

# MÔ HÌNH SỐ TRỊ ĐỘNG LỰC MM5 VÀ ỨNG DỤNG BƯỚC ĐẦU CHO VIỆT NAM

TS. Dương Hồng Sơn, TS. Trần Thục  
TS. Hoàng Đức Cường, TSKH. Nguyễn Duy Chinh  
Viện Khí tượng Thủy văn

## 1. Giới thiệu

Mô hình khí tượng quy mô trung bình thế hệ 5 (MM5) do Trường đại học Tổng hợp Pennsylvania (PSU) và Trung tâm Quốc gia về Nghiên cứu Khí quyển (NCAR) xây dựng năm 1994. Mô hình được liên tục cải tiến thông qua các hội thảo hàng năm của các nhà chuyên gia về mô hình trên thế giới đang sử dụng MM5. Phiên bản 1 được công bố vào năm 1994 và phiên bản 3.5 sử dụng trong nghiên cứu này được cập nhật tháng 12 năm 2001.

Mô hình MM5 đã được ứng dụng rộng rãi trong các nghiên cứu lý thuyết, dự báo bão, xoáy thuận [3, 5], và mưa lớn [10]. MM5 cũng được sử dụng để nghiên cứu chất lượng không khí và các ảnh hưởng xuyên biên giới của các chất gây ô nhiễm [6]. Gần đây MM5 cũng đã được sử dụng cho dự báo thời tiết [8] hoặc dự báo cháy rừng [9]. Với quy mô nhỏ hơn, MM5 có thể được ứng dụng để nghiên cứu đối lưu, gió biển, hoàn lưu vùng núi và thậm chí cả “đảo nhiệt” đô thị. Mô hình sử dụng hệ thống lưới lồng tương tác hai chiều, cập nhật số liệu thực đo để hiệu chỉnh mô hình (Nudging) trong quá trình tính toán, số liệu địa hình và tình trạng sử dụng đất.

Vì đây là mô hình tương đối phức tạp và liên tục được cập nhật bằng các nghiên cứu mới nhất và đòi hỏi khối lượng tính lớn nên hiện nay chương trình nguồn (FORTRAN) chỉ chạy trên các hệ máy: SUN, IBM, CRAY, DEC (Alpha), hay PC với hệ điều hành Linux. Toàn bộ mô hình MM5 sử dụng trong nghiên cứu này được lấy miễn phí từ <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>. Kèm theo là các phần mềm hỗ trợ khác như phần mềm biên dịch Portland Group Fortran (PGF) hay phần mềm giao diện của Trung tâm Quốc gia về Nghiên cứu Khí quyển (NCAR).

Hiện nay có rất nhiều mô hình số trị động lực về thủy văn, thủy lực, hải văn, môi trường (như mô hình dự báo nước dâng do bão, mô hình dự báo sóng, mô hình dự báo lũ, mô hình lan truyền ô nhiễm ...) có yêu cầu đầu vào từ các kết quả của mô hình khí tượng động lực. Việc nghiên cứu áp dụng mô hình MM5 có ý nghĩa thực tiễn lớn trong cung cấp số liệu đầu vào cho các mô hình nói trên. Một trong những ưu điểm nổi bật của mô hình MM5 là có thể sử dụng lưới lồng ghép để có thể đáp ứng được yêu cầu về độ phân giải (DPG) cao của các mô hình nói trên.

## 2. Cơ sở lý thuyết

Với hệ tọa độ  $\sigma$  được định nghĩa là  $\sigma = \frac{p - p_t}{p_s - p_t}$  trong đó  $p_s$  và  $p_t$  là áp suất tại bề mặt và đỉnh của miền tính thì các quá trình động lực được mô phỏng trong MM5 có thể tóm tắt bằng hệ các phương trình dưới đây [4]:

$$\frac{\partial p'}{\partial t} - \rho_0 g w + \gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} = -\mathbf{v} \cdot \nabla p' + \frac{\gamma p}{T} \left( \frac{\partial}{\partial t} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{m}{\rho} \left( \frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = -\mathbf{v} \cdot \nabla u + v \left( f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right) - e w \cos \alpha - \frac{u w}{r_{earth}} + D_u \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{m}{\rho} \left( \frac{\partial p'}{\partial y} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = -\mathbf{v} \cdot \nabla v - u \left( f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right) + e w \sin \alpha - \frac{v w}{r_{earth}} + D_v \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} - \frac{\rho_0 g}{\rho p^*} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} + \frac{g p'}{\gamma p} = -\mathbf{v} \cdot \nabla w + g \frac{\rho_0 T'}{p T_0} - \frac{g R_d p'}{c_p p} + e (u \cos \alpha - v \sin \alpha) + \frac{u^2 + v^2}{r_{earth}} + D_w \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\mathbf{v} \cdot \nabla T + \frac{1}{\rho c_p} \left( \frac{\partial p'}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla p' - \rho_0 g w \right) + \frac{Q}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta \quad (5)$$

$$\mathbf{v} \cdot \nabla A \equiv m u \frac{\partial A}{\partial x} + m v \frac{\partial A}{\partial y} + \sigma \frac{\partial A}{\partial \sigma} \quad (6)$$

$$\dot{\sigma} = -\frac{\rho_0 g}{p^*} w - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} u - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} v \quad (7)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = m^2 \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{u}{m} \right) - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + m^2 \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{v}{m} \right) - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial \sigma} - \frac{\rho_0 g \partial w}{p^* \partial \sigma} \quad (8)$$

Trong đó:  $t$  - thời gian;  $P$  - khí áp;  $x, y, \sigma$  - các tọa độ theo 3 phương;  $u, v, w$  - tốc độ theo 3 phương;  $T$  - nhiệt độ ( $^{\circ}\text{K}$ );  $e$  - độ ẩm tuyệt đối;  $\rho$  - mật độ không khí;  $\alpha$  - vĩ độ;  $Q, C_p$  - nhiệt dung riêng;  $r_{earth}$  - bán kính trái đất;  $f$  - lực Coriolis;  $D_u, D_v, D_w$  - các số hạng vô cùng bé bậc cao.

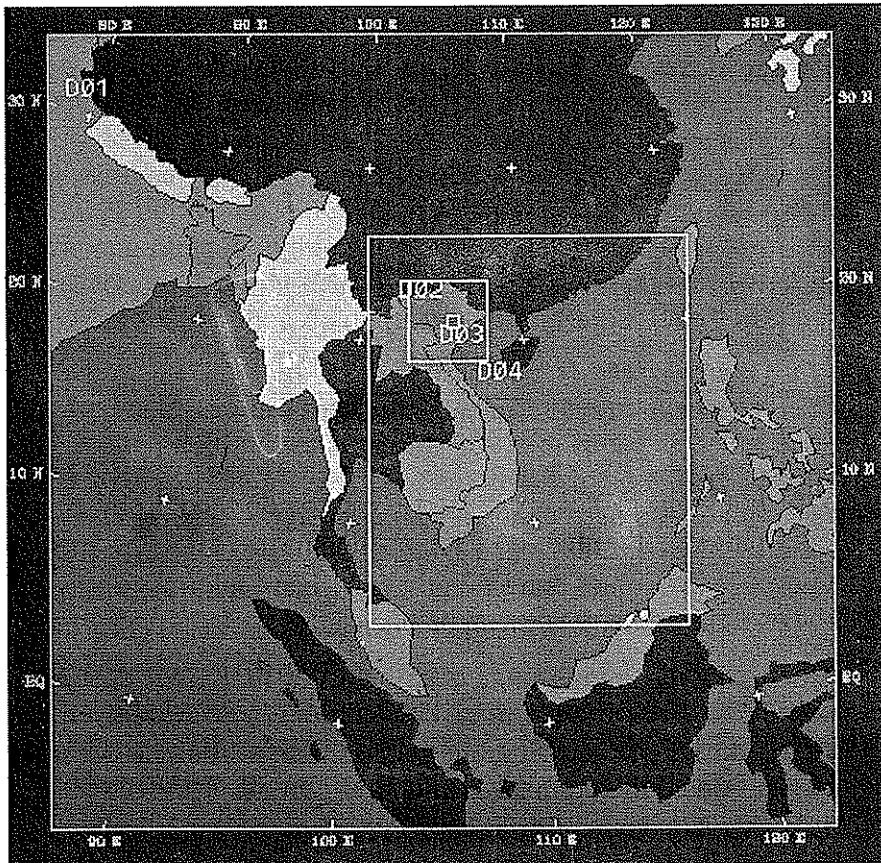
Như vậy theo phương thẳng đứng,  $\sigma$  sẽ biến đổi từ 1 (mặt đất) tới 0 (biên trên của miền tính). Việc sử dụng hàm chuyển đổi tọa độ để chuyển các đạo hàm riêng từ tọa độ Đề-các sang tọa độ  $\sigma$  cũng như chi tiết các số hạng trong hệ phương trình trên có thể tham khảo tại [7].

Thường có hai phương pháp để hạn chế sự phản xạ của sóng trọng lực. Phương pháp thứ nhất sử dụng lớp hấp thụ năng lượng sóng tại biên trên của miền tính. Tuy nhiên, phương pháp này ít được sử dụng do cần ít nhất thêm 10 lớp phụ so với yêu cầu thực tế. Phương pháp thứ hai được sử dụng trong mô hình MM5 là điều kiện biên trên bức xạ tương tự như [2]. Các quá trình vật lý

khác như đối lưu nông, bức xạ, rối lớp biên, mây ... cũng được tính toán theo nhiều phương pháp và tham số khác nhau và có thể chọn tùy ý theo người sử dụng và đây cũng là một trong những điểm khác nhau giữa các mô hình nghiên cứu và mô hình nghiệp vụ.

Về phương diện lịch sử, mô hình quy mô trung bình thuộc Penn State/NCAR sử dụng động lực học thủy tĩnh. Khác với các phiên bản trước đó, MM5 V3 đã bổ sung thêm động lực học bất thủy tĩnh. Điều này có ý nghĩa khi độ phân giải theo phương ngang nhỏ hơn so với chiều thẳng đứng. Thành phần được thêm vào trong mô hình động lực bất thủy tĩnh là gia tốc thẳng đứng. Gia tốc này làm gradient khí áp tăng lên theo chiều thẳng đứng và có thể được biểu thị qua phương trình sau:

$$\frac{dw}{dt} - \frac{u^2 + v^2}{a} = -\frac{1}{P} \frac{\partial P}{\partial Z} + 2 \Omega \cos \Phi - g + F_{yz} \quad (9)$$



Hình 1. Sơ đồ các miền tính (D01, D02, D03, D04)

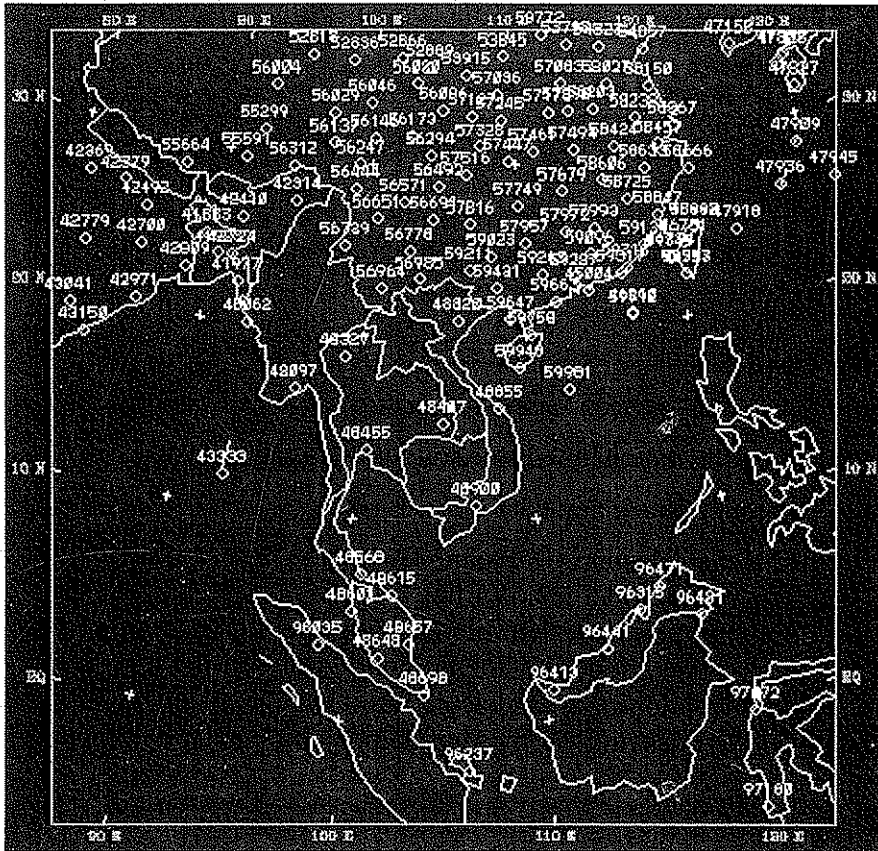
Mô hình MM5 sử dụng hệ thống lưới lồng (nesting grid) để giúp người sử dụng xét đến những quá trình động lực có qui mô nhỏ hơn nhiều lần miền tính. Hầu hết các thành phần đạo hàm riêng theo không gian trong hệ phương trình của MM5 sử dụng sai phân trung tâm bậc hai trên lưới B-Arakawa (thành phần mưa sử dụng sơ đồ ngược dòng “upwind scheme” bậc nhất để thoả mãn đặc tính xác định dương). Các thành phần khác nhau trong hệ phương trình cũng đòi hỏi bước thời gian khác nhau dao động từ vài giây (các thành phần đặc trưng cho sóng âm) tới vài chục phút (bức xạ mặt trời).

### 3. Ứng dụng cho Việt Nam

#### a. Qui mô không gian

Mô hình MM5 được khai thác tại Viện Khí tượng Thủy văn trên PC PIII-700, RAM 256 MB, HD20 GB, OS Linux. Sau khi hoàn thành việc chạy mô hình MM5 trên các tệp số liệu cho sẵn của NCAR, mô hình với hệ thống lưới lồng tương tác song phương được ứng dụng để khôi phục lại các trường khí tượng trong khoảng thời gian (GMT) 00 giờ ngày 13 tháng 3 đến 00 giờ ngày 14 tháng 3 năm 1993 cho 4 miền có quy mô khác nhau (Hình 1):

- Miền D01 (Vùng Đông Nam Á): ĐPG 90 km với 60 x 60 điểm tính,
- Miền D02 (Việt Nam): ĐPG 30 km với 88 x 73 điểm tính,
- Miền D03 (Bắc Việt Nam): ĐPG 10 km với 55 x 55 điểm tính,
- Miền D04 (Thành phố Hà Nội): ĐPG 3 km với 25 x 25 điểm tính.



Hình 2. Mạng lưới các trạm cao không trong miền tính

Quy mô miền tính D01 được tham khảo từ [2] nhằm so sánh các chỉ tiêu sau này. Bước thời gian sử dụng cho miền D01 là 81 giây. Thời gian cần thiết để tính tất cả các miền cho một ngày thực tế là khoảng 30 giờ trên máy tính. Ngoài các số liệu khí tượng cho điều kiện biên và điều kiện ban đầu, các kết quả trong nghiên cứu này cũng đã sử dụng các số liệu về cao độ địa hình (ĐPG 3,7 km), thảm phủ thực vật và sử dụng đất (25 cấp với ĐPG 3,7 km), ranh giới đất-nước (ĐPG 3,7 km), loại đất (25 cấp với ĐPG 3,7 km), tỷ số diện tích lớp phủ thực vật (ĐPG 18,5 km), nhiệt độ trung bình năm của đất (ĐPG 111,0km). Nếu ĐPG của số liệu vào lớn hơn ĐPG của miền tính thì giá trị tại các nút lưới thường được nội suy tuyến tính. Tuy nhiên, với nhiệt độ trung bình năm có độ phân giải quá lớn không thể nội suy cho các đảo nhỏ trên biển thì mối liên hệ giữa nhiệt độ trung bình năm với vĩ độ được tính như sau:

$$T_g = C_0 + C_1 \sin A + C_2 \cos A \quad (10)$$

với  $C_0=242,06$ ,  $C_1=59,736$ ,  $C_2=1,9445$  và  $A = 0,5 \times 3,1415926 \times \frac{89,5 - \varphi}{89,5}$ .

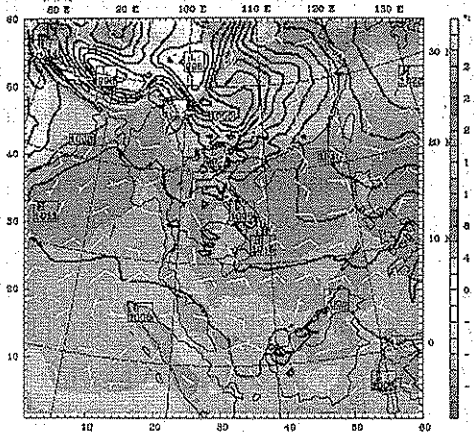
### b. Các sơ đồ vật lý

Với ý nghĩa chính là thử nghiệm mô hình trên PC- Linux với số liệu đầu vào sẵn có trong mô hình nên chúng tôi giữ lại hầu hết các sơ đồ vật lý mặc định trong chương trình mẫu của MM5, ngoại trừ một số thay đổi với D03 và D04:

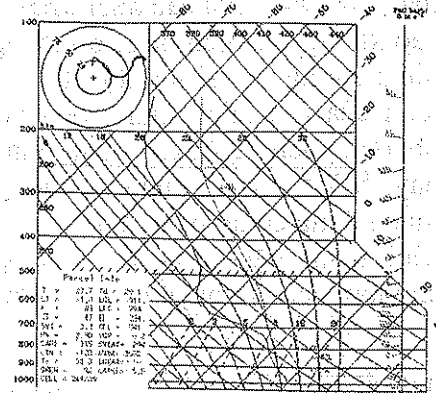
- Tham số hóa đối lưu Cumulus: Grell  
(thích hợp với độ phân giải theo phương ngang 10 ÷ 30km)
- Sơ đồ ẩm hiện: Simpleice  
(giống sơ đồ mây, mưa và có bổ sung pha băng)
- Sơ đồ bức xạ: Cloud- radiation  
(thích hợp lớp biên hành tinh: MRP)  
(thích hợp với lớp biên hành tinh phân giải cao)
- Sơ đồ đất bề mặt: Multi-layer soil temperature model  
(dự báo nhiệt độ các lớp đất)

Ngoài ra, chúng tôi cũng đã thử nghiệm mô hình với sơ đồ Anther-Kuo đối với tham số hóa đối lưu Cumulus. Có thể nhận thấy sự khác biệt trong kết quả mô phỏng ở hầu hết các trường khí tượng nhận được so với sơ đồ Grell. Bước đầu chỉ có thể khẳng định được là để lựa chọn được các sơ đồ vật lý phù hợp với đối tượng dự báo cụ thể ở Việt Nam cần có những nghiên cứu chi tiết về từng quá trình vật lý trong bộ phận mô phỏng của MM5.

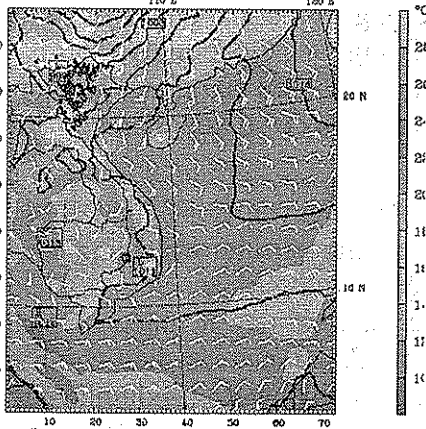
Hạn dự báo: 12h  
 Yếu tố: nhiệt độ, khí áp, gió  
 Mức sigma: 0.995 (bề mặt)  
 Thời gian bắt đầu: 00h (GMT) 13/3/1993



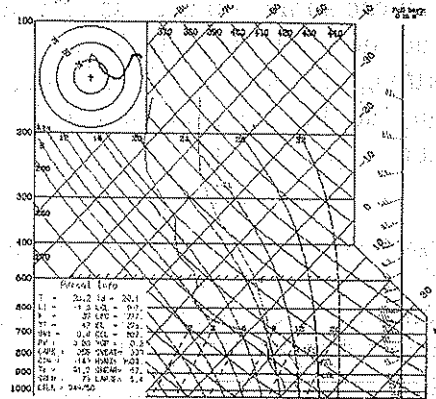
Hạn dự báo: 12h  
 Yếu tố: nhiệt độ, điểm sương, vector gió  
 Thời gian bắt đầu: 00h (GMT) 13/3/1993  
 Trạm: Hà Nội (vĩ độ=21.03; kinh độ=105.85)



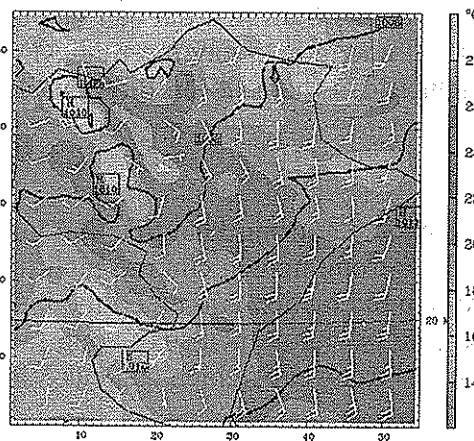
Hạn dự báo: 12h  
 Yếu tố: nhiệt độ, khí áp, gió  
 Mức sigma: 0.995 (bề mặt)  
 Thời gian bắt đầu: 00h (GMT) 13/3/1993



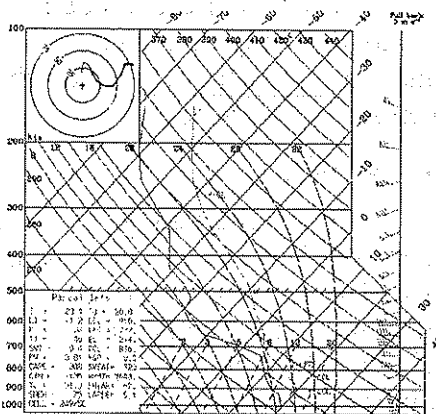
Hạn dự báo: 12h  
 Yếu tố: nhiệt độ, điểm sương, vector gió  
 Thời gian bắt đầu: 00h (GMT) 13/3/1993  
 Trạm: Hà Nội (vĩ độ=21.03; kinh độ=105.85)



Hạn dự báo: 12h  
 Yếu tố: nhiệt độ, khí áp, gió  
 Mức sigma: 0.995 (bề mặt)  
 Thời gian bắt đầu: 00h (GMT) 13/3/1993



Hạn dự báo: 12h  
 Yếu tố: nhiệt độ, điểm sương, vector gió  
 Thời gian bắt đầu: 00h (GMT) 13/3/1993  
 Trạm: Hà Nội (vĩ độ=21.03; kinh độ=105.85)



Hình 3. Kết quả tính toán trường các yếu tố khí tượng mặt đất và giản đồ cao không (cho trạm Hà Nội) lúc 12 giờ (GMT) ngày 13/3/1993

### c. Kết quả

Hình 3 thể hiện các kết quả tính toán từ mô hình MM5 tại lớp sát mặt đất ( $\sigma=0,995$ ) của các miền D01, D02, D03. Bên phải của hình 3 là các giản đồ cao không thể hiện phân bố thẳng đứng của các tốc độ gió, nhiệt độ, nhiệt độ điểm sương ... tại toạ độ  $21^{\circ}\text{N}$  và  $105.8^{\circ}\text{E}$  (trạm Hà Nội) lấy từ kết quả tính toán của các miền tính tương ứng. Do hầu như không có sự khác biệt theo phương ngang giữa các điểm tính nên miền D04 không được thể hiện trên hình này. MM5 chỉ sử dụng hệ thống lưới lồng theo phương ngang, còn phương thẳng đứng có độ phân giải như nhau cho tất cả các miền. Có lẽ đối với các quá trình mang đặc trưng địa phương mạnh cần sử dụng các mô hình dành riêng cho lớp biên khí quyển với độ phân giải cao theo phương thẳng đứng như [1].

Để có thể nêu ra những nhận xét cần có các số liệu thực đo hay kết quả mô phỏng cho những hiện tượng thời tiết mang tính cực trị như: mưa lớn, áp thấp, bão .... Mô phỏng hoặc khôi phục lại điều kiện thời tiết tại một thời điểm nào đó trong quá khứ nhằm kiểm nghiệm mô hình hoặc phục vụ nghiên cứu cần các số liệu đo đạc của các trạm cao không và mặt đất cùng với số liệu của các mô hình toàn cầu. Nhưng hiện nay Trung tâm Quốc gia về Dự báo Môi trường của Mỹ (NCEP) chỉ cung cấp miễn phí số liệu của tháng cuối cùng (ví dụ, vào thời điểm các tác giả viết bài báo này, chỉ có số liệu tháng 3 năm 2002 được cấp miễn phí).

Tất cả các tham số khác vẫn được giữ nguyên trong nghiên cứu này, ngoài các tham số liên quan tới quy mô vùng tính và cùng với chúng là các yếu tố về thảm thực vật, sử dụng đất, nhiệt độ đất trung bình năm .... Chắc chắn rằng, trong các nghiên cứu tiếp theo, các tham số này ít nhiều sẽ phải điều chỉnh cho phù hợp với điều kiện Việt Nam. Cơ sở của các điều chỉnh này sẽ được dựa trên sự so sánh giữa số liệu tính toán và thực đo (ví dụ như các phân bố thẳng đứng trên hình 3 với các số liệu cao không của Việt Nam) mà hiện nay chưa có điều kiện thực hiện.

Để so sánh các kết quả của mô hình với các trạm mặt đất cần đưa các yếu tố khí tượng tính toán được về mực 10 m, nhưng hiện nay mô hình MM5 chưa có chức năng này. Chắc chắn cần nghiên cứu thêm độ ổn định của lớp biên khí quyển để giải quyết vấn đề này.

### 4. Kết luận

Có thể cho rằng áp dụng thành công bước đầu trong khai thác mô hình số trị MM5 đã mở ra nhiều khả năng ứng dụng trong nghiên cứu mô hình tiếp theo. Trong thời gian tới, mô hình sẽ được tiếp tục nghiên cứu để có thể kiểm nghiệm dựa theo số liệu của các điều kiện thời tiết nguy hiểm. Hy vọng rằng kết quả nghiên cứu sẽ được áp dụng có hiệu quả trong các nghiên cứu của Viện Khí tượng Thủy văn.

Nghiên cứu này nhận được sự tài trợ của Tổng cục Khí tượng Thủy văn thông qua đề tài cấp Tổng cục "Xây dựng công nghệ tính toán dự báo lũ lớn hệ

thống sông Hồng - Thái Bình", và của Bộ Khoa học, Công nghệ và Môi trường thông qua đề tài nghiên cứu cơ bản "Nghiên cứu phân bố ba chiều của chất ô nhiễm trong không khí đô thị bằng mô hình toán". Nghiên cứu này đã nhận được các góp ý của ông Lê Công Thành, Trung tâm Quốc gia Dự báo Khí tượng Thủy văn và các chuyên gia khác.

### Tài liệu tham khảo

1. Dương Hồng Sơn (2002). Nghiên cứu khí tượng lớp biên Hà Nội bằng mô hình số trị ba chiều. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 2(494), 25-31.
2. Kiều Thị Xin, Phan Văn Tân, Lê Công Thành, Đỗ Lệ Thủy, Nguyễn Văn Sáng (2001). Mô hình dự báo số phân giải cao HRM và thử nghiệm áp dụng dự báo thời tiết khu vực Đông Nam Á - Việt Nam. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 8(488), 36-41.
3. Davis, C.A., Powers, J.G., Bosart, L.F. (2001). Track and intensity Prediction of tropical cyclone Diana (1984): Sensitivity to MM5 physical parameterizations.
4. Grell, G.A., Dudhia, J., Stauffer, D.R. (1995). A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Tech. Note NCAR/TN-389+STR, 122 pp.
5. Kuo, Y.H., Wang, W., Zhang, Q., Lee, W.C., Bell, M. (2001). High-Resolution Simulation of Hurricane Danny (1997): Comparison with radar observations.
6. Lam, J.S.L., Lau, A.K.H. (2001). High-Resolution MM5 simulations with refined land use categories for Hong Kong.
7. NCAR (2002). PSU/NCAR Mesoscale modeling system tutorial class notes and user's guide: MM5 modeling system version 3.
8. Power, J.G., Bresch J.F. (2001). Real-time MM forecasting for Antarctica.
9. Smallcomb C. (2001). Using an operational MM5 in the fire weather forecast process for West Texas and Southeastern New Mexico.
10. Tao, W.K., Chen, C.S., Jia, Y., Baker, D., Lang, S., Wetzel, P., Lau, W.K.M., Kuo, Y.H., Dudhia, J. (2001). A study of heavy precipitation events in Taiwan during 10-13 August, 1994: Mesoscale model simulation.