

NGHIÊN CỨU THỬ NGHIỆM MÔ HÌNH WRF DỰ BÁO QUỶ ĐẠO BÃO TRÊN KHU VỰC BIỂN ĐÔNG

ThS. Võ Văn Hòa

Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương

Mô hình WRF đã được nghiên cứu và thử nghiệm dự báo tại Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương (TT DBKTTVTU) từ tháng 9 năm 2006. Bài báo này sẽ trình bày một số kết quả nghiên cứu ứng dụng mô hình WRF dự báo quỳ đạo bão với nguồn động lực ARW cho 58 trường hợp nghiên cứu của 8 cơn bão hoạt động trên Biển Đông năm 2006. Các kết quả đánh giá sai số và so sánh với sai số dự báo của mô hình thống kê CLIPER đã cho thấy phiên bản nghiên cứu của WRF có kỹ năng dự báo tốt, đặc biệt là trong trường hợp các cơn bão có quỳ đạo cong và phức tạp. Ngoài ra, một xu thế sai số cũng được tìm thấy trong các dự báo của WRF đó là thường dự báo sự chuyển động nhanh hơn và lệch về phía trái so với hướng chuyển động thực.

1. Mở đầu

Hơn 10 năm trở lại đây, những hiểu biết mới về khoa học khí quyển đã tạo ra những thay đổi lớn trong động lực và vật lý của các mô hình dự báo số trị cả về quy mô thời gian và không gian. Bên cạnh đó, việc bổ sung các nguồn thông tin thám sát phi truyền thống thu nhận được từ các thiết bị quan trắc hiện đại như radar, ảnh mây vệ tinh, ... trong các sơ đồ đồng hóa số liệu không những tăng cường mạng lưới quan trắc mà còn nâng cao chất lượng của các trường ban đầu cho các mô hình số trị. Hai cải tiến quan trọng trong cấu trúc mô hình và trường số liệu đầu vào này cùng với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học máy tính ngày nay đã cho phép các mô hình dự báo thời tiết toàn cầu hạ quy mô dự báo từ vài trăm kilômét trong những năm trước đây xuống còn vài chục kilômét, hay thậm chí là vài kilômét. Với độ phân giải ngang tinh này, rất nhiều hiện tượng khí quyển trước đây không thể được nắm bắt trong các trường phân tích và dự báo toàn cầu thì nay có thể được giải một cách hiển (explicit) với độ chính xác cao. Chính những thay đổi lớn trong các mô hình dự báo toàn cầu này

buộc các mô hình dự báo thời tiết số trị khu vực phải có những thay đổi thích hợp để có thể sử dụng được với các trường phân tích và dự báo độ phân giải cao của các mô hình toàn cầu. Với độ phân giải ngang tinh của các mô hình toàn cầu, việc sử dụng các mô hình khu vực có độ phân giải ngang thô hơn là không cần thiết, hoặc nếu có sử dụng thì phải hạ độ phân giải ngang xuống nhỏ hơn so với độ phân giải ngang của mô hình toàn cầu. Tuy nhiên, mỗi mô hình dự báo số trị lãnh thổ hạn chế với các đặc trưng động lực và vật lý nhất định chỉ có thể giải được các quá trình khí tượng ở một giới hạn không gian ngang nhất định nào đó, bên dưới giới hạn này, nhiệt động lực học của mô hình cần phải có những thay đổi cho phù hợp. Cụ thể, các mô hình thủy tĩnh chỉ có thể mô phỏng được các hiện tượng khí tượng có quy mô ngang trên 7km. Để có thể mô phỏng các hiện tượng có quy mô ngang dưới 7km, thì các mô hình bất thủy tĩnh phải được sử dụng.

Hệ thống nghiên cứu và dự báo thời tiết WRF (Weather Research and Forecast System, gọi tắt là WRF) là kết quả của sự hợp tác nghiên cứu của một số trung tâm nghiên

Người phản biện: ThS. Đỗ Lê Thủy

cửu của Mỹ như Phòng khí tượng quy mô nhỏ và vừa MMM (Mesoscale and Microscale Meteorology Division) thuộc Trung tâm nghiên cứu khí quyển quốc gia NCAR (National Center for Atmospheric Research), trung tâm dự báo môi trường quốc gia NCEP, Cơ quan khí tượng không lực Hoa kỳ AFWA (US Air Force Weather Agency), Trung tâm phân tích và dự báo bão CAPS (Center for the Analysis and Prediction of Storms) và các trung tâm khí tượng quốc tế như Học viện khoa học khí tượng của Trung quốc CAMS (Chinese Academy of Meteorological Sciences), Cơ quan thời tiết trung ương của Đài Loan, Cơ quan khí tượng Hàn Quốc KMA (Korea Meteorological Administration),

Ngoài những thành viên sáng lập chính của WRF nêu trên, còn có rất nhiều các học viện, trường đại học và nhà nghiên cứu khí tượng tại Mỹ và trên toàn thế giới tham gia vào dự án phát triển mô hình WRF. Theo thống kê gần đây (cho đến ngày 13/09/2006) [16] thì đã có 4211 cơ quan và cá nhân đăng ký làm thành viên và sử dụng mô hình WRF trong nghiên cứu cũng như chạy nghiệp vụ. Cụ thể, tại Mỹ mô hình WRF đang được chạy nghiệp vụ tại NCEP (từ năm 2004) và AFWA (từ tháng 7 năm 2006). Trên thế giới, mô hình WRF được chạy nghiệp vụ tại KMA (từ năm 2006), tại Ấn Độ, Israel và Đài Loan (từ năm 2007). Ngoài ra, một số nước khác có dự định sử dụng mô hình WRF trong dự báo nghiệp vụ phải kể đến như Trung Quốc, New Zealand và Brazil. Một cách khái quát, mô hình WRF là một hệ thống mô hình hóa hết sức hiện đại, linh hoạt và tối ưu cho cả mục đích nghiên cứu cũng như chạy nghiệp vụ. Đặc biệt, mô hình WRF thường xuyên được cập nhật các phiên bản mới cũng như sửa chữa các lỗi xảy ra trong quá trình cài đặt và chạy mô hình. Trong mô hình WRF, rất nhiều lựa chọn nguồn động lực phi thủy tinh và các sơ đồ tham số hóa vật lý được tích hợp. Một đặc điểm quan trọng khác của mô hình WRF cần phải nói đến là khả năng mô phỏng được

quá trình khí quyển có quy mô từ vài mét cho đến hàng chục kilômét. Ngoài việc ứng dụng để dự báo thời tiết, mô hình WRF còn có thể được ứng dụng trong các nghiên cứu khí hậu, dự báo chất lượng không khí, mô phỏng lý tưởng hóa các hiện tượng, lồng ghép với dự báo sóng và nghiên cứu hóa học khí quyển. Hơn nữa, WRF là một trong rất ít mô hình dự báo số trị trên thế giới có hỗ trợ cả hệ thống đồng hóa số liệu cũng như các công cụ hiển thị và đánh giá kết quả. Bên cạnh đó, sự tối ưu hóa trong mã nguồn tính toán của WRF cho phép người sử dụng có thể chạy WRF trên rất nhiều loại máy tính với các hệ điều hành khác nhau cũng như các máy tính bó song song sử dụng bộ nhớ chia sẻ OpenMP hay bộ nhớ phân tán MPI.

Tại Việt Nam, mô hình số phân giải cao thủy tinh HRM [5,7] bắt đầu chạy nghiệp vụ để dự báo thời tiết và mô hình chính áp WBAR dự báo quỹ đạo bão từ năm 2002 tại TT DBK-TT VTU. Bên cạnh đó, một số mô hình tà áp khác cũng đã và đang được nghiên cứu cho bài toán dự báo thời tiết tại TT DBKTTVTU như mô hình ETA [3]. Trong dự báo thời tiết nghiệp vụ, đã có rất nhiều công trình nghiên cứu nâng cao chất lượng dự báo của mô hình HRM [2,6,8,9,10] và đem lại nhiều kết quả hết sức khả quan. Cho đến nay HRM vẫn là mô hình số trị thủy tinh duy nhất được chạy nghiệp vụ tại TT DBKTTVTU. Đối với công tác dự báo bão, một số kết quả nghiên cứu như lựa chọn tối ưu các sơ đồ cài xoáy, trường dòng dẫn hay ứng dụng dự báo tổ hợp đã cho thấy sự cải tiến chất lượng dự báo quỹ đạo bão [11], [12], [13], [14]. Tuy nhiên, chất lượng dự báo quỹ đạo bão của các mô hình chính áp đôi khi vẫn chưa đáp ứng được dự báo nghiệp vụ như trong trường hợp các cơn bão có quỹ đạo cong và phức tạp. Ngoài ra, một hạn chế khác của các mô hình chính áp nói chung là không có khả năng dự báo được cường độ bão. Từ tháng 9 năm 2006, mô hình WRF đã được nghiên cứu và chạy thử nghiệm tại Phòng Nghiên cứu ứng dụng, TT DBKTTVTU. Ngoài ra, cũng đã có

một số công trình nghiên cứu ứng dụng WRF dự báo thời tiết cho khu vực Việt Nam [1,4]. Bài báo này sẽ trình bày một số kết quả nghiên cứu thử nghiệm mô hình WRF dự báo quỹ đạo bão cho 58 trường hợp của 8 cơn bão hoạt động trên Biển Đông năm 2006. Các kết quả đánh giá chất lượng dự báo quỹ đạo bão dựa trên mô hình WRF đã cho thấy những tín hiệu khả quan trong việc ứng dụng mô hình WRF vào dự báo nghiệp vụ.

2. Cấu hình mô hình WRF và mô tả tập số liệu nghiên cứu

a. Cấu hình mô hình WRF sử dụng trong nghiên cứu

Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng mô hình WRF và chương trình ban đầu hóa chuẩn SI phiên bản 2.1.2. Do khuôn khổ hạn hẹp của bài báo, chúng tôi không trình bày chi tiết về cấu trúc mô hình WRF, nhiệt động lực học, tham số hóa vật lý và các phương pháp số sử dụng trong WRF, bạn đọc có thể tham khảo trong [17]. Một số đặc tính chính của hệ thống WRF được sử dụng trong nghiên cứu này như sau:

- Nguồn động lực: ARW
- Tham số hóa đối lưu: sơ đồ Kain-Fristch
- Tham số hóa vi vật lý mây: sơ đồ Lin.
- Tham số hóa bức xạ: sơ đồ RRTM cho bức xạ sóng dài và Dudhia cho bức xạ sóng ngắn.
- Tham số hóa lớp biên: sơ đồ YSU
- Tham số hóa bề mặt: sơ đồ Monin-Obukhov.
- Sơ đồ tích phân theo thời gian: Runge-Kutta bậc 3.
- Hệ tọa độ thẳng đứng: hệ tọa độ áp suất thủy tĩnh theo địa hình 7.
- Điều kiện biên: điều kiện chỉ định (xem hình 2). Điều kiện biên này được biết đến như là điều kiện biên giảm dư (relaxation hoặc nudging). Trong mô hình ARW, điều kiện biên

chỉ định được sử dụng cho lưới thô ngoài cùng hoặc cho các biên phụ thuộc thời gian trong trường hợp lưới lồng. Trong trường hợp lưới thô ngoài cùng, vùng chỉ định (specified zone) được xác định hoàn toàn bởi nội suy thời gian từ các trường phân tích hoặc dự báo bên ngoài. Độ rộng của vùng này có thể được đặt tùy chọn và thường có giá trị là 1. Vùng thứ hai được gọi là vùng giảm dư (relaxation zone). Trong vùng này, giá trị của mô hình sẽ được điều chỉnh về phía giá trị dự báo quy mô lớn.

- Sai phân ngang: sử dụng lưới xen kẽ Arakawa-C

b. Mô tả miền tính toán

Để có thể nắm bắt được những cơn bão hình thành từ phía Đông của Philipin và di chuyển vào biển Đông, trong nghiên cứu này chúng tôi lựa chọn miền tính toán bao phủ miền địa lý như được thấy trong hình 3. Tâm lưới tính toán có tọa độ 17.1°N và 112.05°E với số nút lưới theo vĩ hướng và kinh hướng là 114 nút. Độ phân giải ngang được lựa chọn là 28km, số mực thẳng đứng là 31 và bước thời gian tích phân là 120 giây. Mực áp suất cao nhất (biên trên của mô hình) có giá trị là 50hPa. Phép chiếu được chọn là Mercator với tọa độ điểm thấp nhất bên góc trái miền tính toán là 2.47°N và 97.17°E . Với miền tính toán này, tất cả các trường hợp có thể có của 8 cơn bão hoạt động trên biển Đông trong năm 2006 sẽ được sử dụng trong nghiên cứu này.

c. Mô tả tập số liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng mô hình WRF để chạy thử nghiệm dự báo quỹ đạo cho 8 cơn bão hoạt động trên biển Đông trong năm 2006. Bảng 1 đưa ra một số đặc tính của 8 cơn bão và tổng số các thời điểm nghiên cứu tương ứng của từng cơn bão. Nói chung, chỉ các trường hợp mà tâm bão nằm trong phía tây của kinh độ 126°E và đi vào khu vực biển Đông mới được lựa chọn trong nghiên cứu này.

Về mặt quỹ đạo, chỉ có cơn bão Chanchu và Cimaron là có quỹ đạo phức tạp, các trường hợp còn lại có quỹ đạo thẳng hoặc cong đơn giản. Do hạn chế về tập số liệu thời gian thực của mô hình toàn cầu GFS độ phân giải ngang $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, nên trong nghiên cứu này tập số liệu trường phân tích 6 giờ một của GFS làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên cập nhập theo

thời gian cho mô hình WRF. Từ bảng 1 có thể thấy tổng số có 58 trường hợp được nghiên cứu. Các kết quả đánh giá sai số dự báo quỹ đạo bão và so sánh với sai số dự báo của mô hình quán tính khí hậu CLIPER (Climate and Persistence) cho các hạn dự báo từ +12h cho đến +72h sẽ được trình bày ở mục tiếp theo.

Bảng 1. Mô tả đặc trưng của 8 cơn bão năm 2006 và số trường hợp nghiên cứu

STT	Tên bão	ID quốc tế	Dạng quỹ đạo	Trường hợp nghiên cứu
1	Chanchu	0601	Quỹ đạo cong gãy khúc	9
2	Jelawat	0602	Quỹ đạo đơn giản	6
3	Prapiroon	0606	Quỹ đạo đơn giản	4
4	Xangsane	0615	Quỹ đạo đơn giản	7
5	Cimaron	0619	Quỹ đạo dạng thắt nút	14
6	Chebi	0620	Quỹ đạo cong gần thắt nút	4
7	Durian	0621	Quỹ đạo cong	8
8	Utor	0622	Quỹ đạo cong	6
Tổng số trường hợp nghiên cứu				58

3. Một số kết quả nghiên cứu ban đầu

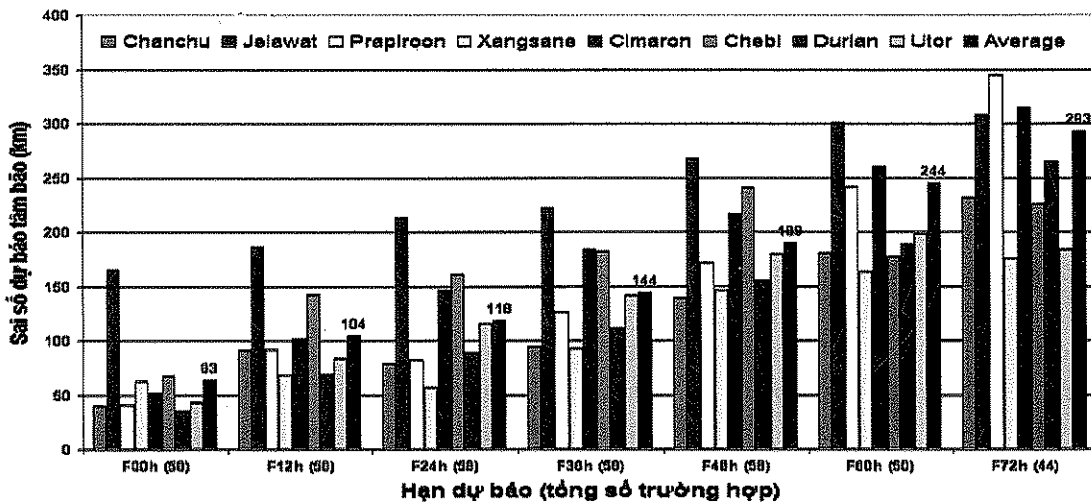
Các kết quả đánh giá sai số dự báo khoảng cách tâm bão trung bình cho các hạn dự báo từ +12h cho đến +72h cho từng cơn bão và cho toàn bộ mùa bão được trình bày trong hình 1. Trong các đồ thị sai số này, các con số bên trong ngoặc trên trục hoành chỉ tổng số trường hợp nghiên cứu cho từng hạn dự báo trên tổng số 8 cơn bão nghiên cứu và sai số dự báo trung bình (Average) của mùa bão được lấy trung bình trên tập mẫu này. Từ hình 1 có thể thấy sai số dự báo tâm bão trung bình cho toàn mùa bão là rất khả quan với sai số dự báo +24h, +48h và +72 tương ứng chỉ là 118, 189 và 293km. Sai số dự báo trung bình lớn nhất tìm thấy trong trường hợp của các cơn bão Jelawat

và Cimaron. Nguyên nhân dẫn đến sai số dự báo lớn trong trường hợp của cơn bão Jelawat là do sai số lớn trong vị trí tâm bão phân tích của trường phân tích mô hình toàn cầu GFS. Cụ thể, sai số vị trí tâm bão phân tích của bão Jelawat là 165km, trong khi đối với giá trị này đối với các cơn bão khác nói chung là nhỏ hơn 60km. Đối với cơn bão Cimaron, sai số dự báo lớn tìm thấy tại các thời điểm dự báo trước 36h và 48h so với thời điểm bắt đầu xảy ra chuyển động thắt nút. Tuy nhiên, các dự báo từ thời điểm trước 24h và tại thời điểm xảy ra chuyển động thắt nút lại cho sai số nhỏ hơn. Mặc dù không bắt được quỹ đạo thắt nút, nhưng dự báo từ WRF cũng cho thấy sự chuyển động chậm lại và luẩn quẩn xung quanh vị trí tâm phân

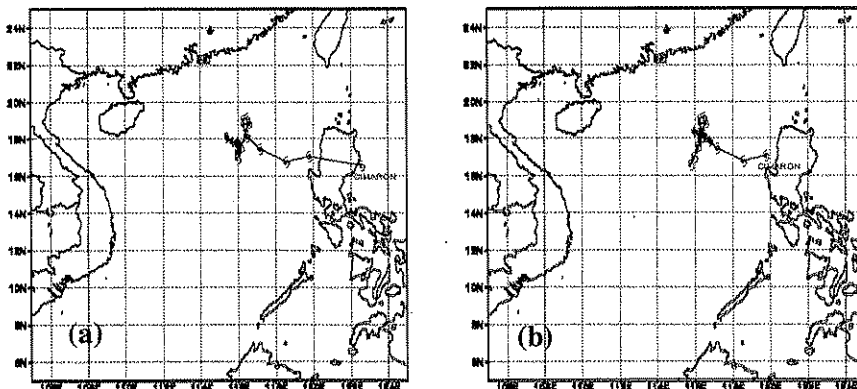
tích ban đầu (xem hình 2). Trong khi đó, tại hai thời điểm này, các sản phẩm dự báo của một số trung tâm dự báo và mô hình dự báo số hầu như không mô phỏng được chuyển động thất nút này mà phần lớn dự báo đi theo các hướng Tây, Tây Bắc hoặc Tây Nam (xem hình 3).

Từ hình 1 cũng có thể thấy, sai số dự báo khoảng cách tâm bão cho 2 cơn bão ảnh hưởng trực tiếp đến Việt Nam là khá nhỏ (sai số dự báo +24h, +48h và +72h tương ứng là 57, 146, 175km và 89, 156, 265km cho bão Xangsane và Durian). Ngoài ra, các kết quả thống kê cho thấy sai số vị trí tâm bão phân tích trung bình là 63km. Đây là một trong những nguyên nhân gây ra sai số dự báo quỹ đạo bão. Các kết quả đánh giá trong hình 1 cho thấy những cơn bão có sai số dự báo lớn thường có sai số vị trí tâm

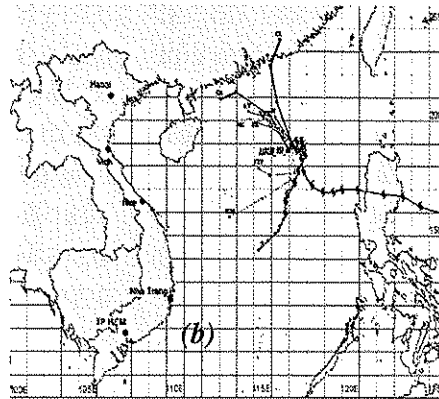
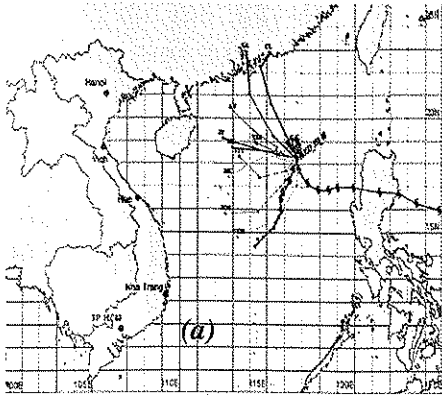
bão phân tích lớn. Do vậy, đòi hỏi phải có những biện pháp xử lý đặc biệt như là sử dụng sơ đồ cài xoáy nhân tạo hoặc tăng cường thám sát địa phương thông qua sơ đồ đồng hóa số liệu để nâng cao chất lượng của các trường đầu vào cho mô hình WRF. Hình vẽ 4 minh họa các kết quả dự báo cho tất cả các trường hợp nghiên cứu của các cơn bão Chanchu và Xangsane. Các ký hiệu bão có màu xanh ám chỉ các thời điểm được nghiên cứu và đường màu đỏ là quỹ đạo quan trắc tốt nhất (best-track). Có thể thấy, trong trường hợp cơn bão Chanchu các dự báo khá thống nhất với nhau và đều mô tả được sự chuyển hướng của cơn bão lên phía Bắc. Đối với cơn bão Xangsane, các quỹ đạo dự báo là khá sát với thực tế và thống nhất giữa các lần chạy mô hình.



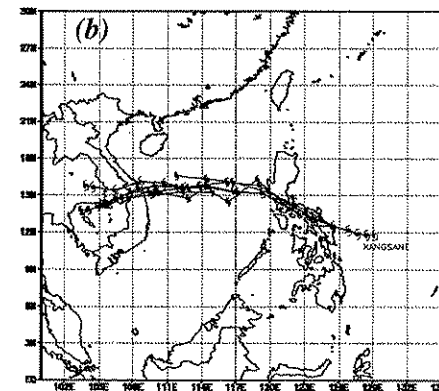
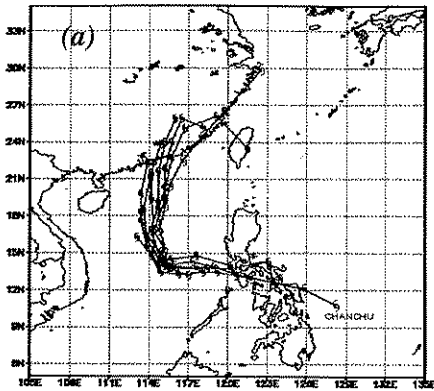
Hình 1. Sai số dự báo tâm bão trung bình của từng cơn bão nghiên cứu và của toàn bộ 8 cơn bão (Average). Các con số trong ngoặc trên trục hoành chỉ tổng số trường hợp nghiên cứu của hạn dự báo đó



Hình 2. So sánh quỹ đạo dự báo và quan trắc tại các thời điểm dự báo 12Z 31/10/2006 (a) và 00Z 01/11/2006 (b) đối với cơn bão Cimaron (0619)



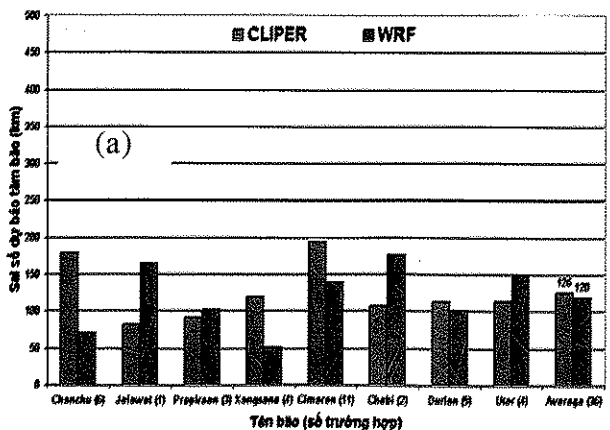
Hình 3. So sánh quỹ đạo dự báo của một số trung tâm quốc tế và mô hình số trị tại các thời điểm dự báo 12Z 31/10/2006 (a) và 00Z 01/11/2006 (b) (ký hiệu bão màu xanh) đối với cơn bão Cimaron (0619) với quỹ đạo quan trắc.

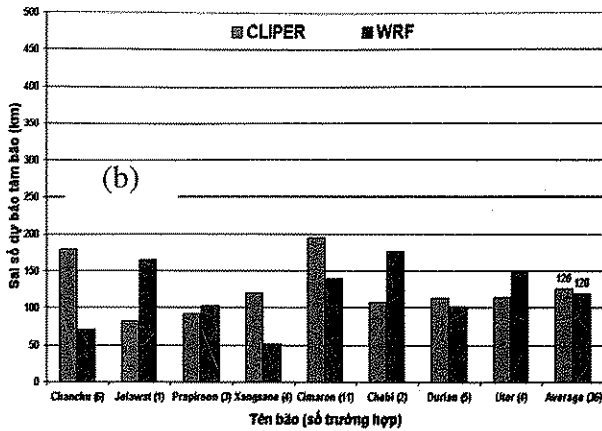


Hình 4. Các quỹ đạo dự báo (ký hiệu bão màu xanh, đường màu đen) của mô hình WRF cho cơn bão Chanchu (a), Xangsane (b) và quỹ đạo quan trắc (màu đỏ)

Các kết quả so sánh sai số dự báo vị trí tâm bão cho 8 cơn bão nghiên cứu giữa các dự báo của WRF và mô hình thống kê CLIPER được đưa ra trong hình 5. Do hạn chế về mặt số liệu sai số dự báo của mô hình CLIPER, nên chỉ có các hạn dự báo +24h và +48h được tiến hành so sánh cho tất cả các trường hợp có thể có của mô hình CLIPER. Từ hình 5 có thể thấy sai số dự báo +24h trung bình của WRF là tốt hơn một chút so với CLIPER, nhưng đối với hạn dự báo 48h thì sai số của WRF là tốt hơn nhiều (sai số dự báo 24h và 48h của WRF và CLIPER tương ứng là 126, 269km và 120, 204km). Hay nói cách khác, mô hình WRF có kỹ năng dự báo, hạn càng dài thì kỹ năng dự báo càng cao. Tuy nhiên, để có thể kết luận chắc chắn về kỹ năng dự báo của mô hình WRF cần phải có thêm nhiều nghiên cứu hơn nữa cho các cơn bão khác. Nói chung, các kết quả đánh giá sai số dự báo vị trí tâm bão của mô hình WRF đã cho thấy một tín hiệu khả quan về khả năng dự báo bão của mô hình này, đặc biệt là việc mô phỏng được các

trường hợp chuyển hướng của cơn bão (như bão Chanchu, Durian và Cimaron). Hơn nữa, các đánh giá còn cho thấy sai số hệ thống thể hiện khá rõ trong dự báo quỹ đạo của WRF (thường dự báo về phía trái so với chuyển động thực và nhanh hơn so với thực tế). Đặc trưng sai số này sẽ là một tín hiệu khả quan để áp dụng các phương pháp thống kê hiệu chỉnh sau mô hình như lọc Kalman để nâng cao chất lượng dự báo của WRF.





Hình 5. Kết quả so sánh sai số dự báo vị trí tâm bão +24h (a) và +48h (b) của mô hình WRF so với mô hình CLIPER. Con số bên trong ngoặc trên trục hoành chỉ số trường hợp được sử dụng trong so sánh

Bên cạnh các nghiên cứu đánh giá sai số dự báo quỹ đạo, chúng tôi cũng tiến hành một vài khảo sát sai số dự báo cường độ (không trình bày ở đây). Nói chung, kỹ năng dự báo cường độ bão của mô hình WRF là thấp do trường phân tích của các mô hình GFS mô phỏng xoáy phân tích thường yếu hơn nhiều so với thực tế. Do đó, các kết quả dự báo cường độ bão từ WRF cũng thường cho yếu hơn so với xoáy bão thực. Tuy nhiên, các phân tích kỹ lưỡng đã cho thấy việc mô phỏng xu thế thay đổi cường độ bão của WRF là khá phù hợp so với thực tế. Vấn đề ở đây là làm sao để cải tiến được chất lượng của trường ban đầu.

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo này đã trình bày một số kết quả ứng dụng mô hình WRF dự báo quỹ đạo bão cho khu vực Biển Đông. Các kết quả đánh giá sai số dự báo đã cho thấy triển vọng trong việc áp dụng mô hình phi thủy tĩnh WRF vào nghiệp vụ dự báo bão. Tuy nhiên, vẫn còn rất nhiều vấn đề cần phải nghiên cứu và xử lý đối với các trường số liệu đầu vào và trong mô hình WRF để nâng cao chất lượng dự báo từ mô hình này. Trên cơ sở thành công ban đầu của

nghiên cứu này cũng như một vài nghiên cứu trước đó, tác giả dự kiến đề xuất một số hướng nghiên cứu tiếp theo cho cả bài toán dự báo thời tiết và dự báo bão như sau:

a) Đối với tiền xử lý cho mô hình WRF

- Nghiên cứu ứng dụng hệ thống đồng hóa số liệu 3DVAR trong hệ thống WRF để cải tiến chất lượng số liệu đầu vào cho WRF

- Nghiên cứu ứng dụng sơ đồ cài xoáy ba chiều để khắc phục những sai số trong xoáy phân tích của mô hình toàn cầu. Trên cơ sở đó, cải tiến chất lượng dự báo bão

b) Đối với mô hình WRF

- Nghiên cứu cài đặt WRF trên hệ máy tính song song mới (sử dụng MPI) để tăng cường khả năng tính toán

- Nghiên cứu cài đặt WRF với các phiên bản lưới lồng tương tác một hoặc hai chiều để phục vụ bài toán dự báo bão hoặc hạ quy mô dự báo thời tiết.

- Khảo sát độ nhạy của dự báo bão tới các sơ đồ tham số hóa vật lý và tới sự thay đổi của nhiệt độ mặt nước biển

- Nghiên cứu chạy thử nghiệm WRF với các dạng số liệu đầu vào khác nhau như của mô hình GME, GSM, TLAPS, ECMWF,

- Đánh giá kỹ năng dự báo bão cho tất cả các cơn bão hoạt động trên biển Đông từ 2002-2005 với tập số liệu phân tích 6 giờ và các cơn bão năm 2007 với tập số liệu thời gian thực

c) Đối với xử lý sau mô hình cho WRF

- Nghiên cứu ứng dụng lọc Kalman để hiệu chỉnh các kết quả dự báo bão (quỹ đạo và cường độ) từ WRF.

- Xây dựng hệ thống dự báo tổ hợp cho mô hình WRF dựa trên các phương pháp cấy nhiễu LAF, SLAF, nhiễu động mô hình và đánh giá kết quả cho dự báo bão và thời tiết.

Tài liệu tham khảo

1. Chu Thị Thu Hương. Nghiên cứu thử nghiệm dự báo mưa thời hạn từ 1 đến 3 ngày cho khu vực Trung bộ Việt Nam bằng mô hình WRF. *Tạp chí KTTV số 550, tr 34-42, 10/2006*
2. Đỗ Lệ Thủy và ctv. Nghiên cứu nâng cao chất lượng dự báo bằng mô hình HRM và ứng dụng vào dự báo thời tiết nghiệp vụ. *Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ, 210 tr, 12/2006.*
3. Đỗ Ngọc Thắng. Thử nghiệm biến đổi, cải tiến sơ đồ tham số hóa đối lưu Kain-Fristch trong mô hình ETA. *Tạp chí KTTV số 530, tr 28-37, 2/2005.*
4. Đỗ Huy Dương. Bước đầu nghiên cứu và thử nghiệm mô hình WRF để dự báo thời tiết hạn vừa ở Việt Nam. *Tạp chí KTTV, số 528, tr 13-21, 12/2004.*
5. Kiều Thị Xin, Lê Công Thành, Phan Văn Tân, Đỗ Lệ Thủy. 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 KTTV, số 488, tr 36-44, 8/2001.*
6. Kiều Thị Xin và ctv. Nghiên cứu dự báo mưa lớn bằng công nghệ hiện đại, phòng chống lụt bão, giảm nhẹ thiên tai. *Báo cáo đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước, 317 tr, 2005.*
7. Lê Công Thành và ctv. Xây dựng hệ thống nghiệp vụ HRM trên hệ máy tính song song hiệu năng cao. *Báo cáo dự án ứng dụng tiến bộ kỹ thuật cấp Bộ, 146 tr, 2003*
8. Lê Đức, Đỗ Lệ Thủy, Nguyễn Thị Anh Đào, Võ Văn Hòa. Ban đầu hóa bằng lọc số trong các mô hình khí tượng. *Tạp chí KTTV, số 542, tr 1-13, 2/2006.*
9. Lê Đức, Đỗ Lệ Thủy, Lương Hồng Trung. Xây dựng trường ẩm cho mô hình HRM từ số liệu vệ tinh địa tĩnh dựa trên phương pháp biến phân 3 chiều (3D-Var), Phần I. Cơ sở khoa học và phương pháp thực hiện. *Tạp chí KTTV, số 555, tr 22-32, 3/2007*
10. Lê Đức, Đỗ Lệ Thủy, Lương Hồng Trung. Xây dựng trường ẩm cho mô hình HRM từ số liệu vệ tinh địa tĩnh dựa trên phương pháp biến phân 3 chiều (3D-Var), Phần II. Một số kết quả tính toán. *Tạp chí KTTV (dự kiến số 557, 5/2007).*
11. Võ Văn Hòa. Lựa chọn profin gió tiếp tuyến đối xứng giả tối ưu cho mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão WBAR. *Tạp chí KTTV số 535, tr 28-35, 7/2005.*
12. Võ Văn Hòa. Lựa chọn mực dòng dẫn tối ưu cho mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão WBAR. *Tạp chí KTTV số 536, tr 6-19, 8/2005.*
13. Võ Văn Hòa. Dự báo quỹ đạo xoáy thuận nhiệt đới dựa trên dự báo tổ hợp hàng nghìn thành phần. *Tạp chí KTTV số 547, tr 7-18, 7/2006.*
14. Võ Văn Hòa, Đỗ Lệ Thủy, Nguyễn Chi Mai. Các phương pháp tạo nhiễu động trong dự báo tổ hợp quỹ đạo xoáy thuận nhiệt đới. Phần II: Một số kết quả nghiên cứu. *Tạp chí KTTV số 543, tr 21-31, 3/2006.*
15. Võ Văn Hòa. Khảo sát độ nhạy của các sơ đồ tham số hóa đối lưu trong mô hình WRF tới kết quả dự báo bão. *Báo cáo kết quả hợp tác nghiên cứu giữa Học viện nghiên cứu khí tượng METRI của Hàn Quốc và Trung tâm KTTV Quốc gia. 8/2006.*
16. Joe Klemp, 2006: *The Advanced Research WRF (ARW): Overview and Status.*
17. William C. Skamarock, etc, 2005: *A description of the advanced research WRF version 2.*