

中正國際機場能見度時序預報模式之研究

蒲金標

李定國

民用航空局

摘要

本文以中正國際機場三年觀測資料(1980-1981)，依時間序列分析法，分析影響該機場能見度的相關因子，結果顯示地面風速，溫度露點差和能見度本身與能見度相關性最大。預報早晨七時能見度，可參考早晨四至六時之溫度露點差，或前十六小時內地面風速，或前八小時內能見度等變化情形。早晨七時能見度自我時序複迴歸模式，可提高預報惡劣能見度或濃霧之能力。

對於一物理量作一等時距的連續測量，其測量所得的數列，叫做時間序列(Time Series)，或簡稱為時序。時間序列的分析法一般可分為兩類：(一)頻率域分析(Analysis in frequency domain)，又叫做波譜分析(Spectral Analysis)，係將時間序列的變化解為不同頻率變化的和。(二)時間域分析(Analysis in time domain)。有很多學者以這種時間序列分析法，對不同的時間序列建立預報模式(Box and Jenkins, 1976; Anderson, 1977; 吳、潘 1982)。

在氣象方面，國內亦有許多學者利用時間序列分析法加以研究，如氣溫和降水(胡，1977)，空氣污染(梁和蔡，1980)及大氣擴散(梁、張，1983)。均有很好之成效。惟以此方法預測降水量，其結果不很理想，其主要原因在於降水係屬於不連續性之資料所致。

導致中正國際機場惡劣能見度之天氣現象甚多，如霧、雷雨或豪雨等。惟因濃霧發生，造成惡劣能見度持續時間常較長，對民航作業影響最大。為提高惡劣能見度之預報準確性，本文嘗試以時間序列分析法，分析中正國際機場1980~1981年能見度時序相關，並建立能見度時序複迴歸模式。

二、相關與迴歸分析理論

迴歸分析是以一個或多個自變數描述、預測或估計某一特定因變數的分析，用途非常廣泛。相關

(Correlation) 則在表現變數間是否有關係，以及關係的密切程度與方向，故相關分析(Analysis of Correlation)主要是討論相關的方向與大小。

相關可分為因果相關(Causation)與共變(Covariation)。只計算一個自變數與因變數的相關稱為簡單相關；計算多個自變數與因變數的相關稱為複相關或多元相關(Multiple Correlation)。凡兩變數的變動有直線關係者，即自變數X變動時，因變數Y作比例的或近於比例的變動者，是為線性相關(Linear Correlation)；若X與Y的關係在某一段有比例的變動，到某一數值後，Y的變動不與X成直線變動，此為非線性相關。X與Y兩變數的變動亦步亦趨，相關程度最高，相關係數為+1或-1，稱為完全相關(Perfect Correlation)，即有函數關係(Functional Relationship)者；若X與Y兩變數各自獨立，毫無關係，相關係數為0，稱為零相關(Zero Correlation)；介於完全相關與零相關之間，一般相關皆屬此者稱為統計關係(Statistical Relationship)。同樣地，迴歸也可分為線性迴歸與非線性迴歸，簡單迴歸與複迴歸(多元迴歸，Multiple Regression)等。

線性迴歸乃是一組測量值 y_t 和另一組 x_t 間之函數關係，假設測量在不同溫度 x_t ($t=1, 2, \dots, N$)下，氣體的黏度，可以得到 \hat{y}_t 對 \hat{x}_t 的關係，描述兩者間的關係如下式：

$$\hat{y}_t = \beta_0 + \beta_1 \hat{x}_t + \epsilon_t \quad t = 1, 2, \dots, N$$

上式表示一條直線，以 β_0 為截距，以 β_1 為斜率。如果令

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

$$\text{及 } \hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{t=1}^N (\hat{y}_t - \bar{y})(\hat{x}_t - \bar{x})}{\sum_{t=1}^N (\hat{x}_t - \bar{x})^2}$$

將會使得誤差項 ε_t 的平方和最小，也就是說此直線最足以代表兩組資料之關係。上式中，

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x_t \text{ 以及 } \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N y_t \text{。如此求得的 } \hat{\beta}_0$$

和 $\hat{\beta}_1$ 稱為 β_0 和 β_1 的最小平方估計值，因為它們使 ε_t 的平方和為最小。在迴歸定律中，在變數頂上的符號如 $\hat{\beta}$ ，是用來表示樣品化或估計值以區別群數或真實值。由於此種區分在以後的運算中是不必要的，為了簡化起見我們將省略這頂上符號。

如果我們觀測值減去平均值或中間值來調整資料，也就是以 $\hat{y}_t - \bar{y}$ 代替 \hat{y}_t 和 $\hat{x}_t - \bar{x}$ 代替 \hat{x}_t ，然後將新變數以 y_t 和 x_t 表示，那麼一階迴歸可表示如下：

$$y_t = \beta_1 x_t + \varepsilon_t, \quad t = 1, 2, \dots, N$$

$$\varepsilon_t \sim \text{NID}(0, \sigma_\varepsilon^2) \dots \dots \dots (1)$$

NID表示常態獨立分佈 (Normally Independent Distribution)。而 β_1 和 σ_ε^2 的最小平方估計值為

$$\beta_1 = \frac{\sum_{t=1}^N y_t x_t}{\sum_{t=1}^N x_t^2}$$

及

$$\sigma_\varepsilon^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - \beta_1 x_t)^2$$

要注意在迴歸公式(1)中是如何表示 y_t 對 x_t 的關係。我們可以將 y_t 分解為兩項：一項完全與 x_t 有關，就是 $\beta_1 x_t$ ，以及另一項與 x_t 無關，即 ε_t 。第一部份之值如何，祇要知道 x_t 就可以完全求出，但除非我們知道 x_t 與 y_t ，才可以得知第二部份。如果 x_t 和 y_t 都知道了，那麼 ε_t 可由下式簡單計算求得。

$$\varepsilon_t = y_t - \beta_1 x_t$$

當 y_t 不確定時， ε_t 是一個平均值為0和變異數 σ_ε^2 的隨機變數，我們假設不同的 t 時， ε_t 是常態獨立分佈。

迴歸公式(1)表示 y_t 對 x_t 的關係，可由 x_t 來預測 y_t 的值，假設 y_t 和 x_t 之間有因果關係。如果預測值以 \hat{y}_t 表示，很明顯地，

$$\hat{y}_t = \beta_1 x_t$$

然而， y_t 的真實值與預測值有一個未知的差 ε_t 而非 $\beta_1 x_t$ 。雖然我們不能敘述出 y_t 的確值但可對 y_t 作一統計的敘述，乃是用預測值和 $\varepsilon_t \sim \text{NID}(0, \sigma_\varepsilon^2)$ 的事實。因為真實值是

$$y_t = \beta_1 x_t + \varepsilon_t = \hat{y}_t + \varepsilon_t$$

舉例來說，真實值95%的概率極限是

$$\hat{y}_t \pm 1.96 \sigma_\varepsilon$$

也就是 $\beta_1 x_t \pm 1.96 \sigma_\varepsilon$ 。

換句話說，真實值 y_t 有 95% 的可信度會落在 $\hat{y}_t - 1.96 \sigma_\varepsilon$ 和 $\hat{y}_t + 1.96 \sigma_\varepsilon$ 之間。

氣象上所觀測的數據序列，通常依時間排列，此為本文所稱的時序。時序研究，主要在於其對於觀測值前後相關性的重視，雖然在某些現象中觀測值在統計上可能是獨立的，但在大多數的時序中它們是相關的。

時序資料的相關性，亦可採用迴歸模式來代表，它係將現在觀測值當作兩個不相關之和，一部分根據前次觀測值決定，另一部分是一種獨立序列。如果 x_t 代表在時間 t 時之觀測值，則最簡單模式為：

$$x_t = \phi x_{t-1} + a_t$$

式中 ϕ 是一個常數，而 a_t 乃是一組不相關序列或衝擊 (Shock)。由於這種模式代表相關性或迴歸性，故吾人稱之為自我迴歸模式 (Autoregressive Model)。此模式在時間 $t-1$ 時，乃是一般的簡單性迴歸模式。

簡單迴歸模式祇有 x_t 一個自變數，而複迴歸則有幾個獨立變數。令 $x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt}$ 為經減去平均值後各觀測值之調整值，則複迴歸方程乃是：

$$y_t = \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \dots + \beta_n x_{nt} + \varepsilon_t \dots (2)$$

$$t = 1, 2, \dots, N$$

$$\varepsilon_t \sim \text{NID}(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

如果 n 組觀測值 ($y_t, x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt}$), $t=1, 2, \dots, N$ 為已知值，那麼 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 與 σ_ε^2 之最小平方估計值最好以向量來表示，即：

$$\underline{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \underline{x} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{n1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1N} & x_{2N} & \dots & x_{nN} \end{bmatrix} \quad \underline{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix}$$

於是最小平方估計值為

$$\underline{\beta} = (\underline{x}' \underline{x})^{-1} \underline{x}' \underline{y}$$

$$\text{及 } \sigma_\varepsilon^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - \beta_1 x_{1t} - \dots - \beta_n x_{nt})^2$$

(2) 式將 y_t 分解為 $\beta_i x_{it}$, $i=1, 2, \dots, n$ 對 x_{it} 而變之 n 個部分, 以及與全部 x_{it} 無關之 ϵ_t 部分。如 $(y_t, x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})$ $t=1, 2, \dots, n$ 為已知, 並將以上求得之最小平方估計值當作真實值, 則 ϵ_t 之計算公式為:

$$\epsilon_t = y_t - \beta_1 x_{1t} - \beta_2 x_{2t} - \dots - \beta_n x_{nt}$$

同樣地, 真實值 95% 之概率極限是 $y_t \pm 1.96 \sigma_{\epsilon_t}$

或 $\beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \dots + \beta_n x_{nt} \pm 1.96 \sigma_{\epsilon_t}$

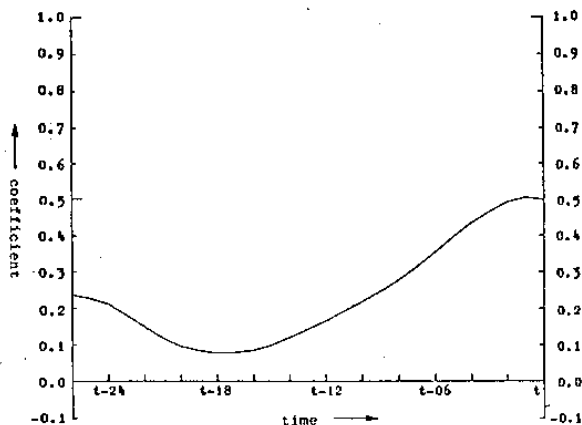
值得注意的是當 $n=2$ 時, 計算仍甚方便, 故為一特例:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{21} \\ X_{12} & X_{22} \\ \vdots & \vdots \\ X_{1N} & X_{2N} \end{bmatrix} \quad \tilde{X} = \begin{bmatrix} \sum_{t=1}^N X_{1t}^2 & \sum_{t=1}^N X_{1t} X_{2t} \\ \sum_{t=1}^N X_{1t} X_{2t} & \sum_{t=1}^N X_{2t}^2 \end{bmatrix}$$

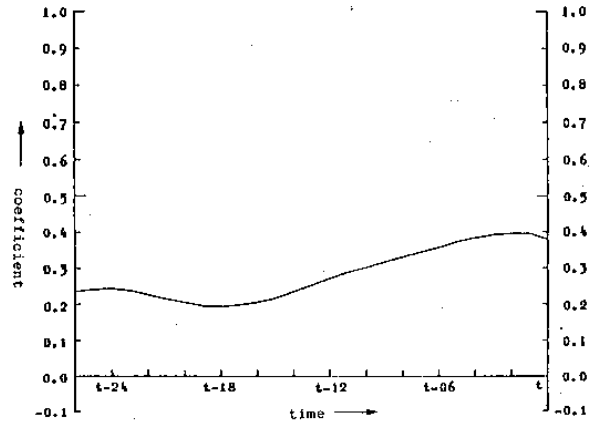
$$X'Y = \begin{bmatrix} \sum_{t=1}^N X_{1t} Y_t \\ \sum_{t=1}^N X_{2t} Y_t \end{bmatrix}$$

三、能見度非定時時序相關分析

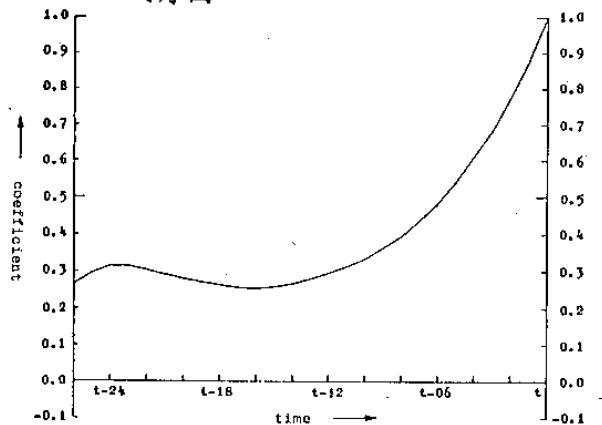
本節嘗試分析民國 69 年至 71 年三年間中正國際機場任一整時 t 水平能見度值與其前逐時 $t-1$, $t-2$, $t-3$, ... 之溫度露點差、地面風速、能見度本身、總雲量、雲幕高、氣溫、露點及氣壓等八項資料之相關性。結果顯示相關程度較高, 相關係數大於 0.3 者, 僅有溫度露點差、地面風速及能見度本身等三項, 值得選做能見度之預報因子, 其相關時序圖分別如圖一, 二及三。其他要素與能見度之相關程度低, 其相關係數皆在絕對值 0.2 以下。



圖一 非定時能見度與其前逐時溫度露點差相關時序圖



圖二 非定時能見度與其前逐時地面風速相關時序圖



圖三 非定時能見度自我相關時序圖

溫度露點差、地面風速及能見度本身等三個預報因子, 其物理意義如下:

1 溫度露點差

圖一 中顯示, 現在能見度與其前七個小時逐時溫度露點差之相關係數皆大於 0.32, 尤其是前一小時之相關係數高達 0.50。此外, 兩者有日週期性, 其正相關表示溫度露點差愈大, 即相對濕度愈小, 空氣愈乾燥, 能見度愈良好。反之, 溫度露點差愈小, 空氣愈潮濕, 能見度較差。

2 地面風速

由圖二 知, 現在能見度與其前十個小時之地面風速之相關係數皆大於 0.30, 尤其是其前五個小時之相關係數更大於 0.37。兩者之正相關表示地面風速愈大, 則能見度愈好, 而能見度不良時, 通常地面風速比較微弱, 或因受其他天氣現象影響所致, 一般人均有此種觀念或經驗。

3 能見度自我相關

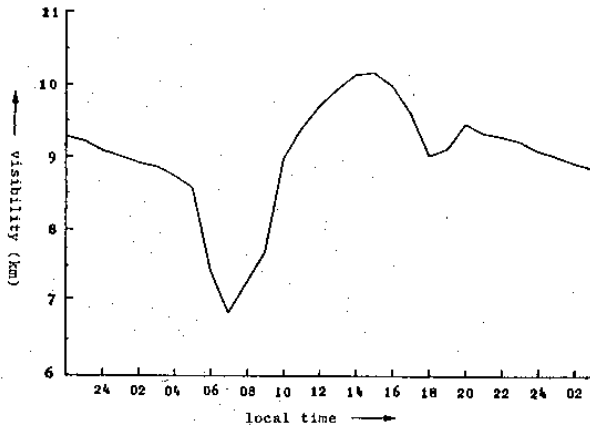
由圖三 知, 現在能見度與其前十一個小時內能見度之相關係數皆大於 0.31, 尤其是其前

五個小時內之相關係數皆高達 0.55 以上，並且有陡升之現象，與其前一小時之相關係數已高達 0.88。此外，兩者有日週期性相關。

比較所選三個預報因子與現在能見度之相關性，可以知道能見度值之變化與其本身之相關性最高。如以任一相關之較高相關係數值做比較，能見度自我之相關時間要較溫度露點差與地面風速為長。由以上可知，在航空氣象上從事短時間能見度預報，必須將能見度之時序值列為重要之預報因子之一，方能提升預報之準確程度。

四、能見度定時時序相關分析

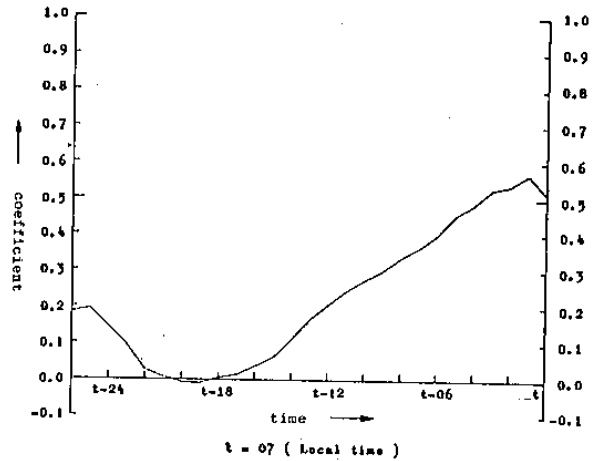
中正國際機場能見度有明顯之日變化情形，而且以早晨七時為最低。如圖四。



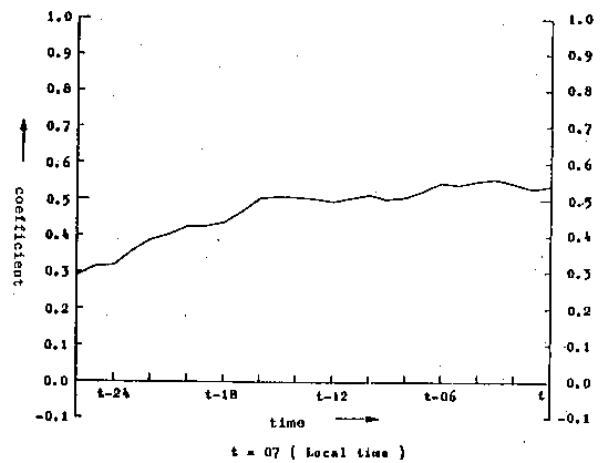
圖四 中正國際機場能見度日變化圖

我們即嘗試以相同時間之資料，分析早晨七時能見度值與其前之逐時溫度露點差、地面風速、能見度本身、總雲量、雲幕高、氣溫、露點及氣壓八項相同資料之相關性，此即本節所稱之定時時序相關分析。結果顯示，溫度露點差、地面風速及能見度本身之相關程度比前節之非定時時序情形有顯著之提高，相關時間亦有拉長之現象，其個別之相關時序圖分別如附圖五，六及七。當然，其他五種要素項與早晨七時能見度之相關程度亦有提高，並以露點之相關程度最高，其相關係數為 -0.25，所餘四項之相關係數之絕對值均小於 0.19。就氣象統計之觀點言，露點等五項要素與晨七時能見度之相關係數仍偏小，可以不列為預報因子。因為預報因子太多，除實作上不方便外，另就物理現象言太多太長之資料變動可能性較大，亦將造成模擬之困難。至此，則能見度之重要預報因子，仍可確定以溫度露點差、地面風速及能見度本身三項即可。

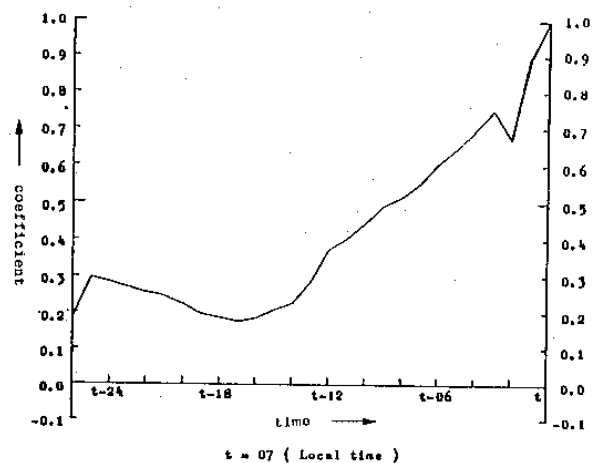
現就定時能見度與所選三預報因子之相關性與非定時情形討論比較如下：



圖五 七時能見度與其前逐時溫度露點差相關時序圖



圖六 七時能見度與其前逐時地面風速相關時序圖



圖七 七時能見度與其前逐時能見度自我相關時序圖

1. 溫度露點差

由圖五知，早晨七時能見度與其前九個小時逐時溫度露點差之相關係數皆大於 0.30，比

非定時時序資料之相關時間拉長近二小時。早晨七時能見度與早晨四至六時溫度露點差之相關係數皆高達 0.53 以上，顯示相關程度很大。換言之，早晨四時起溫度露點差大，或稱相對濕度小，表空氣乾燥，至七時之能見度較好。反之，則表空氣潮濕，至早晨七時能見度轉劣，有成霧之可能。此外，兩者有很明顯的日週期性相關。

2 地面風速

由圖六知，早晨七時能見度與其前廿五個小時之逐時地面風速之相關係數皆大於 0.31，比非定時時序資料之相關時間拉長近十五個小時。而自前一天下午三時起至早晨六時之十六個小時相關係數皆高達 0.50 以上，顯示前一天下午三時起至早晨六時止地面風速與早晨七時能見度之相關程度很大。換言之，如果今天下午三時起地面風速大，則翌日早晨七時能見度良好機會很大。反之，則翌日早晨之能見度不良，或有成霧可能。

3 能見度本身

由圖七知，早晨七時之能見度與其前十二個小時內能見度之相關係數皆大於 0.37，相關係數 0.32 之總時間比非定時自我相關情形拉長近一個小時。而且，其前八個小時之相關係數皆大於 0.51，其中晨七時與六時能見度自我相關係數更高達 0.89。換言之，自前一天晚上十一時起，如果能見度如果降低，早晨七時出現霧之機率將增大，反之則小。但早晨五時兩者相關有突然降低的現象，有待進一步研究。此外，兩者有明顯的日週期性相關。

綜合以上三種定時相關情形，我們可以設計出預報機場早晨七時能見度之模式。此外，航空氣象作業上，機場預報之發布係每隔六小時一次，每次預報涵蓋時間為廿四小時，當然發布時間係根據格林威治時間做全球性之統一，則根據時差之換算，台灣地區之發布時間分別為地方時零時、六時、十二時及十八時。則設計出之模式可於前一天廿三時至次日零時之間處理，亦即可選定時間做次晨七時定時能見度預報，增進使用效益。在此必須一提的是，與晨七時能見度最相關之能見度本身，其較大程度之自我相關係起自前一天之廿三時，適值航空氣象機場預報作業之決定時刻 (Decisionmaking Hour)，是本模式於設計上及運用上有利之處。

五、能見度定時時序複迴歸模式

1 能見度與溫度露點差之定時時序複迴歸模式

我們首先嘗試以中正國際機場晨間七時之能見度值，分別與晨間四至六時，三至六時，二至六時及一至六時之溫度露點差值，建立得四個複迴歸模式經編號如下：

$$\text{MODEL [I]} \text{ VS}_7 = 3340 + 867 \text{TD}_6 + 226 \text{TD}_5 + 183 \text{TD}_4$$

$$\text{MODEL [II]} \text{ VS}_7 = 3415 + 898 \text{TD}_6 + 255 \text{TD}_5 + 399 \text{TD}_4 - 294 \text{TD}_3$$

$$\text{MODEL [III]} \text{ VS}_7 = 3442 + 898 \text{TD}_6 + 259 \text{TD}_5 + 410 \text{TD}_4 - 201 \text{TD}_3 - 113 \text{TD}_2$$

$$\text{MODEL [IV]} \text{ VS}_7 = 3549 + 917 \text{TD}_6 + 239 \text{TD}_5 + 414 \text{TD}_4 - 145 \text{TD}_3 + 161 \text{TD}_2 - 353 \text{TD}_1$$

上列各模式中 VS_7 代表早晨七時能見度之公尺數值，而 $\text{TD}_1, \text{TD}_2, \text{TD}_3, \text{TD}_4, \text{TD}_5$ 及 TD_6 則分別代表晨間一至六時之溫度露點差攝氏度數。

中正國際機場早晨七時能見度觀測值平均為 6851 公尺，其觀測標準差 (Standard Deviation of Observations; σ_0) 為 3972 公尺。上列各迴歸模式預報標準差 (Standard Deviation of Forecasts; σ_f) 亦分別求出。為校驗模式之準確性，我們以觀測標準差減去預測標準差，其值再除以觀測標準差，最後再乘以百分點，即得模式之預報效益 (Forecast Efficiency; Cf)。
預報效益百分比愈大，其預報準確性愈高，反之，其預報準確性愈低。預報效益公式如下：

$$\text{Cf} = \frac{\text{SDO} - \text{SDF}}{\text{SDO}} \times 100\%$$

上列四種模式之 σ_0, σ_f 及 Cf 分別如表一。

表一 能見度與 (TT-TD) 定時時序複迴歸模式之預報效益

| 模 式 | 預報值標準差 σ_f (公尺) | $\sigma_0 - \sigma_f$ (公尺) | 預報效益 Cf (%) |
|-------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| MODEL [I] | 3255 | 717 | 18.05 |
| MODEL [II] | 3246 | 726 | 18.27 |
| MODEL [III] | 3245 | 727 | 18.30 |
| MODEL [IV] | 3234 | 738 | 18.58 |

MODEL [I] 之預報效益提高了 18.05%，由式中之全部“+”號可知，早晨四至六時之溫度露點差愈大，早晨七時之能見度愈好，反之則愈差。MODEL [II]，[III] 及 [IV] 式中之“-”號項，表示該時間之溫度露點差愈大，則早晨七時之能見度反而愈差，又由於三式中早晨三時溫度露點差項之係數均為負值，而四至六時均為正值，則吾人幾可言早晨三時溫度露點差先較大，而後連續三小時相對濕度升高，則至七時能見度將變差或轉劣。再由 MODEL [I] 至 [IV] 逐步增加一小時之溫度露點差資料來看，其預報效益並無顯著提高。此外，各模式均有其預報下限，其中 MODEL [I] 更高達 3340 公尺對於霧之預報參考性甚小。雖如此，我們仍可由模式建立之嘗試知，選擇早晨四至六時之溫度露點差做預報因子應屬足矣。

2. 能見度與地面風速定時時序複迴歸模式

對於預報因子之一之地面風速，我們同樣地試行建立得四個模式亦分別編號如下：

$$\text{MODEL [V]} \quad VS_7 = 3588 + 70 WS_6 + 89 WS_5 + 188 WS_4$$

$$\text{MODEL [VI]} \quad VS_7 = 3546 + 60 WS_6 + 75 WS_5 + 93 WS_4 + 125 WS_3$$

$$\text{MODEL [VII]} \quad VS_7 = 3491 + 57 WS_6 + 70 WS_5 + 76 WS_4 + 64 WS_3 + 92 WS_2$$

$$\text{MODEL [VIII]} \quad VS_7 = 3405 + 56 WS_6 + 63 WS_5 + 67 WS_4 + 63 WS_3 - 34 WS_2 + 153 WS_1$$

上列模式中 VS_7 仍表晨七時能見度之公尺數，而 $WS_1, WS_2, WS_3, WS_4, WS_5$ 及 WS_6 則分別代表晨間一至六時地面風速之每時溼值。

經由計算，我們同樣地可得模式預報效益如表二。

表二 能見度與地面風速定時時序複迴歸模式之預報效益

| 模 式 | 預報值標準差 σ_t (公尺) | $\sigma_0 - \sigma_t$ (公尺) | 預報效益 Cf (%) |
|--------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| MODEL [V] | 3278 | 694 | 17.47 |
| MODEL [VI] | 3264 | 708 | 17.82 |
| MODEL [VII] | 3255 | 717 | 18.05 |
| MODEL [VIII] | 3231 | 741 | 18.66 |

由 MODEL [V] 可知，早晨四至六時之地面風

速愈大，則早晨七時之能見度愈好，反之則愈差。又上列四種模式與前節者相同，有其相當高之預報下限，即有無法預測濃霧時惡劣能見度之缺點。

3. 能見度定時時序自我複迴歸模式

我們試行建立四個能見度定時時序自我複迴歸模式如下：

$$\begin{aligned} \text{MODEL [IX]} \quad VS_7 &= -280 + 0.83 VS_6 + 0.11 VS_5 \\ \text{MODEL [X]} \quad VS_7 &= -92 + 0.83 VS_6 + 0.21 VS_5 - 0.12 VS_4 \end{aligned}$$

$$\text{MODEL [XI]} \quad VS_7 = -91 + 0.83 VS_6 + 0.21 VS_5 - 0.09 VS_4 - 0.03 VS_3$$

$$\begin{aligned} \text{MODEL [XII]} \quad VS_7 &= -274 + 0.83 VS_6 + 0.21 VS_5 - 0.09 VS_4 - 0.06 VS_3 \\ &+ 0.05 VS_2 \end{aligned}$$

上列各模式中之 VS_1, VS_2, VS_3, VS_4 及 VS_5 分別代表早晨五時以外一至六時之能見度公尺數，五時之權重係數幾近於零，故未列出。

MODEL [IX] 至 [XII] 之預報效益如表三：

表三 能見度定時時序自我複迴歸模式之預報效益

| 模式編號 | 預報標準差 σ_t (公尺) | $\sigma_0 - \sigma_t$ (公尺) | 預報效益 Cf (%) |
|-------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|
| MODEL [IX] | 1775 | 2197 | 55.31 |
| MODEL [X] | 1769 | 2203 | 55.46 |
| MODEL [XI] | 1769 | 2203 | 55.46 |
| MODEL [XII] | 1767 | 2205 | 55.51 |

由上表可知，於能見度自我迴歸模式中，增加早晨一至三時之資料，其預報效益與前二節嘗試結果同樣地未顯著提高。又由四個能見度自我迴歸模式知，其預報之下限均可為零，亦即是有預報濃霧之能力。

如將以上三組模式預報效益加以比較可知，應用能見度定時時序自我迴歸模式做預報，其預報效益均要比其他二組中任一模式高出三倍多。

4. 能見度與溫度露點差、地面風速和能見度本身等多項定時時序複迴歸模式

我們以中正機場早晨七時能見度，與其前之四、五及六時之溫度露點差、地面風速、能見度本身等多項因子組合成定時時序複迴歸模式，如下：

$$\begin{aligned} \text{MODEL [XIII]} \text{ VS}_7 = & -463 + 0.74 \text{ VS}_6 \\ & + 0.11 \text{ VS}_4 + 58 \text{ WS}_6 \\ & - 3 \text{ WS}_5 + 193 \text{ TD}_6 \\ & + 72 \text{ TD}_5 - 144 \text{ TD}_4 \end{aligned}$$

上列模式中 VS_4 , VS_6 及 VS_7 分別代表早晨四、六及七時之能見度公尺數。同樣地，五時之能見度之權重係數幾近於零，故未列於式中。 WS_4 , WS_5 及 WS_6 分別代表早晨四至六時之地面風速每時湮值。 TD_4 , TD_5 及 TD_6 則分別代表四至六時溫度露點差之攝氏度數。

該模式之預報標準差 σ_1 為 1735 公尺，比能見度觀測值之標準差 σ_0 3972 公尺減少了 2237 公尺，其預報效益提高了 56.32%。如與前述四個定時能見度自我迴歸模式比較，其預報效益仍有提高現象，此乃因為增加考慮早晨四至六時溫度露點差及地面風速重要相關因子之結果。

六、結論

由本文能見度時序相關性及模式預報效益等分析，可獲得下列七點結論和建議：

1. 在機場能見度預報上，以前數小時內溫度露點差、地面風速和能見度本身等變化，為最重要的參考因素，尤其以能見度自我相關為最好。
2. 預報早晨七時能見度，可參考早晨四至六時之溫度露點差，或前十六小時內地面風速，或前八小時內之能見度等變化情形。該等時間內溫度露點差、地面風速或能見度愈小，中正國際機場早晨七時能見度愈差。反之，能見度愈好。能見度與濃霧發生有密切的關係，因此預報早晨濃霧，仍可參考上列因子等之變化情形。
3. 能見度定時時序自我複迴歸模式，其預報效益最佳，該模式可提高預報惡劣能見度或濃霧發生之能力。
4. 能見度與溫度露點差相關及能見度自我相關具有日週期性相關。
5. 能見度定時時序自我複迴歸模式，若再依照季節或月份或依照物理特性做分類，分別建立模式，相信其預報效益更能提高。
6. 預報模式本身可延伸到不連續任何小時的預報。
7. 本研究可進一步探討展期預報，只要將現在模式做一些必要的修正。

七、致謝

本文在民航局「中正國際機場濃霧時間序列預報之研究」專題研究資助，及中央研究院物理研究所梁文傑博士之指導下得以完成，謹表謝忱。

參考文獻

- (1) 胡仲英，1977：應用 ARIMA 模式對台北市月平均溫度與總降水量的分析與預測。氣象學報第 23 卷第 3 期。
- (2) 梁文傑、蔡豐智，1980：台北市二氧化硫時序預報模式之研究。中央研究院物理研究所第十卷集刊。
- (3) 吳賢銘、潘迪特原著。劉天一、黃孝平譯者，1982：時間數列與系統分析—動態數據系統一。中央圖書出版社。
- (4) 梁文傑、張瑞宗，1983：大氣擴散參數時間序列預報之研究。中央研究院物理研究所集刊，13 卷 P 183 ~ 214。
- (5) Box G. E. P. and Jenkins G. M. 1976: Time Series Analysis, Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco. 575pp.
- (6) Anderson, O. D., 1977: Time Series Analysis and Forecasting. Department of Computer Sciences. Lanchester Polytechnics.

A Study of Time Series Forecast Models for the Visibility at CKS International Airport

Chin-Piao Pu T. K. Lee
Civil Aeronautic Administration

ABSTRACT

The correlations between weather factors and visibility are analyzed utilizing the observation data during the period of Jan. 01, 1980 - Dec. 31, 1981 at CKS International Airport. The results show that the surface wind speeds, the dew point temperature depressions and visibilities are well correlated and the autocorrelation of visibility is the best.

The forecast models for visibility at 7 a.m. are built using different predictors. According to the correlation analysis the useful predictors are dew point temperature depressions during 4 - 6 a.m., the surface wind speeds during past 16 hours or visibilities during past 8 hours. The standard deviation of forecast errors can be reduced to 1735m and the forecast efficiency coefficient can be as high as 0.563 (The forecast is perfect if forecast efficiency coefficient is equal to 1). The forecast models are very helpful for operation.