



香港天文台

HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 428

「小渦旋」－1999 及 2000 年暴雨驗證及最新發展策略

黎守德，李炳華

第十五屆粵港澳重要天氣研討會，

香港，中國，二零零一年二月十四至十六日

SWIRLS - Rainstorm Verification for 1999-2000 and Latest Development Strategies

Edwin ST Lai and PW Li

Hong Kong Observatory
134A Nathan Road, Tsimshatsui, Kowloon.

Abstract

SWIRLS (Short-range Warning of Intense Rainstorms in Localized Systems), the nowcasting system of the Hong Kong Observatory, started operation in the rain season of 1999. In the first phase, available applications are mainly radar-based techniques. Wind fields and precipitation patterns are frequently updated based on the latest radar information. Timing of rain events and rainfall prediction are primarily obtained through extrapolation. In this study, objective verification results are presented for the rainstorm cases in 1999 and 2000. Preliminary analyses show that for less intense rainstorms (30 - 50 mm per hour) and relative little changes in echo intensity, SWIRLS' performance is generally acceptable. But for severe rainstorms (50 mm per hour or more) when echo intensity fluctuates drastically, the rainfall prediction skills become rather limited.

The major target in the future development of SWIRLS is to capture the short-term changes that favour enhanced convection. Pattern recognition techniques as applied to radar echo maps are under study and trial. The first step is to monitor and depict the formation and evolution of merging rainbands. From such identified patterns, we aim to provide objective guidances on the likelihood of extreme rainfall in terms of both onset timing and location. Another research initiative is to combine high-resolution model outputs with mesoscale observations for frequently updated local-scale wind field and weather pattern analyses. From such analyses, we will attempt to derive forecast criteria on dynamic and instability mechanisms for the prediction of severe convective development.

「小渦旋」- 1999 及 2000 年暴雨驗證及最新發展策略

黎守德 李炳華

香港天文台
九龍尖沙咀彌敦道 134A

摘要

香港天文台的「小渦旋」(SWIRLS - Short-range Warning of Intense Rainstorms in Localized Systems)臨近預報系統，第一階段以雷達為基礎的應用程式已在 1999 年度雨季正式投入業務運作。系統利用氣象雷達探測所得的資料，不斷更新風場和降雨形勢的分析，外推及計算雨雲的到達時間和降雨量。本文就 1999 及 2000 年的暴雨個案提供了客觀驗證結果，初步分析顯示「小渦旋」在捕捉一般暴雨(每小時 30 - 50 毫米)或回波強度變化較少的對流過程表現尚好，但在特大暴雨(每小時超過 50 毫米)時，回波強度變化急劇，處理降雨預報的手段便顯得捉襟見肘。

在「小渦旋」的未來發展計劃中，主要目標是更有效地掌握有利於對流發展的瞬時變化。雷達回波圖型識別技術已在研究及試驗階段，第一步是實時監察交疊雨帶的產生和演變，希望藉此再進而為預報員提供暴雨衍生和落區的客觀指引。另外一個科研方向是結合高分辨率數值模式和中尺度觀測數據，進行密集的局地流場及天氣形勢分析，針對強烈對流發展的動力成因及不穩定度訂定有參考價值的預報指標。

1. 引言

香港夏天的暴雨和西南季候風、季風槽及熱帶氣旋有著密切的關係。天文台的暴雨警告系統分三級，以境內十個或以上雨量站的滾動過去一小時數據作為指標，超過 30 毫米為黃色暴雨，超過 50 毫米為紅色暴雨，而超過 70 毫米則為黑色暴雨。礙於預報的難度，目前的警告系統以反映實況為大前題，預警成分較少。

數值模式的定量雨量預報仍然是一個較為難於掌握的課題，預報數值普遍偏少，因此對於捕捉暴雨過程往往是事與願違。「小渦旋」臨近預報系統則試圖彌補這方面的不足，系統的其中一個主要目標，就是多利用氣象雷達探測所得的資料，不斷更新風場和降雨形勢的分析，再藉此作出短時效的推斷和降雨預報。傳統的方法，是追蹤個別回波單體(TREC - Tracking of Radar Echoes by Correlation)，利用既定的 Z - R 公式(例如 Marshall-Palmer 程式)，外推及計算雨雲的到達時間和降雨量。SWIRLS 則嘗試在 TREC 的基礎上，再加上整個對流系統移向的考慮，並根據香港境內雨量站數據，求得最配合當時情況的 Z -

R 方程，而隨著每五分鐘傳送的實時資料，不斷更新業務應用的 Z - R 方程，務求令短時間降水預報有更佳的效果。有需要的話，更可把所求得的 Z - R 方程，保留給下一次天氣過程沿用，作為初估相關程式。有關系統設計較詳細的討論，可參考文獻[1]。

2. 1999/2000 年暴雨個案驗證

經歷了 1999 及 2000 年兩個雨季，我們利用以下四種評分法衡量「小渦旋」在暴雨預警方面的表現：NAP (No Alarm Probability)、FAR (False Alarm Rate)、CSI (Critical Success Index)和 HSI (Heidke Skill Index)。這些評分法的計算程式分別是：

$$\text{NAP} = \text{NY} / (\text{YY} + \text{NY})$$

$$\text{FAR} = \text{YN} / (\text{YY} + \text{YN})$$

$$\text{CSI} = \text{YY} / (\text{YY} + \text{NY} + \text{YN})$$

$$\text{HSI} = [(\text{YY} + \text{NN}) - \text{F}] / [(\text{YY} + \text{NY} + \text{YN} + \text{NN}) - \text{F}]$$

Y 表示達到警報指標，而 N 表示沒有達到警報指標。每一對字母的左邊是「小渦旋」的預報，右邊是實況(見表一的列聯表)。例如 YN 的意思是：「小渦旋」預報一小時後雨量將會達到警報指標，但實況卻是沒有達到警報指標。如此類推，NAP 便是漏報率，FAR 是虛報率，CSI 是針對在有雨情況下「小渦旋」預報的成功率，而 HSI 則進一步與其他有關的預報技術(F)作出比較，我們採用了隨機預報作為評核標準，其計算方式是：

$$\text{F} = [(\text{YY} + \text{NY}) * (\text{YY} + \text{YN}) + (\text{YN} + \text{NN}) * (\text{NY} + \text{NN})] / (\text{YY} + \text{NY} + \text{YN} + \text{NN})$$

穩健可靠的暴雨預報，NAP 和 FAR 的數值都要偏低，CSI 的數值則要偏高，而 HSI 的數值應該是一個正數。

	實況達到警報指標(Y)	實況沒有達到警報指標(N)
「小渦旋」預報一小時後雨量將會達到警報指標(Y)	YY	YN
「小渦旋」預報一小時後雨量不會達到警報指標(N)	NY	NN

表一 各種評分法所採用的預報驗證列聯表

1999 年的暴雨案例大多數是和吹襲香港的四個熱帶氣旋(9903 瑪姬、9910 森姆、9915 約克和 9919 錦雯)有關。驗證的時段是熱帶氣旋掠過香港期間的四小時，「小渦旋」根據每六分鐘的雷達資料，每小時有 10 次預報，每個熱帶氣旋共有 40 次預報。但由於部分資料不全，四個熱帶氣旋合共的預報驗證祇有 143 次。

2000 年的暴雨案例則大多數是和熱帶氣旋無關。我們挑選了資料較為齊全的暴雨過程，從四月初到八月底共 10 個案例，進行驗證(詳列於附錄)。縱然個別暴雨過程有長有短，驗證時段一律為暴雨發生前後共 24 小時(240 次預報)。在 10 個案例中，有五個達到或幾乎達到 240 次預報，而最短的個案也有 118 次預報(即接近一半)。整個雨季的預報驗證總數是 2,029 次。

由於每年黑色及紅色暴雨的案例祇有寥寥幾個，統計結果的意義也不大，故此我們在現階段集中以黃色暴雨(每小時 30 毫米)作為驗證的目標。另外，一些較寬鬆的雨量指標之預報表現，對預報員在發出黃色暴雨前的部署亦可能有所幫助，所以我們也以每小時 20 毫米(姑且稱為“綠色暴雨”)作為一個預警指標進行驗證。表二比較「小渦旋」在 1999 及 2000 年兩個雨季的暴雨預報表現，粗斜體數字凸顯 2000 年較 1999 年優勝的評分結果。

		“綠色暴雨” 每小時 20 毫米		黃色暴雨 每小時 30 毫米	
		1999	2000	1999	2000
10 個雨量站 達到警報指標	NAP	0.58	0.71	0.83	0.78
	FAR	0.70	0.60	0.75	0.52
	CSI	0.21	0.21	0.11	0.18
	HSI	0.12	0.28	0.05	0.23

表二 「小渦旋」暴雨預報客觀驗證評分

單從評分數字看，整體表現還是未乎理想，漏報率及虛報率皆偏高，成功率偏低，但總比隨機預報稍勝。2000 年的表現似乎較 1999 年好，但這可能是由於 1999 年還未曾實行全面的客觀驗證，預報驗證次數遠較 2000 年為少，因此某些預報嚴重失誤的例子(NAP=1; FAR=1; CSI=0; HSI < 0)所存留的負面影響也相對地較大，拉低整體的評分結果。

個別案例的評分結果差別可以很大，2000 年 5 月 25 日的黃色暴雨是較為成功的例子，漏報率及虛報率分別祇有 0.15 及 0.08，CSI 及 HSI 則分別達到 0.79 及 0.87 的高水平。作為一個初步判斷，「小渦旋」揉合雷達和雨量站資料以平流外推所得出的雨量預報，是有其基本的功能與價值，在處理變化較少的降雨過程時表現還不錯，但對於變數較大的情況，其可靠程度也相應地降低。由此推想，要有效地掌握紅色及黑色暴雨，「小渦旋」還有一大段路要走。

以上討論的客觀驗證評分，要求頗為嚴苛，早報或遲報六分鐘(一幅雷達圖像的更新

時間)皆不能接受。我們也曾經嘗試把可接受的預報時效放寬(譬如早報或遲報以不超過 30 分鐘為限)，但整體分數並沒有顯著的改善，顯示失誤的主要原因不在於時間上的掌握欠準。

「小渦旋」面對的其中一個棘手問題是大雨落區短時間內的轉移。香港地小山多，三面環海，海岸線更是迂迴曲折，地形本身對雨雲發展構成一定的影響，而雨量站的分佈也是極不均勻，祇要偏差數公里，大雨便下在偏僻的山區或缺乏觀測資料的海面上，避過驗證所要求的 10 個雨量站。換句話說，縱然「小渦旋」所預報的暴雨確實在香港境內出現，但如果大雨落區的重心稍為偏離到雨量站網絡的覆蓋範圍外，在現行的驗證制度下「小渦旋」的預報便會顯得徒勞無功。

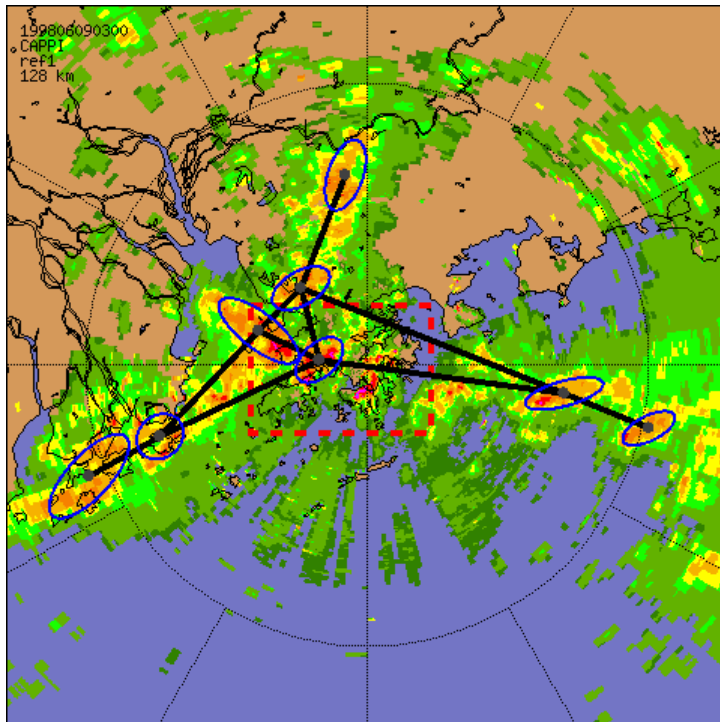
另一項假設是在外推過程中回波的強度維持不變，雖然這個做法似乎是把一個頗為複雜的問題過度簡化，但卻有助保持預報的連續性，在處理回波強度變化未有突破性進展前，仍不失為一個較為穩健的短時效預報策略(文獻[2])。

3. 「小渦旋」未來的發展策略

「小渦旋」要在暴雨預報方面取得進展，便須要對症下藥，找出有利於局地對流活動加劇的天氣元素，及更具體地掌握雨雲細胞盛衰的強度演變過程。

常用的天氣尺度分析，無論時間或空間的分辨率皆不足以反映中尺度以下的造雨機制及地區性的天氣特徵。「小渦旋」的其中一個發展目標便是與數值模式接軌，利用模式的預報資料作為背景場，再根據中尺度自動站網絡的觀測和其他實時的遙感數據，進行資料同化及更精細的本地區域天氣形勢分析。這類分析可以逐小時頻密地更新，讓預報員有機會在暴雨出現在雷達屏幕前，能夠事先掌握有利於對流活動加劇的天氣狀況。

「小渦旋」最新版本增加了 GTrack (Group Tracking) 的功能，利用自動化電腦程式追蹤回波群組的移動走向，並監察回波的分佈是否有連在一線的傾向(圖一)。這些訊息可以幫助預報員察覺隱藏而不明顯的幅合帶，並從中判斷是否會出現因交疊雨帶而激發的暴雨(文獻[3])。進一步的目標是希望電腦能夠自動辨別有潛在暴雨危機的雷達回波圖像，在這方面我們已開展了一套神經網絡軟件，作為圖型識別技術的研究工具。在未來數年，我們會積極儲備暴雨過程的雷達圖像，作為發展神經網絡所需要的訓練材料。



圖一 「小渦旋」的 GTrack 分析顯示 1998 年 6 月 9 日在香港附近出現交疊雨帶的情況。

參考文獻

- [1] Li, P. W., W. K. Wong, K. Y. Chan and Edwin S. T. Lai, 2000: SWIRLS - An Evolving Nowcasting System, *Technical Note*, **100**, Hong Kong Observatory.
- [2] Lai, Edwin S. T. and P. W. Li, 1999: Preliminary Performance Evaluation of A Rainstorm Nowcasting System, *Proceedings of the 4th East Asia Western Pacific Meteorology and Climate Conference*, Huangzhou, (in press).
- [3] 李炳華、黎守德, 交疊雨帶和幅合線上強對流的雷達觀測分析, 全國季風與暴雨科學討論會, 珠海 (2000)。

附錄

暴雨發生日期	綠色暴雨 (20-30 毫米/時)				黃色暴雨 (30 - 50 毫米/時)				預測次數	附註
	NAP	FAR	CSI	HSI	NAP	FAR	CSI	HSI		
20000403	0.55	0.52	0.30	0.39	0.83	0.00	0.17	0.26	237	預測到黃色暴雨
20000423	0.93	0.89	0.05	0.04	0.73	0.86	0.10	0.13	238	預測到黃色暴雨
20000510	0.73	0.40	0.23	0.34	1.00	0.00	0.00	0.00	191	漏報
20000525	0.60	0.60	0.25	0.37	0.15	0.08	0.79	0.87	123	預測到黃色暴雨
20000618	0.77	0.79	0.12	0.12	1.00	1.00	0.00	-0.05	118	預測過早
20000801	0.72	0.71	0.17	0.22	1.00	1.00	0.00	-0.03	201	預測時間與實況發生時間不吻合
20000803	0.94	0.91	0.04	0.01	0.86	0.67	0.11	0.19	240	預測到黃色暴雨(但虛報紅色暴雨)
20000804	0.69	0.50	0.24	0.35	1.00	1.00	0.00	-0.01	240	漏報
20000826	0.62	0.57	0.25	0.38	0.55	0.38	0.36	0.50	201	預測到黃色(和紅色)暴雨
20000827	0.53	0.12	0.44	0.59	0.69	0.20	0.29	0.43	240	預測到黃色暴雨(但虛報紅色和黑色暴雨)
平均=	0.71	0.60	0.21	0.28	0.78	0.52	0.18	0.23		
標準差=	0.14	0.24	0.12	0.18	0.27	0.43	0.25	0.30		
最小值=	0.53	0.12	0.04	0.01	0.15	0.00	0.00	-0.05		
最高值=	0.94	0.91	0.44	0.59	1.00	1.00	0.79	0.87		