

Ứng dụng mô hình phương trình nước nông vào dự báo quỹ đạo bão nhiệt đới

GS. TRỊNH VĂN THỤ

Tổng cục KTTV

TÓM TẮT

Mô hình phương trình nước nông trong trường hợp không tính đến tác động của địa hình mặt đáy đã được sử dụng để dự báo 3 ngày quỹ đạo của xoáy thuận nhiệt đới (bão). Ba nhân tố mô tả xoáy bão ban đầu là quy mô, cường độ và chuyển động ban đầu của xoáy bão đã được xác định từ các số liệu quan trắc thực tế và các đa thức thực nghiệm. Sự hòa hợp của xoáy bão tính toán với trường số liệu phân tích ban đầu bảo đảm sao cho tại vùng trung tâm của xoáy bão giữ nguyên các trị số tính toán theo các phương trình toán học, còn tại rìa phía ngoài của bão giữ nguyên các trị số của các số liệu của trường phân tích ban đầu.

Các kết quả dự báo thí nghiệm 72 giờ quỹ đạo bão BETTY (1987), DAN (1989) được trình bày để minh họa cho hiệu quả của mô hình dự báo và sơ đồ phân tích xoáy bão ban đầu. 8

I- MỞ ĐẦU

Trong công trình nghiên cứu gần đây, M. Demaria và các cộng sự (1990) đã phân tích, so sánh các sai số dự báo quỹ đạo của xoáy thuận nhiệt đới (XTND) từ năm 1983 đến năm 1988 đối với các mô hình: CLIPER (khí hậu quán tính), NHC83 (thống kê động lực), MFM (động lực áp tà), SANBAR (động lực áp hướng). Ngoài ra, 2 mô hình QLM (động lực áp tà tựa Lagrangian), BAM (động lực áp hướng cộng với hiệu quả của tham số "bê ta" được đưa vào tác nghiệp năm 1988) cũng được tác giả đưa vào xem xét, đánh giá.

Các kết quả nghiên cứu cho thấy rằng các mô hình động lực áp tà (MFM, QLM) có các sai số dự báo lớn nhất đối với thời hạn dự báo 12 và 24 giờ. Đối với các XTND di chuyển ở phía bắc vĩ tuyến 25°N , hai mô hình động lực áp tà này có kết quả dự báo khá đối với các thời hạn dự báo 36 và 48 giờ. Đối với các XTND di chuyển ở phía nam vĩ tuyến 25°N , hai mô hình động lực áp (MFM) và (QLM) không thể hiện được khả năng dự báo đối với bất kỳ thời hạn dự báo nào từ 12 giờ đến 48 giờ; mô hình động lực áp hướng (SANBAR) có thể sử dụng để dự báo đối với các thời hạn dự báo từ 36 đến 48 giờ.

Hai mô hình NHC83 và BAM có các sai số dự báo bé nhất (kể cả so sánh với mô hình CLIPER), đối với mọi thời hạn dự báo từ 12 đến 72 giờ và đối với cả XTND di chuyển ở phía bắc

cũng như ở phía nam vĩ tuyến 25°N.

Các kết quả nghiên cứu nêu trên đây cùng với các kết quả nghiên cứu được công bố của C.J.Newmann và M.Plissier (1981) đã chỉ ra rằng đối với các xoáy thuận nhiệt đới di chuyển trên các vùng biển và đại dương ở các vĩ độ thấp, nơi rất thiếu thốn các số liệu khí tượng quan trắc thực tế, các mô hình động lực áp tà không thể hiện được ưu việt so với các mô hình động lực áp hướng hoặc thống kê động lực. Dựa trên các kết quả phân tích này, một mô hình động lực áp hướng dựa trên các phương trình nước nông cùng với một sơ đồ phân tích xoáy bão ban đầu đã được chúng tôi đề cập đến để sử dụng dự báo 72 giờ quỹ đạo các cơn bão di chuyển trên khu vực biển Đông Việt Nam. Các số liệu ban đầu là các thành phần vĩ và kinh hướng của gió (u,v), độ cao địa thế vị (z) được tính trung bình theo tích phân thẳng đứng từ mực đẳng áp 1000, 850, 700, 500, 300, 200 và 100 hPa. Các tham số ban đầu của quỹ đạo bão và cường độ bão được lấy từ các ấn phẩm hàng năm về XNTD của Đài Khí tượng GUAM-Trung tâm liên hợp cảnh báo bão (1987, 1989).

II- MÔ HÌNH DỰ BÁO

2.1. Các phương trình cơ bản

Các phương trình cơ bản của mô hình dự báo là các phương trình nước nông. Trong trường hợp không tính đến địa hình mặt đáy, các phương trình này có thể viết dưới dạng sau đây:

$$\frac{Du}{Dt} = -g \frac{\partial z}{\partial x} + fv \quad (2.2)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -g \frac{\partial z}{\partial y} - fu \quad (2.2)$$

$$\frac{DZ}{DT} = -z \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.3)$$

trong đó

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y}$$

u,v,z - Các số liệu ban đầu được tính trung bình theo tích phân thẳng đứng như đã được nêu ở phần I (đối với đại lượng z, tích phân được thực hiện đối với chuẩn sai của từng mực đẳng áp).

Mạng tính gồm 65x49 điểm với độ phân giải bằng 1,25 độ kinh, vĩ tuyến. Tích phân theo thời gian được thực hiện theo sơ đồ Matsuno với bước thời gian bằng 3 phút. Các biên đông và tây mạng tính chất tuần hoàn, còn các biên bắc và nam là cố định. Nội dung chi tiết của mô hình có thể tham khảo qua tài liệu T.N.Krishnamurti và các cộng sự (1987).

2.2. Mô phỏng xoáy bão ban đầu

Theo Milne-Thomson (1968), Anderson và Hollingsworth (1988) thì vận tốc gió tiếp tuyến (C) của một xoáy Rankine có thể được miêu tả bởi một hàm số của bán kính (r). Sử dụng quy tắc

gió gradien và điều kiện liên tục của độ cao địa thế vị tại bán kính của gió tiếp tuyến cực đại (R_m), chúng ta có thể nhận được các phương trình sau đây để tính các trị số của gió tiếp tuyến và độ cao địa thế vị của xoáy bão ban đầu:

a) Với $r \leq R_m$:

$$C(r) = C_m \frac{r}{R_m} \quad (2.4)$$

$$z(r) = Z(R) - \left[\frac{f R_m C_m}{2(1-\alpha)} \left\{ 2 \left[\frac{R}{R_m} \right]^{1-\alpha} - (1+\alpha) \right. \right. \\ \left. \left. - (1-\alpha) \left[\frac{r}{R_m} \right]^2 \right\} - \frac{C_m^2}{2\alpha} \left\{ \left[\frac{R}{R_m} \right]^{-2\alpha} - (1+\alpha) \right. \right. \\ \left. \left. + \alpha \left[\frac{r}{R_m} \right]^2 \right\} \right] \quad (2.5)$$

b) Với $r > R_m$:

$$C(r) = C_m \left[\frac{r}{R_m} \right]^{-\alpha} \quad (2.6)$$

$$Z(r) = Z(R) - \left[\frac{f R_m C_m}{1-\alpha} \left\{ \left[\frac{R}{R_m} \right]^{1-\alpha} - \left[\frac{r}{R_m} \right]^{1-\alpha} \right\} \right. \\ \left. - \frac{C_m^2}{2\alpha} \left\{ \left[\frac{R}{R_m} \right]^{-2\alpha} - \left[\frac{r}{R_m} \right]^{-2\alpha} \right\} \right] \quad \dots \quad (2.7)$$

trong đó

C_m - Giá trị cực đại quan sát được của gió tiếp tuyến

α - Tham số thực nghiệm, bằng 0,6

R - bán kính của hoàn lưu ngoài cùng của xoáy bão hay còn gọi là "quy mô" của xoáy bão

R_m - bán kính ứng với gió tiếp tuyến cực đại.

Các giá trị C_m , R , R_m được xác định theo các số liệu thám sát thực tế về bão. Giá trị α được lựa chọn theo kết quả thực nghiệm của Andersson và Hollingsworth (1988).

2.3. Hòa hợp xoáy bão theo tính toán với các số liệu quan trắc ban đầu

Các trị số của gió tiếp tuyến và độ cao địa thế vị của xoáy bão tính toán theo các phương trình (2.4) và (2.5) với điều kiện $r \leq R_m$ (trong vùng trung tâm gió cực đại của bão) được sử dụng trực tiếp để miêu tả xoáy bão, không hòa hợp với trường số liệu quan trắc ban đầu. Ngược lại, các trị số của gió tiếp tuyến và độ cao địa thế vị của xoáy bão tính toán theo các phương trình (2.6) và

(2.7) được hòa hợp với trường số liệu quan trắc ban đầu theo công thức nội suy theo tỷ lệ khoảng cách từ r đến R_m và từ r đến R , sao cho tại $r = R_m$ thì các giá trị hòa hợp bằng các trị số tính toán theo các phương trình (2.6) và (2.7), còn tại $r = R$ thì các giá trị hòa hợp bằng các trị số của trường số liệu quan trắc ban đầu. Các công thức hòa hợp các số liệu này có dạng cụ thể như sau:

a) Với $0 \leq r \leq R_m$:

$$u^*(r) = u_T(r); v^*(r) = v_T(r); Z^*(r) = z_T(r)$$

b) Với $R_m \leq r \leq R$:

$$u^*(r) = u_T(r) \cdot rR/RR_m + u(r) \cdot rR/RR_m$$

$$v^*(r) = v_T(r) \cdot rR/RR_m + v(r) \cdot rR/RR_m$$

$$z^*(r) = z_T(r) \cdot rR/RR_m + z(r) \cdot rR/RR_m$$

ở đây u , u_T , u^* - Các thành phần vĩ hướng của gió bão tiếp tuyến theo trường số liệu phân tích ban đầu (u), theo tính toán bởi các phương trình miêu tả ở mục 2.2 (u_T) và kết quả hòa hợp theo các công thức trên đây (u^*). Các ký hiệu tương tự như vậy được áp dụng đối với v và z .

2.4. Cộng hưởng tốc độ di chuyển ban đầu của xoáy bão vào các thành phần gió bão

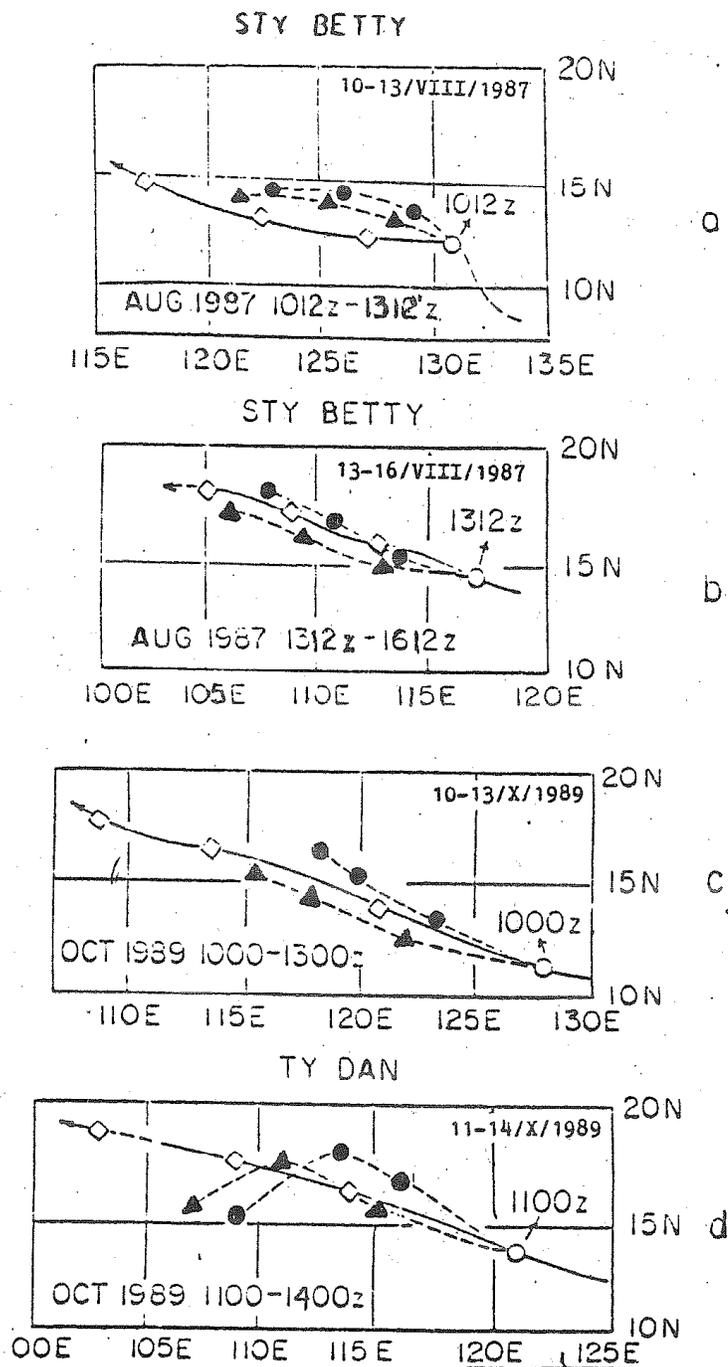
Các thành phần vĩ hướng và kinh hướng của tốc độ di chuyển ban đầu của xoáy bão được xác định từ các đa thức thực nghiệm bậc hai theo biến thời gian của quỹ đạo bão dựa vào các tọa độ tâm bão tại các thời điểm (đơn vị giờ) t_0-12 , t_0-9 , t_0-6 , t_0-3 , t_0 và t_0+3 (t_0 - thời điểm xuất phát dự báo). Việc cộng các thành phần tốc độ di chuyển ban đầu của xoáy bão vào các thành phần tương ứng của gió tiếp tuyến của xoáy bão ban đầu, qua các thực nghiệm dự báo, đã làm tăng rõ rệt mức độ chính xác của dự báo.

III- MỘT SỐ KẾT QUẢ DỰ BÁO THÍ NGHIỆM

Các kết quả dự báo 72 giờ (qua 12 giờ một) các vị trí tâm bão đối với cơn bão BETTY ngày 10 và 13 tháng VIII năm 1987 và đối với cơn bão DAN ngày 10 và 11 tháng X năm 1989 được trình bày tại bảng 1. Các sai số (khoảng cách từ vị trí tâm bão dự báo tới tâm bão thực tế ΔR (km) nêu ở bảng 1 cho thấy hiệu quả tương đối tốt của mô hình dự báo và sơ đồ phân tích, hòa hợp xoáy bão ban đầu, có khả năng đưa vào ứng dụng trong dự báo tác nghiệp đối với các cơn bão di chuyển trên biển Đông Việt Nam.

Các H.1a, 1b, 1c và 1d trình bày các kết quả dự báo vị trí tâm bão đối với các trường hợp có và không có tính đến các chuyển động ban đầu của xoáy bão như đã nêu ở mục 2.4. Rõ ràng là việc cộng thêm các thành phần tốc độ di chuyển ban đầu của xoáy bão vào các thành phần tương ứng vĩ hướng và kinh hướng của gió bão tiếp tuyến đã làm tăng tốc độ chính xác dự báo. Tuy vậy, qua các hình này ta có thể dễ dàng nhận thấy rằng các vận tốc dự báo di chuyển đều chậm so với các vận tốc di chuyển thực tế của tâm bão. Đó là điều cần được tiếp tục nghiên cứu để khắc phục.

Các H.2a, 2b và 2c, 2d là các trường đường dòng và độ cao địa thế vị của cơn bão BETTY ngày 13 tháng VIII năm 1987 đối với trường hợp mô phỏng xoáy bão theo các phương trình tính toán, cộng với tốc độ di chuyển ban đầu của xoáy bão (các H.2a, 2b) và ngược lại, không có mô phỏng xoáy bão ban đầu (các H.2c, 2d). Xuất phát từ các trường ban đầu này các trường dự báo 72 giờ tương ứng được trình bày tại các H.3a, 3b và 3c, 3d. Các bản đồ dự báo này cho thấy cụ thể



Hình 1. CÁC DỰ BÁO 3 NGÀY VỊ TRÍ TÂM BÃO

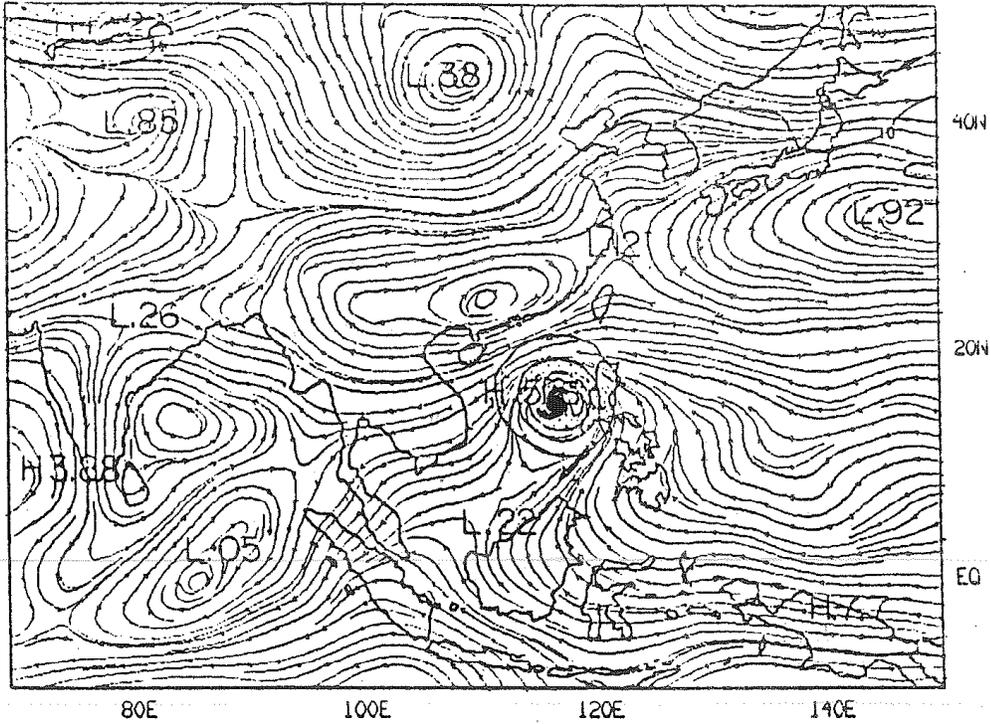
Δ - Phương án cộng thêm di chuyển ban đầu của xoáy bão

● - Phương án không cộng thêm di chuyển ban đầu của xoáy bão

◇ - Vị trí thực tế của tâm bão

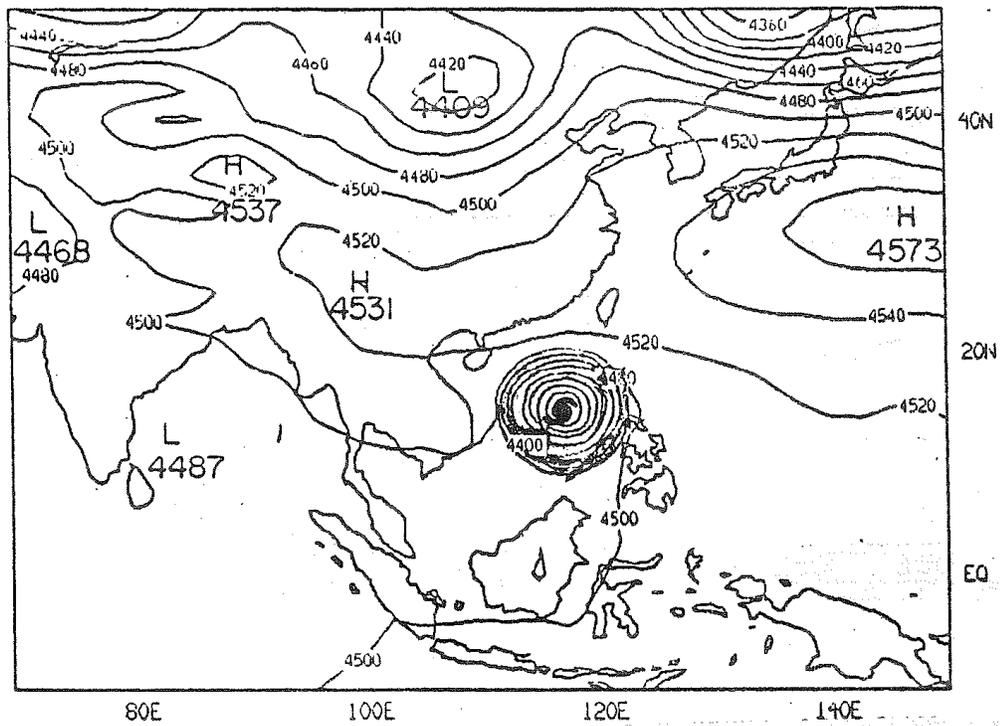
CGS VERTICALLY INTEGRATED STREAMLINES FOR AUG 13

INT=10.0000



a

CGS VERTICALLY INTEGRATED HEIGHT FIELD FOR AUG 13, 1987 INT=20.0000



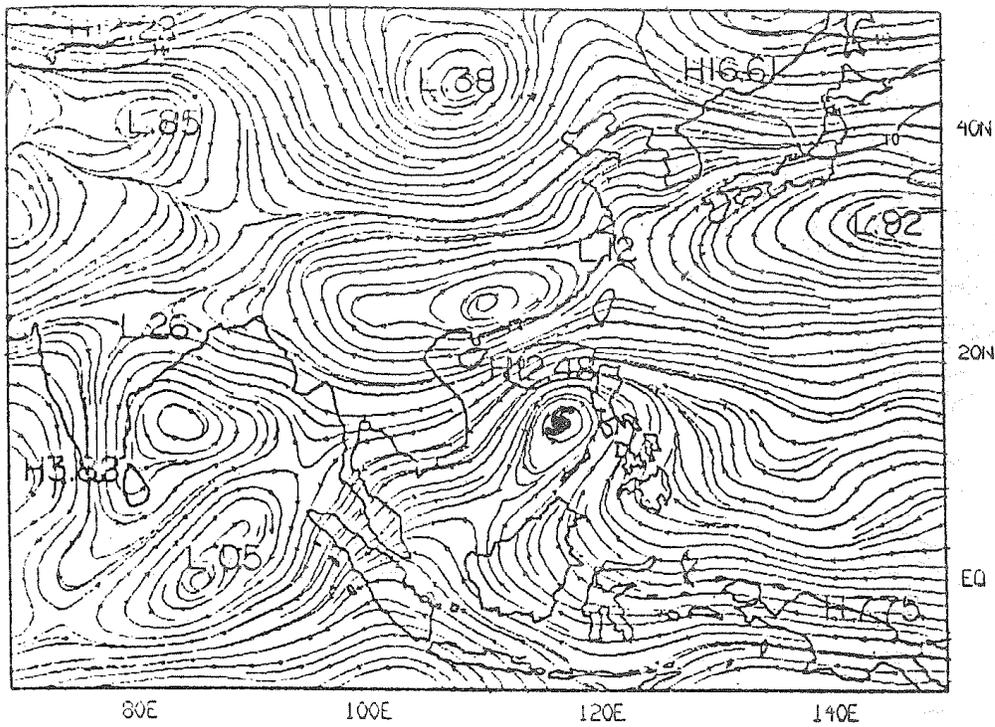
b

Hình 2a. Trường dòng ban đầu cộng thêm xoáy bão mô phỏng và di chuyển ban đầu của xoáy bão.

2b. Trường độ cao địa thế vị (đơn vị m) ban đầu cộng thêm xoáy bão mô phỏng. Bão BETTY 12 UCT ngày 13/VIII/1987

UGS VERTICALLY INTEGRATED STREAMLINES FOR AUG 13

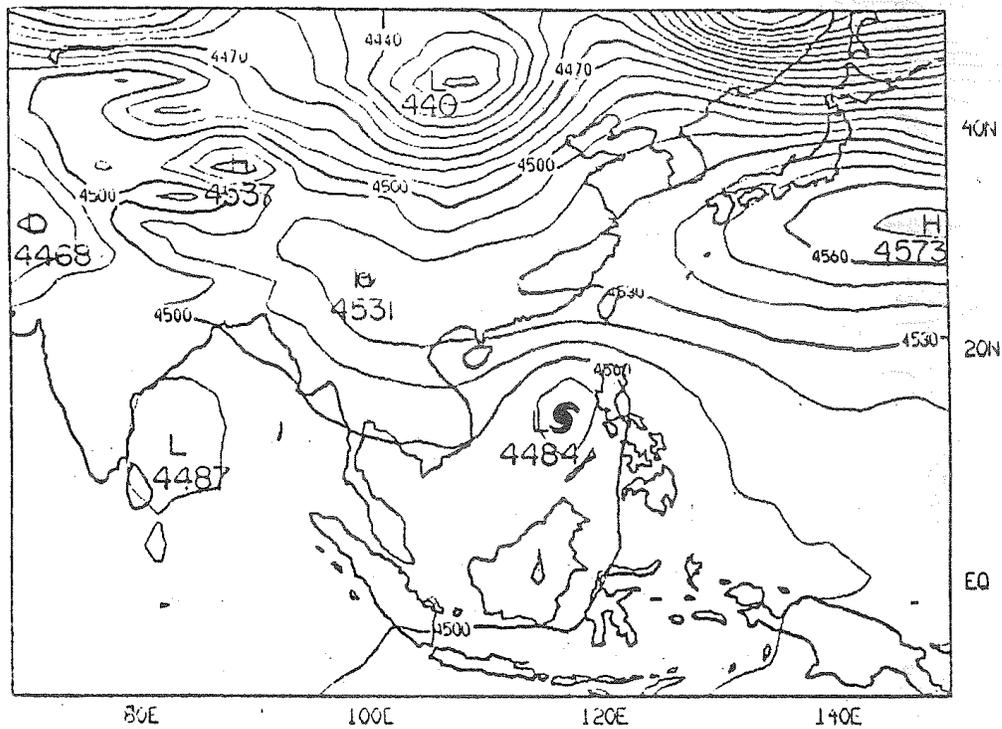
INT=10.0000



C

UGS VERTICALLY INTEGRATED HEIGHT FIELD FOR AUG 13

INT=10.0000



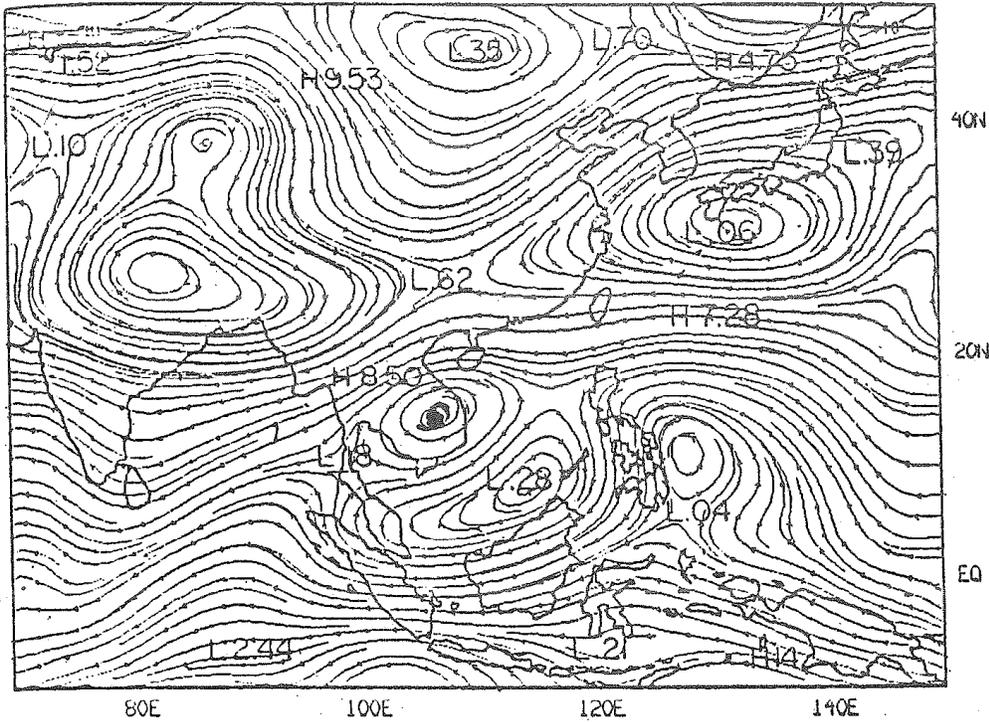
d

Hình 2c. Trường đường dòng ban đầu không có xoáy bão mô phỏng.

2d. Trường độ cao địa thế vị (đơn vị m) không có xoáy bão mô phỏng.

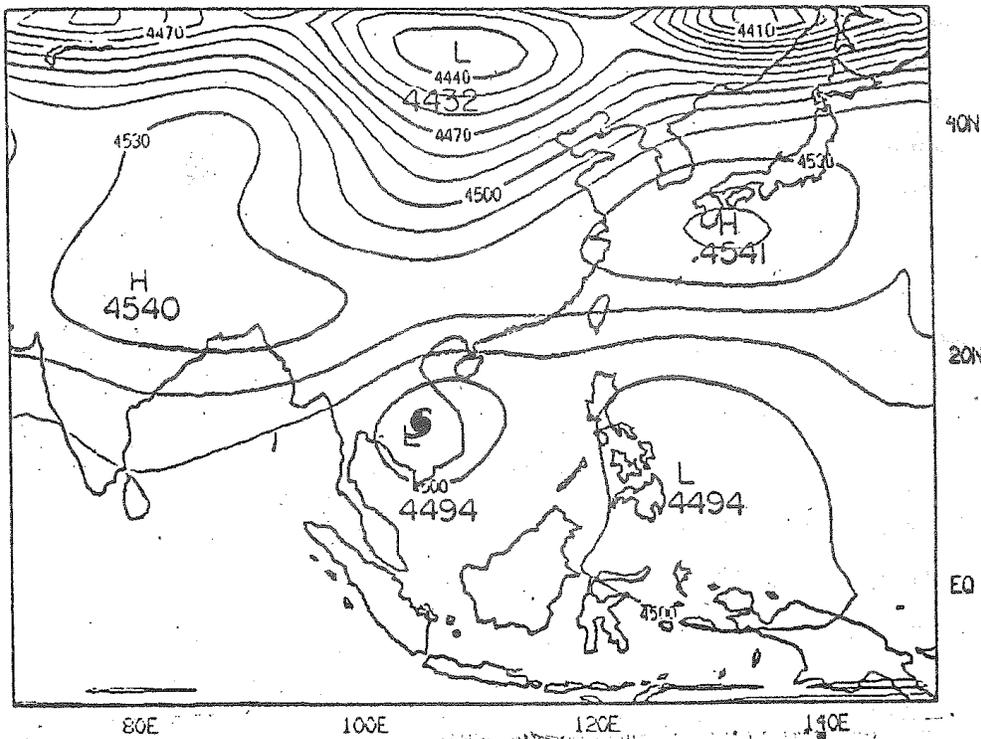
Bão BETTY 12 UCT ngày 13/VIII/1987

72HR FORECAST STREAMLINES FROM AUG 13 INT=10.0000



C

72HR FORECAST HEIGHT FIELD FROM AUG 13 INT=10.0000



d

Hình 3c. Dự báo 3 ngày trường dòng đồng, xuất phát từ trường H. 2c
3d. Dự báo 3 ngày trường độ cao địa thế vị xuất phát từ trường H. 2d.

hoàn lưu xoáy bão được mô phỏng ban đầu theo các phương trình toán học có vị trí ở phía bắc hơn nhiều và sát với vị trí tâm bão thực tế, chính xác hơn so với trường hợp không có mô phỏng toán học xoáy bão ban đầu.

Bảng 1. Sai số dự báo vị trí tâm bão ΔR (km)

Tên bão	Ngày xuất phát DB	ΔR_{12}	ΔR_{24}	ΔR_{36}	ΔR_{48}	ΔR_{60}	ΔR_{72}
Betty	10.VIII.87	85	155	289	311	333	445
Betty	13.VIII.87	42	78	112	133	135	144
Dan	10.X. 89	110	211	389	522	666	788
Dan	11.X. 89	142	156	213	244	367	558
	TB	95	150	251	303	375	484

IV-KẾT LUẬN

Mô hình phương trình nước nông cùng với sơ đồ mô phỏng toán học xoáy bão ban đầu dựa trên quy mô, cường độ và tốc độ chuyển động ban đầu của bão, qua một số thí nghiệm dự báo 72 giờ quỹ đạo của bão, đã cho các kết quả khả quan, có thể áp dụng trong công tác nghiệp vụ dự báo quỹ đạo bão. Mô hình có độ ổn định tính toán đối với dự báo 72 giờ, với bước thời gian tích phân bằng 3 phút. Độ chính xác dự báo có thể tốt hơn nếu mô hình dự báo và phân tích trường số liệu ban đầu được nghiên cứu hoàn thiện hơn, trước hết nhằm khắc phục vận tốc dự báo di chuyển của tâm bão chậm hơn so với vận tốc di chuyển thực tế của tâm bão.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Andersson E.,and A. Hollingsworth, 1988: A typhoon bogus observations in the ECMWF data assimilation system. Tech. Memo. NO.148, ECMWF, 25pp.
2. Demaria, M.,M.B. Lawrence and J.T. Kroll, 1990: An error analysis of Atlantic tropical cyclone track guidance models. Weather and forecasting; Vol.5,47-61.
3. Joint typhoon warning center, 1987: The 1987 annual tropical cyclone report.
4. Joint typhoon warning center, 1989: The 1989 annual tropical cyclone report.
5. Krishnamurti T.N, Arun Kumar and Xiang Li, 1987: Results of extensive integrations with simple NWP models over the tropics during FGGE. Tellus, 39A, 152-160.
6. Milne-Thomson, L.M.,1968: Theoretical hydrodynamics. Macmillan press, London, 743pp.
7. Neumann C.J.,and J.M., Plissier, 1981: Models for the prediction of tropical cyclone motion over the North Atlantic: An operational evaluation. Mon. Wea. Rev., 109, 522-538.