

氣象學報

季刊

第二十三卷 第三期

目次

論著

- 閃電計次器之研製.....黃胤年、陳盛文、陳英 (1)
- 應用 ARIMA 模式對臺北市月平均溫度與
總降水量的分析與預測.....胡仲英 (15)
- 臺灣地區高空風及溫度之日變化.....徐行 (27)

氣象學報

季刊

第二十三卷 第三期

主編者 中央氣象局氣象學報社
地址 臺北市公園路六十四號
電話：三七一三一八一(十線)

發行人 劉大年
社長 劉大年
電話：三一一〇八四〇

印刷者 文英印書公司
地址 臺北市三水街七號
電話：三三一四七二四

中華民國六十六年九月出版

閃電計次器之研製

The Development of A Lightning-flash Counter

黃胤年* 陳盛文**

陳英***

Y. N. Huang, S. W. Chen and Anh Tran

ABSTRACT

The theory of lightning and the present status of the lightning-flash counters used in the world, together with their criteria, are briefly reviewed. Based on these, a lightning-flash counter is designed and produced to record the occurrence of the local cloud-to-cloud and cloud-to-ground discharges. This flash counter comprises of two parts: (1) a receiver connected to a 7-m vertical antenna and (2) a register which can record the rate of occurrence of the lightning flashes in two different ways, either by a mechanical counter or by a servo type d. c. voltage pen recorder. Preliminary results are presented to show the normal operation of this counter.

一、導述

雷雨(Thunderstorms)出現率之地理分佈對無線電工程師及電力工程師都是重要之數據。為了估計雷雨帶來之落地閃擊(Ground Stroke)對輸電線之可能災害，電力工程師希望知道雷雨在該輸電線地區產生落地閃擊之或然率(Probability)。無線電工程師則因為閃電(Lightning)會產生無線電雜訊(Radio Noise)而影響無線電通信之信號品質(Signal Quality)，故對雷雨之出現率及地球分佈發

生興趣。閃擊(Stroke of Lightning)可分為雷雨雲與地面間放電所產生之落地閃擊(Ground Stroke)及雲與雲間之放電所產生之雲際閃擊(Clouds Stroke)兩種。兩者均會產生無線電雜訊，故均為無線電工程師之研究對象。對輸電線之災害則只有落地閃擊會產生，故電力工程師之主要興趣集中於落地閃擊。

1960年代以前，雷雨出現日之世界分佈圖，係根據分設在世界各地之測候站(Meteorological Station)利用聽覺觀測(Aural Observation)法求得數據而繪得。用聽覺能聽到雷鳴之日子稱為雷雨

*交通部電信研究所研究策劃室主任，中央大學地球物理研究所兼任教授

**交通部電信研究所研究策劃室崙坪觀測台代理主任

***臺灣大學大氣科學系教授

日*(Thunderstorm Day)。一年中出現雷雨之總日數稱為 I. K. L. (Isokeraunic Level)。由此 I. K. L. 值可間接地推算落地閃擊次數 (Brooks, 1925)。鑑於此用途，I. K. L. 之繪製乃受學者們注意。Brooks 係第一位在 1925 年發表雷雨日之世界分佈圖。臺灣之雷雨觀測始於 1897 年。圖 1 為顏世雄及劉鏡生 (1972) 使用中央氣象局測候所數據繪製之臺灣島 I. K. L. 分佈圖。

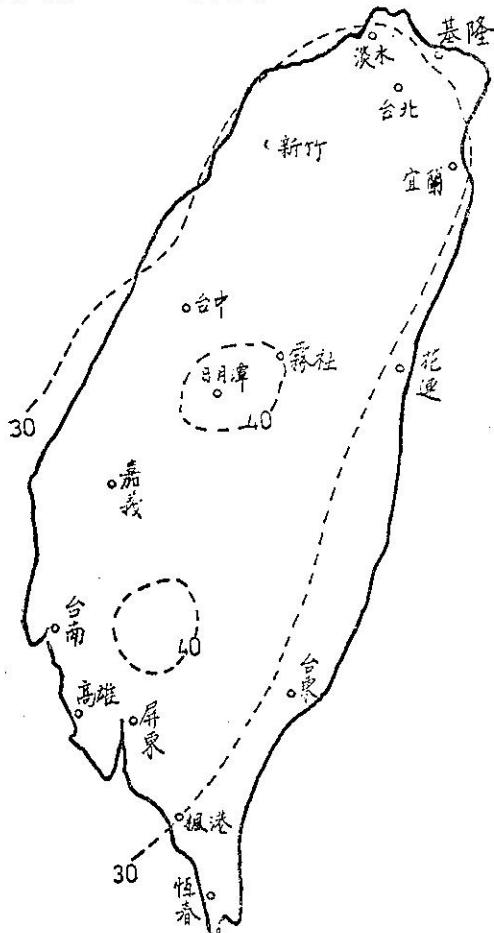


圖 1 臺灣之 I. K. L. 圖

雷雨日與無線電雜訊之間雖然有一些關係之存在，但因有下列缺點，未能被無線電工程師所接受。

- (1)雷雨日無法表示雷雨之日變化。
- (2)雷雨日無法表示雷雨強度 (Intensity of Activity) 及持續時間 (Duration)。
- (3)觀測員之個人特性及測候所環境會影響雷鳴之可聽度 (Audibility of Thunder)，故所得數據缺少客觀性。

(4)雷鳴之可聽距離太小，而測候所分佈又太稀少，因此容易造成雷雨日為世界上大部分地區之稀少現象。

雷雨日之觀測有上述缺點，故對無線電雜訊之研究並無多大幫助。因此必須改進觀測法，利用電子儀等自動記錄雷雨之發生及其活動性，才有助於斯項研究工作。本省至今尚未有人發展電子式閃電計次器 (Electronic Lightning-flash Counter) 以供閃電之觀測及研究。本文旨在發表作者們發展之閃電計次器。

二、閃電之分類及雷雨雲之構造

發生在空氣中長度達數公里之短暫大電流放電 (Transient High Current Discharge) 稱為閃電 (Lightning)。當大氣中之某些區域有電量之累積，因而由此電量所產生之電壓超出空氣之崩潰電壓 (Breakdown Voltage) 時，閃電即發生在該區域。積雨雲 (Cumulonimbus) 或稱雷雨雲 (Thunder Cloud)，為閃電之主要發生源。但是暴風雪 (Snowstorm) 暴風砂 (Sandstorm) 及暴發中之火山上之雲亦會產生閃電，甚至於無雲之晴空中偶而也會產生閃電。本文研究之主要對象為由積雨雲產生之閃電。此種閃電可分為下列四種：

(一)雲中閃電：雲中放電 (Intracloud Discharge) 而引起之閃電稱之。

(二)雲際閃電：雷雨雲間產生放電 (Cloud-to-cloud Discharge) 而引起之閃電稱之。

(三)雲外放電：雲對環繞之空氣放電 (Air Discharge) 而引起之閃電稱之。

(四)雲對地閃電：雲與地間放電 (Cloud-to-Ground Discharge or Ground Discharge) 而引起之閃電稱之。

圖 2 表示不同大小之雷雨雲。亞熱帶之雷雨雲較小，出現在較低高度，故其溫度均在 0 °C 以上。然而巨型雷雨雲之垂直高度則超出 20 公里高，其底部與頂部之溫度差甚大，頂部之溫度低於零下數十度。一般之雷雨雲高度約在 8~12 公里，以出現之地理地區而異，其積雨雲之何以能成為帶電之雷雨雲，迄今尚無可靠的學說，但一般咸認積雨雲中之水，冰及風在重力場及溫度斜率之影響下互相驟擾作用終於產生帶電區域而成為雷雨雲。在典型的雷雨雲中，其上頂帶正電，下底則帶負電，成為雙極子 (Electric

*本省氣象觀測以能聽到雷聲同時目測到降水的日子作為雷雨日

Dipole)，帶電部份之大小約有數公里半徑。圖 3 表示典型雷雨雲中電量之分佈情況。黑圓點表示有效點電荷 (Effective Point Charge) 之出現點。正電荷 P 及負電荷 N 各約有 40 庫倫 (Coulomb) 之電量。有時候在雷雨雲之基底部份會出現約有 10 庫倫之正電荷 p。

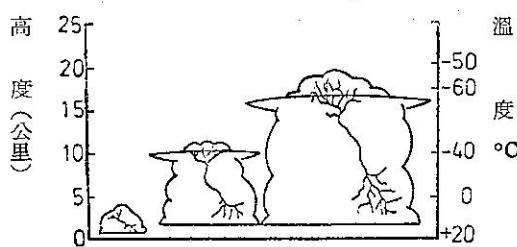


圖 2 不同大小之雷雨雲

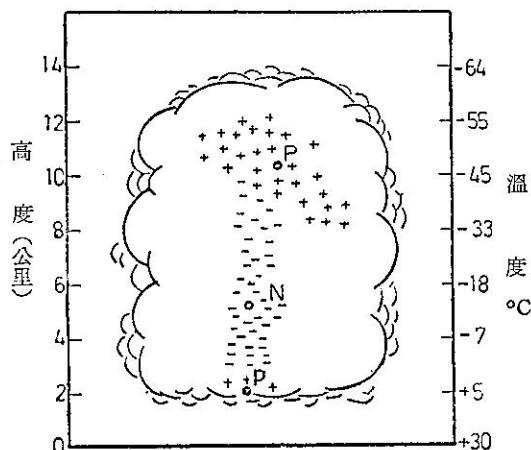


圖 3 典型雷雨雲中電荷之分佈情況

三、閃電之發生機構

雖然雷雨雲之放電並不全以落地閃擊之方式產生，但閃電機構之研究大部份限於雲對地之放電。雲對地之閃電係由一次以上之間歇性的主放電所組成。一次完整的雲地間全放電稱為閃電 (Lightning Flash)，平均由 3 至 4 次主放電所組成。閃電之發生機構相當複雜，根據 Schonland (1956) 之觀察及研究，閃電係先從雷雨雲向地面產生先軀放電 (Predischarge) 開出一條導電通路，然後於地面及雲間產生主放電 (Main discharge)。茲將發生程序概述如下。

當雷雨雲發達至某一程度時，其 N 區域之負電及雲底之 p 正電所產生之電場會到達大氣之崩潰電壓，使原來附着在冰粒及水粒上之電荷移動，以中和雲底之正電而使雲底帶負電。於此聚集在雲底之負電荷會產生強烈的電場，而從雲底向地面方向造出帶負電之導電柱 (Conductive Column) 並且沿此導電柱將負電荷朝地面方向輸送。其輸送速度約每秒 150 公里。送進導電柱之電量約有 5 庫侖，由此引起之電流約有 300 安培 (Ampere)。此導電柱向下發展至某一長度後即會用盡電量而暫告停止發展，以待從雷雨雲底部補充新的負電荷。為補充新電荷而必須休息之時間約有 50 微秒 (Microsecond)。此休息時間過後，導電柱即開始再次向地面放電而伸展。如此向降階梯樣子地，每隔約 50 微秒即重複充電，及向地面伸展兩動作，而終於在雷雨雲與地面之間開出一條帶電通路。每一階梯之導電柱長約 50 公尺，半徑約 1 至 10 公尺，向下伸展之速度約為每秒 150 公里，內含有約 5 庫侖之電荷，由其流動而產生之電流約有 300 安培。導電柱在休息以補充電荷之約 50 微秒時間裡並不發光，但充滿電量開始伸展次一階梯導電柱之約 1 微秒裡會發光。

階梯式導電柱在雲地間穿開導電通路之這一段動作，有人稱為先軀放電 (Predischarge)。先軀放電所需時間約為 1 毫秒 (Millisecond)。當導電柱到達地面時，雲地間即被導電柱連接成一個導電通路，雷雨雲底部之負電荷即在 70 微秒之短暫時間裡向地放電。此放電稱為主放電。

主放電之速度約為每秒 60000 公里，在前數微秒鐘內之電流有 1 萬至 2 萬安培之大，數十微秒後即減為一半，但數毫秒之後仍然有數百安培之電流。由於此強電流之流過，通路中之氣體將被加熱至 30000°K 之高溫而發出強光，此光即是打雷時之閃光，高溫之通路內之氣體會向外膨脹而產生震波 (Shock Wave)，此震波所產生之音波即是雷鳴 (Thunder)。

四、閃電之發生頻度

一閃電與次一閃電間之時間間隔有很大的變動性，故其時間間隔之統計分佈，可以說是一種隨機分佈 (Random Distribution)。然而，若是以每數分鐘平均其發生之時間間隔時，此平均值將以 20 分乃至 60 分之週期顯示增減現象。雷雨雲之閃電區域係散佈在半徑約 10 公里之範圍內，由若干個雷雨胞 (Thunderstorm Cell) 所組成。上述平均發生

間隔之消長與雷雨胞之消長有關，據國外觀測，平均消長時間約為 20 至 60 分，故一個雷雨胞之壽命約有 20 至 60 分。

根據國外觀測，所有閃電中只有約 10~30 % 之閃電之放電能到達地面而成爲落地閃擊 (Ground Stroke)。落地閃擊之主放電能沿同一導電通路重複放電多次。據國外觀測，落地閃擊約 30~70 % 係由 2 次主放電所構成；平均主放電次數為 4 次；最多者有 40 多次之記錄。兩次主放電間之時間間隔分散在 1 微秒至 1 秒，但以 20~50 微秒者佔多數。此數據對閃雷計次器之設計頗有關係，將於第五節再次述及。根據 Brooks (1925) 之報告，赤道上之夏天最容易發生閃電，尤其是墨西哥南部、巴拿馬、中央非洲及爪哇之發生頻度 (Rate of Occurrence) 為世界之冠。日變化則以地方時之 12 點至 17 點之發生頻率最大。

五、閃電之電磁輻射

如上節所述雲對地閃電之主放電會經由同一導電通路重複發生若干次。一次閃電通常係由 3 至 4 次主放電所組成。放電電流係從地面向上流，稱爲負電流。此電流之波形很複雜，但其基本形狀可用下式表示之 (Bruce and Golde, 1944)：

$$I = I_0 \{ \exp(-\alpha t) - \exp(-\beta t) \} \quad (\text{Amp.}) \quad (1)$$

主放電向雷雨雲上升之速度則可用下式表示之：

$$v = v_0 \exp(-\gamma t) \quad (\text{m/sec}) \quad (2)$$

式中

$$\left. \begin{array}{l} I_0 = 20000 \quad (\text{Amp.}) \\ v_0 = 8 \times 10^7 \quad (\text{m/sec}) \\ \alpha = 4.4 \times 10^4 \quad (\text{sec}^{-1}) \\ \beta = 4.6 \times 10^5 \quad (\text{sec}^{-1}) \\ \gamma = 3 \times 10^4 \quad (\text{sec}^{-1}) \end{array} \right\} \quad (3)$$

此電流 I 會產生下式所示之電矩 (Electric Moment) M

$$M = \int I dl \quad (4)$$

式中 I 為(1)式所示之放電電流； dl 為電流之微分長度 (Differential Length) 與(2)式之 v 有下面之關係

$$dl = \frac{dl}{dt} dt = v dt$$

故得

$$M = \int I v dt \quad (5)$$

在完全導體之平面大地上，此電矩會產生如下式所示之電場：

$$E_r = -\frac{2}{10^7 d} \frac{dM}{dt} \quad (\text{V/m}) \quad (6)$$

$$E_i = -\frac{60 M}{d^2} \quad (\text{V/m}) \quad (7)$$

$$E_e = -\frac{1.8 \times 10^{10}}{d^3} \int M dt \quad (\text{V/m}) \quad (8)$$

式中 E_r ， E_i 及 E_e 各表示由主放電電流產生之輻射電場 (Radiation Field) 強度；感應電場 (Induction Field) 強度及靜電場 (Electrostatic Field) 強度； d 表示距雷雨雲之距離 (單位爲公尺)。若 d 甚大時，因 E_i 及 E_e 遠比 E_r 衰減得快，故僅考慮 E_r 即可。

由主放電所產生之輻射電場含有不同的頻率成份，其頻譜分佈 (Frequency Spectrum) $f(\omega)$ 可用下式將 $\frac{dM}{dt}$ 傅氏變換 (Fourier Transform) 而求得

$$f(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} (-\frac{dM}{dt}) e^{-j\omega t} dt \quad (9)$$

據 Horner (1958) 之計算， $f(\omega)$ 可用下式表示：

$$f(\omega) = j I_0 V_0 \omega \times \frac{(\beta - \alpha)(\alpha + \beta + \gamma + 2j\omega)}{(\alpha + j\omega)(\beta + j\omega)(\alpha + \gamma + j\omega)(\beta + \gamma + j\omega)} \quad (10)$$

將(3)式之數據代入 (10) 式便能求得頻率波譜，其在 10 KHz 之大小爲

$$f(10 \text{ KHz}) = 14 \times 10^{16}$$

故對應之電場強度 $E(\omega)$ 為

$$\left. \begin{array}{l} E(\omega) = -\frac{2}{10^7 d} \times 14 \times 10^{16} \\ = \frac{2.8}{d} \quad (\text{V/m}) \end{array} \right\} \quad (11)$$

據 Horner (1958) 之計算，此輻射電場通過頻帶寬度 (Frequency Band Width) 為 B 之帶通濾波器 (Band Pass Filter) 後所得脈衝 (Pulse) 之最大幅度 e_m 為

$$e_m = 3.6 B E(\omega) \quad (12)$$

將(12)式代入(1)式即得

$$e_m = \frac{10 B}{d} \quad (\text{mv/m}) \quad (13)$$

式中 d 之單位爲公里， B 之單位爲赫 (Hz)。此公式爲設計閃雷計次器之主要依據。例如發生在 20 公里處之閃電會在頻帶寬度爲 28 KHz 之閃雷計次器附近產生 14 Volt/m 之電場。

閃電所產生電磁波之頻帶範圍甚寬，從超低頻 (Ultra Low Frequency) 至超高頻 (Ultra High Frequency) 均有其能量之存在，但大部分之能量

係集中在 100 KHz 以下之頻帶，尤其是 8 至 20 KHz 之頻帶中，其能量最大。傳播至遠距離之閃電電磁能對頻率之分佈情況則與電波傳播特性有密切的關係。

閃電計次器之主要目的為記錄發生在約 30 公里內之閃電次數，其原理為接收閃電所產生之電磁能，以推動計數器將其發生次數記錄下來。因閃電之主要電磁能係集中於特低頻 (Very Low Frequency) 而在此頻帶內之靜電場及感應電場對距離之衰減較快，故一般係採用特低頻做為觀測閃電用接收頻率。選擇特低頻為接收頻率之另一優點為能避免來自中波及短波廣播電台訊號之干擾。

六、閃電計次器應具備之條件

閃電計次器有甚多類型，例如 Forrest (1943), Davis (1946), Gane and Schonland (1948), Sullivan *et al.* (1954), Sullivan and Wells (1957), Ito *et al.* (1955), Pierce (1956), Horner (1960) 及 Barham (1965, 1967) 等學者分別提出不同類型之閃電計次器。然而現今世界各國最常用之類型不外乎下述兩種：

(1) CIGRE 型

此種閃電計次器係根據 Pierce (1956) 之建議，由英國電氣研究協會 (Electrical Research Association) 負責發展而成。本計次器已被 CIGRE (Conference International Grandes Reseaux Electriques) 之工作小組採納，現今約有 500 部此種計次器分設在各國以收集對電力線之落地閃擊數據。

(2) CCIR 型

此種閃電計次器係根據美國 Florida 大學之設計，由國際無線電諮詢委員會簡稱 CCIR (International Radio Consultative Committee) 之工作小組改進完成，現今有此種計次器約 50 部，分設各國以觀測與無線電雜訊 (Radio Noise) 有關之閃電數據。

閃電計次器係由接收閃電電磁波之接收機及計數脈衝次數用之計數器兩部份而組成。在設計閃電計次器時，必須考慮其接收機之頻率響應 (Frequency Response)，開端電壓 (Threshold Voltage)，時間常數 (Time Constant)、訊號極性 (Polarity)、接收天線及有效觀測界限 (Effective Range) 等特性。茲分別略述於下：

[A] 頻率響應

不同類型之閃電所產生之電磁波能量之頻率波譜及其對距離之衰減情況等均有所不同，故閃電計次器之接收機之頻率響應決定其對不同類型之閃電之接收能力及能接收之最長距離。如果閃電計次器之目的為接收雲對地閃電，則其頻率響應必須低於 10 KHz。CIGRE 型閃電計次器係應此目的而設計，其頻率響應之峯值出現在 900Hz, -3db 之頻帶寬度為 120 Hz 至 2 KHz。使用如此低之接收頻率係考慮接收閃電之靜電場。此電場之衰弱與距離之立方成反比，故能使閃電計次器僅觀測近距離之閃電，其有效觀測範圍之境界線亦較為清楚。

CCIR 型閃電計次器係專為研究閃電所產生之電磁波對無線電通信之影響而設計。因所有類型之閃電所產生之電磁波均會干擾無線電通訊，故 CCIR 型閃電計次器必須能觀測到所有類型之閃電。其所使用之接收機頻帶較高，頻率響應之峯值出現在 10 KHz, -3db 之頻帶寬度為 2 KHz 至 50 KHz。因使用較高頻率，故 CCIR 閃電計次器主要在觀測閃電之輻射電場 (Radiation Field)，此輻射電場與距離成反比地減弱，故其有效觀測範圍之境界線不如 CIGRE 型者清楚。

[B] 開端電壓

閃電計次器開始計數動作，所需要之接收機最低輸入脈衝電壓，稱為閃電計次器之開端電壓 (Threshold Voltage)。如果其他因素均相同時，一部閃電計次器之有效觀測界限，係決定於其開端電壓。故改變開端電壓可改變其有效觀測界限。為經常保持同樣的觀測界限，閃電計次器均備有校正電路，使開端電壓能經常保持定值。通常係利用電容器之充放電代替閃電所發生之電磁脈衝，以校正閃電計次器之開端電壓。

[C] 時間常數

每單位時間內發生之閃電次數稱為閃電之發生頻度 (Rate of Occurrence)。閃電計次器之時間常數，係決定每單位時間內能計次之最大次數 (Maximum Rate of Counting)。此最大次數若小於閃電之最大出現頻度時，一些閃電將未能被閃電計次器記錄，引起漏記現象。一些雲地間放電係沿着同一導電路徑重複放電若干次。對這種重複放電，閃電計數器必須避免重複計次，故其單位時間內能計測之最大次數亦不可以太大。茲舉若干數據以供決定時間常數之用。重複放電之間隔時間約

爲 3 毫秒至 100 毫秒，但大部分係分散在 20 至 50 毫秒之間。一次閃電之持續時間爲 0.2 秒，而閃電之最大發生頻度則甚少大於每秒四次。根據以上數據，將閃電計次器之時間常數定爲 $\frac{1}{2}$ 秒時大致可以避免多餘或遺漏等錯誤計測現象。CCIR 型閃電計次器之時間常數爲 $\frac{1}{2}$ 秒；CIGRE 型則稍長約有 1 秒。

[D]極性

不同之閃電會在閃電計次器之天線上產生不同極性之電場變化。閃電計次器究竟記錄那一極性全決定於其電路設計。因大部份之落地閃擊所產生之電場變化極性爲正，故 CIGRE 閃電計次器只計測正極性。CCIR 型閃電計次器則正負兩極性均予計測。

[E]天線

天線特性直接影響閃電計次器之感度 (Sensitivity) 及其頻率響應，故爲使設在不同地點之閃電計次器之計測結果能互相比較，其所使用之天線特性（包括天線至接收機之電纜）必須給予嚴格的規定。最重要的規格包括：有效高度 (Effective Height)，天線電容 (Antenna Capacitance) 及天線輸出端至接收機輸入端間之並聯電容（例如電纜之電容）等。

[F]有效觀測界限

以閃電計次器爲中心，在某一界限內實際發生之閃電次數與此閃電計次器所記錄之閃電次數相同時，此界限稱爲該閃電計次器之有效觀測界限 (Effective Range)。此界限與閃電種類及極性等有關。例如雲對地閃電之有效觀測界限不一定就是雲際閃電之有效觀測界限。故閃電計次器之有效

觀測界限必須註明對何種閃電求得之界限。

有效觀測界限之實際測定，係使用目測法，先求實際發生閃電之次數，距離及類型，然後與閃電計次器之輸出比較以定其界限。然而這種工作一般都在可視率很差的情況下進行。難免有相當大的誤差，故所得之有效觀測界限不容易使其誤差小到 10 % 以下。又任一閃電計次器雖然專爲記錄某一類型之閃電而設計，但這並不能保證它對其他類型之閃電完全不反應。故任一閃電計次器必須給予一修正因數 (Correction Factor) 使其計測次數能接近欲測類型之閃電次數。例如 CIGRE 型閃電計次器係專爲計測雲對地閃電而設計，其對雲際閃電之感度雖然比較差，但仍然有機會計測其部分之閃電，故必須給予一修正因數以減少因計測部份雲際閃電所帶來之誤差。

七、閃電計次器之研製

根據以上數節中有關閃電之諸特性，吾人可設計一種閃電計次器以計測閃電之次數。因閃電之主要電磁能量集中於 8 KHz，故本閃電計次器特將接收機之頻帶寬度選定在 3 KHz 至 30 KHz。將最低頻率選在 3 KHz 之主要原因在於使接收機能接收閃電之感應電場 (Induction Field)。因感應電場對距離之衰減甚爲迅速，故將接收機設計成能接收感應電場，則能獲得較爲明確的有效觀測界限。又爲使本閃電計次器亦能接收雲間閃電，特將最高頻率選定在 30-KHz。因每一閃電所產生電磁波波譜並不完全相同，故採用 3 KHz 至 30 KHz 之寬頻帶寬度時可以掩蓋所有可能之不同波譜，使閃電計次器能忠實地計測所有的閃電而不致於漏測。

圖 4 表示本閃電計次器之方塊圖。此閃電計次器

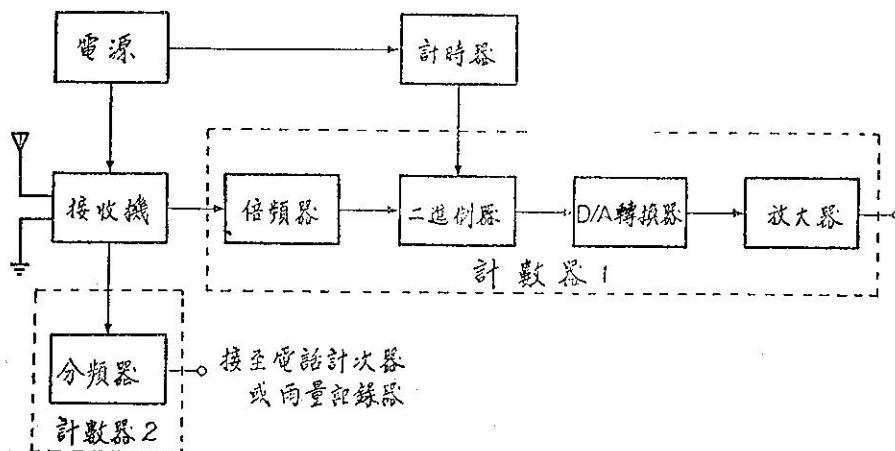


圖 4 閃電計次器方塊圖

主要由接收機及計數器兩部份組成。接收機之功用為使用高度為 7 公尺之垂直天線接收閃電所引起之電磁波脈衝，經檢波放大改為直流脈衝，以推動下一級之計數器。計數器之功用為接受接收機之輸出直流脈衝，以計測其發生次數。閃電次數之顯示採用兩種方式：一為利用二進制計數器 (Binary Counter) 計測脈衝次數，經類比轉換器 (Digital to Analog Converter)，轉換成直流電壓後用直流電壓筆記錄器 (DC Voltage Pen Recorder) 記錄其次數。為使本閃電計次器對任何狀況下之閃電發生頻度，均能圓滿地達成計次任務，特設有倍頻器 (Frequency Multiplier) 使筆記錄器之滿標 (Full Scale) 能顯示三種不同的數值，可任意挑選其中之一種。另一種輸出方式為利用接收機之直流脈衝輸出以推動繼電器，然後藉繼電器接點之關閉推動機械式計數器 (Mechanical Counter)，例如電話計次用計數器或記錄雨量所用的自記電接計數器等。因此種機械式計數器之反應速度較慢 (約 $\frac{1}{2}$ 秒)，故對發生頻度太快之閃電會有漏計現象。為避免此種誤差本計數器設有 $\frac{1}{2}$ 及 $\frac{1}{3}$ 之分頻器 (Frequency Divider)，以使每累積 2 次或 3 次閃電後才計測一次之特殊設備。圖中計時器 (Clock) 之主要功能為產生分信號，10 分信號或小時信號脈衝，使筆記錄器顯示出時刻標誌 (Time Mark)。茲將各部門之線路圖及動作原理概述如下：

[A] 接收機

圖 5 為接收機線路圖，閃電所發生之電磁波，自 7 公尺高垂直天線輸進接收機。為保護接收機，在天線輸出端特設有 300V 避雷器。C₁ 為同軸電纜之輸出電容。輸入端之電容 C₁、C₂ 及 C₃ 及電阻 R₁、R₂ 及 R₃ 構成帶通濾波器 (Band Pass Filter)，其實測 -3db 頻帶寬度為 3 KHz 至 30 KHz (後述)。通過濾波器之正向閃電信號經

由 T₁ 及 T₂ 放大及 D₁ 檢波後輸出至 T₅；負向閃電信號則經由 T₃ 及 T₄ 放大及 D₂ 檢波後同樣輸出至 T₅。兩者均以正脈衝輸出至 T₅。T₆ 及 T₇ 組成單邊穩定器 (Monostable Multivibrator)。T₅ 之基極 (Base) 接有 3 伏特之水銀電池。當經由 D₁ 或 D₂ 檢波後輸至 T₅ 基極之正脈衝電壓超過 3.3 或 3.6 Volt 時，T₅ 即導電以激發單邊穩定器 T₆ 及 T₇，使其保持 0.15 秒之導電狀態。此導電狀態將使 T₈ 導電以輸出正脈衝至下一級之計數器。

一次閃電之持續時間約為 0.01 秒至 2 秒，代表性之持續時間為 0.2 秒。為避免閃電計次器將一次閃電計為 2 次以上之閃電，必須設有適當電路，使計次器記錄一次閃電後有短暫的壓住時間 (Holdoff Time) 停止對其他任何脈衝發生作用。由 R₁₆ 及 C₇ 所構成之電路即是為此壓住作用而設。閃電脈衝來臨之前 T₅、T₆、T₇ 及 T₈ 均在斷路 (Cutoff) 狀態。此時 C₆ 經由 R₁₆ 充電，保持約為 9 Volt 電壓。C₇ 之一端經由反極性之 D₈ 接至 T₅ 之基極，故只要是來自 D₁ 或 D₂ 之閃電脈衝超出 3.6 伏特時，即能激勵單邊穩定器，將脈衝輸出至計數器。當閃電脈衝進入 T₅ 之基極時，T₅、T₆ 及 T₇ 即刻導電，儲蓄在 C₇ 之電量即由 R₂₂、D₅ 及 T₇ 放電使其兩端電壓降至約 0.9 伏特 (導電中 T₇ 之 V_{ce} 加 D₅ 之降壓)。約過 0.15 秒後單邊穩定器自動恢復原狀，使 T₈ 斷路完成一次計數。此時 T₅ 之基極電壓已降至 0.9 伏特，比射極之 3 伏特電壓低，故即使另有一閃電脈衝輸至 T₅ 之基極，其能量也頂多用以充電 C₇，其電壓增加不多，不致於激勵 T₅，T₅ 被保持在壓住狀態，對任何新來脈衝均不起作用。此狀態一直持續至 C₇ 經由 R₁₆ 再次充電至 3 伏特才解除，

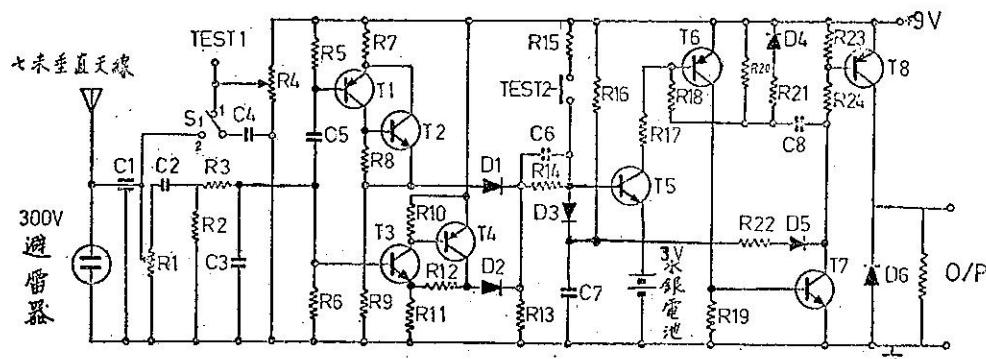


圖 5 接收機線路圖

使 T_5 能再次正常作用，接收新來之閃電脈衝。此壓住時間之長短決定於串聯 R_{16} 與 C_7 所得之間常數 τ 。壓住時間 (Holdoff time) T 與 τ 之間有如下關係：

$$T = \tau \ln \left(\frac{9-3}{9} \right) = 0.406\tau \text{ (秒)} \quad \dots \dots \dots (14)$$

壓住時間決定閃電計次器之時間常數，本閃電計次器之時間常數定為 0.5 秒，將此值代入 T 即得

$$\tau = 1.32 \text{ (秒)}$$

如圖 5 所示，選擇 $P_{16} = 220\text{K}\Omega$, $C_7 = 6\mu\text{F}$ 時可獲得此一時間常數。閃電計次器之時間常數可根據實際觀測數據，先明瞭閃電之出現頻度後，調整 C_7 之大小而更改。本閃電計次器之實測時間常數為 0.55 秒。

可變電阻 R_1 係用以改變計次器之開端電壓 (Threshold Voltage)。利用 C_4 之充放電可模擬閃電脈衝以校正開端電壓之大小。先將開關 S_1 置於接點 1；測試點 TEST1 接上直流電壓錶；調整可變電阻 R_4 使 TEST1 指示所需之開端電壓。若將開關 S 倒置於接點 2 時， C_4 內之電量即經由 R_1 放電，產生人為的閃電脈衝。此人為閃電脈衝電壓經 R_1 分壓後輸至 T_3 。此電壓能否起動 T_1 全視經 R_1 分壓之後之電壓是否足夠使 T_1 道電。

調整 R_1 使經其分壓後之電壓輸出剛好有足夠電壓起動 T_1 時，此閃電計次器即已調至所需之開端電壓。

開端電壓之大小，決定閃電計次器之有效觀測界限，故適當調整可變電阻 R_1 ，便能使閃電計次器獲得所需之有效觀測界限，其方法如下：設所需之有效觀測界限為 D 公里，音速 V 為每秒 0.34 公里，則可測之最遠閃電須經下式所示之時間 t 後才能聽到其雷鳴（Thunders）

發生在有效觀測界限內之其他閃電則以更短之時間內可以聽到雷鳴；相反地有效觀測界限外之閃電則必須經過更長之時間才能聽到其雷鳴。利用此性質；調節 R_1 ，使閃電計次器每記錄一次閃電後至聽到其雷鳴所經過之時間均小於或等於 t 時，此閃電計次器之有效觀測界限已調整至預先所定之大小。於此必須言明的是：用此法求得之有效觀測界限係指包括雲對地放電及雲際放電所產生之所有閃電在內。

測試點 TEST 2 係用以測試單邊穩壓器之正常工作，每短路一次， T_8 輸出一個方形波，以推動下一級之計數器。

圖 6 表示此閃電計次器之頻率響應 (Fre-

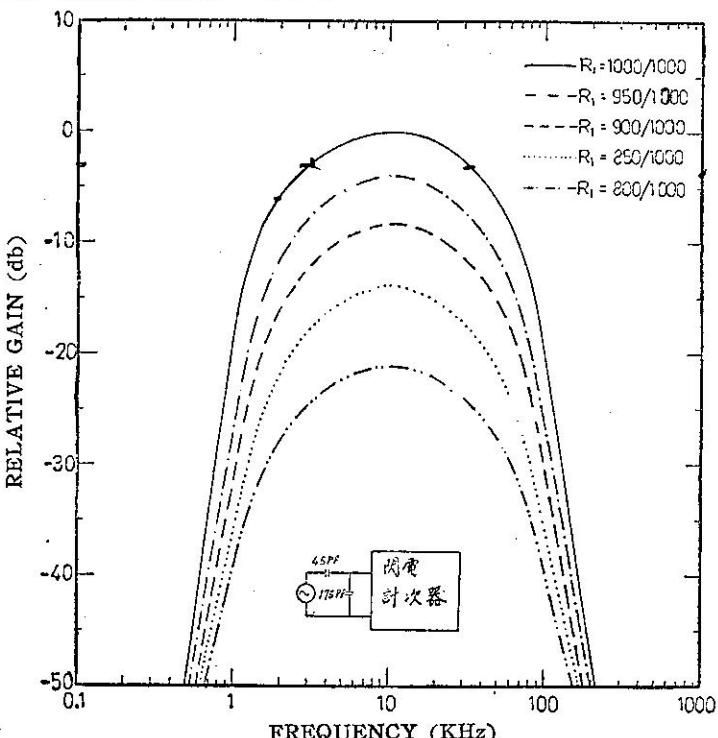


圖 6 接收機頻率響應特性

quency Response), 係利用信號產生器 (Signal Generator) 將不同的頻率經等值天線電容 (45pf) 及電纜電容 (175pf) 輸入接收機，在 D_1 及 D_2 之輸出點測其輸出電壓，然後計算其增益繪得此曲線。不同曲線表示調整 R_1 在不同之分壓下求得之曲線。由此頻率響應曲線可知：

- (i) 變更 R_1 之分壓比例時，頻率響應曲線之形狀並無顯著變化。
- (ii) 頻率響應之最大值出現在 10 KHz。其 -3db 之頻帶寬度為 3 KHz 至 30 KHz，合乎原設計要求。

圖 7 表示可變電阻 R_1 之分壓比與閃電計次器開端電壓間之關係。

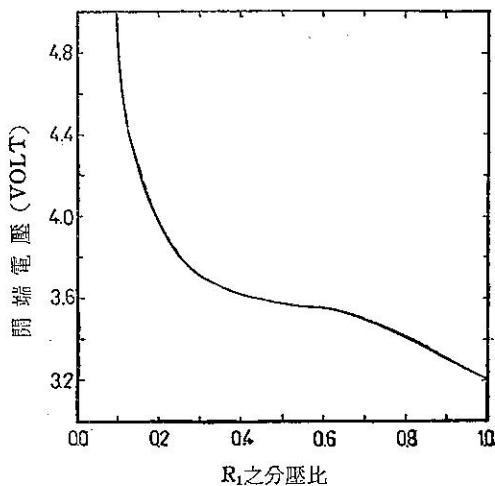


圖 7 R_1 之分壓比與開端電壓之關係

[B] 分頻器

接收機之輸出脈衝可接至兩種不同之計數器，計數其脈衝次數。其中一種係利用輸出脈衝起動繼電器，藉繼電器接點之關閉作用推動電話計次用計數器及自記電接計數器。每一脈衝之輸進會使自記電接計數器之筆針向上移動一格，其滿標為 100 格。筆針滿標後會自動降回原點，從零點開始再次往上計次。此種計數器利用繼電器動作，故其反應速度較慢，如果閃電頻度太快時，可能會漏記其中一部份之閃電次數。為彌補此一缺點，本計數器特設有分頻器，將脈衝頻度變換為 $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{1}{3}$ ，使計數器有充裕的時間準確的記錄高頻度之閃電次數。圖 8 表示此分頻器之線路圖，係由三個 SN 7473 正反器 (Flip-Flop) 所組成。由輸出選鈕 S_2 可以任意選出經過 1, $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{1}{3}$ 分頻之脈衝輸出。簡言之，將選鈕置於 1 時，每一脈衝之輸入會產生一脈衝之輸出；但是將選鈕置於 $\frac{1}{2}$ 時，每二次脈衝才有一次脈衝之輸出；置於 $\frac{1}{3}$ 時，每三次輸入才有一次的輸出。分頻器之每一輸出脈衝，即刻使 T_9 導電以關閉繼電器接點。繼電器之二接點分別接至電話計次器及自記電接計數器以使兩者各記一次。經此分頻器計數時，計數器之讀值必須按選扭 S_2 之接點位置為 1, $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{1}{3}$ 分別乘以 1, 2 或 3。

[C] 倍頻器

接收機輸出脈衝之另一種計數方式係利用二進制計數器 (Binary Counter) 計測脈衝次數後，經

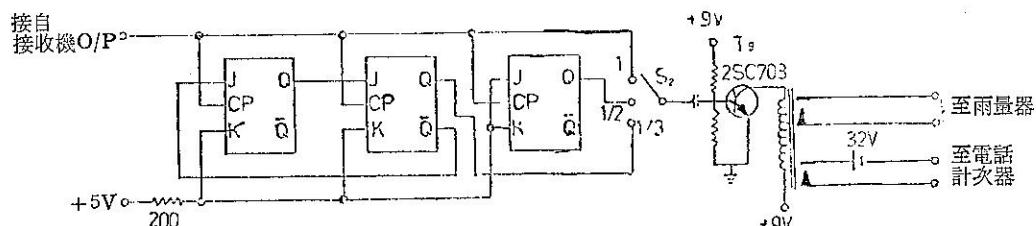


圖 8 分頻器

由類比轉換器 (Digital to Analog Converter) 將二進制數轉換成與其成正比之直流電壓，然後使用直流電壓筆記錄器記錄其計測之次數。本記錄方式之優點為可以獲得分解度 (Resolution) 較高之記錄，故能適用於高出現頻度地區。本記錄方式係由二進制計數器及 D/A 轉換器兩部份組成。

為提高記錄之分解度，在二進制計數器之前段特設有倍頻器，使筆記錄器之滿標能記錄 10 次，

20 次或 30 次等三種不同之數值，任使用者按實際需要選其中之一。茲先述倍頻器，二進制計數器及 D/A 轉換器則分別敘述於 [D] 及 [E]。

圖 9 表示此倍頻器之線路圖，係由 5 個單邊穩定器 (Monostable Multivibrator) 及若干個或閘 (OR Gate) 所組成。其功用為對每一輸入脈衝。自動產生一個、二個或三個脈衝。開關 S_3 之位置 (1, 2 或 3) 決定輸出脈衝之個數。本倍

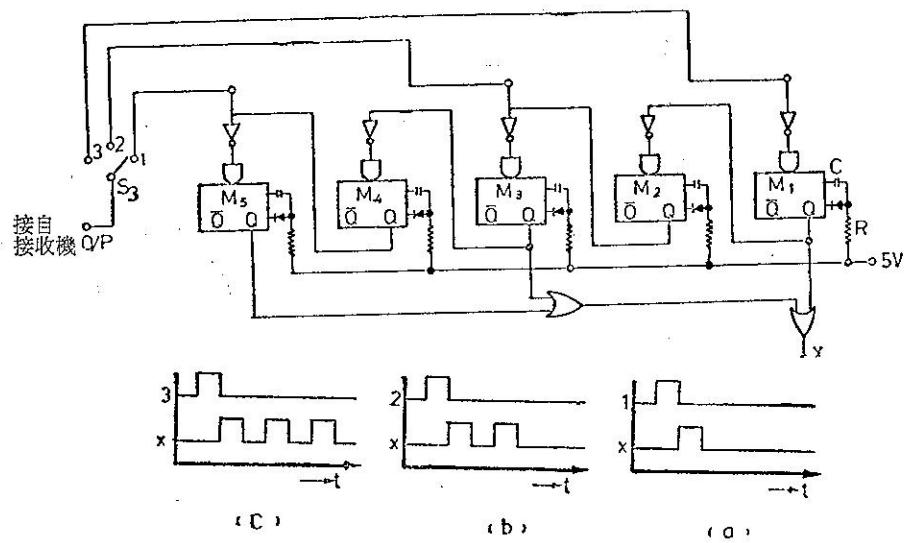


圖 9 倍 頻 器

頻器係採用 SN 74123 積體電路中兩個特製單邊穩定器而組成。茲先說明此特殊單邊穩定器之功能。圖 10 表 SN 74123 中兩個單邊穩定器中之一個。第 9 及第 5 腳各為輸入及輸出端。本單邊穩定器之特徵為：輸入端之脈衝從高位 (High) 轉移至低位 (Low) 時，(本文中將稱為脈衝負端) 會

受到激励而在輸出端輸出正脈衝。輸出脈衝之寬度則決定於第 6 及第 7 脚之 RC 電路。此脈衝寬度 t_w 可用下式求得

式中 t_w , R 及 C 之單位各為 10^{-12} 秒 (ns),
 $K\Omega$ 及 10^{-12} 法 (PF)。圖 10 下方表示輸入脈衝與輸出脈衝之關係。本倍頻器中作者選擇

$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C = 2 \mu F$$

而獲得脈衝寬度為 6 毫秒，因寬度比起閃電之發生間隔甚小，故即使倍頻後亦不致於影響觀測之準確性。

倍頻器之動作原理如下：圖 9 中 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 及 M_5 各表示 SN74123 中之 1 個單邊穩定器，假設開關 S_3 在接點 1，則來自接收機之脈衝負端 (Negative Edge) 將激勵 M_5 而使其產生寬度為 6 毫秒之脈衝，經兩個或兩閘在 X 端輸出。圖 9(a) 表示輸入脈衝與輸出脈衝之關係，每一輸入脈衝僅能產生一個輸出脈衝，脈衝頻率並無變化。然而，將開關 S_3 接至接點 2 時，來自接收機之脈衝負端即激勵 M_3 ，產生 6 毫秒之脈衝經由或閘輸出在 X 端。 M_3 之輸出端係接至 M_4 之輸入端，故經 6 毫秒後， M_3 產生之脈衝負端即激勵 M_4 ， M_4 之輸出端未接至或閘故此 6 毫秒中 X 端並無輸出，但再過 6 毫秒後 M_4 產生之脈衝負端即能激勵 M_5 而使其產生 6 毫秒脈衝經由或閘輸出在 X 端。圖 9(b) 表示輸入脈衝與輸出脈

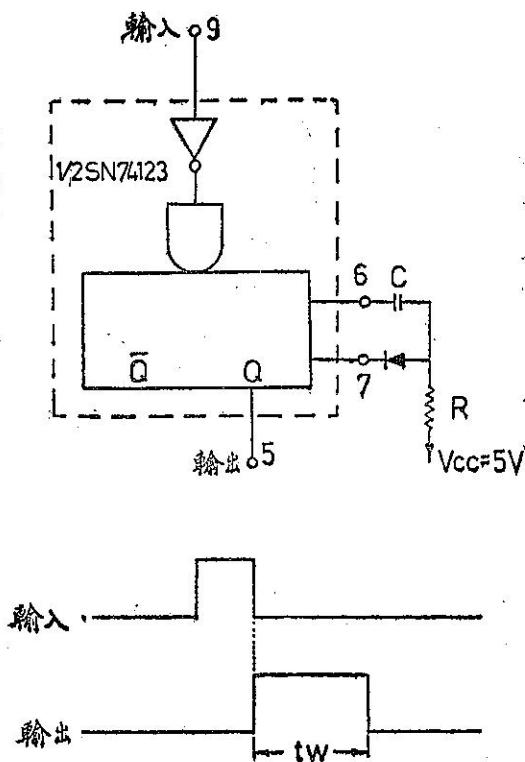


圖 10 SN 74123 中之單邊穩定器

衡之關係，每一脈衝之輸入會引發兩個脈衝之輸出，故其頻率增為二倍。同理將開關 S_3 接點 3 便能獲得三個脈衝之輸出，圖 9(c) 表示其輸入及輸出脈衝間關係。

[D]二進制計數器

輸自接收機之閃電脈衝數，經倍頻器乘以 1 倍，兩倍或三倍後，即送入二進制計數器 (Binary Counter) 計數其脈衝數。如圖 11 之線路圖所示

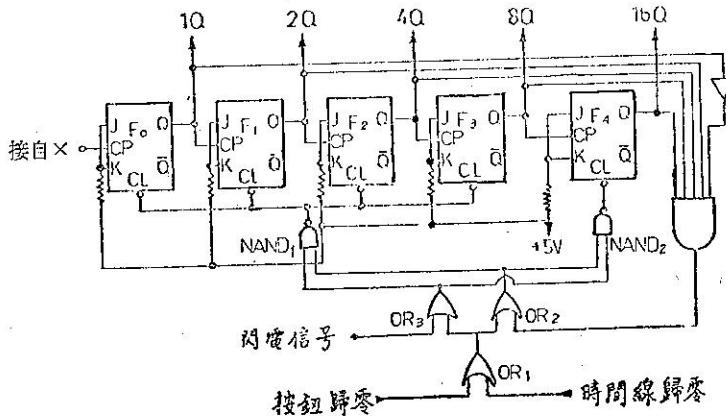


圖 11 二進制計數器

4Q, 8Q 及 16Q 線 (Q 為 0 或 1)，其相當之十進位數為：

$$1Q + 2Q + 4Q + 8Q + 16Q$$

為使後述筆記錄器之滿標值能等於 10 之整數倍（即 10, 20 或 30），本計數器設有特殊線路，使計數器計數到 31 時才從 30 (即 11110) 變為 1 (即 00001)，茲將其動作原理敘述於下。

F_1 、 F_2 、 F_3 及 F_4 之 Q 輸出線皆直接接至及閘，只有 F_0 之 Q 輸出線經由反向器 (Inverter) 接至及閘。因此，當計數器計數至 30 (即 11110) 時及閘之輸入為 11111，故其輸出為 1，能使或閘 OR_2 產生 1 而輸出至反及閘， $NAND_1$ 及 $NAND_2$ ；但此時之反及閘之另一輸入線為 0，故不致於清除正反器使其歸零 (即 00000)，必須等待另一脈衝經由或閘 OR_3 輸出 1 至兩個反及閘

，本計數器係由 5 個 JK 正反器 (JK Flip-Flop)，1 個及閘，二個反及閘及三個或閘所組成之五單元 (Bite) 二進制計數器。正反器 F_0 、 F_1 、 F_2 及 F_3 係使用 SN 7493； F_4 則使用 SN 7473，兩者均由脈衝負端引起反位作用。圖中 CP 表示時計脈衝 (Clock Pulse) 輸入線；CL 表示清除線 (Clear Line)。倍頻器之輸出脈衝係接至 F_0 之 CP 線，計數後之二進制數則顯示在 1Q, 2Q,

之另一輸入線時，清除線才起作用使計數器歸零，接著再由此脈衝之負端使 F_0 計數 1。此為計數器計數到 31 時自動從 30 變為 1 之道理。如果接收機之閃電脈衝經過三倍頻後輸進本計數器時，因輸進計數器之脈衝數為接收機實際接收到之閃電次數之 3 倍，故筆記錄器滿標所表示之實際閃電次數為 10；同理經 2 倍頻後輸進本計數器時，筆記錄器之滿標等於 20 次閃電；經 1 倍頻後輸進則等於 30 次閃電。

為使筆記錄器能出現時間線，本計數器增設或閘 OR_1 ，將來自計時器之時刻脈衝輸進或閘 OR_1 便能清除正反器使讀值歸零，因而在筆記錄器上繪出時刻線。或閘 OR_1 之另一輸入線則接一按鈕，掀此按鈕亦能使正反器歸零而繪出一條線。

[E]類比轉換器

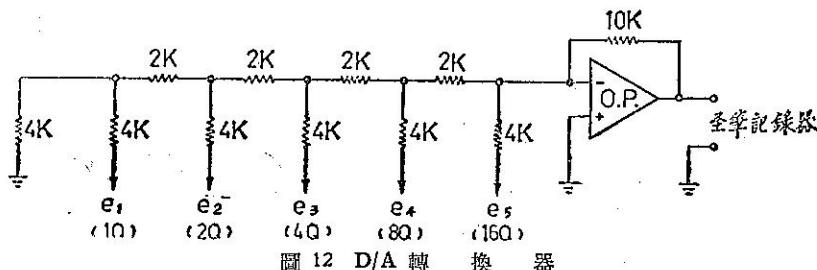


圖 12 D/A 轉換器

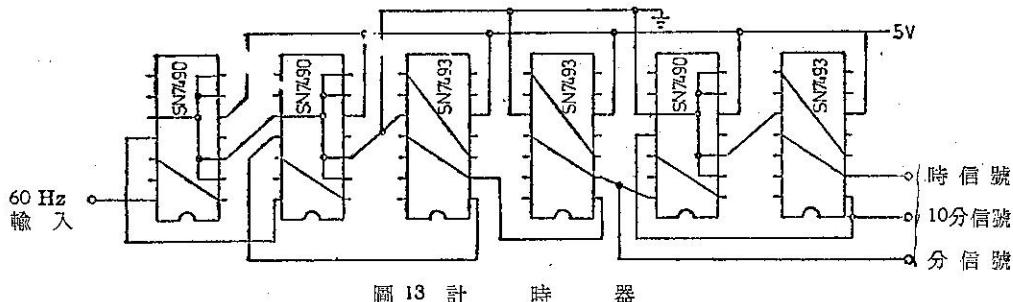


圖 13 號蟲器

二進制計數器之二進位數必須經類比轉換器 (Digital to Analog Counter) 轉換成與其數目大小成正比之直流電壓才能推動筆記錄器 (Pen Recorder)。圖 12 表示此類比轉換器之線路圖。其原理為利用電阻之梯形網路將二進制數變成類比電壓，經運算放大器 (Operational Amplifier) SN 72747 放大後輸進筆記錄器。設運算放大器之放大增益為常數；輸出端電壓為 e_0 ；五常元二進制計數器之輸出線 $1Q, 2Q, 4Q, 8Q$ 及 $16Q$ 之輸出 (1 或 0) 為 e_1, e_2, e_3, e_4 及 e_5 。則下式關係能成立：

$$C_0 \propto \left(-\frac{1}{2}e_5 + \frac{1}{4}e_4 + \frac{1}{8}e_3 + \frac{1}{16}e_2 + \frac{e_1}{32} \right) V_R \\ = (16e_5 + 8e_4 + 4e_3 + 2e_2 + e_1) \frac{V_R}{32} \\ \propto 16e_5 + 8e_4 + 4e_3 + 2e_2 + e_1, \dots \quad (17)$$

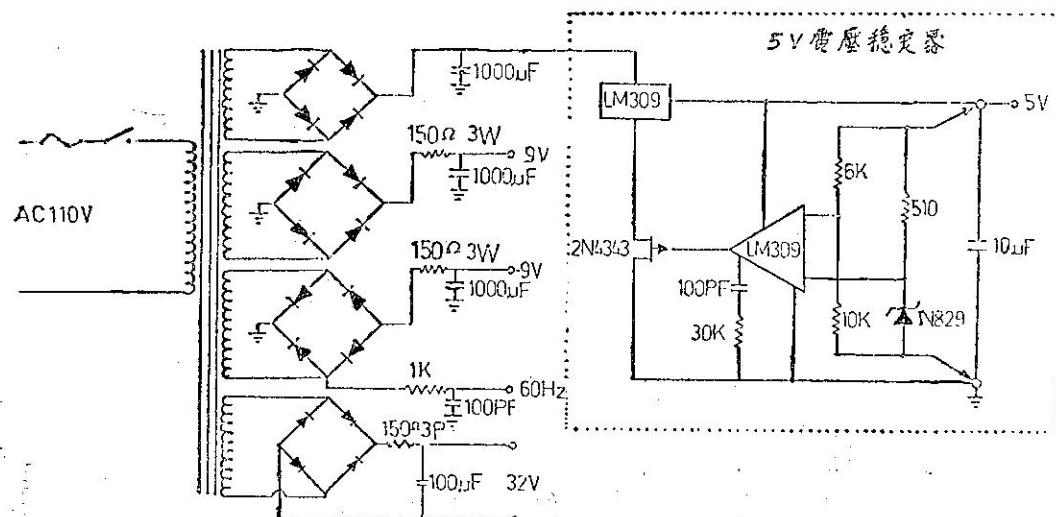
V_R 為輸出邏輯 1 時之電壓。由(7)式得知運算放大器之輸出電壓與二進制數成正比，故有類比轉換作用。

(ii) 式係假設輸出沒有負載之下求得之公式，故為獲得準確之 D/A 轉換器，接在輸出端之直流電壓筆記錄器之輸入阻抗 (Input Impedance) 必須甚大 (1 至 2 M Ω)。

將〔D〕中敍述之五單元二進制計數器之輸出接入此 D/A 轉換器，則閃電脈衝信號將呈階梯狀地記錄在筆記錄器之記錄紙上，容易判讀又可增加閃電次數及記錄時間之分解度（Resolution）。

[E]計時器

圖 13 所示為計時器之線路圖，由6組 JK 正反器組成，其功能為產生分信號，10分信號及小時信號脈衝，將此等信號輸進二進制計數器 OR₃ 或閘，使正反器歸零以使記錄器恢復零的狀態而記下時刻線 (Time Mark)。本器利用電源 60Hz 當做計時之標準信號源。先以二個 SN 7490 JK 正反器各除以 10，再以另二個 SN 7493 各除以 6，取得分信號，然後分別再以一個 SN 7490 及一個 SN 7493 各除以 10 及 6 而得 10 分及小時信號。



14 雷 源

[G]電 源

圖 14 表示電源線路圖。本電源係利用商用 110 伏特交流電源經變壓，整流、濾波及電壓穩定後取得供給 (a) 接收機用之 9 伏特直流電源；(b) 運算放大器用之 9 伏特直流電源；(c) 各積體電路用

之 5 伏特電源及 (d) 激勵電話計次器及自計電接計數器用繼電器所需 32 伏特直流電源。同時將 60 Hz 交流電源信號經 1000Ω 電阻及 100 PF 電容構成之積分電路取出 60 Hz 信號做為計時器之信號源。

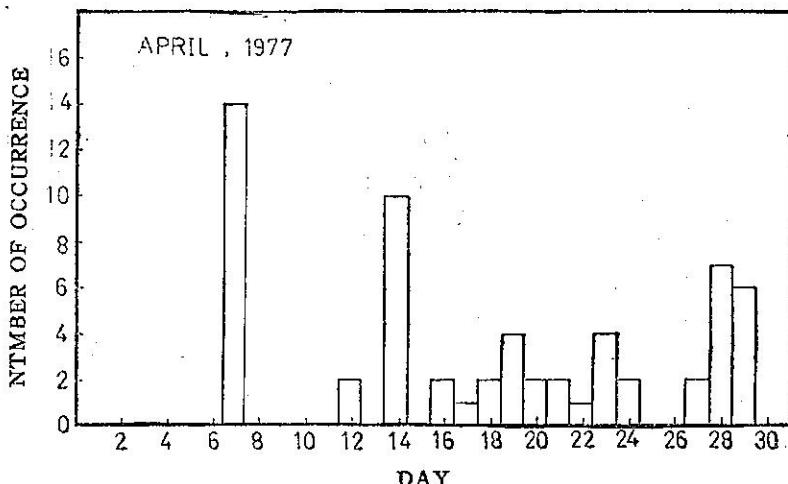


圖 15 發生在 1977 年 4 月之閃電次數

八、結 語

本文目的在設計一可在臺灣地區使用的閃電計次器。此計次器主要由接收機及計數器兩部份構成。接收機之前連接一 7 公尺長之垂直天線。當閃電產生時，接收到的信號不論極性為何皆先經一帶通濾波器，然後再放大及檢波變為一直流脈衝。若此脈衝大於某一預定之電壓，便可激發一單邊穩定器在導電狀態，使此脈衝輸入下一級之計數器。接收機的帶寬定於 3 KHz 至 30 KHz 之間，目的在接收雲對地和雲際兩種閃電，同時避免受到中波及短波通信之影響。

當接收機輸出的脈衝輸入計數器後，可以記錄閃電發生的頻度。記錄的方法有兩種。第一種是利用此直流脈衝起動一繼電器，並經此繼電器之開關作用推動一機械式計數器，如電話計次器或記錄雨量所使用的自記電接計數器。由於此類計數器反應較慢，為免遺漏，特在接收機與計數器之間加一分頻器，使每接收一次，二次或三次閃電時記錄一次。另一種記錄法是利用二進制計數器計測接收到的脈衝次數，然後經一類比轉換器轉變成一與脈衝次數成正比的直流電壓，再使用直流電壓筆記錄器記錄下所測得的次數。為了更進一步提高此計數器之分解度，另在計數器與接收機之間加入一倍頻器，使筆記錄器可記錄滿標為 10-

次，20 次或 30 次之閃電。此外尚有一計時器連接二進制計數器，以作為時刻標誌之用。

上述之閃電計次器於設計及製造完成後分別裝置於交通部電信研究所崙坪觀測台（中壢）及臺大大氣科學系觀測場（臺北）以試測其接收效果。圖 15 係 1977 年 4 月在崙坪觀測台所測得的閃電發生頻度。在七日及十四日，閃電發生的次數最多而且至少十次。氣象局新竹測候所及空軍桃園氣象中心的資料皆顯示在七日有雷雨，十七日則惟獨後者有記錄。表一所列係在較大雷雨時所測得的閃電發生頻度。至於本計

表 1. 較大雷雨時閃電計次器所測得的次數

日 期	閃電發生頻度(次)	測 站
1977-5-20	162	臺 大
1977-5-21	262	臺 大
1977-5-31	145	臺 崙 大
1977-6- 2	87	臺 崙 大
1977-6-14	442	臺 大
1977-6-15	412	臺 大
1977-6-23	124	臺 大

次器所能測得的最遠距離，利用聽覺方法所得結果為 17 公里，亦即接收到閃電的信號 49 後秒才聽到雷

聲。

由上面初步測試結果可知此閃電計次器的接收效果良好。因計次器為電子自動裝置，對閃電資料的蒐集較客觀準確，製造簡單，維護容易，而且氣象工作人員，電訊工程師，電力工程師及大氣電學研究者對所測得的資料皆可加以利用，因此頗值得廣泛應用。

誌謝：本文係在國科會66年度研究計劃 NSC-66M-0202-01 (06) 補助下完成

參考文獻

Braham, R. A. (1967): The transistorized total-lightning-flash counter, Electronics Letters, 3, p. 225.

Braham, R. A. (1965): Transistorized lightning flash counter, Electronics Letters, 1, p. 173.

Brookes, C. E. P. (1925): Distribution of thunderstorms over the globe, Meteorological Office Geophysical Memoirs and Professional Notes, No. 24.

Bruce G. E. R. and Golde, R. H. (1941): The Lightning Discharges, Jour. I. E. E., 88, Part 2, p. 487.

Davis, R. (1946): High voltage research at the National Physical Laboratory, Journal I. E. E., 93, Part 1, p. 177.

Forrest, J. S. (1943): The determination of the location and frequency of thunderstorms by a radio method, Quar. Jour. Roy. Meteor. Soc., 69, p. 33.

Gane, P. G. and Schonland, B. F. J. (1948) The ceraunometer, Weather, 3, p. 174.

Horner, F. (1960): The design and use of instruments for counting local lightning flashes, Proc. I. E. E., 107 p. 321.

Horner, F. (1958): The relationship between atmospheric radio noise and lightning phenomena, Jour. Atmos. Terr. Phys., 13, p. 140.

Ito, K., Kato, T. and Iwai, A. (1955): Local lightning flash counter within 20 km, Proc. Res. Inst. Atmos., Nagoya Univ., 3, p. 69.

Pierce, E. T. (1956): Field changes and lightning flash counters, Archiv fur Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, 9, p. 78.

Schonland, B. F. J. (1956): The lightning discharge, Vol. 22, "Gas Discharges, II" in "Encyclopedia of Physics, Springer Verlag, Berlin.

Sullivan, A. W., Well, J. D. and Dinger, H. E. (1954): Radio receiver counts lightning strokes, Electronics, October, 27, p. 158.

Sullivan, A. W. and Wells, J. D. (1957): A lightning stroke counter, Bull. Amer. Meteor. Soc., 38, p. 291.

顏世雄、劉鏡生 (1972) 臺灣的雷分佈，電工季刊三月份，p. 53。

作者通訊處：

黃胤年，陳盛文：中壢郵政信箱 71 號

陳英：臺北市國立臺灣大學大氣科學系

保密防諜 ·

人人有責 ·

匪諜自首 ·

既往不究 ·

應用 ARIMA 模式對臺北市月平均溫度與總降水量的分析與預測

Analysis and Forecast of Taipei Monthly-mean Temperature and Total-amount Precipitation by ARIMA Model

胡 仲 英

Hu Chung-ying

ABSTRACT

This paper presents a statistical analysis and forecast of the monthly-mean temperature and total-amount precipitation in Taipei. The basic statistical tool used in this paper is the so-called "ARIMA model", which is developed by Box and Jenkins. These authors have constructed a very extensive class of time series models which are capable of representing stationary, nonstationary and seasonal data, and have developed an efficient model building procedure. Data covering the period January 1963 through December 1976 are used to construct the models. One-step-ahead forecasts are calculated from January 1974 to December 1976 and are compared with actual observations. Use the models we also forecast Taipei monthly-mean temperature and total-amount precipitation in 1977.

一、簡介

在一時期內對於一物理量作等時距連續觀測所得的數列稱之為時間數列。時間數列分析方法一般可分成兩類：(1)頻率域分析 (Analysis in frequency domain)，亦稱為分譜分析 (Spectral analysis)，係將時間數列之變化以不同頻率之分量部分表示，此法已為國內氣象學者⁽¹⁾，普遍應用，本文不擬討論。(2)時間域分析 (Analysis in time domain)，古典的時間域分析大致將影響觀測物理量的因素分成⁽²⁾長期趨勢 (Secular trend)，季節變動 (Seasonal variation) 循環變動 (Cyclical movement) 及偶

然變動 (Irregular fluctuation) 等四類，前三者均係有規則之變動，可用統計法測定，而偶然變動為一不規則變動，用古典時間數列分析法很難予以測定。Box and Jenkins 在 1970 年提出一種新的時間數列分析法⁽³⁾，係依各種觀測物理量時間數列的特性建立不同的隨機時間數列模式 (Stochastic model)，並應用所建立的隨機模式作預測，此隨機模式包括自迴歸 (Auto-regression 簡寫為 AR)，積分 (Integral, 簡寫為 I) 與移動平均 (Moving-average, 簡寫為 MA) 三部分，或簡稱為 ARIMA 時間數列模式，目前已經被廣泛地應用到工程、經濟、商業及自然科學方面的決策分析、控制研究與定

量預測。本文簡單介紹 ARIMA 時間數列模式，並將此模式應用到臺北月平均溫度與月總降水量預報，俾對國內長期定量預報提供一客觀的新方法。

二、模式的建立

ARIMA 基本概念在於一物理量的過去觀測值 (Z_t) 可由一線性隨機模式來代表，而該物理量未來的預報則可藉此模式由有限 p 個過去觀測值 (AR (p) 模式) 之權重和，再加上有限 q 個過去的擾動值 (MA (q) 模式) 之權重和作成。AR (p) 模式可寫成：

$$\tilde{Z}_t = \phi_1 \tilde{Z}_{t-1} + \phi_2 \tilde{Z}_{t-2} + \dots + \phi_p \tilde{Z}_{t-p} + a_t \quad (2.1)$$

此處 $\tilde{Z}_t = Z_t - \mu$, μ 為觀測物理量平均值， $\phi_1, \phi_2 \dots \phi_p$ 為 AR (p) 模式的 p 項參數， $\{a_t\}$ 數列為擾動 (Shocks)，統計上假設此擾動數列有一常態分配 (Normal distribution) 其期望值 (Expect value) 為 0，變異數 (Variance) 為 σ_a^2 ，此一序列之隨機變數 a_t, a_{t-1}, \dots 又稱為白噪音 (white noise)。

吾人若定義函數 $\phi(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$, B 為後移運算子 (Backshift operator)， $BZ_t = Z_{t-1}, B^2Z_t = Z_{t-2}, \dots$ 則 (2.1) 式可改寫成：

$$\phi(B) \tilde{Z}_t = a_t \quad (2.2)$$

MA (q) 模式可寫成：

$$\tilde{Z}_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (2.3)$$

$\theta_1, \theta_2 \dots \theta_q$ 為 MA (q) 模式的 q 項參數， a_t, a_{t-1}, \dots 係白噪音，吾人若定義函數 $\theta(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$ ，則 (2.3) 式可寫成：

$$\tilde{Z}_t = \theta(B) a_t \quad (2.4)$$

綜合 (2.1), (2.3), ARMA (p,q)，混合模式可寫成：

$$\begin{aligned} \tilde{Z}_t = & \phi_1 \tilde{Z}_{t-1} + \phi_2 \tilde{Z}_{t-2} + \dots + \phi_p \tilde{Z}_{t-p} + a_t \\ & - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \end{aligned} \quad (2.5)$$

或簡寫成：

$$\phi(B) \tilde{Z}_t = \theta(B) a_t \quad (2.6)$$

上式係適用於時間數列在一統計的平穩狀態 (Stationary)，亦即觀測數列在其平均值有限範圍內變動，而其機率分配不因時間改變，實際上甚多時間數列具有某一傾向或趨勢的非平穩性 (Non-stationary)，此時可用下式代表 ARIMA (p,d,q)：

$$\phi(B) \nabla^d Z_t = \theta(B) a_t \quad (2.7)$$

∇^d 運算子的功用係將一非平穩性的時間數列 Z_t 取 d 次差分後變換為平穩的時間數列， $\nabla = (1 - B)$, $\nabla^2 = (1 - B)^2, \dots$

以上係介紹 ARIMA 的數學結構，吾人得依觀測物理量的性質建立最適當的 ARIMA 模式，模式建立的程序可概述如下：

- 1.由對觀測物理量的瞭解，決定採用經驗模式的類型。
- 2.利用統計方法鑑定模式類型。
- 3.由已有的觀測數列來估計模式中未知參數值。
- 4.診斷並檢驗此模式是否適當：模式是否能正確的代表觀測時間數列，模式是否合乎精簡原則 (Principle of parsimony)。
- 5.如果模式為適當，則可用於分析與預測，如果模式不適當，吾人需重新作 2~4 步驟，直到尋獲適當模式為止。茲進一步討論模式建立的每一程序：

1. 鑑定模式類型 (Identification):⁽⁴⁾

A. 非季節性模式

如觀測物理量沒有明顯的週期性存在，吾人可用非季節性 (Non-seasonal) 時間數列模式來處理，非季節性模式的鑑定係利用自相關及部分自相關函數 (Autocorrelation and partial autocorrelation function)，自相關函數 (簡寫為 acf) 統計量可由下式求得：

$$\hat{\rho}_k = -\frac{R_k}{R_0} \quad k=0,1,2,\dots,L \quad (2.8)$$

$\hat{\rho}_k$ 為遲滯 (Lag) k 時間的 acf, R_k 為遲滯 k 時間的自協變量數 (Autocovariance)，其數學公式為：

$$R_k = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-L} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z})$$

N 為觀測物理量數目， L 為最大遲滯時間， \bar{Z} 為觀測物理量平均值。Bartlett⁽⁵⁾ 證明當模式為 MA(q) 時，acf 的估計標準差 (Standard error) 為：

$$SE(\hat{\rho}_k) = \sqrt{VAR(\hat{\rho}_k)}$$

$$VAR(\hat{\rho}_k) = \frac{1}{N} \{1 + 2 \sum_{v=1}^q \hat{\rho}_v^2\} \quad k>q \quad (2.9)$$

部分自相關函數 (簡寫為 pacf) 統計量可由下式求得：

$$\hat{\Phi}_{kk} = \frac{1}{\begin{vmatrix} 1 & \hat{p}_1 & \dots & \hat{p}_1 \\ \hat{p}_1 & 1 & \dots & \hat{p}_2 \\ \hat{p}_2 & \hat{p}_1 & \dots & \hat{p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \hat{p}_{k-1} & \hat{p}_{k-2} & \dots & 1 \end{vmatrix}} \quad \dots \quad (2.10)$$

$\hat{\phi}_{kk}$ 為遲滯 k 時間的 pacf，由 (2.10) 式可知 pacf 可由 acf 計算求得。Quenouille⁽⁶⁾ 證明當模式為 AR(p) 時，pacf 的估計標準差為：

$$SE(\hat{\phi}_{k,k}) = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad k \geq p+1 \dots \dots \dots (2.11)$$

由觀測數列的 acf 及 pacf，依照下述原則，吾人可鑑定模式類型：

(1) 若 acf 是漸漸消失 (tail off), 而 $k \leq p$ 時 $pacf$ 為顯着 *, $k > p$ 時 $pacf$ 為不顯着, 此時吾人可鑑定此數列為 $AR(p)$ 模式。

(2)若當 $k \leq q$ 時 acf 為顯着， $k > q$ 時 acf 為不顯着，而 $pacf$ 是漸漸消失，則可鑑定此數列為 $MA(q)$ 模式。

(3) 若 acf 於遲滯 $q-p+1$ 時間開始呈現指數 (exponential) 及阻尼正弦波 (damped sine wave) 混合型的衰退消失圖形，而 pacf 亦於遲滯 $p-q+1$ 時間開始呈混合的指數及阻尼正弦波衰退消失圖形，則可鑑定此時間數列為 ARMA (p, q) 模式。

d 值的決定：由理論證明非平穩性時間數列的 acf 不會迅速趨近於零，此時吾人需先計算時間數列的差分值 ($W_t = \nabla^d Z_t$, $d=0,1,2,\dots$) 使差分值數列的 acf 很快趨於零，此最小的 **d** 值即為所需差分的次數。

B. 季節性模式

自然界的觀測物理量，例如溫度或降水均具有一個或多個自然週期，因此自然界的觀測數列需要用季節性 (seasonal) 模式來處理，季節性 ARIMA 模式由下述兩部分組成：

(1) 週期變化部分：如觀測數列有 s 的季節性週期存在，則可用下述模式表示其週期變化部分：

$$(1 - \phi_1^* - \dots - \phi_{p_1}^* B^{p_1 s}) (1 - B^s)^{d_1} \tilde{Z}_t \\ = (1 - \theta_1^* B^s - \dots - \theta_{q_1}^* B^{q_1 s}) e_t \dots (2.12)$$

上式中 $\phi_1^* \dots \phi_p^*$ 為季節性 AR(p_1) 模式的 p_1 項係數， d_1 為差分次數， $\theta_1^* \dots \theta_{q_1}^*$ 為季節性 MA (q_1) 模式的 q_1 項係數， $\{e_t\}$ 為另一時間數列。

(2) 非週期變化部分：

$$(1 - \phi_1 B - \cdots - \phi_p B^p) (1 - B)^d e_t = (1 - \theta_1 B - \cdots - \theta_q B^q) a_t \cdots \cdots \cdots (2.13)$$

此處 $\{a_i\}$ 數列係滿足常態分配，期望值為 0，變異數為 σ_a^2 ，

聯合 (2.12), (2.13) 兩式，吾人可得季節性 ARIMA 的一般式：

$$\phi_p(B)(1-B)^d \phi_{p1}^*(B^s)(1-B^s)^{d1} Z_t = \theta_a(B) \theta_{a1}^*(B^s) a_t \dots \quad (2.14)$$

此處 $\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p)$,

$$\theta_a(B) = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_s B^s),$$

$$\phi_{n1}^*(B^s) = (1 - \phi_1^* B^s - \dots - \phi_{n1}^* B^{p1s}),$$

$$\theta_{s^1}*(B^s) = (1 - \theta_1*B^s - \dots - \theta_{s^1}*B^{s^{1:s}}).$$

(2.14) 式稱為 $(p, d, q) \times (p_1, d_1, q_1)$ 的相乘

季節性模式，此類模式的鑑定參見⁽⁷⁾。

2. 估計模式中參數值 (Estimation) ⁽⁶⁾:

經由模式鑑定，吾人可得代表觀測時間數列的隨機模式（2.6 式或 2.14 式），模式中的諸參數 (ϕ_1 , θ_1 及／或 ϕ_{p1}^* , θ_{q1}^*) 可先由理論（查圖或表）找到初始參數值（Initial value）代入模式可求得與觀測同時間的預測值 \hat{Z}_t ，利用殘差（實際值與預測值的差）的非線性最小平方差法（Non-linear least square error method），應用 Marquardt 數值解法，經過若干次疊代（Iterations）計算，即可求出較精確的參數值，疊代次數視吾人所要求模式參數的精確度及初始參數值的恰當與否而定。

3. 模式診斷 (Diagnostic checking)⁽⁹⁾

當鑑定模式的參數估計後，吾人需進一步瞭解此模式是否能最佳地代表觀測時間數列，即需對模式的適性 (Goodness of fit) 作診斷工作，診斷的方法有下述兩種：

(1) 殘差數列自相關的個別檢定：

假設吾人由一時間數列經過鑑定及參數估計求得的隨機模式爲：

式中 $\hat{\theta}_p(B)$, $\hat{\theta}_q(B)$ 為由最小平方差估計的參

*在模式鑑定時，吾人取 95% 信賴度，即兩倍標準差當作顯着區間，當 acf 或 $pacf$ 大於其兩倍標準差時，吾人可視為顯着，反之則為不顯着。

列模式實驗，月平均溫度係先由 24 小時逐時觀測計算每日平均值，再取月平均而得之，由圖 1 可看出月平均溫度變化相當規則，通常一、二月最低溫，七、八月最高溫，觀測數列 Z_t 總數為 168 個，表 1 是 Z_t 自遲滯 1 到遲滯 36 個月的 acf，ST.E. 為依 (2.9) 式計算的估計標準差，acf 呈波動變化，在遲滯 1, 12,

24, 36 處均出現高峯且波幅不隨遲滯時間減小，顯然有一週期為 12 個月的季節變化存在，故取 $s=12$ ，並令 $y_t = (1-B^{12})Z_t = Z_t - Z_{t-12}$ ，再求 y_t 的 acf 結果見表 2(a)，遲滯 1, 10, 11, 12 的 acf 大於兩倍標準差，遲滯 8 的 acf 約等於兩倍標準差，其餘 acf 均小於兩倍標準差，計算 y_t 的 pacf 見表 2(b)，

表 1. 臺北月平均溫度時間數列的 acf

1-12 ST. E.	0.82 0.08	0.46 0.12	-0.01 0.13	-0.46 0.13	-0.78 0.14	-0.90 8.16	-0.78 0.19	-0.45 0.21	0.00 0.21	0.43 0.21	0.75 0.22	0.87 0.23
13-24 ST. E.	0.75 0.25	0.42 0.27	-0.01 0.27	-0.42 0.27	-0.72 0.27	-0.83 0.28	-0.72 0.30	-0.41 0.31	0.00 0.31	0.41 0.31	0.70 0.31	0.80 0.32
25-36 ST. E.	0.69 0.34	0.39 0.34	-0.00 0.35	-0.39 0.35	-0.67 0.35	-0.77 0.36	-0.66 0.37	-0.38 0.37	0.01 0.38	0.38 0.38	0.65 0.38	0.74 0.38

表 2. (a) 臺北月平均溫度季節差分的 acf

1-12 ST. E.	0.29 0.08	0.15 0.08	0.05 0.08	0.15 0.09	0.06 0.09	-0.09 0.09	-0.16 0.09	-0.19 0.09	-0.07 0.09	-0.21 0.09	-0.27 0.09	-0.48 0.10
13-24 ST. E.	-0.08 0.11	-0.08 0.11	-0.02 0.11	-0.05 0.11	0.05 0.11	0.12 0.11	0.08 0.11	0.11 0.11	0.03 0.11	0.16 0.11	0.04 0.12	0.11 0.12
25-36 ST. E.	0.02 0.12	0.06 0.12	0.01 0.12	0.07 0.12	0.02 0.12	0.01 0.12	-0.02 0.12	-0.04 0.12	0.08 0.12	-0.02 0.12	0.07 0.12	-0.13 0.12

表 2. (b) 臺北月平均溫度季節差分的 pacf

1-12	0.29	0.07	-0.01	0.14	-0.01	-0.14	-0.12	-0.13	0.02	-0.16	-0.17	-0.38
13-24	0.15	-0.06	0.02	0.01	0.03	-0.04	-0.09	-0.02	-0.06	0.00	-0.17	-0.07
25-36	0.09	-0.01	0.02	0.11	0.05	0.03	-0.08	0.01	0.12	0.00	0.02	-0.12

pacf 的標準差由 (2.11) 式計算為 0.08，由表 2(b) 可見遲滯 1, 10, 11, 12, 23 均大於或等於兩倍標準差，其餘 pacf 均較小，故初步鑑定臺北月平均溫度數列為下述模式：

$$(1-\phi_1 B - \phi_{12} B^{12})(1-B^{12})Z_t = \theta_0 + (1-\theta_1 B - \theta_{12} B^{12}) a_t \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

經過參數估計程式計算，吾人得 (3.1) 式各參數

值如下：

$$\phi_1 = 0.067, \phi_{12} = -0.159$$

$$\theta_0 = -0.220, \theta_1 = -0.152, \theta_{12} = 0.690 \dots (3.2)$$

接着吾人對 (3.1) 式模式作適性的診斷，由 (2.16)

式計算此模式的殘差數列，殘差平方和為 200.3，再用 (2.18) 及 (2.10) 式分別計算殘差的 acf 及 pacf，結果見表 3(a) 及 3(b)，由二表可看出殘差遲滯 11

表 3. (a) 臺北月平均溫度 (3.1) 式 殘差的 acf

1-12 ST. E.	0.01 0.08	0.08 0.08	-0.04 0.08	0.14 0.08	0.00 0.09	-0.10 0.09	-0.12 0.09	-0.10 0.09	-0.02 0.09	-0.07 0.09	-0.20 0.09	0.08 0.09
13-24 ST. E.	-0.03 0.09	-0.02 0.09	0.01 0.09	0.05 0.09	0.06 0.09	0.14 0.09	-0.03 0.09	0.03 0.09	0.05 0.09	0.07 0.09	-0.09 0.10	0.02 0.10
25-36 ST. E.	-0.01 0.10	-0.05 0.10	-0.06 0.10	0.05 0.10	0.01 0.10	0.10 0.10	0.01 0.10	-0.10 0.10	0.16 0.10	-0.03 0.10	0.09 0.10	-0.12 0.10

表 3. (b) 臺北月平均溫度 (3.1) 式 殘差的 pacf

1-12	0.01	0.08	-0.04	0.14	0.01	-0.13	-0.11	-0.18	-0.02	-0.04	-0.18	0.11
13-24	-0.03	-0.08	0.06	0.00	0.01	0.13	-0.08	0.01	0.05	-0.00	-0.02	0.03
25-36	-0.00	-0.03	-0.04	0.11	0.06	0.06	0.06	-0.13	0.15	-0.07	0.09	-0.05

個月的 acf 及 pacf 均略大於兩倍標準差，雖然僅此一個不通過殘差個別檢定，其機率小於 5%，且 Q 值為 34.1 也小於 $\chi^2(31)$ 理論值，原 (3.1) 式應為可適用模式，但為求模式能最佳的擬合，吾人作下述的改進：

$$(1 - \phi_1 B - \phi_{11} B^{11} - \phi_{12} B^{12})(1 - B^{12})Z_t = \theta_0 + (1 - \theta_1 B - \theta_{11} B^{11} - \theta_{12} B^{12})a_t \quad (3.3)$$

(3.3) 式各參數值經過估計後得下列值：

$$\begin{aligned}\phi_1 &= 0.121, \phi_{11} = -0.076, \phi_{12} = 0.132 \\ \theta_0 &= -0.022, \theta_1 = -0.087, \theta_{11} = 0.099, \\ \theta_{12} &= 0.664\end{aligned}\quad (3.4)$$

(3.3) 式模式的殘差平方和減少為 195.2，表 4

(a) 及 (b) 分別為修正模式殘差的 acf 及 pacf，由二表可看出均無一者為顯著，殘差的平均值為

表 4. (a) 臺北月平均溫度 (3.3) 式 殘差的 acf

1-12 ST. E.	0.00 0.08	0.07 0.08	-0.07 0.08	0.13 0.08	0.01 0.09	-0.09 0.09	-0.08 0.09	-0.12 0.09	-0.01 0.09	-0.07 0.09	-0.04 0.09	0.05 0.09
13-24 ST. E.	0.02 0.09	-0.04 0.09	0.02 0.09	0.03 0.09	0.07 0.09	0.13 0.09	-0.04 0.09	0.03 0.09	0.02 0.09	0.09 0.09	-0.06 0.09	0.03 0.09
25-36 ST. E.	-0.02 0.09	-0.06 0.09	-0.07 0.09	0.05 0.09	0.02 0.09	0.09 0.09	0.01 0.09	-0.10 0.09	0.16 0.09	-0.03 0.10	0.12 0.10	-0.14 0.10

表 4. (b) 臺北月平均溫度 (3.3) 式 殘差的 pacf

1-12	0.00	0.07	-0.07	0.13	0.02	-0.12	-0.06	-0.12	-0.02	-0.03	-0.03	0.08
12-24	0.01	-0.08	0.03	-0.01	0.04	0.15	-0.06	0.03	0.03	0.04	-0.02	0.04
25-36	0.01	-0.05	-0.06	0.09	0.03	0.09	0.06	-0.13	0.14	-0.07	0.08	-0.06

-0.02，平均值標準差為 0.1，強烈顯示殘差的分配趨向零平均。再者，修正模式的 Q 值為 28.1 也遠小於 $\chi^2(29)$ 理論值，並由表 5 可看出 (3.3) 式各參數間相關係數均甚小，至此可確定 (3.3) 式為臺北月平均溫度數列的最佳模式。展開 (3.3) 式，吾人得：

$$\begin{aligned}Z_t &= \phi_1 Z_{t-1} + \phi_{11} Z_{t-11} + \phi_{12} Z_{t-12} - \phi_1 Z_{t-13} \\ &\quad - \phi_{11} Z_{t-23} - \phi_{12} Z_{t-24} + \theta_0 + a_t - \theta_1 a_{t-1} \\ &\quad - \theta_{11} a_{t-11} - \theta_{12} a_{t-12} \quad (3.5)\end{aligned}$$

由 (3.5) 式可看出臺北某月的平均溫度，受前

1, 11, 12, 13, 23 及 24 等月份平均溫度影響，並且受前 1, 11, 12 及當月份擾動的影響。利用 (3.3) 式最佳模式，吾人自 1974 年 1 月開始作逐月預測 (One-step-ahead forecast)，結果繪於圖 2 實線，虛線則為實際觀測值。由圖 2 顯示 (3.3) 式對臺北月平均溫度數列有很好的擬合，預測的季節變化大致與實際一致，惟 1974 年 12 月 (第 12 點) 實際月平均溫度為 18.8，預測為 16.7°C，誤差達 2.1°C，其餘各月誤差均接近或小於 1 度，36 個月的平均絕對誤差僅為 0.7 度。

表 5. (3.3) 式各參數相關係數表

	ϕ_1	ϕ_{11}	ϕ_{12}	θ_0	θ_1	θ_{11}	θ_{12}
ϕ_1	1.0000						
ϕ_{11}	0.0981	1.0000					
ϕ_{12}	0.1954	-0.1632	1.0000				
θ_0	0.0344	-0.0067	-0.0761	1.0000			
θ_1	0.6877	0.0788	0.2197	-0.0228	1.0000		
θ_{11}	0.0641	0.5888	-0.0751	-0.0666	0.0804	1.0000	
θ_{12}	0.0025	0.0321	0.5261	-0.1092	-0.0005	0.0432	1.0000

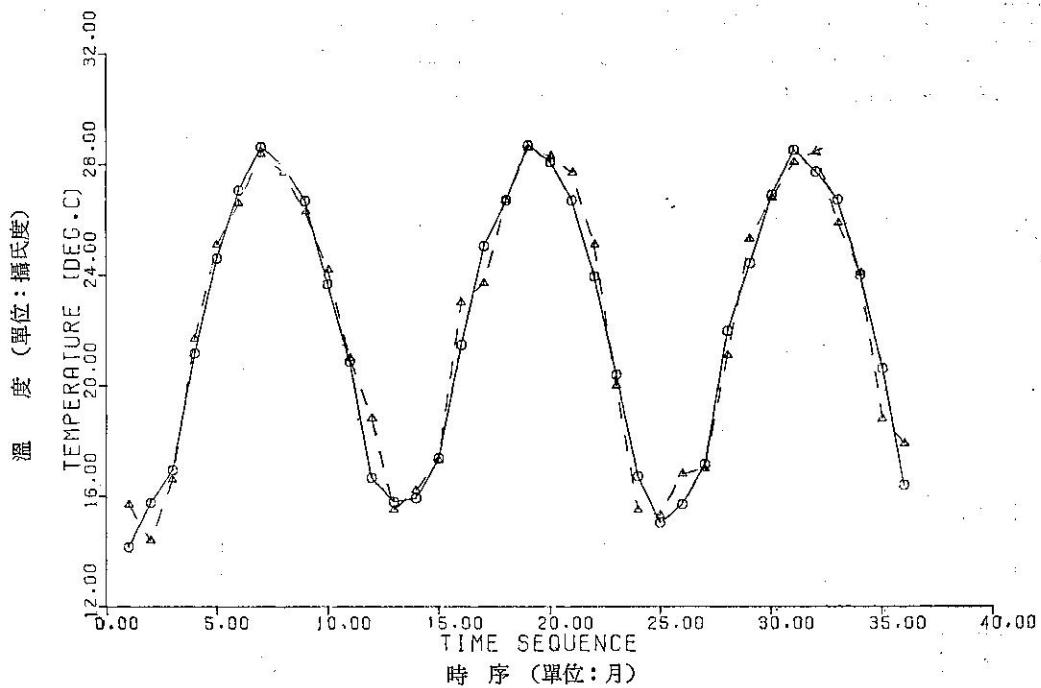


圖 2. 臺北逐月平均溫度預測 (1974 年 1 月至 1976 年 12 月)：實線為預測值，虛線為實際觀測值

(二) 作者其次取 1963 年 1 月至 1976 年 12 月臺北逐月總降水量時間數列(見圖 3)作 ARIMA

模式實例討論。表 6 是 Z_t 自遲滯 1 到遲滯 36 個月的 acf，由於呈明顯波動變化，且在遲滯 1, 12,

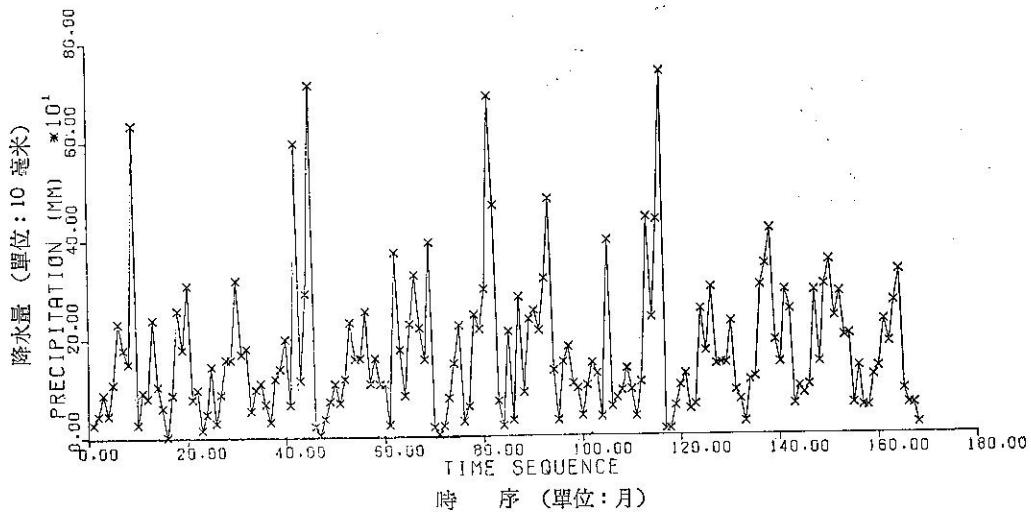


圖 3. 臺北逐月總降水量 (1963 年 1 月至 1976 年 12 月)

表 6. 臺北月降水量時間數列的 acf

24, 36 號均出現高峯，波幅不隨時間減小，顯然有一週期為 12 的季節變化存在，故取 $s=12$ ，並令 $y_t = (1 - B^{12})Z_t$ ，再求 y_t 的 acf，結果見表 7(a)，遲

滯 12 的 acf 遠大於兩倍標準差，遲滯 3 的 acf 等於兩倍標準差，其餘諸值均遠小於兩倍標準差，由 y_t 的 $pacf$ (見表 7 (b))，可看出遲滯 12, 24, 36

表 7. (a) 臺北月降水量季節差分的 acf

表 7. (b) 臺北月降水量季節差分的 pacf

1-12	0,05	-0,00	0,16	-0,07	-0,05	0,00	0,07	-0,03	-0,15	-0,04	0,01	-0,45
13-24	-0,07	-0,03	0,08	0,04	0,02	0,04	-0,14	0,08	-0,22	0,01	0,01	-0,31
25-36	-0,02	-0,02	0,10	-0,06	0,05	-0,04	0,05	0,02	-0,07	0,16	-0,03	-0,12

顯着地大於兩倍標準差，遲滯 3 的 pacf 約等於兩倍標準差，故初步鑑定臺北逐月總降水量為下述模式：

$$(1-\phi_3 B^3) (1-\phi_{12}^* B^{12}) (1-B^{12}) Z_t = \theta_0 + (1-\theta_3 B) (1-\theta_{12}^* B) a_t \dots \dots (3.6)$$

經過參數估計程式計算，吾人得 (3.6) 式各參數

值如下：

$$\phi_3 = -0.007, \phi_{12}^* = -0.185$$

$$\theta_0 = 5.668, \quad \theta_3 = -0.046, \quad \theta_{12}^* = 0.83\ldots \quad (3.7)$$

其次，吾人對(3.6)式模式作適性診斷，其殘差的平方和為 2.31×10^6 ，殘差的 acf 及 pacf 見表 8(a) 及 8(b)，由此二表可看出遲滯 9 的 acf 及

表 8. (a) 臺北月降水量 (3.6) 式 殘差的 acf

表 8. (b) 臺北月降水量 (3.6) 式 殘差的 pacf

1-12	0,07	-0,06	0,03	-0,10	0,02	0,10	0,01	-0,04	-0,19	0,02	0,05	0,09
13-24	-0,12	-0,03	-0,03	0,01	0,06	-0,03	-0,02	0,07	-0,07	0,10	0,03	-0,00
25-36	-0,05	-0,01	0,04	-0,07	0,02	-0,11	0,22	-0,07	0,07	0,09	0,02	0,03

pacf 為顯着，雖然僅比一個不通過殘差檢定，其機率小於 5%，且 Q 值為 27.3 遠小於 $\chi^2(31)$ 理論值，但吾人爲求模式能最佳的擬合，故取修正模式如下：

$$(1-\phi_3 B^3 - \phi_9 B^9)(1-\phi_{12}^* B^{12})(1-B^{12}) Z_t = \theta_0 + (1-\theta_3 B^3 - \theta_9 B^9)(1-\theta_{12}^* B^{12}) a_t \quad (3.8)$$

(3.8) 式各參數經過估計後得下列值：

$$\phi_3 = 0.09, \phi_9 = -0.147, \phi_{12}^* = 0.06$$

$$\theta_9 = 5.508, \quad \theta_3 = -0.016, \quad \theta_9 = 0.04,$$

(3.9) 式模式殘差平方和減少為 2.29×10^6 ，表 9 (a) 及 9 (b) 分別為此修正模式的 acf 及 pacf。由兩表可看出均無一者為顯著，其 Q 值為 18.9 遠小於 $\chi^2(29)$ 理論值，由於 (3.8) 式的參數較多，吾人進一步分析各參數間的相關性，計算相關係數見

表 9. (a) 臺北月降水量 (3.8) 式 殘差的 acf

1-12 ST. E.	0.08 0.09	-0.04 0.09	-0.01 0.09	-0.12 0.09	-0.06 0.09	0.11 0.09	0.00 0.09	-0.02 0.09	0.01 0.09	-0.02 0.09	0.06 0.09	0.04 0.09
13-24 ST. E.	-0.05 0.09	-0.04 0.09	-0.05 0.09	-0.03 0.09	0.03 0.09	0.05 0.09	-0.09 0.09	0.04 0.09	-0.09 0.09	0.09 0.09	0.08 0.09	0.05 0.09
25-36 ST. E.	-0.02 0.09	-0.02 0.09	0.03 0.09	-0.05 0.09	0.01 0.09	-0.06 0.09	0.09 0.09	-0.03 0.09	0.04 0.10	0.17 0.10	0.01 0.10	0.02 0.10

表 9. (b) 臺北月降水量 (3.8) 式 殘差的 pacf

1-12	0.08	-0.04	-0.00	-0.13	-0.04	0.11	-0.02	-0.03	-0.00	0.00	0.07	0.01
13-24	-0.05	-0.03	-0.04	-0.01	0.01	0.03	-0.10	0.06	-0.10	0.13	0.03	0.04
25-36	-0.02	-0.01	0.08	-0.08	-0.00	-0.08	0.14	-0.07	0.05	0.14	-0.01	0.08

表 10，由此表可看出 ϕ_3 與 θ_3 , ϕ_9 與 θ_9 間有甚高的相關，為符合模式的精簡原則，吾人捨去參數較小的 θ_3 與 θ_9 ，得下述模式：

$$(1 - \phi_3 B^3 - \phi_9 B^9)(1 - \phi_{12}^* B^{12})(1 - B^{12})Z_t = \theta_0 + (1 - \theta_{12}^* B^{12}) a_t \dots \quad (3.11)$$

(3.11) 式模式的諸參數，計算如下：

$$\begin{aligned} \phi_3 &= 0.107, \quad \phi_9 = -0.174, \quad \phi_{12}^* = -0.05 \\ \theta_0 &= 5.26, \quad \theta_{12}^* = 0.839 \end{aligned} \quad (3.12)$$

(3.11) 式模式殘差平方和為 2.30×10^6 ，表 11 (a) 及 11 (b) 分別為 (3.11) 式模式殘差的 acf 及 pacf，由二表可看出均無一者為顯著，Q 值為 18.4 遠小於 $\chi^2(31)$ 的理論值，並由表 12 可看出 (3.11) 式各參數間相關係數均甚小。至此可確定 (3.11) 式為臺北月降水量時間數列的最佳模式，展開 (3.11) 式，得到下式：

表 10. (3.8) 式各參數相關係數表

	ϕ_3	ϕ_9	ϕ_{12}	$*\theta_0$	θ_3	θ_9	θ_{12}^*
ϕ_3	1.0000						
ϕ_9	-0.2100	1.0000					
ϕ_{12}^*	0.5553	-0.1695	1.0000				
θ_0	-0.4377	-0.1637	-0.2846	1.0000			
θ_3	0.9779	-0.2156	0.5460	-0.4156	1.0000		
θ_9	-0.2032	0.9370	-0.1678	-0.1374	-0.2157	1.0000	
θ_{12}^*	0.0102	0.0547	0.3531	0.1654	0.0293	0.0324	1.0000

表 11. (a) 臺北月降水量 (3.11) 式 殘差的 acf

1-12 ST. E.	0.07 0.09	-0.04 0.09	-0.01 0.09	-0.12 0.09	-0.05 0.09	0.10 0.09	0.02 0.09	-0.02 0.09	-0.00 0.09	-0.03 0.09	0.04 0.09	0.04 0.09
13-24 ST. E.	-0.06 0.09	-0.04 0.09	-0.04 0.09	-0.03 0.09	0.04 0.09	0.05 0.09	-0.08 0.09	0.04 0.09	-0.12 0.09	0.08 0.09	0.08 0.09	0.05 0.09
25-36 ST. E.	-0.02 0.09	-0.02 0.09	0.04 0.09	-0.05 0.09	0.02 0.09	-0.07 0.09	0.10 0.09	-0.04 0.09	0.01 0.09	0.16 0.09	-0.00 0.09	0.03 0.10

表 11. (b) 臺北月降水量 (3.11) 式 殘差的 pacf

1-12	0.07	-0.04	-0.00	-0.12	-0.03	0.10	0.00	-0.03	-0.01	-0.01	0.06	0.02
13-24	-0.07	-0.03	-0.03	-0.01	0.02	0.02	-0.08	0.06	-0.13	0.13	0.02	0.05
25-36	-0.03	-0.00	0.08	-0.07	0.01	-0.09	0.15	-0.08	0.03	0.13	-0.02	0.08

$$\begin{aligned}
 Z_t = & \phi_3 Z_{t-3} + Z_{t-12} + \phi_{12}^* Z_{t-12} - \phi_3 \phi_{12}^* Z_{t-15} \\
 & - \phi_3 Z_{t-15} + \phi_{12}^* Z_{t-24} - \phi_3 \phi_{12}^* Z_{t-27} \\
 & + \theta_0 + a_t - \theta_{12}^* a_{t-12} \dots \dots \dots \quad (3.13)
 \end{aligned}$$

由(3.13)式可看出臺北某月份降水量受前3,12,

15,24,27等月份降水影響，同時受前12月及當月擾動影響，吾人利用(3.11)式最佳模式，自1974年1月開始作逐月預測，結果繪於圖4實線，與實際降水(虛線部份)比較，可看出降水量模式的擬合顯然

表 12. (3.11) 式各參數相關係數表

	ϕ_3	ϕ_9	ϕ_{12}^*	θ_0	θ_{12}^*
ϕ_3	1.0000				
ϕ_9	-0.0866	1.0000			
ϕ_{12}^*	0.1048	0.0287	1.0000		
θ_0	-0.1537	-0.1436	-0.0913	1.0000	
θ_{12}^*	-0.0837	0.0652	0.4271	0.2095	1.0000

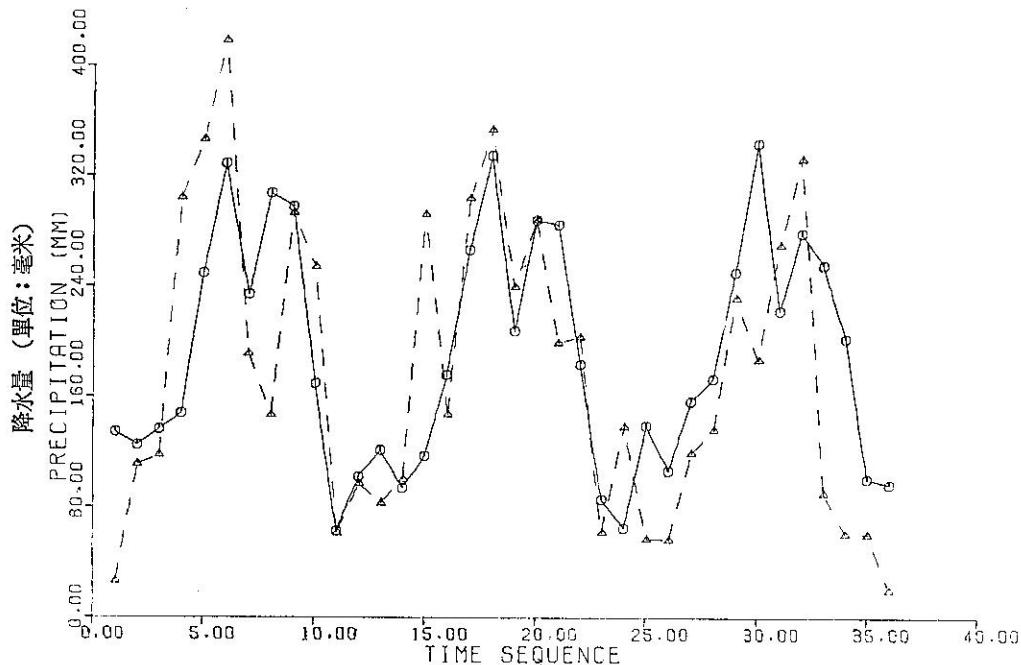


圖 4. 臺北逐月降水量預測(1974年1月至1976年12月)實線為預測值，虛線為實際觀測值

不及月平均溫度時間數列，此係因降水的擾動變量甚大，以致降水量時間數列的 acf 甚小(僅-0.3至0.3)所造成。檢視降水預測曲線吾人發現每年的降水預測均有兩個顯著高峯，此與實際降水非常符合，第一高峯出現在6月，係由梅雨造成，另一高峯出現在8、9月，係由颱風降水造成，而10月至次年4月降水量均較少。統計36個月預測的平均絕對誤差為68毫米，再進一步分析預測結果顯示1974年8月(第8點)預測偏高160毫米，查原因係該月沒有颱風侵襲，實際降水僅為該月累年平均(1897至1970年)

降水的一半(見表13)，1975年8月(第15點)

表 13. 臺北 1897 至 1970 年月平均值

月 別	一月	二月	三月	四月	五月	六月
平 均 溫 度	15.1	15.1	17.3	20.9	24.4	26.6
總 降 水 量	91	139	169	160	211	300
月 別	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平 均 溫 度	28.3	28.1	26.6	23.2	20.2	17.0
總 降 水 量	141	280	243	120	68	74

表 14. 預測 1977 年臺北月平均溫度（單度：攝氏度）

1977 年	一月	二月	三月	四月	五月	六月
預測值	15.4	16.0	17.2	21.7	24.6	26.8
實際值	15.4	14.3	19.2	23.6	25.7	27.2
誤差	0	+ 1.7	- 2.0	- 1.9	- 0.9	
1977 年	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
預測值	28.4	28.2	26.7	24.5	19.9	16.7

表 15. 預測臺北 1977 年月降水量（單位：mm）

1977 年	一月	二月	三月	四月	五月	六月
預測值	120	112	184	160	252	358
實際值	121	97	77	26	330	
誤差	- 1	+ 15	+ 107	+ 143	- 78	
1977 年	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
預測值	263	297	278	192	89	105

預測偏低 173 毫米，查係因該月 12 日、13 日連續大雷雨，兩日內降水量高達 147 毫米，使實際月降水量（292 毫米）遠大於該月累年平均降水量（169 毫米），由此二極端情形可看出降水量的擾動變量的確甚大，用簡單的時間數列線性模式實在無法將這些突變（Interventions）作有效的預測。

四、1977 年預測與結論

吾人假設 1977 年 1 至 12 月的擾動 a_t 為期望值零，用 (3.3) 式及 (3.11) 式模式分別預測 1977 年臺北月平均溫度及月總降水量，結果見表 14 及表 15。由表 14 可看出 (3.3) 式對 1977 年臺北溫度預測，1 月份相當準確，2 月偏高 1.7 度，3,4,5 月則分別偏低 2.0、1.9 度及 0.9 度。表 15 顯示 (3.11) 式模式對 1977 年臺北降水量 1,2 月預測相當理想，3、4 月分別偏高 107 及 143 毫米，5 月份則偏低 78 毫米。與 1897 年至 1970 年平均資料（見表 13）比較，臺北今年 3,4 月確是異常地乾旱，尤其 4 月份係自 1964 年以來最嚴重的乾旱，因為缺乏雨水的調節，使得臺北 3,4 月平均溫度顯著地上升。這種極端

乾旱與 1975 年 3 月雷雨帶來極端降水，在統計上均屬於突變現象，用 ARIMA 時間數列模式無法作最有效的預測，Box 與 Tiao⁽¹¹⁾ 認為有突變的時間數列，在應用 ARIMA 模式時應先作突變分析，並將突變效應考慮到 ARIMA 模式內，此理論應用到加州經濟與污染的時間數列模式有很好的結果，作者對此一問題將再作進一步的研究。再者，由於受到小型電腦容量的限制*，本文僅取 14 年的月別資料來作 ARIMA 時間數列模式，遇到的 (3.3) 式與 (3.11) 式模式所具有的統計代表性略顯不足，如取更長的時間數列，用大型的電腦來建立臺北月平均溫度與月降水量的 ARIMA 模式，應有更好的結果。

五、建議

在統計學的領域裡，利用已有資料對未來情況加以預測的方法相當多，例如吾人常採用的迴歸分析法等。但是很少有一方法能够對時間數列變化的趨勢、週期及擾動作一綜合的分析與預測，本文所討論的 ARIMA 時間數列模式能夠對複雜的時間數列，經過有效的鑑定、估計與診斷後建立一簡單的線性隨機模式，此模式可相當程度準確地預測未來的情況。

由於吾人可充分利用電腦高速計算的功能來建立 ARIMA 時間數列模式，而利用 ARIMA 模式所作的預報非常客觀且為定量預報 (Quantity Forecast)，所以此法值得廣為介紹，作者將進一步研究並期望此法為中央氣象局長期預報提供一確實有效的工具。

誌謝

作者首先感謝中央研究院刁院士錦寰，由於他的諄諄教誨，使作者得以瞭解並應用 ARIMA 時間數列預測方法。刁院士並在百忙中給予本文若干指正，作者尤為感激。在本文執寫期間，作者曾參加交通大學向傳心教授及清華大學張德新教授聯合主持的「時間數列講習會」，獲益頗多，謹向兩位教授致謝。此外，中央氣象局陳熙揚先生協助整理資料，電子計算機中心全力支援，作者均極為感激。

*註：中央氣象局現有電腦為 GA SPC 16/45 型，容量為 48K，每個 Word 僅 16 個 Bits。

參 考 文 獻

- (1) Shun-Der Ko (柯順德) 1975: Surface wind field and precipitation activity over Taiwan in Meiyu season. 1974-annual report of the Institute of physics, Academia Sinica. 301-322.
- (2) 陳超塵, 1961: 統計學, 臺灣商務印書館, 869 pp.
- (3) Box G. E. P. and G. M. Jenkins, 1970: Time series analysis forecasting and control. Holden-Day, San Francisco, 534 pp.
- (4) _____ 同(3) : _____, 173-205.
- (5) Bartlett, M. S., 1946: On the theoretical specification of sampling properties of auto-correlated time series. Jour. Royal Stat. Soc.,

B8. 27.

- (6) Quenouille, M. H., 1949: Approximate tests of correlation in time series. Jour. Royal Stat. Soc., B11, 68.
- (7) 向傳心, 張革新, 1977: Lecture notes on time series analysis, 76 pp.
- (8) Box G. E. P. and G. M. Jenkins, 1970: Time series analysis forecasting and control. Holden-Day, San Francisco, 208-274.
- (9) _____ 同(8) : _____, 285-299.
- (10) _____ 同(8) : _____, 126-166.
- (11) Box G. E. P. and G. C. Tiao, 1975: Intervention analysis with applications to economic and environmental problem Jour. of the American Stat. Assoc., 70, 70-79.

作者通訊處：中央氣象局

氣 象 學 報 徵 稿 簡 則

- 一、本刊以促進氣象學術之研究為目的，凡有關氣象理論之分析，應用問題之探討，不論創作或譯述均所歡迎。
- 二、本刊文字務求簡明，文體以白話或淺近文言為主體，每篇以五千字為佳，如長篇巨著內容特佳者亦所歡迎。
- 三、稿件請註明作者真實姓名、住址及服務機關，但發表時得用筆名。
- 四、譯稿請附原文，如確有困難亦請註明作者姓名暨原文出版年月及地點。
- 五、稿中引用文獻請註明作者姓名、書名、頁數及出版年月。
- 六、惠稿請用稿紙繕寫清楚，並加標點。如屬創作論著稿，請附撰英文或法、德、西文摘要。
- 七、本刊對來稿有刪改權，如作者不願刪改時請聲明。
- 八、惠稿如有附圖務請用墨筆描繪，以便製版。
- 九、來稿無論刊登與否概不退還，如須退還者請預先聲明，並附足額退稿郵資。
- 十、來稿一經刊登、當致薄酬，並贈送本刊及抽印本各若干冊。
- 十一、惠稿文責自負，詳細規定請據本學報補充稿約辦理。
- 十二、惠稿請寄臺北市公園路六十四號中央氣象局氣象學報社收。

(請參閱補充稿約)

臺灣地區高空風及溫度之日變化

Diurnal Variation of Upper Wind and Temperature over Taiwan

徐 行

Hsu Shyng

ABSTRACT

Annual mean 12-hr wind and temperature differences (1200Z-0000Z) are computed from monthly mean data at 13 levels between the 1000mb and 10mb for Taoyuan and Tungkong, Taiwan. (1959-1966). Wavelike features are found with amplitude of the order of 0.2-2 m/s and wavelength of 4-10km for wind, and with amplitude of the order of 0.2-2°C and wavelength of 5-10km for temperature. The diurnal variation of temperature is almost consistent with that of wind.

The amplitude of wind increases with height and the direction changes in counterclock wise. The tidal wind fluctuations at low levels is a superposition of trapped and propagating modes, but there exists only vertical propagating mode at higher levels.

By harmonic Analysis, there is no long-period variation of 12-hr wind and temperature difference, but in general, the amplitude with period of one year is greater than others.

一、前 言

由於早期探空資料的缺乏，人們對於高空大氣的每日變化情況並不十分明瞭，雖然某些地區，每日施放四次探空氣球，但仍不足以說明日變化的詳細情形。在1957年6月1日以前，國際協定施放探空氣球的時刻為：格林維治標準時0300、0900、1500及2100，但其後則改為：格林維治標準時0000、0600、1200，1800，若疊合不同年份，相同月日的探空資料，則可得到一天八次，每次間隔三小時的時間數列 (Time Series)，根據此一資料，即足以研究大氣的日變化了。

Harris (1959) 採用此一方法，使用調和分析 (Harmonic Analysis) 計算 Washington, D. C. 10 公里以下大氣的壓力、風及溫度，發現存在以一日及半日為週期的規律性變化。隨後 Harris, Finger, Teweles (1962) 三人，以相同的方法，

計算 Lajes Field, Azores 30 公里以下大氣的日變化，也得到類似的結果。1965 年，此三人更擴大從事分布於北半球八個測站的研究。至此，人們才開始對日變化有所認識。

Hering 及 Borden (1962) 首先直接採用每日四次的探空資料，研究美國大平原上，各測站 20 公里以下，夏季風的日變化，發現風的波動，其振幅 (Amplitude) 及相位角 (Phase) 隨高度改變，且在各測站 1 公里、5 公里、12 公里各層上，風差的大小約相等，方向則隨順時鐘方向等速改變，因此推斷風場存在以一日為週期的潮汐變化。另外 Wallace 及 Hartranft (1969) 對整個北半球 105 個測站，從事風的日變化研究，證實風場的潮汐變化，同時使用每日兩次，每次間隔 12 小時的探空資料，發現 12 小時風差的變化，在高緯度較單純，在中低緯則主要受地形影響而趨於複雜，且在 1 公里以上各層，由地形所引起的潮汐波動向下傳遞，證明了潮汐能量有向上

的通量 (flux)。

Lindzen (1967) 曾利用潮汐理論，說明這些變化現象是由於大氣中的水汽及臭氧吸收太陽能所造成，也就是說：大氣潮汐主要是受溫度的影響。因此 Wallace 及 Patton (1970) 使用每隔 12 小時的觀測資料，計算溫度的日變化，證實潮汐風場與溫度的相關很大。

本文即試圖分析在臺灣桃園及東港兩地，30 公里以下，風及溫度的日變化，以明瞭大氣的潮汐現象，若對此一變化能有充分的瞭解，則可以預報每日大氣潮汐的振幅，使短期天氣預報更為精確。

二、資料來源及處理方法

本文所使用的資料為：1959 年至 1966 年，桃園

(北緯 $25^{\circ}03'$ ，東經 $121^{\circ}13'$ ，海拔 46.0 公尺)，東港 (北緯 $22^{\circ}28'$ ，東經 $120^{\circ}13'$ ，海拔 3.1 公尺) 二地，1000 毫巴 ((milibar) 至 10 毫巴間，各標準氣壓面上，風及溫度的月平均；此一資料由空軍氣象聯合整理統計，國科會大氣物理組提供，另外每日資料部份則錄自：國際地球物理合作年，中國委員會觀測報告 (1959~1960)。

桃園、東港兩地，每日於格林維治標準時 0000 及 1200 (中原標準時 0800 及 2000) 各觀測一次，施放美製 GMP-EA 式探空儀器；由於受儀器本身的限制及季節、天氣等影響，其所到達的高度並不一定，故資料時有缺失，且高度愈高，資料愈少，尤其在 30 毫

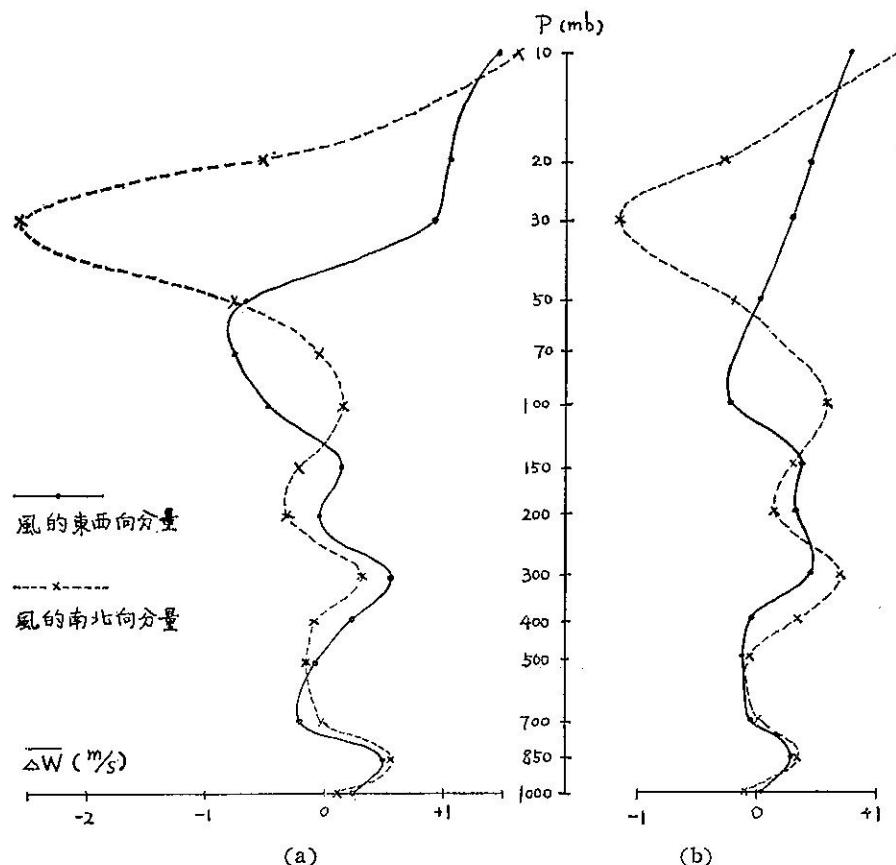


圖 1：桃園高空風的日變化平均剖面圖 (1959~1960)

P: 壓力 $\overline{\Delta W}$: 12 小時風差平均

(a) 使用每日資料 $\overline{\Delta W} = \overline{W}_{12} - \overline{W}_{00}$

(b) 使用月平均資料 $\overline{\Delta W} = \overline{W}_{12} - \overline{W}_{00}$

巴以上，資料很少，故該層以上計算的結果僅供參考使用。在運用每日資料時，若某層當日二次資料中任缺一次，則該日該層即不予計算；在運用月平均資料時，若某月某時某一等壓面上沒有平均資料，則以其餘數年、該月、該時刻、此層上的平均值代替之。

首先，將風分為東西及南北兩個質量，取向東及向北為正；以每日資料計算12小時的風差及溫度差，而後再求其月平均，即可得到風及溫度的日變化量平均： $\bar{W}_{12} - \bar{W}_{00}$ 及 $\bar{T}_{12} - \bar{T}_{00}$ (W 代表風的南北或東西分量， T 代表溫度，12 及 00 代表格林尼治時間)。因為使用此一計算方法須處理大量的資料，為求簡便，若每月的觀測次數相差不多，或採用長時間

的平均，則風差、溫度差的月平均可以用月平均的差： $\bar{W}_{12} - \bar{W}_{00}$ 及 $\bar{T}_{12} - \bar{T}_{00}$ 來代替，雖然準確性略失，但在資料處理上則簡化許多。圖 1a 所示即為 1959, 1960 兩年，桃園每日 12 小時風差的年平均，圖 1b 則為使用月平均資料所求 12 小時風差的年平均，比較兩圖，可發現有大致相同的變化形勢；圖 2 為溫度變化。在東港（圖 3, 圖 4），溫度變化依然很相似，不過風的變化較為紊亂，主要是因為每月觀測次數相差較多，如果延長平均時間，相信可獲改善。由以上的比較可知：以月平均的差來代替差的月平均，影響結果並不大，因此本文以下用以計算分析的資料皆為風及溫度的月平均。

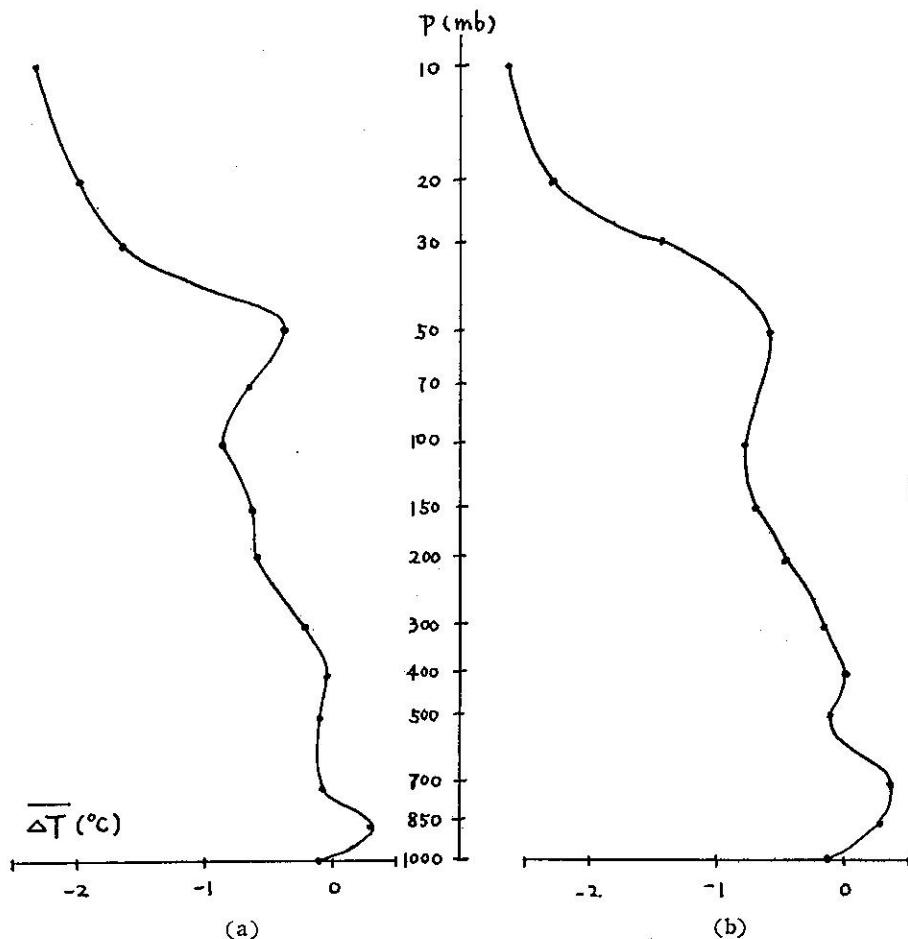


圖 2：桃園高空溫度的日變化平均剖面圖 (1959~1960)

P: 壓力 ΔT : 12 小時溫度差平均
 (a) 使用每日資料 $\Delta T_i = \bar{T}_{12} - \bar{T}_{00}$
 (b) 使用月平均資料 $\Delta T = \bar{T}_{12} - \bar{T}_{00}$

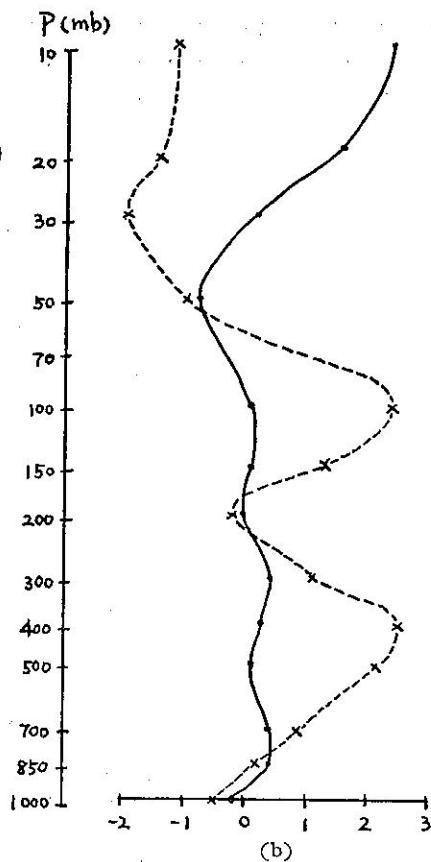
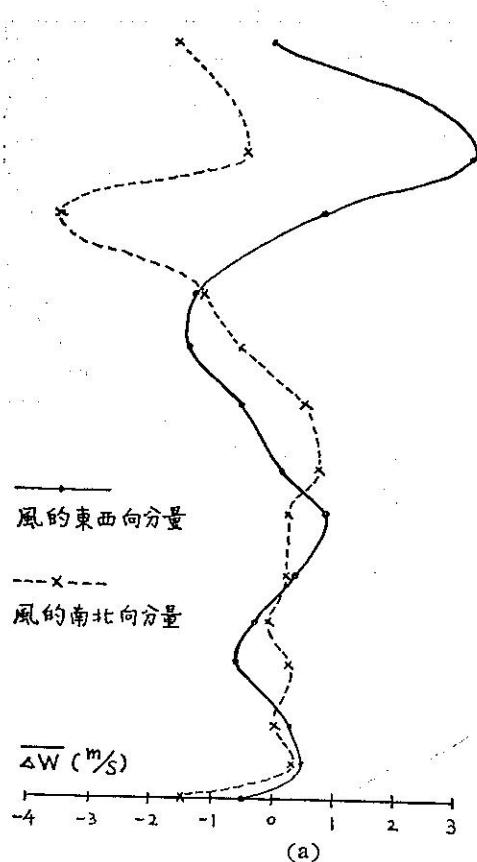


圖 3：東港高空風日變化
平均剖面圖
(1959~1960)

P : 壓力
 $\overline{\Delta W}$: 12 小時風差
(a) 使用每日資料
 $\overline{\Delta W} = \overline{W}_{12} - \overline{W}_{00}$
(b) 使用月平均資料
 $\overline{\Delta W} = \overline{W}_{12} - \overline{W}_{00}$

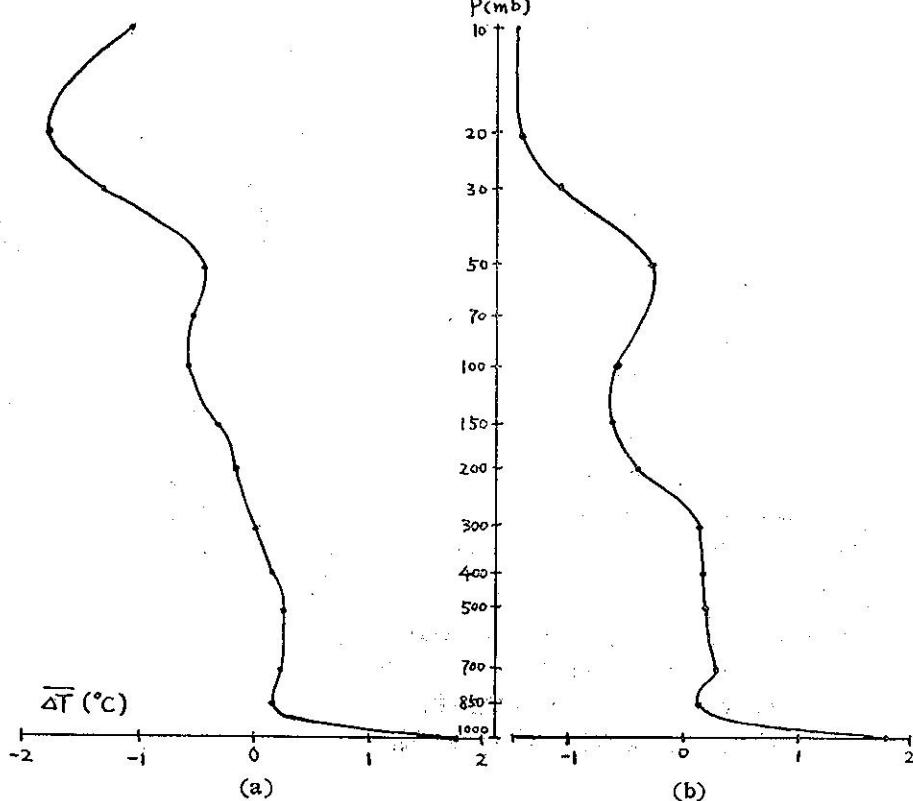


圖 4：東港高空溫度日變
化平均剖面圖
(1959~1960)

P : 壓力
 $\overline{\Delta T}$: 12 小時溫度差
平均
(a) 使用每日資料
 $\overline{\Delta T} = \overline{T}_{12} - \overline{T}_{00}$
(b) 使用月平均資料
 $\overline{\Delta T} = \overline{T}_{12} - \overline{T}_{00}$

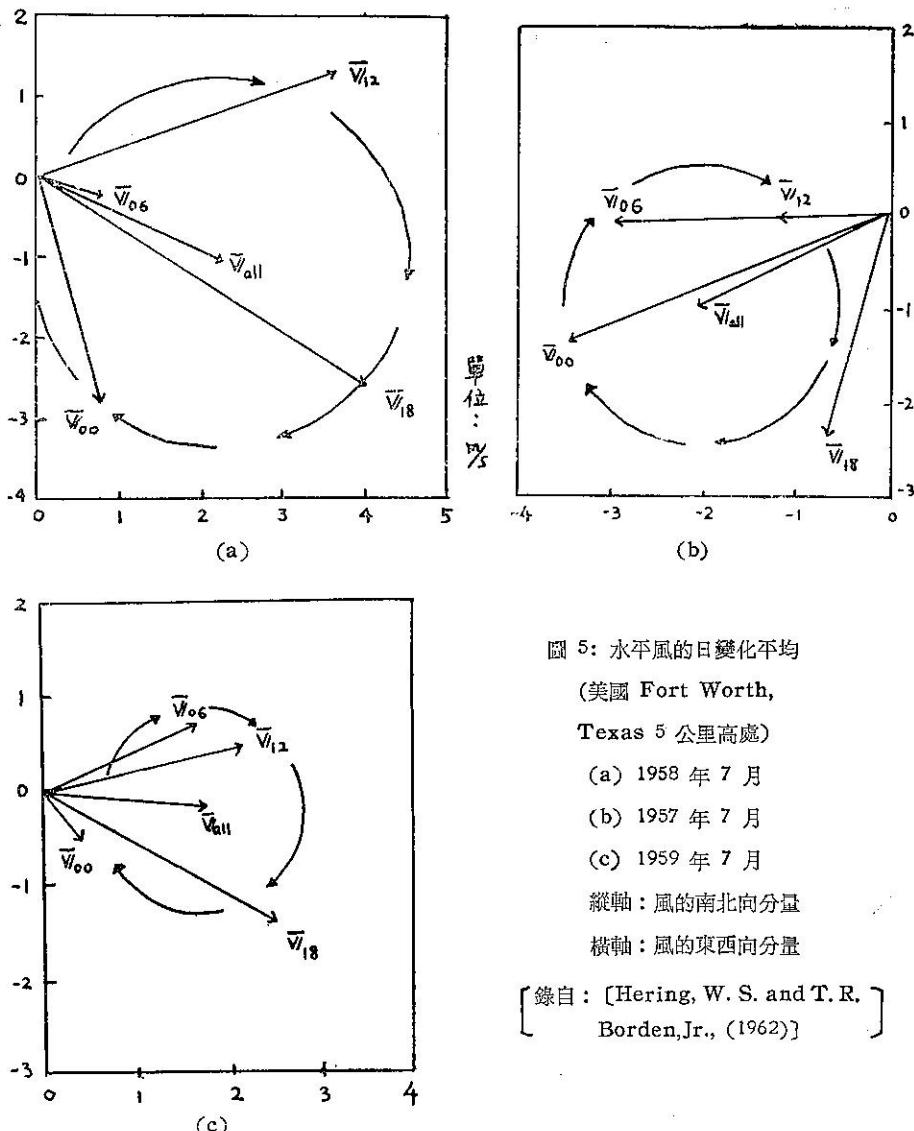


圖 5：水平風的日變化平均

(美國 Fort Worth,

Texas 5 公里高處)

(a) 1958 年 7 月

(b) 1957 年 7 月

(c) 1959 年 7 月

縱軸：風的南北向分量

橫軸：風的東西向分量

[錄自：[Hering, W. S. and T. R.
Borden,Jr., (1962)]]

若以 a 表示潮汐風場的振幅，則

$$|A| = |B| = |C| = |D| = a$$

因為 $|\bar{V}_{12} - \bar{V}_{00}| = |C - A| = 2a$

所以由 12 小時的風差，即可決定風場日變化的振幅了。

三、水平風及溫度的日變化

1. 水平風

圖 7 為桃園及東港兩地，1959 至 1966 八年間，水平風的日變化平均。在桃園：500 毫巴以下有相同的相位變化，振幅最大出現在 850 毫巴，而 500 毫巴以上則出現三個波形的異相位振動，最大振幅分別出

何以高空風 12 小時的差可以代表日變化呢？ Hering 及 Borden (1962) 曾使用每日四次的探空資料，發現在各觀測時刻的平均風與日平均風的差，大小約相等，相位角則以一日為週期，依順時鐘方向等速改變（圖 5），而說明風場存在規律性的潮汐變化，如果將此結果理想化，

則如圖 6 所示：

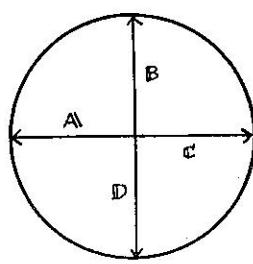
其中 $A = \bar{V}_{00} - \bar{V}_{a11}$ $B = \bar{V}_{06} - \bar{V}_{a11}$ $C = \bar{V}_{12} - \bar{V}_{a11}$ $D = \bar{V}_{18} - \bar{V}_{a11}$ 

圖 6

現在 300 毫巴、100 毫巴及 30 毫巴，振幅隨高度而增加，波長約 8~10 公里。

在東港：700 毫巴以下出現同相位變化，振幅最大出現在 850 毫巴，而在 700 毫巴以上有四個波形的異相位振動，最大振幅出現在 400、200、100、30 毫巴，振幅也隨高度而增加，波長約 4~10 公里。

若比較兩地可發現：

(1) 在 150 毫巴以下，桃園只有一個異相位波動，而東港則出現兩個；由此證實 Wallace 及 Hartranft (1969) 所提出的結果：在低緯，風場受地形影響較大，變化趨於複雜。

(2) 150 毫巴以上，兩地最大振幅皆出現在相同的等壓面上。

(3) 在相同等壓面上，東港的振幅要比較桃園為大。

2. 溫度

圖 8 為溫度的日變化，在桃園 12 小時增溫最大出現在 850 毫巴，在東港則出現在 1000 毫巴；降溫最大，兩地分別出現在 10 毫巴及 20 毫巴；桃園及東港 50 毫巴以下的溫度變化形勢，恰與該地 10 毫巴以下風的南北向分量變化相似，此一現象正說明了大氣平流 (advection) 的存在。至於風的變化要較溫度變化的對應層次為高，可能是受垂直風的影響所致。

在 850 毫巴以下，桃園、東港兩地的溫度變化有顯著的不同，是因為東港近海，受海風影響，1200 時（地方時 2000）探空汽球偏向內陸，當時地面正值放熱，故溫度較高，而 0000 時（地方時 0800），受陸風影響，偏向海洋，當時近海面溫度尚低，故 12 小時溫度差較大；而桃園則不受此影響。

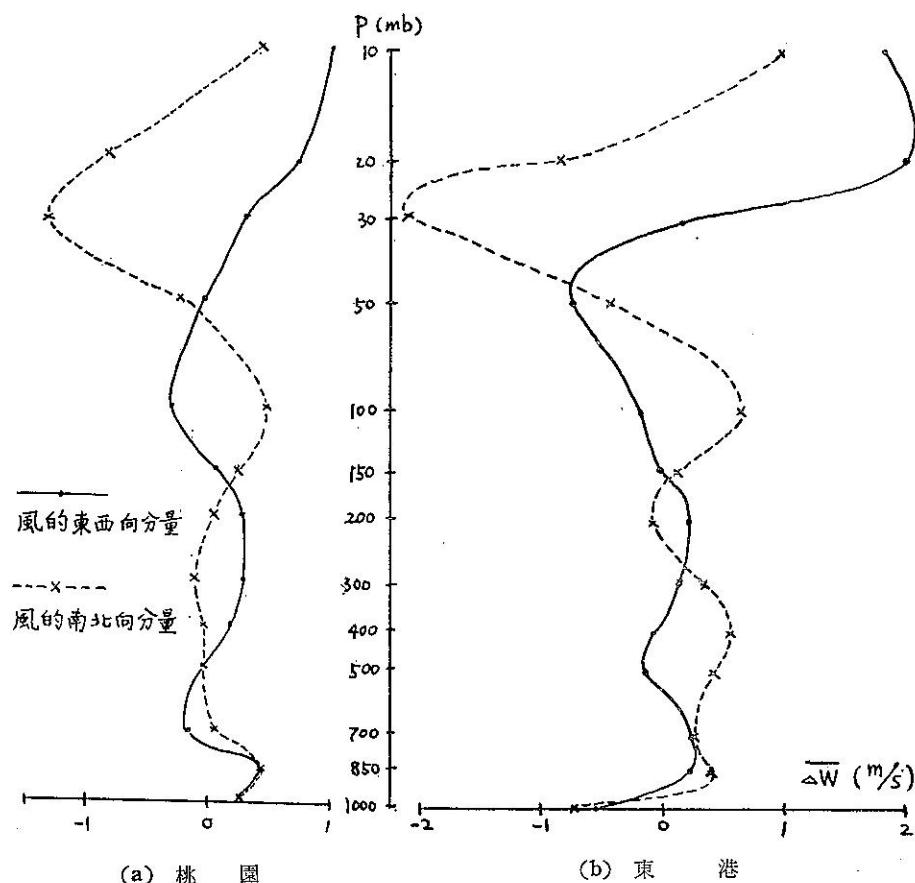


圖 7：1959~1966 高空風日變化平均

由以上的結果可知：12 小時風差及溫度差的變化，有很大的相關性存在，也說明了 Lindzen 的潮汐理論，證實大氣溫度是影響潮汐風場的主要因。

3. 潮汐理論

Lindzen (1967) 曾將線性潮汐方程的解分為沿經度、緯度及垂直向上的三個分量，其中沿緯度的分量與 Hough function 有關，而 Hough function 有二類：一類與垂直傳遞的波有關，相位角隨高度改變，能量向上傳送，而潮汐風則隨高度做逆時鐘方向旋轉，其振幅隨高度增加，稱為傳送式 (propagating mode)；另一類與指數高度 (exponential height) 有關；相位角不隨高度改變，能量亦不向上傳遞，稱為捕捉式 (trapped mode)。圖 9 所示，即為 12 小時風差的理想化垂直剖面圖 (vertical profile) 及風徑圖 (hodograph)。

我們若分析桃園、東港兩地 12 小時風差的風徑圖，則可發現在 500 毫巴以下，潮汐風為傳送式及捕捉式的合成 (圖 10)，其中捕捉式較為卓越；而在 200 毫巴以上 (圖 11) 則為較單純之傳送式；並由這兩個圖可證實 Lindzen 的理論：潮汐風場隨高度逆時鐘方向旋轉，振幅則隨高度增加。

4. 季節變化

由圖 12、圖 13，比較桃園及東港冬夏兩季水平風的變化，可發現兩地冬季的振幅要較夏季為大，且變化情形也較單純；在夏季高度增加，變化的主軸由正值向負值傾斜，在冬季則相反，惟東港的冬季較不明顯。

冬夏兩季的振幅及波長一般都要比春秋兩季小，可能是因為冬夏的大氣環流主流要較春秋兩季旺盛，故變化不大。

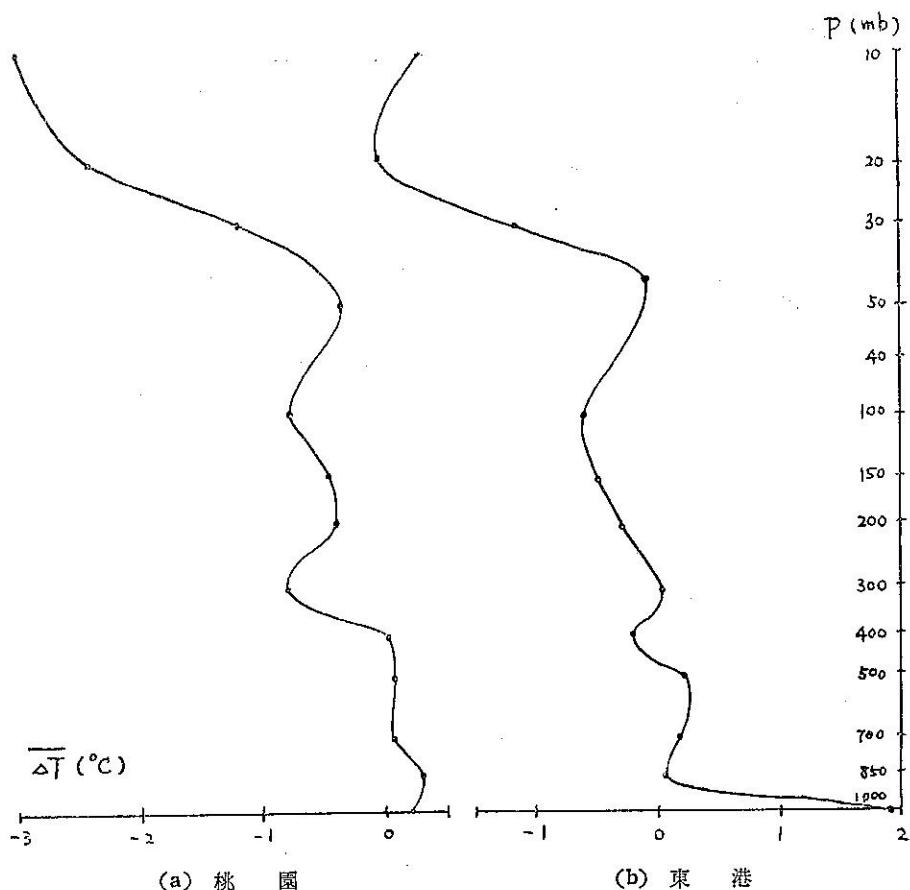


圖 8: 1959~1966 溫度日變化平均

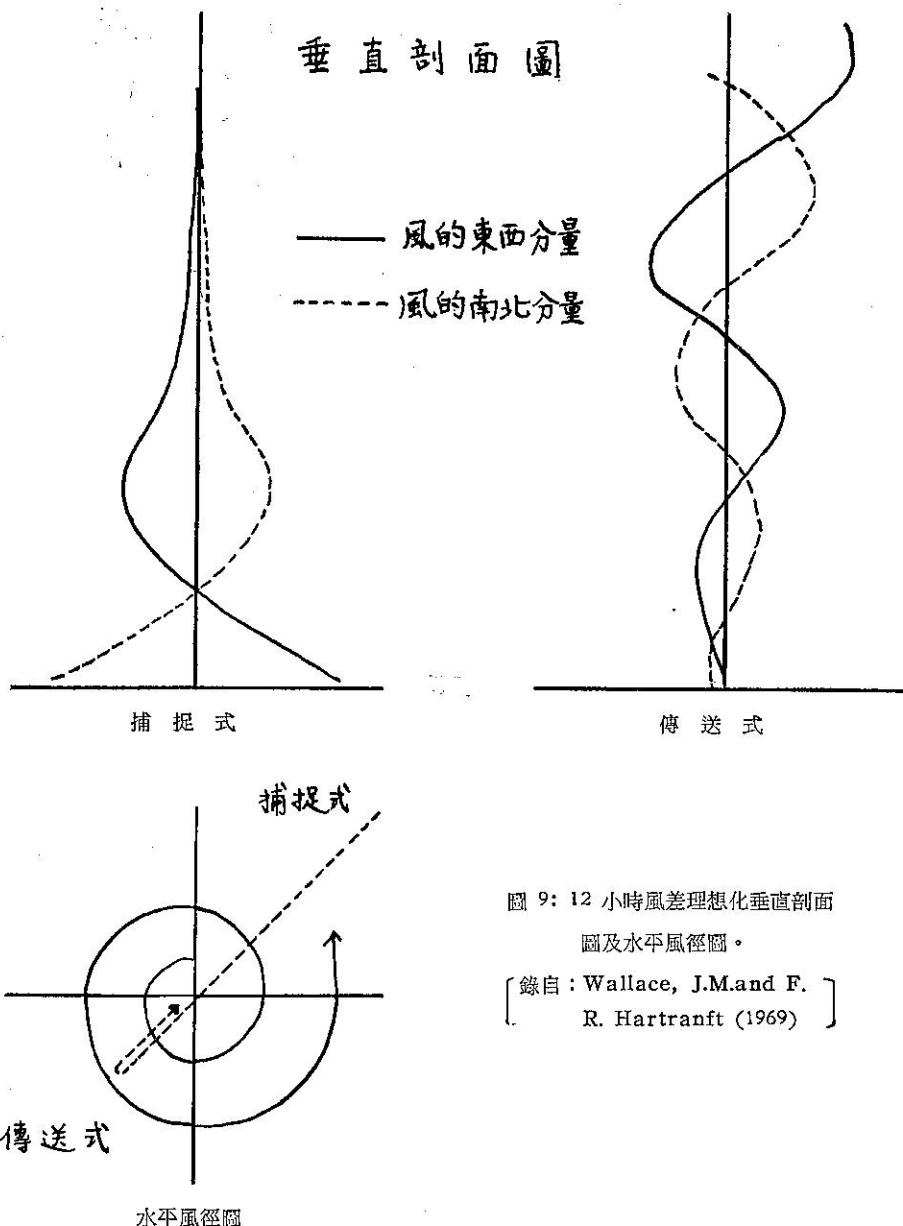


圖 9：12 小時風差理想化垂直剖面圖及水平風徑圖。

[錄自 : Wallace, J.M. and F. R. Hartranft (1969)]

由溫度的季節變化（圖 14），也可看出冬季的振幅比夏季為大；值得注意的是：桃園及東港的春季溫度變化分別在 300 毫巴及 400 毫巴出現特殊的溫度變化，此一現象原因不明。

5. 日變化的長週期變化

由以上的分析，不僅證實了大氣存在規律性的日變化，且對此一變化有較明確的認識。為了進一步瞭

解日變化是否存在長週期的改變，本文採用調和分析法，從事嘗試性的探討：

若 $X(t)$ 表欲分析的時間數列，則

$$X_i(t) = C_i \cos(i\theta - \alpha_i)$$

其中：
i - 調和數 (number of the harmonic)

C - 振幅

θ - 時間角 (hour angle)

α - 相位角

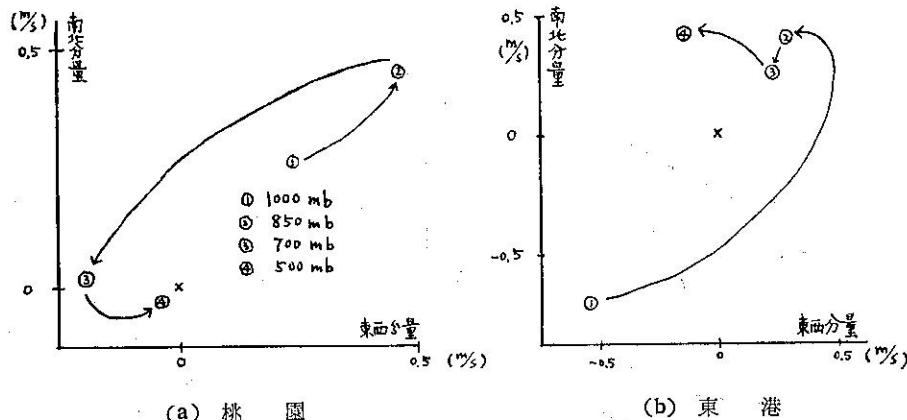


圖 10: 1000 毫巴～500 毫巴 12 小時風差風徑圖 (1959～1966)

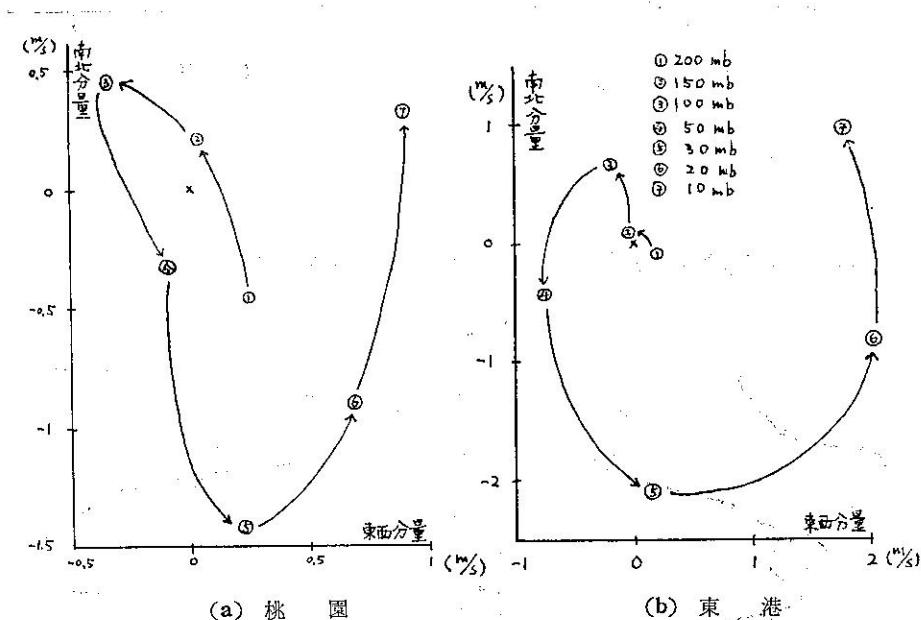


圖 11: 200 毫巴～10 毫巴 12 小時風差風徑圖 (1959～1966)

若 P 表基本週期 (fundamental period)，則時間角 $\theta = \frac{360^\circ}{P} t$ ，為時期 t 的函數，而相位角則相關於最大振幅發生的時間 t_1 ，其關係式為 $\alpha_1 = -\frac{360^\circ i}{P} t_1$ 。計算時，調和數取至 8，即最長週期 96 個月 (第一調和項)，最短週期 12 個月 (第八調和項)。

計算的結果如表 1~6 所示，表中各調和項所佔的百分比是根據 $C_i/25^2$ 計算而得， S 為標準偏差

(standard deviation)。由於各調和項所佔的百分比都很小，說明了日變化並沒有明顯的長週期變化，不過比較各調和項，無論風或溫度，皆以第八調和項所佔的百分比較大，此一結果說明日變化以一年為週期的振幅較大，惟並不顯著。

因為受資料限制，基本週期最長只有 96 個月，至於日變化是否存在更長的週期變化，就非本文所能計算得知了。

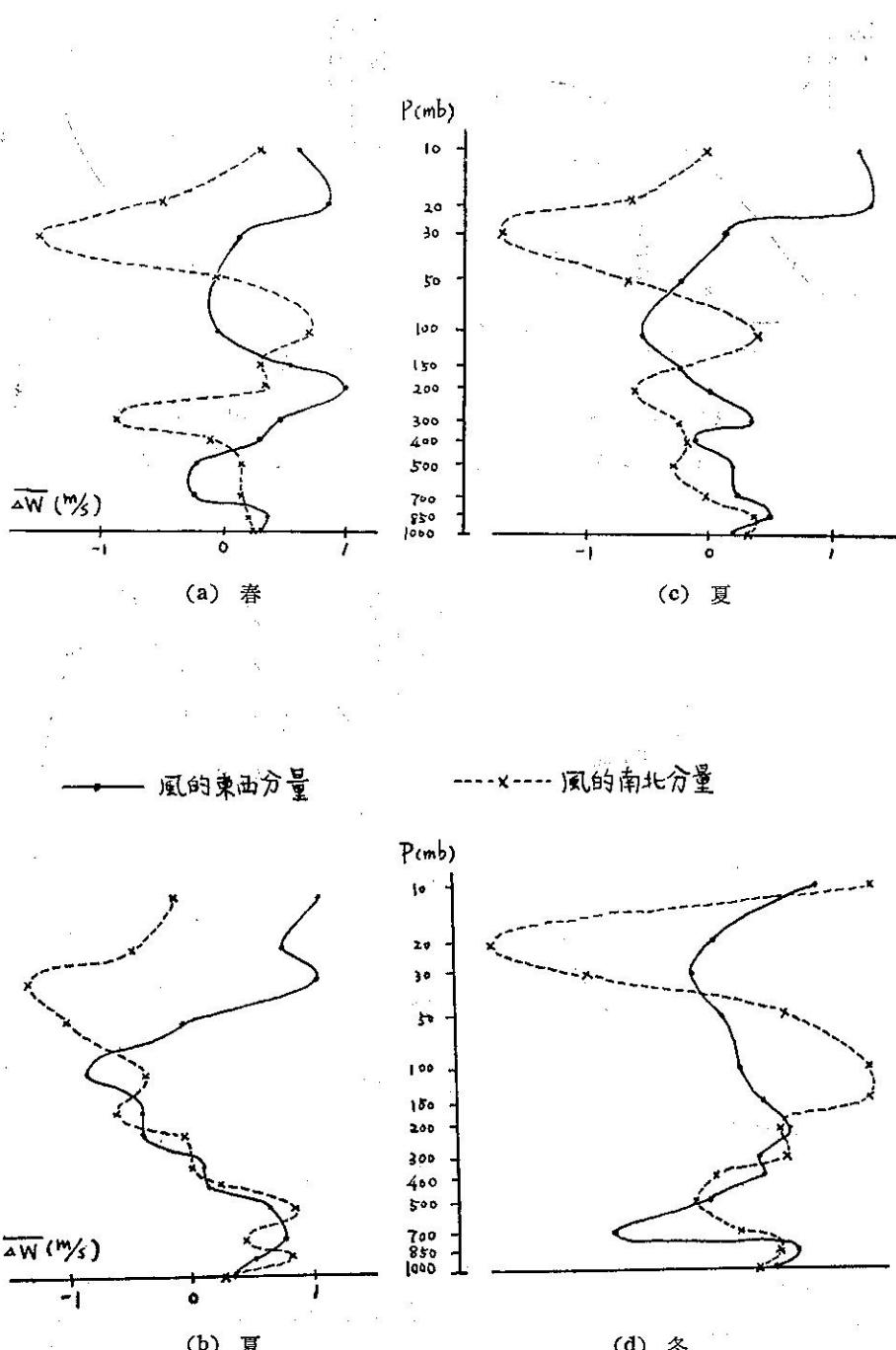


圖 12：桃園高空風日變化的季節變化 (1959~1966)

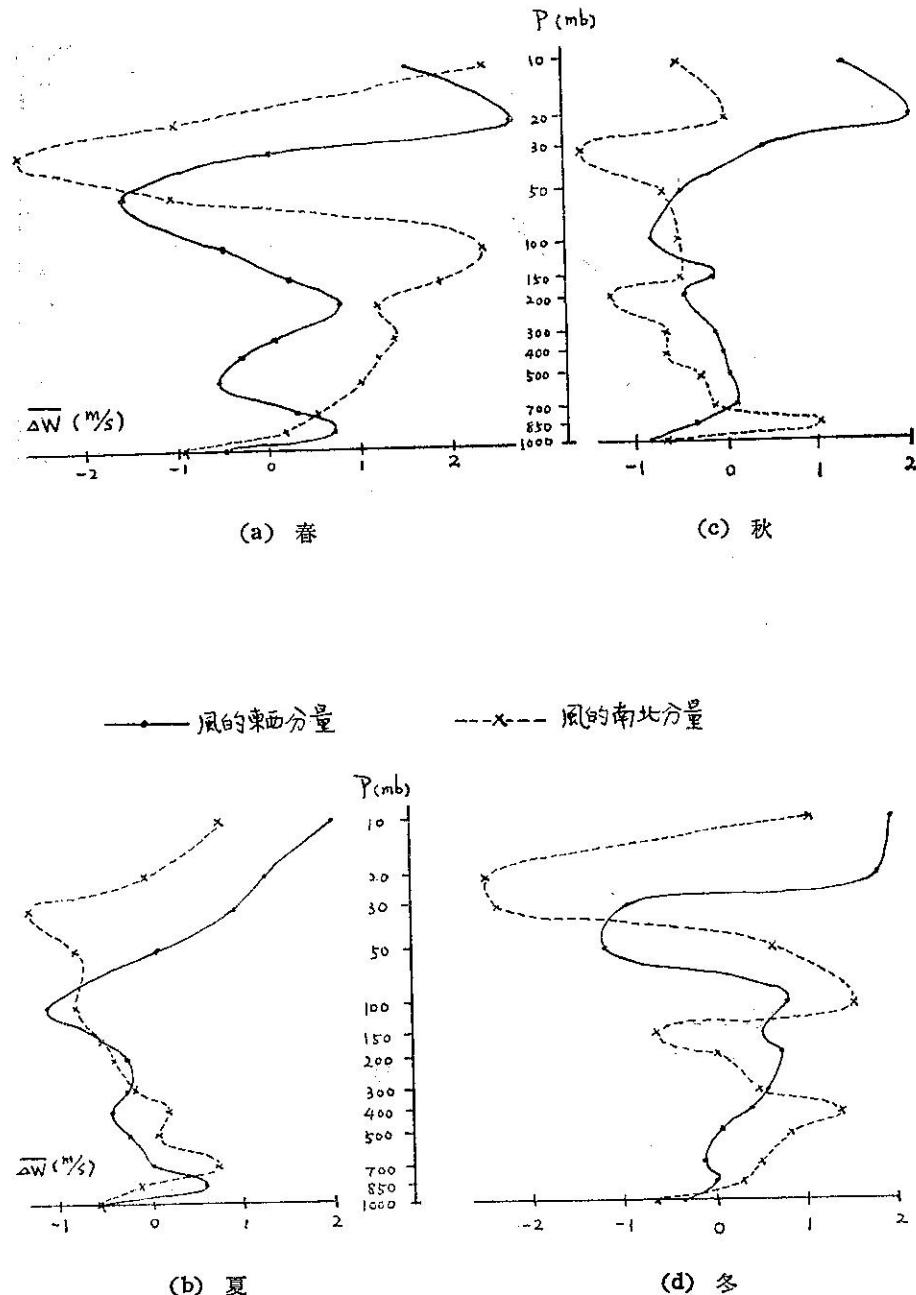


圖 13：東港高空風日變化的季節變化 (1959~1966)

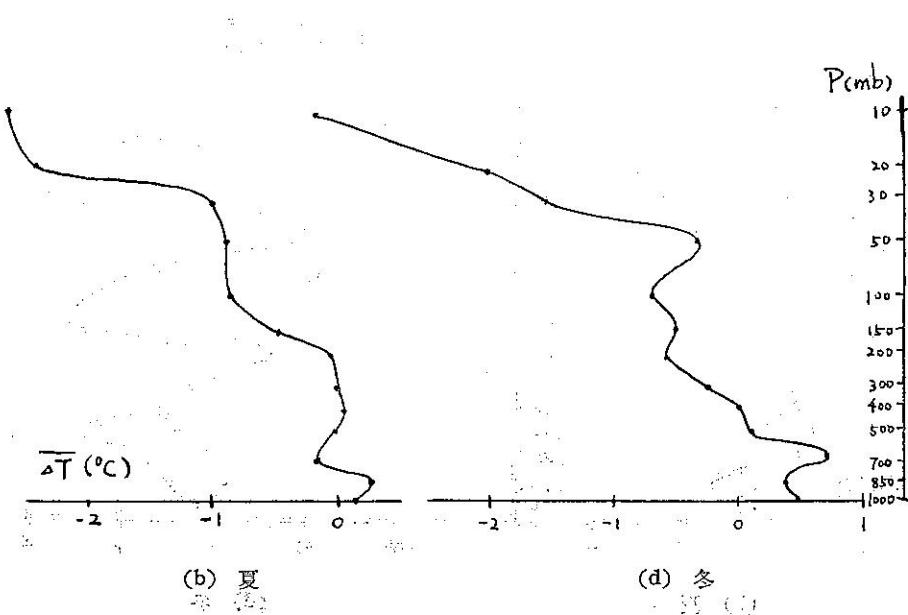
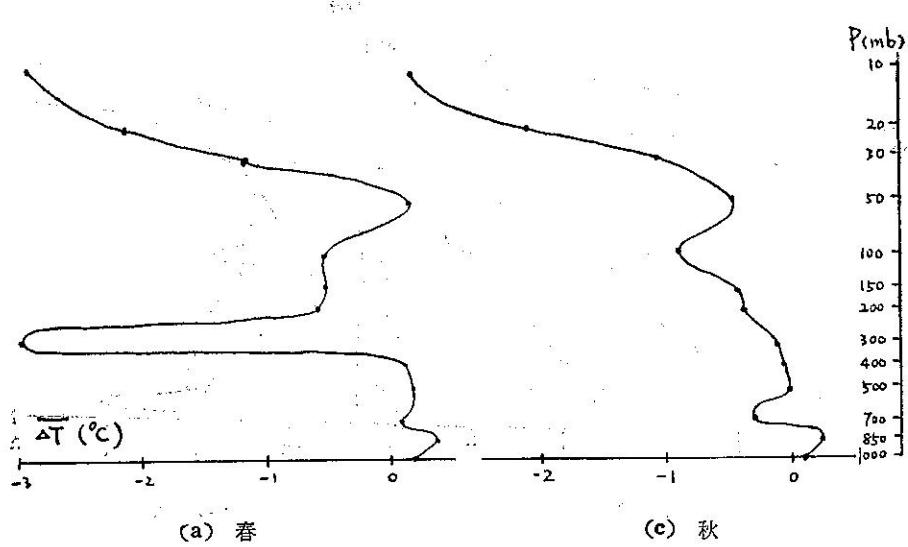


圖 14：桃園溫度日變化的季節變化（1959~1966）

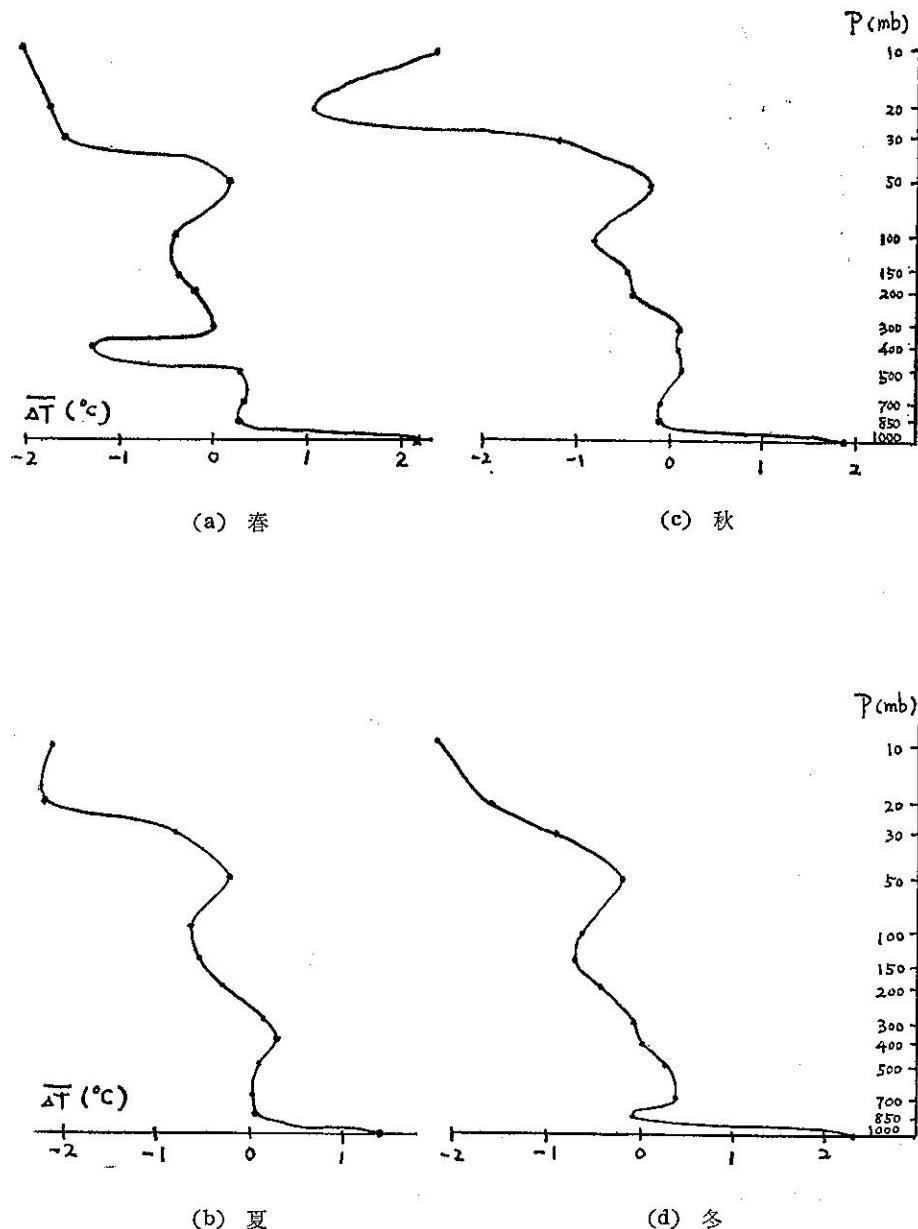


圖 15：東港溫度日變化的季節變化 (1959~1966)

表 1：桃園溫度的調和分析

壓力 (mb)	1000	850	700	500	400	300	200	150	100	50	30	20	10
C_1	0.28	0.01	0.20	0.14	0.04	1.43	.0.06	0.18	0.06	0.17	0.06	0.12	0.24
α_1	231	216	47	213	101	61	241	203	183	88	270	296	256
%	15	0	1	8	1	1	1	9	0	0	0	1	1
C_2	0.07	0.04	0.15	0.08	0.12	1.51	0.06	0.12	0.08	0.33	0.25	0.13	0.15
α_2	298	319	95	277	242	298	221	263	258	234	259	253	356
%	0	0	0	0	10	2	1	4	1	2	5	1	0
C_3	0.22	0.04	0.15	0.10	0.06	1.43	0.05	0.05	0.02	0.28	0.10	0.26	0.10
α_3	259	184	168	255	261	183	309	89	349	305	212	182	74
%	9	0	0	4	2	1	0	0	0	1	0	5	0
C_4	0.08	0.02	0.22	0.09	0.03	1.49	0.04	0.11	0.04	0.24	0.23	0.09	0.30
α_4	234	281	176	223	259	61	235	220	192	87	51	108	153
%	1	0	1	3	0	2	0	3	0	1	4	0	2
C_5	0.10	0.10	0.23	0.05	0.03	1.54	0.11	0.18	0.15	0.38	0.24	0.06	0.17
α_5	237	285	244	284	247	302	302	339	7	182	237	211	103
%	1	4	2	1	0	2	4	9	4	3	4	0	0
C_6	0.08	0.12	0.24	0.07	0.02	1.47	0.04	0.04	0.05	0.24	0.10	0.12	0.17
α_6	327	7	304	274	335	180	130	248	62	278	255	32	84
%	1	5	2	2	0	2	0	0	0	1	0	1	0
C_7	0.18	0.12	0.26	0.03	0.05	1.51	0.02	0.07	0.05	0.22	0.10	0.19	0.04
α_7	355	344	358	324	44	60	333	291	189	26	339	276	66
%	6	5	2	0	2	2	0	1	0	1	0	3	0
C_8	0.16	0.09	0.48	0.10	0.11	1.46	0.28	0.06	0.11	0.43	0.28	0.22	0.50
α_8	26	83	54	83	138	293	222	287	80	69	230	49	191
%	5	3	9	4	9	2	26	1	2	4	6	4	5

表 2：東 港 溫 度 的 調 和 分 析

壓 力 (mb)	1000	850	700	500	400	300	200	150	100	50	30	20	10
C ₁	0.25	0.08	0.07	0.01	0.75	0.06	0.16	0.17	0.13	0.21	0.05	1.00	0.36
α ₁	275	31	78	307	101	34	158	171	223	254	1	47	33
%	7	1	1	0	1	0	2	3	3	1	0	1	3
C ₂	0.03	0.07	0.09	0.09	0.80	0.09	0.04	0.06	0.15	0.10	0.09	0.84	0.29
α ₂	277	124	65	23	25	123	154	220	170	268	38	268	44
%	0	1	2	4	2	1	0	0	4	0	0	1	2
C ₃	0.18	0.12	0.03	0.06	0.71	0.07	0.04	0.16	0.21	0.30	0.09	1.31	0.07
α	142	32	56	347	301	44	328	11	129	73	90	126	36
%	3	4	0	2	1	1	0	2	8	4	0	3	0
C ₄	0.06	0.01	0.02	0.04	0.77	0.06	0.07	0.08	0.05	0.15	0.25	0.98	0.29
α ₄	41	351	125	175	217	225	247	319	95	239	113	345	120
%	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	4	1	2
C ₅	0.05	0.13	0.10	0.03	0.75	0.05	0.06	0.03	0.11	0.20	0.05	1.21	0.09
α ₅	133	137	200	336	140	96	261	301	118	355	125	188	156
%	0	4	3	0	1	0	0	0	2	1	0	2	0
C ₆	0.15	0.04	0.01	0.02	0.79	0.04	0.02	0.18	0.06	0.11	0.11	1.22	0.25
α ₆	297	62	88	25	68	29	19	177	171	106	209	72	73
%	2	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	2	1
C ₇	0.14	0.08	0.01	0.02	0.80	0.13	0.04	0.10	0.07	0.22	0.06	0.91	0.31
α ₇	335	24	130	35	352	360	70	104	108	20	303	282	57
%	2	1	0	0	2	3	0	1	0	2	0	1	2
C ₈	0.60	0.21	0.30	0.17	0.77	0.14	0.15	0.12	0.18	0.18	0.29	1.12	0.17
α ₈	45	138	70	74	260	238	179	193	95	120	207	136	165
%	40	18	28	14	2	4	2	1	6	1	6	2	0

表 3：桃園南北向風的調和分析

壓力 (mb)	1000	850	700	500	400	300	200	150	100	50	30	20	10
C_1	0.28	0.35	0.11	0.14	0.20	0.97	0.33	0.43	0.35	0.33	0.60	0.75	0.75
α_1	273	307	326	308	83	317	293	316	317	151	120	68	47
%	11	10	1	1	1	3	0	1	2	2	11	8	6
C_2	0.30	0.23	0.16	0.22	0.36	1.19	0.36	0.21	0.32	0.02	0.03	0.21	0.18
α_2	240	257	221	3	26	20	347	316	170	147	243	165	131
%	12	4	2	3	3	4	0	0	2	0	0	0	0
C_3	0.10	0.26	0.07	0.12	0.31	0.22	0.53	1.04	0.46	0.71	0.46	0.68	0.24
α_3	176	159	164	294	352	82	343	1	77	143	162	186	162
%	1	5	0	1	2	0	2	8	4	9	6	6	0
C_4	0.08	0.10	0.21	0.13	0.36	0.76	0.53	0.31	0.47	0.50	0.32	0.83	0.24
α_4	321	182	60	170	233	260	28	30	20	75	118	176	218
%	1	0	4	1	3	2	2	0	4	5	3	10	0
C_5	0.13	0.04	0.07	0.12	0.32	0.96	0.16	0.66	0.30	0.44	0.14	0.24	0.45
α_5	280	30	285	175	65	24	43	52	328	289	184	132	165
%	2	0	0	1	2	3	0	3	1	3	0	0	2
C_6	0.12	0.03	0.09	0.17	0.34	1.04	0.37	0.09	0.21	0.11	0.31	0.15	0.61
α_6	294	174	141	44	37	79	51	118	272	287	77	255	66
%	2	0	0	2	3	3	0	0	0	0	2	0	4
C_7	0.07	0.13	0.17	0.11	0.19	0.19	0.32	0.23	0.24	0.15	0.21	0.24	0.45
α_7	315	66	128	101	49	302	41	49	72	214	25	297	16
%	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
C_8	0.06	0.24	0.08	0.49	0.34	0.47	0.81	1.02	0.66	0.80	0.08	0.84	0.67
α_8	234	228	60	174	196	21	109	53	47	44	95	210	36
%	0	5	0	18	3	0	4	8	8	12	0	10	5

表 4：東港南北向風的調和分析

壓力 (mb)	1000	850	700	500	400	300	200	150	100	50	30	20	10
C_1	0.31	0.51	1.19	0.97	1.05	0.36	0.23	0.67	0.80	0.66	1.31	0.94	0.81
α_1	89	350	50	12	13	352	203	41	19	161	130	150	299
%	17	2	4	7	6	0	0	3	2	3	24	6	1
C_2	0.11	0.45	0.66	0.71	1.13	0.26	0.37	0.43	0.92	0.40	0.18	0.40	0.26
α_2	356	343	103	23	26	79	201	54	25	29	74	162	53
%	2	1	1	4	7	0	0	1	3	1	0	1	0
C_3	0.09	0.52	0.42	0.94	1.15	0.55	0.24	0.48	0.79	0.28	0.16	0.17	0.56
α_3	311	351	192	48	39	92	117	78	48	223	332	191	69
%	1	2	0	7	7	2	0	1	2	0	0	0	0
C_4	0.12	0.63	0.67	1.10	1.16	0.67	0.16	0.52	1.37	0.47	0.38	0.72	0.63
α_4	45	336	307	43	48	87	11	92	56	43	219	189	113
%	2	3	1	9	7	3	0	1	8	1	2	3	1
C_5	0.16	0.61	1.03	1.01	1.10	0.28	0.44	0.90	1.22	0.28	0.32	0.56	1.06
α_5	291	326	355	43	46	100	152	111	46	254	10	272	146
%	5	3	3	8	6	0	1	5	6	0	1	2	3
C_6	0.15	0.50	1.30	0.98	1.15	0.94	0.74	0.88	1.00	0.33	0.08	0.73	0.53
α_6	168	313	49	59	67	117	123	107	59	35	219	253	128
%	4	2	4	7	7	6	3	5	4	0	0	3	0
C_7	0.07	0.46	1.14	0.92	1.19	0.98	0.96	0.73	0.93	0.56	0.49	0.57	0.50
α_7	123	308	95	76	75	114	121	104	90	287	333	273	87
%	0	1	3	6	8	7	5	3	3	2	3	2	0
C_8	0.20	0.52	0.82	0.96	1.30	1.11	1.22	1.18	2.05	0.81	0.65	1.57	0.95
α_8	285	329	151	95	90	100	107	112	78	9	275	237	85
%	7	2	1	7	9	9	8	9	18	5	6	17	2

表 5：桃園東西向風的調和分析

壓力 (mb)	1000	850	700	500	400	300	200	150	100	50	30	20	10
C ₁	0.22	0.28	0.20	0.13	0.15	0.20	0.37	0.39	0.26	0.17	0.22	0.15	0.20
α_1	284	294	108	294	296	304	340	21	145	103	107	224	276
%	11	8	3	2	2	2	3	3	3	2	3	1	1
C ₂	0.20	0.19	0.08	0.12	0.11	0.19	0.29	0.48	0.08	0.08	0.08	0.02	0.23
α_2	268	239	94	179	258	72	300	347	196	109	122	93	344
%	9	3	0	1	1	2	2	5	0	0	0	0	2
C ₃	0.09	0.25	0.09	0.06	0.09	0.15	0.09	0.22	0.14	0.10	0.15	0.10	0.22
α_3	221	105	87	220	834	345	269	310	143	115	18	98	360
%	1	6	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
C ₄	0.03	0.12	0.17	0.01	0.13	0.12	0.25	0.16	0.10	0.22	0.16	0.29	0.13
α_4	356	74	352	280	321	170	37	165	113	82	272	253	297
%	0	1	2	0	2	0	1	0	0	4	1	4	0
C ₅	0.04	0.02	0.12	0.06	0.14	0.28	0.13	0.20	0.10	0.08	0.18	0.19	0.24
α_5	259	1	339	102	285	71	62	359	93	334	167	213	333
%	0	0	1	0	2	4	0	0	0	0	2	1	2
C ₆	0.01	0.05	0.07	0.07	0.05	0.20	0.18	0.08	0.24	0.08	0.16	0.08	0.36
α_6	35	172	24	272	140	53	340	99	53	228	125	313	67
%	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	1	0	5
C ₇	0.08	0.11	0.10	0.08	0.16	0.15	0.19	0.51	0.24	0.07	0.18	0.41	0.16
α_7	168	247	348	229	149	104	142	116	91	104	264	277	323
%	1	1	0	0	3	1	0	5	3	0	2	7	1
C ₈	0.06	0.11	0.76	0.30	0.23	0.17	0.71	0.54	0.54	0.02	0.78	0.65	0.41
α_8	138	248	231	265	115	56	73	85	60	228	211	239	272
%	0	1	42	10	7	1	11	6	15	0	39	19	6

表 6：東 港 東 西 向 風 的 調 和 分 析

壓 力 (mb)	1000	850	700	500	400	300	200	150	100	50	30	20	10
C_1	0.32	0.11	1.98	0.26	0.39	0.13	0.42	0.14	0.26	0.48	0.25	0.70	0.85
α_1	85	293	60	328	10	27	168	43	102	125	192	285	339
%	15	0	1	3	6	0	3	0	1	6	1	13	6
C_2	0.03	0.09	2.28	0.27	0.23	0.23	0.34	0.21	0.44	0.01	0.16	0.48	0.21
α_2	55	149	133	52	9	81	39	333	19	72	98	182	79
%	0	0	2	4	2	2	2	1	3	0	0	6	0
C_3	0.09	0.19	2.22	0.21	0.32	0.20	0.37	0.21	0.35	0.26	0.19	0.39	0.67
α_3	111	131	203	14	355	31	259	190	333	217	28	117	58
%	1	2	2	2	4	1	3	1	2	1	0	4	4
C_4	0.07	0.13	1.97	0.30	0.21	0.00	0.31	0.21	0.04	0.29	0.13	0.46	0.42
α_4	56	128	269	5	21	134	225	93	310	21	270	227	79
%	0	0	1	4	1	0	2	1	0	2	0	5	1
C_5	0.03	0.25	1.88	0.20	0.38	0.18	0.12	0.10	0.29	0.25	0.06	0.54	0.71
α_5	347	85	345	358	34	24	172	37	34	242	44	265	138
%	0	3	1	5	5	1	0	0	1	1	0	7	4
C_6	0.03	0.17	2.10	0.23	0.23	0.19	0.29	0.16	0.24	0.18	0.31	0.34	0.39
α_6	197	84	46	65	60	78	356	110	35	98	316	292	123
%	0	1	2	2	2	1	1	0	1	0	2	3	7
C_7	0.16	0.10	2.18	0.32	0.36	0.34	0.32	0.51	0.41	0.21	0.41	0.23	0.35
α_7	81	298	109	46	50	28	190	87	56	355	272	192	134
%	3	0	2	5	5	5	2	6	3	1	4	1	1
C_8	0.18	0.64	2.66	0.40	0.40	0.45	0.92	0.63	1.17	1.04	1.29	0.48	0.18
α_8	68	146	184	326	12	41	85	40	54	248	221	81	346
%	4	22	3	9	6	8	18	10	24	29	43	6	0

四、結論

由以上的分析得知大氣存在規律性的潮汐變化：

(1)風場的振幅隨高度增加，方向則逆時鐘方向旋轉。

(2)在 500 毫巴以下，潮汐風為傳送式及捕捉式的合成，而捕捉式較為卓越，在 200 毫巴以上，則為較單純的傳送式變化。

(3)南北向風的變化受溫度變化的支配。

(4)風的振動波長約 4~10 公里，振幅約 0.2~2 公尺／秒。

(5)溫度的日變化波長約 5~10 公里，振幅約 0.2~2°C。

(6)緯度愈低，風場與溫度變化的振幅愈大，振動形勢也愈複雜。

(7)季節性的日變化，在冬夏：風的波長，振幅皆較小；而春秋則較大。

(8)由調和分析得知，日變化雖無長週期的振動，但以一年為週期的振幅却較大。

以上所討論，皆為現象的分析，倘若對日變化發生的機構 (mechanics) 能有所瞭解，則大氣潮汐現象將可進一步被人們所認識，進而應用到短期天氣預報，使之更為精確。

五、致謝

本文承指導教授徐明同博士細心指導，使本文得以順利完成，衷心感謝。中央大學地球物理研究所廖學鎰教授及劉廣英先生亦賜予協助；國科會汪羣從博士及中央研究院物理所簡來成先生熱心提供桃園、東港八年探空資料，在此一併致謝。

六、參考文獻

Finger, F. G., M. F. Harris, and S. Teweles, 1965: Diurnal Variation of Wind, Temperature and Pressure in the Stratosphere. *J. Appl. Meteor.*, Vol. 14, No. 5, pp. 632~635.

Harris, M. F., 1959: Diurnal and Semidiurnal Variations of Wind, Pressure and Temperature in the Troposphere at Washington, D. C., *J. Geophys. Rev.* Vol. 64, No. 8, pp. 983~995.

Harris, M. F., Finger, F. G., and S. Teweles, 1962: Diurnal Variation of Wind, Pressure, and Temperature in the Troposphere and Stratosphere over the Azores. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 19; No. 2, pp. 136~149.

Hering, W. S., and T. R. Borden, Jr., 1962: Diurnal Variations in the Summer Wind Field over the Central United States, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 19, No. 1, pp. 81~86.

Lindzen, R. S., 1967: Thermally Driven Diurnal Tide in the Atmosphere, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, Vol. 93, No. 395, pp. 18~42.

Sparrow, J. G., 1967: Note on the Diurnal Cycle in the Equatorial Stratosphere, *J. Appl. Meteor.*, Vol. 16, No. 2, pp. 441~444.

Wallace, J. M., and F. R. Hartranft, 1969: Diurnal Wind Variations: Surface to 30 km., *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 97, No. 6, pp. 446~455.

Wallace, J. M., and D. B. Patton, 1970: Diurnal Temperature Variations: Surface to 25km., *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 98, No. 7, pp. 548~552.

氣象學報補充稿約

- 一、來稿須用稿紙（以 25×24 之稿紙為原則）。
- 二、來稿字數以不超過 15,000 字，即連同圖、表、英文摘要以不超過 10 印刷頁為原則。
- 三、圖及表之分量以不超過全文之 $1/3$ 為原則。
- 四、英文摘要之字數以不超 1,000 字為原則。
- 五、關於表格之注意點：

- (一) 表格須另用白紙繪製。
- (二) 表格上方須有標題，並加表 1 表 2 等冠號。
- (三) 表格中之項目，內容應儘量簡化。表中不重要之項目或可用文字說明者應儘量避免列入表中。
- (四) 能以文字說明之小表，請採用文字說明。
- (五) 原始記錄應加分析簡化後始可列入表中。
- (六) 統計分析表中顯著處，以 * 號（顯著）及 ** 號（極顯著）表之。
- (七) 表幅應考慮適合本刊版幅為準。（寬度勿超過 13.5 cm）。
- (八) 表之標題應能表示內容。

六、關於插圖之規定：

- (一) 插圖另貼於大張白紙上，註明作者及文題。
- (二) 插圖下方須有標題，並加圖 1 圖 2 等冠號。
- (三) 統計圖、模式圖及分佈圖一律採用 120—150 磅道林紙，以黑墨水繪製清楚。
- (四) 統計圖原圖幅面應在 12—15 cm，以便縮版。
- (五) 模式圖原圖幅面應在 15—20 cm，以便縮版。
- (六) 分佈圖原圖幅面應在 30 cm 左右，以便縮版。
- (七) 繪製線條粗細應能供縮小至 $1/8$ 之程度，但不能超過縮小 $1/2$ 之程度。
- (八) 數字應正寫清楚，字之大小粗細應一律，至少能供縮至 $1/8$ 之程度。
- (九) 已列表中之內容，勿再重複以插圖表示。
- (十) 圖之標題應能表示內容。

七、關於照片之規定：

- (一) 照片用紙一律採用黑白光面紙。

- (一) 照片幅面應在 12—15 cm，以便縮版。
- (二) 照片應充分沖洗清楚，須考慮縮少至 $1/2$ 時尚能清楚之程度。
- (三) 照片如有特別指明點應加圈或箭頭表明。
- 八、文稿過長，或圖表過多過大時，投稿人得自行負擔印刷費。
- 九、關於參考文獻之規定：
 - (一) 參考文獻以經本人確曾查閱者為限，如係來自轉載之其他書刊時，須加註明。
 - (二) 作者姓名以後為發行年份，加以括號，然後為雜誌或書名、卷期數及頁數。（頁數必須註明）。
 - (三) 文字敘述中述及參考文獻時，根據文獻之號數，用斜體阿刺伯字，加以括號，如 (1)(2)(3) 等插入文句中。
- 十、文字敘述之號次以下列為序。
 - 中文用：一、(一) 1. (1) i. (i)
 - 英文用：I. 1. A. a.
- 十一、每頁下端之脚註以小號 1, 2, 3, 等阿拉伯字表之，註明於該段文字之右上角。
- 十二、文字敘述中之數字除十以下之數字，儘量用阿拉伯字表之。
- 十三、單位須用公制。單位記號例如以 m (公尺)、cm (公分)、mm (公厘)、m² (平方公尺)、m³ (立方公尺)、cc (立方公分)、l (立升)、g (公分)、kg (公斤)、mg (公厘)、°C (攝氏度)、% (百分之一)、ppm (百萬分之一份) 等表之，可不必另用中文。
- 十四、英文題目中重要之字第一字母大寫，介詞詞、連接詞及不重要字用小寫。圖表之英文標系及各欄英文細目，除第一字之第一字母大寫外，其餘第一字母均小寫。參考文獻中作者姓名每字全部字母均大寫，論文名第一字第一字母大寫，其餘均小寫，雜誌名或書名每字第一字母均大寫。
- 十五、作者英文名以用全名為原則，名在前，姓在後。
- 十六、其他未盡善事項得隨時修正之。

Volume 23, Number 3

September 1977

METEOROLOGICAL BULLETIN

(Quarterly)



CONTENTS

Articles

- The Development of A Lightning-flash Counter.....
..... Y. N. Huang, S. W. Chen and Anh Tran (1)
- Analysis and Forecast of Taipei Monthly-mean Temperature
and Total-amount Precipitation by ARIMA Model (15)
..... Hu Chung-ying
- Diurnal Variation of Upper Wine and Temperature over Taiwan.....
..... Hsu Shyng (27)

CENTRAL WEATHER BUREAU

64 Park Road, Taipei
Taiwan, Republic of China