

以藤原參數研究一熱帶氣旋對的移動路徑

何台華 * G. V. RAO **

* 中正理工學院應用物理系

** 美國聖路易大學地球及大氣科學系

摘 要

本研究是以一組發生在印度洋上空、且分屬南北半球的熱帶氣旋對為對象，計算其藤原參數，包含此氣旋對的質心、強度和偏角大小，並加入導引氣流的影響，最後預測此氣旋對未來的移動位置。與實際的位置比較發現：24小時的路徑預報準確度頗佳，可供實際預報的參考。

一、前 言

影響熱帶氣旋和颱風運動的原因很多，而同時存在的兩個或三個熱帶氣旋之間的交互作用對其中任一熱帶氣旋的移動路徑是相當難以掌握的。研究熱帶氣旋對(Binary tropical cyclone)之間的交互作用從Fujiwhara(1923)開始，他以實驗探討相鄰二渦旋的運動情形，結果發現：若駛流不強，則彼此以系統的質心做氣旋式的移動，而且此二渦旋會出現互相吸引的效應，此即有名的藤原效應(Fujiwhara effect)。KhandeKar 與 Rao(1971)以兩層渦旋模式研究熱帶氣旋的位移，證明氣旋對的確有逆時針方向的相互移動。Jarrel等(1978)的研究結果則顯示：在太平洋地區當熱帶氣旋對出現時的路徑預報誤差有明顯的增加。劉廣英等(1982)曾就1968-1981年間存在西太平洋及南海中136對雙颱風分析各颱風對之間交互作用的情形，發現駛流場對雙颱風的相對運動有決定性的影響，而藤原效應則不盡配合。

熱帶氣旋對發生在同一半球、同一洋面的頻率不少，但出現在以赤道分隔的同一洋面上則不多見。本文是1979年5月6日至12日發生在印度洋上、以赤道分隔的熱帶氣旋對為研究對象，先分析氣流線決定氣旋對的中心位置，再計算藤原偏角和考慮環境駛流，最後預測此氣旋對未來24小時的位置，以評估此種預測方法的可靠性。

二、資料來源與分析方法

西元1979年5月6日至12日在孟加拉灣南邊的廣大印度洋上出現一組熱帶氣旋對，彼此以赤道為界，在5月9日當天，南氣旋位於(10° S, 90° E)附近，北氣旋則在(9° N, 87° E)。各層風場的資料來自FGGE (First GARP Global Experiment)和MONEX (Monsoon Experiment)實驗計畫期間密集而多樣化的偵測，包含飛機實測資料、投落送資料、汽球和船舶高空定層偵察資料、同步和軌道氣象衛星雲圖推算的水平風場資料以及世界氣象守視(World weather watch)的雷文送加強觀測資料。以上資料的分析是根據Bergthorsson與Doos(1955)和Cressman(1959)的連續訂正法，而各種不同資料的整合是經由Tripoli與Krishnamurti(1975)的分析方法組織而成，詳細的分析步驟可參考Krishnamurti等(1980)的研究報告。

三、合成的850hpa和200hpa氣流場分析

根據以上客觀分析組合而成的風場資料，不難繪出1979年5月9日至12日850hpa流線圖和等風速圖(如圖1)以及5月8日和10日200hpa流線圖和等風速圖(如圖2)。從850hpa流線圖中可以看出脊線從阿拉伯半島向東延伸至阿拉伯海，中度的東南季風(~10m/s)在南半球出現。

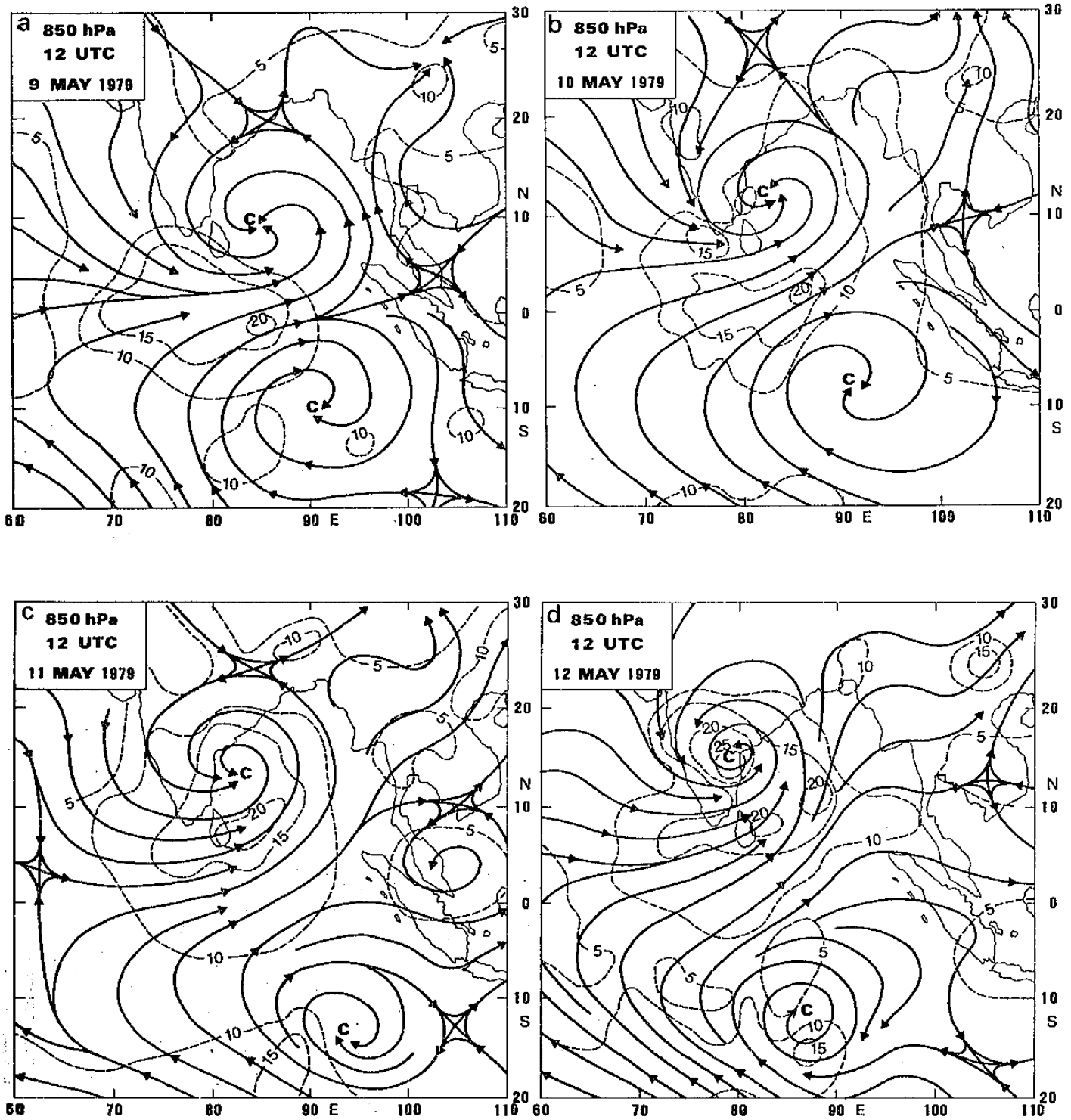


圖1(a)~(d) 經由 FGGE II a 和 MONEX II a 的合成資料
 分析完成的 850hpa 氣流圖和等風速線圖(單
 位 m/s)。時間自 1979年 5月 9日 12UTC 至 5
 月 12日 12UTC。

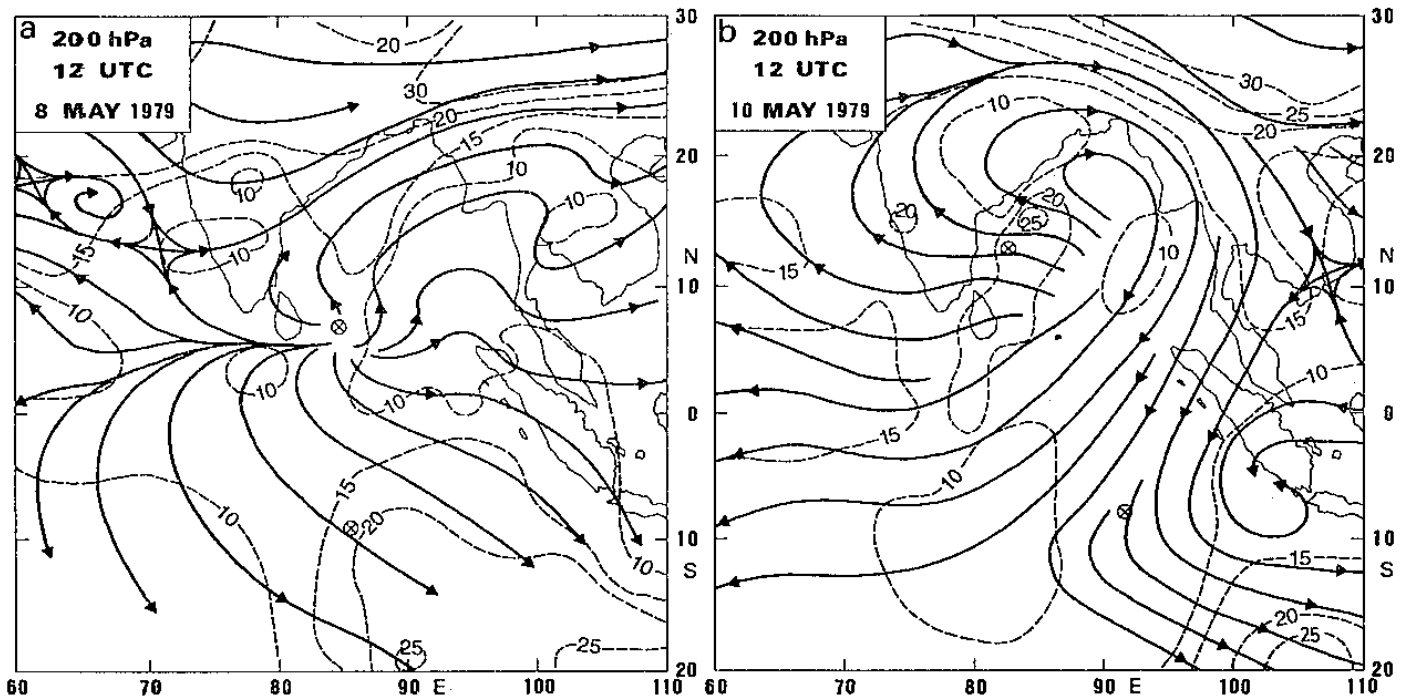


圖 2(a)~(b) 由 FGGE II a 和 MONEX II a 的合成資料分析完成的 200hpa 氣流圖和等風速線圖 (單位 m/s)。時間分別為 1979 年 5 月 8 日 12UTC 和 5 月 10 日 12UTC。

當孟加拉灣東南邊的熱帶氣旋北移時，才有明顯而強盛的跨越赤道流發生。值得注意的是這對南北遙望的熱帶氣旋，在 5 月 4 日時兩者強度不相上下 (根據連續的 GOES-I 衛星雲圖分析)，5 月 7 日以後，北氣旋明顯的佔有絕對的優勢，而且在 5 月 10 日當天，海平面風力還會達到中度颱風的程度 (>32m/s)。合成分析 (Composite analysis) 所決定的氣旋中心位置是目前比較可靠的方法，這些位置將做為下節路徑預報比對的基準點。至於 200hpa 流線圖和等風速圖可以看到 15° N 以北盛行西風，而 10° S 以南和 90° E 以東的地區亦盛行西風，5 月 10 日的氣流圖 (如圖 2(b) 所示) 顯示跨越的赤道流是來自東北向，而且清晰可見兩個熱帶反氣旋，分屬南北兩半球，顯然的，北邊的反氣旋範圍較大，勢力也較強。當高空西風脊線東移至 105° E 時，北邊反氣旋則呈南北向運動，從此這反氣旋的外流 (Outflow) 則暫時佔滿整個孟加拉灣及其鄰近地區，直至 5 月 15 日以後才開始減弱和消散。北邊反氣旋的移動主要是與西南季風的開始有關係。

四、藤原效應和環境駛流的影響

首先以 1979 年 5 月 9 日 12UTC 的 850hpa 氣流圖為藍本計算此南北二熱帶氣旋的相對渦度 (ζ_1 和 ζ_2)，各強度 (k_1 和 k_2 ，此即環流大小)，即

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1)$$

$$k = \pi R^2 \zeta \quad (2)$$

式 (2) 中 R 為氣旋半徑，通常以氣旋中心為圓心、而以風速大於 10m/s 的圓半徑代表之。因此北氣旋的半徑約為 380km，而南氣旋則為 280km。然後量出此二氣旋的相對距離 AB (A 和 B 分別代表北氣旋和南氣旋的中心位置)，若以 O 表此雙氣旋系統的質心 (Center of gravity)，則北氣旋與質心間的距離為

$$AO = \frac{k_2}{k_1 + k_2} (AB) \quad (3)$$

同理，南氣旋與質心的距離為

$$BO = \frac{k_1}{k_1 + k_2} (AB) \quad (4)$$

依據 Lamb (1972) 的方法計算此雙氣旋繞質心 O 的旋轉角速率應為

$$\omega = \frac{k_1 + k_2}{2 \pi (AB)^2} \quad (5)$$

從式 (5) 可推算 24 小時後 (即 1979 年 5 月 10 日 12UTC) 的北氣旋和南氣旋之藤原偏轉 (Fujiwhara deflection)。至於駛流對此南北氣旋的影響亦必須考慮，尤其此二氣旋分屬南北半球，各自有不同的環境駛流。因缺乏 500hpa 的風場資料，此處以資料充足的 200hpa 風場決定影響此雙氣

旋的駛流強度。從1979年5月9日12UTC的200hpa氣流圖上可以算出北氣旋的駛流大小(與氣旋中心相距 $1^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 緯度半徑的平均風)和方向分別是 7.5m/s 和 13° ，而南氣旋則分別為 5m/s 和 220° 。實際計算出來的藤原參數(Fujiwhara parameters)各值清楚的列於表1。未來24小時雙氣旋的位置則以藤原偏轉加駛流大小的向量合成決定之，如圖3所示。如以24小時的預測位置與實際以氣流場分析所獲致的位置相比較，可以發現藤原偏轉對北氣旋有低估的現象，對南氣旋而言，則顯得估計過大，使得南北氣旋中心位置的預測誤差約達150公里。

五、結 論

本文是以1979年5月6日至12日出現在印度洋上、受赤道分隔的熱帶氣旋對為討論目標，由於類似的氣旋對並不多見，而且限於觀測資料的嚴重不足，吾人對它們之間以及它們和環境之間的交互作用，瞭解十分有限。但此個案發生的地點正好有FGGE和MONEX兩個大型實驗計畫同時進行，因而獲得寶貴的三度空間資料，可供流線場分析和路徑預報。從以上的計算和討論可歸納成兩個結論：

(一)在5月9日12UTC，此熱帶氣旋對雖然相隔1800公里之遙，但明顯出現逆時針的互旋運動，而且相互遠離，這些現象與實驗室中的藤原效應差異頗大，顯示不同半球的駛流場強度和方向對雙氣旋的運動特性有相當程度的影響。

(二)結合藤原偏轉和環境駛流大小的向量合成以預估24小時後的雙氣旋中心位置，仍與實際觀測位置有150公里左右的誤差，偏角也有錯估的現象(北氣旋 16° ，南氣旋 22°)，可見氣旋對彼此間的牽制作用使移動路徑難以捉摸，因此Chan與Gray(1982)建議在決定熱帶氣旋的運行時，必須考慮氣旋與環境場之間的交互作用。但僅考量藤原偏轉和駛流大小，在實際預報作業上有簡單、快速的優點，仍具有參考價值。

致 謝

本文承王志鴻先生的協助繪圖，在此謹致誠摯的謝意。

表 1. 以1979年5月9日12UTC 850hpa的氣流圖計算雙熱帶氣旋的藤原參數值。此時雙氣旋相隔約1800公里。

氣 旋 藤原參數	北熱帶氣旋	南熱帶氣旋
氣 旋 強 度 (m^2/s)	10.5×10^7	3.15×10^7
與 質 心 距 離 (km)	420	1390
24小時後藤原偏角 (deg)	33	33
24小時後位 移 (km)	240	800

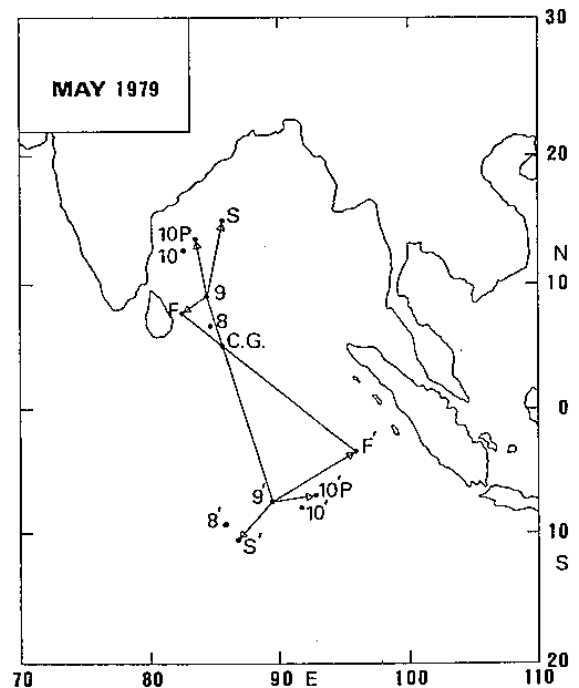


圖 3. 以1979年5月9日12UTC的850hpa氣流圖(如圖1(a))計算藤原偏轉與駛流大小所合成的24小時預測位置和實際觀測位置比較。圖中顯示此熱帶氣旋對相距約1800公里，C.G.代表氣旋對的質心，S(S')表北(南)氣旋的駛流，方向和大小分別為 13° 和 7.5m/s (280° 和 5m/s)，F(F')表北(南)氣旋的藤原偏轉，8(8')、9(9')和10(10')分別代表5月8日、9日和10日北(南)氣旋的實際位置，10P(10'P)則是5月10日北(南)氣旋的預測位置。

參考文獻

劉廣英、張儀峰與李紀恩，1982：雙颱風運動特性之分析與探討。第三屆大氣科學學術研討會論文集編，102-111。

Bergthorsson, P. and B. Doos, 1955: Numerical weather map analysis. *Tellus*, 7, 329-340.

Chan, J. C. L., and W. M. Gray, 1982: Tropical cyclone movement and surrounding flow relationships. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1354-1374.

Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, 87, 367-374.

Fujiwhara, S., 1923: On the growth and decay of vortical systems. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 49, 75-104.

Jarrell, J. D., S. Brand and D. S. Nicklin, 1978: An analysis of western North Pacific tropical cyclone forecast errors. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 925-937.

Khandekar, M. L., and G. V. Rao, 1971: The mutual interaction of multiple vortices and its influence on binary and single tropical vortex systems. *Mon. Wea. Rev.*, 99, 840-846.

Krishnamurti, T. N., P. Greiman, Y. Ramanathan, R. Pasch and P. Adanuy, 1980: Quick Look ' Summer MONEX Atlas ' Part I: Saudi Arabia Phase. FSU Report No. 804.

Lamb, H., 1972: *Hydrodynamics*. 6th edition, Dover Publication, New York, N.Y., 738pp.

Tripoli, G. J., and T. N. Krishnamurti, 1975: Low-level flows over the GATE area during summer 1972. *Mon. Wea. Rev.*, 103, 197-216.

DISCUSSION ON THE OBSERVED MOVEMENT OF BINARY TROPICAL CYCLONE IN THE INDIAN OCEAN

Tai-Hwa Hor * Gandikota V. Rao **

* Dept. of Applied Physics, Chung Cheng Institute of Technology

** Dept. of Earth and Atmospheric Sciences, Saint Louis University

ABSTRACT

In the pre-monsoon season two cyclonic vortices appear occasionally over the Indian Ocean, one south and the other one north of the equator. The movement of these vortices is not well guided by any defined steering flow. Under such a circumstance the two vortices may interact hydrodynamically, influencing the path of each. This interaction was first studied by Fujiwhara in a laboratory. During 9-12 May 1979 a binary tropical cyclone was noted over the Indian Ocean. The observed movement is explained and the interaction between these tropical cyclones and their environment is calculated by combining the Fujiwhara deflection and the steering flow. The result shows that within 24 hours the location of the pair is predictable.

