



香港天文台
HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 492

臨近預報在香港『山泥傾瀉警告』中的應用

陳建宇，李炳華

第十七屆粵港澳氣象科技研討會報告，

中國，澳門，2003年1月22-23日

臨近預報在香港『山泥傾瀉警告』中的應用

陳建宇 李炳華

香港天文台

摘要

香港天文台和土力工程處自八十年代初期開始共同運作『山泥傾瀉警告』，提醒市民防備因持續降雨所引發的塌坡危險，發出警告的指標主要基於各區的廿四小時累積雨量。該指標在 2000 年加入了預測成分，藉以產生預警的功效。因應新指標運作的要求，天文台需要作出三小時的定量雨量預測，定量預測的基礎是臨近預報系統『小渦旋』(SWIRLS)。

『小渦旋』主要倚靠實時雷達和雨量數據融合而成的降雨強度分析，以外推方法預測未來數小時的雨量分佈。這篇文章的目的是回顧『小渦旋』在『山泥傾瀉警告』業務運作方面的成效。2001 和 2002 年的驗證結果十分理想，不過仍有個別案例的虛報，有待進一步改善。

Nowcasting Applications for operating

Landslip Warnings in Hong Kong

K.Y. Chan

P.W. Li

Hong Kong Observatory

Abstract

Since the early 1980s, the Hong Kong Observatory and the Geotechnical Engineering Office have been jointly operating the Landslip Warning System to alert the public on the danger of landslips in prolonged heavy rain. The issuance criteria are mainly based on the 24-hour accumulated rainfall. To give lead time to the warning, the issuance criteria were revised in 2000 to introduce a forecast component. Under the new criteria, the Observatory is committed to provide 3-hour quantitative precipitation forecast (QPF) for the territory. This is done mainly through the nowcasting system, SWIRLS (Short-range Warning of Intense Rainstorms in Localized Systems).

SWIRLS QPF is based mainly on rain intensity analysis from the merging of real-time radar and raingauge data. Estimation of rainfall distribution in the next few hours is obtained by extrapolation of echo movement. This paper aims to review the operational effectiveness of SWIRLS in the context of Landslip Warnings. Although forecast performance as indicated by the verification statistics in 2001 and 2002 is extremely satisfactory, limitations that lead to the false alarms in individual cases still need to be overcome.

臨近預報在香港『山泥傾瀉警告』中的應用

陳建宇 李炳華

香港天文台

1. 引言

本港的山泥傾瀉大多由豪雨引起。嚴重的山泥傾瀉，足以造成人命傷亡、建築物損毀以及道路受阻等災害。香港天文台和土力工程處共同運作的『山泥傾瀉警告』，旨在提醒市民防備因持續降雨所引發的塌坡危險。以前，若市區廣泛地區的廿四小時降雨量超過175毫米，或任何一個在九龍或港島的雨量計的一小時降雨量超過70毫米，香港天文台聯同土力工程處便會考慮發出山泥傾瀉警告。早期發出警告的目的是預警察屋居民以減低山泥傾瀉對他們的威脅。時至今日，寮屋數目已大大減少，發出警告的目的轉為提醒市民防備塌坡的危險。同時，根據不斷累積的大雨和山泥傾瀉的數據和更深入的研究，顯示發生塌坡的因素在過去廿十年已有不少的改變。基於發出警告目的的轉變、發生山泥傾瀉原因的改變、自動雨量計網絡覆蓋範圍的改善等，有需要發展一套更完善的山泥傾瀉警告指標。

2. 新的『山泥傾瀉警告』指標

新的指標除了考慮山泥傾瀉與雨量的關係外，還引入地域性差異的因子。圖一是1982至1997年香港境內山泥傾瀉出現次數的空間分佈圖。圖中顯示各區山泥傾瀉出現的次數存在很大的差異。山泥傾瀉集中在香港島及九龍，新界區出現山泥傾瀉的次數遠為少。為反映這差異，在新的指標下，每一雨量計有一定的『有效面積』(vulnerable area)。『有效面積』越大，代表在該雨量計附近發生山泥傾瀉的統計次數越多。另外，土力工程處根據1984至1996年的山泥傾瀉個案作了統計分析，發現發生山泥傾瀉與一小時雨量關係不明顯，但與廿四小時累積雨量有很大的相關性。當廿四小時累積雨量少於100毫米時，發生山泥傾瀉的次數幾乎等於零。但當廿四小時累積雨量多於100毫米時，山泥傾瀉出現的次數與廿四小時累積雨量有很大的正相關。綜合而言，山泥傾瀉出現的次數與廿四小時累積雨量和『有效面積』兩者都有關係。圖二是統計研究所得，當總雨量超過100毫米時，廿四小時累積雨量在一定『有效面積』配合下與山泥傾瀉出現次數的關係。根據此關係，可計算個別雨量計在一定雨量下預計出現山泥傾瀉

的次數。如果把全部雨量計預計出現山泥傾瀉的次數相加，便可得出全港預計發生山泥傾瀉的總數。當預計山泥傾瀉總數達15次或以上時，即達到警告水平。有關廿四小時雨量指標較詳細的討論，可參考文獻[1]。

3. 『小渦旋』三小時定量雨量預測

為了引入預警功能，發出山泥傾瀉警告的指標在2000年加入三小時的雨量預測成分。在業務運作中，上一節提到的廿四小時累積雨量以過去廿一小時各雨量計錄得的實際雨量及未來三小時的預計雨量代替。天文台則利用臨近預報系統『小渦旋』(SWIRLS) 提供未來三小時的定量雨量預測。

『小渦旋』透過雷達回波相關追蹤技術(TREC)，分析從氣象雷達探測所得的回波，並追蹤及預測個別雨雲單體的移動路徑和強度變化。再利用香港境內密集的地面實測雨量數據，不斷訂正雷達回波與降雨量的關係。同時以外推方法預測未來數小時內的雨量分佈。有關該系統設計的詳情，可參考文獻[2]。藉過去廿一小時各雨量計錄得的累積雨量，以及『小渦旋』預計未來三小時的雨量，根據圖二的關係，若從總雨量計算所得的預計山泥傾瀉總數達15次或以上時，『小渦旋』便會顯示警報圖像提醒預報員關於山泥傾瀉的危險(圖三)。

圖四及圖五分別是在2001年9月1日發生的山泥傾瀉個案中的廿一小時累積雨量及『小渦旋』預報未來三小時的定量雨量分佈。在該個案中，『小渦旋』在下午21時54分預測將有15次山泥傾瀉出現，實況雨量則在下午22時20分達到指標，顯示『小渦旋』在該個案中有大概半小時的預警時效。

4. 2001/2002 年個案驗證及討論

我們以每個個案首次達到廿四小時雨量指標的時間（定義為參考 1)及天氣預測總部發出山泥傾瀉警告的時間（定義為參考 2) 與『小渦旋』首次發出警報的時間作比較，以衡量『小渦旋』在預警山泥傾瀉的表現。與廿四小時雨量指標作比較，可以客觀評估『小渦旋』的表現。而與預測總部發出的警告作比較，則可以評估『小渦旋』在業務運作『山泥傾瀉警告』方面的成效。

2001及2002年的驗證包括：

- (i) 所有實況達到廿四小時雨量指標的個案；

- (ii) 天氣預測總部曾發出警告的個案；及
- (iii) 『小渦旋』曾發出警報的個案。

在2001年及2002年內分別有10個及5個驗證個案，預報驗證總數是15次。

表一臚列該15個個案有關的資料，包括當實況達到廿四小時雨量指標的時間、預測總部發出警告的時間及『小渦旋』發出警報的時間。從表一可見，若以『小渦旋』有沒有發出警報作為驗證準則時，『小渦旋』在預報山泥傾瀉警告方面的整體表現十分理想，『小渦旋』無論相對參考1及2均沒有漏報任何一個個案，而相對參考1只有1次的虛報。不過『小渦旋』仍有個別案例的遲報(遲報的個案在表內以粗斜體字顯示)。若我們以『小渦旋』遲報的個案為失敗的個案，利用表二及表三的預報驗證列聯表，則發現相對於參考1及2的成功率分別為0.86及0.91、虛報率分別為0.08及0.29(表四)。基於參考2作基準而出現略高的虛報率是因為天文台在發出山泥傾瀉警告時，除了參考廿四小時雨量指標外，還會就回波的活動及發展趨勢，考慮是否需要發出山泥傾瀉警告。若發現回波在短時間內將會迅速減弱，便有可能不發出警告。

從表四的摘要看，『小渦旋』山泥傾瀉警報發出的時間相對參考1及2分別領先1.23及1.53小時。如果分析『小渦旋』山泥傾瀉預警時效在小於1小時、1至2小時、2至3小時、3至4小時內的個案次數的分佈(圖六及圖七)，發現『小渦旋』發出警報的預警時效在1至2小時內的次數最多，大概佔百分之40(參考1及2)，而預警時效在2至3小時和3至4小時內的則佔百分之20。這顯示『小渦旋』山泥傾瀉警報的預警時效主要在1至2小時，但在較長的預警時效上也有不俗的預警功效。

『小渦旋』相對參考1及2分別有2次及1次的遲報。在2001年6月12日的遲報個案中，『小渦旋』預測的雨量集中在新界西北部，但實際三小時雨量則集中在香港島及九龍。因新界西北部雨量計密度及『有效面積』相對較細，從而使『小渦旋』的三小時雨量預測未能達指標的要求，推遲達到預測雨量指標的時間。另外在2001年6月27日的遲報個案中，『小渦旋』在10時12分的預報低估了未來三小時的雨量。實況是在過去廿四小時雨量分佈中，大雨集中在首三小時(由6月26日13時15分至16時15分，雨量普遍有30至40毫米，沙田區更超過50毫米)，以致在往後的預報中，利用滾動廿一小時雨量及『小渦旋』三小時雨量所計算出的預測廿四小時雨量未能達到指標的要求。

還有『小渦旋』相對參考1有1次的虛報。在2002年8月6日的虛報中，『小渦旋』在11時48分預計未來三小時的雨量超過30毫米，而達指標所需的三小時預測雨量大約是25毫米。但由於回波迅速減弱，實際三小時雨量只有大約10毫米，以致『小渦旋』誤發山泥傾瀉警報。

一般來說，『小渦旋』利用回波外推方法預測未來數小時的雨量分佈，在回波強度變化較少，平流機制主導的情況下，它的預警表現比較理想。例如在2001年7月6日熱帶氣旋尤特的個案中，當日下午的回波主要從西南向東北方平流移動，強度變化不大，因此預警時間可以有2個多小時(表一，圖略)。

最後，值得指出的是並非所有『小渦旋』的預測都能提供接近三小時的預警時效。這是因為『小渦旋』利用回波外推方法預測未來數小時的雨量分佈，並未能夠事先掌握對流很強的回波的發展。加上香港地小山多，地形本身對回波發展亦會構成一定的影響，因而引致『小渦旋』在個別的情況中低估實際雨量，這反映在預警時效普遍比三小時短的事實上。另外，即使回波強度能預測準確，祇要回波的移動略為偏差，錯落在境內沒有雨量計的地區或『有效面積』不配的雨量計上，對預測的準確度也有很大影響。

5. 結論及未來發展

從以上的討論，我們可以肯定『小渦旋』的山泥傾瀉警報有不俗的預警功效，平均預警時效有1個多小時，成功率十分高而虛報率維持一個低水平，能為預報員提供不俗的參考。但要延長預警時效，需要具體地掌握雨雲細胞盛衰的演變過程及預測有利於對流活動發展的區域，譬如幅合帶的位置等。

『小渦旋』的其中一個發展目標是利用數值模式的預報資料作為背景場，再根據中小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。希望透過這類分析，能夠事先掌握各種有利於對流活動的天氣狀況，從而增強預警的功效。

鳴謝

作者感謝土力工程處所提供的寶貴資料，林超英及陳銻鋆先生的指正。

參考文獻

- [1] Special Project Report, 1999: Review of Landslip Warning Criteria 1998/1999, Geotechnical Engineering Office Special Project Report No.4/99, Civil Engineering Department, Hong Kong.

- [2] Li, P. W., W. K. Wong, K. Y. Chan and Edwin S. T. Lai, 2000: SWIRLS – An Evolving Nowcasting System, Technical Note, No.100, Hong Kong Observatory.

表一：2001 及 2002 年預報驗證個案

	實況達到廿 四小時雨量 指標的時間 (1) (時:分)	天氣預測總部 發出山泥傾瀉 警告的時間 (2) (時:分)	『小渦旋』山 泥傾瀉警報 發出的時間 (3) (時:分)	『小渦旋』山 泥傾瀉警報 預警時效 (1)-(3) (時:分)	『小渦旋』山 泥傾瀉警報 預警時效 (2)-(3) (時:分)
06/06/2001	08:35	06:00	05:00	3:35	1:00
08/06/2001	06:00	07:45	04:12	1:48	3:33
12/06/2001	02:30	/	01:18	1:12	/
12/06/2001	11:45	14:15	11:48	-0:03	2:27
27/06/2001	13:15	15:45	13:54	-0:39	1:51
06/07/2001	17:25	18:00	15:00	2:25	3:00
15/07/2001	17:25	/	15:36	1:49	/
30/08/2001	14:30	15:30	13:12	1:18	2:18
01/09/2001	22:20	22:45	21:54	0:26	0:51
08/09/2001	03:10	03:30	00:00	3:10	3:30
06/08/2002	/	/	11:48	/	/
10/08/2002	04:45	/	02:36	2:09	/
10/08/2002	11:40	11:00	11:12	0:28	-0:12
15/09/2002	03:30	03:45	02:30	1:00	1:15
17/09/2002	01:05	01:30	00:18	0:47	1:12

表二：預報驗證列聯表(與廿四小時雨量指標作比較，即參考 1)

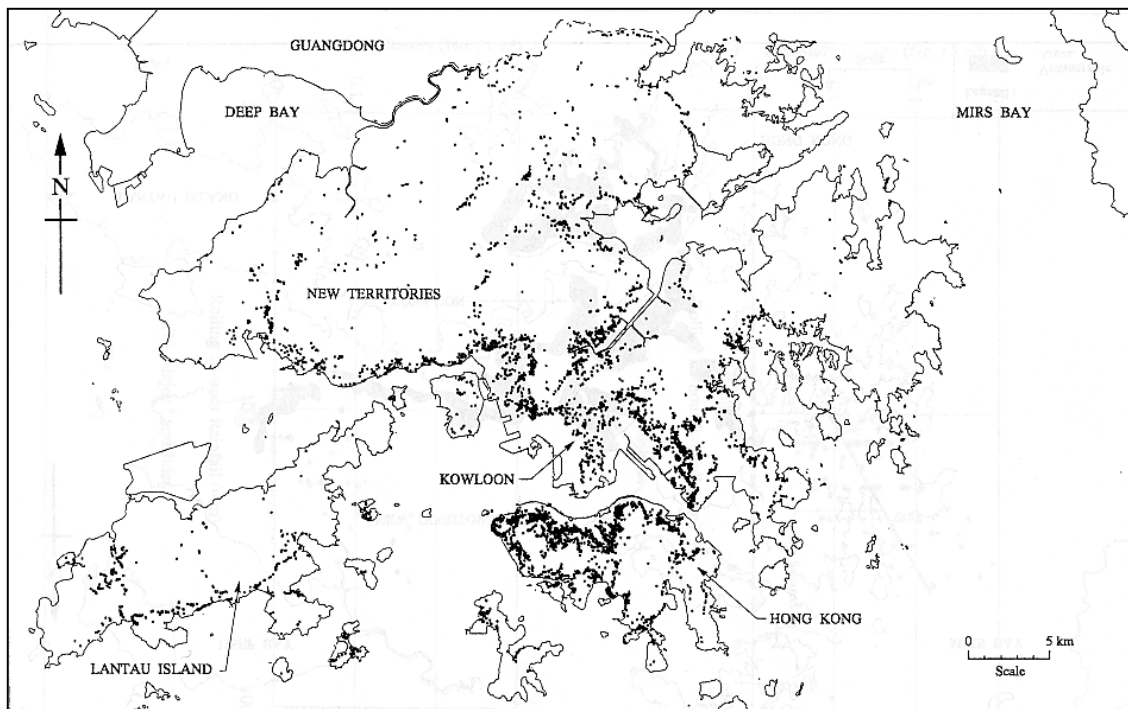
	『小渦旋』預報比實況達指標的時間早	『小渦旋』遲報或沒有發出警報
實況達到廿四小時雨量指標	12	2
實況沒有達到廿四小時雨量指標	1	-

表三：預報驗證列聯表(與天氣預測總部山泥傾瀉警告作比較，即參考 2)

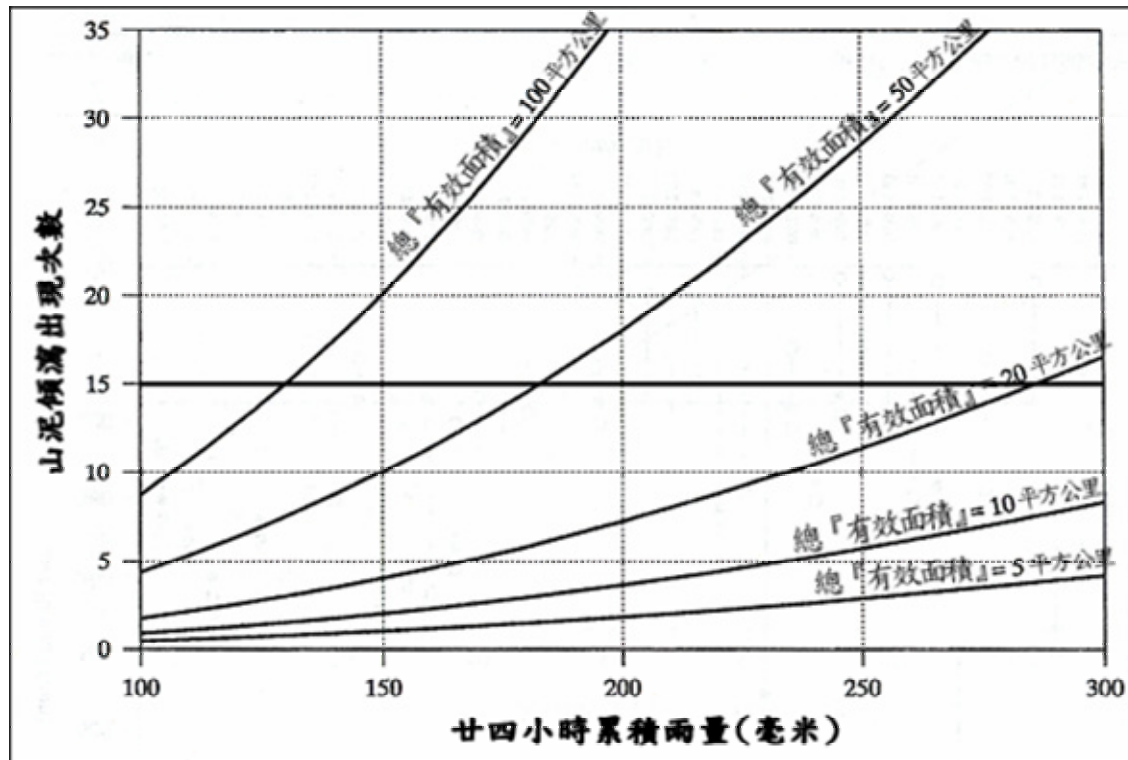
	『小渦旋』預報比發出山泥傾瀉警告的時間早	『小渦旋』遲報或沒有發出警報
有發出山泥傾瀉警告	10	1
沒有發出山泥傾瀉警告	4	-

表四：『小渦旋』山泥傾瀉預報驗證摘要

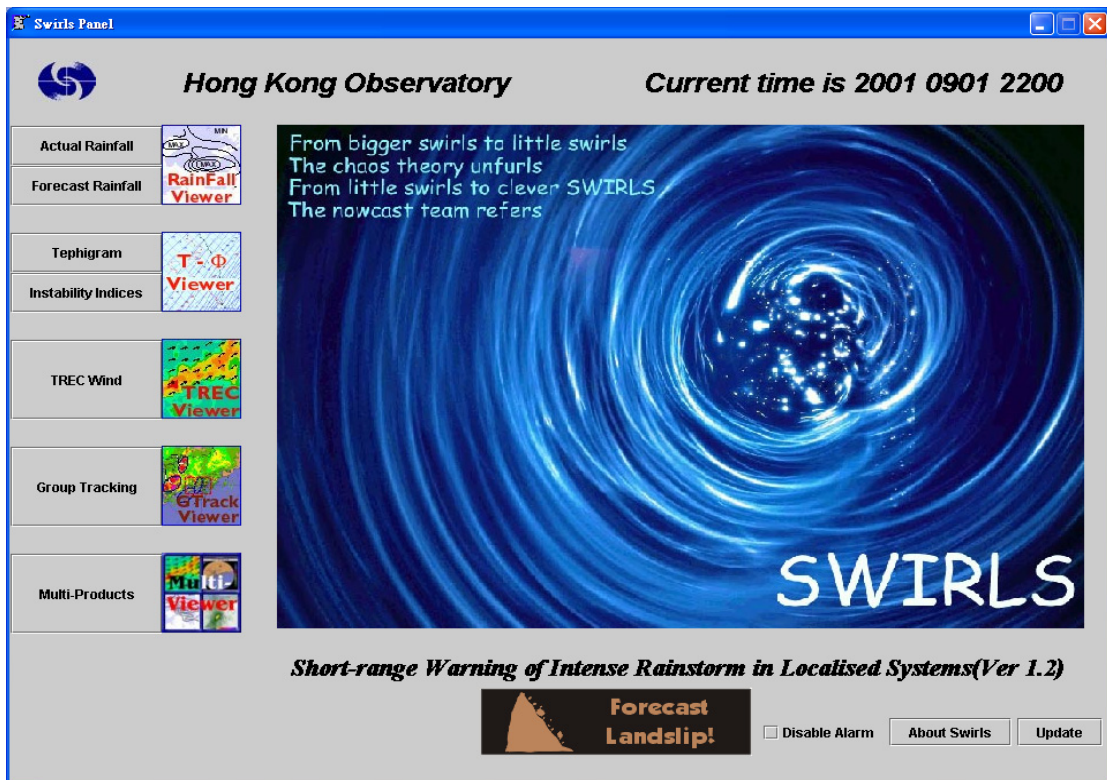
	『小渦旋』山泥傾瀉警報的表現 (與廿四小時雨量指標作比較，即參考 1)	『小渦旋』山泥傾瀉警報的表現 (與天氣預測總部山泥傾瀉警告作比較，即參考 2)
成功率(POD)	0.86	0.91
虛報率(FAR)	0.08	0.29
平均預警時效	1.23	1.53
虛報的次數	1	4
遲報的次數	2	1
0-1 小時預警時效的次數	3	1
1-2 小時預警時效的次數	5	4
2-3 小時預警時效的次數	2	2
3-4 小時預警時效的次數	2	3



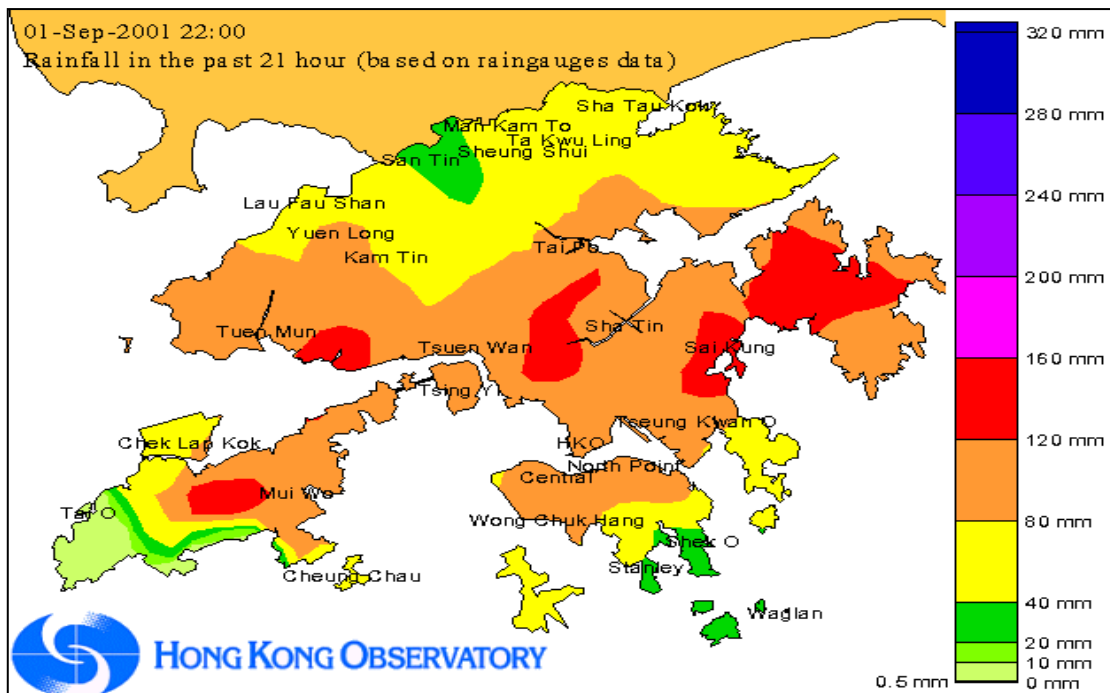
圖一：1982至1997年香港境內發生山泥傾瀉的分佈



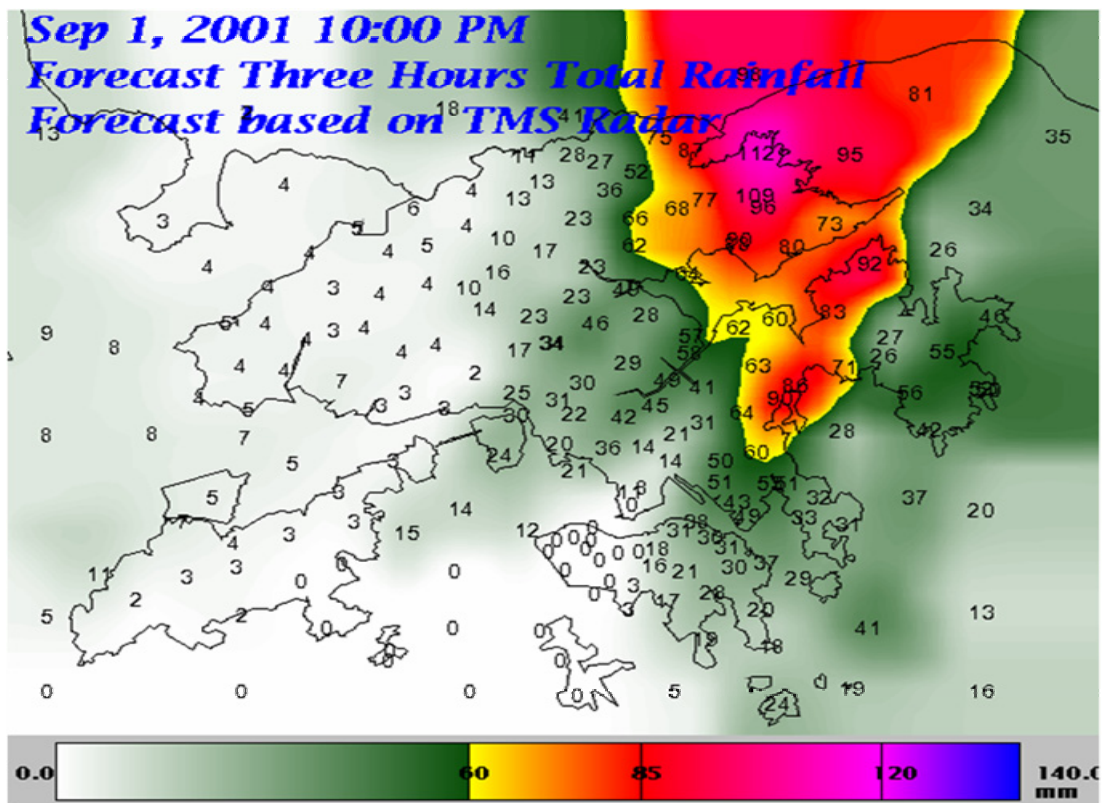
圖二：山泥傾瀉出現次數與廿四小時累積雨量及總「有效面積」的關係



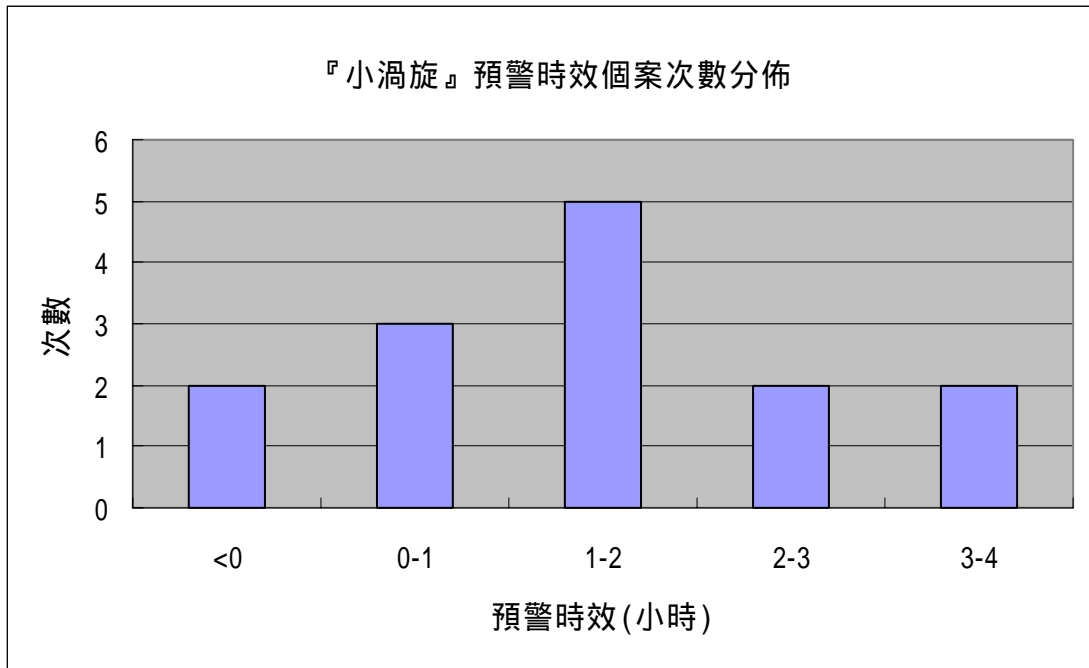
圖三：『小渦旋』山泥傾瀉警報圖像



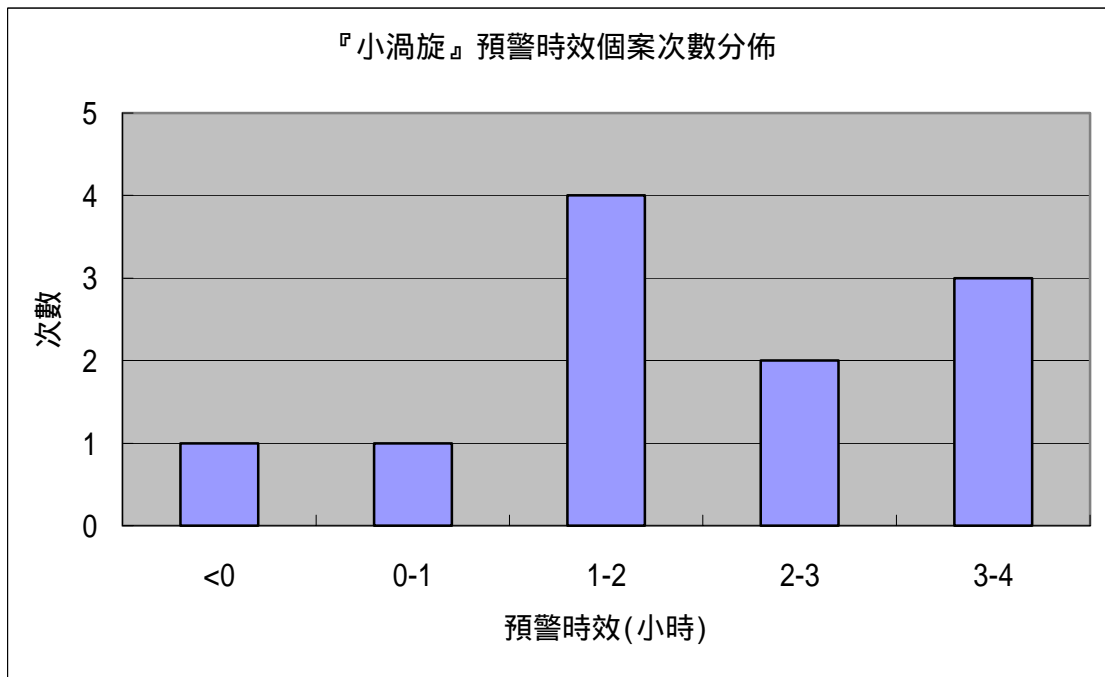
圖四： 2001年9月1日下午10時過去廿一小時累積雨量



圖五：『小渦旋』預報2001年9月1日下午10時至零晨1時間的雨量



圖六：『小渦旋』預警時效個案次數分佈(與廿四小時雨量指標作比較，即文中的參考 1)



圖七：『小渦旋』預警時效個案次數分佈(與天氣預測總部山泥傾瀉警告作比較，即文中的參考 2)