

空間解析度對降水量分佈之影響

王作臺

國立中央大學大氣物理研究所

摘 要

本文利用一更詳盡的降水資料來研究空間分佈對降水特性及 Lag 相關係數之影響。同時確認一些和較小尺度相關的物理過程，而這些物理過程正是估算降水場的抽樣誤差所必須。

此研究發現在降水率小於 4 mm/hr 時，由 $1 \text{ km} \times 1^\circ$ 的資料和由 $4 \text{ km} \times 4^\circ$ 得到的累積降水統計沒有明顯差別。這結果顯然是由中尺度系統中的層雲內降水造成的。層雲內的降水是連續而且小於 6 mm/hr，在 $1 \text{ km} \times 1^\circ$ 資料中，20% 的降水量是由大於 40 mm/hr 的降水率造成的，然而，在 $4 \text{ km} \times 4^\circ$ 的資料中，此降水率區只有 8% 的貢獻。區域平均的結果，使得極大之降水率被平滑了許多。

變異數及自相關係數之計算顯示了變異數及自相關對空間分佈的斜率在較小尺度之資料內得到的是小於由較大資料中得到的造成此結果的原因，可能是與中尺度系統中對流尺度降水過程有關，因為斜率之減少，對於水平積分尺度之存在的影響及含義，亦將有所討論。

一、前 言

在熱帶以外的地區，天氣干擾的主要能量來源是可用位能，此可用位能因該地區的較強緯向溫度梯度而產生的。熱帶區域內，此可用位能的儲存量是非常的少，因為地區性的緯向溫度梯度很小。伴隨著對流雲系降水而來的潛熱釋放，則是熱帶地區天氣干擾的主要能量來源。

隨著凝結降水而帶來的潛熱貢獻，對大尺度的環流型態有很大的影響，而帶來的水資源，對人類的各式活動是相當主要的，但是在熱帶中要去估算降水是個困難的問題，不像其他大多數的氣象變數，降水在空間及時間上的分佈是時斷時續的，而且有很大的可變性，目前降水的觀測，大都局限於陸地，靠雷達或雨量計來量度，在海洋面上的降水，則大都是靠不均勻的資料綜合而得，很少是真正量度到

的。有鑒於降水對熱帶提供的能量及造成大尺度的干擾，有一組可信度高的熱帶降水資料對氣候之研究是相當重要的，Simpson 等人 (1988) 就提到籌劃中的以衛星量度熱帶降水的 TRMM 計劃。

衛星被認為是可以用來克服因雷達或雨量計觀測降水的缺點，衛星有能力以固定的頻率穿越或涵蓋一寬廣之區域，這是它的大優點，但是衛星量度降水也有其自身的問題。例如，降水量必須以一些遙測技術的方法來反推，目前已發展出了幾個不同的方法，由可見光，紅外線光波段，甚至是由微波波段量到的輻射加以反推計算出雨量。

但是由衛星資料反推得到的全球降水資料，必然會因其時空量度上的不連續而造成抽樣的誤差，吾人定義抽樣的誤差為由一時空連續上與時空不連

續上的資料中，兩者的差異，要估算因衛星量度降水產生的誤差，則必須用到雷達或雨量計等的觀測資料來做驗證的基準。1974年的熱帶大西洋實驗(GATE)，因為包含了各種觀測儀器，並有頻繁的觀測，此實驗得到的資料，是最常被用來研究衛星量度降水的抽樣誤差之資料庫。熱帶大西洋實驗中，除了有衛星、雷達、飛機之量度外，更有標準天氣變數，雲量分佈，及邊界層...等的量度，GATE的資料，提供了一絕佳的機會使吾人來研究對流系統的生命週期及其相伴隨的降水系統之特性(見Houze和Betts, 1981)，也有不少的研究則是藉著時間空間的相關係數的結構去探討降水率(量)和空間時間分佈的關係(McConnell and North, 1987; Laughlin, 1981; Hudlow and Patterson, 1979)。吾人須要這些時空分佈的 Lagged 相關來估算在僅有有限雨量計產生量度降水的誤差或是由衛星上取樣產生的誤差。由GATE實驗的第一及第二觀測期中，得到的空間分佈的降水率和距離的關係是(Bell, 1987)

$$C_r(s) = \frac{1}{(0.25 \times s + 0.63682)^{2/3}}, \quad 4 \text{ km} \leq s \leq 60 \text{ km} \quad (1)$$

$C_r(s)$ 是空間的相關係數， s 是空間距離 (km 為單位)。以此看來，這空間的自相關函數分佈是正比於 $-2/3$ ，如此則隱含區域平均降水率的變異數減少的比例是 $A^{-1/3}$ ， A 代表一個區域 (Laughlin, 1981)，這變異數與區域的關係，是和 $S^{-2/3}$ 的空間距離的分佈是一致的。這結果顯示水平積分尺度的存在是值得懷疑的，因為如果有水平積分尺度之存在，則變異數必須隨著面積而有 A^{-1} 之遞減關係。因此假設在較小的尺度中沒有水平積分尺度，則由小區域中量變到的變數其異變會較大，也就會造成較大之抽樣誤差。然而， $S^{-2/3}$ 的經驗法則則是由最大解析變為 4 km 乘 4 km 中得到的，伴隨著在小於 4 km 解析度的物理過程似乎沒有被式 (1) 所涵蓋，因此， $S^{-2/3}$ 的規則如何受到更小尺度內的過程所影響，則仍不清楚。

本文的研究，則是要由一解析度更小的資料組來重新探討空間相關係數分佈及對流區域降水平度對抽樣誤差之影響。

二、資料及分析方法

目前大部份 GATE 的降水資料大都是採用 Hudlow and Patterson (1979) 由數個雷達組合成的，此組合資料最小的解析度是 4 km 乘 4 km，時間間隔是每 15 分鐘，式 (1) 的結果即是由此組資料得到。本研究所使用的資料，是由 GATE 第三特別觀測期內，加拿大實驗船 (Quadra) 上的雷達資料，此組資料的解析度是 1km 及每一度的掃瞄角，時間間隔是 5 分鐘，本分析一共用了 8 個整天的雷達降水資料。吾人仍用此資料先來估算自互變異數 (ACVF)，Trenberth (1984) 的研究中提到可以有許多種不同的估算法來估算 ACVG，他的研究是假設變數的分佈是常態的狀況而求取出。因為降水資料的不均勻及非常態分佈，Nakamoto 等 (1988) 年則是由非常態的假設重新估算何者為較佳之 ACVF 估算法，得到之結論和 Trenberth (1984) 相類似的結論。現將估算 ACVF 之方法簡單敘述一下。Lagged ACVF 可用式 (2) 來估算

$$C_B(m) = \frac{1}{N \times P} \sum_{i=1}^P \sum_{n=1}^{N-m} (X_{n+m}(i) - \bar{X})(X_n(i) - \bar{X}) \quad (2)$$

在此， P 代表時間內所有的資料段落， N 表示在某一段落內其包含的資料點數，橫線代表對所有資料的一項平均， m 則表示在空間的 Lag。

$$\bar{X} = \frac{1}{N \times P} \sum_{i=1}^P \sum_{n=1}^N X_n(i) \quad (3)$$

如此則 Lagged 自相關係數 (ACRF) 可以被估算如下：

$$\rho_B(m) = \frac{C_B(m)}{C_B(0)} \quad (4)$$

$C_B(0)$ 是在 $m=0$ 時之值。

吾人用 Quadra 上之資料 (資料組 A) 來計算降水之平均值，變異數及自相關係數。同時由資料組 A 中，另行整合取較大區域之平均而得另一最小解析度為 4 km 乘 4° 掃瞄角的資料組 (資料組 B) 做相同之變數計算，這二組結果的差異，是用來評斷水平空間解析度對降水統計之影響及對流尺度如何影響抽樣誤差之參考。

三、結果及討論

(一) 平均值

圖 1 表示的是降水的機率密度函數，分別由資料組 A 及資料組 B 中求得。兩者的曲線相類似，發生最大機率的是在降水率為 4 mm/hr 的區間，但以 B 資料組（即 4 km 及 4° 解析度）中的 4 mm/hr 最高機率稍小，同此二資料算出來的全部降水量的結果展現於圖 2。在 A 資料組中，大於 40 mm/hr 降水率對於全部之降水有 20% 之貢獻，然而在 B 資料組中相同降水率只有 8% 的貢獻，此結果說明了在較大區域的平均中，將極端的降水率減少許多。但在較小的降水率區中（小於 6 mm/hr），則此二組資料看不出有明顯的差別。這一點在圖 3 更可清楚的看出。圖 3 顯示的是由不同降水率中累積的對全部降水的貢獻，在小於 6 mm/hr 的降水率下，此二組資料所得之分量幾乎相同，物理上來看，此和雲簇中的砧狀雲區的影響有關，因為在砧狀雲區內的降水率是在 2-6 mm/hr 之間，水平結構有百公里以上，持續數小時，在其內水平分佈是較均勻的，如此，資料組 A 及 B 在此段內解析到同樣的物理過程，而在對流雲區的核心內，劇烈降水發生的空間尺度有的是小於 4 km，此二組資料在極端降水率區內，就產生了明顯不同的結果，所以 GATE 雲簇內的特性因對流或中尺度之系統的降水機制會影響到因空間解析度的不同，而造成不同累積雨量之貢獻。在不同的地理區域，其雲簇的結構是否和 GATE 區的相類似？是否會造成相同之影響？這也是吾人日後有興趣研究的方向之一。

(二) 變異數

由資料組 A 及 B 算出來在不同的掃描半徑上的變異數列在表一。由資料組 A 得到之變異數一般來說都比較大，但是較具意義的是由較大區域至較小區域下，此變異數變化的斜率。表二列出的則是由資料組 B 至資料組 A 變異數改變的斜率，和不同掃描半徑的關係，其平均數是 -0.166，標準差是 0.024，或者可以下列式子來表示： V 和 $A^{-0.166}$ 成正比， A 是吾人有興趣的區域的面積， V 是變異數。此斜率顯然比與 GATE 第一第二觀測期以 4 km 乘 4 km 區域解析到的還小，圖 4 劃出幾個不同半徑下得出的斜率圖，實線是以 -0.33 估算出來的值，此研究中算到的則以點線表示。-0.33 斜率是 Laughlin (1981) 估算得的。較小於斜率說明了隨著區域的擴大，變異數是緩慢減少，即存在於小區域

內之訊息是和較大區域中的有更高的相關，這結果隱含的是水平積分尺度是不存在的。

(三) 自相關係數

圖 5 上所示的是在 102km 掃描半徑上以資料組 A 及 B 得到的 Lagged 自相關係數（由式 (3) 求得），並以對數的方式表示出來。對任一相關係數值來說，資料組 B 比資料組 A 有較大之相關距離，A、B 二組資料的 e-folding 距離分別為 5 km 及 25 km，資料組 B 及相關係數的斜率在小於 40 km 的距離內，大致上是一條直線，斜率約為 -0.6，即 ACRF 正比於 $S^{-0.6}$ S 是距離（以 km 計）。資料組 A 在 8 km-15 km 間，其 ACRF 減少之斜率，大約是介於 -0.58 及 -0.667 之間，但是在小於 4 km 之距離內，其斜率顯然的比其在上述區間內的還來得小，此估算和圖 4 所得之變異數估算是一致的，此結果的意義是雨量計或雨量量度到的降水，隨著距離的增加，其相關係數的減少是很緩慢的（最少在較短的距離內是如此）。Laughlin (1981) 用統計模式以 GATE 第一、二觀測期之資料計算月平均雨量在 600 km 乘 600 km 的區域中，抽樣誤差約為 10%，本研究用相同之統計模式，以新估之自相關函數放入重新計算抽樣之誤差，詳細的結果仍未算出，但約略的估算認為抽樣誤差會比 Laughlin (1981) 估的稍大一些，但該在 15% 以內。

四、結 論

本研究發現雲簇系統內的二種不同尺度的降水，會影響到空間水平距離的取樣產生之全部降水值，而這兩種不同尺度的物理過程，也對降水分佈的變異數及其相關函數有深遠的影響，自相關函數的斜率在較小的距離得到的比較小，表示其隨著空間是緩慢遞減，此緩慢遞減會造成在較大之距離外仍具有稍大之相關性，這會減少到整個系統中可以有的獨立抽樣數 (Independent Sample) 而增加系統內的抽樣誤差。

五、參考文獻

- Bell, T. L., 1987: A space-time stochastic model of rainfall for satellite-sensing studies. *J. Geophys. Res.*, 92, 9631-9643.

- Houze, R. A. Jr., and A. K. Betts, 1981: Convection in GATE. Rev. Geophys. Space Phys., 19, 541-576.
- Hudlow, M. D. and V. L. Patterson, 1979: GATE Radar Rainfall Atlas. NOAA Special Report, available from US Government Printing Office, Washington, DC 20402, 158 pp.
- Laughlin, C., 1981: On the effect of temporal sampling on the observation of mean rainfall, Precipitation Measurement from Space, edited by D. Atlas and O. Thiele, pp. D59-D66, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD.
- McConnell, A. and G. R. North, 1987: Sampling errors in satellite estimates of tropical rain. J. Geophys. Res., 92, 9567-9570.
- Nakamoto, S., J.-T. Wang, D. A. Short and G. R. North, 1988: Estimation of lagged space-time correlations in rain data. Tropical Rainfall Measurements, Edited by J. S. Theon and N. Fugono, 465-470. A. Deepak Publishing, Virginia, USA
- North, G. R., 1987: Sampling studies for satellite estimation of rain. Preprint volume on the 10th Conference on Probability and Statistics in Atmospheric Sciences. Amer. Met. Soc., Edmonton, Alberta, Canada.
- Trenberth, K. E., 1984: Some effects of finite sample size and persistence on meteorological statistics. Part I: Autocorrelations, Mon. Wea. Rev., 112, 2359-2368.
- Simpson, J., R. F. Adler and G. R. North, 1988: A proposed tropical rainfall measurement mission (TRMM) satellite. Bull. Amer. Met. Soc., 69, 278-295.

表 1：由資料組 A、B 因不同掃瞄半徑估算出來的變異數。

	VARIANCE				
	D1 data	in log	in log difference	D4 data	in log
50 km	9.357	0.971	0.1945	5.979	0.777
54 km	9.162	0.962	0.2233	5.479	0.739
58 km	7.337	0.866	0.175	4.898	0.690
62 km	7.783	0.891	0.140	5.638	0.751
66 km	8.384	0.923	0.151	5.345	0.730
70 km	6.944	0.841	0.192	4.459	0.649
74 km	7.263	0.861	0.187	4.718	0.674
78 km	6.859	0.836	0.209	4.235	0.627
82 km	6.200	0.792	0.223	3.707	0.569
86 km	5.396	0.732	0.238	3.114	0.493
90 km	4.529	0.656	0.217	2.750	0.439
94 km	3.927	0.594	0.209	2.426	0.385
98 km	3.904	0.592	0.234	2.279	0.358

The expected difference in the variance from the -0.3392 power law is 0.41.

表 2：估算的斜率，由表一中的資料假設變異數由資料組 B 改變至資料組 A 的變異數的斜率。

Estimated Slope	
50 km	-0.162
54 km	-0.186
58 km	-0.146
62 km	-0.117
66 km	-0.126
70 km	-0.16
74 km	-0.156
78 km	-0.174
82 km	-0.185
86 km	-0.198
90 km	-0.181
94 km	-0.174
98 km	-0.195

Mean = -0.166
Standard Dev. = 0.024

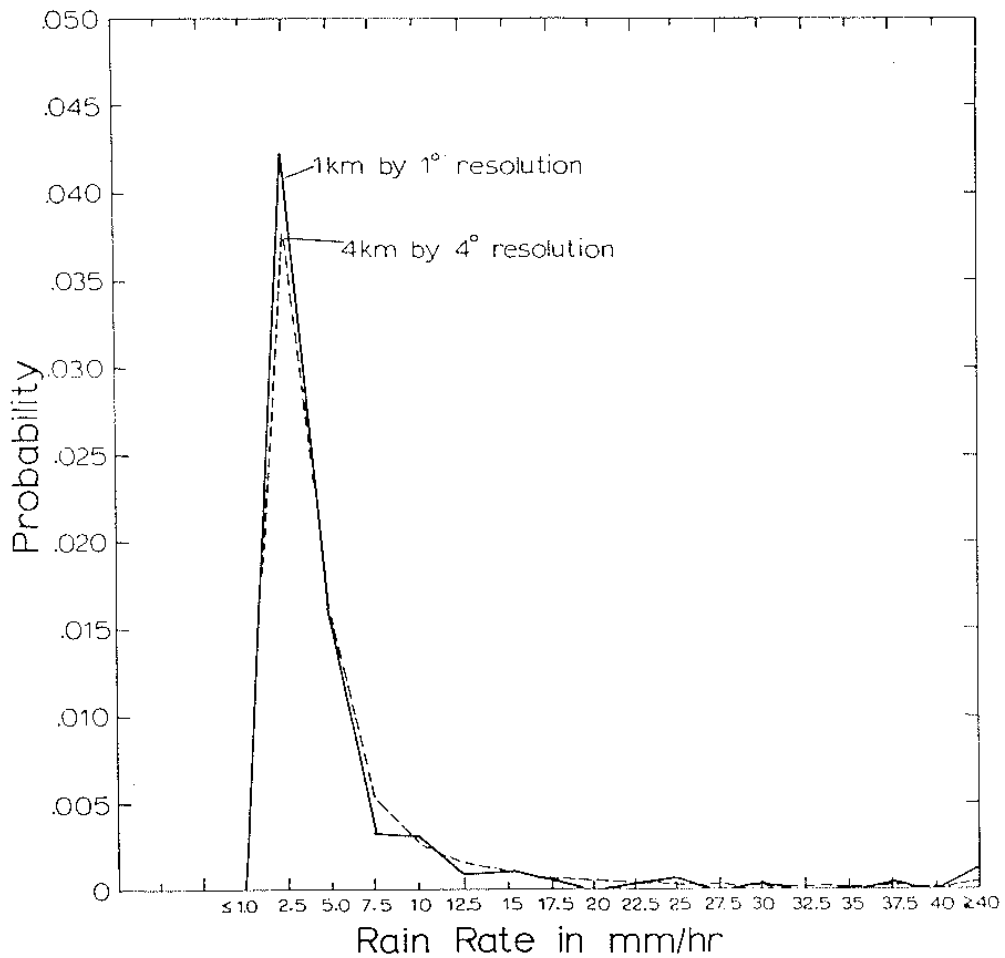


圖 1：降水率分佈的機率密度函數，實線的是以資料組 A 得到的，虛線的是資料組 B。

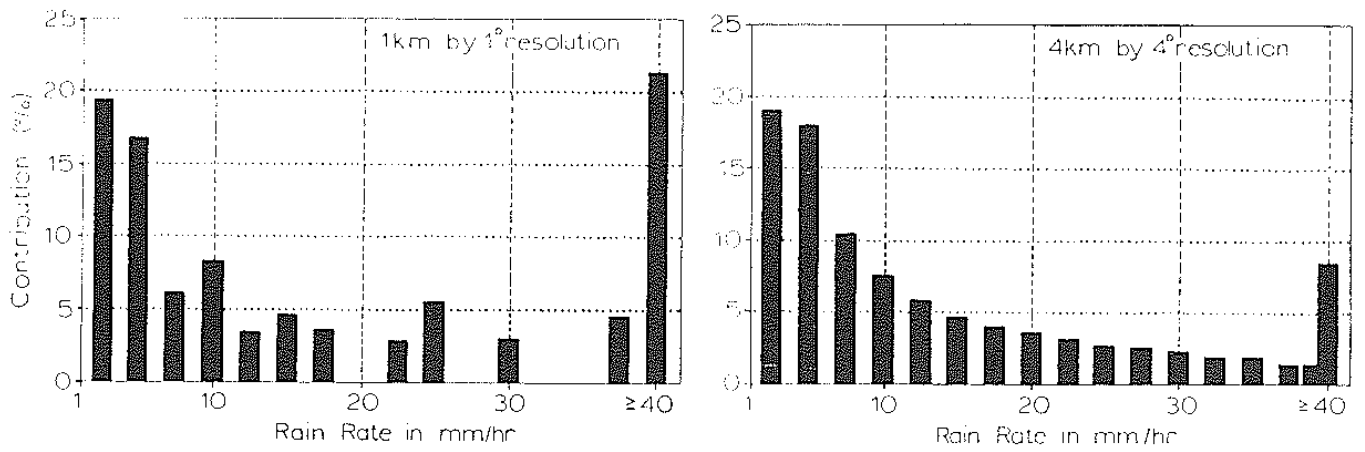


圖 2：不同降水率對全部降水之貢獻。(a)資料組 A，(b)資料組 B。

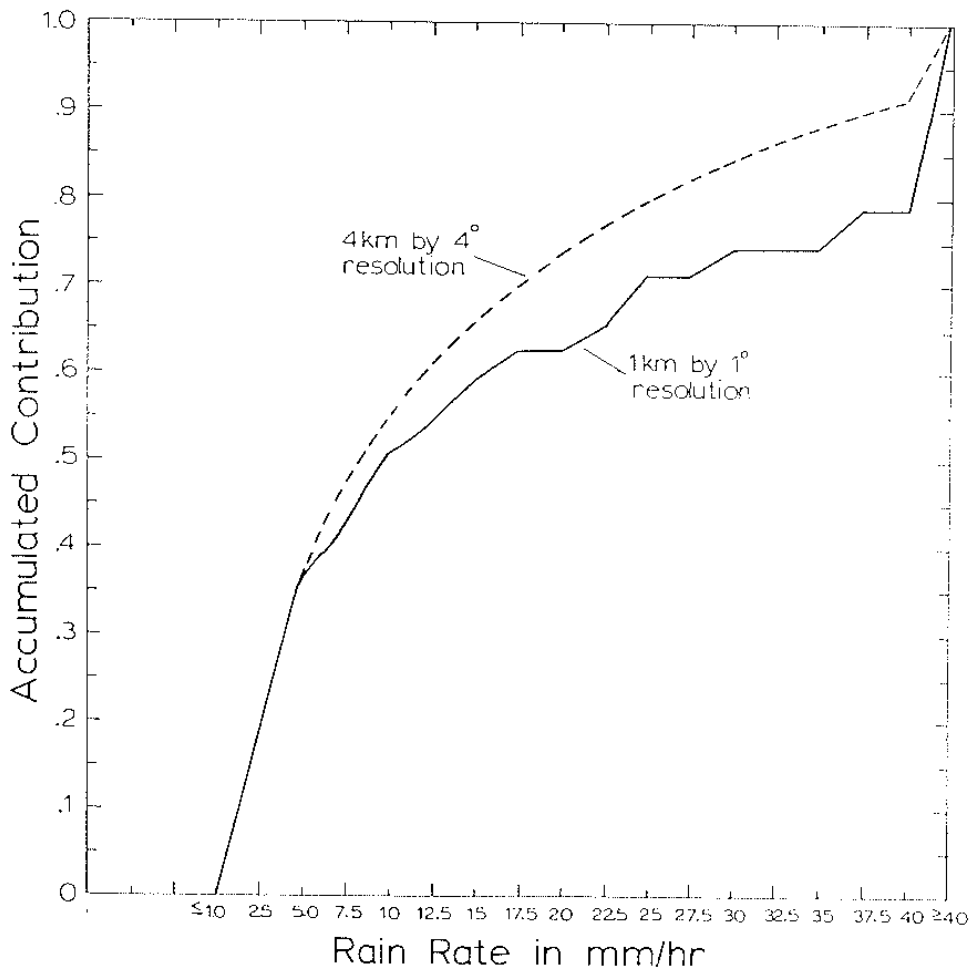


圖 3：由不同降水率對累積降水的貢獻。實線（虛線）是資料組 A(B) 的貢獻。

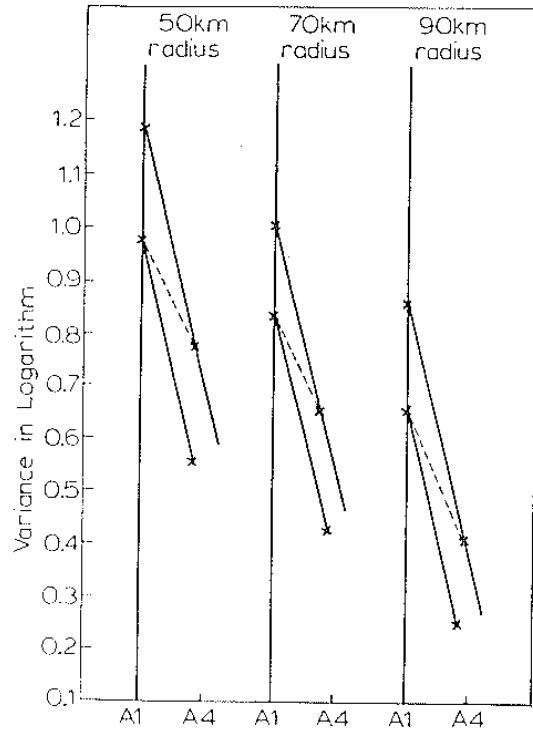


圖 4：由表二劃上的數個資料點，實線是以 -0.33 斜率為主的估算，點線則是真實的計算，A1及A4代表資料組 A 及 B 的面積指數。

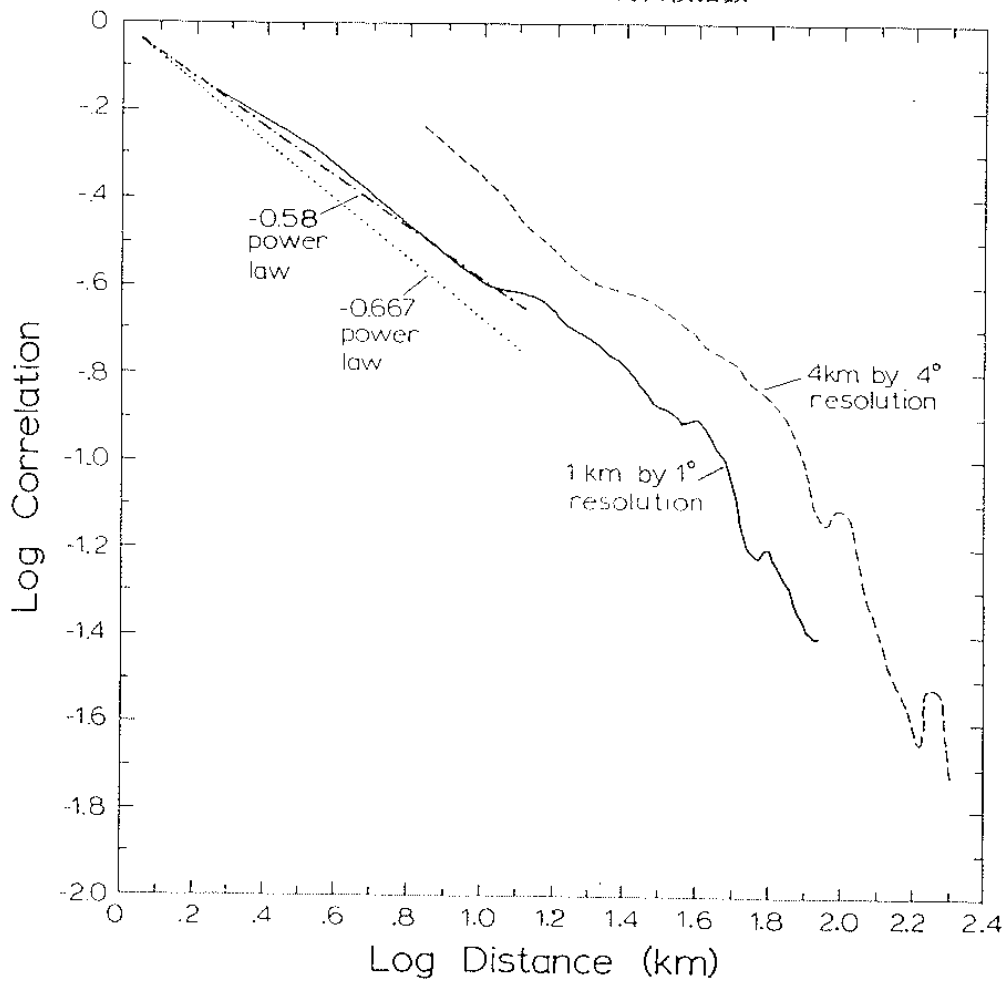


圖 5：由 lagged 自相關係數的對數圖，分別為資料組 A 及資料組 B。此圖是以 102 km 掃描半徑來算的。

The Effect of Spatial Resolution to the Rainfall Statistics

Jough-Tai Wang

Institute of Atmospheric Physics

National Central University

Chung-Li, Taiwan 32054

ABSTRACT

Present study uses a fine scale data set from GATE phase III to investigate the spatial effects on the rainfall characteristics and the lagged autocorrelation. Because of the finer structure of present data set, the physical processes involved in a shorter distance scale can be identified. Which is a crucial information in estimating the sampling errors of rain field.

It is found that for the rainrate smaller than the 4 mm/hr, the 1 km by 1° and 4 km by 4° data set will not make any noticeable difference in accumulated rainfall statistics. This is a direct implication from stratiform rainfall associated with the mesoscale circulation. The rainfall within that physical region is continuous with rainrate smaller than 6 mm/hr. The rainfall rate larger than 40 mm/hr contributes 20% to the total rainfall in 1 km by 1° data, in contrast to the 8% contribution from the 4 km by 4° data. The area-averaged processes suppress the extreme rainfall considerably (the extreme would have come from the convective scale).

The variance and the autocorrelation calculated in this study reveal that the slopes of the variance and autocorrelation in the smaller scale are smaller than those estimated through the large area data. This is an indication that the convective scale rainfall field caused this change. Due to this decrease in the slope, its implications and effects to the horizontal integral length scale are discussed.