

嘉南地區九三豪雨的數值模擬

宋樹才

美國加州大學戴維斯分校

陶為國 Joanne Simpson

美國國家航空太空總署

一、引言

民國 70 年 8 月 31 日，艾妮絲颱風經過台灣東北海面，對台灣並未造成嚴重災害。到 9 月 2 日，艾妮絲殘餘低壓中心移至黃海，附屬於該低壓中心的槽線及雲帶向西南延伸經過台灣，至使台灣地區西南氣流加強，濕度劇增。從 9 月 2 日到 4 日中，嘉南地區降雨高達 400mm 造成八七水災之後的最大洪水。對造成這次豪雨的大中尺度條件，劉氏 (1982) 已做詳盡研究，他的結論認為，低空暖濕西南氣流，高空冷平流，地形的舉昇作用，正渦旋平流，中尺度上昇運動等都是造成大氣不穩定的因素，也是造成豪雨的原因。俞氏 (1982) 亦詳盡分析東港探空資料，他也強調低空濕暖平流與高空冷平流相結合的重要性。稍後蔡氏等使用一個中尺度重力平衡模式來探討這次豪雨發生在嘉南地區，而不在台灣中北部的原因，他們認為台灣中央山脈的阻擋作用使西南氣流無法翻越台灣中部的高山。因而使得西南氣流分成兩支，一支沿山脈等高線向北，造成台中地區的中尺度降水。另支則向南進行，到嘉南地區山脈較低處，翻過山脊。這是西南氣流所造成的豪雨多半是在嘉南地區的原因。在蔡氏等的模擬中，最大降水都產生在上山坡地，而嘉南平原上的雨量並不大。然而王氏 (1982) 論文使用的觀測資料顯示嘉南平原的雨量與山坡地雨量相當，雷達回波圖也顯示最初雨區確在山坡地形成。一旦豪雨開始，兩區即向西移至嘉南平原地區，然後再移至外海。

蔡氏等使用的模式是靜力平衡模式，其格距為 20KM，因而無法模擬積雲的動力作用，這種動力作用，可能是造成雨區西移的原因。

由於在中尺度氣象預報上，雨量的大小與雨區的移動具有相同的重要性，因而這篇論文將使用一個非靜力平衡模式來探討這個問題。因為電腦資源的限制，目前僅能報告二維模式的結果。

二、模式構造與結果

在 NASA 和 UC Davis 的合作之下，我們新開發了一個可壓縮性的非靜力平衡模式，簡稱為 MAC。這個模式獨特之點在其平流的計算方法上採用 Arakawa 和他的學生 (Takacs 1985, Hsu 與 Arakawa 1990) 所提出的三階計算法。這個方法沒有相位誤差 (phase error)，並有較高的精確度。而且這個方法也不會如二階或四階方法那樣產生不真實的擾動 (oscillation)。對台灣地區做數值模擬時，因為山高地陡，若不採用較理想的平流計算法，這種不真實擾動是很容易產生的。它們一旦產生之後，可能會使積雲與降水發生在錯誤的地點，或會產生計算上的不穩定。柳與郭 (1992) 曾測試過這個平流計算法，並與其它方法做了比較，他們發現雖然這個方法並不保證是正定義法，然而該方法所產生的負值非常小，可忽略不計。我們也為此法做了多種不同的測試，結果都未產生明顯不真實的擾動。因而使用這種平流計算法的模式，即使不加入任何平滑項 (Smoothing term) 也可進行計算。這個模式的可靠性

可從下面幾個實驗顯示出來。圖一是使用我們的兩維乾模式（不包括任何平滑項）來模擬一個熱對流(thermal)的結果。一個熱對流的最主要象徵，就是由一個圓形的熱氣團隨時間逐漸演變成爲蘑菇狀。這一過程都已真實地模擬出來。圖二顯示一個地形波(Mountain Wave)模擬的結果。圖上顯示的等位溫線可相當於流線看待。模擬的結果與 Lilly 與 Zipser(1972) 觀測的結果有許多相似的地方。以上兩個模擬都是用 400M 水平與垂直間距，因而模擬中山的尺度與 Lilly 與 Zipser(1972) 觀測的山的尺寸完全不同。這種比較並非證明模擬結果與觀測相同，而是證明這模式能模擬複雜地形波的許多特徵而不至產生不良的效果。

這同一個模式也用來模擬引言中提及的 70 年嘉南地區九三豪雨的特性。在這個模擬過程中，模式已加入了水汽與雲物理過程。除了動力因子外，模式並計算雲、雨、冰、雪和雹在空氣中的含量與其交互作用。模式初始值是取用馬公在 70 年 9 月 2 日 12 UTC 的探空資料。這時的風場因受颱風殘餘低壓的影響，下層是很強的西南風，上層是很強的東北風。此項模擬仍是使用二維模式，模擬地區選在台灣南部東西剖面橫過嘉南平原地區。圖三顯示模式中使用的地形與模擬的總含水量在模擬至二、四、六小時的結果，模式的水平格距是 1km，垂直格距是 500m，模式高 16km，寬 325km。圖三顯示模式當中 128km 的結果。山頂最高處約 2.5km，而且地形崎嶇，並未經過過度的平滑。從這圖中可明顯看出，積雲在初期都形成在山上，造成山中豪雨。一旦積雲到達相當規模後，主要兩區即開始向西移動，並在積雲區東邊造成明顯的砧狀雲。這時的豪雨已進入嘉南平原地區，在短暫的數小時內，累積降水已達 160mm。圖四是地面雨量隨時間的變化，我們可以看出整個雨區(storm)是從東往西移的。然而在整個雨區的西邊，不斷有活躍的新積雲(Cell)產生。這些積雲一旦產生後，就會向東移動。因而我們可以看出，豪雨從東向西移的原因是因爲不斷有新積雲在雨區西邊形成的結果。

三、結論與展望

這項研究已顯示我們新發展的 MAC 模式能成功地模擬嘉南地區豪雨的形成與演變。MAC 模式的性能可歸納如下：

1. 模式計算穩定，不產生不真實的擾動，因而計算時不必加入人爲的平滑項 (artificial Smoothing)。這種人爲的平滑項常使真實有意義的擾動也平滑掉。
2. 不需過度平滑地形。地形對積雲的產生有很大的作用。過度平滑地形會產生不真實的效果。
3. 模式含有雲、雨、冰、雪和雹，能有效地模擬雲物理與積雲動力的交互作用。
4. 模式含有長、短波輻射，能用來研究輻射對日夜降雨的影響。

我們也已完成了相似的三維模式。現正在尋求大型平行運作 (parallel computation) 電腦時間以便能使用三維模式來模擬嘉南地區的豪雨。它也可用來研究其它的現象，如露山風的形成等。

致謝

加大方面的研究由 National institute for Global environmental Change (NIGEC) 與加大 Institutional collaborative Program (INCOR) 資助。IBM 公司並短期提供 RISC 6000 workstation 爲模式發展之用。

參考文獻

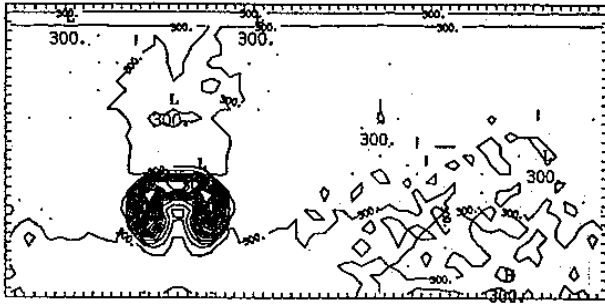
- 王時鼎，趙友夔，沈秀蓉，1982：台灣颱風降雨之特性。1982 年中央氣象局中範圍天氣系統研討會論文彙編。175-208。
- 俞家忠，1982：通過台灣北部海上颱風與台灣中南部豪雨之初步研究。1982 年中央氣象局中範圍天氣系統研討會論文彙編。91-110。
- 柳再明，郭鴻基，1992：正定義值計算方法的測試。天氣分析與預報研討會論文彙編。25-38。
- 劉昭明，1982：九三豪雨之因素探討。1982 年中央氣象局中範圍天氣系統研討會論文彙編。225-

蔡清彥，滕春慈，宋樹才，1985：台灣地形降水的數值模擬。大氣科學。

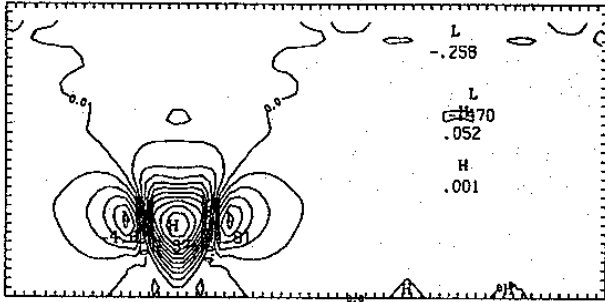
Hsu, Y. -J., and A. Arakawa, 1990: Numerical modeling of the atmosphere with an isentropic Vertical coordinate, *Mon. Wea. Rev.*, 18, 1933-1959.

Lilly, D. K., and E. J. Zipser, 1972: The front range windstorm of 11 January 1972 - a meteorological narrative. *Weatherwise*, 25, 56-63.

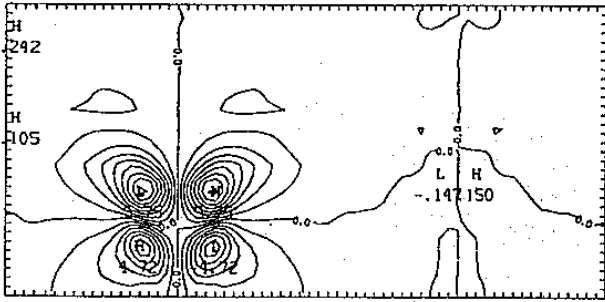
Takacs, L. L., 1985: A tow-step scheme for the advection equation with minimized dissipation and dispersion error. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1050-1065.



CONTOUR FROM 299.84 TO 301.02 CONTOUR INTERVAL OF 0.0000E-01 P(13,31)= 300.00

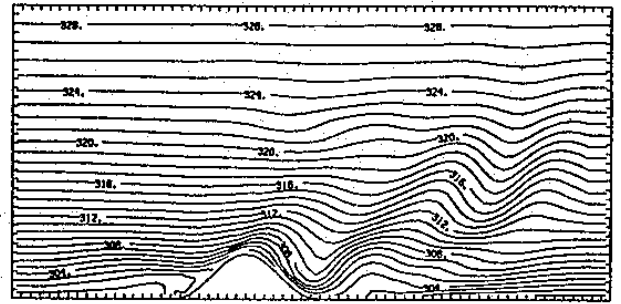


CONTOUR FROM -1.0000 TO 0.0000 CONTOUR INTERVAL OF 0.0000E-01 P(13,31)= -0.1000

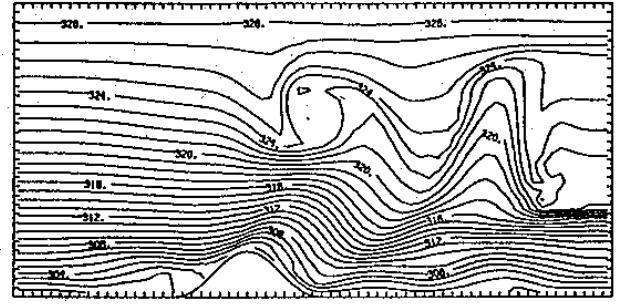


CONTOUR FROM -0.0000 TO 0.0000 CONTOUR INTERVAL OF 0.0000E-01 P(13,31)= 0.2940

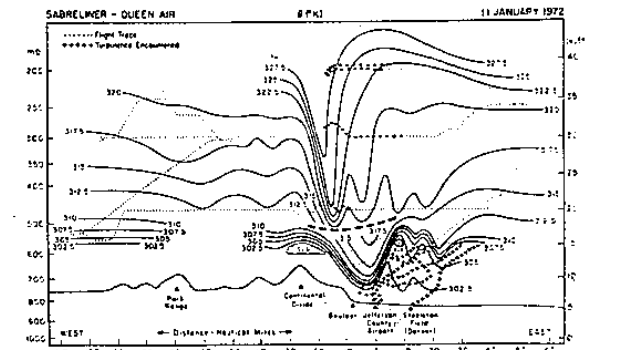
圖一 一個熱對流(thermal) 15min的模擬。水平與垂直格距400m。上：位溫分佈(間距0.06K)；中：垂直速度(間距0.9 m/s)，下：水平速度(間距0.7 m/s)



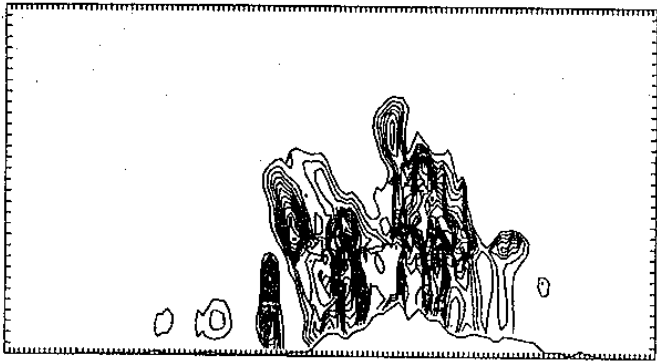
CONTOUR FROM 300.00 TO 320.00 CONTOUR INTERVAL OF 1.0000 P(13,31)= 303.72



CONTOUR FROM 300.00 TO 320.00 CONTOUR INTERVAL OF 1.0000 P(13,31)= 303.86



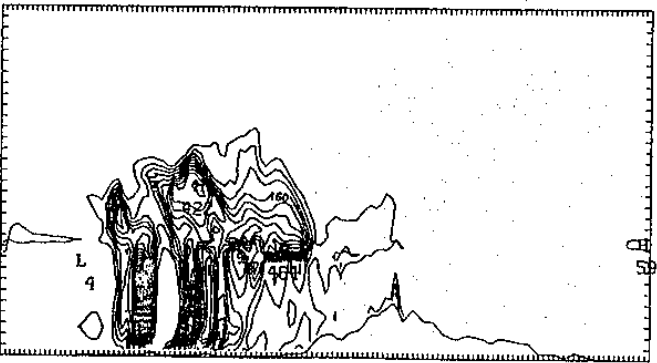
圖二 地形坡的模擬。水平與垂直格距400m。上：15min位溫分佈；中：45min；下：Lilly與Zipser(1972)觀測的位溫分佈。



CONTOUR FROM 0.00000E+00 TO 0.54000E-02 CONTOUR INTERVAL OF 0.30000E-03 FT(3.31) 0.20000E-04 LABELS SCALED BY 0.10000E+08

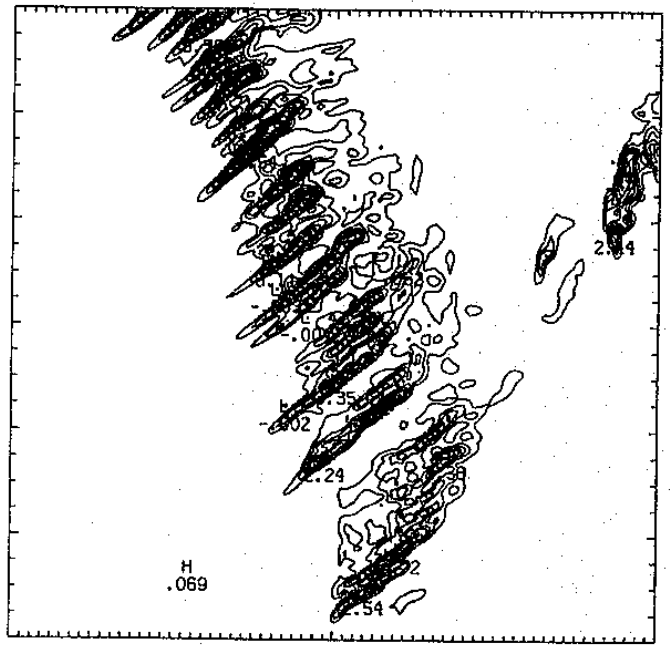


CONTOUR FROM 0.00000E+00 TO 0.72000E-02 CONTOUR INTERVAL OF 0.40000E-03 FT(3.31) 0.10000E-05 LABELS SCALED BY 0.10000E+08



CONTOUR FROM 0.00000E+00 TO 0.72000E-02 CONTOUR INTERVAL OF 0.40000E-03 FT(3.31) 0.30000E-04 LABELS SCALED BY 0.10000E+08

圖三 總含水量的分佈。水平格距1km。垂直格距500m。上：2hr結果(間距0.3g/kg)，中：4hr(間距0.4g/kg)，下：6小時(間距0.4g/kg)



CONTOUR FROM 0.00000E+00 TO 5.0000 CONTOUR INTERVAL OF 0.30000 FT(3.31) 0.00000E+00

圖四 0-6hr地面降水隨時間的變化(間距3mm/min)。最下面是0hr，最上面是6hr。

A numerical Study of Heavy Precipitation over Southwestern Taiwan

Su-Tzai Soong

University of California, Davis

Wei-Kuo Tao and Joanne Simpson

Goddard Space Flight Center/NASA

ABSTRACT

A non-hydrostatic, fully compressible mesoscale atmospheric convection (MAC) model was developed to study heavy precipitation induced by the complex topography over southwestern Taiwan. The model includes explicit representation of the microphysical processes with cloud, rain, ice, snow, and graupel, as well as the computation of the solar and infrared radiation. The unique feature of this model from other models is the adaptation of a third order advective scheme designed by Arakawa and his students (Takacs 1985, Hsu and Arakawa 1990). This scheme preserves the peak values well and produces no phase error and little computational oscillations. The steep and complex topography over our area of interest is the major factor in generating these computational oscillations. If they are not dealt with properly, these oscillations may either generate false clouds or cause computational instability. In several different tests of the MAC model, these oscillations are minimal and they require little or no smoother to run. The ability of this scheme is demonstrated in a simulation of a thermal using a two-dimensional dry version of the model without applying any smoothing. The prominent features of the thermal are well simulated there is no undesirable oscillation near the thermal. The same model was used to simulate a mountain wave and many intricate features of the mountain waves are simulated without using any smoothing and without producing any ill effect.

The complete two-dimensional MAC model, including the microphysical processes and radiation, is used to study the effect of a complex topography in producing heavy precipitation in southwestern Taiwan. This case of the heavy precipitation was produced by the rainband of the decaying typhoon Agnes, which passed the east coast of Taiwan three days before. The predominant wind for this period of time is from southwest in the lower levels and from northeast in the upper levels. The simulation clearly shows the formation of a storm over the mountain area and subsequent propagation of the storm to the southwestern plain. The propagation of the storm is caused by the continuous generation of new cloud cells at the western edge of the storm. These cloud cells, once generated, actually propagate toward the east. The westward propagation of the storm combined with the eastward propagation of cells caused heavy precipitation and flood over the southwestern plain. The observation does show that the heavy precipitation was produced in the plains that day as well as over the mountain slope.