

結合多顆衛星微波資料應用於天氣系統上之分析應用

朱炯光¹ 陳萬金² 汪建良² 劉振榮³

1 空軍氣象聯隊氣象中心

2 國防大學理工學院環境資訊及工程系

3 國立中央大學太空暨遙測中心

摘要

本文主要是利用衛星微波 19、22、37 GHz 等頻道之亮度溫度(brightness temperature; Tb)，與探空資料進行匹配，建立台灣臨近海域多顆衛星可降水量 (Integrated Precipitable Water Vapor; IPW) 反演方程。衛星 IPW 反演結果將有助於西南氣流、鋒面、颱風等天氣系統之降水預報。研究中所使用的資料為 2002~2006 年 5~8 月 TMI(Tropical Rainfall Measuring Mission Microwave Imager)、AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing System)、SSM/I(Special Sensor Microwave/Imager)的衛星微波亮度溫度以及台灣地區之探空資料。研究步驟為先利用探空資料以 Tetens 公式計算 IPW，再以統計法建立每顆衛星之 IPW-Tb 多頻道線性迴歸方程式，進而估算台灣臨近海域之 IPW。

關鍵詞：微波、探空資料、可降水量、線性迴歸方程

一、前言

大氣環境中，對流常會透過潛熱的釋放與垂直方向的動量、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，將有利於對流系統發生。在海上，我們常會因為熱力及動力的機制影響，造成天氣系統的變化及盛行風的生成。因此，了解大氣結構水氣量的變化，有助於掌握天氣系統的發展與監測。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。但由於每個探空測站在測站與測站之間的距離相距 100 公里以上，且探空放球時間每日 2 次(00、12 UTC)，雖然當有劇烈天氣系統(如颱風及梅雨鋒面等)接近或影響台灣地區時，會增加觀測次數，但資料的時間及空間解析度皆不足，以致常常無法有效掌握所需的大氣資訊。

如何有效取得正確且較廣泛的大氣資

訊，這是氣象界一直想要達成的目標。近來，由於衛星科技的迅速發展，因此有許多學者便利用全球探空測站網的資訊與氣象衛星掃描過的各頻道之亮度溫度(brightness temperature; Tb)建立關係。經由探空觀測資料所計算之 IPW 與氣象衛星掃描之 Tb 進行匹配，取得兩者之間的迴歸係數及方程。目前此方法已有相當不錯的成果(例如 Chiu and Petty, 2006)。[1]

利用氣象衛星進行大氣中水氣的反演，可分為近紅外線(NIR, Near Infrared)、紅外線(IR, Infrared)及微波(Microwave)頻道反演，但由於前兩者在紅外線區域，當遇到雲層時呈現了相當不透明的狀態，因為紅外線波長較短(波長0.8~100 μm)，無法透過雲層，底層輻射能雖強，但輻射能在上傳過程中被吸收而無法到達衛星，只能取得大氣中、上層的水氣(Bader et al.1995)。[2]另一方面，微波的波長較長(波長0.1cm~100cm)，受到雲

的影響很小，即使天空被雲遮蔽，微波輻射仍可穿透雲層，到達衛星裝載輻射儀上。因此，微波探測器能全天候探測水氣的分布，獲取大氣整層之IPW，如此，利用氣象衛星微波與探空資料於IPW研究已成為全球可降水量研究不可或缺的工具。台灣地區四周環海，利用探空與氣象衛星資料反演的水氣資料，對於進行觀測及追蹤來自海上天氣系統的變化與水氣量之多寡，是最為簡便的方法，除有效增加氣象觀測上時間及空間解析度外，並可以監測海上IPW的發展過程。以便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，進而提供防災、防洪及軍事作戰所必要的資訊。

本文主要是利用 TRMM/TMI (Tropical Rainfall Measuring Mission/TRMM Microwave Imager)、AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing System)、SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager)的衛星微波頻道之 Tb 與台灣地區探空資料進行匹配，建立台灣臨近海域 IPW 之反演。

二、研究內容及方法

本文採用 Chiu and Petty (2006)[1]的反演式，但以通過台灣地區的衛星微波資料與探空資料進行 IPW 的反演。以 2004~2006 年 5 至 8 月 TRMM/TMI 微波低頻頻道 Tb_{19V} 、 Tb_{22V} 及 Tb_{37H} 之 Tb 與探空測站資料所計算之 IPW，依 Chiu and Petty (2006) [1]模式，求得台灣鄰近地區三頻道水氣反演式，亦即求出 $IPW=A_1+ A_2\ln(290 -T_{19V})-A_3 \ln(290-T_{21V})+ A_4 \ln(290-T_{37H})$ 式中之 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 等係數。其次，將本文與 Chiu and Petty (2006) IPW 的模式以 2002~2003 年 5 至 8 月份之 TRMM/TMI 微波資料相比較。

再者，運用此研究方法，對通過台灣 AMSR-E 及 SSM/I 微波資料與探空資料進行

匹配，建立台灣地區之 AMSR-E 及 SSM/I 微波資料之 IPW 反演模式。求得兩顆衛星之 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 的值。由三種不同的衛星及其 IPW 演式中，建立衛星與衛星之間之相關性。最後將所建立之相關性針對研究的個案，進行 IPW 的反演成果驗證與討論，反演研究流程圖如圖 1 所示。

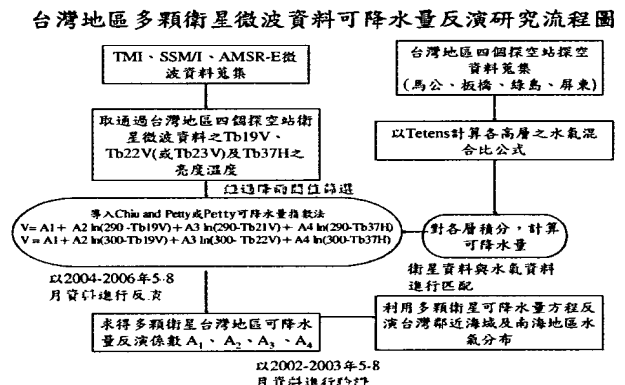


圖 1 台灣地區多顆衛星微波資料可降水量 (IPW) 反演研究流程圖

1. 探空資料取樣

先蒐集 2005 年 5 至 6 月期間，馬公、板橋、屏東及綠島探空測站之探空資料，依 Alishouse et al. (1990) [3] 研究方式，使用探空資料中的氣壓、溫度及露點 3 個參數，經由 Tetens (曾, 1988) [5] 公式計算水氣混合比，並求取此單位氣柱內的 IPW，計算方式如下：

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

其中 ρ 為水氣的密度 (kg/m^3)， z 為高度 (km)， g 為重力加速度 (m/sec^2)， q 為實際水氣混合比 (g/kg)， p_s 為地面氣壓 (mb)；IPW 的單位為 kg/m^2 。

2. 建立多顆衛星之 IPW 反演式

由於在微波區域 40GHz 以下，對水氣含量較靈敏範圍介於 18 至 40 (GHz) 之間，其中又以 21~24 GHz 為最。本文將分別利用 TMI、SSM/I 及 AMSR-E 衛星，以各顆衛星介於微波區域對水氣靈敏度之頻道特性，與

探空儀所獲得之探空資料所計算之水氣值相匹配。鑑於 Alishouse et al. (1990)[3]在 SSM/I 水氣量反演中，以 Tb_{37V} (37GHz-垂直極化頻道) 做為 IPW 反演式中的一個變數，所以本文亦嘗試將 Petty (1994b)[4] 及 Chiu and Petty (2006)[1] 反演式中的 Tb_{37H} 置換為 Tb_{37V} ，探討兩頻道對 IPW 反演值的影響。

TRMM/TMI之 IPW 反演式中依據 Chiu and Petty (2006) [1]利用 TMI微波頻道中的第 3、5、7 頻道 (分別為 19.35V、21.3V、37H)，三個頻道，以 $Tb_{19H} > 207 K$ 、 $Tb_{19V} > 208 K$ 及 $Tb_{21V} > 208 K$ 作為降雨閾值。

DMSP/SSM/I 之 IPW 方程中依據 Petty (1994b)[4]利用 SSM/I微波頻道中的第 1、3、5 頻道 (分別為 19.35、21.3 (GHz)，垂直極化頻道與 37 GHz 水平極化頻道)，三個低頻頻道，以 $Tb_{19V} - Tb_{19H} < 15K$ 作為降雨閾值。

AQUA/AMSR-E 之 IPW 方程，則利用此衛星微波頻道中的第 5、7、10 頻道 (分別為 18.7、23.8 (GHz) 垂直極化頻道與 36.5 GHz 水平極化頻道)，三個頻道建立，但由於 Aqua 衛星搭載 AMSR-E 微波資料在掃描本文區域所通過的時間約為 05 及 17 UTC，無法與本文所使用之探空資料 00 及 12 UTC 相匹配；於是，將所有探空資料以時間內插方式，將每日經由探空資料所計算之 IPW，內插至 AMSR-E 微波資料所通過的時間來相匹配，進行水氣反演。並以 $Tb_{19H} > 207 K$ 、 $Tb_{19V} > 208 K$ 及 $Tb_{23V} > 208 K$ 作為降雨閾值。

3. 衛星微波資料與探空資料取樣與匹配

本文利用 2004~2006 年 5 至 8 月間通過台灣地區的 TMI、SSM/I 及 AMSR-E 衛星微波資料及馬公地面探空站 00 及 12 UTC 資料，作為多顆衛星對台灣地區 IPW 反演公式之演算。

由資料顯示 TMI 微波資料共計有 185 個個案。針對以上衛星微波個案與 645 筆探空個案進行衛星微波與探空資料匹配，以 80 筆

的有效樣本資料進行 TMI IPW 反演公式的迴歸；SSM/I 微波共計有 79 個個案，與探空個案進行匹配，以 36 筆的有效樣本資料進行 IPW 反演公式的迴歸；AMSR-E 微波共計有 741 個個案與探空進行匹配，以 373 筆的有效樣本資料進行 IPW 反演公式的迴歸。利用本文探空 IPW 與多顆衛星微波頻道 Tb 的建立關係式綜整如表 1。

表 1 本文之多顆衛星微波頻道亮度溫度(Tb)與探空可降水量(IPW)的關係式

TMI 可降水量 (IPW) 反演式 ^a				
反演方程 ^b	A1 ^c	A2 ^c	A3 ^c	A4 ^c
$IPW = A1 + A2 \ln(290 - T_{19V}) + A3 \ln(290 - T_{21V}) + A4 \ln(290 - T_{37V})$	182.98 ^d	9.94 ^d	-70.71 ^d	19.38 ^d
$IPW = A1 + A2 \ln(290 - T_{19V}) + A3 \ln(290 - T_{37V}) + A4 \ln(290 - T_{37V})$	150.831 ^d	27.22 ^d	-72.757 ^d	14.082 ^d
SSM/I 可降水量 (IPW) 反演式 ^b				
反演方程 ^c	A1 ^c	A2 ^c	A3 ^c	A4 ^c
$IPW = A1 + A2 \ln(300 - T_{19V}) + A3 \ln(300 - T_{21V}) + A4 \ln(300 - T_{37V})$	132.22 ^d	35.33 ^d	-81.78 ^d	15.84 ^d
$IPW = A1 + A2 \ln(290 - T_{19V}) + A3 \ln(290 - T_{21V}) + A4 \ln(290 - T_{37V})$	78.313 ^d	26.63 ^d	-62.80 ^d	17.734 ^d
$IPW = A1 + A2 \ln(290 - T_{19V}) + A3 \ln(290 - T_{21V}) + A4 \ln(290 - T_{37V})$	58.82 ^d	35.51 ^d	-68 ^d	20.38 ^d
AMSR-E 可降水量 (IPW) 反演式 ^b				
反演方程 ^c	A1 ^c	A2 ^c	A3 ^c	A4 ^c
$IPW = A1 + A2 \ln(290 - T_{19V}) + A3 \ln(290 - T_{23V}) + A4 \ln(290 - T_{37V})$	145.36 ^d	19.30 ^d	-61.19 ^d	9.52 ^d
$IPW = A1 + A2 \ln(290 - T_{19V}) + A3 \ln(290 - T_{23V}) + A4 \ln(290 - T_{37V})$	132.27 ^d	20.24 ^d	-66.37 ^d	18.19 ^d

4. 結合多顆衛星之 IPW 資料

我們利用 TMI、SSM/I 及 AMSR-E 多顆衛星微波資料，以微波對水氣靈敏度之頻道特性，由微波頻道之 Tb 與探空儀所獲得之探空資料所計算之 IPW 相匹配，經線性迴歸及驗證結果，建立了各顆衛星台灣地區的最佳的 IPW 反演式，進一步可以獲取每顆衛星對台灣鄰近海域之 IPW 資訊。

然而，每顆衛星由於繞行的方式及頻率各有不同，如 TRMM 衛星 TMI 微波輻射計在通過本文區域約每日有兩個時段 (但不一定每日都有資料)，且每日衛星所通過的時間不盡相同；Aqua 衛星 AMSR-E 微波輻射計及 DMSP SSM/I 衛星微波輻射計，兩顆衛星均屬繞極軌道衛星，Aqua 衛星 AMSR-E 微波輻射計，通過本文區域，每日有兩個時段

(約為 05 及 17 UTC); 而 DMSP SSM/I 衛星微波輻射計, 目前本文所使用 F-13、F-14、F-15 三顆衛星, 所通過本文區域時間, 每顆衛星每日各計有兩個時段(約為 09 及 22、10 及 23 與 00 及 12 UTC), 在時間及空間解析度各有差異之下, 對於進行台灣鄰近及南海地區海域觀測及追蹤來自海上天氣系統的變化與 IPW 之多寡, 頗為困難。於是結合多顆衛星資料是最為簡便的方法, 除有效增加氣象觀測上時間及空間解析度外, 並可以監測海上水氣量的發展過程及強度, 以便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, 進而提供防災、防洪及軍事作戰所必要的資訊。

5. 多顆衛星水氣資料建立

本文經由每顆衛星所建立之反演式, 可以獲取每顆衛星在研究區域海域 IPW 資訊。但由於衛星與衛星之間的微波頻率一些差異, 水氣頻道在 22 GHz 波段中, SSM/I 為 22.23 GHz、TMI 為 21.3 GHz、AMSR-E 為 23.8 GHz; 在 19 GHz 波段中, SSM/I 的 19.35 GHz 與 TMI 的 19.4 GHz 較為相近, 但與 AMSR-E 的 18.7 GHz 卻有差異; 37 GHz 波段中, AMSR-E 為 36.5 GHz 與其他兩顆衛星 37 GHz 有出入。在頻率特性不同的條件下, 每顆衛星所建立的反演公式均不相同。且在多頻道的微波 Tb 所反演出的 IPW 也會有所出入。

三、結果與討論

本文利用 2004~2006 年 5 至 8 月間多顆衛星水氣量反演公式, 以 2002~2003 年 5 至 8 月的衛星資料來做驗證; 並將所估算的 IPW, 分別與 Chiu and Petty (2006)[1] TRMM/TMI 衛星 IPW 反演值及 Petty (1994b) [4] SSM/I 衛星 IPW 反演值做比較, 並進行反演成果的驗證、分析及討論。

1. 各顆衛星在台灣地區 IPW 反演成果及驗證

1.1 TRMM/TMI 水氣量反演結果及驗證

TRMM/TMI 的微波資料, 分別以 Chiu and Petty (2006)[1] (後續簡稱 A 法) 及本文方法 (後續簡稱 B 法), 進行估算 IPW 並與探空所得之 IPW 比較 (圖 2)。由圖中得知, 反演結果大致與探空資料計算所得相同, 但對於部分較強及較弱的水氣量結果, 本文較 Chiu and Petty (2006) [1] 為佳。經統計 B 法反演值與探空水氣之均方根 (Root Mean Square; RMS) 誤差為 2.98 kg/m², 相關係數為 0.959 均較 A 法反演值 RMS 3.28 kg/m², 相關係數 0.934 為佳 (詳如表 3); 水氣平均值分別是探空為 53.52 kg/m²、B 法為 54.08 kg/m²、A 法為 54.19 kg/m², 以本文較為接近探空水氣值。

表 2 本文經 2002 到 2003 年 5 至 8 月驗證產生之各顆衛星最佳之反演式

TMI 可降水量反演式				
反演方程式	A1	A2	A3	A4
$IPW=A1+A2 \ln(290-T_{19V})+A3 \ln(290-T_{21V})+A4 \ln(290-T_{37H})$	182.98	9.94	-70.71	19.38
SSM/I 可降水量反演式				
反演方程式	A1	A2	A3	A4
$IPW=A1+A2 \ln(290-T_{19V})+A3 \ln(290-T_{22V})+A4 \ln(290-T_{37H})$	78.313	26.63	-62.80	17.734
AMSR-E 可降水量反演式				
反演方程式	A1	A2	A3	A4
$IPW=A1+A2 \ln(290-T_{19V})+A3 \ln(290-T_{23V})+A4 \ln(290-T_{37V})$	132.27	20.24	-66.37	18.19

圖 3 中 (a)、(b) 分別為利用 A 及 B 法反演式所反演 TRMM/TMI 2007 年 8 月 7 日 14:53 UTC 水氣分布圖, (c)、(d) 圖則為 (a)、(b) 圖中的水氣及 Tb19 極化差分布趨勢與降雨率的大小的示意圖, 在 (c)、(d) 圖中紅色點為 IPW 值; 藍色點為 Tb19V - Tb19H 亮度溫度極化差, 由圖中 B 法所反演 IPW 值可知, 降雨率越高, 極化差越小, 而水氣量也較高, 反之 A 法在降雨率較高的地方, 水氣量反而下降, 與探空觀測不符, 因此無法反映降雨量較高的水氣量。

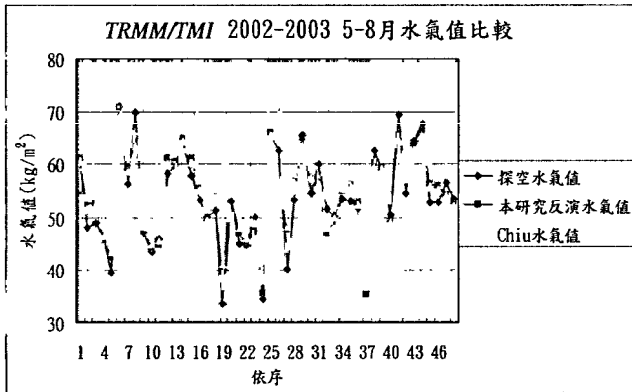


圖2 本文與Chiu and Petty (2006)利用TMI衛星微波資料與探空測站觀測值的IPW分佈圖

表3 2002到2003年5至8月利用TRMM/TMI的微波資料以Chiu and Petty (2006) [1]及本文水氣量反演方法之比較

IPW = A1 + A2 ln(290 - Tb19v) + A3 ln(290 - Tb21v) + A4 ln(290 - Tb37m)					
適用地點與發表作者	A1	A2	A3	A4	均方根誤差
Chiu and Petty (2006) 全球	128.57	33.94	-72.13	10.48	3.28
本文 (台灣區域)	182.98	9.94	-70.71	19.38	2.98

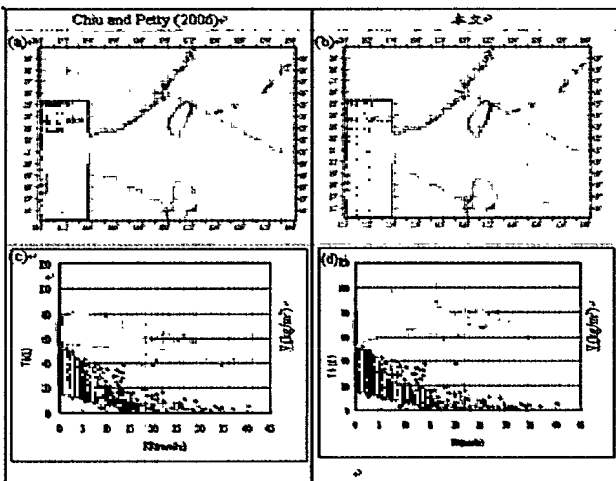


圖3 (a)、(c)分別為利用TRMM/TMI 2007年8月7日14:53 UTC 的微波資料以Chiu and Petty (2006)演式算出之水氣圖及水氣量與Tb19v-Tb19h極化差和降雨量的示意圖，(b)、(d)為本文

1.2 SSM/I 水氣量反演結果及驗證

對SSM/I的微波資料的驗證，以Petty (1994b) [4]全球模式（後續簡稱C法）及本文依Petty (1994b) [4]（後續簡稱D法）、Chiu and Petty (2006) [1]（後續簡稱E、F法）經迴歸取得的SSM/I水氣量的反演式，所估算台灣地區的水氣量來進行比較，所反演的結果，大致與探空水氣量相同，但D及E、F法部分的強及弱水氣量反應結果較C法為佳。經統計，E法方式反演台灣鄰近地區之SSM/I衛星微波之反演值與探空水氣值之均方根誤差為2.46 kg/m²，相關係數為0.954，較依Chiu and Petty (2006) [1]將Tb37H改為Tb37V（後續簡稱F法）之均方根誤差為2.53 kg/m²，相關係數為0.951、依D法方式建立台灣地區之反演式均方根誤差為2.62 kg/m²，相關係數為0.947及C法的反演式均方根誤差為2.74 kg/m²，相關係數為0.952都要來的好；水氣平均值分別是探空為53.89 kg/m²、E法為53.73 kg/m²、F法為53.7 kg/m²、依D法建立反演式為53.72 kg/m²，以C法為54.36 kg/m²，由以上結果可以發現本文建立的三個反演式所反演的水氣值較C法接近探空水氣值。

1.3 AMSR-E水氣量反演成果及驗證

對AMSR-E的微波資料的驗證，經統計，利用AMSR-E衛星微波資料，由本文兩個反演式所反演出的水氣量與探空水氣之相關性。本文依Chiu and Petty (2006) [1]方式反演台灣地區之AMSR-E衛星微波反演水氣值（後續簡稱G法）與探空水氣值之均方根誤差3.57 Kg/m²，相關係數為0.931，較依Chiu and Petty (2006)將Tb37H改為Tb37V（後續簡稱H法）之均方根誤差3.48 Kg/m²，相關係數為0.934要來的差。

綜合上述各顆衛星之反演式，經由2002~2003年5至8月份資料驗證及比較結果，將本文各顆衛星最佳之IPW反演式列於表2；水氣

平均值分別是探空為 53.57kg/m^2 、G 法為 58.5kg/m^2 、依 H 法為 54.24kg/m^2 ，以 H 法較為接近探空水氣值。

2. 結合多顆衛星 IPW 之結果

2.1 多顆衛星之 IPW 校正分析

針對 TMI、SSM/I 及 AMSR-E 所建立的適合台灣地區最佳 IPW 的反演公式，所反演出的各顆衛星與探空之 IPW 值，因為時間的差距與其他因素，仍有偏差。於是，本文將以 2002~2006 年 5 至 8 月間的探空資料所計算之 IPW 值作為基準，與各顆衛星的 IPW 值建立關性，並取得各顆衛星反演式的最好的校正值，校正後的各顆反演式分別如下：

台灣地區 TMI 微波輻射計校正之反演式：

$$\begin{aligned} \text{IPW}_{\text{TMI}}(\text{kg/m}^2) = & 0.9552 \times (182.98 + 9.94 \ln(290 - T_{b_{19V}}) \\ & - 70.71 \ln(290 - T_{b_{21V}}) + 19.38 \ln(290 - T_{b_{37H}})) + 2.308 \end{aligned} \quad (5)$$

台灣地區 AMSR-E 微波輻射計校正反演式：

$$\begin{aligned} \text{IPW}_{\text{AMSR-E}}(\text{kg/m}^2) = & 1.0002 \times (132.27 + 20.24 \ln(290 - T_{b_{19V}}) \\ & - 66.37 \ln(290 - T_{b_{23V}}) + 18.1 \\ & 9 \ln(290 - T_{b_{37V}})) - 0.0106 \end{aligned} \quad (6)$$

台灣地區 SSM/I 微波輻射計校正之反演式：

$$\begin{aligned} \text{IPW}_{\text{SSM/I}}(\text{kg/m}^2) = & 1.0001 \times (78.313 + 26.63 \ln(290 - T_{b_{19V}}) \\ & - 62.80 \ln(290 - T_{b_{22V}}) + 17.734 \ln(290 - T_{b_{37H}})) - 0.0024 \end{aligned} \quad (7)$$

2.2 結合多顆衛星 IPW 資料

結合多顆衛星資料之技術，最主要取決於衛星與衛星所通過區域與時間的一致性，就不同衛星掃描的重疊區域內來進行取樣。

而每顆衛星因為繞行的高度及方式有所不同，導致繞行的週期及時間也不一致。就本文區通過衛星資料量的比較，由於 SSM/I 有 F-13、F-14、F-15 等多顆衛星，在時間的解析度上較為密集，其次是 AMSR-E，最後才是 TMI。因此，在衛星與衛星時間與空間的取樣上較為複雜。

經本文取樣結果得知，在 2002~2006 年 5 到 8 月間，未發現三顆衛星於相近時間內通過本文區。僅有 SSM/I 與 TMI 衛星微波資料及 AMSR-E 與 TMI 衛星微波資料有時間接近和區域近乎重疊的個案。於是，以經過與探空校正過後的 SSM/I、TMI 與 AMSR-E 微波資料為基準，將通過相同區域、相近時間之 SSM/I 與 TMI 或 AMSR-E 與 TMI 微波資料，兩者重疊之 IPW 值，以兩者 IPW 之平均值為重疊區域之 IPW 值；再者，將此重疊區域之 IPW 值，結合衛星與衛星之間，相近時間未重疊之水氣分布區域，即為本文結合多顆衛星之水氣合成圖。如圖 4 及 5 所示。

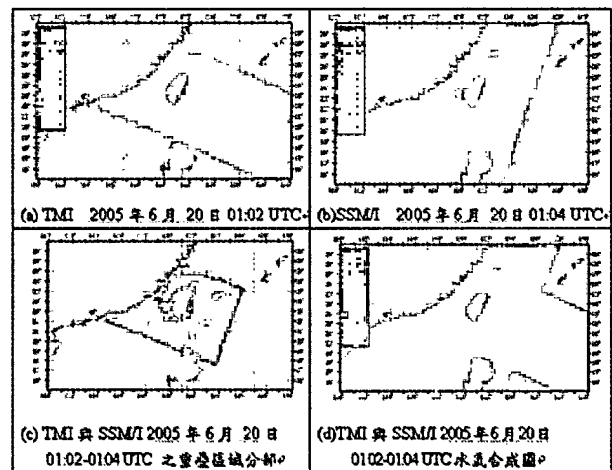


圖4 2005年6月20日TMI與SSM/I水氣圖(a)為本文經探空水氣校正後TMI反演式之水氣分布圖，(b)本文經探空水氣校正後SSM/I之水氣分布圖，(c) TMI與SSM/I重疊區域(d) TMI與SSM/I水氣合成圖

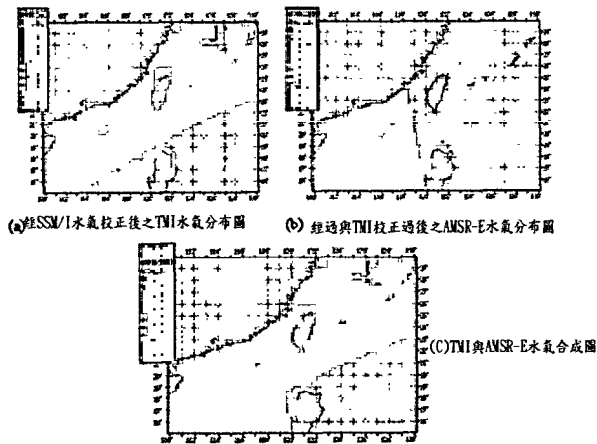


圖5 2007年8月12日TMI與AMSR-E水氣校正及合成圖(a)本文經SSM/I水氣校正後之TMI水氣分布圖，(b)經過與TMI校正過後之AMSR-E水氣分布圖，(c)TMI與SSM/I水氣合成圖。

2.3 多顆衛星微波資料偵測海面IPW變化反演結果分析

由本文所利用多顆衛星微波資料反演之IPW模式中，以現有通過台灣鄰近及南海海域之衛星微波資料，可獲得較密集之IPW的變化。而對以下個案，將採取定性及定量方式來做分析。

個案：2007年8月10日至14日間西南氣流導致劇烈降雨

綜觀天氣概述：2007年8月1日至6日太平洋高壓位於日本東南方洋面，低壓中心位於山東省，向東北東緩慢移動，鋒面由此向西南延伸經黃海至四川省，台灣地區受太平洋高壓及偏南氣流影響，降雨以午後雷陣雨為主，其中3日、4日北部局部地區及中部山區有較大雨勢發生。7日至8日受帕布颱風影響，使得全省各地都有陣雨，東部及恆春地區更有豪大雨發生；9日接續受到梧提颱風影響，各地仍是陣雨天氣，在南部及東南部有地區有豪雨發生。在10日至14日因為受旺盛西南氣流影響，各地出現陣雨或雷雨的天氣，在中南部及東南部地區，則有出現

大豪雨及超大豪雨的情形發生，在中南部並有水災災情發生；15日西南氣流減弱，中南部、東南部及東部地區仍有陣雨或雷雨。16日受到太平洋高壓西伸影響，中南部雨勢減緩。17日起聖帕颱風接近，於17日至19日期間影響本省。20日至22日太平洋高壓位於日本東南方洋面，勢力向西伸展至日本南方海面一帶；而低壓中心位於江西省，近似滯留。由於本省受到颱風減弱後的低壓環流所帶來的偏南氣流影響，直至24日各地仍出現雷陣雨天氣。25日至26日因受另一個低壓雲系影響，北部及東半部局部地區有較大雨勢。27日至31日受太平洋高壓影響。

就定性而言，2007年8月1日至6日台灣鄰近地區水氣分布屬於較為乾燥的水氣，期間南海水氣呈現消長的現象；在7日至8日受帕布颱風影響，台灣鄰近地區出現水氣旺盛情形。在9日台灣地區持續受到梧提颱風影響，而帕布颱風在登陸後，使得整個南海出現水氣旺盛現象，由於在10日起西南氣流增強，導致南海的旺盛水氣伴隨著西南氣流影響，使得南海至台灣海峽海域水氣逐漸增加，水氣旺盛地帶自11日影響到本省，直至16日才逐漸緩和(由圖6水氣時間的分布圖可以看出)。

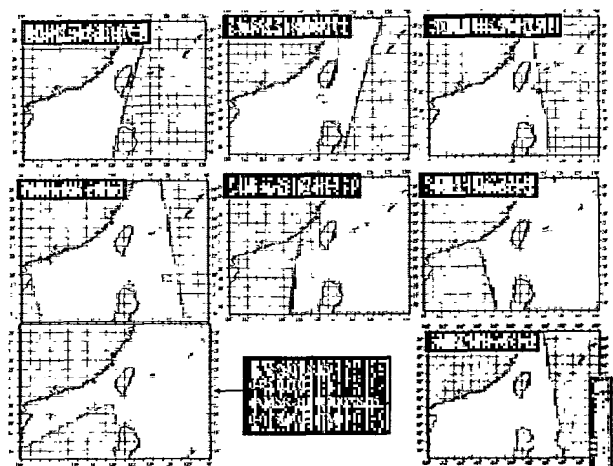


圖6 2007年8月1日至16日多顆衛星反演的IPW分布圖

就定量而言，以2007年8月1日至8月31日多顆衛星微波資料反演出的IPW值，對本文區域內，採三個水氣採樣點，分別為(19°N, 114°E)、(22°N, 117°E)及(22.755°N, 119.383°E)三點。以衛星資料的時間序列，來觀察三個地區IPW值變化。由圖7水氣變化圖可知，南海的IPW值在(19°N, 114°E)，自8月2日21:57 UTC起，由55.57 kg/m²開始上升，至8月6日2301 UTC達到66.32 kg/m²，之後持續在61-66 kg/m²之間徘徊，直至8月14日17:54 UTC達到70.79 kg/m²之後IPW值便開始下降，到8月25日1812 UTC IPW值為50.99 kg/m²，隨後又開始上升到62 kg/m²至28日，之後便開始減弱。由圖7及圖8水氣變化圖可知(22°N, 117°E)及(22.755°N, 119.383°E)兩採樣點水氣變化可以看出，台灣西南海域IPW在8月1至6日水氣都在61 kg/m²以下，由8月7日14:54 UTC水氣開始上升至67.52 kg/m²起至，8月8日IPW值已達74 kg/m²，直至8月12日，IPW值變化始終持續在66-72 kg/m²之間徘徊，8月13日雖然開始減弱，但到8月16日間仍在60-65 kg/m²之間，之後IPW值逐漸減弱，其中在19日及26日雖然有IPW值上升趨勢，但IPW值上升有限，都無法突破67 kg/m²。由此可知，台灣鄰近海域IPW值在8月7日至14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，IPW有明顯劇增趨勢，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，由圖9(a)、(b)屏東及高雄的逐時雨量圖分析圖可以了解，13日屏東站累積雨量達400毫米，而高雄站日累積雨量達418毫米都達到超大豪雨的標準。

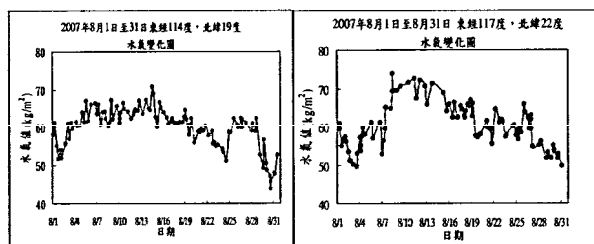


圖7 利用多顆衛星微波資料，由本文反演之IPW模式中，可獲得海域19°N, 114°E及22°N, 117°E之IPW的變化趨勢(時間為UTC)

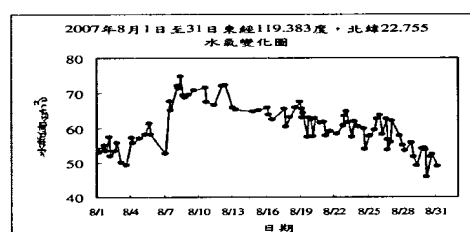


圖8 利用多顆衛星微波資料，由本文反演之IPW模式中，可獲得海域22.755°N, 119.383°E之IPW的變化趨勢(時間為UTC)

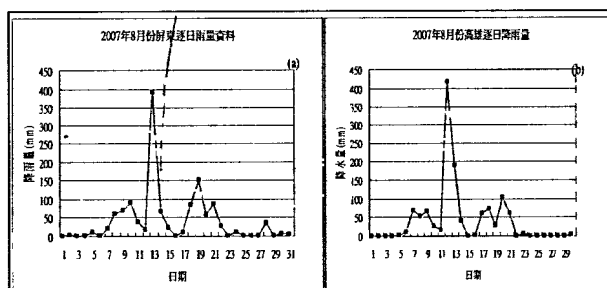


圖9 (a)、(b)分別為屏東及高雄2007年8月份逐日雨量資料(資料來源：中央氣象局，時間為LST)

四、結論

本文採用Chiu and Petty (2006)之全球反演式及探空觀測站的IPW值進行IPW的驗證，蒐集研究期間內2005年5~6月TMI資料與台灣及離島測站相匹配的事件中，其整體相關性介於83~91%之間。本文利用TMI衛星上的微波Tb資料之九個頻道、AMSR-E衛星上的微波Tb資料之十二個頻道、SSM/I衛星上

的Tb資料之七個頻道的Tb及台灣地區探空測站之觀測資料由Tetens (曾, 1988) 及Chiu and Petty (2006)等公式所計算之IPW, 以統計法分別建立TMI、AMSR-E、SSM/I多顆衛星台灣鄰近海域之IPW多頻道線性迴歸式, 反演估算海上IPW, 藉由衛星微波資料反演估算鄰近海域上之IPW的大小, 以彌補無法廣泛蒐集探空觀測資料觀測值的缺點, 因此建立台灣地區探空觀測值與多顆衛星Tb之間的關係, 並藉由衛星與衛星同時間、同區域之IPW分布來建立各衛星之間的IPW關係, 結合多顆衛星資料, 擴大衛星資料的時間與空間之解析度。由整個台灣鄰近及南海海域IPW時間分布圖的情形可知, 本文可以作為預測鄰近海域之IPW定量及定性之發展趨勢及未來可能造成劇烈天氣之參考。

本文經多頻道線性迴歸式估算的結果, 在TMI、AMSR-E、SSM/I衛星微波IPW反演上, 在強IPW部分有低估, 在弱IPW部分則有少部份高估的情形, 但兩者整體均方根誤差TMI為 2.98 kg/m^2 , 相關係數為0.959; AMSR-E為 3.48 kg/m^2 , 相關係數為0.934; SSM/I為 2.46 kg/m^2 , 相關係數為0.954, 三顆衛星以SSM/I相關性較好。再依所建立之各顆衛星IPW反演式, 以探空所計算IPW值作為衛星反演IPW值校正的基準, 分別對各顆衛星反演式來做校正。但由研究中, 衛星微波資料時間與實際探空資料時間仍有出入, 因此, 各顆衛星在水氣分布及水氣定量上, 仍有差異。本文利用不同衛星於相近時間內, 通過相同的重疊區域之IPW值來建立了衛星與衛星之間的相關性。藉此, 可以利用不同的衛星資料於時間序列中, 監測各區域海域的水氣定量變化; 另外, 也可以結合相近時間於不同衛星之水氣分布圖, 以彌補單顆衛星只覆蓋有限區域之不足。

本文中結合多顆衛星微波資料估算台灣鄰近海域大氣可降水量, 在時間及空間解析

上, 比單獨一顆衛星時間解析度要來的充足, 未來還可以搭配更多衛星微波資料 (AMSU、WINDSAT、ATMS等) 以便對海上生成的水氣有更連續性的觀測, 未來對於海上水氣生成發展的分析研究, 預期會有更好的結果。另外, 如何區分水氣中IPW及液態水含量並與定量降水建立關係, 以及利用物理法原理求取水氣的含量及雨滴粒徑的分布, 正是未來的趨勢。因此, 未來研究方向必須針對其成水氣含量之物理與微物理過程, 探討水氣機制的基本原理, 如此獲得更確實的研究成果, 對利用氣象衛星遙測研究而言有莫大的幫助。

五、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、美國冰雪中心資料庫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 96-2745-M-606-001-AP2 支援下完成。

參考文獻

1. Chiu, J. C. and Petty, G. W., "Bayesian Retrieval of Complete Posterior PDFs of Oceanic Rain Rate from Microwave Observations," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol.45, No. 8, pp.1073-1095, 2006.
2. Bader, M. J., Forbes, G. S., Grant, J.R., Lilley, R. B. E., and Waters, A.J., *Image in Weather Forecasting*, Cambridge, University Press, 499p, 1995.
3. 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*, Vol.28, No.5, pp.811-816, 1990.
4. Petty, G. W., "Physical Retrievals of Over-ocean Rain Rate from Multichannel Microwave Imagery Part II: Algorithm implementation," *Meteorology and*

Atmospheric Physics, Vol.54, No.1-2, pp.101-122, 1994.

5. 曾忠一，大氣衛星遙測學，渤海堂文化事業公司，臺北，630頁，1988。
6. 陳萬金，胡仁基，劉振榮，張茂興，“利用TMI微波頻道反演海上颱風定量降水之研究，”大氣科學，第34期，第1號，第67-88頁，2006。
7. Grody, N. C., “Remote Sensing of Atmospheric Water Content From Satellites Using Microwave Radiometry,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.24, No.2, pp. 155-162, 1976.
8. Staelin, D.H., Kunzi, K.F., Pettyjohn, R. L., Poon, R. K. L., Wilcox, R.W. and Waters, J. W, “Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor and Liquid Water with the NIMBUS-5 Microwave Spectrometer,” Journal of Applied Meteorology, Vol.15, No.2, pp. 1204-1214, 1976.
9. Wilheit, T. T., “A Model for the Microwave Emissivity of the Ocean's Surface as a Function of Wind Speed,” IEEE Transactions on Geoscience Electronics, Vol. 17, No.4, pp. 244-249, 1979.
10. AMSR-E Data Users Handbook, 4th Edition, JAXA, Japan, 115p, 2006.(http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/amsr-e/amsr-e_handbook_e.pdf)
11. 台大大氣資料庫，網址：<http://dbar.as.ntu.edu.tw/>.
12. 中央氣象局網站，網址：<http://www.cwb.gov.tw/index-f.htm>

Retrieval from multiple satellite microwave data and its applications on weather systems analysis

Chiung-Kuang Chu¹ Wann-Jin Chen² Jian-Liang Wang² Gin-Rong Liu³

¹Weather Central, Weather Wing, CAF R.O.C.

²Department of Environmental Information and Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

³The Space and Remote Sensing Center, National Central University

ABSTRACT

In this study, the brightness temperatures of 19, 22, and 37 GHz microwave channels from multiple satellites are matched with the sounding data to set up the retrieval equation for integrated precipitable water vapor (IPW) over the seas around Taiwan. It is to monitor the amount of water vapor to improve the forecast ability for the heavy rainfall associated with the southwesterly flows, fronts, and typhoons affecting Taiwan.

The microwave brightness temperature (T_b) data of TMI, AMSR-E, SSM/I and the sounding data over the Taiwan region during May - August of 2002 to 2006 have been collected and analyzed for this research. The Tetens's equation is used to calculate the IPW from sounding data. The IPW-T_b multi-channel linear regression equation is then set up by the statistic method and utilized to estimate the IPW over the seas around Taiwan.

Key words: Microwave, Sounding data, integrated precipitable water vapor, Linear regression equation