

單都卜勒氣象雷達速度場入門 < I >

Vincent T. Wood and Rodger A. Brown

鄭哲聖 譯

(空軍第三天氣中心)

摘

要

在理想狀態下，利用電腦模擬出單都卜勒氣象雷達掃描實際大氣時，所觀測到的各種不同的回波風場資料。並且區分為晴空及廣大降水等不同的輻散輻合場圖形，依次改變理想狀態下不同高度的水平風場，作為實際觀測時判別風場及中小尺度天氣系統的依據。

一、前 言

單都卜勒氣象雷達可以處理晴空或是降水區中的環境風場剖面資料，並有效偵測中尺度氣旋；(Lhermitte and Atlas, 1961; Rabin and Doviak 1982) 早在60年代即可收集單雷雨胞的資料，並即時發出嚴重天氣警告 (Donaldson 1967; Burgess 1976 Lemon et al., 1977)，因此在70年代中期的美國政府如NWS (National Weather Service) 空軍 (AWS)、民航局 (FAA) 等關切嚴重天氣警告的機構，都對都卜勒氣象雷達的能力產生莫大的興趣。(Johannessen and Kessler 1976)，因此一個J.D.O.P. (Joint Doppler Operational Project) 的組織遂於1977年設立，並在為期兩年中的研究測試中徹底考驗都卜勒雷達的性能，而其結果終究不負眾望，於是上述等機構如NWS, FAA, AWS也都毅然決定以具備都卜勒能力的NEXRAD來汰換老舊的傳統雷達裝備。(Bonewitz, 1981; Ray and Colbert, 1982)。

而當都卜勒雷達正式換裝使用後，都卜勒判圖勢必是氣象人員必修的課程之一，因此建立基本的都卜勒風場概念則是每位觀測及預報人員入門的不二法則，此套模式將引導氣象人員認識並瞭解都卜勒速度場；進而能解釋各種不同的中尺度天氣系統的變化。

都卜勒氣象雷達除了具備傳統雷達偵測回波強度反射率的功能之外，另可測出回波在徑向分量的速度場變化，以為風場的參考指標；雷達感應速度場指向雷達中心時定義為“負”值都卜勒速度場；反之離開雷達時則為“正”值。如果風場恰巧垂直於雷達某方位上的徑向分量（即是無徑向分量），則定義為“零”值；在真實的雷達幕顯示是以彩色類分出風場的變化，而在本類型中則以單色的不同粗細型態的等值線來類分。其中細虛線代表負值，細實線代表正值，長粗虛線為零值線，粗實線則為最大正值所在，短粗虛線則為最大負值所在，本幕所用之彩色顯示幕則以寒（藍綠）色系代表負值，暖（紅黃）色系代表正值，白色為零值。而單色系的等值線則是同於彩色系的不同顏色之界線（即不同速度場的分界），以下僅就各種不同的風場狀況分析及圖解，以提供各位參考之用。

二、理想的環境風場模式類型探討

§ 2.1 都卜勒雷達掃描姿態。(如圖 2.1 所示)

假設雷達以單一仰角 ϕ ，最大斜距 R_s ，做 360° 掃描所得到的 PPI 畫面，即是吾人所要探討的類型，其中

$$\begin{aligned} h &= r_s \sin \phi \Rightarrow \frac{r_s}{R_s} = \frac{h}{H} \\ H &= R_s \sin \phi \end{aligned}$$

V_d ：目標物的都卜勒速度（即相對於雷達中心的徑向速度）

V_s ：雷達斜距

R_s ：最大斜距

H ：雷達掃描最遠資料的高度

h ：雷達掃描任意距離內的高度

其中理想環境氣流場中的風場分量，是用來計算都卜勒速度場相對於雷達的移向及移速。

因此在任一座標點上：

u 分量表示向東分量

v 分量表示向北分量

所以我們可得到 $V_d = u \left(\frac{x}{r_s} \right) + v \left(\frac{y}{r_s} \right) +$

$$w \left(\frac{z}{r_s} \right)$$

由於我們只能針對各層水平運動的變化做考量

所以 $V_d = u \left(\frac{x}{r_s} \right) + v \left(\frac{y}{r_s} \right)$

再就對流層風場剖面而言，一般形式風場分向量為：

$$u = \text{speed}(h) \cos[270^\circ - \text{dir}(h)]$$

$$v = \text{speed}(h) \sin[270^\circ - \text{dir}(h)]$$

$\text{spd}(h)$ ：風速
 $\Rightarrow$ 二者皆為高度場的函數

$\text{dir}(h)$ ：風向

§ 2.2 風向及風速場均不隨高度而改變

吾人考慮三種風場，在不同高度時皆為等

風速及風向的理想狀況下，其垂直剖面及 PPI 如下所示：(圖 2.2)。

$$\begin{aligned} \text{(a) } \text{spd}(h) &= S & \text{(b) } \text{spd}(h) &= S \\ \text{dir}(h) &= 225^\circ & \text{dir}(h) &= 270^\circ \\ \text{(c) } \text{spd}(h) &= S & 0 \leq h \leq H \\ \text{dir}(h) &= 315^\circ & S &= 30 \text{ KT} \end{aligned}$$

每根等值綫其速度相差 $0.2S$ ，就(a)而言當雷達天綫指向 135° 及 315° 時其風場變化為零，由於雷達波束與風場的方向垂直，因此都卜勒速度場的變化為零，而當雷達逐漸由 135° 或 315° 順時針旋轉時，其都卜勒速度場的絕對值則逐漸增大，直到指向 225° 及 45° 時為最大，而後再逐漸減小，以此類推。

§ 2.3 在不同高度等風速場中綫性風向切變顯示在風速場不隨高度而改變的狀況下，風向場則隨高度增加做綫性的改變。(如圖 2.3 所示)

$$\begin{aligned} \text{(a) } \text{spd}(h) &= S \\ \text{dir}(h) &= 180^\circ [1 - 0.25 (\frac{h}{H})] \end{aligned}$$

風向由地面向高層逆轉

$$\begin{aligned} \text{(b) } \text{spd}(h) &= S \\ \text{dir}(h) &= 180^\circ \end{aligned}$$

風向由地面至高層均不變

$$\begin{aligned} \text{(c) } \text{spd}(h) &= S \\ \text{dir}(h) &= 180^\circ [1 + 0.25 (\frac{h}{H})] \end{aligned}$$

風向由地面向高層順轉

$$\begin{aligned} \text{(d) } \text{spd}(h) &= S \\ \text{dir}(h) &= 180^\circ [1 + 0.5 (\frac{h}{H})] \end{aligned}$$

風向由地面向高層順轉

§ 2.4 在不同高度固定風向場中，綫性風速切變圖形顯示

風向場不隨高度增加而改變，風速場則隨高度增加做綫性的改變。(如圖 2.4 所示)

$$\begin{aligned} \text{(a) } \text{spd}(h) &= S (\frac{h}{H}) \\ \text{dir}(h) &= 270^\circ \end{aligned}$$

風向固定在 270° 風速綫性增加

$$\begin{aligned} \text{(b) } \text{spd}(h) &= S [0.33 + 0.67 (\frac{h}{H})] \\ \text{dir}(h) &= 270^\circ \end{aligned}$$

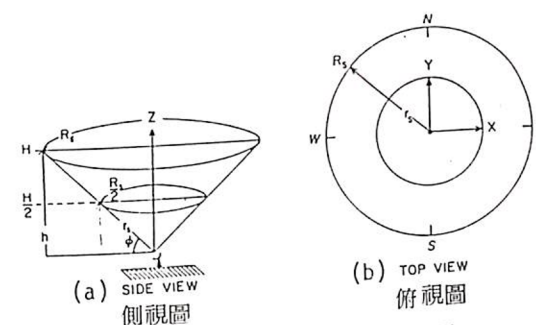


圖 2.1 都卜勒雷達視圖

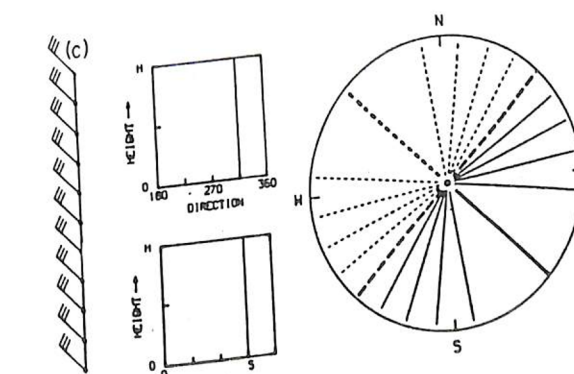
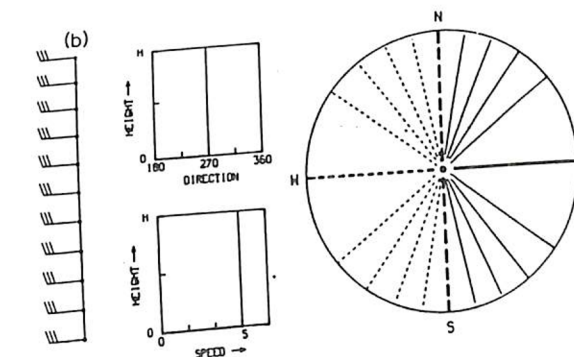
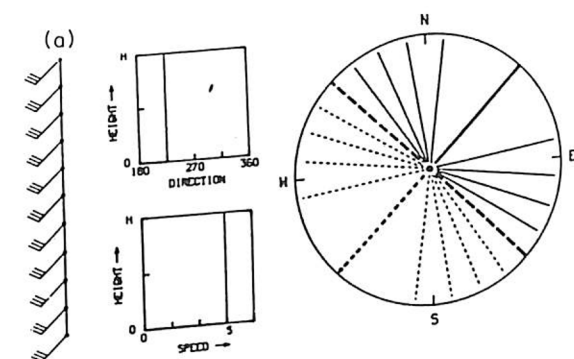


圖 2.2

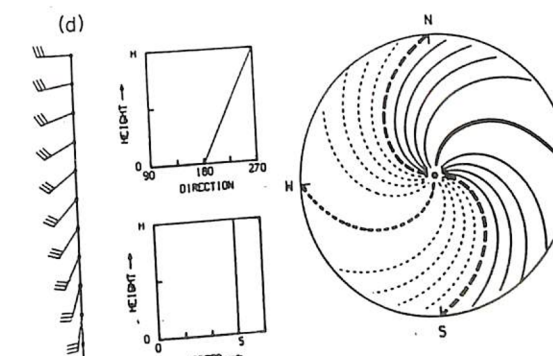
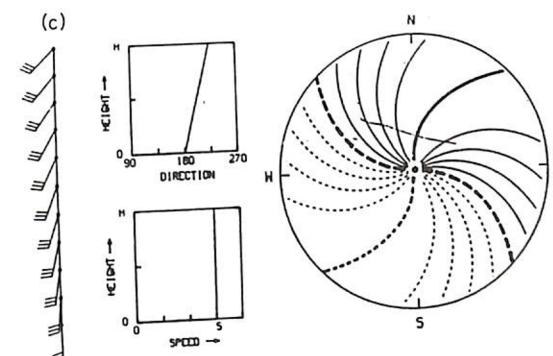
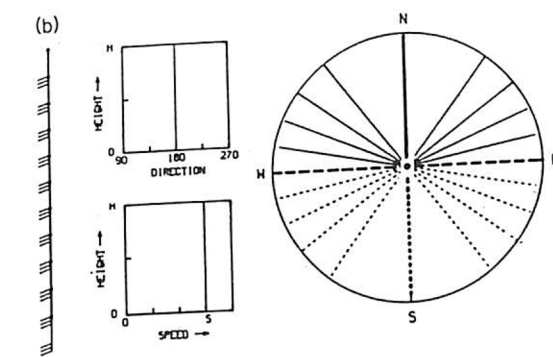
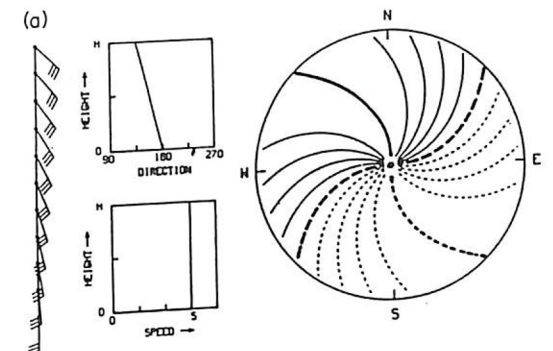


圖 2.3

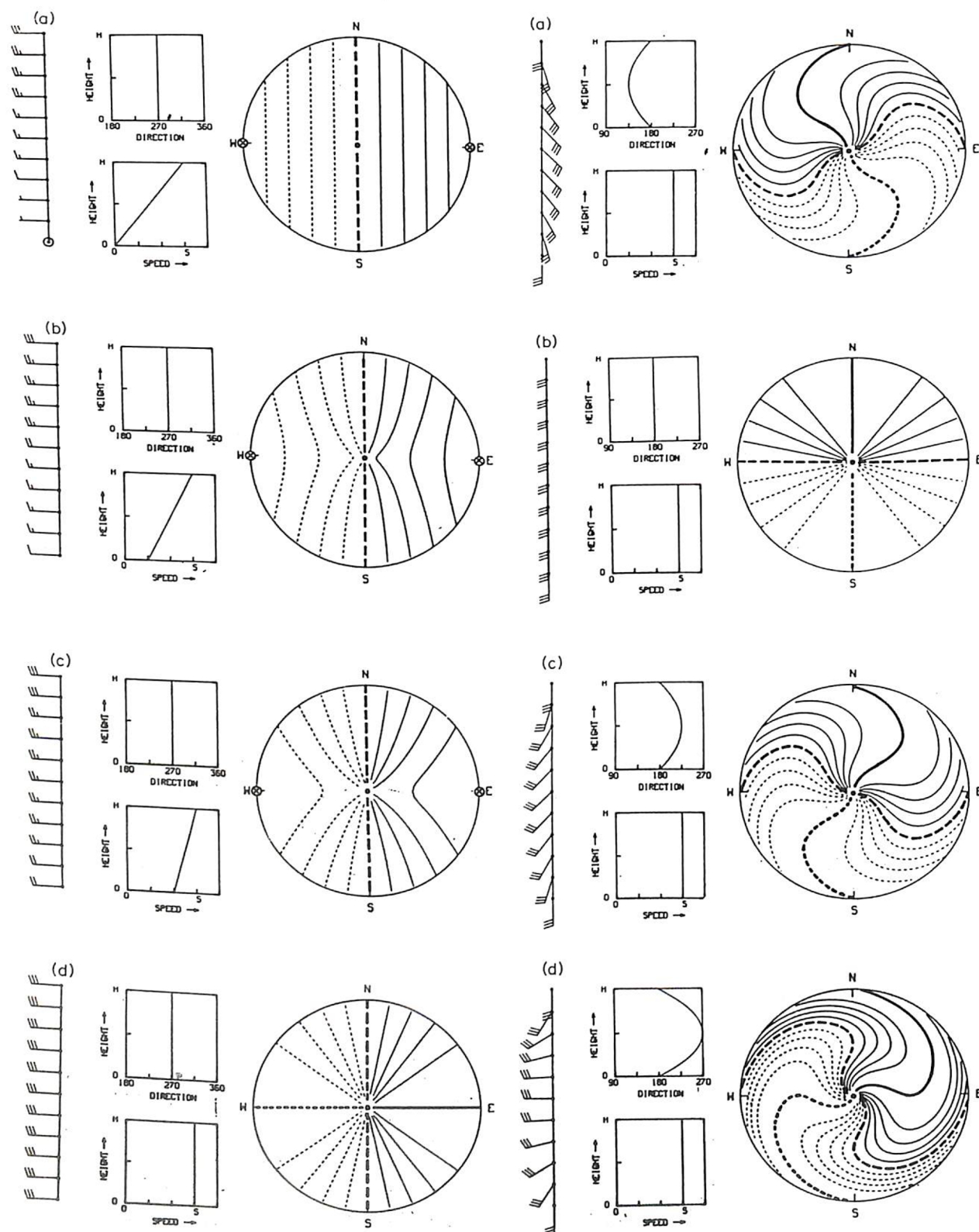


圖 2.4

圖 2.5

$$(c) \text{spd}(h) = S [0.67 + 0.33 \left(\frac{h}{H} \right)]$$

$$\text{dir}(h) = 270^\circ$$

$$(d) \text{spd}(h) = S$$

$$\text{dir}(h) = 270^\circ$$

風向風速均固定，不隨高度而改變，與(a)(b)

(c)相比較。

§ 2.5 等風速場及非綫性拋物綫風向切變，風速場不隨高度而改變，風向場則隨高度，呈非綫性拋物綫的風向變化。(如圖 2.5 所示)

$$(a) \text{spd}(h) = S$$

$$\text{dir}(h) = 180^\circ \left[1 - \left(\frac{h}{H} \right) + \left(\frac{h}{H} \right)^2 \right]$$

風速不隨高度增加而改變，風向則隨高度先逆轉後順轉。

$$(b) \text{spd}(h) = S$$

$$\text{dir}(h) = 180^\circ$$

風向風速均固定，以爲其他圖形之比較參考。

$$(c) \text{spd}(h) = S$$

$$\text{dir}(h) = 180^\circ \left[1 + \left(\frac{h}{H} \right) - \left(\frac{h}{H} \right)^2 \right]$$

風速固定風向隨高度先順轉後逆轉。

$$(d) \text{spd}(h) = S$$

$$\text{dir}(h) = 180^\circ \left[1 + 2 \left(\frac{h}{H} \right) - \right.$$

$$\left. 2 \left(\frac{h}{H} \right)^2 \right]$$

風速場固定，風向隨高度先順轉再逆轉(增量加大)。

§ 2.6 等風向場及非綫性風速切變，風向場固定不隨高度而改變，風速場則隨高度呈非綫性拋物綫的風速變化。(如圖 2.6 所示)

$$(a) \text{spd}(h) = 4 S \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right)$$

$$\text{dir}(h) = 270^\circ$$

風向固定，風速隨高度場增加而呈非綫性的增減。

$$(b) \text{spd}(h) = S \left[0.33 + 2.67 \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

$$\text{dir}(h) = 270^\circ$$

風向固定，風速隨高度場增加而呈非綫性的增減。

$$(c) \text{spd}(h) = S \left[0.67 + 1.33 \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

風向固定，風速隨高度場增加而呈非綫性的增減。

$$(d) \text{spd}(h) = S$$

$$\text{dir}(h) = 270^\circ$$

風向風速場均固定不隨高度而變，與(a)(b)(c)相較。

§ 2.7 風向及風速場均爲綫性切變，風向和風速場均隨高度而成綫性的改變。(如圖 2.7 所示)

$$(a) \text{spd}(h) = S \left(\frac{h}{H} \right)$$

$$\text{dir}(h) = 180^\circ \left[1 + 0.5 \left(\frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(b) \text{spd}(h) = 0.33 S \left[1 + 2 \left(\frac{h}{H} \right) \right]$$

$$\text{dir}(h) = 180^\circ \left[1 + 0.5 \left(\frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(c) \text{spd}(h) = 0.33 S \left[2 + \left(\frac{h}{H} \right) \right]$$

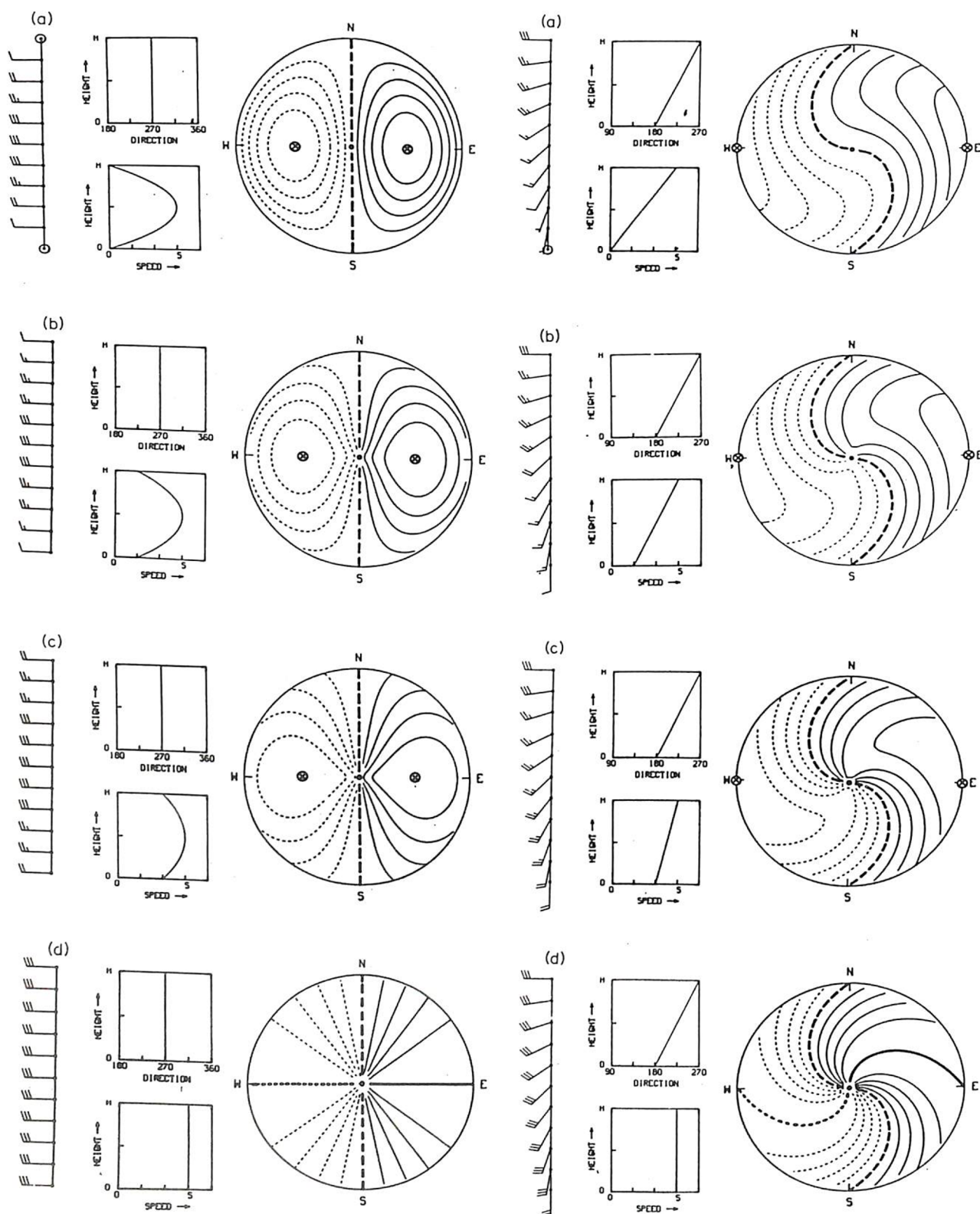


圖 2.6

圖 2.7

$$\text{dir}(h) = 180^\circ \left[1 + 0.5 \left(\frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(d) \text{spd}(h) = S$$

$$\text{dir}(h) = 180^\circ \left[1 + 0.5 \left(\frac{h}{H} \right) \right]$$

風向隨高度成線性改變，風速不變，與(a)(b)(c)圖形相互對照。

§ 2.8 風速隨高度呈線性改變，風向則為非線性拋物綫改變。(如圖 2.8 所示)

$$(a) \text{spd}(h) = S \left(\frac{h}{H} \right)$$

$$\text{dir}(h) = 60^\circ \left[3 + 4 \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(b) \text{spd}(h) = 0.33S \left[1 + 2 \left(\frac{h}{H} \right) \right]$$

$$\text{dir}(h) = 60^\circ \left[3 + 4 \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(c) \text{spd}(h) = 0.33S \left[2 + \left(\frac{h}{H} \right) \right]$$

$$\text{dir}(h) = 60^\circ \left[3 + 4 \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(d) \text{spd}(h) = S$$

$$\text{dir}(h) = 60^\circ \left[3 + 4 \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

風速為固定不變，風向則隨高度呈非線性的改變，以利與(a)(b)(c)三種圖形相對照。

§ 2.9 風向隨高度呈線性改變，風速則為非線性拋物綫改變(如圖 2.9 所示)

$$(a) \text{spd}(h) = 4S \frac{h}{H} \left[1 - \frac{h}{H} \right]$$

$$\text{dir}(h) = 90^\circ \left[2 + \left(\frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(b) \text{spd}(h) = 0.33S \left[1 + 8 \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

$$\text{dir}(h) = 90^\circ \left[2 + \left(\frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(c) \text{spd}(h) = 0.67S \left[1 + 2 \frac{h}{H} \right]$$

$$\left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(d) \text{spd}(h) = S$$

$$\text{dir}(h) = 90^\circ \left[2 + \left(\frac{h}{H} \right) \right]$$

風向隨高度呈線性改變，風速固定不變，與(a)(b)(c)相對照比較。

§ 2.10 風向及風速場均隨高度呈非線性拋物綫的切變(如圖 2.10 所示)

$$(a) \text{spd}(h) = 4S \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right)$$

$$\text{dir}(h) = 60^\circ \left[3 + 4 \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(b) \text{spd}(h) = S \left[0.33 + 2.67 \frac{h}{H} \right]$$

$$\left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

$$\text{dir}(h) = 60^\circ \left[3 + 4 \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(c) \text{spd}(h) = S \left[0.67 + 1.33 \frac{h}{H} \right]$$

$$\left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

$$\text{dir}(h) = 60^\circ \left[3 + 4 \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

$$(d) \text{spd}(h) = S$$

$$\text{dir}(h) = 60^\circ \left[3 + 4 \frac{h}{H} \left(1 - \frac{h}{H} \right) \right]$$

風速固定不變，風向隨高度呈非線性拋物綫改變(如圖 2.11 所示)

§ 2.11 綜合說明

針對單都卜勒雷達固定仰角掃描，對於風場在不同高度場的變化，排列組合成九大類分析如下：

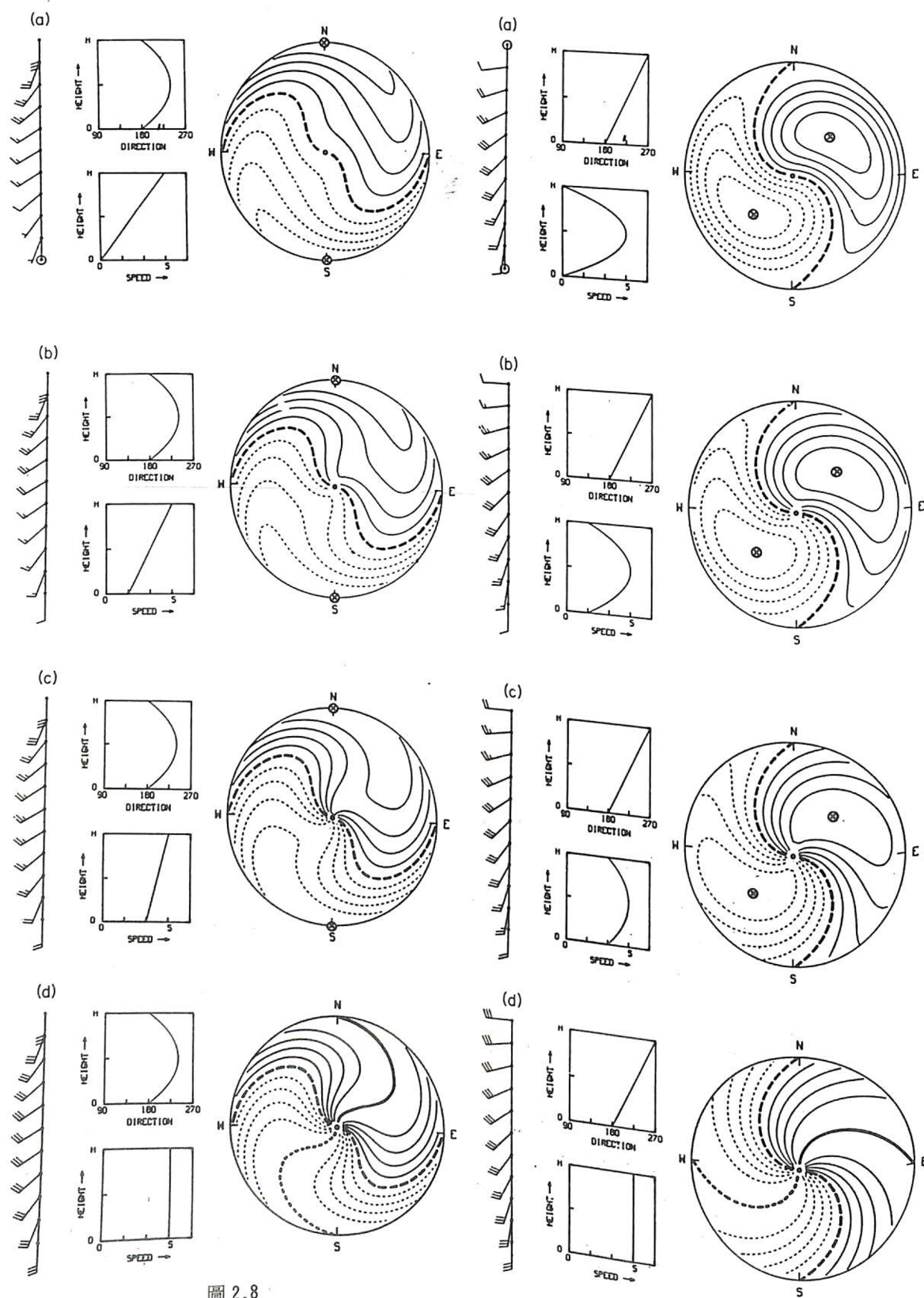


圖 2.8

圖 2.9

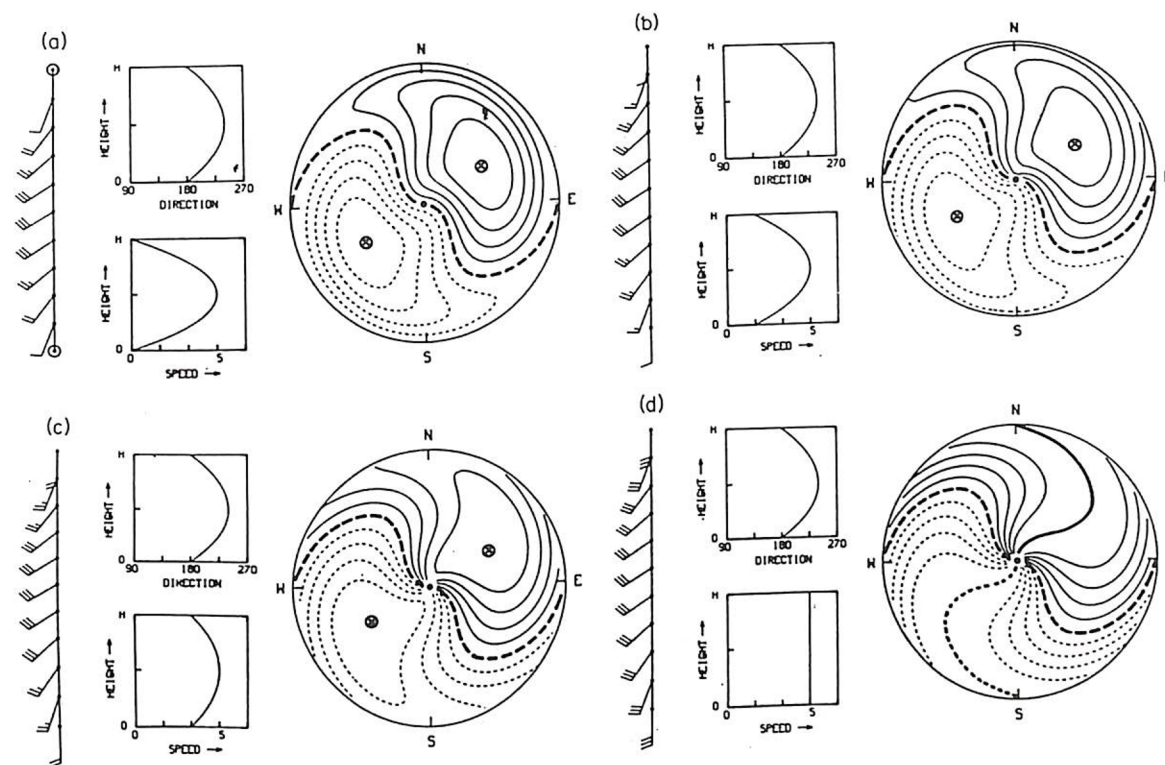


圖 2.10

WIND SPEED PROFILE

WIND DIRECTION PROFILE

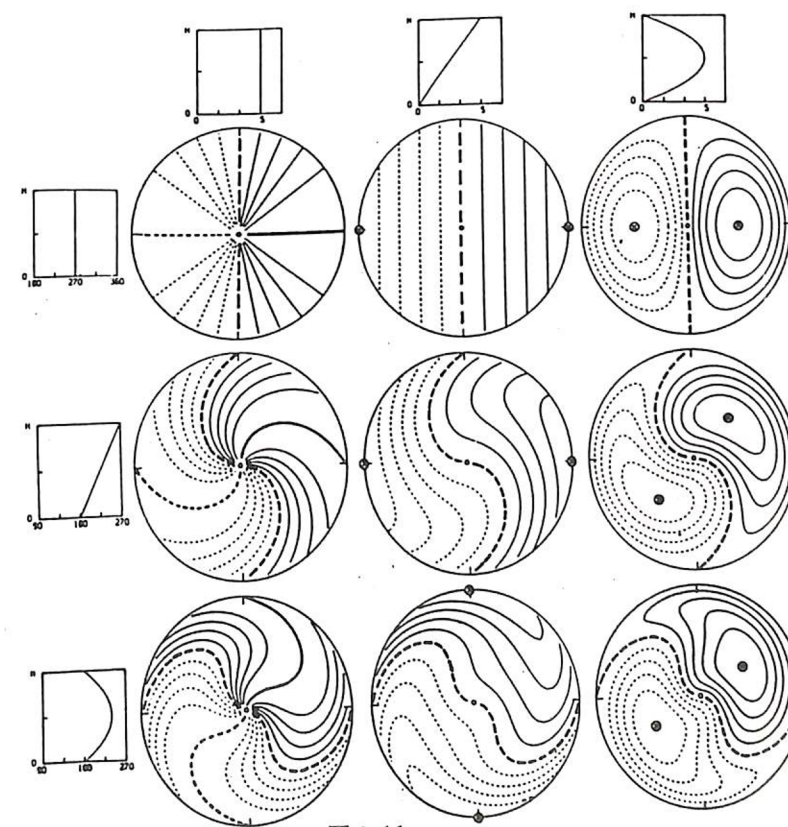


圖 2.11

首先以三種風速變化及三種風向變化來排列組合，亦即是分別為(1)定值不隨高度改變(2)隨高度做線性改變(3)隨高度做非線性的拋物綫改變。其中有幾項特性茲說明如後：

- ①當風速是定值時，所有的都卜勒速度等值綫必然都經過雷達中心，最大及最小值皆在粗綫之上。
 - ②如果地面風速是零值，只有零速度的等值綫通過雷達顯示幕的中心。
 - ③如果風速隨高度呈非線性拋物綫變化，即有一風速最大值存在於空中，則將有一對相差 180° 的封閉等值綫顯示在矩形之上。我們並可利用仰角及最大值與中心的斜距(Y.)計算出其最大值與中心的距離。
 - ④風速剖面的改變影響類型的型式及等值綫的寬度、間隔、風向剖面的改變則直接影響等值綫的彎曲度。
- 0值綫是最重要的風向指標綫(粗長虛綫)

附 註

* DWSR-88C RGB-6 工作站使用方法 *

RGB-6 工作站是 DWSR-88C 都卜勒氣象雷達遙地顯示之終端機組，可經由國軍光纖網路或是電信局數據綫路來傳遞氣象雷達所觀測之資料產品。

其組成要件為(1)Modem 調變解調器(2)RGB-6 處理器(3)20吋高解像度顯示幕及 Mouse 滑鼠一具(分為“左”“中”“右”三鍵)，首先我們打開 Modem，RGB-6 及顯示幕的電源，再同時按下滑鼠“中”“右”鍵，找出功能視窗顯示，將游標移至 comment 處按下“左”鍵，即可與清泉崗主電腦 VAX 3400 取得連線，當 user 燈亮後完成連線動作；遂將游標移至 Product 處，按“左”一次可顯示產品目錄種類及時間，因此可再利用游標選取所要傳送的产品，並按 send 一次即可逐次由 VAX 3400 的產品資料庫中索取所需之畫面，當結束產品選取後可按“右”乙次，消去功能視窗，再按“左”找出 Movie (動畫)視窗製作連續放映畫面。在此視窗內可設定動畫間隔時間及放映乙次的間隔時間。而“中”鍵則可做局部放大4倍的功能，經由滑鼠的使用及組合可得到資料庫所有的產品顯示，以利天氣守視，唯一注意的是不要讓 user 燈熄滅，否則即無法連線取得任何資料。若有任何問題請與清泉崗都卜勒雷達班連絡。

SINGLE DOPPLER VELOCITY SIGNATURES: AN ATLAS OF PATTERNS IN CLEAR AIR/WIDESPREAD PRECIPITATION (I)

Vincent T. Wood and Rodger A. Brown
Translated by Che-Sheng Cheng

ABSTRACT

A variety of single Doppler velocity Patterns that simulate those observed in the atmosphere are presented. Measurements in optically clear air/widespread precipitation are simulated using horizontally uniform wind fields that change with height. Simulations are compared with actual Doppler velocity measurements to test the veracity of the simulations.