

利用氣流剖析儀作重要天氣監測  
楊敬基  
香港天文台

## 1. 概述

一九九六年二月間，香港在深水埗區安裝了一套由雷電公司出產的 LAP®-3000 氣流剖析儀（或稱剖析儀）。它是一部相天線陣多普勒無線電探測及定距儀器，一般稱為雷達。傳統雷達依靠無線電從硬目標反射的回波來運作，但氣流剖析儀卻是利用大氣裡面的不均勻折射區作為目標。不均勻的折射能改變無線電波在大氣前進的方向，當這些不均勻區域的大小和無線電波的一半波長相約時，回波就最強。在大氣的地面邊界層，當風吹過高低不平的地形時，或地面受著不平均的日照，都可以在很短的距離內產生溫度、濕度或氣壓的差異，這些差異，又可稱為旋渦，正是氣流剖析儀用作目標的東西。氣流剖析儀追蹤這些隨風漂流的目標，從而得到空氣流動的資料。跟傳統雷達一樣，氣流剖析儀利用回波接收時間與原本發出訊號的時間差來計算目標的距離，又用多普勒原理計算目標移動的速度。不過，因為從空氣折回的訊息相對很微弱，而且噪音量大，一次的回波通常不足以產生有用的資訊，一般來說，長達數分鐘、甚或多至一小時的回波收集及積分才可以將資訊與噪音的比率增至可接受程度，從而計算出不同高度的風向、風速及垂直風速分佈狀況。

香港的氣流剖析儀操作頻率為 1299 兆赫，波束寬為 9 度，有 3 枝或 5 枝波束，其中一枝必須垂直向上，其餘 4 枝為斜束，與垂直束成 15.5 度角，4 枝在水平面平均分佈。儀器的有效範圍、垂直分辨度和取樣頻率都可以由使用者自選設定，當觀測重要天氣時，一般分別設定為 6000 米、200 米和每十分鐘一次。氣流剖析儀在 2000 米以下經常能量度得約八成半的有效數據，而在 3000 米以上則只有五成或以下。

## 2. 與無線電探空儀作比較

為評估氣流剖析儀的性能，我們曾利用位於香港京士柏的高空氣象站所量到的無線電探空儀資料作比較，兩套儀器彼此分隔約二公里。所用的資料包括一九九六年五月一日到七月三十一日三個月內的 00Z 和 12Z 探空資料及氣流剖析儀在同時量度到的風資料。

圖 1A, 1B 和 1C 是一整月的比較結果的典形例子，三圖分別是兩儀器所量度得的風速比對(scatter plot)，風速差異分佈和風向差異分佈。從圖 1A 可以看到兩套儀器的量度結果存在著線性關係。綜合各月份的比較數據，平均斜率和截距分別為 0.85 及 0.84。平均相關係數約為 0.83。鑒於兩儀器的量度方法、儀器位置及取樣所需時間的差異，相互關係算是不錯。從圖 1B 及 1C 顯示，約七成半至八成半的時間，兩儀器的風速差異不超過  $\pm 2$  米/秒，並約八成至九成的時間，兩儀器的風向差異不超過 30 度。

## 3. 雨中性能

氣流剖析儀在大氣潮濕時表現最佳，水氣的不平均分佈成為電波的有效折射目標，增

強回波訊號。可是當水氣凝結成水點後，便變成硬目標，又因各雨點大小不一引致各有不同下降速度，影響垂直風速的計算精確度，氣流剖析儀的性能便會降低。我們的資料顯示當平均下降速度從 0 米/秒升到 3 米/秒時，有效數據比率急速下降。在 3 米/秒至 7 米/秒下降速度一段，有效數據比率變化不大。但在 7 米/秒以上時，即在大雨情況中，有效數據比率再次下降直至基本上沒有有效數據。

#### 4. 重要天氣監測

氣流剖析儀能以每十分鐘一次的高頻提供高空風剖面圖，可以讓預報員觀察及緊隨重要天氣的移動及發展。自從天文台的儀器在二月間安裝以來，已經有多次成功捕捉到重要天氣事件。以下我們將討論四個不同的個案，其中包括對流層中層波移動帶來降雨增強或壓制的事件，另兩個案為低空急流和颱風。氣流剖析儀最能捕捉到帶有大量水氣的大氣中層波，在香港尚未有氣流剖析儀之前，我們從未見過關於短波有如此詳盡的資料。再者，有些天氣現象是先在空中風場產生變化，然後地面風場才跟上去。對這類天氣現象，氣流剖析儀往往能提供未來天氣發展的提示。

##### 4.1 對流層中層波與大雨

在一九九六年五月五日，一條低壓槽在中午時份橫過香港。當經過時，地面轉吹強東風。不過，天氣方面，暴雨已經在槽到達前四小時開始影響香港。從氣流剖析儀的記錄中，我們發現在對流層中層，一條槽正橫過香港，波的結構顯示得相當清楚，週期約六小時，這樣短的週期，傳統無線電探空儀資料一般不可能測得到。

圖 2A 是氣流剖析儀的時間剖面圖，圖中，我們清晰看見一對流層中層短波在 5 時至 9 時間經過香港，而地面風要到正午 12 時才從西南風轉至東風。其後，東風漸漸增強及加厚。至午夜時份東風區升到一公里高(看圖 2C 的風向等值線圖)。圖 2B 是垂直風的時間剖面圖，通常，一個較大的負值，如 -3 米/秒，代表降雨。而降大雨(圖 2B 中綠或藍色區域)的時間正好和短波經過香港的時間吻合，顯示兩者很有可能有密切關係。

##### 4.2 對流層中層波動壓抑降雨

在一九九六年五月七日，一條低壓槽從北向南移動，並在晚上 21 時經過香港，隨之而來的一條帶有狂風雷暴的雨帶沿途影響著廣東省南部(見圖 3A)。正當臨近香港之際，雨帶在香港附近突然出現一條長約二百公里的缺口致使香港免了一次暴雨(見圖 3B)。後來雨帶重新組織，但大部份已經離開香港，只影響香港島以南的水域。

圖 4A 是氣流剖析儀的時間剖面圖。當時高空的風很多擾動，一條相當深的槽在 17 時 20 分左右在 2 公里至 6.6 公里的高空突然出現，與上一個個案不同的是，槽前不是吹西南風。緊隨這些深厚的北至西北風，香港的對流層空間短暫時間轉變為空氣下沉區(見圖 4B 從 17 時至 21 時的黃色區域)。相信就是這個原因，香港在這個時段，雨帶局部受到

壓制，引致降雨極小。如上一個案例，這個波很快經過香港，故此也沒有在無線電探空儀記錄上顯示。

稍後，地面槽也抵達香港，並使地面風轉為北風。正在這時，另一短波又適逢經過香港，然而今次槽的前緣為西南風，卻幫助了在香港降雨。因為波的週期短，降雨時間不足二小時。

### 4.3 低空急流

在一九九六年五月二十五日，一條低壓槽從北向南移動，直往華南沿岸。當槽線靠近沿岸區域時，它慢下來並且在本區留連。在這一段時間內，一條低空急流出現，在香港上空經過，為本區帶來狂風雷暴。

圖 5A 是氣流剖析儀所提供的時間剖面圖。在約 6 公里高空，西南風首先在 17 時左右增強至 17.5 米/秒。其後大風區漸漸向下擴展至一公里高度。急流中心的最高風力超過 25 米/秒，並在約 22 時經過香港上空。圖 5B 是一風速等高線圖，灰色部份代表風速是 25 米/秒或以上。假設急流的橫向移動速度均勻，我們也可以將時間坐標看成距離坐標，而圖 5B 可在某程度上看作低空急流的橫切面。急流的中心“J”（圖 5B 中灰色地帶）由 3 公里伸展至 6 公里高，經過香港時間約從 20 時至 22 時。暴雨下降時間正好和急流中心經過的時間吻合（見圖 5C），雖然在這圖未有足夠顯示，但在第二天的時間剖面圖卻能清楚看見，低空急流和暴雨相繼在午夜後同時迅速消失。

### 4.4 颱風莎莉

在九月八日至九月九日期間，颱風莎莉在南中國海北面經過，最近香港時是在香港西南偏南約 200 公里。莎莉以每小時 38 公里的高速移動。移動路徑幾乎是直線（圖 6 是莎莉大致所走的路徑示意圖）。莎莉在九月九日零晨時份為香港帶來烈風。圖 7A 為一時間剖面圖，但初始時間為九月八日 15 時，因颱風莎莉移動速度平均，故此時間軸只要乘上莎莉移動速度，也可以當作空間軸看待，於是圖 7A 可視為圖 6 中“X-X”的剖切面。圖的中央部份（18Z 或香港時間 2 時）正是莎莉最接近本港的時間。從這圖，我們看到風力很有系統的分區分佈（在圖分作不同顏色區），等速線很容易分辨得像拋物線由上而下。強風及烈風區的半徑在高空明顯的比在低空的大。颱風左右不像對稱，相信是由於莎莉的特大移動速度。另一更重要原因，應該是因香港東北方的山區，使初時影響香港的東北風顯著的比後期影響香港的東南風為小。颱風的等速線在高空比在地面伸展得較遠，這個特性，相信可以被有效地利用為預測颱風近地面風力增強的工具。因為當颱風接近時，若颱風本身強度變化不大，對於一個固定地方而言，它會發現高空的風先增強，並且強風區由高至低慢慢下沉至地面，其間過程一般需要數小時。所以我們可以外推某些重要的等速線，如強風或烈風等速線至地面，從而得出強風或烈風影響香港的時間。例如，在圖 7A 上，我們或許可以在 19 時掌握到足夠資料作外推，並預測烈風會在 23 時影響香港。

圖 7B 為垂直風的等值線圖，我們可見下沉空氣（黃色部份）阻止了雨在 20 小時前發展，其後大雨降下（藍色部份）直至 9 月 9 日清晨 4 時左右。

圖 7C 是訊息與噪音比率(SNR)的時間剖面圖。這也是氣流剖析儀的基本產品之一，可以在儀器上隨時顯示出來。SNR 的大小與大氣中的反射/折射目標多寡相關。因為水氣是一種優良反射目標，所以 SNR 的強度可利用為估計水氣的數據。弱 SNR（藍色部份）顯示大氣可能比較清潔或乾燥，強 SNR（白色到紅色部份）則顯示大氣水氣充足，不過特強 SNR 值多數是因為有硬目標反射的原故，目標可能是較大的雨點、小鳥或飛機，所以資料要小心處理。

## 5. 總結

氣流剖析儀在香港環境表現不錯，大部份時間都能提供有效數據，與無線電探空儀比較，結果超過八成時間風速及風向差異分別不超過 2 米/秒和 30 度。

氣流剖析儀在大雨中不能運作，但在微雨或大氣水氣充足時表現出色，故此在重要天氣發生前或後，經常都能提供大量資料，幫助了解整個事件發生的過程。對颱風而言，氣流剖析儀量度得的高空風速資料可能有效幫助預報員預測未來數小時的地面風速及起風時間。

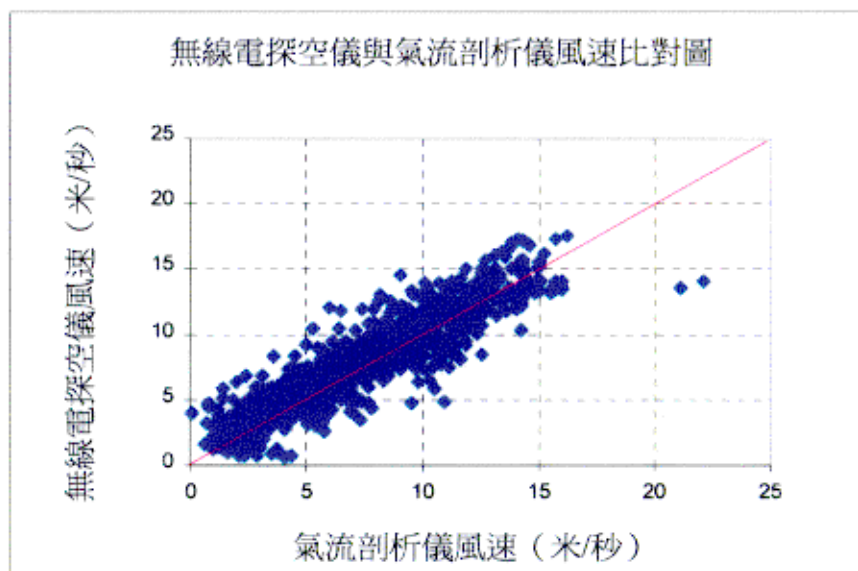


圖1A 無線電探空儀與氣流剖析儀風速比對圖 (一九九六年六月份)

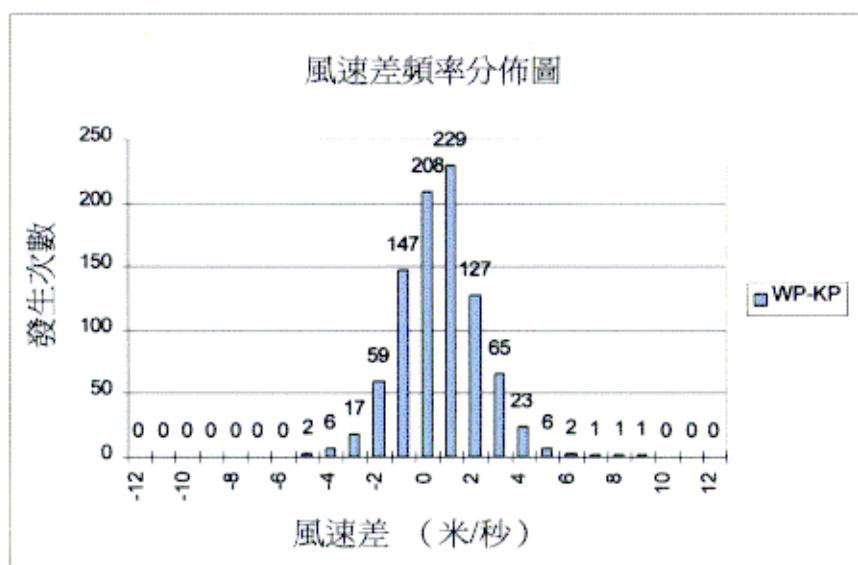


圖1B 風速差頻率分佈圖

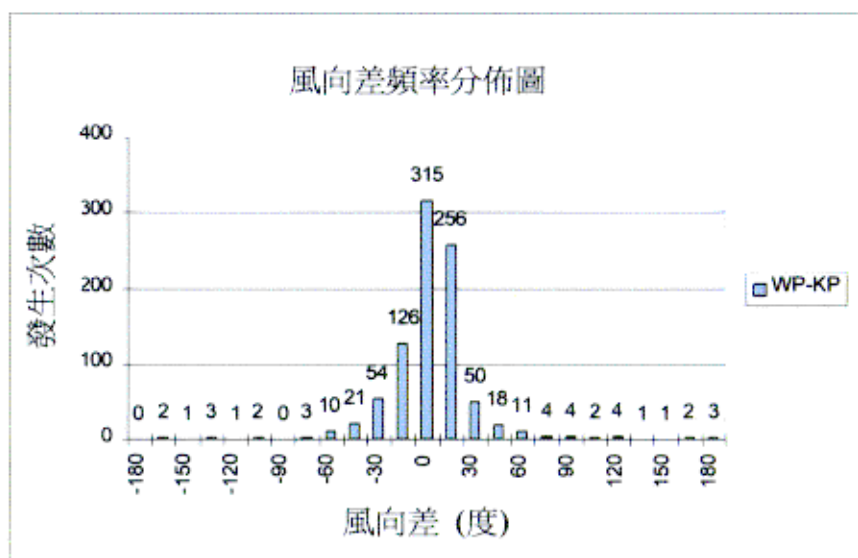


圖1C 風向差頻率分佈圖

註: 在圖一A, 直線  $y = 0.91x + 0.26$  並相關係數為 0.90

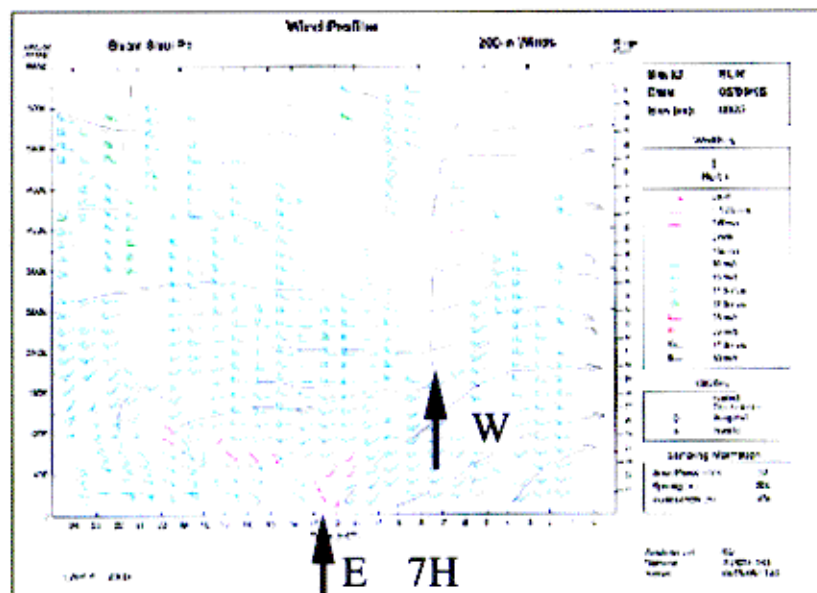


圖 2A 這是一張 1996 年 5 月 5 日水平風的時間剖面圖。圖中顯示在東風潮“E”於 13 時抵達香港前數小時（約 7 時），一度位於對流層中層的短波“W”已經經過香港。

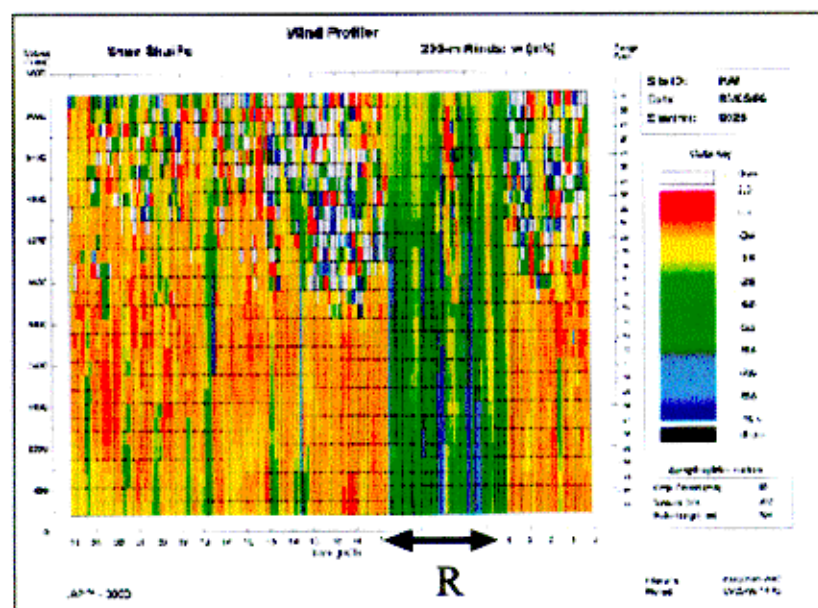


圖 2B 這是一張垂直風的時間剖面圖。圖中藍色和綠色部份（R 段）代表大過 3 米/秒的下降速度。通常可以代表下雨的地方。和圖 2A 比較，“R”出現的時間和對流層中層短波經過的時間吻合。

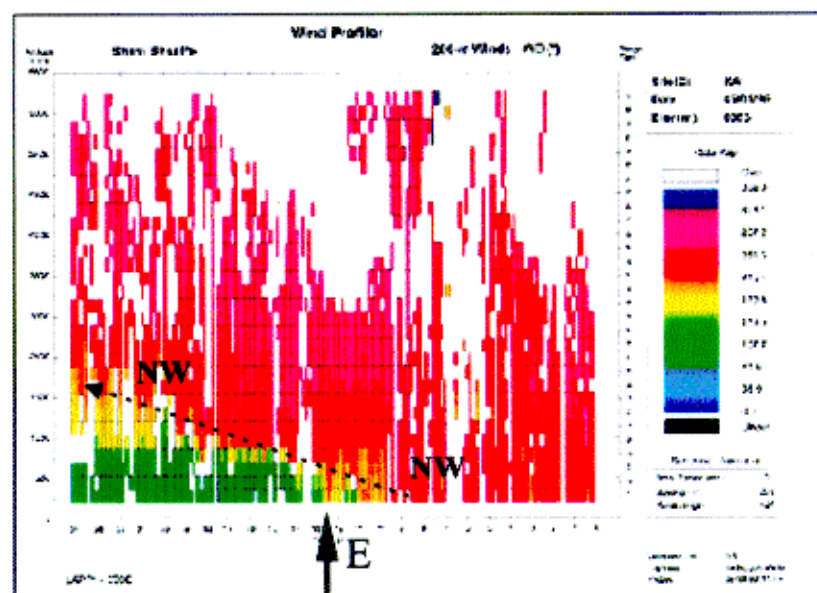


圖 2C 這是一張風向的等值線圖。圖中清楚顯示東風（黃色及綠色部份）前進及加厚的過程。我們也看見西南風帶“NW”（橙色及紫紅色部份）被冷空氣從地面抬起（約 11 時）。至當晚 12 時，升到差不多 2 千米高空。

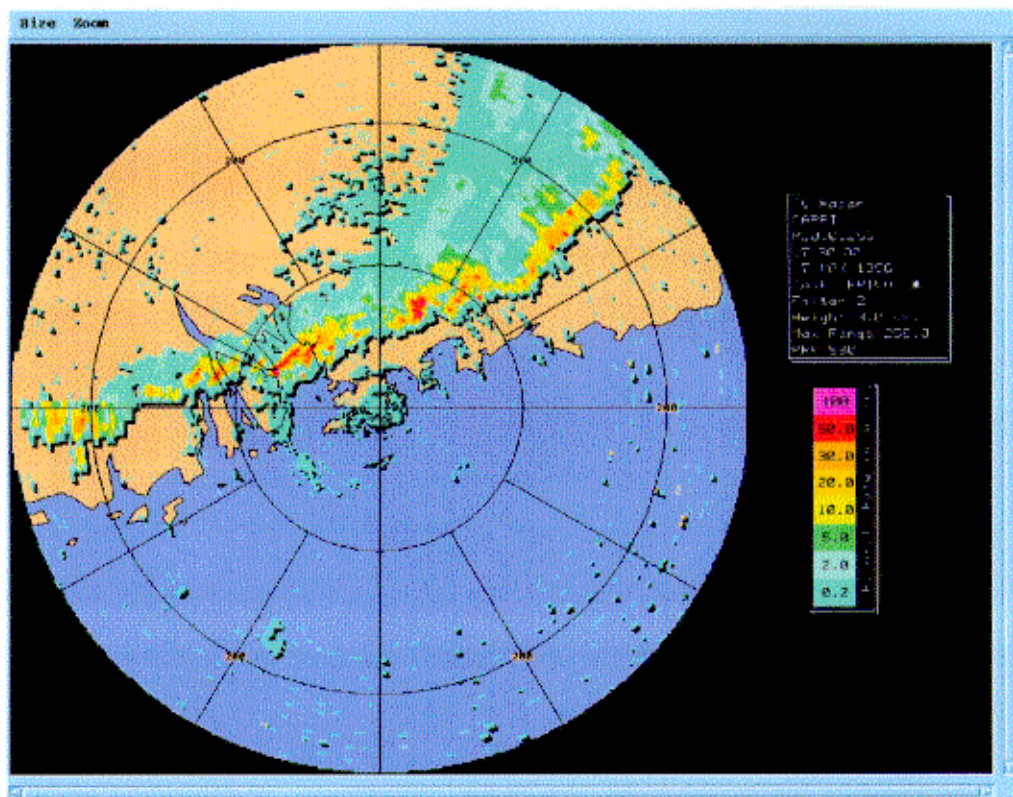


圖 3 A 這是1996年5月7日17時30分錄得的雷達照片，當時，一條組織很好的雨帶正從北向南移動影響廣東南部。

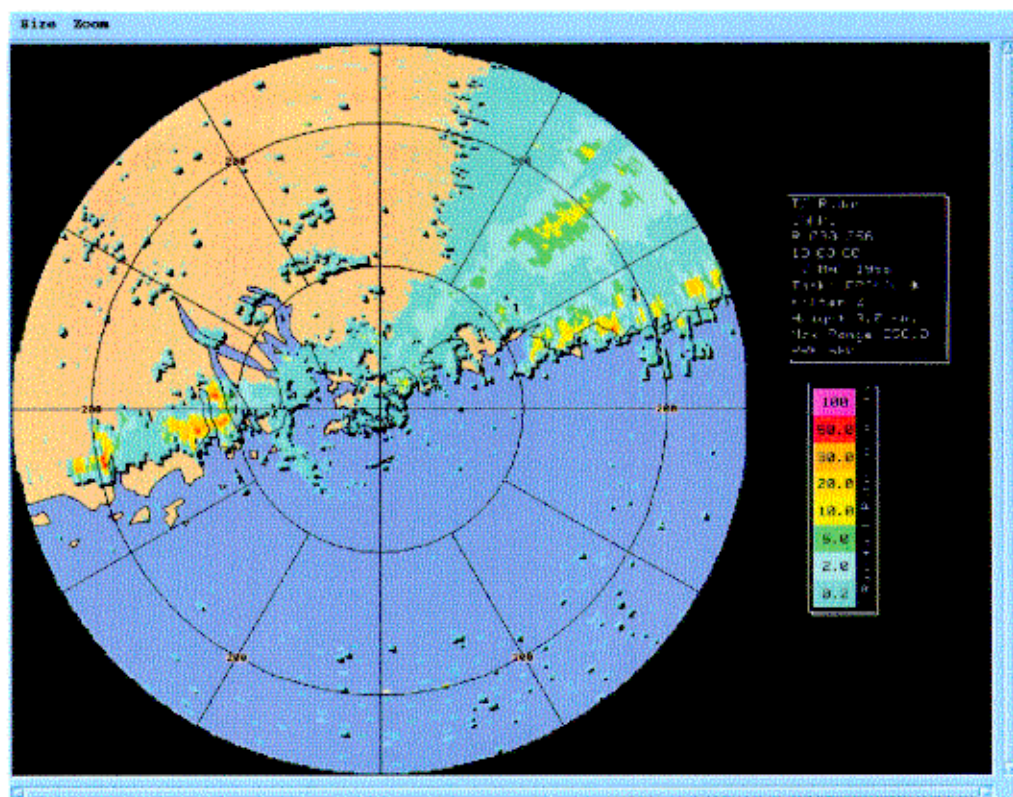


圖 3 B 這是1996年5月7日19時正錄得的雷達照片，雨帶在香港附近出現了一長約200公里的缺口，使香港避過了這場大雨。

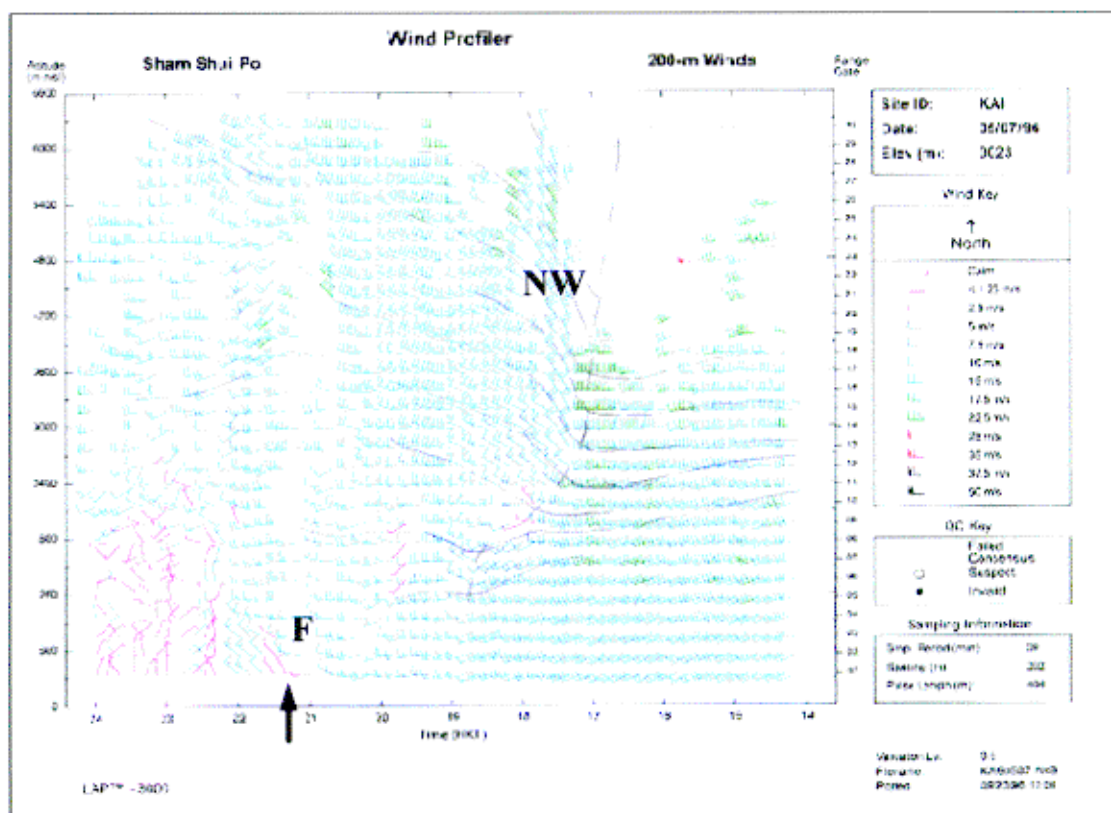
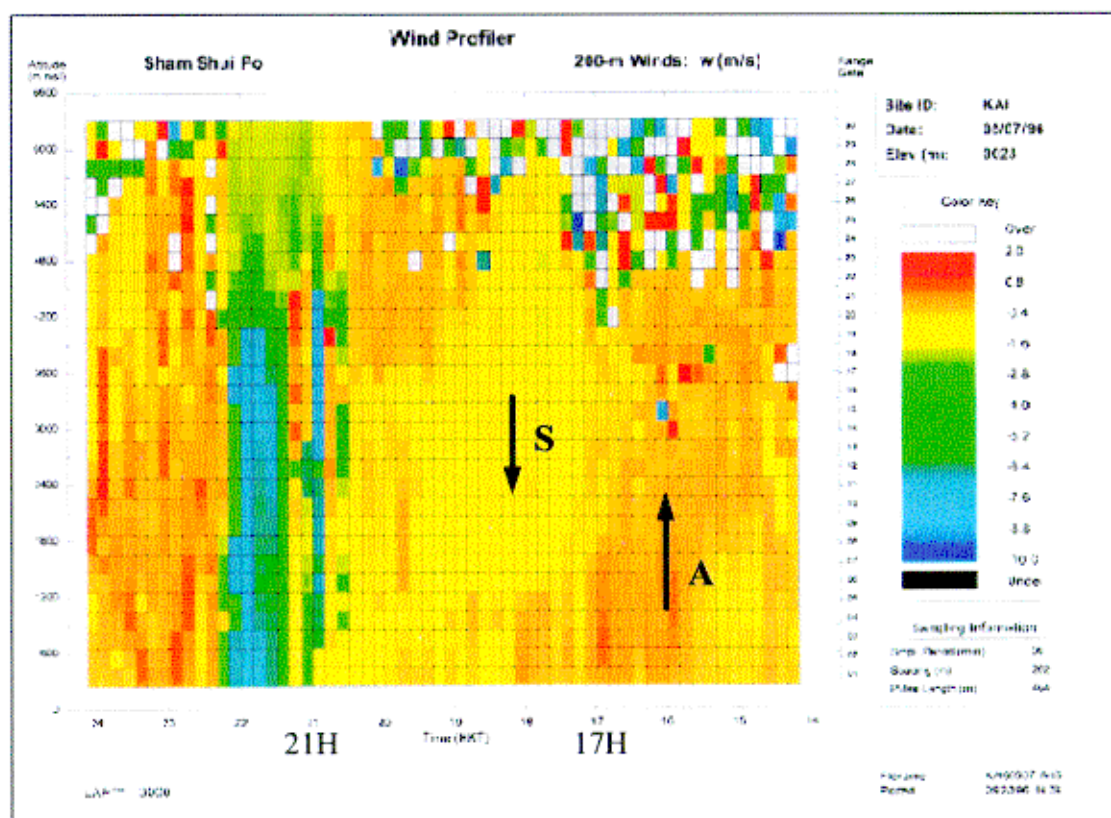


圖 4 A 這是一張水平風的時間剖面圖。我們發現在地面冷鋒“F”抵達香港前約4小時(即17時)，2500米以上的高空，風向從西風轉為西北風。相信因為這個變化，壓制了一場大雨在香港發生。



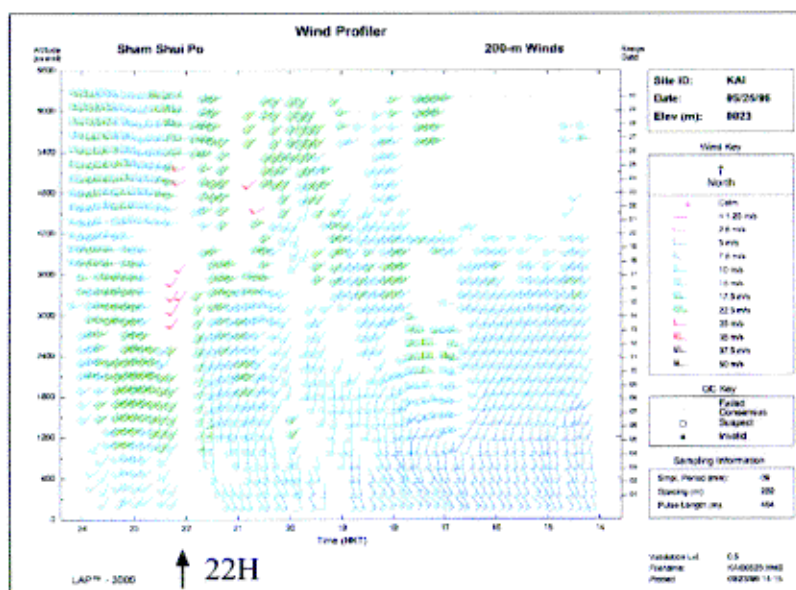


圖5A 這是1996年5月25日水平風的時間剖面圖。圖中顯示在對流層中層，有一波和低空急流橫過香港上空。於本港時間22時在3000米上空錄得急流最高風速超過25米/秒。

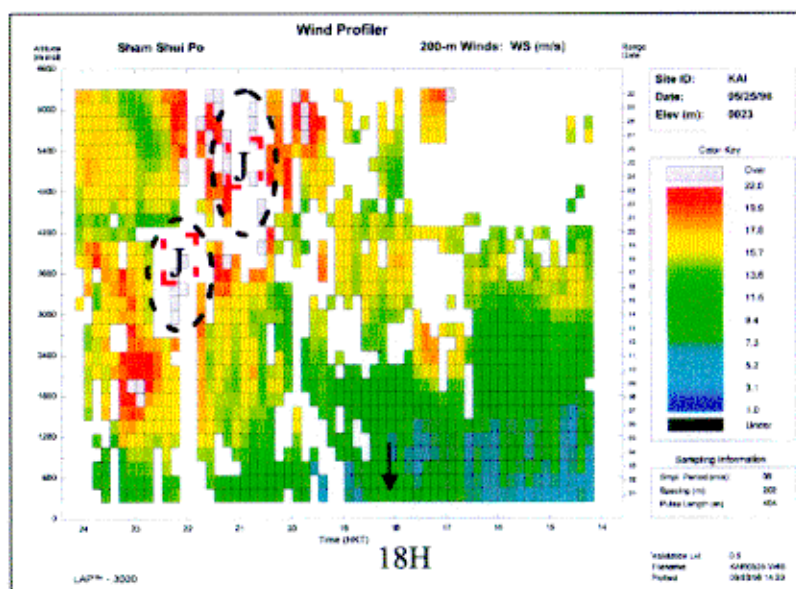


圖5B 這是和圖5A相應的風速等值圖。假設急流橫向移動速度平均，這圖也可以看作為急流的剖面圖。灰色地帶“J區域”代表超過22米/秒風速的區域。

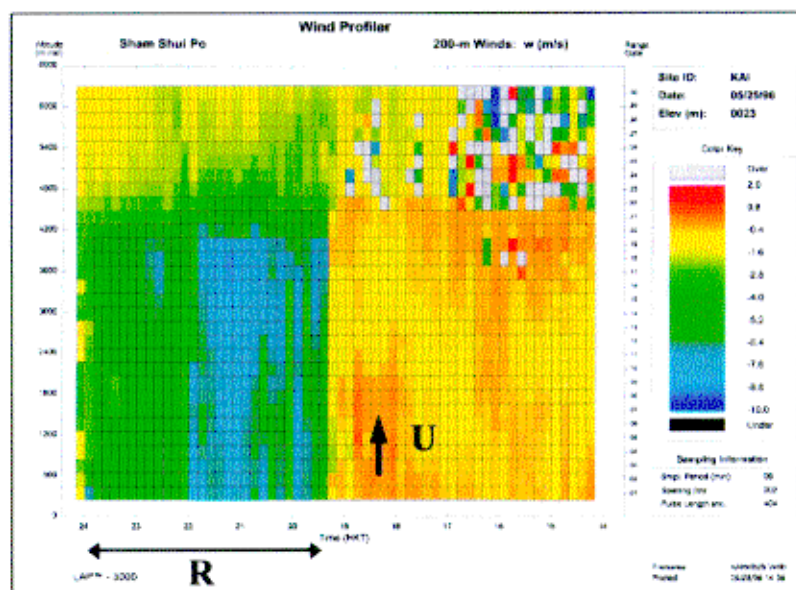


圖5C 這是垂直風的時間剖面圖，和圖5B比較，急流接近（在18時至19時間），引致近地面氣流上升‘U’（橙色部份），到急流在約19時抵達時，大雨倒下‘R’（藍色綠色部份）。

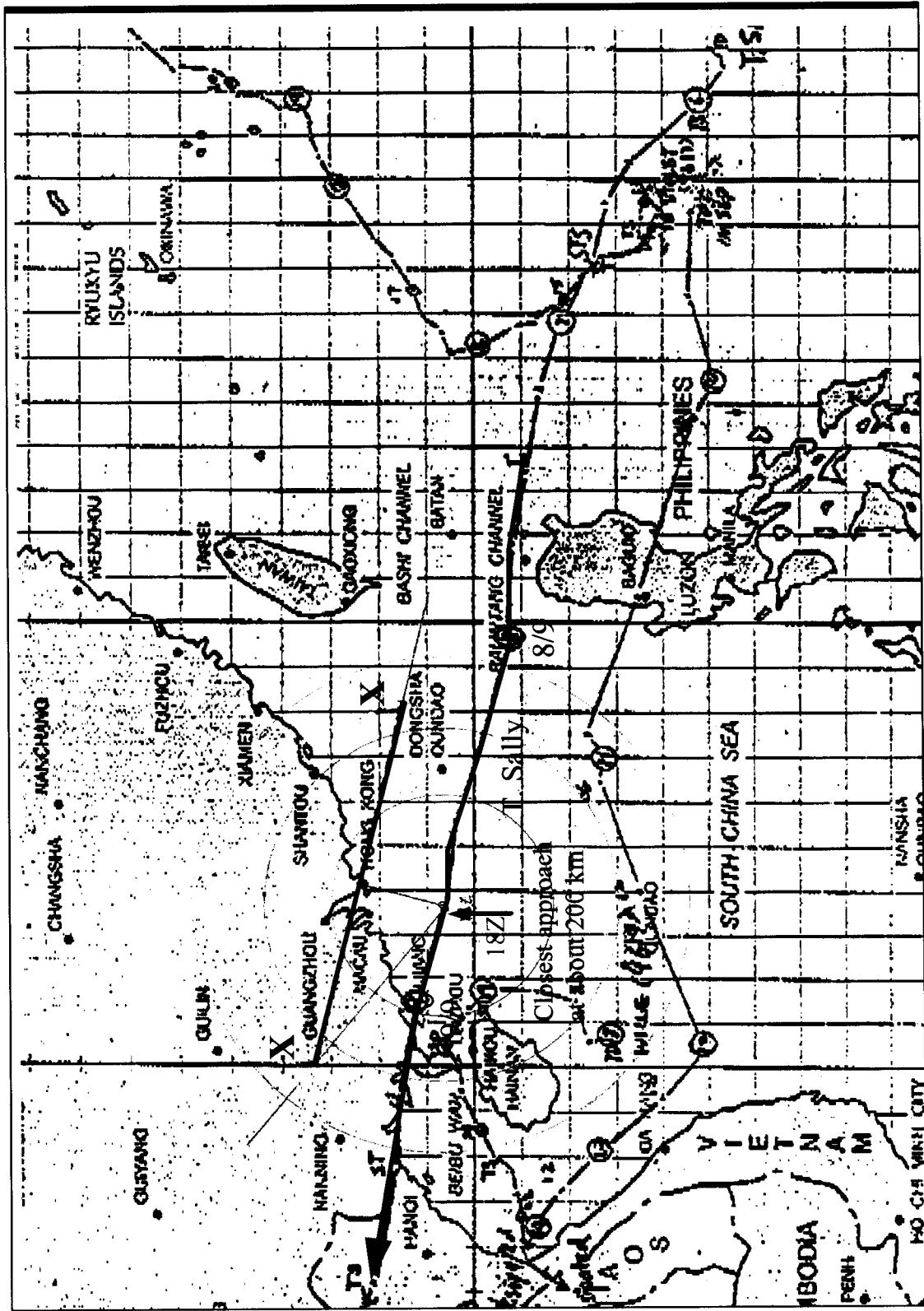


圖6 颱風莎莉在1996年9月8號到9號間在香港以南約200公里掠過的路徑圖。

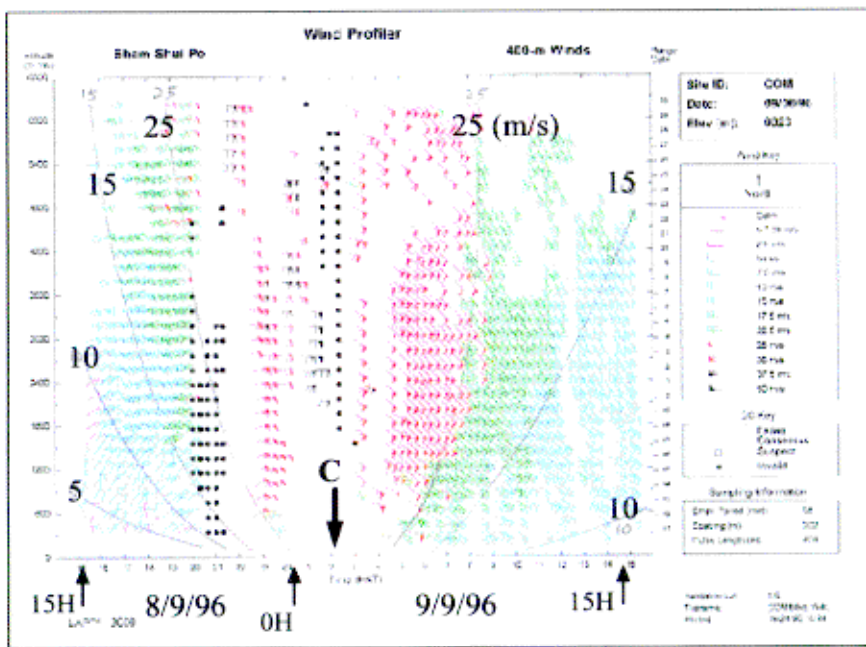


圖7A 這是1996年9月8日及9日在香港的氣流剖析儀錄得的水平風剖面圖。圖中‘C’指著颱風莎莉的中心最接近本港時間約為18Z（本港時間9月9日零晨2時）。當時莎莉位於香港西南偏南約200公里。圖中不同顏色代表不同風速範圍，風速區很有系統分佈。

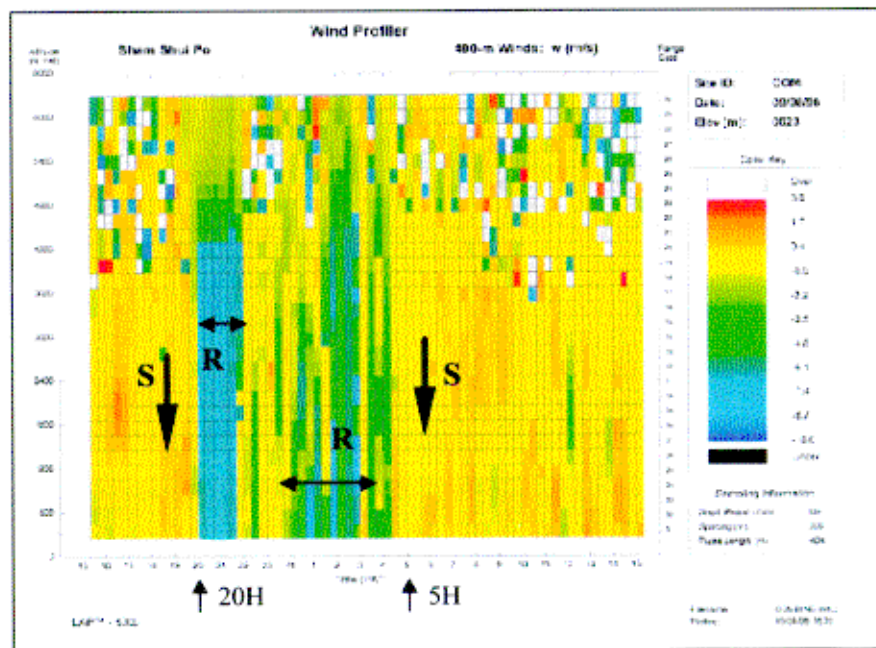


圖7B 這是和圖7A相應的垂直風剖面圖，大雨‘R’（藍色綠色部份）在20時開始，到第二天5時左右停止。在這時段前後，大氣為下沉空氣‘S’所控制，結果雖然高空風速甚高，天色仍是十分晴朗。

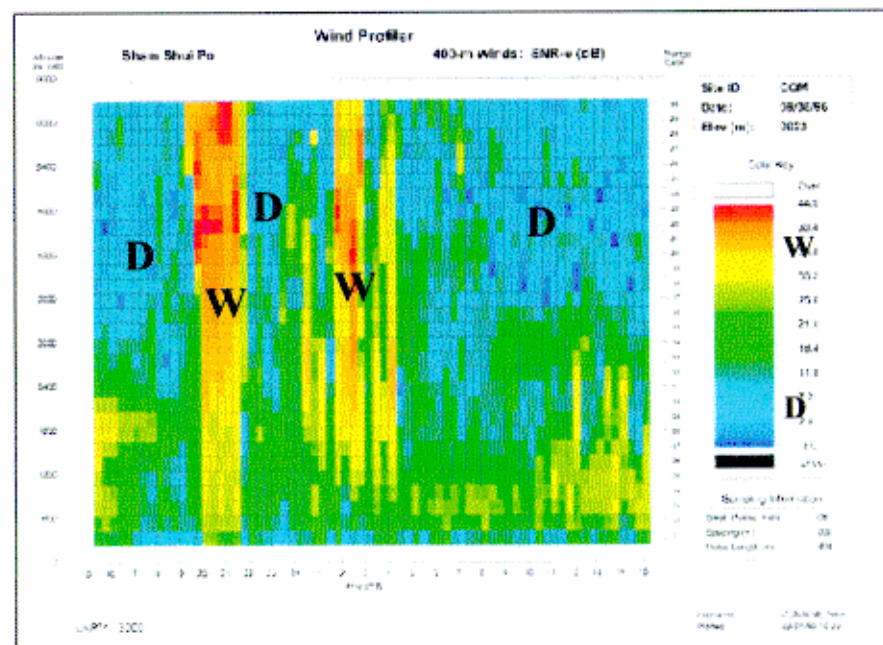


圖7C 這是與圖7A相應的訊息與噪音比率(SNR)時間剖面圖。SNR直接反映在大氣中反射體的多少。在某程度上，弱回波‘D’（藍色部份）代表乾的大氣，而強回波‘W’（黃色部份）代表濕的大氣，不過要注意的地方是很強的回波可能代表遇到硬目標，如大雨點、小鳥或飛機。