

PHƯƠNG PHÁP DỰ BÁO SYNOP VÀ DỰ BÁO SỐ TRỊ TRONG DỰ BÁO THỜI TIẾT

ThS. Đỗ Ngọc Thắng

Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương

Hiện nay việc nghiên cứu và ứng dụng dự báo số trị bước đầu đã đạt được những tiến bộ rất đáng khích lệ ở Việt Nam. Vì vậy, về mối quan hệ giữa phương pháp dự báo thời tiết số trị hiện đại với phương pháp dự báo thời tiết truyền thống (còn gọi là phương pháp synop) như thế nào? Trong bài báo này, tác giả giới thiệu đặc điểm cơ bản của từng phương pháp và mối quan hệ giữa chúng.

1. Đặc điểm của phương pháp dự báo synop và dự báo số trị

Trước hết có thể đưa ra định nghĩa sau đây của D. L. Laikhman [1] cho thuật ngữ “dự báo thời tiết”:

“Bài toán dự báo thời tiết là xác định trạng thái tương lai của khí quyển theo trạng thái ban đầu và theo những tác động bên ngoài làm biến đổi hay phân bố lại năng lượng; các tác động này phải được cho trước trong thời gian dự báo”.

Hai phương pháp synop và số trị sẽ “xác định trạng thái tương lai”, dựa vào “các điều kiện cho trước” đó theo hai cách khác nhau.

a. Phương pháp synop

Khí tượng học là ngành khoa học nghiên cứu về thời tiết và khí hậu trên các vùng khác nhau của bề mặt trái đất và tại các lớp không khí khác nhau theo chiều cao của khí quyển. Một điều đáng chú ý là trong khi khí tượng học là một trong 3 ngành của một bộ môn khoa học lớn lại ra đời muộn so với các khoa học khác như: thiên văn học, toán học, vật lý học, hoá học, sinh học.... Đơn cử ví dụ toán học hình thành như một khoa học rất sớm. Dẫn chứng cho sự ra đời này có lẽ là tác phẩm “Nguyên lý” (Elements) của nhà toán học cổ đại Euclid, người Hy Lạp sống vào khoảng năm thứ 300 trước công nguyên (nghĩa là cách đây khoảng hơn 2300 năm). Trong tác phẩm “Nguyên lý”, Euclid và các nhà toán học thời đó đã đạt được một thành tựu lớn, hoàn mỹ cho bộ môn hình học, vì trước đó hình học chưa hoàn toàn là một môn toán học suy diễn. Người ta còn phải tính toán thể tích của các vật thể bằng các phương pháp thực nghiệm (như thực nghiệm vật lý) là đổ cát vào các hình khối, tính khối lượng của nó, rồi căn cứ vào khối lượng riêng để tính ra thể tích. Sau Euclid, hình học đã hoàn toàn được xây dựng bằng các chuỗi tư duy diễn tả (deductive) để đạt được các công thức hoặc định lý. Sự đúng đắn của công thức, định lý được đảm bảo bởi sự chặt chẽ, trong sáng trong lý luận thuần túy, mà không đặt vấn đề kiểm chứng qua thực nghiệm. Ảnh hưởng tư duy diễn tả thuần lý của Euclid vẫn còn giữ nguyên giá trị cho tới ngày nay, người ta nhận thấy rằng: rất nhiều định lý, cách chứng minh định lý... mà Euclid viết cách đây 2300 năm không khác gì so với cách trình bày hình học sơ cấp mà các thầy cô giáo toán dạy cho học sinh tại các trường phổ thông ngày nay. Không chỉ trong toán học, mà cả trong vật lý và một số lĩnh vực khác, phương pháp “tiên đề” (axiomatics) mà Euclid sử dụng đã được tiếp tục vận dụng dưới nhiều dạng rất phong phú.

Với khí tượng học, năm khai sinh ra bộ môn khoa học về thời tiết, khí hậu này được tính vào khoảng cuối thế kỷ 16, đầu thế kỷ 17, khi nhà vật lý học G. Galilei chế tạo ra nhiệt biểu năm 1597 và khi E. Torricelli phát minh ra sáng kiến phương pháp đo áp suất khí quyển vào năm 1643, bằng một ống thủy ngân mà trọng lượng của nó cân bằng với áp suất bên ngoài của ống [3]. Thiết bị tưởng chừng như đơn giản này đã có giá trị lịch sử, được mang tên gọi là “ống Torricelli”, có lẽ đây là sự đánh dấu khởi đầu của bộ môn khoa học mà ngày nay chúng ta gọi là khí tượng học. Như vậy, khí tượng học bắt đầu hình thành kể từ khi con người tạo ra được dụng cụ đo áp suất khí quyển một cách chính xác. Trước thời điểm này, khí tượng học coi như chưa ra đời, vì kiến thức về thời tiết, khí hậu lúc đó chỉ là những ghi chép, mô tả chưa có hệ thống.

Sự ra đời muộn màng của khí tượng học có nguyên nhân không thể tránh khỏi là: khoa học về thời tiết, khí hậu cần có một sự chờ đợi nào đó, cho đến khi các khoa học khác như: toán học, vật lý học và các khoa học liên đới khác tạo ra những cơ sở cần thiết cho môn khoa học của chính mình.

Cột mốc đánh dấu cho sự ra đời của bộ môn khí tượng học synop gắn liền với tên tuổi của nhà khoa học J. Bjerknes và các nhà khí tượng học thuộc trường phái Na Uy khoảng những năm 1920 [4]. Phát minh của Bjerknes là khẳng định một khái niệm về sự tồn tại và sau đó là sự vận động có quy luật của các khối không khí trong khí quyển. Trước thời của ông Bjerknes, sự biến động phức tạp, đôi lúc mang tính thất thường của các yếu tố thời tiết như gió, độ ẩm, các thiên tai ... đã cản trở sự hình dung đầy đủ về một cội nguồn có tổ chức, có chung bản chất và chi phối các biến động của thời tiết, khí hậu. Bjerknes xuất phát từ tư duy về một vùng không khí nào đấy, lưu lại lâu (vài ngày, đến 1,2 tuần) phía trên một vùng bề mặt xác định (đủ rộng) của bề mặt trái đất. Trong trường hợp đó, ắt phải xảy ra những quá trình trao đổi các thuộc tính giữa bề mặt và vùng không khí “lưu lại lâu ngày” đó. Ví dụ, nếu bề mặt là diện tích vùng Bắc Cực, vùng không khí mới đến có nhiệt độ cao hơn, thì do quá trình tương tác, trao đổi giữa bề mặt tại chỗ và không khí, sẽ làm cho vùng không khí trở lên lạnh không kém gì bề mặt của Bắc Cực được gọi là “khối không khí Bắc Cực” và chúng ta phân biệt nó với các khối không khí khác tồn tại bao quanh. Sau khi được hình thành và mang tên như vậy, khối không khí Bắc Cực này có thể di chuyển đến nơi khác của bề mặt trái đất. Trong khi di chuyển ra khỏi vùng Bắc Cực để đi xuống các vùng có vĩ độ thấp hơn, nó sẽ chịu sự biến tính (modification) ít nhiều, nhưng dù có biến đổi tính chất thì khối không khí này vẫn còn giữ lại và mang theo một số những đặc trưng riêng của mình, ngay cả khi nó đi xa so với vùng nguồn gốc. Trong những đợt không khí lạnh xâm nhập và ảnh hưởng đến Việt Nam, do sự di chuyển xuống phía nam và biến tính của trung tâm cao áp Sibia vào mùa đông, ở Bắc Bộ chúng ta nhận được những đợt rét đậm, rét hại khác thường so với các địa điểm có cùng vĩ độ. Tính chất này là do gốc tích của khối không khí lạnh từ phương bắc đi xuống.

Thực ra, ngay từ năm 1910 (trước thời điểm năm 1920 khoảng 10 năm), người ta cũng đã từng sử dụng khái niệm “khối không khí nóng” hoặc “khối không khí lạnh” trong dự báo thời tiết, nhưng phải nhờ đến Bjerknes và trường phái khí

tượng học Na Uy thì lý luận về các khối không khí, phép phân tích về chúng mới có cơ sở đầy đủ hơn.

Với phát hiện của J. Bjerknes một phương pháp dự báo thời tiết mới đã ra đời sau, gọi là phương pháp dự báo synop. Luận điểm cơ bản của phương pháp synop coi thời tiết, khí hậu là kết quả của sự hình thành, di chuyển, biến tính và tương tác giữa các khối không khí tồn tại trong khí quyển như một hệ thống. Ví dụ: dự báo gió mùa đông bắc ở Việt Nam vào các tháng mùa đông nghĩa là dự báo sự di chuyển (tốc độ di chuyển và hướng chủ đạo) của khối không khí lạnh (cao áp) với tư cách là một trung tâm tác động của khí quyển và sau đó dự báo sự biến tính của nó tại lớp không khí sát đất. Bản đồ synop, công cụ chủ yếu của dự báo viên, thể hiện các đường đẳng trị của các trường vật lý, như trường áp, trường gió, trường nhiệt độ... được vẽ sau khi thu thập số liệu vào cùng một thời điểm từ các trạm quan trắc. Ngay từ thời kỳ đầu mới phát triển, phương pháp synop đã tỏ rõ ưu thế như một phương pháp có cơ sở khoa học. Nhờ vào bản đồ synop, dự báo viên có khả năng phán đoán và dự báo các hiện tượng thời tiết nguy hiểm như: bão, mưa lớn... mà trước đó chưa có phương pháp nào đạt được. Phương pháp synop ngự trị nhiều năm trong khí tượng học, các dự báo viên và những chuyên gia nghiên cứu đã đóng góp ngày càng nhiều vào khoa học này, tạo nên bức tranh ngày càng đầy đủ hơn về học thuyết các khối không khí mà từ năm 1920, J. Bjerknes là người khởi thảo. Như vậy, có thể cho rằng: phương pháp synop đã hình thành và phát triển khoảng gần 100 năm nay. Cho đến ngày nay, phương pháp synop vẫn đang tiếp tục đổi mới và phát triển.

Có thể sơ bộ tóm tắt đặc trưng của phương pháp synop bằng trích dẫn sau đây của Laikhtman: "Phương pháp synop, về thực chất là ngoại suy các yếu tố của cấu trúc khí quyển quy mô lớn xác định điều kiện thời tiết. Đó là các khối không khí, fron và các hệ thống khí áp. Dự báo các yếu tố khí tượng (như gió, nhiệt độ ...) tiến hành trên cơ sở bán thực nghiệm và chủ yếu mang đặc điểm định tính".

b. Phương pháp dự báo số trị

Định nghĩa phương pháp dự báo số trị có thể được phát biểu đơn giản hơn như sau: người ta nhận thấy, nhiều hiện tượng vật lý có thể được biểu diễn một cách toán học bằng một hoặc một số phương trình vi phân (phương trình vi phân thường hoặc đạo hàm riêng), sau đó có thể giải chúng cũng bằng các phương pháp toán học. Kết quả cuối cùng, gọi là nghiệm, được biểu diễn trở lại dưới dạng vật lý.

Phương trình hoặc hệ các phương trình vi phân như thế là sự kết hợp nhuần nhuyễn giữa các phương pháp luận vật lý và toán học, đến mức nhiều khi khó tách bạch được phần nào là toán, phần nào là vật lý và được gọi là mô hình số trị. Quá trình tạo thành sản phẩm như thế được gọi là mô hình hoá (modelling). Trong một mô hình, nội dung vật lý có ý nghĩa chủ đạo, nhưng hàm lượng toán học chứa trong đó rất cao.

Một ví dụ: đơn giản nhất về mô hình hoá là việc xét sự rơi tự do của một vật nặng có khối lượng m , chẳng hạn một hòn đá bị thả rơi từ mái nhà. Ta coi rằng nếu viên đá có hình dạng nhẵn và độ cao thả vật không lớn (cỡ vài chục mét trở lại), khi đó có thể coi lực cản gây ra bởi không khí là đủ nhỏ, bỏ qua sức cản này và coi rằng sự rơi tự do này xảy ra trong chân không.

Áp dụng định luật của Galilei: "trong chân không mọi vật đều rơi như nhau, và sau những khoảng thời gian bằng nhau, vận tốc rơi tăng lên những lượng như nhau". Do vậy, ta có định luật vật lý của sự rơi tự do được trình bày dưới dạng toán học bằng phương trình sai phân, rồi chuyển qua vi phân như sau:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = g \rightarrow a = g \quad (1)$$

trong đó: a là gia tốc rơi của vật, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Mặt khác, gia tốc lại bằng đạo hàm bậc 2 của quãng đường đối với thời gian. Do đó phương trình (1) có thể viết lại:

$$\frac{d^2 s}{dt^2} = g \quad (2)$$

Vậy (2) chính là mô hình hoá của sự rơi tự do. Phương trình vi phân (2) có nghiệm bằng cách tích phân liên tục 2 lần:

$$v = \frac{ds}{dt} = gt + C_1; \quad s = C_2 + C_1 t + \frac{gt^2}{2} \quad (3)$$

trong đó: C_1 và C_2 là các hằng số tùy ý, do đó nghiệm của bài toán chưa xác định. Nếu ta bổ sung điều kiện ban đầu cho quãng đường và vận tốc:

$$\text{khi } t = 0 \text{ thì } s_0 = 0 \text{ và } v_0 = 0 \quad (4)$$

thì nghiệm (3) trở thành xác định duy nhất:

$$s = \frac{gt^2}{2} \quad (\text{mét}) \quad (4a)$$

Một hệ quả khác của (3) là biểu thức vận tốc:

$$v = v_0 + gt = gt \quad (\text{m/s}) \quad (4b)$$

Do đó, chuyển động rơi tự do là loại chuyển động nhanh dần đều. Tiếp tục minh hoạ ứng dụng nghiệm: xét cụ thể vật có khối lượng $m = 10 \text{ kg}$, rơi từ độ cao $H = 10 \text{ m}$. Khi đó thời gian rơi của vật được tính từ phương trình (4a):

$$t_R = \sqrt{\frac{2H}{g}} = 1,4278 \text{ (s)}$$

thay vào (4b) ta có vận tốc rơi là: $v_R = gt_R = 9,81 \times 1,4278 = 14,0007 \text{ (m/s)}$

Vậy tại điểm rơi, vật thực hiện một công bằng động năng của nó:

$$A = \frac{mv_R^2}{2} = 981 \text{ (Jun)} \quad (4c)$$

Năng lượng này đủ để làm sáng một bóng đèn điện 60W trong thời gian hơn 16 giây.

Trong ví dụ đơn giản trên, ta dễ nhận thấy có đủ 4 bước của quá trình mô hình hoá:

- Thu thập dữ kiện, thể hiện định luật vật lý (1),
- Thể hiện bằng phương trình vi phân toán học (2),
- Giải để tìm nghiệm bằng phương pháp toán học (3), (4), (4a), (4b),
- Ứng dụng vào thực tế (4c).

Rõ ràng, các quá trình vật lý xảy ra trong khí quyển phức tạp hơn rất nhiều so với sự rơi của hòn đá trong ví dụ nói trên. Tuy nhiên, nhưng phương pháp luận giải bằng mô hình hoá sự rơi tự do và mô hình hoá chuyển động khí quyển để dự báo thời tiết thì lại giống nhau.

Trong bài toán dự báo thời tiết, ta có các quá trình vật lý trong khí quyển được mô tả bằng một hệ khoảng 8 phương trình vi phân đạo hàm riêng, gọi là hệ phương trình cơ bản, vai trò tương tự như phương trình (2) mô tả sự rơi tự do.

Phương pháp số trị đã khởi nguồn từ những luồng suy nghĩ mang một đặc trưng khác, song song với với những nỗ lực nhằm nâng cao khả năng dự báo những hiện tượng có thể xảy ra trong khí quyển trái đất. Nếu nói về ý tưởng, có thể dẫn ra một số tác giả đã từ lâu tiên đoán rằng, các hiện tượng thời tiết, khí hậu có thể được biểu diễn bởi một nhóm định luật vật lý cơ bản nhất, sau đó thể hiện chúng bằng hệ toán học các phương trình đạo hàm riêng, rồi giải chúng để dự báo thời tiết. Những nhận định như thế có từ khoảng năm 1904. Nhưng phải đến năm 1922, nhà khoa học người Anh là Lewis Frey Richardson đã thực sự đánh dấu điểm khởi đầu cho sự phát triển của dự báo số trị.

Ông và các cộng sự đã triển khai tích phân một mô hình khí quyển để dự báo trường áp suất bề mặt. Lúc đó, chưa có máy tính điện tử, việc tính toán được thực hiện bằng các máy tính cơ khí thô sơ hoặc bằng tay. Nỗ lực đầu tiên để dự báo thời tiết số trị là một khối lượng công việc rất khổng lồ. Theo [5], “Richardson ước tính rằng cần có một đạo quân khoảng 6.400 người thực hiện các phép tính trong 24 giờ để cho ra một bản tin dự báo 24 giờ”. Nói cách khác, do không có máy tính điện tử, dự báo số trị lúc đó, cho dù có dự báo đúng thì sản phẩm cũng không còn ý nghĩa dự báo, mà chỉ mang ý nghĩa nghiên cứu khoa học. Về kết quả, ông đưa ra dự báo một sự thay đổi áp suất $\Delta p = 145 \text{ mb}$ trong một khoảng thời gian $\Delta t = 6$ giờ, nghĩa là sai về bậc đại lượng, vì trong khoảng thời gian 6 giờ áp suất bề mặt không thể biến đổi nhiều như vậy. Có thể lý giải cho thất bại của Richardson là do kỹ thuật tính toán và sự chuyển đổi từ bài toán vật lý sang dạng toán học thời đó còn có những điểm chưa thoả đáng. Các thể hệ sau gọi thất bại của Richardson là một “thất bại ngoạn mục” (spectacular failure), còn tác phẩm của ông “dự báo thời tiết bằng quá trình số trị” (Weather Prediction by Numerical Process) trở thành một trong những sách giáo khoa nổi tiếng trong khí tượng học. Trong quyển sách này, Richardson mô tả rất chi tiết các thuật toán và các bước giải. Kinh nghiệm của Richardson đã tạo tiền đề cho bước phát triển tiếp theo của dự báo số trị. Vào khoảng cuối chiến tranh thế giới lần thứ II, sau khi máy tính điện tử ENIAC lần đầu tiên ra đời tại Hoa Kỳ, các nhà khoa học Charney, Fjortoft và Von Neumann đã giải thành công bài toán dự báo thời tiết số trị đầu tiên, dựa trên phương trình bảo toàn xoáy tuyệt đối. Như vậy, khoảng thời gian 1922 đến 1950 là quãng thời gian hình thành môn khoa học mới về dự báo số trị” như một bộ môn thuộc khí tượng động lực.

Theo [6] thì hệ phương trình cơ bản của mô hình khí quyển gồm 8 phương trình vi phân đạo hàm riêng như sau:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} + f\vec{k} \times \vec{V} + \nabla\Phi + \frac{RT}{p}\nabla p = 0 \quad (8)$$

$$\frac{dT}{dt} + \kappa \frac{T\omega}{p} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right) + \nabla \cdot \left(\vec{V} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \eta} = - \frac{R}{p} \frac{T}{\partial \eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} \quad (11)$$

$$\omega \equiv \frac{dp}{dt} = - \int_0^\eta \nabla \cdot \left(\vec{V} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta + \vec{V} \cdot \nabla p \quad (12)$$

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = - \int_0^\eta \nabla \cdot \left(\vec{V} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta \quad (13)$$

$$\eta \frac{\partial p}{\partial \eta} = - \frac{\partial p}{\partial t} - \int_0^\eta \nabla \cdot \left(\vec{V} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta \quad (14)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = - V_3 \cdot \nabla_3 q \quad (15)$$

trong đó: các biến chủ yếu là nhiệt độ T , áp suất p , gió V , độ ẩm q , địa thế vị Φ ...

Hệ phương trình trên cho trước được giải bằng phương pháp tích phân, tương tự như quá (với điều kiện ban đầu và điều kiện biên) trình giải từ phương trình (2) đến (3). Sự xác định duy nhất của nghiệm (tức là dự báo thời tiết) được đảm bảo bởi điều kiện biên và điều kiện ban đầu tương tự như điều kiện (4).

Trên hình 1 là ví dụ minh họa bản đồ dự báo 24 giờ cho thời tiết ngày 14 tháng VI năm 2004 (1 giờ 00 giờ Hà Nội), khi cơn bão CHAN THU (0405) đổ bộ vào Việt Nam. Trên bản đồ nhận thấy: mô hình số trị thể hiện hệ thống khí áp của bão là các đường đẳng áp khép kín. Tại lớp không khí sát đất các đường dòng thể hiện xu thế hội tụ của các dòng không khí từ xung quanh bão đi vào tâm bão. Gió ngang phát triển mạnh do sự chênh lệch lớn của trị số khí áp; dòng hội tụ tại lớp dưới làm phát triển cấu trúc thẳng đứng và đối lưu trong bão lên những độ cao lớn từ 12km đến 16km - 17km.

2. Nhận xét chung

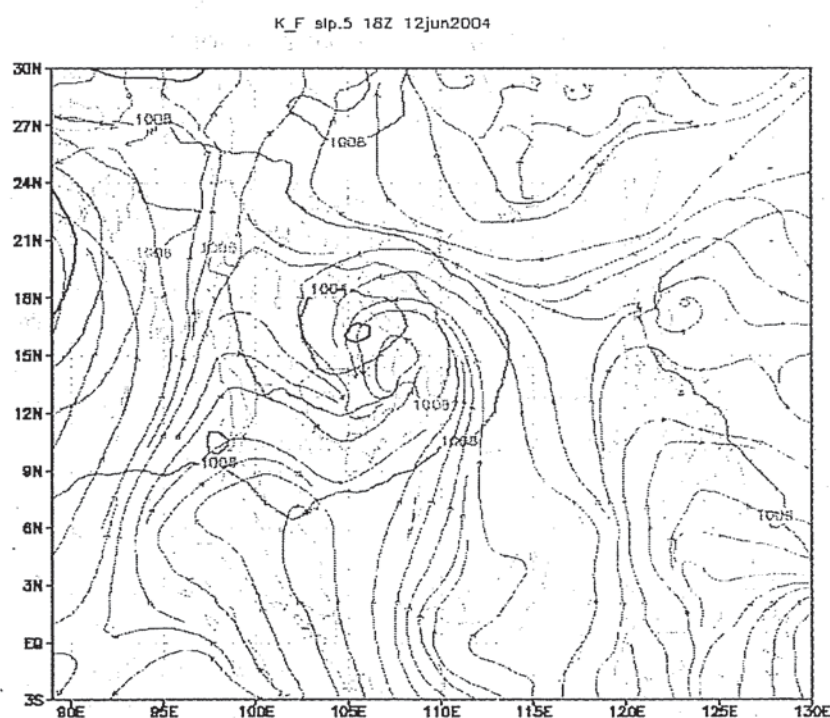
Do khuôn khổ của bài báo, tác giả chỉ cố gắng đưa ra sự so sánh giữa 2 phương pháp dự báo thời tiết synop và số trị thông qua một vài tư liệu để minh họa. Hai phương pháp nêu trên là sự bổ sung qua lại lẫn nhau: phần định tính sâu sắc của phương pháp synop được phương pháp số trị kế thừa; ngược lại, dạng toán học và năng lực định lượng dồi dào của phương pháp số trị đã cho phép khoa học dự báo thời tiết kế thừa nhiều thành quả của các lĩnh vực khoa học khác.

Sản phẩm của cả hai phương pháp synop và dự báo số trị (cũng như các phương pháp vật lý thống kê khác) được các dự báo viên sử dụng để đưa ra các bản tin dự báo thời tiết hàng ngày cũng như khi dự báo các hiện tượng thời tiết nguy hiểm như mưa lớn, bão, áp thấp nhiệt đới. Như vậy, yếu tố con người trong khoa học dự báo thời tiết vẫn giữ vai trò trung tâm trong sự đa dạng của các phương pháp dự báo thời tiết.

Tài liệu tham khảo

1. Erwin Kreyszig (1993), "Advanced Engineering Mathematics", Professor of Mathematics, Ohio State University, Columbus, Ohio (USA).

2. D. L. Laikman (1976), “Khí tượng động lực học”, Bản dịch tiếng Việt của Kiều thị Xin và Nguyễn thị Kim Oanh năm 1994, TC KTTV.
3. M. X. Avéckiev (1960), “Khí tượng học”. NXB ĐH TH Mát-xcơ-va, bản dịch của Nguyễn Văn Quý (1963).
4. Peter S. Ray (1986), “Mesoscale Meteorology and Forecasting”, American Meteorology Society.
5. R. K. Smith and W. Ulrich (1998), “Lectures on Numerical Meteorology”, University of Munich, Germany.
6. Nickovic, B. Rajkovic, A. Papadopoulos, P. Katsafados, and G. Kallos (2000), “The Weather Forecasting System POSEIDON”, Volume II, Description of the Model, Ethens, University of Athens, Department of Applied Physics, Belgrade University, Institute for Meteorology.



GrADS: COLA/IGES

2005-05-13-03:53

Hình 1. Bản đồ dự báo 24 giờ áp suất mực nước biển và đường dòng tại lớp không khí sát đất của mô hình ETA thể hiện thời tiết khu vực Việt Nam khi cơn bão CHANTHU (0405) đổ bộ vào miền Trung ngày 13, ngày 14/VI/ 2004 (sử dụng số liệu 18z 12/VI/ 2004, tức lúc 1 giờ 00 giờ Hà Nội ngày 13/VI/2004)