

BAN ĐẦU HÓA XOÁY BA CHIỀU CHO MÔ HÌNH MM5 VÀ ỨNG DỤNG TRONG DỰ BÁO QUỶ ĐẠO BÃO

Phan Văn Tân, Bùi Hoàng Hải
Đại học Quốc gia Hà Nội

1. Mở đầu

Ban đầu hóa xoáy và ứng dụng trong dự báo bão hiện vẫn đang là một trong những lớp bài toán được nhiều nhà khí tượng quan tâm [4]. Cho đến nay đã có nhiều công trình đề cập đến vấn đề này trên nhiều phương diện khác nhau. Chung qui lại, tất cả đều hướng đến mục đích nâng cao chất lượng dự báo quĩ đạo và cường độ bão. Trong những năm gần đây, bên cạnh việc phát triển các mô hình số, người ta đang cố gắng nghiên cứu các phương pháp ban đầu hóa xoáy nhằm nâng cao độ chính xác của trường ban đầu, khắc phục sự thiếu hụt số liệu quan trắc trên biển, nơi bão hoạt động, và sự hạn chế về độ phân giải của các mô hình toàn cầu [1,2,3,4,13]. Ngoài các sơ đồ ban đầu hóa xoáy hai chiều áp dụng cho các mô hình chính áp dự báo quĩ đạo bão [2,3,4,12], việc xây dựng và phát triển các sơ đồ phân tích xoáy ba chiều đầy đủ đã và đang được nghiên cứu áp dụng cho các mô hình dự báo phức tạp hơn [1,11].

Một trong những sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều khá đầy đủ là sơ đồ áp dụng cho mô hình TC–LAPS [1, 6]. Sơ đồ này sử dụng kỹ thuật phân tích xoáy cho các trường gió, nhiệt, ẩm, áp suất bề mặt và độ cao địa thế vị trên các mực đẳng áp chuẩn (từ đây sẽ gọi là sơ đồ *tcbogus*). Xoáy nhân tạo (synthetic vortex) được xây dựng trên cơ sở kết hợp hai thành phần: thành phần xoáy đối xứng giả (bogus) và thành phần xoáy đối xứng phân tích (analysis). Quá trình ban đầu hóa xoáy được thực hiện trên trường phân tích toàn cầu, do đó độ phân giải phụ thuộc vào độ phân giải của tập số liệu toàn cầu. Một sơ đồ ban đầu hóa xoáy khác tương đối đơn giản được phát triển cho mô hình MM5 [5] (từ đây sẽ gọi là sơ đồ *mmbogus*), trong đó việc loại bỏ xoáy ban đầu trên trường phân tích được thực hiện bằng cách giải các phương trình liên hệ để tính các trường hàm dòng, địa thế vị và thế vận tốc tương ứng từ các trường độ xoáy, xoáy địa chuyển và phân kỳ của trường ban đầu. Xoáy nhân tạo được xây dựng là một xoáy đối xứng trục với bán kính gió cực đại xác định trước, trường khối lượng ở trạng thái cân bằng phi tuyến với trường gió.

Một hướng tiếp cận khác áp dụng trong ban đầu hóa xoáy là sử dụng phương pháp đồng hóa số liệu biến phân 4 chiều (4DVAR) [10]. Kỹ thuật này bao gồm hai bước: Trước hết, một xoáy giả (bogus) được tạo ra đối với trường gió và áp suất mực biển, sau đó sử dụng kỹ thuật 4DVAR để hòa hợp số liệu. Ngoài ra, trong nghiên cứu ứng dụng mô hình MM5 [8] để dự báo bão, H. Joe Kwon, S.-H. Won, M.-H. Ahn, A.-S. Suh, H.-S. Chung [11] đã áp dụng thuật toán tạo xoáy giả của GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) với một số sửa đổi khi sử dụng kỹ thuật đồng hóa số liệu bốn chiều (FDDA).

Trong bài này chúng tôi sẽ trình bày một kỹ thuật cài xoáy nhân tạo mới (phiên bản sửa đổi của *tcbogus*, từ đây sẽ gọi là *tcbogus_new*) và kết quả thử nghiệm áp dụng hai sơ đồ *tcbogus* và *tcbogus_new* cho mô hình MM5 để dự báo quĩ đạo bão.

2. Sơ đồ tcbogus_new

Trong phương pháp ban đầu hóa xoáy *tcbogus* [1], xoáy nhân tạo sau khi xây dựng được xác định bởi tập số liệu giả (bogus data) phân bố trên các mặt đẳng áp trong hệ lưới tọa độ cực (phân bố theo bán kính và góc phương vị) của các thành phần đối xứng và phi đối xứng:

$$f_{synthetic}(r, \varphi, p) = f_0(r, p) + f_{1cos}(r, p)\cos(\varphi) + f_{1sin}(r, p)\sin(\varphi) \quad (1)$$

trong đó f là một trường nào đó (áp suất mực biển, độ cao địa thế vị, nhiệt độ, các thành phần gió, độ ẩm tương đối), φ là góc phương vị, r là bán kính, p là mực đẳng áp đang xét, f_0 là thành phần đối xứng (sóng số 0), f_{1cos} và f_{1sin} là các thành phần phi đối xứng (sóng số 1).

Từ tập số liệu này, việc cài xoáy nhân tạo được thực hiện thông qua việc nội suy các thành phần của nó về lưới kinh vĩ của trường phân tích toàn cầu rồi gộp với trường môi trường để tạo trường ban đầu cho mô hình dự báo. Tùy theo độ phân giải của trường toàn cầu, quá trình nội suy này có thể làm cho xoáy nhân tạo trong trường ban đầu hóa bị biến dạng, không còn giữ được nguyên vẹn cấu trúc, cường độ và vị trí của nó. Để khắc phục điều đó, chúng tôi đã thực hiện một phương pháp cài xoáy mới, gọi là *tcbogus_new*, có thể xem như một phiên bản cải tiến của sơ đồ *tcbogus*. Có thể tóm lược phương pháp này như sau.

Sau khi xoáy nhân tạo đã được xây dựng, thay vì nội suy các thành phần của nó về lưới toàn cầu, thông tin về chúng (bao gồm các thành phần đối xứng, f_0 , và phi đối xứng, f_{1cos} , f_{1sin}) được lưu trữ vào một file riêng biệt, gọi là trường xoáy nhân tạo, tồn tại độc lập với trường môi trường toàn cầu. Trước khi thực hiện việc tích phân dự báo, trường ban đầu sẽ được tạo ra bằng cách nội suy các trường môi trường toàn cầu và trường xoáy nhân tạo về lưới của mô hình dự báo. Phụ thuộc vào từng mô hình cụ thể, hệ lưới này có thể là lưới kinh vĩ hoặc lưới Đêcac, độ phân giải lưới cũng có thể có độ mịn khác nhau. Lưới càng mịn thì thông tin về xoáy nhân tạo càng được bảo toàn. Do đó, đầu vào cho hệ mô hình dự báo bây giờ sẽ gồm hai tập số liệu: Trường môi trường và trường xoáy nhân tạo.

3. Thiết kế thí nghiệm

3.1. Cấu hình của mô hình dự báo và nguồn số liệu

Để tiến hành thử nghiệm, mô hình MM5V3 được sử dụng với cấu hình được chọn như sau:

- Độ phân giải ngang: 30 km x 30 km.
- Số mực theo chiều thẳng đứng: 24 mực.
- Tham số hóa vật lý: sơ đồ tham số hóa đối lưu Grell, sơ đồ vật lý vi mô băng đơn giản (*simple ice*) và sơ đồ tham số hóa lớp biên hành tinh MRF.
- Kích thước miền tính: 146 x 110 điểm (hình 1).
- Tọa độ tâm của miền tính: 110°E, 15°N.

Bão được chọn thử nghiệm là cơn bão NEPARTAK, hoạt động từ ngày 13/11/2003 đến 19/11/2003 (hình 1). Bão NEPARTAK hình thành ở ngoài khơi Tây Thái bình dương (14.5°N, 129.8°E), mạnh dần lên và di chuyển theo hướng tây

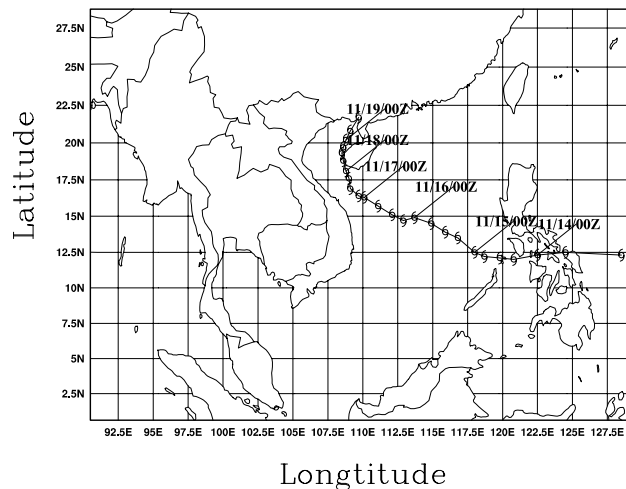
qua quần đảo Philipin, tiến vào Biển Đông. Đến 12UTC ngày 14/11/2003, NEPARTAK đạt cường độ bão mạnh (typhoon) và di chuyển theo hướng tây-tây bắc. Đến ngày 17/11/2003 bão đã đi vào khu vực phía nam vịnh Bắc Bộ, sau đó đổi hướng di chuyển dần sang hướng bắc, đi qua rìa phía Tây của đảo Hải Nam và đổ bộ vào gần bán đảo Lôi Châu (Trung Quốc) rồi tan rã. Nhằm mục đích khảo sát chi tiết cơn bão này, chúng tôi đã tiến hành thử nghiệm dự báo tại 4 thời điểm, đó là 00UTC các ngày 14,15,16 và 17 (tương ứng ký hiệu là D14, D15, D16 và D17).

Số liệu được sử dụng tính toán trong các thử nghiệm bao gồm:

– Số liệu phân tích và dự báo toàn cầu (số liệu toàn cầu) là sản phẩm của mô hình GME cho trên lưới kinh vĩ với độ phân giải ngang $0.75^\circ \times 0.75^\circ$, 12 mực thẳng đứng cho trên các mặt đẳng áp chuẩn.

– Quĩ đạo thực (best-track) và các thông tin chỉ thị bão (TC-Advisories) được khai thác từ website *weather.unisys.com*.

NEPARTAK 13–19 NOV 2003



Hình 1. Đường đi cơn bão NEPARTAK (13-19/11/2003; nguồn: *weather.unisys.com*) và miền dự báo của mô hình MM5.

3.2. Các trường hợp thử nghiệm

Trong các sơ đồ phân tích xoáy, việc lựa chọn được những bộ tham số thích hợp có ý nghĩa đặc biệt đối với các trường ban đầu hóa [1,2,3,4]. Một trong những tham số có ảnh hưởng quan trọng đến sự di chuyển của bão là bán kính gió 15m/s. Đây là tham số đặc trưng cho qui mô/kích thước ngang cũng như độ mạnh của cơn bão. Do đó, để có thể so sánh các sơ đồ cài xoáy khác nhau và đánh giá được vai trò của các tham số xác định xoáy nhân tạo chúng tôi đã tiến hành những thử nghiệm sau đây:

- 1) *Nobogus*: Chạy dự báo với MM5V3 không ban đầu hóa xoáy
- 2) *Mmbogus*: Sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy của MM5 [5]
- 3) *Tcbogus_300*: Sử dụng sơ đồ *tcbogus* với bán kính gió 15m/s bằng 300km
- 4) *Tcbogus_new_300*: Sử dụng sơ đồ *tcbogus_new* với bán kính gió 15m/s bằng 300km
- 5) *Tcbogus_200*: Sử dụng sơ đồ *tcbogus* với bán kính gió 15m/s bằng 200km

6) *Tcbogus_new_200*: Sử dụng sơ đồ *tcbogus_new* với bán kính gió 15m/s bằng 200km

7) *Ensemble*: Tổ hợp quỹ đạo dự báo các trường hợp (2)–(6).

Để tiện trình bày ta sẽ ký hiệu các trường hợp thử nghiệm trên đây lần lượt là TN1, TN2, TN3, TN4, TN5, TN6 và TN7.

4. Kết quả và nhận xét

Với 7 cấu hình thí nghiệm được lựa chọn trên đây (TN1–TN7), chúng tôi đã tiến hành tính toán dự báo cho 4 trường hợp của bão NEPARTAK vào 00UTC các ngày 14, 15, 16, 17/11/2003 (D14, D15, D16 và D17). Sai số dự báo quỹ đạo được đánh giá thông qua sai số vị trí so với quỹ đạo thực (best-track) xác định theo *weather.unisys.com*. Kết quả dự báo quỹ đạo theo mô hình và quỹ đạo thực, và sai số vị trí theo hạn dự báo tương ứng được dẫn ra trên các hình 2–5. Sai số vị trí trung bình của các trường hợp TN2–TN6 được cho trên hình 6.

Có thể nhận thấy rằng, tại các thời điểm bắt đầu dự báo (00UTC các ngày 14,15,16, 17/11/2003) vị trí tâm bão trong trường ban đầu của trường hợp TN1 (*nobogus*) sai lệch khá lớn so với trị trí tâm bão thực, trung bình khoảng 170 km. Sự sai lệch này là một trong những nguyên nhân quan trọng dẫn đến sai số vị trí của quỹ đạo dự báo. Khác với trường hợp TN1, vị trí ban đầu của tâm bão trong các trường hợp TN2–TN6 đều khá gần với vị trí thực. Như vậy, việc sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy đã làm giảm sự sai lệch vị trí ban đầu của tâm bão trong trường ban đầu.

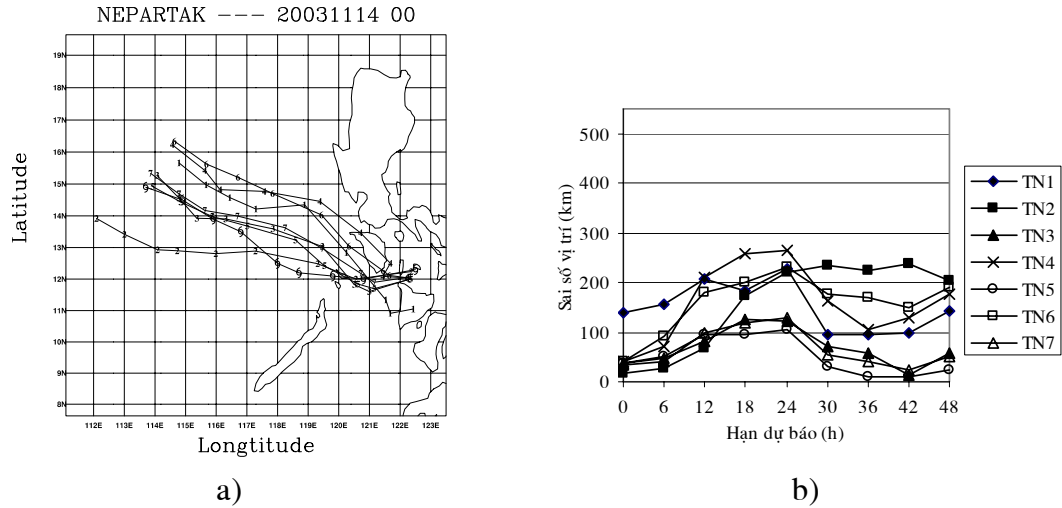
Sai số vị trí của quỹ đạo dự báo có sự biến thiên đáng kể giữa các lần dự báo. Với cùng một cấu hình thí nghiệm, sai số vị trí của các lần dự báo D14–D17 khác nhau khá lớn. Ngoại trừ trường hợp TN1, biến động của sai số vị trí giữa các D14–D17 trong trường hợp TN6 khá nhỏ, còn các trường hợp TN3 và TN4 là khá lớn, và phụ thuộc vào hạn dự báo. Nhìn chung sai số vị trí lớn nhất đối với D16 và D17. Sự biến động của sai số vị trí trong tất cả các trường hợp khảo sát có thể liên quan đến nhiều nguyên nhân khác nhau, trong đó theo chúng tôi, ngoài độ tinh xảo của mô hình dự báo, những yếu tố có ảnh hưởng mạnh mẽ nhất là cấu trúc, cường độ/qui mô ngang của xoáy bão và vai trò của dòng nền. Những yếu tố này lại được quyết định bởi các trường ban đầu và điều kiện biên phụ thuộc thời gian.

Giữa các trường hợp thí nghiệm sai số vị trí cũng biến đổi khá mạnh. Các trường hợp TN3 và TN4 có vị trí tâm bão dự báo di chuyển nhanh hơn so với vị trí thực (đặc biệt là trường hợp TN3 đối với D16). Việc giảm qui mô ngang của xoáy nhân tạo, tức giảm bán kính gió 15m/s từ 300km xuống 200km (TN5 và TN6), đã làm cho bão dự báo di chuyển chậm lại và có xu hướng gần với thực tế hơn. Như vậy, tham số bán kính gió 15m/s (đặc trưng cho độ mạnh) có ảnh hưởng đáng kể đối với sự chuyển động của bão.

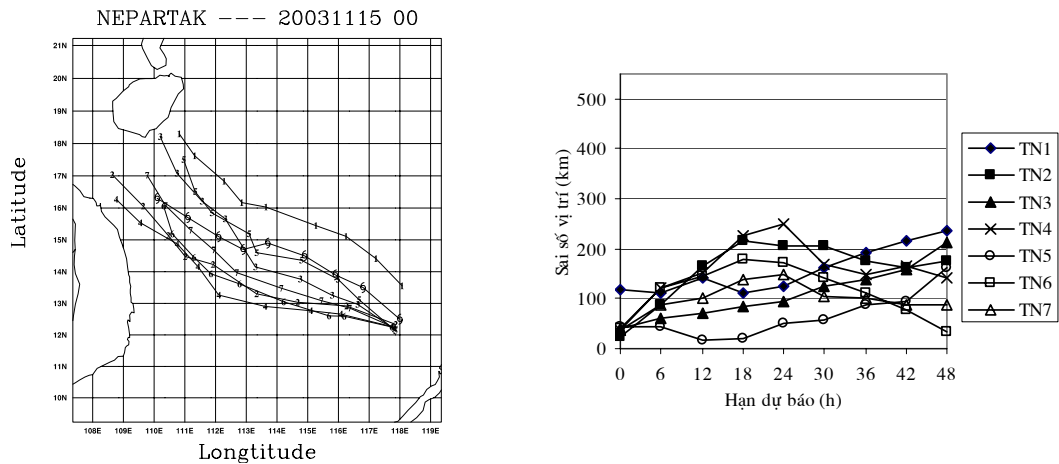
Việc đưa ra quỹ đạo dự báo tổ hợp (TN7) thực chất là lấy trung bình vị trí tâm bão dự báo của các trường hợp khác nhau. Dĩ nhiên đây không phải là cách làm tốt nhất nhằm nâng cao chất lượng dự báo, nhưng nó có thể là một giải pháp lựa chọn giúp các dự báo viên có thêm thông tin khi phát bản tin dự báo. Rõ ràng quỹ đạo dự báo tổ hợp ổn định hơn và có sai số vị trí khá nhỏ.

Bảng 1 dẫn ra sai số trung bình của các dự báo D14–D17 đối với từng thí nghiệm TN1–TN7. Qua đó thấy rằng, trừ trường hợp TN1, tất cả các trường hợp sử

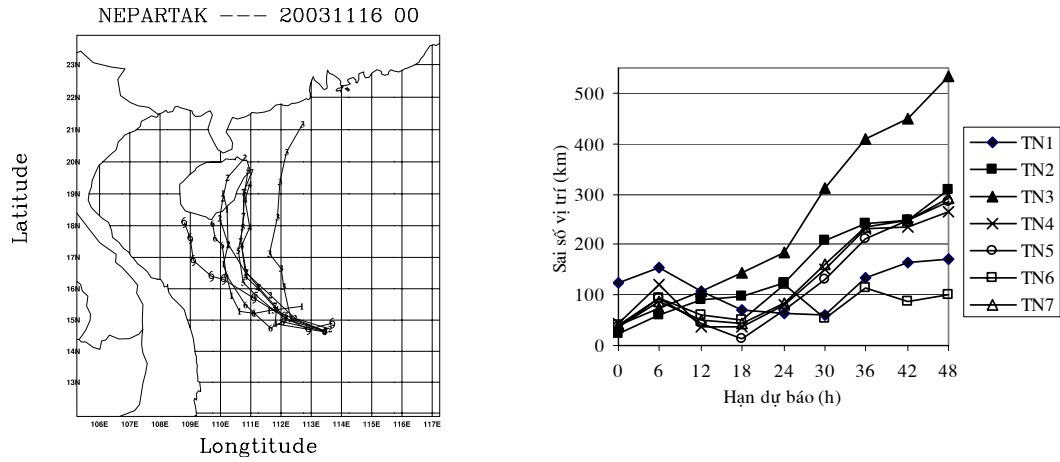
dụng ban đầu hóa xoáy đều có sai số vị trí của quỹ đạo dự báo khá nhỏ. Cho đến hạn dự báo 36h các trường hợp TN3–TN6 (sử dụng trường ban đầu hóa bằng các sơ đồ *tcbogus_**) có sai số vị trí nhỏ hơn các trường hợp TN1 (không cài xoáy nhân tạo) và TN2 (cài xoáy nhân tạo theo sơ đồ của mô hình MM5). Sai số vị trí của các trường hợp TN4 và TN6 tương ứng lớn hơn các trường hợp TN3 và TN5 nằm ngoài sự mong muốn của chúng tôi. Điều đó có thể do những số liệu giả (bogus data) được tạo ra bởi các sơ đồ phân tích xoáy, trong một số trường hợp, chưa mô tả đúng cấu trúc của xoáy bão thực. Mặc dù vậy, với sai số vị trí của các TN5 và TN6 nhỏ hơn TN3 và TN4 đã phân nào khẳng định tham số bán kính gió 15m/s có ảnh hưởng lớn đến quỹ đạo bão dự báo của mô hình.



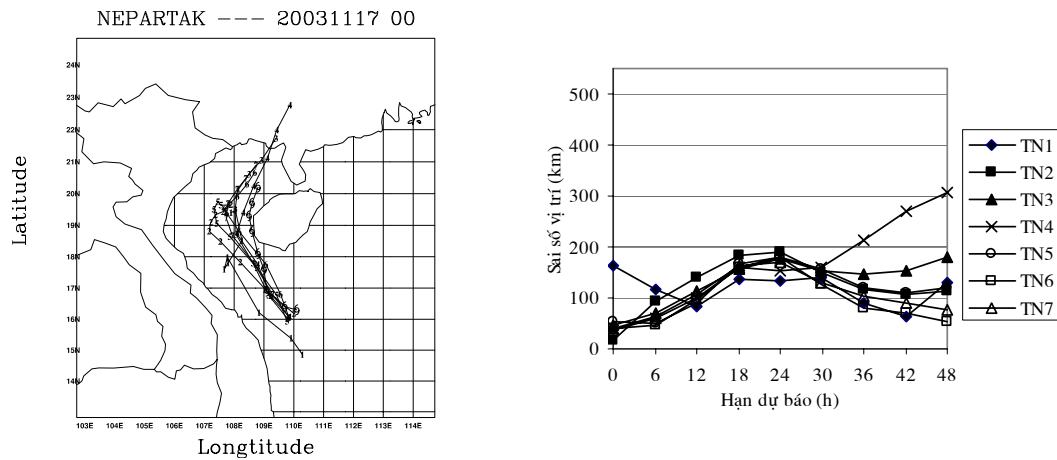
Hình 2. Quỹ đạo dự báo theo các trường hợp TN1–TN7 (đánh số từ 1–7) và quỹ đạo thực (hình xoáy bão) cơn bão NEPARTAK, 00UTC ngày 14/11/2003 (D14) (a); và sai số vị trí theo các hạn dự báo (b)



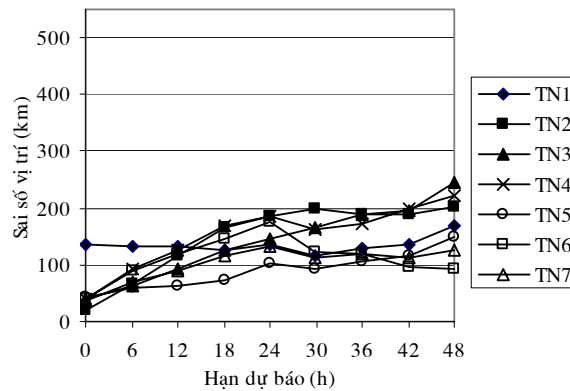
Hình 3. Quỹ đạo dự báo theo các trường hợp TN1–TN7 (đánh số từ 1–7) và quỹ đạo thực (hình xoáy bão) cơn bão NEPARTAK, 00UTC ngày 15/11/2003 (D14) (a); và sai số vị trí theo các hạn dự báo (b)



Hình 4. Quỹ đạo dự báo theo các trường hợp TN1-TN7 (đánh số từ 1-7) và quỹ đạo thực (hình xoắn bão) cơn bão NEPARTAK, 00UTC ngày 16/11/2003 (D14) (a); và sai số vị trí theo các hạn dự báo (b)



Hình 5. Quỹ đạo dự báo theo các trường hợp TN1-TN7 (đánh số từ 1-7) và quỹ đạo thực (hình xoắn bão) cơn bão NEPARTAK, 00UTC ngày 14/11/2003 (D14) (a); và sai số vị trí theo các hạn dự báo (b)



Hình 6. Sai số vị trí trung bình 4 trường hợp dự báo.

Bảng 1. Sai số vị trí trung bình (km) của 4 lần dự báo (D14–D17)

Hạn dự báo (h)	TN1	TN2	TN3	TN4	TN5	TN6	TN7
0	136	20	41	40	43	40	36
6	134	67	64	93	60	89	69
12	134	116	94	125	62	121	90
18	125	167	127	171	73	147	116
24	137	186	144	187	102	176	133
30	115	199	165	161	94	124	113
36	129	190	187	174	107	119	120
42	136	188	194	200	115	96	112
48	170	201	246	222	148	94	127

5. Kết luận

Từ những kết quả thu nhận được trên đây cho phép rút ra một số kết luận sau.

1) Có thể sử dụng mô hình MM5 với các sơ đồ cài xoáy nhân tạo để dự báo sự di chuyển của bão. Việc ban đầu hóa xoáy bằng các sơ đồ phân tích và xây dựng xoáy nhân tạo đã làm tăng độ chính xác của quỹ đạo bão dự báo của mô hình.

2) Trong các sơ đồ phân tích xoáy, ngoài các tham số mô tả cấu trúc và cường độ của xoáy thì tham số xác định độ mạnh (bán kính gió 15m/s) có ý nghĩa quan trọng đối với quỹ đạo dự báo. Giá trị của tham số này quá lớn có thể làm gia tăng tính quán tính khi bão di chuyển và do đó làm cho bão chuyển động nhanh hơn so với quỹ đạo thực; và trong những trường hợp bão đối hướng nó có thể làm sai lệch hướng chuyển động của dự báo đáng kể. Bởi vậy cần phải có những khảo sát chi tiết hơn về mối quan hệ giữa tham số này với những yếu tố dễ nhận biết để có thể xác định giá trị thích hợp cho nó ứng với từng trường hợp dự báo cụ thể.

3) Để có thể ứng dụng các thông tin dự báo của mô hình vào nghiệp vụ, bên cạnh việc nghiên cứu cải tiến các sơ đồ ban đầu hóa xoáy và lựa chọn mô hình dự báo thích hợp, có thể sử dụng phương pháp tổ hợp dự báo để dung hòa sai số vị trí giữa các phiên bản khác nhau trong một lần dự báo.

Tài liệu tham khảo

1. Phan Văn Tân, Bùi Hoàng Hải. Về một phương pháp ban đầu hóa xoáy 3 chiều. *Tạp chí Khí tượng Thủy Văn*, số 11, tr. 1 – 12, 2003
2. Bùi Hoàng Hải, Phan Văn Tân. Khảo sát ảnh hưởng của trường ban đầu hóa đến sự chuyển động của bão trong mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão khu vực biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy Văn*, số 8, tr. 17 – 25, 2002.
3. Phan Văn Tân, Kiều Thị Xin, Nguyễn Văn Sáng, Nguyễn Văn Hiệp. Kỹ thuật phân tích xoáy tạo trường ban đầu cho mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão. *Tạp chí Khí tượng Thủy Văn*, số 1, tr. 13 – 25, 2002.
4. Phan Văn Tân, Kiều Thị Xin, Nguyễn Văn Sáng. Mô hình chính áp WBAR và khả năng ứng dụng vào dự báo bão khu vực Tây Bắc Thái Bình

- Dương và biển Đông. *Tap chí Khí tượng Thủy Văn*, số 6, tr. 27 – 33, 2002.
5. Christopher A. Davis and Simon Low-Nam. The NCAR-AFWA Tropical Cyclone Bogussing Scheme. A Report Prepared for the Air Force Weather Agency (AFWA), 2001.
 6. Davidson, N. E., and H. C. Weber. The BMRC high-resolution tropical cyclone prediction system: TC-LAPS. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1245-1265, 2000.
 7. Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR technical note, NCAR/TN-398 +STR, 122pp, 1995.
 8. H. Joe Kwon, S.-H. Won, M.-H. Ahn, A.-S. Suh, H.-S. Chung: MM5 typhoon simulation using autonomous moving nest. Third US-Korea Joint Workshop on Storm- and Mesoscale Weather Analysis and Prediction, 2002.
 9. Kurihara Y., Bender M. A., and Ross R. J. An initialization scheme of hurricane model by vortex specification. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2030-2045, 1993.
 10. Pu Zhao-Xia, Scott A. Braun. Evaluation of Bogus Vortex Techniques with Four-Dimensional Variational Data Assimilation, *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2030-2045, 1993.
 11. Simon Low-Nam and Christopher Davis: Development of a Tropical Cyclone Bogussing Scheme for the MM5 system. PSU/NCAR MM5 Users' Workshop, June 25 - June 27 2001
 12. Weber, H. C., 2001: Hurricane track prediction with a new barotropic model. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 1834-1858, 2001
 13. Weber, H. C., and R. K. Smith. 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, 1995.