



香港天文台

HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 622

探討閃電位置數據應用在臨近預報的前景

黃秋平、李炳華、李立信

第二十屆粵港澳氣象科技研討會，

中國，澳門，2006年1月18-20日

# 探討閃電位置數據應用在臨近預報的前景

黃秋平 李炳華 李立信

香港天文台

## 摘要

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在 2005 年中投入業務運作，提供該區發生閃電的時間、位置、強度、以及類型，包括雲地閃、正負閃等資料。本文利用該網絡探測到的資料，初步研究珠三角一帶閃電的頻率分佈，及其與不同天氣形勢的相關，並和世界其他地區的觀測結果比較。文章亦討論一些強雷暴個案，並透過閃電頻數與雷達回波參數相關的研究結果，探討閃電數據在臨近預報方面的應用前景。

## **The Potential Application of Lightning Location Data in Nowcasting**

*C P Wong, P W Li and L S Lee*

*Hong Kong Observatory*

### Abstract

The lightning location network set up in the Pearl River Delta area jointly by the weather services of Guangdong, Hong Kong and Macao was put into operation in mid-2005. It provides information on lightning over the region, including time, location, intensity, direction (cloud-to-cloud or cloud-to-ground) and polarity (positive or negative). This paper discusses the preliminary findings on lightning frequency and distribution over the Pearl River Delta and their correlation with synoptic weather patterns. The paper also describes a severe thunderstorm case and explores the potential of applying lightning location data to nowcasting.

## 1. 引言

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在 2005 年中投入業務運作，提供該區發生閃電的時間、位置、強度、以及類型，包括雲地閃、正負閃等資料。閃電定位網利用「到達時間定位」(Time of Arrival)和「方向定位」(Direction Finding)技術探測閃電位置。五個探測站分別位於香港的春坎角、尖鼻咀、沙頭角、廣東的三水及澳門的氹仔(圖 1)。

閃電定位網可以同時探測到雲對地閃電及雲間閃電，由於雲對地閃電的探測效率比較高，而且對地面上的人和物件具破壞力，所以本文的統計分析會集中討論雲對地閃電。另外，文章亦利用強雷暴個案中探測到的閃電數據與雷達回波參數作相關研究，尋求雷達回波參數與閃電發生機率的關係，從而透過預測雷達回波參數的變化，推算出短時的(1 小時以內)定點、定時的閃電概率。

## 2. 閃電統計分析

### 2.1 分析方法

本文選取閃電定位網中心的 100 公里範圍內(圖 1)的雲對地閃電作研究，在此範圍內，網絡的探測效率一般超過 70%，接近中心則逾 90%。首先將網絡從投入業務運作開始(2005 年 6 月 21 日)至 2005 年 12 月 31 日約半年收集到的資料作一整體統計分析，研究閃電的空間密度及閃電次數的月際變化。然後，再按天氣形勢將這些閃電資料分成六大類(見下文 2.4 段)，再根據這些分類作每小時閃電次數、地域分佈及日際變化的統計分析。

### 2.2 閃電空間密度

在這段約半年的期間，在研究範圍內總共錄到超過三十萬次雲對地閃電，閃電空間密度為每平方公里 9.3 次。根據過往香港天文台觀察員的報告，在這段期間平均錄得的閃電日子約佔全年的百分之 60，由此可以推斷珠三角全年的閃電密度應該在每平方公里 15 次左右，這跟在文獻〔1〕中所提到的亞熱帶地區的閃電密度為每年每平方公里約 10 次相若。

### 2.3 閃電次數的月際變化

對這幾個月網絡探測到的閃電次數作出比較，可發現 8 月份探測到的次數最

多(圖 2),而過往香港天文台觀察員報告的平均雷暴及閃電日子也是以 8 月份為最多。另外由於正的閃電一般是源於積雨雲的頂部,襲擊地面的機會率比較小,所以從圖 2 中也可以看到負的閃電次數是正的十多倍。這跟在文獻〔2〕中提到的正負閃電比例相若。

## 2.4 不同天氣形勢底下的每小時閃電次數

接著探討一下在不同天氣形勢下,閃電頻密程度的分別。天氣形勢主要分為六類,分別是稀疏地面等壓線、地面槽性天氣形勢、脊邊輻合效應形勢、偏南或西南氣流、東北季候風、以及其他(包括受到低壓區、熱帶氣旋和高層擾動等形勢)。

表 1 列出各類天氣形勢下每小時閃電次數的中位數及最高值。如果將每小時閃電次數的中位數排序,可以發現地面槽性天氣形勢帶來最多閃電次數,相信與強對流活動有關。而受到低壓區、熱帶氣旋和高層擾動等影響下的天氣形勢排在其後,再其次是偏南或西南氣流、脊邊輻合效應形勢及稀疏地面等壓線形勢。最後是東北季候風形勢,閃電次數最少,相信是因為大氣對流性較弱。

雖然稀疏地面等壓線形勢下產生的閃電次數中位數較低,但這形勢下畢竟曾經出現過每小時閃電次數達一萬多次的紀錄,為眾天氣形勢之首。相信是由於氣壓梯度稀疏,水汽及熱力容易儲存,積雨雲形成後又可停留較長時間,甚至誘發強烈海陸風對流,所以在有些時候能夠帶來較多的閃電。

## 2.5 不同天氣形勢底下閃電的地域分佈

研究地域分佈的方法是把研究範圍劃分成多個 0.1 度 x 0.1 度(即約 11 公里 x 11 公里)的方格,再算出每個方格在這約半年期間的閃電次數。首先,我們看看包括所有天氣形勢日子的閃電總分佈(圖 3),發現雖然各方格內均有閃電記錄,閃電較密集的地方大致沿西北-東南走向。

在不同的天氣形勢底下,由於閃電產生的機制都不相同,閃電的地域分佈也有所差別。其中稀疏地面等壓線、地面槽性天氣形勢及脊邊效應形勢底下的地域分佈特徵比較明顯。圖 4 顯示在稀疏地面等壓線下閃電主要發生在內陸及沿岸。相信是由於在稀疏等壓線下,容易產生海陸風環流和陸地受熱較海洋快而產生熱雷暴有關。圖 4 亦顯示香港西北角閃電比較密集,主要原因是 7 月 20 日晚上的強雷暴所引致。當日地面等壓線稀疏,下午廣東內陸有強烈日照,產生

活躍的雷暴，並隨著西北風於晚上移向香港，與當時出現在該處於 850 百帕層的正渦度區相遇，於是觸發更頻密的閃電，閃電次數是同類型天氣形勢閃電平均次數的大約 4 倍。

在地面槽性天氣形勢底下，閃電主要分佈在沿岸(圖 5)。亦可發現珠江口以西閃電最密集，主要是由 8 月 24 日下午至晚上的強雷暴所引致。如果分析當時的天氣形勢，可發現當日除了受到地面一道低壓槽影響之外，在該處更有一短波掠過 700 百帕層，甚至有一輻散區在 200 百帕高層。當時該處的閃電甚為頻密，其閃電次數是同類型天氣形勢下閃電平均次數的大約 5 倍。

在脊邊輻合效應形勢底下，閃電主要分佈在珠江口以西至西南及香港以南海面上，大致呈一個『L』形狀(圖 6)，相信是因為強對流天氣通常出現在脊的邊沿的輻合區，和雷暴往往跟隨脊邊的氣流向西北或北方向移動有關。至於在偏南或西南氣流天氣形勢、東北季候風、或者受到低壓區、熱帶氣旋和高層擾動等影響下，閃電的出現地方比較隨機，較難概括指出它們的特徵。

## 2.6 不同天氣形勢底下閃電次數的日際變化

閃電次數的日際變化受到季節、地理條件及氣象條件等因素影響。這裡我們主要探討氣象因素。方法是將同一類天氣形勢的日子中，相同小時的閃電次數加起來，看看有沒有明顯的日際變化。其中稀疏地面等壓線及偏南氣流天氣形勢底下的閃電次數日際變化特徵比較明顯。在稀疏等壓線下，閃電活動基本上集中在中午後，晚上最為頻密(圖 7)。在偏南或西南氣流天氣形勢底下，從清晨 5 時開始，閃電次數有開始向上升的趨勢，這吻合一般理解在西南風盛行的日子，日間相對於夜間對流活動較為頻密(圖 8)。

在其餘的天氣形勢下，閃電出現的時間比較隨機，較難概括指出它們的特徵。

## 3. 臨近預報方面的應用

### 3.1 雷達回波參數與閃電的關係

閃電的發生與對流系統的發展有十分密切的關係。利用天氣雷達即時監測、分析雷暴的結構，特別是它的立體結構，能提供閃電發生的可能性。透過分析 2005 年下半年幾個比較活躍的閃電案例中的雷達資料，我們在眾多雷達回波資料中挑選了幾個比較關鍵的特徵參數：雲頂高度 (TOP)、3 公里 CAPPI 反射率

(REF3)、垂直最強反射率 (MAX)、和垂直雲水積分 (VIL)。觀測顯示，越高的雲頂反映越強的對流，從而發生越頻密的閃電〔3〕。同時當雲中的反射率越強，閃電的機會也是越高。另外，閃電的發生與雲水的總量亦有正比的關係。再者，閃電與凝結層以上的反射率強度也有正相關。

雖然凝結層高度隨季節變動，在亞熱帶地區它一般在 3 公里以上。因此 3 公里的高度能粗略反映凝結層附近的對流情況。圖 9 顯示大部分較強的 REF3 位置上都有閃電發生，但也有強的回波沒有發生閃電。類似的情況也同樣反映在 TOP、MAX、和 VIL 上。

雖然以上的雷達回波參數並不能完全確定閃電的發生與否，但經過統一考慮多個參數，我們便能推算閃電發生的可能性。我們分析了一些個案的雲對地閃電和對應的天文台大帽山雷達的雷達回波參數的相關，推算得到以下發生閃電機率的多元線性回歸方程：

$$p = -0.298 - 0.221 \times REF3 + 0.311 \times TOP + 0.340 \times VIL + 0.106 \times MAX$$

其中  $p$  是某雷達回波圖元發生閃電的機率。圖 10 顯示利用這回歸方程推算得到的閃電機率與實況機率的比較，除了個別點偏離對角斜軸外，大部分數據都有很好的相關。相關係數  $r^2$  達到 0.79。

### 3.2 閃電的臨近預報表現

回歸方程提供了雷達回波參數與閃電機率的關係。透過預測雷達回波參數的變化，我們能推算出短時的（1 小時以內）定點、定時的閃電概率。香港天文台的臨近預報系統『小渦旋』利用雷達回波相關追蹤技術 (Tracking Radar Echoes by Correlation, TREC) 〔4〕〔5〕，計算視風場，同時通過積分改良的半拉格朗日 (Modified Semi-Lagrangian) 方程預測回波的移動。我們利用該積分方案，推算 REF3、TOP、MAX、和 VIL 在一小時後的分佈，再透過回歸方程就能估算一小時後在珠三角內發生閃電的概率。圖 11 甲為經過回歸方程計算的閃電概率。所選取的為 2005 年 7 月 20 日晚上 21 時的案例。圖 11 乙為當時『小渦旋』系統分析的 TREC 風場。圖 11 丙為『小渦旋』估計一小時後珠三角區域各地發生閃電的機率。圖 11 丁對應一小時後閃電定位網探測到的閃電分佈。實驗結果顯示預測與實況相當吻合，臨近預報效果相當理想。

## 4. 結論

珠三角一帶閃電頻率的地域分佈及日際變化在不同的天氣形勢底下呈現一

定的特徵。由於自閃電定位網投入業務運作至今所收集到的資料有限，不能太深入探討各種統計數據，我們期望當網絡收集到更多資料時，可以進一步研究珠三角一帶閃電特徵。另外，利用網絡實測到的閃電數據與雷達回波參數作相關研究，推算出閃電發生機率與雷達回波參數的關係，結果顯示，透過雷達回波相關追蹤技術，臨近預報閃電可以產生相當理想的效果。

## 鳴謝

作者感謝潘海濤先生對文章內容的指正。

## 參考文獻

- [1] U. Finke and T. Hauf, 1996: The characteristics of lightning occurrence in Southern Germany. *Contr. Atmos. Phys.* 69, 361-374.
- [2] Richard E. Orville and Gary R. Huffines (2001): Cloud-to-Ground Lightning in the United States: NLDN Results in the First Decade, 1989-98. *Monthly Weather Review*, Volume 129, 1179-1193.
- [3] Lakshmanan, V. and G.J. Stumpf (2005) A Real-time Learning Technique to Predict Cloud-to-Ground Lightning, *Proceed. 4th Conference on Artificial Intelligence Applications to Environmental Science and 21st International Conference on Interactive Information Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology*, San Diego, California.
- [4] Li, P.W. and E.S.T. Lai (2004) Short-range Quantitative Precipitation Forecasting in Hong Kong. *J. Hydrol.* 288, 189-209.
- [5] Li, P.W. and E.S.T. Lai (2004) Applications of Radar-based Nowcasting Techniques for Mesoscale Weather Forecasting in Hong Kong. *Meteorol. Appl.* 11, 253-264.

表 1 各類天氣形勢底下，每小時閃電次數的中位數及最高值（閃電時數越多，閃電次數的中位數越有代表性。）

天氣形勢	閃電時數(小時)	每小時閃電次數的中位數(次)	每小時閃電次數的最高值(次)
地面槽性天氣形勢	188	82	4868
低壓區、熱帶氣旋及高層擾動等形勢	333	49	5654
偏南或西南氣流	178	42	3279
脊邊輻合效應形勢	130	33	1558
稀疏地面等壓線	224	23	16120
東北季候風形勢	24	8	72

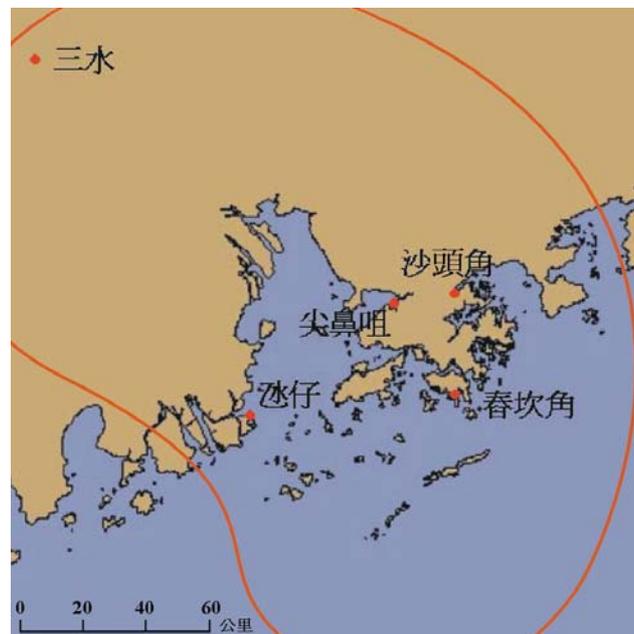


圖 1 閃電探測網絡中心的 100 公里範圍  
(紅線內的探測效率超過 70%，接近中心逾 90%)

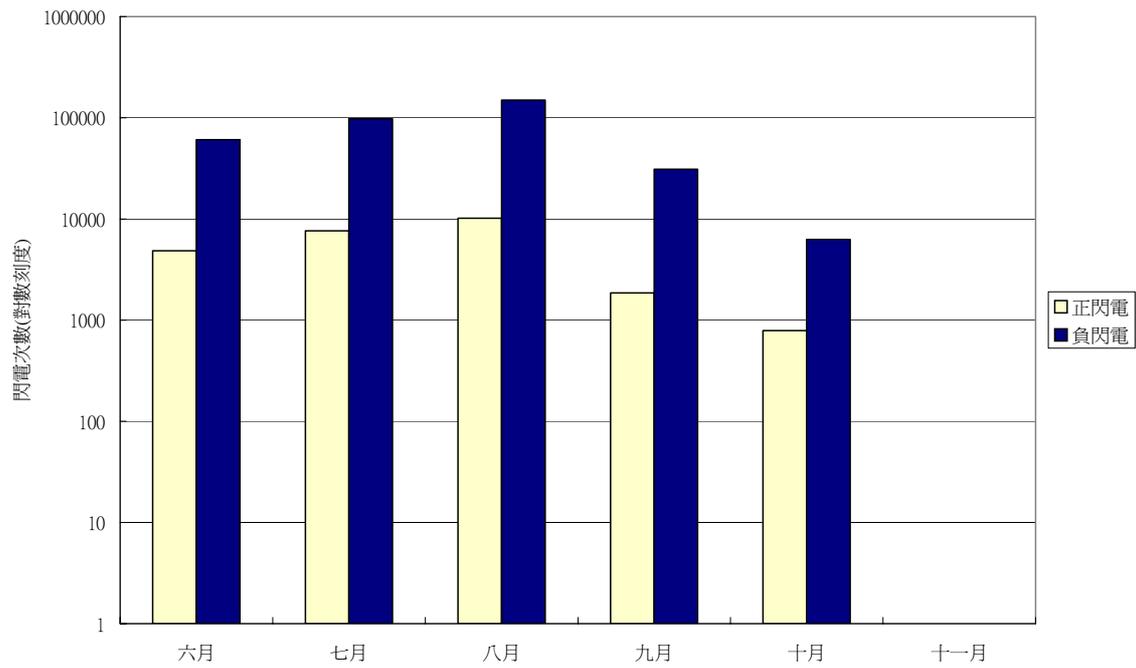


圖 2 不同月份探測到的閃電次數  
 (註：十一月探測到一次閃電，而十二月沒有閃電)

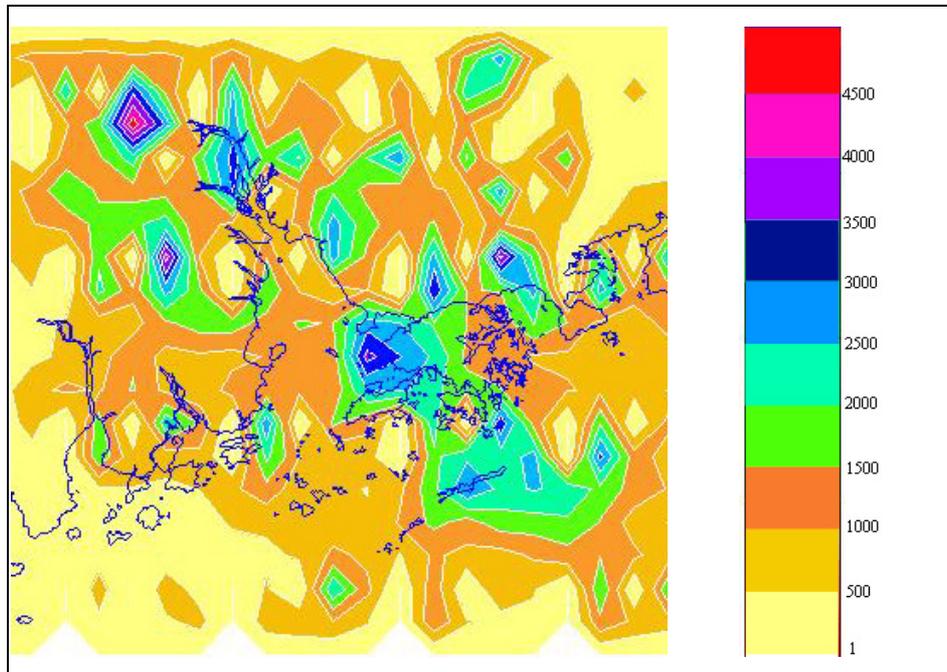


圖 3 整體閃電頻率的地域分佈 [次數/(0.1 度 x 0.1 度)]

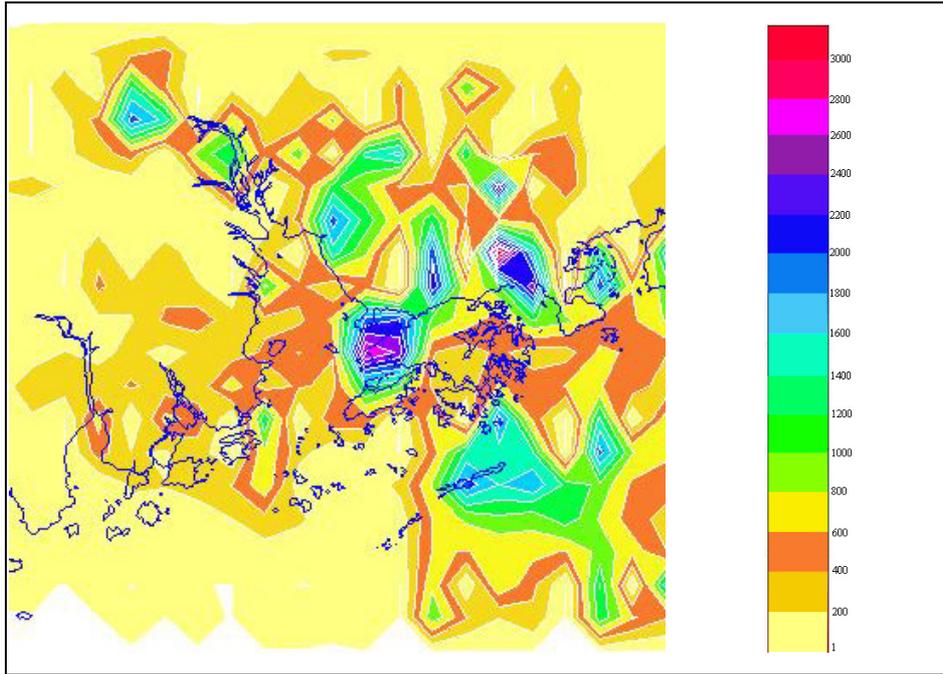


圖 4 稀疏地面等壓線下閃電頻率的地域分佈〔次數/(0.1 度 x 0.1 度)〕

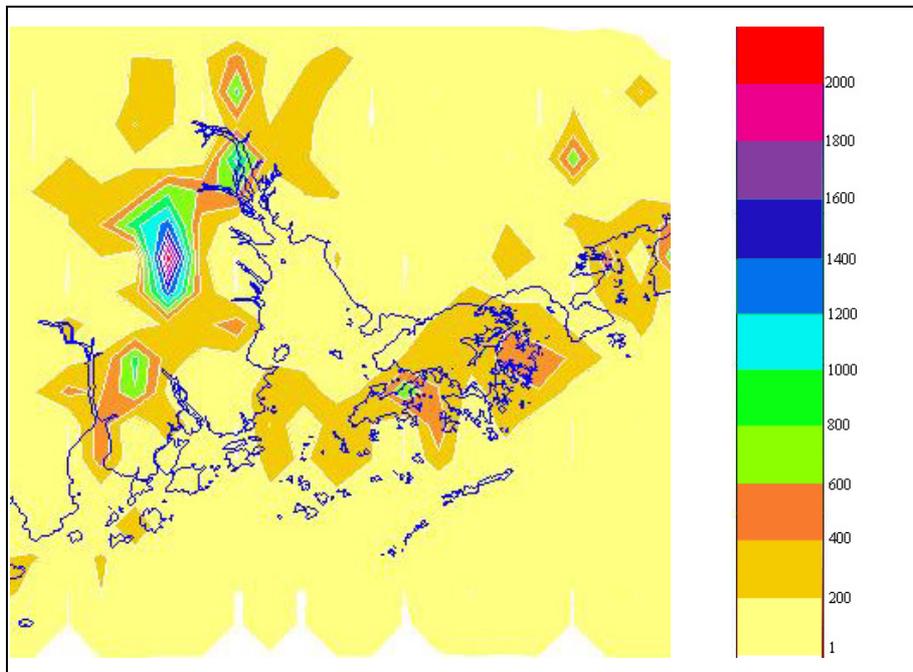


圖 5 地面槽性天氣形勢底下閃電頻率的地域分佈〔次數/(0.1 度 x 0.1 度)〕

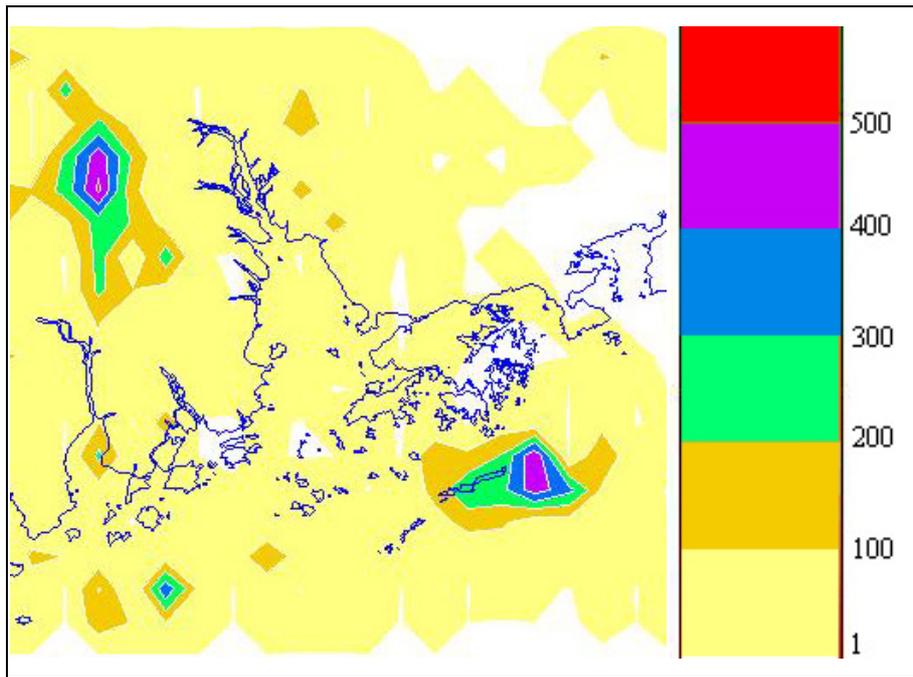


圖 6 脊邊輻合效應形勢底下閃電頻率的地域分佈〔次數/(0.1度 x 0.1度)〕

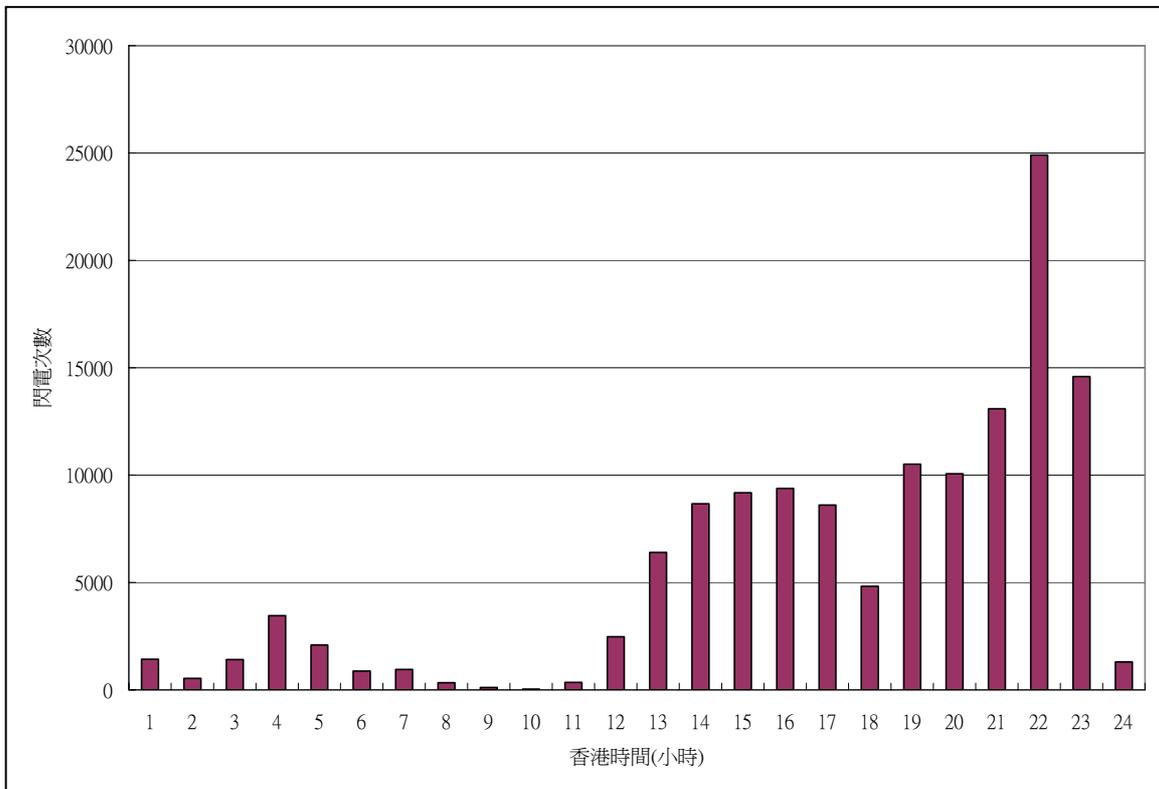


圖 7 稀疏地面等壓線下閃電頻率的日際變化

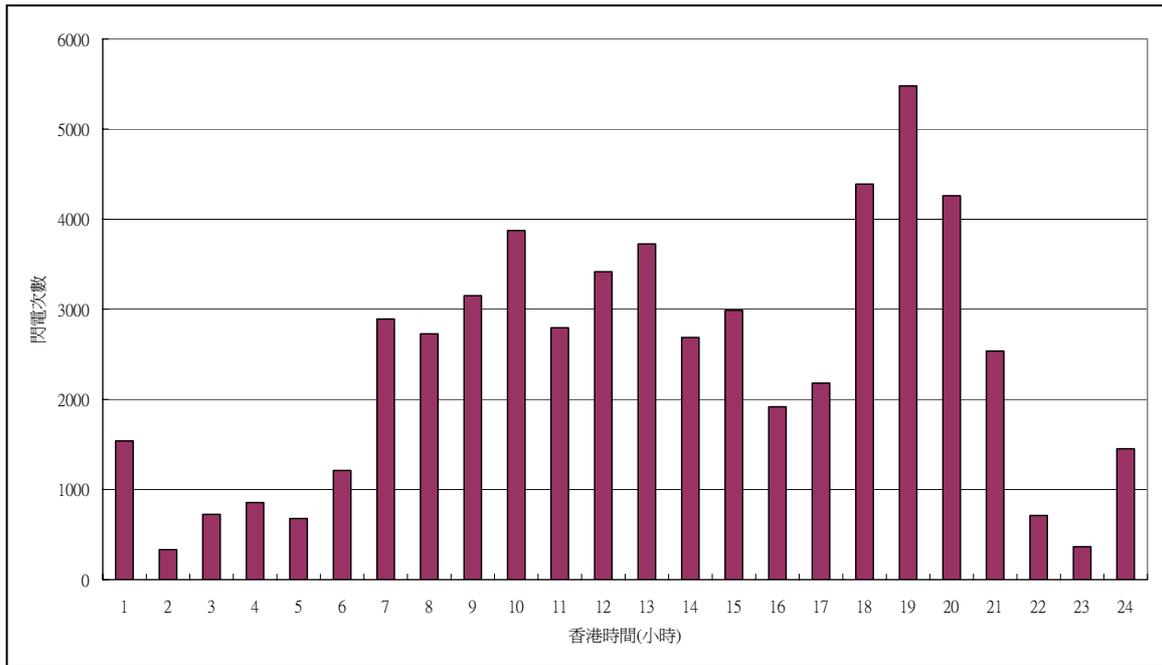


圖 8 偏南或西南氣流天氣形勢底下閃電頻率的日際變化

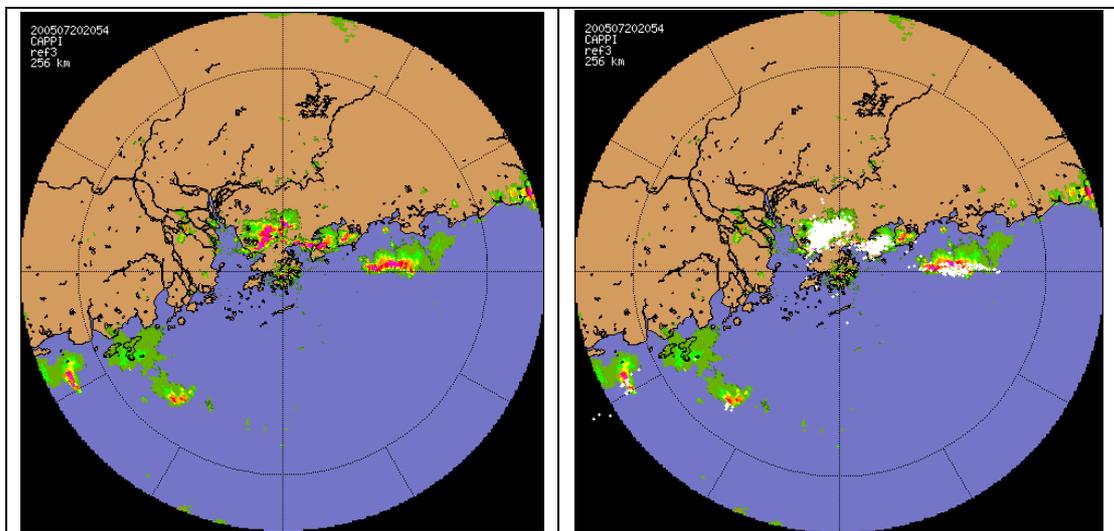


圖 9 甲 3 公里 CAPPI 雷達反射率。圖中顯示的是 2005 年 7 月 20 日的案例。

圖 9 乙 與圖 9 甲同一案例，白點顯示閃電定位網探測到發生閃電的位置，這些位置一般重疊在較強的回波上。

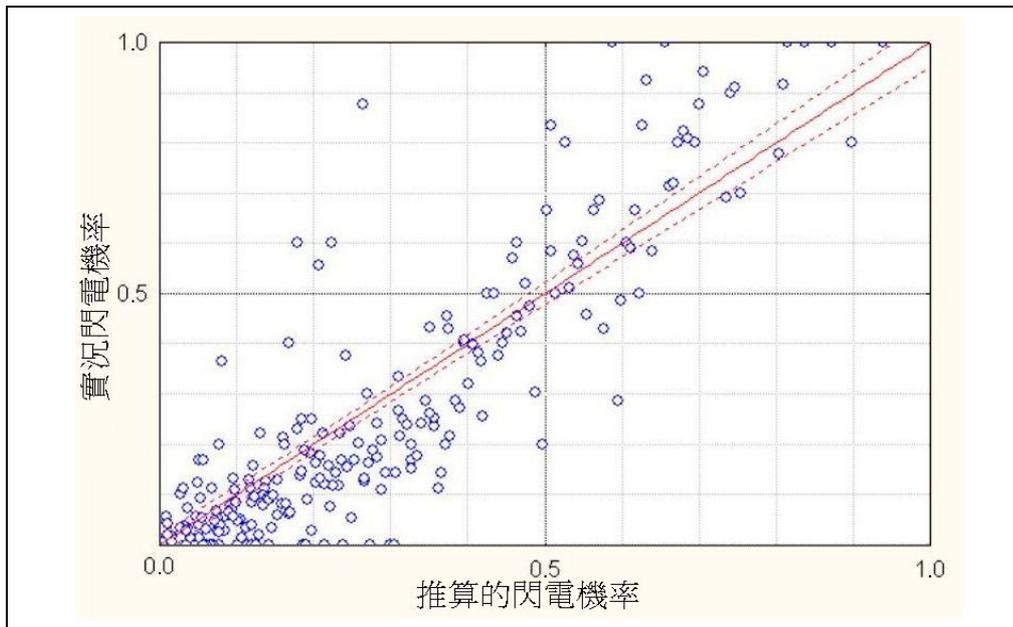


圖 10 利用回歸方程推算的閃電機率與實況機率的相關。

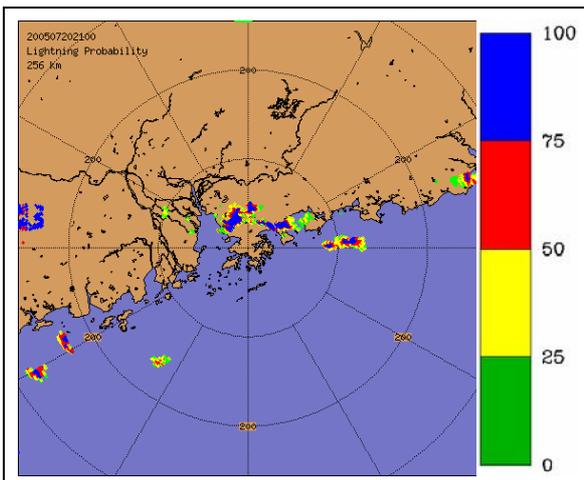


圖 11 甲 2005 年 7 月 20 日 21 時閃電發生的概率。

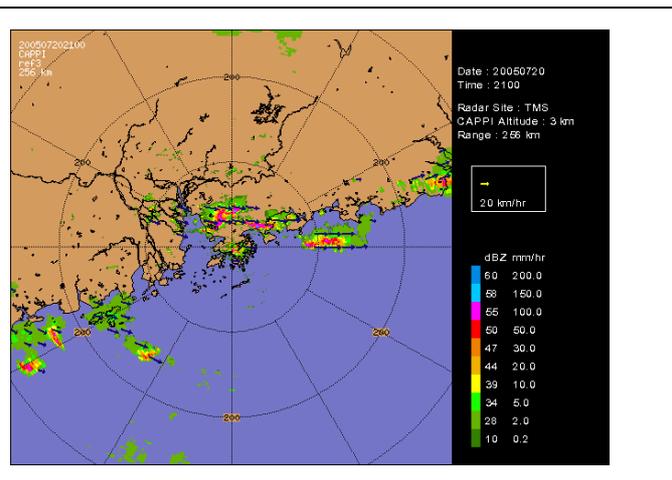


圖 11 乙 與圖 11 甲同時的『小渦旋』分析的 TREC 風場。

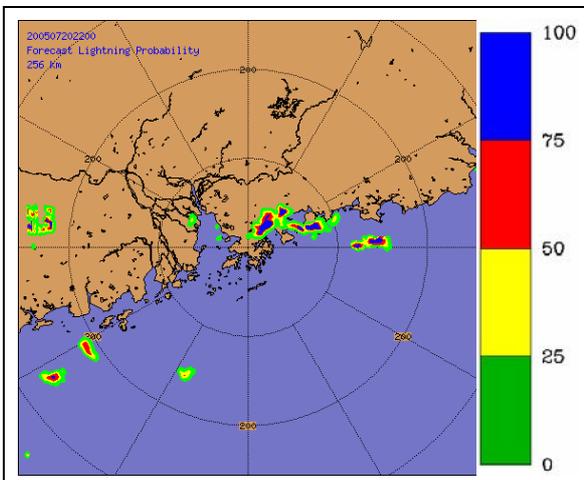


圖 11 丙 預測一小時閃電的概率分佈。

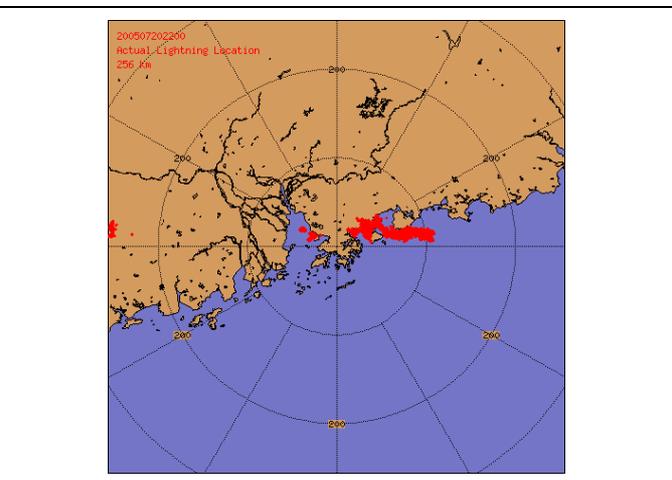


圖 11 丁 一小時後(22 時)閃電的實況分佈。