

利用微波資料估算梅姬颱風海上降雨

葉南慶¹汪建良²陳萬金³¹國防大學理工學院國防科學研究所²國防大學理工學院環境資訊及工程學系³大華技術學院

摘要

近幾年天然災害頻傳，尤其是近年來的颱風所挾帶的豪大雨常常打破臺灣以往十幾年的降雨紀錄。造成這些災害的主要因素，在於降雨量在時間及空間上過於集中。若能提早預警，使人民有所警覺，採取適當的預防措施，必定可減輕災損。因此，準確估算颱風所帶來的降雨量的就顯得相當重要。

本文利用輻射傳遞模式(Radiative transfer model, RTM)模擬在降雨與晴空下的亮度溫度(Brightness temperature, Tb)，並利用極化差資訊轉換為削弱指數(Attenuation Index) P。這指數具有隨著降雨強度(Rain Rate, RR)增加而遞減，且不易受降雨飽和影響的優點。最後，利用 TRMM/TMI 所觀測 Tb 來計算削弱指數，進而利用此削弱指數來估算梅姬颱風的 RR。

衛星反演出的 RR 與 TRMM 上降雨雷達 PR (Precipitation Radar) 所求得的 RR 比較，兩者相關係數皆大於 0.6。另外，在下小雨時衛星估算 RR 有高估的情形，相反的，在大雨情況下，衛星估算 RR 則有低估的狀況。

關鍵字：輻射傳遞模式，亮度溫度，降雨強度

一、前言

臺灣位於西北太平洋颱風活動的主要路徑上，平均每年約會有 3~5 個颱風會侵襲臺灣地區，所帶來的直接或間接災害，往往會造成生命及財產上的損失。例如 2010 年梅姬颱風及東北季風影響下，連續性的降雨也造成部分地區土石流及蘇花公路多處坍方等災情，進而造成 38 人死亡，農損逾 13 億元。

因為如此，之前我們重視颱風的風速大小可能對我們造成的傷害，至今已轉移至颱風

可能挾帶的雨量有多少。若對降雨量的多寡若能提早預警，使人民、政府及各防災機構有所警覺，並採取適當的預防措施，必定可減少人員的傷亡及財物的災損。因此，準確估算颱風所帶來的降雨量的就顯得相當重要。

一般而言，颱風的生成必定在海洋上，且其生命期大多時間也是在洋面上，所以只能從少數的島嶼測站與船隻觀測得到的氣象資料加以應用，這些資訊往往不夠用於掌握

風的動態與變化。而衛星資料剛好可以彌補海面上資料不足的缺點。而本研究目的就是想藉由氣象衛星可對於海上颱風進行大範圍觀測之優點，利用衛星觀測的 Tb 估算海上颱風的 RR。

Adler et al. (2001) 提出衛星被動微波資料在缺乏觀測資料的廣大洋面上，是唯一能提供具有不被雲層影響，且可廣泛運用於海上降雨的工具。近年來，隨著儀器的進步以及遙測技術的成熟，兼具全天候與透雲性的被動微波感測器逐漸成為了估算颱風降水的最佳選擇，王與劉(1998)就指出以多頻道之衛星微波輻射資料來反演海上的 RR，為目前遙測技術估算海上 RR 的主流。

利用衛星微波資料估算海上的 RR 最直接且易懂的方法為 Wilheit et al. (1980) 以衛星觀測的 Tb 與地面觀測站的 RR 建立其關係式。Chen et al. (2002) 使用 TRMM 衛星上的微波資料與當時的日本同步衛星 GMS-5 進行降雨估算的研究。Liu et al. (2002) 及 Joyce et al. (2004) 結合多頻道的觀測資料來進行降雨的反演，主要目的是擷取各頻道的優點以增加降雨反演的動力範圍。

二、資料收集及處理

本文所使用的資料包含衛星微波資料 TRMM/TMI 及星載雷達 TRMM/PR 等觀測資料，以及輻射傳遞方程式(RTM)所計算的 Tb。

(1) TRMM/TMI 被動微波資料

TMI 的五個微波波段分別為 10.7、19.4、21.3、37 與 85.5-GHz。其中，除了

21.3-GHz 僅有垂直線性極化頻道外，其餘均 4 個波段均包含垂直與水平線性極化頻道。其他裝載的觀測儀器如圖 1 所示。本研究所使用的為經過輻射校正與幾何定位後 Level-1B11 (Simpson et al., 1996)，空間解析度為 10 km 資料，頻道特性如表 1。

(2) TRMM/PR 星載雷達資料

TRMM 衛星上的降雨雷達(PR)是第一具搭載於衛星上的主動式雷達，其具有(1)可提供垂直剖面的降雨資料；(2)可在陸地或海上進行降雨估算而不受背景的影響；(3)可用來修補微波資料不足之處及其準確度等優點。因此，利用 PR 進行降雨觀測，可以得到完整三維的降雨分佈(Ikai et al., 2003)。PR 星下點的水平解析度為 5 公里，垂直解析度為 250 公尺(共計 80 層)。本研究使用 PR 的標準產品為 2A25 包含經由回波強度值與降雨率的關係(Z-R)推導出垂直剖面 RR。為配合 TMI 水平解析度以便進行定量驗證，故將 2A25 資料平均至 10 km × 10 km 網格點。

(3) 輻射傳遞模式輸出之 Tb

將各氣象參數的垂直剖面輸入 RTM。而 RTM 考量地表放射率、水氣及氧氣吸收、粒徑大小分布，輻射之發射與散射等效應後，計算後輸出總液態水含量(total integrated liquid water)、總冰水含量(total integrated ice water)、水平與垂直線性極化的 Tb。

三、理論基礎及研究方法

衛星被動微波輻射計可用來偵測海面上降雨，主要是因為雨滴發射率(Emission，

約0.9)遠大於海表面的發射率(約0.5),所以當下雨時,因為雨滴對海表面的向上輻射吸收後再發射的影響,使其Tb隨著RR的增強而增加,且兩者之間的變化似乎呈線性的關係。因為飽和點後Tb對RR的反應並不靈敏,所以使用衛星被動微波遙測技術估算RR的方法,都在各頻道達到飽和點之前,利用RR與衛星觀測的微波Tb呈現近線性的關係,估算出RR及降雨的位置。

而Petty (1994)發表一個削弱指數(Attenuation Index), P值,來建立Tb與RR的關係,其定義如下:

$$P \equiv \frac{T_V - T_H}{T_{V,O} - T_{H,O}} \quad (1)$$

其中 T_V 及 T_H 分別為垂直極化Tb與水平極化Tb, $T_{V,O}$ 及 $T_{H,O}$ 分別表示與上述 T_V 及 T_H 相同的大氣情況下,將雨雲的效應去掉的Tb值。Chiu (2003)提到P值的坐落範圍為[0,1],1代表衛星視場內沒有任何雲雨,相反的,0則表示視場內的光學厚度因為雨雲而變的相當不透明,通常這情況也意味著地面有較大的RR。

利用模式可以模擬出TMI各頻率的水平及垂直極化的Tb,而將輸入RTM的各水象氣象參數設定為零,就可以模擬出各頻率晴空背景情況下的水平及垂直極化Tb,當模擬出實際與晴空背景下的Tb就能求出各頻率的P值。本研究模擬Tb僅使用10、19及37-GHz來建立P值與RR間的關係。

本研究針對2010年對臺灣影響甚鉅的

梅姬颱風進行海上降雨估算並驗證。因為本研究利用TMI所反演之颱風降雨僅適用於海上,而海上較缺乏實際觀測資料,所以本研究的驗證使用TRMM上的降雨雷達PR的近地面RR。由於本研究使用TMI的水平解析度為10公里,與PR的水平解析度為5公里不同,所以需要將資料重新取樣至 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的網格點上做分析。研究流程示意圖如圖2。

四、結果分析與討論

本研究針對2010年的梅姬颱風做驗證。由於本研究使用被動微波資料反演降雨,所以並不適用於陸地上,故RR的驗證使用TRMM/PR的近地面RR當作真值。本研究使用2010年梅姬颱風期間,TMI及PR掃描颱風雨帶較完整的刈幅(圖3),2010年10月16日2336 UTC,軌道編號73598。圖3中淺藍色部分為TMI掃描刈幅,兩白色實線間表示PR掃描刈幅,彩色部分為雷達回波反射率。從圖3可知,本研究選擇的個案,不論是TMI及PR的刈幅皆有涵蓋完整颱風結構或是較強降雨帶,除了可以利用TMI觀測之Tb反演RR外,還可以使用PR的近地面降雨進行驗證。

圖4為使用TRMM/TMI反演軌道編號73598梅姬颱風的降雨強度,圖5為同一時間TRMM/PR的近地面RR,圖4及圖5的彩色部分為RR的大小程度,單位為mm/hr。由圖4可看出降雨率大於20 mm/hr分別位於圖上A、B兩區域,其中位於A區域內的最大降雨率為25-30 mm/hr。相較於圖5由PR

估算之RR,大於20 mm/hr的降雨區域除了與圖4相同位置的A'、B'外,還多了C'及D',其中最大的RR大於30 mm/hr。降雨率大於20 mm/hr的區域中,範圍A大於範圍A',範圍B的大於範圍B',C'及D'的強降雨範圍則較A'及B'小了許多。

比較圖4及圖5 RR與範圍的差異,造成原因為空間解析度的關係。TMI的空間解析度為10公里,所以會將小於視場(10 km x 10 km)中超過30 mm/hr的強降雨,平均為範圍較大且降雨率小於30 mm/hr的降雨區域,所以造成範圍A大於A',範圍B的大於B',而小範圍強降雨,例如C'及D',在TMI的視場平均下,其降雨率就小於20 mm/hr。

圖6為梅姬颱風降雨估算散佈圖,橫坐標為PR估算之RR,縱坐標為本研究利用TMI估算之RR,單位為mm/hr,兩者相關係數為0.60,其中黑色實線為x=y。從圖6分析大多數的小雨個數(<20 mm/hr)散佈於x=y直線的左方,顯示小雨部分有高估的情形,而在大雨部分則低估。衛星反演的RR皆小於30 mm/hr。其可能原因為TMI空間解析度較PR差,所以小於20 mm/hr的區域位於大於20 mm/hr的附近,就會因視場平均後而大於20 mm/hr。

從以上個案,本研究利用TMI Tb所反演的最大RR約為30 mm/hr,但是PR刈幅內最大RR大於70 mm/hr,造成此結果最主要原因為TMI的空間解析度大於PR,也是因為TMI空間解析度的關係,造成TMI反演RR大於20 mm/hr的範圍也較PR來的廣。

也就是說,因為PR的空間解析度較佳,較容易可以反應局部性強降雨率,但是降雨的分佈就比較沒有像TMI反演降雨有平滑的效果,反觀TMI因為空間解析度較差,無法反應出局部性強降雨,但是RR的分佈則較有平滑的效果。另外,PR估算的RR可達70 mm/hr以上,其準確性需進一步驗證。

五、結論及未來展望

本研究藉由RTM模擬各種大氣情況下亮溫度溫度的分佈,並轉換為削弱指數可以減低環境背景所造成的影響,且沒有因較大RR而使頻道飽和的缺點,還有隨著RR增加而遞減的優點,非常適合應用於海上降雨的研究。

利用衛星反演颱風RR,並以PR的近地面RR做驗證。定性分析降雨的型態、強度與位置,除了因為TMI空間解析度所造成最大的RR有低估的情形外,其它降雨位置與範圍大致與PR估算降雨相符。而在定量的分析上,與PR所估算的RR比較,兩者相關係數約0.6。另外,在小雨時衛星估算RR有高估的情形,相反的,在大雨情況下,衛星估算RR則有低估的狀況。

雖然PR為主動式遙測工具,其所求得之近地面降雨也有一定的可信度,但PR近地面降雨畢竟非實際觀測資料,未來可以進一步探討在強風速吹拂海面狀況下,PR近地面降雨與海上浮標實際觀測降雨的相關性。我們所關心的或許不單單只是某「點」的RR,而是某颱風登入時雨帶所

帶來某「地區」降雨的多寡，例如某一「地區」平均降雨量大於某閾值，該地區就會發布土石流警報。未來研究在定量的分析上除了以點對點的驗證外，還可以增加面積對面積的降雨定量驗證，所關心的是某雨帶可能對某區域可能造成的累積雨量，期望藉由區域的定量驗證來減低因為空間解析度所造成的誤差。

六、參考文獻

王光華、劉振榮，1998：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，第三卷，第三期，第39-66頁。

Adler, R. F., C. Kidd, G. W. Petty, M. Morrissey, and H. M. Goodman, 2001：Intercomparison of Global Precipitation Products: The Third Precipitation Intercomparison Project (PIP-3). Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 82, pp. 1377-1396.

Chen, W. J., and C. C. Li, 2002：Rain Retrievals Using Tropical Rainfall Measuring Mission and Geostationary Meteorological Satellite 5 Data Obtained during the SCSMEX. Intl. J. Remote Sens., Vol. 23, pp. 2425-2448.

Chiu, J. C., 2003：Bayesian retrieval of complete posterior PDFs of rain rate from satellite passive microwave observations. Ph.D. Dissertation, Purdue University, pp. 174.

Ikai, J., and K. Nakamura, 2003：Comparison

of Rain Rates over the Ocean Derived from TMI and PR. J. Atmos. Ocean. Technol., Vol. 20, pp. 1709-1726.

Joyce, R. J., J. E. Janowiak, P. A. Arkin, and P. Xie, 2004：CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution. J. Hydrometeor., Vol. 5, pp. 487-503.

Liu, G. R., C. C. Liu, and T. H. Kuo, 2002：A Satellite-Derived Objective Potential Index for MCS Development during the Mei-Yu Period. J. Meteor. Soc. Jap., Vol. 80, pp. 503-517.

Petty, G. W., 1994：Physical Retrievals of Over-Ocean Rain Rate from Multichannel Microwave Imagery. Part I: Theoretical Characteristics of Normalized Polarization and Scattering Indices. Meteor. Atmos. Phys., Vol. 54, pp. 79-100.

Simpson, J., C. Kummerow, W. K. Tao and R. F. Adler, 1996：On the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Meteorol. Atmos. Phys., Vol. 60, pp. 19-36.

Wilheit, T. T., and A. T. C. Chang, 1980：An Algorithm for Retrieval of Ocean Surface and Atmospheric Parameters from the Observations of the Scanning Multichannel Microwave Radiometer. Radio Sci., Vol. 15, pp. 525-544.

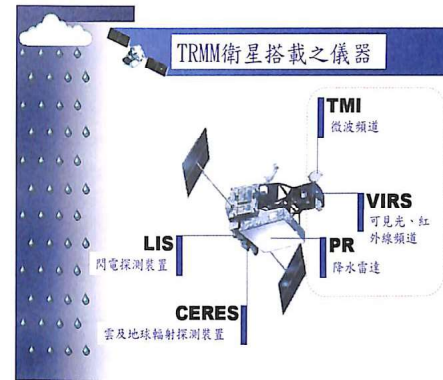


圖1 TRMM 衛星的外觀與搭載之儀器，摘自 JAXA 網站 (http://www.jaxa.jp/index_e.html)。

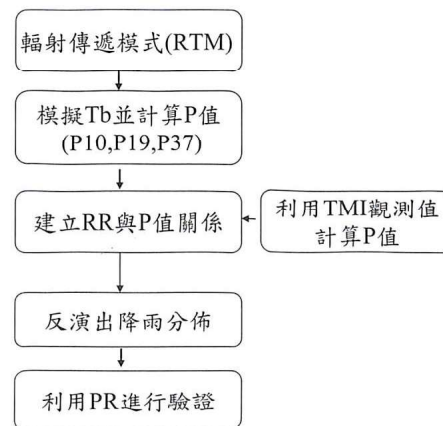


圖2 研究流程示意圖。

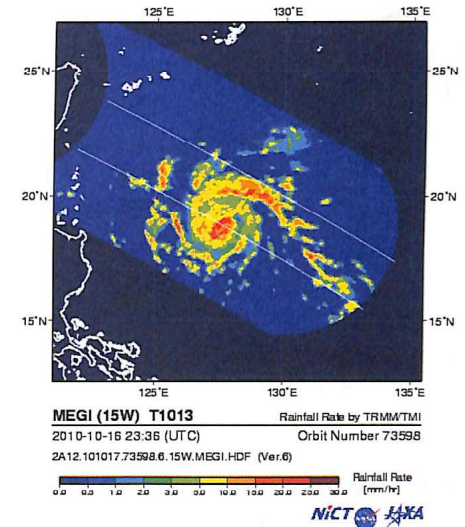


圖3 TRMM 掃瞄刈幅示意圖，淺藍色為 TMI 掃瞄刈幅，兩白色實線間表示 PR 掃瞄刈幅，彩色部分為雷達回波反射率。(摘自 http://sharaku.eorc.jaxa.jp/TYP_DB/index_e.shtml)。

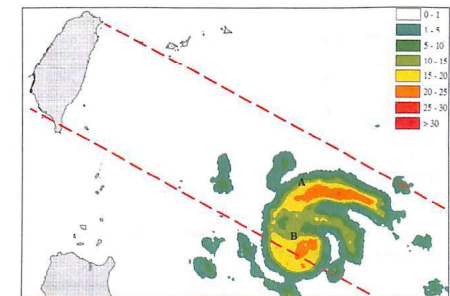


圖4 利用 TRMM/TMI 反演 2010 年 10 月 16 日 2336 UTC 梅姬颱風降雨強度，兩平行紅色虛線為 TRMM/PR 掃瞄刈幅。

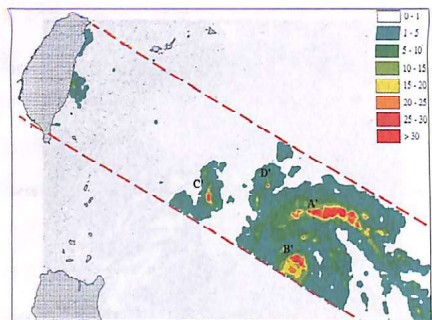


圖5 TRMM/PR 觀測 2010 年 10 月 16 日 2336UTC 梅姬颱風降雨強度，兩平行紅色虛線為 TRMM/PR 掃描刈幅。

表 1 TRMM 1B11 頻道特性
(摘自 <http://www.nasa.gov/>)

CHANNEL	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frequency (GHz)	10.7	10.7	19.4	19.4	21.3	37	37	85.5	85.5
Polarization	V	H	V	H	V	V	H	V	H
Beam width (GHz)	0.1	0.1	0.5	0.5	0.2	2	2	3	3
Beam width (deg)	3.68	3.75	1.90	1.88	1.70	1.00	1.00	0.42	0.43
EFOV-DT (km)	63.2	63.2	30.4	30.4	22.6	16.0	16.0	7.2	7.2
EFOV-CT (km)	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	4.6	4.6
Integration time [ms/sample]	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	3.30	3.30
No of EFOVs per scan	104	104	104	104	104	104	104	208	208
No of Samples per beam width	4	4	2	2	2	1	1	1	1
No of BEFOVs per scan footprint	26	26	52	52	52	104	104	208	208
(km ² /km)	63×37	63×37	30×18	30×18	23×18	16×9	16×9	7×5	7×5
Scan Mode : forward conical mode (conical angle=49°; incident angle θ=52.8°)									
TMI Antenna : 31.6 rpm; (1.9 sec/scan)									
Reading data sector :	130 degree								
Swath :	about 760 km								
TRMM speed :	7.3 km/sec								
TRMM speed (surface) :	6.9 km/sec (forward 14 km/scan)								

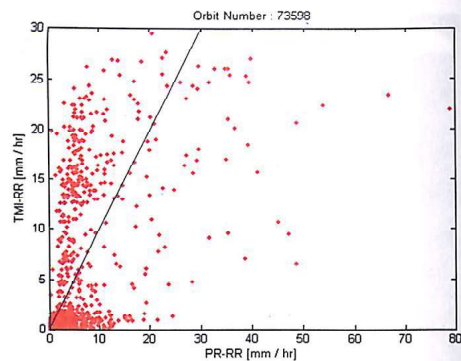


圖 6 2010 年 10 月 16 日 2336 UTC 梅姬颱風降雨估算散佈圖。橫軸為 PR 估算降雨率，縱軸為本研究估算之降雨率，實黑線為 x = y 直線。

Rain rate estimations for typhoon Megi over oceans using microwave data

Nan-Ching Yeh 1 Jian-Liang Wang 2 Wann-Jin Chen 3

1 School of defense science, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University
 2 Department of Environmental Information and Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University
 3 Ta Hwa Institute of Technology

Abstract

In the recent years, there exist a lot of natural disasters in Taiwan, especially caused by torrential rainfall from typhoons. The accumulated rainfall of typhoon had broken the record of past decades in Taiwan. The principal factor for these disasters to occur is the more concentration of rainfall distribution both in spatial and temporal domains. Timely warning is crucial for people to prepare for disasters and then reducing the damage and loss of properties. Therefore, it is extremely important to provide accurate rainfall estimations for typhoons.

We obtain brightness temperatures (Tb) of between rainy and clear sky by microwave radiative transfer models (RTM). In addition, we derive an attenuation index with a difference of polarization brightness temperatures to estimate rain rate over ocean. This index has advantages of decreasing with rain rate and not being easily saturated by rainfall. Finally, we utilize the attenuation index by Tb from TRMM/TMI to estimate rain rate of typhoon Megi over ocean.

The rainfall retrieved from satellite was compared with those from the TRMM/PR and the coefficient of correlation between them is above 0.6. Results show that the retrieval rainfalls overestimate for weak rainfall, but underestimate for heavy rainfall.

Keywords : radiative transfer model, brightness temperature, rain rate