

松山及桃園地區成霧之分析 與預報研究*

劉復誠¹ 蔣爲民²

摘要

由於霧之種類很多，促成原因也不盡相同。惟歸結言之，成霧之基本條件有四：(一)要有足夠有效的地面輻射使溫度易於降至露點，(二)要有微弱之風使飽和層能有足夠之厚度，(三)要有相當高之相對濕度，(四)空氣中須有足夠懸浮固體質點（但此條件非為必須，因近地面層已大部有豐富之空氣質點）。

本文以分析民國68年及74年松山與桃園兩地霧日之個案，再探尋發生之條件和天氣情勢。其中出現在(一)68年1月5日之輻射霧，(二)68年1月9日及74年3月8日之鋒際霧，(三)68年2月21日之平流輻射霧，(四)68年3月8、9、10日及74年3月1、7日之鋒前霧乃臺灣地區最有代表性的幾種典型霧，其發生條件可作為預報之參考。

對於霧之客觀預報亦經利用(一)溫度與霧點差，(二)K指數與總指數之關係，繪出客觀預測圖，藉以提高預報準確率，而其校驗結果也令人相當滿意。

一、前　　言

「霧」是影響飛行、航海與行車安全重要因素之一。以美國和其他國家而言，每年平均有1%飛機因霧而無法按預定飛行時間起落甚或失事。舉例言之，在國內，74年3月1日、7日及8日中正機場之大霧曾造成旅客極大不便及航空公司之損失不貲；在國外74年3月29日一架哥倫比亞的噴射客機，即因機長不理會濃霧的警告而發生墜機事件，機上40名乘客和機員全部罹難等即為明證。

霧之種類很多，促成原因也不盡相同，成霧之物理過程和條件更為複雜，如挪威之冰霧(ice fog)、層雲(stratus)為接近地面之霧，霧上升即為層雲，彼此之成因很難劃分，有時平地看來是一種層雲，但在山際或山頂看却是霧，且兩者都可視為海霧和川黔之濃霧等都具有「地方性」。臺灣面積不大，中央山脈縱貫南北，成為東西部之天然分野，加以地勢崎嶇，其間包括許多平原、高山峻嶺、丘陵、臺地、峽谷、盆地及三角洲等，同時中央山脈平均高度在3,000公尺以上，近海又為黑潮

(Kuroshio) 及親潮(Oyashio) 所經，地形效應極為顯著，氣流運行更不規則。就以地域而言，東部少霧甚至終年無霧，西部則多霧。

松山、桃園兩地現已成為我國航空重鎮，地形特殊，前者為國內機場，後者為國際機場，兩地四季常有霧發生，乃為本文究研之重點；本文即針對兩地成霧之物理過程和條件予以研討，並試圖發現其客觀預報之可行性。

二、霧之定義、分類及形成條件概述

(一) 霧之定義

層雲(stratus)為接近地面之霧，霧上升即為層雲，彼此之成因很難劃分，有時平地看來是一種層雲，但在山際或山頂看却是霧，且兩者都可視為懸浮於空中的水滴(water droplets)或冰晶(ice crystals)；依據威啟勳(1956)認為：其直徑通常自千分之一至十分之一公釐(mm)，平均約千分之十二公釐。至於霧影響地面水平向能見度之程

* 收稿日期：74年11月13日 修正日期：11月22日～25日

1. 中央氣象局預報測站課長。

2. 中央氣象局預報測站技士

度，則視其輕重而定，在航空上需配合目視飛行規則安全標準決定霧之濃淡。國際間規定水平向能見度小於公里者稱之。如到達一公里以上但不足二公里者稱為靄或輕霧 (mist)。本文中「霧」之標準則以水平向能見度等於或小於一公里以下為準。

(二) 霧之分類

霧之分類經氣象學者之建議並經採用者已有多種，其中以1928年韋立特 (Willet) 之分類最早，後有1958年皮特森 (Petterssen) 及1959年白葉爾 (Byers) 之修正。本文根據朱斯多 (Jiusto, 1981) 最近分類再依各學者意見分類如下：

1. 平流 (混合) 霧 (advection fog) —— 因潮濕空氣平流在寒冷之地表上，使空氣冷卻至露點以下而成者。常見者有①海霧 (sea fog)，②熱帶空氣霧 (tropical air fog)，③海陸風霧 (land and sea breeze fog)，④蒸汽霧或北極蒸汽霧 (steam fog or Arctic sea smoke)。

2. 輻射霧 (radiation fog) —— 因地面輻射冷卻作用而喪失 (發射) 熱量，使下層空氣達到飽和而成霧者。常見之輻射霧可分以下二小類：①低霧 (ground fog)，②高逆溫霧 (high inversion fog)，另外因空氣沿坡滑上而成之升坡霧 (upslope fog) (地面上看其實為層雲)，及冷空氣注入山谷而成之谷霧 (valley fog)。

3. 鋒面霧 (frontal fog) —— 在鋒面附近由於空中降水物 (雨滴、冰晶等) 之下降，使水分蒸發而增加空氣之含水 (汽) 量或使氣溫降低而導致空氣飽和，發生凝結現象而成霧者。此霧大致可分為：

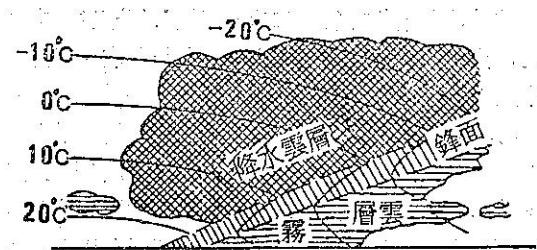
(1) 鋒前霧 (pre-frontal fog) —— 鋒面前緣因 (水汽) 相對濕度增加而導致空氣飽和而成霧者，常與毛毛雨混合存在。

(2) 鋒後霧 (post-frontal fog) —— 鋒面通過後，因降雨水滴蒸發導致成霧者。

(3) 鋒際霧 (frontal-passage fog) —— 當鋒面通過時，因鋒面上之低雲與前方暖空氣相混合，乃成高地之霧，此霧如近地面時，降水與蒸發作用可增強其效果和濃度 (見圖一)。

以上霧之分類僅為傳統上之分法，如以本省常見之霧，約可分平流霧、輻射霧、平流輻射霧及鋒面霧四種，其出現之機會亦最多。

(三) 成霧之物理過程和條件：



圖一 鋒下層雲與霧之生成模式圖 (修改自 S. Petterssen, 1958)

Fig. 1. Diagram showing the model of fog and stratus under the front

依英國氣候學家泰勒 (Taylor) 於1917年指出，霧主要由於近地層空氣冷卻所致。他首先證實，空氣分子之傳導 (conduction) 和擴散 (diffusion) 是使熱量和水汽在夜間因冷卻而得以傳至 1.2公尺 (4呎) 左右的唯一過程，此時必定產生渦流通量 (eddy fluxes)。

他同時指出，僅有空氣溫度迅速下降至露點當不致成霧。另外擾動或稱亂流 (turbulence) 亦為成霧之主因，而實際上空氣中水汽含量和溫度在任何大氣層中，仍受制於渦流交換之影響。

歸結言之，成霧之物理過程先決條件經氣象學者多年之研究可綜述如下：

條件一：要有足夠有效之地面輻射 —— 因為地面輻射可以產生很強的逆溫層 (inversion)，而使空氣冷卻降至露點。

條件二：須有微風狀態 —— 假如風太強，則渦流擴散係數 (coefficient of eddy diffusion) 太大，逆溫將被破壞。

條件三：要有相當高的相對濕度 (relative humidity) —— 不僅近地面且要延伸至離地面約 100公尺或更高。

條件四：空氣中要有足夠懸浮固體質點 (particulates) —— 地面附近因為經常有足夠吸水性凝結核故非成霧的重要條件。

依上述四點，很明顯地欲判斷霧之發生，前述條件一、二為先決條件，可自氣象圖上分析或實際觀測得之；而條件三可由 Skew-T logp 或高空圖求得。而本省之霧形成亦大致能符合以上之條件。

三、松山和桃園之自然環境和氣候資料

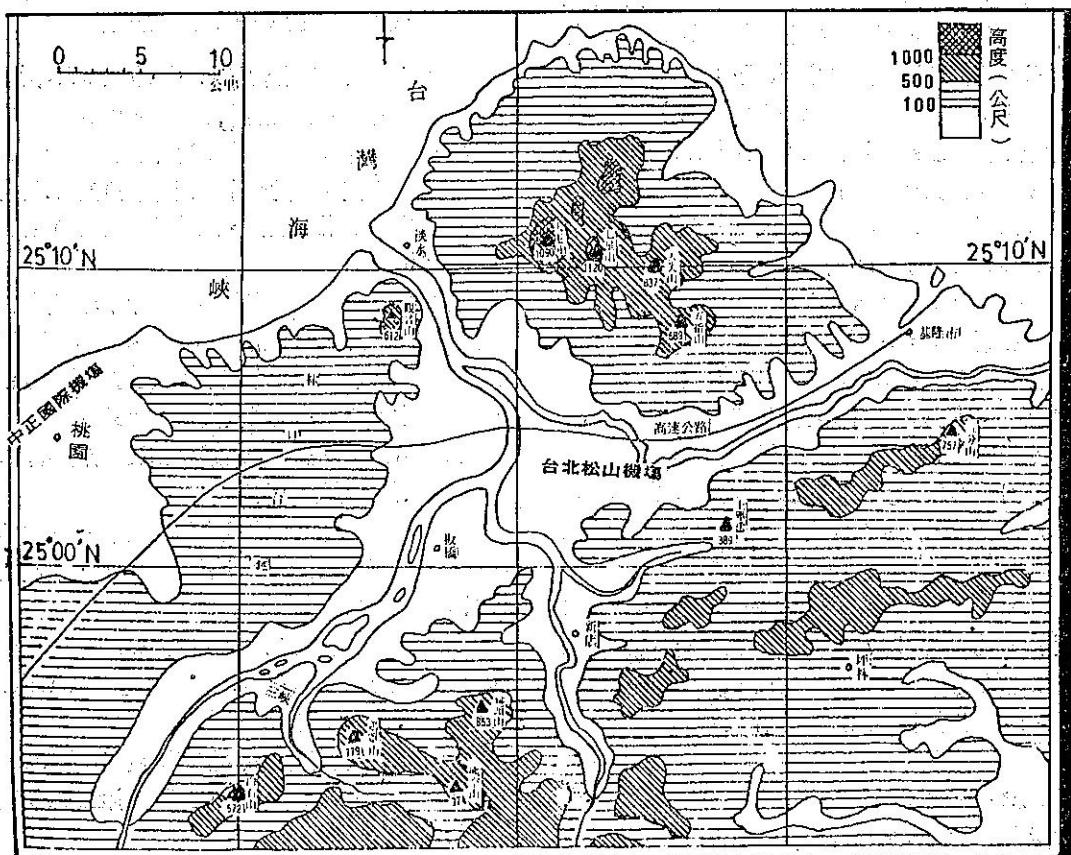
(一) 松山和桃園之自然環境

松山測站位於北緯 $25^{\circ}04'$ ，東經 $121^{\circ}33'$ ，在

臺北盆地之東北方(見圖二)，海拔6.4公尺；北方為大屯火山羣，平均高度在1,000公尺左右，東方為中央山脈之北端，高度約500公尺，南方都是2,000~3,000公尺之高山，林口臺地位於西側，平均高度約240公尺，觀音山位於西北方，高度612公尺，基隆河由東北東方流經松山機場的北端，於士林附近會合淡水河本流向西北流出，經淡水注入臺灣

海峽。

桃園則位於本省西北部，東接林口臺地，標高200~250公尺，東南鄰觀音山丘陵，西邊靠近竹圍海邊，四周地勢低平，水塘、魚塭星羅棋佈，更南方為中央山脈所阻，西南方沿海平原延伸至新竹地區。距海岸線三公里，附近之海岸線為東北—西南走向，正在臺灣海峽北向之喇叭口上(見圖二)。



圖二 松山與桃園測站地形圖

Fig. 2. Topographical map of the Sung Shan and Taoyuan

(二)氣候資料

為了個案分析時，對於成霧之條件能有進一步瞭解，特將松山和桃園兩地與成霧有關之氣候資料列表如下，以供參考。

表1之平均霧日，松山以林政宏(1978)所譯新航空氣象學(上)P.254，桃園以民航局(1977)

桃園國際機場飛行天氣預報之研究 P.3 資料為準。

如以各季百分率而言，霧日以冬季(十二月、一月、二月)最高，佔39.1%，春季(三月、四月、五月)次之佔36.6%，秋季(九月、十月、十一月)佔14.2%，夏季(六月、七月、八月)最少佔10.1%。

表1 松山與桃園之氣候資料（1958年至1978年）
Table 1 Climatological data at Sung Shan and Taoyuan (1958~1978)

氣象要素 地區	月份													備註
		一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	
平均風速 (節)	松 山	5.7	6.9	5.3	4.9	3.6	0.9	0.8	2.7	5.2	7.6	7.7	7.8	4.83
	桃 園	3.9	9.1	8.2	6.7	5.9	6.0	5.7	5.6	7.2	9.0	10.0	9.6	7.80
平均溫度 (°C)	松 山	15.1	15.1	17.3	20.9	24.4	26.6	28.3	28.1	26.6	23.2	20.2	17.0	21.9
	桃 園	14.1	14.5	16.9	20.7	24.2	26.2	28.3	28.0	26.3	22.8	19.9	19.0	21.7
平均相對濕度 (%)	松 山	84	84	84	82	82	82	78	78	80	80	81	83	82
	桃 園	83	86	85	84	84	84	80	81	82	81	81	83	83
平均霧日 (日)	松 山	3.8	3.1	3.9	3.3	1.9	2.0	1.3	0.3	1.1	1.2	1.9	2.9	2.2
	桃 園	2.6	4.9	5.4	3.0	1.1	1.0	0.2	0.3	0.6	0.8	1.6	2.7	2.0

基礎。

這些統計資料松山取自民航局氣象中心松山測站，桃園取自空軍桃園機場測站，而霧日以等於或小於1公里(1000公尺)為取用標準，統計表如下：

四、松山與桃園霧日特性之統計分析

茲統計68年一月至五月松山與桃園測站霧日發生時之天氣狀況，以作為霧日特性研究資料及分析

表 2 68年一月至五月松山與桃園霧日之天氣狀況統計表

Table 2 List of fog day at Sung Shan and Taoyuan from January to May of 1979

地 區	時 間		成霧時刻	總時數	風向風速	天空狀況	能見度	過去三小時天氣	天氣狀況	霧之分類
	月	日	(地方時)	(時)	(度/級數)	(雲量)	(公尺)			
松 山	1	5	00—10	10	C	○	100—1000		三	輻射霧
"	1	7	02,05—08	5	C	○	100—800		三	平流輻射霧
"	1	9	02,07	2	C	≡	1000		有雨有霧	鋒際霧
"	1	10	07	1	C	⊕	1000		三	鋒際霧
"	1	11	05—09	5	C	⊖—⊕	300—600		三	鋒前霧
"	1	27	02—03,07	3	C	○—⊖	700—900		三	平流輻射霧
"	1	28	04,06—08	4	C	○—⊖	600—800		三	"
桃 園	1	7	05—08	4	170/2—170/4	⊖—≡	800		三	"
"	1	8	23—24	2	170/5	⊖—⊕	800	•	三	"
"	1	9	00—09	9	C	⊖—⊕	800	三	三	鋒際霧
"	1	10	03—07	5	C	⊖—⊗	100—800		三	"
松 山	2	10	08—09	2	110/3—C	⊖	1000		三	鋒前霧
"	2	21	04—07	4	C	⊖	100—800		三	平流輻射霧
"	2	22	06—07	2	C	⊕—⊖	700—1000		三	"
桃 園	2	10	07—08	2	C—050/3	⊖	400—600		三	鋒前霧
"	2	13	05—08	4	C—340/4	≡	800		三	平流輻射霧
"	2	21	06—08	3	C—170/6	⊖—⊗	100—1000		三	"
松 山	3	8	06—08	3	C—100/3	≡	600		三	鋒前霧
"	3	9	00—06	6	C	⊕	800—1000	前一小時	三	"
"	3	10	04—07	4	C	⊖—⊗	100—900		三	"
"	3	15	06—08	3	C—260/2	⊕	400		後一小時 毛雨	鋒後霧
"	3	28	06—08	3	C 100/2	⊕	600—700	, / T	三	"
"	3	29	00—08	8	C	⊕—⊗	100—800	前三小時	三	"
桃 園	3	20	07	1	100/2	⊕	800	,	有雨有霧	"
"	3	28	08	1	C	⊕	600	T, ,	三	"
松 山	3	29	05—09	5	C—240/4	⊕	600—800		三	"
桃 園	4	13	05—07	3	C—290/6	⊖	700—1000		三	平流輻射霧
"	4	12	23—24	2	C—170/2	⊕—⊗	200—1000		三	"
"	4	13	00—07	7	C—100/3	⊖—≡	100—800	三	三	"
"	4	15	07	1	060/2	⊖—⊕	900		三	"
"	4	16	00—06	6	C—170/4	⊖—⊗	100—800		三	"
合 計	31日		—	120	—	—	—	—	—	

〔註〕表 2 符號說明：

(1)成霧時刻以地方時00—24為準。

(2)總時數按(連續性)有霧情況計之。

(3)風向以360°為準，C代表平靜無風。

(4)天空狀況(雲量)以8分位為準：

- ：碧空無雲
- ⊖： $\frac{1}{8} \sim \frac{2}{8}$ 雲量
- ⊖： $\frac{3}{8} \sim \frac{4}{8}$ 雲量
- ⊕：8以上
- ⊗：不明

(5)能見度選取最大與最小能見度表示

(6)其他：☰代表霧

- ☲代表雷雨
- ☵代表毛毛雨
- 代表雨

由表2資料之天氣狀況作詳盡分析如下：

1. 松山與桃園合計霧日共31天，其中五月份兩地均無霧之發生。

2. 霧之發生和消散時刻分析(或稱日變化分析)

當霧發生後，必有其消散時刻。理論上，各類霧均有受熱(特別是日照)而消散之趨勢(平流霧例外)，因之霧的合計出現頻率有顯著之日變化。一般以清晨出現頻率最高，下午最低，輕霧較濃霧更易消散。升坡霧通常甚厚，故日變化甚小，大多數之平流霧均相當厚，其較厚者能承受日間加熱而

不消散，例如我國之川黔兩省，一年內霧日可高過100日(成都1500天、樂山1158天，見中國之氣候，1974)。因平流冷卻兼有輻射冷卻之平流輻射霧亦然。至於典型之輻射霧甚薄，最易受日間加熱而消失，如本省之輻射霧。

在海上，因溫度日變化甚小，一般只有 0.5°C 左右，而陸上溫度日變化甚大，故海霧日變化亦小，此所以海霧能持續長久之原因。再者，陸上氣溫高之地區其日變化亦大，而氣溫低之地區日變化則小，因此在高溫下(在暖季內)發生在陸上之霧大都於太陽升高後消失，在低溫下生成之霧(在冷季內)即不易因日間加熱而消失。

根據實測結果，輕霧中含水量很少，僅約為 0.03gm^{-3} ，而濃霧含量則可超過 0.3gm^{-3} 。

衆所周知，如欲使霧消散則水滴必須蒸發，同時氣溫增高，使空氣能容納蒸發之水汽。當氣溫高時，稍予增暖即足以容納由霧蒸發之水汽，但當氣溫低時，則氣溫必須增加甚多，方足以容納同量之水汽。在高溫下發生之霧對於溫度之變化甚為敏感，至於在寒冷大陸上發生之霧可能終日存在。

就以上之陳述，我們將松山、桃園兩地霧之發生和消散時刻統計如下表：

表3. 松山與桃園霧發生和消散時刻統計表(68年一至五月)

Table 3 List of the time of fog formation and dissipation at Sung Shan and Taoyuan (Jan.-May, 1979)

時間 地點	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
松山	3	6	4	6	8	13	15	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
桃園	3	3	4	4	7	8	10	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
合計	6	9	8	10	15	21	25	16	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
頻百分比%	5.0%	7.5%	6.7%	8.3%	12.5%	17.5%	20.9%	13.4%	4.2%	0.8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.6%	1.6%

表3顯示霧之發生時刻以清晨06—07時最多，佔20.9%，05—06時次之佔17.5%，至07—08時後逐漸消散。至於起霧時間自深夜22時起即有之。就

氣象條件而言，清晨常為一日中氣溫最低之時刻，露點之升高足以引起相對濕度之增加，倘天氣晴朗風微，更可加強夜間輻射冷卻作用，使地面溫度愈

形降低，逆溫層增厚，加以早晨空氣穩定，對流作用亦告停止，塵埃、煙灰等凝結核均沉積於低層而不易流動或散佈，造成生霧之有利時刻，所以「清晨散步於霧中實為有碍健康之行為」，對身體並非有益。但日出後氣溫急升，對流及風力開始增強，逆溫層被破壞，霧旋即消散。對松山、桃園而言，其時刻頗為一致。此外，霧如不在日照後消散，即成毛毛雨或雨，當日天氣必劣，有下述諺語佐證：

(1)山光翠欲滴，不久雨瀝瀝。

(2)山光蒙如霧，連日和煦煦。

(3)晨霧即清，可望天晴。霧收不止，細雨不已。

(4)早霧晴，晚霧陰。

3. 霧之持續時數分析

松山與桃園兩地之霧，大都為輻射及平流輻射霧，故其持續時間不長，依68年一至五月之統計如表4：

表4 68年一月至五月松山與桃園霧之持續時數（小時）

Table 4 Persistence hours of fog at Sung Shan and Taoyuan from January to May 1979

持續時間 (duration)	≤1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11以上	合計
松 山	6	3	5	3	1	1	0	1	0	1	0	21
桃 園	3	3	1	2	2	1	1	0	1	0	0	14
小 計	9	6	6	5	3	2	1	1	1	1	0	35
百 分 率	25.7%	17.1%	17.1%	14.2%	8.6%	5.7%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	0%	100%

表4顯示，松山與桃園兩地霧之持續時數以小於或等於1小時者為最多，佔25.7%，而最長者可有10小時，超過6小時以上者合計佔17.3%。

4. 風向風速和霧之分析關係

「風」影響霧之生成甚鉅，且與霧之類別有關，輻射霧易被強風吹散，平流霧常受水平風所推移（transportation）。

垂直方向熱量含水份之渦動傳佈，隨風速而迅速增加，當有中等強風時，僅近地面附近空氣冷卻時方能成霧。就風之影響而言，「輻射霧」與「平流霧」有甚大之差別，即使在一典型的有強烈地面輻射之夜間，冷卻率罕能超過每小時1°C，再者受冷卻影響之空氣層亦相當淺薄，在另一方面，當空氣平流經冷地面而冷卻時，或因沿斜坡上滑而冷卻時，則冷卻率大且冷卻之空氣層亦厚，故輻射霧對於風速至為敏感，而其他霧在相當大之風速下仍能存在而可能不消失。

通常擾亂乃受溫度遞減率支配，而非受風速左右，此所以平流輻射霧之發生於高壓楔時，往往面積廣大而持久，如在中國大陸長江中游及華南中部，一年內有霧20—30日，漢口28日，蕪湖25日，而

東北僅10—20日，內蒙古不過5日。松山之霧日較桃園為多，風速較小可能為重要因素之一（參考表1）。

另一方面，平流霧如冷卻率甚大則能承受相當大之擾動而不消散。平流霧乃當暖空氣穿越冷區而成，故其生成必需有風幫助。在海上之霧，因溫度日變化很小，對霧之生成無重要性，故除少數之蒸氣霧與濕霧外，大都需藉助風的平流而生霧。

松山與桃園68年一至五月成霧時，風力大都很小，平均在3級風以下，故形成平流輻射霧較多，很少單純之平流霧發生。至於風向，因為形成霧時風力都不大，故風向大都不穩定，顯示霧之發生與風向無太大之關係。

5. 雲量與霧之統計分析

雲量與霧之關係頗大，若能以天氣圖預測當夜之雲量（一般可以 $\frac{5}{10}$ 以下之雲量定為輻射夜），對於「輻射冷卻率」（radiation cooling rate）之估計便可求得，進而可預報次日是否有霧生成。晴朗無雲之夜或多雲時，常有輻射霧之生成，否則必須藉助平流作用使暖濕空氣經陸地。松山與桃園兩地在冬春間，由於受東北季風影響，雲幕（

ceiling) 較低，故在有霧時並非都屬碧空，此點可作為吾人預報之參考。

6.能見度與霧之關係

能見度在 100 公尺以下時，其霧層深厚，行車駕駛最為危險，68年一月至五月能見度在 100 公尺以下者，發生在松山 5 次，桃園 3 次，高速公路元月 5 日在汐止段之車禍即為濃霧所致。

7.霧之分類統計

表 5 松山與桃園兩站68年一月至五月霧之分類

Table 5 Types of fog at Sung Shan and

Taoyuan from January to May 1979

分類 地區	輻射霧	平流 輻射霧	鋒面霧		
			鋒前霧	鋒際霧	鋒後霧
松山	1	6	10		
			5	2	3
桃園	0	8	6		
			1	2	3
合計	1	14	16		
			6	4	6
百分率	3.2%	45.1%	51.7%		
			19.4%	12.9%	19.4%

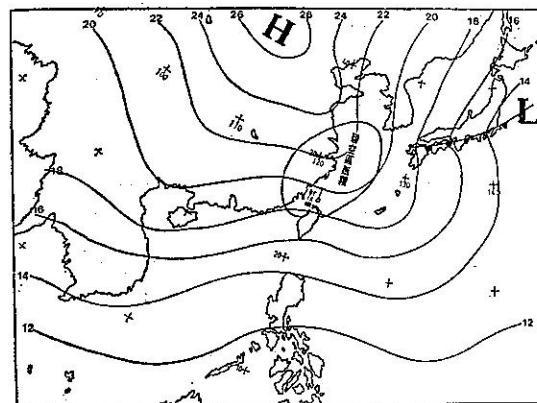
表 5 所列之平流輻射霧，平流作用只佔一小部份，主要以輻射作用為主。有時霧之分類難以細分，大體受地形效用和東北季風影響，純輻射或平流霧很少。而其中鋒面霧佔 51.7%，顯見鋒面之蒞臨前後應注意霧之發生與預報。

五、松山與桃園典型霧之個案分析

(一)典型之輻射霧 (68年元月 5 日發生在松山)

68年元月 5 日松山自深夜 00 時起即開始有(能見度小於 1000 公尺) 霧，至上午 10 時日出後霧才消散，總時數 10 小時，為歷年來所罕見，且因此導致松山機場關閉，並在高速公路基隆汐止段發生三起撞車事件，為全國各界所矚目。僅將當時發生霧之天氣條件分析如下：

1.自天氣圖上得知，4 日上午正有一不活躍冷鋒伴隨大陸冷氣團迅速自華北向華東移動，此冷氣團帶來新鮮乾燥冷空氣聚集盆地內，此時空氣層穩定。



圖三 68年 1 月 5 日 5 時地面天氣圖

Fig. 3 Surface chart at 21Z January 4, 1979

2.4日上午北部下過陣雨，入夜後碧空無雲，造成有利於地面輻射冷卻之條件，估計自 4 日下午 4 時至夜間 10 時溫度由 18°C 降至 12°C，在 7 小時內下降 6°C，輻射冷卻率高達 0.857°C/hr。

3.自 4 日 14 時後，北部風力漸減弱，只達 2 級以下，而於 21 時起風更弱，為形成霧之有利條件。

4.空氣層極為穩定，由 4 日 20 時臺北測站之探空資料可知，蕭氏 (Showalter) 指數為 16.1，K 指數為 -14.9，總指數 (Total Index) 為 29.2，均屬極穩定。

5.4 日 20 時臺北測站之逆溫層在 920-840mb 之間，顯示有逆溫情況發生，霧更易生成。

6.溫度與露點之差 (T-Td) 於霧形成後為 1°C，接近飽和，至 5 日 3 時則完全飽和，能見度也更劣。

由以上六點因素，再參看圖三，位於大陸東南沿海地區盡屬碧空，但却無霧形成，顯知本次之濃霧純為地面輻射冷卻的結果，故稱為典型之輻射霧。

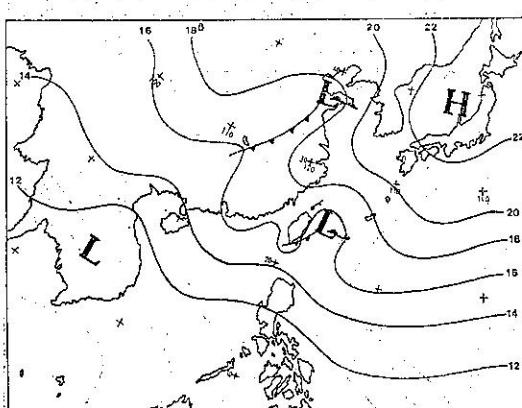
(二)典型之鋒際霧 (68年元月 9 日發生在松山與桃園及 74 年 3 月 8 日發生在桃園)

1.68年元月 9 日松山與桃園兩地均於清晨有霧之發生，前者僅在 2 時及 7 時各持續在一小時以內，後者從 8 日 23 時開始持續至 9 日上午 9 時，共計十一小時 (見表 6)。松山在 9 日 3 至 5 時、8 時均有下雨；而桃園在 8 日 19 時、20 時亦曾下毛毛雨及雨。此次之霧大致由下列原因而發生：(參閱圖四a)

表 6 松山與桃園68年1月8日及9日逐時天氣狀況表

Table 6 List of hourly weather conditions at Sung Shan and Taoyuan on January 8 and 9, 1979

地 區	日期 時 間 要 素	8 日												9 日													
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
松 山	溫 (°C)	23	23	22	20	20	19	19	18	18	18	18	18	18	18	19	18	18	18	18	20	21	22	22	22	22	
	露 (°C)	17	18	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	18	17	17	17	17	18	18	18	18	18	
	風向/風速 (度/節)	C	260/3	070/3	270/4	C	C	C	280/3	210/6	C	C	070/2	C	080/3	090/5	210/7	C	260/2	C	100/10	020/8	090/7	060/5	090/2	080/6	
	雲 (N)	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊕	⊕		
	天 氣 (W)														≡	*	*		≡	*	*						
	能見度 (公尺)													1000					1000								
桃 園	溫 (°C)	20	20	19	19	18	18	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	17	17	18	19	20	21	21	22	
	露 (°C)	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	16	15	15	15	16	16	16	19	19	19	19	19	
	風向/風速 (度/節)	220/12	030/14	040/10	040/10	020/6	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	缺	170/2	C	C	C	290/4	260/6	270/4	240/2	210/2
	雲 (N)	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊖	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	缺	⊖	⊗	⊖	⊖	⊖	⊖	⊕	⊕	
	天 氣 (W)													≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	≡	
	能見度 (公尺)													800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800



圖四a 68年1月9日5時地面天氣圖
Fig. 4a Surface chart at 21z January 8, 1979.

(1)臺灣東方海面有一氣旋波 (cyclone wave) 形成，而850毫巴及700毫巴為西南氣流，更易導

引暖濕空氣進入松山與桃園兩地。

(2)我國東南沿海有一大片霧區，顯示近地層含有豐沛潮濕空氣，大氣層相當穩定。

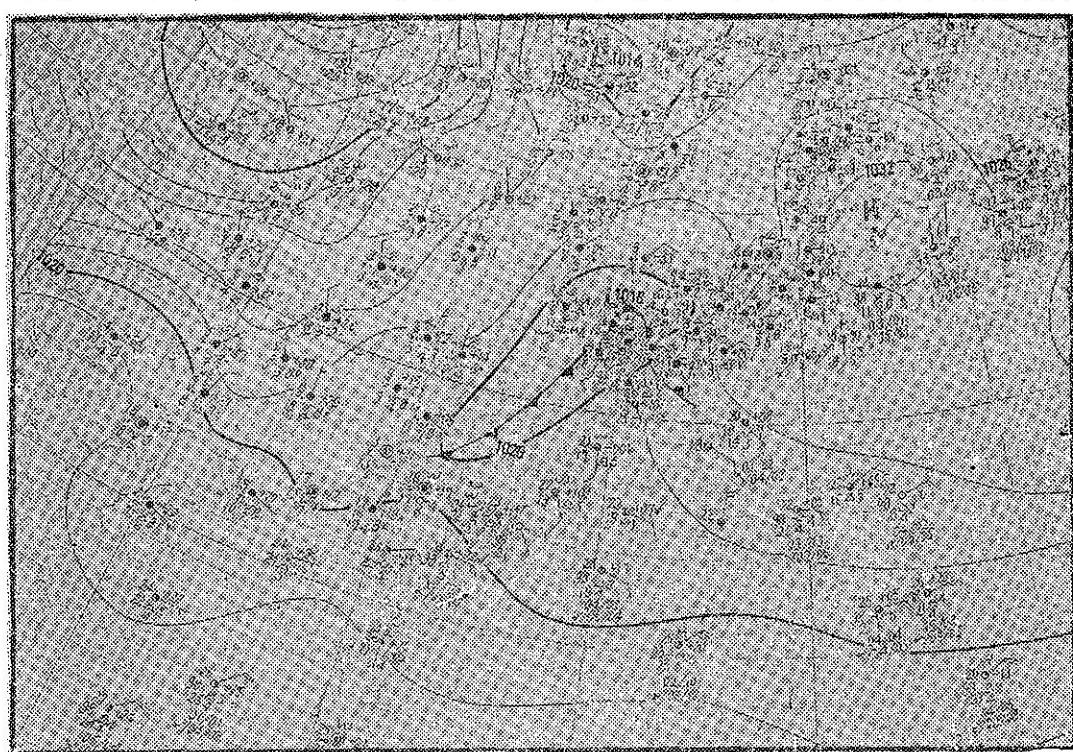
(3)由於雲量多，缺少地面輻射冷卻作用，故此次形成之霧以平流及地形抬舉作用為主。

(4)風力微弱 (小於3級)，使層狀雲易於深入地面，為此次成霧因素之一 (參考表6 風向／風速)。

(5)大氣層尚屬穩定，臺北測站8日20時之探空資料顯示，蕭氏指數為9.2，K指數 22.1，總指數 36.4。

(6)逆溫層高度在 940-890mb，顯示高空層尚有逆溫存在。

2.至於74年3月8日桃園所發生之濃霧，其生成之天氣條件 (風力微弱，RH=100%) 與68年元月9日所發生者相同情況，參考圖四b，即可了解。



圖四b 74年3月8日8時地面天氣圖
Fig. 4b Surface chart at 00z March 8, 1985

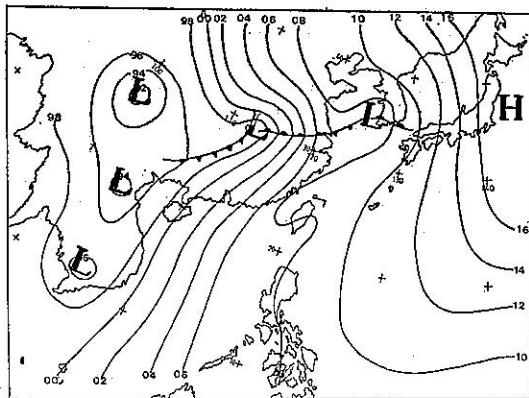
典型之平流輻射霧 (68年2月21日發生在松山與桃園)

68年2月21日在松山與桃園兩地同時有霧發生，其原因分析如下：

1.受大陸冷高壓出海變性增溫作用，而於黃海一帶產生低氣壓並伴有鋒面，使東南沿海西南氣流盛行；前一天暖濕空氣輸入台灣北部 (平流) 下，夜晚輻射冷卻，霧即很容易生成 (當然松山與桃園

兩地之風力不致過大)。(參閱圖五)

2. 2月20日入夜後，19時起風力轉小，雲量減少，助長地面之輻射冷却(參考表7)。



圖五 68年2月21日5時地面天氣圖

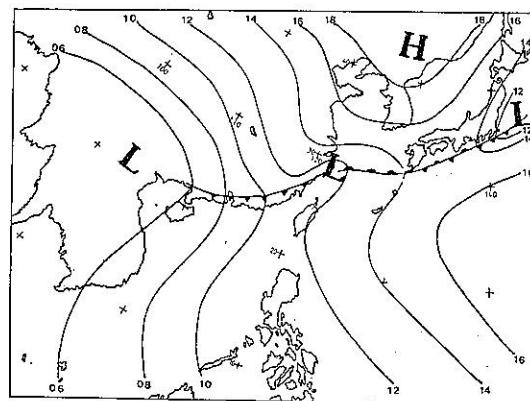
Fig. 5 Surface chart at 21z February 20, 1979.

(四典型之鋒前霧(68年3月8日、9日、10日發生在松山與桃園及74年3月1日、7日發生在桃園中正機場)

此種鋒前霧分別發生於68年3月8日、9日及10日三天及74年3月1日、7日二天，後者且造成

3. 受偏南氣流及台灣海峽兩側地形抬舉作用，霧加濃，由東南沿海之大霧區可見一斑。

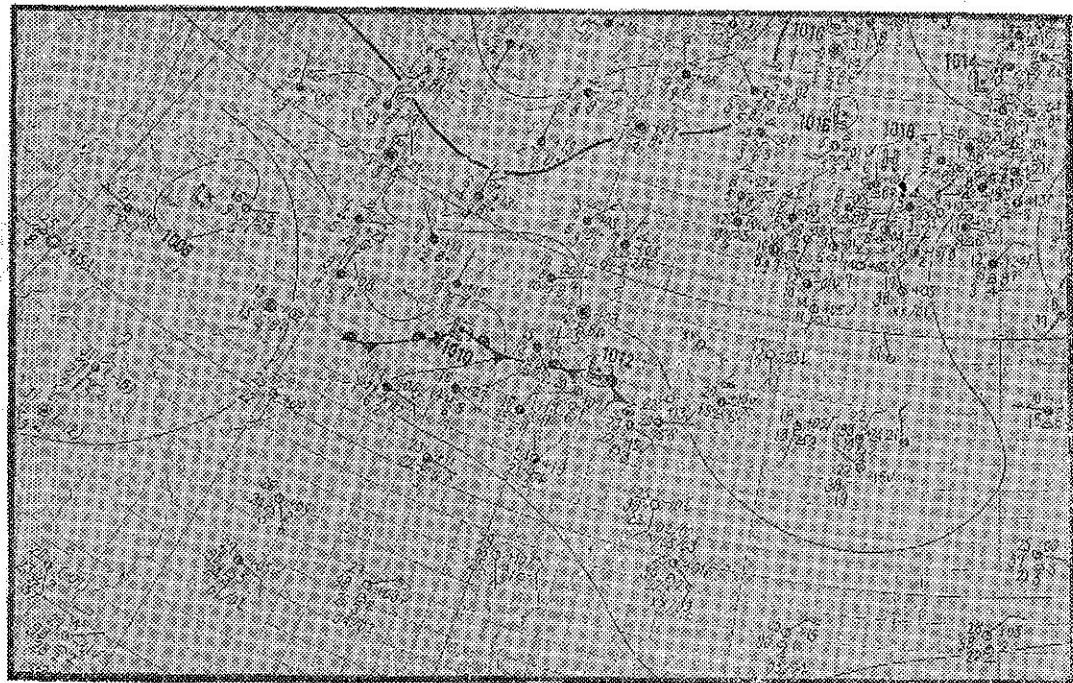
此種平流輻射霧在台灣最常見。



圖六 68年3月8日23時地面天氣圖

Fig. 6 Surface chart at 15z March 8, 1979.

中正機場關閉，飛機改降松山及高雄小港機場，使航空公司損失不小之事件。當鋒面徘徊於東海或北部海面附近，而松山與桃園兩地因暖濕氣流之供輸與冷空氣之激盪，在風力不大及氣流擾動下，鋒前霧因而產生。有關鋒面位置詳見圖六、圖七。



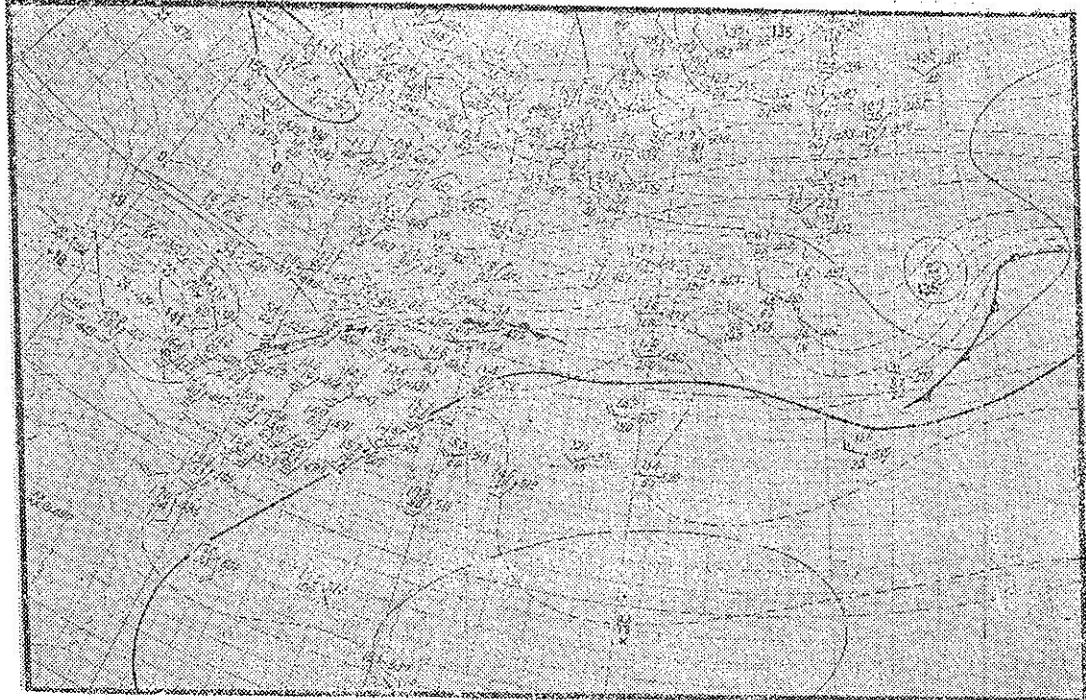
圖七 74年3月1日20時地面天氣圖

Fig. 7 Surface chart at 12z March 1, 1985.

表7 松山與桃園68年2月20日及21日逐時天氣狀況表

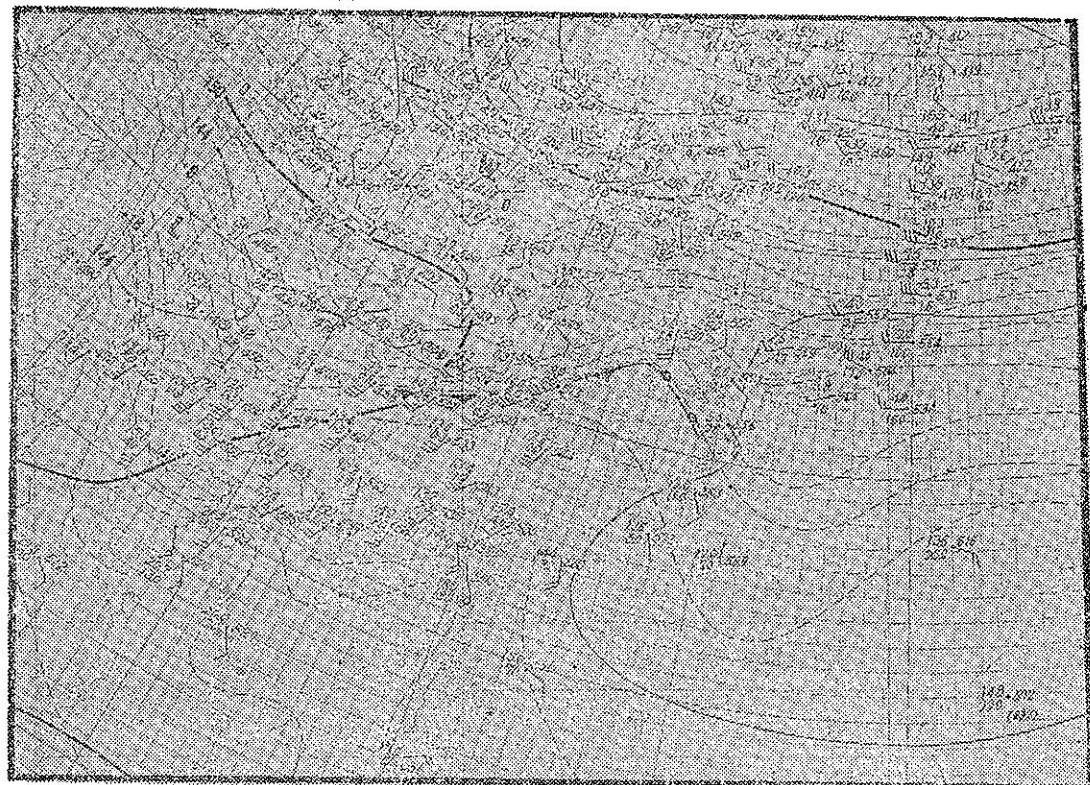
Table 7 List of hourly weather conditions at Sung Shan and Taoyuan on February 20 and 21, 1979

地 區	日期 時 間 要素	20 日												21 日												
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
松 山	溫 度 (°C)	24	24	23	22	21	21	19	19	18	18	18	18	17	17	16	16	16	17	18	21	23	25	27	27	27
	露 點 (°C)	18	18	19	18	18	18	17	17	17	17	17	17	16	16	15	16	16	16	16	17	19	18	18	18	19
	風向/風速 (度/節)	300/4	290/4	080/4	090/6	070/4	C	C	020/2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	230/4	140/2	C	160/2	130/2	310/4	300/4	
	雲 量 (N)	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	
	天 氣 (W)													≡	≡	≡	≡	≡								
	能 見 度 (公尺)													800	100	500	600									
桃 園	溫 度 (°C)	22	22	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	18	17	17	17	18	19	23	24			
	露 點 (°C)	19	19	19	18	18	19	18	19	19	19	19	19	19	19	18	18	17	17	17	17	18	18			
	風向/風速 (度/節)	340/8	300/8	340/6	340/6	340/4	020/1	040/2	210/2	C	C	C	C	C	C	180/5	C	170/2	170/6	180/4	190/4	190/4	190/4			
	雲 量 (N)	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	
	天 气 (W)															≡	≡	≡	≡							
	能 見 度 (公尺)															1000	100	1000								



圖八a 74年3月1日8時850毫巴高空圖

Fig. 8a 850mb chart at 00z March 1, 1985



圖八b 74年3月7日20時850毫巴高空圖

Fig. 8b 850mb chart at 12z March 7, 1985

此種鋒前霧在下列情況下最易發生：

- 1.冬春之交，大陸性冷氣團逐漸勢微，而南方海洋性暖氣團逐漸勢強，每易在對峙情況下產生滯留鋒，而鋒前為形成霧之有利區域。
- 2.暖空氣自南方向北推進，每具有平流特性，以挾帶大量潮濕空氣（參考圖八a 及八b 74年3月1日及7日850毫巴圖）使東南沿海一帶發生濃霧。而松山、桃園兩地因地形抬舉作用，在其他條件

配合下（如渦動混合、冷卻作用），霧因而更易產生。

3.這段期間兩地白天常吹北風或西北風，冷空氣易於流入臺北盆地或桃園一帶，而在夜間大都為微風，且天空雲量少，有利輻射冷卻作用，故霧即形成（參考表8、表9）。

4.近地層之深厚逆溫層（圖九），常導致（濃）霧之不易消失，使機場關閉時間延長。

表8 74年3月1日中正機場測站天氣資料表

Table 8 List of weather data at CKS
on March 1, 1985

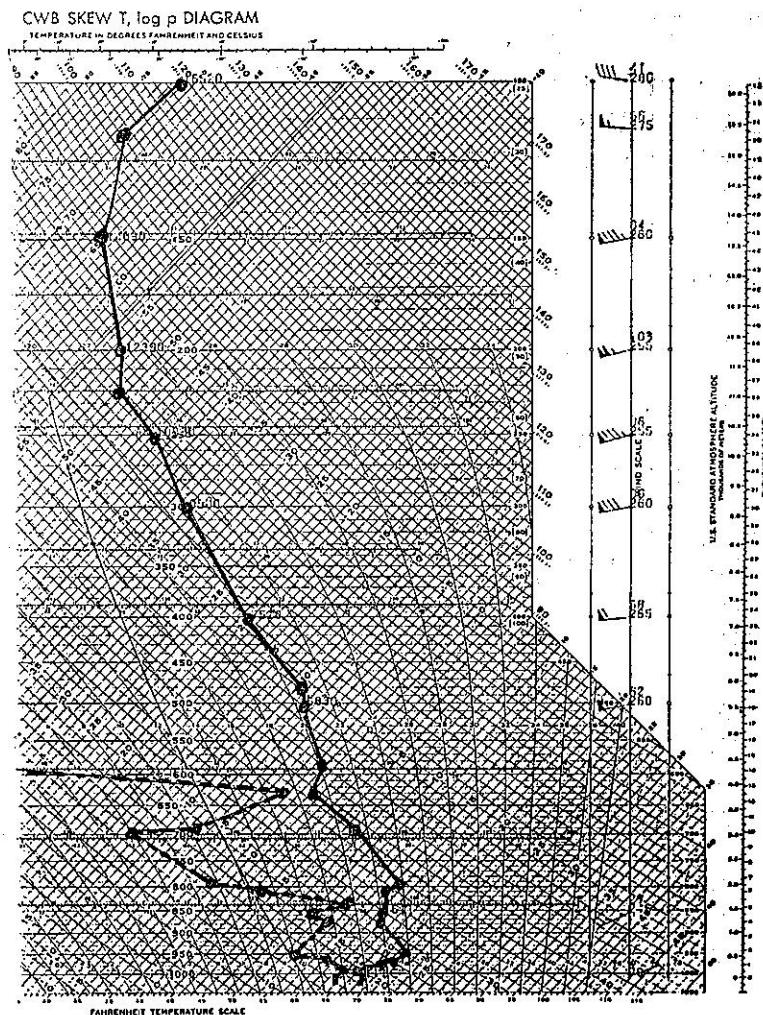
時 間 (L)	能見度 (公尺)	風向風速 (度/節)	溫度/露點 (°C)	天 氣	雲 量
01	1600	070/6	16/16	,	8
02	2000	050/6	16/16	,	8
03	2200	060/7	16/16	,	8
04	2200	060/4	16/16	,	8
05	3000	050/4	17/16	,	8
06	2500	050/4	16/16	=	8
07	1600	070/2	16/16	=	7
08	4500	040/6	18/17	=	3
09	8000	040/6	20/18	=	3
10	9999	020/6	21/18		1
11	9999	350/5	21/18		1
12	9999	360/6	22/18		1
13	9999	360/6	22/19		2
14	5000	320/7	21/18	smoke	6
15	4000	310/8	18/17	=	8
16	1600	280/4	17/16	=	8
17	1200	220/5	17/17	=	8
18	1200	220/4	17/17	=	8
19	0500	290/7	16/16	≡	8
20	0400	290/4	16/16	≡	8
21	0400	320/7	16/16	≡	8
22	0400	320/6	16/16	,	8
23	0500	330/3	15/15	,	8
24	0500	15/15	,	8	

〔註：①19~24時機場開始有濃霧與毛毛雨能見度惡劣，機場全部關閉。②9999指能見度超過10公里。〕

表9 74年3月1日桃園測站天氣資料表

Table 9 List of weather data at Taoyuan
on March 1, 1985

時 間 (L)	能見度 (公尺)	風向風速 (度/節)	溫度/露點 (°C)	天 氣	雲 量
01	1200	030/6	16/16	,	8
02	1200	030/4	16/16	,	8
03	1200	040/3	16/16	,	8
04	1500	040/6	16/16	,	8
05	1200	030/4	16/16	,	8
06	1200	020/6	16/16	,	8
07	1200	C	16/16	=	7
08	4800	030/4	17/17	=	3
09	9000	020/6	19/19	=	2
10	9999	350/4	20/19		2
11	9999	360/6	20/19		1
12	9999	320/6	21/20		1
13	9999	340/6	21/19		2
14	9999	320/6	20/19		5
15	4000	310/8	18/17	=	8
16	1200	360/4	17/16	=	8
17	1400	230/5	16/16	=	8
18	1200	220/4	17/17	=	8
19	800	290/4	17/17	≡	8
20	200	C	17/16	≡	9
21	100	330/5	16/16	≡	9
22	100	320/5	16/16	≡	9
23	100	330/2	16/16	≡	9
24	100	330/1	15/14	≡	9



圖九 74年3月1日20時臺北測站探空圖中顯示低層有極強逆溫層存在

Fig. 9. SKEW T, log P Diagram for Taipei at 12z

March 1, 1985. It shows a strong inversion
at the boundary layer.

六、松山與桃園兩地霧形成之客觀預報

(一)客觀預報方法介紹：

客觀預報方法之先決條件在於應用氣象參數去做客觀性之分析和預報，其選用之參數因霧之種類而異。一般常用之氣象參數如下：

1. 溫度(T)

2. 露點(Td)

3. 溫度露點差 (T-Td)——代表空氣中含水汽之飽和程度。

4. 預測夜間雲量——代表預期輻射冷卻率，可

使用霧形成前一日12 z 之雲量。

5. 風速——代表氣壓梯度之風力，可使用當日下午5時之風速，因它已摒除海陸風之效應。

6. 逆溫層高度——代表混合層可以到達之高度。

7. K指數或總指數——代表空氣層之垂直穩定度。

$$K\text{指數} = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})$$

$$\text{總指數} = (T_{850} - T_{500}) + (Td_{850} - T_{500})$$

T_{850} : 850mb溫度

Td_{850} :850mb露點溫度

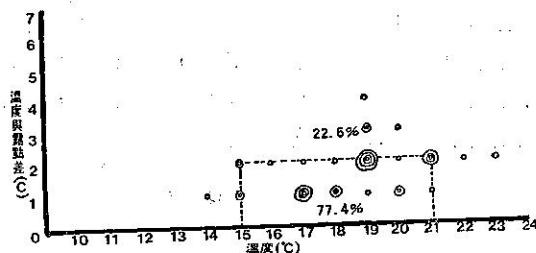
餘類推。

8. 相對濕度——代表空氣之飽和程度。

(二)客觀預報嘗試(以68年一至五月資料)

1. 利用溫度(T)與溫度露點差($T-T_d$)作相關預測圖(見圖十)，選用時間以形成霧之前夜12Z資料為準。

(1) 預測圖



圖十 松山與桃園霧之客觀預測圖(○表示次數)

由圖十顯示，成霧前日12Z之溫度為15°至21°C，溫度與露點差在1°~2°C時，霧可能發生之百分率為77.4%。

1. 預報準確率之校驗

為了驗證本法之準確性，特以67年一月至五月之抽樣資料共36次做校驗，其準確率如下：

		預 報		
		有	無	計
實	有	6(R1)	5	11
	無	3	22(R2)	25
際	計	9(C1)	27(C2)	36(T)

$$\text{準確率} = F/T = R1+R2/T = 28/36 = 77.7\%$$

F：預報正確之總次數

T：校驗之總次數

C1：預報有霧發生之次數

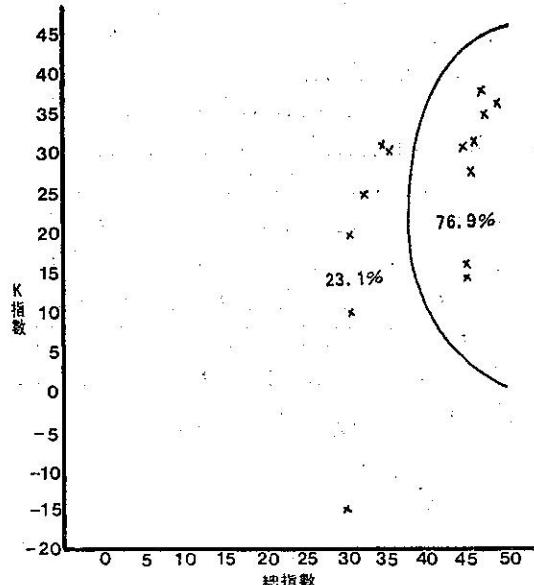
C2：預報無霧發生之次數

R1：實際有霧發生之次數

R2：實際無霧發生之次數

2. K指數與總指數作相關預測圖(見圖十一)，其選用時間以成霧前夜12Z之探空資料為準。

(1) 預測圖(選用鋒面霧時之資料)



圖十一 以K指數與總指數所作之松山與桃園霧之客觀預測圖

由圖十一顯示，當K指數為15~35，總指數為35~50時，次日霧發生之百分率為76.9%。

2. 預報考核校驗(以67年一至五月資料)：

		預 報		
		有	無	計
實	有	3	4	7
	無	3	6	9
際	計	6	10	16

$$\text{準確率} = F/T = R1+R2/T = 9/16 = 56.3\%$$

本法之準確率較低，可能因受到資料限制，故實用價值較差。

七、結論

本研究係先就霧形成原因給予有系統之分類與闡述。並以68年及74年松山與桃園兩地之實際天氣狀況統計分析，以進一步探究霧形成之氣象條件。

就學理而言，霧之形成基本要素為：(一)要有足夠有效的地面輻射使溫度易於降至露點，(二)要有微弱之風使飽和層能有足够的厚度，(三)要有相當高之

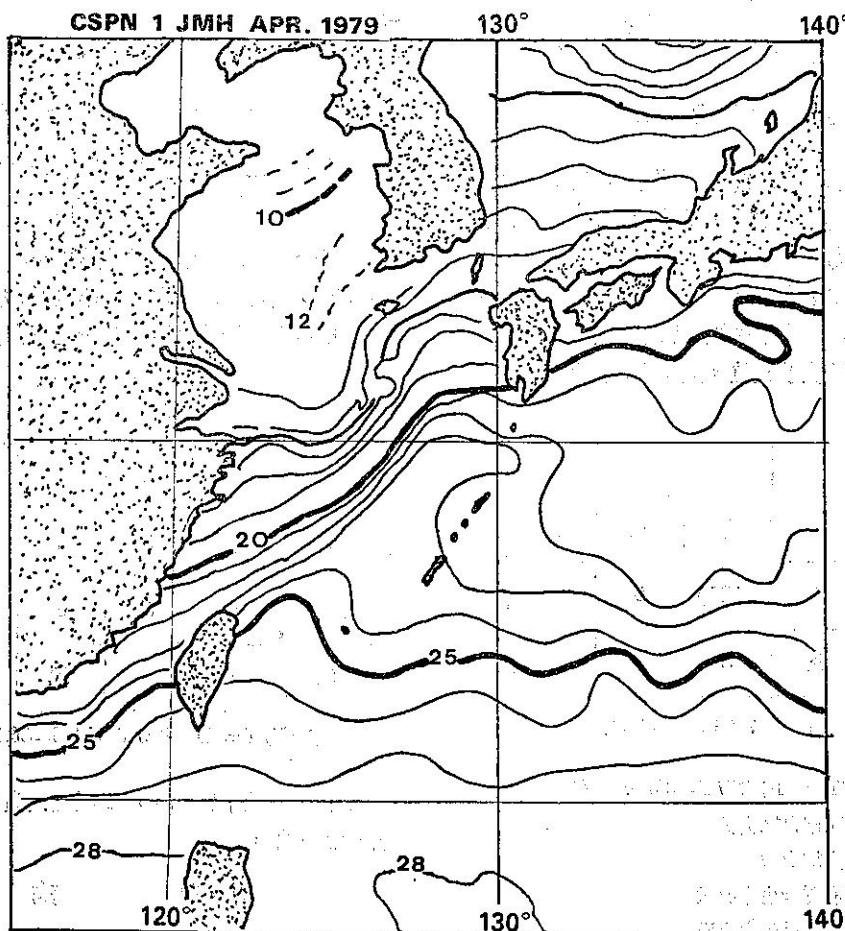
相對濕度，即空氣中須有足夠懸浮固體質點（此點通常不成問題）。

從68年一月至五月之統計表看，松山與桃園發生之霧以鋒面霧最多，佔51.7%，平流輻射霧次之，佔45.1%，而純輻射霧僅3.2%（因本省非屬大陸廣闊陸塊平地，地形複雜為其發生較少之主因）。

至於霧之出現時刻以05—07時為最多，蓋此時輻射冷卻最烈。而在日照增強後，約08—09時，霧開始消散。持續10小時以上者，68年在一月5日發生一次，使松山機場關閉並在高速公路發生三次撞車事件，主要就是因為霧太濃，使得能見度不足100公尺，影響視線至鉅。

就68年一月至五月及74年3月1、7及8日內發生之四種主要典型霧來看，霧之形成不外與輻射、平流、渦流混合和地形抬舉作用有關，尤其在冬春之交，東北季風由北方帶來新鮮冷空氣，而臺灣海峽又有東北—西南向暖海流（參考圖十二），使冷暖氣流互相平流滙聚，更易產生霧（或低層雲），此亦為「三義」多霧之主因。

最後作者以68年一月至五月資料繪製霧之客觀預報圖兩種；即圖十，以溫度與溫度露點差做成之關係圖，預報準確率可達77.7%，實用價值頗高；而圖十一，以K指數與總指數做成之關係圖，預報準確率僅達56.3%，故實用價值較差。



圖十二 68年4月份東南亞月平均海面溫度 (°C)

Fig. 12 Seasurface temperature of the South East

Asia in April of 1979

綜合言之，霧之種類很多，形成因素也各異，但均有其特殊性質，只要我們把握其中主要因素，

不難可予事前預測。尤其在今日科技文明進步神速之下，以人造衛星觀測海面上或陸地上之廣大霧區

(範圍廣大達1000公里以上)已被運用，此對於平流霧或海霧之預測當有裨益。其他若能發展客觀預報法，相信對於霧之預報準確率(尤其地方性霧)更能提高。

致謝

本文承中央氣象局劉淑珍，談惠殊二位小姐幫忙繕稿，方得以順利完成，謹此致謝。

參考文獻

- 戚啓勳(1965)：氣象學報第二卷三期，聯合氣象預報研究中心。
交通研究氣象小組——中國之氣候(1974)：交通部交通研究所、中央氣象局合印，P. 493。
- 民航局(1977)：桃園國際機場飛行天氣預報之研究，P. 97。
林政宏譯(1978)：新航空氣象學(上冊)，徐氏基金會，P. 297。
- Byers, H. R., (1959): General Meteorology, 1st ed., McGraw-Hill Co., New York, P. 540.
- Jiusto, J. E., (1981): Fog Structure-Clouds, edited by P. V. Hobbs and A. Deepak, Academic Press, pp. 187~239.

- Petterssen, S., (1958): Introduction to Meteorology 1st ed., McGraw-Hill Co., New York, P. 327.
Taylor, G. I., (1917): Quart. J. R. Met. &oc, 43, P. 241.
Willett, C., (1928): Fog and Haze, MWR, Vol. 56, pp. 435-467.

Analysis and Forecast of Fog Formation at Sung Shan and Taoyuan

Henry Fu-cheng Liu

Wei-min Chiang

ABSTRACT

Pragmatically, fog continues to pose serious economic or transportation industry problems and occasional disasters. Several segment of society are affected. Airlines, in particular, are adversely affected by fog, the world's annual loss due to disrupted schedules being estimated at over 100 million dollars. Sung Shan and Taoyuan are two of the important airports in Taiwan.

In this paper, the author try to analyze the weather situations of fog formation in these two sites. There are three types of fog usually occurred at Sung Shan and Taoyuan area, namely, radiation fog, advection-radiation fog and frontal fog. Among them, the frontal fog happen more frequently. The physical mechanisms of fog formation can be reduced four primary processes as follows:

- (i) cooling of air to its dewpoint;
- (ii) addition of water vapor to the air;
- (iii) vertical mixing of moist air parcels of different temperature;
- (iv) adequate cloud condensation nuclei (but not necessary).

Finally, we try to develop two objective forecast diagrams for the usefulness of fog formation prediction. The accuracy of the verification for those methods is satisfactory.