

全球降雨觀測計畫衛星(GPM-DPR)監測颱風降雨

葉南慶

空軍航空技術學院一般學科部軍事氣象系

摘要

近年來氣候變遷，許多劇烈天氣系統往往對人、事、物造成重大的傷害，尤其以豪雨造成的災害最為嚴重。2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風造成的累積雨量已經打破台灣過去幾十年的記錄，造成這些災害的關鍵因素就是降雨分佈的時間和空間過於集中。唯有充分的掌握降雨的資訊並適時提供給氣象單位與百姓參考，使各單位與人民有所警覺，採取適當的預防措施，必定可減輕災損。因此準確的降雨量之定量估算就顯得相當重要。

本研究使用全球降雨觀測計畫(Global Precipitation Measurement, GPM)衛星資料估算蘇迪勒颱風的降雨強度，GPM 掛載的從雙頻降雨雷達(Dual-frequency Precipitation Radar, GPM/DPR)以及 GPM 掛載的微波成像儀(GPM Microwave Imager)可以觀測出颱風在西北太平洋時的降雨強度皆為 30 mmhr⁻¹ 以上且結構為雙眼牆颱風，在花蓮測站的紀錄中得知最大降雨強度達 50 mmhr⁻¹。

初步分析結果，GPM/DPR 以及 GPM/GMI 的降雨估算結果相當一致，且與實際降雨觀測的結果也類似。因此，GPM/DPR 及 GPM/GMI 為估算海上颱風降雨強度最好的選擇之一。

關鍵字：全球降雨觀測計畫，雙頻降雨雷達，微波成像儀，降雨強度，雙眼牆

一、前言

平均每年會有四個颱風侵襲臺灣(Chang et al. 1993)，而每每颱風侵襲臺灣，總會帶來相當的災害，不論是所帶來的豪雨造成淹水，或是引發土石流，強風吹倒路樹、招牌等，都使得臺灣的災情慘重，因此對颱風的定量降水預報是為颱風研究重要的課題之一。

傳統的降雨資料都是藉由測站觀測而得，而海上的測站明顯不足的情況下，遙測的出現可以解決觀測站的不足，而最常見的遙測降雨就是利用雷達遙測及衛星遙測技術，但雷達觀測除了容易受地形屏蔽之外，觀測範圍也僅限於雷達測站的 400 公里以內。衛星遙測降雨則是沒有以上限制，同步

衛星能提供時間解析度較好的資料，但是估算降雨強度的準確度卻沒有微波來的好，所以近年來許多介紹文章利用微波頻道來估算降雨的，例如 Wilheit et al. (1994)，Petty (1995)，Levizzani et al. (2002)，Kidd et al. (2003)以及 Yeh et al. (2014)。雖然微波資料雖然估算降雨強度的準確度較佳，但是因為掛載於繞極衛星或是低軌道衛星上，所以時間解析度不佳。王與劉(1998)表示以多頻道衛星微波輻射資料反演海上的降雨強度是遙測技術估算海上降雨強度的主要方法之一。Adler et al. (2001)亦提出衛星被動微波資料在缺乏觀測資料的廣大洋面上，是一個能提供具有不被雲層影響，且可廣泛運用於海上降雨的利器。

全球降雨觀測計畫衛星(Global Precipitation

Measurement / Dual-frequency Precipitation Radar, GPM/DPR)於 2014 年 2 月發射,大大的改善了繞極衛星或低軌道衛星時間解析度不佳的情形,觀測一次全球的降雨分布所需時間約為 3 小時。GPM 相較於傳統的掛載被動微波感測器(例如 TRMM 衛星)而言,觀測精準度較佳、觀測範圍擴大以及觀測頻率增加。故本文就以 GPM/DPR 來看西北太平洋上從熱帶低壓到形成颱風,最後侵襲臺灣,整個颱風降雨強度分布的變化情形。

二、資料收集及處理

本文所使用的資料包含 MTSAT 紅外線雲圖、全球降雨觀測計畫衛星之 KuPR 資料和 GMI 資料,以及花蓮測站的逐時觀測資料。

2.1 MTSAT 紅外線雲圖:

本研究所使用的紅外線雲圖為 MTSAT 同步衛星之雲圖,MTSAT 是由日本氣象廳發射的地球同步氣象衛星,位於東經 140 度的赤道上空,距離地面約 35,800 公里,觀測頻率為 30 分鐘。該衛星的觀測頻道計有 5 個頻道,各頻道的波長及地面解析度如表 4-1 所示,本研究所使用的為波長 10.3-11.3 微米頻道之雲圖。

表 1 MTSAT 衛星各頻道波長及地面解析度

頻道	VIS	IR1	IR2	IR3 (水汽)	IR4
波長 (微米)	0.55- 0.9	10.3- 11.3	11.5- 12.5	6.5-7.0	3.5-4.0
解析度 (公里)	1	4	4	4	4

2.2 全球降雨觀測計畫衛星之 KuPR 資料、GMI 資料:

全球降水觀測計畫衛星(GPM, Global Precipitation Measurement)主要是由日本宇宙航空研究開發機構(JAXA, Japan

Aerospace Exploration Agency)和美國國家航空暨太空總署(NASA, National Aeronautics and Space Administration)共同發展,GPM 是一個國際合作的太空計畫,其中包含美國、歐洲、印度、法國等科學團隊。

GPM 所掛載之感測器為雙頻降水雷達(DPR, Dual-frequency Precipitation Radar)以及微波輻射計(GMI, GPM Microwave Imager)。GPM 的掃描示意圖如圖 4-1 所示。

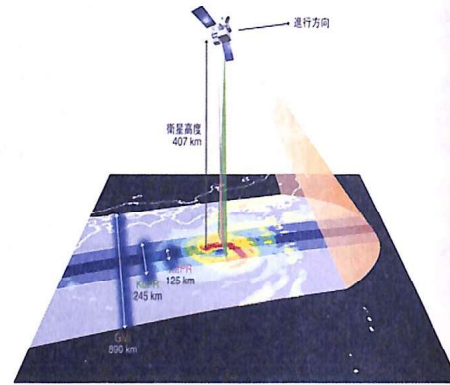


圖 4-1 GPM 衛星示意圖(來源: JAXA 網站)

2.3 實際觀測資料:

此颱風是由花蓮秀林鄉登陸,所以以花蓮測站的觀測資料來做颱風登陸相關氣象參數變化分析,包含溫度、露點、氣壓、風向、風速、雨量等,資料來源為中央氣象局。

三、理論基礎及研究方法

GPM 於 2014 年 2 月 27 號發射,是承接於 1997 年底發射的熱帶降雨觀測衛星 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), GPM 相較於 TRMM 而言,其觀測精準度較佳、觀測範圍擴大以及觀測頻率增加。GPM 所掛載之感測器分別為 DPR 及 GMI,觀測一次全球的降雨分布所需時間約

為 3 小時。

DPR 分別為 Ku 頻段降雨雷達(簡稱 KuPR),及 Ka 頻段降雨雷達(簡稱 KaPR)所組成。兩者的頻率分別為 13.6 GHz 及 35.5 GHz。KuPR 適用於偵測強降雨,KaPR 則適合偵測小雨和小雪,兩者一起使用則可偵測從熱帶地區的強降雨到高緯度地區的降雪的降水量,除此之外,也可以從降雨衰減量推測出雨滴粒大小分布。這是 DPR 較上一代 TRMM 所搭載單頻降雨雷達(PR, Precipitation Radar)更精進的部分之一。DPR 的降雨觀測示意圖如圖 4-2 所示。

GMI 之所以可以用來偵測降雨,主要是因為雨滴放射率(約 0.9)遠高於晴空大氣分子的放射率。所以當下雨時,因為雨滴對微波的吸收及再放射(Re-Emission)效應使其亮度溫度隨著降雨率(RR)的增強而增加,利用此特性就可以監測大氣中液態水的存在與否。但是在雨滴粒徑較大時,因大粒徑雨滴及冰晶產生的散射效應,反而使亮度溫度變化隨著 RR 的增強而有飽和(saturation)後降低的現象,由於飽和點後亮度溫度對大雨 RR 的線性反應並不靈敏,所以使用被動微波遙測技術估測降雨率的方法,是利用各頻道達到飽和點前。

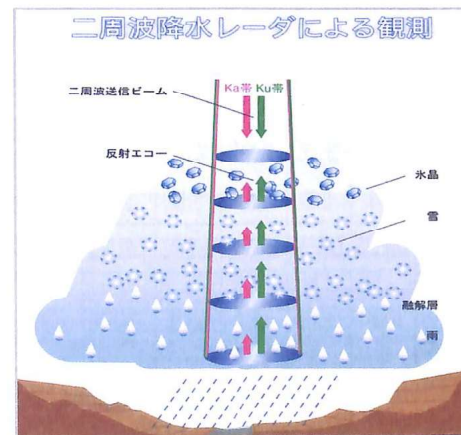


圖 4-2 DPR 觀測降水示意圖(來源: JAXA 網站)

本研究的研究方法是當颱風還在西北太平洋時,除了利用 GPM 衛星上的 GMI 和 DPR 監測、估算颱風的降雨強度之外,也使用花蓮測站的觀測資料來探討颱風登陸前、中、後時,各種氣象參數的變化情形。

四、結果分析與討論

2015 年 8 月 7 日 17 時蘇迪勒颱風中心位於在花蓮東南東方海面,暴風圈逐漸接觸台灣陸地。8 月 8 日 4 時 40 分左右中心由花蓮秀林鄉登陸,11 時在雲林縣台西鄉出海,同日 22 時左右由福建進入大陸,侵襲台灣(從暴風圈接觸陸地至離開)的時間大約為 24 小時。而此颱風是由 8 月 1 日就已在西北太平洋誕生,期間強度發展至強烈颱風,侵襲台灣時為中度颱風,詳細的颱風路徑圖如圖 4-3。

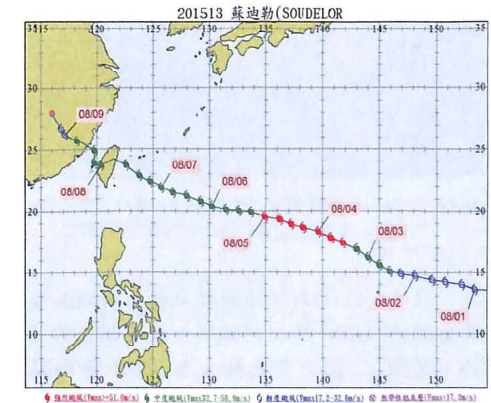


圖 4-3 蘇迪勒颱風移動路徑圖。(來源:中央氣象局)

圖 4-4 為 2015 年 8 月 7 日 1832 時 MTSAT IR1 雲圖,由圖中可清晰看到蘇迪勒颱風的颱風眼,雲系範圍相當大且結構紮實,颱風接近台灣時的 7 級風暴風半徑達到 300 公里,10 級風暴風半徑也有 100 公里,此時為中度颱風,其外圍雲帶已影響台灣地區。

除了從 MTSAT IR1 雲圖就可以看出，蘇迪勒颱風的所涵蓋的範圍相當廣，且結構相當完整之外，另一個很重要的就是在蘇迪勒颱風尚未登陸之前，遠在 8 月 1 日熱帶低壓時，8 月 2 日蘇迪勒颱風剛形成輕度颱風時，至 8 月 2 日晚間發展至中度颱風，隔一天發展至強烈颱風，直至 8 月 5 日也減弱為中度颱風到侵襲台灣地區，MTSAT IR1 雲圖可以非常密集的監測颱風的發展及變化。

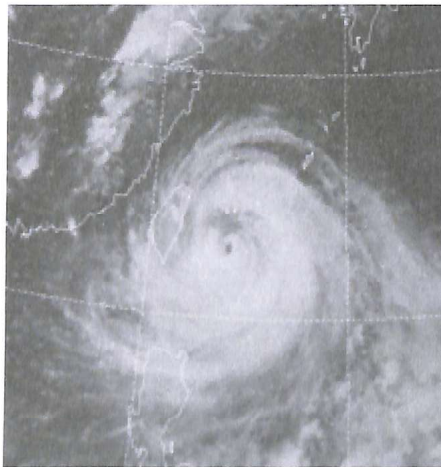


圖 4-4 2015 年 8 月 7 日 1832 時 MTSAT IR1 雲圖 (來源:中央氣象局)

圖 4-5(a)-(f)為蘇迪勒颱風發展初期至侵襲台灣時，GPM 掃描到颱風主體或部分颱風的示意圖，圖中黃色部分為 GMI 掃描範圍，刈幅寬度為 890 公里，橘色部分 KuPR 掃描範圍，刈幅寬度為 245 公里。掃描時間、軌道編號、涵蓋範圍經緯度等詳細資訊如表 4-2 所示。從圖 4-5(a)-(f)可知，當颱風在廣大的洋面時，衛星是估算其強度最好的工具之一。

圖 4-6(a)-(f) 為蘇迪勒颱風發展初期至侵襲台灣時，GPM/KuPR 估算颱風降雨強度，其中圖 4-6(c)-(e)掃描到颱風中心，除可清楚看到颱風中心眼之外，也可以明顯看到

蘇迪勒颱風的雙眼牆。圖 4-6(e)掃描到颱風侵台前完整的雨帶，雨帶結構相當紮實、對稱，眼牆的降雨強度達到 30 mmhr⁻¹ 以上，可見此颱風侵台前就可預知勢必會帶來相當大的雨勢。

圖 4-7(a)-(f)為蘇迪勒颱風發展初期至侵襲台灣時，GPM/GMI 估算颱風降雨強度，與圖 6(a)-(f)一樣時間所觀測的刈幅，但圖 4-6 僅有 3 個刈幅掃描到颱風中心，圖 4-7(a)-(f)則是全部都掃描到完整的颱風，因為 GPM/GMI 的刈幅較 GPM/KuPR 寬 645 公里，由圖 4-7(a)可看出，8 月 1 日上午 7 時 28 分，颱風雲系並不完整，且無法直接定位颱風幾何中心，此時颱風強度為輕度颱風，圖 4-7(b)可看到颱風外圍雲系更趨明顯，雲層結構更紮實，一樣無法直接定出颱風幾何中心。圖 4-7(c)為 8 月 5 日 18:53 時所掃描的颱風降雨強度，除了颱風外圍雲系紮實外，颱風眼已經非常明顯，所以可以輕易定出幾何中心，此時的颱風眼牆僅有一個，到了圖 4-7(d)-(e)，可以觀察到蘇迪勒颱風的雙眼牆，且從圖 4-7(d)至圖 7(e)經過約 35 小時，颱風的降雨強度明顯變強且強降雨兩區的範圍也變大，顯示這段時間颱風依然不斷在增強階段。

表 4-2 GPM 於蘇迪勒颱風侵台期間掃描軌道資訊

Date/Time (UTC)	Jul 31, 2015	Aug 03, 2015	Aug 05, 2015	Aug 06, 2015	Aug 07, 2015	Aug 07, 2015
Sensor	KuPR, GMI	KuPR, GMI	KuPR, GMI	KuPR, GMI	KuPR, GMI	KuPR, GMI
Orbit Number	008080	008118	008149	008158	008180	008189
Lat/Lon	6.6-21.03°N / 146.8-161.26°E	9.83-24.23°N / 132.3-146.75°E	11.8-26.23°N / 123.3-139.75°E	12.8-27.23°N / 122.6-137.06°E	15.1-29.23°N / 117.55-132.06°E	16.3-30.73°N / 118.1-132.55°E

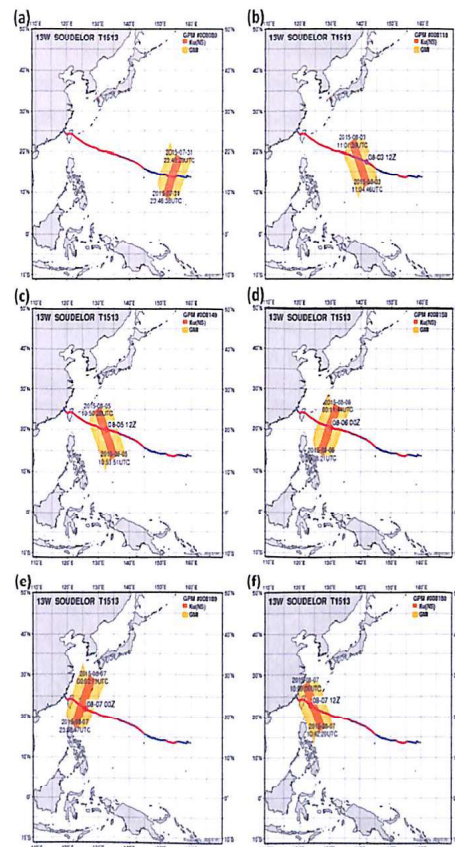


圖 4-5 GPM 於蘇迪勒颱風侵台期間掃描圖，(a)-(f) 詳細資訊如表 4-2

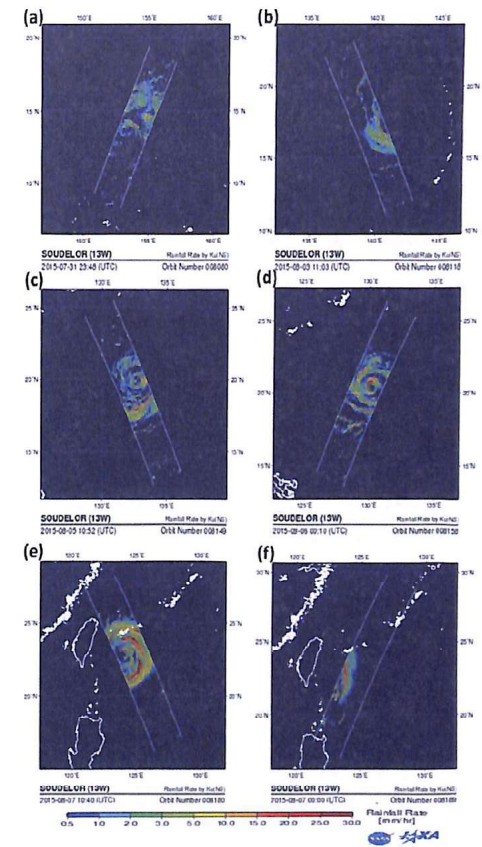


圖 4-6 GPM/KuPR 於蘇迪勒颱風侵台期間估算降雨強度圖，(a)-(f)詳細資訊如表 4-2

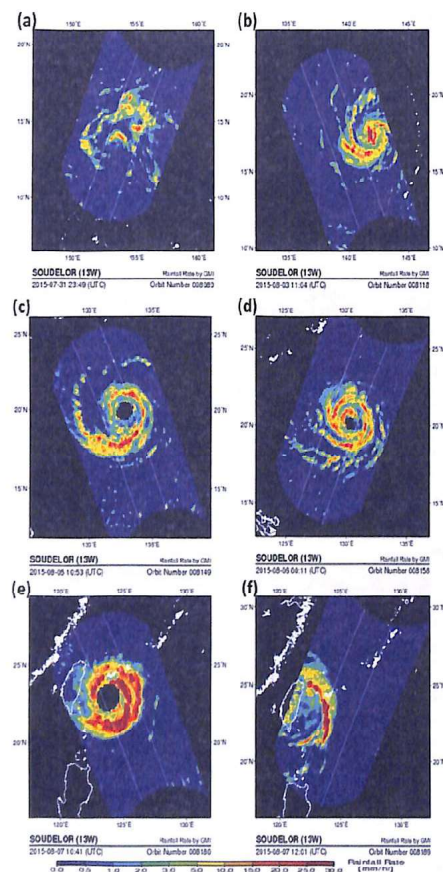


圖 4-7 GPM/GMI 於蘇迪勒颱風侵台期間估算降雨強度圖，(a)-(f)詳細資訊如表 4-2

圖 4-8 為蘇迪勒颱風侵襲台灣前後的逐時氣象觀測值，由於蘇迪勒颱風中心是由花蓮登陸，故利用花蓮測站的逐時觀測值來看颱風侵襲前後的變化。

蘇迪勒颱風接近花蓮時，風速逐漸增大，中心最強風速達到 48 ms⁻¹，以東北風至北風為主，降雨強度逐漸增強，強度到達近 20 mmhr⁻¹，氣壓隨著颱風的接近愈來愈低，溫度露點差則是愈來愈小，顯示環境的溼度隨著颱風的接近愈來愈大。在 8 月 8 日 4 時

40 分颱風中心由花蓮秀林鄉登陸時，降雨強度突然降低，僅剩 5 mmhr⁻¹，風速驟降，氣壓驟降 30 hPa 以上，顯示颱風眼氣壓最低且無風無雨，颱風登陸繼續前進，颱風眼牆接觸花蓮測站時，風向逐漸轉為南向風，再轉為東南至東風，風速再度增強，降雨強度也開始增加，最強至 50 mmhr⁻¹ 以上，氣壓逐漸回升，溫度露點差則是保持在 0。隨著颱風遠離，風向轉為南向風，風速也逐漸減低，氣壓繼續回升，溫度露點差也逐漸增加，降雨也緩和至沒有降雨。

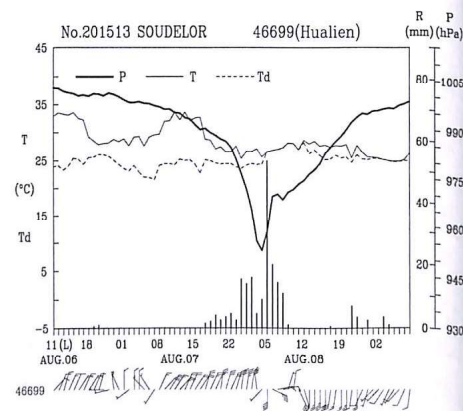


圖 4-8 蘇迪勒颱風登陸前後各項氣象參數觀測值 (資料來源:中央氣象局)

本研究使用全球降雨觀測計畫衛星之 KuPR 資料和 GMI 資料來看蘇迪勒颱風的降雨強度變化，以及利用花蓮測站的逐時觀測資料來看颱風登陸台灣前後一些氣象參數的變化。

從 GPM 的密集觀測可以觀測出颱風在西北太平洋時的降雨強度及其結構為雙眼牆颱風，雖然 KuPR 的刈幅寬度遠小於颱風範圍，僅有 245 公里，但當密集的觀測掃描到颱風中心時，亦可以明確的得知其降雨強度，且還能得知颱風的垂直降雨強度分布，這也是 GPM 的重大貢獻之一。而 GMI 的刈

幅寬度是 KuPR 的 3.6 倍，故在一樣的觀測刈幅下，GMI 所觀測到的颱風範圍就較 KuPR 大，GMI 除了估算出颱風在洋面上的降雨強度達 30 mmhr⁻¹ 以上，以及可清楚定位出颱風中心之外，也可以看出其颱風結構具有雙眼牆。以上觀測資料顯示，當颱風在廣大的洋面時，GPM 衛星為估算颱風降雨強度最好的工具之一。

五、參考文獻

Chang, C. P., Yeh T. C., and Chen J. M., 1993: Effects of terrain on the surface structure of typhoons over Taiwan. *Monthly Weather Review*, 121,734-752.

Wilheit, T., Adler, R., Avery, S., Barrett, E., Bauer, P., Berg, W., Chang, A., Ferriday, J., Grody, N., Goodman, S., Kidd, C., Kniveton, D., Kummerow, C., Mugnai, A., Olson, W., Petty, G., Shibata, A., and Smith, E., "Algorithm for the Retrieval of Rainfall from Passive Microwave Measurements," *Remote Sensing Reviews*, Vol.11, pp.163-194, 1994.

Petty, G. W., "The Status of Satellite-Based Rainfall Estimation Over Land," *Remote Sensing of Environment*, Vol.51, pp.125-137, 1995.

Levizzani, V., Amorati, R., and Meneguzzo, F., "A review of Satellite-based rainfall estimation methods," *European Commission Project MUSIC Report*, pp. 1-66, 2002.

Kidd, C., Kniveton, D. R., Todd, M. C., and Bellerby, T. J., "Satellite Rainfall Estimation Using a Combined Passive Microwave and Infrared Algorithm," *Journal of Hydrometeorology*, Vol.4, pp.1088-1104, 2003.

Yeh N.C., Liu C.C., Chen W.J., 2015 "Estimation of Rainfall Associated with Typhoons over Ocean Using TRMM/TMI and Numerical Model," *Water*, Vol. 7, pp. 6017-6038

Adler, R. F., Kidd, C., Petty, G., Morissey, M., and Goodman, H. M., "Intercomparison of Global Precipitation Products: The Third Precipitation Intercomparison Project (PIP-3)," *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.82, pp.1377-1396, 2001.

王光華、劉振榮，"應用微波資料估計臺灣附近地區降雨之研究"，*航測及遙測學刊*，第3卷，第3期，第39-66頁，1988。

Rainfall estimation for Typhoon using Global Precipitation Measurement / Dual-frequency Precipitation Radar (GPM/DPR)

Nan-Ching Yeh

Department Of Military Meteorology Engineering, Air Force Institute of Technology, Taiwan

ABSTRACT

In the recent years, the climate changed, there are many severe weather systems caused great damage for people ; goods and so on, especially caused by torrential rainfall. The accumulated rainfall of typhoon Morakot on 8 August 2009 had broken the record of past decades in Taiwan. The key factor for these disasters is the dense concentration of rainfall distribution both in spatial and temporal domains. If we could understand information of rainfall well and provide a nowcasting warning for the weather station and people, then they will have enough time for preparation and the damage and loss of property will be reduced significantly. Therefore it is extremely important to provide accurate rainfall estimations for severe weather systems.

In this study, the rainfall estimation of typhoon Soudelor using Global Precipitation Measurement / Dual-frequency Precipitation Radar (GPM/DPR). Rainfall rate retrieved of typhoon in the Pacific Northwest by GPM/DPR and GPM/GMI (GPM Microwave Imager) are above 30 mmhr-1, and the structure of this typhoon is Double Eye Walls. The record in Hualien stations maximum rainfall rate is above 50 mmhr-1.

Preliminary analysis of retrieved rainfalls by GPM/GMI are validated with measurements of GPM/DPR, and the results of rainfall estimates is fairly consistent. The rainfall estimation by GPM is similar to the actual rainfall observation. Therefore, GPM / DPR and GPM/GMI is one of the best choice for rainfall estimation of typhoon over the ocean.

Keywords: GPM, DPR, GMI, Rainfall Rare, Double Eye Walls