

中正國際機場冬季期間雲霧高之客觀預報

黃 拔 源

摘 要

本文利用中正機場 1979 至 1984 年，五年冬季地面觀測資料，以複線性迴歸建立雲霧之發生與否及雲霧高之預報方程，並以不同之計分方法來校驗預報方程之預報能力。結果顯示，由複迴歸建立之預報方程，對預報雲霧之是否發生與採用持續法很接近，對雲霧高 ≤ 1000 呎之預報幾無能力，但對雲霧高 > 1000 呎之預報準確度相當高。

一、前言

雲霧高為影響航空器起降之重要天氣現象之一，導致雲霧高變化的因素很多；各種不同尺度的大氣變化皆能使雲霧高改變，包括：綜觀尺度、中尺度……等，相當複雜。而目前我們所能得到的訊息，大部份來自於綜觀尺度，中尺度以下之大氣變化尚無法掌握，因此，欲在一定的時效內，預報準確的雲霧高相當困難。根據中正國際機場 1979 ~ 1983 年航空氣候資料，若將雲霧高分為五個類別（如表一），雲霧高 ≤ 100 呎，發生的頻率非常低，約只佔全年總時數的百分之零點一八，而雲霧高 ≥ 2000 呎的頻率，則佔百分之七十二以上，相形之下，低雲霧的頻率更加困難。

表一： 中正機場 1979-1983 年雲霧高之分類及其相對頻率

類別	雲霧高	相對頻率
01	≤ 100	0.0018
02	200 - 400	0.0276
03	500 - 900	0.0918
04	1000 - 1900	0.1537
05	≥ 2000	0.7251

一般雲霧高客觀預報方法約有下列幾種：

- (1) 單站統計法 (SINGSTAS; Single Station Statistics): 僅以一觀測站過去終端天氣的觀測資料，即測報因子 (Predictors) 及預報因子 (Predictand) 皆由觀測而得，利用

REEP (Regression Estimation of Event Probabilities) 建立預報方程。

- (2) 模式輸出統計法 (MOS; Model Output Statistics): 以數值預報模式預報所得之變數 (如各層之垂直速度、相對濕度…等)，做為測報因子，而預報因子由觀測取得，利用複線性迴歸 (Multiple Linear Regression) 發展 MOS 方程。
- (3) 單站及模式輸出統計法 (SINGMOS; Single Station and Model Output Statistics): 結合(1)(2)兩種方法而得，其測報因子包括地面觀測資料，數值模式預報及單站預報方程的預報。

其中(2)(3)兩種方法，需利用數值預報的產品。另一種方法與 SINGSTAT 相似稱為網站 (Network) 統計法，即除了終端觀測的資料，還包括周圍觀測站的資料，根據 Allen (1970 a) 與單站方程比較，網站方程的預報準確度較單站方程稍為高些，但增加的準確度有限，而發展網站方程需要相當龐大的資料及電算機計算時間。

本文收集中正機場自 1979 年 12 月至 1984 年 2 月，五年冬季每天逐時之地面觀測資料，包括風向、風速、盛行能見度、雲霧高、總雲量、溫度、露點溫度、相對濕度、海平面氣壓等，並將風場分解為東西向分量與南北向分量。我們將此五年資料分為兩組 1979 - 1980 至 1982 - 1983 及 1983 - 1984，並從

第一組的四年觀測資料中選取影響預報因子變異較大的變數做為測報因子，利用複線性迴歸，發展總雲量及雲幕高的預報方程，以預報在未來特定時間是否有雲幕發生（本文以預報總雲量 $\geq \frac{5}{8}$ 表示有雲幕發生，一般總雲量 $\geq \frac{5}{8}$ ，並不一定表示有雲幕，但根據中正機場五年冬季資料統計顯示，總雲量 $\geq \frac{5}{8}$ 時，百分之九十六以上是有雲幕發生），再以雲幕高預報方程預報雲幕高。其次，以不同的計分方法，利用第二組資料來校驗預報方程的預報能力。

二、預報方程之建立

本文以地方時 0800 L（以下所使用之時間皆為地方時）的觀測資料，發展 3 小時、9 小時、15 小時總雲量及雲幕高的預報方程，分別預報 1100 L、1700 L 及 2300 L 之總雲量及雲幕高。

表二：可能入選預報方程之變數時間總雲量之個別相關係數

	TC8	VIS8	UW8	VW8	WS8	TEMP8	TD8	RH8	PRES8
TC11	0.8160	-0.0822	0.2332	0.4823	0.3655	-0.2628	0.0471	0.1685	0.0926
TC17	0.6563	-0.1634	0.1363	0.3765	0.2698	-0.1821	0.1488	0.2188	-0.0634
TC23	0.4902	-0.1386	0.0880	0.2525	0.1783	-0.1455	0.1566	0.1616	0.1387

表三：可能入選預報方程之變數與各預報時間雲幕高之個別相關係數

	CH8	VIS8	TC8	UW8	VW8	WS8	TEMP8	TD8	RH8
CH11	0.6628	0.3066	-0.3670	0.0894	-0.2744	-0.0668	0.0256	-0.2911	0.2128
CH17	0.4168	0.1734	-0.2544	0.1298	-0.0802	0.0451	0.0268	-0.2117	0.1643
CH23	0.3782	0.2124	-0.2879	0.1364	-0.1100	0.0415	-0.0278	-0.2729	0.1997

表三為選取四年中 194 天 0800 L、1100 L、2300 L 有雲幕且雲幕高 ≤ 5000 呎時，可能入選發展雲幕高方程的變數及其與特定時間雲幕高之個別相關係數，表中 CH8、CH11、CH17、CH23 分別為 0800 L、1100 L、1700 L、2300 L 之雲幕高，其他變數與表二同。由表二及表三發現在我們所要預報時間的總雲量及雲幕高與其隨時間變化的自我相關性最大。

其次我們分別將表二及表三中之各個變數逐次加入個別相關係數最大的變數，求其複相關變數及消滅方差 (Reduction of Variance)，看其影響雲量及雲幕高之變數的程度，表四、表五及表六為逐次加入各變數後，分別與 3、9、15 小時後總雲量之複相關係數，消滅方差及消滅方差增量

表四：3 小時總雲量迴歸方程逐次加入各變數後之複相關係數及消滅方差

變數之加入	複相關係數	消滅方差	消滅方差增量
TC8	0.8160	0.6659	0.6659
VW8	0.8247	0.6801	0.0142
TEMP8	0.8288	0.6869	0.0068
UW8	0.8292	0.6876	0.0007
RH8	0.8301	0.6890	0.0014
VIS8	0.8315	0.6914	0.0024
TD8	0.8339	0.6954	0.0041
CH8	0.8343	0.6960	0.0060
PRES8	0.8355	0.6981	0.0021
WS8	0.8357	0.6984	0.0003

表五：9 小時總雲量迴歸方程逐次加入各變數後之複相關係數及消滅方差

變數之加入	複相關係數	消滅方差	消滅方差增量
TC8	0.6563	0.4307	0.4307
VW8	0.6723	0.4520	0.0213
RH8	0.6824	0.4657	0.0137
TEMP8	0.6848	0.4689	0.0032
UW8	0.6875	0.4727	0.0038
VIS8	0.6885	0.4740	0.0013
PRES8	0.6914	0.4781	0.0041
TD8	0.6927	0.4798	0.0017
CH8	0.6933	0.4806	0.0008
WS8	0.6943	0.4821	0.0015

表六：15 小時總雲量迴歸方程逐次加入各變數後之複相關係數及消滅方差

變數之加入	複相關係數	消滅方差	消滅方差增量
TC8	0.4902	0.2403	0.2403
VW8	0.5020	0.2520	0.0117
RH8	0.5109	0.2610	0.0090
TEMP8	0.5125	0.2627	0.0017
UW8	0.5151	0.2653	0.0026
VIS8	0.5171	0.2653	0.0026
PRES8	0.5173	0.2676	0.0002
TD8	0.5216	0.2721	0.0045
CH8	0.5217	0.2722	0.0001
WS8	0.5243	0.2749	0.0027

表七：3 小時雲幕高迴歸方程逐次加入各變數後之複迴歸係數及消滅方差

變數之加入	複相關係數	消滅方差	消滅方差增量
CH8	0.6628	0.4393	0.4393
VIS	0.6789	0.4609	0.0216
TD8	0.6891	0.4749	0.0140
VW8	0.6893	0.4877	0.0128
TEMP8	0.7034	0.4948	0.0071
RH8	0.7051	0.4972	0.0024
UW8	0.7072	0.5002	0.0030
TC8	0.7082	0.5015	0.0013
PRES8	0.7100	0.5041	0.0026
WS8	0.7108	0.5050	0.0009

表八：9 小時雲幕高迴歸方程逐次加入各變數後之複迴歸係數及消滅方差

變數之加入	複相關係數	消滅方差	消滅方差增量
CH8	0.4168	0.1737	0.1737
TD8	0.4368	0.1906	0.0169
VIS8	0.4470	0.1998	0.0092
UW8	0.4564	0.2083	0.0085
VW8	0.4567	0.2086	0.0003
TEMP8	0.4586	0.2103	0.0017
RH8	0.4596	0.2111	0.0008
TC8	0.4610	0.2125	0.0014
PRES8	0.4615	0.2130	0.0005
WS8	0.4616	0.2131	0.0001

表九：15 小時雲幕高迴歸方程逐次加入各變數後之複迴歸係數及消滅方差

變數之加入	複相關係數	消滅方差	消滅方差增量
CH8	0.3782	0.1430	0.1430
TD8	0.4156	0.1727	0.0297
VW8	0.4265	0.1818	0.0091
VIS8	0.4326	0.1871	0.0053
UW8	0.4354	0.1894	0.0025
TEMP8	0.4370	0.1910	0.0014
RH8	0.4381	0.1919	0.0009
TC8	0.4389	0.1926	0.0007
PRES8	0.4420	0.1954	0.0028
WS8	0.4426	0.1959	0.0005

我們在表四至表九中，選取消滅方差增量較大之前幾個變數，做為組成預報方程之變數所組成之迴歸方程如下：

表二列出可能入選發展總雲量預報方程的變數及其與各特定時間總雲量之個別相關係數，表中 TC 8 為 0800 L 之總雲量
WS 8 為 0800 L 之平均風速
UW 8 為 0800 L 之風場之東西方向分量
VW 8 為 0800 L 之風場之南北方向分量
VIS 8 為 0800 L 之盛行能見度
TEMP8 為 0800 L 之溫度
TD 8 為 0800 L 之露點溫度
RH 8 為 0800 L 之相對濕度
PRES8 為 0800 L 之海平面氣壓
TC 11 為 1100 L 之總雲量
TC 17 為 1700 L 之總雲量
TC 23 為 1700 L 之總雲量

表四、表五、表六、表七、表八、表九為逐次加入各變數後之複相關係數及消滅方差變化情形。由表四至表九中，每加入一變數，即能組成一複迴歸方程，隨着加入變數的增加，到達某一程度後，即使用更多的變數，其所組成的預報方程，對預報結果不會有顯着之改善。各表中在逐次加入各變數時，消滅方差增加稍大些，其後加入之各變數於消滅方差的增量增加都相當小。由這些表可以看出總雲量 15 小時及雲幕高 9 及 15 小時之預報其所使用的變數代表性相當粗略。

我們在表四至表九中，選取消滅方差增量較大之前幾個變數，做為組成預報方程之變數所組成之迴歸方程如下：

表四：3 小時總雲量預報方程
TC11 = 1.62 + 0.823TC8 + 0.052VW8 + 0.075TEMP8

表五：9 小時總雲量預報方程
TC17 = 1.67 + 0.626TC8 + 0.042VW8 + 1.7RH8

表六：15 小時總雲量預報方程
TC23 = 2.313 + 0.527TC8 + 0.017VW8 + 1.3RH8

表七：3 小時雲幕高預報方程
CH11 = 14.65 + 0.523CH8 + 0.314VIS8 - 0.468TD8 - 0.281VW8

表八：9 小時雲幕高預報方程
CH17 = 12.07 + 0.401CH8 - 0.238TD8 - 0.191VIS8 + 0.231UW8

表九：15 小時雲幕高預報方程
CH23 = 22.5 + 0.31CH8 - 0.68TD8 - 0.24VW8

上述之預報方程，雲幕高以一百呎為單位，能見度以一公里為單位。

三、校驗

本節利用與組成預報方程無關的另一組資料，即 1983 - 1984 中正機場冬季地面觀測資料，來校驗預報方程之預報能力，其中總雲量採用正確百分率，雲幕高採用正確百分率、Heidke 技術計分及 Allen 效用計分（見附錄），計算各預報方程及用持續法預報之得分，並予以比較。

表十：總雲量預報校驗得分表

預報方法	正確百分率		
	3 小時	9 小時	15 小時
預報方程	95.6	90.1	84.6
持續法	94.5	92.3	85.7

表十為由預報方程 I、II、III 及持續法，分別預報 3、9 及 15 小時後總雲量之正確百分率。結果顯示，預報方程所作之預報與持續法很接近，3 小時之預報，預報方程比持續法高些，9 及 15 小時之預報，持續法較高些，根據我們的直覺，9、15 小時之預報，由迴歸方程所作之預報應較持續法高，而計算結果却相反，由此可見，中正機場冬季期間總雲量的變化十分穩定。

表十一為由預報方程 IV、V、VI 及持續法預報雲量高的校驗，結果顯示，正確百分率及 Heidke 技術計分，預報方程皆優於持續法，而 Allen 效用計分，對於 9 及 15 小時之預報，持續法優於預報方

程此乃因 Allen 效用計分對於較低雲量的加權較重，由表中最後一行發現雲量在 1000 呎的預報，預報方程幾乎不具預報能力，故在 Allen 效用計分中，持續法較預報方程為高。由表十二至十四中，發現預報方程對於 1100 ~ 1900 呎之雲量高預報遠優於持續法，但對低於 1000 呎之雲量高預報而言，預報方程仍優於持續法。因此，在實際之作業上，本文建立之雲量高預報方程，對於低雲量之預報，只要經過一段時間的修正，亦應作為預報之參考。

表十一：雲量高預報校驗得分表

預報方法	Heidke 技術計分	Allen 效用計分	正確百分率	正確百分率 (≤ 1000 呎)
預報方程	0.395	3 小時之預報	59.1	21.1
持續法	0.389	48.43	55.1	57.9
預報方程	0.198	9 小時之預報	42.4	3.8
持續法	0.187	13.35	39.4	23.0
預報方程	0.263	15 小時之預報	51.5	5.3
持續法	0.201	13.45	42.4	42.1
		16.6		

表十二：3 小時雲量高預報與實際觀測校驗表，括弧內為持續法預報

預報觀測	≤ 200	300-500	600-1000	1100-1900	≥ 2000
≤ 200					
300-500		1(2)			
600-1000		(4)	1		
1100-1900		(4)	4(1)	1	(1)
≥ 2000	(1)		4(7)	1	
			1(9)	7	
			(1)	17(9)	6(5)
				5(6)	18(16)

表十三：9 小時雲量高與實際觀測校驗表，括弧內為持續法預報

預報觀測	≤ 200	300-500	600-1000	1100-1900	≥ 2000
≤ 200					
300-500		(2)			
600-1000		(2)	1		
1100-1900		(5)	1(3)	1	
≥ 2000	(1)		1(4)	8(3)	1(2)
			(6)	11(3)	2(2)
			(3)	14(7)	3(3)
				10(6)	13(13)

表十四：15 小時雲量高預報與實際觀測校驗表，括弧內為持續法預報

預報觀測	≤ 200	300-500	600-1000	1100-1900	≥ 2000
≤ 200					
300-500		(1)			
600-1000		(4)	1		
1100-1900		(2)	1(4)	1	1(1)
≥ 2000	(1)	(3)	(6)	4	(1)
			(6)	8(3)	3(3)
				14(5)	4(4)
				10(7)	19(15)

四、結論與建議

本文所使用之測報因子係只局限於終端觀測之氣象變數，又各變數與預報目標變數之相關性甚低，經由復迴歸所求出之消滅方差，除了 3 小時之預報外，即使將所有測報因子變數考慮進去，其對預報因子變異之影響，其代表性亦不很高，此顯示尚有甚多之變異為其它未知變數影響而產生。如預報方程 VI，能解釋 15 小時後雲量高變化的變數，CH8、TD8 及 VW8 能影響預報因子 CH23 的變異約只佔百分之十八，即使將其它的觀測變數加入，亦不過只增加百分之一點五，尚有約百分之八十

的變異為其它未知變數影響，這些其它的變數可能包括飽和水汽之收支，垂直速度……等，而這些變數在我們平時的觀測中無法得到，因此尚須藉數值預報產品方克有濟，此處不贅。

表十五為 Bocchieri 和 Glahn (1972) 利用觀測變數加上數值預報之產品後，所建立 5、11、17 小時雲量高預報方程之技術得分。顯示預報方程所作之預報皆優於持續法，尤其對於 17 小時的預報，預報方程遠優於持續法，因此，建議，在將來氣象局數值預報作業化，能提供更多之數值預報產品後，再行建立預報方程，相信必能提高其預報之準確率。

表十五：雲量高 5、11、17 小時之校驗得分 (Bocchieri and Glahn, 1972)

預報方法	Heidke 技術計分	Allen 效用計分	正確百分率	正確百分率 (1000 呎)
預報方程	0.421	521	78.0	45.2
持續法	0.416	476	77.6	40.1
預報方程	0.300	459	78.9	32.6
持續法	0.243	397	73.1	14.6
預報方程	0.284	428	84.4	56.3
持續法	0.126	358	72.4	10.6

附 錄

校驗計分之定義：

1) 正確百分率 (PC) 其計算由附表一

$$PC = \frac{RR}{TT} \times 100$$

TT 為總共預報次數，RR 為預報正確次數

$$RR = A + G + M + S + Y$$

附表一

觀測類別	預 報 類 別					總計
	1	2	3	4	5	
1	A	F	K	P	U	TA
2	B	G	L	Q	V	TB
3	C	H	M	R	W	TC
4	D	I	N	S	X	TD
5	E	J	O	T	Y	TE
總計	T1	T2	T3	T4	T5	TT

2) Heidke 技術計分 (SS)

$$SS = \frac{RR - PP}{TT - PP}$$

PP 表由碰運氣或根據持續、氣候而預報正確次數參考 Panofsky 和 Brier, 1958, 其計算為

$$PP = \frac{T1 \times TA + T2 \times TB + T3 \times TC + T4 \times TD + T5 \times TE}{TT}$$

3) Allen 效用計分 (AUS)

$$AUS = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 W_{ij} Z_{ij}$$

W 代表權重，如附表二
Z 為對應於附表一之值

附表二

觀測類別	預報類別				
	1	2	3	4	5
1	1.0	0.6	0.1	0	0
2	0.7	0.4	0.4	0.05	0
3	0.2	0.7	0.7	0.2	0
4	0	0.3	0.3	0.45	0.1
5	0	0.05	0.1	0.1	0.15

參考文獻

1. 中正國際機場航空氣候資料 1979 ~ 1983 年：民航局台北氣象中心。

2. Allen, R.A., 1970a : Single Station Prediction of Ceiling and Visibility, Report No. FAA RD - 70 - 24 Federal Aviation Administration Washington, D.C., 48PP.

3. Bocchieri, J.R. and Glahn, H.R., 1968 Use of Model Output Statistics in Predicting Ceiling Height, Mon. Wea. Rev., 100, 8879.

4. Panofsky, H.A. and Brier, G.W., 1958 Some Applications of Statistical Meteorology, College of Mineral Industries, The Pennsylvania State University, University Park, Pa.

The Objective Prediction of Ceiling Heights for C.K.S. Airport
in the Winter Season

Par-Yuan Hwang

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop an objective technique to the prediction of occurrence of ceiling and ceiling heights of the C.K.S. Airport in winter seasons. Five years surface observational data of winter seasons were used. These data were divided into two groups. The first group consists of four winters from 1979 to 1982. This was used to generate the multiple linear regression equations. The second group consists of the winter in 1983. This was used as the independent sample to verify the derived equations. For the predictions of occurrence of ceiling, the results of derived equations almost equal to that of the persistence method. Nevertheless, the derived equations of ceiling height tend to have poor results for ceiling heights equal to or lower than 1000ft, but have good results for ceiling heights higher than 1000ft.