

TRMM 衛星計劃在氣候動力研究上之意義 及台灣方面研究的進展

王作臺

中央大學大氣物理研究所

摘 要

TRMM 是以美日爲主的一個衛星計劃，著眼於以衛星來量度熱帶區域雨量。此 TRMM 衛星計劃的目的，是要以遙測的方式，建立海洋面上雨量的時空分佈資料，(希望收集3年熱帶海洋上雨量資料)，以此資料來探討熱帶雨量及其能量在熱帶區域的傳送過程，特別著重在於瞭解此能量如何影響大氣及海洋環流，及其對地區性短期氣候變化的影響。測量此潛熱在時空分佈特性，對氣候動力之研究及水循環週期之了解及探討，有重大之意義。

由於 TRMM 衛星上是以不同的遙測 Radiometers 量度到訊號，然後靠 Algorithm 來推算出真正的雨量值，基本上仍是種所謂的 Indirect Measurement。爲了使此取得之資料有意義，TRMM 計劃須要有熱帶區域不同的地區來參與提供所謂的 Ground Truth，來修正/驗證由 Algorithms 所計算出來的雨量值。

我們加入此計劃的目的，一是參加國際合作，提供本地區雨量之資料，協助 TRMM 計劃資料中心之建立，並藉此評估是否我們的設備/人力能正式成爲 TRMM 衛星計劃在 Mission 階段的 Ground Truth Site 之一。二是利用現存之雷達降水資料，如何做爲此地區從事遙測研究之地面資料的印證。當然，最終的目的，則爲希望日後利用 TRMM 衛星之資料，來研究熱帶海洋面上之能量傳送及其對本地區短期氣候變化之影響。

本文也將發表一些初步的研究結果。

一. 前 言

TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 熱帶降雨觀測衛星計劃是美國及日本在1980年代初期就著手規劃，預計在1997年由日本發射。而此 TRMM 衛星的設計經數次修正，現被規劃爲是個傾斜角爲 35° 的低軌道衛星(約 350 km)，上面配置有3個和雨量有關的儀器，第一個是降水雷達，可量雨量的垂直結構，第二個是微波波段儀器(TMI)，分別在10, 19, 22, 37 及 90 GHz 波段。第三個儀器(VIRS)則是可見光/紅外線儀器，分別在5個不同波段。另有 CERES (量輻射，此儀器也放在 ERBE 衛星上)，及 LIS (量閃電器)。TRMM 衛星計劃的目的，是要以

遙測的方式，建立海洋面上雨量的時空分佈資料，(希望收集3年熱帶海洋上雨量資料)，以此資料來探討熱帶雨量及其能量在熱帶區域的傳送過程，特別著重在於瞭解此能量如何影響大氣及海洋環流，及其對地區性短期氣候變化的影響。衛星因受時空之限制最小，是量度寬廣洋面上雨量的最好方式之一。TRMM 衛星雖是以量度雨量爲主，但其可被用來研究的科學問題相當的廣泛，基本的目的如上所述，是要來瞭解此潛熱的時空變化及其如何影響海洋和大氣環流之改變，此 TRMM 計劃的目的，和國際 TOGA 之整體目標，是相輔相成且一致的。

二. 與氣候動力之關係

吾人瞭解，中緯度地區擾動的能量來源，大都是透過可用位能的提供，使其能轉化成動能，小的擾動因而能夠成長，但對熱帶地區的擾動來說，因為該地區的溫度梯度低，可用位能很低，大部分擾動的能量，則是來自於伴隨降水系統而來的潛熱的提供(Holton, 1992)。以這種能量來源來說，熱帶地區擾動的特性和中緯度擾動的特性，是有明顯的不同的。因為降水伴隨的潛熱釋放是熱帶區域的主要 forcing 之一，瞭解此潛熱的時空分佈，就是個重要的問題了。但由於熱帶地區，大都是處於寬廣的海洋，資料取得不易，要研究熱帶區域的各種尺度的干擾及各不同作用力對其之貢獻，有較大的困難。有名的 GATE (1974) (即大西洋熱帶實驗計劃) (Houze and Betts, 1981)，就是第一次大規模的，有系統的以船舶，雷達，探空等儀器去探討熱帶區域對流系統之熱力與動力上之結構，及其可能對環境風場之影響，此計劃相當之成功，但對熱帶擾動的瞭解，只局限於中小尺度及較小的區域。

這些年來，有許多研究顯示，熱帶海洋的擾動，對大氣的影響，被認為是造成有些地區短期氣候變化的主要原因之一，ENSO (聖嬰及南方擾動) 的事件，就是個最有名的例子(Rasmusson and Carpenter, 1982)，為了更進一步研究海洋(尤其是熱帶區域)及其與大氣擾動的關係，瞭解到熱帶海洋對全球大氣的影響，也體認到了熱帶潛熱之釋放是一巨大能量之提供給熱帶的擾動，進一步探討此潛熱在時間/空間上之變化，才能幫助吾人研究海氣交互作用的問題。但因海洋面上的降水資料有限，以雨量計或雷達來量測降水，有其局限性，美國及日本擬議以 TRMM 衛星遙測的方式來量度熱帶地區的雨量，進而來分析此雨量下所含潛熱之時空變化，也是有效的達成上述研究目的的方法之一。

由 Wallace 和 Gutzler (1981) 及 Horel 和 Wallace (1981) 的研究，吾人了解由熱帶暖區的東移，最大降水系統也在位置上有明顯的改變，而此改變並會產生某種特殊的波列結構，而造成中、高緯度的短期氣候變化及異常。和此短期氣候變化有絕大關係的潛熱在時空的分佈特性是如何？我們仍不清楚，TRMM 計劃

在其所提的優先研究之主要課題(Simpson, 1988) 包括了下列數項(見表一)，(i) 是想用 TRMM 資料來了解潛熱分佈在四度空間上的特徵，尤其是在熱帶大氣區域，同時此能量的日變化，季節的變化，年變化的特性又是何種狀況？同時(ii) 熱帶區的潛熱對熱帶及中、高緯區域的環流造成何種影響？在環流的改變中扮演何種角色？這些問題及其他在表一所列的問題，都是氣候動力的研究者想了解的問題，而藉著 TRMM 衛星降水資料之取得，將可對此氣候動力的問題，做一更詳實的分析研究及理論的探討。

三. TRMM 地面驗證計劃及臺灣之參與

由於 TRMM 衛星上是以不同的遙測 Radiometers 量度到訊號，然後靠 Algorithm 來推算出真正的雨量值，基本上仍是種所謂的 Indirect Measurement。由於熱帶降水之發生，大都和對流系統有關，而不同熱帶區域的對流系統也有明顯之不同，為了使此取得之資料有意義，TRMM 計劃須要有熱帶區域不同的地區來參與提供所謂的 Ground Truth，來修正/驗證由 Algorithms 所計算出來的雨量值。因此美國 NASA 在 1990 年夏天正式向全球氣象界徵求在 Pre-mission (1991-1995 年) 間的國際合作計劃，來研究那些地區適合做為 Ground Truth 之地點及瞭解各該地區取得 TRMM 之資料後將做何種之科學探討。

中央大學大氣物理所的四位同仁(王作臺，陳台琦，林沛練，劉振榮)在 1990 年秋向 NASA 提出了研究計劃參與國際 TRMM 研究，1991 年春獲知中大之計劃已正式被列入了國際合作計劃，另有美，日，英，法，澳洲，以色列，泰國等國的人員加入，本人也獲邀為此國際 TRMM 計劃的科學規劃小組委員(TRMM Science Team Member)。同時照 NASA 國際合作的慣例，研究經費仍須由各自國家資助，因此台灣的 TRMM 計劃，國科會提供經費支援，使此國際合作計劃能順利的執行。

在目前國際 TRMM 計劃的 Pre-Mission 階段，中大的人員，加入此計劃，有兩個目的，一是參加國際合作，提供本地區雨量之資料，協助 TRMM 計

劃資料中心之建立，並藉此評估是否我國的設備/人力能正式成為 TRMM 衛星計劃在 Mission 階段的 Official Ground Truth Site 之一。二是利用現存之雷達降水資料，對台灣及鄰近地區之熱帶降水的物理特性及時空之變化，有一完整之整理，可做為其它地區降水特性之比對，及做為此地區從事遙測研究之地面資料的印證。當然，最終的目的，則為希望日後利用 TRMM 衛星之資料，來研究熱帶海洋面上之能量傳送及其對本地區短期氣候變化之影響，並以此 TRMM 計劃之資料，將來做為本地區氣候動力研究之指標及中央氣象局全球預報系統內降水場初始化之修正及預報統計驗證得參考。

TRMM 衛星的主要目的之一，是要來建立一個海面上的月平均降水分佈場及潛熱之垂直分佈狀況，來做為研究熱帶降水的能量之季節/年際變化及了解在能量對地區性短期氣候變化之影響。由於 TRMM 衛星主要是靠遙測可見光，紅外線及微波，雷達技術，藉著 Algorithm 之發展來達成估算雨量之目的，在 Algorithm 之發展過程，須要有不同地區海洋面上/陸地面上的降水統計特性來做為修正，而且 TRMM 衛星的抽樣方式在時間上也是不連續（對每一地區，約每隔 10 小時可抽樣一次），要探討抽樣方式可能造成的誤差，也須要了解各地區洋面上觀測降水量的機率密度函數分佈（probability density function, pdf），以便能進一步研究在不同抽樣方式下可能產生的理論誤差極限。

以上述的 Pre-Mission 的二個目的為研究目標，台灣 TRMM 計劃工作的重點，基本上分成 A, B 部份。

A 部份：研究台灣及鄰近地區海洋/陸地上之降水統計特性及其在不同抽樣方式的結果，並探討降水系統生命週期結構對抽樣結果之影響。

B 部份：研究建立/修正間接降水量度(遙測技術)的 Algorithm 及分析適合本地區的 Algorithms 所用的參數。

四. 臺灣方面之研究進展

吾人由花蓮雷達資料在東邊的洋面上取 120 km

× 120 km 的區域，分析該地區降水日變化的特性，了解其是否 local time 中有較偏好發生對流的時間，這種特性的了解，對衛星抽樣結果的統計分析極具意義，即以統計的模式配合遙測雨量之值，須輔以地面經驗參數，才可使誤差降至最低，圖一是吾人分析 1988 年，1989 年不同季節及月份得到的日變化降水圖，似乎可以看出該洋面地區有清晨雨量極大值的特性，這種結果和陸地上的是截然不同的 (Oki, 1992)。圖二則是以一個案來表示該洋面上的機率分佈特性是一 log normal 分佈，和由 GATE 所得之推論相同，但其 peak 值不一樣，我們將進一步由資料中將本地區降水率的機率分佈函數計算出來，以了解該函數之平均數及變異數，由此來探討，以衛星抽樣方式之量測雨量，在因抽樣而造成的理論誤差範圍，並和其他地區的結果相比較。吾人目前正進行在第三節所敘述的內容進行中。

五. 結語

TRMM 計劃不但是第一個衛星專門去量測降水的，同時其上也有第一個降水雷達，對雨量的測量，不但使吾人能更對降水之分佈有更多之了解，同時此資料對氣候動力之研究也深具意義，吾人有機會參與此計劃並和中大的同仁一同研究，目前已有初步成果，希望在此計劃的 Pre-mission 及 Mission 或 Post-Mission 後之階段，皆能積極的參與，並同時能對本地區之對流降水特性有一系統性的深入了解，同時增進國際交流。

六. 參考文獻

- Holton, J.R., 1993: An introduction of Dynamical Meteorology. 3rd Edition, Academic Press, New York, 511 pp.
- Horel, J.D., and J. M. Wallace, 1981: Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *J. Atmos. Sci.*, 813-829.
- Houze, R. A., and A.K. Betts, 1981: Convection in GATE. *Rev. Geophys. Space Phy.*, 19, 541-576

Oki, T., 1992: Hydrological Science and TRMM. Proceeding of International Workshop on the processing and utilization of the rainfall data measured from space, 151-155. Communication Research Lab., Tokyo, Japan.

Rasmusson, E., and T. Carpenter, 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 354-384.

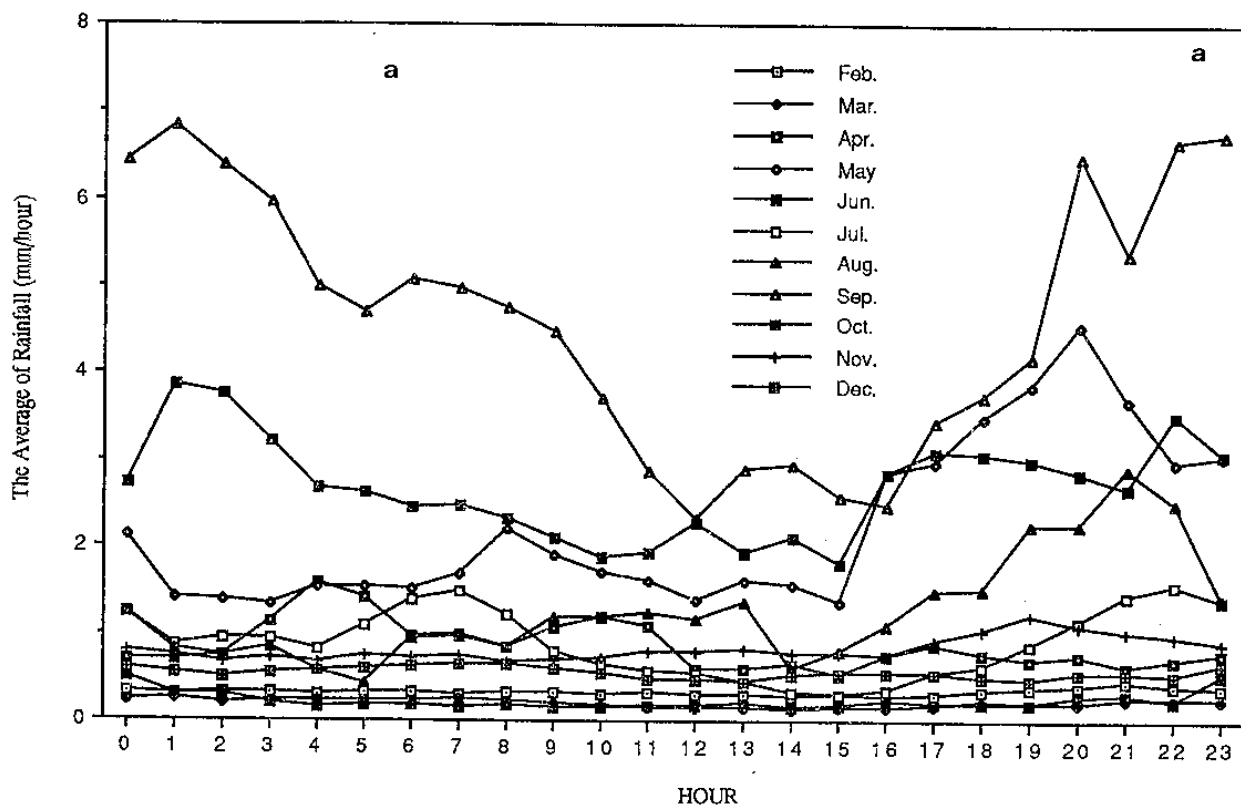
Simpson, J., R. Adler and G. R. North, 1988: A Proposed Tropical Rainfall Mission (TRMM) Satellite, *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 69, 278-295.

Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 784-812.

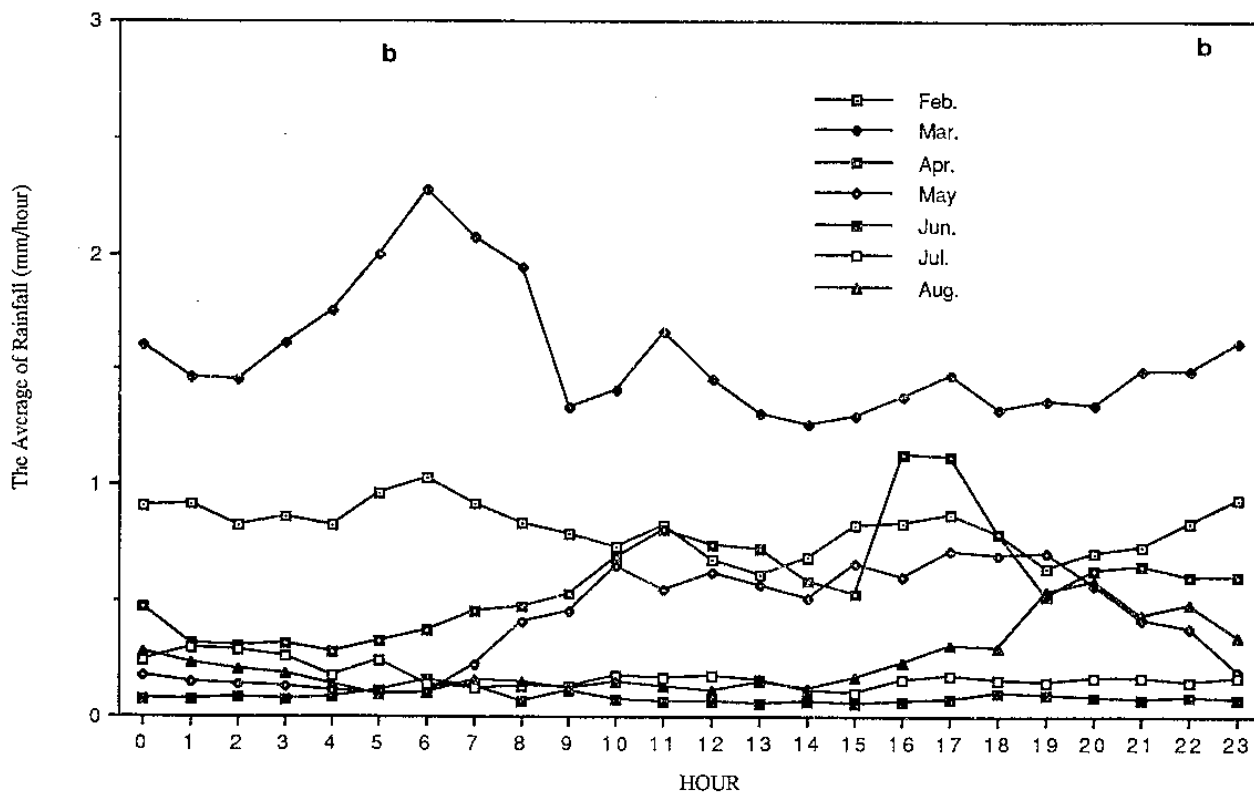
表一. TRMM 主要科學問題 (Simpson 等, 1988)

- 1) What is the four-dimensional structure of latent heating in the tropical atmosphere? How does it vary diurnally, intraseasonally, seasonally, and annually?
- 2) What is the role of latent heat released in the tropics in both tropical and extratropical circulations?
- 3) What is the monthly average rainfall over tropical ocean areas of about 10^5 km^2 and how does this rain and its variability affect the structure and circulation of the tropical oceans?
- 4) What is the relationship between precipitation and changes in the boundary conditions at the Earth's surface (e.g., SST's, soil properties, vegetation)?
- 5) What is the diurnal cycle of tropical rainfall and how does it vary in space?
- 6) What are the relative contributions of convective and stratiform precipitation and how does their ratio vary in different parts of the tropics and in different seasons?
- 7) How can improved documentation of rainfall improve understanding of the hydrological cycle in the tropics?

The Distribution of Rainfall in 1988

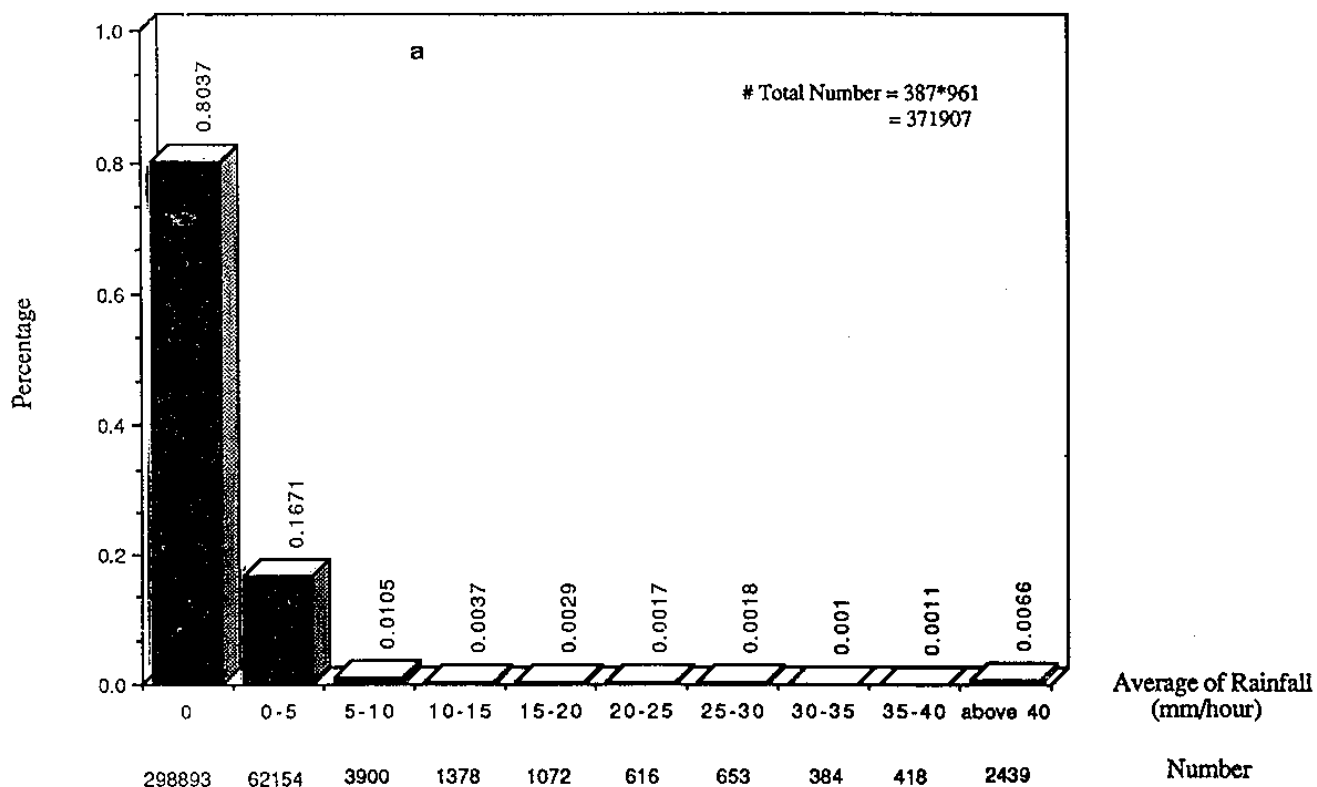


The Distribution of Rainfall in 1989

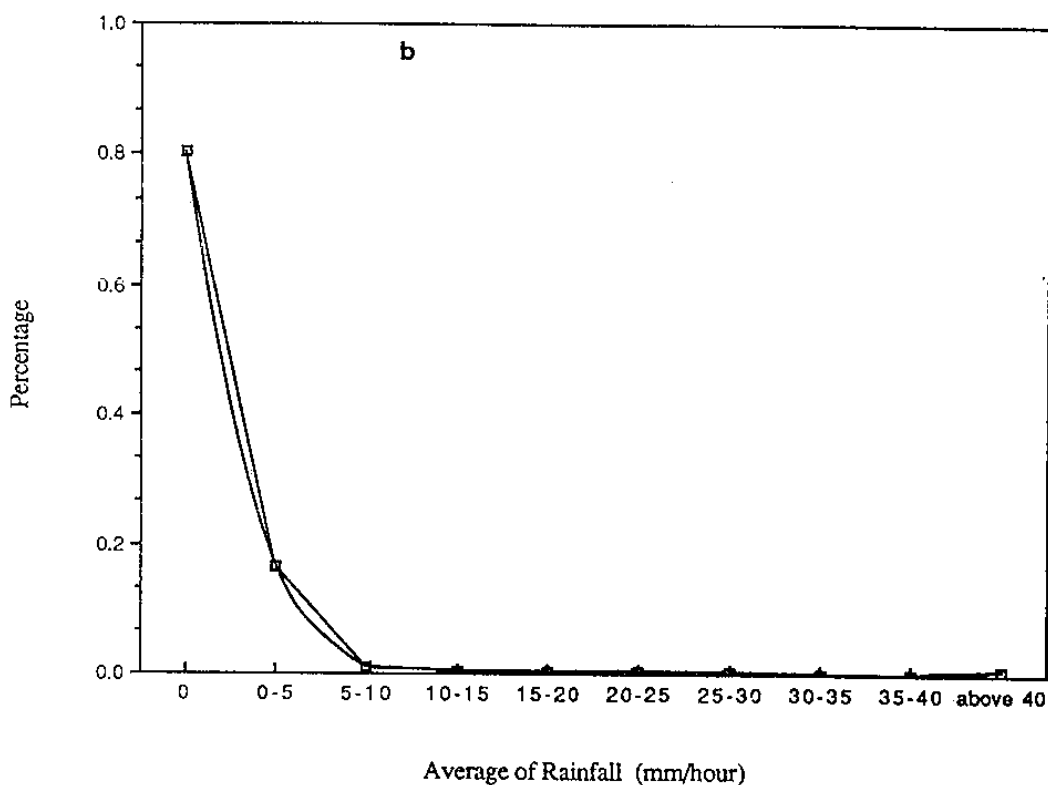


圖一·花蓮東邊海洋面上120 km × 120 km區域雨量日變化的季節特徵, (a) 1988年, (b) 1989年。由於資料關係, 每個月中所用的日數由18日- 29日不等。單位是mm/hour.

The Distribution of Rainfall
1988 7/13 - 7/31



The Distribution of Rainfall
1988 7/13 - 7/31



圖二· 為不同降水率在該地區出現之百分比, 此分佈和所謂的 Log-normal 分佈很接近。(a) 以 Histogram 之方式, (b) 以 probability dunction function (pdf) 之方式。

The Implications of TRMM Satellite to the Climate Dynamics Study And the Related Progresses in Taiwan Area

Jough-Tai Wang

Institute of Atmospheric Physics

National Central University, Chung-Li, Taiwan

Abstract

The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) program are proposed jointly by the United States and Japan. TRMM satellite (350 km orbit and 35° inclination) is scheduled to be launched around the year of 1997, to study the tropical rainfall and its variations. The main goal is to obtain a minimum of three years of climatological determinations of rainfall in the tropics, along with estimates of the vertical distribution of latent heat release.

The data for oceanic rainfall and latent heat release is crucial for our understanding of the climate dynamics and hydrological cycles. TRMM program will also provide valuable information to the international TOGA and GEWEX program.

In the Spring of 1991, a research team from the National Central University (NCU) had already been officially selected by NASA headquarters to join the TRMM project. One of the team member was also selected as a member in the TRMM Science Team. The main function of the NCU participation is in the ground truth validation program.

Two components of the NCU research team are identified. Those components are , (A) The characteristics of precipitating system in the oceanic and land area, and also the reestablishment of the Z-R relation; (B) Algorithms developments for indirect rainfall measurement, emphasizing in the microwave channels.

Some preliminary results from this program are presented in the paper.

