

間熱帶輻合區擾動源與赤道區頂部電漿泡觸發種子

何美蓉 葉惠卿

國立中央大學太空科學研究所

(中華民國九十五年六月五日收稿；中華民國九十五年八月十日定稿)

摘 要

本文旨在利用福爾摩沙一號衛星(FORMOSAT-1;前名為 ROCSAT-1)對離子耗損區(depletion)的觀測資料,進行地磁寧靜期赤道附近頂部電離層電漿泡(ionospheric plasma bubble)的發生與低層大氣間熱帶輻合區(Intertropical Convergence Zone,簡稱 ITCZ)位置之關聯性研究。我們以福衛一號日地酬載電離層電漿電動效應儀(IPEI),在西元 2000 至 2002 年-太陽活動極大年,地磁寧靜期($Kp \leq 3$)的觀測資料,進行全球電漿泡發生率統計分析,並獲得電漿泡發生率隨季節、經度和緯度變化情形。並選擇電漿泡發生率隨經度變化最為明顯的冬和夏兩季的空間分佈圖型(pattern),與 Waliser et al. [1993]研究衛星 17 年之觀測資料所獲得之間熱帶輻合區的平均位置進行比較,發現隨季節變化的電漿泡的極大發生率區與間熱帶輻合區劇烈降水區幾乎完全相符,由此可見間熱帶輻合區與電離層電漿泡的產生機制息息相關。為進一步確認這種關聯性,我們還選擇電漿泡季節變化和間熱帶輻合區季節位移兩者都特別顯著的南美洲 1 月,(北半球冬季)進行電漿泡與降水的比對分析。檢視 2001 和 2002 年 1 月的電漿泡月平均分佈圖型,發現發生區域的外圍邊界幾乎重疊,並與多年平均大量降水區域非常吻合。但外圍邊界內的發生率分佈圖型,兩者呈現清晰的差異,尤其在巴西東北沿岸特別明顯,但分別與 2001 年 1 月乾旱和 2002 年 1 月降水量驟增的降水異常現象十分符合。這種地面降水影響電離層電漿泡發生的實例,可推論諸如重力波或雷暴電場這類間熱帶輻合區內的擾動源,應是觸發大尺度電漿泡發生的重要因素。

關鍵詞：電漿泡、間熱帶輻合區

一、前言

頂部電漿泡係指日落後在電離 F 層發生之電漿密度耗損區(depletion)，發生時間約開始於日落後 18:30 LT，結束於清晨 6:00 LT [何 et al., 2004] 左右。一般相信，赤道附近電漿泡發生的主要機制，係由低緯度電離層廣義 R-T 不穩定 (generalized Rayleigh-Taylor instability) 所觸發 [Ott, 1978]。季節、地方時、地磁活動、太陽活動、當地磁偏角(magnetic declination)、地磁強度、中性風場，和天氣系統等因素，都可以影響電漿泡的發生。其中多項因素都與地磁赤道和地理赤道並非平行，兩者間存有南北偏移量有關，針對季節、經度和緯度等參數進行統計分析，不僅能獲得電漿泡發生率的量化結果，更能幫助我們瞭解電漿不穩定的發生機制。

ITCZ 位於赤道附近，氣壓較低，氣流分別由南、北半球較高緯度的高壓區流入，互相輻合上升的帶狀區域。夾帶大量的可感熱、潛熱和濕氣的地表信風(trade wind)，將該處輻合成為平均對流、雲量和降雨量都增強的區域 [Waliser, 2002]。隨著季節變換，ITCZ 會跟隨太陽作季節性位移，在北半球的春季和夏季向北移動、並在南半球的春季和夏季向南移動。然而南北移動的幅度，因受到地表特徵（例如，海洋或陸地）和大氣環流場型（pattern）等因素的影響，在各經度範圍有不同的表現，詳如 Waliser 和 Gautier [1993]。

重力波可成為電漿不穩定“種子(seeds)”的論點，在近三十年來已經獲得一些實例 [Rottger, 1977; Kelley et al., 1981]。其中，Rottger [1977] 利用 HF-CW-Doppler 等實驗證明運行電離層擾動 (traveling ionospheric disturbance, 簡稱 TID) 與熱帶降雨活動之間有重大的關聯，並指出赤道區之

大氣重力波就是 TID 的激勵來源。而位於 ITCZ 內之穿透性積雲對流 (penetrative cumulus convection) 正是 (激勵 TID 之) 重力波的最可能產生機制。後續的研究更提出在熱帶輻合區域內時常發生的雷暴(thunderstorm) 所產生的大氣重力波和電場才是引發 TID 的因素 [Rottger, 1981]。Kelly et al. [1981] 提出重力波是透過空間共振機制 (spatial resonance mechanism)，扮演種子的角色促使大尺度波浪結構發生，如赤道區擴散 F 層 (ESF) 等 [Kelley, 1989]；但 Huang et al. [1996a] 數學模擬結果顯示，即使沒有發生空間共振，重力波也可以是電漿泡的種子，但發生空間共振時，電漿泡增長的速度可較快。Rottger [1981] 認為在雷暴雲上方因電荷分離產生的電場，上傳到低層電離層後，沿著磁場線 (magnetic field line) 投射 (project) 至電離 F 層，與電離層背景電場產生疊加作用，形成電漿不穩定。因此，Rottger 等依照 ITCZ 隨季節位移相對於磁赤道位置，推論赤道區擴散 F 層 (ESF) 應發生變化之區域，並認為中性大氣中的重力波是赤道電漿氣泡產生的“種子” [Kelly et al., 1981; Rottger, 1981]。

McClure 等 [1998] 曾以對流旺盛『ITCZ』的位置，以解釋赤道 F 層不規則體 (equatorial F-region irregularity, 簡稱 EFI) 的發生機率如何隨季節和經度變化。在此之前，儘管一般相信對流層熱帶風暴 (tropical storm) 和電離層擴散 F 層 (spread F) 之間，是透過重力波及其相關電場連結，但迄今這兩者之間的關聯性和因果關係尚未獲得明確確認 [de La Beaujardiere, 2003]。

Rottger [1981] 所研究的地區，僅包含西經 100° 和東經 100° 之間的區域，至於電漿泡發生機率和 ITCZ 變化都十分明顯的太平洋區域並未包

含。而 McClure et al. [1998]雖透過 AE-E 衛星觀測資料，已能提供全經度範圍電漿泡發生率的訊息，但是對於 ITCZ 位置隨季節南北遷移的分佈情形，未能加以分季討論，電漿泡發生率隨緯度的變化也未加以分析。

本文主要目的在於針對上述問題，利用我國福衛一號衛星能在 52 天內提供全經度範圍及全地方時觀測的優勢，以探討頂部電離層電漿泡的季節性變化，並進一步瞭解赤道附近頂部電離層電漿泡和熱帶輻合區之間相關性。第二節說明使用的資料與所作的分析；第三節提供 2000 年冬、夏兩季，利用電漿泡的統計季平均分佈圖型和 Waliser et al. [1993]獲得之 ITCZ 結構進行比較，及獲得之季節平均關聯性；第四節進行 2001 年和 2002 年 1 月(北半球冬季)，電漿泡月平均分佈圖型、當月月平均降雨分佈圖型、和雨量異常分佈圖型三者的比較，及獲得之月平均關聯性；第五節為結論。

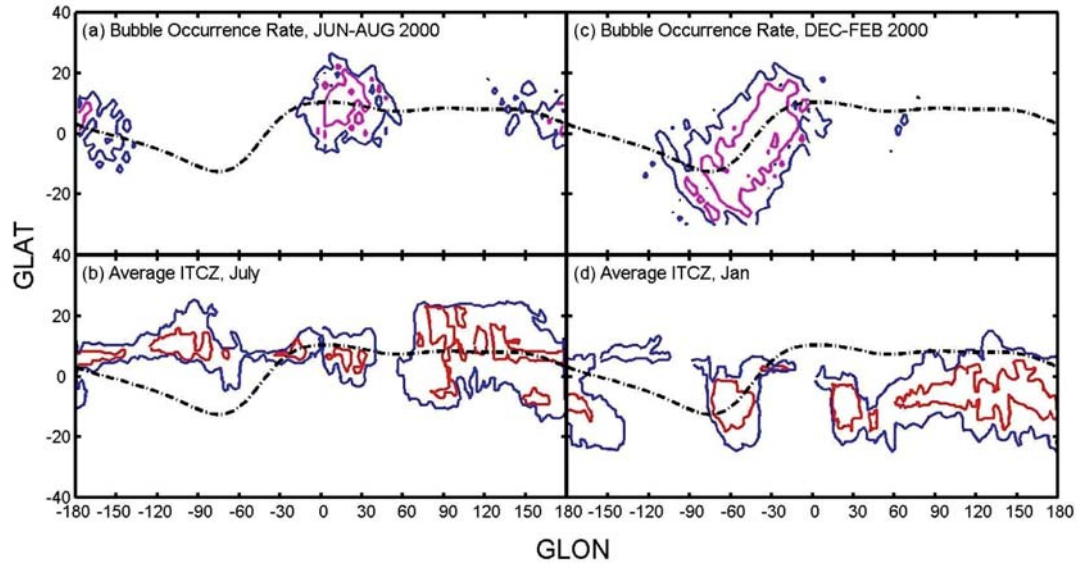
二、資料及分析

對於電漿泡發生率之研究，本文利用福衛一號衛星上的電漿電動效應儀(IPEI) [Yeh et al., 1999a; 1999b]，在西元 2000 年至 2002 年之間(值太陽活動極大年)，針對地磁寧靜期($K_p \leq 3$)的觀測資料進行電漿泡分析。福衛一號發射於西元 1999 年 1 月 27 日，進入傾角為 35° 的圓形軌道，高度約為 600 公里，每隔 52 天即能完成一次全球經度和地方時的觀測。本文分析的資料取樣率為 1Hz (每秒 1 筆資料)，量測參數為離子密度。我們將衛星可到達的全球區域(從東經 180° 到西經 180° 、從南緯 35° 到北緯 35° 之間的區域)，分隔成 2880 個 5° -地理經度 \times 2° -地理緯度的區塊，並

逐一累計衛星在某段時間(一季或一月)經過這些區塊並看到電漿泡的時間長度(以秒為單位)。本文對於電漿泡發生率的計算，就是根據各區塊累計的時間與全球累計的時間之比，即可獲得我們要的月平均/季平均發生率隨經度-緯度變化的分佈圖型(pattern)。

本文用來比較的 ITCZ 地理分佈圖，係採用 Waliser et al. [1993] 對高度反射雲 (highly reflective cloud, 簡稱 HRC) 的衛星觀測資料之研究結果。他們利用 ESSA 9, ITOS 1, NOAA(美國國家海洋及大氣管理局)衛星系列等繞極軌道衛星，從 1971 年元月到 1987 年 12 月為期 204 個月(17 年)間所觀測的可見光和紅外線衛星雲圖(1974 年 6 月以前沒用紅外線圖像)，進行大尺度對流雲系出現頻率之辨識。只有水平方向延伸 200 公里以上的對流系統，才被集合起來進行分析。他們將地理緯度 25°N 至 25°S 和經度 0° 到 359° 之間的區域，以 $1^\circ \times 1^\circ$ 的地理面積單元，將該區域劃分成若干影像單位。如果該影像單位被有組織且深的對流系統覆蓋時，即標示為「1」，否則標為「0」。針對高度反射雲(HRC)月平均值的計算，即是將這樣的日影像(亦即，0 與 1)結合起來，放到地圖中。因此，代表 ITCZ 結構的計量單位為天月，月平均數值範圍則介於每月 0 至 13 天之間。文中引用的 ITCZ 分佈數據摘錄自 [Waliser, et al., 1993, 圖一]，其月平均等值線則代表每月 2 和 5 天。

本文所引用的 1 月的月平均降水數據，係採用 Wallace et al. [1995] 之 Legates/MSU 降水氣候學。這些資料的建構，結合衛星觀測和雨量計的量測資料，來自美國大氣和海洋聯合研究所(Joint Institute for the Study of the Atmosphere and



圖一 西元 2000 年夏和冬兩季電漿泡之分佈和 ITCZ 月平均之位置圖；黑色破折線標示磁赤道的位置；(a) 和(c)為根據福衛一號觀測資料計算之三個月季節平均電漿泡發生率，藍色等值線代表最大發生率的 1/4，紫色等值線代表最大發生率的 1/2；(b)和(d)分別為 7 月和 1 月 ITCZ 之月平均結構，資料擷取自 Waliser et al. [1993]利用 17 年之衛星高度反射雲(HRC)觀測資料研究結果，藍色和紅色等值線分別標示 2 天/月和 5 天/月被大尺度深對流系統所覆蓋的地區。電漿泡發生區域和 ITCZ 的位置，有相當的一致性。

Ocean，簡稱 JISAO)。該資料庫的解析度為 2.5° -經度 $\times 2.5^{\circ}$ -緯度，其中陸地資料來自歷來的雨量計量測[Legates and Willmott, 1990]；海洋降水的估算則來自西元 1979 年到 1992 年間安裝於 NOAA 衛星系列的微波探空儀(Microwave Sounding Unit, MSU)[Spencer, 1993]。該儀器用 4 個波段測試，為了垂直溫度剖面，頻率都選在氧的共振頻率附近(50.3, 53.74, 54.96, 57.97GHz)。微波測試可以和紅外線測試形成互補關係，主要因為微波測試不像紅外線測試，微波數據在多雲或部分多雲的區域非常有用。

本文所引用的 2001 年 1 月和 2002 年 1 月之降雨異常資料擷取自 NOAA 之國際氣候數據中心。該資料對於降雨異常的訂定標準，係依據

1961 至 1990 年(30 年)期間的觀測資料。資料獲得網址為：

http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2000/CMB_prod_global_tempandprcp.html。

三、季節平均之關聯性

對於電漿泡發生區域與 ITCZ 分佈的季節關聯性研究，我們選擇季節特徵最為明顯的冬季和夏季進行分析比對。為獲得全球電漿泡發生的空間分佈圖型，我們選擇福衛一號衛星在 2000 年 6 月至 2001 年 2 月的觀測資料進行夏季的研究，2000 年 12 月至 2001 年 2 月的觀測資料進行冬季的研究。電漿泡發生率主要統計步驟有二：步驟一、先將全球以 5° -經度 $\times 2^{\circ}$ -緯度為劃分單元，並逐一累計衛

星在各區塊看到電漿泡的時間長度，獲知夏季衛星在全球 2880 個區塊觀測到電漿泡的總時數為 80,427 秒，冬季則為 120,343 秒，可見冬季看到電漿泡的機會高於夏季；步驟二、利用各季總時數為分母，分別計算電漿泡在各區塊的發生率 (occurrence rate)，獲知夏季出現在單一區塊的最高發生率，佔全球總和之 6.39%，而在冬季的最大值則為 4.18%，全球發生率分佈則詳如圖一(a)和(c)。其中，藍色線為電漿泡最大發生率 25% 的等值線，紫色線為最大發生率 50% 的等值線。

圖一結果顯示，夏季發生的電漿泡主要分佈在兩個區域，並具有不同的發生率。其中，第一主要發生區域出現在經度 10°W 到 60°E 和緯度 20°N 到 10°S 之間的印度區，該區域的特徵是磁赤道幾乎平行於地理赤道，並且赤道附近的磁偏角趨近於 0°；發生率第二高的另一塊區域，則出現在經度 120°E 到 140°W 之間的太平洋區，120°E 到 150°E 之間破碎等值線，顯示該區域電漿泡發生機率都小於最大值的 25%；而在 150°E 到 220°E 之間的太平洋區域，地磁赤道(如黑色破折線所示)在這個經度範圍由北轉向南，最大地磁偏角可達 15°E。因此，此區域電漿泡發生率在夏天達到峰值，冬天則幾乎沒有電漿泡的發生。冬季的分佈圖型則顯示幾乎所有的電漿泡都集中發生在經度 90°W 到 0°E 和緯度 20°N 到 30°S 之間，該區域涵蓋南美洲大陸和南大西洋，和全球磁場最弱的南大西洋異常區(South Atlantic Anomaly)。地磁赤道在此區域到達最南端並由南轉向北，呈現極大的偏移量(最大地磁偏角可達 20°W)，對於電漿泡發生率的統計行為而言，此區與太平洋區域剛好有相反的表現。北半球的冬季電漿泡發生率在此區域出現極大值，夏季則出現極小值。由於此區

域具有這種獨特的地磁特徵，許多太空現象都發生在此區域，對於太空科學研究者而言，這是一塊非常有趣的區域。

ITCZ 受到海洋和陸地等地表結構和區域性大氣環流場型的因素影響，在不同經度會出現不同的結構。一般而言，陸地區域的 ITCZ 會隨著太陽作季節性位移；在海洋區域，位移的速度會比較慢，可能延遲 1 個月或 2 個月[Waliser, 2002]。這種時間延遲最為明顯的地方，出現在東太平洋和大西洋。本文引用之 ITCZ 的空間分佈數據，來自於 Waliser et al. 對 17 年之高度反射雲(HRC)衛星觀測資料研究結果[Waliser et al., 1993]，如圖一(b)和(d)所示。圖中，外圈藍色和內圈紅色曲線所標示的區域，分別代表 2 天/月和 5 天/月之等值線，表示該區域每個月有 2 天和 5 天被大尺度深對流所籠罩。圖一(b)與(d)顯示，在 12 月-2 月(北半球的冬季)，ITCZ 有南移的趨勢，尤其在 0°E-180°E 的東半球特別明顯。在 6-8 月(北半球的夏季)，也可看見 ITCZ 隨著日照北移。全球，冬季和夏季 ITCZ 位置變化最為明顯的區域，出現在南美洲大陸介於 90°W 到 0°E 之間的區域。該區域對於南、北半球夏季的 ITCZ，呈現極大的空間差異。在南半球的夏季(北半球的冬季)，降雨幾乎覆蓋了整個南美洲大陸的熱帶區域，因此產生了在經度方向和緯度方向都非常寬廣的 ITCZ。至於北半球的夏季(南半球的冬季)，ITCZ 只覆蓋南美洲大陸北方的海洋區域，其 ITCZ 結構也與相連的東方和西方海洋一致。在非洲大陸介於 10°W 到 40°E 之間的區域，冬季到夏季 ITCZ 也出現非常明顯的季節性位移圖型，ITCZ 從 10°S 位移到 10°N 的地理位置。

檢視南大西洋經度介於 90°W 到 0°E 之間的

區域，發現冬季電漿氣泡集中發生在此區域，並與 ITCZ 出現的位置非常一致，如圖一(c)和(d)。表示冬季在此區域有能夠啓動 R-T 不穩定的種子擾動存在，並對電漿泡的發生產生一定的貢獻。相反的，夏季的 ITCZ 除了在 0°比較附近靠近磁赤道之外，其他經度區向北偏離磁赤道的幅度將近 20°，離磁赤道太遠了，重力波無法上傳並成爲電離層擾動的種子¹，而季節因素也不利電漿泡的發生，因此該區域呈現發生率的極小值。依據過去我們的研究結果[何 et al., 2004]，地磁寧靜期產生的電漿泡以磁赤道爲中心，並只分佈在磁緯 ±20°之間。因此，對於電漿泡發生率和 ITCZ 位移量兩者，隨季節改變量都呈現全球之冠的大西洋經度區，可利用 ITCZ 是否出現在磁赤道附近，判別有無觸發電漿不穩定的擾動源存在，藉以解釋電漿泡發生率的季節性特徵。

檢視介於 10°W 到 40°E 之間的非洲大陸，夏季(6 至 8 月)的 ITCZ 在此區域出現在電漿泡容易發生的磁赤道附近，ITCZ 的擾動源有利於電漿泡的產生，促使此區域成爲夏季電漿泡發生的主要區域。反之，冬季的 ITCZ 出現在南緯 15°附近，因爲偏離磁赤道太遠了，不利重力波上傳，對於電漿泡的發生並無幫助。因此，對於夏季電漿泡發生率最高的非洲大陸也可用 ITCZ 的地理分佈，來解釋電漿泡發生率的季節性特徵。

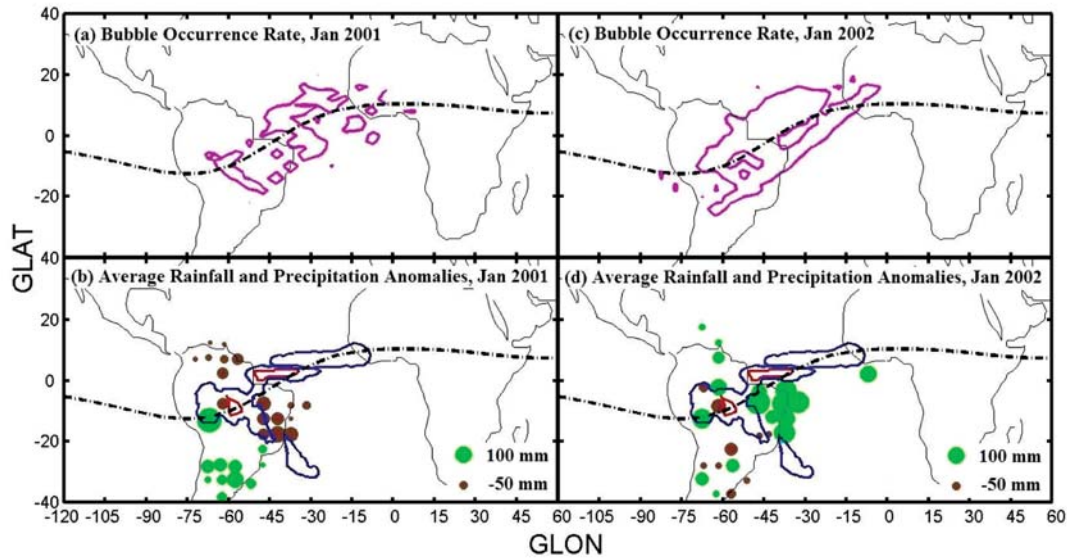
夏季電漿泡發生的次要區域(經度 120°E 到 140°W 之間的太平洋區)，普遍電漿泡發生率都只達最大值的 25%，且電漿泡分佈的等值線呈現破碎狀，表示該區域電漿泡的發生率通常更低。磁赤道在此區域由北偏向南，最大磁偏角向東偏斜

15°，地磁呈現與南大西洋經度範圍相反的特徵，因此電漿泡在這塊區域，也出現與南大西洋經度區域迥異的統計行爲。因此，電漿泡發生率在此區域之夏季出現全球第二高的峰值分佈，但在冬季則幾乎沒有電漿泡發生。檢視此經度範圍所對應之 ITCZ，發現在經度 120°E 到 180°E 之間的磁赤道區域幾乎與 ITCZ 中心重疊，ITCZ 的擾動源有利於此區域電漿泡發生；至於經度 160°W 到 140°W 之間區域，ITCZ 則隨著經度的增加，偏離磁赤道的角度也逐漸加大，這也與電漿泡發生率逐漸遞減的結果相符合。至於冬季在此經度範圍沒有出現電漿泡，可能是 ITCZ 在北半球冬季南移，ITCZ 偏離磁赤道太遠了，沒有傳至赤道區電離層的重力波擾動。因此，對於夏季電漿泡發生率次高的太平洋區，也可用 ITCZ 的地理分佈來解釋電漿泡發生率的季節性特徵。

四、月平均之之關聯性

爲探討同一時段，發生電漿泡的空間分佈與 ITCZ 位置的關係，本研究選擇 2001 和 2002 年 1 月的觀測數據，進行電漿泡發生率的統計，並以紫紅色線標示最大發生率一半的區域，獲得空間分佈圖，如圖二(a)和(c)所示。因 ITCZ 是赤道地區濕而不穩定的南北信風輻合上升的區域，多陣雨和雷暴是該區的特徵，也爲該區帶來充沛的降水。一般而言，熱帶主要降水區與 ITCZ 的位置是一致的。因此，我們利用 1 月平均雨量和異常分佈圖，以代表 ITCZ 的平均位置和當月 ITCZ 的位置。圖二(b)和(d)中，藍色和紅色線分別爲月平均降水率 260 mm/月和 450 mm/月的等值線，該平

註¹：依據 McClure et al.[1998]的假設，對流層輻合的發生，必須足夠靠近磁赤道，始能滿足重力波在平行磁赤道 10°以內傳播之觸發電離層電漿不穩定的條件。



圖二 西元 2001 和 2002 年 1 月電漿泡發生率與當月平均降水之比較圖；(a)和(c)為根據福爾摩沙一號觀測資料計算之電漿泡月平均發生率，紫色線為最大發生率 1/2 的等值線；(b)和(d)表當月降水情形，藍色和紅色線分別標示長期平均降雨率為 260 和 450mm/month 之地區，資料為 Legates/MSU 之 1 月降水數據，擷取自 JISAO。棕色實點表降水出現負向異常的地點(少水)，綠色實點表降水出現正向異常的地點(多水)，異常量則是以實點的大小表現；黑色破折線標示磁赤道的位置。電漿泡發生率明顯的受到熱帶降水活動的影響，亦即受 ITCZ 的位置變化之影響(參見第四節)。

均雨量是擷取自 Legates/MSU 降水氣候學，該資料庫的建構，結合衛星觀測和雨量計長時間觀測(13 年)所獲得的結果；棕色和綠色實點所標示者，都是當月月平均降水異常地點，棕色代表降水減少，綠色則為降水增加，至於異常量則是以實點的大小表示。該項資料擷取自 NOAA 國際氣候資料中心，係依據西元 1961-1990 年(30 年)降水為基準。

電漿泡分佈圖二(a)和(c)顯示，2001 和 2002 年 1 月的電漿泡發生的外圍邊界幾乎重疊，但是內部圖型卻有顯著的差異，尤其在南美洲大陸巴西東北部大西洋沿岸，介於經度 60°W 到 30°W 和經度 20°S 到 0°E 所圍區域特別明顯，應該是該地區電漿泡發生所需的條件在這兩年起了變

化。再仔細檢查巴西東北部沿岸電漿泡發生率變化最為明顯的區域，每月平均降水率具有 260 mm 的區域在此區域顯得特別狹窄，並且在 2001 年 1 月該區域佈滿了代表負向(缺水)異常的棕色實點，如圖二(b)所示，而當月電漿泡則在該區域以不連續的等值線，顯示有較低的發生率；但在 2002 年 1 月該區域佈滿了代表正向(多水)異常的綠色實點，如圖(d)所示，而當月電漿泡則在該區域以連續的等值線，顯示有較高的發生率。此外，依據氣候報告[Waple et al., 2002]巴西在 2000 年 12 月至 2001 年 2 月之間，經歷了嚴重的乾旱，在一些區域降雨不足量大於 400mm；而在 2002 年 1 月因為有重大的降雨，乾旱現象不但獲得舒緩，而且降水總量要比 1979 到 1995 (16 年)平均值高 100-200 mm。

因此，透過相同月份電漿泡分佈圖型和雨量分佈情形比較，我們獲得頂部電離層電漿泡發生率，與赤道附近 ITCZ 的位置(也就是熱帶主要降雨區域)具有緊密相關的直接證據。由此我們推論，當源自於赤道附近間熱帶輻合區的擾動如重力波或雷暴電場等上傳至電離層，當遇到背景電漿處於不穩定態時，這些種子擾動的振幅及範圍會成長放大，導致大尺度電漿不規則體之發生。

五、結 論

本文利用福衛一號衛星能提供全天候(100% duty cycle)觀測，並在 52 天內即能涵蓋全球經度及全地方時的特性，以獲得電漿泡發生率隨季節、經度和緯度變化之全球性統計分析，並獲得量化的結果。經與 Waliser et al. [1993]對間熱帶輻合區研究所獲得之分佈圖比對，顯示衛星所處 600 公里電離層電漿泡的發生率，是與低層大氣間熱帶輻合區有緊密的關係。經過驗證，電漿泡與間熱帶輻合區的關聯性不只是表現在統計的季變化當中，即使以兩者當月的月平均分佈圖型直接進行比較，我們都可確認兩者在細微空間結構上的關聯性。因此我們堅信，間熱帶輻合區內的擾動源應是大尺度電漿泡發生的必要種子。

致 謝

作者感謝華盛頓大學大氣科學團隊，和美國國家海洋及大氣管理局(NOAA)之國際氣候數據中心，在網站上提供許多有用的氣候資訊。本研究在國科會研究計畫 NSC93-2111-M-008-011 和 NSC94-2111-M-008-032 的經費補助下完成，特此致謝。

參考文獻

- de La Beaujardiere, O., Editor, 2003, The C/NOFS Science Definition Team, Communication/Navigation Outage Forecasting System (C/NOFS) Science Plan, AFRL/VS-TR-2003-1501.
- Huang, C. S., and M. C. Kelley: Nonlinear evolution of equatorial spread F, 1. On the role of plasma instabilities and spatial resonance associated with gravity wave seeding, *J. Geophys. Res.*, 101, 283-292, 1996a.
- Legates, D. R. and C. J. Willmott, 1990, Mean seasonal and spatial variability in gauge-corrected, global precipitation, *Int. J. Climatology*, 10, 111-127.
- McClure, J. P., S. Singh, D. K. Bamgboye, F. S. Johnson, and Hyosub Kil, 1998, Occurrence of equatorial *F* region irregularities: Evidence for tropospheric seeding, *J. Geophys. Res.*, 103, 29,119-29,135.
- Ott, E., 1978, Theory of Rayleigh-Taylor bubbles in the equatorial ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 83, 2066.
- Kelly, M. C., M. F. Larsen, C. LaHoz, and J. P. McClure, 1981, Gravity wave initiation of equatorial spread F: A case study, *J. Geophys. Res.*, 86, 9087.
- Kelley, M. C., 1989, *The Earth's Ionosphere*, Academic Press.
- Rottger, J., 1977, Traveling disturbances in the equatorial ionosphere and their association with penetrative cumulus convection, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 39, 987-998.
- Rottger, J., 1981, Equatorial spread *F* by electric fields and atmospheric gravity waves

- generated by thunderstorms, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 43, 453.
- Spencer, R. W., 1993, Global oceanic precipitation from the MSU during 1979-91 and comparisons to other climatologies. *J. Climate*, **6**, 1301-1326.
- Waliser, D. E. and C. Gautier, 1993, A Satellite-Derived Climatology of the ITCZ, *J. Climate*, 6, 2162-2174.
- Waliser, D. E., 2002, Tropical Meteorology: Intertropical Convergence Zone (ITCZ), *Encyclopedia of Atmospheric Science*, Edited by J. Holton, J. Pyle, J. Curry Academic Press.
- Wallace, John M., Todd P. Mitchell, and Alexis K.-H. Lau, July 1995, Legates/MSU Precipitation Climatology.
(from http://tao.atmos.washington.edu/legates_msu/index.html).
- Waple, A. M., J. H. Lawrimore, M. S. Halpert, G. D. Bell, W. Higgins, B. Lyon, M. J. Menne, K. L. Gleason, R. C. Schell, J. R. Christy, W. J. Wright, M. J. Salinger, L. Alexander, R. S. Stone, and S. J. Camargo, June 2002: Climate Assessment for 2001, Monthly report for American Meteorological Society. (from <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2001/perspectives.html>)
- Yeh, H. C., S. Y. Su, Y. C. Yeh, J. M. Wu, R. A. Heelis and B. J. Holt, Scientific Mission of the IPEI Payload Onboard ROCSAT-1, TAO supplementary issue, 19-42, 1999a.
- Yeh, H. C., S. Y. Su, R. A. Heelis and J. M. Wu, The ROCSAT-1 IPEI preliminary results: Vertical ion drift statistics, TAO, Vol. 10, 805-820, 1999b.
- 何美蓉,葉惠卿,蘇信一,黃健民,韓文豐,何旭慧, 2004, 利用中華衛星一號日地物理酬載探討低緯度電離層電漿氣泡發生之特徵,第八屆全國大氣科學學術研討會。

The Effect of Disturbances from Inter-Tropical Convergence Zone on Seeding Topside Equatorial Plasma Bubbles

Mei-Jung Ho Huey-Ching Yeh

Institute of Space Science, National Central University

(Manuscript received 5 June 2006; in final form 10 August 2006)

ABSTRACT

Quiet time ion density depletions observed by the FORMOSAT-1 (formerly known as ROCSAT-1) IPEI payload during the solar maximum years of 2000-2002 were used to compile the global occurrence patterns of plasma bubbles at topside ionosphere. The spatial distributions of plasma bubbles are then compared with those of Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ) for solstice seasons when the longitudinal variations of bubble occurrence are most pronounced. We found that the maximum occurrences of seasonal bubble structure are almost all collocated with the most intense rainfall regions of ITCZ. Such spatial correlation exists not only in the seasonal averaged data but also in the monthly averaged patterns, which is demonstrated by comparing the monthly bubble occurrence pattern of January 2001 with that of January 2002. Significant difference between the two months was found to be closely related to the precipitation anomalies along the northeast coast of Brazil during the two different years. The high spatial correlation between the two structures strongly supports the suggestion that tropospheric seedings associated with ITCZ plays an important role in triggering large-scale plasma bubbles.

Key words: Plasma Bubble, Intertropical Convergence Zone

e-mail: mrho@jupiter.ss.ncu.edu.tw;