

利用 TRMM/TMI 衛星微波資料估算台灣鄰近海域大氣水氣含量

朱炯光¹ 陳萬金² 劉振榮³

¹ 國防大學理工學院環境資訊及工程系

² 國防大學理工學院國防科學研究所

³ 國立中央大學太空暨遙測中心

摘要

本研究使用2002~2006年5-8月TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)衛星上的微波(TMI, TRMM Microwave Imager)亮度溫度(Tb)資料及台灣地區探空測站之觀測資料由Tetens、Tim and Todd(2007)及Chiu and Petty (2005)等公式所計算之水氣量(V)，以統計法建立V-Tb多頻道線性迴歸方程式，以估算台灣地區海上之水氣量。主要以Chiu and Petty (2005)所發展全球水氣量方法針對台灣地區水氣量反演進行研究。另外利用TRMM/TMI微波頻道中的第3、5、7頻道(分別為19.35V、21.3V、37H GHz)與高空探空觀測得到水氣量相匹配，建立台灣地區水氣量指數方程並進行反演成果的驗證與討論。將此水氣量模式運用於偵測台灣西南海域之水氣量，以期有效對未來劇烈天氣變化所導致豪大雨發生，做出正確預報。

關鍵字：水氣量、微波頻道、線性迴歸、統計法

1.前言

台灣因位於副熱帶地區，每年夏季常會受太平洋高壓勢力、南來氣流及颱風侵襲影響，常因天氣系統變化，伴隨著水氣量多寡，導致劇烈天氣與豪大雨發生，對生命與財產有很大的威脅，造成重大的天然災害，如洪水及土石流等等，在民生與航空方面也造成許多的困擾，因此對於台灣地區水氣量預報的需求相當殷切。

在海上常因天氣系統及盛行風生成，造成熱力及動力的機制，而對流也透過潛熱釋放與垂直方向動量、質量、水氣量等傳送影

響到大尺度環境之熱力與動力結構，所以在不穩定度高、水氣量充足、且有舉升機制的情形下，有利於對流系統發生。也因此了解水氣量的變化有助於掌握對流的發展及監測。

過去，在研究大氣垂直結構方面，常依賴探空測站施放探空氣球所獲得之探空資訊，但由於資料的時間及空間解析度過大，常常無法有效掌握及所需區域的氣候資訊。近來，由於衛星科技的發展迅速，利用氣象衛星微波與探空資料於水氣量研究已成為全球水氣量研究不可或缺的工具。台灣四周環

海，利用探空與氣象衛星資料反演的水氣資料，對來自海上天氣系統變化及水氣量之多寡來進行有效的觀測及追蹤是最為簡便的方法，除有效增加時間及空間解析度外，並可以了解水氣量發展的過程及強度，進而提供防災防洪所必要的資訊。

本研究目的即利用通過台灣地區 TRMM 衛星之 TMI 微波資料配合本省探空測站所觀測之探空資料來進行匹配，進而估計水氣含量，並以建立時間序列，持續監測水氣含量，以便更有效掌握大氣環境熱力機制，期望能增加劇烈天氣之預報能力。

2. 研究內容及方法

2.1 研究內容

本研究以 Chiu and Petty (2005)[1] 所發展全球水氣量方法針對台灣地區水氣量反演進行研究，整個研究流程可概分為：資料蒐集與處理、水氣量反演、反演成果驗證等步驟。首先，蒐集 TRMM/TMI 通過台灣馬公、板橋、屏東、綠島四個測站的個案與當日四個探空觀測站之資料，利用此一時間的資料以 Tetens 公式[2]及 Tim and Todd(2007) [3]及 Chiu and Petty (2005) 所發展全球水氣量的模式來進行水氣特性的分析；並假設探空測站的觀測資料之水氣量為真值，以 2004-2006 年 5-8 月 TRMM/TMI 微波低頻頻道 Tb_{19v} 、 Tb_{22v} 及 Tb_{37H} 之亮度溫度與探空測站資料所計算之水氣量依 Chiu and Petty (2005) 模式來建立 V (kg/m^2) = $A_1 + A_2 \ln(290 - T_{19v}) + A_3$

$\ln(290 - T_{21v}) + A_4 \ln(290 - T_{37H})$ 關係，求得台灣地區之 V 、 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 的值。

其次，將本研究求得的台灣地區水氣量之反演式與 Chiu and Petty (2005)[1] 所發展全球水氣量的模式以 2002-2003 年 5-8 月份之 TRMM/TMI 微波資料相比較，針對估算出的水氣量進行反演成果的驗證與討論。

2.2 研究方法

台灣地區水氣量反演公式的計算，首先針對探空資料取樣與驗證，定義台灣地區探空觀測站 V 的水氣量值；其次，再利用 TRMM/TMI 的微波資料的亮度溫度與 V 值進行水氣量反演公式的反演。

2.2.1 探空資料取樣與驗證

先蒐集 2005 年 5、6 月期間馬公、板橋、屏東及綠島探空測站之探空資料，利用垂直大氣中各層所包含的水氣含量累積，使用探空資料中 3 個參數：氣壓、溫度及露點差 Alishouse et al. (1990)[4]，經由 Tetens 及 Tim and Todd(2007)[3] 水氣公式計算水氣量求取此單位氣柱內的水氣的總含量 V ，計算方式如 (1) 式：

$$V = \int_0^z \rho dz = \frac{1}{g} \int_{300}^{p_s} q_s dp \quad (1)$$

其中 ρ 為水的密度， z 為 300hPa 的重力位高度， g 為重力加速度， q_s 為實際水氣混合比， p_s 為地面氣壓。並與同時間 TRMM/TMI 儀

器通過馬公、板橋、屏東、綠島探空測站的微波資料，依 Chiu and Petty (2005)[1]水氣量反演公式反演水氣量來相比較，資料顯示，TRMM/TMI 儀器於 2005 年 5、6 月期間通過測站計有 45 個個案，與探空觀測站計 121 個案相匹配，共計有 28 個個案在時間序列上吻合所匹配的條件，如表 1。經由 Chiu and Petty (2005)[1]水氣量反演公式所反演出水氣量與探空測站利用 Tetens 公式及 Tim and Todd (2007)水氣量公式來相比較，與馬公探空的相關係數分別為 0.9134、0.912(相關性如圖 1)；板橋探空的相關係數分別為 0.8921、0.8920；屏東探空相關係數分別為 0.8331、0.8335；綠島探空相關係數為 0.8868、0.8873 兩者差異不大，如表 2 所示。四個探空測站與 Chiu and Petty (2005)[1]水氣量以馬公測站值為最好、本研究將取 Tetens 公式作為計算探空水氣量的真值，並後續於與馬公測站進行水氣量的反演。

2.2.2 建立台灣地區水氣量 (V) 方程

Chiu and Petty (2005)[1]依據 Alishouse et al. (1990)[4] and Petty (1994b)[5] 及 Chiu (2003)，利用 TMI 之微波輻射頻道與無線電探空值來做匹配，以 1991 年 1 月至 7 月間無線電探空報告及同時間 TMI 微波資料來匹配，進行水氣反演，以進行全球水氣量的研究。並定義水氣量方程式為：

$$V = 128.57 + 33.94 \ln(290 - T_{19V}) - 72.13 \ln(290 -$$

$$T_{21V}) + 10.48 \ln(290 - T_{37H}) \quad (2)$$

台灣因位於副熱帶地區，夏季常會受太平洋高壓勢力及南來氣流及颱風影響，對於地理位置與其大氣條件有其獨特性，本研究將依據 Chiu and Petty (2005)[1]所使用的水氣量的模式理論，利用 TRMM/TMI 微波頻道中的第 3、5、6 頻道(分別為 19.35V、21.3V、37H GHz)，三個頻道，建立台灣地區水氣量指數方程式。

$$V = A_1 + A_2 \ln(290 - T_{19V}) + A_3 \ln(290 - T_{21V}) + A_4 \ln(290 - T_{37H}) \quad (3)$$

利用 TRMM/TMI 微波資料，建立此觀測儀之台灣附近地區的水氣量指數方程式。首先，蒐集 2002 至 2006 年 5 至 8 月期間，TRMM/TMI 觀測儀器通過台灣馬公測站(北緯 23.56，東經 119.61)上空的個案 00Z 及 12Z UTC 之前後兩小時之微波資料，與同時間 00Z 及 12Z UTC 之馬公探空資料相匹配。

利用 TRMM/TMI 微波資料中低頻的 18.7V (Tb19V)、23.8 (Tb23V) GHz 及 37(Tb37H)-GHz 頻道的資料，依上述公式，經由線性迴歸即可得到二者之間的關係為：

$$V = 182.98 + 9.94 \ln(290 - T_{19V}) - 70.71 \ln(290 - T_{21V}) + 19.38 \ln(290 - T_{37H}) \quad (4)$$

此一方程式為在台灣地區利用 TRMM/TMI 微波資料所得之水氣量方程式。

2.2.3 台灣地區水氣量反演

本研究利用 2004 年至 2006 年 5 至 8 月間通過台灣地區的衛星微波資料及馬公地面探空站 00 及 12 UTC 資料，作為台灣地區水氣量反演公式的演算，由資料顯示共計有 185 個個案。針對以上 185 個衛星微波個案與 645 筆探空個案進行衛星微波與探空測站觀測值的資料匹配，以 80 筆的有效樣本資料進行水氣量反演公式的迴歸。

利用本研究水氣量 V 值與衛星微波頻道亮度溫度(K)的建立關係式為： $V(\text{Kg/m}^2) =$

$A_1 + A_2 \ln(290 - T_{19V}) + A_3 \ln(290 - T_{21V}) + A_4 \ln(290 - T_{37H})$ 。經由統計迴歸法計算可得台灣地區水氣量反演的公式為： $V = 182.98 + 9.94 \ln(290 - T_{19V}) - 70.71 \ln(290 - T_{21V}) + 19.38 \ln(290 - T_{37H})$ 。下一節將以 2002 年至 2006 年 5 至 8 月的 TRMM/TMI 資料，分別以 Chiu and Petty (2005)[1]及本研究水氣量反演方法，估算台灣地區水氣量的結果進行比較，以了解本研究所得之台灣地區水氣量反演公式的優劣。

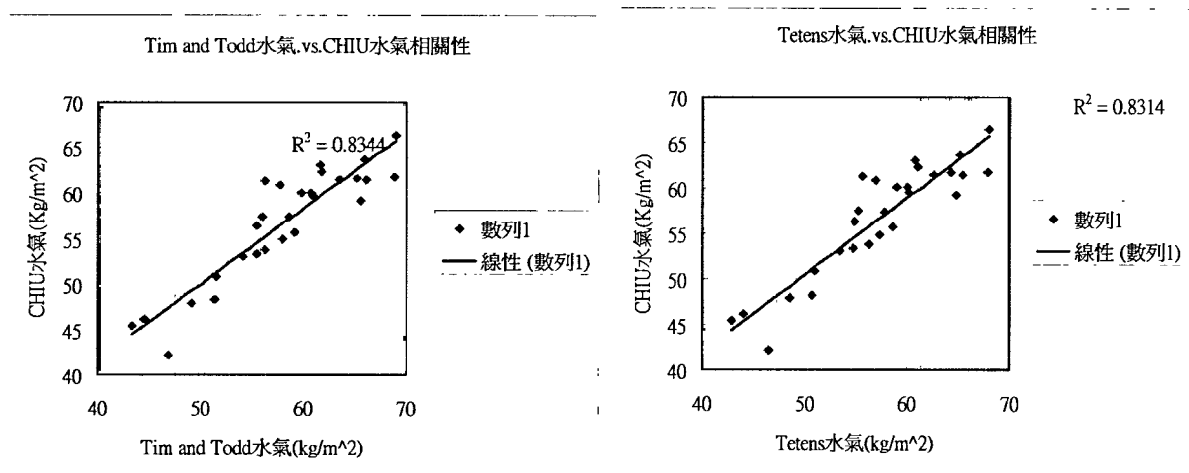


圖 1 2005 年 5、6 月衛星反演水氣值(Chiu)與探空利用 Tim and Todd、Tetens 公式計算之水氣值相比較。

表1. 2005年5、6月衛星反演水氣值(Chiu)與馬公探空利用Tim and Todd、Tetens公式計算之水氣值相比較

年	月	日	時	Tim and Todd 水氣(Kg/m ²)	Tetens 水氣 (Kg/m ²)	Chiu 水氣 (Kg/m ²)
2005	5	2	0	54.09	53.44	53.06
2005	5	3	0	55.37	54.71	53.37
2005	5	6	0	58.56	57.82	57.38
2005	5	7	0	43.3	42.89	45.39
2005	5	9	0	59.13	58.52	55.67
2005	5	14	12	65.08	64.2	61.7
2005	5	16	12	51.31	50.73	48.3
2005	5	17	12	55.93	55.22	57.46
2005	5	18	12	60.95	60.14	59.61
2005	5	20	12	55.38	54.84	56.36
2005	5	25	12	44.42	43.93	46.17
2005	5	27	12	60.63	59.9	60.08
2005	5	28	12	61.76	61.01	62.33
2005	5	29	12	56.23	56.23	53.76
2005	5	31	12	61.58	60.78	63.05
2005	6	1	12	56.22	55.58	61.35
2005	6	5	0	51.49	50.98	50.82
2005	6	6	0	46.9	46.46	42.15
2005	6	8	0	49.02	48.55	47.87
2005	6	10	0	68.91	67.93	66.4
2005	6	12	0	68.82	67.84	61.82
2005	6	17	0	65.89	65.15	63.65
2005	6	19	0	63.41	62.59	61.54
2005	6	20	0	57.59	56.86	60.94
2005	6	21	0	59.73	58.96	60.11
2005	6	23	0	57.91	57.19	54.87
2005	6	24	0	65.5	64.69	59.21
2005	6	28	12	66.05	65.31	61.47
均方根誤差				3.078317	3.165626	

表2. 2005年5、6月衛星反演水氣值(Chiu)與各探空利用Tim and Todd、Tetens公式計算之水氣值相關係數相比較

水氣種類	Tim and Todd 水氣(Kg/m ²)	Tetens水氣 (Kg/m ²)
馬公探空站水氣與Chiu 水氣之相關係數	0.9134	0.912
板橋探空站水氣與Chiu 水氣之相關係數	0.892097	0.892016
屏東探空站水氣與Chiu 水氣之相關係數	0.8331	0.8335
綠島探空站水氣與Chiu 水氣之相關係數	0.8868	0.8873

3. 結果與討論

上一節利用2004年至2006年5至8月間的衛星微波資料及馬公地面探空站資料，並獲得台灣地區降水量反演公式為： $V = 182.98 + 9.94 \ln(290 - T_{19V}) - 70.71 \ln(290 - T_{21V}) + 19.38 \ln(290 - T_{37H})$ 。本節將針對此一反演公式所估算的水氣量與Chiu and Petty (2005)[1]水氣量反演公式所估算的TRMM/TMI 衛星資料水氣量，並以馬公地面探空站資料為真值進行比較，進行反演成果的驗證及其成果分析及討論。

3.1 台灣地區水氣量反演成果驗證

以 TRMM/TMI 的微波資料，分別以 Chiu and Petty (2005)[1] 及本研究水氣量反演方法，估算台灣地區水氣量反演結果進行比較，以了解本研所得之台灣地區水氣量反演公式的優劣。首先，針對2002年至2003年5至8月間所選取的有效樣本共計 48 點，代入本研究所反演出台灣地區之反演式與 Chiu and Petty (2005)[1]之全球反演式及探空觀測站的水氣值相比較行點與點的比較，所得到 V 值與高空探空觀測站的水氣量值之分佈圖，如圖 2 所示。

在圖 2 中菱形部份為探空觀測站所觀測到的水氣量值，三角形的部份則為本研究之反演式以 TRMM/TMI 衛星微波資料所得到水氣量的值，正方形為 Chiu and Petty (2005)[1]反演式所得到之水氣量，由圖中得知，反演結果大致與探空水氣量相雷同，但

本研對於部分的強及弱水氣量反應結果較 Chiu and Petty (2005)[1]為佳。

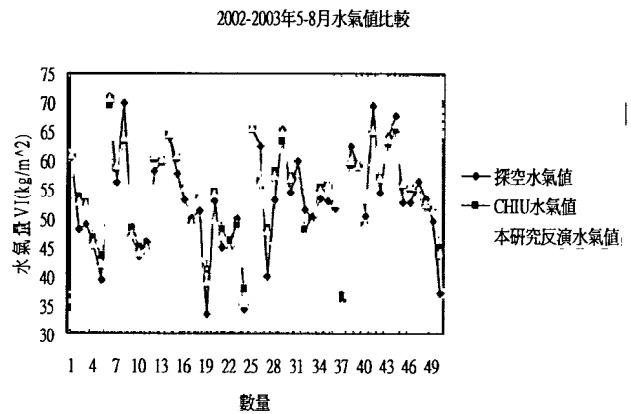


圖 2 Chiu 與本研究利用衛星微波資料與探空測站觀測值的水氣量分佈圖。

經統計本研究所反演出之水氣量與 Chiu and Petty (2005)[1]反演出水氣量與探空水氣之相關性如圖 3 所示。本研究反演值與探空水氣之均方根誤差(Root Mean Square ,RMS) 為 2.98 Kg/m^2 ，相關係數為 0.959 較 Chiu and Petty (2005)利用衛星微波資料反演值均方根誤差為 3.28 Kg/m^2 ，相關係數為 0.934 來的好，詳如表 3。

由圖 4 中 c、d 圖中紅色點為水氣量值 $V(\text{kg/m}^2)$ ；藍色點為亮度溫度 $T_{b19V}-T_{b19H}$ 極化差(k)，由圖中本研究所反演之氣量值可知，降雨率越高，極化差越小，而水氣量也較高，反之 Chiu and Petty (2005)[1]在降雨率較高的地方，水氣量反而下降，因此無法反映降雨量較高的水氣量。

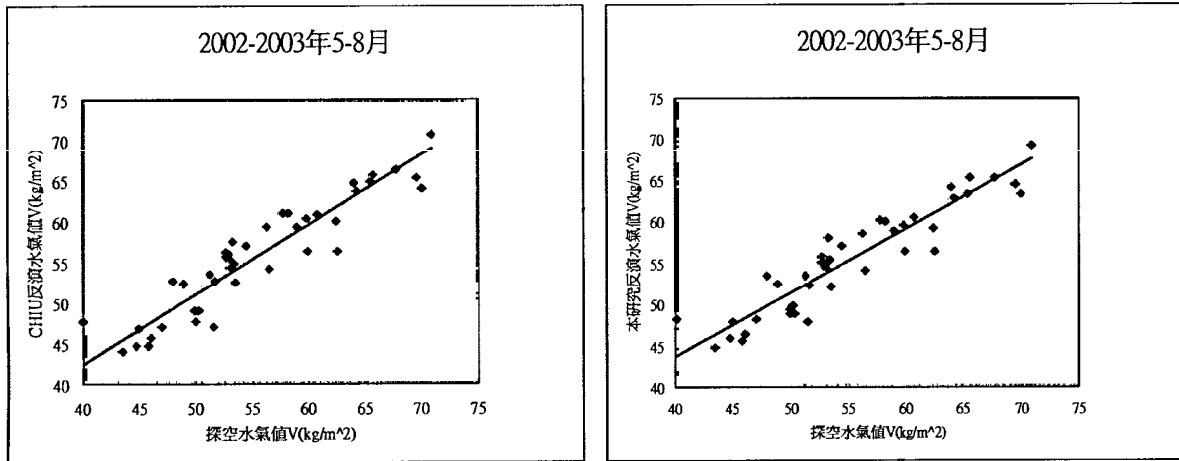


圖 3 利用 TRMM/TMI 的微波資料，分別以 Chiu and Petty (2005)及本研究水氣量反演方法，估算台灣地區 2002 至 2003 年 5 至 8 月 48 筆資料作水氣量驗證結果進行比較。

3.2 利用衛星微波資料於海面水氣量反演成果分析

利用微波資料，由本研究反演之水氣量模式中，可獲得台灣附近水氣量的變化。由 2007 年 8 月 1 日至 8 月 26 日止，通過台灣地區之 9 筆衛星資料中，以本省西南海域北緯 22.755° 東經 119.383° 區域水氣量變化得知，西南海域水氣量由 8 月 7 至 16 日間有明顯升高趨勢，期間帕布颱風及梧提颱風陸續通過本省進入大陸東南沿海，10 日梧提颱風雖然減弱，但是南方的雲系逐漸向北移動，因此台灣地區處在低壓帶範圍之內，天氣不穩定加上旺盛西南氣流影響，水氣量有明顯遽增趨勢，由圖 5 分析圖中可以獲知。導致 10 日至 13 日間台灣中南部地區的局部性大豪雨或超大豪雨發生。因此本研究可藉由衛星所反演之水氣量，得知水氣量發展的過程及強度的變化，進而提供防災防洪所必要的

資訊。

表3 water vapor algorithm (kg/m²) (V)定義及使用地點限制。

$V = A1 + A2 \ln(290 - T19V) + A3 \ln(290 - T21V) + A4 \ln(290 - T37H)$					
適用地點與發表作者	A1	A2	A3	A4	均方根誤差
Petty (1993)全球 /SSM/I	174.1	4.638	-61.76	19.58	
Chiu and Petty (2005)全球	128.57	33.94	-72.13	10.48	3.28
本研究 (台灣區域)	182.98	9.94	-70.71	19.38	2.98

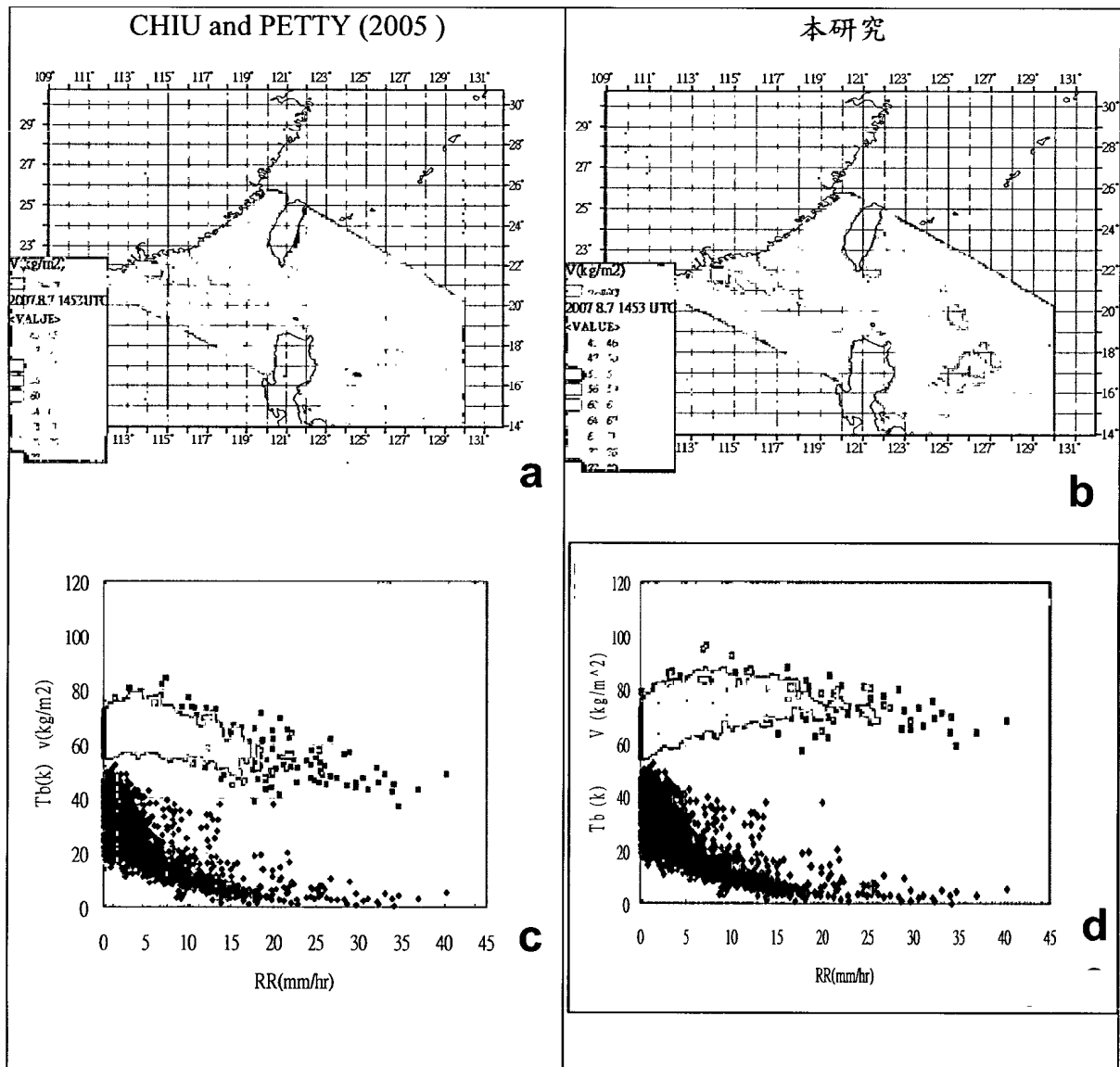


圖 4 a、c 分別為利用 TRMM/TMI 2007 年 8 月 7 日 1453 UTC 的微波資料以 Chiu and Petty (2005) 反演試算出之水氣圖及水氣量與 $Tb_{19V} - Tb_{19H}$ 極化差和降雨量的示意圖，b、d 為本研究。

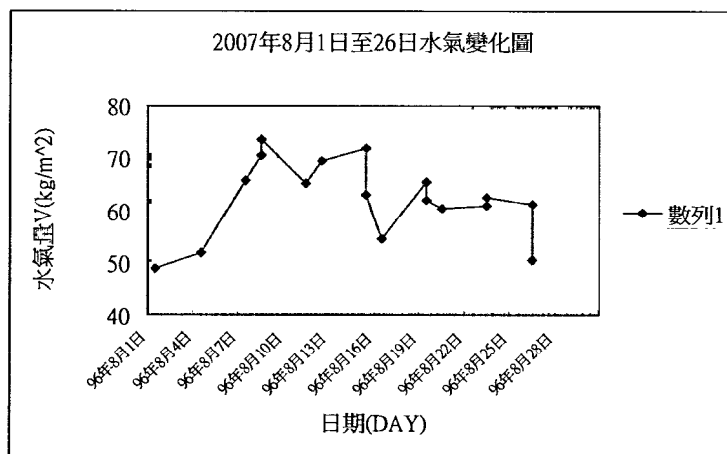


圖 5 利用微波資料，由本研究反演之水氣量模式中，可獲得台灣附近海域 $22.755^{\circ} N$ ， $119.383^{\circ} E$ 之水氣量的變化趨勢。

致謝

本研究感謝美國航空暨太空總署 NASA GSFC DAAC 資料庫免費提供 TMI 微波資料以及大氣科學研究所資料庫所提供四個探空觀測資料。本文在國科會研究計畫：NSC 95-2111-M-606-001-AP2 支援下完成。

參考文獻

- [1] Christine, C. J., Petty, G.W., "Bayesian Retrieval of Complete Posterior PDFs of Oceanic Rain Rate from Microwave Observations" *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45(8): 1073-1095, 2005.
- [2] 曾忠一, 大氣衛星遙測學, 渤海堂文化事業公司, 台北, 630 頁, 1988.
- [3] NOAA 網站 Mixing Ratio by Tim Brice and Todd Hall, <http://www.srh.noaa.gov/elp/wxcalc/mixingratio.shtml>, 2007.
- [4] Alishouse J.C., Snyder S.A., Vongsathorn J., Ferraro, R. R., "Determination of oceanic total precipitable water from the SSM/I". *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 28(5):811-816, 1990.
- [5] Petty, G.W., "Physical retrievals of over-ocean rain rate from multichannel microwave imagery. Part II: Algorithm implementation." *Meteorol. Atmos. Phys.*, 54:101-122, 1994.
- [6] Petty, G.W., "Physical retrievals of over-ocean rain rate from multichannel microwave imagery. Part I: Theoretical

characteristics of normalized polarization and scattering indices." *Meteorol. Atmos. Phys.*, 54:79-100, 1994.

Estimation of Precipitable Water vapor over sea around the Taiwan area using TRMM/TMI Microwave Data

Chiung-Kuang Chu¹ Wann-Jin Chen² Gin-Rong Liu³

¹Department of Environmental Information and Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

² school of Defense Science, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

³ The Space and Remote Sensing Center, National Central University

ABSTRACT

This research uses the satellite microwave brightness temperature (T_b) data of TMI on board TRMM and the radiosonde observation data over Taiwan's region to calculate the water vapor (V) by Tetens, Tim and Todd (2007) and Chiu and Petty (2005) from May - August of 2002 to 2006. These make-ups has been used to create V - T_b multiple linear regression equation by statistic method, in order to estimate the maritime water vapor in Taiwan.

The most importance of this research is using the global water vapor estimation by Chiu and Petty (2005) and aims at the amount of water vapor in Taiwan area to perform retrieval research. In addition, using the brightness temperatures from channel 3,5,7 (for 19.35 V , 21.3 V , 37 H GHz respectively) in microwave channel of TRMM/TMI are matched with the amount of water vapor of the radiosonde observational data to set up the water vapor exponential equation and to perform the achievement of the retrieval and discussion.

The algorithm for estimating water vapor is applied to monitor the amount of water vapor in Taiwan's southwest sea area. It is expected that the ability of forecasting for the heavy rain resulted from the severe weather can be promoted in the future.

Key words: Water vapor, Microwave channel, Linear regression, Statistic method