

VỀ DỰ BÁO HOÀN LƯU 3 CHIỀU TRONG VỊNH THÁI LAN BẰNG MECCA

PTS. Nguyễn Hữu Nhân
Trung tâm KTTV phía Nam

Tóm tắt

Cùng với sự phát triển nhanh của ngành tin học và các nghiên cứu cơ bản khác, đã đến lúc triển khai dự báo định lượng cấu trúc 3 chiều của các quá trình hoàn lưu nước và vật chất trong vùng biển ven bờ và cửa sông. Bài viết này giới thiệu kết quả triển khai phương pháp dự báo hoàn lưu nước và vật chất 3 chiều trong vịnh Thái Lan với nền tảng là MECCA. Kết quả tính toán khá phù hợp với số liệu thực đo đã công bố và rất ăn khớp với số liệu tính theo mô hình FENZENBAUM [1]. Chúng tôi còn nhận được một kết quả bất ngờ về sự tồn tại dao động riêng của Vịnh Thái Lan với chu kỳ 12 giờ, biên độ 20-25cm thì có gió tây nam (cường độ vừa phải). Với MECCA, giờ đây chúng ta có thể dự báo được cấu trúc 3 chiều của các yếu tố động lực và môi trường vùng biển ven bờ và các cửa sông.

1. Mở đầu

Làm chủ được qui luật vận hành và cấu trúc 3 chiều không gian của hoàn lưu nước và vật chất trong vùng biển ven bờ và cửa sông, chúng ta sẽ giải quyết được nhiều vấn đề ứng dụng to lớn. Cho tới thời điểm gần đây, vấn đề dự báo cấu trúc 3 chiều không gian trên vùng biển ven bờ ở nước ta vẫn còn dừng lại ở mức nghiên cứu thuần túy học thuật và thiếu tính khả thi. Hầu hết các ý tưởng khoa học chính về vấn đề này đều xuất phát từ các cường quốc nghiên cứu biển như Mỹ và Nga. Phần lớn các mô hình biển (và khí quyển) 3 chiều không gian thường được phát triển để chạy trên các siêu máy tính. Vào cuối những năm 1980, các nhà khoa học thuộc NOAA (USA) đã đề ra một mô hình toán 3 chiều không gian áp dụng cho vùng biển ven bờ và cửa sông có tên là MECCA (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment). Đây là một mô hình lớn, rất phức tạp nhưng có tính khả thi rất cao so với các mô hình cùng quy mô.

Phiên bản đầu tiên của MECCA do cơ quan National Environmental Satellite, Data and Information Service (NESDIS) thuộc NOAA phát triển và kiểm tra. Đây là mô hình số trị 3 chiều không gian không dừng áp dụng cho vùng ven bờ và các vịnh (Hess, 1989) dùng để tính toán hiện trạng và dự báo dòng chảy do triều, do lũ, do gió và mật độ trong vịnh, vùng thềm lục địa.

MECCA hướng đến ứng dụng là chính, không nặng nề trong lý thuyết nhưng rất hiệu quả trong tác nghiệp. Đó là những gì chúng ta đang cần đến. Nó được hình thành sau khi các mô hình khác về các đối tượng trên đã được công bố một cách công khai (Hess, 1989; Blumberg and Mellor, 1983; Sheng, 1983) trong các báo cáo tư vấn và tạp chí khoa học. MECCA có thêm các đặc điểm sau :

1. Rồi được tham số hóa một cách đơn giản;

2. Có các khóa ngắt cho các số hạng phức tạp trong phương trình;
3. Hệ số khuếch tán ngang không đổi theo độ sâu;
4. Có tính đến ma sát biên ngang cho các kênh hẹp.

Chúng tôi đã tương thích hóa MECCA tương ứng hoàn cảnh Việt Nam. Đầu tiên, nó đã được cải tiến để áp dụng trong tính toán dòng chảy tại vịnh Rạch Giá và phía nam đảo Phú Quý (Nguyễn Hữu Nhân, 1996). Một phần mềm tin học đồ sộ đã được hình thành. Sau một số ứng dụng thành công, chúng tôi mạnh dạn ứng dụng nó để nghiên cứu hoàn lưu vịnh Thái Lan.

2. Các phương trình cơ bản

Hệ phương trình cơ bản của MECCA viết trong hệ tọa độ $\{x, y, z, t\}$ sẽ có dạng như sau (Blumberg and Mellor, 1987, Hess, 1989) :

a. Phương trình chuyển động ngang :

$$u_t + (uu)_{,xx} + (uv)_{,y} + (uw)_{,z} = -\alpha_o p_{,x} + fv + \left[(2A_h u_{,x})_{,x} + (A_h (v_{,x} + u_{,y}))_{,y} \right] + (A_v u_{,z})_{,z} \quad (1)$$

$$v_t + (vu)_{,xx} + (vv)_{,y} + (vw)_{,z} = -\alpha_o p_{,y} - fu + \left[(2A_h v_{,y})_{,y} + (A_h (u_{,y} + v_{,x}))_{,x} \right] + (A_v v_{,z})_{,z} \quad (2)$$

b. Xấp xỉ thủy tĩnh cho phương trình chuyển động theo phương đứng :

$$p_{,z} = -g\rho \quad (3)$$

c. Phương trình liên tục :

$$u_{,x} + v_{,y} + w_{,z} = 0 \quad (4)$$

d. Phương trình trạng thái :

$$\rho = \rho_o (1 + f(S, T)), f(S, T) = c_{s0} + c_{s1}S + c_{st1}ST + c_{T1}T + c_{t2}T^2 \quad (5)$$

e. Phương trình cân bằng độ mặn hòa tan hay vật chất lơ lửng :

$$S_{,t} + (uS - D_h S_{,x})_{,x} + (vS - D_h S_{,y})_{,y} + (wS - D_v S_{,z})_{,z} = \beta_s SS \quad (6)$$

f. Phương trình cân bằng nhiệt :

$$T_{,t} + (uT - D_h T_{,x})_{,x} + (vT - D_h T_{,y})_{,y} + (wT - D_v T_{,z})_{,z} = R \quad (7)$$

Khi áp dụng mô hình nói trên cho các dòng sông hẹp, hệ phương trình (1-7) phải cải tiến một chút : cân trung bình hóa theo phương ngang sông vì chiều rộng các sông này thường nhỏ hơn bước lưới. Thêm vào đó, hệ phương trình trên thường được chuyển sang hệ tọa độ sigma $\{x, y, q\}$, nên nó còn được biểu thị ở dạng như sau :

$$Hu)_{,t} + (HB_x uu)_{,x} / B_x + (Huv)_{,y} + (uw)_{,q} = -gHh_{,x} - Hp_{a'x} - HG_x + fHv + \left[(2HB_x A_h u_{,x})_{,x} + (HB_x A_h (v_{,x} + u_{,y}))_{,y} \right] / B_x + (A_v u_{,q})_{,q} / H - C_{ws} HB_x^{-1} u |u| \quad (8)$$

$$Hv)_{,t} + (HB_y vv)_{,y} / B_y + (Hvu)_{,x} + (vw)_{,q} = -gHh_{,y} - Hp_{a'y} - HG_y - fHu + \left[(2HB_y A_h v_{,y})_{,y} + (HB_y A_h (v_{,x} + u_{,y}))_{,x} \right] / B_y + (A_v v_{,q})_{,q} / H - C_{ws} HB_y^{-1} v |v| \quad (9)$$

$$h_{,t} + (HB_x u)_{,x} / B_x + (HB_y v)_{,y} / B_y + \tilde{w}_q = 0 \quad (10)$$

$$HS)_{,t} + (HB_x (us - D_h s_{,x}))_{,x} / B_x + (HB_y (vs - D_h s_{,y}))_{,y} / B_y + (\tilde{w}s - D_v s_{,q} / H)_{,q} = 0 \quad (11)$$

$$HT)_{,t} + (HB_x (uT - D_h T_{,x}))_{,x} / B_x + (HB_y (vT - D_h T_{,y}))_{,y} / B_y + (\tilde{w}T - D_v T_{,q} / H)_{,q} = HR \quad (12)$$

$$\rho = \rho_o (1 + f(s, T)), f(s, T) = c_{so} + c_{s1}s + c_{st1}sT + c_{T1}T + c_{t2}T^2 \quad (13)$$

Trong các quan hệ trên, ý nghĩa của các ký hiệu như sau :

- x, y, z, t là các tọa độ theo phương ngang, phương đứng và thời gian;
- 'x, 'y, 'q, 't là đạo hàm riêng theo x, y, q và t;
- q = (h-z)/H, H=h+d;
- u, v, w các thành phần vận tốc theo x, y, z;
- T, s nhiệt độ và độ mặn;
- A_h, A_v là các hệ số khuếch tán xung lượng rối ngang và đứng;

$$-A_h = A_{ho} + C_{AH} \Delta L^2 |U_r|, U_r = \sqrt{2(u_{,x}^2 + v_{,y}^2 + 2u_{,x}v_{,y})}, D_h = A_h$$

$$-A_v = A_{vo} + A_z (C_{RO} (1 + C_{R1} R_1)^{-C_{R2}}, D_v = D_{vo} + A_z (C_{R3} (1 + C_{R4} R_1)^{-C_{R5}}$$

$$-\tilde{w} = Hdq / dt = w - (1 + q)h_{,t} - u(h_{,x} + qH_{,x}) - v(h_{,y} + qH_{,y})$$

$$-G_x = \alpha q \left\{ \int_q^0 (\rho - \rho_o) dq \right\}_{,x} + (h_{,x} + qH_{,x}) (\rho - \rho_o)$$

$$-G_y = \alpha q \left\{ \int_q^0 (\rho - \rho_o) dq \right\}_{,y} + (h_{,y} + qH_{,y}) (\rho - \rho_o)$$

$$-A_z = [kz(1 - z) / H]^2 (u_{,x}^2 + v_{,y}^2)^{1/2}$$

- B_{h1} B_v là bề rộng theo trục x và y của luồng chảy;
- h là mực nước so với mực nước biển trung bình;
- d là độ sâu biển so với mực nước trung bình;
- ρ, α=1/ρ_o, ρ_o là mật độ nước mặn, thể tích riêng và mật độ nước ngọt.

Ta nhận thấy, khi B_x = B_y = 1, hệ (8-13) sẽ có dạng như hệ (1-7), hay nói cách khác (1-7) là một trường hợp riêng của (8-13). Hệ phương trình (8-13) là nền tảng của MECCA.

Các điều kiện biên được hình thành từ các giả thiết như sau :

- ♦ Trên biên lỏng biển và các cửa sông rộng hơn bước lưới tính toán :

1. Cho mực nước hay dòng chảy tại mọi thời điểm;
 2. Cho độ mặn, nhiệt độ nước tại mặt, 2 độ sâu trung gian Z1 và Z2 và tại đáy biển.
- ◆ Trên biên lòng là các cửa sông hẹp hơn bước tính :
 3. Cho lưu lượng và lưu hướng tại mọi thời điểm;
 4. Cho độ mặn, nhiệt độ nước tại mặt và tại đáy.
 - ◆ Trên mặt nước :
 5. Cho ứng suất tiếp tuyến tại mặt bằng ứng suất ma sát gió tại mặt nước;
 6. Dòng muối đi qua mặt nước bằng không;
 7. Dòng nhiệt đi qua mặt phụ thuộc vào hiệu nhiệt độ biển khí, gió, độ ẩm.
 - ◆ Trên đáy biển :
 8. Cho ứng suất tiếp tuyến tại đáy bằng ứng suất ma sát tại đáy;
 9. Dòng muối đi thẳng góc đáy bằng không.
 10. Dòng nhiệt đi thẳng góc với đáy bằng không.
 - ◆ Trên mặt nước :
 11. Cho ứng suất tiếp tuyến tại mặt bằng ứng suất ma sát gió tại mặt nước;
 12. Dòng muối đi qua mặt nước bằng không.
 13. Dòng nhiệt đi qua mặt phụ thuộc vào hiệu nhiệt độ biển khí, gió, độ ẩm, được nội suy từ điều kiện biên bằng phương pháp hàm trọng số.

3. Thuật giải

- Để lập thuật toán giải các phương trình chuyển động (8)-(9) trong mô hình nói trên bằng máy vi tính, trước hết ta phân rã chuyển động tổng hợp thành hai thành phần : hướng áp (barotropic) và baroclinic. Sau đó, cả hai thành phần này được tính ra bằng phương pháp số trị một cách tương đối độc lập liên tiếp nhau. Cuối cùng, nghiệm tổng quát về dòng chảy được tổ hợp lại từ hai thành phần nói trên. Trong đó, cụ thể có các điểm chốt sau :
 - a. Thành phần barotropic mô tả chuyển động vĩ mô theo phương ngang và được giải bằng thuật giải xây dựng cho sơ đồ sai phân luân hướng ẩn ADI (Alternating-Direction-Implicit Method) rất quen thuộc. Sơ đồ này ổn định tuyệt đối cho bài toán xuất phát đã được tuyến tính hóa.
 - b. Thành phần baroclinic mô tả hiệu ứng nhiệt-muối và trao đổi rối theo phương đứng đối với trường dòng chảy cũng được tính ra bằng phương pháp số dựa vào kỹ thuật sai phân ẩn theo phương đứng.
- Các phương trình (10) và (11) có cùng một thuật giải được xây dựng bằng kỹ thuật sai phân hữu hạn "Flux-corrected Transport" (Boris and Book, 1976).
- Các quan hệ còn lại là các công thức giải tích được dùng để khâu nối mối quan hệ giữa các biến số với nhau.

Tất cả các thuật giải trên và rất nhiều công tác khác đều được chương trình hóa để điều khiển máy vi tính thực hiện các phép toán để tìm các nghiệm số tương ứng cho từng tập hợp số liệu nhập cụ thể.

4. Thực nghiệm số

Chúng tôi đã thực hiện một nghiệm số trị qui mô lớn nhằm làm rõ khả năng ứng dụng MECCA đối với bài toán về hoàn lưu 3 chiều trong vịnh Thái Lan. Các dữ liệu nhập cụ thể như sau :

- ◆ Bước không gian theo phương ngang là 4km;
- ◆ Bước chia theo trục đứng $\Delta q = 0,1$;
- ◆ Bước thời gian là 60 s;
- ◆ Tổng thời gian tính toán là 48 giờ vật lý.
- ◆ Mạng lưới tính là 192 x 267 nút ngang và 10 tầng theo phương đứng.
- ◆ Địa hình đáy và bờ như hình H.1 trong công trình [1].
- ◆ Dữ liệu gió cho thực nghiệm số nói trên là : Gió hướng tây nam, suất 10 m/s, đồng nhất trên toàn vịnh.

Một số kết quả thực nghiệm số được trình bày ở hình H.1.

5. Thảo luận

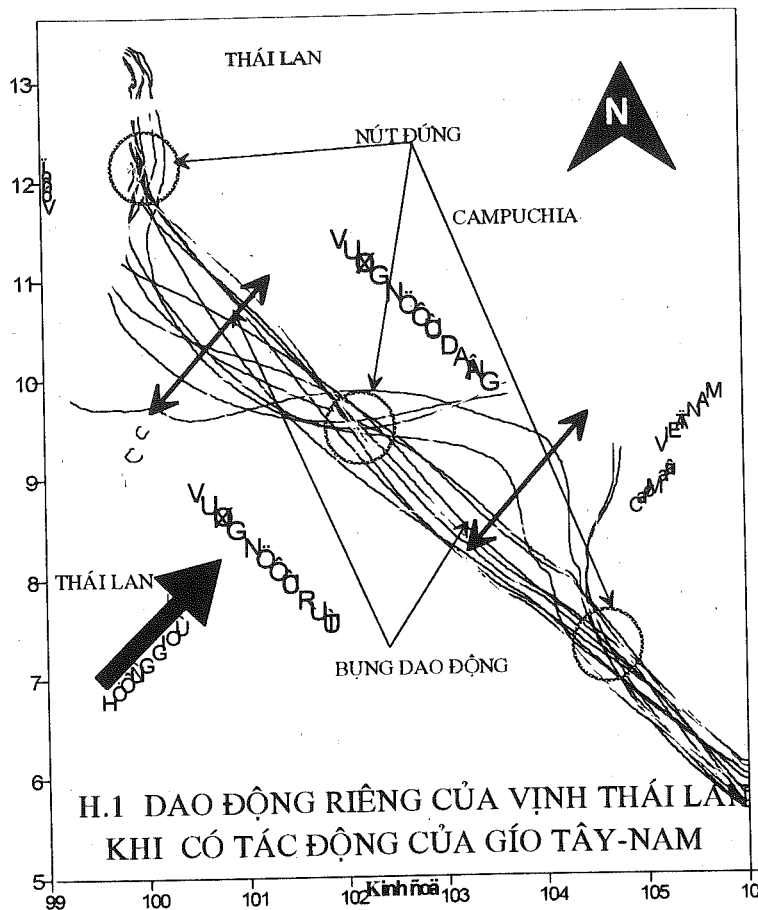
Một trong các kết quả thú vị nhất mà chúng tôi đã nhận được khi phân tích các số liệu thực nghiệm số nêu trên là sự biểu hiện rõ nét của các thông số động học thuộc dao động riêng của khối nước vịnh Thái Lan khi bị gió hướng tây nam cưỡng bức.

Các yếu tố động học của dao động này thể hiện như trên hình H.1. Các đường cong trên hình H.1 là quỹ tích các điểm mực nước bằng 0 tại các thời điểm khác nhau (tương tự như vị trí của dây đàn khi rung). Qua nghiên cứu động thái của chúng, chúng ta dễ dàng xác định được rằng đây là một dao động đứng với các yếu tố bụng và nút của nó như trên hình H.1.

Trong trường hợp gió hướng tây nam suất 10 m/s, kết quả tính toán cho thấy, chu kỳ của dao động riêng là gần 12 giờ và biên độ dao động mực nước do dao động riêng này gây ra tại vịnh Rạch Giá (khu vực bụng) có thể đạt đến 20-25 cm. Lưu ý rằng biên độ này gấp hai biên độ sóng triều M2 tại đây. Phải chăng điều này đã giải thích sự bất thường trong các chuỗi số liệu mực nước tự ghi tại Trạm Rạch Giá. Dự báo rằng, khi có các cưỡng bức khác (như tác động của gió các hướng đông, đông-dông bắc, đông bắc, tây, tây-tây nam) dao động riêng này đều có xuất hiện.

Theo chúng tôi, phát hiện trên là mới. Nếu được thực tế chứng minh, thì dự báo của chúng tôi sẽ rất có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

Xét về mặt phương pháp luận, phân tích một số kết quả tính toán bằng MECCA còn cho thấy :



1. Hoàn lưu tổng quát do MECCA dự báo rất phù hợp với số liệu dòng chảy thực đo công bố trong nhiều tài liệu quốc tế nhất là số liệu Naga. Nó còn phù hợp tốt với kết quả tính toán bằng mô hình Fenzenbaum [1]. Điều đó khẳng định sự tin cậy của mô hình này đối với việc dự báo số trị bức tranh hoàn lưu trong vịnh Thái Lan.
2. Cùng với độ bảo đảm về cơ sở lý thuyết, các bằng chứng trên cho thấy, MECCA là một công cụ dự báo các quá trình động lực và môi trường biển và cửa sông rất tốt cả về mặt định tính lẫn định lượng. Việc triển khai thành công thực nghiệm số trên MECCA đối với vịnh Thái Lan là một dấu hiệu tốt cho sự bắt đầu của thời kỳ dự báo số trị có độ phân giải cao trên một vùng biển khá rộng lớn.

Trị số vận tốc dòng chảy trung bình và trên các tầng thường cao tại vùng sát bờ hay các vách đáy có độ dốc lớn. Độ lớn của vận tốc có thể đạt đến 70-100 cm/s, nhất là hai bên bán đảo Cà Mau và bờ phía tây vịnh Thái Lan. Trị số vận tốc trung bình theo độ sâu đánh giá theo MECCA cao hơn theo mô hình Fenzenbaum [1].

Về tổng thể, chuyển động của nước trên tất cả các tầng đều có cấu trúc phức tạp, trong đó hình thái cuộn xoáy là phổ biến nhất. Sự tồn tại ổn định các xoáy trong vịnh Thái Lan chứng tỏ tính tương đối khép kín của hoàn lưu nước ở đây. Ngoài ra, phương

dòng chảy trên cửa vịnh song song với thiết diện cửa, tức là sự trao đổi nước giữa vịnh Thái Lan và biển Đông là rất yếu.

6. Kết luận

- MECCA là một công cụ hoàn hảo về bản chất vật lý và hoàn toàn khả thi để triển khai các ý tưởng về dự báo cấu trúc 3 chiều của các trường động lực về chất lượng nước vùng biển ven bờ và các cửa sông.
- Sự thành công của thí nghiệm số đối với vịnh Thái Lan cho thấy, bộ chương trình do chúng tôi soạn thảo theo MECCA đã hoạt động tốt, có triển vọng ứng dụng rộng rãi tại Việt Nam.
- Thí nghiệm số còn cho thấy, đặc điểm chính của chế độ hoàn lưu trong vịnh Thái Lan là tính độc lập và tương đối khép kín của nó. Các xoáy quay ngược chiều nhau và cùng song song tồn tại trong vịnh Thái Lan là những cơ chế chính điều khiển sự vận động của nước và vật chất tại đây.

Dao động riêng của vịnh Thái Lan là dao động đứng với chu kỳ gần với chu kỳ các sóng bán nhật triều. Đặc biệt, phần lớn vùng biển Tây của Việt Nam (vịnh Kiên Giang) nằm trong phân bụng của dao động này.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Hữu Nhân (1998). Về ứng dụng mô hình Fenzenbaum để nghiên cứu hoàn lưu nước vịnh Thái Lan. Khí tượng Thủy văn, No6, 1998.
2. Nguyễn Hữu Nhân (1996). Đánh giá sự biến đổi dòng chảy và bồi xói do quá trình lấn biển mở rộng thị xã Rạch Giá gây ra. Báo cáo tư vấn, Sở KHCN và MT Kiên Giang.
3. Nguyễn Hữu Nhân (1996). Vài suy nghĩ về động lực sa bồi vùng cửa sông Hậu Giang. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 1(400).
4. Hess K. W. (1990). MECCA documentation. USA.
5. Marchouck G.I. (1984). Mô hình hóa trong bài toán kiểm soát ô nhiễm môi trường. "Nauka", Moskva (tiếng Nga).
6. Csanady G.T. (1993). Circulation in the Coastal Ocean. "D. Reidel Publishing Company", Boston, USA.
7. Wyrтки K. (1961). Scientific results of marine investigations of South China Sea and Gulf of Thailand 1959-1961. Naga Report Volume 2. 195 pp.