

# MÔ HÌNH CHÍNH ÁP WBAR VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG DỰ BÁO QUỖ ĐẠO BPO KHU VỰC TÂY BẮC THÁI BÌNH DƯƠNG VÀ BIỂN ĐÔNG

*Phan Văn Tân, Kiều Thị Xin, Nguyễn Văn Sáng*

**Đại học Quốc gia Hà Nội**

## **1. Mở đầu**

Xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ) nói chung, và bão nói riêng, là hiện tượng tai biến thiên nhiên gây nên những thiệt hại đáng kể về người và của ở những nơi mà nó đi qua. Chẳng hạn, cơn bão lịch sử nổi tiếng ở Bangladesh năm 1970 đã làm cho gần 300.000 người chết; cơn bão Andrew đổ bộ vào đông nam nước Mỹ đã gây thiệt hại 26,5 tỷ USD; cơn bão Linda năm 1997 bất ngờ đổ bộ vào cực nam nước ta đã để lại những dấu ấn khó quên về sự tàn phá của nó;... Người ta đã thống kê được rằng những mất mát tài sản do bão gây ra vượt gấp 4 lần so với động đất. Chính vì vậy, bài toán dự báo bão đã, đang và sẽ còn là vấn đề mang tính toàn cầu. Nhiều trung tâm dự báo và cảnh báo bão đã được thành lập và không ngừng nghiên cứu xây dựng các phương pháp khác nhau nhằm nâng cao hiệu quả dự báo.

Từ những năm 1950 người ta đã cố gắng xây dựng các mô hình động lực đầu tiên dự báo quỹ đạo XTNĐ (DeMaria, 1985). Tuy nhiên, do sự hạn chế của máy tính nên hầu như tất cả các mô hình này đều là những mô hình chính áp đơn giản. Việc xử lý hoàn lưu xoáy qui mô nhỏ trong các mô hình này được thực hiện tách biệt với dòng qui mô lớn. Kết quả của cách tiếp cận này là đã làm tăng sự hiểu biết về các quá trình cơ bản tác động đến sự chuyển động của XTNĐ. Cùng với sự phát triển của công nghệ thông tin, khả năng tính toán, lưu trữ của máy tính cũng tăng lên vượt bậc, dần dần việc xử lý xoáy tách biệt với dòng môi trường trong các mô hình này đã được khắc phục. Và cuối cùng, các mô hình nguyên thủy nhiều mực đã ra đời và được ứng dụng trong nghiệp vụ dự báo quỹ đạo bão.

Mặc dù trong một số tình huống chuyển động của XTNĐ chỉ có thể được mô tả bởi hệ các phương trình nguyên thủy (chẳng hạn, khi xoáy tương tác với dòng nền có độ đứt thẳng đứng), nói chung chuyển động của XTNĐ vẫn có thể được mô tả bằng những mô hình chính áp đơn giản hơn (DeMaria, 1985). Nhiều khía cạnh của chuyển động XTNĐ có thể được giải thích trên cơ sở lý thuyết phương trình xoáy chính áp (Holland, 1983; Smith 1991).

Bên cạnh những bài toán nghiên cứu, vào những năm 1960 các mô hình số trị đã được phát triển cho mục đích dự báo nghiệp vụ XTNĐ. Các mô hình dự báo nghiệp vụ XTNĐ trong giai đoạn này thường chú trọng cơ bản đến quỹ đạo bão. Mô hình dự báo XTNĐ đầu tiên được đưa vào nghiệp vụ là mô hình xoáy chính áp SANBAR (DeMaria, 1987). Tương tự với những mô hình nghiên cứu, các mô hình XTNĐ nghiệp vụ cũng trở nên phức tạp hơn kể từ khi mô hình SANBAR ra đời (DeMaria, 1987).

Ngoài việc có thể chạy được trên các máy tính nhỏ, thời gian tính không đáng kể, so với những mô hình tà áp phức tạp khác, với hạn dự báo 48h các mô hình chính áp vẫn cho kết quả dự báo tốt không kém, thậm chí tốt hơn. Những trường hợp mà dự báo theo mô hình chính áp cho kết quả tốt hơn thường là những trường hợp trong đó XTNĐ hình thành ở các vùng vĩ độ thấp và gió ngang môi trường ít biến động theo chiều thẳng đứng, do đó các quá trình tà áp không đóng vai trò quan trọng. Ngoài ra, XTNĐ chủ yếu hình thành và phát triển trên các vùng đại dương nhiệt đới thừa thớt số liệu, do đó việc làm tăng độ chính xác

bằng cách đưa các hiệu ứng tà áp vào mô hình có thể thực hiện được thông qua quá trình ban đầu hoá (DeMaria và nnk, 1992).

Song song với sự phát triển các mô hình XTNĐ, các mô hình dự báo toàn cầu cũng đạt được những tiến bộ nhanh chóng. Nhiều mô hình toàn cầu đã được đưa vào ứng dụng dự báo nghiệp vụ, như mô hình dự báo hạn vừa (Medium Range Forecast - MRF) của NCEP, mô hình phổ toàn cầu của hải quân Mỹ NOGAPS, mô hình UKMET, ECMWF,... Độ phân giải ngang của mô hình toàn cầu cũng không ngừng tăng lên. Và ngày nay nhiều mô hình đã có thể dự báo được XTNĐ mà không cần dùng đến hệ thống các mô hình chuyên dụng đi kèm, chẳng hạn mô hình lưới mịn di động (Moveable Fine Mesh model — MFM) ở NMC hoặc mô hình XTNĐ lưới lồng (Nested Tropical Cyclone Model — NTCM) của Hải quân Mỹ (DeMaria, 1987). Tuy vậy, các mô hình chính áp cũng không vì thế mà bị lãng quên, trái lại chúng vẫn được tiếp tục nghiên cứu và phát triển.

Mô hình SANBAR được ứng dụng nghiệp vụ ở NHC (National Hurricane Center) cho đến năm 1989. Tiếp đó là mô hình VICBAR (Vic Ooyama Barotropic model) được đưa vào nghiệp vụ dự báo bão cho vùng biển Bắc Đại tây dương (DeMaria và nnk, 1992). VICBAR là hệ thống phân tích và dự báo chính áp nhiều lưới dựa trên cơ sở áp dụng kỹ thuật phổ biểu diễn sai phân hữu hạn (Spectral application of finite-element representation — SAFER) và được ứng dụng dự báo nghiệp vụ trong những năm 1989-92 (Aberson và DeMaria, 1994). LBAR (Limited area sine transform BARotropic) là mô hình chính áp hai chiều dự báo quỹ đạo dựa trên việc giải hệ phương trình nước nông. Điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho mô hình là các trường gió và độ cao trung bình thẳng đứng (Deep Layer Mean - DLM) từ 850-200 hPa của mô hình toàn cầu MRF. Mô hình LBAR dựa trên cơ sở VICBAR và được phát triển như là một phiên bản nghiệp vụ đầy đủ của VICBAR, nhưng đã sử dụng phương pháp giải số khác đơn giản hơn (khai triển chuỗi sin điều hoà thay cho B-splines bậc ba). Mặc dù đã được đơn giản hoá, chất lượng dự báo quỹ đạo của LBAR cũng có thể sánh ngang với VICBAR, thậm chí tốt hơn. Cũng trên cơ sở ý tưởng của VICBAR, Weber (2001) đã phát triển mô hình này thành phiên bản mới là WBAR. WBAR đã được chạy kiểm nghiệm trên 167 trường hợp bão cho mùa bão Đại tây dương năm 1996. Chi tiết về mô hình này và khả năng ứng dụng để dự báo quỹ đạo bão cho vùng Tây Bắc Thái bình dương và Biển Đông sẽ được đề cập trong bài này.

## 2. Hệ phương trình cơ bản và các điều kiện ban đầu, điều kiện biên

### 2.1 Hệ phương trình cơ bản

Mô hình dự báo quỹ đạo WBAR dựa trên cơ sở giải hệ phương trình nước nông viết trong hệ toạ độ địa lý sau đây:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \eta V - \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial E}{\partial \lambda} \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\eta U - \frac{1}{a} \frac{\partial E}{\partial \varphi} \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{a \cos \varphi} \left[ \frac{\partial}{\partial \lambda} (hU) + \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} (hV) - hV \sin \varphi \right] \quad (2.3)$$

trong đó  $t$  là thời gian;  $h$  là độ cao địa thế vị;  $a$  là bán kính trái đất;  $U, V$  tương ứng là các thành phần vĩ hướng và kinh hướng của vectơ vận tốc gió;  $\varphi, \lambda$  tương ứng là vĩ độ và kinh độ địa lý (đo bằng radian);  $E$  là tổng năng lượng và  $\eta$  là xoáy tuyệt đối, được xác định bởi:

$$E = gh + \frac{1}{2}(U^2 + V^2) \quad (2.4)$$

$$\eta = \frac{1}{a \cos \varphi} \left[ \frac{\partial V}{\partial \lambda} + \cos \varphi \frac{\partial U}{\partial \varphi} + U \sin \varphi \right] + 2\Omega \sin \varphi \quad (2.5)$$

với  $\Omega$  là tần số quay của trái đất và  $g$  là gia tốc trọng trường. Tất cả các phương trình trên được rời rạc hoá bằng phương pháp sai phân hữu hạn với độ chính xác bậc hai, kích thước lưới ngang  $\Delta\lambda$  và  $\Delta\varphi$  bằng  $0.50^\circ$ . Việc tích phân hệ phương trình trên được thực hiện khi sử dụng các trường phân tích tại thời điểm  $t_0$  và  $t_0-12h$  và các trường dự báo tại  $t_0+12, t_0+24, \dots, t_0+72h$  của mô hình toàn cầu. Trong quá trình tích phân thời gian, trường độ cao địa thế vị được tính thông qua phương trình phân kỳ phi tuyến không có thành phần xu thế. Trong hệ toạ độ địa lý phương trình này có dạng:

$$\begin{aligned} ga^2 \cos^2 \varphi \nabla^2 h = & -U \frac{\partial^2 U}{\partial \lambda^2} - V \cos^2 \varphi \frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} - \cos \varphi \left[ V \frac{\partial^2 U}{\partial \lambda \partial \varphi} + U \frac{\partial^2 V}{\partial \lambda \partial \varphi} \right] - \\ & - \frac{\partial U}{\partial \lambda} \left[ \frac{\partial U}{\partial \lambda} - V \sin \varphi \right] - \frac{\partial V}{\partial \lambda} \left[ 2 \cos \varphi \frac{\partial U}{\partial \varphi} - U \sin \varphi - f a \cos \varphi \right] - \\ & - \cos \varphi \frac{\partial U}{\partial \varphi} [2U \sin \varphi + f a \cos \varphi] - \cos \varphi \frac{\partial V}{\partial \varphi} \left[ \cos \varphi \frac{\partial V}{\partial \varphi} - V \sin \varphi \right] - \\ & - aU \cos \varphi \left[ \frac{U \cos \varphi}{a} - f \sin \varphi + \cos \varphi \frac{\partial f}{\partial \varphi} \right] \end{aligned} \quad (2.6)$$

trong đó  $f = 2\Omega \sin \varphi$ .

## 2.2 Ban đầu hoá

Ban đầu hoá là quá trình phân tích xác định lại các thành phần gió của trường phân tích và dự báo toàn cầu, xây dựng xoáy nhân tạo trên cơ sở những thông tin bổ sung từ tập số liệu chỉ thị bão (TC-Advisories), loại bỏ xoáy có cường độ yếu, sai lệch vị trí trong trường phân tích và thay vào đó một xoáy nhân tạo (xoáy nhân tạo chỉ được cài vào các trường phân tích) (Weber, 2001).

Đối với các trường phân tích toàn cầu, thủ tục ban đầu hoá bao gồm các bước sau. Trước hết trường ban đầu  $F$  được làm tròn 4 điểm trên một miền hình vuông có tâm đặt tại tâm xoáy và có kích thước tương đương với kích thước xoáy (miền M4 trên hình 2). Trường làm tròn  $F^*$  nhận được sẽ được dùng làm phỏng đoán đầu tiên cho quá trình lọc Fourier trên một miền hình vuông thứ hai có cùng tâm với miền hình vuông trước và có kích thước tương đương với qui mô synôp (miền M1 trên hình 2) để tách thành phần môi trường qui mô lớn  $F^{EL}$ . Trường phân dư  $F^R = F - F^{EL}$  được tiếp tục phân tích phương vị để nhận được các trường xoáy đối xứng  $F^{VS}$  và phi đối xứng  $F^{VA}$ . Từ đó trường môi trường qui mô nhỏ được tính bởi  $F^{ES} = F^R - (F^{VS} + F^{VA})$ . Kết hợp trường môi trường qui mô lớn và trường môi trường qui mô nhỏ sẽ nhận được trường môi trường tổng cộng  $F^E = F^{EL} + F^{ES}$ . Thành phần xoáy đối xứng  $F^{VS}$  được hoà trộn với thành phần đối xứng nhân tạo (bogus)  $F^{BS}$  để nhận được trường xoáy đối xứng nhân tạo  $F^{BO}$ . Thành phần xoáy phi đối xứng nhân tạo  $F^{BA}$  được xây dựng trên cơ sở hiệu ứng xoáy sinh ra bởi sự quay của trái đất (“beta gyres” hoặc còn gọi là “absolute vorticity gyres”) (Reeder và nnk, 1991). Kết hợp các thành phần  $F^{BO}$  và  $F^{BA}$  sẽ nhận được xoáy nhân tạo. Cài xoáy nhân tạo này vào trường môi trường tổng cộng  $F^E$  ta nhận được trường ban đầu hoá  $F^0$ .

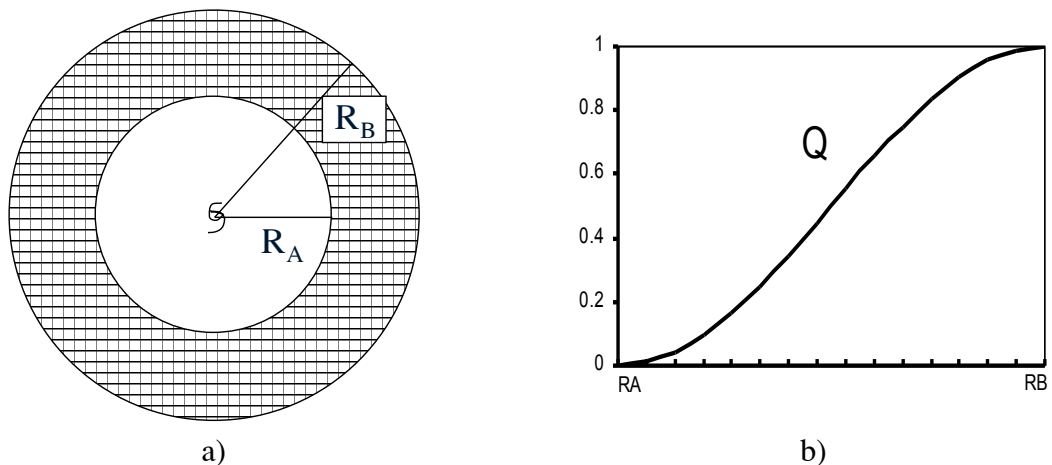
Đối với các trường dự báo toàn cầu, quá trình ban đầu hoá chỉ thực hiện việc loại bỏ xoáy, tạo ra trường môi trường tổng cộng. Các trường môi trường này được sử dụng làm điều kiện biên phụ thuộc thời gian cho quá trình tích phân hệ phương trình dự báo.

### 2.3 Điều kiện biên và tích phân thời gian

Hệ các phương trình (2.1)-(2.6) được tích phân theo thời gian trên một miền hình tròn bán kính  $R_B$  có tâm là tâm xoáy ban đầu, với bước thời gian được xác định tự động theo tiêu chuẩn CFL (Courant-Friedrich-Levy). Hai bước tích phân đầu tiên được thực hiện theo sơ đồ sai phân Euler tiến và Adams-Bashforth bậc ba, tất cả các bước tích phân tiếp theo được thực hiện theo sơ đồ Adams-Bashforth bậc ba. Sau mỗi bước thời gian tích phân, điều kiện biên được cập nhật theo các trường dự báo toàn cầu bởi công thức:

$$(U, V, h) = \begin{cases} (U, V, h)^{\text{old}} & \text{khi } r < R_A \\ (U, V, h)^{\text{old}}(1 - Q) + Q((U, V, h))^B & \text{khi } R_A \leq r \leq R_B \end{cases} \quad (2.7)$$

trong đó  $Q = 0.5(1 - \cos(\pi S))$ ,  $S = (r - R_A)/(R_B - R_A)$ ,  $r$  là khoảng cách bán kính tính từ tâm,  $R_B$  là bán kính hiệu chỉnh. Chỉ số “old” ám chỉ giá trị trường vừa tính, “B” ám chỉ trường điều kiện biên. Hình 1 dẫn ra miền cập nhật biên và hệ số hiệu chỉnh  $Q$  như là hàm của khoảng cách bán kính  $r$ .



Hình 1. Miền cập nhật biên (a) và hệ số hiệu chỉnh như là hàm của bán kính  $r$  (b)

Sau mỗi bước thời gian tích phân vị trí tâm mới dự báo được xác định lại theo cực đại hoặc cực tiểu của xoáy tương đối tùy thuộc vào xoáy nằm ở Bắc bán cầu hay Nam bán cầu. Việc tìm tâm được thực hiện bằng phương pháp Downhill (Weber và Smith, 1993). Sau từng giờ một, các trường  $U$ ,  $V$ ,  $h$  được làm tròn để loại bỏ những sóng có bước sóng ngắn hơn hai lần bước lưới tích phân.

### 3. Một số kết quả tính toán và nhận xét

Để thử nghiệm áp dụng mô hình WBAR cho khu vực Biển Đông và Tây Bắc Thái bình dương, trên cơ sở những số liệu có thể có, chúng tôi đã chọn một số cơn bão trong năm 2000 và 2001. Những thông tin về các cơn bão này được khai thác từ UNISYS.

1) Bão WUKONG: Phát báo ngày 5/9/2000. Lúc đầu là một tâm thấp trên biển Đông, sau đó mạnh lên thành bão và tiến thẳng theo hướng tây rồi đổ bộ vào khu vực Hà Tĩnh ngày 10/9/2000.

2) Bão SAOMAI: Phát báo ngày 3/9/2000. Xuất hiện ở khoảng  $15^{\circ}\text{N}$ ,  $154^{\circ}\text{E}$ . Lúc đầu di chuyển theo hướng tây nhưng sau đó đổi thành hướng tây bắc, khi đến gần bờ biển Hoa Đông thì lại đổi về gần như hướng bắc và đi qua vùng đông nam bán đảo Triều Tiên. Bão SAOMAI tan vào ngày 16/9/2000.

3) Bão JELEWAT: Vị trí xuất hiện có kinh độ gần với bão SAOMAI nhưng vĩ độ dịch về phía bắc, khoảng  $22^{\circ}\text{N}$ . Bão JELEWAT được phát báo ngày 1/8/2000, có quỹ đạo hầu như theo hướng tây tây bắc, đổ bộ vào Trung Quốc và tan vào ngày 11/8/2000.

4) Bão DURIAN: Xuất hiện trên Biển Đông, có quỹ đạo gần với hướng tây bắc, phát báo ngày 29/6/2001, đi qua bán đảo Lôi Châu (Trung Quốc) sau đó suy yếu dần và tan vào ngày 2/7/2001.

### **3.1 Số liệu và các miền tính**

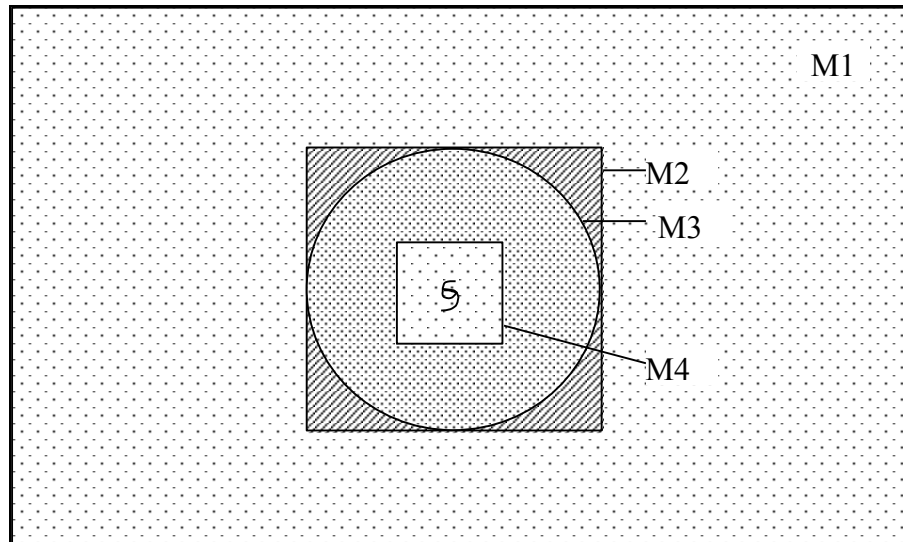
Cho mỗi lần chạy dự báo cần có:

- 8 tập số liệu gió ( $U$ ,  $V$ ) và độ cao địa thế vị ( $h$ ) phân tích và dự báo toàn cầu trên các mực 850, 700, 500, 300 và 200 mb, tại các thời điểm  $t_0$  (thời điểm tích phân phương trình dự báo),  $t_0-12\text{h}$ ,  $t_0+12$ ,  $t_0+24, \dots$ ,  $t_0+72\text{h}$ . Các tập số liệu này là sản phẩm của mô hình toàn cầu GME, được cung cấp bởi DWD. Số liệu được cho trên lưới kinh vĩ có độ phân giải  $0.75^{\circ}\times 0.75^{\circ}$ .

- 2 tập số liệu chỉ thị bão (TC-Advisories) tại các thời điểm  $t_0$  và  $t_0-12$ , bao gồm các thông tin về toạ độ tâm bão (được xác định từ số liệu thám sát hoặc từ ảnh mây vệ tinh), bán kính tốc độ gió tiếp tuyến cực đại, bán kính đường đẳng áp khép kín ngoài cùng (từ đây gọi là bán kính ảnh hưởng), tốc độ gió cực đại, hướng và tốc độ dịch chuyển.

- Tập số liệu “quỹ đạo tốt nhất” (Best-track) dùng để đối sánh với quỹ đạo dự báo, được khai thác từ UNISYS.

Các miền tính của mô hình được mô tả trên hình 2, trong đó miền M1 có kích thước từ  $30^{\circ}\text{E}$ - $180^{\circ}\text{E}$  và từ  $27^{\circ}\text{S}$  đến  $67.5^{\circ}\text{N}$ , chứa số liệu phân tích/dự báo toàn cầu; miền M2 có kích thước  $6750\text{km} \times 6750\text{km}$  là miền phân tích của mô hình; miền M3 là một hình tròn phủ vừa khít miền M2, có tâm là tâm xoáy bão, được sử dụng để phân tích phương vị; miền M4 là một hình vuông kích thước  $18^{\circ}\times 18^{\circ}$ , có tâm là tâm xoáy bão, được sử dụng trong quá trình tách trường môi trường qui mô lớn.



Hình 2. Sơ đồ mô tả các miền tính khi sử dụng sản phẩm của mô hình toàn cầu GME (M1: Lưới kinh vĩ,  $150^{\circ} \times 94.5^{\circ}$ ,  $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$ ; M2: Lưới vuông (Đêcac),  $6750 \times 6750 \text{ km}$ ,  $75 \times 75 \text{ km}$ ; M3: Lưới tròn (cực); M4: Lưới kinh vĩ,  $18^{\circ} \times 18^{\circ}$ ,  $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$ )

### 3.2 Kết quả dự báo và nhận xét

Trên cơ sở số liệu thực có đã chọn các thời điểm dự báo cho những cơn bão nói trên như sau: 1) Bão WUKONG:  $t_0=00\text{UTC } 8/9/2000$ ; 2) Bão SAOMAI:  $t_0=00\text{UTC } 8/9/2000$ ; 3) Bão JELEWAT:  $t_0=00\text{UTC } 5/8/2000$ ; 4) Bão DURIAN  $t_0=00\text{UTC } 30/6/2001$ .

Việc tính toán dự báo được thực hiện cho các trường hợp: 1) Trường độ dày trung bình lớp DLM (Deep Layer Mean) theo các mực 850, 700, 500, 300 và 200mb; 2) Trường mực đơn 700mb và 3) Trường mực đơn 500mb. Thời hạn dự báo là 72h. Quỹ đạo dự báo cho các trường hợp này được dẫn ra trên hình 3. Sai số vị trí của quỹ đạo dự báo so với “quỹ đạo tốt nhất” được dẫn ra trong bảng 1 (Sai số vị trí là khoảng cách trên bề mặt trái đất giữa toạ độ tâm bão theo “quỹ đạo tốt nhất” và toạ độ tâm bão dự báo.), trong đó cột cuối cùng là sai số vị trí của mô hình WBAR tính cho 167 trường hợp bão trên Đại tây dương năm 1996.

Từ bảng 1 có thể nhận thấy rằng, nói chung sai số vị trí của dự báo khi sử dụng trường DLM khá nhỏ so với các trường mực đơn 700 và 500 mb. Với hạn dự báo 48h, có những trường hợp dự báo theo DLM cho kết quả rất tốt, như trường hợp bão WUKONG và bão JELEWAT. Riêng bão SAOMAI, dự báo theo trường 500 mb lại cho kết quả tốt hơn so với trường DLM và trường 700mb.

Để có một cách nhìn khái quát hơn, trên hình 4 đã dẫn ra đồ thị biểu diễn sai số vị trí theo thời hạn dự báo. Qua đó cho thấy:

- Khi sử dụng trường DLM, ngoại trừ bão SAOMAI cho sai số quá lớn, tất cả các cơn bão khác đều có sai số dự báo nhỏ hơn sai số WBAR. Tính trung bình, trừ dự báo 72h, các sai số dự báo đến 60h vẫn có giá trị nhỏ hơn sai số WBAR.

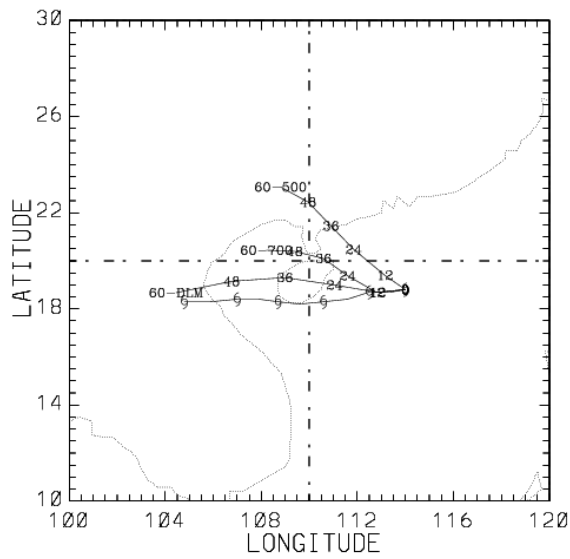
- Đối với các trường mực đơn, trừ bão WUKONG, sai số vị trí khi sử dụng trường 500mb đều nhỏ hơn so với trường 700mb. Sai số trung bình đối với trường 500mb cũng có thể so sánh ngang bằng với sai số của WBAR, trong khi trường 700mb lại cho sai số trung bình lớn hơn đáng kể.

Bảng 1. Sai số vị trí của quỹ đạo dự báo so với “quỹ đạo tốt nhất”

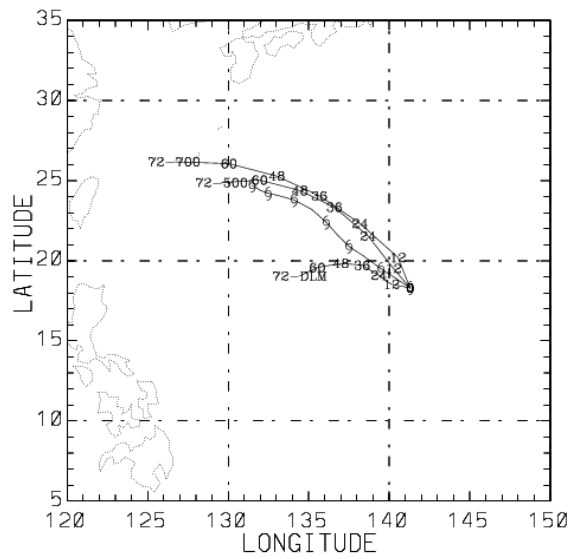
	TIME	WUKONG	SAOMAI	JELEWAT	DURIAN	Trung bình	WBAR
DLM	12	37	127	11	11	50	78
	24	91	280	2	54	112	129
	36	116	377	11	140	176	184
	48	86	534	45	137	238	235
	60	56	603	128	192	307	295
	72		699	292	163	384	360
500	12	103	81	60	33	58	
	24	275	143	132	161	145	
	36	420	117	194	292	201	
	48	545	74	235	394	234	
	60	675	108	239	466	271	
	72		193	303	407	301	
700	12	33	134	70	119	108	
	24	159	174	166	337	226	
	36	282	189	257	579	342	
	48	335	197	385	767	450	
	60	431	322	494	893	570	
	72		514	625	949	696	

Tóm lại, qua một số trường hợp thử nghiệm có thể nhận thấy:

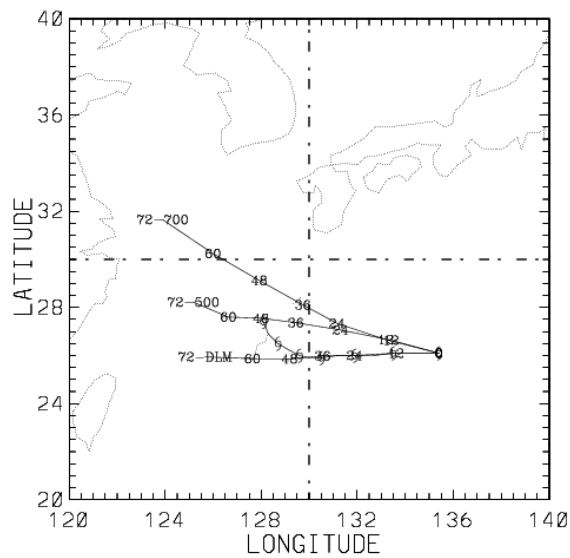
- 1) Trong đa số trường hợp, kết quả dự báo theo trường độ dày trung bình lớp (DLM) tốt hơn nhiều so với khi sử dụng trường mực đơn (500, 700mb). Tuy nhiên cũng có những trường hợp ngược lại. Với sai số vị trí của quỹ đạo dự báo tương đối nhỏ, sản phẩm dự báo của mô hình có thể được sử dụng như là một nguồn thông tin bổ sung cho các dự báo viên trong nghiệp vụ dự báo quỹ đạo bão.
- 2) Trong điều kiện hiện nay, khi mà nguồn số liệu sản phẩm phân tích và dự báo của mô hình toàn cầu GME (hoặc các mô hình khác), ảnh mây vệ tinh và các sản phẩm dự báo khác luôn sẵn có, có thể cung cấp số liệu ban đầu cũng như thông tin về chỉ thị bão (TC-Advisories) cho mô hình một cách thường xuyên và đầy đủ, có thể phát triển mô hình để đưa vào chạy dự báo thời gian thực (real-time).
- 3) Để có thể đưa mô hình vào dự báo nghiệp vụ cần phải có những nghiên cứu sâu hơn về mối quan hệ giữa các thông tin trong tập số liệu chỉ thị bão với các nguồn thông tin khác, trên cơ sở đó thiết lập được những hệ thức giải tích mang tính khách quan, nhằm xoá bỏ nhân tố chủ quan trong việc lựa chọn và tạo lập tập số liệu này. Mặt khác, cần tiến hành thử nghiệm mô hình trên nhiều trường hợp khác nhau, chẳng hạn nguồn gốc phát sinh bão, khu vực bão hoạt động (nhân tố vĩ độ địa lý), cường độ bão, dạng quỹ đạo của bão,... trên cơ sở đó xác định các tùy chọn (Options) cho mô hình một cách hợp lý.



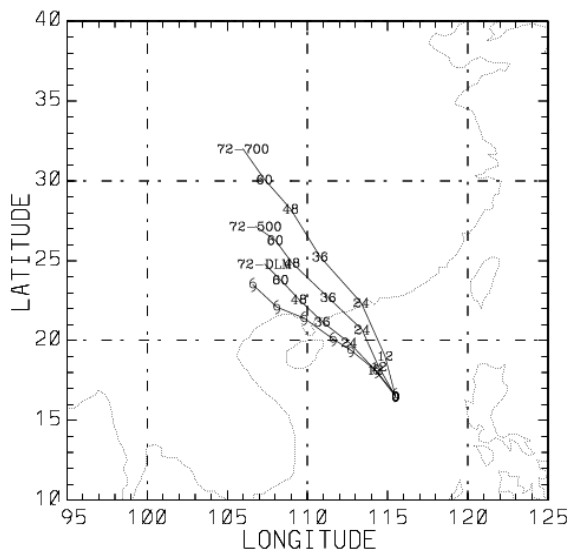
a) WUKONG



b) SAOMAI



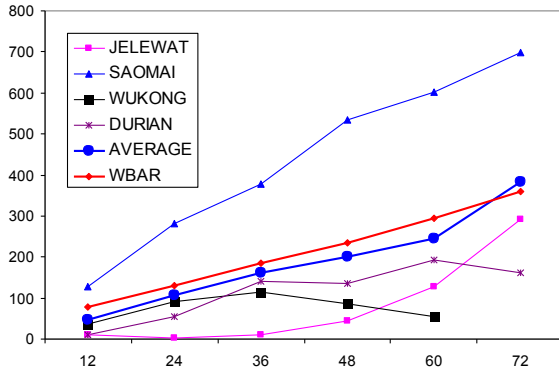
c) JELEWAT



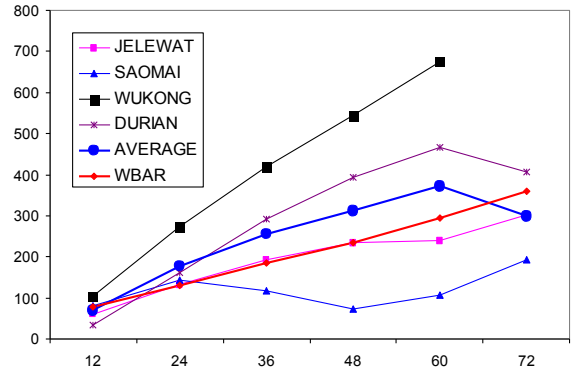
d) DURIAN

Hình 3. Quỹ đạo dự báo và “quỹ đạo tốt nhất” (Best-track). Đường có ký hiệu xoáy bão là “quỹ đạo tốt nhất”, đường có ký hiệu bằng số là quỹ đạo dự báo tính theo trường độ dày trung bình lớp (DLM), trường 500 mb (500) và trường 700 mb (700). Các điểm có ký hiệu ứng với vị trí tâm bão.

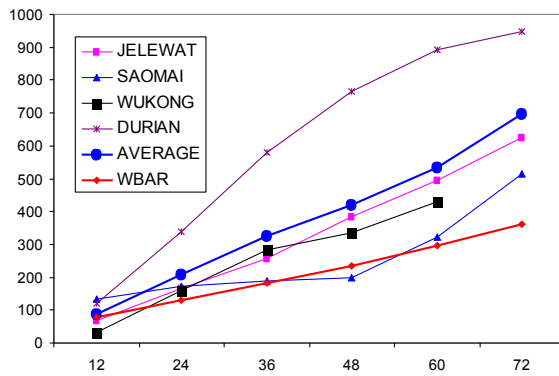




a) Sử dụng trường DLM



b) Sử dụng trường 500mb



c) Sử dụng trường 700mb

Hình 4. Đồ thị biểu diễn sai số vị trí của dự báo theo thời gian. Trục tung là giá trị sai số (km), trục hoành là thời hạn dự báo (giờ). Đường AVERAGE là lấy trung bình các sai số dự báo. Đường WBAR là sai số vị trí của mô hình WBAR tính cho 167 trường hợp bão năm 1996 của Đại tây dương.

## Tài liệu tham khảo

1. Aberson S. D., and DeMaria M., 1994: Verification of a nested barotropic hurricane track forecast model (VICBAR). *Mon. Wea. Rev.*, 122, 2804-2815.
2. Davidson, N. E., and H. C. Weber, 2000: The BMRC high-resolution tropical cyclone prediction system: TC-LAPS. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1245-1265.
3. DeMaria M., 1985: Tropical Cyclone Motion in a Nondivergent Barotropic Model. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1199-1210.
4. DeMaria M., 1987: Tropical cyclone track prediction with a barotropic spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 2346-2357.
5. DeMaria M., Aberson S. D., and Ooyama K. V., 1992: A nest spectral model for hurricane track forecasting. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 1628-1643.
6. Holland G. J., 1983: Tropical cyclone motion: Environmental Interaction plus a Bete effect. *J. Atmos. Sci.*, 40, 328-341.
7. Kurihara Y., Bender M. A., and Ross R. J., 1993: An initialization scheme of hurricane model by vortex specification. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2030-2045.
8. Peng M. S., and Williams R. T., 1990: Dynamics of vortex asymmetries and their influence on vortex motion on a  $\beta$ -plane. *J. Atmos. Sci.*, 47, 1987-2003.
9. Reeder M. J., Smith R. K., and Lord S. J., 1991: The detection of flow asymmetries in the tropical cyclone environment. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 848-854.
10. Smith, R. K., and W. Ulrich, 1990: An analytical theory of tropical cyclone motion using a barotropic model. *J. Atmos. Sci.*, 47, 1973-1986.
11. Weber, H. C., 2001: Hurricane track prediction with a new barotropic model. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 1834-1858.
12. Weber, H. C., and R. K. Smith, 1995: Data sparsity and the tropical cyclone analysis and prediction problem: some simulation experiments with a barotropic model. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 121, 631-654.