

地面降雨資料在 TRMM/PR 降雨反演驗證之研究-以納莉颱風為例

陳萬金¹李慶忠¹劉振榮²蔡明達¹

¹國防大學中正理工學院應用物理系

²國立中央大學太空遙測中心

一、中英文摘要

台灣地區每年七至九月為颱風季節，颱風侵台段期間往往會受颱風對流系統的影響，而造成人民生命財產的損害，如山區土石流的發生，這與降雨量的多寡有著密切的關係。目前，對於台灣地區陸上降雨觀測網相當綿密，但偏遠的山區相對上則不足；此外，氣象雷達對山區的觀測因受地形阻礙而產生降水觀測上的死角。因此有必要借重氣象衛星由上而下觀測的優點，以消除降水觀測上的死角。

本研究蒐集 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)衛星上降水雷達 (PR, Precipitation Radar) 近地表的時雨量資料，並將地面雨量站所觀測降雨資料區分為 10、20、30、60 分鐘累積時雨量為真值，分別比較二者之間的相關性，以瞭解 PR 在陸地降雨觀測的特性。研究結果顯示 30 分鐘的累積時雨量跟 PR 的降雨反演值較為接近，而且在地面雨量較少時 PR 的反演值會有高估的情形，反之則會有低估的狀況。PR 的降雨量與地面站雨量資料的差值與地形之高度，二者之間並無相關。

關鍵詞：颱風、地物雜訊、PR、TRMM

Abstract

During the typhoon season (from July to September) numerous disasters, such as flash floods and mudslides, occur in Taiwan owing to heavy rainfall brought from the circulation of typhoon. There is relationship between mudslide event happened in the mountain area and typhoon rainfall intensities. Though

there is a very high density distribution of rain gauge spread over Taiwan area, it is insufficient for mountainous areas. In addition, there is a serious problem caused by the blocking of terrain while the ground-based meteorological radar are making rainfall measurement to mountainous areas. Therefore, it is necessary to use satellite data to conquer those problems using the advantaged top-down measuring approach to eliminate the dead space in rainfall measurement. Precipitation radar (PR) is the first radar on board the TRMM satellite, and it is used for rainfall measuring. In this study, we use rain gauge data in 10, 20, 30 and 60 minutes, respectively, to validate the TRMM standard rainfall rate products 2A25 to investigate the characteristics of rainfall measurement by PR on lands and the difference between rain gauge and PR rainfall retrievals. It was shown that the rain gauge in 30 minutes is best close to that of PR retrieval, PR rainfall retrievals are underestimated when rain gauge is under 5.5mm/hr and overestimated when rain gauge over 5.5 mm/h. It is also shown that there is not any relationship between the terrain elevation and the difference of rainfall between PR-derived and rain gauge.

Keywords: Typhoon, clutter, PR, TRMM

二、前言

在台灣地區的地形有三分之二為山區，由於地形的特殊及近年山坡地過度開發，使得只要一下大雨上流的山區就有土石流產生造成河川及水庫的嚴重淤積而導致洪水氾濫，對國家經濟及國土安全的影

響甚巨。目前對於山區降雨的觀測及研究，以台灣地區陸上降雨觀測網及雷達觀測站為主，然而在山區的降雨觀測站分佈較為稀疏，而雷達觀測站大都建置於海邊對於山區降雨的觀測易受山區地形的影響而出現降水觀測上的死角。故利用氣象衛星由上而下觀測，不受地形影響的特性，冀能消除降水觀測死角，以補足陸地降水觀測不足的地方。

利用衛星遙測技術進行全球降水監測工作，已是現今研究全球降雨不可缺少的工具。有關衛星遙測對於估算降雨的觀測的演進，從開始紅外線觀測到被動式微波及發展到目前的主動式的雷達。TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 氣象衛星自 1997 年 11 月發射即以研究熱帶降雨為主要任務(Simpson, 1988)。TRMM 衛星上的降雨雷達 PR (Precipitation Radar) 是第一個利用太空載具由太空進行降雨量測的雷達。PR 是由 128 個單元的主動式相位陣列雷達所組成，頻率為 13.8GHz，刈幅 (swath) 範圍 215km，每點的解析度為 5km。此外，可對降雨系統的內部進行剖面的觀測，其垂直解析度為 250 公尺範圍內垂直的降雨資料(共計 80 層)。進而可以得到完整三維的降雨分佈 (Kuroiwa, 1996)。

PR 所觀測到的大氣水象的資料是過去微波觀測所不及的。但 PR 的降雨反演計算仍有改善的空間，有關 PR-2A25 的演算法，會受對流降雨及層性降雨型態的影響，而造成其差異。PR-BBH (PR-BrightBand Height

) 較低時會有不正確的削弱改正所造成的。此外在 PR 對流降雨的比例較高時且 PR 亮帶高度較低時 PR 降雨會有高估的情形(Ikai and Nakamura, 2003)。

Kummerow 等人 (2000) 針對全球熱帶區域每月的降雨量進行比較，發現 TMI (TRMM Microwave Imager) 所估算的 RR 大於 PR 40% (TRMM)。之後在第五版標準降雨產品中運用更適當的 DSD (raindrop size distribution) 資料，改善 PR 的演算法，所以平均差異降為 24%。

本研究以納莉颱風個案探討

TRMM/PR 觀測陸地降水的可信度，圖 1 為 2001 年 9 月 17 日颱風納莉由台灣北部侵襲台灣陸地的情形，由衛星軌道圖顯示 TRMM/PR 正好觀測到納莉颱風在陸地降雨的狀況。因此分別蒐集衛星資料及地面測站資料，並比較二者之間的相關性，以瞭解 PR 在陸地降雨觀測的特性。

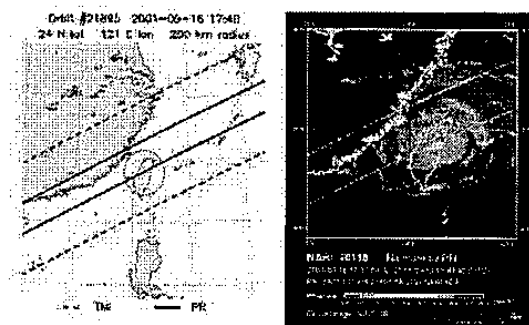


圖 1 左：衛星軌道圖 (時間為 UTC)；右：納莉颱風 IR 雲圖及 PR 降雨分佈圖。

三、資料蒐集及處理

納莉颱風由台灣北部侵襲台灣陸地時，TRMM 衛星正好通過台灣上空，並觀測到納莉颱風陸地降雨的情形。如圖 2 所示，在北台灣陸地蒐集 TRMM/PR 的衛星資料及地面降雨觀測資料。進行比對以研究 TRMM/PR 在陸地降雨觀測結果的可信度。本文所使用的資料包含二份：一為衛星資料，為美國 TRMM 衛星計畫辦公室提供的標準產品。二陸地上雨觀測站每十分鐘的降雨資料。

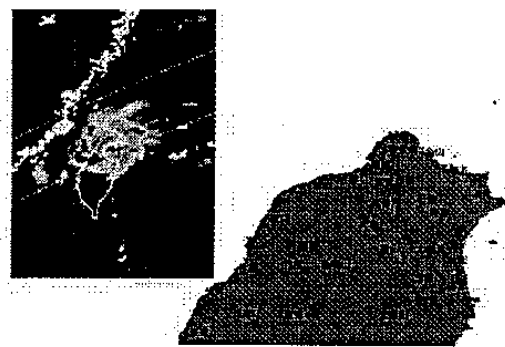


圖 2 左為納莉颱風侵台的情形，右為地面降雨觀測站的分佈圖。

(一)TRMM/PR 衛星資料的蒐集

在TRMM衛星上的降水雷達PR是第一個以太空載具從太空進行降雨量測的雷達。其優點有(Kuroiwa, 1996)：

- 1、可在陸地或海上進行降雨的估算不受背景的影響。
- 2、雷達測量可提供垂直剖面的資料進行多樣的科學研究。
- 3、雷達觀測資料可用來修補微波資料不足的地方及其精度。

PR是利用雷達回波值以求得降雨率(RR, Rain Rate)，其關係為 $RR=aZ^b$ 。本文所使用的PR降水雷達資料為美國TRMM衛星計畫辦公室提供的標準產品2A25，其內容為大氣中每個視場(Field of View; FOV)為5公里的解析度，垂直剖面每250公尺為一層，共計80層。

衛星資料處理的步驟分別為2A25PR資料解壓縮、解碼並擷取最接近地表的那一層作為地面降雨量的值(Ikai, 2003)。

(二)地面雨量站

有關地面觀測站降雨資料的蒐集，配合地形高度在北台灣地區選取30個點如圖3所示，所選擇的地面觀測點的高度從海拔1公尺的冬山觀測站到2087公尺的觀霧觀測站，其中包含了各類的地形如平原、丘陵地及高山等。

各降雨觀測站的雨量資料是到中央氣象局所購買 10 分鐘的降雨資料，經整理將 10 分鐘的降雨資料累計成 60 分鐘(時雨量)、30 分鐘、20 分鐘及 10 分鐘的時雨量，如表 1 所示。

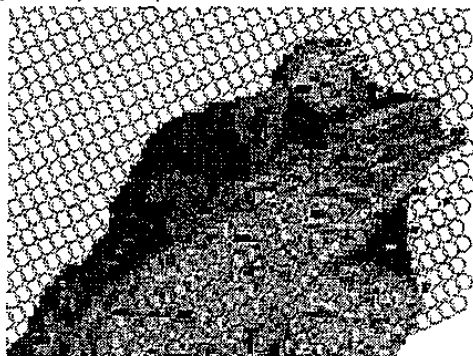


圖 3 依地形及位置在北台灣地區選取 30 個地面觀測站的點位分佈圖。

表 1 2001/9/17 01:10 地面降雨觀測站所累計的降雨量(單位：mm/hr)。

測站	經度	緯度	60mRR	30mRR	20mRR	10mRR
冬山	121.79	24.63	1	0	0	0
三星	121.65	24.67	13	9	9	9
壯圍	121.79	24.75	6.5	6	6	6
大礁溪	121.68	24.79	20	26	28.5	36
頭城	121.82	24.85	19.5	16	15	12
古魯	121.68	24.58	12.5	10	9	9
和興	120.91	24.52	9	7	6	6
後龍	120.78	24.61	9	9	6	6
烏嘴山	121.28	24.72	3.5	4	4.5	3
關西	121.17	24.8	5.5	4	4.5	3
湖口	121.04	24.91	20	7	7.5	6
埔心	121.22	25.05	48	67	73.5	54
關渡	121.46	25.14	14	16	10.5	3
林口	121.37	25.08	28.5	23	22.5	21
南勢角	121.49	24.98	2.5	3	3	3
瑞芳	121.79	25.11	10.5	13	16.5	9
石碇	121.66	25	4	2	1.5	3
太平山	121.52	24.51	9	7	7.5	9
苑裏	120.67	24.44	11	16	12	9
竹南	120.92	24.7	6	3	4.5	0
觀霧	121.11	24.51	10.5	8	9	9
竹東	121.1	24.72	5.5	6	6	6
金山	121.64	25.23	30	24	16.5	12
富貴角	121.56	25.27	23.5	22	28.5	39
福隆	121.94	25.02	6	6	6	9
福山	121.51	24.79	29	26	39	78
坪林	121.71	24.94	6	5	4.5	3
大豹	121.42	24.89	5.5	4	4.5	6
三重	121.48	25.07	15.5	17	21	24
內湖	121.57	25.08	6.5	7	6	3

四、結果分析及探討

(一)資料處理與比較

假設 TRMM/PR 在每個視場中所觀測的降雨資料都是均勻降雨的狀況下，經由客觀分析比較二者之間的差異(曾忠一，1987)，以 TRMM/PR 所觀測到的每個視場為中心且直徑為 5 公里為範圍，搜尋在每個視場內地面觀測站的降雨資料，並比較二者之間的差異。圖 4 為 TRMM/PR 降雨反演值分別與 60 分鐘、30 分鐘、20 分鐘及 10 分鐘的累積時雨量比較。紅色對角線為二者 1:1 的關係線，黑色線則為各點資料的線性迴歸線，在圖中可以發現在任何狀況下的累積時雨量，地面降雨觀測站的雨量值約為 TRMM/PR 降雨量的 1.3 倍，其中以 30 分鐘的累積時雨量 ($Y=1.286X$) 為最接近；而差異最大的是 60 分鐘的累積時雨量($Y=1.328X$)。

表 2 地面各累計時雨量與 TRMM/PR 時雨量的關係。

Y \ X	PR_RR
60m_RR	$Y=1.328X$
30m_RR	$Y=1.286X$
20m_RR	$Y=1.323X$
10m_RR	$Y=1.297X$

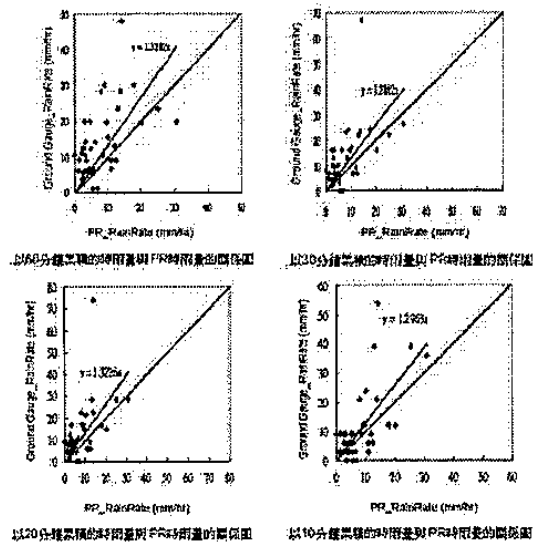


圖 4 分別為 60、30、20、10 分鐘的累積時雨量與 TRMM/PR 之間的比較 (單位: mm/hr) (紅色對角線為二者 1:1 的關係線，而黑色線則為二者線性回歸的線)。

(二)雨量差值與地形之間的關係

TRMM/PR 對於地面降雨的觀測的過程中，由於受地表地物雜波 (clutter) 的影響而無法真正觀測到地表的降水量。本研究以 TRMM/PR 近地表的雨量值來代表地表的降雨量跟地面實際的觀測值進行比對。圖 5 所示為 PR 受地物雜波影響，所得到近地表的雨量的高度值。

然而，扣除地表雜波所得到的近地表的雨量值，其高度與地表觀測站高度的差值可從最小的 396 公尺到最大的 2686 公尺，如表 3 所示。

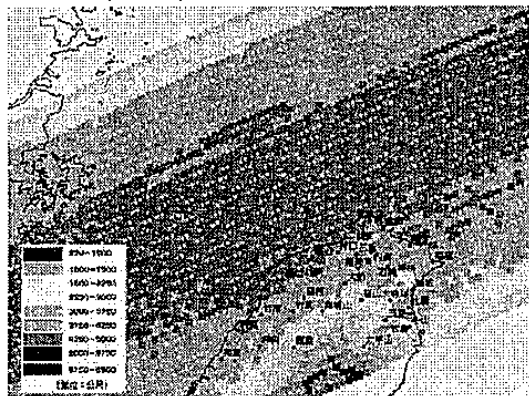


圖 5 TRMM/PR 受地物雜波影響的高度值。

表 3 各地面觀測站高程與 TRMM/PR 近地表高度的差異及其量值。

測站	PR 近地高 (m)	測站高度 (m)	高度差 (m)	PR_RR (mm/hr)	30m_RR (mm/hr)
苑里	1500	60	1440	2.4	16
後龍	1000	5	995	3.4	9
和興	1250	392	858	12.4	7
竹南	1000	147	853	5.4	3
竹南	1000	147	853	3.2	3
觀霧	3500	2087	1413	0	8
竹東	1250	229	1021	4.5	6
湖口	500	104	396	4.7	7
湖口	750	104	646	3	7
關西	1250	146	1104	5.5	4
烏嘴山	2000	839	1161	2.4	4
埔心	500	70	430	14.3	67
太平山	2750	1810	940	1.4	7
大豹	1000	590	410	2.6	4
福山	2500	455	2045	4.3	26
林口	1000	238	762	13.8	23
古魯	2750	64	2686	4.9	10
南勢角	1000	197	803	2.6	3
三星	1500	37	1463	11.9	9
三重	750	108	642	10.2	17
關渡	750	45	705	3.3	16
大礁溪	2250	268	1982	30.8	26
內湖	1000	124	876	4.5	7
冬山	1750	1	1749	5.6	0
石碇	1000	140	860	2.6	2
壯圍	1500	17	1483	5.5	6
坪林	1750	300	1450	3.9	5
坪林	1500	300	1200	1.1	5
石碇	1250	140	1110	2.4	2
富貴角	1000	30	970	25.2	22
頭城	1500	6	1494	20.2	16
金山	750	135	615	17.9	24
頭城	1500	6	1494	9.7	16
瑞芳	1000	101	899	8.6	13
福隆	1500	6	1494	5.4	6

有關地面各累積時雨量與 TRMM/PR 近地表的降雨量之間的差異值與地形的高度之間的關係如圖 6 所示。從圖中看不出降雨量的差異值和地形高度有何關係。這可能是我們所採用 TRMM/PR 的近地表資料，平均高於地表高度約為 1100 公尺左右。故受地形高度之影響甚小。此外，若代表近地表降雨量的水象層與地面觀測站的高度相差太大是否能代表該測站附近的降雨量？二者的關係是如何？這將是一個可以深入探討的問題。

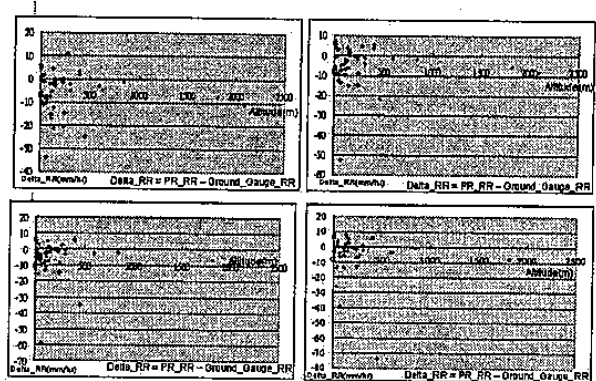


圖 6 Delta_RR 與地形高度之間的關係 (左上:60m_RR、右上:30m_RR、左下:20m_RR、右下:10m_RR)。

(三)TRMM/PR 的重覆觀測

由於衛星軌道掃描的問題使得前後掃描線會有重疊的現象，導致會有二個不同的 FOV(Field of View)同時含蓋著同樣的地面降雨觀測站。如圖 7 所示。

在此次的研究中有此現象發生共計有：頭城、坪林、石碇、竹南及湖口等五個測站。其比較的結果如表 4 所示。這五個個架中，其中在頭城由於一點的 FOV 在陸上 (斜率:5.08；降雨量:9.7)，另一點則包含了陸地及海上的區域 (斜率:0；降雨量:20.2) 二者的差異為 10.5mm/hr。所以扣除頭城-10.5mm/hr 的值之外其餘的差異值皆 3mm/hr 以下。

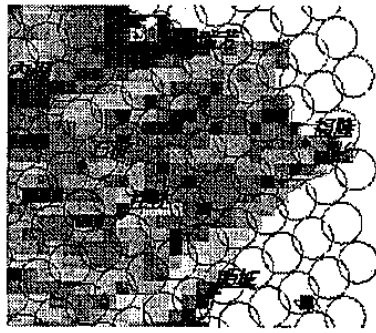


圖 7 由在圖中頭城、坪林、石碇等地面測站都被二個 FOV 所含蓋

表 4 同一個地面測站同時含蓋二個 FOV 之 PR 降雨量的差異(單位:mm/hr)

站名	PR_lat	PR_lon	Gauge_lon	最大斜率	PR_RR	delta_RR
竹南	24.7	120.898	120.92	0.78	5.4	2.2
	24.716	120.935	120.92	1.98	3.2	
湖口	24.907	121.02	121.04	1.24	4.7	1.7
	24.924	121.057	121.04	1.48	3	
石碇	25.004	121.681	121.66	4.08	2.4	-0.2
	24.988	121.645	121.66	2.77	2.6	
坪林	24.919	121.721	121.71	7.17	3.9	2.8
	24.962	121.701	121.71	7.86	1.1	
頭城	24.867	121.834	121.82	0(海上)	9.7	-10.5
	24.85	121.797	121.82	5.08	20.2	

五、結論與建議

由本實驗的比較發現，地面降雨觀測站的雨量值皆大於 TRMM/PR 近地表雨量值，且為 PR 近地表雨量值的 1.3 倍。其次，二者最接近的為 30 分鐘的累積時雨量；而差異最大為 60 分鐘的累積時雨量。此外，發現在地面降雨量愈大時二者的差值愈大且呈線性關係。

有關對於地形的高度之間的關係，基本上由於 PR 本身的觀測會受到地物雜波的影響，往往造成以高度較高的水象資料來代表近地表的雨量值。因此，在本研究中我們所採用 TRMM/PR 的近地表資料，其平均高於地表高度約為 1100 公尺左右。故從研究的結果比較受地形高度之影響甚小。

最後，在五個同時被二個不同的 FOV 含蓋的地面降雨觀測站中，發現在頭城這一站鄰近的二個 FOV 的差值很大，經由

判斷發現其中一點的 FOV 含蓋了陸地及海上的區域。所以由此可知在 TRMM/PR 所觀測到的降雨系統，於海陸交接地帶其降雨量會有比較大的趨勢。是否如此，須更多的觀測資料來證明。

綜觀以上的結果，對於 PR_RR 在陸地降水觀測值的運用，初步結果可將 PR 在陸地上所得到的近地表雨量值乘上 1.3 倍所得的值來代表該地區地面降雨量以補地面觀測站不足之處。此外，未來將可與地基雷達的資料結合進行研究，如圖 8 所示。以滿足陸地降雨觀測的需求，冀能協助相關單位有效達成防颱、防災之規劃，以確保人民生命財產的安全。

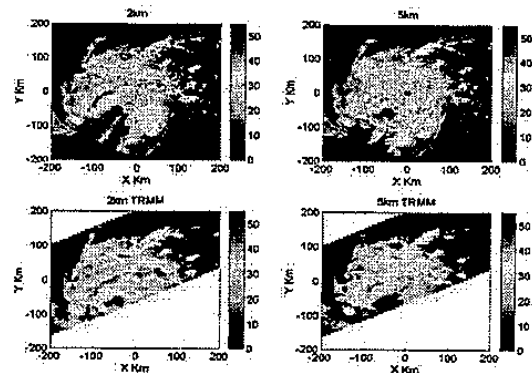


圖 8. 納莉颱風同五分山雷達比較圖 (上為地基雷達，下為 TRMM/PR) 2001/09/16 17:35(UTC)

六、參考文獻

1. 曾忠一，氣象與遙測資料的客觀分析，中央研究院物理研究所，1987。
2. Ikai J. and K. Nakamura, 2003: "Comparison of Rain Rates over the Ocean Derived from TMI and PR," *J. Atmos. and Oceanic Techno.*, **20**, 1709-1726.
3. Kummerow, C. and Coauthors, 2000: The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *J. Appl. Meteor.*, **39**, 1965-1982.
4. Kuroiwa, H., T. Kawanishi, M. Kojima, K. Oikawa, and T. Kozu, 1996: "Precipitation Radar onboard TRMM Satellite," IEEE-0-7803-3232-6
5. Simpson J., ed., 1988 "A satellite mission to measure tropical rainfall. Report of the science steering group", NASA/GSFC.