

Reprint 817

香港一次夏季雹暴的天氣過程分析及臨近預報系統的應用

龔穎恒 & 楊漢賢

第二十三屆粵港澳氣象科技研討會

澳門，2009 年 2 月 18-20 日

香港一次夏季電暴的天氣過程分析及臨近預報系統的應用

龔穎恒 楊漢賢
香港天文台

摘要

根據過去記錄，香港出現電暴次數不多，但多發生在春季。2008 年 7 月 27 日，香港由於受到颱風鳳凰的外圍環流影響，出現一次較少見的夏季降電現象。本文利用自動氣象站、雷達、探空資料等對這場電暴進行分析。結果顯示，這次電暴源於一單體雷暴內的強對流活動。當時大氣背景沒有顯著的垂直風切變或高空急流，和一般發生在春季的電暴有明顯的分別。颱風外圍的下沉氣流令地面加熱，加上乾冷的中層製造了大氣極不穩定的背景，而這次電暴的觸發機制是內陸的相對升溫造成地面風輻合。研究從閃電數據中發現降電前閃電頻率躍升，另外亦在雷達發現鉤狀回波和回波懸垂等特徵。這些觀測對於臨近預報降電有一定的指標作用。研究中亦將此個案與最近發生在香港夏季的降電個案作比較，找出共通的大氣特徵，以加強業務上預測降電的能力。本文亦會介紹天文台的「小渦旋」臨近預報系統對於雷暴預測的發展情況，及討論其在這次電暴個案的表現。

1. 引言

二零零八年七月二十七日下午約三時二十分，香港新界北部（圖一）近粉嶺及流水響一帶出現冰雹天氣過程，並維持了數分鐘。根據市民報告，冰雹的直徑約有 5 毫米。相關的強烈雷暴隨後西移影響元朗一帶，而天文台在下午四時十五分左右再接獲市民的冰雹報告。本文旨在探討雹暴的出現機制，以下討論將聚焦於冰雹初次出現前的天氣過程。

根據過去記錄，香港的雹暴次數不多。從一九六七年至二零零六的四十年內，香港共有 34 次降雹記錄，而發生在夏季(六至九月)的，只有 7 次（表一）。這與文獻[1]所指華南降雹高峰期在三月，而高降雹區域會隨季節北移相符。一些研究指出冰雹多發生在冷暖氣團交界的鋒面位置，而高空急流提供了強垂直風切變亦有利於冰雹的發展（文獻[2]），以上這些情況在華南多發生在三、四月，這是華南的冰雹多發生在春季的原因。

冰雹與雷暴密切相關。香港夏季經常發生雷暴，但很少會出現冰雹，因此夏季雹暴的背後成因及觸發機制頗值得考究。本文會就這場雹暴進行詳細分析，並將此個案與上一次發生在夏季的降雹個案作比較。之後，會介紹天文台的「小渦旋」臨近預報系統對於雷暴預測的發展情況，及討論其在這次雹暴個案的表現。

2. 背景

七月二十七日，颱風鳳凰位於台灣東南方的海面上，其外圍環流令到廣東內陸吹輕微北風，而沿岸地區則由於海風效應吹西至西南風（圖二），850 百帕流線圖在廣東東部出現與鳳凰相關連的氣旋性流場（圖三）。從時間剖面圖看到當日上午八時中層(約 650-400 百帕)為與鳳凰外圍環流相關的偏北風（圖四）。另一方面，200 百帕流線圖顯示華南海域有一弱反氣旋，香港附近輻散值接近零（圖五）。850 百帕至 200 百帕的垂直風切變值為 0.9×10^{-3} /秒，與文獻[3]指出一般弱雹暴的環境垂直風切變為 1.2×10^{-3} /秒頗接近。從溫熵圖則可以看到大氣從二十六日下午八時至二十七日上午八時趨向不穩定（圖六），K 指數由 24 上升至 32。另外，低層(850 百帕)有變濕趨勢，T-Td 由 7C 下降至 3C;而中層則較乾(T-Td 超過 25C)，造成了大氣極不穩定的背景。「小渦旋」的計算顯示對流有效位能(CAPE)由 1482 J/Kg 急升至 2950 J/Kg，十分有利於強雷暴的發展。結冰層(0C)的高度在 4920 米左右，較文獻[3]指出 3000-4500 米的最有利降雹的結冰層高度為高。

3. 雷達及地面數據分析

大帽山多普勒天氣雷達天線安裝在離海平面約 968 米的高度，雷達採用 S 波段，以不同的仰角掃描大氣，每 6 分鐘完成一次體積掃描，每次掃描後，除提供不同仰角的 PPI 反射率、徑向速度及譜寬度等基礎數據外，亦會產生等高反射率(CAPPI)、垂直累積液態水(VIL)及回波頂(TOP)等推導產品。

圖(七)顯示了七月二十七日下午一時四十八分至五時十八分的大帽山雷達 3 公里高的 CAPPI 圖像。在一時四十八分，回波 A 在深圳東部迅速發展。半小時後，回波 B 在沙頭角附近形成，其後與回波 A 匯合，成為一單體 C，並向西南移動。三時二十一分，在 4.4 度仰角 PPI 圖像上出現一個類似鈎狀回波的反射率特徵(圖八)，強度超過 60 dBZ，在其右前方有一個呈 V 形的弱回波區(WER)。同時，從雷達回波垂直剖面圖(圖九)亦可以識別出有懸垂迴波 (overhang echo) 存在：回波頂的高度超過 12 公里，在 3 至 6 公里有超過 60 dBZ 的強烈回波，3 公里以下強度急劇轉弱，至 1 公里以下回波強度低於 10 dBZ。雷暴單體的結構較為對稱，反映出當時較弱的垂直風切變。以上的雷達觀測都和冰雹雲的典型特徵符合，而時間和地點亦與冰雹目擊者的報導相當吻合。

從 6.6 度仰角的徑向速度圖，可觀察到在雷達的北面約 15 公里處(雷達波束高度約離地面 2800 米)，徑向速度發生方位性的切變(圖十)。由 355 度方位的負值(最大負值約-13 米/秒)，至 005 度方位變為正值(最大正值約+13 米/秒)，這逆時針旋轉特徵顯示冰雹雲內有中尺度渦旋。值得注意的是該中尺度渦旋位於超過 60 dBZ 的最強回波區域，這亦和中尺度渦旋促進上升氣流的理論符合(文獻[4])。

三時四十八分，單體 C 再與源於深圳西部的單體 D 匯合，並移向新界西部及大嶼山一帶。期間沙洲及香港國際機場出場了超過 20 米/秒的強陣風，但沒有收到冰雹報告。在五時後，位於回波大嶼山的回波逐漸減弱。

圖(十一)顯示了七月二十七日廣東自動氣象站的數據。下午一時至二時，深圳的氣溫普遍上升至 35C 以上，部分地區更達到 39C 或以上。這種高溫天氣通常和熱帶氣旋外圍環流相關(文獻[5])。香港自動氣象站顯示當時新界北部的氣溫高達 35C，在二時四十分，普遍吹西至西南風(圖十二)。下午三時，新界東北部(包括打鼓嶺、大尾督、沙田及西貢一帶地區)轉吹東北風，而且風速顯著增強，

反映單體 C 的出流經已影響該區，其疾風鋒面碰上背景的西南氣流匯聚成一條大致上西北、東南走向的弧形輻合線。這兩股氣流輻合有助於維持該單體內的強對流活動，圖中亦可見該輻合線隨著單體 C 向西南移動。

總結來說，這次冰雹天氣屬於典型氣團雹暴，其特徵是生命期短，影響範圍小，冰雹雲結構對稱(文獻[3])。形成過程是陸地的加熱及極不穩定的大氣層觸發雷暴的發展，再配合地面風的輻合維持雷暴內的強勁上升氣流。偏高的結冰層高度，引致冰雹的形成點較高，令到其在單體內生長的時間較短，及下降時經過較厚的暖層使其融化，都可解釋到冰雹的尺寸較小。事實上，過往出現在香港夏季的冰雹直徑一般不超過 1 厘米，這可能和夏季較厚及較暖的邊界層有關。

4. 閃電數據分析

不少研究指出閃電與強對流天氣的發生有一定的對應關係（例如文獻[6]），另有研究分析冰雹過程中的閃電變化特徵(文獻[7])。本文利用粵港澳三方氣象服務單位在珠江三角洲合建的閃電定位網絡探測到的資料，探討了這次雹暴的閃電特徵(包括雲地閃、正負閃等資料)和頻率分佈。

由於閃電定位網探測到網絡覆蓋的整個範圍內的所有閃電，即有可能與超過一個單體相關連，本研究利用香港天文台的「小渦旋」臨近預報系統的雷暴單體識別方法，區分出與雹暴單體相關的閃電數據作詳細分析。文獻[7]發現閃電頻率在降雹前 20-30 分鐘有躍升現象。從圖(十三)所見，在下午二時零五分至二時三十分，雹暴單體內的閃電頻率也出現明顯的躍升，比市民提供的降雹報告時間早約 60 分鐘。另外，在二時四十八分，雲對地閃電頻率達到每 6 分鐘 578 次的峰值，比降雹報告時間早約 30 分鐘。文獻[8]分析了中國西北地區的冰雹過程，指出閃電頻率在降雹前 4-97 分鐘出現峰值，和本個案基本上符合。閃電頻率在降雹前的躍升現象，可能起到預警冰雹的作用。在下一節，我們會討論天文台閃電臨近預報系統在這方面的可能效用。

文獻[7]發現冰雹雲在成熟階段，正負閃電的頻數相當，甚至出現正閃電的頻數高於負閃電。在本個案，正閃電的比率在降雹前只維持在 5% 左右。文獻[9]指出正閃電偏多的雷暴多屬於低降雨型超級單體，而高降雨型超級單體則負閃電偏多。高降雨型超級單體的主要特徵是中尺度渦旋位於強降雨區域，這和上述雷達圖及降雨分佈圖（圖十四）吻合。由此可見本個案的單體比較類似高降雨型超級單體。

另外，文獻[8]亦發現閃電密度最大中心出現在降雹位置之前，並不

與最強回波區對應。從當日下午二時五十六分至三時十一分閃電分佈圖(圖十五)，可看到閃電密度最大中心坐落於大埔附近。與雷暴單體C的移動路徑比較(見圖七下午二時四十八分及三時十八分的雷達圖片)，可見該中心出現在稍後發展出冰雹的強烈回波帶的前方象限。因此，如文獻[8]所說，閃電時間序列分佈，可能起到預警冰雹的作用。

5. 個案比較

香港上一次的夏季冰雹個案，發生在二零零六年七月二十四日。當日，颱風格美位於台灣東南方的海面上，華南沿岸地區的大氣背景和本個案十分相似(圖十六)。從時間剖面圖看到當日上午八時中低層(約850-550百帕)吹北至東北風(圖十七)。850百帕至200百帕的垂直風切變值為 0.9×10^{-3} /秒。從溫熵圖可以看到當日上午八時K指數達到30。另外，低層(850百帕)偏濕(T-Td約3C)而中層則較乾(T-Td普遍超過15C)(圖十八)。結冰層(0C)的高度在5510米左右，對流有效位能(CAPE)則達3174 J/Kg。總結來說，這兩次電暴有以下共通的大氣特徵：(1)中低層的風有北分量；(2)垂直風切變偏低；(3)大氣上乾下濕；(4)K指數達到30或以上；(5)對流有效位能極高(近3000 J/Kg)。其中(3)至(5)反映大氣處於不穩定狀態。以上的資料可作為參考，當夏季有熱帶氣旋移近台灣一帶，大氣又出現上述特徵，預報員就須提高警覺，配合臨近預報工具，在適當時候預測降雹。

6. 臨近預報的應用

香港天文台的「小渦旋」(SWIRLS，即 Short-range Warning of Intense Rainstorms in Localized Systems 的縮寫)臨近預報系統自1999年開始業務運作(文獻[9])。所提供的圖像用戶介面軟件當中，包括有兩個能自動更新的大氣分析工具，分別顯示大氣穩定度指數的時間序列及溫熵圖(文獻[10])。除實況數據外，前者亦展示包含利用數值模式預報資料的預測指數，幫助預報員窺探未來的演變趨勢。溫熵圖的顯示軟件則具備互動功能，使用者可根據實況觀測或預報資料所顯示的大氣改變，人工調整溫熵圖中的溫度或露點廓線，即時更新並獲取如對流有效位能等的各項大氣穩定度指數，對於分析雷暴的短時發展潛勢，非常有用，而其中針對電暴分析的應用案例，可在文獻[10]中找到。本文所引用的熱力學分析資料，皆來自這個溫熵圖互動工具。

因應香港市民對惡劣天氣警告服務的需求日增，和作為世界氣象組織「北京2008預報示範項目」(B08FDP)的氣象保障支援，香港天文台近

年積極開拓與強對流相關的惡劣天氣(包括閃電、狂風及冰雹等)臨近預報技術。第二代的「小渦旋」臨近預報系統(簡稱 SWIRLS-2)已在天文台開始業務試行,並於 08 年北京奧運期間在北京市氣象局成功地實時運作。SWIRLS-2 包含多個預報子系統,負責預報冰雹的是「冰高」(音譯自 BRINGO,即 Buoyancy-supported Rimed Ice Nugget and Graupel Overhang 的縮寫)系統。「冰高」的預報原理是基於鑑別雹暴單體內懸浮於半空強烈上升氣流中的霧凇冰或霰。成功的關鍵在於正確識別雹暴在雷達電磁波掃描下所呈現的獨特「懸垂回波」(overhang echo)雲物理現象。

以往預報員識別「懸垂回波」要靠人手操作雷達顯示軟件和用肉眼細心觀察有關雷暴單體的垂直剖面圖。要令到工序變得更客觀和自動化,天文台在業務使用的雷達數據處理軟件中設定了一種雷達分析產品,能自動偵測 3 公里或以上的高空所出現的強烈回波,並於雷達顯示屏幕上提供冰雹的預警提示。但由於香港位處亞熱帶,特大降水現象並不罕見。因此雷暴單體內的強烈回波可能只是反映特大降水,而不是霧凇冰或霰。為減低虛報率,「冰高」的冰雹算法額外加入一項新的要求:於高空出現強烈回波的同一地理位置上,貼近地面的大氣層所蘊含的雲水量要保持在一個較低水平。算法流程是首先產生以下兩個雷達網格(每 0.5 公里)數據產品:(a) 以 60 dBZ 定義的回波頂(TOP_{60dBZ});(b) 最低 2 公里的垂直累積液態水(VIL_{2km}),然後檢視網格點上的雷達參數是否符合以下兩項條件:

$$\text{TOP}_{60\text{dBZ}} > 3\text{km}$$

$$\text{VIL}_{2\text{km}} < 5\text{mm}$$

如果同時滿足上述兩項條件,「冰高」會把受影響的範圍以橢圓標記識別為雹暴單體。如果其分析位置或 30 分鐘內的預報路徑觸及預設的警報範圍,相關的文字預警信息也會同時顯現。

圖(十九)、(二十)顯示「小渦旋」透過「冰高」子系統,就二零零八年這次冰雹個案,實時發出的惡劣天氣預測圖。如圖中的時間序列所示,「冰高」早於下午二時左右已識別出位於深圳接近香港邊境的一個雹暴單體,並於二時五十四分成功預測它會朝香港粉嶺一帶地區推進。其後香港天文台於下午三時二十分收到冰雹報告(地點為粉嶺的流水響),及早提醒預報員的預警時間可以長達一個多小時。若從向公眾發出惡劣天氣警告的客觀驗證角度評估,以二時五十四分的臨近預報起計,扣除雷達數據的滯後和運算所花的時間,還剩下接近 15 分鐘的警報時效。

7. 其他討論

如第4節所分析,閃電數據的時間序列對預警冰雹有一定的啟示。在這裡我們嘗試從臨近預報的角度,再進一步探討其可行性以及

當中所牽涉的具體條件。「小渦旋」臨近預報系統中，負責閃電臨近預報的子系統是「達雷」（音譯自DELITE，即Detection of Electrification and Lightning based on Isothermal Thunderstorm Echoes的縮寫），其算法的精髓在於針對混合層（零度至零下20度之間的大氣層）的等溫雷達反射率反演及分析，詳情可參閱文獻[11]。

根據「達雷」算法，我們定義閃電強度（以 ζ 代表）為個別雷暴單體在6分鐘內可能出現的雲地閃電次數（以 α 代表）的對數（詳見文獻[11]），即：

$$\zeta = \log_{10} \alpha$$

以此定義，我們可以就今年七月二十七日的電暴個案，計算出觀測及「達雷」預報閃電強度的各項時間序列。如圖(二十一)所顯示，實測的閃電強度 ζ_{actual} 在當日下午二時後開始急升，於半小時內由0.8升至2.5。至於相應的「達雷」預測閃電強度（以 ζ_{predict} 代表），在二十分鐘之前已顯示出差不多的上升速率。在二時零六分， ζ_{predict} 達到2.8，而 ζ_{actual} 在二時四十八分亦達到相若強度(留意當 $\zeta_{\text{predict}} > 3$ ，「達雷」的預測值會有過大的傾向)。當相同的閃電強度分析應用到二零零六年七月的冰雹個案時，亦發現有相類似的閃電變化過程。

因此，我們建議可考慮以 ζ 在30分鐘內急升超過2，作為冰雹預警的一個獨立前兆特徵，其好處是相信會較「冰高」只建基於雷達的預警更早出現。若這個新的特徵識別過程可以完全自動化，進而與「冰高」預報相輔相成運用的話，將有助延長整體的預警時間。但在現時缺乏冰雹個案及相關的觀測報告情況下，任何技巧的預報成效仍有待考驗。

8. 總結

香港在二零零八年七月二十七日下午發生了一次不常見的夏季電暴。本文透過詳細的大氣分析，判別電暴是源於颱風外圍的下沉氣流令地面加熱，而觸發起強烈雷暴的發展過程。我們嘗試找出電暴出現前的種種大氣特徵，包括大氣極不穩定、強烈而獨特的雷達回波結構及雲地閃電強度急升等現象，並且展示臨近預報工具在這方面的應用，目的為給預報員提供具體而定量的預報參考資料，以提高警惕及增強業務上預測降雹的能力。展望未來，我們鼓勵預報員在真實的環境中，應用上述的電暴預報法則，並歸納出更多的客觀經驗和數據，使冰雹臨近預報的驗證得以有系統地進行，其結果將有利於調校系統的預報表現。透過進一步發展「冰高」包括吸納閃電強度信息等，「小渦旋」有望在未來的日子為冰雹預警提供更有效及時的臨近預報指引。

鳴謝

本文作者要特別多謝林鄺泗蓮女士及黎守德先生的寶貴意見和指導。

參考文獻

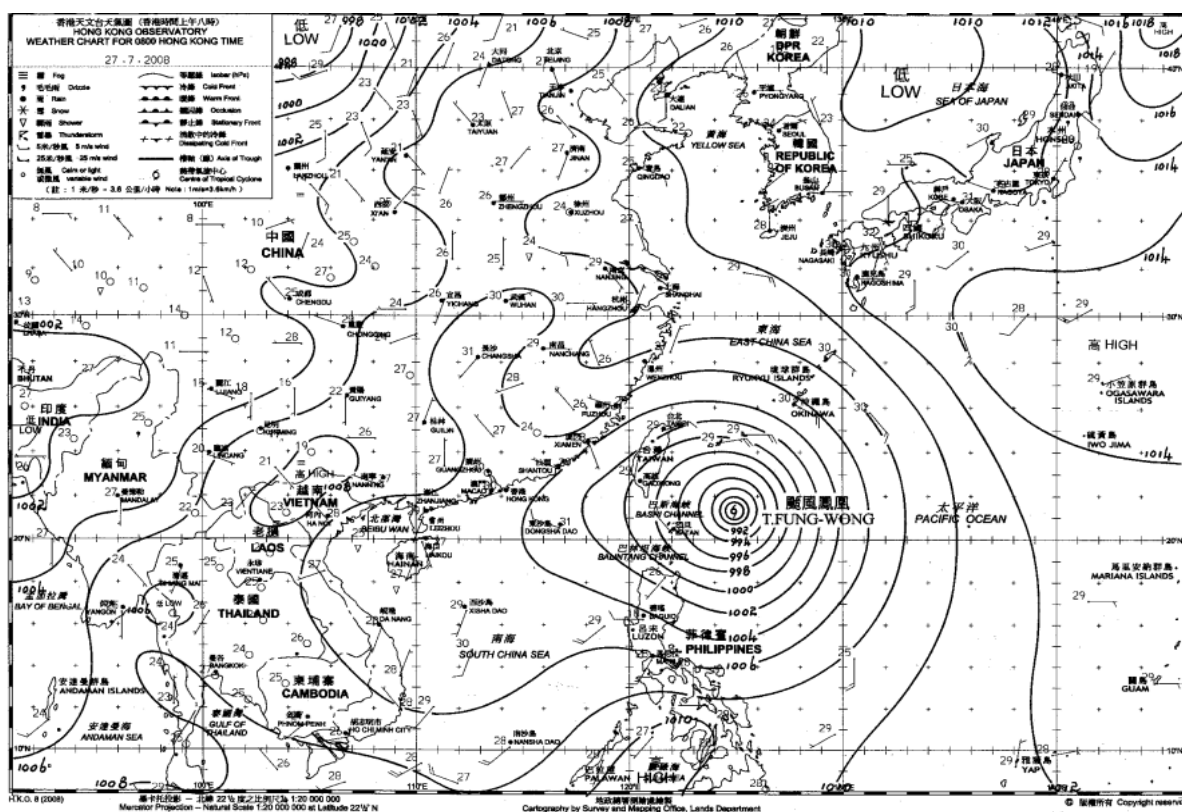
- [1] Zhang C. and Q. Zhang, 2008: Climatology of Hail in China. *J. Appl. Meteor. Climatology*, 47, 795–804.
- [2] Dessens H., 1960: Severe hailstorms are associated with very strong winds between 6,000 and 12,000 meters. *Physics of Precipitation, Geophys. Monogr.*, No. 5, Amer. Geophys. Union, 333–338.
- [3] 雷雨順等編著，1978：冰雹概論，科學出版社。
- [4] Rotunno R., and J. B. Klemp, 1982: The influence of the shear-induced pressure gradient on thunderstorm motion. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 136–151.
- [5] 盧山、葉萌：熱帶氣旋外圍環流和廣州災害性高溫關係的研究，熱帶氣象學報 2006, 22(5): 461-465。
- [6] 薛秋芳、孟青：北京地區閃電活動及其與強對流天氣的關係，氣象 1999，25(11): 15-19。
- [7] 馮桂力、邊道相、劉洪鵬等：冰雹云形成發展與閃電演變特征分析，氣象 2001，27(3): 33-37。
- [8] 李照榮、付雙喜、李寶梓等：冰雹云中閃電特征觀測研究，熱帶氣象學報 2005，21(6): 588-596。
- [9] P.W. Li, W.K. Wong, K.Y. Chan & Edwin S.T. Lai, 2000: SWIRLS - An Evolving Nowcasting System, Hong Kong Observatory Technical Note, No.100.
- [10] 陳建宇、黎守德、李炳華，1998：暴雨預報中的溫熵圖及大氣穩定情況分析，第十三屆粵港澳重要天氣研討會，澳門，1998年12月17至18日。
- [11] 楊漢賢、黎守德，2007：利用等溫雷達反射率的閃電臨近預報方案，中國氣象學會2007年年會，中國，廣州，2007年11月23-25日。



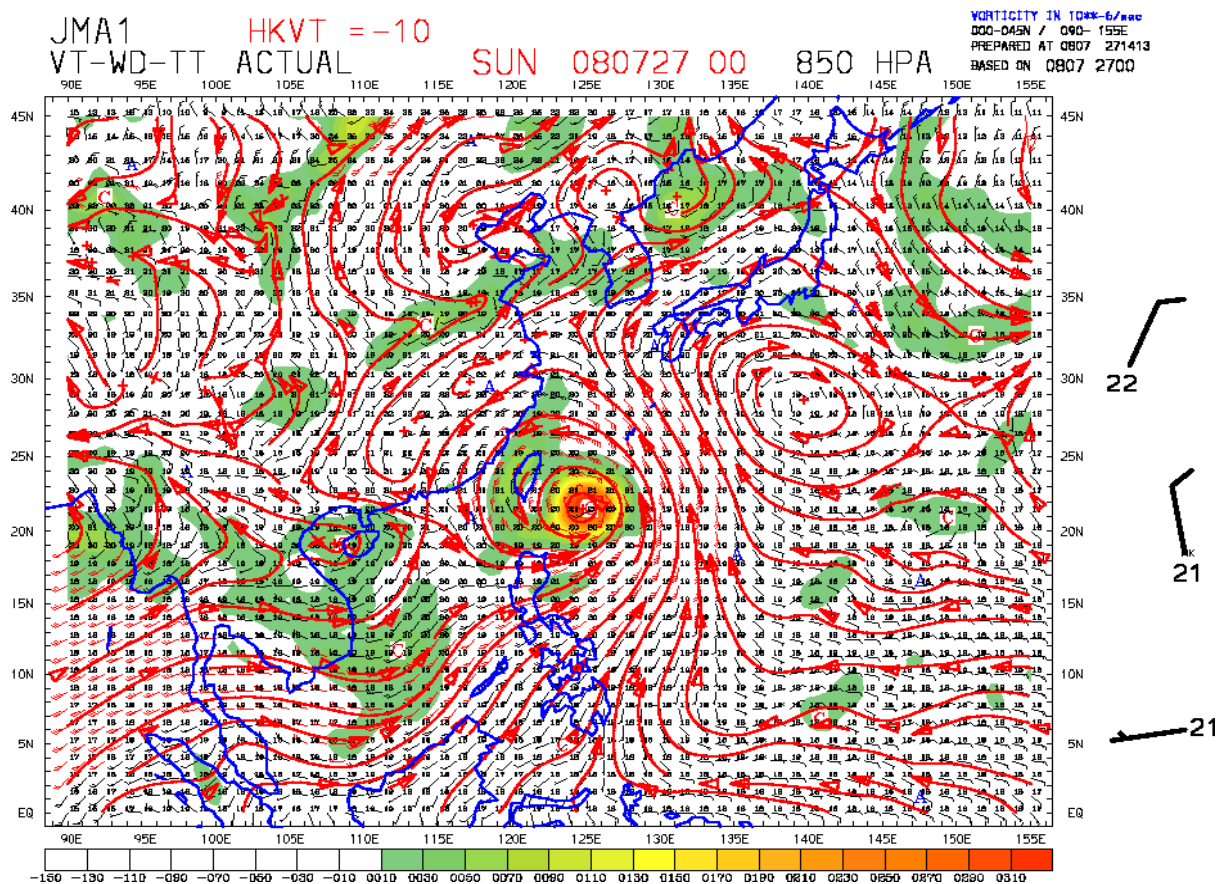
圖一 二零零八年七月二十七日初次降雹位置圖

Number of Days with Reports of Hail in Hong Kong since 1967													
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1967	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1973	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1975	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1976	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
1979	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1980	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
1981	-	-	1	-	1 *	-	-	-	-	-	-	-	1
1983	-	-	4 + 1 *	2	-	-	-	-	1	-	-	-	7
1985	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	3
1987	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2
1989	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
1992	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1994	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1995	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1997	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1998	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
2001	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
2004	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
2005	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
2006	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
2008	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Total ⁶⁷⁻⁰⁸	-	5	8	13	1	-	5	1	2	-	-	-	35
Mean ⁶⁷⁻⁰⁸	-	0.12	0.19	0.31	0.02	-	0.12	0.02	0.05	-	-	-	0.83
* Reported by pilots in flight, probably not reaching ground													

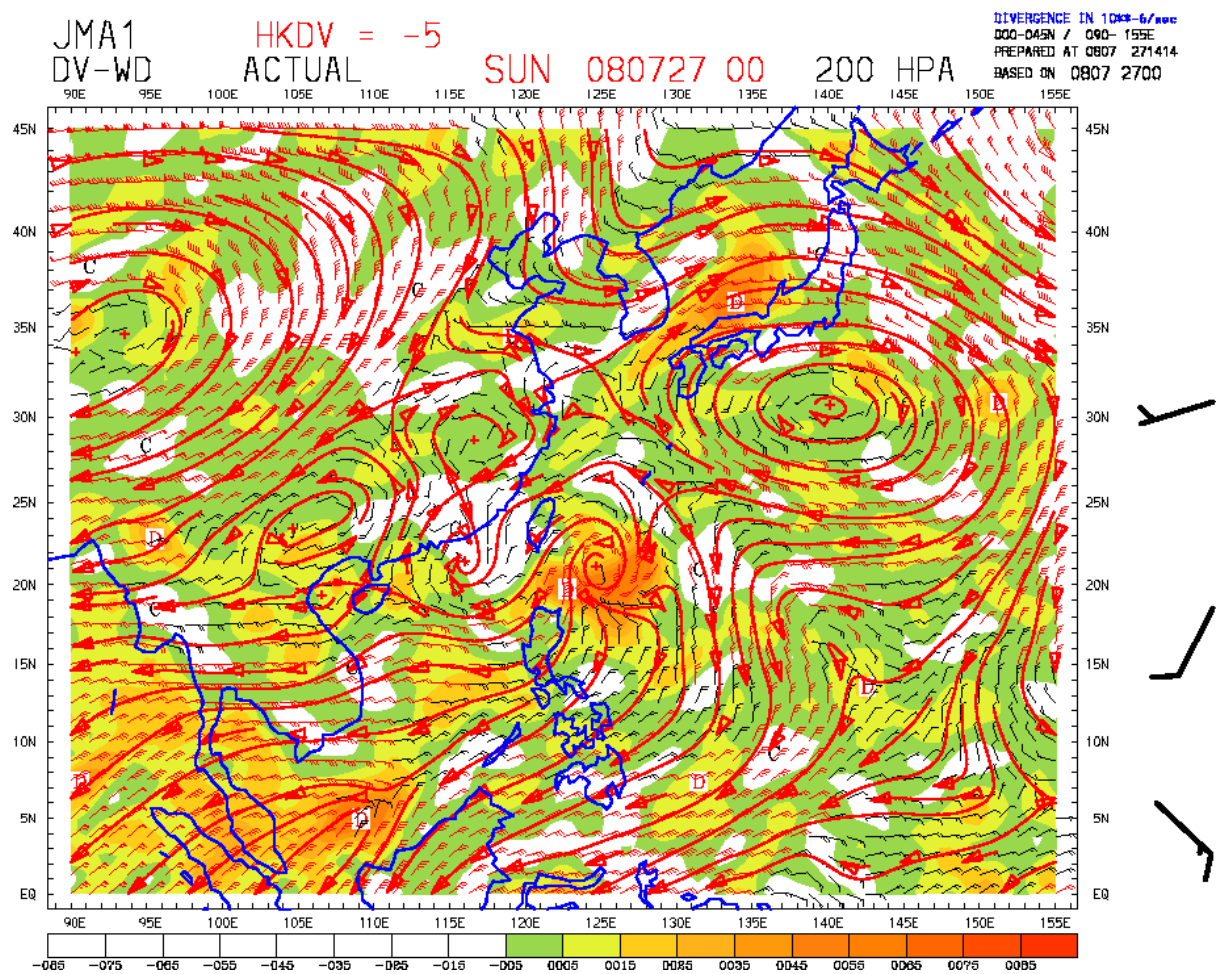
表(一) 香港降雹記錄



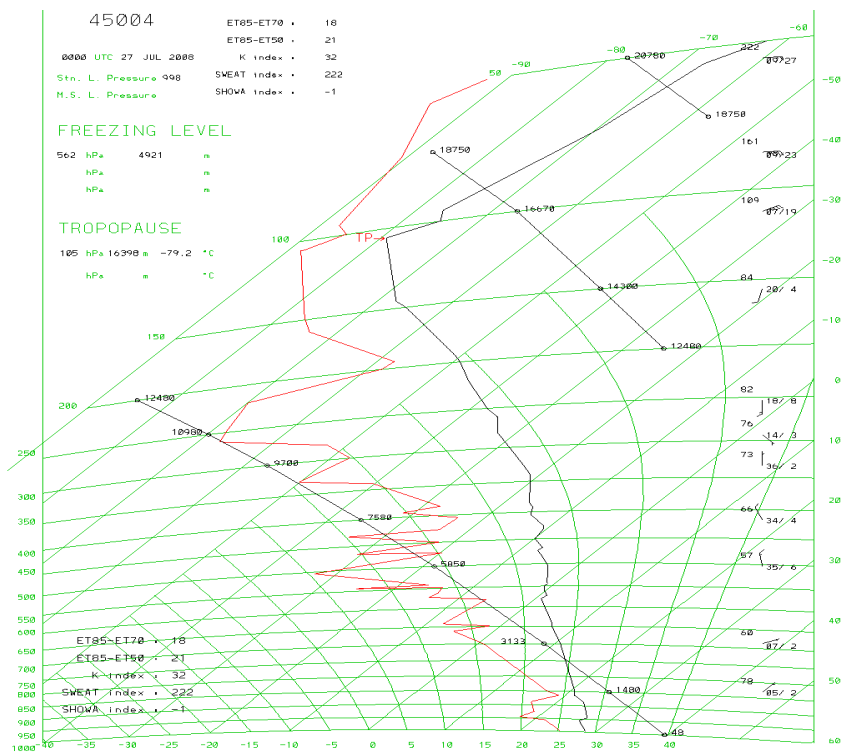
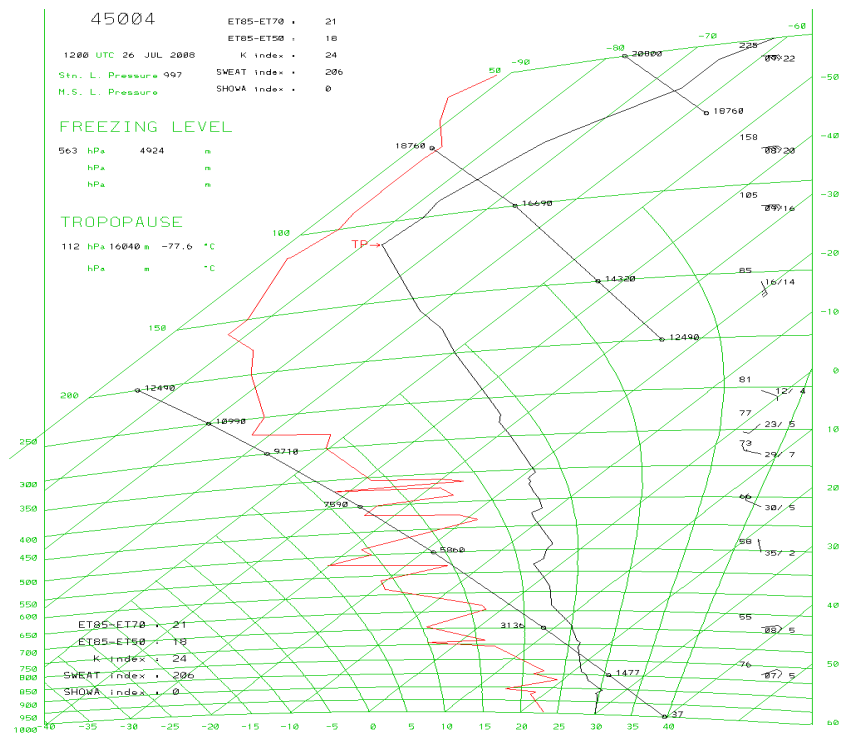
圖二 二零零八年七月二十七日上午八時之地面氣壓圖



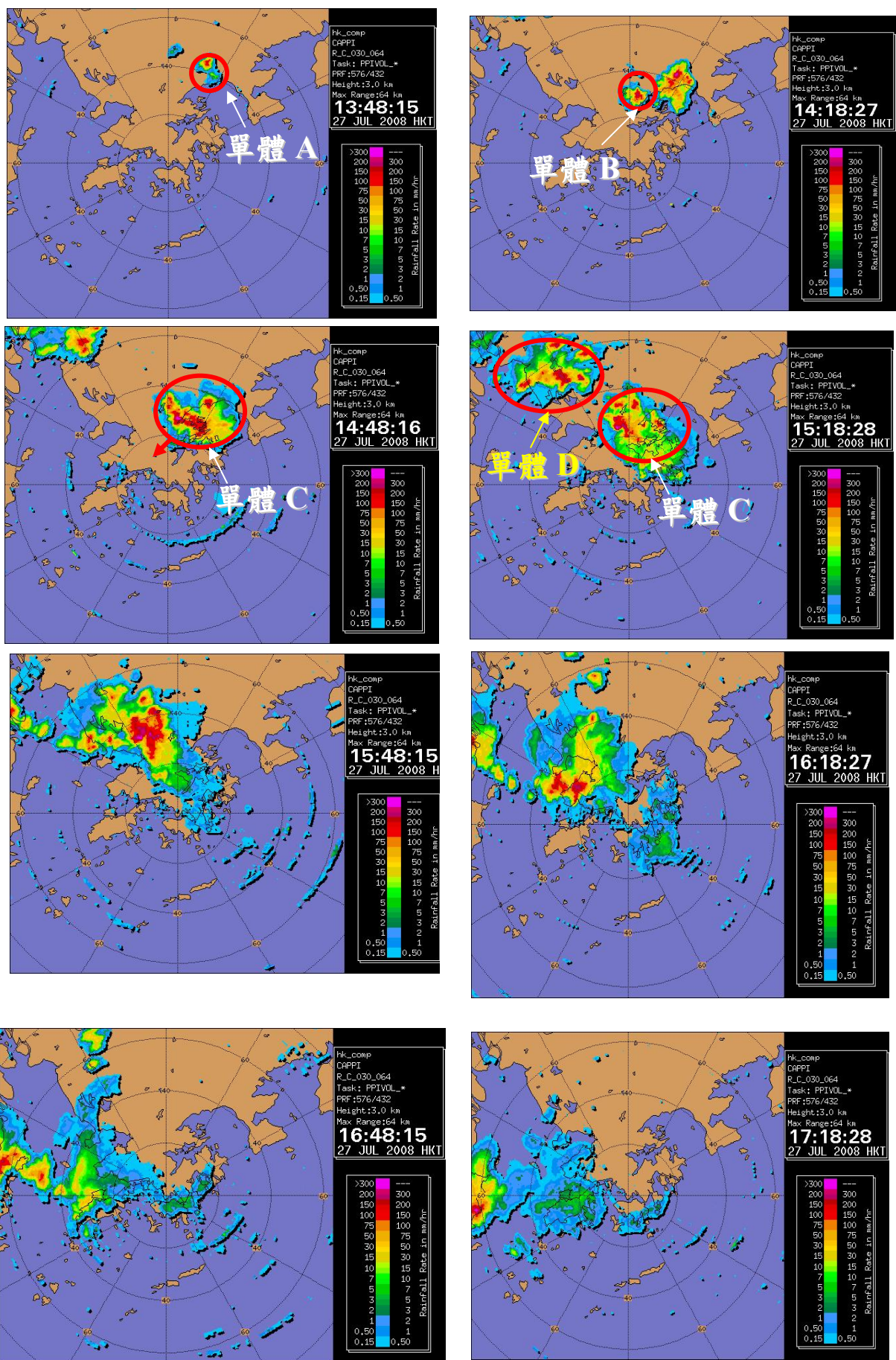
圖三 二零零八年七月二十七日上午八時之 850 百帕流線圖



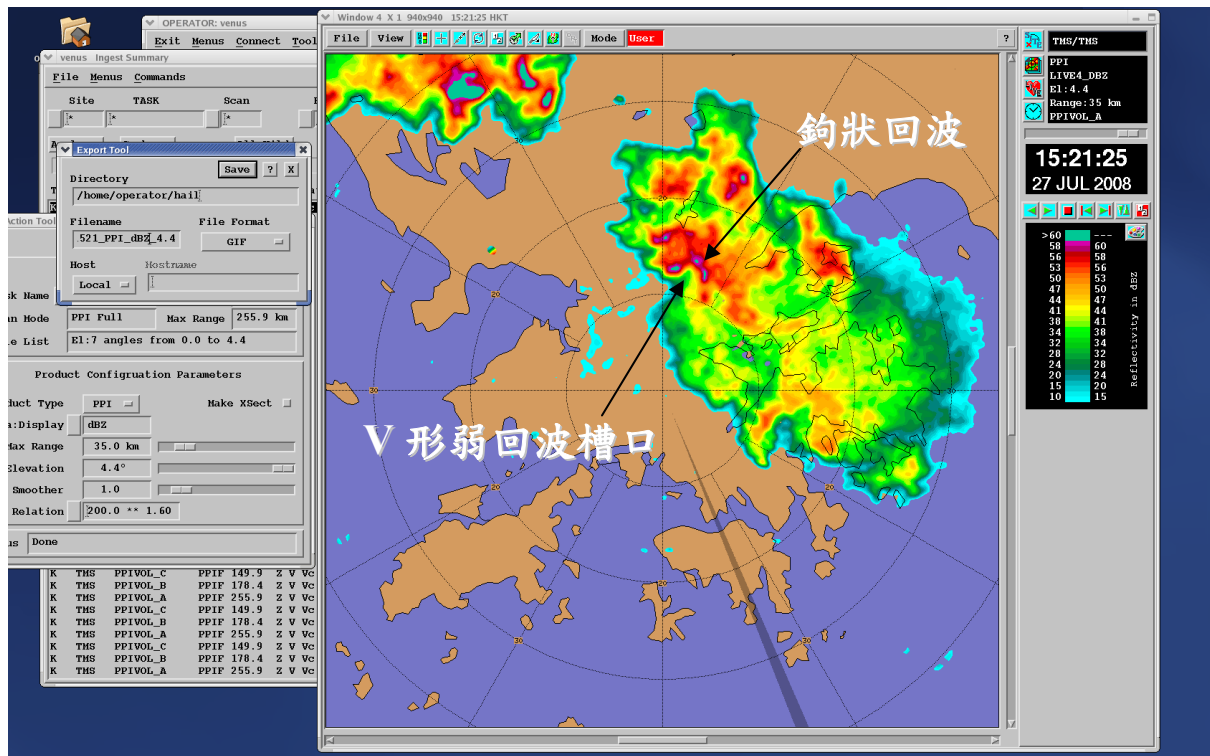
圖五 二零零八年七月二十七日上午八時之 200 百帕流線圖



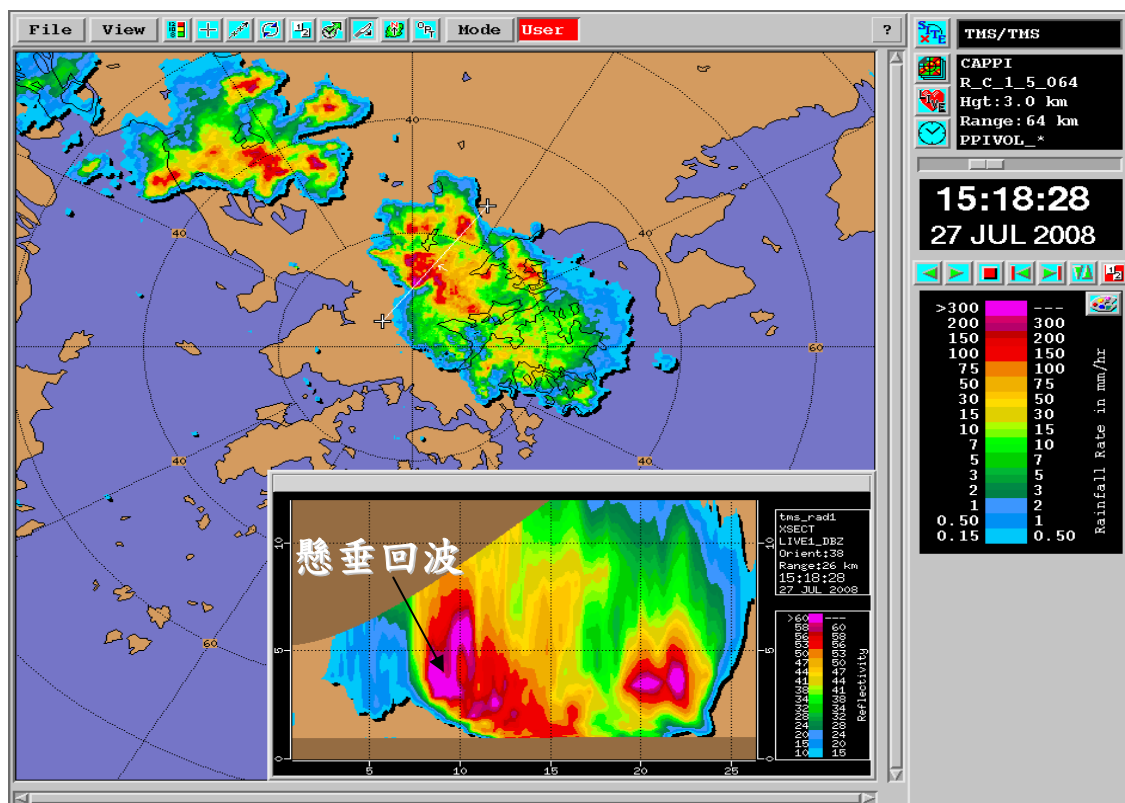
圖六 二零零八年七月二十六及二十七日之溫熵圖



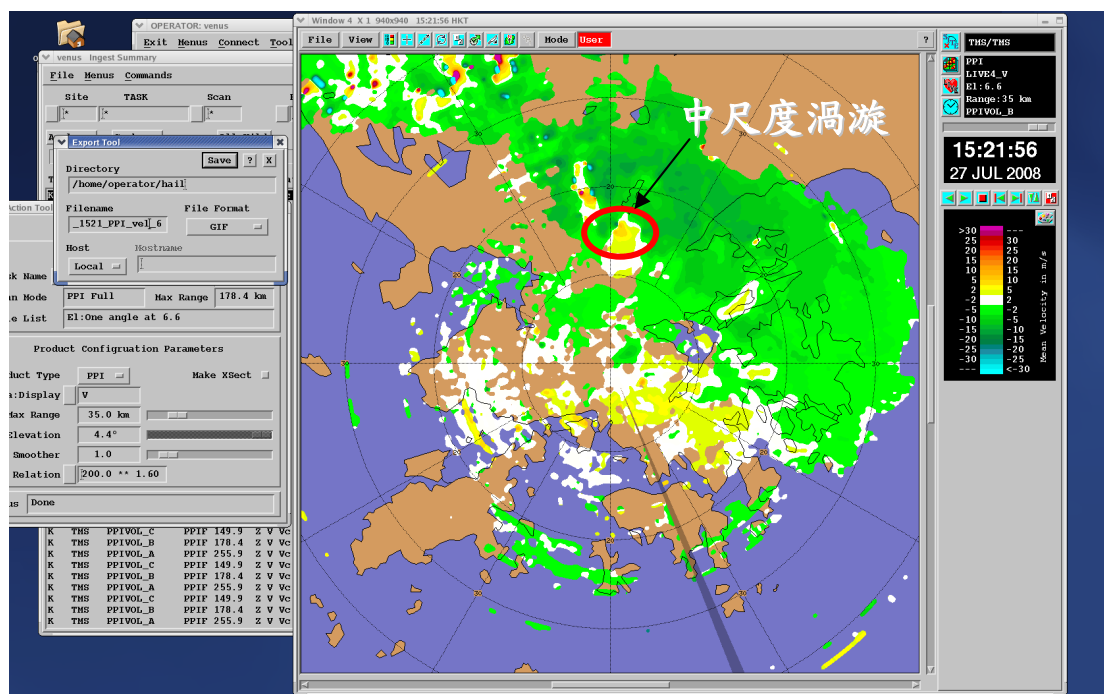
圖七 二零零八年七月二十七日下午之天氣雷達照片



圖八 二零零八年七月二十七日下午三時二十一分之天氣雷達照片

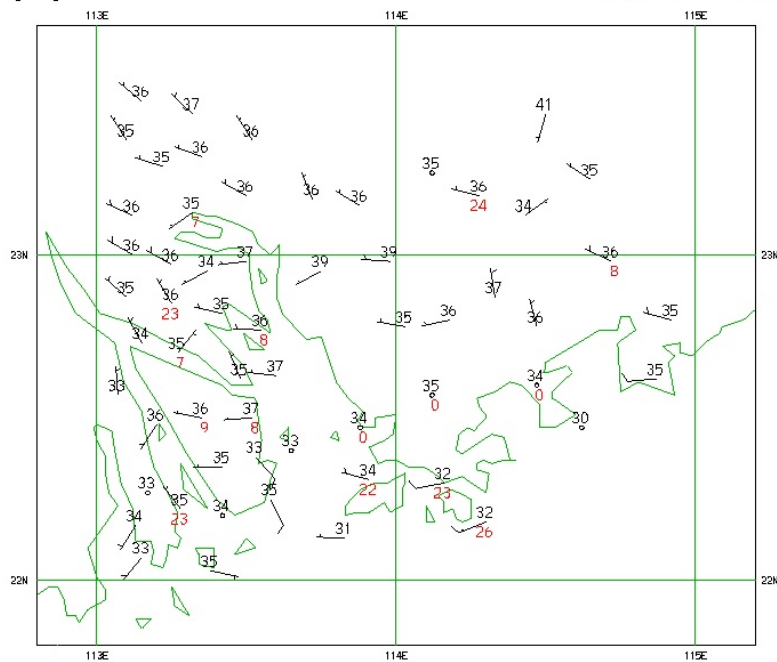


圖九 二零零八年七月二十七日下午三時十八分之雷達回波剖面圖

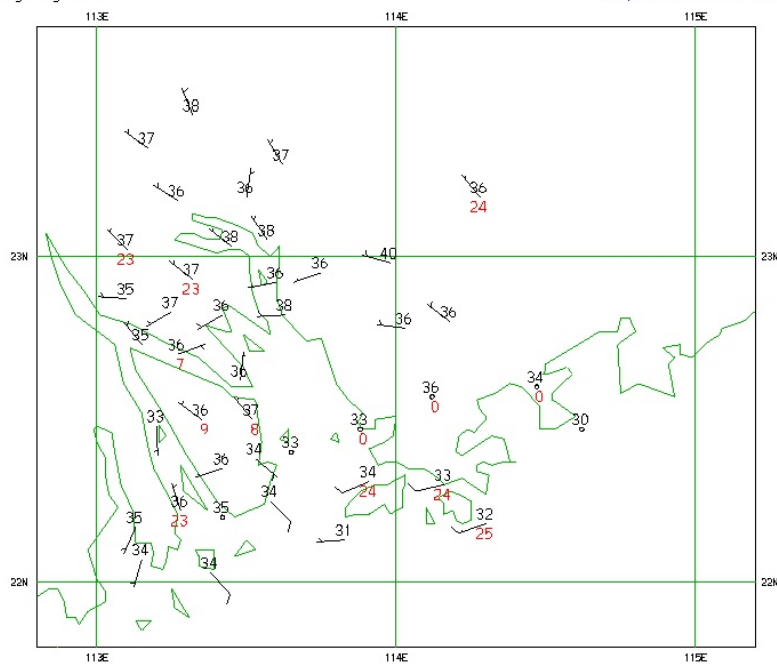


圖十 二零零八年七月二十七日下午三時二十一分之天氣雷達速度圖

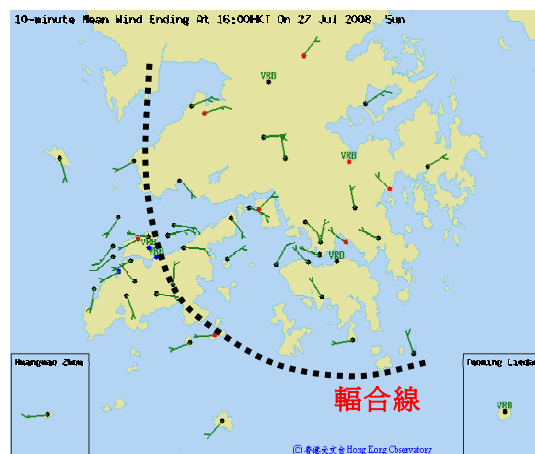
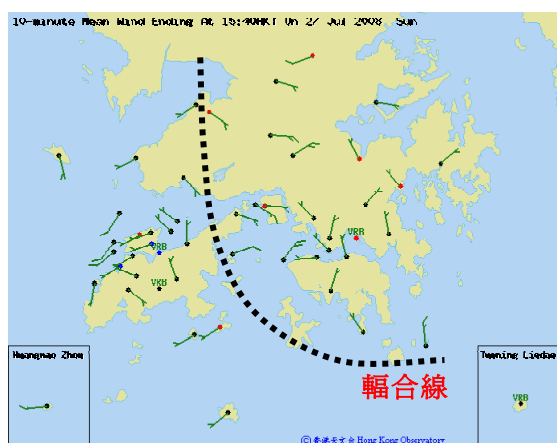
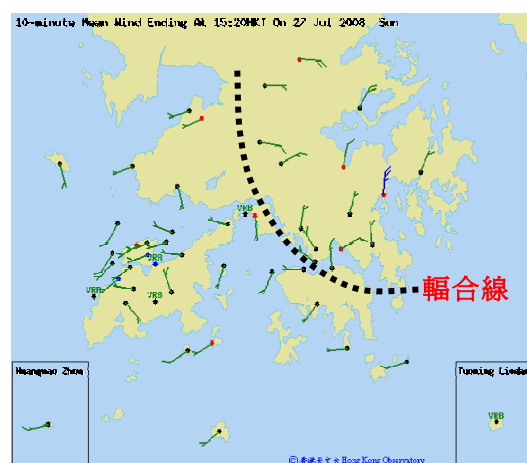
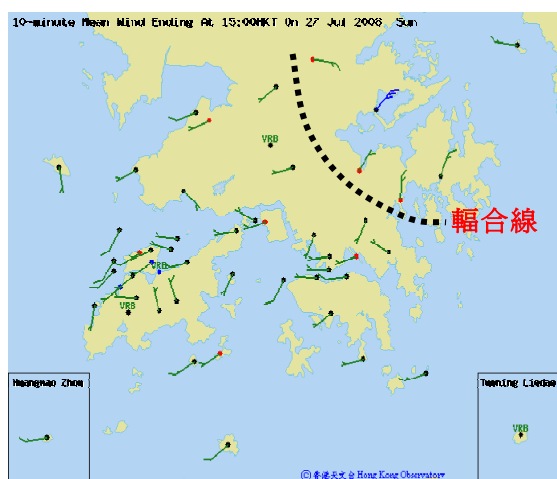
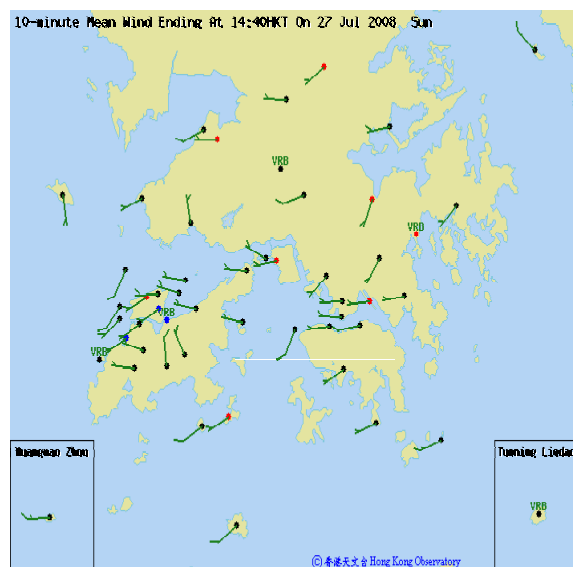
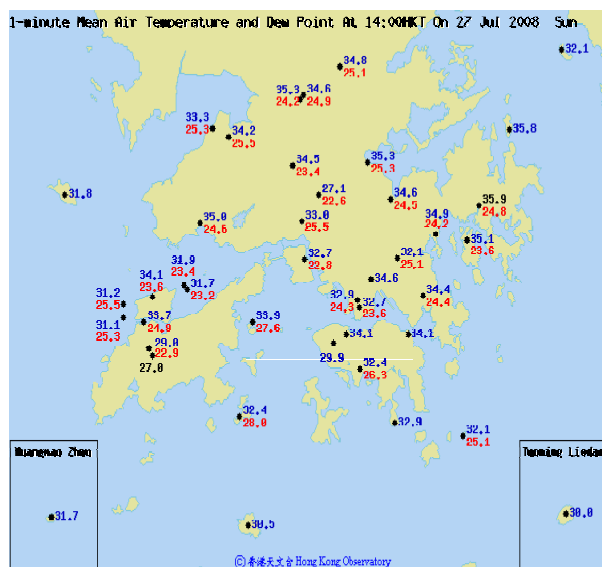
Observation **SUN 2008 JUL 27 1300 HKT** 022-024N / 113- 115E
 Guangdong AWS Obs. Plotted: 55
 Obs. Received: 130
 Prepared at 200807 271653



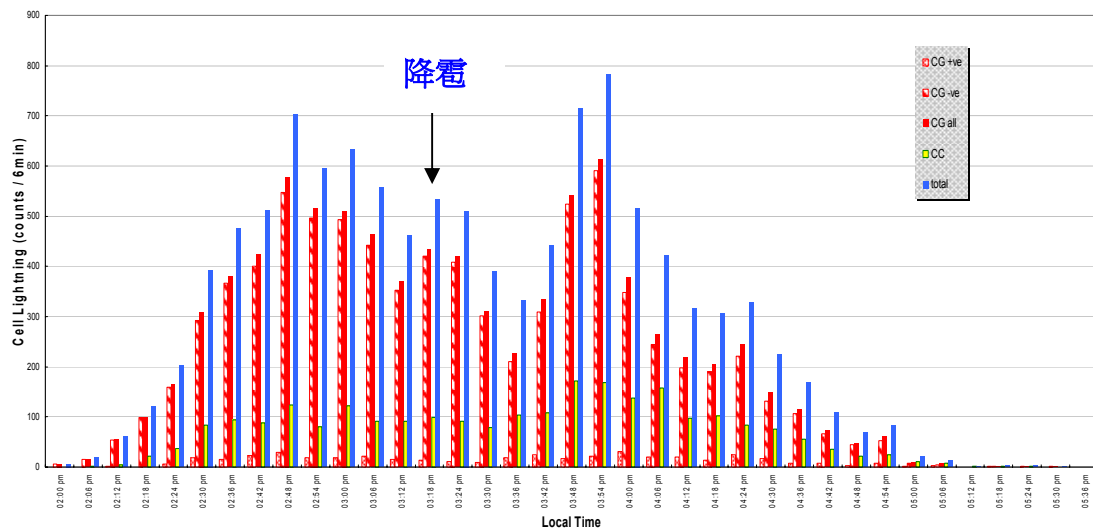
Observation **SUN 2008 JUL 27 1400 HKT** 022-024N / 113- 115E
 Guangdong AWS Obs. Plotted: 38
 Obs. Received: 72
 Prepared at 200807 271753



圖十一 二零零八年七月二十七日下午珠江口一帶之地面觀測



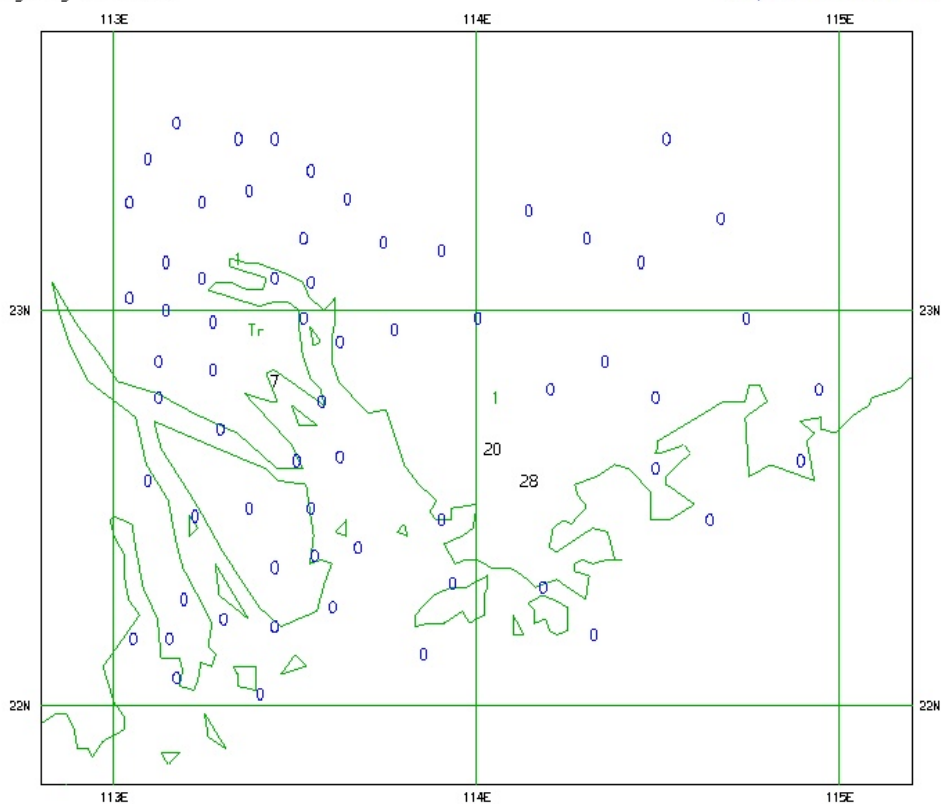
圖十二 二零零八年七月二十七日下午香港之地面觀測



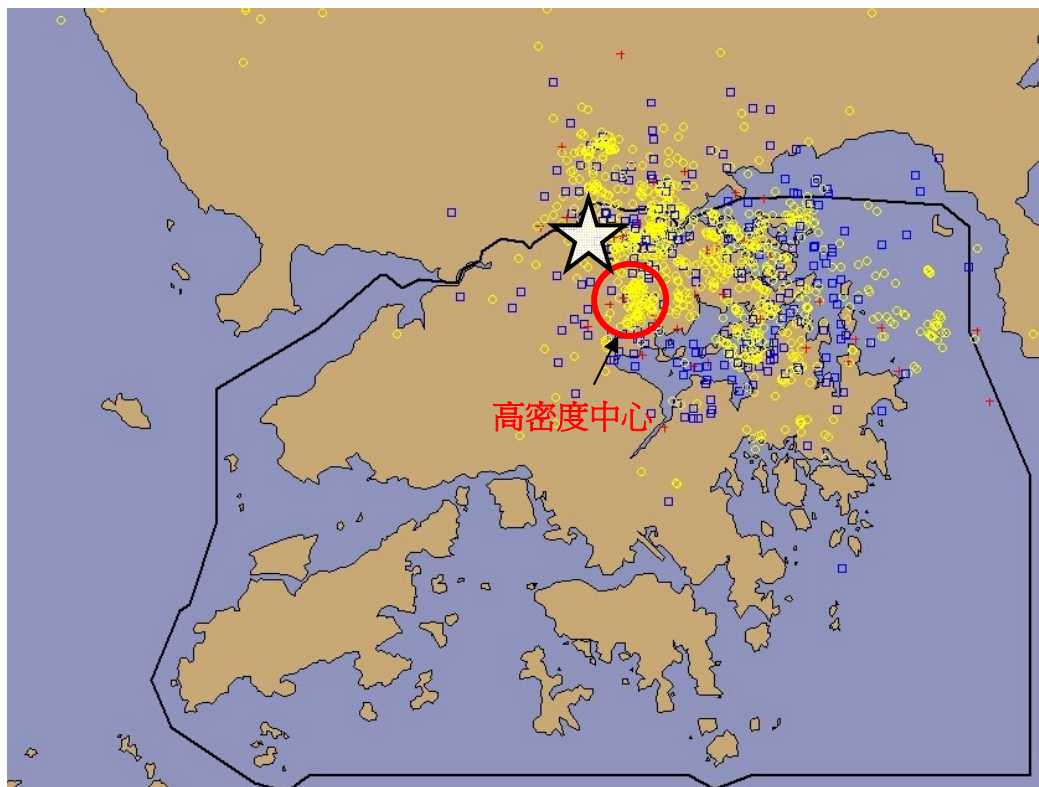
圖十三 二零零八年七月二十七日下午之閃電頻率

1hr Rainfall SUN 2008 JUL 27 1600 HKT
Guangdong AWS (mm)

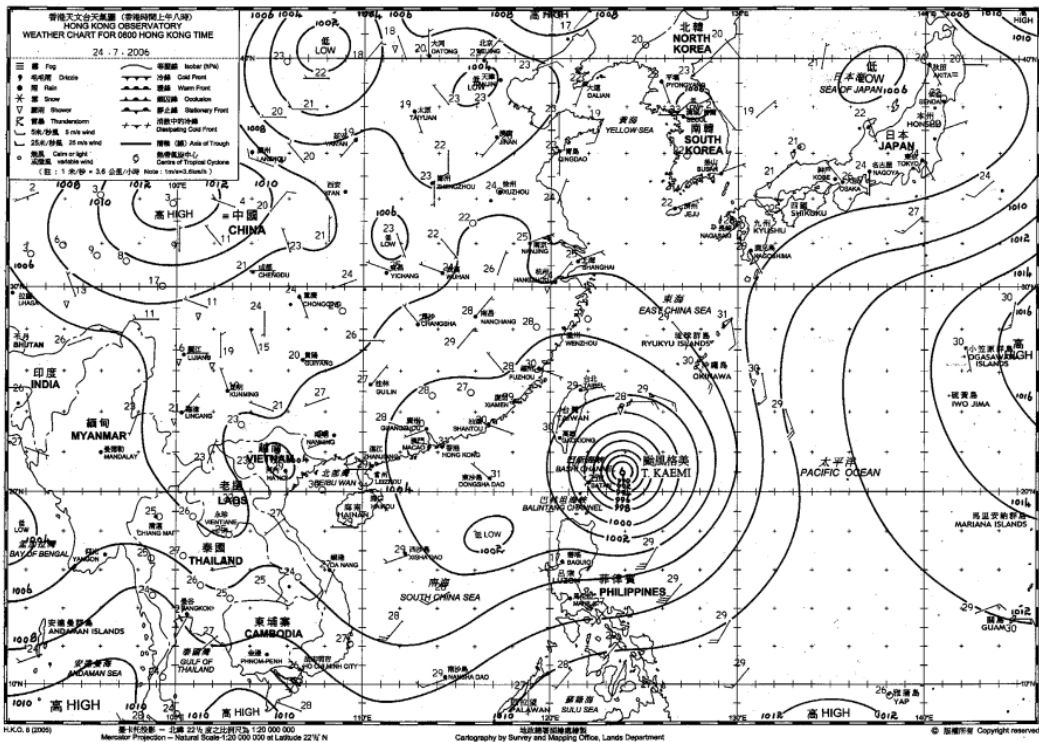
022-024N / 113-115E
Obs. Plotted: 65
Obs. Received: 131
Prepared at 200807 271953



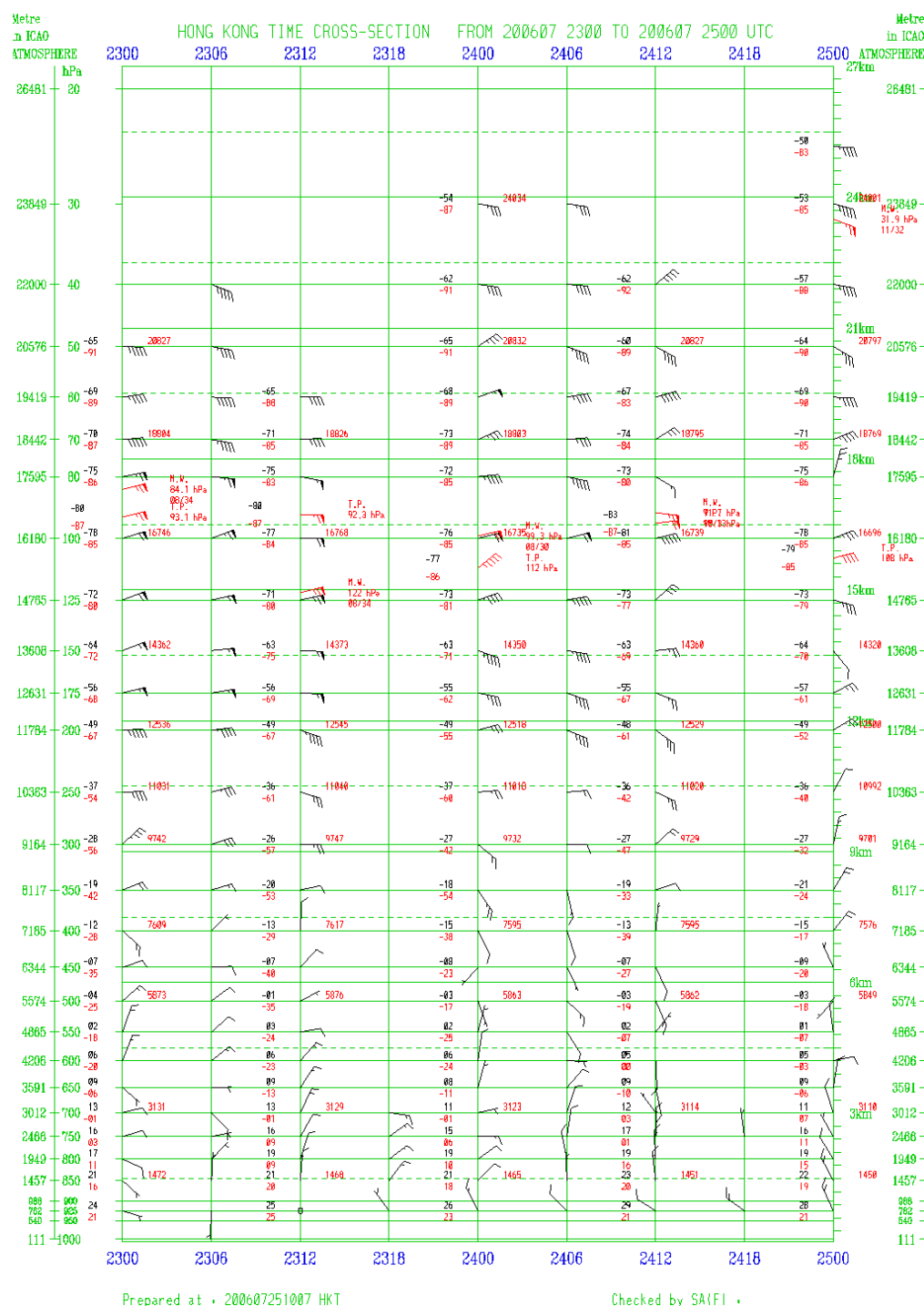
圖十四 二零零八年七月二十七日下午珠江口一帶之雨量分佈圖



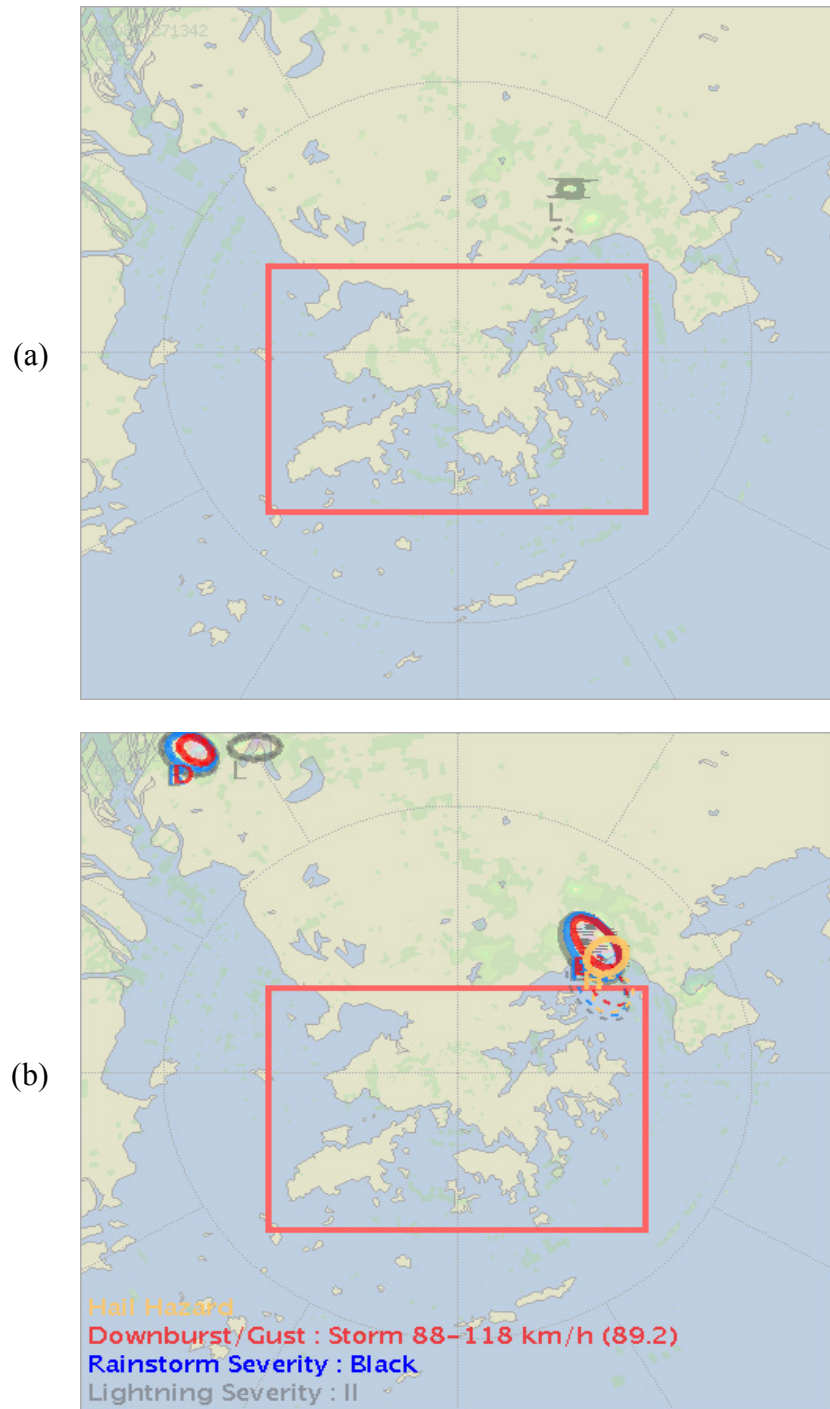
圖十五 二零零八年七月二十七日下午二時五十六分至三時十一分之閃電分佈圖。地圖上星號標示初次出現冰雹的所在地（粉嶺流水響）。



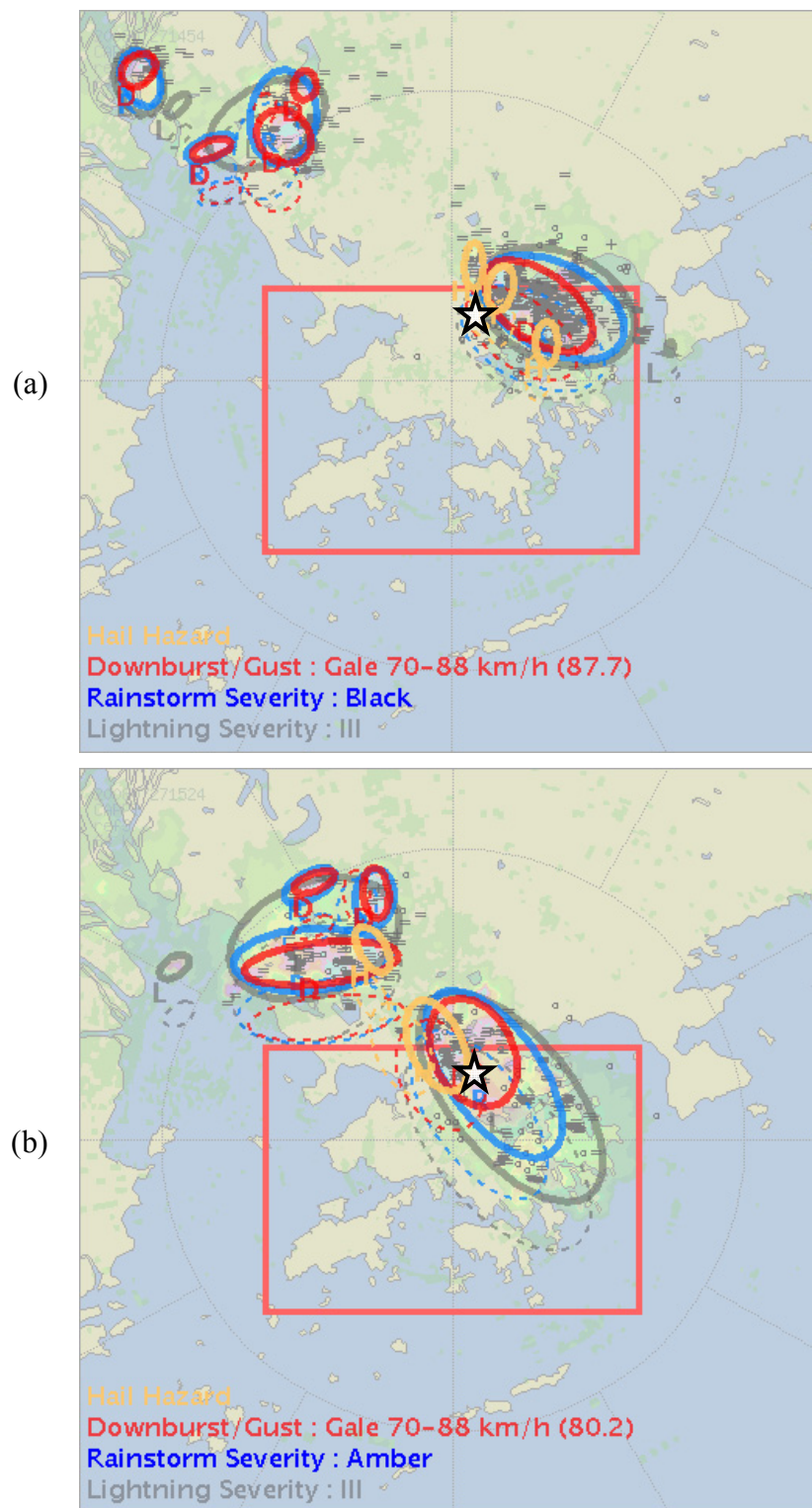
圖十六 二零零六年七月二十四日上午八時之地面氣壓圖



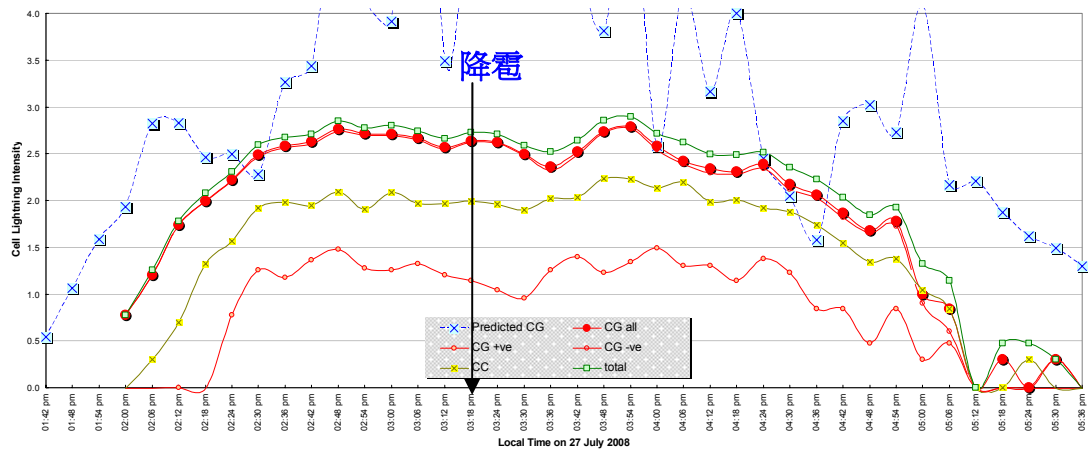
圖十七 二零零六年七月二十四日上午八時前後之時間剖面圖



圖十九 二零零八年七月二十七日下午的雹暴過程中，SWIRLS-2 實時發出的惡劣天氣預測圖時間序列：(a)下午 1 時 42 分，雲地閃電預測第一次發出（實、虛線橢圓分別表示風暴單體的分析及 30 分鐘預測位置；字母“L”代表“lightning”，表示單體有雲地閃電威脅）；(b)下午 2 時正，「冰高」子系統首次識別出位於深圳接近香港邊境的單體為雹暴（橙色橢圓；字母“H”代表“hail”，表示單體具有冰雹威脅；其他圖示與閃電、冰雹單體的描述相類似，不贅）。



圖二十 (接續十九)：(a)下午 2 時 54 分，「冰高」子系統預測電暴單體會採取偏南方向移動，朝著包括香港粉嶺的一帶地區推進；(b)下午 3 時 24 分，電暴單體（香港部分）的分析位置覆蓋粉嶺至新田一帶地區，包括有冰雹報告（下午 3 時 20 分收到）的粉嶺流水響（地圖上星號標記所在地）。



圖二十一 二零零八年七月二十七日下午之閃電強度時間序列。藍底交叉符號 (x) 與紅色實心圓點 (●) 分別表示預報及實況觀測的總雲地閃電強度。