

南海區域氣膠時空分布

中央氣象局建國百年天氣分析預報與地震研討會

賀欣捷 黃世任
國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系

摘 要

南海海域是很重要的邊緣海域，又是亞洲季風的發源地。爲了瞭解南海及鄰近區域的空氣中懸浮微粒的時間與空間變化，本研究利用衛星資料分析南海區域在2001至2010年氣膠的分布。所用衛星資料爲MODIS之氣膠光學厚度(Aerosol Optical Depth, AOD)，及MODIS的FMF(fine mode fraction)資料，將AOD分成粗顆粒氣膠(AOT_C)和細顆粒氣膠(AOT_F)，再以經驗正交函數進行分析，並用氣膠觀測網(Aeronet)地面實測資料檢驗。

從經驗正交函數的分析結果顯示，粗顆粒氣膠(AOT_C)主要分布在大陸南方，其高值出現時間約在每年的10月至3月。這段期間也是亞洲沙塵暴的好發期，這粗顆粒氣膠可能是來自中國的亞洲沙塵暴發源地。而另一波AOT_C高值出現時間約爲5月至7月，主要分布在中南半島。

AOT_F的分析結果顯示，主要高值出現時間在3月到5月，空間分佈在中南半島及大陸南部，而8月到10月則高值區分佈在蘇門答臘及婆羅洲。這結果與中南半島、蘇門答臘及婆羅洲等區域的生質燃燒時間相符。從以上結果顯示，長期大範圍觀測的衛星資料，可提供受到沙塵大自然氣膠和生質燃燒所產生的人爲氣膠影響的時間與區域資訊。

關鍵字：經驗正交函數、南海、氣膠

一、前言

在海洋環境中，葉綠素甲濃度是基礎生產力的指標，當葉綠素甲濃度多的時候，會使當地變成一個良好的漁場，而有很高的經濟效益。大氣中沙塵、氮化物、人爲污染物是浮游植物的營養來源。而這些大氣中懸浮微粒可以統稱爲氣膠。

Martin 和 Fitzwater (1988)指出，當含鐵成分的氣膠沉降到海中之後，葉綠素甲濃度會有明顯的上升現象。不過上升量會因爲鐵含量的多寡而有所變化，故氣膠會影響海水中葉綠素甲濃度。此外，近年來已成爲世界一大問題的溫室效應，造成全球氣溫不斷上升，氣膠也有使地球溫度降低的功能，使得全球溫度不會突然有劇烈的改變，而對人類產生不良的影響。

在本研究的研究區域—南海，觀察到的氣

膠來源大都來自中國大陸東南沿海及呂宋島西岸，經由天氣系統運送而來。而在每年八至十月蘇門答臘與婆羅洲生質燃燒產生的煙塵，也是其來源之一(Holloway et al. (2002))。

而空氣中懸浮微粒的多寡，會影響到太陽輻射能量的傳遞，其影響太陽輻射能量的傳遞的程度可以氣膠光學厚度表示。由於衛星資料取得方便，也能提供長時間且準確的觀測資料，不需花費大量的資金和人力去當地取得資料。因此，本研究利用衛星遙測得到的氣膠光學深度(Aerosol Optical Depth, AOD)資料，來了解南海海域氣膠的時空變化及其造成的影響。

二、研究資料

本研究選用 NASA(National Aeronautics and Space Administration)的 Terra

MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)衛星資料，Terra 衛星為美國國家航空暨太空總署於 1999 年 12 月 18 日發射，為太陽同步衛星，軌道高度約 705 公里，觀測時間為當地時間上午 10：30。主要任務為氣候變遷的觀測，包括大氣、陸地、海洋及輻射能量間的交互作用。

MODIS 又稱中解析度成像光譜儀，具有 36 組波段，範圍從 $0.41 \mu\text{m}$ 至 $14.4 \mu\text{m}$ ，包含可見光、近紅外光及熱紅外光。利用 MODIS 不同波段性質，提供地表資訊、海表溫度、雲頂溫度、氣膠、臭氧、雲頂高度、氣膠和海表葉綠素等資訊。

本研究所採用的是 Terra MODIS Level 3 氣膠光學深度(Aerosol Optical Depth, AOD) 550 nm 波段的資料，以及細顆粒氣膠比例(FMF)資料。資料時間解析度為月平均，空間解析度為經緯度 1 度。資料時間範圍為 2001 年 1 月至 2010 年 9 月，共計 117 個月。此兩種資料在本研究中所採用的範圍為 0°N 至 25°N 、 100°E 至 125°E 的南海及其周邊。

在將資料輸入經驗正交函數之前，先利用 FMF 資料將 AOD 資料分成 AOT_C(粗顆粒氣膠)及 AOT_F(細顆粒氣膠)，公式如下：

$$\begin{aligned} \text{AOT_F} &= \text{AOD} \times \text{FMF} \\ \text{AOT_C} &= \text{AOD} \times (1 - \text{FMF}) \end{aligned}$$

分解後再帶入經驗正交函數進行分析。

三、研究方法

本研究所使用的資料分析方法為經驗正交函數(empirical orthogonal functions, EOF)分析，又稱作主成分分析(principal component analysis, PCA)，是一種可用來分解多變數資料的統計方法。

過去也有不少學者將經驗正交函數應用在全球或區域性海洋上，如：陳(2004)用經驗

正交函數分析東海的風場及海表溫之時空變化，以及其受聖嬰與反聖嬰之影響。李(2005)利用衛星資料及經驗正交函數來探討黃海的風場及海表溫季節與跨年變化。水野(1984)利用經驗正交函數分析日本東北海 100 公尺深的海溫船測資料，來了解黑潮和親潮在這海域的變化。林等(2004)由經驗正交函數分析結果得知亞洲地區懸浮微粒分布。楊(2004)使用旋轉經驗正交函數分析南海內波與內潮。

假設一組二維影像資料組，並按其時間順序排列，單一影像有 M 個資料點， N 個不同時間，則每個影像資料點可以 $T(x_i, t_j)$ 表示， $i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$ 。

經過此函數分解後， $T(x_i, t_j)$ 可以表示成 N 個不同變異數空間正交的線性組合：

$$T(x_i, t_j) = \sum_{n=1}^N a_n(t_j) F_n(x_i)$$

$\{a_n(t_j), j=1,2,\dots,N\}$ 為第 n 個主成分的時間振幅， $\{F_n(x_i), i=1,2,\dots,M\}$ 為第 n 個主成分的空間影像，一般會分析前面幾個變異數較高的主成分之 $a_n(t_j)$ 、 $F_n(x_i)$ 或是 $a_n(t_j) F_n(x_i)$ ，以了解整個影像時間序列之特性。並利用 North et al. (1982)提出，用以判斷分析是否合理的方法，如下式，來判斷主成分是否具統計意義。

$$e = \lambda_a \sqrt{\frac{2}{N}}$$

e 誤差範圍， λ 特徵值， N 資料總筆數

四、結果

AOT_C 在經過誤差分析後，其佔總變異量百分比及誤差範圍的結果如表(1)所示，第四主成分與第五主成分的誤差範圍有重疊，因此以下僅探討前三個主成分。

表(1) AOT_C 各主成分佔總變異量比值

主成分	佔總變異量比值 (誤差範圍) (%)	累積總變異量 (%)
1	79.56 (69.15~89.95)	79.56
2	3.85 (3.35~4.36)	83.41
3	1.99 (1.72~2.24)	85.40
4	1.06 (0.92~1.20)	86.46
5	0.89 (0.78~1.01)	87.35

第一主成分佔總變異量 79.56%，其空間分布型態(圖 1A)皆為負值，而時間振幅(圖 1B)也全部是負值，因此負數值愈大代表其平均愈高，在每年 3 月、8 月或 10 月出現相對大的振幅。透過頻譜分析結果顯示其周期約為半年或一年，但在 16 個月及 32 個月的位置也有較大的能量。空間分布型態則主要在中國大陸南部及中南半島有較大的負值，其餘地區都相當平均。

第二主成分佔總變異量 3.85%，空間分布型態(圖 2A) 在中南半島上主要是正值；而在中國大陸南部則為負值，中南半島西北也有分布。時間振幅(圖 2B)有年變化的趨勢，5 月到 10 月為正值，9 月最大；11 月至 3 月為負值，1 月最大，也就是說，5 月到 10 月在中南半島上會有比當地平均高的 AOT_C 濃度；11 月至 3 月則是在中國大陸南部，由頻譜分析顯示年變化及 4 個月變化。

第三主成分佔總變異量 1.99%，空間分布型態(圖 3A)，正值由中南半島西北向東南延伸；負值則在中國大陸南部。時間振幅(圖 3B)在每年 5 月至 8 月多為正值；10 月到 2 月則多為負值。由頻譜分析顯示其為年變化。換句話說，即中南半島會有較高濃度的時候約在 5 月至 8 月，而中國大陸南部則是 10 月到 2 月。

利用經驗正交函數，將 AOT_C 資料分出三個互相獨立的主成分，不論是發生時間或是發生地點都有相似與重疊之處。每年十一月到隔年五月，是東亞沙塵好發季節，大陸東部的氣膠會順著東北季風南下至南海(Lin et al ,

2007)。在中南半島也有粗顆粒氣膠分布，印

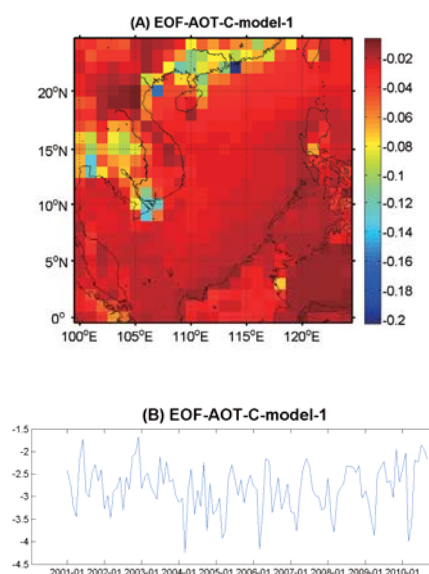


圖 1.(A)AOT_C 第一主成分空間分布型態，(B) 時間振幅

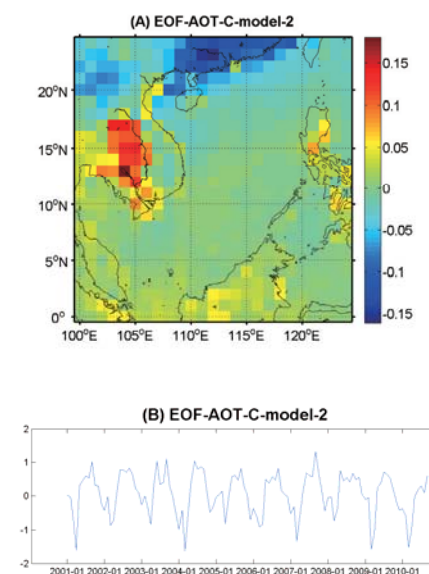
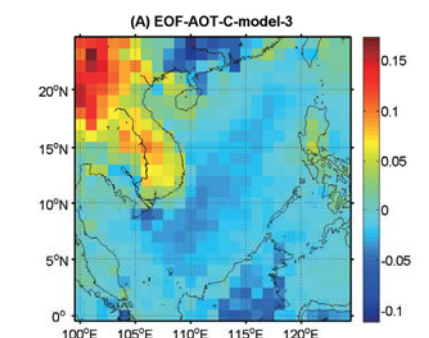


圖 2.(A)AOT_C 第二主成分空間分布型態，(B) 時間振幅



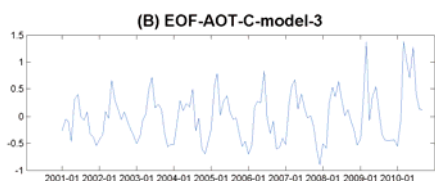


圖 3.(A)AOT_C 第三主成分空間分布型態，(B) 時間振幅

度西北在 4 月到 6 月有觀測到沙塵 (MIDDLETON, 1986)，時間雖然符合，但目前沒有資料可證明是來源地。

AOT_F 在經過誤差分析後，其佔總變異量百分比及誤差範圍的結果如表(2)所示，第五主成分與第六主成分的誤差範圍有重疊，因此具有統計意義的為前四個主成分。

表(2) AOT_F 各主成分佔總變異量比值

主成分	佔總變異量比值 (誤差範圍) (%)	累積總變異量 (%)
1	70.50 (61.28~79.71)	70.50
2	11.98 (10.41~13.54)	82.48
3	3.15 (2.73~3.56)	85.63
4	2.20 (1.91~2.49)	87.83
5	1.43 (1.25~1.62)	89.26
6	1.12 (0.97~1.26)	90.38

第一主成分佔總變異量 70.5%，空間分布型態(圖 4A)皆為負值，最大的負值區域主要在中國大陸南部，其次是蘇門答臘至婆羅門洲。時間振幅(圖 4B)也全部為負值，較大的位置在每年 3 月至 4 月及 8 月至 10 月兩個區段，其中以 2006 年 10 月最大。藉由頻譜分析可知主要週期為半年變化，其次為 32 個月變化，可能是因這兩個地方生質燃燒旺盛時期不同，才會一年有兩個峰值。

第二主成分佔總變異量 11.98%，空間分布型態(圖 5A)在中南半島上為正值；婆羅門洲則為負值。時間振幅(圖 5B)上，正值約在每年 3 月至 5 月，負值約在每年 8 月到 10 月所以

可知在 3 月至 5 月時中南半島會有較高的 AOT_F 濃度，8 月到 10 月則是在婆羅門洲且向西延伸至蘇門答臘，可能是由當地的生質燃燒造成的。由頻譜分析顯示得知其為一年變化週期。

第三主成分佔總變異量 3.15%，空間分布型態(圖 6A)從中南半島向東延伸至巴士海峽，以及婆羅門洲為正值，只有中國大陸南部為負值，時間振幅(圖 6B)大致上在 2 月至 4 月及 8 月至 10 月為正值；5 月至 7 月則是負值，中南半島及婆羅門洲有高值的時間主要在 2 月至 4 月及 8 月至 10 月；中國大陸南部則是 5 月至 7 月。由頻譜分析可知其為半年變化或年變化週期。

第四主成分佔總變異量 2.2%，空間分布型態(圖 7A)上蘇門答臘為正，中南半島北部及婆羅門洲為負。時間振幅(圖 7B)在 3 月至 5 月及 8 月至 10 月多為負值，其他時間則正值較多。頻譜分析雖然能量很低，但仍可看出在半年及一年的位置有較高能量，可知其為半年變化或年變化週期。

利用經驗正交函數，將 AOT_F 資料分出四個互相獨立的主成分，不論是發生時間或是發生地點也都有相似與重疊之處，可能是因 3 月到 4 月在中南半島以及 8 月到 10 月在蘇門答臘及婆羅門洲有生質燃燒 (Lin et al, 2007)，是為主要的 AOT_F 來源。也與 Holloway et al. (2002)使用化學與大氣傳輸模式，所模擬的亞洲生質燃燒的區域及時間相符合。所以利用 EOF 方法分析氣膠資料，可用以監測沙塵或生質燃燒。

五、總結

粗顆粒氣膠在 10 月至隔年 3 月，主要分布在大陸南部，依據環保署統計，每年十一月到隔年五月，是東亞沙塵好發季節；且在東北

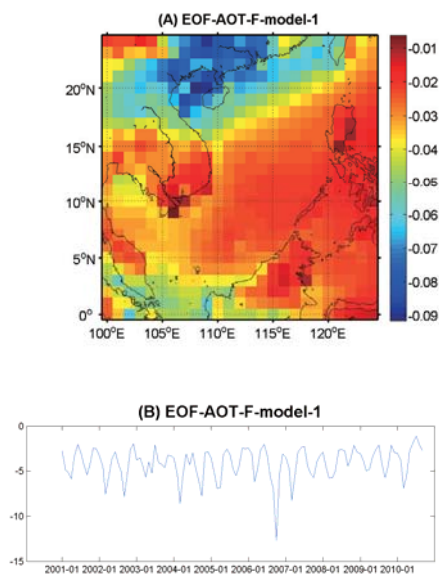
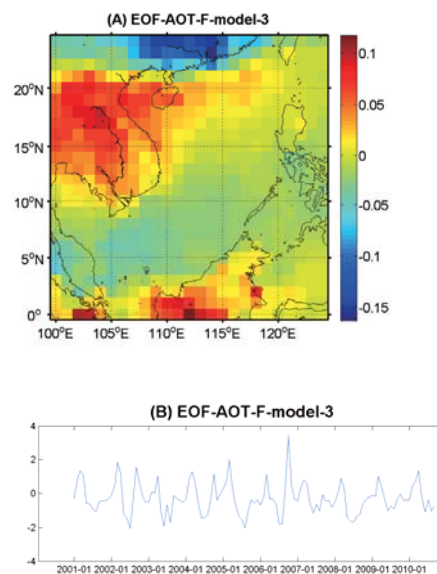
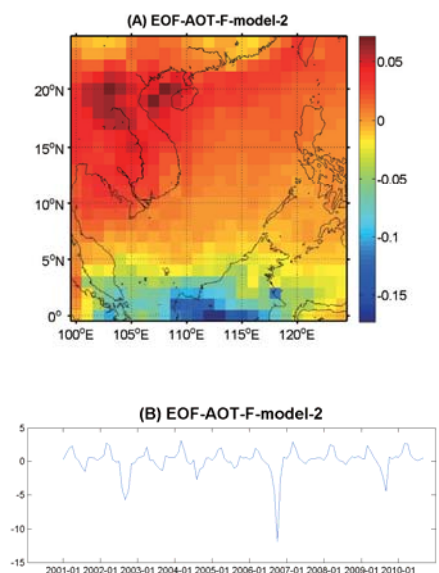


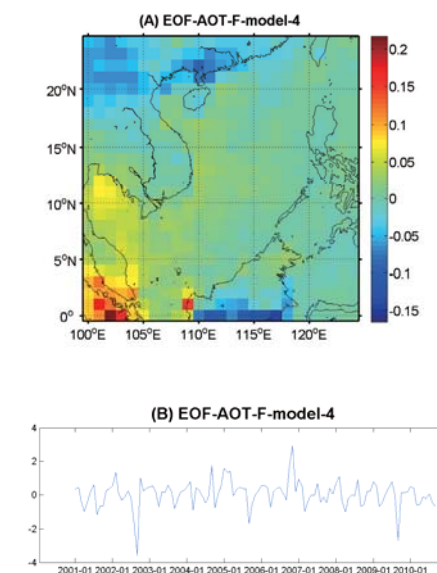
圖 4.(A)AOT_F 第一主成分空間分布型態，(B)時間振幅



6.(A)AOT_F 第三主成分空間分布型態，(B)時間振幅



5.(A)AOT_F 第二主成分空間分布型態，(B)時間振幅



7.(A)AOT_F 第四主成分空間分布型態，(B)時間振幅

季風期間，大陸東部的氣膠會順著季風南下至南海，因此推測其應是來自大陸的沙塵。

在 5 月至 7 月時在中南半島所觀測到的粗顆粒氣膠可能的來源，尚需進一步研究。

而細顆粒氣膠 3 月到 5 月分佈在中南半島及大陸南部，8 月到 10 月則分佈在蘇門答臘及婆羅門洲，應為該區域的生質燃燒所造

成。

長期大範圍觀測的衛星資料，透過經驗正交函數的分析，可顯示受到沙塵大自然氣膠和生質燃燒所產生的人為氣膠影響的時間與區域資訊。

誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會專題研究計畫(NSC99-2611-M-019-008 and NSC98-2611-M-019-016-MY3)支持得以順利完成。

參考資料

1. 李先明，2005，黃海衛星海表溫度與風場之季節及跨年變化，國立台灣海洋大學海洋科學系碩士論文，共 80 頁
2. 林瑋翔、陳盈蓁、余嘉裕，2004，亞洲地區懸浮微粒之時空分布分析，第八屆全國大氣科學學術研討會，Poster Session B，02-PB-006
3. 陳雅雯，2004，東海風場與海表溫之衛星觀測，國立台灣海洋大學海洋科學系碩士論文，共 86 頁
4. 楊穎堅，2004，南海的內波與內潮之研究，九十三年度國科會專題研究計畫書
5. Holloway, T., H. Levy II, G. Carmichael (2002), Transfer of reactive nitrogen in Asia: development and evaluation of a source-receptor model, *Atmospheric Environment*, Vol. 36, 4251-4264.
6. I-I Lin, Jen-Ping Chen, George T.F. Wong, Chih-Wei Huang, Chun-Chi Lien (2007) Aerosol input to the South China Sea: Results from the MODerate Resolution Imaging Spectro-radiometer, the Quick Scatterometer, and the Measurements of Pollution in the Troposphere Sensor , *Deep-Sea Research II* 54 1589–1601
7. Martin, J. H. and Steve E. Fitzwater, (1988), Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific subarctic, *Nature*, 331, 341-344
8. MIDDLETON N. J. (1986), A GEOGRAPHY OF DUST STORMS IN SOUTH-WEST ASIA , *JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, VOL. 6, 183-196
9. North, G. R., T. L. Bell, R. F. Cahalan and J. Moeng(1982), Sampling error in the estimation of empirical orthogonal function, *Monthly Weather Review*, 110, p699-706
10. 水野恵介（1984） 東北海区の海況変動について。東北区水産研究所研究報告 46号 61～80