

Reprint 815

利用多普勒天氣雷達數據評估熱帶氣旋強度的探討

陳浩新 & 林鄭泗蓮

第二十三屆粵港澳氣象科技研討會

澳門，2009 年 2 月 18-20 日

利用多普勒天氣雷達數據評估熱帶氣旋強度的探討

陳浩新 林鄭泗蓮
香港天文台

摘要

熱帶氣旋預報業務運作中，強度的評估主要是依靠地面氣象站、船舶及衛星觀測資料（例如：D'vorak分析、QuikSCAT產品）。當熱帶氣旋進入多普勒天氣雷達的探測範圍時，雷達探測的徑向速度亦是一項反映熱帶氣旋強度的重要觀測資料。

本文利用大帽山多普勒天氣雷達的觀測資料，分析在2008年5個接近香港的熱帶氣旋的強度及風力分佈，並與D'vorak分析的強度作比較，探討使用單多普勒雷達評估熱帶氣旋強度的方法。

一 引言

熱帶氣旋預報強度的評估，一直都是業務運作中重要的一環。強度的評估主要是依靠地面氣象站、船舶及衛星觀測資料（例如：D'vorak分析、QuikSCAT產品），但這三項觀測資料在時間或空間上都有些限制——地面氣象站資料只在熱帶氣旋接近陸地時才發揮作用，船舶觀測資料比較稀疏，在時間及空間上有很大的隨機性，而衛星觀測資料約每半小時一次。當熱帶氣旋進入多普勒天氣雷達的探測範圍時，多普勒雷達徑向風速是一項反映熱帶氣旋強度的重要觀測資料。這是由於雷達觀測資料不但在時間及空間上有連續性，並且有很高的精確度。但由於多普勒天氣雷達的探測範圍所限，熱帶氣旋進入雷達探測範圍的案例並不多，故此應用多普勒風速於熱帶氣旋強度分析並不廣泛。

今年（2008年）有5個熱帶氣旋影響香港並進入大帽山多普勒天氣雷達的探測範圍。它們是浣熊（0801）、風神（0806）、北冕（0809）、鸚鵡（0812）及黑格比（0814）。圖一a顯示它們的路徑。本文利用大帽山雷達觀測資料，分析這5個熱帶氣旋的強度以及風力分佈情況，並與D'vorak強度分析作比較。根據所得結果，探討使用單多普勒雷達評估熱帶氣旋強度的方法。

二 數據

位於香港最高點的大帽山多普勒天氣雷達探測範圍是256公里，每六分鐘完成一次體積掃描。在今次研究，我們讀取每隔半小時距海平面一公里、二公里和三公里高度的雷達多普勒風圖像熱帶氣旋中心附近的中零等速線（zero isodop）兩側的最高徑向速度數據（誤差為2.5米/秒）（圖一b）。如果雷達回波的面積太小或計算出的速度與鄰近地方有很大差異時，該數據便不會被採納。雷達數據會與每三小時一次的D'vorak分析作比較，從而找出兩項數據的關係。香港天文台基於事後分析的風速亦會同時展示，以作參考。

三 結果

圖二至圖六分別顯示上述五個熱帶氣旋（浣熊、風神、北冕、鸚鵡

及黑格比)的最高徑向速度數據時間序列及最高風速範圍。時間序列中的 D'vorak 分析數據及天文台事後分析的風速，分別是每隔三及六小時有一個數值，在此時距內，我們假定數值維持不變。在最高風速範圍圖中，除了風神因雷達回波不強，不能清楚了解其結構，其他四個熱帶氣旋都有差不多對稱的結構。

鸚鵡在 8 月 22 日下午橫越香港。在鸚鵡的最高徑向速度時間序列(1400 至 2100 時)和風廓線儀(長洲及深水埗)(圖七)資料中，有一段速度突然下降後又再突然上升的時段。風神亦在 6 月 25 日在香港附近地區掠過。我們詳細分析風神的最高徑向速度時間序列(0300 至 1200 時)及深水埗風廓線儀資料時，亦發現有相同情況，但幅度較小，在長洲風廓線儀資料中則沒有出現這個情況(圖八)。

對於徑向速度劇變的現象可以有以下的解釋。忽略氣流的流入角度，熱帶氣旋的最高等速線(一般是眼壁的位置)可用圓形代表，氣流環繞熱帶氣旋中心作圓周運動，當熱帶氣旋與雷達距離較遠時，雷達所量度的徑向速度和實際徑向速度相等(圖九)。但當熱帶氣旋移近雷達，最高等速線範圍覆蓋雷達位置時，雷達所量度到的最高徑向速度會比實際最高速度小，於是出現徑向速度下降的結果(圖十)。相反，當熱帶氣旋移離雷達，雷達不再在最高等速線內，這時便回到圖九的情況，所以徑向速度會上升至與實際速度相等。

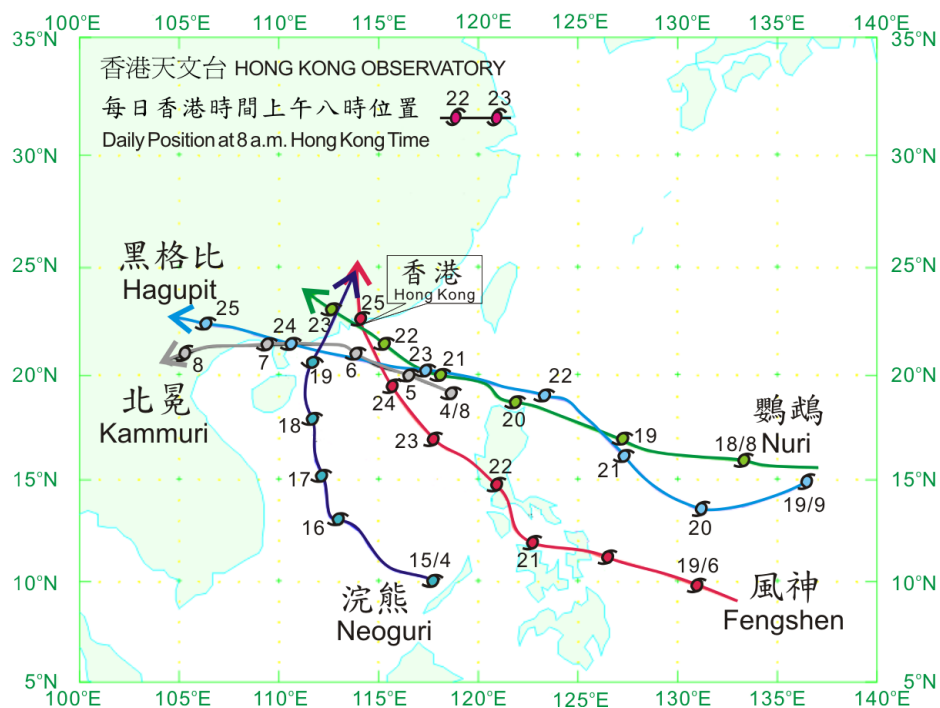
在鸚鵡的情況，由於雷達及二組風廓線儀都曾在鸚鵡橫過香港時位於眼壁內的靜風區(圖十一)，所以雷達及風廓線儀資料都出現突然下降的現象。但由於風神只是在香港以東海域附近掠過，眼壁內的靜風區只會覆蓋雷達及深水埗風廓線儀(圖十二)，所以雷達及深水埗風廓線儀資料都出現突然下降的現象，但長洲風廓線儀資料中並沒有相同現象。這說明當熱帶氣旋移近雷達時，雷達量度到的最高徑向速度會有突然下降的現象，但這不代表熱帶氣旋強度急劇減弱。除去兩段徑向速度突然變化的時段外，整體來說雷達數據與 D'vorak 分析的強度變化趨勢相當吻合，表明雷達數據與 D'vorak 分析對熱帶氣旋強度變化趨勢評估方面有非常好的一致性。

圖十三顯示海平面一至三公里的雷達數據與 D'vorak 分析的風速比較，並使用線性回歸方法來找出兩者之間的關係，當中沒有採用鸚鵡及風神出現劇變時段的數據。在距海平面一公里、二公里和三公里高度的斜率分別為 0.88、0.86 及 0.86，而 R^2 分別為 0.85、0.85 及 0.84。從回歸方程可知雷達數據與 D'vorak 分析的風速有簡單的比例關係，而平均絕對誤差在一公里、二公里及三公里分別為 5.2 米/秒、5.8 米/

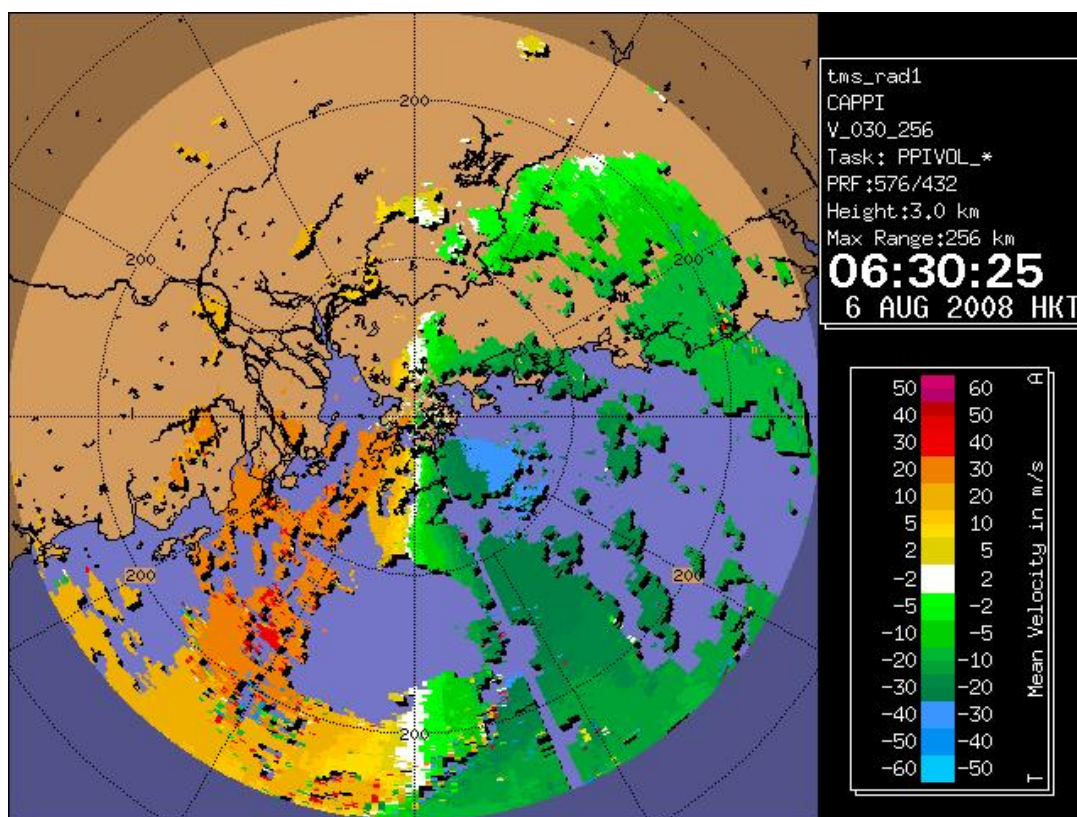
秒及 5.8 米/秒。圖十四顯示雷達數據一公里與三公里及二公里與三公里的風速比較。從線性回歸方程式的斜率(一公里與三公里及兩公里與三公里分別是 0.97 及 1.03，非常接近 1)及 y 軸截距 (接近 0)，可見距海平面一至三公里的高度中，熱帶氣旋的中心風速並沒有太大差異。結果顯示我們可以利用雷達數據及其與 D'vorak 分析的回歸方程式來評估熱帶氣旋的強度。

四 總結

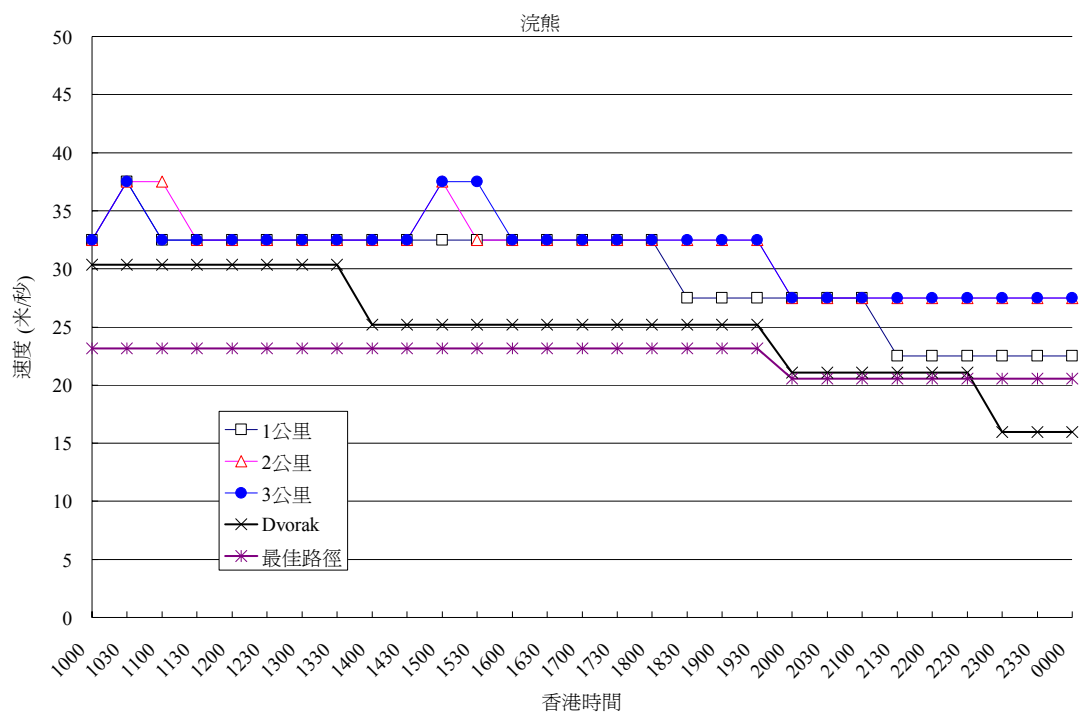
本文探討使用單多普勒雷達評估熱帶氣旋強度的方法。結果顯示單多普勒雷達所量度的熱帶氣旋之最高風速(除了當熱帶氣旋的中心最大風速區域以內範圍覆蓋雷達的時間外)與 D'vorak 分析大致吻合，平均絕對誤差約為 5-6 米/秒。研究數據亦顯示距海平面一至三公里的高度中，熱帶氣旋的中心風速並沒有太大差異。這些結果會對業務預報有正面影響。



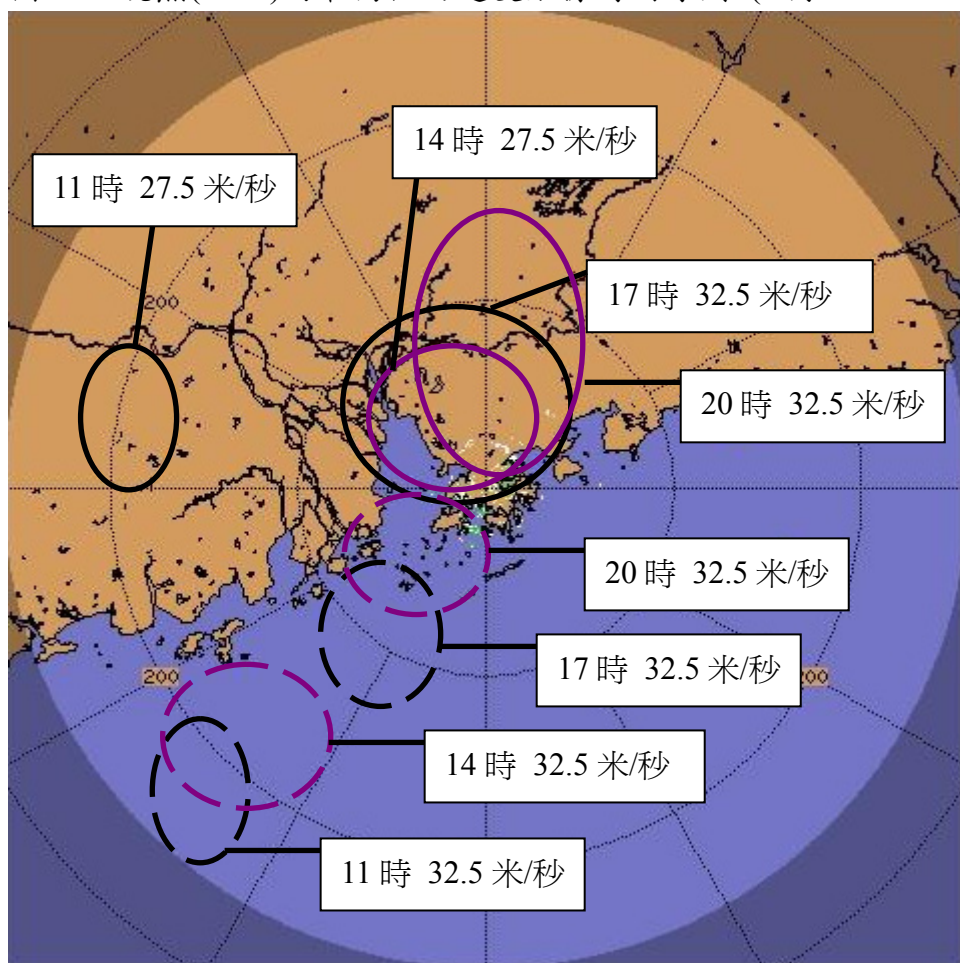
圖一 a 2008 年影響香港的 5 個熱帶氣旋的路徑



圖一 b 2008 年 8 月 6 日 6 時 30 分，北冕的多普勒雷達回波

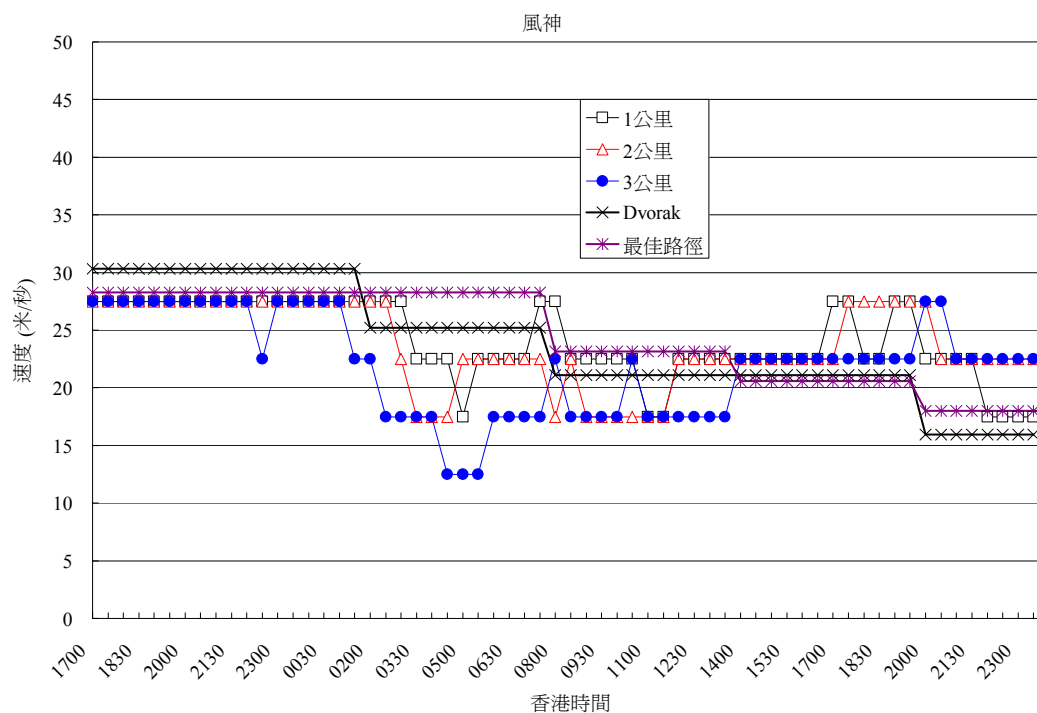


圖二 a 浣熊(0801)的最高徑向速度數據時間序列 (4 月 19 日至 20 日)

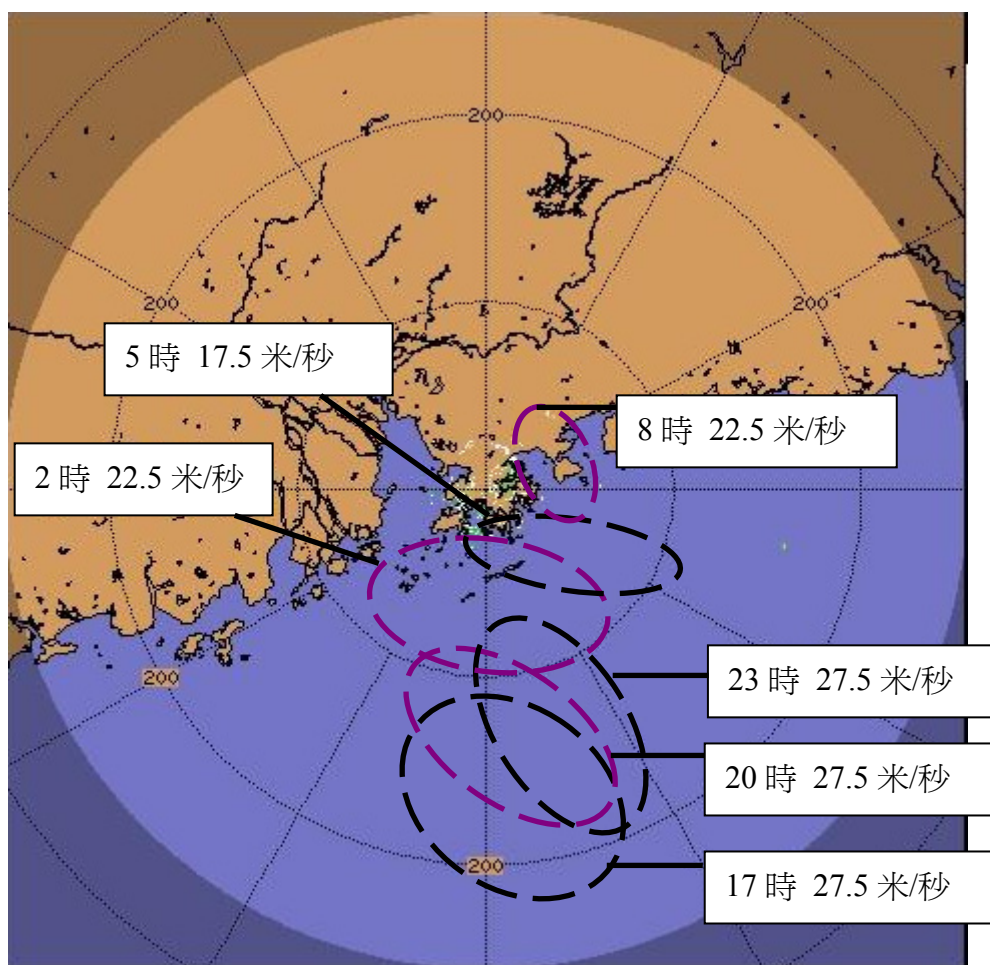


圖二 b 浣熊(0801)的最高風速及範圍 (4 月 19 日 2 時至 20 時)

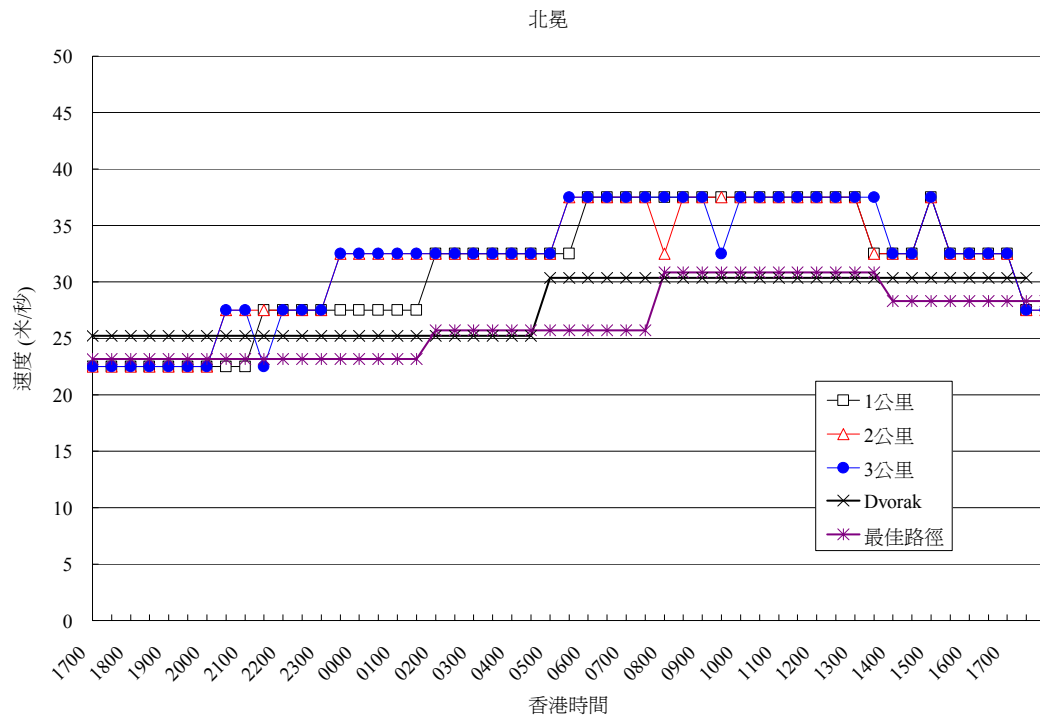
虛線劃出風向指向雷達的範圍。實線劃出風向遠離雷達的範圍。



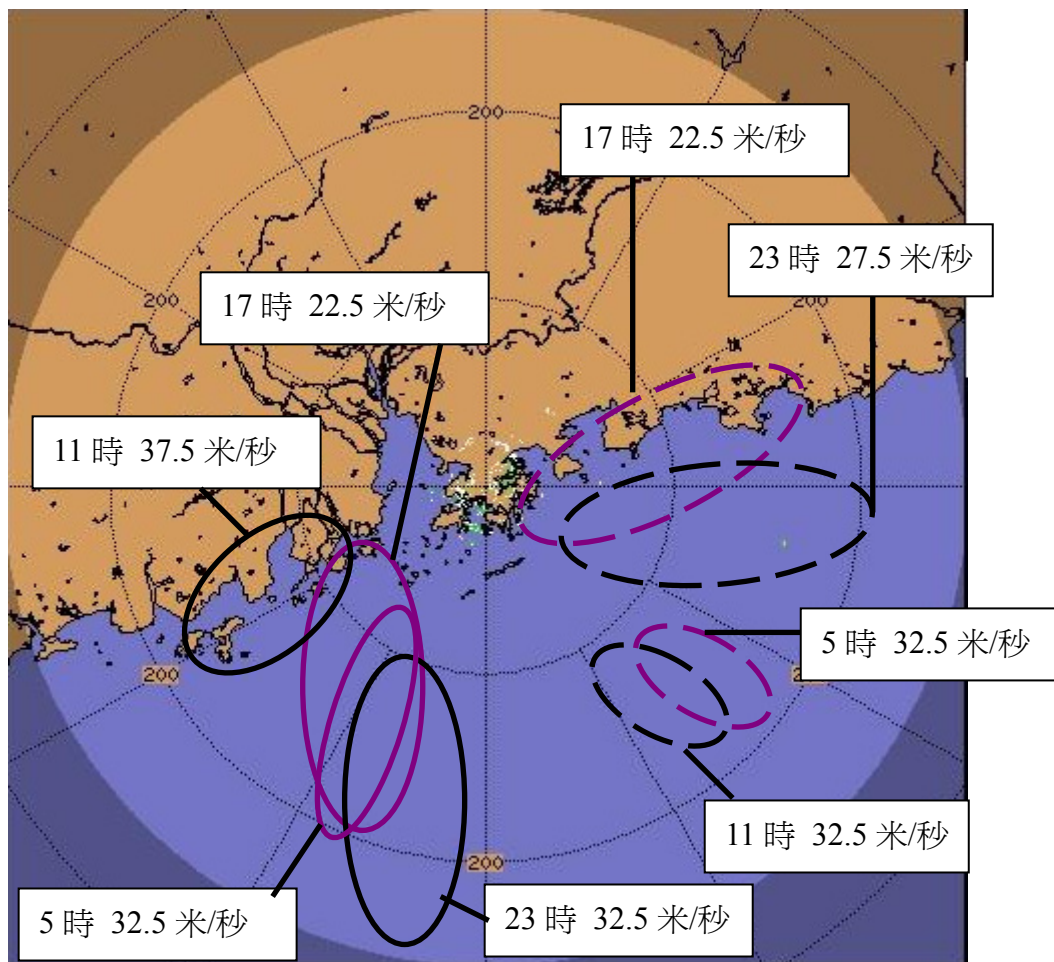
圖三 a 風神(0806)的最高徑向速度數據時間序列 (6 月 24 日至 25 日)



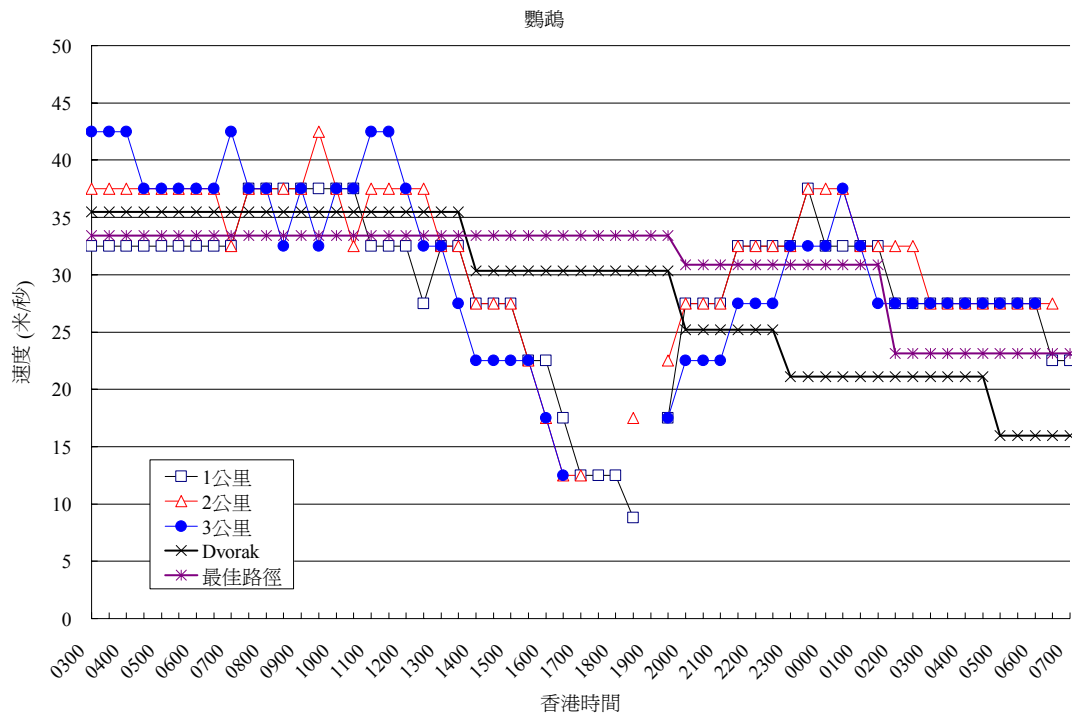
圖三 b 風神(0806)的最高風速及範圍(6 月 24 日 17 時至 25 日 8 時)



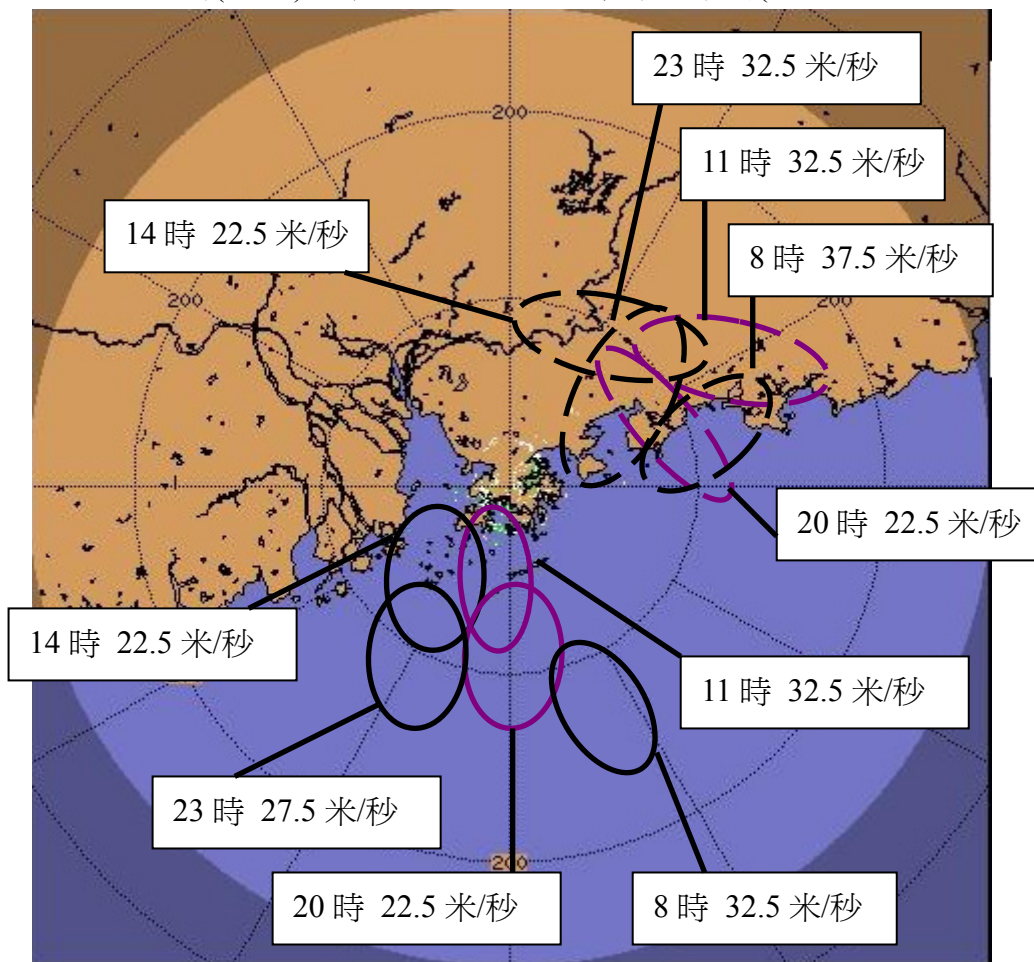
圖四 a 北冕(0809)的最高徑向速度數據時間序列 (8月5日至6日)



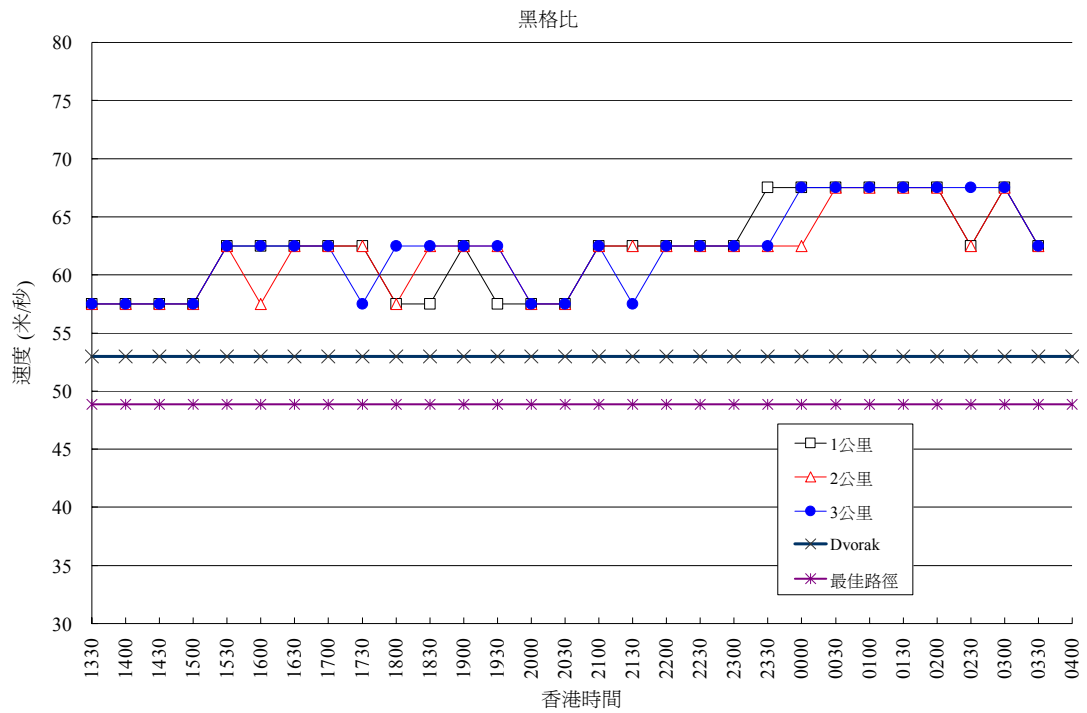
圖四 b 北冕(0809)的最高風速及範圍(8月5日17時至6日11時)



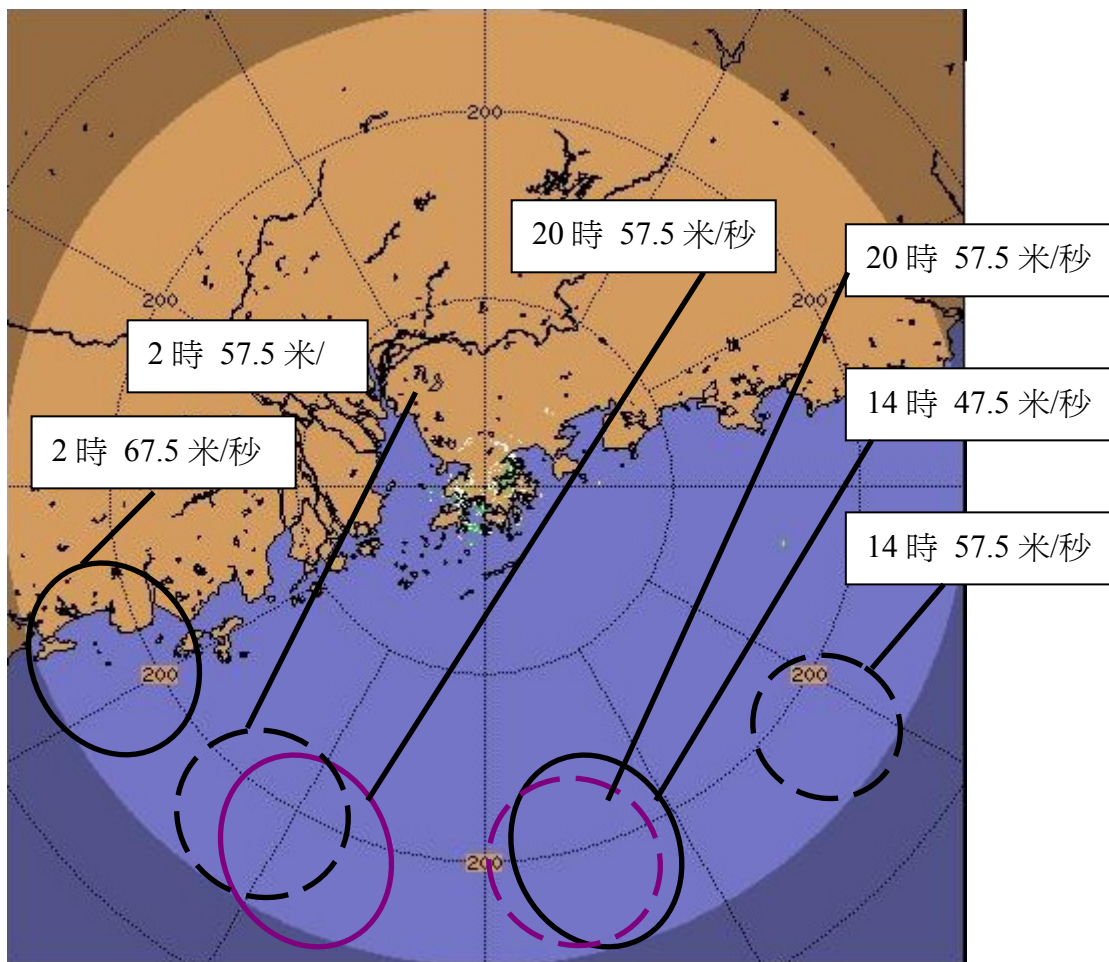
圖五 a 鸚鵡(0812)的最高徑向速度數據時間序列(8月22日至23日)



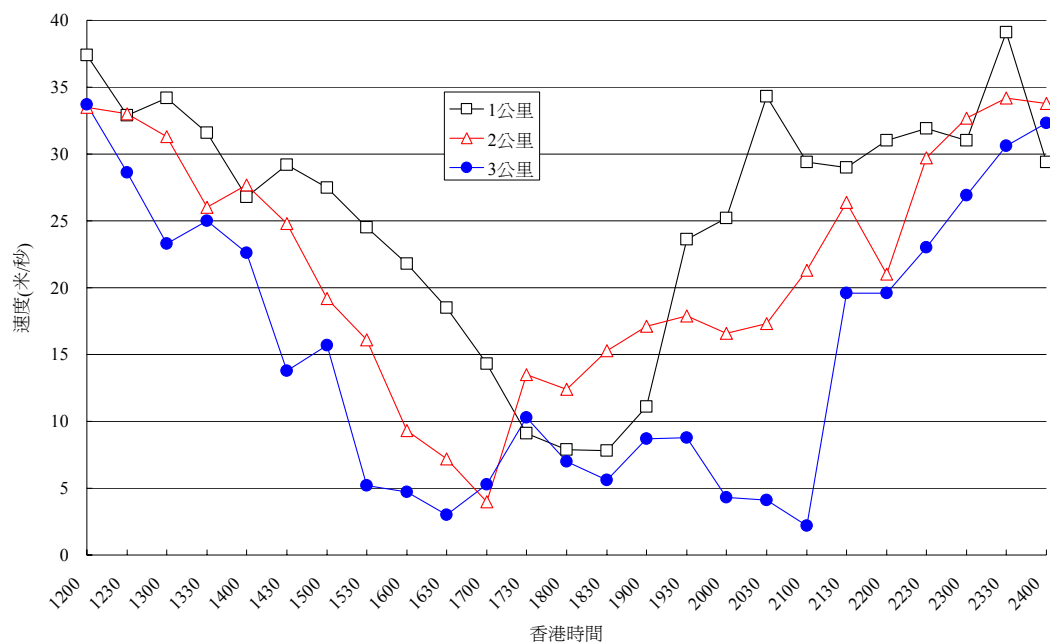
圖五 b 鸚鵡(0812)的最高風速及範圍 (8月22日8時至23時)



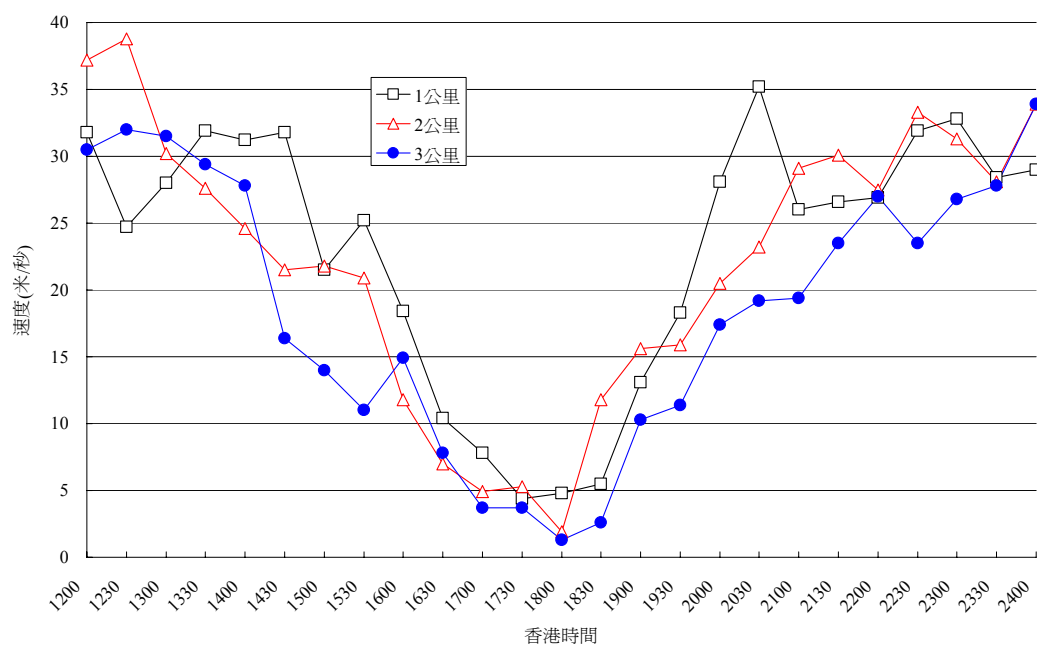
圖六 a 黑格比(0814)的最高徑向速度數據時間序列 (9 月 23 至 24 日)



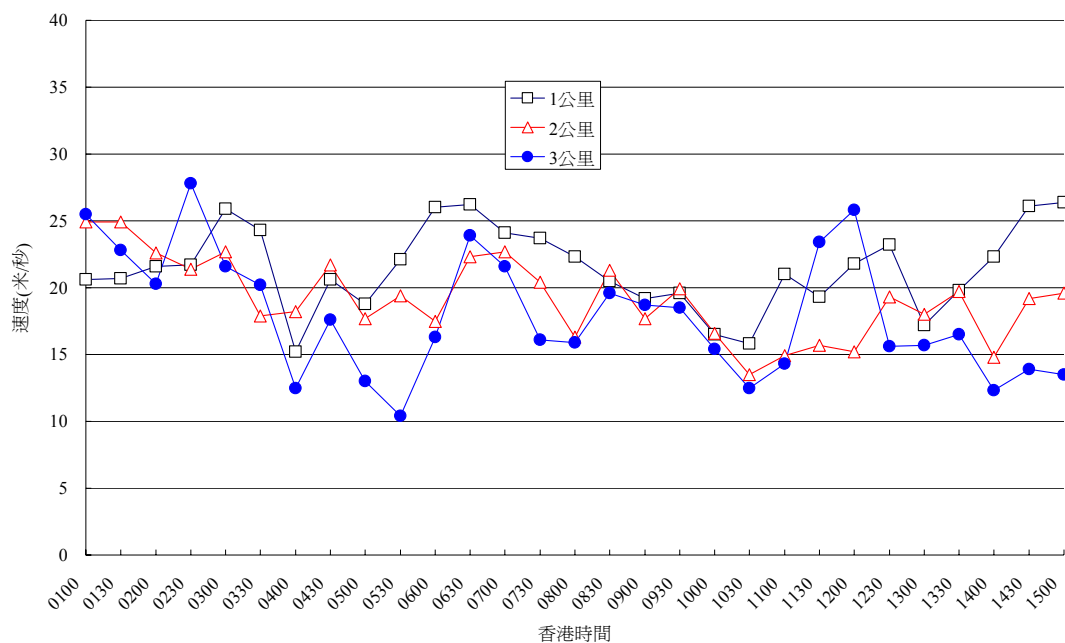
圖六 b 黑格比(0809)的最高風速及範圍(9 月 23 日 14 時至 24 日 2 時)



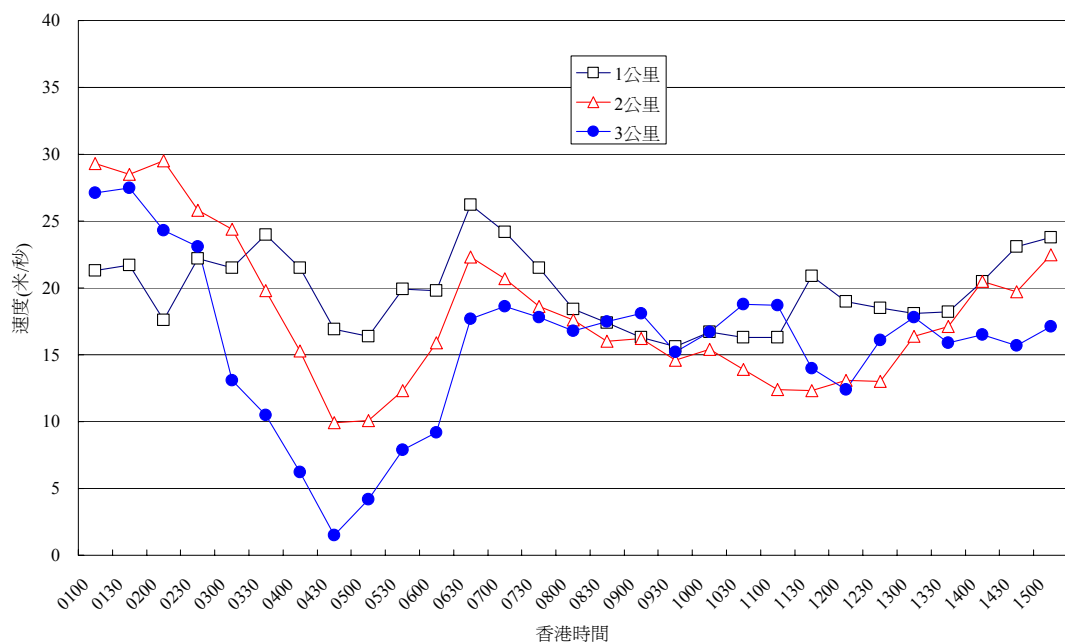
圖七 a 當鸚鵡橫過香港時(8月22日)，長洲風廓線儀的風速時間序列



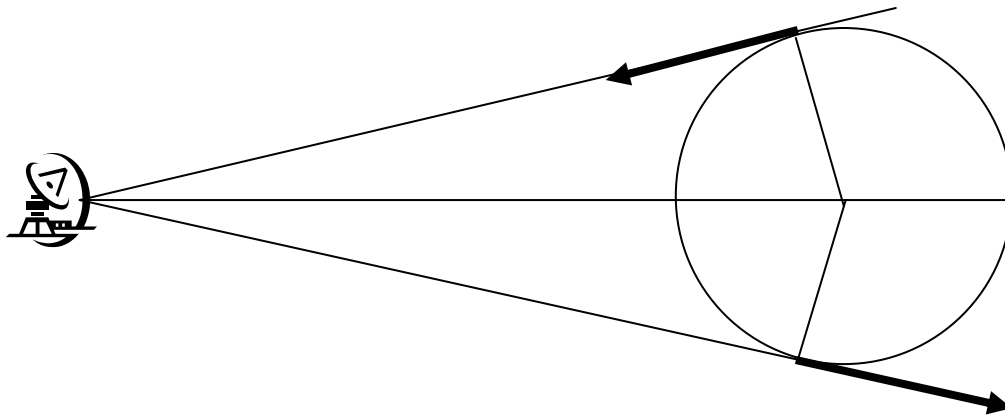
圖七 b 當鸚鵡橫過香港時(8月22日)，深水埗風廓線儀的風速時間序列



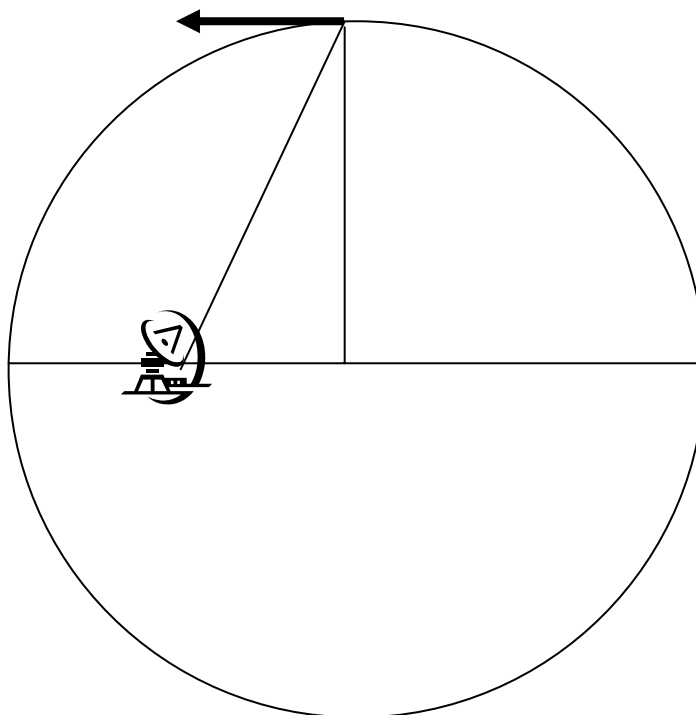
圖八 a 當風神逼近香港時(8 月 22 日)，長洲風廓線儀的風速時間序列



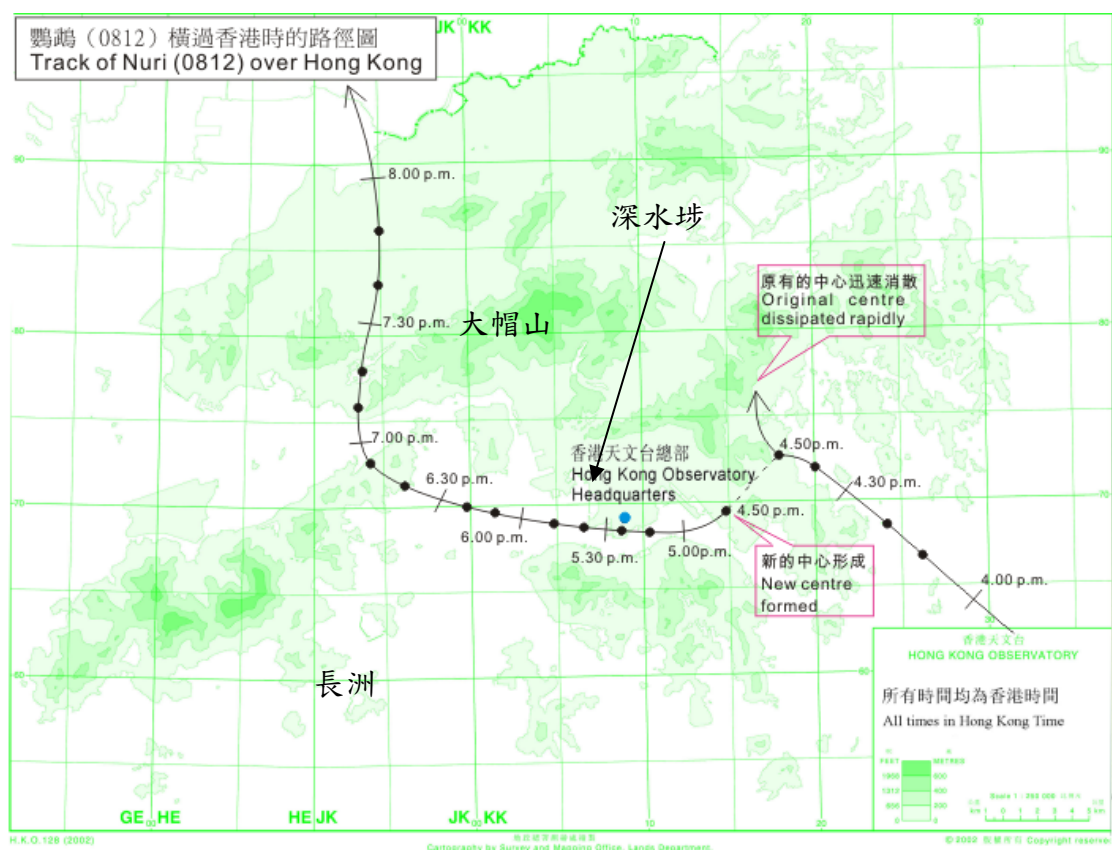
圖八 b 當風神逼近香港時(8 月 22 日)，深水埗風廓線儀的風速時間序列



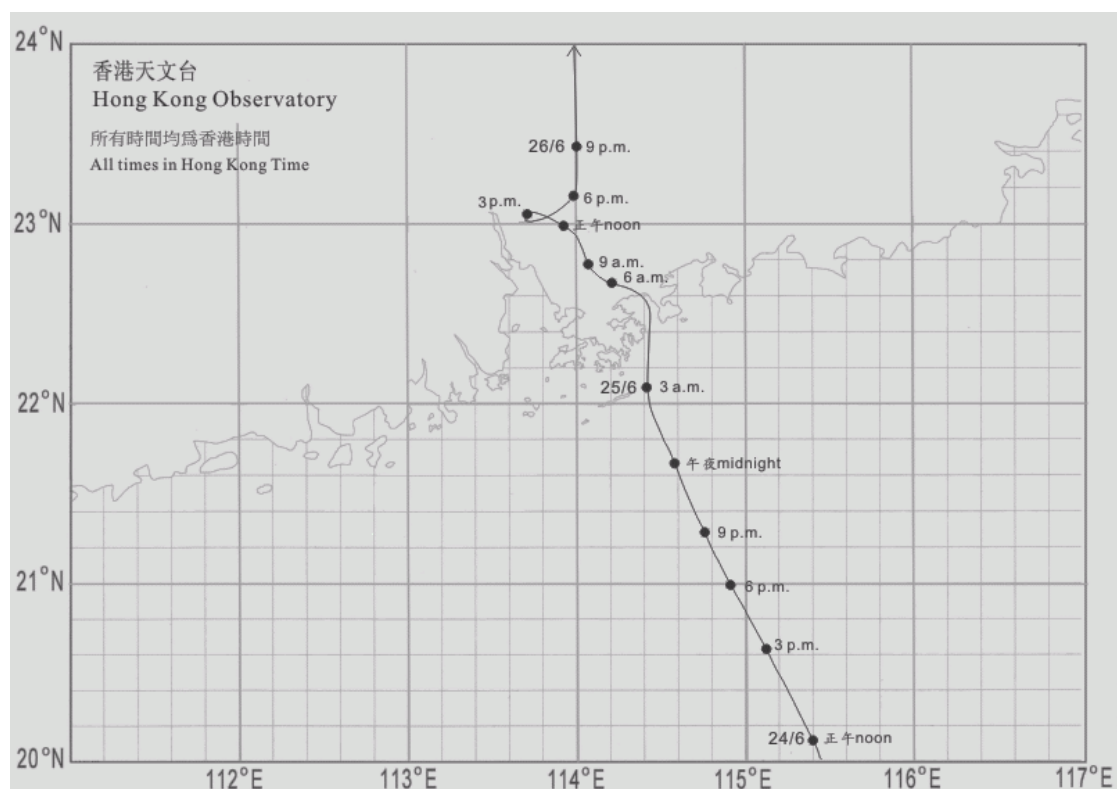
圖九 圓形是熱帶氣旋的最高等速線(一般是眼壁的位置)，當熱帶氣旋與雷達距離較遠，雷達掃瞄時總會有兩個位置雷達是最高等速線的地方(但方向大致相反)，所以量度到的最高徑向速度和實際速度相等



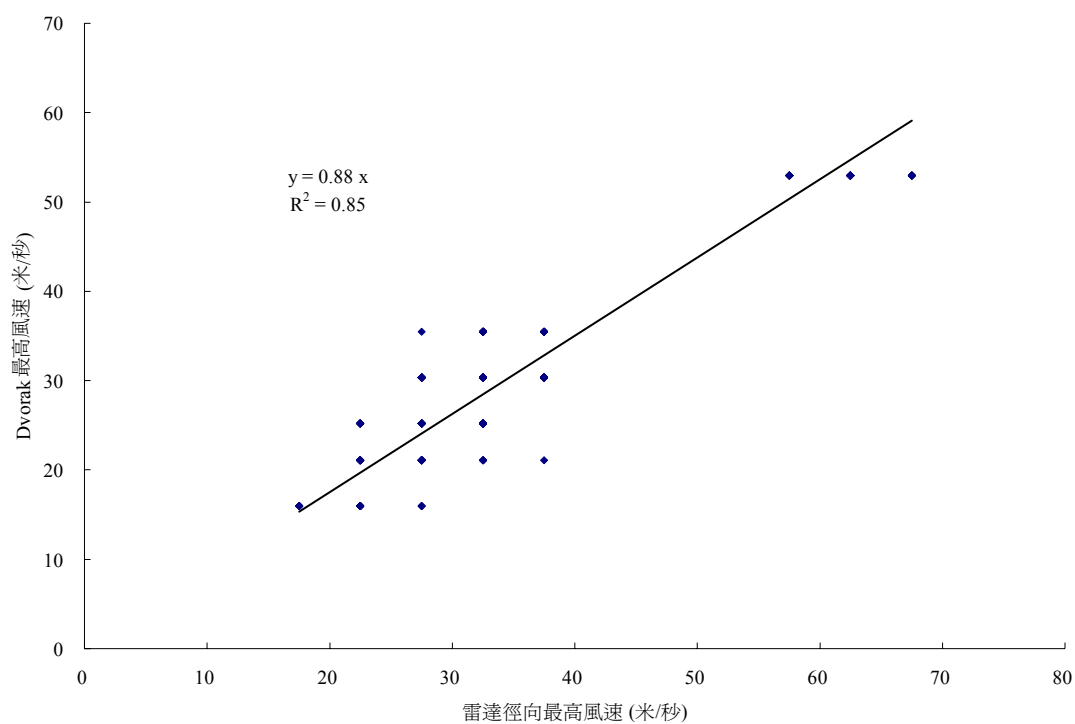
圖十 當位處熱帶氣旋的最高等速線內，雷達所量度到的最高徑向速度會比實際最高速度小



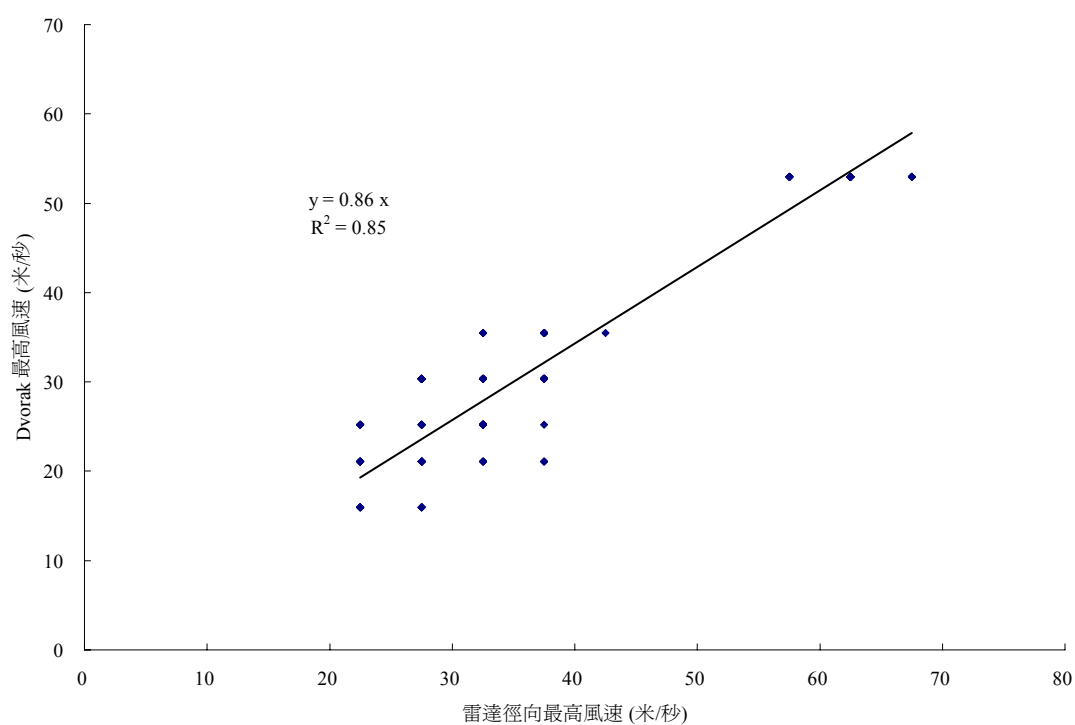
圖十一 鸚鵡 (0812) 橫過香港時的路徑圖



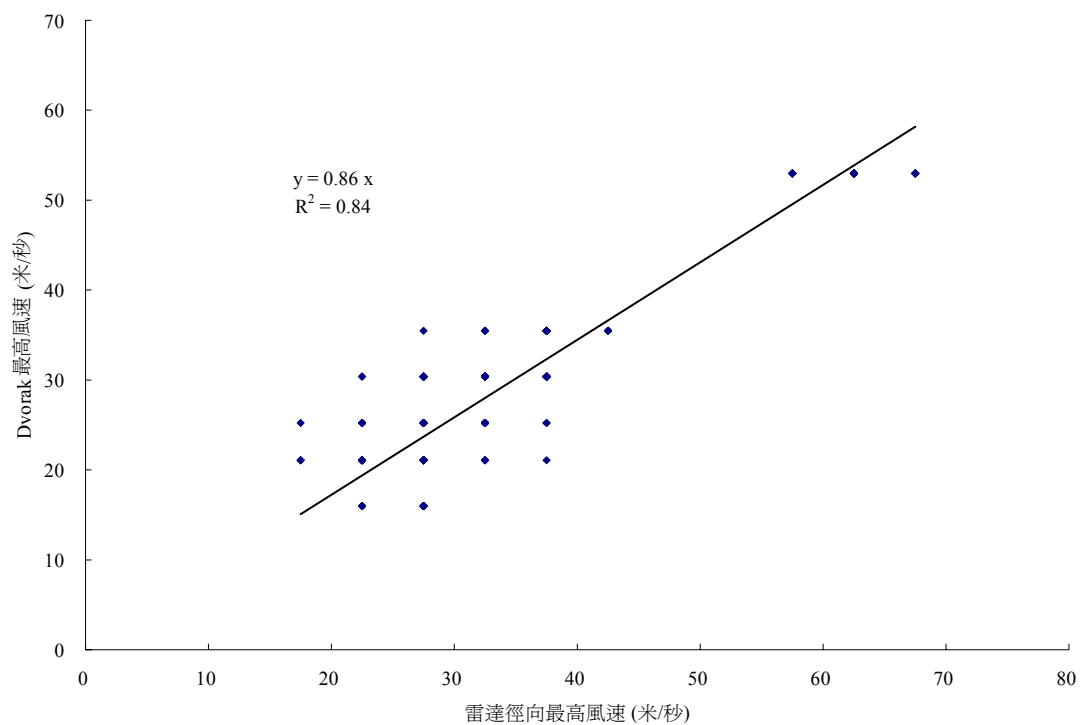
圖十二 風神 (0806) 接近香港時的路徑圖



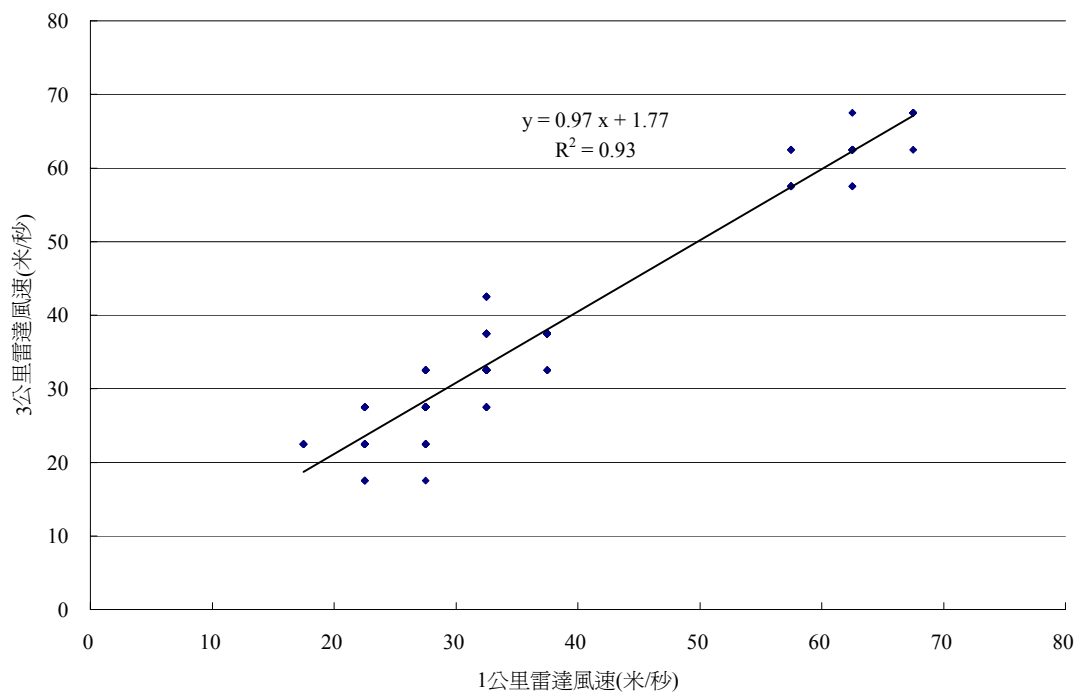
圖十三 a 一公里雷達數據與 D'vorak 分析的風速比較



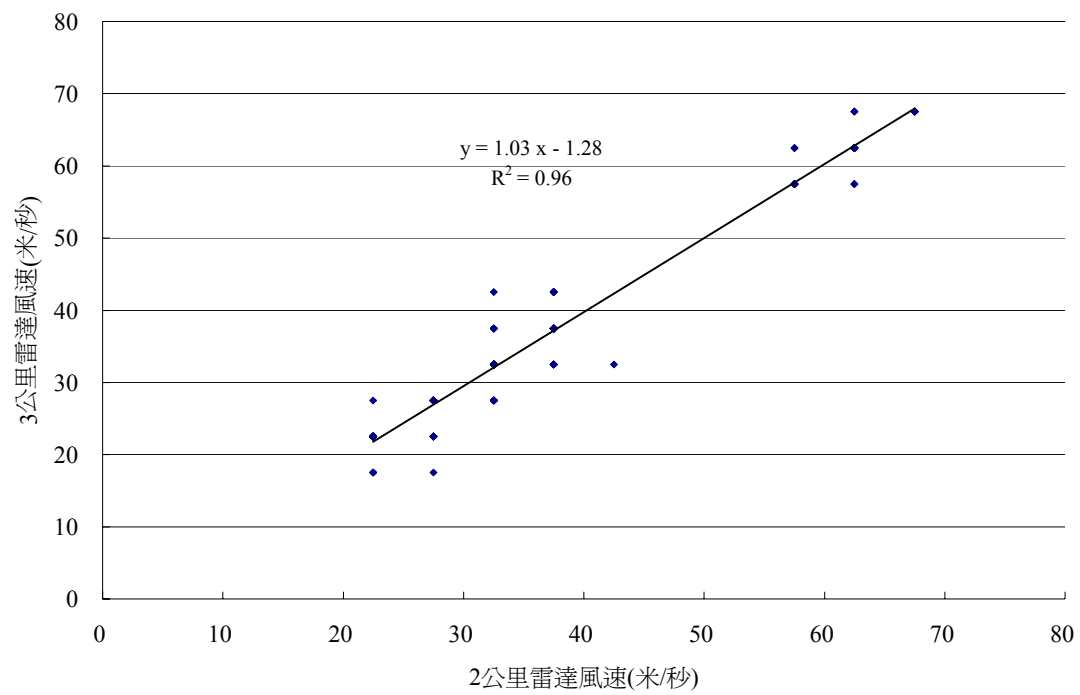
圖十三 b 二公里雷達數據與 D'vorak 分析的風速比較



圖十三 c 三公里雷達數據與 D'vorak 分析的風速比較



圖十四 a 雷達數據一公里與三公里的風速比較



圖十四 b 雷達數據兩公里與三公里的風速比較