

XÁC ĐỊNH VẬN TỐC NHÓM SÓNG RAYLEIGH LỚP VỎ VÀ MANTI THƯỢNG DỰA TRÊN SỐ LIỆU ĐỊA CHẤN DÀI RỘNG KHU VỰC BIỂN ĐÔNG

Nguyễn Tiến Hùng^{1,2*}, Hà Thị Giang¹, Nguyễn Lê Minh¹, Satoru Tanaka³,
Yasushi Ishihara³, Hà Vĩnh Long¹, Lê Quang Khôi¹

¹Viện Vật lý địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³Cơ quan khoa học và công nghệ Địa-Biển Nhật Bản (JAMSTEC)

*E-mail: ngtienhungvn@gmail.com

Ngày nhận bài: 11-11-2017

TÓM TẮT: Trong nghiên cứu này, vận tốc nhóm sóng Rayleigh khu vực biển Đông được xác định dựa trên việc xử lý 36.195 băng ghi địa chấn dài rộng thành phần thẳng đứng ghi được bởi 95 trạm của 381 trận động đất với độ lớn từ 6,0 trở lên, độ sâu nhỏ hơn 100 km, trong khoảng thời gian từ 2000 đến 2016 theo kỹ thuật phân tích lọc kép, tích hợp trong bộ chương trình CPS (Computer Program Seismology) của Herrmann và Ammon (2002). Với 2.600 đường cong tán sắc vận tốc nhóm sóng Rayleigh có chất lượng cao truyền qua khu vực biển Đông cho thấy: (i) Đường cong tán sắc vận tốc nhóm sóng Rayleigh truyền qua lục địa có dạng đồ thị hàm bậc 3 với 1 cực tiểu nhỏ (ứng với giá trị vận tốc $\approx 2,8$ km/s; $T = 20-26$ s) và 1 cực đại (ứng với giá trị vận tốc nhóm $\approx 3,9$ km/s; $T = 50-90$ s) còn đường cong tán sắc vận tốc nhóm sóng Rayleigh truyền qua đại dương có dạng đồ thị hàm bậc 2 với 1 cực đại (giá trị vận tốc nhóm $\approx 3,9$ km/s; $T = 40-90$ s); (ii) Ở chu kỳ dưới 40 s, giá trị vận tốc nhóm sóng Rayleigh trong khu vực biển Đông đạt từ 2,8 km/s đến 4,0 km/s và cao nhất tại khu vực trung tâm biển Đông; (iii) Ở chu kỳ trên 50 s, vận tốc nhóm sóng Rayleigh trong khu vực biển Đông đạt từ 3,2 km/s đến 4,2 km/s và xuất hiện vùng V_{gr} thấp dọc theo đới đứt gãy sông Hồng, đảo Cồn Cỏ, đảo Đài Loan, quần đảo Visayas, Philippines và đảo Borneo.

Từ khóa: Vận tốc nhóm sóng Rayleigh, đường cong tán sắc, kỹ thuật phân tích lọc kép.

MỞ ĐẦU

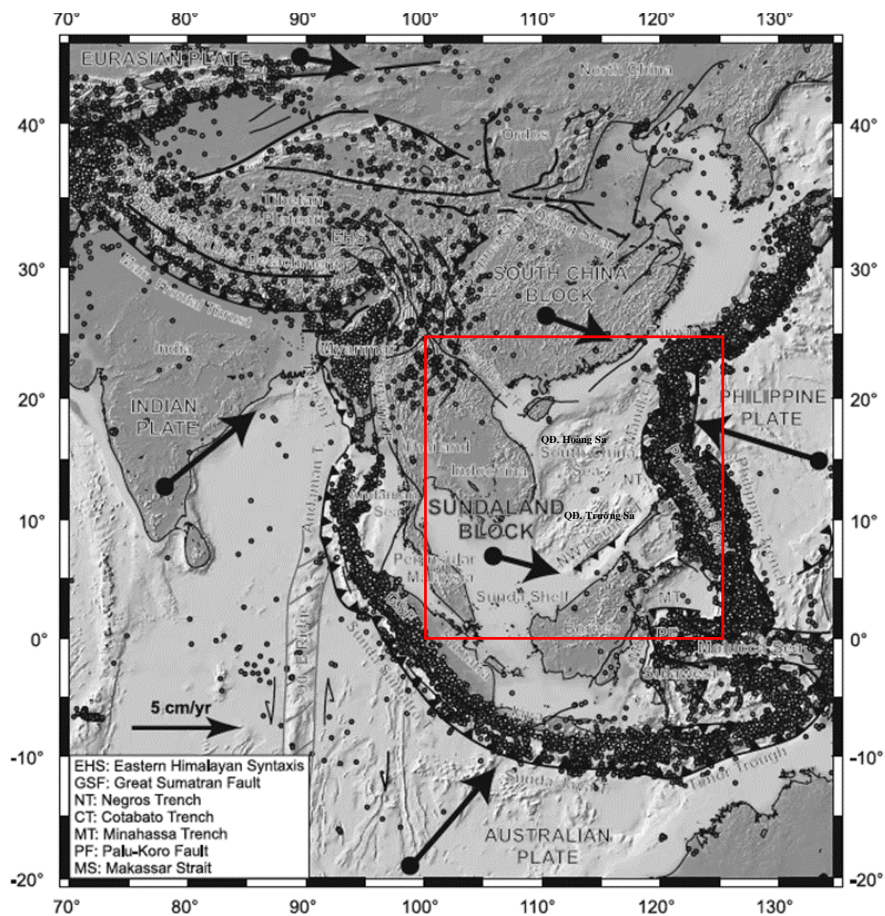
Nghiên cứu vận tốc nhóm sóng Rayleigh (sau đây gọi là V_{gr}) được thực hiện đầu tiên bởi Ewing và Press (1952), Oliver (1962) bằng việc quan sát số lần xuất hiện đỉnh trội và vùng lõm trên các băng ghi địa chấn [1, 2]. Satô (1958) áp dụng kỹ thuật chuyển đổi Fourier trong nghiên cứu sóng mặt [3]. Pilant và Knopoff phát triển kỹ thuật phân tích của số dịch của Alexander và áp dụng để tính vận tốc pha cho cấu trúc phía dưới dãy Alps [4]. Landisman cũng sử dụng kỹ thuật này để tính vận tốc

nhóm phía dưới tháp Charter, Úc từ số liệu địa chấn ghi được của mạng địa chấn tiêu chuẩn toàn cầu [5]. Năm 1969, Dziewonski đã cải tiến kỹ thuật này và đặt tên là kỹ thuật lọc kép rồi áp dụng tính đường cong tán sắc V_{gr} trong dải chu kỳ từ 10 s đến 150 s của trận động đất Malawi ngày 6/5/1966 ghi được tại trạm Pretoria, Nam Phi [6]. Herrmann và Ammon (2002) đã tích hợp các kỹ thuật này thành gói chương trình tính toán trong địa chấn học (CPS) [7]. Ngày nay, gói chương trình này được dùng phổ biến cho việc xác định vận tốc nhóm và vận tốc pha sóng mặt.

Nghiên cứu V_{gr} khu vực biển Đông và lân cận đã được thực hiện từ đầu thập kỷ 80 của thế kỷ trước bởi nhiều nhà nghiên cứu khác nhau [8-15]. Ban đầu các nghiên cứu chỉ sử dụng một vài tia sóng Rayleigh để nghiên cứu cấu trúc lớp vỏ và manti trên tại khu vực phía nam lục địa Trung Hoa (phía bắc biển Đông), kết quả cho thấy V_{gr} có giá trị giảm dần từ đông sang tây (đạt 4,4 km/s ở phía đông và 4,2 km/s ở cao nguyên Tây Tạng), tương ứng với chiều dày lớp vỏ tăng dần từ 30 km đến 60 km [8-14]. Từ năm 2000 đến nay với sự phát triển và mở rộng của trạm quan trắc địa chấn dải rộng trong khu vực biển Đông đã thu thập được nhiều các tia sóng Rayleigh truyền qua khu vực này, vì thế các nghiên cứu có mức độ chi tiết và tin cậy hơn, một số nghiên cứu chính có thể kể đến như: Wu và nnk., (2004), Tang và Zheng (2013). Cả hai nghiên cứu nêu trên đều áp dụng

kỹ thuật lọc kép và sử dụng trên 10.000 tia sóng Rayleigh, kết quả tìm được đều cho thấy tại chu kỳ dưới 20 s, giá trị V_{gr} cao tập trung tại khu vực trung tâm biển Đông, còn giá trị V_{gr} thấp tập trung tại vịnh Bắc Bộ, đảo Hải Nam và bắc Borneo; tại chu kỳ từ 20 - 50 s, vùng có giá trị V_{gr} cao có xu hướng mở rộng vào lục địa; tuy nhiên, tại các chu kỳ từ 50 - 80 s, hai kết quả có sự khác nhau đáng kể về hình dạng phân bố và giá trị, cụ thể là:

Tại chu kỳ 20 s, V_{gr} ở khu vực biển Đông của hai nghiên cứu có hình dạng phân bố và giá trị tương đương nhau đó là cao nhất tại vùng tách giãn biển Đông (trên 3,0 km/s theo Wu (2004) và trên 3,2 km/s theo Tang (2013)) và thấp nhất tại vịnh Bắc Bộ, đảo Hải Nam và bắc vùng Borneo (dưới 2,4 km/s theo Wu (2004) và dưới 2,6 km/s theo Tang (2013)).



Hình 1. Bản đồ địa hình, tính địa chấn và đứt gãy hoạt động theo Simon (2007), hình bao liên nét màu đỏ là khu vực tập trung nghiên cứu

Tại chu kỳ 80 s, V_{gr} ở khu vực biển Đông của hai nghiên cứu có hình dạng phân bố và giá trị khác nhau đáng kể: Wu (2004) cho thấy vùng V_{gr} cao kéo dài từ vùng trung tâm biển Đông đến đảo Luzon, Philippines (trên 3,6 km/s), vùng V_{gr} thấp kéo dài từ vịnh Bắc Bộ đến đảo Hải Nam rồi đi vào lục địa Trung Quốc và vùng phía bắc Borneo (dưới 2,8 km/s); còn Tang (2013) cho thấy vùng V_{gr} cao là toàn bộ vùng từ trung tâm biển Đông đến biển Philippines, biển Hoa Đông và lục địa Trung Hoa (trên 3,7 km/s), vùng V_{gr} thấp kéo dài từ đảo Hải Nam đến vịnh Bắc Bộ rồi chạy dọc theo đới đứt gãy sông Hồng và toàn bộ vùng Borneo (dưới 3,67 km/s).

Sự khác nhau giữa hai nghiên cứu này có thể là do sự phân bố các trạm quan trắc (8 trạm trong Wu và nnk., (2004) và 65 trạm trong Tang và Zheng (2013) trong đó phần lớn các trạm nằm tại lục địa Trung Quốc) dẫn tới việc phần lớn các tia sóng truyền qua khu vực này là các tia sóng đi qua cả lục địa và đại dương nên

không đảm bảo được các đặc trưng truyền sóng riêng biệt của lục địa và đại dương của Rayleigh. Nhằm khắc phục những hạn chế này, chúng tôi thực hiện nghiên cứu xác định V_{gr} trên cơ sở số liệu ghi được từ các trạm địa chấn dài rộng phân bố dọc theo lãnh thổ Việt Nam và lân cận. Khu vực chúng tôi tập trung nghiên cứu, hình bao liền nét màu đỏ, được giới hạn trong phạm vi các kinh độ từ 100° tới $125^\circ E$, các vĩ độ từ 0° tới $25^\circ N$ (hình 1).

THU THẬP VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU

Thiết bị

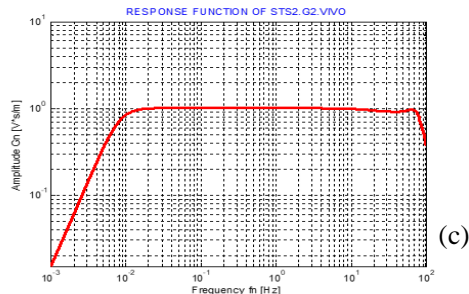
Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng 95 trạm địa chấn dài rộng và dài rất rộng, gồm: Việt Nam (6); JAMSTEC (7) và IRIS (82). Thiết bị tại mỗi trạm gồm 01 máy ghi động đất với độ phân giải cao (trên 22 bit) và 1 đầu đo dài rộng hay rất rộng (trên 40 s) (hình 2). Toàn bộ thông số thiết bị của các trạm được kiểm tra lại một cách cẩn thận trước khi được sử dụng để tiến hành phân tích số liệu.



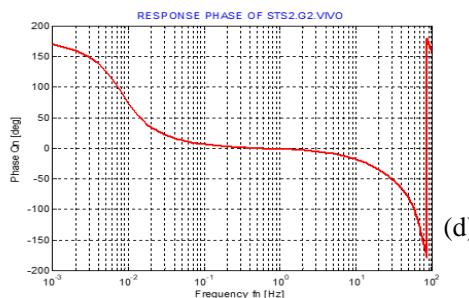
(a)



(b)



(c)



(d)

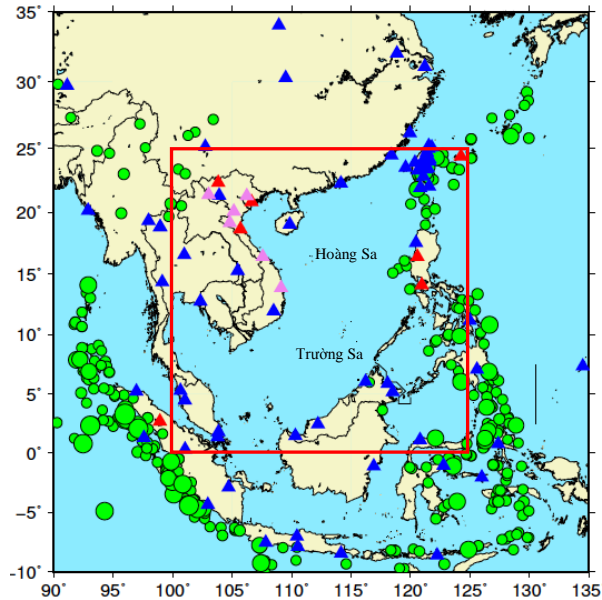
Hình 2. Thiết bị sử dụng tại trạm Vinh, gồm máy ghi Quanterra Q330 với độ phân giải 24 bit (a), đầu đo STS-2 với dải tần 120 s (b), đường đặc trưng tần số (c) và đường đặc trưng pha (d)

Số liệu

Số liệu sử dụng được tải trực tiếp từ các nguồn: (1) Đại học Tokyo, <http://ohpdm.eri.u-tokyo.ac.jp/breq-fast-vietnet/index.html>; (2)

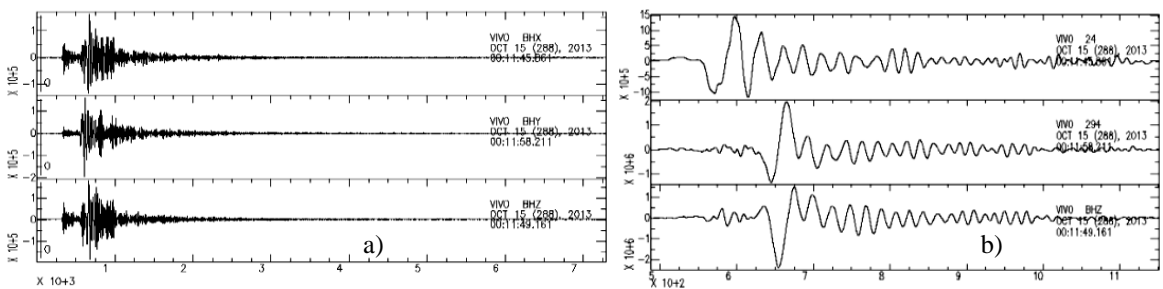
JAMSTEC, <http://p21.jamstec.go.jp/top/> và (3) IRIS, breq_fast@iris.washington.edu. Toàn bộ tập số liệu gồm 36.195 băng ghi địa chấn dài rộng thành phần thẳng đứng với độ dài khoảng 3 tiếng ghi được bởi 95 trạm của 381 trạm động

đất có độ lớn từ 6,0 trở lên, độ sâu nhỏ hơn 100 km, từ 1/2000 đến 3/2016 trong phạm vi các kinh độ từ 90° tới 135°E, các vĩ độ từ -10° tới 35°N (hình 3).



Hình 3. Sơ đồ phân bố các trạm quan trắc và chấn tâm khu vực nghiên cứu và lân cận. Biểu tượng hình tam giác đặc là vị trí các trạm quan trắc động đất (màu xanh nước biển là các trạm của IRIS; Màu đỏ là các trạm của JAMSTEC; Màu hồng là các trạm của Việt Nam). Biểu tượng hình tròn đặc màu xanh lá cây là vị trí chấn tâm động đất. Đường bao liền nét màu đỏ là giới hạn khu vực tập trung nghiên cứu

Các băng ghi số liệu sau đó được loại bỏ thông số thiết bị, chuyển về băng ghi dịch chuyển dưới đơn vị nm và bổ sung các thông tin cần thiết (hình 4).



Hình 4. Băng ghi số liệu ghi được tại trạm Vinh ngày 15/10/2013, (a) Băng ghi gốc dài 3 tiếng, (b) Băng ghi được chuyển đổi sang độ dịch chuyển (nm)

Phương pháp phân tích số liệu

Đo đạc V_{gr} bằng kỹ thuật lọc kép (MFT)

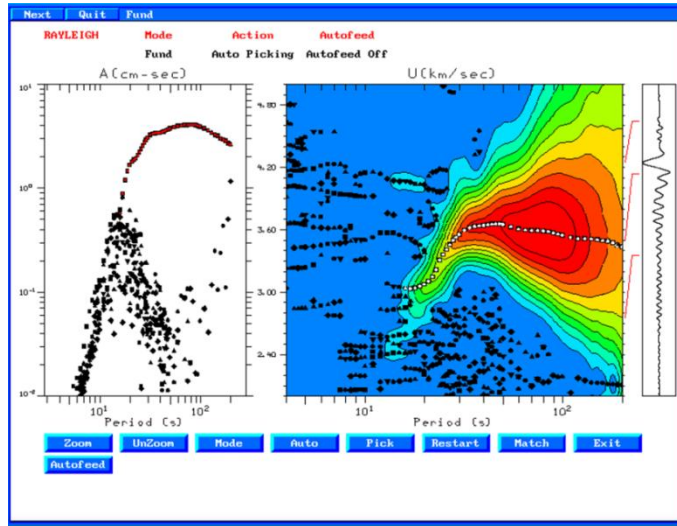
Tính toán giá trị V_{gr} trong dải tần từ 10 s đến 200 s trên cơ sở kỹ thuật phân tích lọc kép bằng chương trình Computer Programs in

Seismology (CPS) của Herrmann & Ammon (2002) (hình 5).

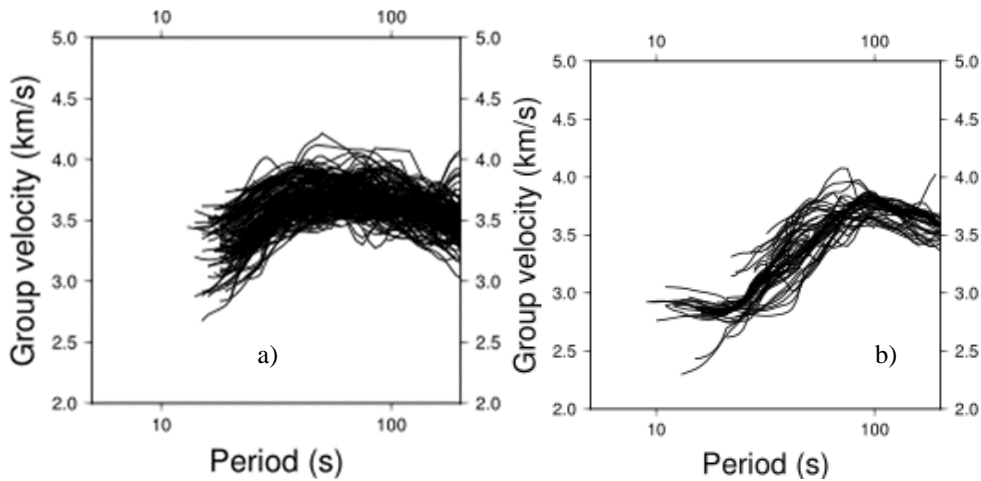
Biểu diễn đặc trưng tán sắc V_{gr} theo tần số (hình 6).

Sau khi sử dụng kỹ thuật lọc kép để xác định đường cong tán sắc V_{gr} ở chế độ cơ bản,

chúng tôi lựa chọn được 2600 đường cong có tiếp theo.
 chất lượng tốt để thực hiện các bước tính toán



Hình 5. Cửa sổ làm việc của chương trình CSP của Herrmann & Ammon (2002). Chúng ta có thể lựa chọn dễ dàng được các giá trị V_{gr} ứng với các chu kỳ khác nhau (hình tròn màu trắng)



Hình 6. Biểu đồ đặc trưng tán sắc V_{gr} theo chu kỳ xác định được trong nghiên cứu này, (a) các tia sóng truyền trong lục địa, (b) các tia sóng truyền trong đại dương

Xây dựng sơ đồ V_{gr} bằng kỹ thuật chụp cắt lớp

Theo Knopoff (1969) [16], sóng mặt (Rayleigh) truyền theo một đường tròn từ nguồn đến trạm xuyên qua các khối khác nhau, trong mỗi khối dọc theo đường truyền phải đồng nhất và bỏ qua sự khúc xạ giữa hai khối khác nhau dọc theo đường truyền. Do đó thời gian truyền sóng mặt từ nguồn đến trạm bằng tổng thời gian mà sóng truyền qua các khối

khác nhau dọc theo đường truyền từ nguồn tới trạm, được xác định như sau:

$$t_i(T) = \frac{L_i}{V_{0i}} = \sum_{j=1}^N \frac{L_{ij}}{V_j(T)} \tag{1}$$

Trong đó: $t_i(T)$ là thời gian quan sát được ứng với tia sóng thứ i tại chu kỳ T ; L_i là khoảng cách chẵn tâm của tia sóng thứ i , $i=1, 2, \dots, M$;

V_{0i} là V_{gr} quan sát được ứng với tia sóng thứ i tại chu kỳ T ; L_{ij} là khoảng cách được truyền bởi tia sóng thứ i trong khối thứ j ; $V_j(T)$ là vận tốc nhóm của khối thứ j tại chu kỳ T ; N là tổng số khối trong vùng nghiên cứu; M là số lượng tia sóng sử dụng.

Phương trình (1) có thể biểu diễn dưới dạng ma trận như sau: $Ax = b$,
Trong đó :

$$A = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1N} \\ L_{21} & L_{22} & \dots & L_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{M1} & L_{M2} & \dots & L_{MN} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Ma trận A là ma trận hạt nhân. Các phần tử của ma trận này là khoảng cách giữa các khối mà tia sóng truyền qua. Nếu ở đó có M tia sóng ($i = 1, 2, \dots, M$) và N khối ($j = 1, 2, \dots, N$) thì kích thước của ma trận A là $M \times N$.

Véc tơ b chứa thời gian sóng quan sát được ứng với từng tia sóng và biểu diễn bởi

$$b = \begin{bmatrix} t_1(T) \\ t_2(T) \\ \dots \\ t_M(T) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1(T)/V_{01}(T) \\ L_2(T)/V_{02}(T) \\ \dots \\ L_M(T)/V_{0M}(T) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Véc tơ x chứa độ tương phản V_{gr} giữa hai khối hay độ trễ của từng khối và còn gọi là véc tơ trễ, được biểu diễn bởi:

$$x = \begin{bmatrix} \frac{1}{V_1(T)} \\ \frac{1}{V_2(T)} \\ \dots \\ \frac{1}{V_N(T)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Theo Liu (1990) [17], chiều dài minh giải cho véc tơ trễ của khối thứ i là :

$$J_i = \sum_{k=1}^n \left(\frac{S_{ik}}{|S_i|} \right)^2 W_{ik} \quad (5)$$

Trong đó: i là số thứ tự của khối; $|S_i|$ là chiều dài của hàng thứ i của ma trận minh giải; S_{ik} là phần tử thứ ik của ma trận minh giải và W_{ik} là

khoảng cách giữa các tâm của khối thứ i và thứ k . Khi đó ma trận minh giải là gần giống ma trận xác định, mỗi một J_i nhỏ hơn, thì độ minh giải của mỗi khối là tốt hơn. Trong nghiên cứu của Wu và nnk., (2004), kích thước của mỗi khối là $3^\circ \times 3^\circ$, do đó, nếu chiều dài minh giải của một khối nhỏ hơn 330 km (có nghĩa sự ảnh hưởng của khối này do khối khác gây ra là nhỏ, vì thế kết quả của khối này có thể minh giải bằng chính nó) thì sự minh giải của khối này là rất tốt. Chiều dài minh giải càng nhỏ thì độ minh giải của khối càng tốt.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi chia khu vực nghiên cứu ra làm 81 khối, mỗi một khối có kích thước là $3^\circ \times 3^\circ$. Sau đó sử dụng 2.600 đường cong tán sắc V_{gr} ở chế độ cơ bản tìm được ở trên rồi đưa vào nghịch đảo để xác định cấu trúc 2D vận tốc nhóm sóng Rayleigh cho khu vực nghiên cứu thông qua chương trình FMST (Fast Marching Surface Tomography package) của Rawlinson (2008) [18]. Trong mỗi một khối lại được tính theo phương pháp FMM (Fast Marching Method) của Sethian (1996) [19].

Kết quả

Sau khi xử lý 36.195 băng ghi địa chấn dài rộng thành phần thẳng đứng ghi được bởi 95 trạm của 381 sự kiện động đất, chúng tôi tìm được 2.600 đường tán sắc V_{gr} có chất lượng tốt (hình 6). Phân loại các đường cong này cho thấy đường cong tán sắc V_{gr} truyền trong lục địa có dạng đồ thị hàm bậc 3 với 1 cực tiểu nhỏ (ứng với $V_{gr} \approx 2,8$ km/s; $T = 20 - 26$ s) và 1 cực đại (ứng với $V_{gr} \approx 3,9$ km/s; $T = 50 - 90$ s) còn đường cong tán sắc V_{gr} truyền trong đại dương có dạng hàm bậc 2 với 1 cực đại ($V_{gr} \approx 3,9$ km/s; $T = 40 - 90$ s), như minh họa trên hình 6a, 6b. Thực hiện nghịch đảo các đường cong tán sắc này theo các chu kỳ khác nhau cho thấy: (i) Tại các chu kỳ dưới 40 s, hầu hết các giá trị V_{gr} ở đại dương đều cao hơn ở lục địa, sự phân dị rõ nhất tại chu kỳ 20 s và 30 s sau đó giảm dần và ổn định ở chu kỳ 40 s, giá trị V_{gr} cao nhất ở khu vực trung tâm của biển Đông (hình 8a, 8b, 8c, 8d); (ii) Tại các chu kỳ trên 50 s, hầu hết các giá trị V_{gr} thấp dọc theo đới đứt gãy sông Hồng, đảo Đài Loan, quần đảo Visayas, Philippines và đảo Borneo, (hình 8e, 8f, 8g, 8h, 8i).

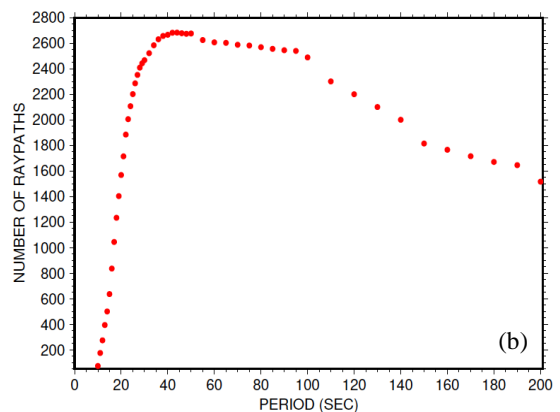
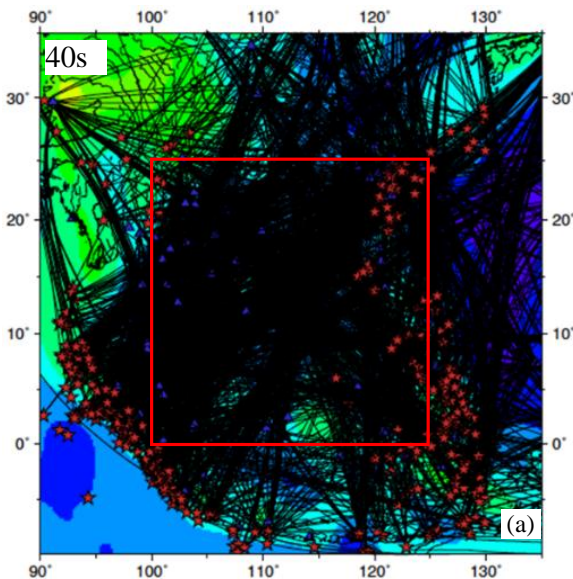
THẢO LUẬN

Hình 6a cho thấy đường cong tán sắc V_{gr} của các tia sóng truyền qua lục địa có dạng đồ thị hàm bậc 3 với 1 cực tiểu nhỏ (ứng với $V_{gr} \approx 2,8$ km/s; $T = 20 - 26$ s) và 1 cực đại (ứng với $V_{gr} \approx 3,9$ km/s; $T = 50 - 90$ s). Điều này có thể giải thích như sau: Tại chu kỳ xung quanh giá trị cực tiểu có thể tồn tại một vùng có vận tốc thấp (theo Tsai (2000), ở độ sâu 10 - 20 km) nên làm cho V_{gr} ứng với chu kỳ này bị giảm; tại chu kỳ từ 26 - 42 s (tùy thuộc vào từng tia sóng), V_{gr} bắt đầu tăng rồi tăng gần như tuyến tính đến chu kỳ cực đại ứng với $V_{gr} \approx 3,9$ km/s, đây có thể là ranh giới giữa lớp vỏ và thạch quyển; tại đỉnh cực đại có thể là ranh giới giữa thạch quyển và quyển mềm (mặt LAB) vì khi sóng Rayleigh truyền vào môi trường có nhiệt độ cao V_{gr} sẽ bị giảm đi và càng giảm khi ở độ sâu lớn hơn hay tần số cao hơn.

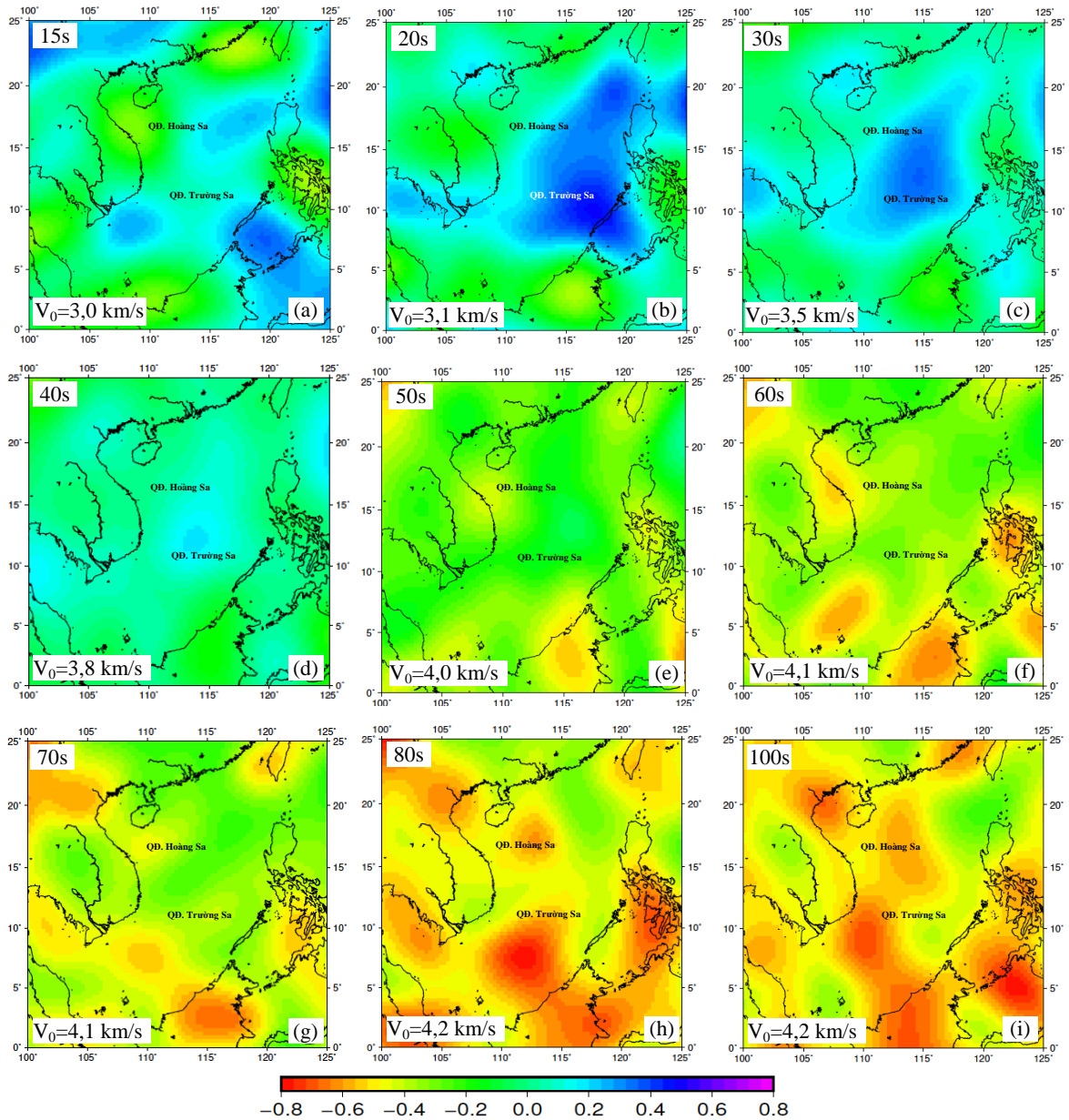
Hình 6b cho thấy đường cong tán sắc V_{gr} của các tia sóng truyền đại dương có dạng hàm bậc 2 với 1 cực đại ($V_{gr} \approx 3,9$ km/s; $T = 40 - 90$ s). Điều này có thể giải thích như sau: Do vỏ đại dương ở khu vực này tương đối mỏng hay do ảnh hưởng của sóng biển nên khó xác định được V_{gr} ở dải tần dưới 18 s, vì thế hầu như không quan sát thấy cực tiểu trên các đường

cong này; ở tần số nhỏ hơn tần số cực đại V_{gr} tăng dần và có giá trị lớn hơn V_{gr} của lục địa, điều này có thể là do khu vực đại dương có sự đồng nhất cao hơn ở khu vực lục địa; Tại chu kỳ cực đại có thể là ranh giới giữa thạch quyển và quyển mềm (mặt LAB) vì khi sóng Rayleigh truyền vào môi trường có nhiệt độ cao V_{gr} sẽ bị giảm đi và càng giảm khi ở độ sâu lớn hơn hay tần số cao hơn.

Hình 7 cho thấy các tia sóng phân bố tương đối đều trong khu vực nghiên cứu, số lượng các tia nhiều nhất trong dải chu kỳ từ 30 - 100 s, điều này cho thấy số liệu sử dụng có độ tin cậy. Hình 8a, 8b, 8c, 8d cho thấy hầu hết các giá trị V_{gr} ở đại dương cao hơn ở lục địa, sự phân dị rõ nhất tại chu kỳ 20 s và 30 s sau đó giảm dần và ổn định ở chu kỳ 40 s. Giá trị V_{gr} trong khu vực biển Đông từ 2,8 km/s đến 4,0 km/s và cao nhất ở khu vực trung tâm biển Đông. Kết quả này phù hợp với kết quả của Wu (2004) nhưng cao hơn của Tang (2013) khoảng 0,2 km/s. Điều này có thể là do sự phân bố các trạm của Tang (2013) chủ yếu phân bố ở khu vực Tây Tạng, Trung Quốc (khu vực lục địa) khá xa so với khu vực biển Đông nên việc lấy trung bình giá trị V_{gr} làm cho giá trị V_{gr} bị giảm đi.



Hình 7. Sơ đồ phân bố các tia sóng Rayleigh truyền qua khu vực nghiên cứu (đường bao liền nét màu đỏ) ứng với chu kỳ 40 s (hình a) và biểu đồ phân bố số lượng các tia sóng Rayleigh theo các chu kỳ khác nhau sử dụng trong nghiên cứu này (hình b)



Hình 8. Sơ đồ phân bố các giá trị V_{gr} theo các chu kỳ khác nhau (15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 và 100 s)

Hình 8e, 8f, 8g, 8h, 8i cho thấy V_{gr} tại khu vực biển Đông đạt từ 3,2 km/s đến 4,2 km/s và xuất hiện vùng V_{gr} thấp dọc theo đới đứt gãy sông Hồng, đảo Côn Cỏ, đảo Đài Loan, quần đảo Visayas, Philippines và đảo Borneo. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả của Wu (2004), Tang (2013). Vùng vận tốc thấp này có thể là do ảnh hưởng của các bồn nhiệt phía dưới khu vực đảo Côn Cỏ, đảo Borneo phù hợp

với kết quả của He (2001) [20] và hoạt động kiến tạo ở đới đứt gãy sông Hồng, quần đảo Visayas và đảo Đài Loan.

KẾT LUẬN

Với 2.600 đường cong tán sắc vận tốc nhóm sóng Rayleigh ghi được bởi 95 trạm của 381 sự kiện trong khu vực nghiên cứu, kết quả đạt được như sau:

Đường cong tán sắc V_{gr} của các tia sóng truyền qua lục địa có dạng đồ thị hàm bậc 3 với 1 cực tiểu nhỏ (ứng với $V_{gr} \approx 2,8$ km/s; $T = 20 - 26$ s) và 1 cực đại (ứng với $V_{gr} \approx 3,9$ km/s; $T = 50 - 90$ s) còn đường cong tán sắc V_{gr} của các tia sóng truyền đại dương có dạng hàm bậc 2 với 1 cực đại ($V_{gr} \approx 3,9$ km/s; $T = 40 - 90$ s).

Ở chu kỳ dưới 40 s, giá trị V_{gr} trong khu vực biển Đông từ 2,8 km/s đến 4,0 km/s và cao nhất ở khu vực trung tâm biển Đông. Kết quả này phù hợp với kết quả của Wu (2004) nhưng cao hơn của Tang (2013) khoảng 0,2 km/s.

Ở chu kỳ trên 50 s, giá trị V_{gr} tại khu vực biển Đông đạt từ 3,2 km/s đến 4,2 km/s và xuất hiện vùng V_{gr} thấp dọc theo đới đứt gãy sông Hồng, đảo Côn Cỏ, đảo Đài Loan, quần đảo Visayas, Philippines và đảo Borneo. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả của He (2001), Wu (2004), Tang (2013).

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện bởi sự hỗ trợ bởi nhiệm vụ HTQT mã số JH00013802 phía Nhật Bản và số VAST.HTQT.NHATBAN.01/15-17 phía Việt Nam thông qua chương trình hợp tác nghiên cứu JSPS-VAST.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ewing, M., and Press, F., 1952. Crustal structure and surface-wave dispersion. part II Solomon Islands earthquake of July 29, 1950. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **42**(4), 315-325.
2. Oliver, J., 1962. A summary of observed seismic surface wave dispersion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **52**(1), 81-86.
3. Satô, Y., 1958. Attenuation, dispersion, and the wave guide of the G wave. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **48**(3), 231-251.
4. Pilant, W. L., and Knopoff, L., 1964. Observations of multiple seismic events. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **54**(1), 19-39.
5. Landisman, M., Dziewonski, A., and Sato, Y., 1969. Recent improvements in the analysis of surface wave observations. *Geophysical Journal International*, **17**(4), 369-403.
6. Dziewonski, A., Bloch, S., and Landisman, M., 1969. A technique for the analysis of transient seismic signals. *Bulletin of the seismological Society of America*, **59**(1), 427-444.
7. Herrmann, R. B., and Ammon, C. J., 2002. Computer programs in seismology: Surface waves, receiver functions and crustal structure. *Saint Louis University, St. Louis, MO, USA*.
8. Wier, S., 1982. Surface wave dispersion and Earth structure in south-eastern China. *Geophysical Journal International*, **69**(1), 33-47.
9. Wu, F. T., and Levshin, A., 1994. Surface-wave group velocity tomography of East Asia. *Physics of the Earth and Planetary interiors*, **84**(1-4), 59-77.
10. Tsai, Y. B., and Wu, H. H., 2000. S-wave velocity structure of the crust and upper mantle under southeastern China by surface wave dispersion analysis. *Journal of Asian Earth Sciences*, **18**(3), 255-265.
11. Cao, X. L., Zhu, J. S., Zhao, L. F., Cao, J. M., and Hong, X. H., 2001. Three dimensional shear wave velocity structure of crust and upper mantle in South China Sea and its adjacent regions by surface waveform inversion. *Acta Seismologica Sinica*, **14**(2), 117-128.
12. Wu, H. H., Tsai, Y. B., Lee, T. Y., Lo, C. H., Hsieh, C. H., and Van Toan, D., 2004. 3-D shear wave velocity structure of the crust and upper mantle in South China Sea (Vietnam East Sea) and its surrounding regions by surface wave dispersion analysis. *Marine Geophysical Researches*, **25**(1-2), 5-27.
13. Tang, Q., and Zheng, C., 2013. Crust and upper mantle structure and its tectonic implications in the South China Sea (Vietnam East Sea) and adjacent regions. *Journal of Asian Earth Sciences*, **62**, 510-525.

14. Yang, T., Liu, F., Harmon, N., Le, K. P., Gu, S., and Xue, M., 2015. Lithospheric structure beneath Indochina block from Rayleigh wave phase velocity tomography. *Geophysical Journal International*, **200**(3), 1582-1595.
15. Phùng Văn Phách, 2017. Cấu trúc địa chất và tiền hóa biển Đông trong Kainozoi. *Nxb. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, 299 tr.
16. Knopoff, L., 1969. Phase and group slownesses in inhomogeneous media. *Journal of Geophysical Research*, **74**(6), 1701-1701.
17. Fu-Tian, L., Hua, W., Jian-hua, L., Ge, H., Qiang, L., and Ke-xin, Q., 1990. 3-D velocity images beneath the Chinese continent and adjacent regions. *Geophysical Journal International*, **101**(2), 379-394.
18. Rawlinson, N., 2008. Fast marching surface tomography. *Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra ACT*, 22 p.
19. Sethian, J. A., 1996. A fast marching level set method for monotonically advancing fronts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **93**(4), 1591-1595.
20. He, L., Wang, K., Xiong, L., and Wang, J., 2001. Heat flow and thermal history of the South China Sea (Vietnam East Sea). *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **126**(3-4), 211-220.

GROUP VELOCITY ESTIMATION OF RAYLEIGH WAVE OF CRUST AND UPPER MANTLE BASED ON THE BROADBAND SEISMIC DATA IN VIETNAM EAST SEA

Hung Nguyen Tien^{1,2*}, Giang Ha Thi¹, Minh Nguyen Le¹, Satoru Tanaka³,
Yasushi Ishihara³, Long Ha Vinh¹, Khoi Le Quang¹

¹*Institute of Geophysics, VAST*

²*Graduate University of Science and Technology, VAST*

³*Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Japan*

ABSTRACT: In this study, the Rayleigh wave group velocity (V_{gr}) of Vietnam East Sea is determined by using 36,195 broadband velocity seismograms recorded by 95 seismic stations from 381 events with magnitude larger than 6.0, depth lower than 100 km, from 2000 to 2016 and applying the multiple filter analysis, integrated into Computer Program Seismology (CPS) by Herrmann and Ammon (2002). Using 2,600 high quality dispersion curves of V_{rg} passing through the Vietnam East Sea, the results show that: (i) The dispersion curves of V_{gr} in the continent region have the function graph of grade 3 with a minimum (at $V_{rg} \approx 2.8$ km/s; $T = 20 - 26$ s) and a maximum (at $V_{rg} \approx 3.9$ km/s; $T = 50 - 90$ s) and the dispersion curves of V_{gr} in the ocean have the function graph of grade 2 with a maximum (≈ 3.9 km/s; $T = 40 - 90$ s); (ii) At the period lower than 40s, the V_{rg} in Vietnam East Sea is from 2.8 km/s to 4.0 km/s and reaches a maximum at the center area; (iii) At the period over 50s, the V_{rg} in Vietnam East Sea is from 3.2 km/s to 4.2 km/s and the low V_{gr} area appears along the Red river, Con Co island, Dai Loan island, Visayas, Philippines and Borneo island.

Keywords: Group velocity of Rayleigh, dispersion curve, multiple filter analysis.