

Ứng dụng phương pháp đa vật lý xác định sai số mô hình WRF mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão Usagi 2018

Phạm Thị Minh^{1,*}, Nguyễn Thị Hằng², Phạm Kim Thủy², Cao Nguyễn Hoàng Gia³



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả thử nghiệm các phương pháp xác định sai số của mô hình WRF mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão Usagi năm 2018. Nghiên cứu tiến hành ba thí nghiệm: (1) 21 thành phần tổ hợp được tạo ra từ hoán vị 11 lựa chọn mô hình vật lý, không có sự gia tăng tương quan sai số (MP – Multi-Physics-đa vật lý); (2) 21 thành phần tổ hợp và sử dụng 1 bộ mô hình vật lý với sự gia tăng tương quan sai số bởi hệ số $\lambda = 6,5$ (MI - Multiplicative Inflation – tăng cấp nhân); (3) 21 thành phần tổ hợp và sử dụng 1 bộ mô hình vật lý, không có sự gia tăng tương quan sai số (PF – Perfect – hoàn hảo). Kết quả thử nghiệm cho thấy phương pháp đa vật lý (MP) đã mô phỏng khá tốt cường độ cũng như hướng di chuyển của áp cao lạnh phía bắc trong khu vực bão Usagi hoạt động. Nhờ đó quỹ đạo và cường độ cơn bão Usagi 2018 được mô phỏng trong thử nghiệm MP tốt hơn so với thử nghiệm MI và thử nghiệm PF. Cụ thể, ở hạn dự báo 48 giờ, sai số dự báo quỹ đạo của thử nghiệm MP dưới 350 km thấp hơn so với hai thử nghiệm MI và PF, ở hạn dự báo 60 và 72 giờ sai số quỹ đạo trong thử nghiệm MP giảm 3-6% so với thử nghiệm PF, còn so với thử nghiệm MI, sai số dự báo quỹ đạo của thử nghiệm MP giảm từ 5% đến 10% ở hạn dự báo 12 giờ đến 72 giờ. Về cường độ, sai số tuyệt đối Pmin (Vmax) của thử nghiệm MP luôn có giá trị thấp hơn so với hai thử nghiệm MI và PF. Trong đó, sai số tuyệt đối Vmax trong thử nghiệm MP giảm từ 30-40% so với hai thử nghiệm còn lại ở tất cả các hạn dự báo, đặc biệt ở các hạn dự báo dài hơn 2 ngày. Như vậy, phương pháp đa vật lý có thể là một ứng dụng tiềm năng trong bài toán xác định sai số của mô hình để mô phỏng quỹ đạo và cường độ bão ảnh hưởng đến Việt Nam.

Từ khóa: Sai số mô hình, Lọc Kalman, mô hình WRF, bão

¹Khoa Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM, Việt Nam

²Khoa Đại cương, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM, Việt Nam

³Sinh viên Khoa Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM, Việt Nam

Liên hệ

Phạm Thị Minh, Khoa Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM, Việt Nam

Email: minhpt201@gmail.com

Lịch sử

- Ngày nhận: 25-9-2020
- Ngày chấp nhận: 28-5-2021
- Ngày đăng: 04-6-2021

DOI: 10.32508/stdjsec.v5i1.547



Check for updates

Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



GIỚI THIỆU

Xác định tính bất định nội tại của mô hình dự báo xoáy thuận nhiệt đới là một vấn đề khó khăn. Trong khi có nhiều nguồn sai số liên quan đến sai số quan trắc, ban đầu hóa xoáy không đầy đủ, hoặc tương quan ảo tại mỗi bước tích phân¹⁻⁵ thì nguyên nhân chính của sai số trong các mô hình xoáy thuận nhiệt đới ở hạn dự báo 2 ngày và dài hơn là do các quá trình vật lý trong mô hình không được biểu diễn đầy đủ¹⁻⁵. Cụ thể là các quá trình dưới lưới tồn tại trong thời gian rất ngắn như rối hoặc vi vật lý mây, việc tham số hóa không đầy đủ các quá trình này có thể tác động đến kỹ năng dự báo cường độ và quỹ đạo áp thấp nhiệt đới (bão). Một số nghiên cứu đã chỉ ra chỉ một thay đổi nhỏ trong sơ đồ vi vật lý hoặc tham số hóa lớp biên có thể cho các kết quả dự báo khác nhau mặc dù cùng điều kiện ban đầu, nhất là đối với các hệ thống qui mô trung bình có tính bất định cao như mưa lớn hoặc xoáy thuận nhiệt đới⁶⁻¹⁰.

Ngoài ra, các nghiên cứu trước đây¹¹⁻¹⁶ đã từng đề cập và khảo sát sai số của mô hình. Trong đó tác giả Kiều và các cộng sự năm 2013¹⁶ đã chỉ ra rằng khi sử dụng phương pháp đa vật lý để xác định sai số của

mô hình đã cải thiện được kết quả dự báo cơn bão Conson 2012. Cụ thể, nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp đa vật lý để xác định thông số liên quan đến sai số của mô hình trong quá trình tính toán giá trị trường phân tích (trường đầu vào của mô hình) bằng lọc Kalman tổ hợp. Do vậy trong nghiên cứu này nhóm tác giả ứng dụng đa vật lý xác định sai số của mô hình WRF để mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão Usagi năm 2018.

TÓM TẮT HOẠT ĐỘNG CỦA CƠN BÃO USAGI

Bão Usagi hay còn được biết đến với tên gọi **Cơn bão số 9** năm 2018 ở Việt Nam, là một cơn bão gây ra mưa rất to và gió mạnh cho các tỉnh Nam Bộ và Nam Trung Bộ của nước ta. Bão bắt nguồn từ một vùng áp thấp hình thành trên khu vực trung tâm phía Bắc của Thái Bình Dương mang số hiệu 98C và hình thành vào ngày 8/11/2018. Bão Usagi di chuyển theo quỹ đạo tựa Đông-Tây và duy trì liên tục cho đến khi tan rã hoàn toàn vào ngày 26/11/2018. Tại Việt Nam, cơn bão được biết đến với tên gọi là Cơn bão số 9 trên biển Đông của năm 2018 tính từ đầu năm, bão chuyển

Trích dẫn bài báo này: Minh P T, Hằng N T, Thủy P K, Gia C N H. **Ứng dụng phương pháp đa vật lý xác định sai số mô hình WRF mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão Usagi 2018.** *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.*; 5(1):298-311.

hướng quỹ đạo thành Tây Bắc vào ngày 24/11/2018 trong khi cường độ tăng nhanh liên tục cho đến khi đổ bộ vào đất liền lần thứ hai. Trưa chiều ngày 25/11/2018, cơn bão Usagi tiếp tục di chuyển theo hướng Tây Bắc rồi đổ bộ vào tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu và Tp.HCM, tâm bão đi qua huyện Cần Giờ (Tp.HCM) lúc 14 giờ (giờ Việt Nam) với cường độ đầu cấp 8 (trước đó bão cũng đã đi qua mũi Nghinh Phong - Thành phố Vũng Tàu), gây gió mạnh cấp 6-7 cho một loạt các tỉnh từ Khánh Hòa đến Bến Tre (Nha Trang, Phan Rang gió cấp 6, giạt cấp 7; Phan Thiết, Vũng Tàu gió cấp 7, giạt cấp 8; Tp.HCM, Tiền Giang, Bến Tre gió cấp 6, giạt cấp 7-8). Sau đó, cơn bão suy yếu nhanh chóng thành áp thấp nhiệt đới rồi trở thành một vùng áp thấp trên đất liền tại Tp.HCM tối cùng ngày trước khi tan rã hoàn toàn vào ngày 26/11/2018. Như vậy, cơn bão Usagi trong suốt khoảng thời gian tồn tại của nó cho ta thấy được rằng bão đồng thời đổi hướng quỹ đạo và nhanh chóng tăng cường độ đột ngột chỉ trong một khoảng thời gian ngắn, cụ thể từ ngày 22/11/2018 đến ngày 25/11/2018.

Ngoài ra, thông tin từ Tổng cục Phòng, chống thiên tai (Việt Nam) cho biết thiệt hại do bão gây ra ở khu vực Nam Bộ là khoảng 925 tỉ Đồng (39,5 triệu USD), có 1 người ở Tp.HCM bị thiệt mạng do cây đổ đè chết, 51 ngôi nhà bị sập đổ hư hỏng và nhiều cây xanh bị gãy, đổ. Thiệt hại về tài sản, có 46 tàu, thuyền bị chìm, hỏng (Khánh Hòa: 1; Ninh Thuận: 2; Bình Thuận: 38; Bình Định: 1; Bà Rịa - Vũng Tàu: 4), 99 lồng bè bị chìm, hỏng. Diện tích lúa bị ngập: 718 ha, diện tích hoa màu bị ngập: 380 ha. Về giao thông, có 2 vị trí đường sắt bị sự cố (Ninh Thuận); 1500 m đường quốc lộ bị ngập (Bình Dương); 170 m đường tỉnh bị sạt lở hư hỏng (Khánh Hòa 30, Ninh Thuận 140). Trên 2663 m đê, kè bị sạt lở, hư hỏng (Ninh Thuận: 40 m; Bình Thuận: 2623 m). Vì thế, nghiên cứu này lựa chọn cơn bão Usagi để tiến hành thử nghiệm xem xét hiệu quả của các phương pháp xác định sai số của mô hình.

THIẾT LẬP CƠ SỞ CHO MÔ HÌNH

Mô hình

Sử dụng mô hình WRF phiên bản V3.9.1 với 31 mực (Sigma) theo phương thẳng đứng có mực áp suất cao nhất (biên trên của mô hình) có giá trị là 10hPa. Mô hình WRF được lựa chọn với hai miền tính lồng ghép sử dụng phép chiếu Mercator. Miền lưới thiết kế cho thử nghiệm mô phỏng cơn bão Usagi là lưới lồng gồm 2 miền tính với độ phân giải ngang tương ứng 36 km và 12 km, miền lưới 1 gồm 151x151 điểm lưới và miền lưới 2 gồm 151x151 điểm lưới với tâm miền tính cố định 11.2°N & 112.3°E (Hình 2) sử dụng trong mô hình WRF.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tiến hành thử nghiệm dự báo cơn bão Usagi 2018 với hạn 3 ngày với thời điểm bắt đầu dự báo từ 00 giờ UTC ngày 22/11/2018 đến 00 giờ UTC ngày 25/11/2018, 3 thử nghiệm: (1) 21 thành phần tổ hợp được tạo ra từ hoán vị 11 lựa chọn mô hình vật lý, không có sự gia tăng tương quan sai số (MP – Multi-Physics-đa vật lý); (2) 21 thành phần tổ hợp và sử dụng 1 bộ mô hình vật lý với sự gia tăng tương quan sai số bởi hệ số $\lambda = 6,5$ (MI – Multiplicative Inflation – tăng cấp nhân); (3) 21 thành phần tổ hợp và sử dụng 1 bộ mô hình vật lý, không có sự gia tăng tương quan sai số (PF – Perfect – hoàn hảo). Các thử nghiệm trên đều được đồng hóa số liệu gió vệ tinh bằng lọc Kalman tổ hợp.

Trong thí nghiệm đầu tiên (MP), 21 bộ mô hình vật lý (Bảng 2) gồm tập hợp các thành phần tổ hợp hoán vị của các sơ đồ tham số hóa trong Bảng 1. Trong thí nghiệm thứ hai (MI), một tập hợp các mô hình vật lý cụ thể trong mô hình WRF bao gồm (a) sơ đồ vi vật lý WSM3, (b) sơ đồ truyền bức xạ nhanh (RRTM) cho cả bức xạ sóng dài và sóng ngắn và (c) sơ đồ tham số hóa đối lưu BMJ (thành phần tổ hợp 11) được áp dụng vào cho tất cả các thành phần tổ hợp với một hệ số tăng cấp nhân $\lambda=6,5$ được thêm vào trong ma trận tương quan sai số biến đổi \hat{P}^a trong biểu thức (4). Tuy nhiên, hệ số λ này không thay đổi trong tất cả các chu kỳ của thí nghiệm để có thể so sánh tính hiệu quả của phương pháp MI trong việc xử lý sai số mô hình so với phương pháp MP. Trong thí nghiệm thứ ba (PF), ta xem xét mô hình là hoàn hảo với sai số nên không thay đổi trong tất cả các chu kỳ chạy của thí nghiệm. Tương tự như phương pháp tăng cấp nhân, thí nghiệm này sử dụng cùng một bộ mô hình vật lý như trong thí nghiệm MI để có thể so sánh tính hiệu quả của phương pháp trong việc xử lý sai số mô hình so với hai phương pháp còn lại.

Số liệu

Điều kiện đầu vào và điều kiện biên sử dụng số liệu dự báo GFS của NCEP/NCAR (NCEP-The National Center for Environmental Prediction/NCAR-The National Center for Atmospheric Research) có độ phân giải ngang là 0.5x0.5 độ kinh vĩ và định dạng grib2. Số liệu GFS được lấy từ trang web: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>.

Số liệu quan trắc về vị trí và cường độ bão được thu thập từ trang web: <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html?western-pacific>

Số liệu quan trắc gió từ vệ tinh là một nguồn số liệu đặc biệt quan trọng đối với các mô hình dự báo chạy nghiệp vụ trên thế giới với độ phủ sóng toàn cầu và

Bảng 1: Sơ đồ tham số hóa trong mô hình WRF ứng với các lựa chọn cụ thể

Sơ đồ	Kí hiệu	Các lựa chọn
Vi vật lý	mp_physics	= 1, Kessler scheme = 2, Lin et al. scheme = 3, WSM 3-class simple ice scheme = 4, WSM 5-class scheme = 5, Ferrier (new Eta) microphysics = 6, WSM 6-class graupel scheme
Bức xạ sóng ngắn	ra_sw_physics	= 1, Dudhia scheme = 2, Goddard short wave
Bức xạ sóng dài	ra_lw_physics	= 1, rrtm scheme
Đối lưu	cu_physics	= 1, Kain-Fritsch (new Eta) scheme = 2, Betts-Miller-Janjic scheme

Bảng 2: Thành phần tổ hợp tương ứng với các sơ đồ vật lý khác nhau

Tổ hợp	Ra_lw_physics	Ra_sw_physics	mp_physics	cu_physics
001	1	2	1	1
002	1	1	1	2
003	1	2	1	2
004	1	1	2	1
005	1	2	2	1
006	1	1	2	2
007	1	2	2	2
008	1	1	3	1
009	1	2	3	1
010	1	1	3	2
011	1	2	3	2
012	1	1	4	1
013	1	2	4	1
014	1	1	4	2
015	1	2	4	2
016	1	1	5	1
017	1	2	5	1
018	1	1	5	2
019	1	2	5	2
020	1	1	6	1
021	1	2	6	1



Hình 1: Diễn biến đường đi bão Usagi^a

^aNguồn: [https://vi.wikipedia.org/wiki/B%C3%A3o_Usagi_\(2018\)](https://vi.wikipedia.org/wiki/B%C3%A3o_Usagi_(2018))

thời gian thu thập số liệu trong vòng từ 3 - 6 giờ phụ thuộc vào đặc tính của từng vệ tinh. Số liệu gió vệ tinh cho phép biết được tình trạng động lực của khí quyển góp phần bổ sung thông tin cho trường ban đầu của mô hình dự báo bằng đồng hóa số liệu. Hiện nay số liệu gió vệ tinh được tiền xử lý bởi tổ chức hợp tác nghiên cứu vệ tinh khí tượng trường đại học Wisconsin (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies - University of Wisconsin satellite atmospheric motion vector CIMSS-AMV) trong cùng khoảng thời gian đã chọn. Một số các nghiên cứu với số liệu CIMSS-AMV đã chỉ ra số liệu này có thể giúp cải thiện chất lượng dự báo của các hệ thống qui mô trung bình khác nhau. Ưu điểm của số liệu CIMSS-AMV là sai số đã được kiểm định chất lượng cao và được xác định bằng thuật toán lọc đệ quy. Mỗi một số liệu được kiểm tra sao cho phù hợp hầu hết với số liệu xung quanh bằng kĩ thuật chỉ số chất lượng. Hầu hết số liệu CIMSS-AMV phân bố trong các vùng khác nhau và hiện tại được lưu trữ trong nhiều định dạng bao gồm ASCII và/hoặc BUFR. Trong nghiên cứu này số liệu gió vệ tinh được lấy ở khu vực Ấn Độ, Tây Bắc Thái Bình Dương (Hình 3) và được downloads từ trang website <http://tropic.ssec.wisc.edu> trong định dạng ASCII.

Phương pháp lọc Kalman

Ý tưởng chính của thuật toán lọc Kalman tổ hợp là sử dụng ma trận tổ hợp nên như một toán tử chuyển đổi từ không gian mô hình dựa vào các điểm lưới trong khu vực địa phương đã chọn sang không gian tổ hợp dựa trên các thành phần tổ hợp, và thực hiện phân tích trong không gian tổ hợp này ở mỗi điểm lưới. Đối với thuật toán LETKF, giả thiết rằng có một tổ hợp nền $\{x^{b(i)} : i = 1, 2, \dots, k\}$, trong đó k là số thành phần tổ hợp. Theo Hunt và cộng sự (2007), một ma trận trung bình tổ hợp \bar{x}^b và một ma trận nhiễu tổ hợp X^b được xác định:

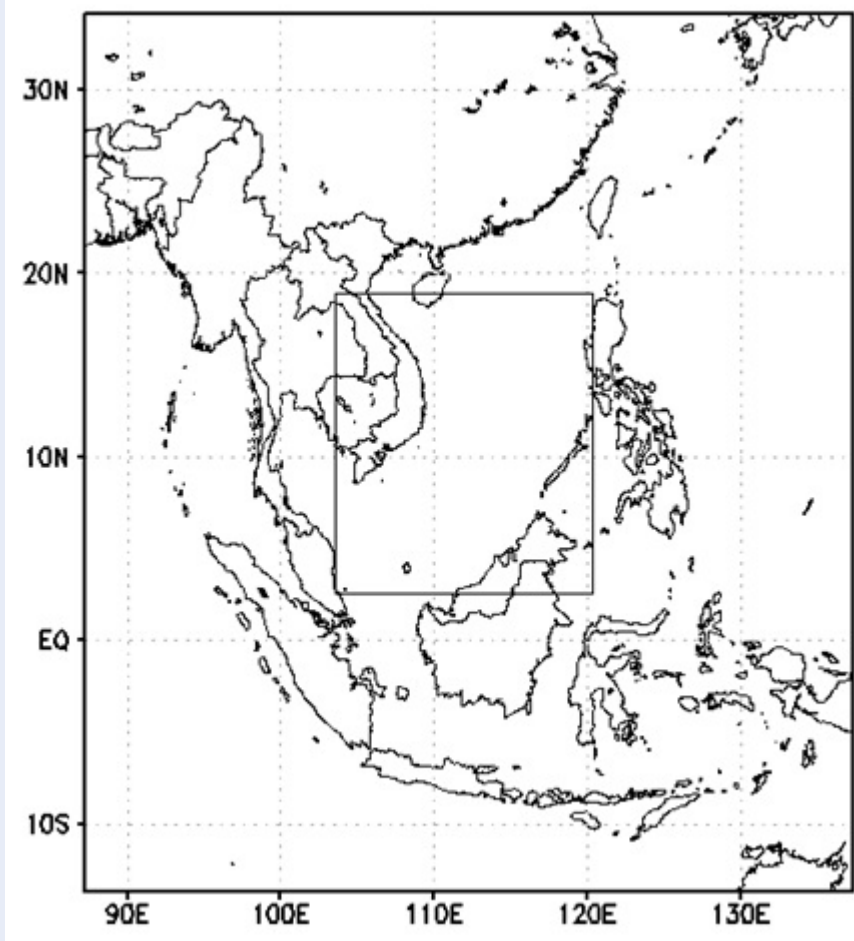
$$\bar{x}^b = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x^{b(i)}$$

$$X^b = x^{b(i)} - \bar{x}^b \quad (1)$$

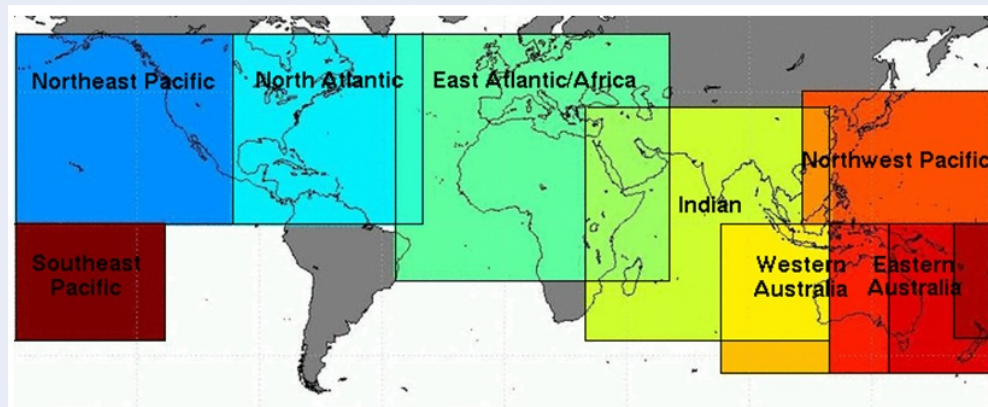
Ký hiệu $x = \bar{x}^b + X^b w$, trong đó w là một véc tơ địa phương trong không gian tổ hợp, hàm giá địa phương được cực tiểu hóa trong không gian tổ hợp có dạng:

$$J'(w) = (k-1)w^T \left\{ I - (X^b)^T [X^b (X^b)^T]^{-1} X^b \right\} w + J[\bar{x}^b + X^b w] \quad (2)$$

Trong đó $J[\bar{x}^b + X^b w]$ là hàm giá trong không gian mô hình. Nếu hàm giá xác định trong không gian đầy



Hình 2: Miền lưới thử nghiệm.



Hình 3: Khu vực có số liệu gió quan trắc từ vệ tinh bão phủ.^a

^aNguồn: <http://tropic.ssec.wisc.edu>

đủ của X^b ($N = \{v | Xbv = 0\}$), thì dễ dàng thấy hàm giá $J'(w)$ được phân ra thành 2 phần: Một phần bao gồm thành phần của w trong N (số hạng đầu tiên trong phương trình 2), và thành phần thứ 2 phụ thuộc vào thành phần của w trực giao với N . Điều kiện trạng thái phân tích trung bình \bar{w}^a trực giao với N để hàm giá $J'(w)$ được cực tiểu hóa, ma trận trạng thái phân tích trung bình và ma trận tương quan sai số tương ứng của nó trong không gian tổ hợp có thể được biểu diễn như sau:

$$\bar{w}^a = P^a (Y^b)^T R^{-1} [y^0 - H\bar{x}^b] \quad (3)$$

$$P^a = [(k-1)I + (Y^b)^T R^{-1} Y^b]^{-1} \quad (4)$$

Trong đó $Y^b \equiv H(x^{b(i)} - \bar{x}^b)$ là ma trận tổ hợp của giá trị nhiễu nền ở các vị trí quan trắc và R là ma trận tương quan sai số quan trắc. Chú ý rằng ma trận tương quan sai số phân tích P^a trong không gian mô hình và P^a trong không gian tổ hợp có một mối quan hệ đơn giản $P^a = X^b P'^a (X^b)^T$, ma trận nhiễu tổ hợp phân tích X^a có thể được biểu diễn như sau:

$$X^a = X^b [(k-1)P'^a]^{1/2} \quad (5)$$

Tổ hợp phân tích x^a cuối cùng được thực hiện như sau:

$$x^{a(i)} = \bar{x}^b + X^b \left\{ \bar{w}^a + [(k-1)P'^a]^{1/2} \right\} \quad (6)$$

Chi tiết hơn về thuật toán LETKF có thể tìm trong Hunt và cộng sự¹⁷.

Trong đó, \bar{x}^b ma trận trung bình tổ hợp; X^b ma trận nhiễu tổ hợp; P'^a ma trận tương quan sai số phân tích và \bar{w}^a là ma trận trọng số trong không gian tổ hợp.

Thuật toán trên được sử dụng trong trường hợp xem như mô hình là hoàn hảo. Còn trong trường hợp có sai số mô hình, một nhân tố xác định sai số mô hình được thêm vào phía bên phải của phương trình 4 và nhân tố này có các phương pháp xác định khác nhau. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả sử dụng 2 phương pháp xác định sai số của mô hình: phương pháp đa vật lý¹⁶ và phương pháp tăng cấp nhân¹¹. Trong đó, Phương pháp tăng cấp nhân¹¹ làm tăng giá trị của ma trận tương quan sai số nền bởi hệ số $\lambda = 6.5$ ¹⁶.

PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ

Phương pháp trung bình tuyệt đối

Theo Wilks (1997)¹⁸, sai số MAE được sử dụng để đánh giá các dự báo của biến khí quyển liên tục. Do vậy, MAE được áp dụng như một chỉ số để đánh giá sai số cường độ bão (áp suất mực biển cực tiểu - Pmin;

Tốc độ gió cực đại Vmax). Với MAE-sai số trung bình tuyệt đối được tính bằng công thức:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i| \quad (7)$$

Trong đó: MAE là sai số trung bình tuyệt đối, F_i là giá trị dự báo, O_i là giá trị quan trắc, N là độ dài chuỗi số liệu.

Phương pháp khoảng cách tâm bão

Sai số quỹ đạo tính theo công thức (8):

$$PE = R_e \times \arccos[\sin(\alpha_1) \times \sin(\alpha_2) + \cos(\alpha_1) \times \cos(\alpha_2) \times \cos(\beta_1 - \beta_2)] \quad (8)$$

Trong đó R_e là bán kính trái đất (6378.16 km); α_1, α_2 là vĩ độ của tâm bão thực tế và tâm bão do mô hình dự báo (đv radian); β_1, β_2 là kinh độ của tâm bão thực tế và tâm bão dự báo (đv radian). Sai số trung bình khoảng cách được tính như sau:

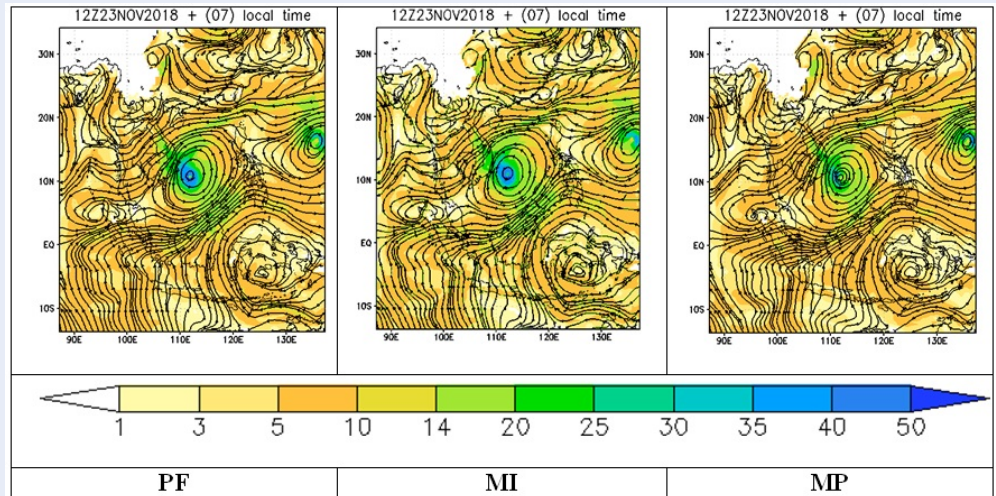
$$MPE_j = \frac{\sum_{i=1}^n PE_{i,j}}{n} \quad (9)$$

Trong đó, PE là sai số khoảng cách của từng trường hợp dự báo; n là số trường hợp thử nghiệm; j là hạn dự báo

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mô phỏng đường dòng

Do quỹ đạo bão Usagi mạnh lên và đổi hướng vào thời điểm lúc 00 giờ UTC ngày 24 tháng 11 năm 2018, ngoài ra các mô phỏng lại cho kết quả đổi hướng của cơn bão Usagi sớm hơn 24 giờ nên phần này nghiên cứu sẽ so sánh các mô phỏng trường đường dòng trong các trường hợp thử nghiệm dự báo PE, MI và MP tại các mực đẳng áp 850 hPa, 700 hPa và 500 hPa vào lúc 12 giờ các ngày 23 và 24/11/2018. Theo phân tích synop (không chỉ ra ở đây) trong thời gian hoạt động của cơn bão Usagi có các hình thế hoàn lưu quy mô lớn khống chế khu vực này là áp cao lạnh phía bắc đang dịch chuyển sang phía đông và di chuyển xuống phía Nam và một áp thấp ở phía đông cơn bão Usagi. Vào lúc 12 giờ ngày 23/11/2018 tại mực 850 hPa, cả ba thử nghiệm tiếp tục cho mô phỏng một áp thấp ở phía đông cơn bão Usagi có tâm ở khoảng 31°N-128°E lệch về phía Tây Bắc so với quan trắc và dịch chuyển theo hướng Đông Bắc so với 24 giờ trước (Hình 4). Trường yên giữa hoàn lưu bão với xoáy thuận nhiệt đới liền kề ở phía Đông Philippines được mô phỏng khá rõ, đặc biệt trong thử nghiệm MP trường yên được mô phỏng gần với vị trí trường yên quan trắc hơn so với các thử nghiệm còn lại. Trong khi đó, trong bản đồ synop mực 859 áp cao lạnh ở phía bắc đang dịch chuyển sang phía đông và lấn xuống phía



Hình 4: Bản đồ đường dòng mực 850 hPa trong các thử nghiệm PF (hình trái), thử nghiệm MI (hình giữa) và thử nghiệm MP (hình phải) lúc 12 giờ UTC ngày 23/11/2018

nam, hình thể này cũng được mô phỏng trong cả 3 thử nghiệm. Tuy nhiên, thử nghiệm MP mô phỏng áp cao lạnh phía bắc lấn xuống phía nam nhiều hơn so với hai thử nghiệm PF và MI (Hình 4), do đó hạn chế cơn bão usagi di chuyển về phía bắc.

Đến lúc 12 giờ ngày 24/11/2018, hình thể xảy ra tương tự với thời điểm 12 giờ UTC ngày 23/11/2018. Tuy nhiên, cường độ áp cao phía bắc trong thử nghiệm MP mạnh hơn so với 2 thử nghiệm còn lại, do đó càng hạn chế hướng dịch chuyển của cơn bão theo hướng bắc. Mật khác áp thấp nhiệt đới ở phía đông cơn bão usage thì đang suy yếu, điều này tạo điều kiện thuận lợi cho cơn vào Usagi di chuyển sang phía tây (Hình 5). Hình thể tương tự cũng xảy ra ở mực 700 hPa và mực 500 hPa (không được chỉ ra ở đây). Trong đó ở mực 500 hPa, thay áp cao lạnh phía bắc bằng rãnh gió tây trên cao.

Như vậy, trong thử nghiệm MP mô phỏng áp cao lạnh phía bắc lấn xuống phía nam nhiều hơn so với hai thử nghiệm PF và MI, hình thể này tạo điều kiện cho cơn bão di chuyển hướng tây bắc. Trong phần tiếp theo nghiên cứu sẽ phân tích tác động của các phương pháp xác định sai số mô hình đến việc mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão Usagi 2018.

Quỹ đạo và cường độ bão Usagi

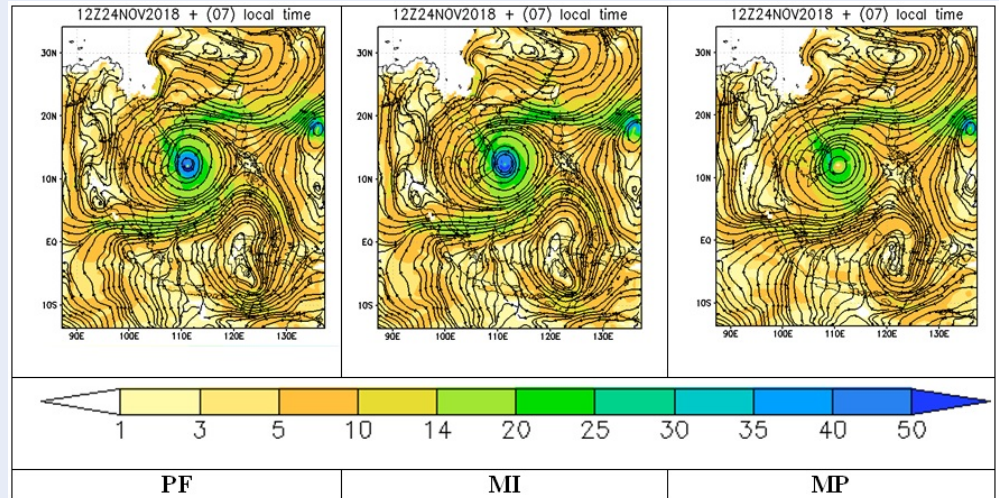
Quỹ đạo

Như đã được nhận định ở phần trước, cơn bão Usagi có sự thay đổi đáng kể về quỹ đạo và cường độ từ ngày 22/11/2018 và đạt các giá trị cực trị vào ngày 24/11/2018 trước khi đổ bộ mặt đất vào ngày 25/11/2018. Vì vậy, nghiên cứu tiến hành mô phỏng

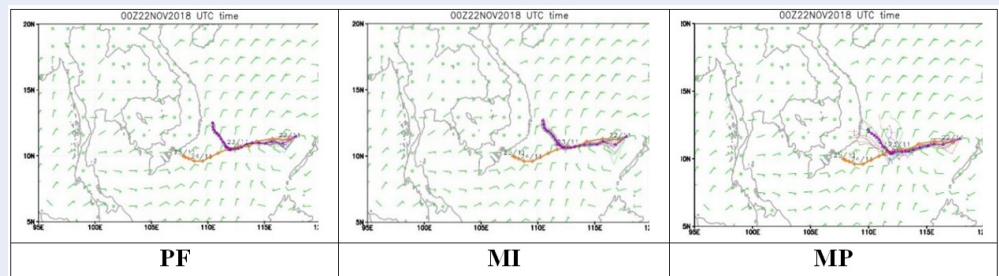
quỹ đạo cơn bão Usagi 2018 bắt đầu từ 00 giờ ngày 22/11/2018 đến 00 giờ ngày 25/11/2018 với các thử nghiệm PF, MI và MP. Vị trí tâm bão mô phỏng trong các trường hợp thử nghiệm PF, MI, MP dưới đây là giá trị trung bình của 21 thành phần tổ hợp (Hình 6).

Hình 6 cho thấy trung bình quỹ đạo mô phỏng trong thời gian gần đổ bộ vào bờ đều lệch khá xa so với quỹ đạo thực. Còn các quỹ đạo mô phỏng của các thành phần tổ hợp trong thử nghiệm MP có độ tán lớn, một số quỹ đạo thành phần gần với quỹ đạo thực, trong khi đó các quỹ đạo của các thành phần tổ hợp trong hai thử nghiệm MI và PF không có độ tán lớn, do đó đa số quỹ đạo của các thành phần tổ hợp đều cách xa so với quỹ đạo thực. Tuy nhiên, khi xem xét quỹ đạo trung bình tổ hợp của cả ba thử nghiệm PF, MI và MP (Hình 7) cho thấy ở 24 giờ đầu tiên, quỹ đạo mô phỏng trong cả 3 thử nghiệm đều khá gần với quan trắc (Hình 7). Đặc biệt, cả ba thử nghiệm đều dự báo quỹ đạo của cơn bão Usagi đối hướng vào lúc 00 giờ ngày 23/11/2018, sớm hơn 24 giờ so với thực tế vào lúc 00 giờ ngày 24/11/2018 khi bão Usagi đối hướng từ Tây-Tây Nam sang Tây Bắc.

Trong 48 giờ đến 72 giờ, thử nghiệm MP mô phỏng quỹ đạo bão gần với quỹ đạo thực hơn so với hai thử nghiệm còn lại. Nghĩa là lệch thiên về phía Tây Bắc so với hướng Bắc-Tây Bắc của thử nghiệm PF và MI. Kết quả này được thể hiện rõ hơn trong sai số quỹ đạo bão của các thử nghiệm (Hình 8). Trong đó sai số dự báo quỹ đạo của thử nghiệm MP là 250 km và 336 km ở hạn 48 và 72 giờ, sai số này đều thấp hơn sai số dự báo quỹ đạo bão của hai thử nghiệm còn lại. Nguyên nhân chính là do áp cao lạnh phía bắc trong thử nghiệm MP



Hình 5: Bản đồ đường dòng mực 850 hPa trong các thử nghiệm PF (hình trái), thử nghiệm MI (hình giữa) và thử nghiệm MP (hình phải) lúc 12 giờ UTC ngày 24/11/2018



Hình 6: Quỹ đạo cơn bão Usagi quan trắc (màu cam), thử nghiệm PF (hình trái, màu tím), thử nghiệm MI (hình giữa, màu tím), thử nghiệm MP (hình phải, màu tím). Quỹ đạo mô phỏng của các thành phần tổ hợp là các đường mảnh. Thời gian bắt đầu dự báo 00 giờ UTC ngày 22/11/2018.

mô phỏng lần xuống phía nam nhiều hơn so với thử nghiệm PF và MI (Hình 5 và 6), hình thể này hạn chế quỹ đạo bão dịch chuyển theo hướng bắc tây bắc trong thử nghiệm MP, và tạo điều kiện thuận lợi cho bão di chuyển theo hướng Tây bắc (Hình 7)

Như vậy, thử nghiệm xử lý sai số mô hình theo phương pháp đa vật lý cho ra kết quả dự báo quỹ đạo bão tốt hơn so với phương pháp tăng cấp nhân và xem xét mô hình là hoàn hảo. Trong phần tiếp theo nghiên cứu sẽ xem xét tác động của các phương pháp xác định sai số của mô hình đến kỹ năng dự báo cường độ bão.

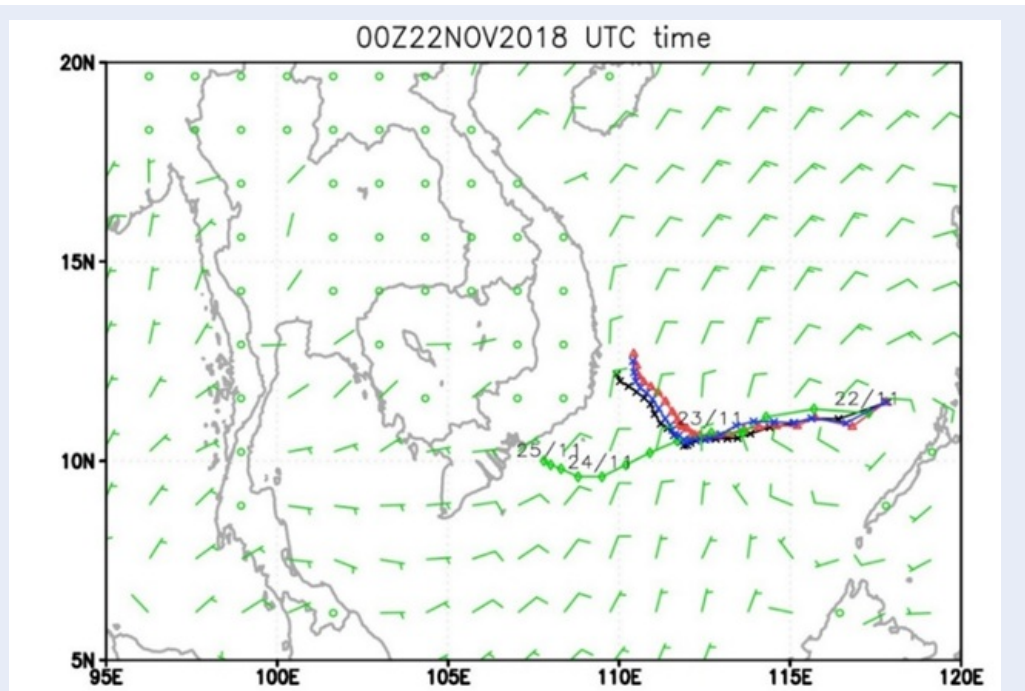
Cường độ bão

Cường độ bão được thể hiện qua giá trị áp suất mực biển cực tiểu (Pmin) và tốc độ gió cực đại (Vmax). Các giá trị Pmin và Vmax được tính trung bình cho 21 thành phần dự báo.

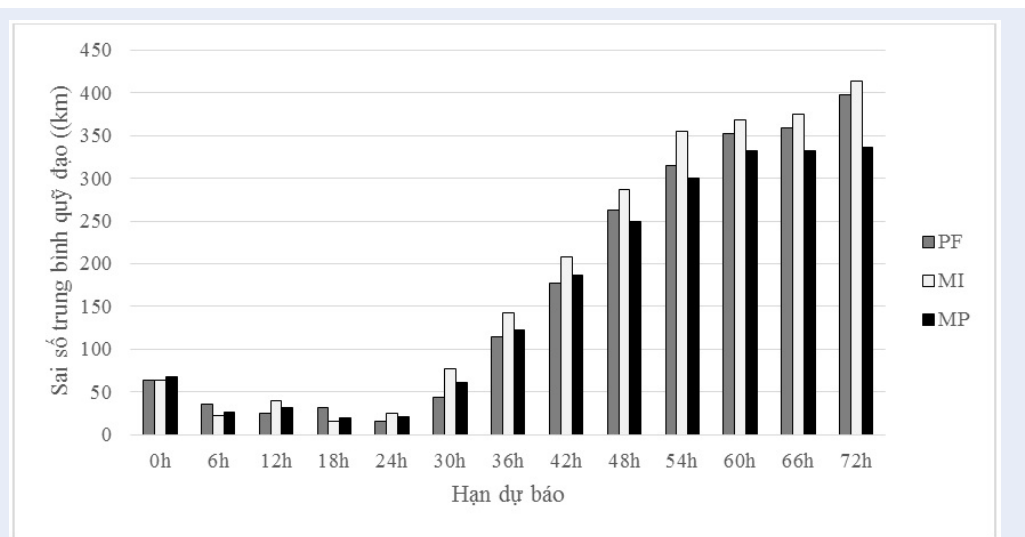
a) Mô phỏng áp suất mực biển cực tiểu

Hình 9 cho thấy áp thấp nhiệt đới - bão Usagi có diễn biến vô cùng phức tạp từ khi được hình thành trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương. Cho đến khi được ghi nhận là một cơn bão và lấy tên Usagi vào ngày 23/11/2018, áp thấp nhiệt đới 98C đã nhiều lần thay đổi áp suất cực tiểu tại tâm (Pmin) nhưng vẫn duy trì ở mức 1004-1006 hPa (ngưỡng trung bình của áp thấp nhiệt đới). Bão Usagi có Pmin giảm mạnh nhanh chóng từ ngày 23/11/2018 và đạt cực tiểu vào ngày 24/11/2018 với giá trị khoảng 970 hPa, giá trị Pmin này tăng lên nhanh chóng sau khi bão vào Nam Bộ.

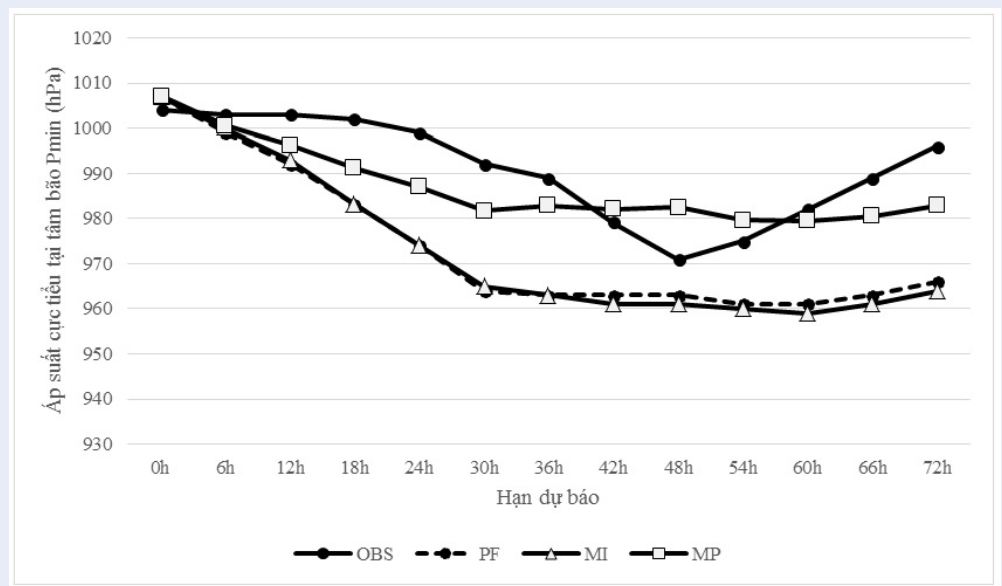
Hình 9 cho thấy, biến trình Pmin trong thử nghiệm MP khá tương đồng với biến trình Pmin quan trắc, trừ thời điểm 48 giờ và 72 giờ là 2 thời điểm cơn bão Usagi mạnh lên và yếu đi. Trong khi đó, thử nghiệm PF và MI đều mô phỏng thời điểm bão mạnh lên sớm hơn 18 giờ so với thực tế (Hình 9) và hầu như không mô phỏng được Pmin trong thời điểm bão suy yếu (72



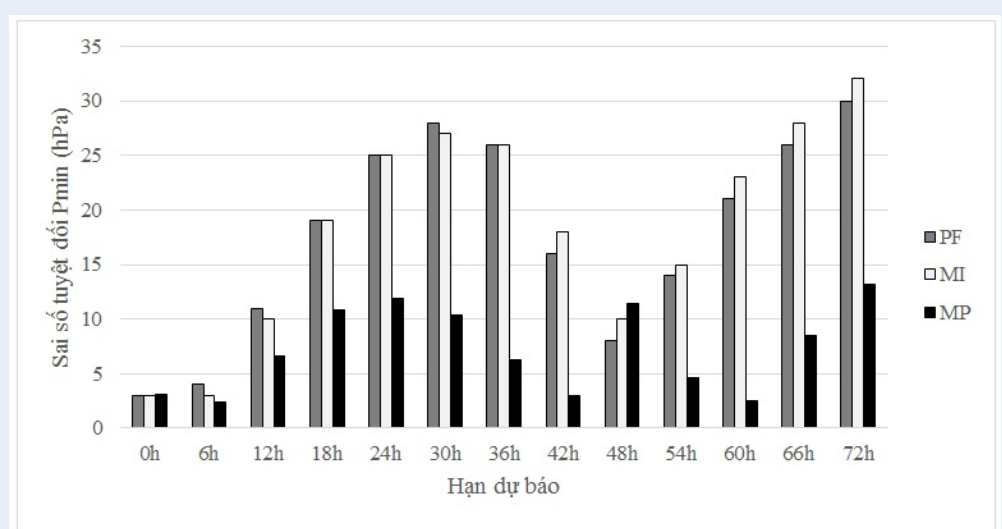
Hình 7: Quỹ đạo bão quan trắc (màu xanh lá), quỹ đạo bão trong thử nghiệm PF (màu xanh lam), quỹ đạo bão trong thử nghiệm MI (màu đỏ), quỹ đạo bão trong thử nghiệm MP (màu đen) của cơn bão Usagi 2018. Thời điểm bắt đầu dự báo lúc 00 giờ UTC ngày 22/11/2018.



Hình 8: Sai số quỹ đạo bão trung bình của các thử nghiệm. Dự báo lúc 00 giờ UTC ngày 22/11/2018.



Hình 9: Biến trình Pmin trung bình trong các thử nghiệm. Với thời điểm bắt đầu dự báo lúc 00 giờ UTC ngày 22/11/2018.



Hình 10: Sai số tuyệt đối Pmin của cơn bão Usagi mô phỏng lúc 00 giờ UTC ngày 22/11/2018

giờ). Kết quả mô phỏng này cũng được thấy rõ thông qua sai số tuyệt đối của Pmin (Hình 10). Cụ thể, sai số tuyệt đối Pmin trong thử nghiệm MP đều thấp hơn so với các thử nghiệm còn lại ở hầu hết các hạn dự báo ngoại trừ hạn dự báo 48 giờ. Còn thử nghiệm PF cho sai số tuyệt đối Pmin thấp hơn so với sai số tuyệt đối Pmin trong thử nghiệm MI ở các hạn dự báo dài hơn hai ngày. Kết quả này dường như do quỹ đạo bão trong thử nghiệm MP dự báo tốt hơn các thử nghiệm

còn lại, do đó dẫn đến kết quả dự báo Pmin trong thử nghiệm MP hiệu quả¹⁹ (Tiến Dư và Kiều Chánh 2012). Ngoài ra cũng có thể là do việc xác định sai số bằng phương pháp đa vật lý, tức là tính đến sự bất định của các sơ đồ tham số hóa vật lý trong mô hình WRF nên kết quả dự báo Pmin tốt hơn.

b) Mô phỏng tốc độ gió cực đại

Tốc độ gió trung bình cực đại (Vmax) cũng có xu thế biến đổi gần giống với Pmin. Từ Hình 11, ta có thể

thấy trên đường biến trình của V_{max} có một cực tiểu nhỏ diễn ra từ ngày 20/11/2018 đến ngày 21/11/2018 (10 m/s), sau đó tốc độ gió duy trì từ khoảng 15-20 m/s cho đến hết ngày 22/11/2018. Giá trị V_{max} sau đó tăng nhanh và đạt cực đại vào ngày 24/11/2018 (giá trị đạt trên 45 m/s) và giảm nhanh chóng cho đến khi bão tan rã trên đất liền.

Biến trình V_{max} trong Hình 11 cho thấy, bão Usagi mạnh lên trong các mô phỏng sớm hơn so với thực tế là 18 giờ. Còn cường độ V_{max} mạnh lên trong thử nghiệm MP được duy trì khá gần với quan trắc cho đến 00 giờ ngày 24/11/2018. Kết quả này được thấy rõ thông qua sai số tuyệt đối V_{max} (Hình 12) của thử nghiệm MP đều thấp hơn sai số tuyệt đối V_{max} trong thử nghiệm PF và MI ở các hạn dự báo dưới 48 giờ. Ngoài ra thời điểm bão Usagi suy yếu trong các mô phỏng lại muộn hơn so với thực tế 12 giờ, và giá trị V_{max} trong thử nghiệm MP vẫn duy trì gần giá trị quan trắc thực hơn so với hai thử nghiệm còn lại với sai số V_{max} tuyệt đối đều nhỏ hơn sai số tuyệt đối V_{max} trong thử nghiệm PF và MI ở hạn dự báo dài hơn 48 giờ (Hình 12).

Như vậy việc xác định sai số của mô hình bằng phương pháp đa vật lý đã cho kết quả mô phỏng V_{max} khá tốt trong thử nghiệm dự báo cơn bão Usagi.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thử nghiệm 2 phương pháp xác định sai số của mô hình và một thử nghiệm coi mô hình không tồn tại sai số, trong cả ba thử nghiệm đều đồng hóa số liệu gió vệ tinh bằng lọc Kalman tổ hợp để mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão Usagi. Kết quả thử nghiệm cho thấy, phương pháp đa vật lý (MP) mô phỏng hoàn lưu quy mô lớn - áp cao lạnh phía bắc di chuyển xuống phía nam nhiều hơn so với hai thử nghiệm tăng cấp nhân (MI) và coi mô hình là hoàn hảo (PF) do đó hạn chế cơn bão di chuyển theo hướng bắc tây bắc. Vì vậy, quỹ đạo bão Usagi trong thử nghiệm MP có sai số nhỏ hơn so với sai số quỹ đạo trong hai thử nghiệm MI và PF. Cụ thể, sai số quỹ đạo bão trong thử nghiệm MP giảm từ 3% đến 6% so với thử nghiệm PF ở các hạn dự báo dài hơn hai ngày, đặc biệt thử nghiệm MP cũng giảm sai số dự báo quỹ đạo bão từ 5% đến 10% so với thử nghiệm MI. Đối với cường độ bão, thử nghiệm MP cũng giảm sai số tuyệt đối P_{min} và V_{max} xuống 20% đến 30% so với hai thử nghiệm còn lại trong hầu hết các hạn dự báo. Như vậy, phương pháp xác định sai số mô hình bằng phương pháp đa vật lý đã mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão Usagi 2018 tốt hơn so với phương pháp tăng cấp nhân và coi mô hình là hoàn hảo. Ngoài ra, thời hạn dự báo càng lớn, khi bão tiến vào đất liền thì sai số dự báo quỹ đạo càng lớn, vì tất cả các thử nghiệm đều

cho thấy bão đổ bộ vào khu vực miền trung trong khi thực tế bão đổ bộ vào khu vực miền Nam. Tuy nhiên, cơn bão Usagi 2018 là cơn bão yếu, nên sự hiệu quả của phương pháp này trong mô phỏng cường độ cần phải xem xét thêm đối với các cơn bão có cường độ mạnh hơn. Ngoài ra, nếu xét về tính hiệu quả trong mô phỏng quỹ đạo cơn bão Usagi, thì phương pháp đa vật lý chỉ hiệu quả so với phương pháp tăng cấp nhân, còn so với dự báo đơn thuần từ mô hình toàn cầu GFS lại không hiệu quả (không chỉ ra ở đây). Đây là một vấn đề mà nhóm tác giả sẽ lý giải trong các nghiên cứu tiếp theo.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

ARW: Nghiên cứu cải tiến WRF
AMV: vecto chuyển động khí quyển
WRF: Mô hình dự báo và nghiên cứu thời tiết
GFS: Hệ thống dự báo toàn cầu
MAE: Sai số trung bình tuyệt đối
Pmin: Áp suất mực biển cực tiểu tại tâm bão
Vmax: Tốc độ gió cực đại gần tâm bão
PE: Sai số quỹ đạo bão
UTC: Giờ quốc tế
OBS: Quan trắc

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

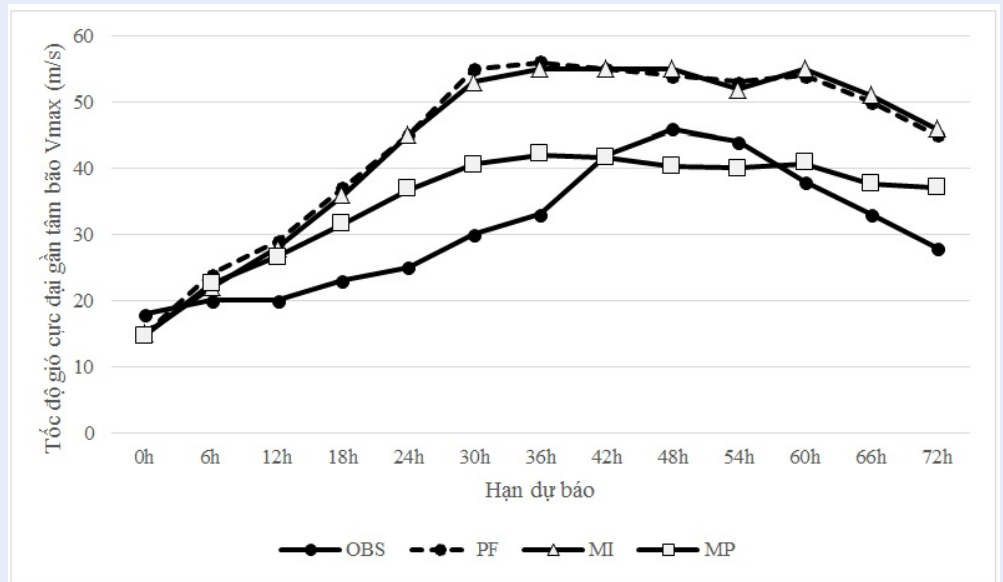
Nhóm tác giả cam đoan rằng không có xung đột lợi ích trong công bố bài báo “Ứng dụng phương pháp đa vật lý xác định sai số của mô hình WRF mô phỏng quỹ đạo và cường độ cơn bão USAGI 2018”.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

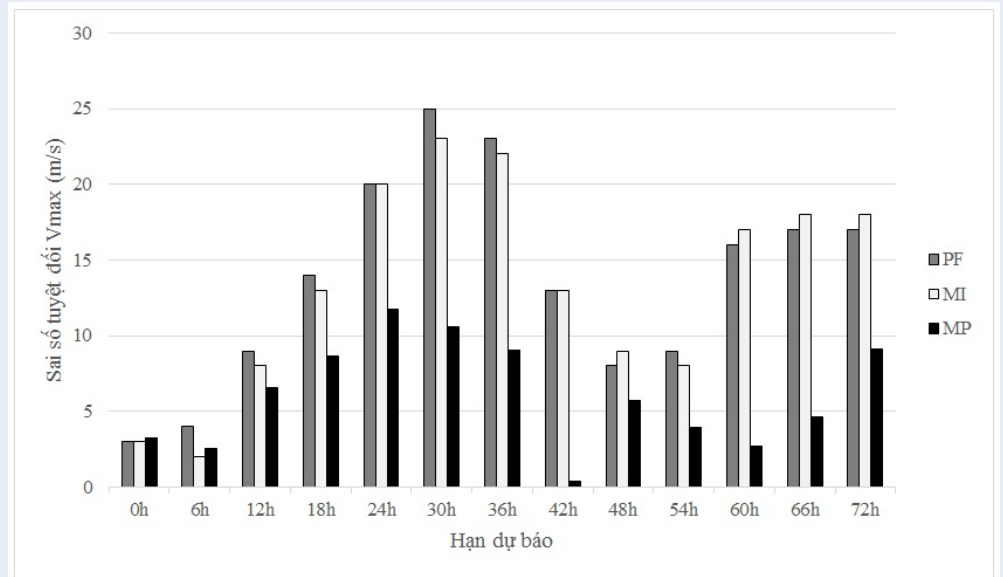
Tác giả Phạm Thị Minh, Nguyễn Thị Hằng, Phạm Thị Kim Thủy và Cao Nguyễn Hoàng Gia cùng thực hiện các bước và các thử nghiệm kết quả của nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Daley R. Atmospheric data analysis. Cambridge University Press: Cambridge. 1993;
2. Anderson JL. Exploring the need for localization in ensemble data assimilation using a hierarchical ensemble filter. *Physica D*. 2007a; 230: 99-111; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.physd.2006.02.011>.
3. Anderson JL. An adaptive covariance inflation error correction algorithm for ensemble filters. *Tellus*. 2007b; 59A: 210-224; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2006.00216.x>.
4. Baek SJ, Hunt BR, Kalnay E, Ott E and Szunyogh I. Local ensemble Kalman filtering in the presence of model bias. *Tellus*. 2006; 58A: 293-306; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2006.00178.x>.
5. Hong L, et al. Accounting for model errors in ensemble data assimilation. *Mon Wea Rev*. 2009; 137: 3407-3419; Available from: <https://doi.org/10.1175/2009MWR2766.1>.
6. Zhu Y. Ensemble forecast: A new approach to uncertainty and predictability. *Adv Atmos Sci*. 2005; 22: 781-788; Available from: <https://doi.org/10.1007/BF02918678>.



Hình 11: Biến trình Vmax trung bình của bão Usagi trong các trường hợp thử nghiệm và quan trắc. Dự báo lúc 00 giờ UTC ngày 22/11/2018.



Hình 12: Sai số tuyệt đối Vmax của cơn bão Usagi mô phỏng lúc 00 giờ UTC ngày 22/11/2018

7. Byun KY, Yang J and Lee TY. Numerical Simulation of Winter Precipitation and Its Sensitivity to Microphysics Schemes. *Asia-Pacific J Atmos Sci.*2007; 43: 59-75;.
8. Li X and Pu Z. Sensitivity of numerical simulation of early rapid intensification of Hurricane Emily (2005) to cumulus parameterization schemes in different model horizontal resolutions. *J Meteor Soc Japan.* 2009; 87: 403-421; Available from: <https://doi.org/10.2151/jmsj.87.403>.
9. Kieu CQ and Zhang DL. Genesis of Tropical Storm Eugene (2005) Associated with the ITCZ Breakdowns. Part III: Sensitivity to different genesis parameters. *J Atmos Sci.* 2010; 67: 1745-1758; Available from: <https://doi.org/10.1175/2010JAS3227.1>.
10. PU Z. Improving Hurricane Intensity Forecasting through Data Assimilation: Environmental Conditions Versus the Vortex Initialization (Book Chapter), *Recent Hurricane Research - Climate, Dynamics, and Societal Impacts*, Anthony Lupo (Ed.). 2011;.
11. Anderson JL and Anderson SL. A Monte Carlo implementation of the non-linear filtering problem to produce ensemble assimilations and forecasts. *Mon Wea Rev.* 1999; 127: 2741 - 2758; Available from: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1999\)127<2741:AMCIOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1999)127<2741:AMCIOT>2.0.CO;2).
12. Houtekamer PL, Mitchell HL, Pellerin G, Buehner M, Charron M, Spacek L, Hansen B. Atmospheric data assimilation with an ensemble Kalman filter: Results with real observations. *Mon Wea Rev.* 2005; 133: 604; Available from: <https://doi.org/10.1175/MWR-2864.1>.
13. Whitaker JS, Hamill TM. Ensemble data assimilation without perturbed observations. *Mon Wea Rev.* 2002; 130: 1913-1924; Available from: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130<1913:EDAWPO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130<1913:EDAWPO>2.0.CO;2).
14. Szunyogh I, Kostelich EJ, Gyarmati G, Kalnay E, Hunt BR, Ott E, Satterfield E, Yorke JA. A local ensemble transform Kalman filter data assimilation system for the NCEP global model. *Tellus A.* 2008; 60: 113-130; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2007.00274.x>.
15. Meng Z, Zhang F. Tests of an ensemble Kalman filter for mesoscale and regional-scale data assimilation. Part II: Imperfect model experiments. *Mon Wea Rev.* 2007; 135: 1403-1423; Available from: <https://doi.org/10.1175/MWR3352.1>.
16. Chanh K, et al. An Application of the Multi-Physics Ensemble Kalman Filter to Typhoon Forecast. *Pure Appl. Geophys.* 2013;170:745–954.
17. Hunt BR, Kostelich E, Szunyogh I. Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: a local ensemble transform Kalman filter. *Physica D.* 2007; 230: 112-126; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.physd.2006.11.008>.
18. Wilks DS. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Ithaca New York. 1997; 59: 255;.
19. Tien DD, Duc TN, et al. A study of the connection between tropical cyclone track and intensity errors in the WRF model. *Meteorol Atmos Phys.* 2013;121:278–300.

An application of the multi-physical method of determining error of WRF models to simulate the track and intensity Usagi storm in 2018

Pham Thi Minh^{1,*}, Nguyen Thi Hang², Pham Kim Thuy², Cao Nguyen Hoang Gia³



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

This paper presents the test results of the WRF model error determination methods simulating the trajectory and intensity of storm Usagi in 2018. The study conducted three experiments: (1) The Combination of 11 options physical model, 21 composites, no increase in error correlation (MP); (2) Using a set of physical model, 21 composite components, multiplier growth factor $\lambda = 6.5$ (MI); (3) Using a set of physical model, 21 compositions, no increase in error correlation (PF). Test results show that the multi-physics (MP) method has quite well simulated the intensity as well as the moving direction of the northern cold high pressure in the active Usagi storm area. As a result, The 2018 - Usagi 's trajectory and intensity is simulated in MP test better than in MI test and PF test. Specifically, at the 48-hour forecast term, the orbital prediction error of the MP test is below 350 km which is lower than the two tests (MI and PF), The orbital error in the MP test at the forecast term of 60 and 72 hours is 3-6% reduction in compared with the PF test, and in compared with the MI test, the orbital predictive error of the MP test decreased from 5% to 10% at the 12 hour to 72 hours forecast period. In terms of intensity, absolute error of Pmin (Vmax) in MP test always has lower value than two MI and PF tests. In particular, the absolute error of Vmax in the MP test decreased from 30-40% in compared to the other two trials at all forecasting terms, especially at the forecast term longer than 2 days. Thus, the multi-physics method can be a potential application of determining the error for the model to simulate the trajectory and intensity of storms affecting Vietnam.

Key words: Error model, The Kalman filter, Typhoon, Ensemble forecasting

¹Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment, Vietnam

²Department of General Science Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment, Vietnam

³Student of Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment, Vietnam

Correspondence

Pham Thi Minh, Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment, Vietnam

Email: minhpt201@gmail.com

History

- Received: 25-9-2020
- Accepted: 28-5-2021
- Published: 04-6-2021

DOI : 10.32508/stdjsee.v5i1.547



Cite this article : Minh P T, Hang N T, Thuy P K, Gia C N H. An application of the multi-physical method of determining error of WRF models to simulate the track and intensity Usagi storm in 2018. *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.*; 5(1):298-311.