

電腦在地球科學上的應用

高中組地球科學科第一名

台北市立建國高級中學

作者：沈慶堯

指導教師：張仁甫

一、研究動機

自從人類進入了太空之後，天文研究乃成爲太空科學的一大主題。如今已進入了資訊時代，一切複雜的天文運算，很容易可以因而解決，而氣象更是與我們的生活息息相關，數值化的氣象分析，更有助於氣象的預測。於是嘗試應用電腦爲工具在地球科學上做有系統的研究。正如馬克吐溫所說：「人們時常關心氣象，卻很少去了解氣象。」盼藉此機會，能激起大家對現代地球科學的重視。

二、研究目的

主要針對地球科學上天文和地理兩大部分來探討。將理論公式數據化，用實際的數值利用電腦處理之，並用顯明簡易的圖形表示，以助了解。研究的主題如下：

(一)氣象部分

(1)颱風路徑的追蹤(代號爲：1·1)

(2)颱風路徑風向的預測(1·2)

(二)天文部分

(1)太陽黃道視位置與時間關係(2·1)

(2)天球座標的轉換(2·2)

(3)日出、日沒及日照時間研究(2·3)

三、研究器材

家用電腦(48 K 含顯示幕) 一部

磁碟機(含工作磁片) 一部

四、研究過程

(一) 工作通則流程

- 1 確立工作資料 (搜集資料) : 如程式所依據之公式、常數、定數等之搜集、瞭解、整理。
- 2 依資料設計程式流程
- 3 設計程式 : 通常程式可分為三部分。
 - (1) 處理輸入資料及建檔工作
 - (2) 計算整理數據
 - (3) 顯示結果及印出圖形
- 4 執行結果
- 5 與實際資料印證
- 6 修正
- 7 完成

(二) 程式設計係採用 BASIC 語言及機械碼程式 (均可直接適用於電腦) 。

(三) 分項說明 (依代號順序)

1-1 颱風路徑的追蹤

(1) 說明 : 此程式為追蹤颱風路徑之用 , 依其範圍大小可分為兩部分 :

ㄅ. 西太平洋赤道以北地區 (大範圍)

(東經 $105^{\circ} E \sim 170^{\circ} E$, 北緯 $5^{\circ} N \sim 45^{\circ} N$)

ㄆ. 台灣近海地區 (小範圍)

(東經 $119^{\circ} E \sim 132^{\circ} E$; 北緯 $18^{\circ} N \sim 28^{\circ} N$)

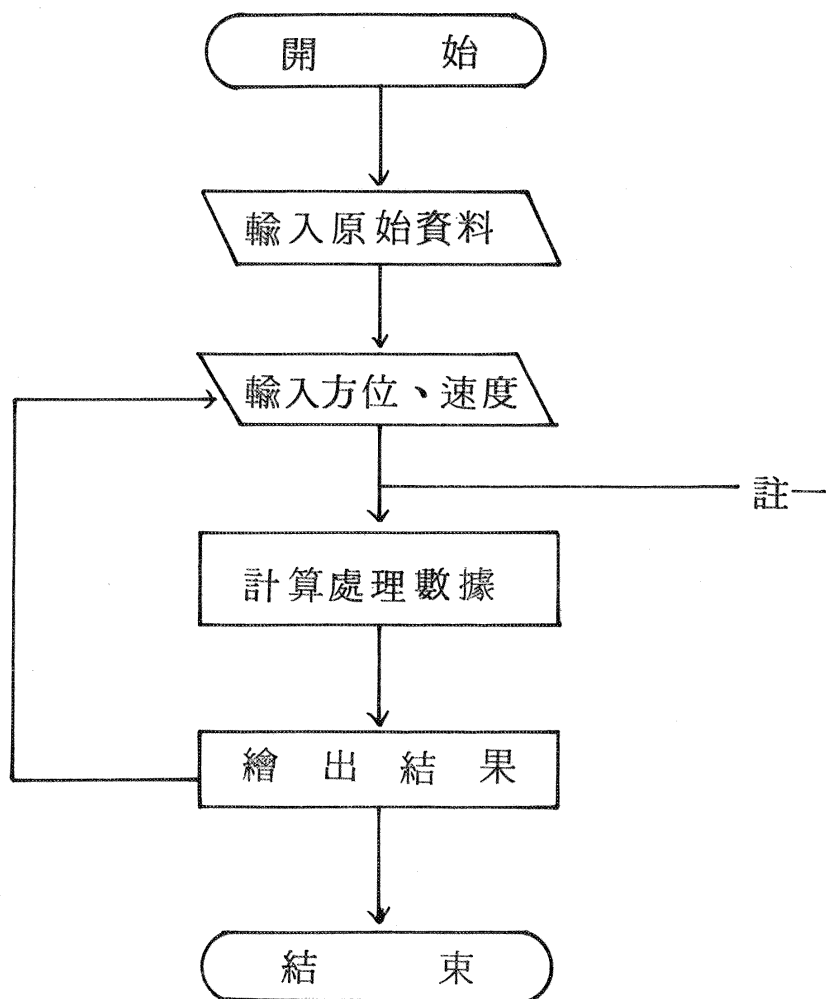
其主要功用為幫助了解颱風動態 , 對各種情況的路徑 , 均可作一番討論。並可從中加入特別狀況 , 加以研究 (註一) 。同時還可以建立颱風資料檔 , 對於觀察颱風有很大的幫助。程式中所用單位 : 經緯度一採東經 E , 北緯 N 。

暴風半徑一採公里 Km

方位—十六分位制

暴風速度—探時速 Km/ hour。

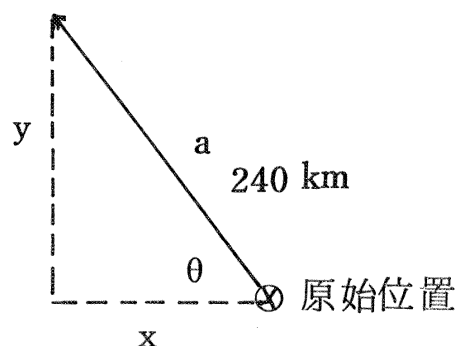
(2) 程式流程



◎註一：加入的狀況資料（如地形、氣壓的影響）

(3)原理：原始資料係採直接經緯定位，以後係利用輸入之方位及速度資料，以三角關係定位之。

(EX : 方位 NW ; 速度 20 km/ hour ; 十二小時後)



$$a = 12 \text{ 小時} \times 20 \text{ km/ hour} = 240 \text{ km}$$

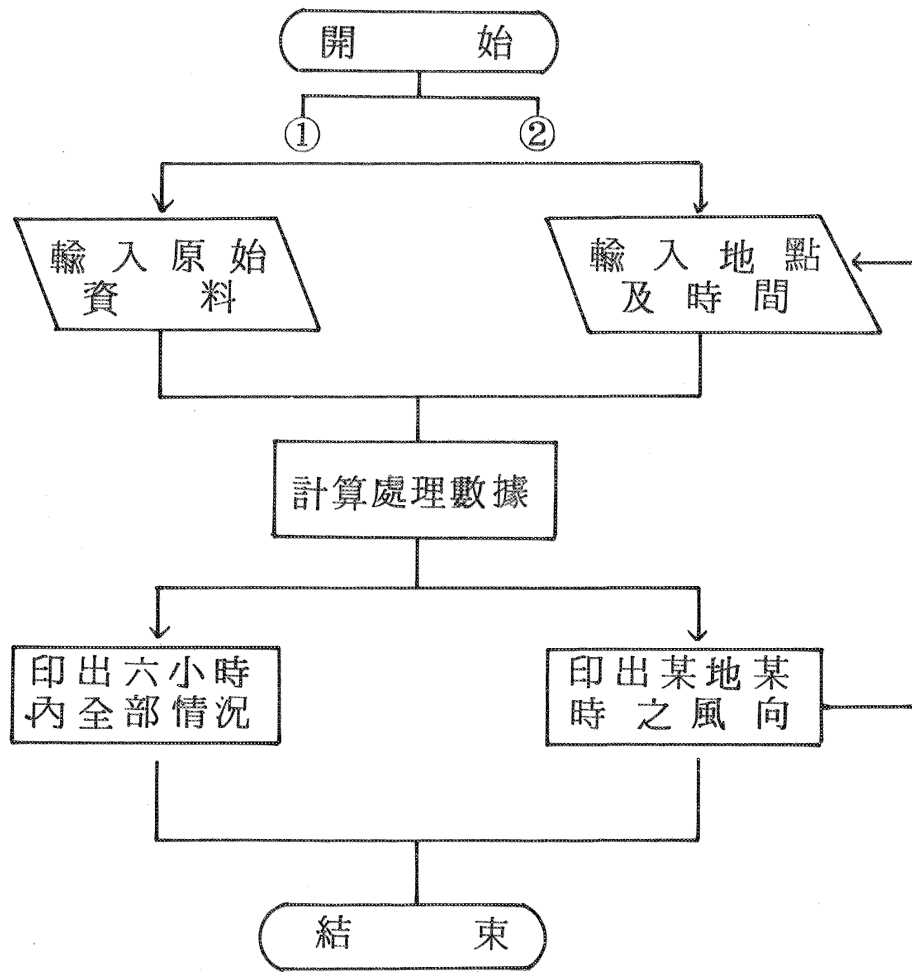
利用 $x = \text{Cos} \theta \times a$, $y = \text{Sin} \theta \times a$
定出位置。

1-2 颱風路徑風向的預測

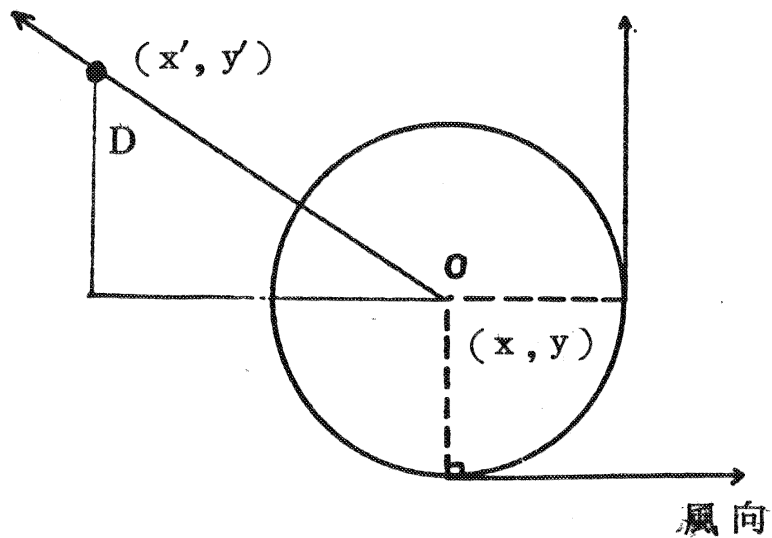
(1)說明：此程式係利用上述 1-1 之程式改變而來。

其主要為預測某地在颱風侵襲時間，風向的轉變情形，範圍只限於台灣陸地。因其依據為氣象局之颱風警報，故其可靠性較大。為配合警報發布時間，預測只限於六小時之內，以求準確。

(2) 程式流程



- (3) 原理：除上述 1-1 部分外，風向的判斷係由：
- ↷ 與暴風旋轉半徑圓之切線方向同。
 - ↷ 風向和等壓線的夾角，越中心越小。



計算方式係以“切線與過切點之半徑垂直”利用三角向量關係求出。

(x' , y') 目標 , (x , y) 中心位置

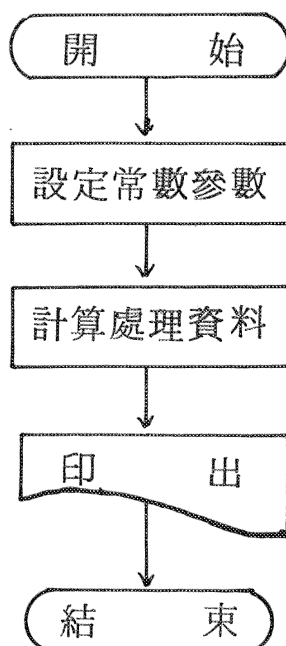
$$D = \text{TAN}^{-1} \left\{ \frac{(x - x')}{(y - y')} \right\}$$

並利用三角函數求出其對平面坐標系 x-y 軸的夾角。

2-1 太陽黃道位置與時間關係

(1)說明：地球在黃道上運行，與赤道成 $23^{\circ} 27'$ 的傾角，又其軌道成橢圓形且速度不定。因此不易了解其繞日公轉的情形。此程式茲將地球公轉一周之各時間的位置以立體繪圖的方式顯示，使能一目瞭然。並作為以下天文部分研究的基礎。

(2)程式流程



(3)原理：此程式係利用刻卜勒第二定律，在相同的時間內，行星所掃過之扇形面積相等為基礎。

利用扇形面積 = 定數 (θ 角極小時)，可積分導出：

$$\frac{2\pi t}{J} = 2 \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \tan \frac{\phi}{2} \right) - \frac{e \sqrt{1-e^2} \sin \phi}{1+e \cos \phi}$$

J : 地球公轉週期一約為 365.24219879 日

e : 軌道離心率 (1984) 一約 0.01672

ϕ : $\theta - \overline{ws}$, 又 $\theta = \lambda_s - 180^\circ$

\overline{ws} : 近日點黃經 (1984) 一約 102.18516°

λ_s : 表太陽之黃經

利用上述公式即可求出。圖形繪製原理請見參考文獻11。

2-2 天球座標的轉換

(1)說明：觀測星象時往往因所在位置不同，所觀察到的位置亦不相同。此程式茲將多種天球座標間的換算，做一整理，使用者可很清楚的了解其間的關係。此程式轉換的座標係計有：

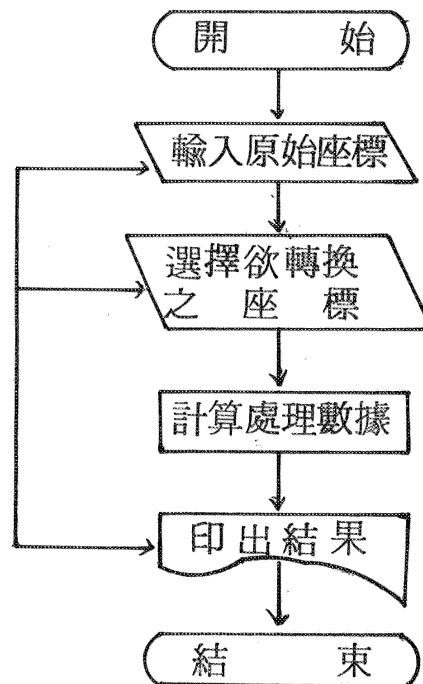
∪ 地平座標系：方位角（地平圈）；高度（地平經圈）

∩ 赤道座標系：赤經（天球赤道）；赤緯（時圈）

∩ 黃道座標系：黃經（黃道）；黃緯（黃經圈）

∩ 地理座標：經度（地球赤道）；緯度（時圈）

(2)程式流程



(3)原理：此程式之計算部分，均為球面三角公式。僅列出常用之轉換公式：

↷ 赤緯，緯度及高度 ↔ 方位及時角

$$\cos \frac{t}{2} = \sqrt{\frac{\cos(S-P)\sin(S-l)}{\cos l \sin P}}$$

t：時角

ℓ：緯度

p：極距（即 90° - 赤緯）

h：高度

s： $\frac{1}{2}(\ell + h + p)$

◎註四：天球之名詞，詳見附錄 3。

↷ 赤緯、緯度及時角 ↔ 方位及高度

$$\sin \frac{Z}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-h)\sin(s-l)}{\cos l \cdot \cosh}}$$

Z = 方位（地平經）

□ 赤經緯 ↔ 黃經緯

先以 $\cos k = \cos r \cos d$

$$\sin L = \frac{\sin d}{\sin k}$$

求出 k, L

再代入 $\tan v = \cos(L-w) \tan k$

$$\sin u = \sin k \sin(L-w)$$

r：赤經

d：赤緯

v：黃經

u：黃緯

w：黃赤交角，約為 23° 27' 8.26"

至於圖形的投影，因牽涉球心投影，暫不在此討論。

2-3 日出、日沒及日照時間研究

(1)說明：前面所述，均有學理根據，依其規律導來。

但此部分有關的理論資料很少，只有各國每年的天文曆（Astronomical Almanac）中有細載，但也全是查表資料，雖然數值精密，但也很難找出一「精密」的通則。但是我們可以利用電腦的建檔，將日出、日沒的時間建入循序檔中，以便查詢。更可繪成統計圖表，利於研究。（註五）

◎註五：因資料龐大，故存在磁片中，無法附錄。

※以上 1-1,1-2,2-1,2-2 程式，請自行上機操作。較易明瞭。

（四）進一步的計畫

1. 日月蝕的出現：可利 2-1 程式，加以改變，再加上投影的計算，應可算出。
2. 行星軌道的研究：亦可利用 2-1 程式的方式，只要改變其離心率，軌道傾角、平均半徑及春分點位置即可。更可以將九大行星全部在螢幕上顯示，以了解其運行軌道的狀況。
3. 天體視運動的研究：以上述為基礎，再以地球和天體在天球上的投影計算顯示。
4. 星座的鑑別：將單獨的星座建檔顯示，以利鑑別。

五、問題討論

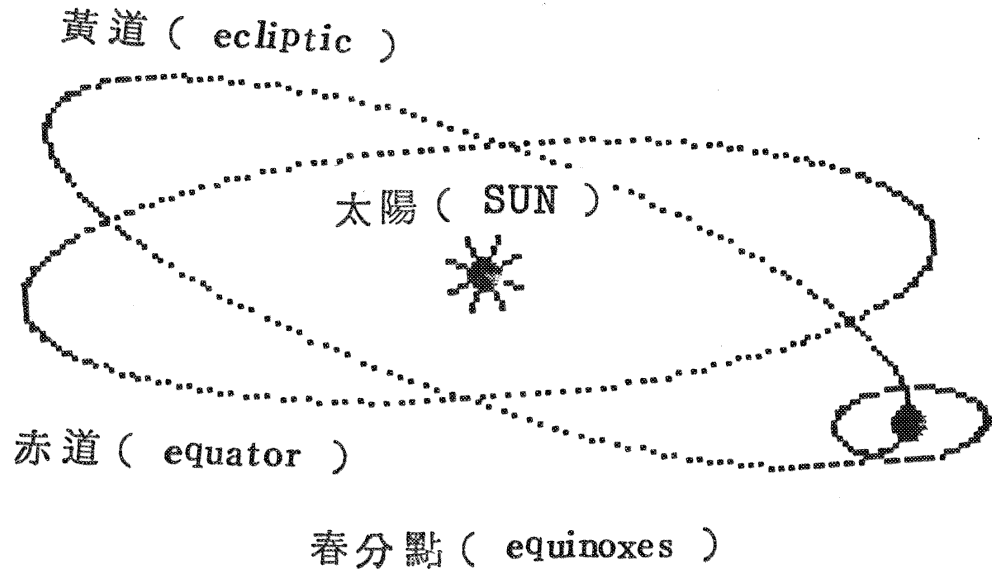
- （一）天文部分牽涉到很多的球面三角問題，計算投影及位置等都十分複雜，且天文中之一些數值（如歲差，春分點位置等），每年都要有一番修正，因此對於長期的預測，恐有很大的誤差。
- （二）限於電腦解像度，所有的圖形均不能如同數值一般精確，效果不盡理想。若能提高解像度，也許可以改進。
- （三）1-1 程式經過真實氣象資料印證，其誤差約在 200 km 之內。
- （四）天文部分之結果，因無法逐日實驗求證，故其誤差未知，但係以理論導來，應不致偏差太大。
- （五）所有程式內數據（如天文定數、距離），均盡可能使其準確，惟圖形無法精確表出。

- (六)氣象資料利用電腦存檔，對於研究氣象有很大的助益。
- (七)天文部分所有星體運行，因其章動及攝動之影響很小，故均不考慮進去，應無太大的誤差。

六、結論及應用

- (一) 1-1 及 1-2 程式聯合起來做多方面的利用：
 - 1 長浪效應：對於颱風期間之海面狀況可做進一步的了解。長浪 (Long Waves) 方向與暴風範圍的切線方向同。
 - 2 河川海水倒灌情形：配合風向及浪高情形及河口方向，可以知道各河川在颱風期間海水倒灌的發生。如能加入河川水位流量情形，更可以近於準確，對於防颱工作應頗有幫助。
- (二) 2-1 程式，不但可以利用在地球上，同時還可以用在各種行星的軌道上，實為天體運行的基礎。
- (三) 2-1 及 2-3 程式，可省去以往查天文年曆的方式，並且有圖形顯示，更可以清楚的明瞭其運行的狀態。
- (四) 2-2 的程式，可使觀察天體者了解其位置及天體位置的換算關係。
- (五) 第二部分程式圖形部分因牽涉許多複雜的球面計算，加上歲差及攝動的影響，故誤差在所難免。但主要讓大家能在立體的圖形上更容易了解天體間的相關位置，因此沒有多大的影響。
- (六) 限於電腦硬體關係，圖形未能精確，但其內部數據運算，轉換乃保持其有效位數約九位。
- (七) 利用上述程式加以改進，應能多方面利面於天文、氣象上（如行星軌道、星象、月球軌道、日月蝕等）。實有待更進一步的研究。

行星繞日軌道圖示



七、參考文獻

1. 正中科學大辭典(地球科學) 正中書局
2. 高等天文學(上下册合訂本) 盧景貴編 台灣中華書局
3. 天文年鑑(日) 1984年版 日本天文年鑑編集委員會編 誠光堂新光社
4. 天文年曆(中) 民國73年版 中央氣象局天文台
5. 地球 張雲著 中央文物供應社
6. 實用氣象學 戚啟勳編著 環球書局
7. 颱風的理論和預報 戚啟勳、關壯濤合著 季風出版社
8. 應用天文學 嚴炳英著 環球書局
9. 氣象會報 中央氣象局 中央氣象局
10. Visicalc 入門 高朝枝譯 第三波文化事業股份有限公司
11. 微電腦繪圖(修訂二版) 賴光武、陳宗道譯 儒林圖書公司
12. 現代地球科學(上下册) 王博義、許萬德編著 環球書局
13. 中華民國物理教育學刊(民國六十七年七月五日) 「如何推算農曆中節氣的時刻問題」 張仁邦
14. "Orbital Motion" Tohn Wiley & Sons 著

15. EARTH, Moon And PLANETS FRED L, WHIPPLE

1941

評語：一、富於獨立思考和作業精神。

二、以高中二年學生的心智能力做極致的發揮，值得推薦參加國際科展。

三、運用電腦為研究工具與特色，針對部分氣象和天文問題做富於啟發性的研究，值得鼓勵。

四、宜於縮小研究課題範圍。若能對颱風問題做更深進一層探討，則收效尤佳。

五、具有獨自設計電腦程式的能力。