

TRMM/PR 与香港雷达资料 对比分析

何会中¹ 程明虎¹ 周康军² 李曾中¹

(1. 中国气象科学研究院,北京 100081;2. 黄委会水文局预报中心)

提 要

1999年8月23日,“Sam”台风在香港及其邻近地区造成暴雨。将热带降水测量卫星(TRMM)上降水雷达(PR)测到的降水率及雷达反射因子与香港雷达测量的相应值进行了对比分析,总的来说,它们之间有很好的 consistency。在对比分析过程中,采取了两种方法:平均法和最佳匹配法。用最佳匹配法所得到的相关系数明显大于平均法。另外,当所测雨区与香港雷达距离小于100km时相关系数较大。PR测量的雷达反射因子大于香港雷达的测量值,两者的差值随距离的增加而增大。在PR测量的雷达反射因子小于20dB时,香港雷达测量值较大,反之PR测量值较大,两者之间的差值随PR测量值的增加而增大。

关键词: TRMM/PR(热带降水测量卫星/降水雷达) 雷达资料 对比分析

引 言

由于多种原因使得准确测量降水的时空分布显得非常重要^[1]。热带地区降水是地球气候系统的关键部分,它通过潜热释放可能强烈影响大气环流系统^[2]。大气所得到的能量中有3/4来自于降水的潜热释放,而地球上2/3的降水是发生在热带地区^[3]。

PR(Precipitation Radar)是人类第一次把降水雷达这种主动遥感设备装载到卫星平台上的,也是人类第一次从太空探测到降水的三维资料。它可以得到丰富的降水信息^[4](如降水强度和分布、降水类型、暴雨高度及固态降水粒子融化高度等)。但是,由于把雷达放在卫星上测量降水还是第一次尝试,因此有必要把它与目前已经较成熟的降水测量方法进行对比分析。现在人们使用包括雨量计、雷达、气象卫星微波及可见光/红外等辐射仪器等多种观测手段来测量降水,其中用地面雷达来观测降水已经有几十年的发展历

史,因此通过把PR观测结果与已经较为成熟的地面雷达观测结果进行对比分析,我们可以对PR测量的准确性与可靠性进行检验。

1 TRMM 卫星的 PR 简介

热带测雨卫星TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)卫星是由美国的NASA和日本NASDA联合研制和发射的一颗实验卫星。TRMM卫星上所装载PR是由日本研制的。PR的工作波长为2.17cm,峰值功率为500W,雷达的扫描角度空间为 $\pm 17.0^\circ$,它的扫描宽度为220km,在星下点位置的水平分辨率为4.3km,垂直分辨率为250m。

NASA所提供的资料包括:一级产品是将原始资料转化成以HDF格式存储的数据文件,主要包括1A,1B,1C类的红外、微波和PR资料产品;二级产品是对一级产品进行处理成降水、水汽含量、潜热等数据产品,它主要包括2A,2B类产品;三级产品主要是把二

级产品中的降水强度和三维反射率处理后形成的 5、30 天的降水图和三维结构资料。显示和分析这些资料的软件是 NASA/TSDIS 提供的以 IDL 软件为操作平台的“Orbit Viewer”软件。本文所使用的 TRMM 资料是 NASA 所提供的二级产品中 PR 资料 (2A25)。

2 所使用的资料

“Sam”台风是 1999 年 8 月 19 日在马尼拉以东形成的热带低压。它在西北太平洋上沿西北偏西路径移动,并于 8 月 22 日上午增强达到台风强度,8 月 22 日傍晚在香港登陆。它创造了自 1884 年香港有记录以来由单个热带气旋造成降水达 616.5mm 的最高纪录。对比分析使用的资料分别是 TRMM 的 PR 和香港雷达对“Sam”台风造成降水的观测资料。

另外,“Utar”台风于 2001 年 7 月 6 日在香港造成暴雨,本文使用 TRMM 的 PR 和香港雷达观测的资料进行了同样的对比分析。

2.1 TRMM 卫星 PR 数据

本文 PR 测量到的 1999 年 8 月 23 日 16 时 15 分(北京时,下同)“Sam”台风和 2001 年 7 月 6 日 21 时 45 分“Utar”台风在香港及其邻近地区造成暴雨资料。由于 PR 的工作波长为 Ku 波段,由降水(尤其当降水较大时)造成衰减的影响较大,所以使用的 PR 雷达回波强度资料是经过衰减订正和非均匀分布修正后的资料。

2.2 地面雷达数据

使用的地面雷达数据是由香港天文台所提供的香港雷达资料,时间为 1999 年 8 月 23 日 16 时 12 分和 2001 年 7 月 6 日 21 时 48 分,与 TRMM 卫星有 3 分钟的时间差。地面雷达位置为:22.36°N、114.215°E,香港雷达工作波长为 10.3cm,峰值功率为 500kW,每 6 分钟作一次立体扫描。这次对比了“Sam”台风造成的 1km 高度上水平降水

资料,同时利用同一地理位置上的剖面图资料对比分析了两者在测量降水垂直结构上的异同。

3 PR 资料与香港雷达资料对比分析

3.1 PR 与香港雷达测量的“Sam”造成的 1km 高度上水平降水强度对比

图 1 为 1999 年 8 月 23 日 PR 和香港雷达测量的 1km 高度上降水率分布图。从图 1 上可以看出:在 1km 高度上,PR 和香港雷达共同扫描区域内,PR 测量到的降水区域要明

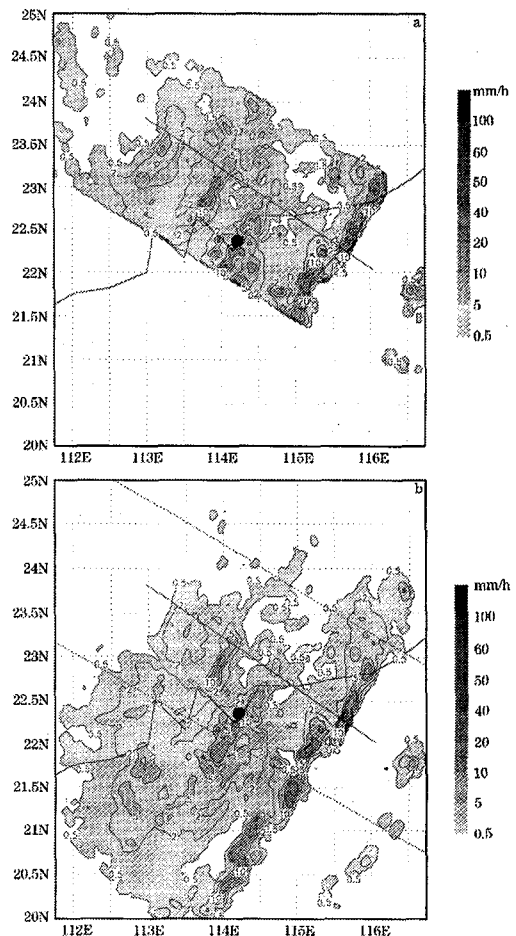


图 1 1999 年 8 月 23 日 16 时 15 分 PR(a)及 16 时 12 分(b)香港雷达测量的 1km 高度降水率分布图

●为香港雷达所在位置,两虚线间为 PR 扫描区域,实线为图 2 剖面图的剖面位置

显的大于香港雷达测量的降水区域。在降水强度比较大时,PR 所测量的降水强度要明显的大于香港雷达所测量的降水强度。在距离香港雷达 100km 以内,PR 所测量到的降水强度与香港雷达所测量到的降水强度较为接近。在距离香港雷达 100km 以外,PR 所测量的降水强度明显的大于香港雷达测量的降水强度。在 23.5°N、113.2°E 附近,PR 测量到一个 10mm·h⁻¹ 以上的降水中心,而香港雷达没有测量到这个降水中心,在距离香港雷达较远的地方 PR 测量到有小降水的区域而香港雷达没有测量到。

3.2 PR 与香港雷达测量的“Sam”造成的降水垂直分布对比

图 2 为 1999 年 8 月 23 日 PR 和香港雷

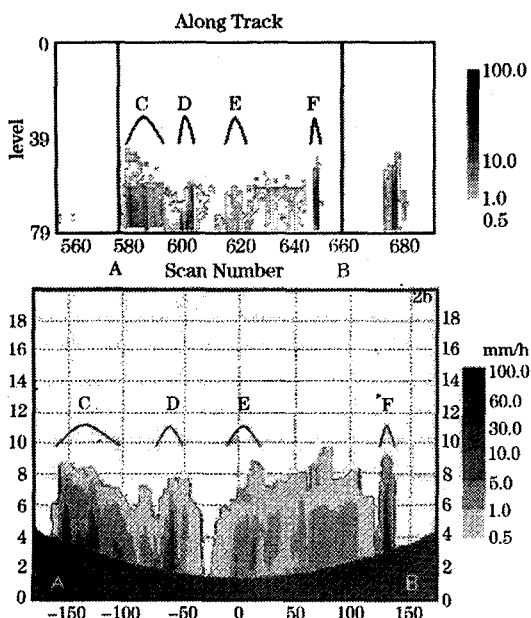


图 2 1999 年 8 月 23 日 16 时 15 分 PR(a)及 16 时 12 分香港雷达(b)测量的降水率剖面

达测量的降水剖面图。由图 2a、b 可以明显看到,香港雷达和 PR 雷达所测量到的 C、D、E、F 四条雨带的位置非常一致。其中 E 降水带强度最弱,两者的测量结果一致。PR 测量的 C、D 两条降水带的高度为 5km 左右,而香港雷达测量高度约为 6km。这两条降水的

强度介于 E 和 F 降水带之间。F 降水带的降水强度为最大,同时高度达到 8km 左右,对于这条降水带的测量两者基本一致。由此可以看出,两者所测量到的降水在垂直方向上分布是一致的。

3.3 雷达反射因子相关分析

由于 TRMM 卫星的星下点水平分辨率为 4.3km,而香港雷达的水平分辨率为 1km。二者的分辨率是不一致的,考虑到 PR 的视域内有可能不为降水所充满,而 PR 测量的是视域内的平均降水,所以我们在进行对比分析时不能直接把二者进行对比。因此,我们在进行对比分析时,是以 TRMM 的数据点为中心,取边长为 4.4km 的正方形,如果在这个正方形区域内的香港雷达数据点的数目超过 12 个,这个 TRMM 数据点就被计入,否则不计。

3.3.1 PR 资料与香港雷达资料相关分析

表 1、表 2 给出了 TRMM 卫星与香港雷达测量的雷达反射因子相关系数。对于“Sam”台风造成的降水,PR 资料与香港雷达资料之间有良好的线性相关(见表 1),在小于 100km 时,平均法的相关系数达到 0.75,而最佳匹配法的相关系数达到 0.94。另外,由表 1 可以看出,在距离香港雷达较远的地方,两者间相关系数要明显的高于距离香港雷达较远地方的相关系数。平均法的相关系数在距离小于 100km 时比大于 100km 时要高 0.09,最佳匹配法两者间相差 0.07。对于“Utar”台风造成的降水的相关分析(见表 2),除距离香港雷达 100km 以内与 100km 以外的差值较大以外,其它的基本一致。

表 1 TRMM/PR 和香港雷达测量的雷达反射因子相关系数(“Sam”台风)

范围	匹配点数	相关系数	
		平均法*	最佳匹配法**
全部	2124	0.69	0.90
<100km	899	0.75	0.94
≥100km	1225	0.66	0.87

表2 TRMM/PR 和香港雷达测量的雷达反射因子相关系数(“Utar”台风)

范围	匹配点数	相关系数	
		平均法*	最佳匹配法**
全部	1003	0.68	0.75
<100km	315	0.84	0.94
≥100km	688	0.61	0.68

* 区域内香港雷达数据平均值与 PR 值相关

** 区域内与 PR 值最接近的香港雷达值与 PR 值相关

3.3.2 香港雷达与 PR 测量雷达反射因子值比较

香港雷达值采用的是边长为 4.4km 正方形内所有香港雷达数据点的值的平均值。在进行数据对比时,本文采取了两种方法,a、以到香港雷达的距离为标准,随着距离的增加来分析两者之间关系;b、以 PR 观测值为标准,随其增大来分析两者之间的关系。

由图 3a 可以看出在距离香港雷达位置小于 100km 时,香港雷达与 PR 测量到的雷达反射因子比较接近,并且到香港雷达距离为 0~30km、30~50km、50~100km 区域内两者测量的雷达反射率因子差值在 1~1.5dB。其中在距离香港雷达 30km 以内,两者之间的差值是 1.2dB,相对误差为 0.04。当到香港雷达的距离大于 100km 时,两者间

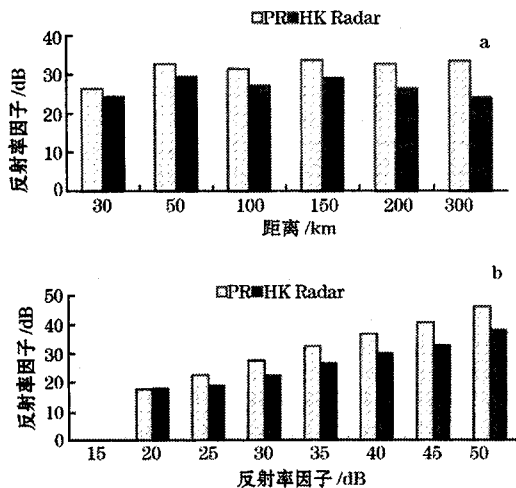


图3 1999年8月23日PR和香港雷达测量的“Sam”台风降水雷达回波强度对比图

的差值明显增大,另外,两者差值随着距离的增大而增加。在距离香港雷达为 200km 以上时两者之间的差值达到 4.9dB,相对误差达到 0.15。而在利用两者对“Utar”台风造成的降水进行观测的资料进行对比分析后可以得到和上述情况一致的结论(见图 4a)。在距离香港雷达较远的位置上香港雷达的充塞系数小于 1,而雷达测量的是雷达波束内平均降水量,因此香港雷达的测量值小于 PR 雷达的测量值。

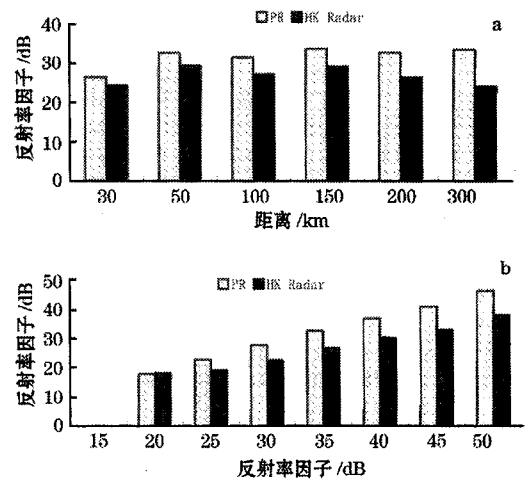


图4 2001年7月6日PR和香港雷达测量的“Utar”台风降水雷达回波强度对比图

在以 PR 值作为自变量作对比时,本文设置 0~15dB, 15~20dB, 20~25dB, 25~30dB, 30~35dB, 35~40dB, 40~45dB, 45~50dB 八个区间。由图 3b 可以看出,当 PR 值小于 20dB 时,香港雷达观测的雷达反射因子要大于 PR 观测的雷达反射因子。当 PR 值大于 20dB 时,香港雷达的值小于 PR 值,它们之间的差值随着 PR 值的增加而增大。另外由图 3b 还可以看出,在 PR 值小于 15 dB 时,两者之间的差值达到 -3.5 分贝,相对误差为最大达到 0.24。在 PR 值在 20~25dB 时,它们之间的差值为 0.96 分贝,此时它们之间的相对误差最小为 0.04。在 PR 值为 45dB 以上时,它们之间的差值达到

7.4dB,它们之间的相对误差为0.16。而在利用两者对“Utar”台风造成的降水的进行观测的资料进行对比分析后可以得到和上述情况一致的结论(见图4),只是在PR值较大时,两者之间的差值和相对误差更大。在PR值较小时,可能由于PR雷达的波长较短,在降水较小时衰减订正较少,但是在降水强度较大时,由于衰减订正(本文使用的PR资料是经过H-B方法进行衰减订正后的资料)的量偏大造成的。

4 小结

通过把PR与香港地面雷达资料进行对比分析研究,我们可以初步得出以下结论:

①用PR测量降水与地面雷达测量降水具有非常好的一致性;

②在PR值比较小时,香港雷达值大于PR值;在PR值较大时,香港雷达的值要小

于PR值;

③在距离香港雷达距离近的地方PR值与香港雷达值比较接近,距离远的地方,PR值明显大于香港雷达值。

参考文献

- 1 Cheng, M. Estimate of precipitation using satellite, Radar and rain Gauge. University of Bristol, 1994: 400.
- 2 Browning, K, A. Rain rainclouds and climate. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 1990;116:1025—1056.
- 3 Kummerow, Christian, William Barnes, Toshiaki Kozu, James Shiue, Joanne Simpson, The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology: 1998, 15, (3): 809—817.
- 4 Cheng, M., He, H., Mao, D., Qi, Y., Cui, Z. and Zhou F. Study of 1998 heavy rainfall over the Yangtze river basin Using TRMM data. 大气科学进展 2001, 18: 387—396.

Comparison of Data and Product Obtained by TRMM/PR and Hong Kong Radar

He Huizhong¹ Cheng Minghu¹ Zhou Kangjun² Li Zengzhong¹

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081).

(2. Huanghe Water Conservancy Commission)

Abstract

The heavy rainfall occurred at Hong Kong and vicinity on Aug. 23, 1999 was caused by typhoon "Sam". The rain rate and reflectivity distribution at 1km observed by TRMM/PR and HK radar are compared. Generally, they are consistent. Two methods, i. e. average and best match, are used in comparison. The correlation coefficients obtained from best match method are higher than average method. When the distance from HK radar is less than 100km the coefficient is higher. The difference of reflectivity from PR and HK radar has increased with the distance increasing from radar site. When the reflectivity from PR is less than 20dB the value observed by HK radar is larger. Otherwise, the reflectivity from PR is larger. The difference of reflectivity between the two radars increases when the reflectivity from PR becomes larger.

Key Words: TRMM/PR radar data and product comparison