

金門與馬祖春季霧之預報研究

李俊盛 郭少衡

A Study on the Formation over Kinmen and Matsu during the Spring

Jiunn-Sheng Lee Shan-Hern Kuo

Abstract

After analysis eight years data we found that in spring the continental migratory highs are often moving over the China East Sea. At that time, the continental cold air will be warmed by Kuroshio Current. After warming process, when air current reach China Coast, its temperature will be warmer than the sea surface temperature then the interaction of warm air and the coast forms sea-fog, which will move over the area of Kinmen and Matsu. In the middle of May, season of May-Yu, the front is quasi-stationary along the coast, then there is a upslop-fog in the area of Kinmen and Matsu. Further later, when "Cold Wave" move southward, it forces mTw moving away from the area of Kinmen and Matsu. Then there is no chance to form fog in Kinmen and Matsu.

In addition to those we found above nine objective prognostic charts of fog formation over Kinmen and Matsu area are also presented in this report.

一、前言

金門氣象臺之西北方為太武山，其餘方向面海，由於山嶺影響，當氣流來自西北方時較弱；馬祖氣象臺之西北為雲臺山，東北為成功嶺，均為高於馬祖氣象臺，當氣流來自北或東北時，因據臺灣海峽口外，有噴風作用 (Jet Wind Effect)，致產

生輻合作用，使風速增加。金、馬為我復興基地之前哨，因此研究其氣候狀況及惡劣天氣之預報，有其價值。

由氣候資料得知，影響金門與馬祖之惡劣天氣，主要為雷雨、低雲、大風及霧，皆可由天氣系統之演變得知梗概。本文所欲研究者即為霧之預報，因霧能造成視障，故在支援作戰上為一大考慮因素。

月	份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
霧	日	3.0	3.2	7.8	11.0	13.1	7.6	2.6	0.6	0.0	0.2	0.6	0.8

表一：馬祖基地平均霧日數 (資料時間民國 40—60 年)

月	份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
霧	日	1.7	2.0	5.6	7.5	6.4	1.4	0.6	0.1	0.1	0.0	0.2	0.4

表二：金門基地平均霧日數 (資料時間民國 40—60 年)

金門與馬祖霧之年分布，平均霧日數以三月、四月、五月較多 (如表一、表二)。查該等月份屬於春季，正值我國東南沿海出現濶濶天氣 [亦稱高趾細雨 (Crachin)] 時期，其特徵為在逆溫層下生一層雲，繼以毛毛細雨兼有海霧因此本文試圖就此霧日較多之月份，統計其氣象因素相似之處，找出一套客觀 (Objective) 預報方法，以補主觀 (Subjective) 預報之不足。

二、霧之成因

在氣象觀測上，規定凡水平能見度不足一公里 (或小於 5/8 哩者)，始得稱為霧 (Fog)。霧乃觸及地表之雲，霧之形成是為穩定氣層之標識，當有發展良好之逆溫層或等溫層存在時，或夜間有輻射冷卻及空氣流經較冷表面時，均能起穩定作用而成霧，唯一在不穩定氣層下所生之霧，是冷空氣流經暖水面 (或暖濕地表) 上之蒸汽霧 (Steam Fog)。

故歸納霧之成因有二：
(一) 與地 (海) 面接觸空氣之冷卻：依熱力學第一定律：

$$dQ = Cp dt - \alpha dp$$
$$\text{即 } \frac{dT}{dt} = \frac{1}{Cp} \frac{dQ}{dt} + \frac{\alpha}{Cp} \frac{dp}{dt}$$
$$\text{因 } \frac{dp}{dt} = \frac{\partial p}{\partial t} + \vec{V}_h \cdot \vec{\nabla}_p - \rho g w$$
$$\text{故 } \frac{dT}{dt} = \frac{1}{Cp} \frac{dQ}{dt} + \frac{\alpha}{Cp} \left(\frac{\partial p}{\partial t} + \vec{V}_h \cdot \vec{\nabla}_p - \rho g w \right) \dots\dots\dots (1)$$

據研究 $\frac{\partial p}{\partial t}$ 及 $\vec{V}_h \cdot \vec{\nabla}_p$ 與其他作用相較而言甚小，可忽略不計，式(1)因此簡書如下：

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{Cp} \frac{dQ}{dt} - w r_d \dots\dots\dots (2)$$

r_d 為絕熱降溫率， $r_d = g/Cp$
除討論因絕熱冷卻所生成之霧外，式(2)右邊第二項可忽略不計。

由式(2)可知，氣溫可由輻射冷卻及空氣流經冷地 (海) 面之受冷而降低，而降溫可促使空氣達於飽和而成霧，故霧通常有輻射霧 (Radiation Fog)，平流霧 (Advection Fog) 及上坡霧 (Upslop Fog)。

(二) 水蒸發而進入空氣中：當冷空氣流過暖水面，如水溫較氣溫高出甚多，則空氣中水氣凝結生成蒸汽霧。此乃由於在暖水面上有十分寒冷之空氣。因下部加熱而不穩所致。

由上述霧之生成原因，輻射霧尚可包括①地面霧 (Ground Fog) ——在早秋時因夜長且空氣仍潮濕時，因長夜輻射冷卻所致。②高層逆溫霧 (High-inversion Fog) ——冬季時有較強的輻射效應，且伴隨反氣旋之下沉作用所致。平流霧亦可包括①陸風和海風霧 (Land and Sea-breeze Fog) ——近似海霧 (Sea Fog)，通常在午後由海風把海霧帶進內陸，主要生成於中緯度之東海岸地區。②海霧 (Sea Fog) ——由較暖地區來之空氣平流至冷海面形成。尤其在海面上有反氣旋時，下沉作用加強成霧的可能。③熱帶空氣霧 (Tropical-air Fog) ——主要發生於冬季，當熱帶空氣向北通過冷水面或冷陸面時所致。上坡霧則可包括①鋒 (暖鋒) 前霧 [Prefrontal (Warm-front) Fog] ——濃度較大，生成於鋒前氣壓梯度與風皆小時，水滴自上空暖空氣下降，獲得水汽凝結而向下擴展，乃生成霧。②鋒 (冷鋒) 後霧 [Postfrontal (Cold-front) Fog] ——冷鋒後之極地空氣有水平擴散及下沉運動，造成一穩定氣層，當移至濕地面時，即可能生成霧；如鋒後下雨，可增大霧之濃度。③鋒際霧 (Front-passage Fog) ——由較低雲層所引起的霧 (當鋒際在很濕的情況時)。

蒸汽霧為平流霧之一種，而平流輻射霧 (Advection-radiation Fog) 是因空氣由暖濕海洋上迴流，再經夜間輻射冷卻而成，算是輻射霧的一種。

三、金門與馬祖春季霧之生成概述：

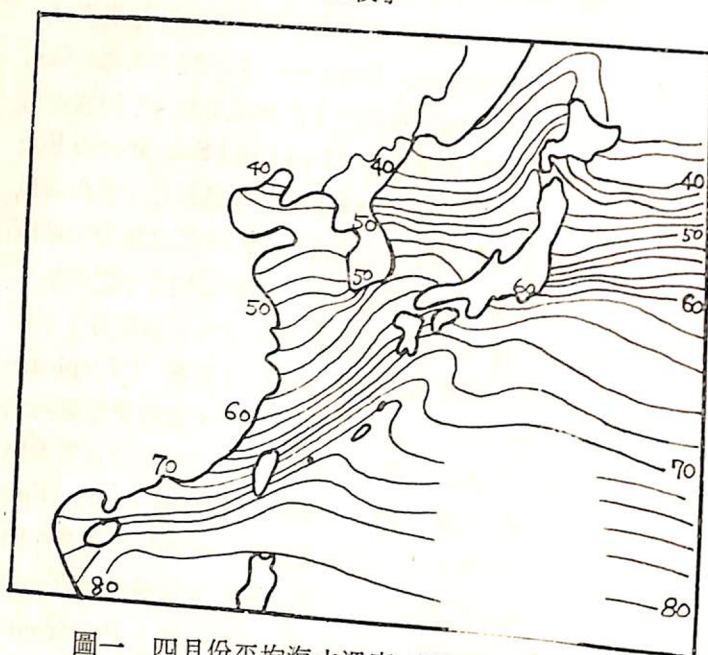
一般氣象上，春季是指三月、四月、五月，如以動力氣候學 (Dynamic Climatology 亦稱氣團氣候) 的觀點，臺灣春季則指三月後半月至五月的前半月而已，本篇所指春季，是概括了三月前半月之東北季風潮濕期，三月後半至五月前半之季風轉換期，及五月後半月之梅雨期。

綜觀金、馬春霧的形成，主要由下列因子控制：

- A、空氣中的水汽含量。
- B、空氣之穩定度。
- C、空氣冷卻之程度。

在春季時，我國沿海自渤海至黃海北部尚多吹北或東北風，使沿岸海面產生一股冷洋流 [中國海岸流 (China Coast Current)] (見圖一)，經臺灣海峽西部穩定流向香港，這股冷洋流在夏季時

，北退至 30°N 左右（見圖二），故與黑潮（Kuroshio Current）之溫差較小。



圖一 四月份平均海水溫度 ($^{\circ}\text{F}$)



圖二 七月份平均海水溫度 ($^{\circ}\text{F}$)

太平洋暖洋流為黑潮，於 20°N 至 10°N 間由東向西流至南海，有一主流自菲律賓北端經臺灣東部海面北流，再轉向東北沿日本東岸北上，支流則北經對馬海峽及日本海流向高緯度，故琉球羣島附近通常為寒暖流交匯之處——試比較圖一及圖二可知，春季時該處形成一特強之水溫梯度。

我們知道，海洋可藉傳導可感熱（Sensible Heat）及暖水面蒸發之汽化潛熱（Heat of Vaporization），將熱量輸送到周圍的空氣。因春季時大陸溫度逐月迅速上升，而海水溫度上升較慢，較陸上溫度為低，所以冷性高壓入海之機會較多，

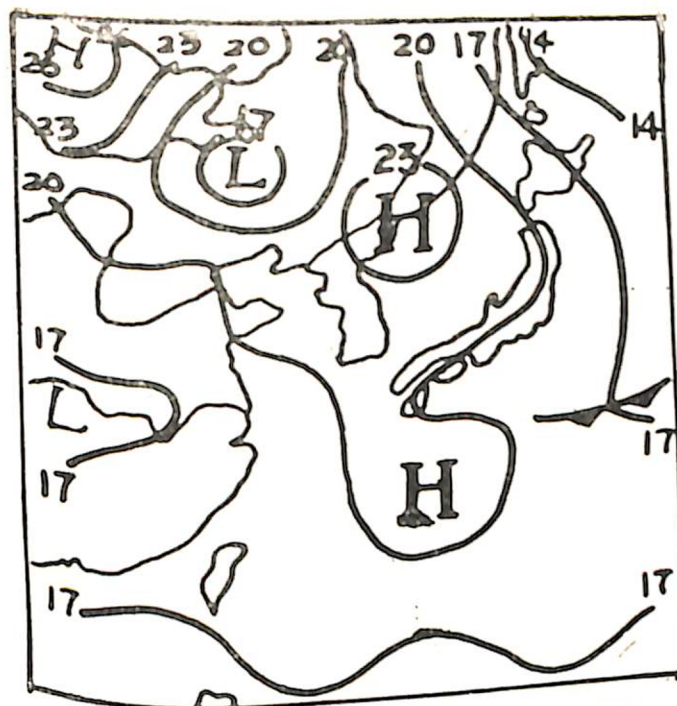
且趨於穩定。只要移動性高壓能够入海，當移至日本附近時，其迴流在暖洋流上吸收熱量，自東北轉東南，經琉球羣島以西時，因有特強之水溫梯度，故造成明顯之溫度梯度，其溫度及濕度皆大，到達我國東南沿海之冷洋流上時形成海霧，平流至金、馬陸上如陸地溫度較高則形成低雲，否則即成為所謂金、馬地區之平流霧（見圖三）——該日金、馬地區風向由北來風轉為南來風，而產生平流霧。或輻射霧（見圖四）——該日馬祖風向為南來風，晚間時產生較濃之平流輻射霧；金門風速微弱，多為靜風，而產生輻射霧，皆於翌晨日出後霧即消散。在四月份以後，東北季風較弱，東移出海之分裂高壓，如移動緩慢，則移至日本鄰近時，馬祖雖吹東北風，但因位於有利之環境，致時有輻射霧發生；在臺灣梅雨期，金、馬可有上波霧發生。

由資料顯示，當有新鮮冷空氣再度南下，或有冷海變性之極地大陸氣團南下時，則籠罩於華南區之暖海變性極地大陸氣團將被替代，金、馬之平流霧即不再發生。

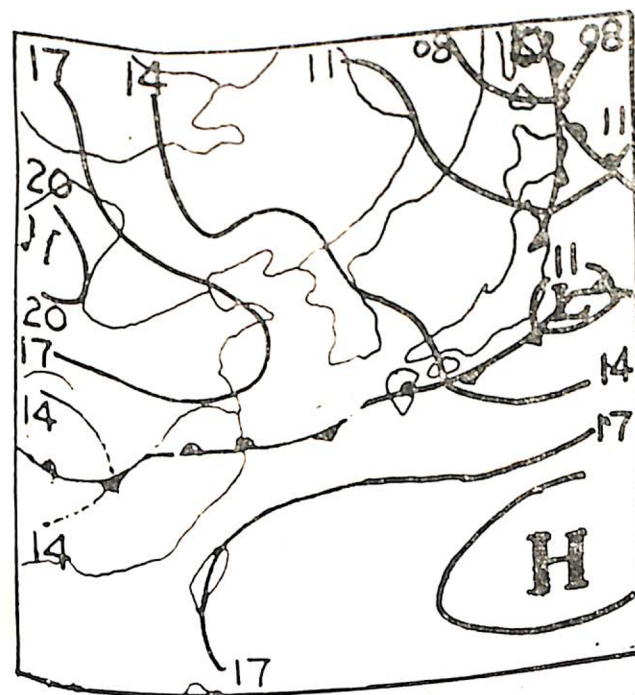
四、金門與馬祖春季成霧客觀預報法之研究：

由前節所述，雖可大略預知金門與馬祖當晚霧之有無，但尚難臻於理想之預報效果，故仍有研究客觀方法之必要，吾人既知，春季金、馬正處於有利成霧之環境下，一旦有暖濕氣流來臨時，每每有霧生成，氣溫是表示氣團冷熱之程度，露點可代表低層水氣含量；再者，因氣溫及露點與飽和混合比及混合比有關，因此氣溫及露點對濕度之大小亦有密切之關係，故為重要之預報因子。

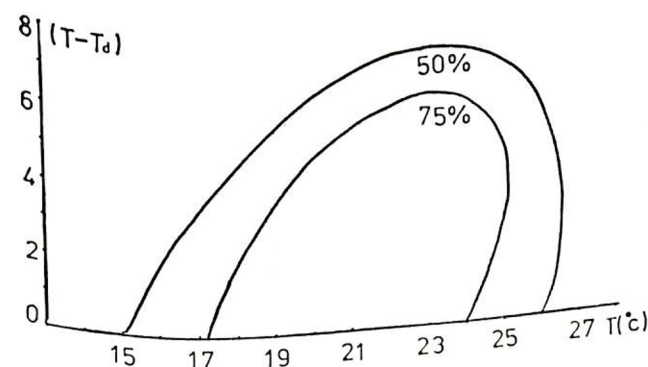
為考慮到預報上的實用性及準確性，特以金門及馬祖下午二時之溫度及溫度露點差作為預報因子（見圖五至圖十）。馬祖另以當日與前一日之溫度差及當日之溫度露點差作為預報因子（見圖十一及十三）。（圖例中， T_0 表當日， $T-1$ 表前日1400L之溫度）。依據過去八年（民國56年至63年每年3月至5月）的資料統計，只要在觀測上為霧且持續兩小時以上（當晚十時至翌晨十時）者視為霧日，為



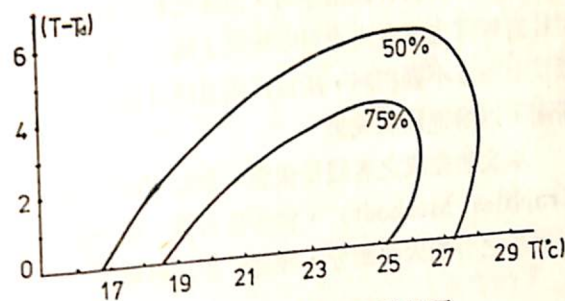
圖三：民國56年 3月14日 0000Z 地面天氣圖



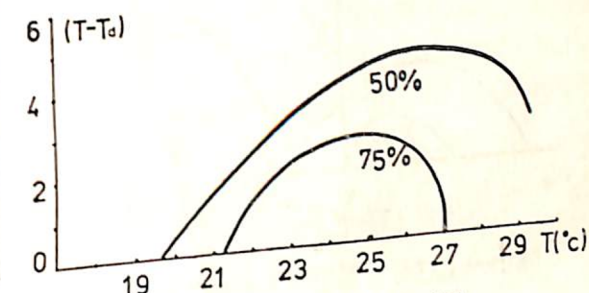
圖四：民國56年 3月15日 1200Z 地面天氣圖



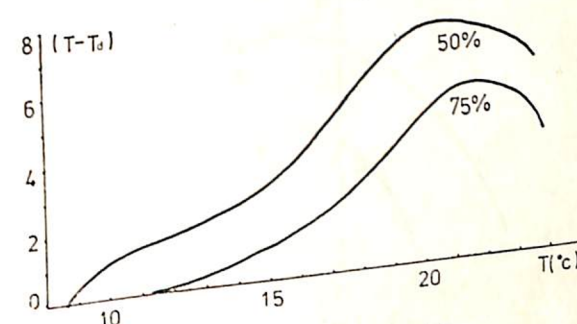
圖五：三月份金門霧之客觀預報圖



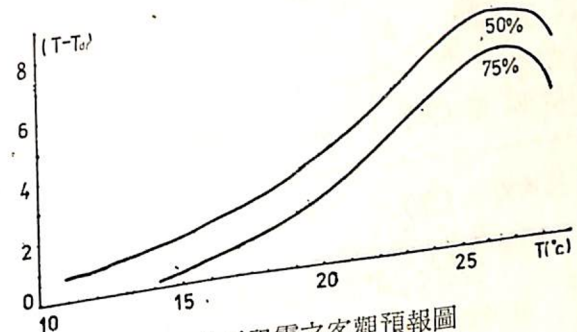
圖六：四月份金門霧之客觀預報圖



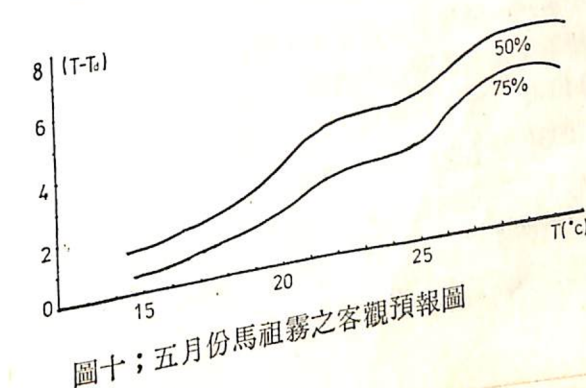
圖七：五月份金門霧之客觀預報圖



圖八：三月份馬祖霧之客觀預報圖



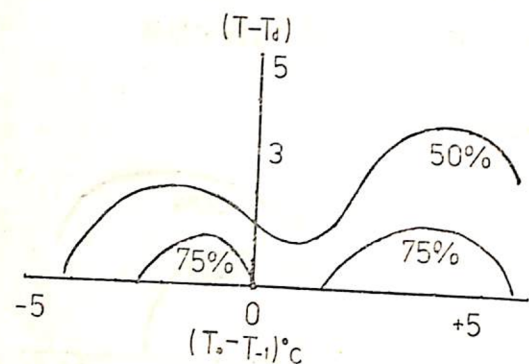
圖九：四月份馬祖霧之客觀預報圖



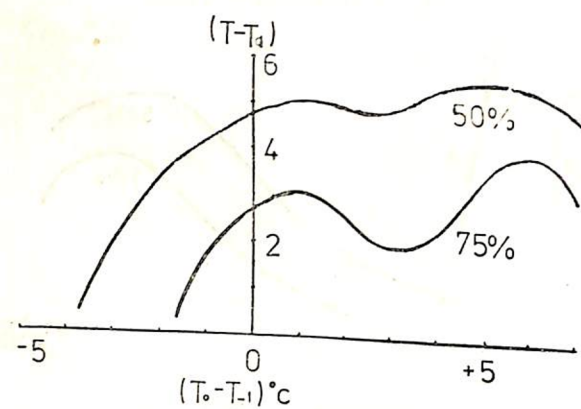
圖十：五月份馬祖霧之客觀預報圖

避免降雨日與霧日混淆不清，致影響統計結果，將雨日而無霧生成者由資料中剔除；同時3月至5月在氣候上而言不盡相同，所以採用月統計製作客觀預報圖，以增進預報成果。

本文所完成之客觀預報圖，是採用圖解法 (Graphical Methods)，初步分析後，繪一曲線把霧發生之有無大致劃分，經進一步以區域平均分析



圖十一：三月份馬祖霧之客觀預報圖

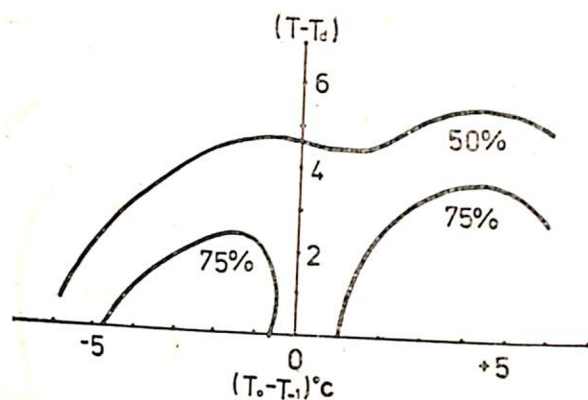


圖十二：四月份馬祖霧之客觀預報圖

附 校 驗 成 果	五	六	七	八	九	十	十一	十二	十三
準 確 率 (%)	56	62	55	71	71	81	79	78	81
技 術 得 分 (%)	27	45	47	54	56	60	63	59	60

表三：金門及馬祖客觀預報圖校驗成果

由前述可知，預期位於金門及馬祖北方之鋒面於晚間預報期間將通過該等地區時，則客觀預報圖不適用。氣象中心俞家忠氏曾指出，不管何類冷面接近，面前低層之西南風必增強，如桃園高空風14000' 以下西南風，較原先增加一半以上，而1000' 左右之風速達 30kts 以上者，則冷面可望於十二至廿四小時內到達臺灣北部，其應用於春季之準確性更高，因此，用此法可補充在使用本文客觀預報圖前之一重要考慮因素。



圖十三：五月份馬祖霧之客觀預報圖

(Block means Analysis) 後，分別繪出 50% 及 75% 之等機率線，以利預報作業 (見圖五至圖十三)

五、校驗結果：

以民國64年3月4月及5月試作霧之有無預報，當預報有霧發生而實際是降雨時不計，假設 C_1 為預報有霧發生之次數， C_2 為預報無霧發生之次數， R_1 為實際有霧發生之次數， R_2 為實際無霧發生之次數， F 為預報正確之總次數， T 為校驗之總次數，則：

$$\text{準確率} = F/T$$

技術得分之公式為：

$$S.S = (F-D) / (T-D)$$

$$D = (C_1 R_1 + C_2 R_2) / T$$

由以上公式得出之結果如表三。

地 名	或 然 率	能 見 度		
		$< \frac{5}{8}$ 哩	$\frac{5}{8} \sim < 3$ 哩	≥ 3 哩
金 門		36.0%	20.6%	43.4%
馬 祖		80.1%	6.8%	13.1%

表四：春季 (3—5月) 成霧時能見度出現範圍或然率 (資料時間民國56—63年)

表四之資料可用為預報有霧時，能見度大小之參考資料，又將能見度如表四所分之等級點入散佈圖中，則發現霧發生機率越大處能見度越小之機率也較大。又金、馬有平流輻射霧或輻射霧生成時，大多在日出後可漸轉佳，發生在馬祖之平流霧，常於午後才逐漸消失，甚而終日不散，而金門之平流霧在午前可逐漸消失。金、馬發生有上坡霧時，其消失時間視當時附近鋒面之動態而定。

六、結論：

本文客觀圖解由於時間所限，所選之因子只有溫度及溫度露點差，顯然對於預報成績難望理想，如能推而廣之，多試選預報因子，相信對該等地區成霧之預報，當能獲致更佳之成果。本文曾試選午後 (1400L) 與午前 (1100L) 之露點差 (以考慮海風入侵之效應) 與午後二時之溫度露點差作一相關圖，結果不理想。

根據以上所述，預報金門及馬祖地區成霧 (當晚十時至翌日十時) 之發生，可從兩方面着手：

(一) 預報地面高壓中心何時出海且金門及馬祖出現南來風時，可有較強之溫度梯度；換言之，有由暖海變性之極地大陸氣團 (斯時可視為熱帶海洋氣團) 迴流入侵，且於 850mb 等壓面圖上伴有視暖氣平流時，則可能有平流霧或平流輻射霧發生，如大陸至沿海地區氣壓梯度較小，當高壓出海時，馬祖時有輻射霧發生，當冷鋒過境後，金、馬即無平

流霧發生，但如鋒面北退，可有上坡霧發生。

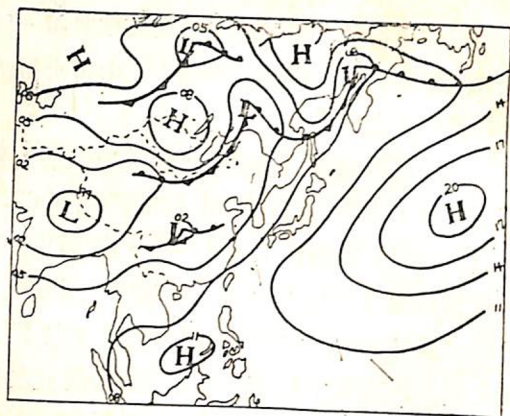
(二) 利用當日下午二時之溫度露點與前一日下午二時之溫度資料，由圖五至圖十三中可求得當晚至翌晨發生霧之機率。

(三) 在應用客觀預報圖時，經校驗結果，金門之成績較差，由過去同一時間 (民國56年至63年3月，4月，5月) 之霧日；統計得出，當金門下午二時之風速超過 12kts 時，僅佔有霧日之 6.6%，當晚八時之風速如低於 6kts，則佔有霧日之 73.4%，因此以風速之大小做為預報金門有霧發生之另一參考資料，或可提高預報成績，至於馬祖之霧日，其風速分佈較均勻，故不能做為預報有霧發生時之重要考慮因素。

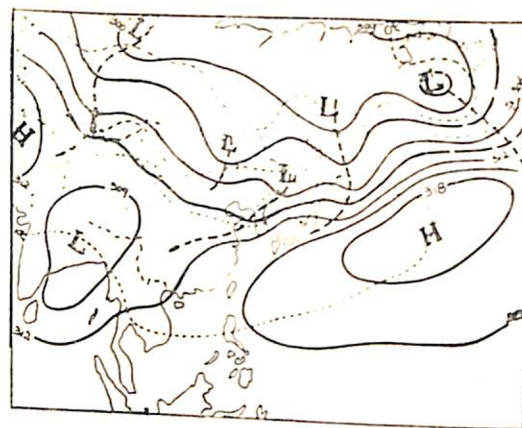
參 考 資 料

1. H.R. Byers: General Meteorology, 4th Ed. p. 269-270 p. 277-279.
2. 俞家忠 (1966): 臺灣北部降水問題之研究，氣象預報與分析第二十九期，p. 6-8。
3. 陳良曜 (1968): 天氣學 (甲種)，空軍訓練司令部編印，p. 75-76。
4. 陳毓雷 (1966): 氣象統計學，空軍訓練司令部編印。
5. W.J. Saucier: Principles of Meteorological Analysis, 薛繼顯譯，氣象分析原理，正中書局印行，p. 109-111。

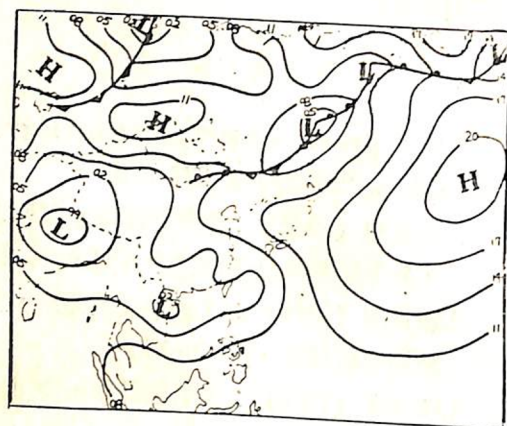
民國六十四年七月至九月東亞區域環流與天氣概況 (氣象中心)



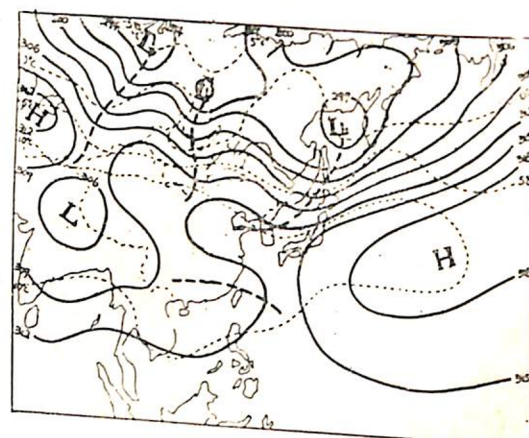
64年7月份地面平均圖



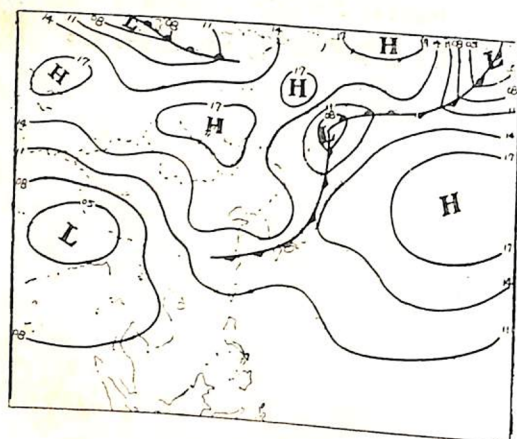
64年7月份 700mb 平均圖



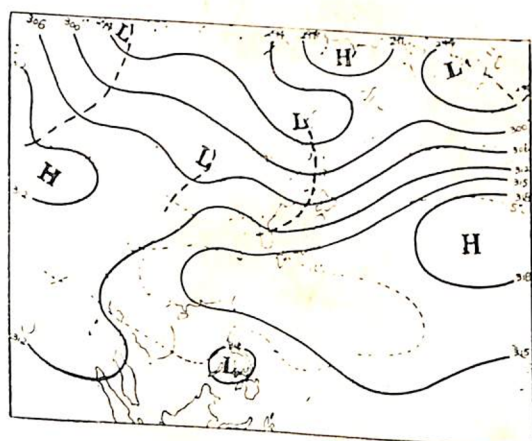
64年8月份地面平均圖



64年8月份 700mb 平均圖



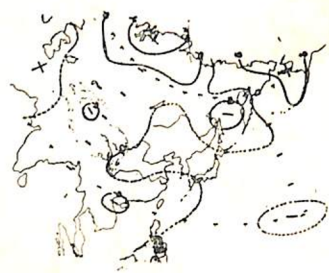
64年9月份地面平均圖



64年9月份 700mb 平均圖



64年7月份地面距平圖



64年8月份地面距平圖



64年9月份地面距平圖

民國六十四年七月至九月東亞區域環流與天氣概況 (氣象中心)

項	目	7	8	9
700mb	高度	11.7	11.4	10.0
度	高度	3149	3105	3152
度	高度	3020	3070	3040
(25°N 50°N; 120°E)				
高	月	26	27	22
氣	月	26	27	22
壓	月	26	27	22
低	月	26	27	22
氣	月	26	27	22
壓	月	26	27	22
風	月	26	27	22
鋒	月	26	27	22
面	月	26	27	22

馬祖公	馬祖	金門	宜蘭	花蓮	臺東	恆春	佳冬	屏東	屏東	臺南	嘉義	臺中	清泉崗	新竹	桃園	臺北	測站	項目	月份
65.7	3.8	19.9	31.8	23.1	34.2	143.7	343.6	292.8	239.2	222.7	96.6	112.4	129.7	139.6	37.1	174.2	雨量	7月	
8	1	5	6	8	6	8	13	18	15	19	14	11	11	9	9	12	降水日	7月	
562.1	261.8	47.2	278.9	628.5	156.2	530.5	807.9	770.0	946.3	868.0	656.3	96.9	144.4	268.3	273.3	241.4	雨量	8月	
12	11	8	17	20	17	20	28	27	20	24	21	12	18	16	15	14	降水日	8月	
153.1	40.1	77.0	131.8	361.6	433.8	101.6	152.5	180.3	159.7	88.3	44.3	87.6	150.0	65.6	103.7	196.2	雨量	9月	
8	8	6	7	7	14	9	12	13	15	9	5	9	7	8	6	12	降水日	9月	