

以 SSM/I 資料改進熱帶颱風預報模式之初始條件

彭順台

美國海軍學院

摘要

由 SSM/I 估算颱風之降水率已用於數值預報模式，以改進模式初始條件。由於 SSM/I 資料在預報初始時間前 3 小時做資料導算，動力初始化之處理為絕熱往回積分 6 小時再非絕熱往前積分 6 小時。在非絕熱往前積分過程中，可逆郭氏積雲參數法包含緩和混入 (nudging) 之 SSM/I 估算降水率。初步結果顯示此法對颱風強度預報有改進。

一、前言

數值模式對熱帶氣旋之預報較對中緯度之預報不好的主要原因乃由於在熱帶海洋上缺乏規律之觀測資料。熱帶氣旋環流常被分析得不好或甚至完全遺漏，動力路徑模式對此改進之道通常為在模式初始場植入氣旋式渦旋，植入之渦旋和真實氣旋有些相似而渦旋之動力和熱力並不平衡。

由於遙測資料可用度增加及使這些資料成為有用之技術進步，很自然地可利用這些資料改進動力路徑模式之初始場。

Valden & Goldenberg (1987) 在 SANBAR 模式中利用衛星導出風計算深層平均風，得到有改進之路徑預報。由高解析度紅外線輻射探測器 (HIRS) 獲得之降水率已透過非絕熱非線性正模初始化 (Heckley et al. 1990) 應用於 ECMWF 系統，對模式初始場有正面之影響。最近 Davison & Puri (1992) 用類似的做法將衛星導出資料加入澳洲熱帶有限區域模式之初始場中，在預報開始前 24 小時，他們將觀測資料緩和地混入 (nudging) 預報模式中，其間並保存觀測可信賴之旋轉風分量，而在緩和混入資料 (nudging) 時，郭氏積雲參數法之對流加熱將被由 6 小時衛星觀測雲頂溫度所決定之解析加熱方程所取代，

此種方法的預報結果不錯，然而對颱風模式最有助益者仍為植入渦旋之方法。

Krishnamurti et al. (1988,1990) 由預報開始前 24 或 48 小時之分析場積分以得全球波譜模式之初始條件，在這段時間內用牛頓緩和程序 (Newtonian relaxation procedure) 將渦度，輻散度、地面氣壓及比溼調入初始分析場中，但這種做法並未如預期。而在此期間內，若用可逆郭氏積雲參數法將觀測及衛星導算之降水率加入系統中，則可有改進。

Mathur et al. (1992) 採用 Krishnamurt et al. (1988,1990) 的做法，將由外傳長波輻射估計之降水用於美國國家氣象中心 (NMC) 之中期預報模式 (MRF) 中，改進了對熱帶降雨預報。而將衛星估算之降水加入郭氏積雲參數法，一些對流性不穩定之條件可被緩和。

本研究主要在於應用遙測資料改進數值模式之初始場並進而改進熱帶氣旋預報。特別是由繞極防衛氣象衛星計劃 (DMSP) 太空船之 SSM/I (Special Sensor Microwave/Image) 導算的一些變數將被應用。Glass and Felde (1989) 曾對 SSM/I 之輪廓做總結，而 Hollinger et al. (1987) 則有詳細之描述。SSM/I 資料是一種特別值可因而獲得垂直整層降水率及垂直整層水汽含量之訊息。而由 SSM/I 導出之

加熱率比 HIRS 所提供者更準確。Chang & Holt (1993) 對預報溫帶海洋氣旋所做之模擬實驗及資料同化實驗證明由 SSM/I 估算之降水率做資料同化對預報有正面貢獻。本研究之目的在於說明加入 SSM/I 資料對熱帶氣旋預報之影響，由於這個目的 SSM/I 資料只在預報開始前或當時被加入，因此將使用動力初始化及資料緩和植入法 (nudging)。

本研究由熱帶氣旋運動場實驗 (TCM-90) 之密集觀測期 (IOP) 選一些個案。實驗的一些不同型態資料的可用度在使用手冊中有所描述 (Hall et al. 1991)。本文第二段將對此研究所用之模式做介紹，第三段則描述如何將 SSM/I 資料緩和地混入模式 (nudging)，含資料緩和混入法 (nudging) 之動力初始化所做之預報積分在第四段中說明，第五段則是結果及結論。

二、模式介紹

本研究使用美國海軍研究實驗室 (NRL) 發展之有限區域原始方程模式，整個系統之詳細描述請參考 Modala et al. (1987) 此系統包含客觀分析及初始化過程，物理參數化則有：郭氏積雲參數法，一階半閉合邊界層參數法，地表溫度預報之輻射效應及大尺度降水。對所有預報變數採二階擴散法以控制網格尺度雜訊。水平網格間距為 0.5 度，垂直共有 12 層。模式涵蓋範圍為 $10^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ ， $110^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 。

初始場及邊界條件由美國海軍作業之 NOGAPS 分析場內差而得，由於 NOGAPS 做了植入渦旋之程序，故颱風中心定位良好。

三、SSM/I 資料及資料緩和混入程序

本研究所用之 SSM/I 資料針對 1991 年 TCM-90 實驗之 Flo 颱風，資料導算時間在標準預報初始時間前 3 小時。每次皆以颱風中心為中心，掃描一個半徑為 8 度或直徑約 1400 公里之圓形區域。在美國海軍研究實驗室 (NRL) 計算產生之參數有不同微波頻道之亮度溫度、水汽含量、地表風速及垂直整層降水率。這些參數經計算後之水平解析度為 25 公里。1991 年 9 月 14 日 0900UTC 颱風 Flo 之 85-GHz

亮度溫度，地表風速及降水率平均分佈於模式網格中，如圖 1。在我們的研究中，目前只使用了降水率。Alliss et al. (1992) 對 Hugo 颱風 (1989) 之研究中顯示，在沿岸由 SSM/I 估算之降水率和雨量計所測相似。

由 Krishnamurti et al. (1988,1990) 所介紹之方法，可將 SSM/I 估算之降水率經可逆郭氏積雲參數法加入模式中。在郭氏對流參數化中，單位柱體之降水率與溼度輻合成正比，即

$$R = \frac{bM}{\rho_w g}$$

$$M = P_s \int - (D(\bar{V}q))d\sigma, \text{ 溼度輻合。}$$

為了從 SSM/I 估算產生定為目標之降水率，溼度場須由 ϵ 來調整，

$$\epsilon = \frac{M_0 - M}{P_s q^{*1} + M}$$

為了使模式適應此種處理，必須有資料緩和混入期。欲測試伴隨可逆郭氏參數法之資料緩和混入程序，我們以 1990 年 9 月 14 日 0000UTC 之個案做 12 小時預報。在 6 小時至 12 小時之積分內應用了資料緩和混入法 (nudging)，而以 SSM/I 估算降水率 (圖 1c) 之 0900UTC 為中點。包含及不包含資料緩和混入程序之 12 小時預報降水率結果如圖 2a 及 2b。此個案同時存在兩個颱風，一為 Flo 颱風，另一為 Flo 西邊之 Ed 颱風。而 SSM/I 資料只可用於 Flo 颱風。不含 SSM/I 資料之模式預報最大降水率位於 Flo 颱風之東邊及南邊 (圖 2b)，而緩和混入 SSM/I 資料後，模式預報最大降水落於北邊及東北邊 (圖 2a)。圖 2a 與定為目標之 SSM/I 降水率 (圖 1c) 相似，這表示資料緩和混入程序是成功的。

為了測試資料緩和混入期 (nudging period) 之效應，進行了數個皆以 0900UTC 為中點 (預報積分 9 小時)，但不同資料緩和混入時間如 5 小時、4 小時及 3 小時之實驗。結果顯示，資料緩和混入時間若小於 6 小時就不能得到令人滿意的結果。同時，在我們實驗中維持至少的資料緩和混入時間是值得的。由於在動力初始化中應用資料緩和混入法，因

此將採用 6 小時以混入資料。

四、動力初始化 (Dynamic initialization)

爲了瞭解 SSM/I 估算出之降雨率對熱帶氣旋預報的影響，們在初始階段或之前放入 SSM/I 資料。根據 Chang & Holt (1993) 的研究，SSM/I 資料的影響在模式模擬階段被併入，也就是說，在積分期間，模式產生的降雨率被 SSM/I 估算出之降雨率所取代。若是 SSM/I 資料被併入模式只發生在初期，則會產生很大但不會持續很久的衝擊 (Shock)。爲了使模式有足夠的時間來同化 SSM/I 資料，必須加入動力初始化的過程。

Fox-Rabinovitz & Gross (1992) 提出一種新的動力初始化方法，即是先將模式以絕熱方式往回積分，然後再以非絕熱方式往前積分至 $\tau=0$ 。在積分過程中，使用 Euler backward time integration scheme 以消去高頻模 (modes)。在初始化過程中，unbalanced external mode 在絕熱往回積分時被消去，而模式中動力與物理未達平衡處則在非絕熱往前積分時被消去。根據他們實驗的目的，在往回或往前方向之積分只要各 3 小時就足夠 (全部共 6 小時)，而且此初始化過程經實驗顯示是準可逆的 (quasi-reversible)。

在非絕熱往前積分中加入資料緩和混入過程 (nudging process) 的非絕熱初始化流程如圖 3 所示。在我們實驗中，爲了使資料混入過程有效，全部初始化過程需 12 小時 (即每一積分方向 6 小時)。除此之外，與 Fox-Rabinovitz & Gross (1992) 還有一點不同，即我們以時間平滑化 (smoothing in time) 取代 Euler backward time integration scheme，來控制高頻模 (modes)。圖 4 爲 9 月 14 日 1200UTC 經動力初始化及資料緩和混入過程的重力位及風場分布情形，圖 5 則是未經動力初始化的重力位及風場分布情形。圖 4 與圖 5 比較之下，可見經動力初始化後的二個颱風位置幾乎沒有改變，但颱風中心強度卻減弱了，這是因爲系統經過了一個物理修正階段。

五、結果和結論

本節所要討論的是動力初始化的影響 (見圖 4、圖 5)，而邊界條件採用由緩和法 (relaxation method) 所得的 NOGAPS 分析 (Davis, 1983)。沒有加入 SSM/I 估算之降雨率的 9 月 14 日 1200UTC 12 小時及 24 小時預報結果如圖 6。圖 7 爲 9 月 15 日 0000UTC 及 1200UTC 的 NOGAPS 分析。Flo 颱風與 Ed 颱風分別向西北方及南方移動，從圖中可看出我們對於颱風的位置預報相當好。至於颱風強度，經過 12 小時的積分，Flo 颱風在 850 hPa 的重力位高度從 1388m 減弱至 1447m；而 Ed 颱風則從 1424 m 減弱 1438m。圖 8 是在初始場中加入 SSM/I 資料做資料混入的預報結果。從前面分析可知，沒有加入 SSM/I 資料的颱風預報路徑就相當不錯，與圖 8 比較，可看出其與加入 SSM/I 資料的預報路徑相差無幾。然而對於颱風強度而言，則是加入 SSM/I 資料可得到較強的預報結果，如 9 月 14 日 1200UTC 12 小時預報，Flo 颱風在 850 hPa 的中心強度是 1440m，Ed 颱風爲 1430m。同樣的，24 小時預報也有類似的結果。加入與未加入 SSM/I 資料在 9 月 14 日 1200UTC 的 24 小時預報中，Flo 颱風在 850hPa 中心強度分別是 1435m 及 1442m，Ed 颱風則分別是 1437m 及 1439m。

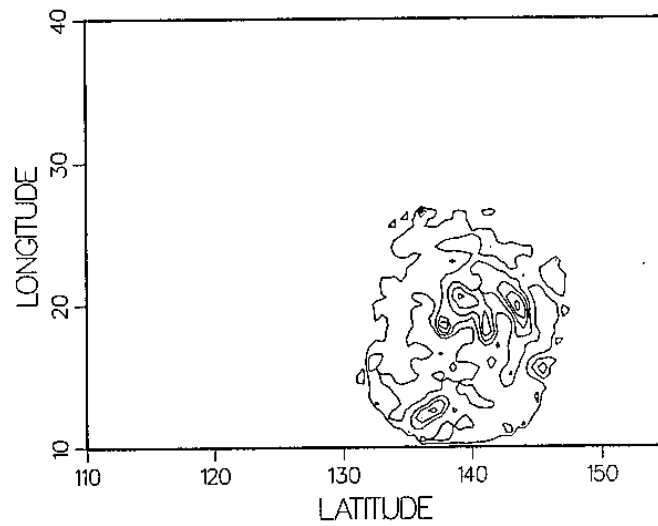
從以上分析可知，對於颱風強度的預報，於初始場加入 SSM/I 估算之降雨率做資料混入的實驗可得較強的中心值；至於颱風路徑的預報，則有無加入 SSM/I 資料之間的差別很小。未來，我們仍需針對預報結果不好的颱風個案再做進一步的研究。

參考文獻

- Alliss, R., S. Raman and S. W. Chang, 1992: Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) observations of Hurricane Hugo (1989). *Mon. Wea. Rev.*, 120, 2723-2737.
- Chang, S. W., and T. R. Holt, 1993: Impact of SSM/I rainfall rate on numerical prediction of cyclones. *Mon. Wea. Rev.* (in press)

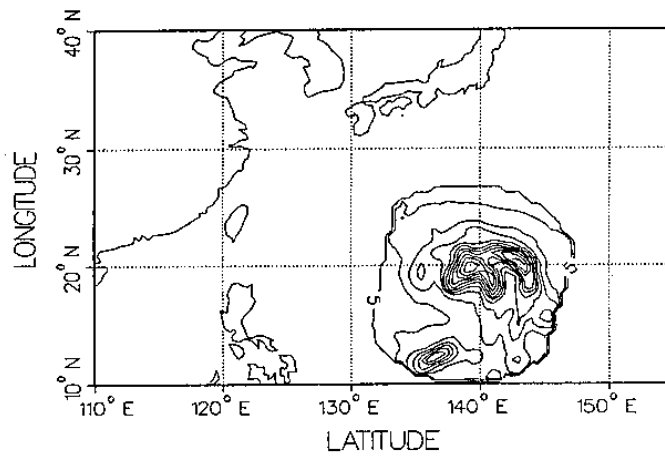
- Davidson, N., and K. Puri, 1992: Tropical prediction using dynamical nudging, satellite-defined convective heat sources and a cyclone bogus., *Mon. Wea. Rev.*, 2501-2522.
- Davis, H. C., 1983: Limitations of some common lateral boundary schemes used in regional NWP models., *Mon. Wea. Rev.*, 111, 1002-1012.
- Fox-Rabinovitz, M. S. and B. Gross, 1993: Diabatic dynamic initialization., *Mon. Wea. Rev.*, 121, 549-564.
- Glass, M., and G. W. Felde, 1989: The structure of tropical cyclones and surrounding regions as determined from OLS and SSM/I imagery analysis. Preprint, Fourth Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, Amer. Meteor. Soc., Boston, MA, 35-38.
- Harr, P. A., T. Neta and R. Elsberry, 1991: ONR tropical cyclone motion research initiative: data users guide to observation. Technical Report NPS-MR-91-002, Naval Postgraduate School, Monterey, CA 93943-5000, 123pp.
- Hayden, C. M., 1988: GOES-VAS simultaneous temperature/moisture retrieval algorithm. *J. Climate Appl. Meteor.*, 27, 705-733.
- Heckley, W. A., G. Kelly and M. Tiedtke, 1990: On the use of satellite-derived heating rates for data assimilation within the tropics. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1743-1757.
- Hollinger, J., R. LO, G. Poe, R. Savage, and J. Peirce, 1987: Special Sensor Microwave/Imager User's Guide. Naval Research Laboratory, Washington, DC.
- Madala, R. V., S. W. Chang, U. C. Mohanty, S. C. Modan, R. K. Paliwal, V. B. Sarin, T. Holt and S. Raman, 1987: Description of the Naval Research Laboratory limited area dynamic weather prediction model. NRL Memorandum report No. 5992, Naval Research Laboratory, Washington, DC, 131pp.
- Mathur, M. B., H. S. Bedi, M. T. N. Krishnamurti, M. Kanamitsu, and J. Woollen: Use of satellite-derived rainfall for improving tropical forecasts., *Mon. Wea. Rev.*, 120, 2540-2560.
- Puri, K., N. Davison, L. Leslie and L. Logan, 1991: The BMRC tropical limited area model. Submitted to *Aust. Met. Mag.*

SSM/I 85H BRIGHTNESS 90/09/1409



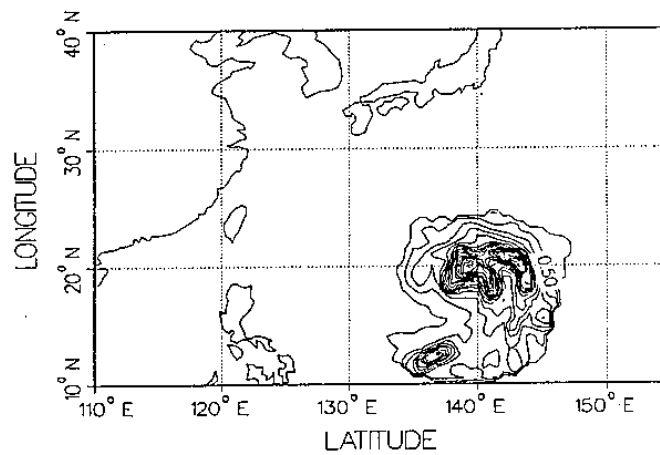
(a) 85 GHz 光度溫度 (°K)

SSM/I SFC WIND SPEED 90/09/1409



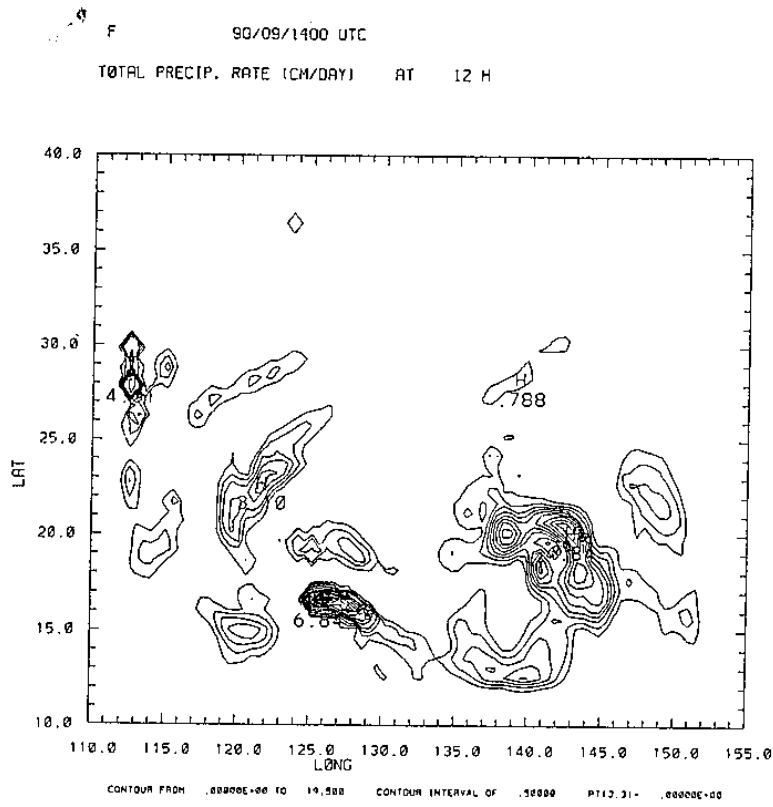
(b) 地面風速 (m/s)

SSM/I RAIN RATE 90/09/1409

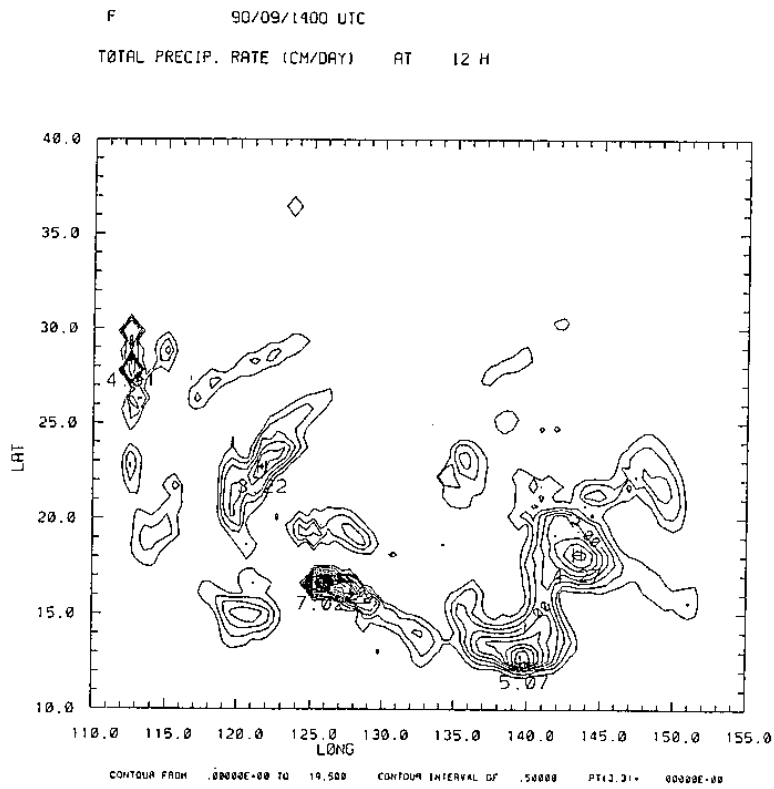


(c) 降雨率 (mm/hr)。

圖 1 1990年9月14日0900UTC對Flo颱風的SSM/I導算參數。



(a) 將 SSM/I 導算之降雨率於 9 月 14 日 0900UTC 以可逆的 Kuo scheme 緩和混入初始場中。



(b) 未使用緩和混入法的初始場。

圖 2 1990 年 9 月 14 日 0000UTC 的 12 小時預報之降雨率 (cm/day)

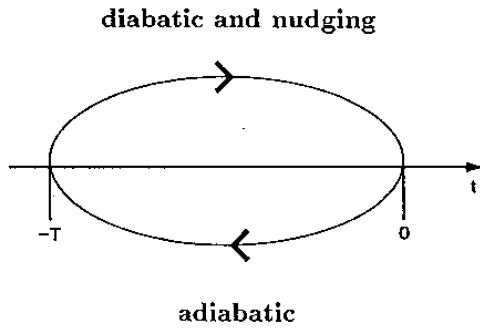


圖 3 於動力初始化中加入緩和混入法(nudging)的流程圖。

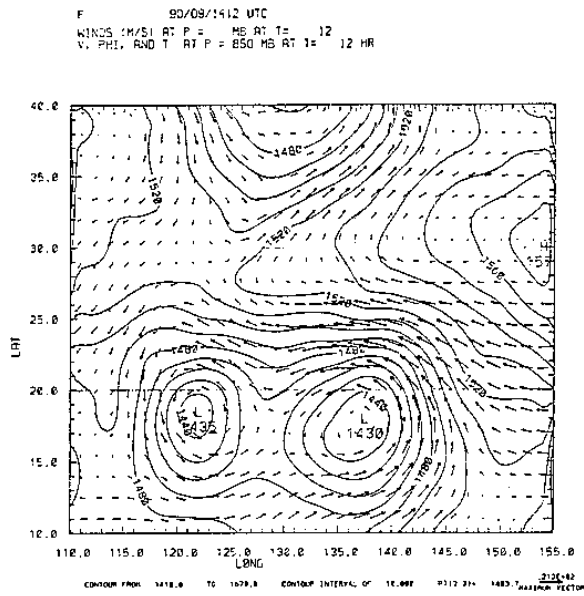


圖 4 1990年9月14日1200UTC經動力初始化處理之850hPa重力位高度場及風場。

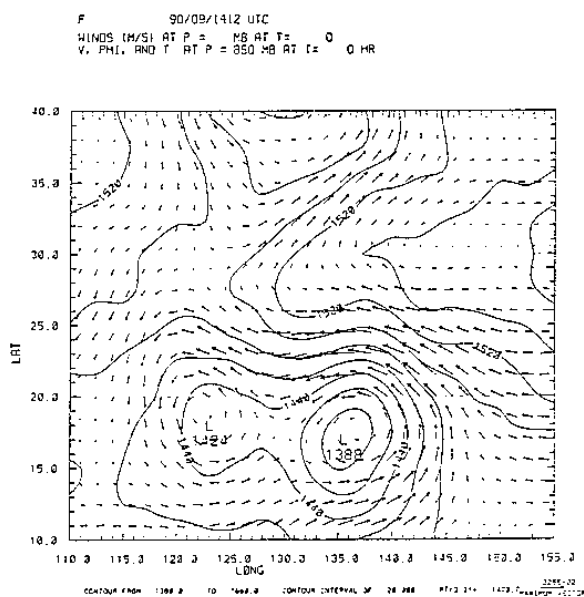
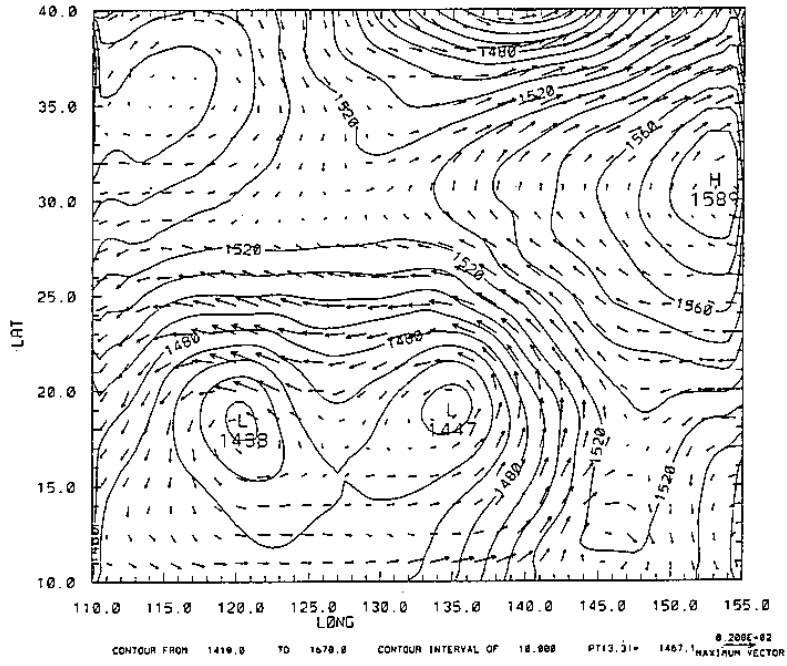


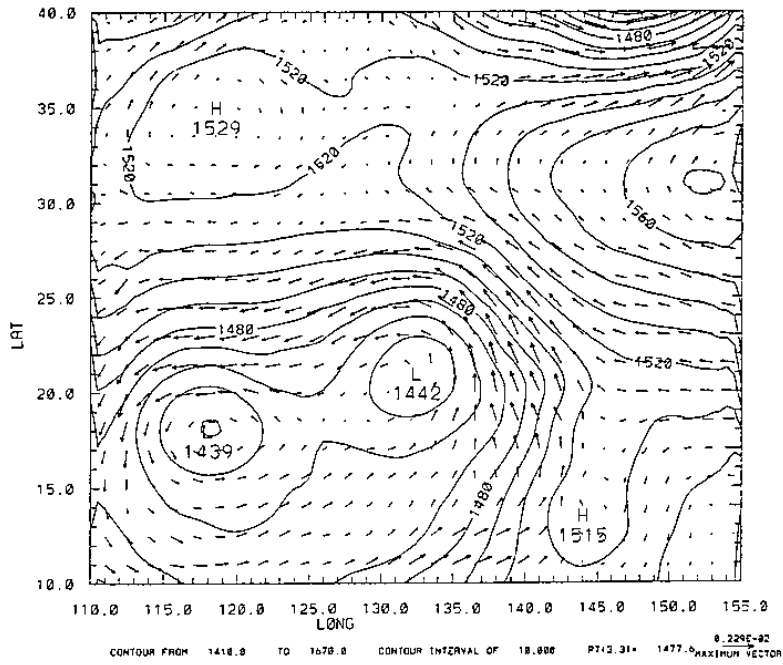
圖 5 1990年9月14日1200UTC未經動力初始化處理之850hPa重力位高度場及風場。

F 90/09/1412 UTC
 WINDS (M/S) AT P = MB AT T= 12
 V. PHI. AND T AT P = 850 MB AT T= 12 HR



(a)12小時

F 90/09/1412 UTC
 WINDS (M/S) AT P = MB AT T= 24
 V. PHI. AND T AT P = 850 MB AT T= 24 HR

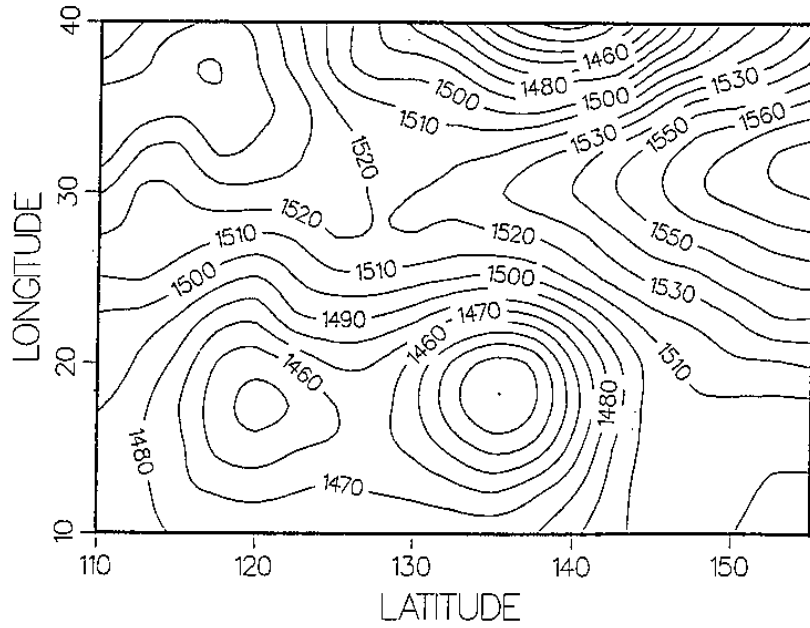


(b)24小時

圖 6 1990年9月14日1200UTC未混入SSM/I導算之降雨率的預報之850hPa重力位高度場及風場。

FIRST GUESS 90/09/1500

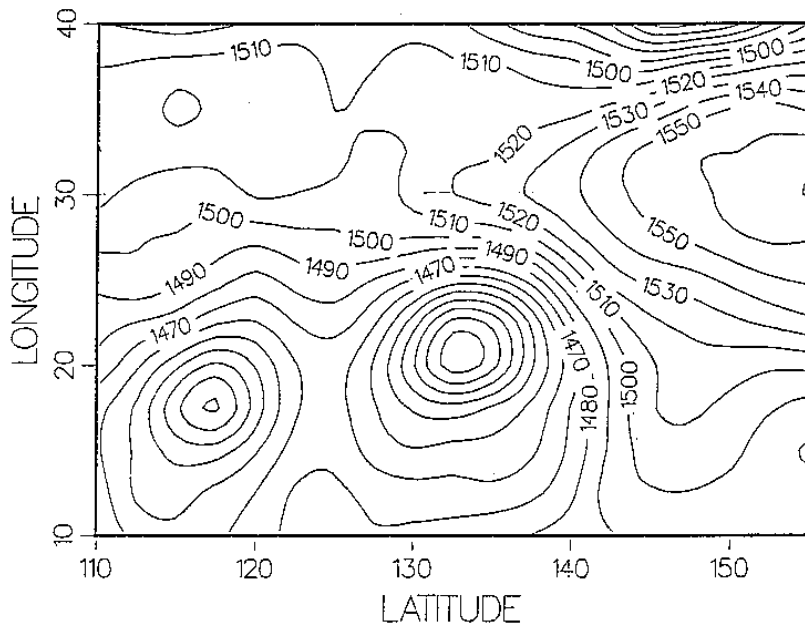
GEO
850



(a)1990年9月15日0000UTC

FIRST GUESS 90/09/1512

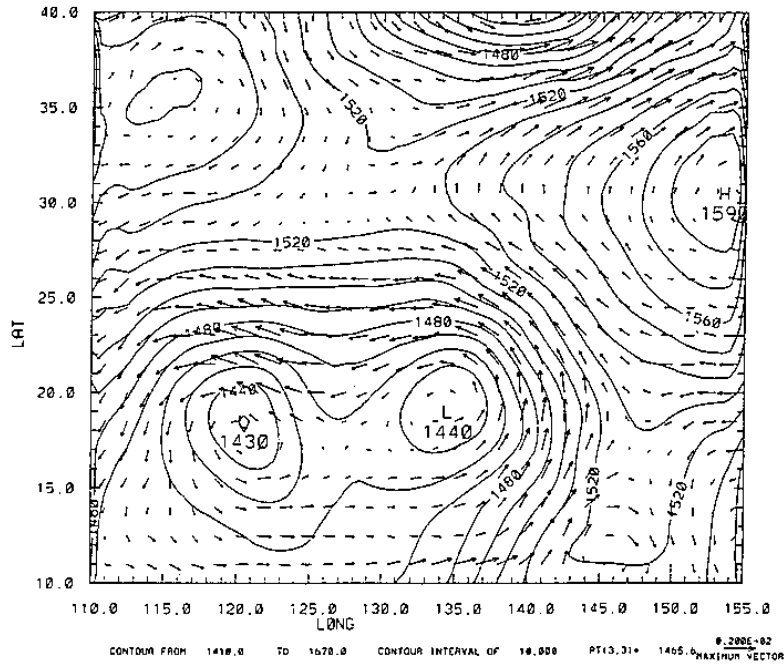
GEO
850



(b)1990年9月15日1200UTC

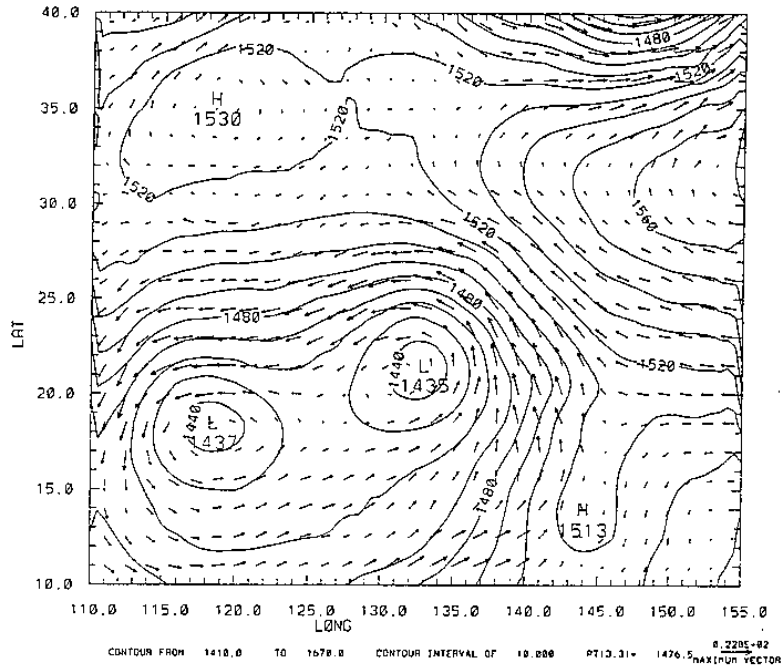
圖 7 NOGAPS之850hPa重力位分析

F 90/09/1412 UTC
 WINDS (M/S) AT P = MB AT T= 12
 V, PHI, AND T AT P = 850 MB AT T= 12 HR



(a)12小時

F 90/09/1412 UTC
 WINDS (M/S) AT P = MB AT T= 24
 V, PHI, AND T AT P = 850 MB AT T= 24 HR



(b)24小時

圖 8 1990年9月14日1200UTC混入SSM/I導算之降雨率的預報之850hPa重力位高度場及風場。