

美國氣象中心數值天氣預報區域模式之現在與未來：1994-1998

莊 漢 明

Development Division, NMC/NWS/NOAA

摘 要

美國國家氣象中心(NMC)的首要任務在於提供各種氣象預報相關資訊。數值天氣預報模式不僅可以提供確定預報(determinate forecast),還能有效準確地整合各種觀測資料;因此已成為NMC預報作業上一項主要的工具。直屬於NMC之下的研發部(Development Division)便是為著發展與改進數值天氣預報模式及其週邊系統而設立的。對於一位氣象預報資訊的需求者而言,資訊愈是精確,愈能符合需要。在全球模式因著種種限制而不能達到我們所渴求的高解析度時,區域模式成為唯一有希望能解決我們問題的工具。因此,區域模式是我們積極發展與改進的對象。本文中,筆者將依據Kalnay et. al. (1994)簡單的介紹目前NMC正在發展預備上線的區域模式(圖1)以及我們未來非靜力模式可能的發展方向。

NMC最早參與預報作業的區域模式可算是LFM(Limited Fine Mesh Model),它於1970年代被冷凍(freeze),不再發展改進,而被RAFS(Regional Analysis and Forecast System)區域分析及預報系統取代(Hoke et. al., 1989; DiMego et.al. 1992)。RAFS與LFM最大的不同在於前者是利用巢狀格點模式NGM(Nested Grid Model)做主要的模式預報和分析。NGM是個獨立的系統,它不須其它模式給予邊界值因它的最外網格是包括半球並利用對稱於赤道的條件作為最外週邊的邊界條件(圖2)。1980年代底,NGM也已不再發展,並將在1997年完全退出NMC的氣象預報"舞臺",它十多年來的貢獻將不是三言二語可以道盡的。

在NGM停止發展的同時,Eta模式(Mesinger, 1984; Black, 1988; Janjic, 1990)成為整個區域模式研發重心,並於1994年初取代了LFM的角色,稱為"Early"Eta系統(圖3)。它是利用十二小時前的全球模式預報作為邊界值,水平解析度大約為80km,垂直方向有38層的格點模式(Back et. al., 1993)。目前水平解析度29公里,垂直方向50層的Eta模式正在作平行測試,稱為Meso Eta系統,估計將於1994年底或1995年初上作業線,並準備在1998年將解析度增加到15公里。Eta模式的重要特點之一在於它所用之座標系統是「趨近水平」的座標(圖4),在計算水平壓力項時比一般沿地面座標(例如 σ 座標)準確,但是在高山地區(如洛磯山、青康藏高原等)則會失掉垂直方向解析度,下邊界的處理也比較不準確,並且對於高山之阻塞(blocking)效應還需特別處理。對於這些問題,NMC目前處理之道為將本來16層模式增為38層(80km)和50層(29km)。然而以如此高之解析度,用 σ 座標邊界層處理會比Eta座標簡單,除了水平壓力的誤差會減小外,高山之阻塞效應因而也不需特別處理。

與中尺度Eta(Meso Eta)模式近乎同時上作業線的是專為Eta模式所作的EDAS(Eta Data Assimilation System)資料分析系統(Roger et.al., 1994),它具有Meso Eta的解析度並利用傳統的OI(Optimal Interpolation)作分析。另外尚在測試研發的還有利用共軛(adjoint)方法之4D VAR(4 Dimensional Variational Assimilation)(Zupanski, 1993)。目前利用分析場作為輸入值部份的測試已完成,將繼續進行直接利用觀測資料為輸入值的測試。除了發展Eta模式需要的資料分析系統外,另外也在進行RUC(Rapid Update Cycle)測試(Benjamin et. al., 1994),即每三小時作一次資料更新以提供更密集的資料分析場。

發展Eta模式的同時,在1990年代初期,NMC還發展出一區域波譜模式RSM(Regional Spectral Model)(Juang and Kanamitsu, 1991, 1994)。RSM最大的好處在於它是以全球譜模式(MRF)的結構為架構,物理部份的處理方法也與全球模式共用,所以可以在極短的時間內(2-3年)發展完成達到可上線的程度,並以後也可立即分享全球模式的進步。這對人力物力均受限制的作業中心而言,可謂一高效率之模式發展策略。在垂直座標方面,RSM是用 σ 座標因此不受到Eta模式中「趨近水平」座標之種種限制,應有較深的發展潛力。另外,RSM還有一特點:它用來作"Early"系統時是用同時之全球模式資料當邊界值而不是像"Early"Eta用12小時前之全球模式輸出場。因此,雖然目前它的定量降水預報得分和Eta模式不分高下(例如:圖5),但因它許多設計上的優點,已被NMC接受,並將於1995年取代"Early"Eta系統上線作業。它的Data Assimilation系統將採用全球模式的SSI(Spectral Statistical Interpolation)(Derber et.al., 1991; Perish and Derber, 1992),或稱為

RSSI 系統，現在還在發展中。

當解析度提高到 10km 以下的網格距離時，靜力模式採用之靜力平衡假設便不合理，所以發展非靜力模式是往後 NMC 區域模式發展的重要方向之一。也唯有如此，我們才有可能繼續提高預報模式的解析度，使模式產品更為符合預報的需求。靜力模式中的運動在垂直方向受靜力平衡條件所控，造成大部分運動的水平化。因此，靜力 Eta 模式利用趨近水平的 Eta 座標是合理的並且表現很不錯。然而，既然非靜力系統運動未必趨近水平，非靜力模式似乎沒有必要用 Eta 座標。筆者在發展 RSM 之同時，也根據同樣的模式結構發展出一套非靜力的 RSM，稱為 MSM(Mesoscale Spectral Model) (Juang, 1992, 1994)。由於它的垂直座標是利用靜力平衡的 σ 座標，是一種新的嘗試，因此整個方程系統必須從頭作理論個案測試。目前二維模式的理論個案測試非常成功 (圖 6)，將繼續測試三維模式並加入物理過程。在模式設計上，非靜力的 MSM 與靜力的 RSM 垂直座標系統完全相同，並利用靜力的 RSM 結果當基本場預報非靜力項在靜力系統上的變化；這與 RSM 和 MRF (全球波譜模式) 之間的依附關係可說有異曲同工之妙。如此一來，整個模式預報作業系統無形中成爲一個整體，並擁有相同的垂直座標系統。值得一提的是：雖有種種困難問題待解，此刻非靜力 Eta 模式仍在加緊發展中 (Gallus and Rancic, 1994)。在此情況之下，將有形無形中提高模式發展的品質，而 NMC 區域模式的進步將指日可待。

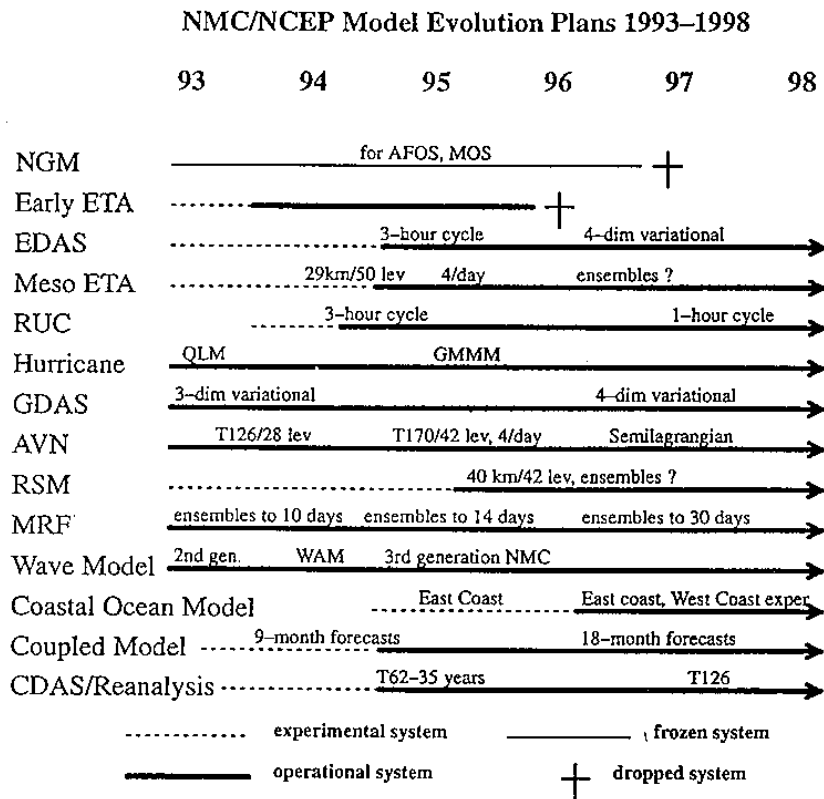
除了以上典型的區域模式之外，NMC 也維護並參與發展颶 (颶) 風模式。目前的 QLM(Quasi-Lagrangian Model) (Mathur, 1991) 系統將有可能被 GMMM(GFDL Multiply-nested Movable Mesh Model) (Kurihara, 1990) 所取代。GMMM 曾在 1993 年颶風季節測試，結果很好。目前仍在測試，若一切順利，將按計化在 1995 年上線作業。

參考文獻：

- Benjamin, S.G., K.J. Brundage, P.A. Miller, T.L. Smith, G.A. Grell, D. Kim, J.M. Brown, T.W. Schlatter, and L.L. Morone, 1994: The rapid update cycle at NMC. 10th Conf. on Numerical Weather Prediction, 15.3, 566-568.
- Black, T.L., 1988: The step mountain, eta coordinate model: a documentation. NWS/NMC development Division Paper, 47pp (available from NMC, 5200 Auth Road, Washington, D.C. 20233)
- Black, T., D. Deaven and G. DiMego, 1993: The step-mountain eta coordinate model: 80 km 'early' version and objective verification. Technical Procedure Bulletin, NWS/NMC internal document, available upon request.
- Derber, J.C., D.F. Parrish and S.J.Lord, 1991: The new global operational analysis system at the National Meteorological Center. *Wea. Forecasting*, 6, 538-547.
- DiMego, G.J., K.E. Mitchell, R.A. Pattersen, J.E. Hoke, J.P. Gerrity, J.J.Tuccillo, R.L. Wobus and H.-M. H. Juang 1992: Changes to NMC's Regional Analysis and Forecast System. *Wea. Forecasting*, 7, 185-198.
- Gallus, W.A. and M. Rancic, 1994: A nonhydrostatic version of the NMC regional eta mode. 10th Conf. on Numerical Weather Prediction, 10B.6, 372-373.
- Hoke, J.E., N.A. Phillips, G.T.Dimego, J.J.Tuccillo and J.G. Sala, 1989: The regional analysis and forecast system of the National Meteorological Center. *Wea. Forecasting*, 5, 128-130.
- Janjic, Z.I., 1990: The step-mountain coordinate: physical package. *Mon.Wea.Rev.* 118, 1429-1443.
- Juang, H.-M. H. and M. Kanamitsu, 1991: Regional spectral modelling in NMC. 9th Conf. on Numerical Weather Prediction, 6A6, 270-273.
- Juang, H.-M. H., 1992: A spectral fully compressive nonhydrostatic mesoscale model in hydrostatic sigma coordinates: formulation and preliminary results, *Meteo. Atmos. Phys.*, 50, 75-88.
- Juang, H.-M. H. 1994: Testing the NMC nonhydrostatic regional spectral model at cloud scale resolutions. 10th Conf. on Numerical Weather Prediction, 11A.2, 417-419.
- Juang, H.-M. H. and M. Kanamitsu, 1994: The NMC nested regional spectral model. *Mon.Wea. Rev.*, 12, 3-26.
- Kalnay, E., G. Dimego, S. Lord, M. Kanamitsu, A. Leatmaa and D.B. Rao, 1994: NMC Modeling and data assimilation plans for 1994-1998. 10th Conf. on Numerical Weather Prediction, 5A.0, 143-148.
- Kurihara, Y., M.A. Bender, R.E. Tuleya, R.J.Ross, 1990: Prediction experiments of hurricane Gloria (1985) using a multiply nested movable mesh model. *Mon.Wea.Rev.*, 118, 2185-2198.
- Mathur, M.B., 1991: The National Meteorological Center's Quasi-Lagrangian Model for Hurricane Prediction. *Mon.Wea.Rev.*, 119, 1419-1447.
- Mesinger, F., 1984: A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. *Rev. Meteor. Aeronautica*, 44, 195-202.
- Parrish, D.F. and J.C. Derber, 1992: The National Meteorological Center's spectral interpolation analysis system. *Mon.Wea.Rev.*, 120, 1747-1763.
- Roger, E., D. Deaven, G.J. DiMego, 1994: Mesoscale data assimilation with the eta model at the National Meteorological Center. 10th Conf. on

Zupanski, M., 1993: Regional four-dimensional variational data assimilation in a quasi-operational forecasting environment. *Mon.Wea.Rev.*, 121, 2396-2408.

Fig. 1: Schematic of the plans for NMC/NCEP implementations between 1994 and 1998. These plans are only approximate, since they depend on both availability of computer resources and on the results of the research on models and data assimilation (from Kalnay et al. 1994)



NGM 'SUPER-C' GRID FOR RDAS/RAFS (147 BY 161)

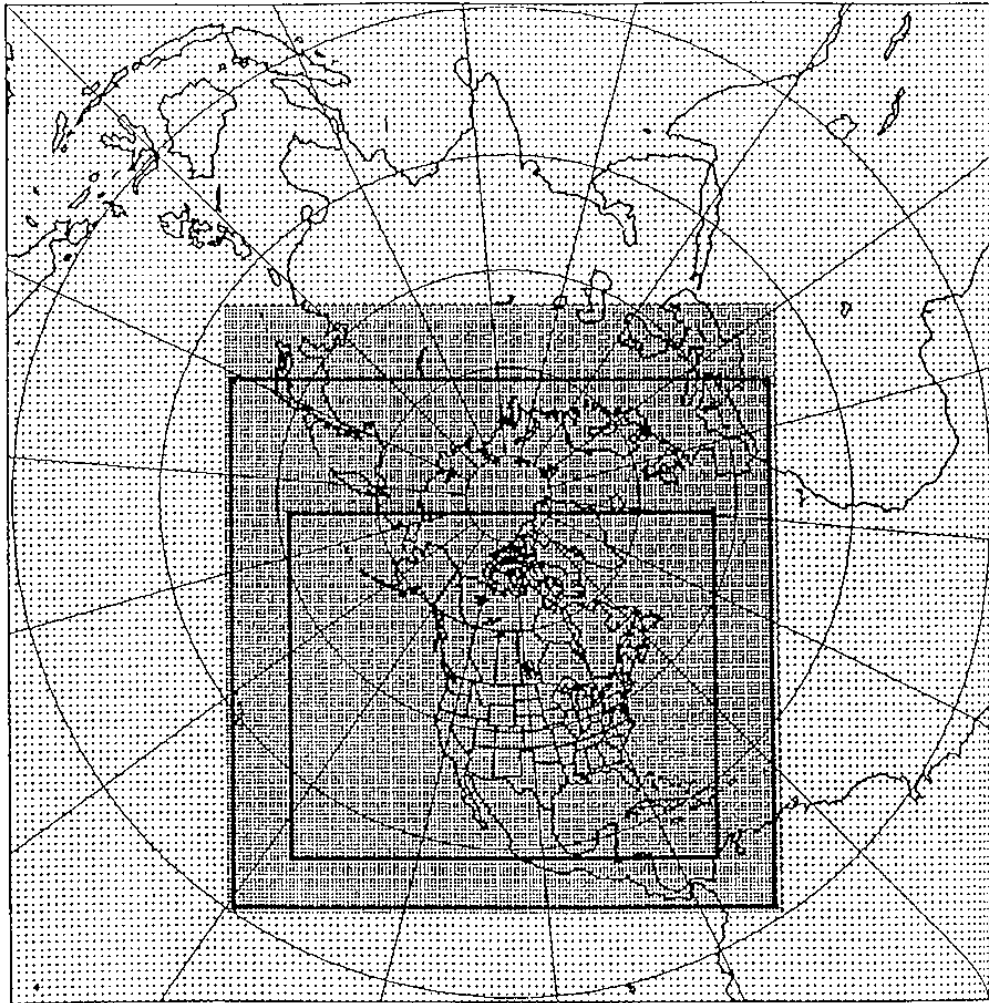


FIG. 2. The new nested-grid model grid structure, showing the expanded northern hemispheric domain of grid B and the new super grid C. Heavy solid lines outline the approximate boundaries of grids B and C of the original NGM. (from DiMego et.al. 1992)

80 KM ETA DOMAIN (92 X 141)

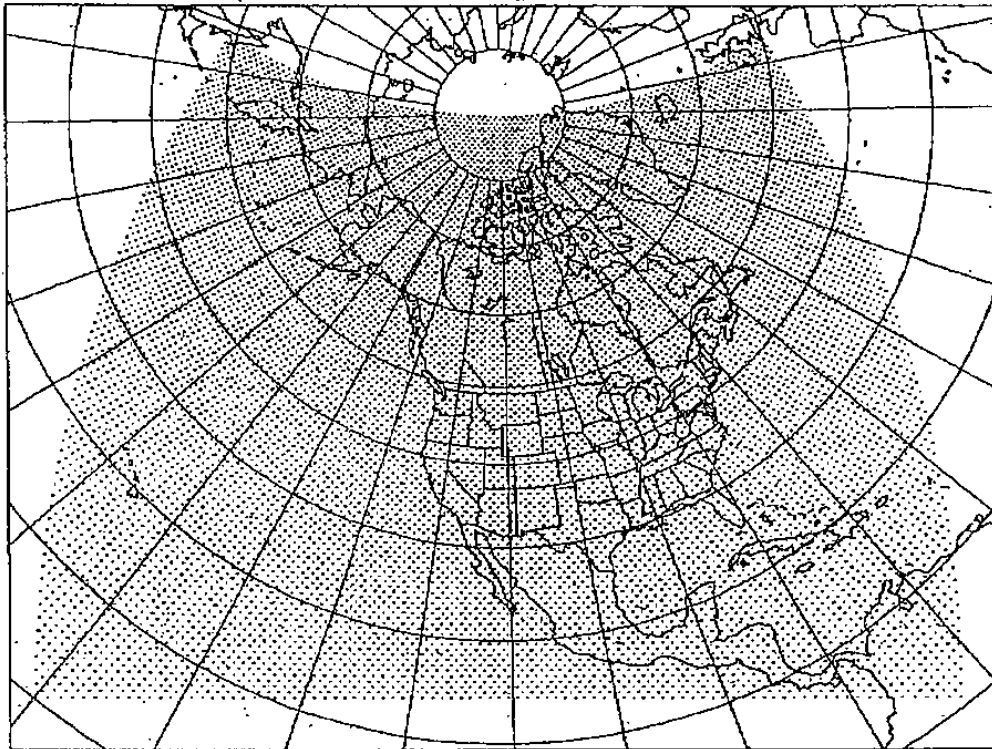


Figure 3 The horizontal area (and grid points) covered by the 80-km Early Eta model forecasts. (from Black et al. 1993)

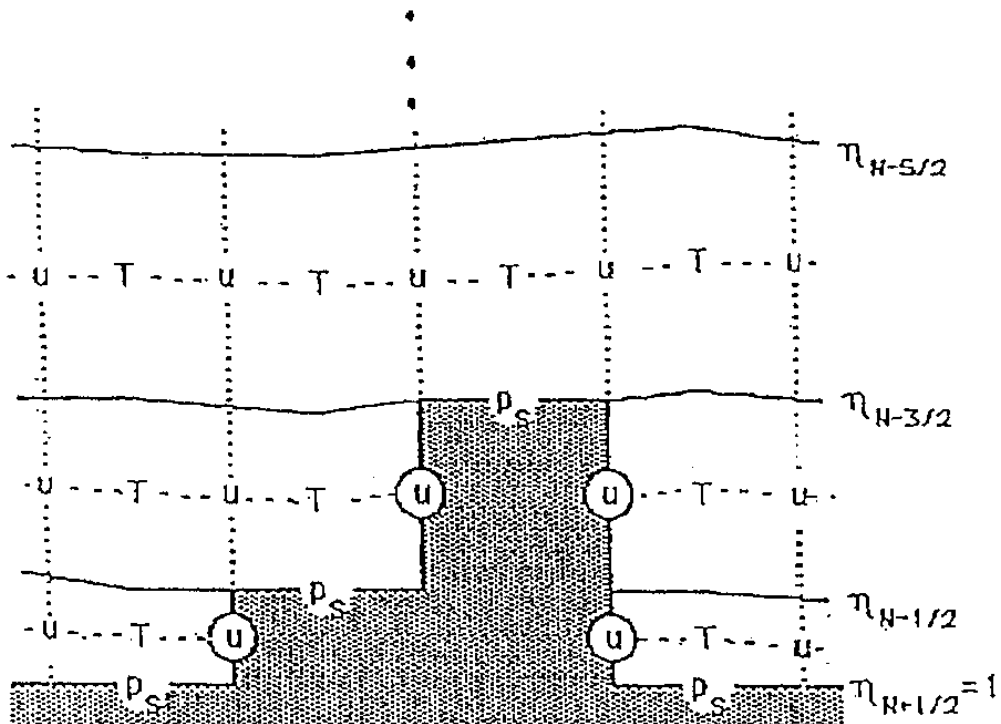


Figure 4. Schematic of a vertical cross-section of the lowest layers of an Eta coordinate model. In this figure, T represents all mass variables (e.g. temperature and specific humidity) and u represents both horizontal components of the wind. The quantity P_s is the surface pressure. The circled u's on the sides of the steps indicate wind points which are defined as zero. (from Black et al. 1993)

Eq. Threat $t = 36h$ fcst.
 ETA-E, NSM AND AVN MAY 1994

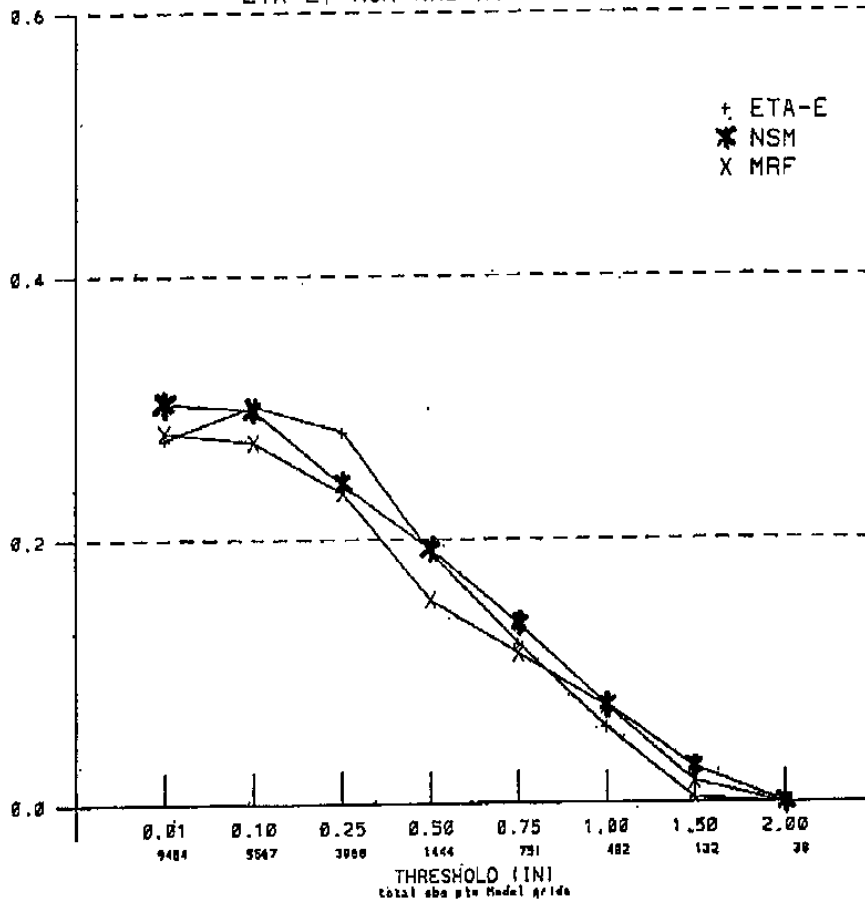


Fig. 5

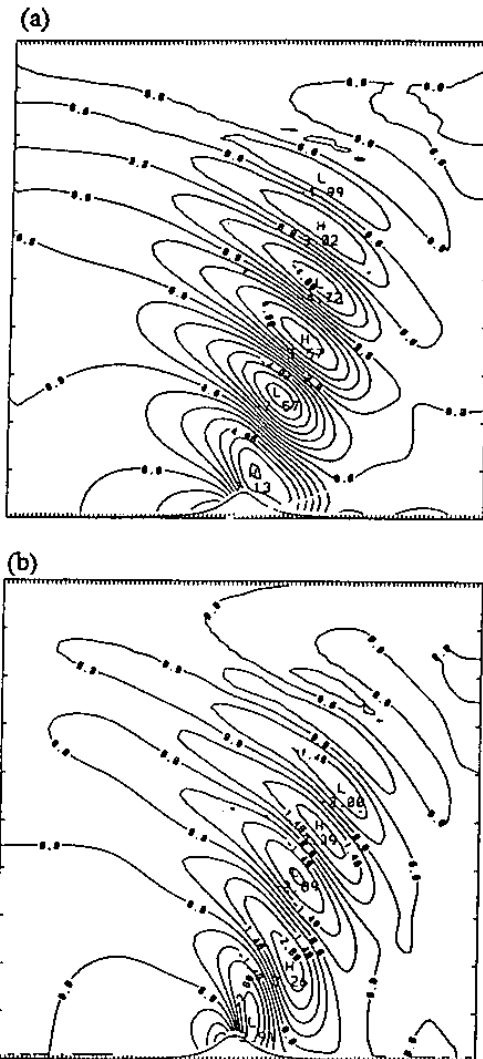


Fig. 6 X-pressure cross section for perturbation of (a) u (m s^{-1}) and (b) w (m s^{-1}) at $t=2160$ s with $\Delta x=200$ m and $h=400$ m. (from Juang 1994)

