

香港國際機場風切變個案研究

劉心怡
香港天文台

一. 前言

風切變是指飛機在飛行期間遇到風向或風速的轉變，引致逆風改變，影響空氣對飛機的浮力。當飛機遇上風切變時，飛機會因而偏高或低於原定飛行高度。若這些情況發生在航機升降的時候，如果機師不作出適當的調控，飛機可能會因此而過早著陸、飛越跑道或起飛失敗。因此，能夠準確探測在低空發生的風切變是十分重要的。

香港國際機場位於香港西南面的赤鱗角，南面是多山的大嶼山，山脈呈東北西南走向（請參看圖一），其中最高的山為鳳凰山，離平均海平面約 3,100 呎（934 米）。本文引用過去兩年在香港國際機場觀測到的風切變個案，作出氣象分析。

二. 雷暴引起的風切變

雷暴間中會引起強烈的風切變。雷暴的下沉冷空氣到達地面後向四方八面散開並產生強烈的輻散，稱為「微下擊暴流」。當飛機穿越微下擊暴流時，首先會遇到強烈的逆風把飛機抬升，接近其中心時會遇到強烈的下沉氣流，隨後會再遇到強烈的順風使飛機下沉（請參看圖二）。另外，當地面的冷空氣向外擴散而下切於周圍較暖的空氣時會形成颳鋒，產生輻合的氣流（請參看圖三）。

為了探測由雷暴引起的風切變，天文台在大欖涌安裝了一台機場多普勒天氣雷達（見圖四）。雷達安裝於離水平面約 60 米高的地方，不停掃描機場上空，量度雷達波束方向的風速（徑向風速）及其波動，找出由微下擊暴流所產生的輻散風及由颳鋒而引致的輻合風。當探測到這些現象時，機場多普勒天氣雷達便會發出警告。

在一九九九年九月三日，該雷達便探測到一次由雷暴引起的微下擊暴流及颶鋒的個案。九月二日 1945UTC，熱帶風暴芸蒂集結在香港東南偏東，並採取西北途徑移動，直趨廣東沿岸。天文台懸掛了一號戒備信號。九月三日當日天晴炎熱，氣溫上升至該月最高溫度。下午 07UTC 左右，赤鱘角附近發展了一些局部地區性雷暴。圖五展示出當時機場多普勒天氣雷達所探測到的反射率及徑向風速。可以見到由雷暴引致的微下擊暴流（輻散區）十分接近雷達的位置，而擴展開來的輻合帶則影響著赤鱘角東面的升降區。機場多普勒天氣雷達探測到該次微下擊暴流的強度相當猛烈，風速損失達到時速 30 海里。

三. 海風引致的風切變

在天晴的日子，由於土壤的升溫較快，因此地面溫度較海面溫度為高。接近地面的空氣受熱膨脹而變得較輕上升，氣流從海面吹向陸地，形成海風（請參看圖六）。香港位於華南沿岸，有利海風發展。就赤鱘角而言，由海風引致的風切變每多發生於地面吹東風或東北偏東風的情況。當海風形成時，赤鱘角會轉吹西北風或西南風，與沒有海風時的方向相反。

一九九九年一月二十二日，有數班飛抵赤鱘角的航機報告遇上風切變（請參看表一）。從風速表的資料推斷，當天的風切變均由海風引致。當日華南沿岸地區受到一股和緩至清勁的偏東氣流影響。本港清晨多雲，日間雲量逐漸消散。赤鱘角當日的最高氣溫是於 0642UTC 錄到的攝氏 22.9 度，比海面溫度高出近 6 度。整個上午，赤鱘角接近地面的高度吹東風，風速約每小時 10 海里。於大約 0730UTC 時，由於海風效應，南跑道西（R 1 W）轉吹西風（請參看圖七）。海風鋒緩慢橫過赤鱘角，南跑道中（R 1 C）和南跑道東（R 1 E）分別於 0910UTC 和 1010UTC 轉吹西風。但是西風只持續了一段短時間，至 12UTC 左右跑道上已經全部轉回東風。

表一所載的風切變個案，可歸納為兩次不同的事件。第一次發生在下午大約 07UTC 當海風形成的時候，而第二次則發生在黃

昏大約 13UTC 當海風減弱的時候。圖八所示的逆風，就是當第一次風切變現象出現時，受影響的其中五班航機所錄得的。當時海風開始形成，赤鱗角還是吹東風，因此這些航機均於臨着陸前的 100 呎上空遇上突然增強的逆風。

雖然跑道上的風速表探測到有海風鋒橫過赤鱗角，但當輻合區還在機場西面時，探測其引起的風切變並不容易。由於赤鱗角三面環海，在機場以西的地方安裝風速表有一定困難。天文台計劃在香港國際機場設置一台激光雷達，希望能夠在晴空的情況下提供有用的資料，進一步改善服務。

四. 低空急流引致的風切變

強烈的低空急流會產生顯著的垂直風切變。假如急流的流向跟飛機的飛行方向相反，當飛機進入低空急流時，逆風會增強而引致飛機上升。但當飛機穿越低空急流後，逆風會突然減弱而令到飛機失速下沉。如果起飛不久的航機以非常陡峭的角度爬升，逆風的轉變便會非常快。對飛機來說，這效應跟穿越微下擊暴流很相似。

探測低空急流可以利用探空儀的資料。由於探空儀的數據相隔六個小時，天文台在沙螺灣安裝了一台風廓線儀，每十分鐘便能更新低空的風向及風速資料，好讓預報員能更準確掌握低空急流的發生。除了風廓線儀外，在有雨的情況下，機場多普勒天氣雷達也可以探測到低空急流。

在二零零零年一月三十一日，便有機師報告在起飛時遇上強烈的風切變。在 2,200 至 3,700 呎高度，逆風增加了 35 海里，接著由 3,700 呎至 4,500 呎，逆風則突然減少了 30 海里（請參看圖九）。

氣象情況如下。一股冬季季候風的補充於一月三十日到達了華南沿岸。翌日三十一日天氣多雲及有微雨。由於受到季候風的支配，香港普遍颳起清勁的北風。沙螺灣的風廓線儀顯示當日近

地面主要吹北風（見圖十）。由 1,800 呎開始，風向則轉為東北偏東，風速亦逐步增強至 35 海里。由 3,600 呎至 4,600 呎，風速卻迅速減弱至 10-15 海里。機場多普勒天氣雷達的 6 度掃描，亦探測到這條低空急流（見圖十一）。利用沙螺灣風廓線儀資料計算出來的逆風，跟飛機上錄取得的數據非常吻合。

五. 地形引致的風切變

由地形引致的風切變在赤鱘角頗為常見。當低空吹東、東南、南或西南風時，由於氣流受到大嶼山的山脈阻擋，位於下風的赤鱘角便可能出現由地形引起的風切變。

一九九九年三月八日在赤鱘角便出現了該現象。當日清晨，一度冷鋒橫過華南沿岸，華東的高壓脊為華南地區帶來清勁至強風程度的東風。但在 925 百帕斯卡，風向已經轉為東南。當日京士柏的 12UTC 探空顯示，在 2,500 及 6,400 呎高的地方，分別有 0.2 及 1 度的逆溫層。在大氣相對較為穩定的情況下，部份氣流繞過山脈，在下游形成渦旋列。

雖然當時在赤鱘角未有下雨，但是機場多普勒天氣雷達相當靈敏，可探測到徑向風的情況。圖十二展示了在 1243UTC 0.6 度平面位置顯示器(PPI)的徑向風。資料顯示雖然近地面的風普遍都是離開雷達的，但在 07R 跑道外三海里的地方，卻有些呈條紋狀的地區，其徑向風是朝向雷達的。2.4 度 PPI（圖十三）顯示的徑向風跟京士柏的探空大致吻合：風向隨著高度順轉、朝向離開雷達的方向。但在鳳凰山和彌勒山的下風區，徑向風卻是朝向雷達的，可見由於山脈的影響，在下風區可形成尾流。

當日大概在 1230UTC，有機師報告在降落 07R 跑道時，因為遇上 20 海里的風切變而須要復飛。圖十四顯示當日 1252UTC 降落赤鱘角的飛機資料，從 2,300 呎到 1,350 呎，風向一直維持東南。但隨後的風向變化很大，風速亦降至 5 海里以下，証實了尾流的存在。

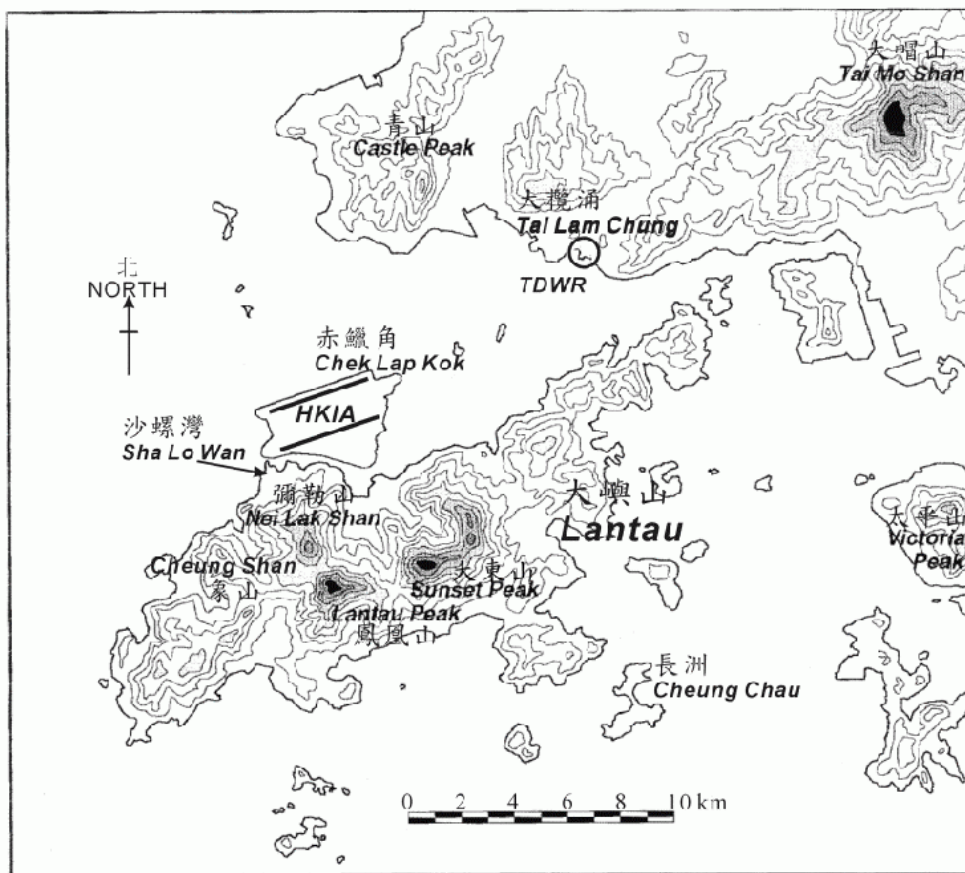
六. 總結

本文介紹了自香港國際機場啟用兩年以來的一些低空風切變個案例子。其中包括了由雷暴、海風、低空急流和地形引致的風切變個案。

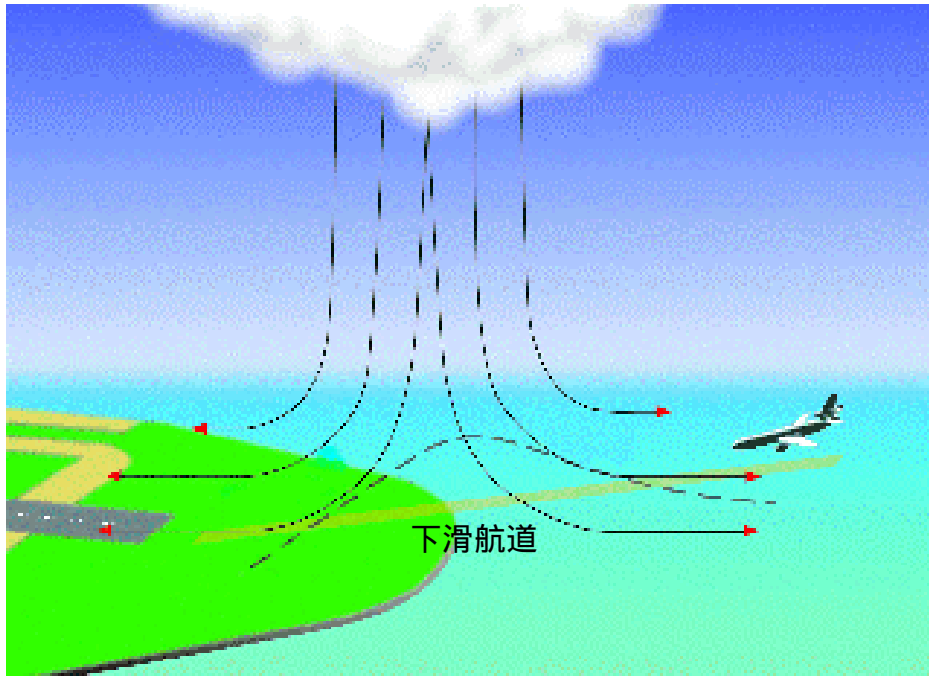
除了以上討論的各種成因外，風切變也會伴隨冷暖鋒、熱帶氣旋等情況發生。我們會繼續分析不同的個案，期望可以更準確地掌握風切變發生的時間和地點。

(表一) 一九九九年一月二十二日風切變報告

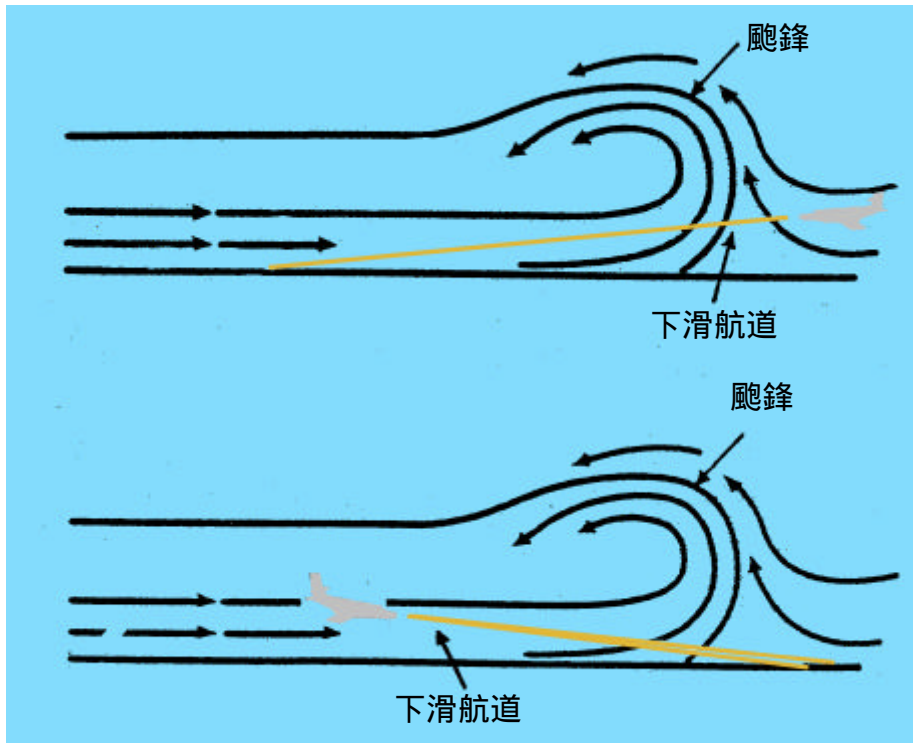
時間 (UTC)	強度	地點
0555	10 - 15 海里/小時	臨著陸
0657	顯著	臨著陸
0700	20 海里/小時	臨著陸
0740	-15 海里/小時	臨著陸
0957	-10 海里/小時	臨著陸
1234	10 -15 海里/小時	100 呎
1304	15 海里/小時	200 呎
1308	15 海里/小時	200 呎
1312	10 - 15 海里/小時	100 呎



(圖一)香港國際機場及鄰近地區的地形圖，等高線相距 100 米



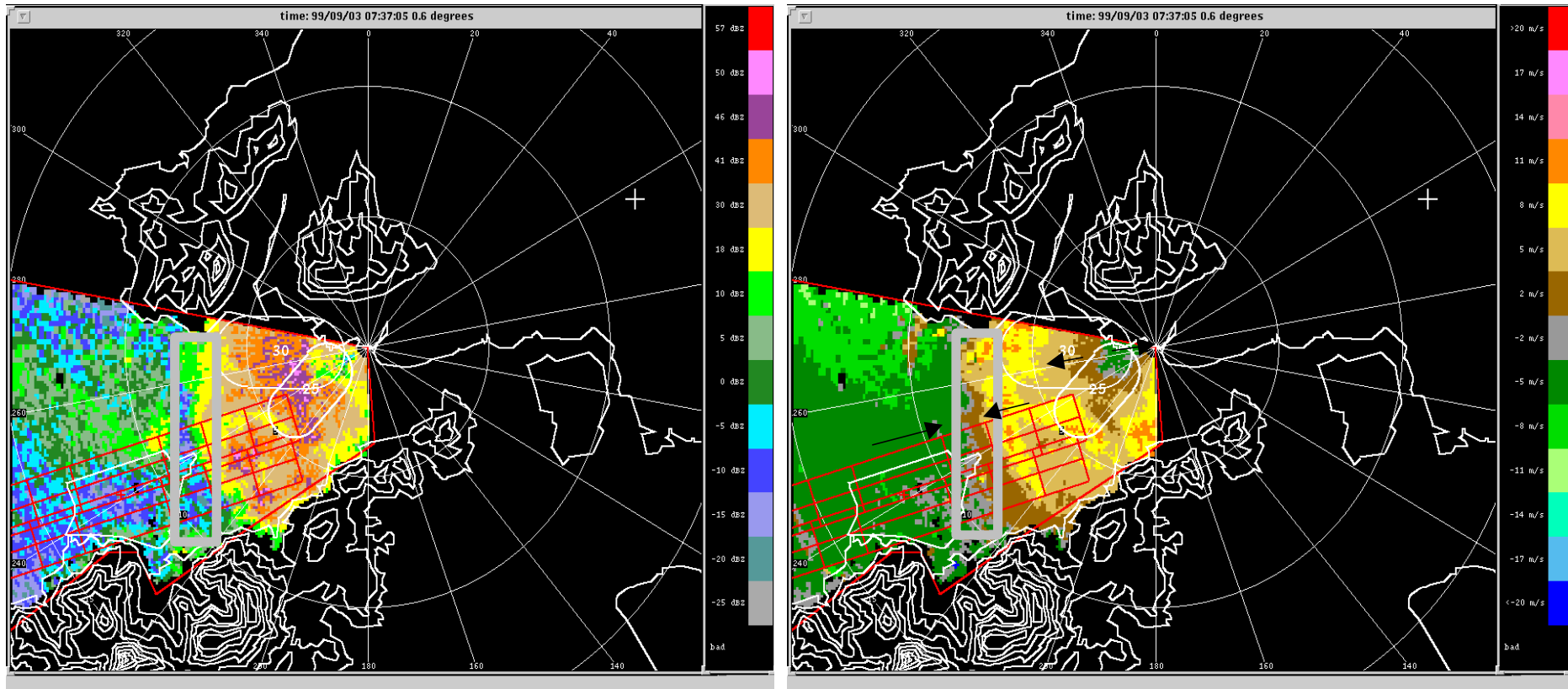
(圖二) 微下擊暴流對飛機的影響



(圖三) 颳鋒對飛機的影響



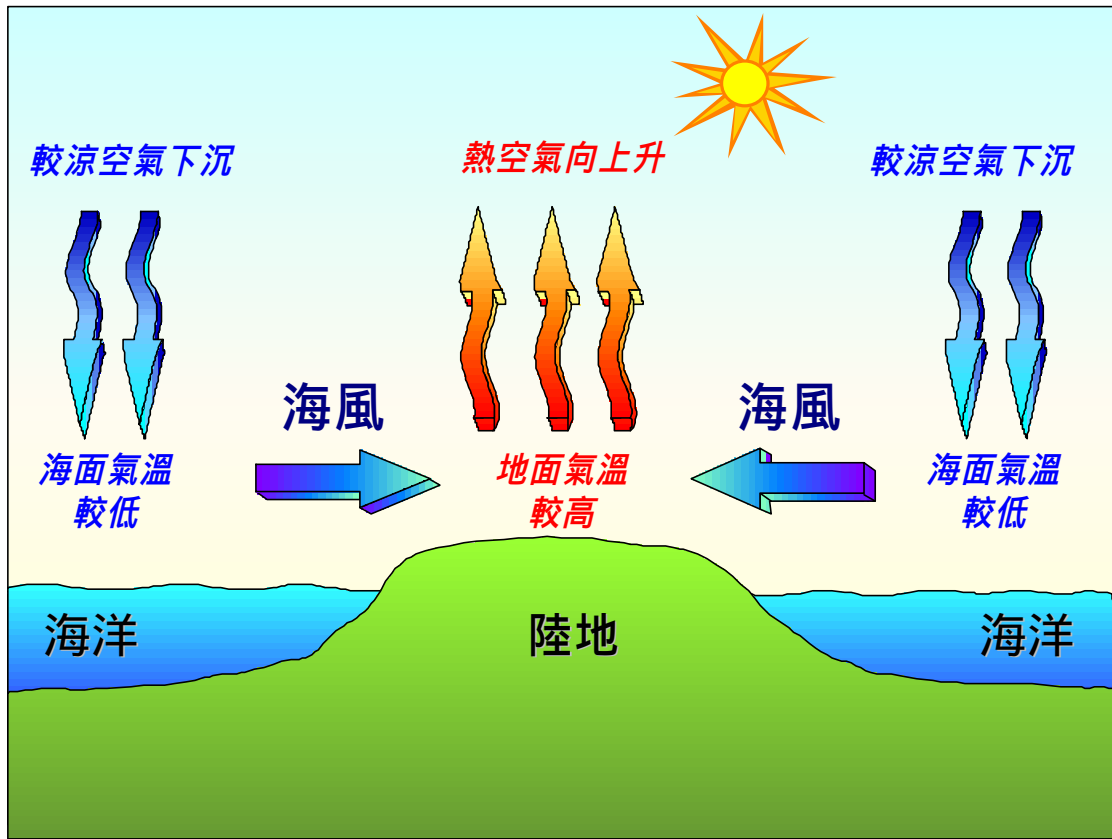
(圖四) 位於大欖涌的機場多普勒天氣雷達



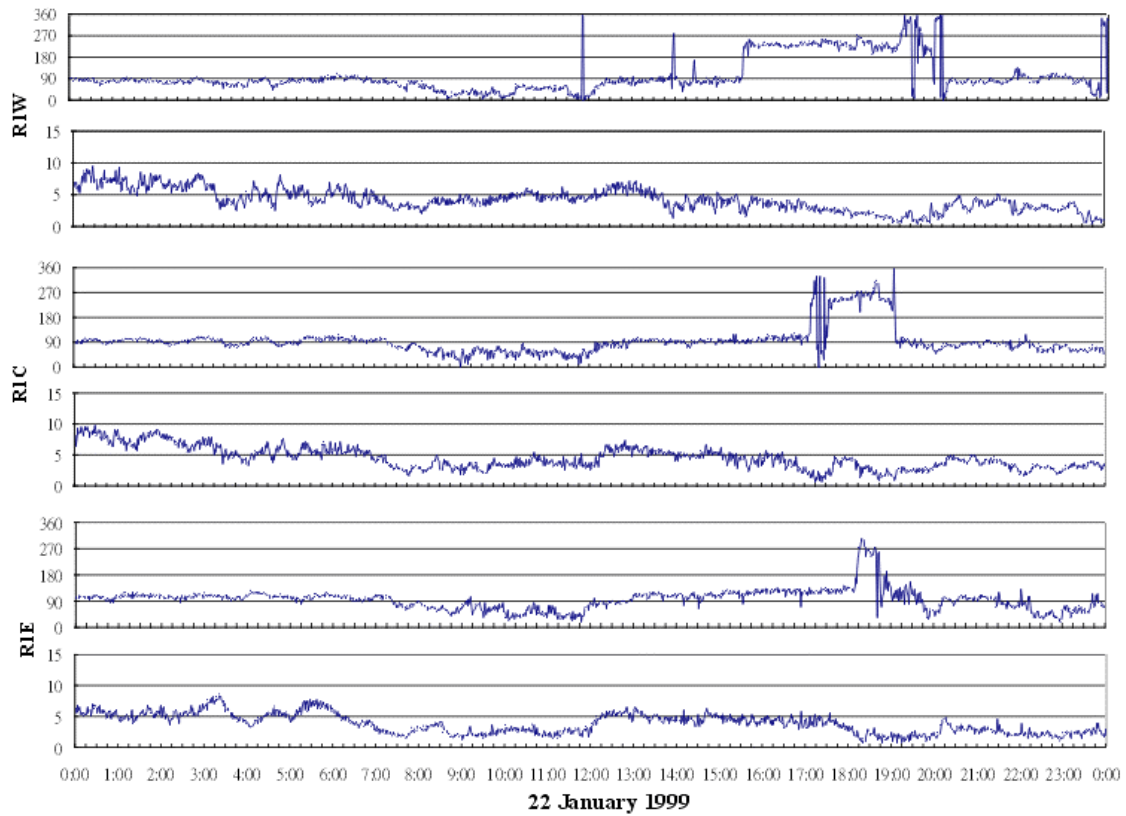
(甲)

(乙)

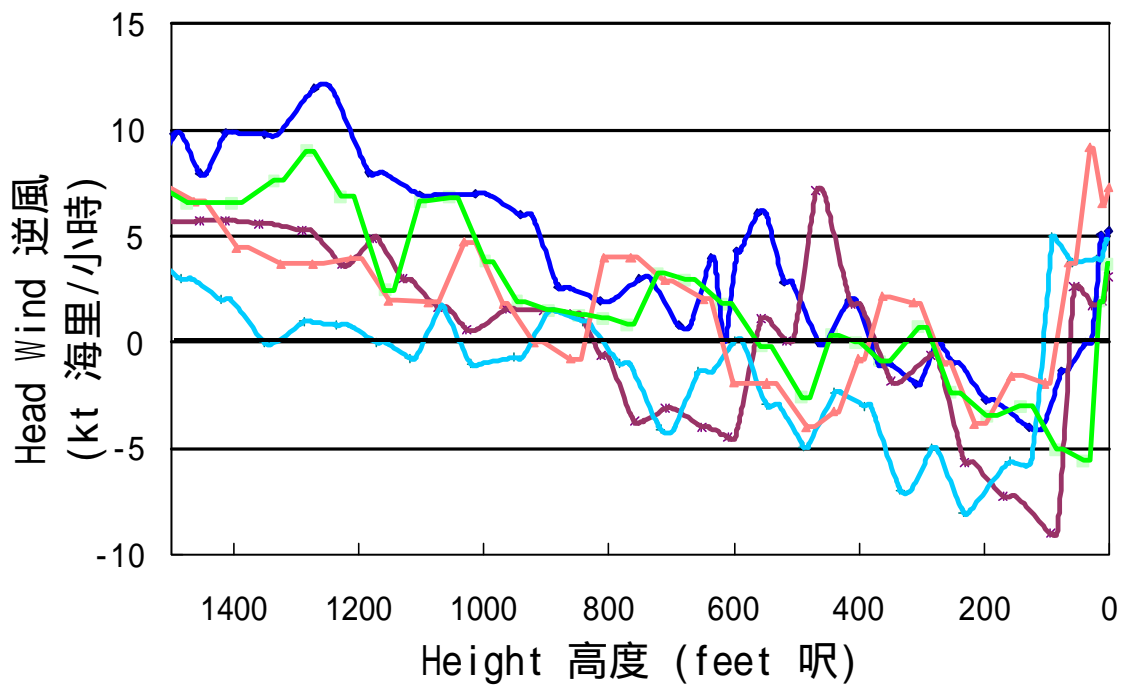
(圖五) 一九九九年九月三日機場多普勒天氣雷達 0.6 度 PPI。圖甲、乙分別為反射率及徑向風速。



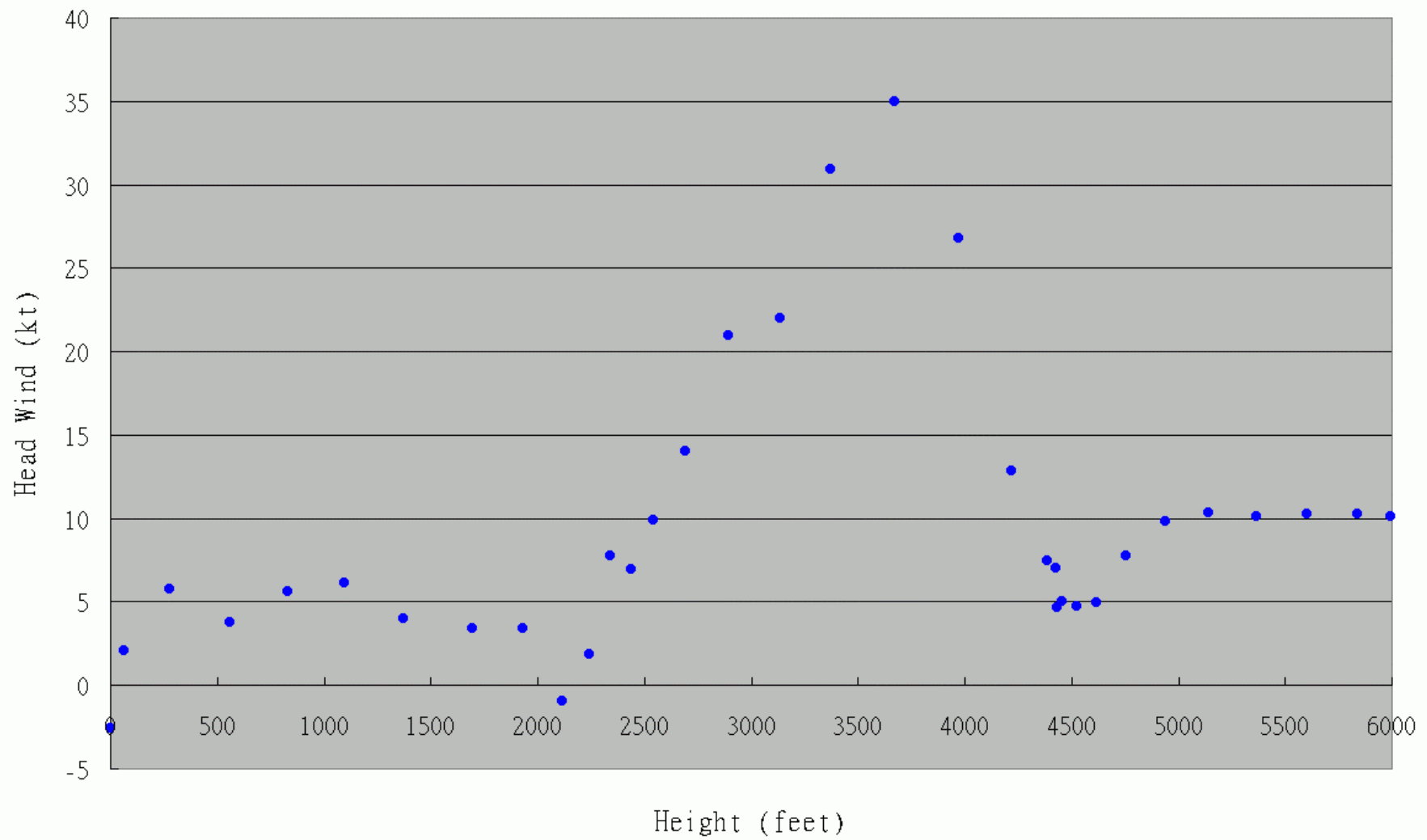
(圖六) 海風



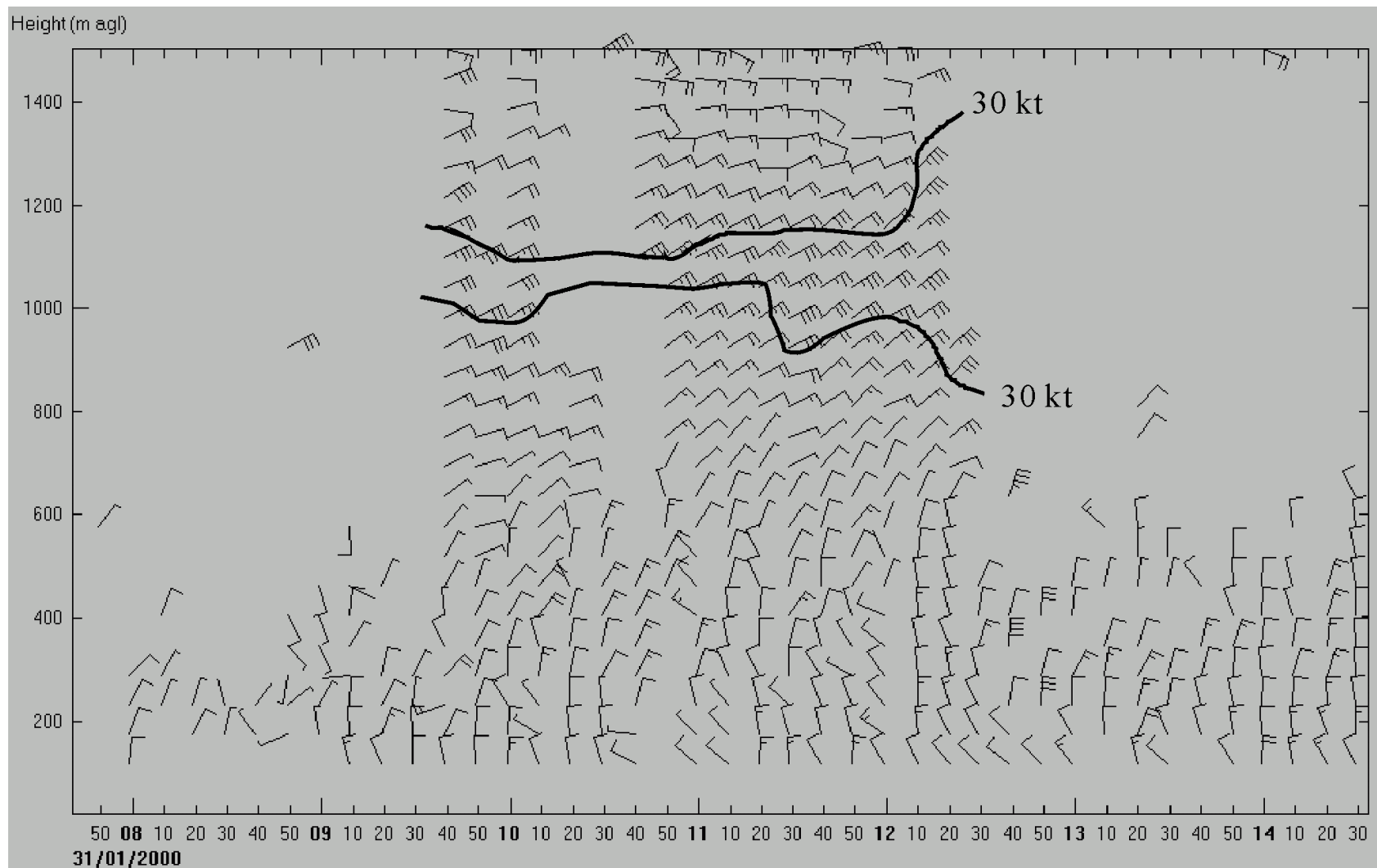
(圖七) 機場跑道上的風向和風速，R1E，R1C 及 R1W 分別南跑道東、中及西的風速表（時間為香港時）



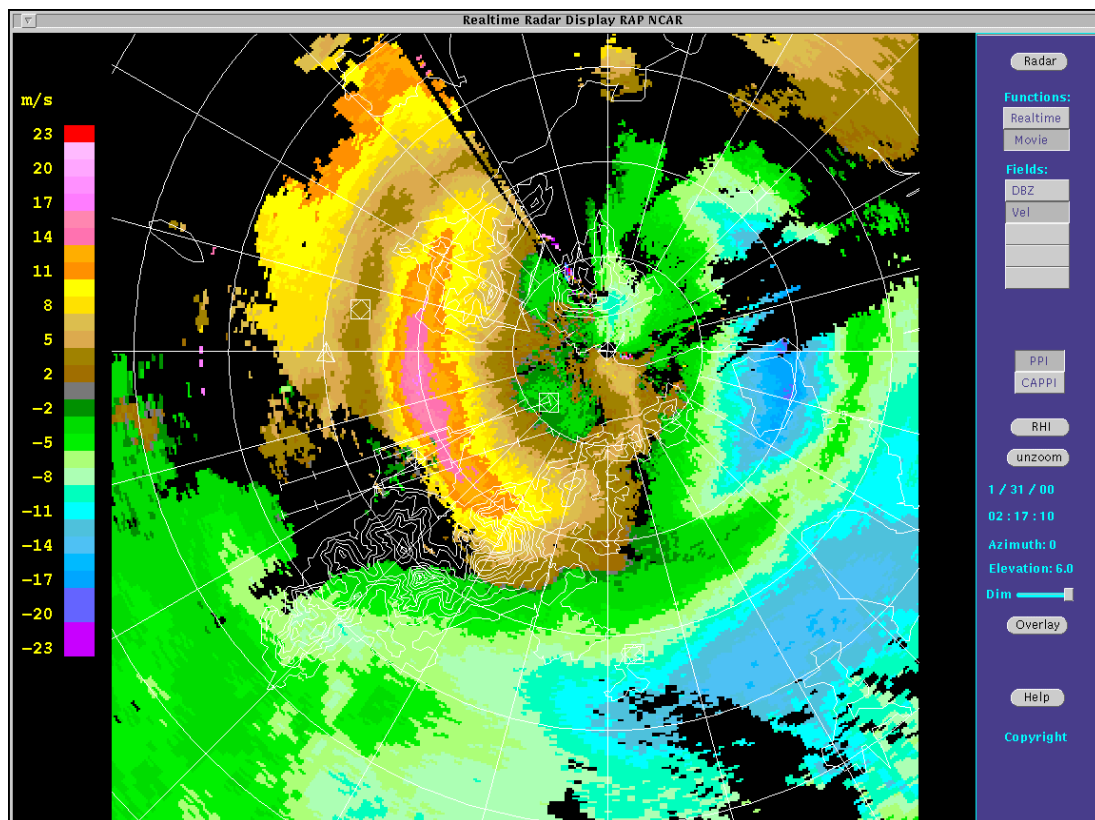
(圖八) 一九九九年一月二十二日從五班飛機錄取的風向及風速計算出來的逆風



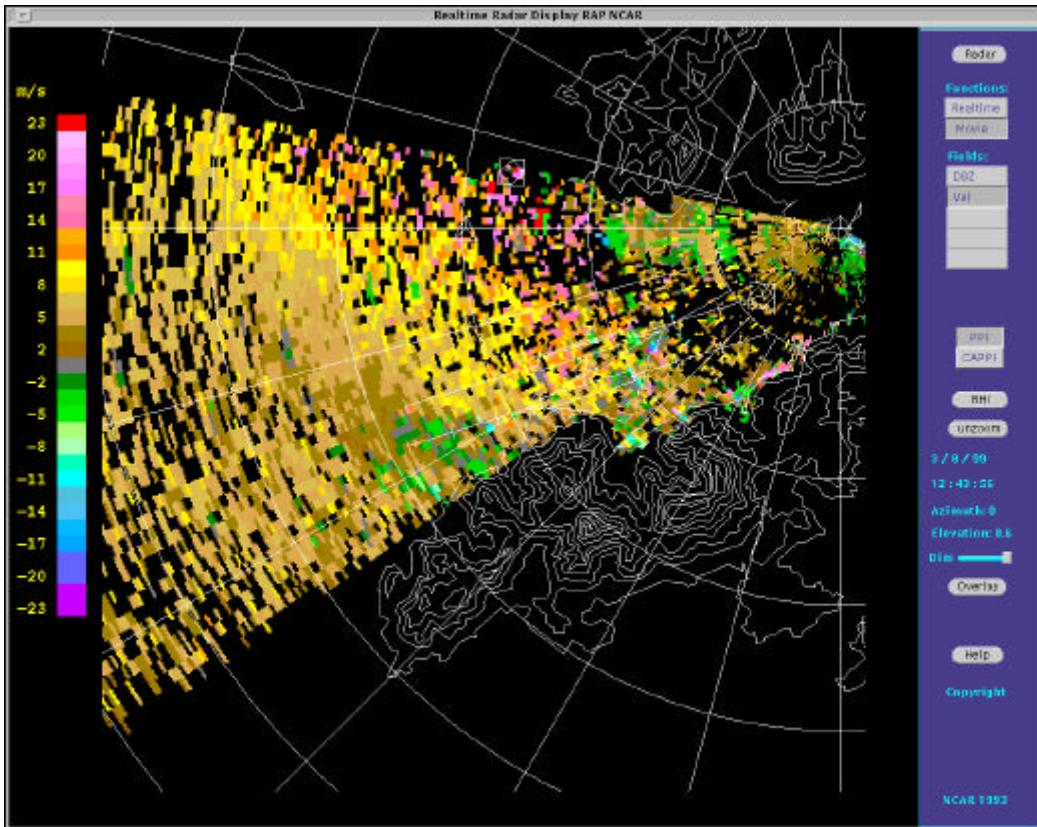
(圖九) 從二零零零年一月三十一日報告遇上強烈風切變的飛機數據，計算出來的逆風隨高度的變化



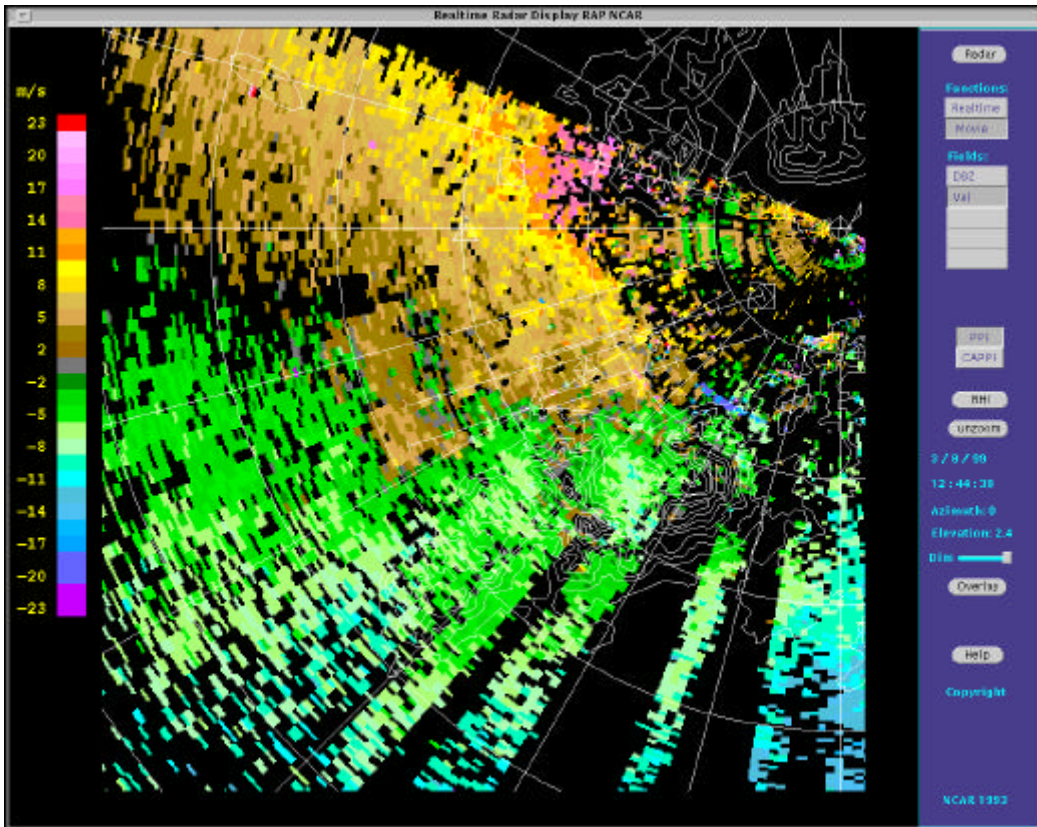
(圖十) 二零零零年一月三十一日沙螺灣風廓線儀的風向和風速 (時間為香港時)



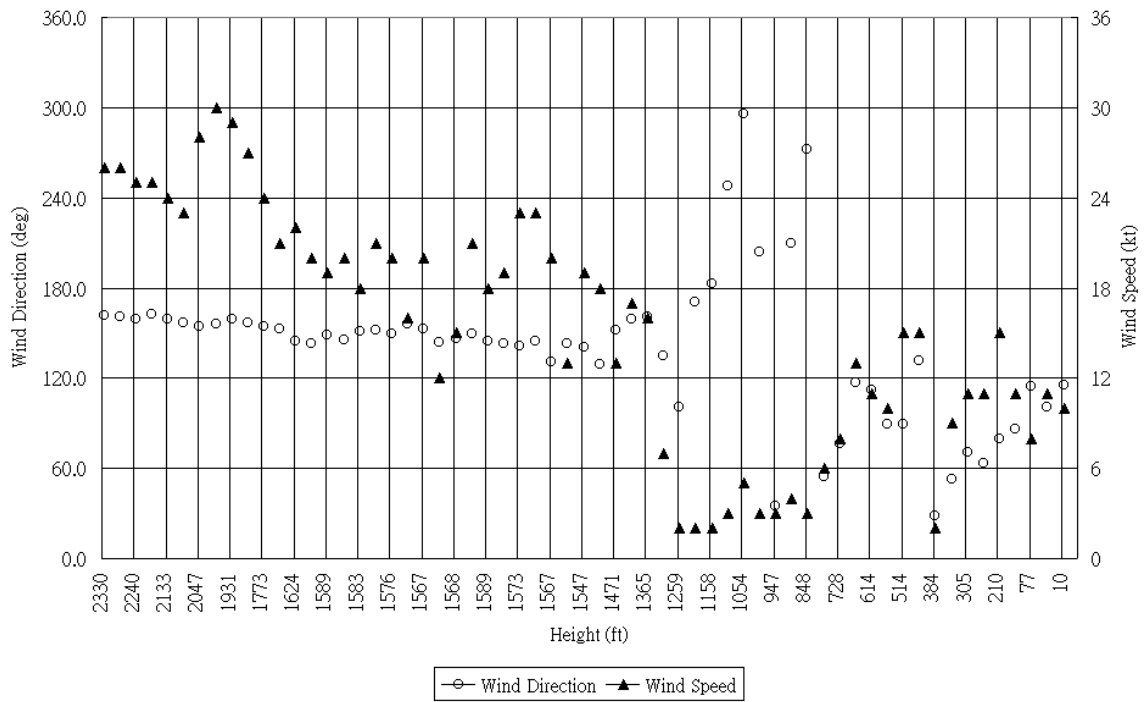
(圖十一) 機場多普勒天氣雷達 6 度 PPI 的徑向風速



(圖十二) 機場多普勒天氣雷達 0.6 度 PPI 的徑向風速



(圖十三) 機場多普勒天氣雷達 2.4 度 PPI 的徑向風速



(圖十四) 一九九九年三月八號 1252UTC 降落的飛機所紀錄的風向及風速資料