400時及1700時之雲況如附圖四。圖中雲形所佔一地之比例即屬雲量，雲底所在之高度即為雲底高度，雲頂高度由地面無法測知，故無代表性

Fig. 4A Cumulo-Type-Cloud Conditions of the 7 stations in the Region

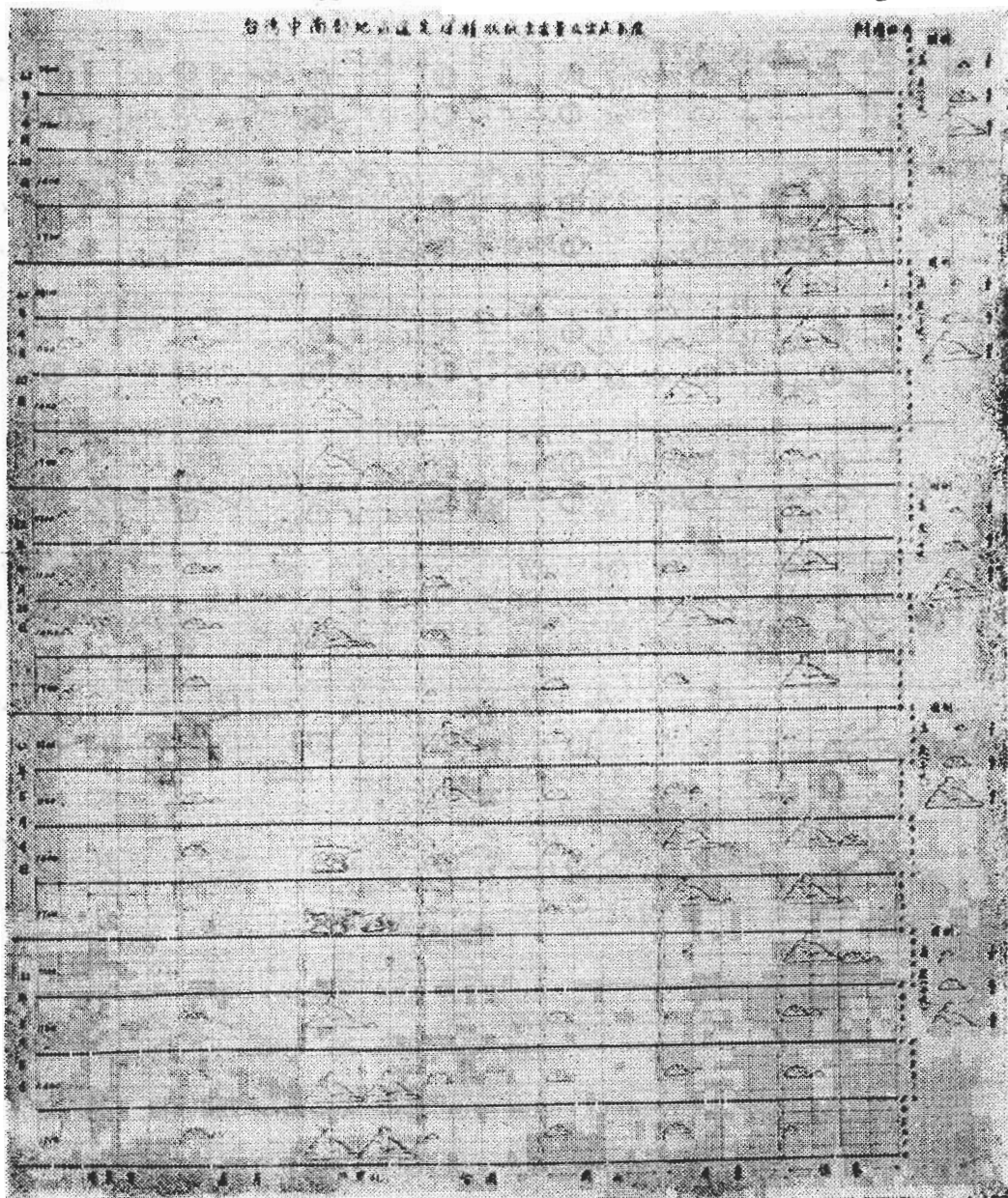
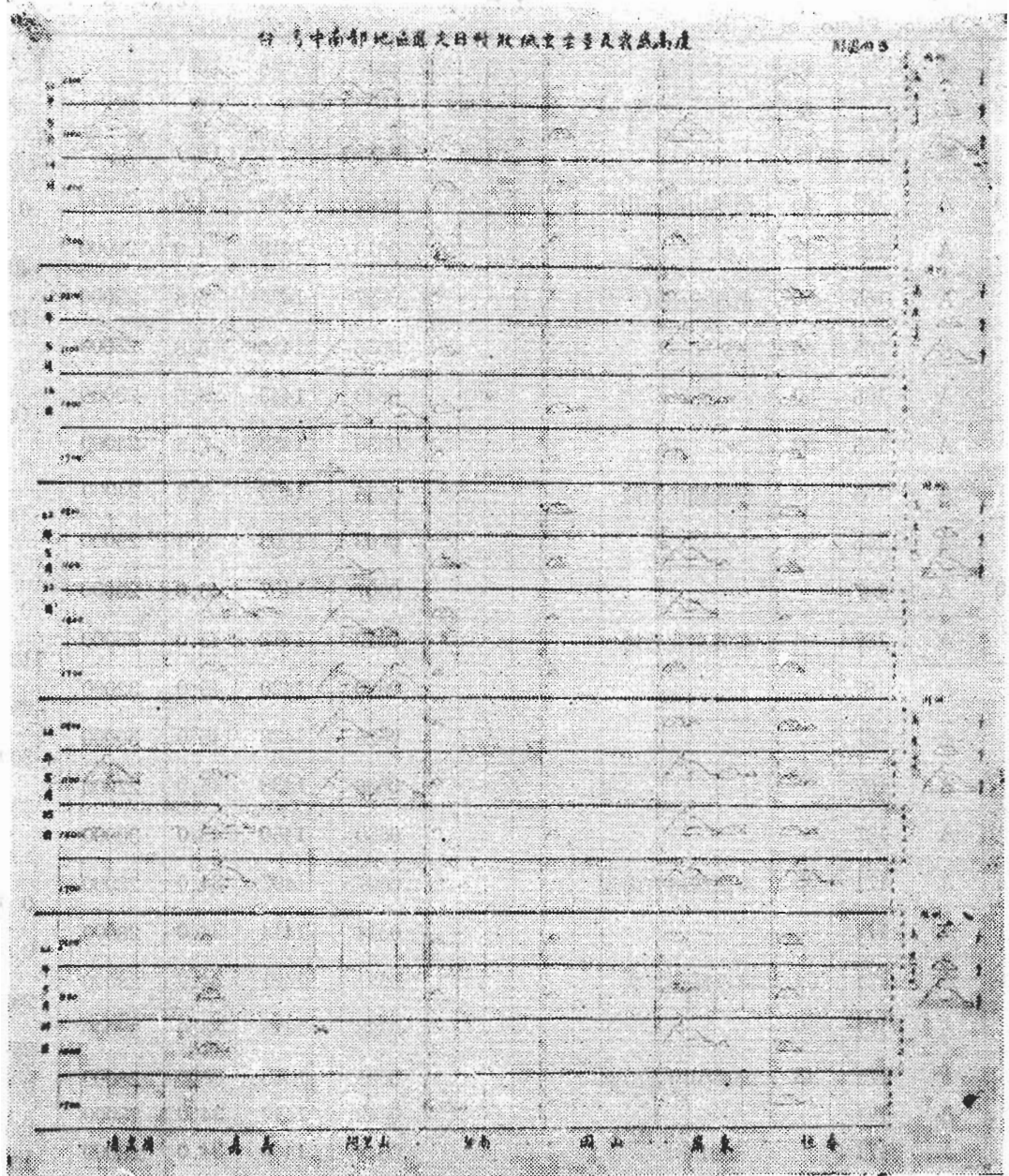


Fig. 4B Cimulo-Type Cloud Base Heights of the 7 Stations in the Region



。圖中雲底高度不高，多半介於2000至3000呎間，甚少有超出3000呎者，就雲底高度而論，可謂較宜於雲種散播。雲量隨時間之變化頗大，但大體言之，以1100時與1400時雲量較多，0800時及1700時雲量較少。雲種散播須知個別雲塊之大小，故僅有上述資料，仍嫌不足，今後應再設法測得雲塊之大小或直徑，最好更能瞭解其同時之分佈狀況，以確定是否適於雲種散播。

2. 雷達觀測 清泉崗之雷達波長為5cm，較諸花

蓮、高雄波長 10cm 之雷達，更宜於觀測雲況，其通常所用之觀測範圍半徑為60哩與 120 哩兩種。使用前時觀測範圍可達臺南略北處，使用後者則可達臺灣最南端，故可謂能涵蓋整個目標區。

雷達觀測之目的在求瞭解目標區之雲塊分佈及雲寬與雲頂高，後者在地面無法獲悉，但雷達對雲底高度，則較難判斷，故其與地面觀測配合運用，至屬必要。

選定十天內之雷達照片頗多，且有部份照片，因



附表五 空軍清泉崗基地雷達照片顯示中南部地區內雲況之變化情況

Table 5 The Variation of Clondiness of the Central and Southern Parts of Taiwan shown from Rador Photos of CCK

月 日	雲 別	方 位	距 離 (哩)	出 現 地 區	時 間		雲 況			
					世 界 標 治 時	地 方 時	寬 度 (呎)	雲 頂 高 度 (呎)	升 速 呎/秒	
4.10	A	165	45	阿里山附近山區	0609	1409	4.0	20000	0.0	
	A	165	45	" "	0618	1418	4.0	20000	400	
	A	165	50	南面山山區	0627	1427	5.8	22000	125	
	A	165	48	" "	0635	1435	5.8	23000	0.0	
	A	165	50	" "	0643	1443	7.5	23000	143	
	A	165	50	" "	0650	1450	7.5	24000	0.0	
	A	165	55	嘉義關山山區	0656	1456	8.3	24000	143	
	A	165	55	" "	0703	1503	8.3	25000		
	4.20	A	187			0607	1407	45.0	23000	0.0
		A	187	4	嘉義東北竹崎	0612	1412	45.0	23000	1125
A		187			0620	1420	45.0	32000	-250	
A		187			0628	1428	45.0	30000	-300	
A		187			0638	1438	45.0	27000	250	
A		187			0650	1450	45.0	30000		
4.26	A	171	35	溪頭西南方山地	0607	1407	34.0	28000	0.0	
	A	171			0614	1414	34.0	28000	0.0	
	A	171	24	南投縣境東南	0621	1421	34.0	28000	286	
	A	171	50		0628	1428	33.0	30000	-257	
	A	171	48	阿里山附近山區	0635	1435	33.0	28000	0.0	
	A	171			0642	1442	34.0	28000	0.0	
	A	171			0648	1448	34.0	28000	166	
	A	171			0654	1454	34.0	29000	166	
	A	171			0700	15.00	34.0	30000		
	B	340	110	桃園西北方海上	0714	15.14	108.0	60000	375	
B	340	110		0720	15.20	108.0	63000			
5.4	A	179	50	嘉義三民附近山地	0611	1411	40.0	22000	167	
	A	179	40	嘉義吳鳳附近	0617	14.17	40.0	23000	0.0	
	A	179	40	" "	0624	1424	40.0	23000	333	
	A	179	45	" "	0630	1430	40.0 45.0	25000		
	A	179			0636	1436	40.0 45.0	26000	167	

	A	179	45		0642	14.42	40.0 50.0	26000	0.0 167
	A	179			0648	14.48	40.0 50.0	27000	00
	A	179			0654	1454	40.0 50.0	27000	0.0
	A	179			0700	15.00	40.0 50.0	27000	
5.8	A	226	70	臺南西方海面	0608	1408	71.0	30000	
	A	226	65	" "	0615	14.15	69.0	28000	-285
	A	226	65	" "	0622	14.22	62.0	28000	0.0
	A	226	65	" "	0628	1428	60.0	27000	-167
	A	221	60	" "	0635	14.35	60.0	26000	-142
	A	221	60	" "	0641	14.41	58.0	24000	-333
	A	221	55	新營西方海面	0648	14.48	56.0	25000	142
	A	221	55	" "	0655	1456	56.0	23000	-286
	B	226	30	大甲溪出海區域	0608	1408	17.0	22000	
	B	226	30	" "	0615	1415	16.0	23000	142
	B	226	30	" "	0622	1422	14.0	22000	-142
	B	226	30	" "	0628	1428	15.0	22000	0.0
5.14	A <sub>1</sub>	186	60	嘉義臺南間	0609	1409	55.0	25000	
	A <sub>1</sub>	186	50		0609	1409	44.0	23000	
	A <sub>1</sub>	186	45		0609	1409	38.0	20000	
	A	182			0615	14.15	36.0 50.0	32000	1167
	A	182			0621	1421	40.0	4200	0.0
	A	182			0628	1428	43.0	28000	-571
	A	182	45	嘉義臺南間	0634	1434	43.0	30000	333
	A	178	45	" "	0640	1440	43.0	40000	1667
	A	178	45	" "	0646	1446	43.0	41000	167
	A	176	45	" "	0652	1452	42.0	42000	167
	A <sub>1</sub>	176	45	" "	0652	1452	38.0	40000	167
	A	176	45	" "	0658	1458	38.0	43000	
5.16				照片模糊					
5.22				照片模糊					
5.25	A	185			0608	1408	55	30000	
	A <sub>1</sub>	185			0608	1408	63	30000	1428
	B	178	60	臺南地東北地區	0615	1415	38.0 55.0	40000	
	B	178	60	" "	0630	1430	38.0 60.0	42000	133
	B	178	60		0645	14.45	51.0	38000	266
	B'	178	60		0645	14.45	93.0	46000	
	B	180	90	屏東東方山區	0653	1453	53.0	40000	
	B <sub>1</sub>	180	90	" "	0653	1453	92.0	50000	

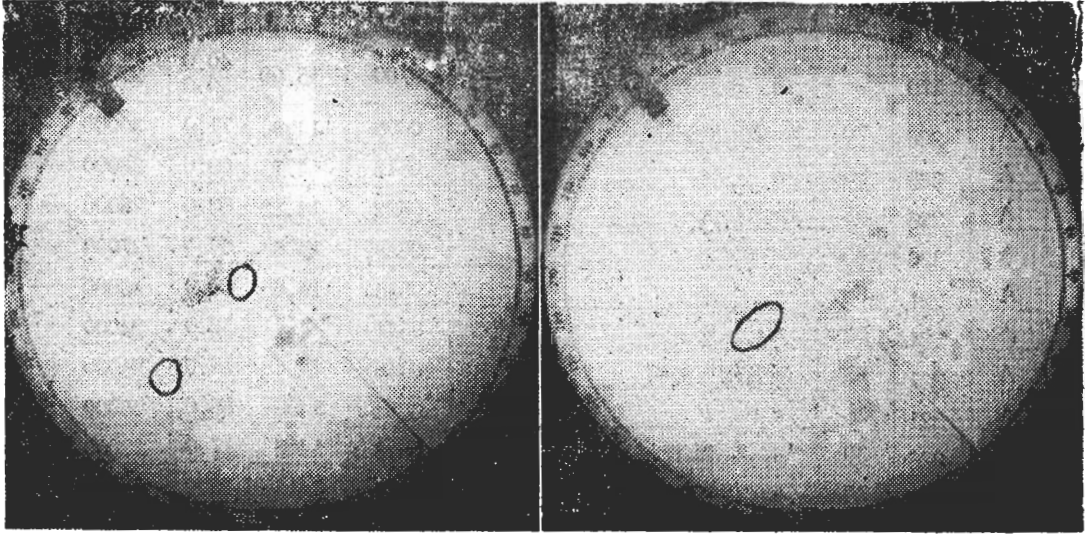


附 圖 五

0600—8/5

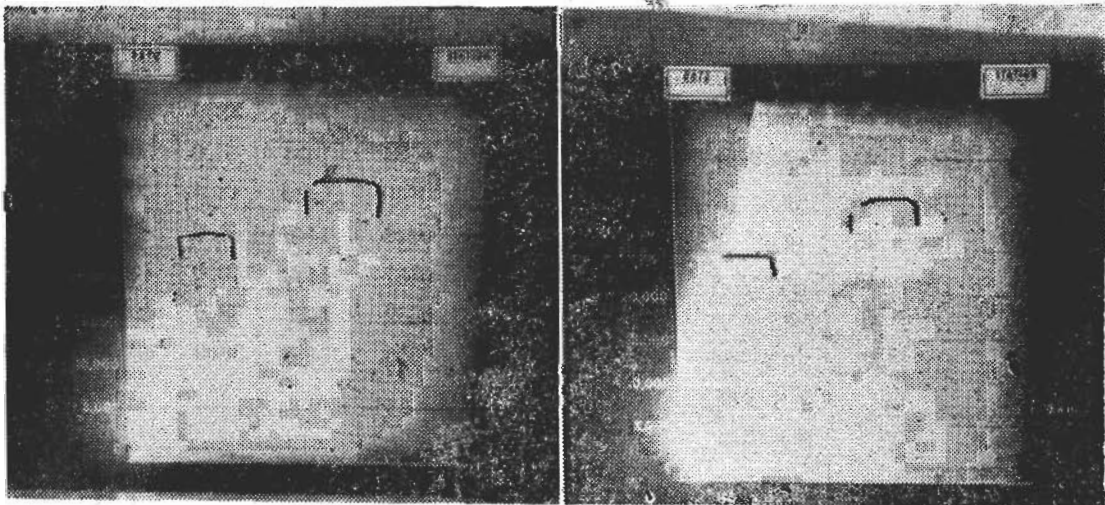
Fig. 5

0604—8/5

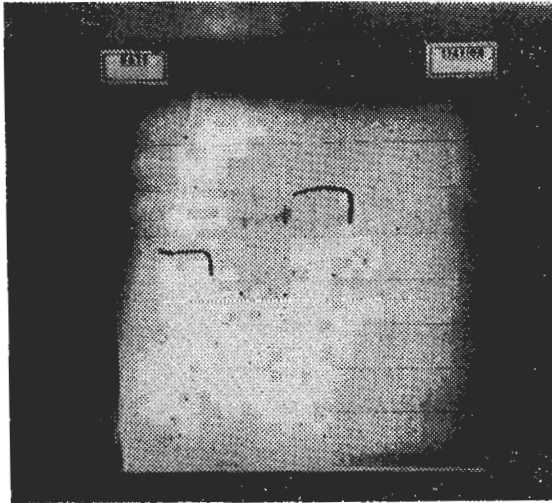


0608—8/5

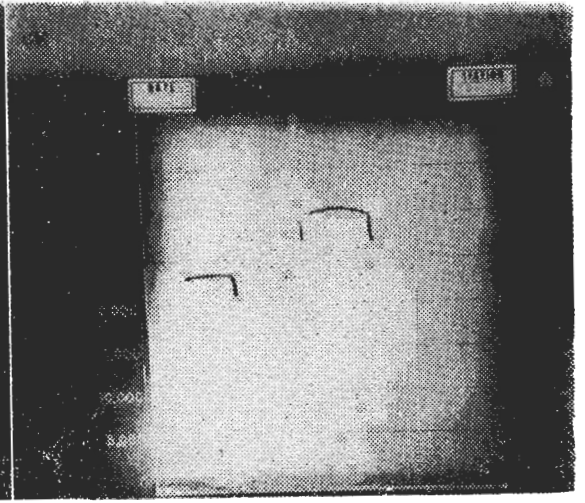
0615—8/5



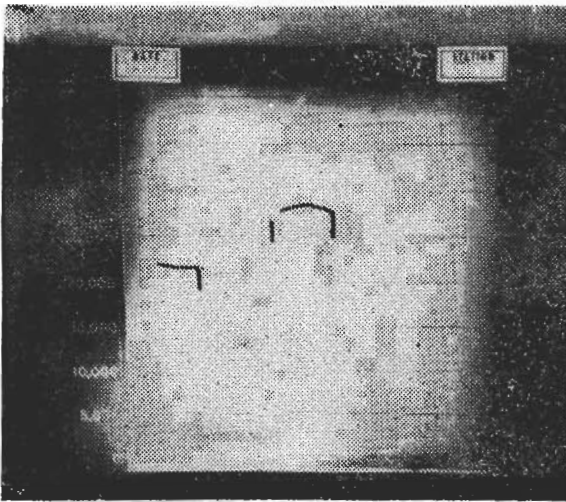
0622—8/5



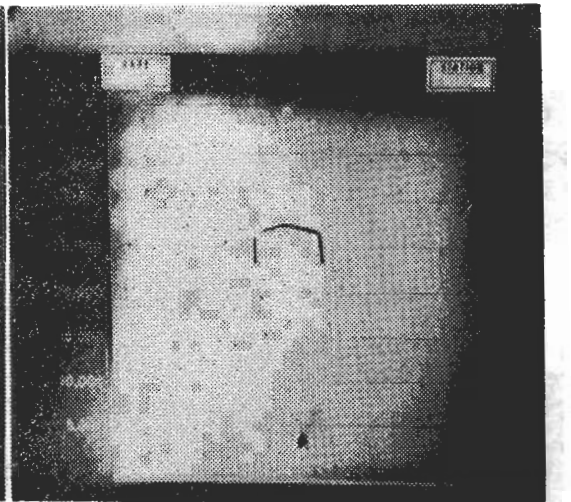
0628—8/5



0635—8/5

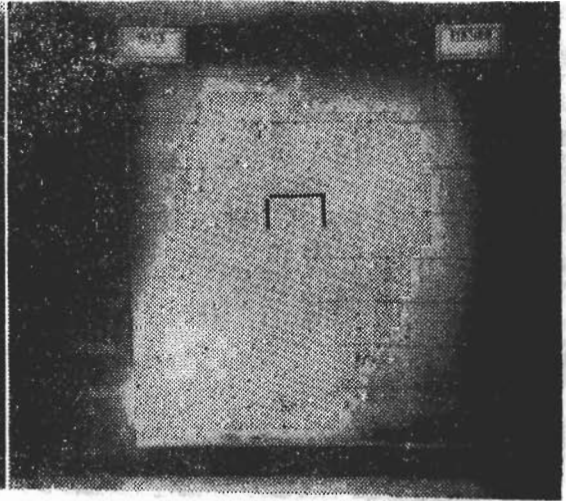
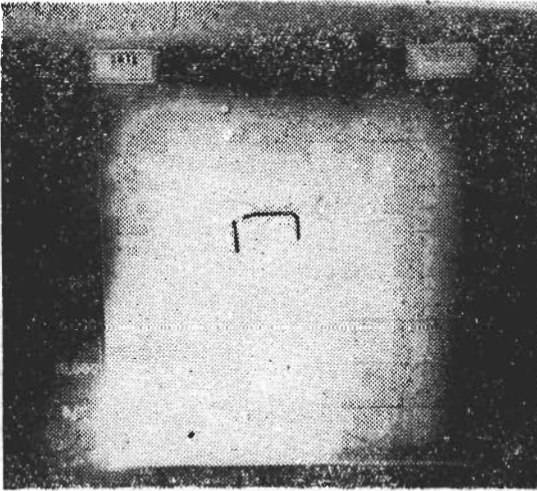


0641—8/5



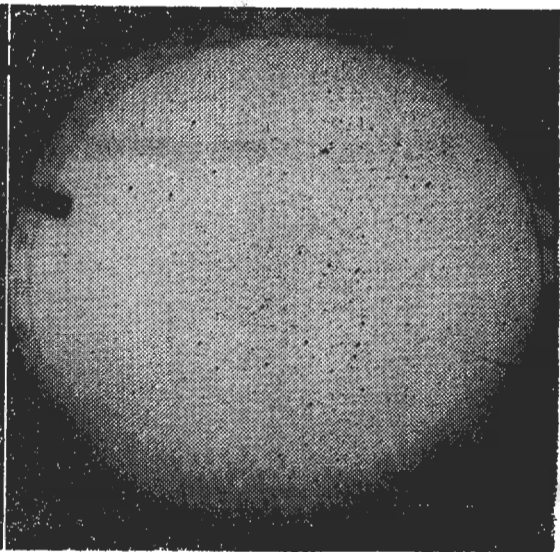
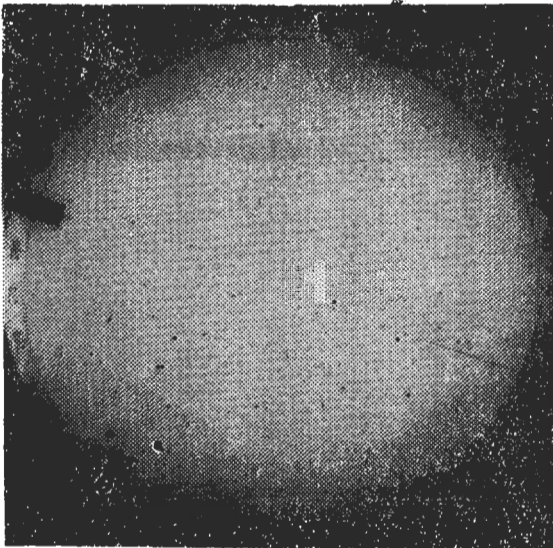
0648—8/5

0655—8/5



0700—8/5

0702—8/5



膠片存放過久，有欠清晰，非專業人員，無法判讀，故僅以5月8日者為例，摘刊如附圖五。圖中與下表5月8日有關之雲，均加標誌，以利對證識別。

十天內之雲況變化如附表五，其中5月16日與29日照片模糊從缺。經查表列有雲而其附近有觀測站之處，均未降雨。表中數值至少可顯示下則事實：

1407時至1550時測得之雲頂高度，均在20,000呎以上，最高曾達50,000呎。

2 1407時至1550時，表列各雲，多在發展、即其雲頂加高，雲區寬加。4月10日，5月4日、14日25日之情形，均屬如此。其他者多能保持穩定。既使衰減，亦為數極微。

美國環境研究室 (Environmental Research Laboratories, NOAA)，多於17,000至24,000呎高度實施雲種散播。菲律賓之GROMET 故計劃於1969年4月至6月中從事雲種散播，發生顯著效果者，其雲頂高度亦與目標區者大致相若。就雲發展之高度論，其雲種散播之成功頗大。

3 人造氣象衛星雲況觀測 空軍氣象中心人造

衛星站位於臺北，除4月26日，5月4日，5月22日因機器故障或訊號不清缺圖外，指定十天內其餘其他各日圖片如附六 a 至 g。照片接收時間約在上午10時開始，亦有較晚至12時者。

4月10日1501至1045時 (圖六 a) 目標區整個為雲覆蓋，冷鋒適通過目標區，雲狀為 Sc 及 Cu。

4月20日12時 (圖六 b)，目標區初看似無雲，但細看圖中仍有孤離雲塊。

5月8日12時 (圖六 c)，目標區大部為雲遮蓋，但有雲隙。

5月14日1225至1045時 (圖六 d)，目標區靠北部有雲，南部似為碧雲。

5月16日1010至1030時 (圖六 e)，目標區雲影朶朶，與碧空交錯出現。

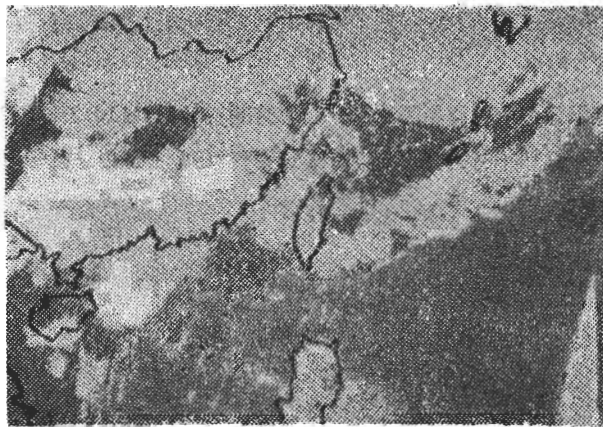
5月22日1000至1030時 (圖六 f)，目標區沿海地帶有雲，接近中央山脈地區似為一狹長無雲帶，中央山脈為長條雲所覆蓋。

5月29日0950至1010時 (圖六 g)，目標區大部份為密雲遮掩，靠近中央山脈地帶及西部濱海一小地

附圖六 a 空軍氣象中心衛星圖片 接收時間：4月10日10:15時至10:45時

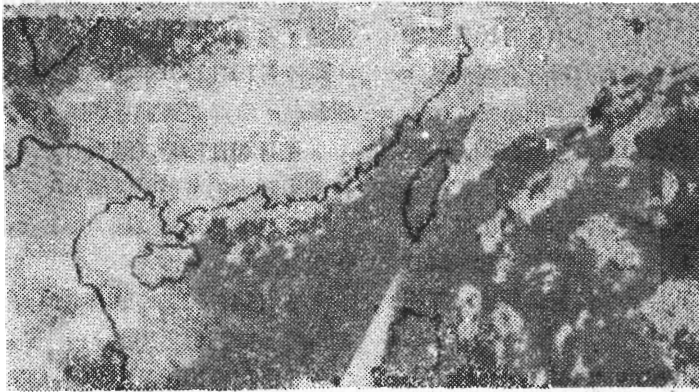
Fig. 6a. Satellite Photo of The Weather Central, CAF

Receiving Time: 10:15 to 10:45, April 10, 1973



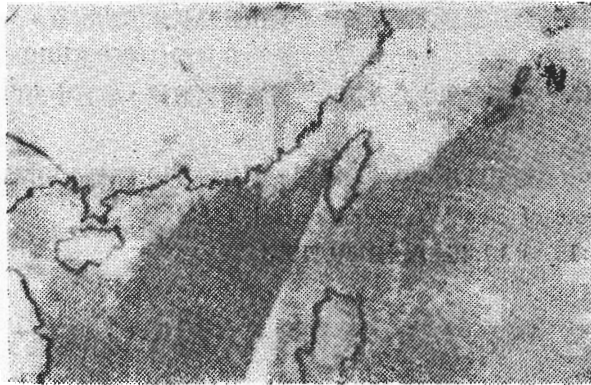
附圖六b 空軍氣象中心衛星圖片 接收時間：4月20日13時

Fig. 6b. Satellite Photo of The Weather Central, CAF 21hr, April 20, 1973



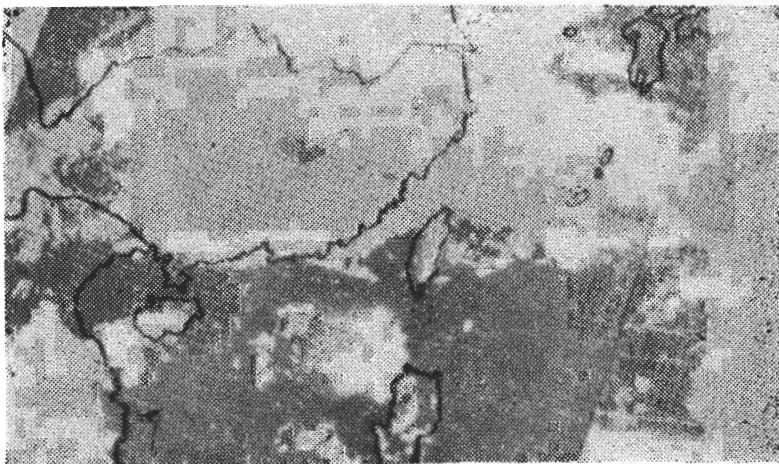
附圖六c 空軍氣象中心衛星圖片接收時間：5月8日13時

Fig. 6c Satellite Photo of The Weather Central, CAF 13hr, May 8, 1973



附圖六d 空軍氣象中心衛星圖片 接收時間：5月14日10:25時至10:45

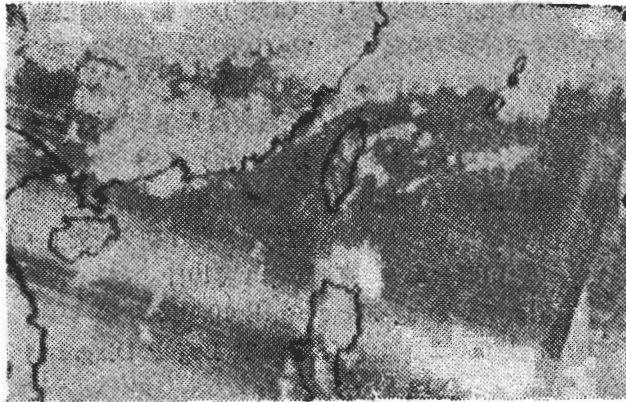
Fig. 6d Satellite Photo of The Weather Central, CAF Receiving Time: 10:25 to 10:45, May 14, 1973





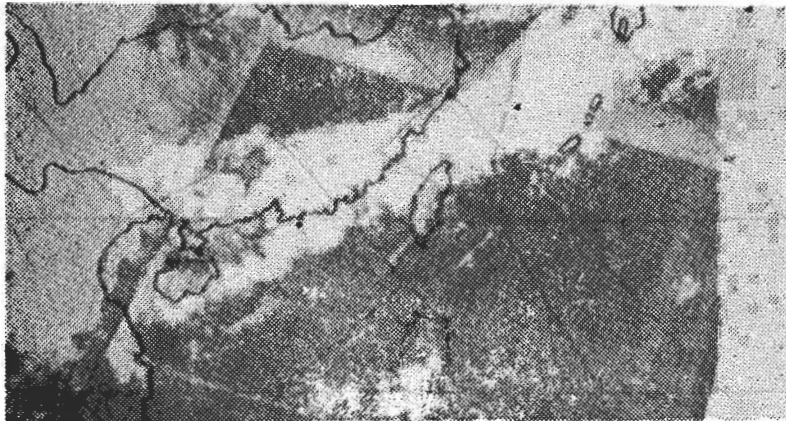
附圖六 e 空軍氣象中心衛星圖片 接收時間：5月16日10:10時至10:30

Fig. 6e Satellite Photo of The Weather Central, CAF Receiving Time: 10:10 to 10:30, May 16, 1973



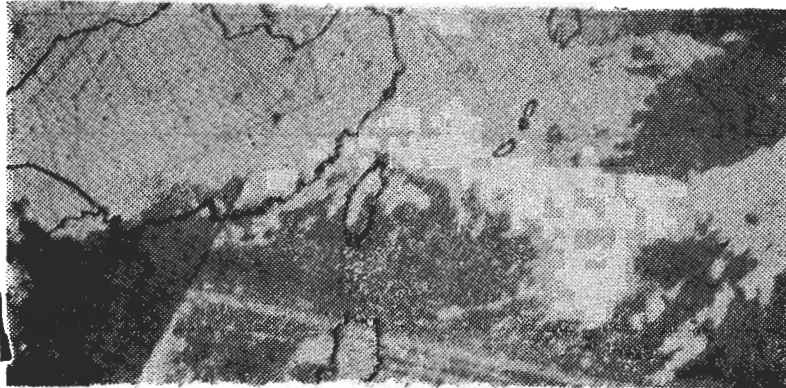
附圖六 f 空軍氣象中心衛星圖片 接收時間：5月22日 10:10時至10:30

Fig. 6f. Satellite Photo of The Weather Central, CAF Receiving Time: 10:10 to 10:30 May 22, 1973



附圖六 g 空軍氣象中心衛星圖片 接收時間：5月29日09:50時至10:10

Fig. 6g. Satellite Photo of The Weather Central, CAF Receiving Time: 09:50 to 10:10, May, 29



區無雲。

此次選定之十天，係根據地面觀測決定已如前述。人造衛星圖片中，亦可看出雲之分佈與範圍，但因衛星圖片拍攝範圍頗大，目標區所佔比例面積甚小，曾試圖將原圖放大，但因拍得之照片並非纖毫畢顯，仍難有所助益。以後接收機更新，或可改善，就目前之情形，如欲實際從事雲種散播，仍須借重地面觀測，但人造衛星可綜觀整個目標雲況，仍屬甚有助益，且其拍攝時間，與可能實施雲種散播時間接近，亦應視為主要參考資料之一。

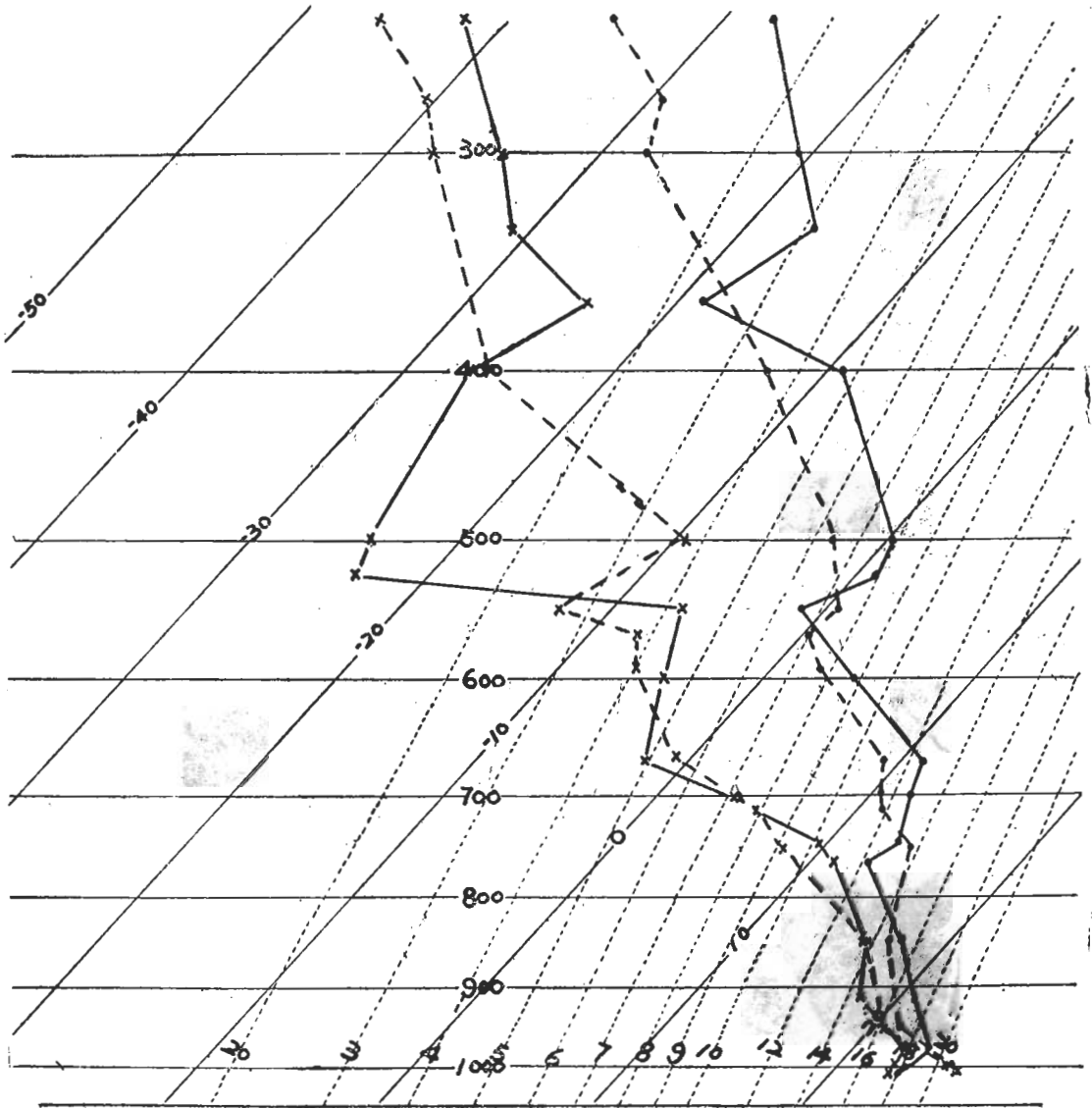
4 無線電探空觀測 東港位於目標區之南部靠海處，所測資料為臺灣現有探空站中最能代表目標區之空氣狀況者。選定十天早午二次之探空曲線如附圖七(a至j)。每一圖均包括 0800時 (0000 Z) 與 1400時 (0600 Z) 之探空曲線。前者為實線，後者為虛線，有圓點者為氣溫曲線，有×者為露點曲線。使用圖表為斜溫對數氣壓圖 (Skew T. Log P. Diagram)。

4月10日 (圖七a) 早，午地面附近均有雲，判定方法參閱「初步研究」，其上層早晨 760mb 附近

附圖七a 東港62年4月10日

Fig. 7a. Tung-Kong April 10, 1973

0000Z 及 0600Z斜溫度 (Skew T, Log P Diagram)





有沉降逆溫，午後下降至 800mb 附近。早、午曲線在上層頗有差異。

4月20日(圖七b)除早晨地面附近，疑似有雲外，殊難看出其他高度有雲。且在 800mb 附近有顯著沉降逆溫。早、午曲線頗類似。

4月26日(圖七c)亦係地面附近可能有雲，上層乾燥。

5月4日(圖七d)僅晨間地面附近可能有雲，其餘均較乾燥，且有沉降逆溫。

5月8日(圖七e)晨間地面附近有雲，午後亦

疑似有雲。早、午之曲線均顯示有甚高之潮濕空氣層。早、午曲線除地面附近外，大致相似。

5月14日(圖七f)，早晨曲線有高達約700 mb 之雲層，下午似僅地面附近有雲。晨間曲線所示空氣顯較午後者潮濕。

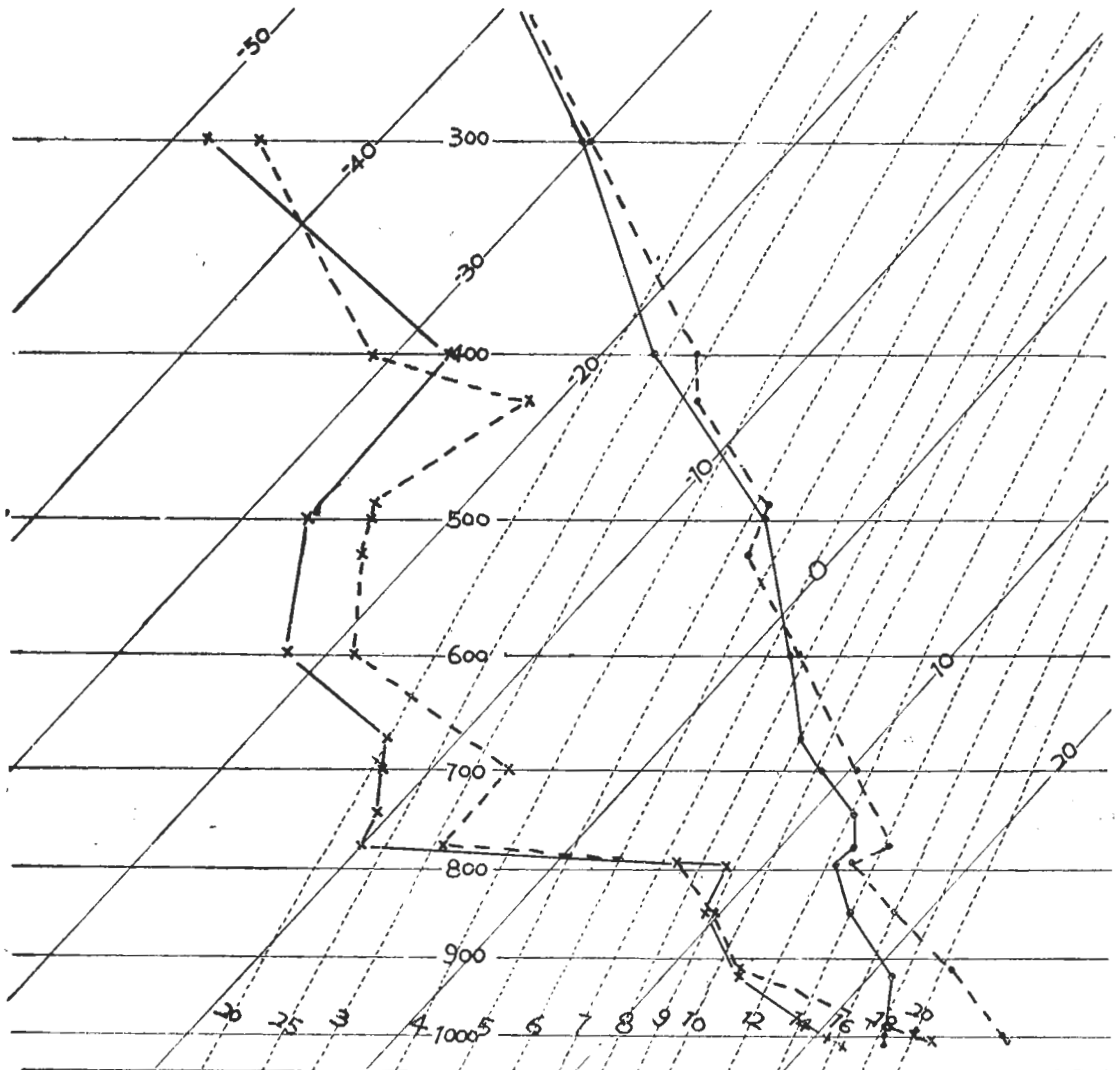
5月16日(圖七g)晨間地面附近可能有雲。二曲線均顯示空氣不似圖七 e、f 之潮濕。且上層有微弱沉降逆溫。

5月22日(圖七h)晨間地面附近有雲，午後空氣顯較晨間為潮濕。

附圖七 b 東港62年4月20日

Fig. 7b. Tung-Kong April 20, 1973

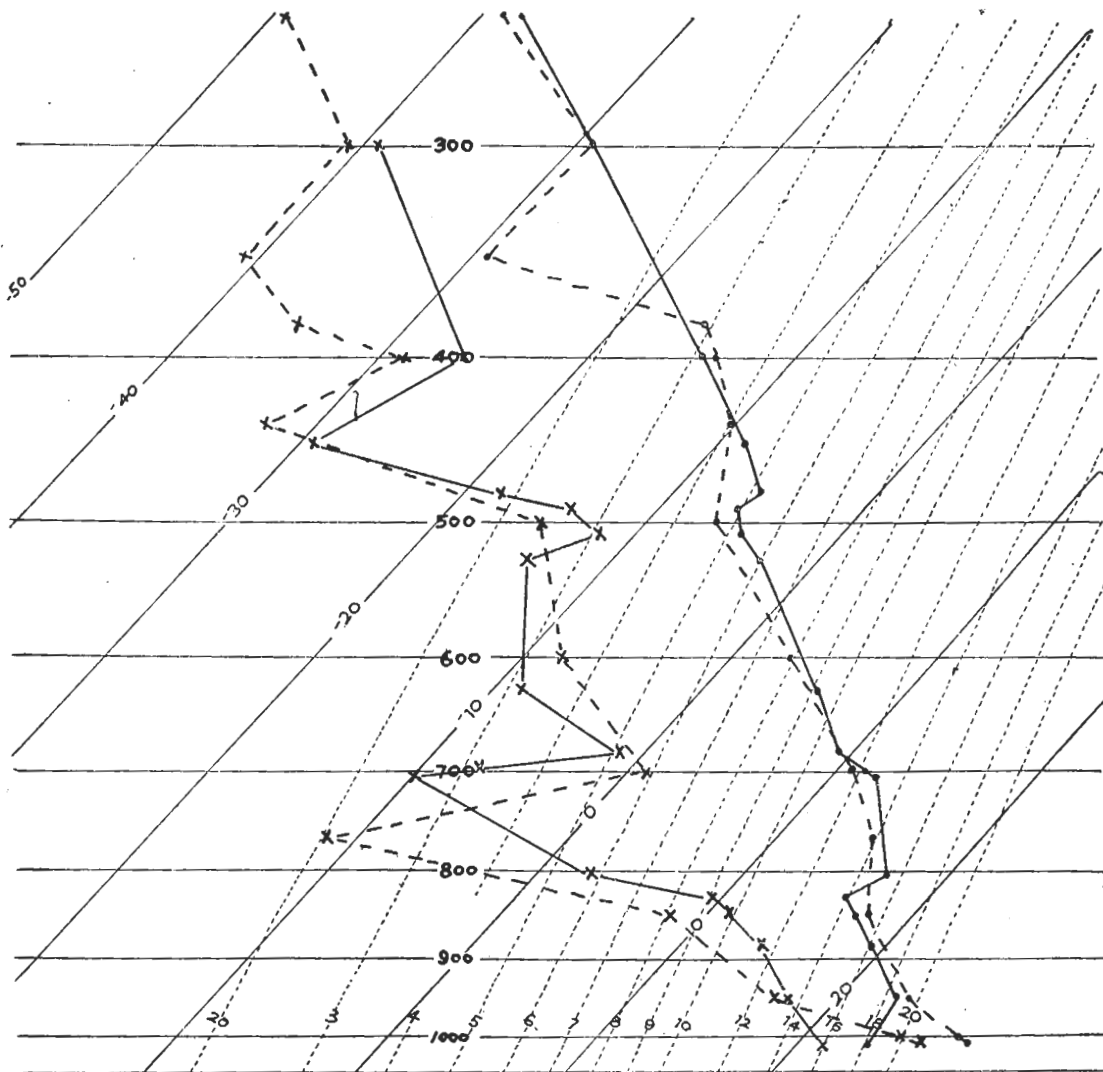
0000Z 及 0600Z 斜溫圖 (Skew T, Log P Diagram)



附圖七c 東港62年4月26日

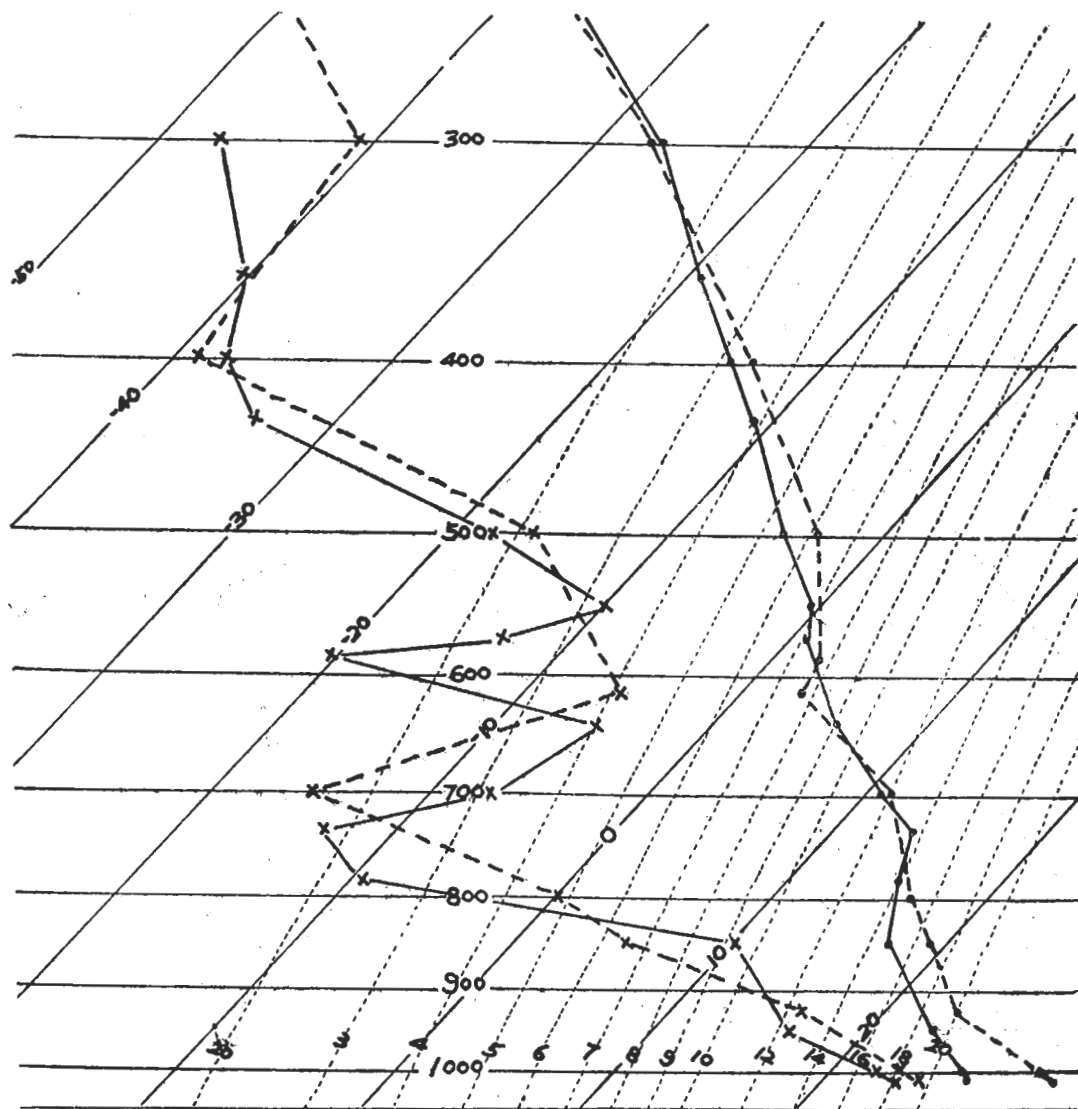
Fig. 7c. Tung-Kong April 26, 1973

0000Z 及 0600Z圖斜溫 (Skew T, Log P Diagram)



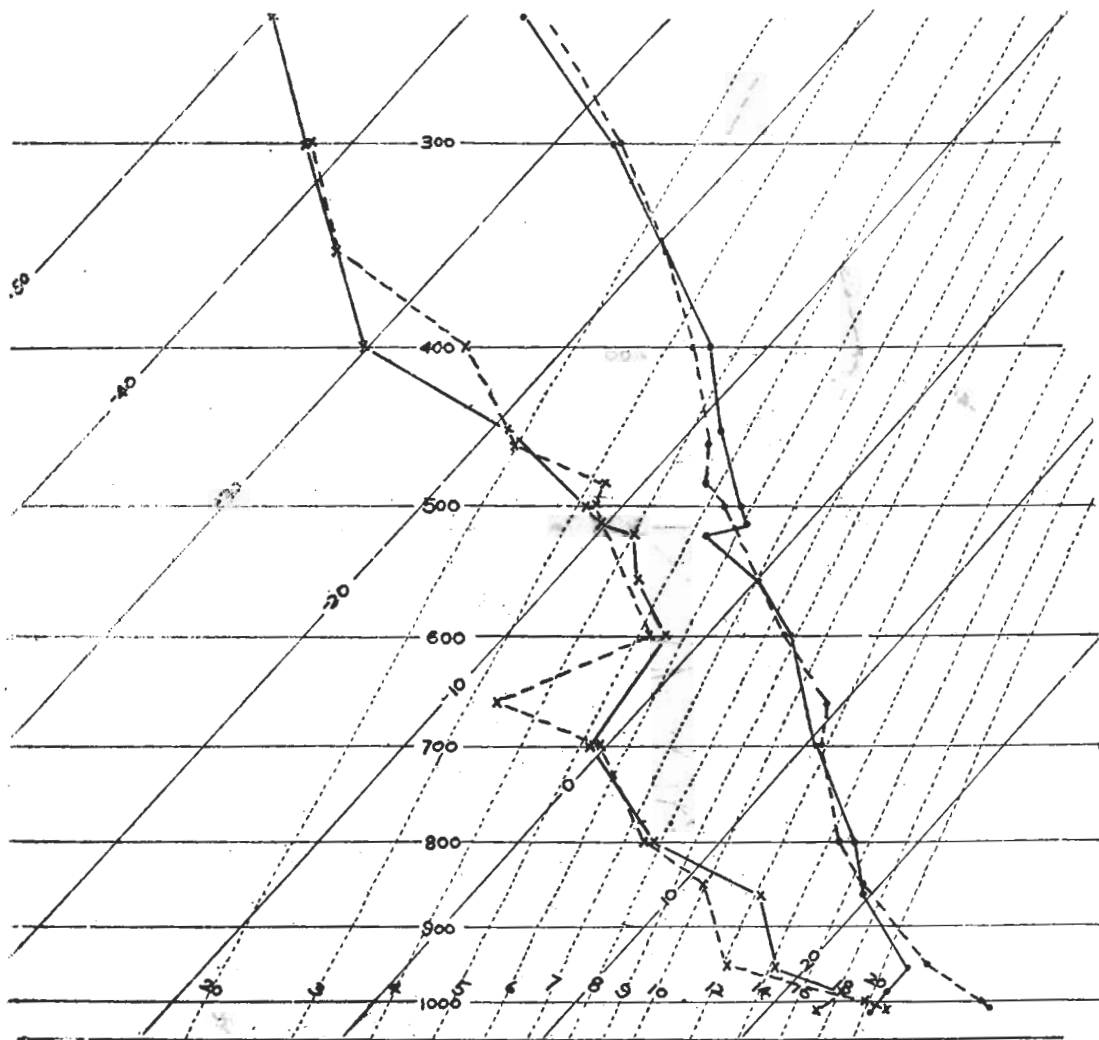
附圖七d 東港62年5月4日  
Fig. 7d. Tung-Kong April 4, 1973

0000Z 及 0600Z 溫斜圖 (Skew T; Log P Diagram)



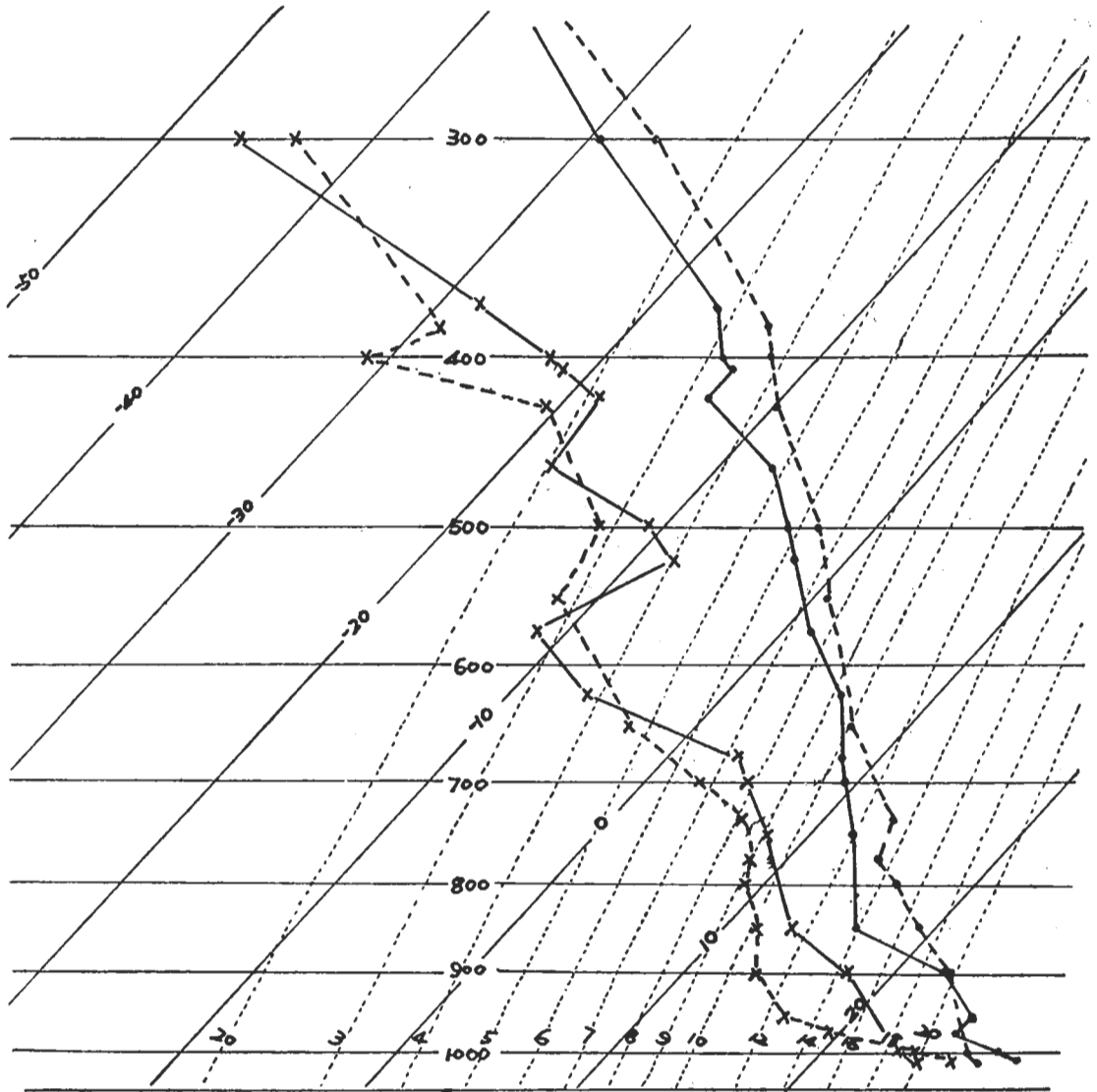
附圖七 e 東港62年5月8日  
Fig. 7e. Tung-Kong April 8, 1973

0000Z 及 0600Z斜溫圖 (Skew T, Log P Diagram)



附圖七 f 東港62年5月14日  
Fig. 7f, Tung-Kong April 14, 1973

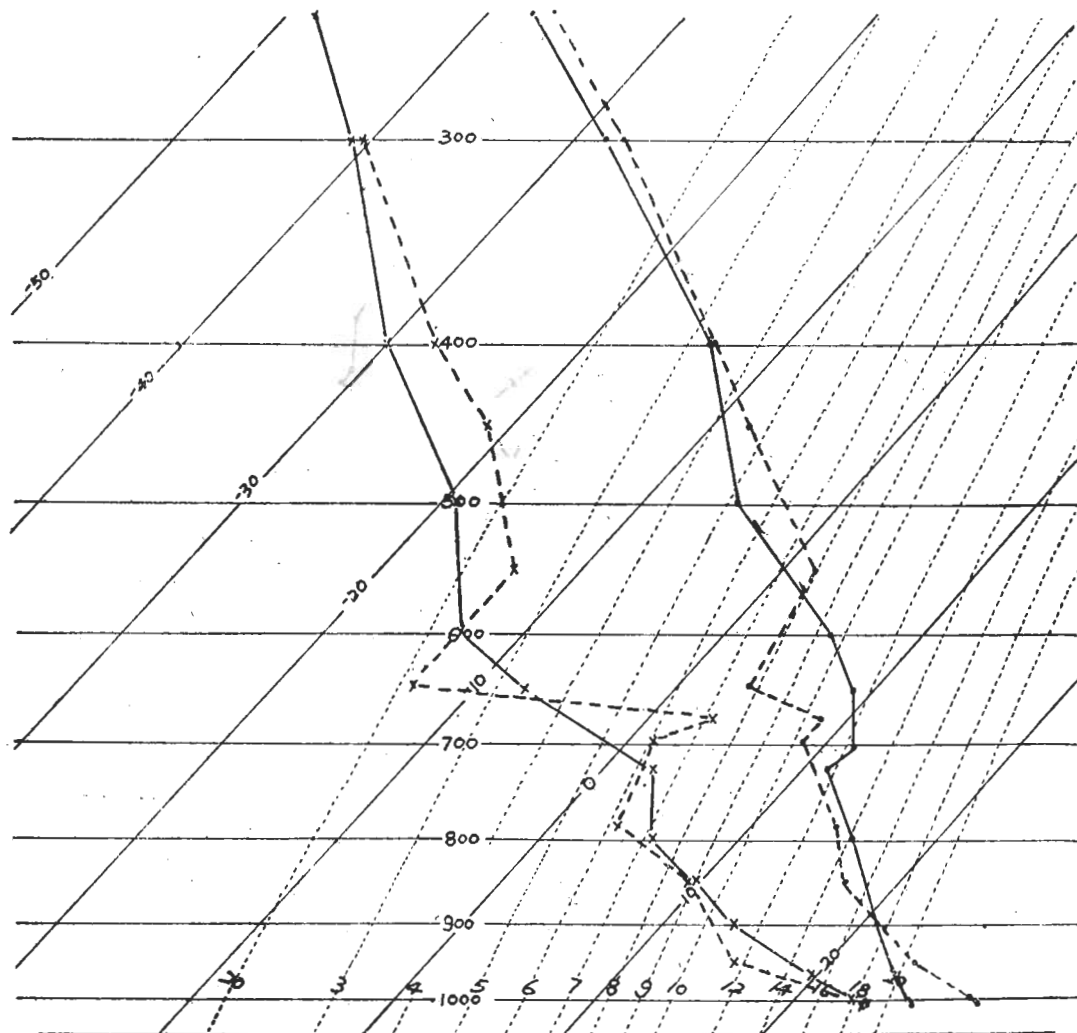
0000Z 及 0600Z斜溫圖 (Skew T, Log P Diagram)



附圖七g 東港62年5月16日

Fig. 7g. Tung-Kong April 15, 1973

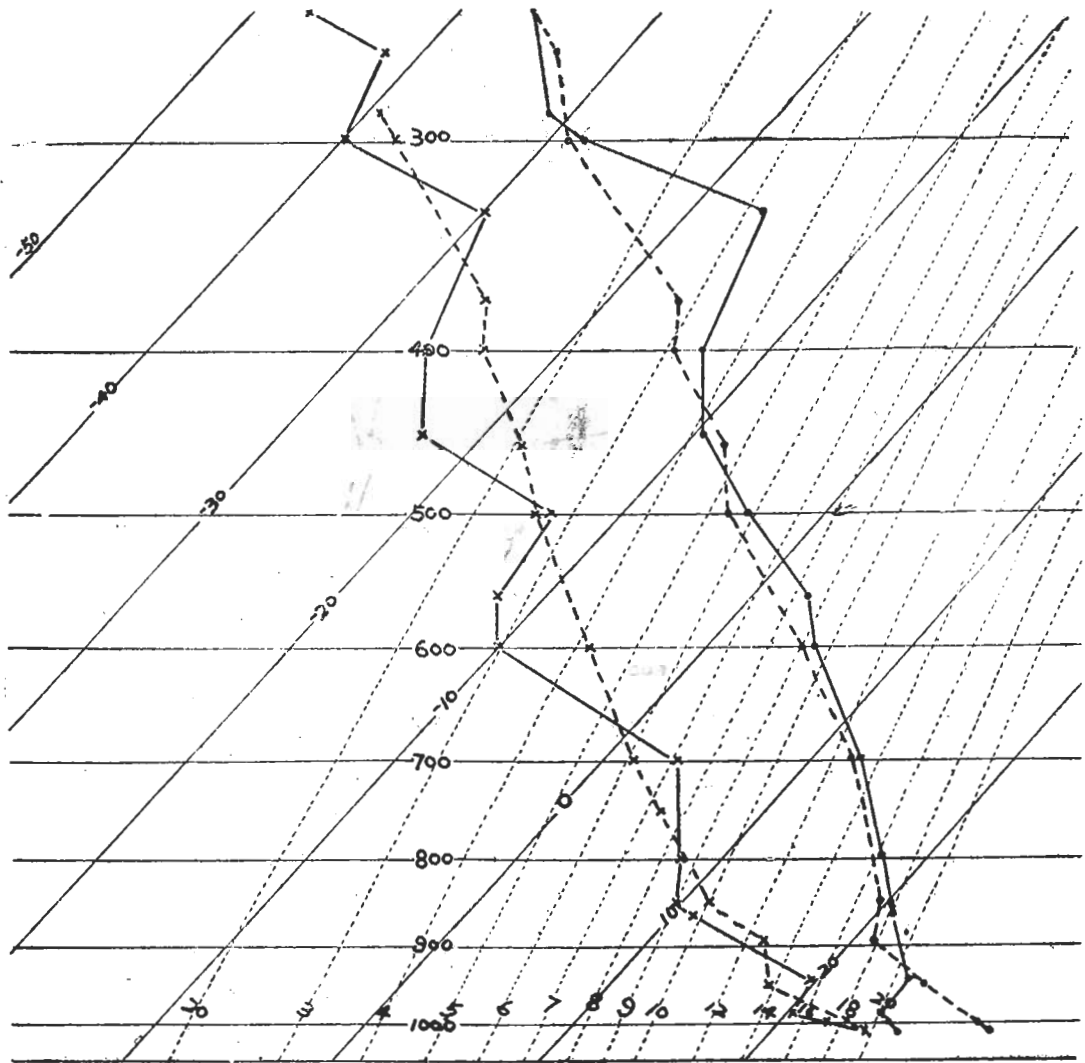
0000Z 及 0600Z 溫斜圖 (Skew T, Log P Diagram)



附圖七 h 東港62年5月22日

Fig. 7h. Tung-Kong April 22, 1973

0000Z 及 0600Z斜溫圖 (Skew T, Log P Diagram)

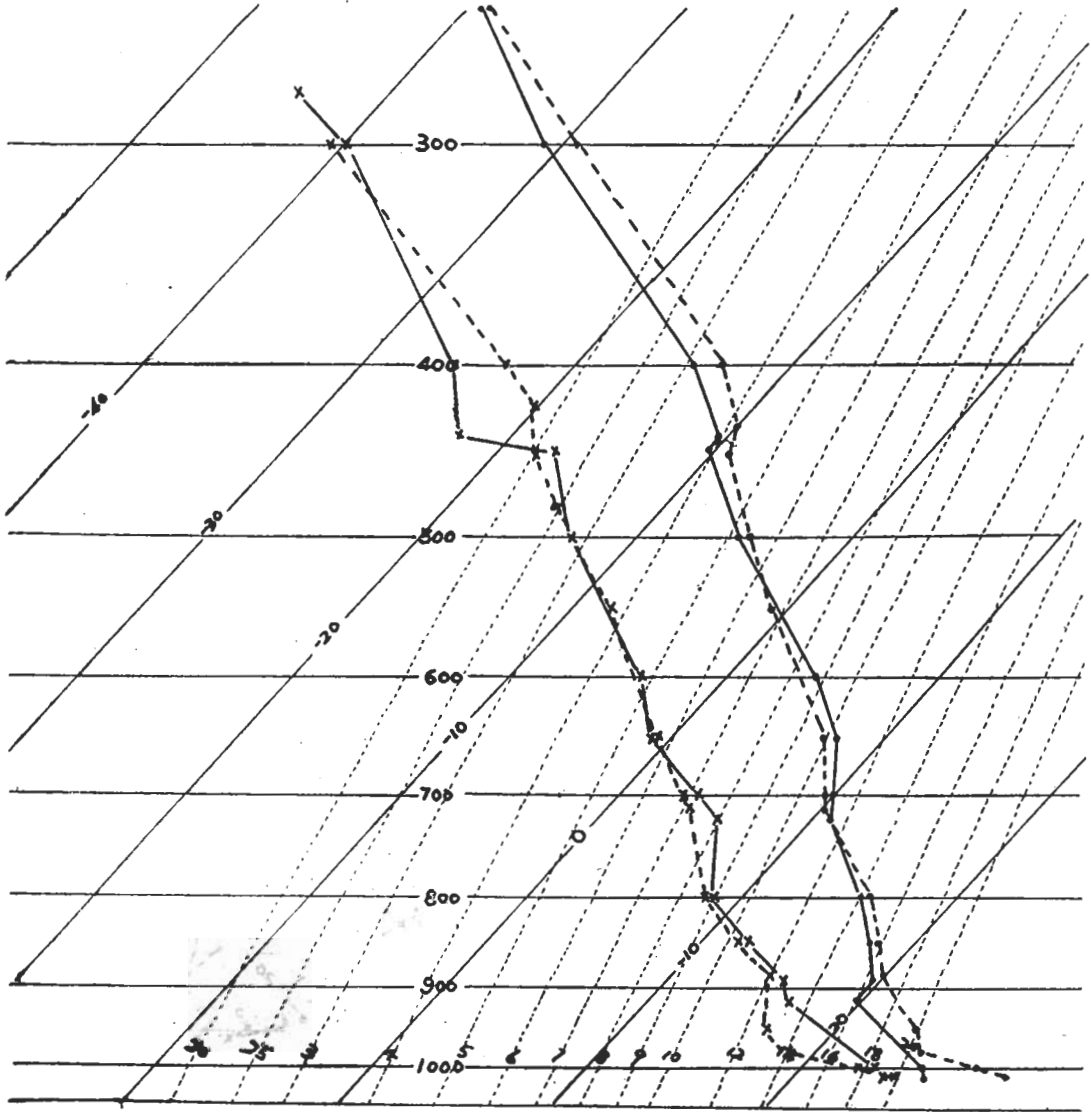




附圖七 i 東港62年5月25日

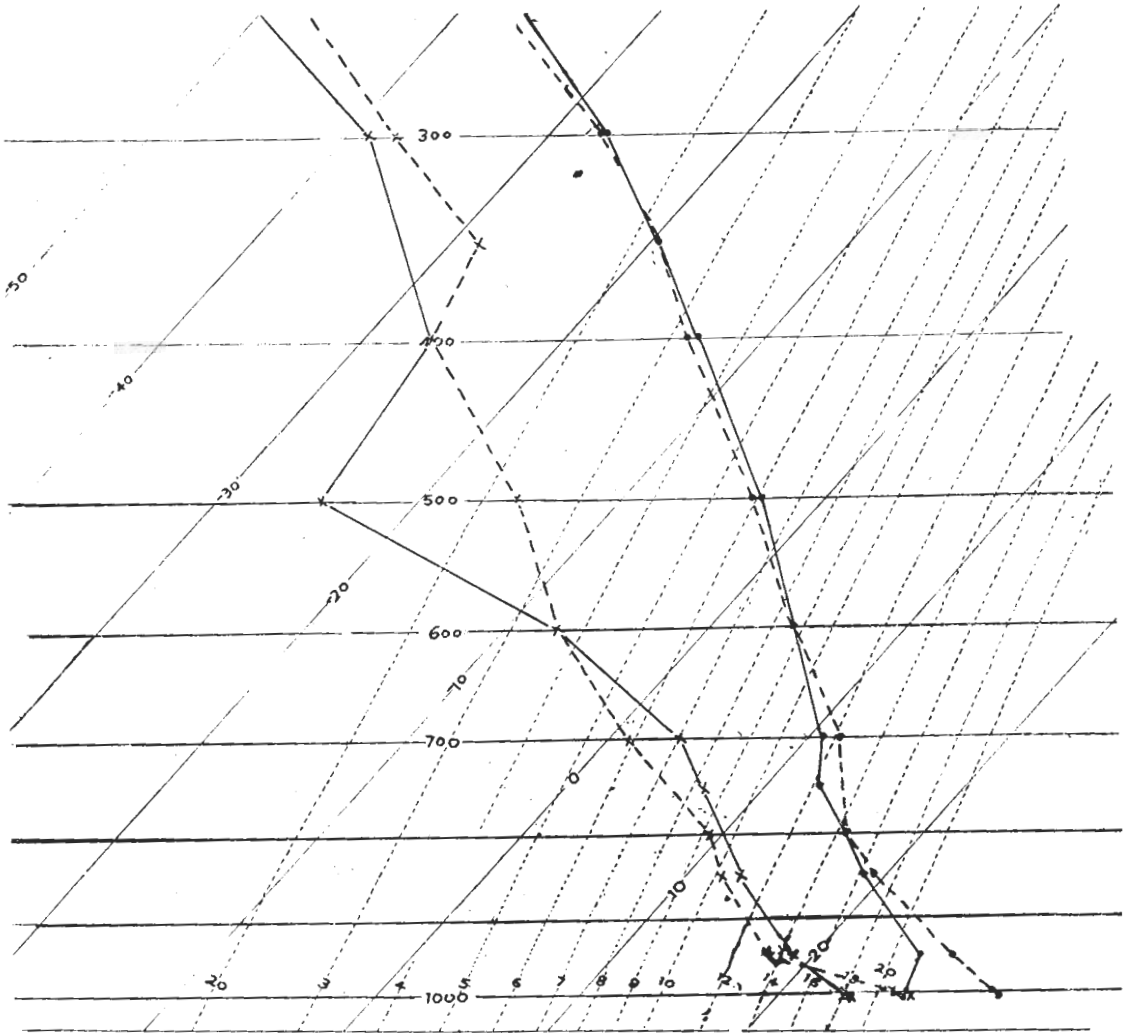
Fig. 7i. Tung-Kong April 25, 1973

0000Z 及 0600Z 斜溫圖 (Skew T, Log P Diagram)



附圖七 j 東港62年5月28日  
Fig. 7j Tung-Kong April 28, 1973

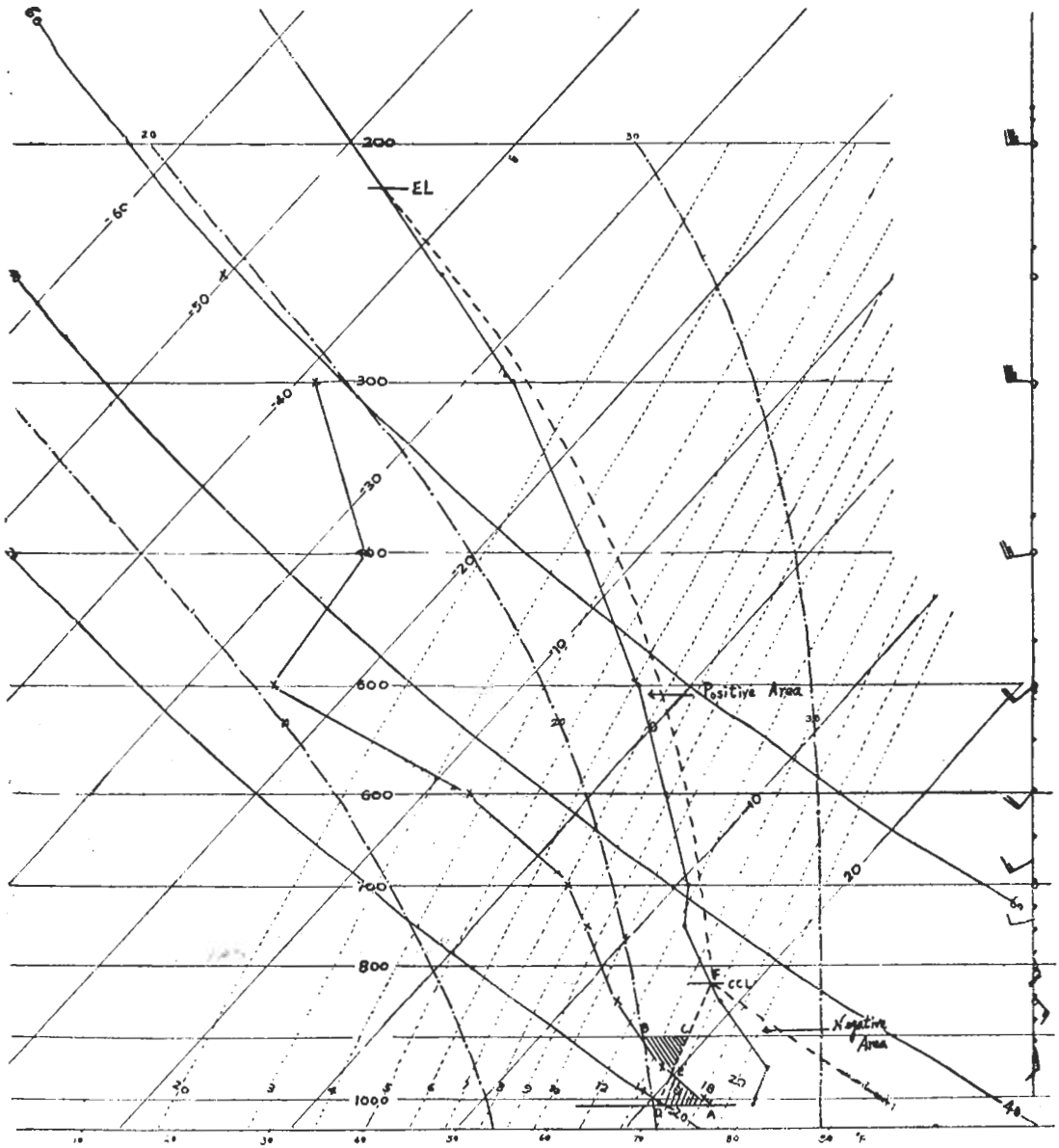
0000Z 及 0600Z 斜溫圖 (Skew T, Log P Diagram)



附圖八 東港62年5月29日

Fig. 8. Tung-Kong April 29, 1973

0000Z 斜溫圖 (Skew T, Log P Diagram)



5月25日(圖七i)早、午下層均似有雲,空氣甚潮濕,且曲線頗接近。

5月29日(圖七j)早、午地面附近均有雲,午後空氣較午前上層變濕,一般而論,曲線相差不大。

由無線電探空資料,分別與前節人造衛星圖片相對證,可知二者結果,大致吻合。另探空之結冰高度自15,700呎至17,800呎,雷達顯示各雲頂均在該高度以上。

根據附圖七,求取其對流凝結高度(CCL)。方法為自地面與900mb間求取一點E如附圖八,使經

附表六 目標區選定十天內探空曲線之上正負區比較

Table 6. Positive and Negative Energy Areas from Soundings in The 10 days Selected.

月	日	區分 (2)	對流凝結 高度 (mb)	平衡面 高度 (mb)	正負區面積 cm <sup>2</sup>		
			(CCL)	EL (mb)	CCL 以下	CCL 以上	Net
4	10	0000	890	536	- 3.6	± 0	- 3.6
		0600	900	532	± 0	+ 3.1	+ 3.1
	20	0000	803	333	- 8.7	+ 4.4	- 4.3
		0600	820	260	- 4.2	+18.1	-13.9
5	26	0000	746	205	-26.7	+34.2	+ 7.5
		0600	758	198	-16.6	+51.8	+35.2
	4	0000	728	225	-27.2	+26.8	- 0.4
		0600	792	229	-10.2	+16.3	+ 6.1
	8	0000	802	222	-12.8	+23.4	+10.6
		0600	783	345	-10.4	+ 8.8	- 1.6
	14	0000	878	190	- 2.6	+36.2	+33.6
		0600	784	512	-10.2	+ 0.8	- 9.4
	16	0000	800	286	- 8.6	+ 4.1	- 4.5
		0600	785	577	-11.2	+ 3.4	- 7.8
	22	0000	754	197	-19.6	+28.8	+ 9.2
		0600	766	202	-19.4	+34.3	+15.9
	25	0000	832	242	- 8.4	+14.2	+ 5.8
		0600	773	401	-13.8	+ 5.8	- 5.0
29	0000	825	201	- 6.8	+14.4	+ 7.6	
	0600	804	216	- 6.4	+15.2	+ 6.8	

表中 CCL 以下,均為負區,以上均為正區。至其面積,因未與 CCL 以上空氣潮濕度一併考慮,即無空氣逸入,故難與下節比較。

Joanne Simpson 曾根據在美國 Florida 雲種散播結果,以其發生顯著成效者之六次探空製成平均曲線,經轉劃入斜溫圖如附圖九,該平均曲線較目標區者氣溫低,氣溫直減率大,難作比較。但與菲律賓

過該點之飽和混合比線 與其上之露點曲線及 900mb 等壓線間所成之面積 BCE, 約略等於其下與地面間所成之面積 ADE, 然後求該飽和混合比與溫度曲線相交處F, 即視為CCL。所以選地面與900mb間之平均值以代替一般以地面露點求 CCL<sup>(5)</sup>, 乃以其可較具代表性。然後由該點F沿乾絕熱線以虛線延至地面,如在氣溫曲線右側其與地面氣壓及溫度曲線間之面積為負區。自F向上沿濕絕熱曲線延至與溫度曲線相交與 EL, 如在溫度曲線右側,面積為正區。二者所形成之,正區愈大,表示空氣愈不穩定。

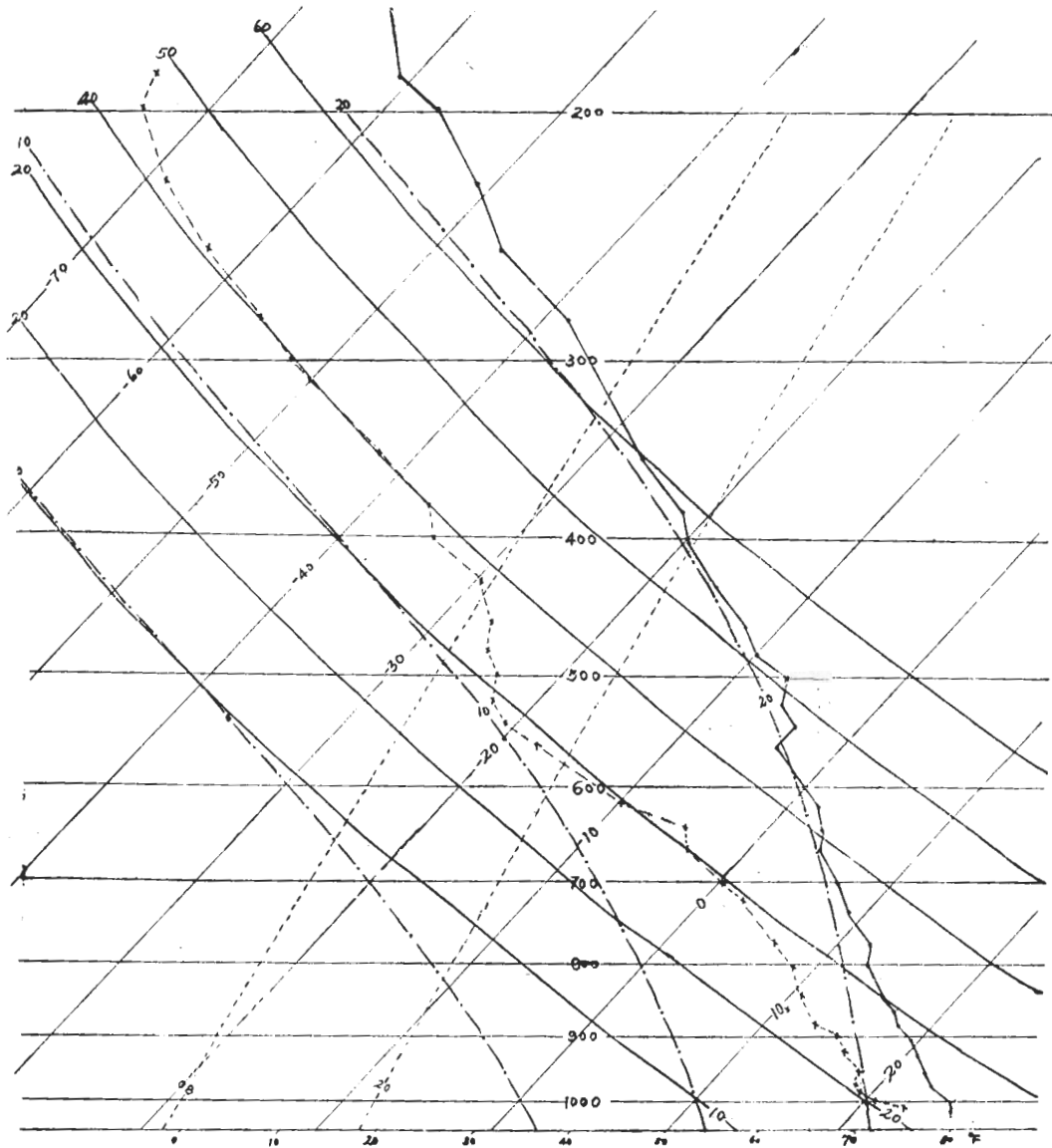
選定十天之正負區面積如附表六

克拉克基地1969年5月13日0800時曲線(如附圖十)<sup>(7)</sup>比較,選定之十天內5月8日,5月14日與5月25日之各曲線及5月22日與5月29日1400時之曲線均可與之比擬。其中5月25日者較菲律賓之紀錄尚更理想,菲律賓於該日下午完成任務22號與23號。該二次任務共發射碘化銀彈47發,據估計降雨約600,000英畝,以每英畝20美元計,共計收穫12,000,000美元,作

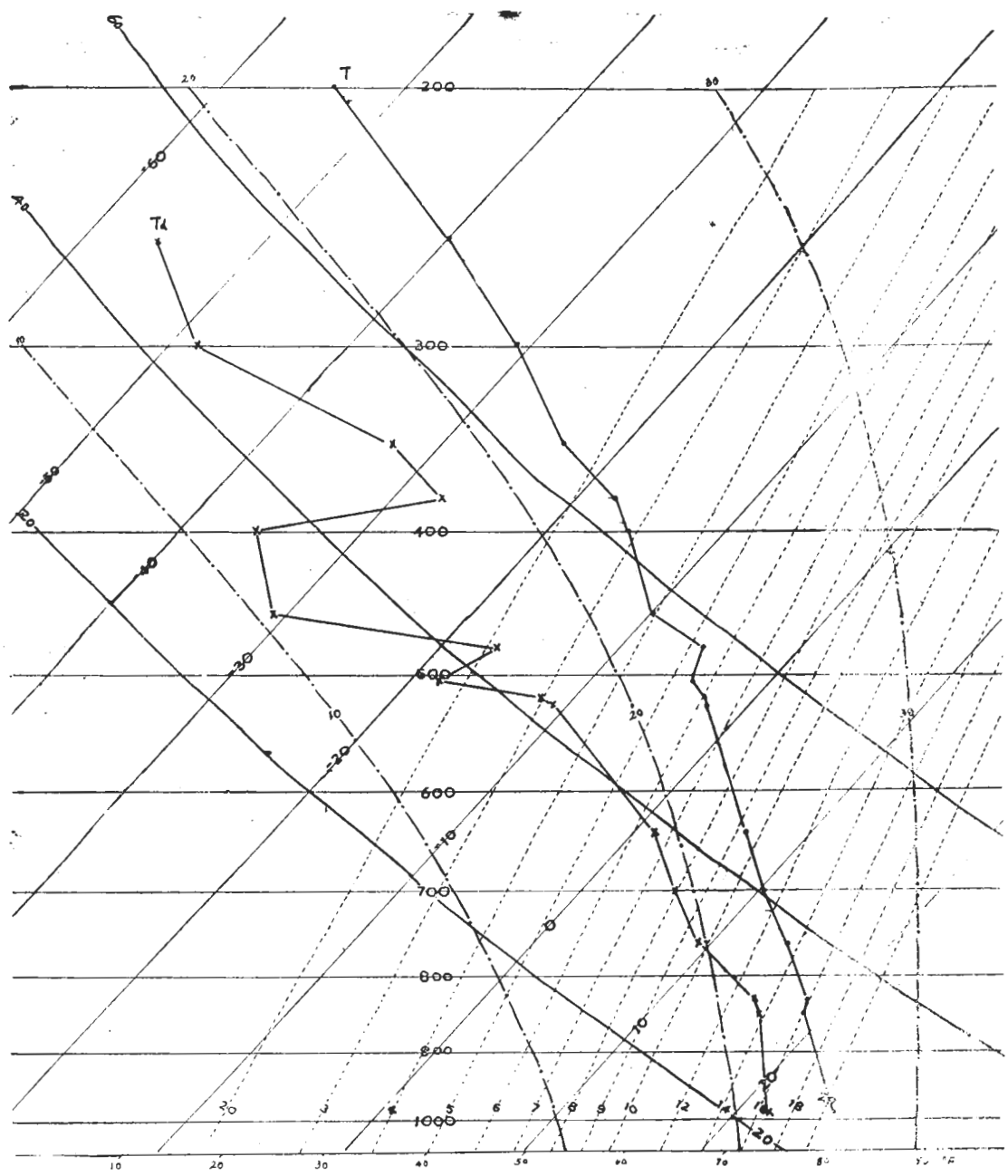
附圖九 美國 Florida 雲種散播有顯著成效之六次平均探空曲線

Fig. 9. Average Curve of six Soundings with Effective Clond Seedings in Florida, U.S.A.

(Skew T, Log P Diagram)



附圖十 菲律賓克拉克基地1969年5月13日0800LST 斜溫圖  
(Skew T, Log P Diagram, Clark Air Base, the Philippines, 0800LST May 13, 1969)



業及碘化銀彈費估計為 1,000 美金，效益成本比 (Benefit to cost ratio) 接近 10000 比 1。

經查目標區內六站 62 年 4、5 月之平均雨量，並與附表四之準平均比較如附表七。選定十天之 4、5 月

附表七 目標區 62 年 4、5 月均雨量與準平均比較

Table 7 Comparison of the monthly mean in April, and May, 1973 with their normals in the Area

雨量 mm 區分	地點					
	清泉崗	嘉義	臺南	岡山	屏東	恒春
62 年 4 月 平均	69.9	20.5	1.0	25.9	13.7	3.0
準 平 均	74.3	59.9	62.0	51.1	47.2	51.5
差	- 4.4	- 39.4	- 61.0	- 25.2	- 33.5	- 48.5
62 年 5 月 平均	42.8	5.4	3.7	0.8	14.4	0.2
準 平 均	141.6	169.2	162.7	151.8	133.1	150.4
差	- 98.8	-163.8	-159.0	-151.0	-118.7	-150.2
備 註						

份，雨量較準平均相差甚多，故可表示在此二月份，目標區確屬缺水。此外本文所用該十天之資料中，至少有五天似可實施雲種散播，且選定月份雨量低於準平均甚多，亦即非有利於獲致肯定結論之條件，尚無言過其實之處。果誠能於該時實施雲種散播，既使作最壞之打算，五次中有一二次成功，再假設其經濟效益，不能如菲律賓之鉅大，但對農工業在極端缺水之情況下，其裨益亦非小可。

5 一維穩定拉格郎奇模式計算 本文所採用者為略加修改之 Weinstein 與 Day 之模式<sup>(9)</sup>。其公式及推導，詳參考文獻<sup>(9) (10)</sup>。其主要公式為：

(1) 熱力學公式

$$\frac{dT}{dZ} = \left[ -\frac{g}{c_p} \left(1 + \frac{LQ_s}{Rt}\right) - \mu (T - T_e) - \mu \frac{L}{c_p} (q_s - q_0) + \frac{L_s Q_s}{c_p dZ} \right] / \left(1 + \frac{\epsilon q_s L^2}{C_p R T}\right) \quad (1)$$

式中  $g$ 、 $c_p$ 、 $R$ 、 $Z$  為通用符號。 $q_s$  為空氣飽和混合比， $L$  為凝結或昇華潛熱，視實際情形而定， $T$  為雲內溫度， $T_e$ 、 $q_0$  分別為雲外氣溫與混合比， $(\Delta q)_w$  為在同溫下水面與冰面混合比差， $L_s$  為昇華潛熱， $Q_s$  為每單位質量空氣中凍結之過冷水含量， $\epsilon$  為常數， $\mu$  為逸入率 (Entrainment Rate)，由下式決定。

$$\mu = (1/M) dM/dZ = 0.2/Rc \quad [m^{-1}] \quad (2)$$

$M$  為氣塊空氣質量， $Rc$  為雲半徑。

(2) 微物理公式

$$\frac{dQ_c}{dZ} = -\frac{dq_s}{dZ} - \mu (q_s - q_0 + Q_c) \quad (3)$$

- Conversion-collection

上式係根據 Kessler 將雲中每單位質量空氣中液態水含量  $Q$  分為雲水  $Q_c$  與雨水  $Q_h$ ，即

$$Q = Q_c + Q_h \quad (4)$$

Collection 指雨滴併集雲滴使雨滴加大，Conversion 指雲滴自行變為雨滴，其關係式為：

$$\text{Conversion} = \begin{cases} K_1(Q_c - a)/w & Q_c \geq a \\ 0 & Q_c < a \end{cases} \quad (5)$$

$K_1$  為常數， $a$  為限值，當  $Q_c$  小於該值時，無 Conversion。雲中雨滴大小照 Marshall-Palwer 分配，即  $N = N_0 \exp(-\lambda D)$ ，當雨滴半徑介於  $D$  與  $D + \delta D$  範圍時，單位體積內之雨滴數目為  $N \delta D$ 。若  $N_0$  為當  $D=0$  時  $N$  之值，約為  $N_0 = 10^7 m^{-4}$ 。若  $\lambda = 3.67/D_0$ ， $D_0$  為雨滴大小適為中位數時之半徑，所用單位為克、公尺、秒制。假設所有雨滴均照此雨滴大小之終落速  $V_t$  降落。

$$V_t = K_3 Q_h^{0.125} \quad (6)$$

降水為液態時  $K_3 = 15.39$ ，為固態時  $K_3 = 11.53$

$$\text{Collection} = K_2 Q_c Q_h^{0.875} / (W - V_t) \quad (7)$$

$W$  為雲中氣流上升速度， $K_2$  為常數。惟當  $V_t$  之值近於  $W$  時，該式不再適用，當  $V_t$  值大於  $W$  時，雲水與雨水 Collection 總和為零之關係亦不再存在，雲水之 Collection 為零<sup>(11)</sup>。 $Q_h$  之連續公式

$$\frac{dQ_h}{dZ} = \text{conversion} + \text{collection} \quad (8)$$



另飽和混合比  $q_s = \frac{\epsilon e_s}{p - e_s}$  (9)

飽和水汽壓  $e_s$  由 Magnus 公式求取

$\log e_s = -\frac{A'}{T} - B' \log T + C'$  (10)

式中  $A'$ 、 $B'$ 、 $C'$  均為常數，冰、水有別。

全部液態或固態水含量

$Q = Q_c + Q_a$  (11)

(3) 動力公式

$\frac{1}{2} \frac{dw^2}{dz} = g \left[ \frac{T_v - T_{ve}}{T_{ve}} - Q \right] - \mu w^2$  (12)

$T_v$ 、 $T_{ve}$  分別為雲內外之空氣虛溫。當  $w < 0$  時之高度即假設為雲頂高度。

(4) 上升氣流半徑公式

$R_2 = R_1 \left[ \frac{w_1}{w_2} \frac{\rho_1}{\rho_2} (1 + \mu dz) \right]^{0.5}$  (13)

$\rho$  為空氣密度，1 指下層，2 指上層。

(5) 雨量公式

總雨量  $R_o = \sum_{i=1}^N Q_{i1} \left[ \frac{\rho}{\rho_w} \right]_j dz$  (14)

$\rho$  與  $\rho_w$  分別為空氣與水密度。

計算數值模式時，使用無線電探空資料，由之可求取每隔定差 200 公尺之氣壓  $p$  及該高度之氣溫  $T$  與露點  $T_d$ ，且可換算其混合比  $q$  及虛溫  $T_v$ ，以上各值即為雲外之數值。雲底高度  $Z_c$  由地面氣溫減地面露點之差乘以 125 得之，單位為公尺<sup>(12)</sup>。假定雲底在該處飽和，且以後均保持飽和，並假定雲底氣流上升速度為 2 公尺/秒，則由以上公式，可逐步求出不同雲底半徑之雲中次一定差高度之  $T_{i+1}$ 、 $R_{i+1}$ 、 $W_{i+1}$ 、 $Q_{i+1}$ 、 $q_{s+i}$  各值，以及總雨量  $R_o$ 。且假定天然之凝結溫度為  $-25^\circ C$ ，雲種散播後之凝結

附表八 目標地區六十年選定十天 SSL 模式計算結果

Table 8. SSL-Model Calculation Results of the Ten Days selected in the T Region, 1971

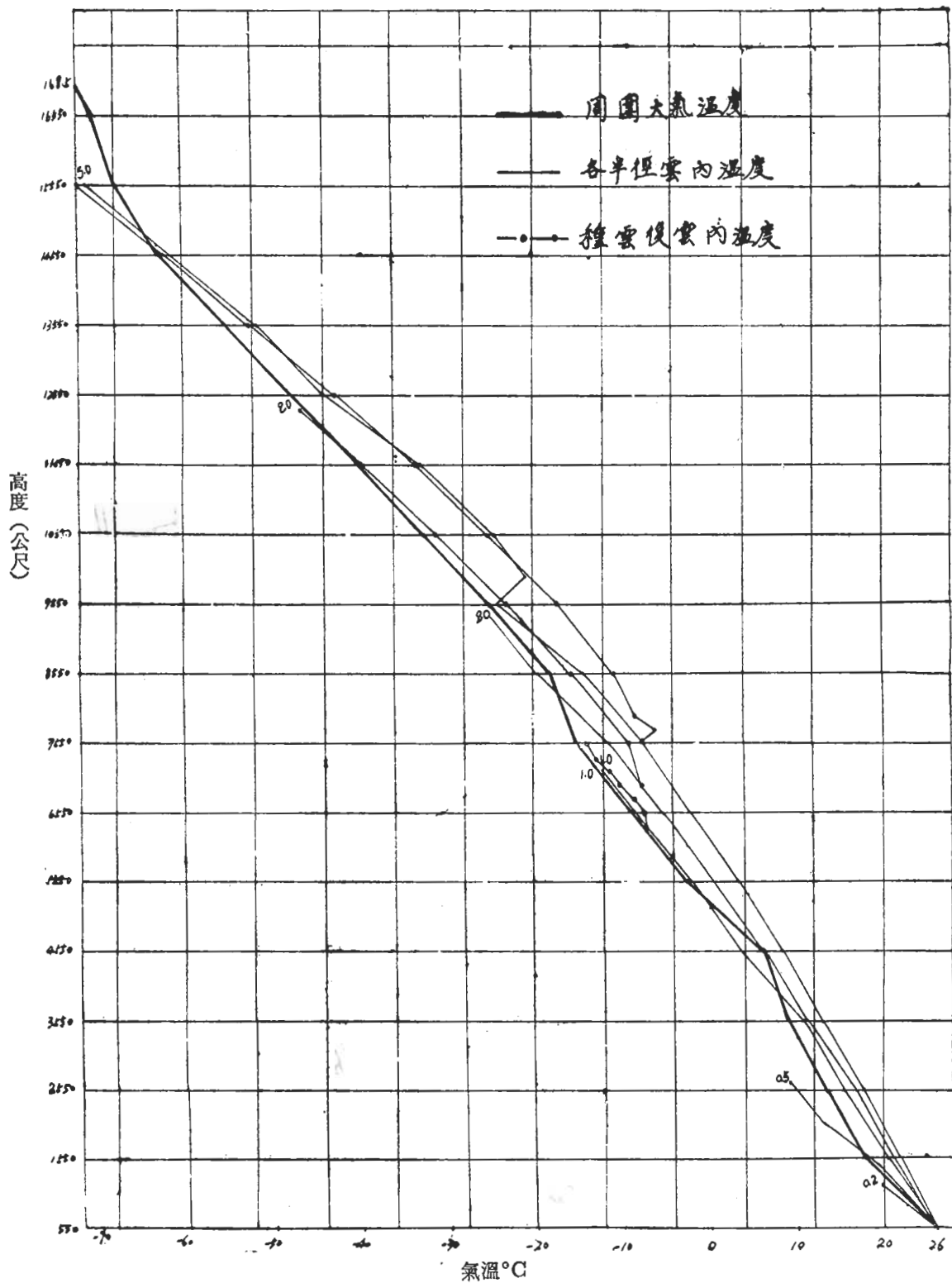
Date	Standard Time (Local Time)	Radius of cloud base (Km)	Seeding	Precipitation (in)		Cloud Top Height (m)	Seeding effect	備註
日期	標準時 (地方時)	雲底半徑 (Km)	雲種散播	Amount	Preseeding-Postseeding 散播前後差	雲頂高	散播效果	
四月十日	0000 (0800)	1.00	否	0.046	0	3320	0	
			是	0.046		3320		
		2.00	否	12.370	0	5920	0	
			是	12.370		5920		
	0600 (1400)	1.00	否	0.049	0	3700	0	
			是	0.049		3700		
		2.00	否	0.240	0	5900	0	
			是	0.240		5900		
四月廿日	0000 (0800)	1.00	否	0.076	0	4200	0	
			是	0.076		4200		
		2.00	否	0.465	0	5800	0	
			是	0.465		5800		
	0600 (1400)	1.00	否	0.497	0	6100	0	
			是	0.497		6100		
		2.00	否	1.940	- 0.216	12500	-1200	
			是	1.724		11300		
四月廿六日	0000 (0800)	1.00	否	0.008	0	2200	0	
			是	0.008		2200		
		2.00	否	0.013	0	3200	0	
			是	0.013		3200		
	0600 (1400)	1.00	否	0.126	0	5400	0	
			是	0.126		5400		
		2.00	否	0.768	0.207	7600	3200	
			是	0.975		10800		
五月四日	0000 (0800)	1.00	否	0.078	0	3200	0	
			是	0.078		3200		
		2.00	否	0.584	0.08	7400	800	
			是	0.664		8200		
	0600 (1400)	1.00	否	0.144	0	5425	0	
			是	0.144		5425		
		2.00	否	0.699	0.068	8225	1200	
			是	0.767		9425		

附表八 目標地區選定十天 SSL 模型計算結果

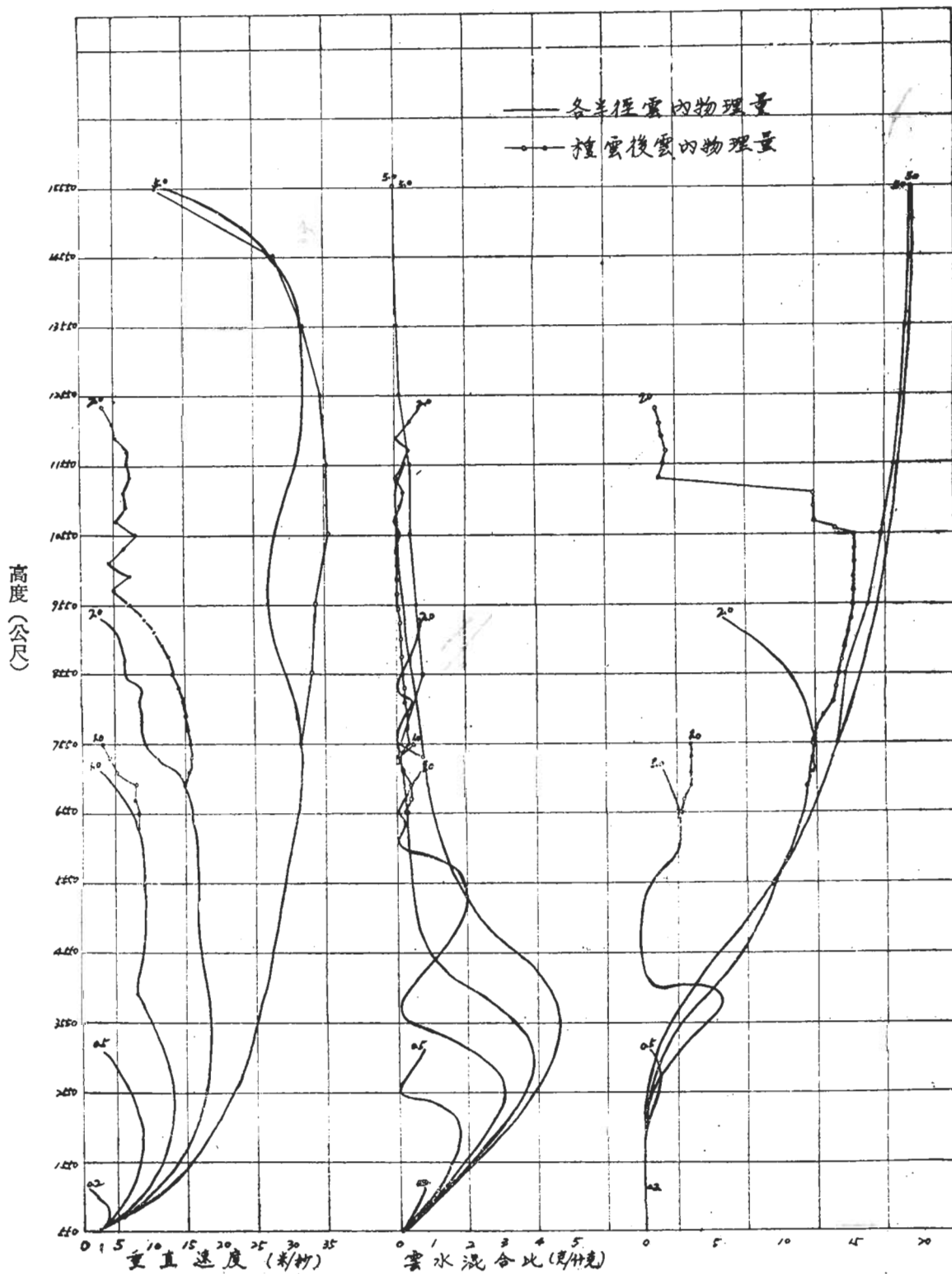
Table 8 Results of Calculation by Using SSL Model for the ten days selected in the Target area.

Date	Standard Time (Local Time)	Radius of cloud base (Km)	Seeding	(Precipitation in.) 陣 水 量		Cloud Top Height(m)	Seeding effect(m)	備 註	
日 期	標 準 時 (地 方 時)	雲 底 半 徑 (Km)	雲種散播	Amount 量	Preseeding- Postseeding 散播前後差	雲 頂 高	散播效果	註	
五月八日	0000 (0800)	1.00	否	0.388	0.016	6930	400		
			是	0.404		7330			
		2.00	否	1.128	0.371	9330	3800		
			是	1.499		13130			
		0600 (1400)	1.00	否	0.262	0.047	7350		400
				是	0.309		7750		
		2.00	否	1.370	0.547	9550	3000		
			是	1.917		12550			
五月十四日	0000 (0800)	1.00	否	0.106	0	4760	0		
			是	0.106		4760			
		2.00	否	0.682	0.176	7960	2600		
			是	0.858		10560			
		0600 (1400)	1.00	否	0.324	0	5540	0	
				是	0.324		5540		
		2.00	否	0.841	0.123	8140	3400		
			是	0.964		11540			
五月十六日	0000 (0800)	1.00	否	0.129	0	3500	0		
			是	0.129		3500			
		2.00	否	0.524	0.086	7700	1800		
			是	0.610		9500			
		0600 (1400)	1.00	否	0.151	0	4940	0	
				是	0.151		4940		
		2.00	否	0.561	0.126	8340	1600		
			是	0.687		9940			
五月廿二日	0000 (0800)	1.00	否	0.001	0	2000	0		
			是	0.001		2000			
		2.00	否	0.514	0.247	8400	2200		
			是	0.761		10600			
		0600 (1400)	1.00	否	0.201	0.025	1160	1000	
				是	0.226		8160		
		2.00	否	1.258	0.900	11560	600		
			是	2.158		12160			
五月廿五日	0000 (0800)	1.00	否	0.121	0	4700	0		
			是	0.121		4700			
		2.00	否	0.838	0.578	10900	800		
			是	1.416		11700			
		0600 (1400)	1.00	否	2.73	0	6150	0	
				是	2.73		6150		
		2.00	否	0.876	0.434	8150	3600		
			是	1.310		11750			
五月廿九日	0000 (0800)	1.00	否	0.334	0	6140	0		
			是	0.334		6140			
		2.00	否	1.078	0.466	10140	3800		
			是	1.544		13940			
		0600 (1400)	1.00	否	0.304	0	6130	0	
				是	0.304		6130		
		2.00	否	1.308	0.885	11530	2000		
			是	2.193		13530			

圖十a 東港 1973年5月8日 0600Z  
Fig. 10a. Tung-Kong, 0600Z, May 8, 1973



圖十一b 東港1975年5月8日 0600 Z  
Table 11b. Tung-Kong 0600Z May, 8, 1976



溫度為  $-8^{\circ}\text{C}$ ，而計算不同雲底半徑時之降水量、雲頂高及散播效果。雲底半徑原採用 0.2、0.5、1.0、2.0 及 5.0 公里等數種，惟半徑為 0.5 公里或以下之雲，發展高度不足，5.0 公里之雲殊不多見。故僅選半徑為 1.0 及 2.0 公里之計算結果，列入附表八。表中 4 月份三天與 5 月 4 日及 16 日之結果均不甚理想，與附圖七 a.b.c.d.g. 核對，該五天均有明顯之沉降逆溫。自然雲與散播雲，均無法發展。其餘 5 月份之五天半徑 1.0 公里之雲，無論以自然及人工方法，均難使其充分發展，產生降水。半徑為 2.0 公里者，情況顯有不同。雲種散播後降水量均有增加，其降水量增加 0.4 吋 (10.2 公厘) 以上，散播效果達 2 公里以上者為 5 月 8 日 1400 時，5 月 25 日 1400 時，及 5 月 29 日 0800 時及 1400 時。僅就增加降水而言，以 5 月 22 日及 29 日 1400 時為多，約達 0.9 吋 (22.9 公厘)。散播效果，以 5 月 8 日及 29 日 0800 時為高，均為 3.8 公里。5 月 14 日之早，午散播效果分別高達 2.6 及 3.4 公里，但降水增加不多，僅在 0.15 吋 (3.8 公厘) 上下。此五天之探空資料 (圖七 f、h、i、j、k) 均較理想，前於討論探空資料時，已加分析，由二者之結果比較，可見利用探空資料，已可大致獲知模式計算結果，在計算機無法及時使用，可逕由探空資料，估計是否應作雲種散播。

為明白顯示模式計算結果，以 5 月 8 日 0600 Z (1400 時) 為例，繪製雲外週圍大氣溫度與自然發展及雲種散播後雲內溫度之比較如附圖十一 a。雲底半徑達 1.0 公里後，雲種散播，始能使雲中溫度增高，發生動力作用。另在各種情況下，其雲垂直升速，雲水及雨水混合比隨高度變化之情況如附圖十一 b。由圖中亦可看出雲底半徑為 2.0 公里時，雲種散播，效果最著。

計算模式假定頗多，只能由之窺知降水趨勢，而難完全依靠其所計算之數值，例如十天內計算結果，未散播雲多有降水，但實際規測，甚少有降水紀錄。其中雲半徑與雲底高度及雲底上升氣流速度，均為須實際觀測之因素。目標區之雲底高度，由地面觀測知約介乎 2000 至 3000 呎之間，模式算出之雲底高度約自 1000 呎至 2000 呎，似嫌偏低，雲半徑與雲底上升氣流必須依據日後實測數字，計算結果，始能更為可靠。

綜合以上各項資料，可知目標區在乾季尤其雨季開始前有可供散播之積狀雲，其高度亦合理想，惟次數非多，但於乾旱而極端需水時，把握一、二或數次機會，使甘霖普降，其裨益於國計民生，當非淺顯。

就經濟效益而言，亦可謂一本萬利也。

以上僅討論孤立雲塊個別散播之結果，實則由目前散播技術，已知使鄰近之孤立雲於散播後合併發展，成功機會更大，故如目標區雲之分佈接近理想，前述成功估計當可加高。

#### 肆 雲種散播應採用之方法

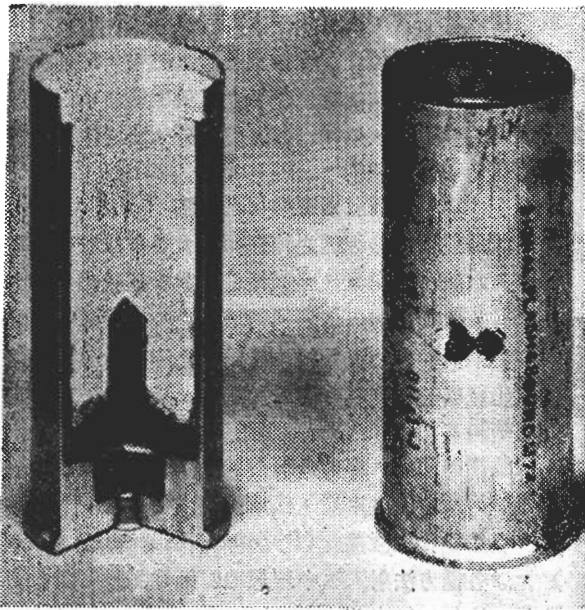
雲種散播方法視雲之特性而定，通常採取，撒塩，噴入水滴，施用電效，撒播乾水與撒播碘化銀等方法<sup>(13)</sup>。本文所討論者為熱帶積雲之動力散播，目的在使雲中於較自然雲凝結溫度為高之溫度核化，以促使雲能發展至更高高度而增加降水，故應以使用碘化銀散播為宜。

散播碘化銀，亦有各種方法，如在地面燃燒浸以碘化銀丙酮溶液之木炭，汽球攜帶碘化銀在空中爆炸，或利用碘化銀散播彈 (Pyrotechnic seeding agent)，以各種方法射入雲中理想地區爆炸。後者因有的放矢，故其效果卓著，本目標區雲種散播，似以採用此方法為理想。

散播面積遼闊時，如改變颶風之雲種散播，通常係以附着於飛機翼下之特定施放架，一次發射多粒散播彈<sup>(14)</sup>。本文研究者為小面積積狀雲之散播，以使用如圖十二 a。手槍 (稱為 Very Pistol) 較為經濟



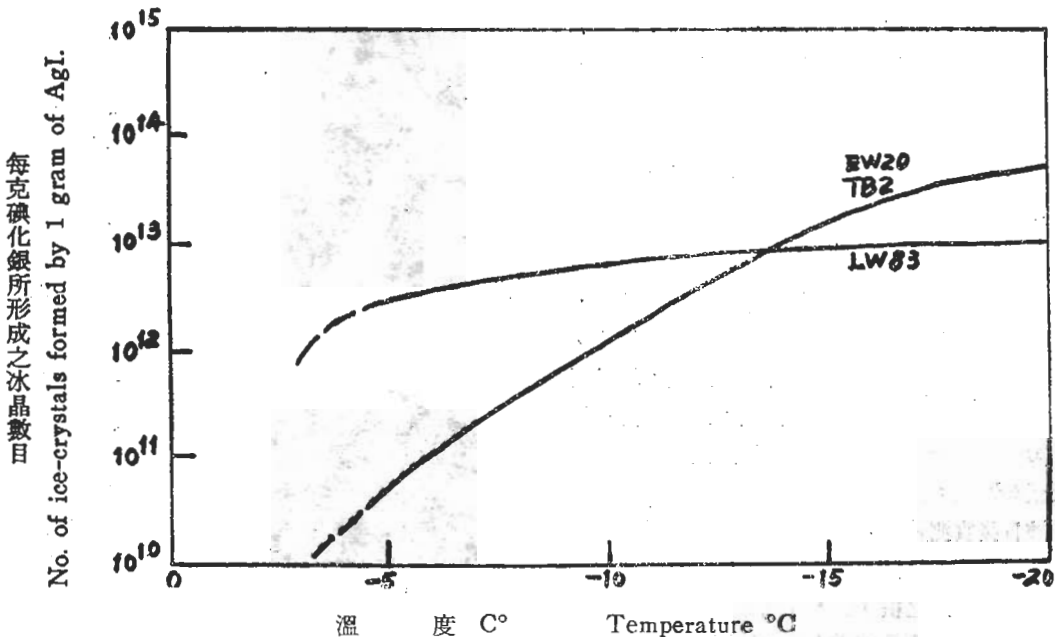
附圖十二 a 雲種散播人員在飛機上以手槍發射散播彈，箭頭指示手槍  
Table 12a. Seeding with Very Pistol in Airplane.



附圖十二b 手槍用碘化銀散播彈  
Pyrotechnic Agent of silver Iodite.

。其所用之散播彈如附圖十二 b。散播彈最常用者分爲三種成份即 LW83、EW20 及 TB2 型。各型散播彈中，1 克碘化銀，在不同溫度下可產生之冰晶粒數如附圖十三。

附圖 十 三



2. 4 月間選定之三天，似不宜雲種散播，5 月間選定之七天，有五天頗宜雲種散播。

爲求經濟有效，以飛機散播爲最佳Dr.PierseSt-Amond 意見（見附錄）認爲單引擎渦輪增壓型飛機即敷應用。散播彈以向廠商訂購較爲省事。飛機上應視其載重量依優先順序加裝：發射手槍，雨滴收集器，含水量測定表，照相裝置，5cm 雷達。

任務指揮中心應設於臺北或清泉崗，如在臺北可利用空軍氣象中心之氣象資料與通信設備，飛機以在清泉崗起飛爲宜，一則該地接近目標區，再則該地有波長 5cm 雷達可供隨時瞭解雲情之用。如任務管制中心設於清泉崗，有劃一指揮，靈活運用之效，但氣象資料，尤其人造衛星圖及東港無線電探空，必須能適時供應。

### 伍 結 論

由59年10月至60年5月地面觀測資料顯示在此一較準平均雨量爲低之乾季，臺灣中南部地區仍出現不少次積狀雲，且雲量足夠雲種散播。

利用地面觀測，雷達觀測，人造衛星雲圖照片，東港之無線電探空資料，以及數值模式計算，研究62年雨季前較正常情況乾旱之 4、5 月中十個選定日之情形，獲知該十天中：

1. 目標區有積雲出現，其雲底高度多在2000至3,000呎間，雲頂高度多在 20,000 呎以上，情況尚利雲種散播。

Table. 13

3. 由探空紀錄與模式計算結果比較研究，二者在趨勢上大致符合。故如實施雲種散播時，無充分電

子計算機便利，可由探空資料研判。且以上午0800時之探空資料，亦可大致估計下午是否宜於散播雲種，解除不少實際作業困難。

4. 雲種散播以半徑為2公里之雲，最易發展，增加降水之可能最大。

由前述結果，如日標區在雨季前需水殷切時期，雲種散播頗有成功機會，如能一如預期，其經濟效益甚高。

雲種散播以使用飛機在選定雲中理想地點射入碘化銀散播彈為最適當。作業指揮中心可在臺北或清泉崗，飛機則以由清泉崗為基地較佳。

#### 陸 附 言

本文之完成，受惠於國家科學委員會之支助及空軍氣象聯隊與其所屬之氣象中心，清泉崗天氣中心，東港探空分隊合作支援。另參與工作之劉益靈、陸嗣偉、王寶貫諸先生協助良多，彭立教授及胡仲英先生提供意見，特全致謝意。

#### 參 考 文 獻

- (1) 亢玉瑾 臺灣中南部地區雲種散播之策劃及其可能性之初步研究。國家科學委員會研究彙報第七期六十二年四月
- (2) 亢玉瑾 臺灣降水特性之分析。臺大地理學系研究報告第五期民國五十七年六月  
page 42—46
- (3) 見附錄
- (4) Simpson, Joanne and Dennis, Arnett S.  
Cumulus cloud and their modification  
NQAA Technical memorandum Erl  
od—14 May, 1972 Page 83
- (5) 林則銘譯 美軍斜溫圖分析及預報之應用。  
空軍總司令部民國五十五年十月。
- (6) Simpson, Joanne, Seeding Cumulus in  
Florida New 1970 Results, Science Vol.  
172,9 April 1971 Page 121
- (7) ST.-Amand P. Reed D. W. T. L. wright  
S. D. Elliott. Gromet II Rain Fall Aug-  
mentation in The Philippine Islands,  
Naval Weapons Center, China Lake,  
California U. S. A. May, 1971
- (8) Weinstein A. I. and Day M. C. Steady-  
state Cumulus Model Research Report 1.
- (9) Weinstein A. I. and David L. G. A  
Parameterized Numerical Model of Cumu-  
lus Convection. Report No. 11 Contract

- No NSf Ga-777 Dept. of Meteorology.  
The Pennsylvania State Univ. May, 1968
- (10) Weinstein A. I. A numerical Model of  
Cumulus Dynamics and Microphysics  
Journal of the Atmospheric Sciences  
Vol, 27, Page 246—255, 1970
  - (11) 胡仲英 對流雲的一維數值模擬。國立中央  
大學碩士論文，「大氣科學」第一期。
  - (12) Saucier, Volter J. Principles of meteor-  
ological analysis. The University of  
Chicago Press, 1955, Page 80
  - (13) Fletcher, N. H. the Physics of Rainclo-  
uds. Cambridge at the University Press  
1966 Page 296—304
  - (14) St-Amand Pierre. and others. Pyrotec-  
hnic Production on Nucleants for Cloud  
Modification. The Journal of Weather  
Modification Vol.2 No.1, May, 1970,  
Page 43, 48.

#### 附 錄

Yu-Chin Kang  
Professor and Head  
Dept. of Meteorology and Geography  
National Taiwan University  
Taipei, Taiwan, China  
Dear Professor Yu-Chin:

It is with great interest that I read your letter of 26 Feb. 1972, telling of your plans for rainfall augmentation on Taiwan. I wish you well and feel, from what little I know of Taiwan, that you should be able to do so quite effectively.

At present the only technique that works well for rainfall augmentation is seeding of the supercooled portions of cumulus clouds, or even of stratus clouds, with glacogenic nuclei. Because of the size of Taiwan it seems to me that you could best concentrate on seeding cumulus clouds by means of a light aircraft, using pyrotechnic devices.

This system has been used in the Philippine Islands with considerable success,

both by ourselves in 1969 and later by the Philippine Sugar Institute, using small aircraft furnished by a contractor and flown by Philippine Air Force pilots. If you wish more details of the Philippine approach to the problem I suggest you contact Mr. Edgardo Yap of the Philippine Sugar Institute in Quezon City. Colonel A. K. Patterson, Defense Attache at the U. S. Embassy, Manila, could also help you.

One single engined, turbocharged aircraft would probably suffice for Taiwan. These cost about 14—25,000 U. S. \$ used, or perhaps 35—45,000 U.S. \$ new. A used one would be adequate. Operating costs run 45 to 55 U.S. \$ per hour pilots pay included. Indeed, you may have some such machines on Taiwan. Military jets or turbine powered aircraft can also be used, but the expense is much greater.

Seeding devices cost any where from 10 U. S. \$ a piece to 35 U. S. \$, depending on the source. They are commercially available in the U. S. One uses one to five units per cloud. In the Philippines, water yield ranged from 100 acre feet to 5,000 acre feet per cartridge, depending on type and size of cloud and the skill of the user.

The cost-benefit-ratio is quite high. If well done, it can reach 50,000 to one, usually it is around 10,000 to one and depends on the water handling system and on the degree of agricultural and power development.

I would recommend that one work all

seedable weather—not just in the dry season—because the yield then may not be large enough. In any case, careful planning, based on water need, crop regime and meteorology is needed. Being so far away I cannot help you much with this, but I will be glad to do what I can.

You can possibly with ground based seeding sites. I doubt very much if this would prove satisfactory, however, because of the size of your island. It would be difficult to be sure that the useful material would enter clouds close enough to rain on your land.

I am enclosing some reports that you may find useful. If you can make a trip to Okinawa you may be able to get some more information from the U. S. Civil Administration of the method was used to relieve a drought last summer. Colonel Lombard, U. S. Army, or Lt.Cdr. V. Droyden of the Naha Naval Weather Station may be able to help you.

If I can answer specific questions please call on me.

With all best wishes for success, I remain

Sincerely,

Pierre ST. Amand

Head, Earth & Planetary Sciences

Division

Code 602

Encl:

- (1) WMA Journal Vol. 2
- (2) WMA Journal Vol. 3
- (3) GROMET II