

次網格地形參數化之初步研究

蕭志惠 鄭明典

中央氣象局資訊中心

摘要

本研究是在進行中央氣象局第二代全球波譜模式中次網格地形參數化之前的初步研究，目的在於增進對次網格地形效應之了解以及探討在參數化時所須考慮的因素，以作為未來發展本局模式次網格地形參數化時之參考。

本研究是以一細網格、二維、非線性、靜力平衡模式作為參考的真實大氣，探討在不同的模式解析度及不同的地形特徵(如標準偏差值、對稱度)對垂直動量通量的解析情形。結果顯示，參數化之使用範圍與大氣條件及主要地形尺度有關，考慮詳細的地形特徵將有助於增加參數化的效果。

一、前言

隨著GCM及NWP模式解析度的不斷提高，次網格地形引起的重力波拖曳(gravity wave drag)作用，就成為不容忽視的問題。次網格地形的作用被普遍認為可減少北半球冬季中緯度地區西風過強的系統性誤差(systematic biases)。因此如何將次網格地形之作用適當的予以參數化，就成為目前高解析度大尺度模式的重要研究方向。

現行的次網格地形重力波參數化主要是以Lindzen (1981)的Wave saturation理論及Eliassen - Palm theorem為基礎。Palmer et al. (1986)最早有系統的指出地形重力波拖曳參數化的方法，並有效的減少高解析度GCM模式中北半球冬季中緯度西風之誤差。Pelter and Clark (1986)和Pierrehumbert (1986)則針對非線性作用而修改Palmar et al. (1986)參數化法，對其中之地形偏差(variance)設定了一極大值。Mill and Palmar (1986)則在處理地形偏差值時考慮了多方向性(directionally - dependent subgrid - scale orographic variances)的參數化。Stern and Pierrehumbert (1988)則用WKB近似法考慮垂直風曲

率在參數化中之作用。Surgi (1989)則加入水汽(moisture)之考慮。Iwasaki et al. (1988)除了向上傳遞水平動量的長波外還加入了向下傳遞動量的非靜力短波，結果顯示可更進一步的減少僅作長波參數化後的誤差。以上的研究，多由改進模式系統性誤差方面著手。Kim and Arakawa (1991)則是由中尺度重力波模式之結果與參數化結果相比較，結果指出在現行參數化法中加入地形非對稱度及凹凸度等之修正可得到較好之重力波結構。

二、研究方法

本研究是由參數化的觀點來探討次網格地形之作用。首先由細網格模式定義出一「真實大氣」，當模式具有不同的網格距時所能解析之動量通量(momentum flux)也隨著改變，此時真實大氣的動量通量與模式解之差值，就是我們要參數化的對象。此外，在一定範圍內地形的特徵也會影響到參數化的量。

首先定義一細網格下的重力波為真實或完全解析的重力波(ρ, u, w)，假設模式網格點上所能

解析出的重力波 $(\bar{\rho}, \bar{u}, \bar{w})$ 為該網格距內真實大氣之平均

$$\bar{A} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_j \quad (1)$$

其中 $A = \rho, u, w$ ，則網格點上所能解析出的動量通量稱平均通量(mean momentum flux)為

$$\bar{\rho} \bar{u} \bar{w} \quad (2)$$

定義在相當於網格距範圍內的真實動量通量為全通量(total momentum flux)

$$\frac{\bar{\rho}}{N} \sum_{j=1}^N u_j w_j \quad (3)$$

，則網格點上全通量與平均通量之差即模式所未能解析出的次網格渦流通量(eddy flux)

$$\frac{\bar{\rho}}{N} \sum_{j=1}^N (u_j - \bar{u})(w_j - \bar{w}) \quad (4)$$

。最後定義該格點對動量通量之解析度(resolution)為平均通量除以全通量之值。

次網格地形之特徵亦是影響動量通量之重要因素，在此僅討論標準偏差(standard deviation, σ_z)及非對稱度(asymmetry, OA)，其定義參考Kim and Arakawa (1991)

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (z_j - \bar{z})^2}{N}} \quad (5)$$

$$OA = \frac{\bar{x} - Mode}{\sigma_x} \quad (6)$$

其中

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j$$

$$\bar{z} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N z_j$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N}}$$

及

$$Mode = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j z_j \quad (7)$$

以二維之鐘形(bell shape)地形為例(圖2.1)

$$h(x) = \frac{h_m a^2}{(x^2 + a^2)} \quad (8)$$

當 $h_m = 1000$ 公尺， $a =$ 半山寬 $= 100$ 公里時，

山岳附近1000公里範圍之 $\bar{z} = 273.50$ 公尺， $\sigma_z = 284.59$ ， $OA = 0$ 。

三、數值模式

本研究所使用之數值模式，係由蕭(1992)之模式簡化而得的二維、非線性、靜力平衡、 σ 座標之乾大氣模式。

首先校驗模式之模擬結果。本研究之參考實驗為網格距為5公里的細網格式，大氣條件為等溫大氣($T = 303^\circ K$)、無垂直風切($U = 10m/s$)，地形為山高1000公尺、半山寬100公里之鐘形地形。

由山岳波理論(Smith, 1979)可得出，此時之 $al \gg 1$ ，為以浮力作用為主的靜力流(hydrostatic flow)，波的能量可由下層向上傳遞。圖3.1為本模式積分到24小時，趨近於穩定時之模擬結果。圖3.1a為位溫場，有明顯的波向上傳遞，並在下層1-4公里、5-7公里附近有位溫之反轉(overtuning)，亦即wave-breaking之發生。圖3.1b、3.1c分別為垂直速度及水平風速擾動量，亦可明顯看出波的形狀。圖3.1d為全通量，顯示下層有較大之動量通量向上傳出。模式所得之山岳波特徵與Smith (1979)之理論相當的符合。

四、分析與討論

4-1 模式解析度

本節之重點在探討不同模式網格距與模式對動量通量解析度之關係。

圖4.1.1a為不同網格距400公里、600公里、800公里及1000公里時山岳附近之全通量。由於山岳造成的擾動多集中在山頂及背風面，離開山岳就快速減少。因此當模式之網格距越大時，全通量就越少。當模式之網格距小於山岳波之水平尺度時，垂直方向波的形狀明顯；當網格距大到整個擾動範圍(如1000公里)，則全通量的垂直變化不再明顯，但仍保持向上傳遞的形式。

圖4.1.1b為模式中的渦流通量，可發現渦流通量在垂直方向發生輻合的地方是相對應於wave breaking的地方；在沒有wave breaking的地方渦流通量並不隨高度而改變。此現象在較大網格距時更為明顯。

由模式的解析度來看(圖4.1.2)，當積分至24小時解析度已近乎穩定。此時網格距大於200公里者，約具有相同的解析度；網格距在200公里以下的，當網格距減小則解析度快速增加。由此可知，在網格距大於200公里的模式中，參數化時可不考慮網格距之大小，參數化較容易；但當網格距小於200公里時，參數化變得複雜，因為必須將網格點距之因素考慮進去；而網格距小到50公里以下時，模式已幾乎可將擾動完全解析出，因此並不須要參數化。

由渦流通量之尺度分布(圖4.1.3)推斷地形重力波之主要尺度約在100至200公里之間，和給定的地形尺度類似。

4-2 地形之非對稱度 (Orographic Asymmetry)

考慮在1000公里網格距內，具有相同平均地勢高度但相反對稱度(OA)的二種地形(圖4.2.1)。比較不同OA時之流場(圖4.2.2)，可發現流場擾動之強度正比於背風面山脈之斜率：當背風面之斜率越大時，有較強的下坡風以及較大的全通量向上傳遞。圖4.2.3為不同OA時模式之解析度，可發現OA小時模式之解析度較高，當OA大時，模式之解析度減弱，因此OA之差異須作為參數化時考慮的因素之一。

4-3 地形之標準偏差 (Standard deviation)

接下來比較在網格距為1000公里，具有相同平均地勢高度但標準偏差不同的二種地形(圖4.3.1)。比較不同標準偏差時之流場，可發現流場擾動之強度正比於山岳之高寬比，亦即正比於標準偏差值(圖4.3.2)。而模式的解析度，在標準偏差小時明顯較好，當標準偏差大時則較差(

圖4.3.3)。因此標準偏差值的大小亦應列入參數化中考慮。

五、結論

根據以往的研究，我們已經了解到大氣之風場垂直分布、密度分布、大氣穩定度等會直接影響到重力波之特性：在垂直傳遞波中(vertical propagate wave)，波將能量由下層帶往上層，減少上層平均風場之風速；在侷限背風波(trapped lee wave)中，則是能量由上往下傳；在真實大氣中則可能是二者並存的。而大氣條件之影響，早已被考慮於傳統的次網格地形參數化法之中，如Palmer et al. (1986)、Iwasaki et al. (1988)。

模式的網格距是決定參數化是否重要的重要因素。當網格距大於某定值時，參數化時可不考慮網格距之大小，參數化較容易；當網格距小於某定值時，參數化變得複雜，因為必須將網格點距之因素考慮進去；但在網格距非常小時，模式已可將擾動完全解析出，因此並不須要參數化。而此臨界網格距，會隨大氣之條件及主要地形之尺度而改變，因此參數化必須因使用地區之特性而異。

次網格地形之特徵如標準偏差及非對稱度都會影響到模式對次網格地形作用之解析度，因此如Kim and Arakwa (1991)之建議，在參數化中必須列入考慮。

中央氣象局第二代波譜模式現已進入整合之階段，次網格地形參數化的加入是勢在必行。因此如何根據本局模式的特性來發展出一套最適合且最有效率的參數化法，將是我們下一步要努力的目標。

參考文獻

蕭志惠，1992：華南旋生與青藏高原之關係。中央大學博士論文，158頁。

- Iwasaki, T., S. Yamada and K. Tada, 1988: Impacts of a parameterization scheme for orographic gravity-wave drag with two different vertical partitionings on medium-range forecasts. Preprints of the Eighth Conference on NWP, Feb. 22-26, Baltimore, Maryland. 734-740.
- Kim, Y-J, and A. Arakawa, 1991: Assessment of gravity wave parameterization schemes using a mesoscale gravity-wave model. Preprints of the Ninth Conference on NWP, October 14-18, Denver, Colorado. 380-383.
- Lindzen, R.S., 1981: Turbulence and stress owing to gravity wave and tidal breakdown. *J. Geophys. Res.*, 86, 9707-9714.
- Miller, M.J., and T.N. Palmer, 1986: Orographic gravity-wave drag: its parameterization and influence in general circulation and numerical weather prediction models. Proceedings of the Seminar / Workshop on observation theory and modeling of orographic effects. ECMWF Shinfield Park, Reading, U.K., Vol. 1, 283-233.
- Palmer, T.N., G.J. Shutts and R. Swinbank, 1986: Alleviation of a systematic westerly bias in general circulation and numerical weather prediction models through an orographic gravity wave drag parameterization. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 112, 1001-1039.
- Peltier, W.R., and T.L. Clark, 1986: Non-linear mountain waves and wave-mean flow interaction: Elements of a drag parameterization. Proceedings of the Seminar / Workshop on observation, theory and modeling of orographic effects. ECMWF, Shinfield Park, Reading, U.K., Vol. 1, 223-249.
- Pierrehumbert, R.T., 1986: An essay on the parameterization of orographic gravity wave drag. Proceedings of the Seminar / Workshop on observation, theory and modeling of orographic effects. ECMWF, Shinfield Park, Reading, U.K., Vol. 1, 251-282.
- Smith, R., 1979: The influence of mountain on the atmosphere. *Advances in Geophysics*, Vol. 21, Academic Press, 87-230.
- Stern, W.F., and R.T. Pierrehumbert, 1988: The impact of an orographic gravity-wave drag parameterization on extended range prediction with a GCM. Preprints of the Eighth Conference on NWP, February 22-26, Baltimore, Maryland. 734-740.
- Surgi, N., 1989: Numerical simulation of lee cyclogenesis during ALPEX and gravity-wave drag parameterization. Preprints of the International Conference on Mountain Meteorology and ALPEX, June 5 - 9, Garmisch-Partenkirchen, F.R.G. 59-60.

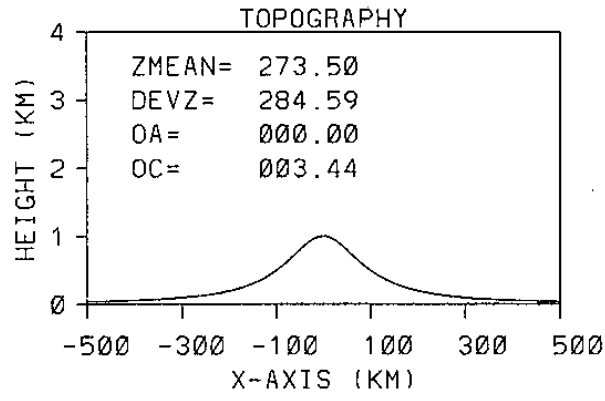


圖2.1 二維對稱鐘形地形。

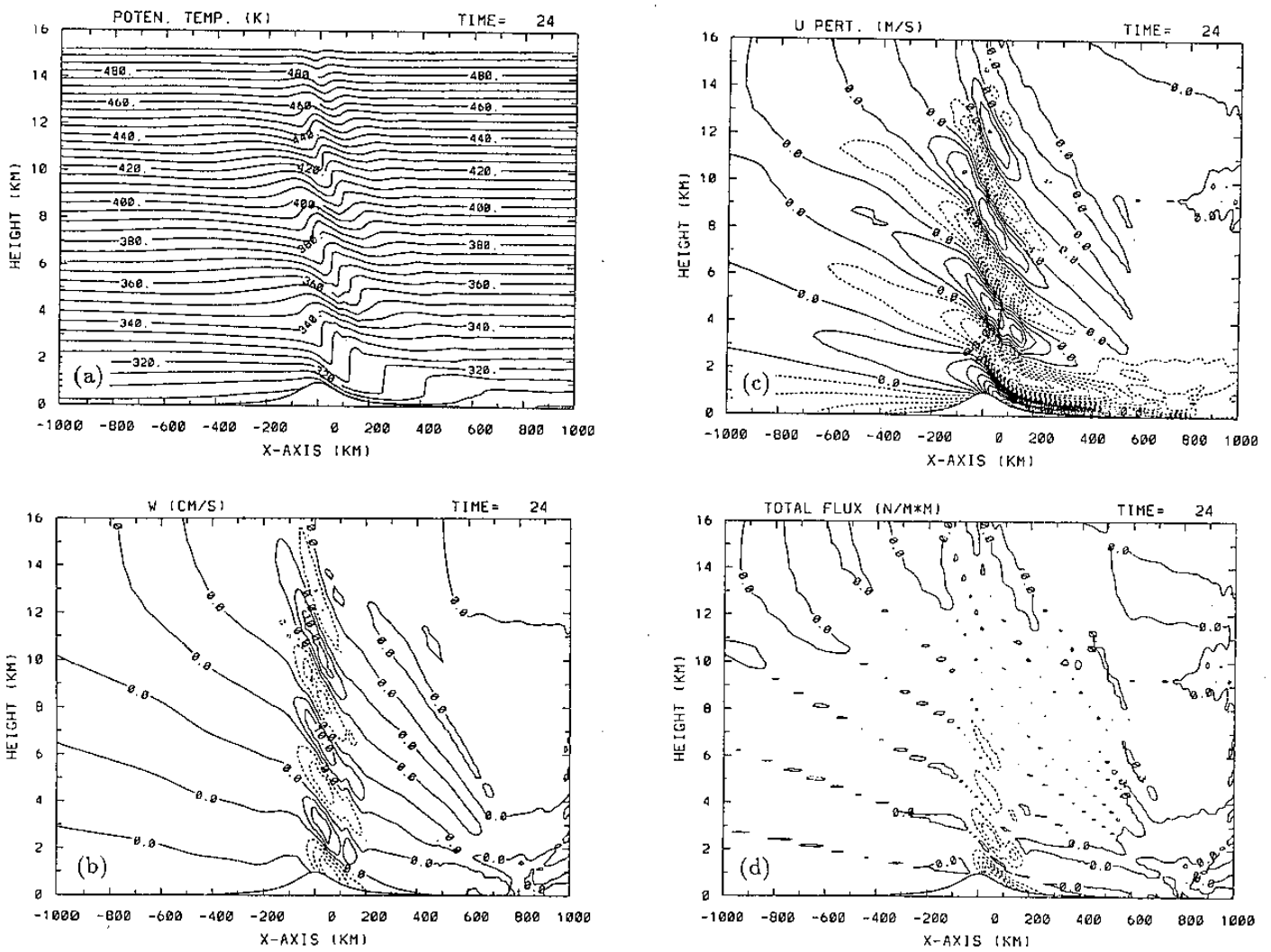


圖3.1 參考實驗之流場 (a)位溫 (b)垂直運動 (c)水平風擾動 (d)全通量。

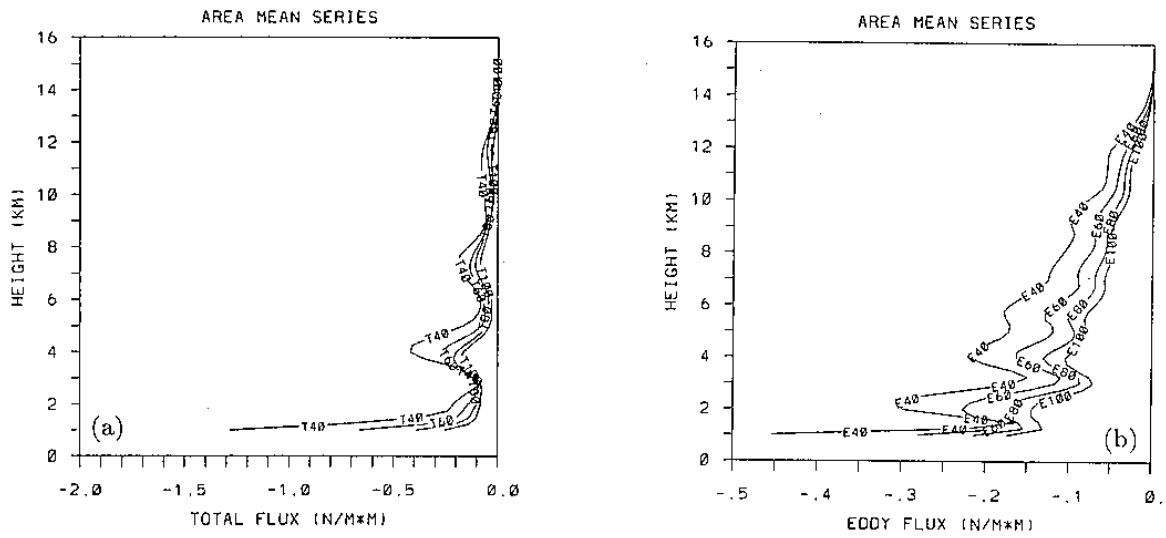


圖 4.1.1 不同網格距之(a)全通量(b)渦流通量。

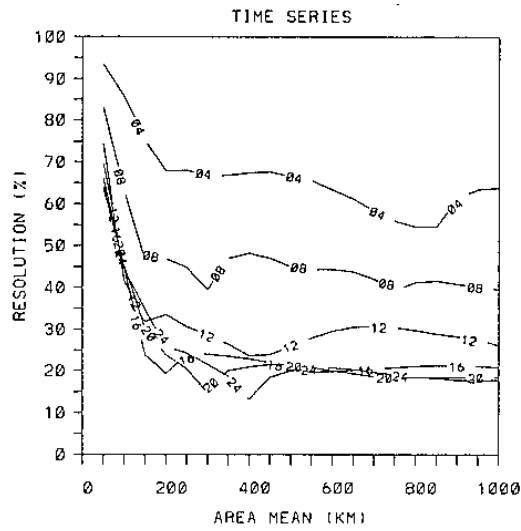


圖 4.1.2 不同網格距與解析度之時間變化。

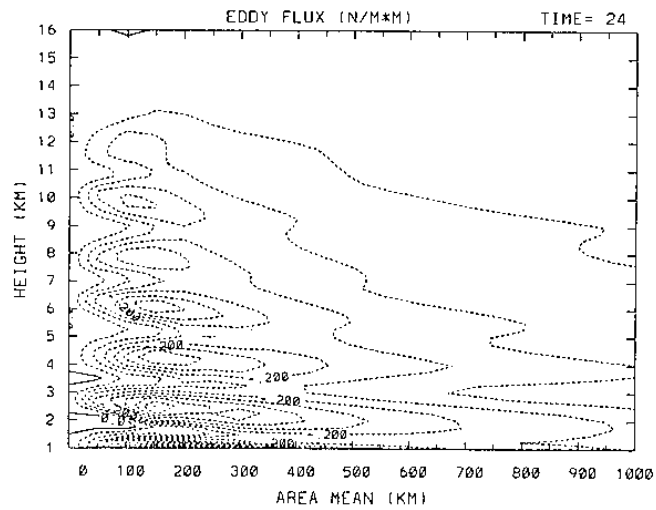


圖 4.1.3 積分 24 小時渦流擾動在不同網格距之變化。

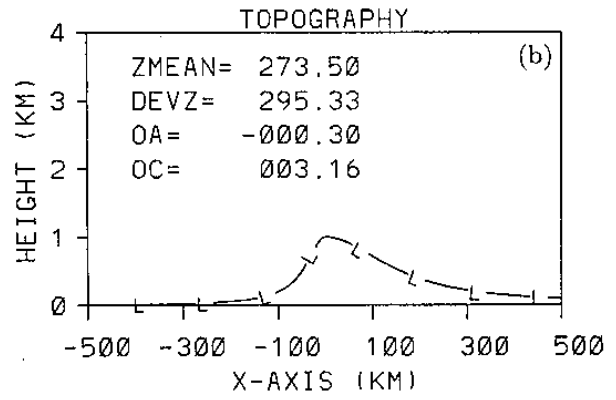
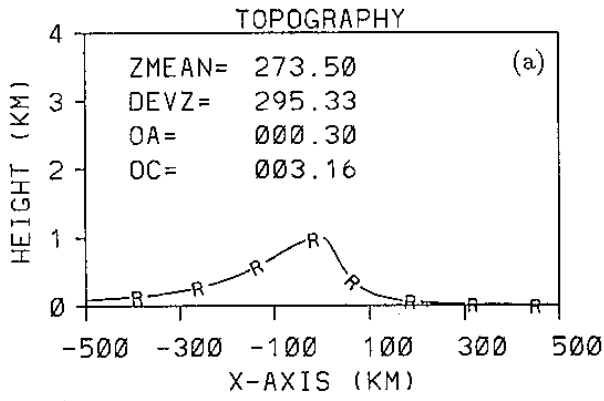


圖4.2.1 二維非對稱地形 (a)右陡非對稱(b)左陡非對稱。

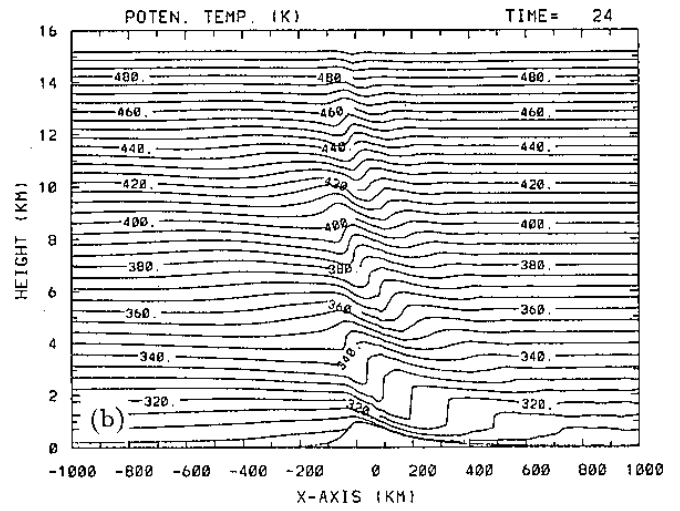
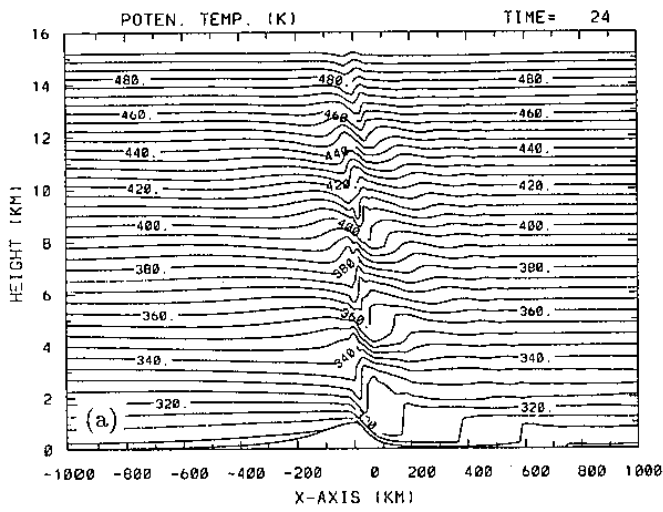


圖4.2.2 非對稱地形之位溫場 (a)右陡非對稱(b)左陡非對稱。

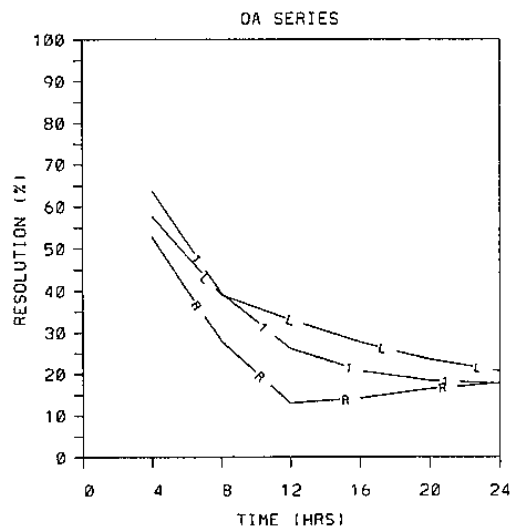


圖4.2.3 不同對稱度(OA)時解析度之時間變化。

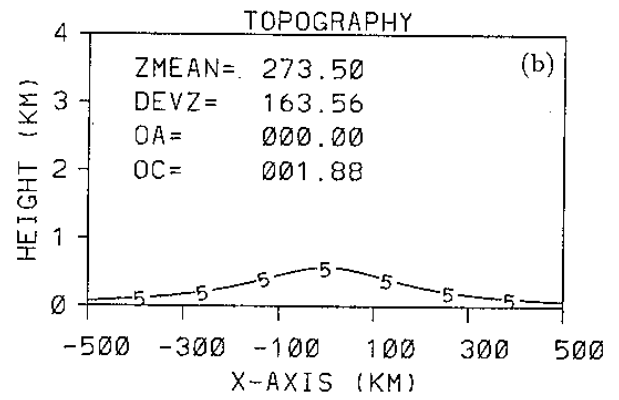
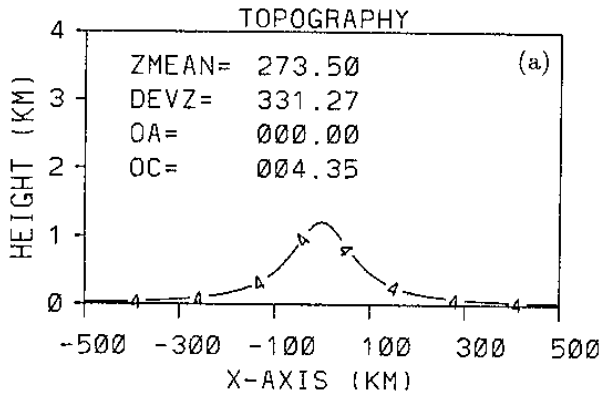


圖4.3.1 不同標準偏差之地形 (a) $\sigma_z = 331.27$ (b) $\sigma_z = 163.56$

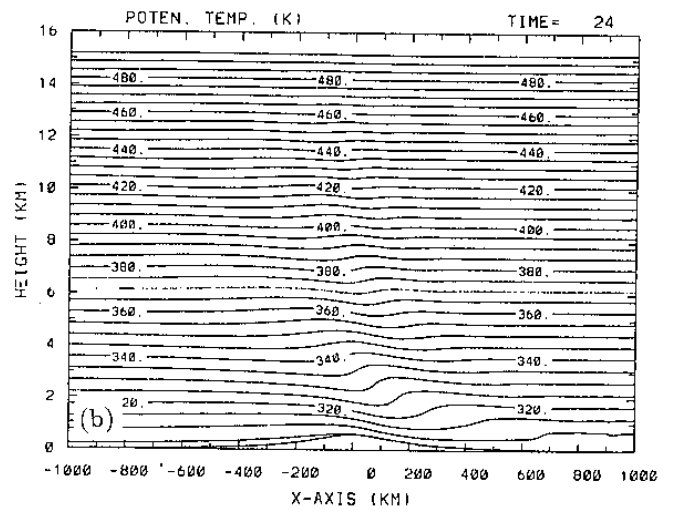
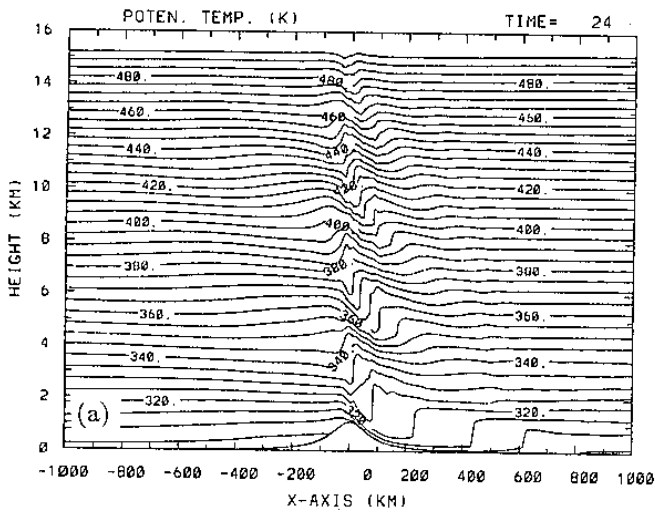


圖4.3.2 不同標準偏差地形之位溫場 (a) $\sigma_z = 331.27$ (b) $\sigma_z = 163.56$

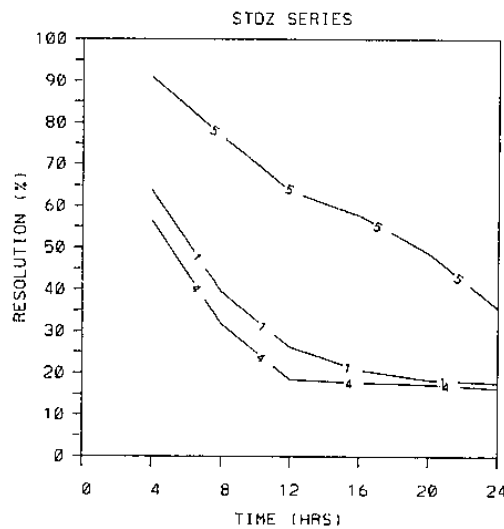


圖4.3.3 不同標準偏差地形(σ_z)時解析度之時間變化。

A Numerical Study of the Topographically Induced Gravity Wave Drag

Chih-Hui Shiao

Ming-Dean Cheng

Computer Center
Central Weather Bureau

Abstract

A two dimensional numerical model is used to study the characteristics of vertical eddy momentum flux associated with topographically induced gravity waves under various atmospheric conditions, grid resolutions of the model, and structure of the topography. It is clear that conventional parameterization schemes for gravity wave drag do not fully describe the characteristics of the vertical momentum transports associated with topographically induced gravity waves.

Higher moment statistics of the topography may need to be included in future parameterization of gravity wave drag as suggested by Kim and Arakawa (1991).

