國立臺灣海洋大學 海洋環境資訊系 碩士學位論文

指導教授: 黄世任 博士

南海海域葉綠素濃度受氣膠影響之變化

The variation of chlorophyll concentration influenced by aerosol on South China Sea

研究生:陳立偉 撰

中華民國 97 年 12 月



南海海域葉綠素濃度受氣膠變化之影響

The variation of chlorophyll concentration influenced by aerosol on South China Sea

研究生:陳立偉 Student:Li-Wei Chen

指導教授:黃世任 Advisor:Shih-Jen Huang

國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系 碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Marin Environmental Informatics
College of Ocean Science and Resource
National Taiwan Ocean University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science

In

Marin Environmental Informatics
December 2008
Keelung, Taiwan, Republic of China

中華民國 97 年 12 月



謝誌

在研究所的求學過程中,無論是在課業上或是作人處事上皆獲益 良多。在這段期間也讓我瞭解了自己的能力,也明白了只要肯努力, 任何事情都有可能達成。在這本論文裡不只是研究結果的呈現,也包 含了毅力與努力。當然不光憑己之力就能完成。

首先要感謝我的指導老師 黃世任老師,平時在研究上的指導與討論,以及在生活上的關心,真的很慶幸能被黃老師所教導。還要感謝李賢文老師、郭南榮老師以及何宗儒老師審核我的論文,並給予建議與指導,以及系上各位老師在知識上的傳授。再來要感謝系上的各位同學們,志文學長、群益學長、智傑學長、伯英學姐、妍方學姐在學業上的指導;以及兆麒、秀莉、季莊、俊宇、博閔、俞廷、鈞偉在課業上與生活上的幫助;還有彥輝與同中這兩位同實驗室的戰友,大家互助相扶持;還要感謝各位學弟妹的協助。最後要感謝筱雨,在這段時間支持著我,並在我忙得焦頭爛額之時,給予我鼓勵與打氣,讓我有奮戰到底的動力。

摘要

本研究使用 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectro-radiameter)之氣膠光學厚度、葉綠素甲濃度和海表面溫度資料,以及 MODIS 大氣產品之氣膠光學深度資料,和 QuikSCAT (Quik Scatterometer)海表面風場資料探討南海海域葉綠素受氣膠影響之變化。

長期資料顯示,南海海域風向主要分為東北季風(10 月至 4 月) 與西南季風(5 月至 9 月)。東北季風時期,最大風速出現於 12 月左右 (約 11m/s),其海表溫為 22°C~28°C。而葉綠素濃度約 0.2µg/l~0.9µg/l, 全海域皆可見高值。而氣膠的可能來源為東北亞都市工業污染與沙塵 之氣膠,風力最強時能遍佈南海海域。西南季風時期,最大風速出現 於 8 月南海中部(約 8m/s),全南海海表溫為 27°C~31°C。葉綠素濃度 約為 0.1µg/l~0.7µg/l,高值多分佈於巽他陸棚周圍海域。氣膠主要來 源為婆羅州和蘇門答臘之生質燃燒,其影響範圍分佈於南海中、南部 海域。

使用月變異量資料探討葉綠素及氣膠變化情況,在排除海水湧升之影響的條件下,當氣膠出現異常高值時,葉綠素濃度也出現異常高值的情況最多,這現象主要發生於12月、1月和2月。研究結果也發現,在東北季風時期,葉綠素與氣膠高正相關(R>0.5)現象遍佈南

海;而在西南季風時期,其相關性良好(R>0.5)之區域在南海南部較明顯,但分佈範圍零散。顯示在南海海域,氣膠的含量與葉綠素的成長存在著相當程度的正相關。

關鍵詞:MODIS、氣膠、葉綠素、QuikSCAT、海表面溫度

Abstract

The purpose of this research is using aerosol optical thickness (AOT), chlorophyll-a concentration(Chl-a) and sea surface temperature (SST) of Aqua satellite MODIS, aerosol optical depth(AOD) from MODIS Atmosphere Discipline Group and sea surface wind of Quik-SCAT satellite to investigate the variation of chlorophyll concentration influenced by aerosol on South China Sea (SCS).

Long-time data shows the prevailing wind of SCS are dominated by the northeast (October to April) and southwest (May to September) monsoon. During the northeast monsoon period, the strongest wind speed appeared in December (about 11m/s), and the SST is $22^{\circ}\text{C}\sim28^{\circ}\text{C}$. Chl-a concentration is $0.2\mu\text{g/l}\sim0.9\mu\text{g/l}$ and its high concentration appears on SCS everywhere. The aerosol, carried to the south SCS durning the strongest northeast monsoon, maybe included the industrial pollution from eastern China and the dust from Asian desert. During the southwest monsoon period, the strongest wind speed appeared in August (about 8m/s), and the SST is $27^{\circ}\text{C}\sim31^{\circ}\text{C}$. Chl-a concentration is $0.1\mu\text{g/l}\sim0.7\mu\text{g/l}$, and its high concentration appear around Sunda Shelf. The main source of aerosols included biomass burning in Sumatra and Borneo, and the prevailing wind can these aerosols it to the southern SCS and mid-SCS.

The monthly anomaly is to investigate the variations between Chl-a and aerosols with no affected by upwelling. Usually, in Dec., Jan. and Feb., the aerosol anomaly is high and Chl-a anomaly is high, too. Its show that, during northeast monsoon period, the well correlation (R>0.5) between Chl-a and aerosols is all over the SCS. And the well correlation

(R>0.5) is scattered all over the southern SCS. The results show that, the well correlation must between aerosols and Chl-a on SCS.

Keyword: MODIS · aerosol · chlorophyll-a · QuikSCAT · sea surface temperature

目錄

謝誌		Ι
摘要		Η
Abstrac	t	V
目錄		/Ι
表目錄	I	X
圖目錄.		X
第一章	前 言	.1
1.1	研究動機與目的	.1
1.2	文獻探討	.2
第二章	研究區域與資料	.4
2.1	研究區域	.4
2.2	研究資料	.5
	2.2.1 MODIS Aqua 衛星資料	.5
	2.2.2 MODIS 大氣產品氣膠光學深度資料	.6
	2.2.3 QuikSCAT 衛星海面風速資料	.7
第三章	研究方法	.8
3.1	長期月平均	.8
3.2	長期時間序列	.9
3.3	區域平均值1	0

3.4	長期月變異量	.11
3.5	長期月變異量相關性	.12
第四章	結果與討論	.14
4.1	長期月平均資料的特性	.14
	4.1.1 QuikSCAT 衛星 風場長期月平均的資料特性	.14
	4.1.2 MODIS 大氣產品 AOD 長期月平均的資料特性	.15
	4.1.3 MODIS Aqua 衛星 AOT869 長期月平均的資料特性	.18
	4.1.4 MODIS Aqua 衛星葉綠素濃度長期月平均資料特性	.19
	4.1.5 MODIS Aqua 衛星海表面溫度長期月平均的資料特性	20
4.2	各衛星資料之長期時間序列	.22
	4.2.1 各衛星資料之長期時間序列變化	.22
	4.2.2 長期時間序列期間各衛星資料間的相關性	.27
4.3	各月五度區域平均	.29
4.4	T869 與 Chl-a 長期各月月變異量相互變化	.35
	4.4.1 月變異量事件	.36
	4.4.2 個案探討	.37
	4.4.2.1 東北季風時期之月份(12月、1月、2月)	.37
	4.4.2.2 西南季風時期之月份(6月、9月)	.41
	4423 小結	.43

4.5 T869 與 Chl-a 長期月變異量相關性	44
4.5.1 依各個月份(1至12月)	44
4.5.2 依季風時期(5月至9月 、 10月至4月)	45
第五章 結論與展望	47
參考文獻	50

表目錄

表 1.1: MODIS 各頻道:	波段範圍與其主要用途。52
表 4.1:2002 年 7 月至 2	2007 年 12 月,S1-S4 各資料之相關性分析 53
表 4.2:QuikSCAT 衛星	風場各月五度緯度區域平均54
表 4.3: MODIS 衛星 大	、氣產品 AOD 各月五度緯度區域平均55
表 4.4:MODIS Aqua	T869 各月五度緯度區域平均56
表 4.5:MODIS Aqua	Chl-a 各月五度緯度區域平均57
表 4.6:MODIS Aqua	SST 各月五度緯度區域平均58
表 4.7 2002 年 7 月至 20	07 年 12 月間 Chl-a 與 T869 異常值統計表.59

圖目錄

圖	1.1:	南海海域示意圖。	.61
圖	2.1:	研究點 S1 至 S4 位置圖。	.61
圖	4.1	QuikSCAT 風場 1月至6月長期月平均	.62
圖	4.2	MODIS 大氣產品 AOD 值 1 月至 6 月長期月平均	.64
圖	4.3	MODIS Aqua 衛星 AOT869 1 月至 6 月長期月平均	.66
圖	4.4	MODIS Aqua 衛星 Chl-a 1月至 6月長期月平均	.68
圖	4.5	MODIS Aqua 衛星 SST 1月至6月長期月平均	.70
圖	4.6	S1-S4 氣膠與風速時間序列圖	.72
圖	4.7	S1-S4 QuikSCAT 風場長期時間序列	.73
圖	4.8	S1-S4 MODIS AOD 長期時間序列	.74
圖	4.9	S1-S4 MODIS A531 長期時間序列	.75
圖	4.10	MODIS True Color 火點位置(地點:北緯 20.1 度至北緯 39	9.9
度	,東統	經 107.3 度至東經 125.0 度)	.76
圖	4.11	2006年9月風場	.77
圖	4.12	MODIS True Color 火點位置(地點:北緯 0.6 度至南緯 (6.6
度	,東統	經 102.2 度至東經 107.6 度)	.77
圖	4.13	S1-S4, 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 QuikSCAT 風速月平	均
時	間序系	列折線圖	.78

圖 4.14	S1-S4, 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS Aqua 海表溫	4月
平均時間	『字列折線圖	.79
圖 4.15	S1-S4,2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS Aqua 葉綠素	月
平均時間	『字列折線圖	.80
圖 4.16	S1-S4,2002年7月至2007年12月MODIS T869月平	-均
時間序列	刊折線	.81
圖 4.17	QuikSCAT 風場長期五度緯度區域平均圖	.82
圖 4.18	MODIS AOD 長期五度緯度區域平均圖	.82
圖 4.19	MODIS T869 長期五度緯度區域平均圖	.82
圖 4.20	MODIS Chl-a 長期五度緯度區域平均圖	.83
圖 4.21	MODIS SST 長期五度緯度區域平均圖	.83
圖 4.22	2002 年至 2007 年,葉綠素甲濃度十二月月平均	.84
圖 4.23	2002 年至 2007 年,海表溫十二月月平均	.85
圖 4.24	2002 年至 2007 年, 風場十二月月平均	.86
圖 4.25	2002 年至 2007 年, AOD 十二月月平均	.87
圖 4.26	2002 年至 2007 年, T869 十二月月平均	.88
圖 4.27	2003 年至 2007 年, Chl-a 一月月平均	.89
圖 4.28	2003 年至 2007 年, SST 一月月平均	.90
圖 4.29	2003 年至 2007 年, 風場一月月平均	.91

圖 4.30	2003 年至 2007 年, AOD 一月月平均	92
圖 4.31	2003 年至 2007 年, T869 一月月平均	93
圖 4.32	2003 年至 2007 年, Chl-a 二月月平均	94
圖 4.33	2003 年至 2007 年, SST 二月月平均	95
圖 4.34	2003 年至 2007 年, 風場二月月平均	96
圖 4.35	2003 年至 2007 年, AOD 二月月平均	97
圖 4.36	2003 年至 2007 年, T869 二月月平均	98
圖 4.37	2003 年至 2007 年, Chl-a 六月月平均	99
圖 4.38	2003 年至 2007 年, SST 六月月平均	100
圖 4.39	2003 年至 2007 年, 風場六月月平均	101
圖 4.40	2003 年至 2007 年, AOD 六月月平均	102
圖 4.41	2003 年至 2007 年, T869 六月月平均	103
圖 4.42	2002 年至 2007 年, Chl-a 九月月平均	104
圖 4.43	2002 年至 2007 年, SST 九月月平均	105
圖 4.44	2002 年至 2007 年, 風場九月月平均	106
圖 4.45	2002 年至 2007 年, AOD 九月月平均	107
圖 4.46	2002 年至 2007 年, T869 九月月平均	108
圖 4.47	Chl-a 與 T869 各月長期月變異量排除水溫影響之相關	性109
圖 4.48	Chl-a 與 T869 長期時間月變異量排除湧升影響之相關	性 111

圖 4.49 Chl-a 與 T869 長期時間月變異量排除湧升影響之相關性 111

第一章 前言

1.1 研究動機與目的

海洋葉綠素濃度能反應出浮游植物的多寡,而浮游植物則是海洋生物鏈中最低階的一環。浮游植物所行的光合作用,會形成海洋基礎生產力。所以海洋中葉綠素濃度可視為海洋基礎生產力的良好指標。 通常海洋中葉綠素濃度較高的區域有漁獲富足的漁場,了解葉綠素濃度分佈的區域也可帶來經濟上的效益。

海洋中營養鹽的來源有:河川輸入帶來陸地上人為排放污染物、海水湧升帶起海底底部營養鹽、大氣沈降帶來懸浮於大氣中的營養鹽物質。以南海來說:幾條主要河川(如南海北部珠江、中南半島湄公河及呂宋島卡加延河)帶來陸地上工業廢水、生活用水以及農業用水,其水中所含的營養鹽所造成葉綠素濃度增長的區域多分佈於河川出海口沿岸;海水湧升的區域(如呂宋海峽西方海域、巽他陸棚北部海域及越南外海海域)通常營養鹽也富足,其葉綠素濃度也相對高(Liu et al., 2002);大氣中經由沙塵,工業污染與生質燃燒所產生的氣膠煙塵中,也含有鐵、氮、磷、硫、矽等營養鹽物質。這些大氣中的營養鹽如落到海上,應也會影響葉綠素的生長。本研究目的就在於以衛星資料時間上的連續性與長期性和空間上的廣泛性,探討南海海域

葉綠素受氣膠影響之情況。

1.2 文獻探討

季節性風向對於南海海域的水文現象扮演著重要的角色(Wong et al.,2007)。南海海域表面環流激烈的季節性變化與輪替的季風風向相對應(Liu et al., 2002)。其海域風速較強的東北季風時期是從十一月至四月,風速較弱的西南季風時期是從七月至九月。在這兩個季風時期間的五月和十月,此兩個月的風速微弱(Tang et al.,2003; Tseng et al., 2005)。

Tang et al. (1999)表示呂宋島西北方約 100 公里處,在冬北季風時期有面積約 100x200 平方公里,濃度約為 1 至 3 mg m⁻³ 的高葉綠素濃度區域,且維持了 1 至 3 週。並指出此處葉綠素濃度增長的情況與湧升作用帶來的營養鹽有極大關係。

而在越南湄公河河口沿岸至東方兩百公里處湧升現象,伴隨著葉 綠素增長出現於七月至九月,十月減弱,於十一月時完全消失。西南 季風是造成此現象的主要作用力。(Kuo et al., 2000; Tang et al., 2004)

Liu et al. (2002)針對呂宋島西北部海域、巽他陸棚北部海域以及 越南東部海域以數值模式探討季風造成的葉綠素分佈情況;冬天呂宋 島西北部海域與巽他陸棚有湧升的現象產生,同區域並有葉綠素濃度 增高的現象。夏天越南東部海域同樣有湧升現象,也伴隨著葉綠素濃 度增高的現象。從前人的研究中可瞭解,在南海海域上,季風會驅動 湧升作用,而帶來的營養鹽會促使葉綠素增長。

Paerl (1997)指出,從大氣沈降結合了氮物種與磷物種的營養鹽也可能會直接增加海洋初級生產力。而大氣中的氣膠的來源包含:生質燃燒、都市及工業區之石化燃燒、海洋機制產生的海鹽性氣膠、火山爆發...等(Eck et al, 1999)。南海海域周圍氣膠來源有當地的海鹽性氣膠、東亞地區工業區及都市所產生的空氣污染、亞洲沙漠區被風吹起的沙塵顆粒以及蘇門答臘與婆羅洲生質燃燒產生的煙塵(Lin et al., 2007)。

Holloway et al. (2002)使用化學與大氣傳輸模式,模擬亞洲生質燃 燒的區域及時間。研究結果顯示東南亞包含中南半島在冬天與春天有 生質燃燒現象,其最高值出現於三月;馬來西亞、蘇門答臘與婆羅洲 在七月至九月有生質燃燒現象。

Lin et al. (2007)利用 MODIS 衛星資料探討氣膠傳送至南海海域的情況;並指出各種氣膠來源的時間。冬季季風時期(十一月至四月),普遍的東北季風會挾帶混合著人為性與沙塵性氣膠,帶至南海海域。夏季季風時期(七月至九月),普遍的西南季風會傳輸婆羅洲與蘇門答臘生質燃燒的煙塵氣膠至南海海域。

第二章 研究區域與資料

2.1 研究區域

南海海域位於亞熱帶季風區,是世界上最大的陸緣海之一(Tseng et al., 2005)。東邊有菲律賓群島,南邊至波羅洲西北沿岸延伸至巽他陸棚,西邊至中南半島沿岸延伸至馬來西亞東側沿岸及泰國灣,北邊為中國南部沿岸,其南海海域面積約達 380 萬平方公里,最深處海溝約深 5000 公尺(Liu et al., 2002)。南海周圍河流流域主要有中南半島上的湄公河,中國南部的珠江三角洲以及呂宋北部的卡加延河等三條主要河流。南海海域有許多連接開放性大洋的通道,但呂宋海峽是唯一主要與西太平洋交換海水的通道。而本研究範圍取自赤道至北緯25 度、東經 100 度至東經 125 度(圖 1.1)。

南海海域大氣氣候變化和海表面環流流場主要受到季風變化影響。東北季風起於九月,十月初可達南海北部甚至抵達南海中部,十一月開始可以到達南海南部,風力最強時約在十二月至一月左右,且冬季為季風最強的季節 (陳, 2001);西南季風發源於印度洋赤道低壓,始於五月,六月可遍及南海海域,風力最強時在七月與八月 (Liu et al., 2002; Tang et al., 2003)。

2.2 研究資料

本研究使用 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Aqua 衛星資料、MODIS 大氣氣產品之氣膠光學深度資料,以及 QuikSCAT 衛星風場資料。

2.2.1 MODIS Aqua 衛星資料

美國航空暨太空總署 (National Aeronautics and Space Administration, NASA)分別在 1999年12月12日及 2002年5月4日成功發射了 Terra 和 Aqua 兩顆衛星,而 MODIS 則是搭載在衛星上的被動式成像分光輻射計。衛星的軌道高度為 705公里,為太陽同步衛星,以繞極的方式對全球大氣、陸地及海洋進行綜合觀測。

MODIS 稱為中解析度成像光譜儀,全部共有 36 組觀測波段,其波長範圍介於 0.41μm 至 14.4μm,涵蓋可見光至遠紅外光(表 1)。因波段範圍廣,所以能提供許多地表資訊,如氣膠、海表面溫度、海表面葉綠素、大氣水汽、雲頂溫度、大氣溫度、臭氧等。其星下點之地面解析度依照波段不同有不同之解析度:第 1~2 波段為 250 公尺、第 3~7 波段為 500 公尺和第 8~36 波段為 1 公里,共三種解析度。

本研究中所使用到的資料為 Ocean Level-3 Standard Mapped Image Products, 是由美國太空總署 NASA 之 Oceancolor 網站所取得

(網址: http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/)。資料由 NASA Goddard Space Flight Center's Ocean Data Processing System (ODPS)所製作而成。所使用到的資料有氣膠光學厚度資料(Aerosol Optical Thickness, T869)、海表面溫度資料(Sea Surface Temperature, SST)與葉綠素甲濃度 (Chlorophyll-a, Chl-a)資料。使用資料之時間解析度為月平均,空間解析度為4公里。而時間範圍從2002年7月至2007年12月,共計66個月。其中2007年7月SST缺少資料。

2.2.2 MODIS 大氣產品之氣膠光學深度資料

MODIS Atmosphere Discipline Group 主要目的是針對大氣資料再做進一步詳細的校正,像是氣膠、雲等資料。其資料時間解析度為月平均,空間解析度為經緯度 1 度,其範圍涵蓋全球。資料時間範圍為2002 年 7 月至 2007 年 12 月,共計 66 個月。本研究所採用的氣膠光學深度(Aerosol Optical Depth, AOD)資料,是 550 nm 波段的結果,陸地及海洋皆有資料。在本研究中用來判別氣膠來源,採用的範圍為南緯 5 度至北緯 45 度,東經 90 度至東經 125 度。其範圍涵蓋中國大陸北方沙塵發源區、東方工業污染區以及婆羅洲、蘇門答臘生質燃燒盛行區。

2.2.3 QuikSCAT 衛星海面風速資料

本研究中,海面風速資料是採用美國航空暨太空總署之QuikSCAT(微波波段散射計)衛星資料,發射於1999年6月19日。資料是由法國海洋開發研究機構(French Research Institute for Exploitation of the Sea, Ifremer)的網站(http://www.ifremer.fr/)所提供,其空間解析度為經緯度0.5度,時間解析度為月平均,資料內容裡有風速、風向、風應力...等,在本研究使用到風速及風向資料。資料時間範圍為2002年7月至2007年12月,共計66個月。

第三章 研究方法

本研究將研究資料,以長期月平均的方式,瞭解各資料在一年中各個月份的特性。本研究也由北而南,在南海海域上依序取4個測點的長期時間序列,以瞭解各資料隨時間之變化情形。接著並取區域平均值,以探討各資料在南海域域不同的緯度區域上的特徵。再以月變異量資料,研究氣膠與葉綠素相互變異情形,最後並作相關性分析,觀察在南海海域氣膠影響葉綠素之程度及區域。

3.1 長期月平均

本研究,為了觀察各月份在空間上的主要資料特性,及各月間的差異,因此將 QuikSCAT 風場和 MODIS Chl-a、SST、T869 及 MODIS 大氣產品之 AOD 資料中,對個別資料做長期的單月平均。其計算公式如下所示,假設每種資料中有 N 年資料,i 為月份,j 為年份,則單月長期月平均為:

$$M_i = \frac{\sum_{j=1}^{N} D_{ij}}{N} \tag{1}$$

3.2 長期時間序列

原來的 AOT 值只能反映出氣膠量之多寡,但 Lin et al.(2007)將 AOT 值加入氣膠粒徑大小的資訊,使原來 AOT 總值分成了兩部份: 粗顆粒 AOT 值與細顆粒 AOT 值。本研究將以 QuikSCAT 風速、MODIS 大氣產品 AOD 以及 MODIS Angstrom 資料與 Lin et al.(2007)結果做比較。因 Lin et al.(2007)使用 AOT 值之空間解析度為 1°x1°,為了與之配合所以在這部份使用 MODIS 大氣產品 AOD 資料。並依照 Lin et al.(2007)取 S1(東經 115 度,北緯 20 度)、S2(東經 116 度,北緯 18 度)、S3(東經 116 度,北緯 12 度)及 S4(東經 110 度,北緯 5 度)四測點作為研究點。此四點由北至南遍佈南海海域,本研究將 S1、S2 視為南海北部海域,S3 代表南海中部海域,S4 則為南海南部海域(圖 2)。

 點之資料,再與風場資料作比較。

隨後又分別依序對四點的各種衛星資料兩兩作相關性比較分 析。其相關係數計算公式如下:

$$R = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y - \bar{y})^2}}$$
(2)

x 為長期衛星資料 1; y 為長期衛星資料 $2; \bar{x}$ 為長期衛星資料 1 之平均值; \bar{y} 為長期衛星資料 2 之平均值。

在此先定義相關性相關之程度,先以正相關來說明:若相關係數介於 0.5 至 0.7,則稱此相關性為中度正相關;相關係數介於 0.3 至 0.5,則稱此相關性為低度正相關;相關係數介於 0 至 0.3 稱之無相關;相關係數大於 0.7 則稱高度正相關。其負相關之相關程度依此類推。

3.3 區域平均值

為了探討各資料在南海域域不同的緯度區域上的特徵,將研究區域(0度至北緯 25度,東經 100度至東經 125度)劃分為五區。每5緯度為一區域,而經度範圍均為東經 100度至東經 125度。這五區域由南而北,分別為 0度至北緯 5度、北緯 5度至北緯 10度、北緯 10度至北緯 15度、北緯 15度至北緯 20度至北緯 25度。而將 0度至北緯 5度定義為南海海域最南邊,北緯 20度至 25度為南海海域最北邊而北緯 10度至北緯 15度定義為南海中部。再將各區域

內所有的資料作空間平均,以作為該區域的代表值,依此計算每個區域從 2002 年 7 月到 2007 年 12 月的區域平均值。

3.4 長期月變異量

為了瞭解氣膠濃度改變時,葉綠素濃度是否也會跟著變化,而變化的情形又是如何,並考慮葉綠素增長受海水湧升之影響。因此將MODIS Aqua 衛星的氣膠光學厚度資料(T869)與葉綠素濃度資料(Chl-a)以及海表溫度資料(SST),以統計的方法統計氣膠與葉綠素之關係。首先分別計算各資料的長期月平均值,如(1)式。再計算各資料的長期月標準差。其中:標準差計算方法如下:

假設每種資料中有 N 年資料,M 為長期月平均,i 為月份, j 為年份,則單月長期月標準差為:

$$\sigma_{i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N} (D_{ij} - M_{i})^{2}}{N - 1}}$$
 (3)

以單月長期月平均加一個單月長期月標準差作為門檻值 A,單月長期月平均減一個單月長期月標準差作為門檻值 B。接著找出單月月平均資料大於門檻值 A 或小於門檻值 B 的點。若某位置當月資料值超過門檻值,表示此月份在此地點上有較大的變化情況,定義為有異常高值或有異常低值。所以在相同位置上同時有發生異常值的情況可

分為以下四種事件:一、同位置上兩者皆有異常高值,二、一者有異常高值另一者有異常低值,三、一者有異常低值另一者有異常高值以及四、兩者皆有異常低值。而海水湧升時,該處海表溫通常會降低,本研究將海表溫異常降低,且葉綠素濃度有異常增高,則將此點葉綠素濃度的增加視為受到海水湧升之影響,並將此點排除。

而後計算此月份四個事件分別的資料數,再計算單一事件事件數 佔所有事件總資料數之百分比。最後找出超過百分之四十的事件,並 計算所有時間各事件的總次數。統計出發生何種異常事件的月份總數 最多,並再對這些月份作詳細的探討。

3.5 長期月變異量相關性

為了瞭解兩資料間之相關性,使用月變異量資料(即單月月平均減單月長期月平均)。將欲探討的時間尺度內,1°x1°範圍內計算兩資料在長期時間裡相同範圍內的所有單點空間解析度四公里資料的相關性,以代表該 1°x1°範圍內的相關性。將資料依不同時間尺度分為兩部份來探討。一、先瞭解各個月份相關情形,故將所有資料分成一至十二月,共十二組計算長期相關性。二、因為南海海域水文現象受季風影響為多,故將所有資料依季風風向分成 5 月至 9 月(西南季風時期)及 10 月至 4 月(東北季風時期)兩組。

由於海水湧升通常會帶起營養鹽,而增加葉綠素之生長,而湧升的海水通常比週邊海水溫度低。所以本研究將先移除海表溫的影響後再探討各資料間的相關性。其方法為,先將 SST 與 Chl-a 依(3)式,按照各時間尺度計算其長期月變異量資料之相關性。將相同時間尺度的相同位置上,找出 SST 與 Chl-a 相關係數小於 -0.5 (相關性為中、高負相關)的位置,再判別 T869 與 Chl-a 相同位置之相關係數上是否大於 0.5 (相關性為中、高正相關)。若兩者皆符合,則表示此海域是受到水溫影響而不列入探討。

第四章 結果與討論

4.1 長期月平均資料的特性

本研究所採用的資料包含 QuikSCAT 風場、氣膠光學厚度、氣膠光學深度、葉綠素濃度及海表溫度。首先以針對各資料的長期月平均值進行探討,以瞭解各資料在一年中各個月份的特性。

4.1.1 QuikSCAT 衛星 風場長期月平均的資料特性

圖 4.1 為 1 至 12 月的長期月平均風場資料。1 月整個南海海域均為東北風,除受中南半島的遮蔽影響的泰國灣(Gulf of Thailand)海域外,整體南海海域風速平均達 7.1 m/s,且南海北部與南部風速差異不大。 2 月整體風向也是東北風,風速約為 6 m/s 以上,略小於 1 月的風速,但泰國灣附近風速則漸強。3 月,南海南部海域的風速有開始變小,在海南島周圍海域有明顯變小,且風向有出現東風。4 月,南海海域整體風速比 3 月弱,東經 115 度以西,風向多為東風,北緯 5 度左右,風速約小於 5 m/s,風速明顯減小。5 月,北緯 20 度以北有小區域吹東北風,其餘海域已開始進入西南季風時期但風速微弱,在呂宋島西側海域幾乎無風。6 月,風速開始增強,整個南海海域均西南季風,但風力仍弱,約為 3.7 m/s。7 月,風向分佈與 6 月相似,西南季風,但風力仍弱,約為 3.7 m/s。7 月,風向分佈與 6 月相似,

但風速比 6 月強,最大風速約為 7 m/s,出現在南海的中部海域,但 南海北部風速仍較弱。8 月,南海中部海域的風速依然為最強,約為 8 m/s,也為西南季風時期出現最強風速的月份。9 月,南海南部為西 南季風,北緯 17 度左右幾乎無風,北緯 20 度以北出現東北風,應該 是開始進入東北季風時期。10 月,南海北部風速漸強,約為 8 m/s, 南海中部次強,均為東北風,南海南部風速最微弱甚至無風,10 月 東北季風對南海北、中部產生較大的影響。11 月,整體風力較 10 月 強,南海南部有出現較強的風速,此月之東北風能影響至南海南部。 12 月,整片南海海域風速強勁,約為 6 m/s~10m/s,皆有受到強勁東 北季風之影響。

東北季風時期,強風速出現在12、1和2月,其影響範圍可達南 海南部;而西南季風時期,在7、8月風速最強,但影響的範圍只到 達南海中部。東北季風最大風速比西南季風最大風速還要強勁。

4.1.2 MODIS 大氣產品 AOD 長期月平均的資料特性

由於亞洲沙塵的主要發源地在中國大陸的西北方,所以在本節中的資料範圍向北延伸,以便將沙塵源區納入討論。圖 4.2 為 MODIS 大氣產品 AOD 各月長期月平均資料。1 月,AOD 高值區出現在 30°N 緯度附近的中國大陸的杭州灣、甘肅、青海地區,在渤海與靠近中國

南部之南海北部海域也可發現有氣膠高值,此高值應該是受中國大陸 所影響;2月,除了1月份的AOD高值區外,AOD高值區範圍擴大。 中國大陸南部 AOD 高值漸高,其他 AOD 高值區域也變大。中南半 島上開始出現大範圍稍偏高的 AOD 值,蘇門答臘也有發現偏高的 AOD 值;3 月,出現在中國大陸的 AOD 值更高,且涵蓋範圍更廣, 而在中國大陸南部 AOD 值在這月達最高,約為 1.2。而中南半島所 呈現的高 AOD 值範圍也比 2 月多,其 AOD 值與影響範圍皆為一年 之最,且接近陸地的南海海域上的 AOD 值也出現增高的情形;4月, 出現在中國大陸高 AOD 值涵蓋範圍比 3 月更多,但南海北部靠近中 國大陸海域的高 AOD 值範圍則以 3 月份少,中南半島上 AOD 值也 略為減少;5月,南海海域未出現明顯的 AOD 高值,但在中國大陸 東部東部的 AOD 則呈現更高值;6 月,在中南半島、蘇門答臘有高 值出現,中國大陸東部的 AOD 值為一年中最高的月份;7月,中南 半島與蘇門答臘依然有發現高的 AOD 值,約為 0.4,其濃度與 6 月 差異不大,但中國大陸東部 AOD 值則呈現減少的跡象;8 月,在馬 來西亞與婆羅洲皆有 AOD 高值出現,其值約為 0.6,且濃度比 6、7 月高,而在中國大陸東部的 AOD 值又更為減少;9月,蘇門答臘與 婆羅洲的 AOD 值呈現增高現象,且南海靠近中國大陸南部之海域也 出現 AOD 高值; 10 月,蘇門答臘與婆羅洲之 AOD 值達到一年之中

最高,約為 0.8,其附近海域的 AOD 也明顯升高;另外,在中國大陸南部區域的 AOD 值出現了高值,南海北部接近中國大陸的海域的 AOD 值也呈現增高情形;11 月,中國大陸南部有高 AOD 值出現,但影響的範圍比 10 月小,而蘇門答臘與婆羅洲仍發現有高 AOD 值,其值比 10 月低,其附近海域仍出現偏高的 AOD 值;12 月,中國大陸上的 AOD 值明顯變小,為一年之中 AOD 值最小的時期,只有接近陸地的海域仍有偏高的 AOD 值。

高的 AOD 值表示空氣中的懸浮微粒(氣膠)的濃度較高,而氣膠的來源有來自大自然現象的沙塵,也有來自人為活動所排放的污染物質。從1月到6月,在中國大陸的 AOD 值呈現逐月增高的趨勢,除6月外,在沙塵暴好發地區的 AOD 值均呈現高值。表示在1到5月沙塵是高的 AOD 值的原因之一。另外,在中國大陸上人為活動漸頻繁,隨之而產生的人為氣膠也增多,在6月達到高峰值,而後又逐漸減少,因6月主要風向為西南風,所以無法將在南海北方的的氣膠往南挾帶,未能對南海造成影響。在南海南方的高 AOD 值發生的時間從8月至11月,8月與11月的氣膠濃度差異不大。這段期間為婆羅洲與蘇門答臘之生質燃燒發生期,但因風向的關係,八月西南季風可將南海南邊的氣膠帶到南海,但11月為東北季風,無法將南海南方的氣膠傳至南海。在3、4月,中南半島上也可發現 AOD 高值區域,

此時風向為東北季風,研判東北季風頂多能將氣膠帶到泰國灣,無法影響南海。

4.1.3 MODIS Aqua 衛星 AOT869 長期月平均的資料特性

圖 4.3 為 MODIS Aqua 衛星 AOT869 各月長期月平均資料:1 月,巽他陸棚、婆羅洲西北海域與東京灣內出現較高 AOT869 值,其 中東京灣內的 AOT869 最大值大於 0.25;2 月,高值區區域分佈與 1 月相似,但AOT869值略為減少;3月,高值區明顯減少,但東京灣 內與呂宋島北部海域仍呈現高值區域;4月,高值區只剩出現在南海 接近中國大陸南部沿岸區域以及東京灣內;5月,南海整片海域沒有 出現高值區;6月,泰國灣內與越南東南方海域出現高值;7月,泰 國灣與馬來西亞沿岸海域以及越南東方海域為高值區域其值約為 0.25,比6月的AOT869值高;8月,高值區域分佈與7月相似,另 在波羅洲西北方海域呈現 AOT869 高值,而且海南島周圍,為同一海 域 AOT869 最低值的海域。9 月, 南海南方高值區域減少, 但南海北 部海域開始發現較多量的氣膠跡象;10 月,南海北部海域 AOT869 值開始變高,且影響範圍變大;11 月,南海北部與南海中部部海域 具 AOT869 高值,越南東南方海域也出現高值;12 月,從南海北部 至南海南部皆可出現 AOT869 高值,其位置如下:南海北、中部,越 南東、東南方海域,婆羅洲西北海域,只是南海北部的值略高於南部的 AOT869 值。

從以上結果顯示,東北季風時期(10月至4月),AOT869高值多分佈於南海北部,隨著風力變強,南海中部與南部也陸續有高值出現;西南季風時期(5月至9月),南海南部有高值出現,南海中部也會有高值出現,但不明顯。推測南海氣膠濃度高低和氣膠分佈的區域皆與季風的風向與強度有關。再與風場資料和 MODIS 大氣產品氣膠光學深度資料相對應,10月至4月(東北季風時期),隨著東北季風增強,會將南海北方的氣膠(即來自北方中國大陸上產生的氣膠)帶至南海北部、中部,風力最強時可達南海南部;5月至9月(西南季風時期),西南季風將將南海北方的氣膠(婆羅洲與蘇門答臘所產生的氣膠)帶至南海南部,風力最強時可到南海中部。

4.1.4 MODIS Aqua 衛星葉綠素濃度長期月平均的資料特性

圖4.4為MODIS Aqua衛星葉綠素濃度各月長期月平均資料:1 月,南海北部與東京灣內、泰國灣內、巽他陸棚南方海域皆有葉綠素 濃度高值的出現,越南西南海域有一向西南延伸的葉綠素高值區,其 餘葉綠素高值區域皆分佈於陸地沿海,葉綠素濃度最高值(3 µg/l 以上) 出現在東京灣;2月,葉綠素濃度高值出現的區域與1月相同但分佈 範圍較 1 月小; 3 月,葉綠素出現的區域也與 1、2 月相同,但範圍與濃度又更為減小; 4 月、5 月,前 3 個月份有高值的區域已消失; 6 月,泰國灣內葉綠素濃度開始變多; 7 月,整片泰國灣、巽他陸棚北、南方海域的高葉綠素濃度與範圍開始變多; 8 月,高值區域與 7 月相同,但越南東部與南部海岸高值範圍增廣; 9 月,高值區域與 7、 8 月相同,但範圍與濃度開始減少; 10 月,東京灣內葉綠素濃度開始變高,且呂宋島北方海域葉綠素範圍也有開始變大的跡象; 11 月,高值區域與 10 月相似,且越南南方海域及呂宋島北方海域葉綠素分佈範圍變廣; 12 月,南海北部海域整片皆有葉綠素出現,且東京灣內、呂宋島北方海域與越南南方海域有出現高值。

東北季風時期(10月至4月),葉綠素高值區多分佈於南海北部、東京灣、泰國灣以及巽他陸棚周圍海域;西南季風時期(5月至9月), 葉綠素高值區域多分佈於巽他陸棚周圍海域。而整個南海海域葉綠素 濃度以東北季風時期高於西南季風時期。

4.1.5 MODIS Aqua 衛星海表面溫度長期月平均的資料特性

圖 4.5 為海表面溫度各月長期月平均資料。1 月份南海海域由北至南,海表溫約從 22°C 至 28°C。南海北部海表溫有明顯較低,越南東部至南部沿岸呈現較低海表溫(SST < 25°C)。2 月份,水溫高低分

佈情況與1月差不多,但越南南部海域的低海表溫區範圍減小。3月, 整體海表溫有明顯提高,其越南南部海域的低海表溫區消失,南海北 方低海表溫範圍縮小且有往北退的趨勢。4月,南海南部海表溫開始 出現超過30℃,南海中部海表溫也接近30℃,而南海北部可發現約 24°C 的低海表溫,此月份海表溫南北差異甚大。5月,南海大部分海 表溫超過 30° C,剩南海北部部份海域海表溫約為 28° C。6 月,南海 大部分區域海表溫皆在 32℃左右,但越南東南約在北緯 11 度、東經 109 度處海域有相較於明顯的低溫,約 29°C。7 月南海整體海表溫分 佈大致也與六月一樣,但整體海表溫有明顯比6月低,越南東方海域 29°C的海表溫區有往東北延伸且擴大的趨勢。8月,越南東方海域的 低海表溫區,已經擴大至南海中部,呈現南海中央海表溫最低,越往 陸地海表溫越高,岸邊海表溫與南海中央海表溫差距大。9月,南海 中央的低海表溫成增溫狀態,與週邊海域海表溫差異縮小,且海南島 西側海域有明顯降溫。10月,南海北部海域明顯開始出現溫度較低 的海水,低海表温區也從越南東部沿岸向南延伸。11 月,低水溫區 延伸至巽他陸棚,且海表溫降低。12月,南海整片海域由北至南, 海表溫約從 24°C 至 28°C, 其海表溫分佈與 11 月差不多, 但溫度略 低。

東北季風時期(10月至4月),整個南海海表溫約從22°C~30°C,

在風力最強時(12 月、1 月), 南海北部海表溫也最低(約 22°C), 隨著東北季風, 低海表溫(約 24°C)海水被沿著越南東部沿岸往西南方輸送, 最遠可至巽他陸棚北部海域。西南季風時期(5 月至 9 月), 南海海域整體海表溫約從 28°C~33°C。此期間, 在越南東部海域有一較周圍海表溫低之區域(約 28°C), 其區域隨著風力擴大, 範圍在 8 月達到最大。

4.2 各衛星資料之長期時間序列

此研究參照 Lin et al.(2007)文中 S1 至 S4 四研究點之經緯度,為了與含有氣膠粒徑訊息之 AOT 值做比較,依此四點經緯度為中心,取 0.5 度乘 0.5 度空間平均資料,再與 Lin et al.(2007)此部份結果作比較與探討。接著觀察各衛星資料之長期時間序列變化,並探討這在時間序列期間各資料間的相關性。

4.2.1 各衛星資料之長期時間序列變化

圖 4.6 取自於 Lin et al.(2007) Fig.10,圖中所研究之時間為 2002年 1月至 2004年 12月資料,與本研究 2002年 7月至 2007年 12月 有小段時間部份重複,故取重複之時間來作比較,其重複時間為 2002

年7月至2004年12月資料來作比較。此圖中,深藍色線為風速資料, 淺藍色線為海鹽性氣膠資料,紅色線表示有粗顆粒沙塵氣膠,綠色線 是屬於細顆粒氣膠。

本研究圖 4.7 至圖 4.9, S1 之 AOD 值於 4 月與 10 月左右皆比其 他研究點高,其值約為 0.6,可能是最靠近中國大陸,所受來自於中 國大陸氣膠影響較大,在 2004 年 3 月有極大值,約為 1。而 AOD 值 在七月左右皆為低值約 0.1~0.2,而風速也剛好較弱(約 4m/s),受到南 海南方生質燃燒影響應該為最小。而 A531 (Angstrom 氣膠粒徑大小) 顯示在 3 月與 10 月左右皆有高值(0.7~1.1),表示此時氣膠顆粒較小。 S2 之現象與 S1 相似,在 4 月與 10 月左右 AOD 也仍有高值但比 S1 小,約為 0.4~0.5,除了在 2004 年 3 月有超過 0.6 的高值。其風速與 氣膠粒徑大小現象也相似。S3 在研究時間內之 AOD 值皆比其他研究 點小,約為0.2左右。相較於其他月份,大約在8月有約0.4的高值。 1 月左右的風速(約 10m/s)皆比其他月份大,次大的風速都出現在 8 月左右(7m/s~10m/s),兩個時期風速差距不大,相差約 1m/s~2m/s。 此處受東北季風與西南季風影響程度差不多相同。氣膠顆粒在時間上 分佈來看,其值約在 0.2 至 0.7。在 2005 年 8 月有高值(值約 1)。S4 風速也是以1月左右為最強(約8m/s),次強在8月左右(約6m/s),此 處受東北季風影響也是頗大。AOD 值在每年 8 月左右皆較其他月份

高,大約為 0.4,在 2006 年 9 月的高值略大於 1。而氣膠顆粒在每年 8、9 月左右其值約 0.8,為細顆粒。在 8、9 兩月明顯受南邊生質燃 燒影響。

再將本研究之結果與圖 4.6 作比較,就風速部份來看,S1 與 S2 在十二月前後的風速皆強勁,在六、七月前後風速緩弱;而 S3 和 S4 風速較強的時候大約都為七、八月以及十二、一月左右,此現象皆與本研究圖 4.7 相似。可看出 S1 在 2004 年 3 月時,綠色折線有一高峰值,表示出現大量細顆粒氣膠,並且同時也出現了紅點,即有發現粗顆粒沙塵氣膠。在 S2 也有發現同樣現象,氣膠量皆比 S1 少,而 S3、S4 卻發現有氣膠高值。本研究之 AOD 各點長期序列圖(圖 4.8),相同時間可發現有一明顯高值,且再配 A531 各點長期序列圖(圖 4.9),也發現此時有一相較高值,為細顆粒氣膠。

三月份風向東北季風,其氣膠會來自於南海北方即中國大陸。能同時發現粗細兩種顆粒之氣膠,是由於三、四月正值東北亞沙塵好發期,粗顆粒沙塵再配合東北季風往東或東南方傳送至東亞。沙塵顆粒到達東亞時,會與當地石化燃燒所產生的人為細顆粒氣膠所結合,最後經由強勁的東北季風往海洋傳送,部份會往南傳送至南海。圖 4.10 為 2004 年 3 月 9 日火點位置圖,由此圖可發現中國大陸有大範圍的燃燒現象,配合此時的東北季風,會將燃燒後所產生的氣膠帶至南海。

再看到圖 4.8 另一極高值在 S4,其時間點為 2006 年 9 月。由 A531 長期序列圖得知此時氣膠顆粒應屬細顆粒(Angstrom 值約為 0.7)。再配合此月風向圖 4.11,可得知此處當時風向為西南風,其細顆粒氣膠會來自於南方或西南方。由 MODIS Fire Maps 圖 4.12 也能明顯觀察出 2006 年 9 月 27 日在蘇門答臘有大範圍生質燃燒事件。因生質燃燒所產生的煙塵顆粒也屬細顆粒,配合當時西南季風,會將細顆粒氣膠由南往東北方傳輸。所以能在 S4 發現較大量的細顆粒氣膠。

圖 4.13 為取 S1 至 S4 四點 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 QuikSCAT 風速月平均時間序列圖,由圖中可看出規律的高低變化,約在每年 10 月至 4 月變化幅度較大,而在 5 月至 9 月風速變化幅度較小。最大風速出現於 12 月及 1 月前後,正值東北季風盛期;最小風速出現於 5 月及 9 月左右,這兩個月為季風風向轉變時期。東北季風時期,南海由北(S1)到南(S4)風速逐漸遞減;但西南季風時期,最大風速皆出現在 S3,即南海中部。此外,東北季風時期風速普遍皆大於西南季風時期。

圖 4.14 為取 S1 至 S4 四點 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS Aqua SST 月平均時間序列圖。圖中顯示出海表溫規律的季節性起伏變化:冬季海表溫低,夏季海表溫高。其冬季時期海表溫由北至南(S1 至 S4)遞增,南北差異較大,約達 5℃;但夏季時期海表溫南北變化

差異較小,相差約在2°C。西南季風時期,南海海域風速普遍較弱, 而海表溫均高且南北溫差小;東北季風時期,南海海域風速普遍較強,風速由北往南遞減,而海表溫南北溫差較大。

圖 4.15 為取 S1 至 S4 四點 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS Aqua Chl-a 月平均時間序列折線圖。由圖可得知在東北季風時期,南海葉綠素甲濃度在北部有最高值且由北往南明顯減少,S1、S2 兩點皆在 1 月前後有較高的葉綠素甲濃度,明顯比其他月份高,但南海中部 S3 及南海南部 S4 葉綠素甲 1 月濃度較其他月份高,但不明顯;在西南季風時期,南海南部與北部的葉綠素甲濃度差異不大。其時間序列高低起伏變化與風速及海表溫也似乎有相對應之關係。東北季風時期,風速大,海表溫屬季節性低溫,葉綠素甲濃度高;西南季風時期,風速小,海表溫屬季節性低溫,葉綠素甲濃度低。

圖 4.16 為取 S1 至 S4 四點 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS Aqua T869 月平均時間序列圖。S1 在 12 月前後有高值,以 2004 年 10 月、12 月及 2007 年 10 月最為明顯。S2 也是在 12 月前後有高值,以 2006 年 12 月及 2007 年 11 月最為明顯。S3 也在 2003 年 2 月、12 月和 2007 年 11、12 月有高值,其 2003 年 8 月及 2007 年 8 月也有高值。S4 整體變化起伏最大,最高值出現在 2004 年 12 月、2006 年 2 月和 2007 年 12 月,而 2002 年 7 月、2004 年 8 月、2006 年 8 月和

2007年9月也有高值出現。由上述此可知,南海北部(S1、S2)氣膠光學厚度出現高值時間,皆在冬季,即東北季風時期,西南季風時期皆無高值發生;南海中部(S3),在冬季可找到有較高值,且夏季時期也可發現高值,但夏季高值事件較少;南海南部(S4),冬夏季皆有發現高值,但夏季高值事件次數較南海中部多。推測高值出現的次數及時間與風速強弱有關。東北季風時期風力較強勁,季風挾帶的大量氣膠能遍佈整個南海海域,南海由南至北皆發現有高值。但西南季風風速比東北季風弱,南海只有北部沒發現高值,西南季風挾帶的大量氣膠只能在南海中部、南部發現。

4.2.2 長期時間序列期間各衛星資料間的相關性

本研究定義相關係數介於 0.5 至 0.7 之間為有中度正相關,超過 0.7 為有高度正相關,而 0.3 至 0.5 為低度正相關,介於 0 至 0.3 為無相關性,其負相關定義以此類推,在往後研究與討論之相關性程度,皆會以此標準來判定。表 4.1 為 S1 至 S4 四點各資料間 2002 年 7 月至 2007 年 12 月月平均時間序列相關性分析。風速與海表溫在四個測點中,相關性均小於-0.61,呈現中度負相關;風速與葉綠素在 S1 點(R=0.53)與 S2 點(R=0.61)皆有良好相關性,在 S3 與 S4 為低相關;至於風速與氣膠光學厚度(T869)之相關性在 S4 點(R=0.55)有中度正相

關,其餘皆為低度正相關。海表溫與葉綠素之相關在 S1 點相關性最高達到-0.78,其 S2 點也有-0.75,在這兩處為高度負相關,而在 S3 和 S4 則呈現中度負相關;海表溫與氣膠光學厚度在 S4 點有中度負相關(R=-0.64),剩餘三點皆呈現低相關性。葉綠素與氣膠光學厚度之相關在 S2 及 S3 為低度正相關,在 S1 與 S4 則呈無相關。

綜合以上論述,風速與氣膠光學厚度在 S4 點的相關性為最好,但只為中度正相關(R=0.55)。而海表溫在 S1 點與 S2 點即南海北部,對於葉綠素濃度有高度負相關(R < -0.7),所以葉綠素濃度在南海北部主要受海表溫變化之影響,但 S3 與 S4 點相關性也皆為中度負相關,應該也會受海表溫影響,所以南海葉綠素濃度的變化主要受海表溫之影響。氣膠光學厚度變化與葉綠素濃度變化在 S1 點至 S4 點皆無發現良好的相關性,可能是葉綠素濃度的變化主要受海表溫影響的關係。所以之後在研究氣膠與葉綠素之關係時,應該將海表溫變化的影響納入考慮。

4.3 各月五度區域平均

為了探討各資料在南海域域不同的緯度區域上的特徵,將研究區域從東經 100 度至東經 125 度,依照 0 度至北緯 25 度,每 5 緯度為一區域分為五區,其區域如下:0 度至北緯 5 度、北緯 5 度至北緯 10度、北緯 10 度至北緯 15 度、北緯 20 度以及北緯 20 度工25 度。在此五區內,分別計算其平均值,以代表該區域的平均特徵。

表 4.2 為 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 QuikSCAT 衛星風場各月 五度區域平均風場資料顯示,5 個區域在每年 5 月的區域平均風速在 1.16m/s 到 3.77m/s 之間,從南到北呈漸增的趨勢,且為全年平均風速 最低的月份。除 2004 年 9 月為區域平均風速次低的月份外,在 0 度 至北緯 5 度、北緯 5 度至北緯 10 度、北緯 10 度至北緯 15 度此三區在 10 月時平均風速在 1.55m/s~3.8m/s,為全年次小月份。而北緯 15 度至北緯 20 度、北緯 20 度至北緯 25 度,9 月之風速約在 1.69m/s ~3.76m/s 間,為次小平均風速月份。除了 0 度至北緯 5 度區域的最大平均風速主要發生在 1 月外,其他 4 個區域除了 2007 年的最大風速出現在 1 月外,都發生在 12 月。

從每年的風速資料顯示,在4到5月為東北季風轉換為西南季風時期,季風轉換由南而北改變,所以此時期北部區域最小風速時間比

南部區域晚;而 9 到 10 月為西南季風轉換為東北季風的時期,季風的轉換是由北而南,所以北部出現最小風速的時間比南部區域早。在季風轉換時期,以東北季風轉換為西南季風的南北風速差最小,約在 0.34~1.61m/s 之間。在東北與西南季風時期的南北最大風速差主要出現在 12 月,約在 4.55~8.22m/s。綜合以上所述,12 個月之中,南海海域最大風速均出現於 12 月、1 月;最小風速主要出現於 5 月或 9 月。

表 4.3 為 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS 大氣產品 AOD 各 月五度區域平均值,在北緯 15 度至北緯 20 度、與北緯 20 度至北緯 25 度這 2 個區域的氣膠光學深度值的最大值主要出現在 3 月份,4 月的氣膠光學深度值則為次高月份,其值主要介於 0.25~0.75 之間。而以 2004 年 3 月在這 2 個區域的氣膠光學深度值高達 0.5 和 0.75。在南海南部的 0 度至北緯 5 度、與北緯 5 度至北緯 10 度,這 2 個區域的氣膠光學深度的最高值主要發生在 8 月或 10 月,其值主要介於 0.22 ~ 0.40 之間。但 2006 年 10 月在 0 度至北緯 5 度,這區域的光學深度值高達 1.0。而氣膠光學深度的最低值大都出現在 5 月和 6 月。

表 4.4 為 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS Aqua T869 各月 五度區域平均,南海北部(北緯 20 度至 25 度、與北緯 15 度至 20 度)2 個區域,在東北季風期間的氣膠光學厚度(T869)值分別介於 0.13~0.19 與 0.12~0.17 間,而西南季風期 T869 值則分別介於 0.10~0.15 與 0.09~0.14 間,顯示在南海北部的 T869 值在東北季風時期高於西南季風時期。在南海南部(0 度至北緯 5 度、與北緯 5 度至 10 度)2 個區域,在東北季風期間的 T869 值分別介於 0.10~0.15 與 0.11~0.19 間,而在西南季風期間的 T869 值則分別介於 0.09~0.15 與 0.10~0.16 間。顯示愈往南方 T869 值受到季風差異的影響愈小,表示南海南部區域的氣膠光學厚度會受到西南季風的影響,也有機會被東北季風影響。

表 4.5,在 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS Aqua Chl-a 各 月五度區域平均,顯示 2002 年在南海南部 0 度至北緯 15 度、與北部 北緯 20 度至北緯 25 度 2 區域,在任何時間之葉綠素濃度都較其他區域高。2003 年,發現南海最南(0 度至北緯 15 度)與最北(北緯 20 度至北緯 25 度)兩個區域,整年葉綠素濃度皆高於其它區域。南方的 3 個區域的葉綠素濃度最高值出現在 12 月,北方 2 個區域的最高值出現在 1 月。而各區域在一年中的葉綠素濃度最低值出現在 5 月的比例較高。但 0 度至北緯 15 度,最低值在 9 月。

2004 年,南海最南及最北兩區域之葉綠素濃度依然比其他區域高。而這五個區域在12月與1月的葉綠素濃度較高,其中以0度至 北緯15度在1月的葉綠素濃度值最大(0.78 μg/l)。而葉綠素低值則都 出現在5月前後居多,除了0度至北緯15度,最低值在9月(表4.5)。 2005 年,各區域在此年裡,葉綠素濃度最高值大部分出現於 12 月。但北緯 15 度至北緯 20 度,最高值在 8、9 月。出現最高值的區域與時間為北緯 20 度至北緯 25 度之 12 月,其值為 0.74 μg/l。而各區域葉綠素濃度低值也同樣出現於 4、5 月。但 0 度至北緯 15 度,最低值依然出現在 9 月(表 4.5)。

2006年,在此年中,葉綠素濃度最大值出現之時間與區域在 12月北緯 20度至 25度,其值為 0.97 μg/l。而此區域在七月有另一峰值,其值為 0.74 μg/l,今年較明顯。其餘地區葉綠素濃度高值在 12 個月裡分別也是以在 1 月份左右居多。各區域葉綠素濃度低值也同樣出現於 4、5 月。但 0 度至北緯 15度,最低值依然出現在 9 月;北緯 20度至 25度最低值出現於 3 月(表 4.5)。

2007年,在 0 度至北緯 5 度與北緯 5 度至北緯 10 度葉綠素最大值出現在 1 月,其值分別為 0.84 μg/l 1 與 0.53 μg/l,但其 12 月的葉綠素濃度也皆較高(0.72 μg/l)與 0.51 μg/l)。其他三區,北緯 10 度至北緯 15 度、北緯 15 度至北緯 20 度以及北緯 20 度至北緯 25 度,葉綠素濃度高值均在 11 月,其值分別為 0.52 μg/l、0.40 μg/l 與 1.08 μg/l。而葉綠素低值在 0 度至北緯 5 度的 4、7 月出現,在北緯 5 度至北緯 10 度的 8 月,北緯 10 度至北緯 15 度在 3 月,北緯 15 度至北緯 20 度在 6 月,北緯 20 度至北緯 25 度在 3 月。其北緯 20 度至北緯 25 度

在 7 月也有發現另一葉綠素濃度高峰值 $(0.72 \mu g/l)$ (表 4.5)。

表 4.6 是 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS Aqua SST 各月五度區域平均,可發現各區域最低海表溫主要出現在 1 月,北部最低海表溫介於 21.6 °C ~24.8 °C。而南部區域最低海表溫則介於 27°C ~28.3 °C。在北部區域最高海表溫介於 29.2 °C ~30.3 °C,主要發生在 7 月或 8 月。而南海中南部區域的最高海表溫介於 30.1 °C~31.1 °C,主要發生在 5 月或 6 月。就南海南北海表溫度差而言,在東北季風期間南北海表溫差介於 2.4 °C~6.5 °C 間;但在西南季風期間,南北的海表溫差則介於 0.2 °C~3.3 °C。顯示在東北季風期間,南海南北的海表溫度差較小,而東北季風期間的差異則較大。

為了表示不同資料在南海海域的時間與空間的特性,本研究 2002 年到 2007 年間,所有資料在各區域的平均值繪製成時間空間分布 圖,其中Y軸表示由下往上為緯度由 0 度至北緯 25 度,共五個區域; 而 X 軸為時間軸,最左代表之時間點為 2002 年 7 月,向右遞增,最 後一筆資料時間為 2007 年 12 月。

圖 4.17 為 QuikSCAT 風場的時間空間分布圖,明顯可看出南海 海域由北往南,風速越弱,以每年1月左右南北的差異最為明顯。在 北緯 15 度以北區域,可發現風速有明顯的季節性變化,風速最強時 期在1月左右,大約到了7、8月,風速是一年中最低。另外,西南 季風最大風速不是出現在最南部,而是在中部(北緯 10 度至北緯 15 度)。在 2007年11月,北緯 20 度至北緯 25 度有出現極大的風速(大於 11m/s);而在 2004年9月,北緯 5 度以北之風速皆小於 2m/s。

圖 4.18 為 AOD 的時間空間分布圖,顯示南海最北部(北緯 20 度至北緯 25 度)的氣膠光學深度值在任何時期皆高於其它地區,每年高 AOD 值主要在 3 月或 4 月,在 2004 年 3 月 AOD 值達 0.75。而在南海最南部(0 度至北緯 5 度),依稀可看 AOD 值的規律變化。除了 2003 年 7 月外,高 AOD 值的時間在 8 至 10 月。在 2007 年 10 月可發現一極高值,其值為 1.00。

圖 4.19 為 AOT869 的時間空間分布圖,由圖可看出愈往北邊, T869 值也愈高。在南海最北部(北緯 20 度至北緯 25 度),T869 值似 乎在每年1月左右都有變高的現象,並可維持約2個月。而在南海最 南部(0 度至北緯 5 度),在7月到10月期間,T869值大都屬偏高狀態。

圖 4.20 為 葉綠素濃度的時間空間分布圖,由圖可看出葉綠素濃度在南海 0 度至北緯 5 度與北緯 20 度至北緯 25 度,長時間下皆有較高的葉綠素濃度,而在北緯 15 度至 20 度長時間葉綠素濃度皆低。在北緯 20 度至北緯 25 度,葉綠素濃度有季節性之變化。每年中最大值的月份都出現在 1 月左右,然而在 7 月左右也可發現有葉綠素高值,

但沒比1月時高。而在0度至北緯5度此區也是一樣,每年在1月前 後皆可發現葉綠素高值。

圖 4.21 為 海表溫的時間空間分布圖。除了在 2007 年 7 月為缺少衛星資料外,在南海最北部(北緯 20 度至北緯 25 度),可以看得到非常明顯的海表溫季節性變化。每年大約從 5、6 月開始增溫,一直到 9 月、10 月才開始降溫,一直降到約 1 月時,又開始慢慢回溫,越往南邊現象越不明顯。在南海最南邊(0 度至北緯 5 度),每年大約在 5 月時有最高海表溫(約 31°C)。

4.4 T869 與 Chl-a 長期各月月變異量相互變化

如第三章所定義,本研究將資料值超過該資料的長期平均值±標準差範圍時,視該點資料為異常。由於海水湧升會將底層營養鹽往表層傳送,是促使葉綠素濃度增加的重要因素。而海水湧升時,該處海表溫會降低,本研究將海表溫異常降低,且葉綠素濃度有異常增高,則將此點葉綠素濃度增加視為受到海水湧升之影響。故本研究先將海表溫降低所引起葉綠素濃度增加的因素扣除後,再進行探討氣膠濃度改變時,所引起的葉綠素的變化關係。

將海表溫影響因素扣除後,分別計算當月 T869 與葉綠素濃度的 異常值出現的資料點數,而每一資料點的地面解析度為 4x4 km²。為 了瞭解各異常事件發生的比率,本研究將單一事件點數除上所有異常事件的加總點數,以計算該事件發生的百分比。再挑出單一事件發生 比率超過百分之四十之月份作為討論。

4.4.1 月變異量事件

表 4.7 為已扣除海表溫影響之 T869 與 Chl-a 逐月異常事件表,灰色區塊表示該事件當月異常值發生比率超過所有異常事件的總點數的百分之四十。顯示當 T869 異常增高,且 Chl-a 也異常增加的事件數,在共 65 個月分中佔了 14 個月份; T869 異常增高且 Chl-a 異常低的事件,在共 65 個月分中佔了 0 個月份; T869 異常低且 Chl-a 異常高的事件,在共 65 個月分中佔了 6 個月份; T869 異常低且 Chl-a 異常低,在 65 個月分中佔了 3 個月份。由上述可知,T869 有異常高值時 Chl-a 也有異常高值的事件佔多數;其中 1 月有 3 次,2 月有 2次,3 月有 1次,6 月有 2次,9 月有 2次,10 月有 1次,12 月有 3次。月份以 12、1 月各有 3 次為最多。

在東北季風時期,T869有異常高值時 Chl-a 也有異常高值的事件 出現的月份有 10 月、12 月、1 月、2 月、3 月,而在西南季風時期有 6 月、9 月。以下將挑出兩者資料皆有異常高值事件超過 2 次的月份, 依不同的季風期進行個案探討。

4.4.2 個案探討

4.4.2.1 東北季風時期之月份(12月、1月、2月)

圖 4.22 為 2002 年至 2007 年各年 12 月月平均葉綠素濃度分布 圖,圖中白色表示缺資料。顯示在這個月份,在呂宋島北、西北海域 的葉綠素高值區域廣闊,且濃度高;在東京灣內的葉綠素濃度以2006 年最高;在越南南方及西南方沿岸有一東北-西南向的葉綠素高值區 域。圖 4.23 為 2002 年至 2007 年 12 月的月平均海表溫,圖中顯示出 約 26° C 的冷海表溫入侵北緯 5 度,甚至有出現 24° C 左右的低海表 温,以03和07年最明顯;02年較反常,此處海表溫高於其他年份。 而北緯 20 度左右海表溫約為 24° C。約以 26° C 為標準,冷暖海表溫 大致以呂宋島東北角開始,由東北至西南方向分界,西北方海表溫為 26 度以下,東南方海表溫為為 26 度以上。圖 4.24 為 2002 年至 2007 年 12 月的月平均風場,可看出此月份風速強勁,以 2003、2004 與 2007年最明顯。在2005年,婆羅洲西北海域上,風速微弱,與其他 年份較不同。圖 4.25 為 2002 年至 2007 年 12 月份月平均 AOD,圖 中顯示,南海海域氣膠值以 2002 年最低。中國大陸東部至南部,皆 可看見氣膠高值。而此時南海為東北季風期,所以南海海域上的氣膠 來源應為中國大陸,且氣膠遍佈南海海域,因與此月風速強勁有關。 圖 4.26 為 2002 年至 2007 年 12 月份月平均 T869,圖中顯示,2002 年在北緯 5 度至 10 度、東經 109 度至 113 度;2003 年在北緯 13 度、東經 117 度有明顯高值的氣膠濃度;2004 年在北緯 20 度以北至陸地沿岸、東經 115 度至 120 度也有明顯的氣膠高值,以及北緯 10 度至 15 度、東經 110 度至 113 度有氣膠高值;2005 年在呂宋島西北海域有發現氣膠高值,東經 110 度沿線皆有發現氣膠高值;2006 年,由北緯 20 度以南至北緯 5 度皆可清楚看見有氣膠濃度高值,其中以北緯 18 度、東經 116 度和北緯 20 度、東經 114 度兩處範圍最大且濃度頗高;2007 年,在北緯 5 度至北緯 18 度之間的區域,分佈著高氣膠濃度區域,以北緯 113 度、東經 110 度濃度最高。12 月氣膠高值的分佈由南海北部至南海南部皆可發現,以 2002 年南海海域氣膠量最少,在 2003 年、2004 年和 2007 年南海中部有發現氣膠高值(約 0.4),恰好此三年風力較強勁,可能挾帶了較多的氣膠至南海。

圖 4.27 為 2003 至 2007 年 1 月份葉綠素甲濃度月平均圖,均顯示出在南海北部海域(北緯 17 度至 21 度、東經 110 度至 120 度)有出現葉綠素濃度高值,其最大值在呂宋島西北方海域,而以 2004 年最明顯(北緯 20 度,東經 120 度)。另一處葉綠素濃度高值區出現在越南西南端海域(北緯 8 度,東經 104 度),而其餘葉綠素濃度高值區域皆出現於陸地沿海。相同時間之海表溫月平均圖(圖 4.28)在南海北部海域也有明顯相對應的低海表溫(SST<25°C) 區域,其區域範圍

與形狀皆與葉綠素甲濃度高值區域相似,此低海表溫區域從南海北部 海域沿越南東部海岸往西南延伸。低海表溫區域分佈的範圍似乎與當 時季風風向有一致。由各年 OuikSCAT 風場資料(圖 4.29)得知, 2003 至 2007 年 1 月份平均風場,整個南海海域吹東北風,且風速強勁且 南北風速差異甚小。強勁東北風將大陸北方海域較冷的表層海水沿著 大陸沿岸往西南方帶,最遠可帶到越南南端海域。從 MODIS 大氣產 品所提供的 2003 年至 2007 年 1 月份 AOD 氣膠資料(圖 4.30)來看, 顯示 1 月南海大氣氣膠來源以中國大陸為主,在南海北部有氣膠高值 區域且高值區域似乎隨東北風往西南分佈,以 2003 年最明顯,且在 2007 年南海南部北緯 5 度,東經 108 度左右有發現氣膠濃度高值區 域。由 MODIS T869 氣膠光學厚度圖(圖 4.31)再細部的瞭解氣膠濃度 分佈,氣膠濃度高值區域除了大陸沿海皆較高之外,其餘高值區域皆 零散分佈於南海,其氣膠濃度高值區域出現較多的年份為 2003、2004 年多分佈於南海北部海域及 2007 年分佈於南海南部。

探討葉綠素濃度高值區域的成因,2003 至 2007 年南海北部(北緯 17 度至 21 度、東經 110 度至 120 度)與越南西南方海域(北緯 8度,東經 104 度)的葉綠素高值區域,此兩處高值應與海表溫有關。 其中發現葉綠素甲濃度 2004 年在北緯 20 度,東經 120 度的高值區域,可從氣膠濃度資料 2004 年在相同位置上發現也有高值,其區域 大小與形狀相似,但從海表溫資料看不出來有明顯的低溫區,此處葉 綠素有可能受氣膠影響。

圖 4.32 為 2003 年至 2007 年 2 月葉綠素濃度月平均圖,顯示葉 綠高值區域在北緯 17 度至 21 度、東經 115 度至 120 度,但範圍比 1 月份小。在越南西南端海域(北緯8度,東經104度)也同樣有高值, 其餘高值區域分佈於陸地沿海。在2004年北緯19度、東經115度及 北緯 21 度、東經 114 度兩處有發現葉綠素濃度高值,其餘年份無特 別高值區域·而 2003 至 2007 年 2 月的海表溫低溫區域分佈(如圖 4.33) 與 1 月大致相同,分佈在北緯 15 度線以北海域,但在越南西南端海 域的冷水區域有變小的趨勢,以 2003、2005 年最為明顯。圖 4.34 為 2003 至 2007 年二月風場月平均圖,此月的風速風向皆與1月相似。 圖 4.35 為 2003 年至 2007 年 2 月份 AOD 月平均圖, 顯示南海周圍氣 膠之來源仍以中國大陸為主。於 2005 及 2007 年在中南半島上有 AOD 高值。於 2005 年在蘇門答臘也發現有極高值的 AOD 值。因為此季 節風向為東北風,而中南半島及蘇門答臘分別位處南海海域西北方及 西南方,所以兩處氣膠高值應不會影響到南海海域。圖 4.36 為 2003 年至 2007 年 2 月 T869 月平均分布圖,顯示南海海域氣膠高值分佈情 況,在2003年2月於巽他陸棚(約為北緯5度至10度、東經105度 至 110 度), 2004 年分佈於北緯 15 度線以北, 2005 年分佈婆羅洲西

北海域,2006 年在巽他陸棚與婆羅洲西北海域有明顯的 T869 高值。 2007 年在巽他陸棚也有 T869 高值情形。

4.4.2.2 西南季風時期之月份(6月、9月)

圖 4.37 為 2003 年至 2007 年 6 月葉綠素月平均圖,顯示葉綠素 高值的區域主要還是出現在岸邊,大約在北緯 12 度、東經 109 度皆 有一葉綠素高值區域由沿岸往東、東北方延伸。圖 4.38 為 2003 年至 2007 年 6 月海表溫月平均分布圖,此月南海海域海表溫大部分皆超 過 30°C,除了在北緯 12 度、東經 109 度由沿岸往東、東北方延伸之 區域,其海表溫比周圍低,約在 28° C。這較低海表溫,以2003年範 圍最廣,而以 2004 年現象最明顯。在 2003 至 2007 年婆羅洲西部海 域皆有出現 32°C 左右高海表溫區域,而以 2005、2007 年最明顯。在 2007年呂宋島西方海域有出現約32℃高海表溫區域。圖4.39為2003 年至 2007 年 6 月風場月平均圖,顯示南海海域以南風、西南風為主。 除 2004 年外,這月南海南方吹西南風,在北緯 10 度時風速增強,並 且繼續往北至北緯 15 度時,由西南風轉成南風。而 2007 年整體風速 較其他年弱。2004年西南風由南往北逐漸增強,但在北緯 15 度以北, 風速就轉弱,最北方還可看見風速較小的東北風。圖 4.40 為 2003 年 至 2007 年 6 月的 AOD 月平均圖,圖中可見,中國大陸東部及東北 部為 AOD 極高值區域,但因南海風向為南風或西南風,所以在此月

中國大陸東部及東北部產生之氣膠,應該不會隨風傳送到南海。在 2003 及 2004 年在中南半島及蘇門答臘發現有 AOD 高值區,此兩處所產生的氣膠會順著西南風傳輸至南海。圖 4.41 為 2003 年至 2007 年 6 月的 T869 月平均圖,2003 年在北緯 8 度至 13 度、東經 107 度至 115 度,東京灣以及泰國灣內有 T869 高值區。2004 年,在東京灣和泰國灣內,以及緯度 0 度至北緯 10 度、東經 107 度至東經 113 度,此三處有 AOD 高值區。2005 年,在北緯 10 度以北的部份海域上,東京灣和泰國灣內也有 AOD 高值區。2006 年,在北緯 5 度至 10 度、東經 103 度左右有發現氣膠濃度高值區。2007 年在婆羅洲西北沿海有發現 AOD 高值。

圖 4.42 為 2002 年至 2007 年 9 月葉綠素濃度月平均圖,顯示 9 月在越南東南方海域的葉綠素高值區域依然存在,但範圍及濃度皆比之前減少;在 2005 年北緯 19 度、東經 112 度至 114 度,似乎也有一長條葉綠素高值區從海南島延伸出。圖 4.43 為 2002 年至 2007 年 9 月海表溫月平均圖,顯示 9 月在南海海表溫為 28℃至 30℃左右,而越南東南方海域的低海表溫範圍在 2005 年比較大;2002 年北緯 10 度至 15 度、東經 110 度至 116 度,有一大範圍海表溫比周圍溫度低,其中心海表溫可達 26℃。而在 2005、2007 年也可發現這海域有低海表溫區域。圖 4.44 為 2002 年至 2007 年 9 月風場月平均圖,顯示 9

月風場可明顯看到有東北風的出現,大約以北緯 17 度為界,以北為東北風,以南為西南風,在北緯 17 度上下的區域風速皆趨近無風。最特別的是在 2004 年,整片南海海域風速皆接近無風狀態,但風向仍與其他年份相似。圖 4.45 為 2002 年至 2007 年 9 月 AOD 月平均圖,顯示 9 月在蘇門答臘與婆羅洲也皆有 AOD 高值的現象,以 2002 與2006 年最明顯。而且從本月份開始,中國大陸南方的氣膠高值來源似乎會影響到南海北邊海域,在 2007 年特別明顯,已經影響到南海中部。中南半島上的氣膠濃度比 8 月低。圖 4.46 為 2002 年至 2007年 9 月 T869 月平均圖,顯示 9 月在 2003 年北緯 19 度、東經 119 度,以及北緯 7 度至 12 度、東經 110 度至 115 度有氣膠高值;2005 年在北緯 21 度、東經 114 度有氣膠高值;2007 年在北緯 18 度至 20 度、東經 115 度至 120 度以及婆羅洲西北海域有氣膠高值。

4.4.2.3 小結

經過上述探討後,發現葉綠素明顯增長的區域,其同區域上海表溫皆為較冷。海水湧升帶起的營養鹽,而造成葉綠素增長的情況非常明顯。相對於當氣膠濃度增高時,葉綠素濃度變化的幅度並不明顯,所以本研究將再嘗試以各資料的變異量,且去除海表溫的影響因素下,進一步探討 AOT869、Chl-a 以及 SST,三種衛星資料作相關性。

4.5 T869 與 Chl-a 長期月變異量相關性

為了探討 T869 與 Chl-a 兩種資料之相關性,本研究先扣除受海表溫影響的資料點後,再以各資料的變異量計算出 1°x1°範圍的相關係數。在此先依月份探討各月份的 2 種資料的相關性,再計算以季風時期所劃分時間尺度之相關,探討是否結果會受季風影響。

4.5.1 依各個月份(1至12月)

圖 4.47 為排除水溫影響後,T869 與葉綠素濃度 1 到 12 月各月長 期月變異量的相關圖。顯示在1月份正相關現象分佈於呂宋島北方、 南海中部以及南海南部,整個南海海域由東北至西南皆有發現正相關 現象,推測與1月份為東北季風盛行時期,將中國大陸之氣膠能傳輸 至較遠處。2 月份正相關現象分佈在泰國灣及越南南部海域,應該也 為強勁東北季風所導致,南海中部以北沒發現有正高相關區域。3 月 份正相關區域有明顯減少,分佈於呂宋島西北邊外海、越南東南沿 岸;但在東京灣內有高度正相關之區域,各年此月份在東京灣附近之 陸地皆有氣膠高值的產生,或許是此原因而造成高度正相關。4月份 正相關也出現在東京灣內、呂宋島西邊海域及西北邊海域,南海中部 海域也可看見有一正相關區域,南海南部皆無相關較多。5月份正負 相關現象皆不明顯,推測與季風開始轉向且轉弱導致所夾帶的氣膠量 减少有關。6月份西南季風增強,從西南邊帶來生質燃燒氣膠,在越

南南部海域及泰國灣內有正相關現象。7月,泰國灣內、南海南部有 正相關現象,但比6月弱,其餘南海中部以北皆為無相關較多。8月 在婆羅洲東側海域有發現正相關區域,因為8月時在波羅洲南部常有 生質燃燒,再配合風向,多少會將氣膠帶至波羅州東部海域;呂宋島 西南海域有明顯負相關現象,造成此區域之現象有待查證原因。9月, 正相關現象零星散佈南海海域,推測季風轉向為原因。10月,東北 季風開始,呂宋島西北部外海有明顯的正相關現象;巽他陸棚也有發 現正相關區域,這時期為婆羅洲生質燃燒之盛期,因為南海南部還有 微弱的西南季風,所以也會將南方的氣膠帶到南海南部。11 月,東 京灣四周海域皆有高正相關現象,以及越南東南部海域也有高正相關 現象。12 月,東經 110 度至東經 120 度、北緯 15 度至北緯 20 度, 此大範圍區塊有高度正相關現象發生,以及東京灣內和南海南部海域 皆有正相關現象,應該是強勁的東北季風,將中國大陸的氣膠傳送且 遍佈南海海域。

4.5.2 依季風時期(5月至9月 、 10月至4月)

圖 4.48 為排除水溫影響的情況下,5 月至 9 月西南季風期間, T869 與葉綠素濃度變異量的相關。由圖可看出在呂宋島北部海域有 高正相關區域,以及泰國灣內、南海南部、蘇碌海峽和婆羅洲東部海 域皆有高度正相關區域,所分佈的區域多靠近南海南方氣膠之源地。 而排除水溫影響的情況下,在東北季風期間(10月至4月)T869與 葉綠素濃度變異量的相關性(圖4.49),看出正相關現象普遍分佈於南 海北部、越南東南部海域以及巽他陸棚附近。

按照季風風向不同,而將資料分作為兩部份探討。其5月至9月 正相關區域分佈於南海南部較多,而10月至4月正相關區域廣泛分 佈於南海。此現象與西南季風時期,風速最大出現於南海中部;東北 季風時期,最大風速可到達南海南部,且東北季風最強風速會大於西 南季風最強風速。綜合先前之論述,西南季風挾帶南方來源之氣膠, 由南海南部向北部傳送,因風速強度之關係,所以最多將氣膠帶至南 海中部,也在南海南部發現了T869與Chl-a有高正相關(R>0.5)區域。 在東北季風盛行期時,季風能傳輸東北亞之氣膠至南海,而氣膠遍佈 範圍可達南海南部,且T869與Chl-a高正相關(R>0.5)區域廣泛分佈。 結果顯示了在南海海域,氣膠的含量與葉綠素的成長存在著相當程度 的正相關。

第五章 結論與展望

本研究使用 MODIS 衛星資料(T869、Chl-a 與 SST)與 QuikSCAT衛星風場資料,以及 MODIS 大氣產品之 AOD 資料,研究南海海域葉線素濃度受氣膠濃度變化之情況。各種資料做了長期月平均、單點長期序列、區域平均、長期各月月變異量以及依不同時間尺度資料之間相關性。其結果如下:

依長期風場資料來看,南海海域風向變化主要分兩種,東北季風(10月至4月)與西南季風(5月至9月)。東北季風約開始於11月開始漸強,最強風力出現在12月與1月左右(約11m/s),同時南北海域風速相差最大(4.5~8.2m/s)。而強風會將北部冷水往南海北部輸送,在南海北部形成約24°C的低海表溫區域。季風最強時期,會將較冷的海表溫沿越南東岸往西南輸送,最遠可達巽他陸棚。整個海域海表溫約22°C~28°C,也為海表溫相差最大時期(差約6°C)。葉綠素濃度在南海北部也出現高值區域,隨著風力增強,大約在12月有最大值(約0.9μg/l)。而整個海域葉綠素濃度為0.2μg/l~0.9μg/l。在此時期氣膠可能來源為中國大陸東北部的工業都市污染以及沙塵顆粒,隨著強風挾帶至南海,而風力最強時期,能將氣膠挾帶至南海南部。

西南季風時期,風速約從6月開始增強,到8月左右達到最強,

並且在南海中部發現風速最大值(約 8m/s)。而在 5 月、9 月左右為風向轉換時期,南海整體風速皆弱,南北風速相差也最小,約 0.3m/s~1.6m/s。在西南季風時期,南海海表溫約為 27°C~31°C,最高海表溫出現在 8 月。其葉綠素濃度在整個南海海域約為 0.1μg/l~0.7μg/l, 比東北季風時期低,多分佈於巽他陸棚周圍海域。此時期氣膠主要來源為婆羅州和蘇門答臘之生質燃燒煙塵,隨著西南季風往北方挾帶。風力最強時,其影響範圍能至南海中部。

通常海表溫低的區域其葉綠素濃度較高,主要是因為湧升作用。 因季風不斷吹拂海表面,將表層海水帶離,使得海表層下的海水往上 補充,將底層較冷的海水與營養鹽帶至海表面,而形成海表溫降低與 葉綠素增高同時出現的情況。所以在本研究中採用當葉綠素增多時, 而海表溫降低,定義為有受湧升作用之影響。在隨後的研究也都有將 湧升之影響所排除。

得知各資料長期之情況後,將再對氣膠和葉綠素變化的情況作探討。由氣膠與葉綠素長期各月月變異得知:在南海海域中,當氣膠濃度有異常高值時,葉綠素濃度也有異常高值的情況最多,這現象主要發生於12月、1月和2月。

探討各月份氣膠與葉綠素變化的情形,將資料分成 12 個月份。1 月的高正相關(R>0.5)區域分佈於中南部海域,以中部最多。2 月分佈 在南部海域。在3月,高正相關現象減弱。4月高正相關現象明顯出現於北部海域,而5月開始正相關現象較弱。5月至9月,高正相關區域零星分佈於南海南部。10月可明顯看見在北部海域有正相關現象。11月則是在越南東側海域。12月在南海北部與南部皆有發現高正相關現象之區域,以北部較多。

為了得知是否受季風影響,又將資料依季風時期分為兩部份。西南季風時期,高正相關區域在泰國灣與南海最南部可發現,其他高正相關區域皆零散分佈於南海;東北季風時期,可發現在南海北部有大範圍高正相關現象,在南海中、南部也有但現象不明顯。

西南季風挾帶來自蘇門答臘與婆羅洲之生質燃燒煙塵,這些生質燃燒氣膠因西南季風風速較弱,所以分佈於南海中部南部,對於南海南部葉綠素的生長較有幫助;而東北季風輸送來自東北亞工業污染與沙塵,因東北季風風速較強,來自於中國大陸的氣膠能遍佈整個南海海域,同時也有助於整個南海域葉綠素生長。

本研究所使用資料時間解析度為月平均,若能進一步分析八天和 每天資料,應能獲得更詳細的資訊。此外,在定義湧升現象的方面應 該更嚴謹,必可得到更準確的結果。

參考文獻

- 陳鎮東 (2001), 南海海洋學, 國立編譯館部編大學用書, 共 506 頁.
- Eck, T.F., B.N. Holben, J.S. Reid, O. Dubovik, A. Smirnov, N.T. O'Neill,
 I. Slutsker, S. Kinne (1999), Wavelength dependence of optical depth of biomass burning, urban, and desert dust aerosols, Journal of Geophysical research, Vol. 104, NO. D24, 31333-31349.
- 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.
- Kuo, N.J., Q. Zheng, C.R. Ho (2000), Satellite Observation of Upwelling along the Western Coast of the South China Sea, Remote Sensing of Environment, Vol. 74, 463-470.
- Lin, I. I., J.P. Chen, G.T.F. Wong, C.W. Huang, C.C. Lien (2007), Aerosol input to the South China Sea Results from the MODerate Resolution Imaging Spectro-radiometer, the Quik Scatterometer, and the Measurements of Pollution in the Troposphere Sensor, Deep-Sea Research II, Vol. 54, 1589-1601.
- Liu, K.K., S.Y. Chao, P.T. Shaw, G.C. Gong, C.C. Chen, T.Y. Tang (2002), Monsoon-forced chlorophyll distribution and primary production in the South China Sea observations and a numerical study, Deep-Sea Research I, Vol. 49, 1387-1412.
- Paerl, H.W. (1997), Coastal eutrophication and harmful algal blooms: Importance of atmospheric deposition and groundwater as "new" nitrogen and other nutrient sources, Limnology and Oceanography,

- 42(5, part 2),1154-1165.
- Tang, D.L., H. Kawamura, M.A. Lee, T.V. Dien (2003), Seasonal and spatial distribution of chlorophyll-a concentrations and water conditions in the Gulf of Tonkin, South China Sea., Remote Sensing of Environment, Vol. 85, 475-483.
- Tang, D.L., H. Kawamura, Dien T.V., M.A. Lee (2004), Offshore phytoplankton biomass increase and its oceanographic causes in the South China Sea, Marine Ecology Progress Series, Vol. 268, 31-41.
- Tang, D.L., I.H. Ni, D.R. Kester, F.E. Müller-Karger (1999), Remote sensing observation of winter phytoplankton blooms southwest of the Luzon Strait in the South China Sea, Marine Ecology Progress Series, Vol. 191, 43-51.
- Tseng, C.M., G.T.F. Wong, I.I. Lin, C.R. Wu, K.K. Liu (2005),

 A unique seasonal pattern in phytoplankton biomass in lowlatitude waters in the South China Sea, Geophysical Research
 Letters, Vol. 32, L08608.
- Wong, G.T.F., T.L. Ku, M. Mulholland, C.M. Tseng, D.P. Wang (2007), The SouthEast Asian Time-series Study (SEATS) and the biogeochemistry of the South China Sea—An overview, Deep-Sea Research II, Vol. 54, 1434-1447.

表 1.1: MODIS 各頻道波段範圍與其主要用途。

波段	波段範圍 (nm)	解析度 (m)	主要用途	波段	波段範圍 (μm)	解析 度 (m)	主要用途	
1	620 ~ 670	250	陸地/雲/	20	3.660 ~ 3.840	1000	ルポキエ	
2	841 ~ 876	250	氣膠邊界	21	3.929 ~ 3.989	1000	地球表面	
3	459~ 479	500		22	3.929 ~ 3.989	1000	/雲頂溫	
4	545 ~ 565	500		23	$4.020 \sim 4.080$	1000	文	
5	1230 ~ 1250	500	陸地/雲/	24	4.433 ~ 4.498	1000	上左四立	
6	1628 ~ 1652	500	氣膠特性	25	4.482 ~ 4.529	1000	大氣溫度	
7	2105 ~ 2155	500		26	1.360 ~ 1.390	1000	生命/	
8	405 ~ 420	1000		27	$6.535 \sim 6.895$	1000	卷雲/	
9	438 ~ 448	1000		28	$7.175 \sim 7.475$	1000	水汽	
10	483 ~ 493	1000		29	$8.400 \sim 8.700$	1000		
11	532 ~ 536	1000		30	9.580 ~ 9.880	1000	臭氧	
12	546 ~ 556	1000	海洋水色	海洋水色	31	10.780 ~ 11.280	1000	地球表面
13	662 ~ 672	1000	/浮游植 物/生物	32	11.770 ~ 12.270	1000	/雲頂溫 度	
14	673 ~ 683	1000	地球化學	33	13.185 ~ 13.485	1000		
15	743 ~ 753	1000		34	13.485 ~ 13.785	1000	虚巧 立 立	
16	862 ~ 877	1000		35	13.785 ~ 14.085	1000	雲頂高度	
17	890 ~ 920	1000	十 気 心 汽	36	14.085 ~ 14.385	1000		
18	931 ~ 941	1000	大氣水汽					
19	915 ~ 965	1000						

(資料來源 http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php)

表 4.1: 2002 年 7 月至 2007 年 12 月, S1-S4 各資料之相關性分析

S1 (115°E , 20°N)

R	wind	SST	Chl-a	T869
wind		-0.64	0.53	0.44
SST	-0.64		-0.78	-0.34
Chl-a	0.53	-0.78		0.19
T869	0.44	-0.34	0.19	

S2 (116°E, 18°N)

R	wind	SST	Chl-a	T869
wind		-0.69	0.61	0.49
SST	-0.69		-0.75	-0.39
Chl-a	0.61	-0.75		0.49
T869	0.49	-0.39	0.43	

S3 (116°E , 12°N)

R	wind	SST	Chl-a	T869
wind		-0.61	0.36	0.36
SST	-0.61		-0.56	-0.46
Chl-a	0.36	-0.56		0.43
T869	0.36	-0.46	0.43	

S4 (110°E , 5°N)

R	wind	SST	Chl-a	T869
wind		-0.66	0.35	0.55
SST	-0.66		-0.69	-0.64
Chl-a	0.35	-0.69		0.25
T869	0.55	-0.64	0.25	

表 4.2: QuikSCAT 衛星 風場各月五度緯度區域平均

			2002年		
Month	0°- 5°N	5°N- 10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
7	4.68	6.26	8.47	5.91	2.85
8	4.44	6.24	6.28	2.26	2.17
9	2.99	4.49	4.52	2.04	3.73
10	1.27	1.69	2.54	5.76	7.40
11	1.59	4.42	7.03	8.71	9.02
12	3.45	6.20	7.04	7.75	8.57

			2003年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	5.11	7.65	8.07	7.82	8.48
2	5.29	6.92	6.75	6.09	6.30
3	3.84	5.65	5.41	5.33	6.02
4	1.74	3.31	3.59	3.78	3.94
5	2.57	3.22	2.66	2.88	3.77
6	2.68	3.07	4.32	4.59	3.73
7	3.43	4.32	3.50	2.74	3.38
8	3.65	5.10	6.25	3.76	2.06
9	3.49	5.45	4.85	1.96	4.50
10	2.42	2.22	3.80	7.42	8.41
11	2.24	4.54	6.07	7.64	8.76
12	4.49	7.68	9.45	10.46	10.32
			•		

	2004年									
Month	0°- 5°N	5°N- 10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N					
1	5.19	7.15	7.46	7.63	8.89					
2	4.46	5.77	6.18	6.49	7.45					
3	3.13	4.41	4.67	5.22	6.98					
4	1.40	3.07	3.72	3.72	3.94					
5	1.46	1.93	2.17	2.04	2.18					
6	4.31	5.90	6.25	1.97	2.70					
7	2.65	3.85	4.01	3.84	3.87					
8	5.42	6.47	8.16	4.28	2.34					
9	2.09	1.44	1.20	1.34	1.43					
10	1.78	3.37	5.18	8.36	9.27					
11	2.43	5.46	7.39	9.64	9.39					
12	4.13	7.07	8.31	8.70	9.51					

			2005年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	5.20	6.66	6.91	6.64	8.03
2	4.68	5.55	5.33	4.53	6.21
3	3.98	5.74	5.74	5.71	6.74
4	2.10	4.02	4.00	3.59	3.63
5	2.04	2.27	3.21	3.65	2.57
6	2.52	3.83	5.46	5.08	4.14
7	3.11	4.44	4.91	3.17	3.01
8	3.49	4.86	6.38	3.82	2.54
9	2.99	4.62	3.88	2.63	5.59
10	1.51	1.18	3.22	7.32	8.31
11	2.41	3.19	5.52	7.99	8.30
12	2.76	5.00	9.10	10.98	10.79

			2006年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	4.10	5.72	6.76	7.21	8.23
2	4.70	7.12	7.42	7.70	8.81
3	2.91	4.47	4.99	4.82	6.23
4	1.94	3.48	4.18	3.16	2.62
5	1.16	1.47	2.07	2.49	2.33
6	2.79	3.77	3.70	3.98	3.75
7	4.36	5.64	7.69	4.75	3.54
8	4.57	5.96	6.86	2.90	1.49
9	3.18	4.56	4.40	2.00	3.76
10	1.55	1.96	2.93	6.69	7.75
11	2.46	4.95	4.77	5.80	7.18
12	4.01	6.67	7.82	10.13	10.58

			2007年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	4.27	7.34	8.39	9.07	9.61
2	4.25	5.71	5.69	5.53	6.09
3	3.29	4.42	4.87	4.67	4.87
4	2.49	4.22	4.14	4.11	4.68
5	1.56	1.68	1.97	1.90	1.63
6	1.81	2.32	3.17	3.95	4.10
7	2.81	3.46	3.70	3.28	3.20
8	3.93	5.31	6.47	4.07	3.02
9	3.65	5.59	5.00	1.69	3.77
10	2.06	1.24	2.17	6.34	8.22
11	3.38	3.40	5.43	10.03	11.34
12	3.93	6.70	7.67	8.38	8.48

表 4.3: MODIS 衛星 大氣產品 AOD 各月五度緯度區域平均

			2002年			
Month	0°- 5°N	5°N- 10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N	
7	0.18	0.18	0.22	0.24	0.37	
8	0.43	0.32	0.18	0.14	0.24	
9	0.61	0.22	0.18	0.25	0.42	
10	0.47	0.19	0.14	0.14	0.18	
11	0.21	0.11	0.13	0.14	0.20	
12	0.12	0.13	0.12	0.10	0.15	

			2003年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.16	0.18	0.20	0.24	0.33
2	0.16	0.17	0.20	0.20	0.24
3	0.16	0.17	0.20	0.23	0.33
4	0.13	0.14	0.20	0.34	0.46
5	0.18	0.23	0.18	0.21	0.34
6	0.18	0.21	0.24	0.25	0.41
7	0.16	0.13	0.13	0.11	0.14
8	0.22	0.19	0.17	0.15	0.22
9	0.21	0.15	0.15	0.17	0.25
10	0.17	0.17	0.20	0.26	0.36
11	0.15	0.15	0.16	0.18	0.26
12	0.17	0.18	0.19	0.21	0.30
	•	•	•		

			2004年		
Month	0°- 5°N	5°N- 10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.13	0.16	0.18	0.20	0.33
2	0.21	0.19	0.24	0.29	0.40
3	0.22	0.22	0.29	0.50	0.75
4	0.17	0.20	0.27	0.34	0.39
5	0.15	0.14	0.16	0.15	0.22
6	0.25	0.25	0.23	0.20	0.31
7	0.12	0.13	0.18	0.18	0.25
8	0.35	0.28	0.24	0.19	0.28
9	0.29	0.20	0.19	0.20	0.29
10	0.40	0.26	0.30	0.42	0.48
11	0.15	0.15	0.15	0.17	0.29
12	0.17	0.18	0.21	0.22	0.30

			2005年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.19	0.17	0.21	0.23	0.32
2	0.26	0.21	0.24	0.33	0.41
3	0.23	0.21	0.31	0.50	0.51
4	0.20	0.25	0.32	0.44	0.58
5	0.14	0.15	0.20	0.22	0.27
6	0.13	0.16	0.20	0.22	0.30
7	0.16	0.17	0.23	0.19	0.27
8	0.28	0.27	0.24	0.21	0.35
9	0.26	0.19	0.20	0.25	0.38
10	0.19	0.14	0.19	0.27	0.38
11	0.16	0.13	0.15	0.14	0.26
12	0.16	0.14	0.14	0.19	0.29

	2006年					
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N	
1	0.20	0.17	0.17	0.14	0.24	
2	0.16	0.19	0.20	0.20	0.29	
3	0.21	0.19	0.27	0.39	0.54	
4	0.14	0.16	0.23	0.27	0.47	
5	0.12	0.13	0.18	0.19	0.22	
6	0.13	0.14	0.16	0.16	0.19	
7	0.21	0.24	0.29	0.18	0.25	
8	0.38	0.27	0.22	0.24	0.40	
9	0.49	0.26	0.17	0.20	0.34	
10	1.00	0.36	0.22	0.29	0.48	
11	0.37	0.20	0.20	0.20	0.29	
12	0.17	0.19	0.18	0.22	0.29	

			2007年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.18	0.22	0.22	0.22	0.32
2	0.16	0.18	0.21	0.31	0.39
3	0.18	0.19	0.25	0.42	0.72
4	0.14	0.19	0.24	0.34	0.55
5	0.10	0.11	0.16	0.17	0.29
6	0.15	0.09	0.13	0.15	0.21
7	0.19	0.19	0.16	0.13	0.24
8	0.19	0.18	0.19	0.18	0.32
9	0.24	0.15	0.23	0.33	0.35
10	0.25	0.20	0.21	0.31	0.42
11	0.23	0.27	0.25	0.28	0.33
12	0.21	0.19	0.18	0.19	0.36

表 4.4: MODIS Aqua T869 各月五度緯度區域平均

	2002年							
Month	0°- 5°N	5°N- 10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N			
7	0.14	0.13	0.15	0.16	0.13			
8	0.12	0.12	0.10	0.10	0.12			
9	0.14	0.11	0.12	0.12	0.14			
10	0.13	0.10	0.10	0.12	0.15			
11	0.10	0.11	0.13	0.11	0.14			
12	0.11	0.14	0.13	0.10	0.11			

			2003年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.14	0.16	0.16	0.17	0.18
2	0.13	0.17	0.15	0.14	0.16
3	0.11	0.13	0.13	0.13	0.15
4	0.10	0.11	0.11	0.13	0.15
5	0.13	0.13	0.12	0.14	0.14
6	0.12	0.13	0.14	0.12	0.13
7	0.12	0.12	0.12	0.10	0.11
8	0.12	0.12	0.13	0.11	0.10
9	0.11	0.12	0.11	0.12	0.13
10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16
11	0.11	0.13	0.14	0.12	0.13
12	0.13	0.17	0.16	0.15	0.15

			2004年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.13	0.16	0.14	0.15	0.16
2	0.12	0.14	0.15	0.16	0.18
3	0.13	0.14	0.13	0.15	0.17
4	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16
5	0.11	0.12	0.11	0.11	0.13
6	0.15	0.16	0.16	0.14	0.14
7	0.11	0.12	0.13	0.11	0.10
8	0.15	0.15	0.14	0.11	0.13
9	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11
10	0.14	0.15	0.16	0.16	0.19
11	0.10	0.14	0.15	0.15	0.16
12	0.13	0.16	0.17	0.15	0.18

			2005年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.13	0.14	0.14	0.13	0.18
2	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16
3	0.12	0.13	0.13	0.13	0.16
4	0.12	0.14	0.14	0.15	0.16
5	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14
6	0.11	0.12	0.14	0.14	0.14
7	0.13	0.13	0.13	0.12	0.14
8	0.13	0.13	0.13	0.11	0.15
9	0.12	0.12	0.13	0.13	0.15
10	0.11	0.12	0.12	0.14	0.15
11	0.12	0.13	0.13	0.12	0.13
12	0.13	0.13	0.14	0.16	0.17

	2006年						
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N		
1	0.12	0.15	0.16	0.13	0.14		
2	0.13	0.19	0.16	0.13	0.13		
3	0.11	0.14	0.14	0.14	0.15		
4	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14		
5	0.09	0.11	0.12	0.11	0.12		
6	0.11	0.12	0.12	0.12	0.11		
7	0.14	0.15	0.17	0.12	0.11		
8	0.14	0.14	0.12	0.12	0.11		
9	0.11	0.12	0.11	0.11	0.14		
10	0.14	0.12	0.12	0.16	0.16		
11	0.11	0.13	0.12	0.11	0.14		
12	0.11	0.15	0.14	0.15	0.17		

			2007年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.13	0.17	0.15	0.14	0.17
2	0.11	0.14	0.13	0.14	0.17
3	0.12	0.12	0.12	0.13	0.16
4	0.09	0.12	0.12	0.14	0.13
5	0.09	0.10	0.13	0.12	0.14
6	0.12	0.10	0.10	0.12	0.12
7	0.14	0.12	0.11	0.10	0.12
8	0.11	0.13	0.13	0.09	0.10
9	0.12	0.11	0.12	0.12	0.11
10	0.12	0.12	0.13	0.13	0.18
11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19
12	0.14	0.16	0.17	0.14	0.15

表 4.5:MODIS Aqua Chl-a 各月五度緯度區域平均

			2002年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
7	0.41	0.23	0.36	0.13	0.51
8	0.43	0.27	0.31	0.21	0.50
9	0.46	0.25	0.38	0.20	0.31
10	0.42	0.26	0.30	0.21	0.69
11	0.55	0.33	0.36	0.22	0.62
12	0.57	0.32	0.36	0.22	0.45

			2003年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.76	0.39	0.42	0.30	0.89
2	0.55	0.39	0.33	0.24	0.47
3	0.51	0.29	0.26	0.19	0.47
4	0.50	0.24	0.25	0.13	0.48
5	0.66	0.21	0.26	0.13	0.29
6	0.48	0.23	0.29	0.14	0.57
7	0.53	0.29	0.33	0.15	0.66
8	0.50	0.25	0.38	0.22	0.58
9	0.45	0.26	0.38	0.20	0.42
10	0.61	0.28	0.35	0.17	0.57
11	0.67	0.27	0.41	0.21	0.59
12	0.77	0.47	0.48	0.28	0.72

			2004年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.78	0.37	0.37	0.29	0.55
2	0.56	0.33	0.27	0.22	0.58
3	0.43	0.26	0.27	0.20	0.37
4	0.47	0.21	0.25	0.13	0.30
5	0.57	0.22	0.26	0.13	0.35
6	0.56	0.23	0.31	0.16	0.41
7	0.41	0.25	0.32	0.13	0.42
8	0.42	0.23	0.41	0.20	0.55
9	0.39	0.24	0.32	0.16	0.46
10	0.56	0.25	0.35	0.15	0.61
11	0.58	0.31	0.37	0.19	0.63
12	0.70	0.42	0.50	0.30	0.53

			2005年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.66	0.36	0.36	0.24	0.65
2	0.39	0.29	0.31	0.18	0.33
3	0.38	0.31	0.28	0.14	0.41
4	0.42	0.24	0.23	0.11	0.28
5	0.48	0.22	0.25	0.12	0.32
6	0.48	0.21	0.20	0.11	0.58
7	0.48	0.24	0.27	0.14	0.60
8	0.49	0.24	0.22	0.31	0.52
9	0.36	0.28	0.42	0.31	0.49
10	0.46	0.26	0.32	0.25	0.45
11	0.52	0.30	0.38	0.22	0.59
12	0.67	0.47	0.50	0.26	0.74

			2006年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.66	0.39	0.37	0.33	0.73
2	0.69	0.40	0.28	0.24	0.40
3	0.43	0.28	0.25	0.16	0.27
4	0.41	0.22	0.26	0.13	0.33
5	0.46	0.22	0.25	0.16	0.45
6	0.54	0.23	0.31	0.13	0.62
7	0.46	0.22	0.32	0.17	0.74
8	0.41	0.26	0.36	0.18	0.52
9	0.25	0.25	0.33	0.20	0.52
10	0.45	0.30	0.33	0.19	0.25
11	0.53	0.27	0.37	0.22	0.55
12	0.59	0.37	0.53	0.36	0.97

			2007年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	0.84	0.53	0.45	0.27	0.93
2	0.74	0.33	0.30	0.24	0.66
3	0.60	0.30	0.24	0.15	0.21
4	0.46	0.25	0.31	0.16	0.47
5	0.55	0.24	0.30	0.12	0.32
6	0.50	0.24	0.28	0.12	0.53
7	0.44	0.29	0.32	0.14	0.72
8	0.50	0.23	0.41	0.16	0.51
9	0.50	0.26	0.31	0.15	0.39
10	0.53	0.28	0.36	0.29	0.46
11	0.65	0.38	0.52	0.40	1.08
12	0.72	0.51	0.46	0.29	0.63

表 4.6: MODIS Aqua SST 各月五度緯度區域平均

	2002年							
Month	0°- 5°N	5°N- 10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N			
7	30.1	30.1	29.7	29.5	29.7			
8	30.0	29.7	29.3	29.5	29.4			
9	29.9	29.7	29.2	29.4	29.0			
10	30.7	30.1	29.7	29.1	27.8			
11	30.5	29.8	29.1	27.7	26.1			
12	29.7	28.7	28.4	26.8	24.7			

			2003年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	28.6	27.5	27.2	24.6	22.1
2	28.4	27.4	27.2	25.0	22.7
3	29.4	28.4	28.0	26.1	23.7
4	30.5	29.9	29.4	27.9	25.6
5	30.6	30.4	30.3	29.4	27.4
6	30.4	30.1	29.5	29.6	28.4
7	30.0	29.9	30.1	30.3	29.8
8	30.2	30.0	29.6	29.6	29.7
9	30.2	29.5	29.6	29.6	28.8
10	30.2	29.5	29.3	28.8	27.7
11	30.3	29.2	28.8	27.6	25.8
12	28.4	27.5	27.4	25.3	23.4

			2004年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	28.2	27.0	26.9	24.5	22.3
2	28.3	27.2	26.9	24.5	22.2
3	29.4	28.7	28.0	25.4	22.9
4	30.8	30.0	29.5	27.8	25.6
5	30.9	30.1	30.1	29.4	27.8
6	30.2	29.7	29.3	29.5	28.7
7	29.9	29.7	29.5	29.7	29.3
8	29.2	29.0	28.7	29.7	29.6
9	30.1	30.0	29.7	29.3	28.9
10	30.2	29.3	28.8	27.7	26.7
11	30.1	28.9	28.4	27.0	25.3
12	28.8	27.6	27.1	24.9	23.3

			2005年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	28.2	27.0	26.5	24.2	21.6
2	28.5	27.6	27.1	24.9	22.4
3	28.8	27.9	27.4	25.2	22.4
4	30.3	29.4	28.9	27.1	24.9
5	30.4	30.3	30.1	29.2	27.6
6	30.8	30.7	30.2	29.5	28.1
7	30.5	30.1	29.9	30.0	29.2
8	30.1	29.7	29.4	29.5	28.8
9	30.7	30.0	29.3	29.2	28.7
10	30.4	30.0	29.6	28.3	27.6
11	29.9	29.3	28.9	27.7	26.3
12	29.0	27.8	27.4	25.5	23.2

			2006年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	28.3	27.4	27.1	24.8	22.4
2	28.4	27.2	27.4	25.0	22.8
3	29.3	28.5	28.2	26.0	23.6
4	30.4	30.0	29.5	28.1	25.6
5	30.9	30.7	30.4	29.3	27.6
6	30.5	30.2	30.2	30.1	29.6
7	30.1	29.6	29.0	29.8	29.4
8	29.8	29.5	29.1	29.3	29.3
9	29.9	29.7	29.8	29.7	28.7
10	29.8	29.4	29.1	28.2	27.4
11	30.1	29.3	29.1	27.8	26.2
12	29.8	28.5	27.8	26.0	24.0

			2007年		
Month	0°- 5°N	5°N-10°N	10°N-15°N	15°N-20°N	20°N-25°N
1	28.2	27.1	26.9	24.7	22.3
2	28.3	27.3	27.1	24.9	22.9
3	29.6	28.7	28.2	26.3	24.0
4	30.3	29.7	29.2	27.4	24.8
5	30.8	30.5	30.1	29.2	27.1
6	30.6	31.1	31.0	30.3	29.1
7	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
8	29.9	29.6	29.3	30.1	30.1
9	29.9	29.8	29.9	29.9	28.9
10	30.1	29.7	28.9	28.0	27.0
11	29.2	28.4	27.8	26.5	24.8
12	28.4	27.4	27.0	25.6	23.4

葉綠素濃度異常高

葉綠素濃度異常低

時間		氣膠濃度異常高		氣膠濃度異常低		氣膠濃度異常高	氣膠濃度異常低		
	點數	所佔總點數之百分比	點數	所佔總點數之百分比	點數	所佔總點數之百分比	點數	所佔總點數之百分比	
200207	6830	39.6%	2852	16.6%	6199	36.0%	1348	7.8%	
200208	5081	32.2%	6058	38.3%	2006	12.7%	2655	16.8%	
200209	7478	49.8%	4241	28.2%	2140	14.2%	1171	7.8%	
200210	3837	23.5%	6321	38.7%	2043	12.5%	4129	25.3%	
200211	5096	31.2%	6006	36.8%	1938	11.9%	3294	20.2%	
200212	628	3.1%	1494	7.3%	1929	9.4%	16459	80.2%	
200301	7547	46.0%	1555	9.5%	5205	31.7%	2093	12.8%	
200302	6693	41.1%	3167	19.5%	2943	18.1%	3471	21.3%	
200303	3298	21.1%	3871	24.7%	3417	21.8%	5057	32.3%	
200304	2094	11.5%	6155	33.8%	3775	20.8%	6164	33.9%	
200305	8451	38.8%	3468	15.9%	8183	37.6%	1653	7.6%	
200306	7078	44.7%	4105	25.9%	3334	21.1%	1306	8.3%	
200307	3432	21.1%	5950	36.6%	2849	17.5%	4025	24.8%	
200308	4146	30.0%	4002	29.0%	2642	19.1%	3010	21.8%	
200309	3816	29.4%	3774	29.0%	3002	23.1%	2404	18.5%	
200310	5010	31.3%	4615	28.8%	3257	20.3%	3134	19.6%	
200311	4526	31.7%	3515	24.6%	3048	21.3%	3203	22.4%	
200312	5681	54.6%	2209	21.2%	1417	13.6%	1092	10.5%	
200401	5390	40.3%	2944	22.0%	2188	16.4%	2848	21.3%	
200402	4250	31.1%	2422	17.7%	3361	24.6%	3631	26.6%	
200403	8047	44.7%	3485	19.4%	4443	24.7%	2025	11.3%	
200404	7274	33.6%	3152	14.5%	5312	24.5%	5937	27.4%	
200405	4946	28.6%	3835	22.2%	3727	21.6%	4771	27.6%	
200406	7514	42.6%	1641	9.3%	7226	40.9%	1274	7.2%	
200407	3173	19.1%	4735	28.5%	3694	22.2%	5038	30.3%	
200408	2934	27.6%	1173	11.0%	4246	40.0%	2271	21.4%	
200409	2565	18.0%	4210	29.6%	3434	24.1%	4030	28.3%	
200410	4397	42.9%	698	6.8%	4321	42.2%	822	8.0%	
200411	3245	22.7%	1553	10.9%	6538	45.8%	2938	20.6%	
200412	3915	43.3%	1221	13.5%	2840	31.4%	1075	11.9%	

(註:灰色區塊表示此事件在此月份有異常值)

葉綠素濃度異常高

葉綠素濃度異常低

n+ 88		左咽曲六田业 士		左咽曲点用业人		左咽曲六用水子	· ·	咽肿中中型气
時間	氣膠濃度異常高		氣膠濃度異常低		氣膠濃度異常高		氣膠濃度異常低	
	點數	所佔總點數之百分比	點數	所佔總點數之百分比	點數	所佔總點數之百分比		所佔總點數之百分比
200501	1385	10.4%	1126	8.5%	2895	21.8%	788100.0%	59.3%
200502	2702	16.9%	1329	8.3%	6225	38.8%	5769	36.0%
200503	2332	20.2%	3406	29.5%	3301	28.6%	2490	21.6%
200504	5129	39.6%	689	5.3%	5766	44.5%	1381	10.7%
200505	3628	26.0%	2020	14.5%	5753	41.2%	2548	18.3%
200506	3255	23.7%	2410	17.6%	5279	38.5%	2779	20.3%
200507	3936	24.0%	2597	15.8%	7134	43.5%	2745	16.7%
200508	3501	28.1%	2079	16.7%	4127	33.2%	2739	22.0%
200509	6459	46.0%	2785	19.8%	3013	21.5%	1785	12.7%
200510	2613	17.7%	2471	16.7%	4514	30.5%	5182	35.1%
200511	5349	28.8%	3512	18.9%	4507	24.3%	5186	28.0%
200512	5268	39.7%	4747	35.8%	1369	10.3%	1874	14.1%
200601	4262	23.1%	6214	33.7%	3166	17.2%	4808	26.1%
200602	8636	43.9%	5472	27.8%	3337	17.0%	2216	11.3%
200603	5540	33.4%	3231	19.5%	5017	30.3%	2793	16.8%
200604	3520	19.4%	5295	29.2%	4544	25.1%	4752	26.2%
200605	4924	22.1%	7769	34.9%	4132	18.6%	5407	24.3%
200606	2836	17.0%	6240	37.4%	3476	20.9%	4118	24.7%
200607	4251	31.7%	2481	18.5%	5322	39.7%	1362	10.2%
200608	4371	36.0%	2818	23.2%	3108	25.6%	1842	15.2%
200609	3135	26.8%	2348	20.1%	3685	31.5%	2517	21.5%
200610	3659	36.6%	1499	15.0%	2722	27.2%	2125	21.2%
200611	3849	34.1%	2538	22.5%	2305	20.4%	2592	23.0%
200612	7591	50.0%	3143	20.7%	2125	14.0%	2331	15.3%
200701	7593	46.7%	4520	27.8%	2390	14.7%	1742	10.7%
200702	4089	28.8%	5237	36.8%	1844	13.0%	3042	21.4%
200703	3185	18.4%	4026	23.3%	5176	29.9%	4905	28.4%
200704	4453	24.7%	3476	19.3%	3804	21.1%	6302	34.9%
200705	2810	14.1%	5577	27.9%	6478	32.4%	5130	25.7%
200706	2103	9.8%	4217	19.7%	6321	29.6%	8741	40.9%
200708	2678	14.9%	3705	20.6%	4532	25.2%	7082	39.4%
200709	2553	15.3%	2588	15.5%	5849	35.0%	5740	34.3%
200710	3760	27.1%	2969	21.4%	3282	23.6%	3872	27.9%
200711	2521	20.8%	1426	11.7%	4459		3741	30.8%
200712	3135	37.3%	1698	20.2%	2224		1355	16.1%
200/12	ل ل 1 ل	51.570	1070	20.270	2227	20.770	1333	10.1/0

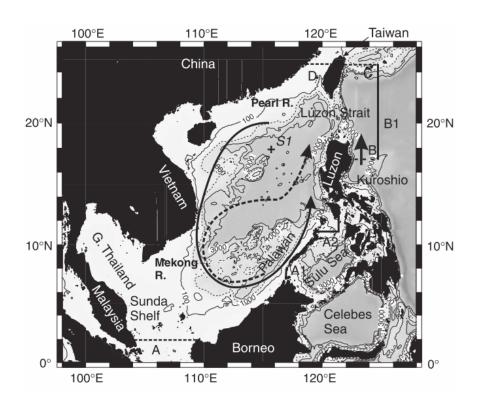


圖 1.1: 南海海域示意圖。 (from: Liu et al., 2002)

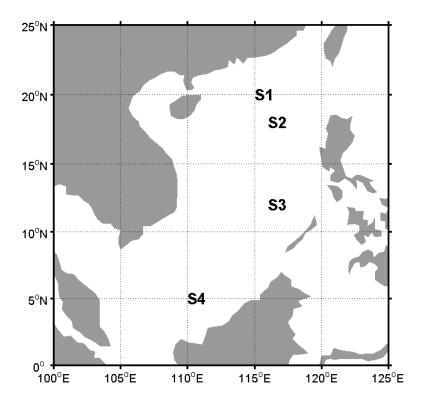


圖 2.1:研究點 S1 至 S4 位置圖。

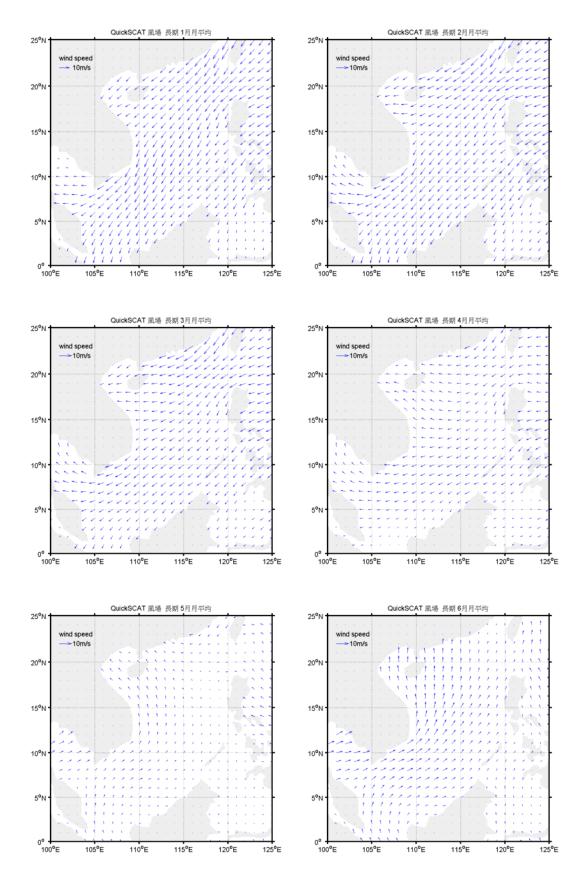


圖 4.1 QuikSCAT 風場 1月至 6月長期月平均

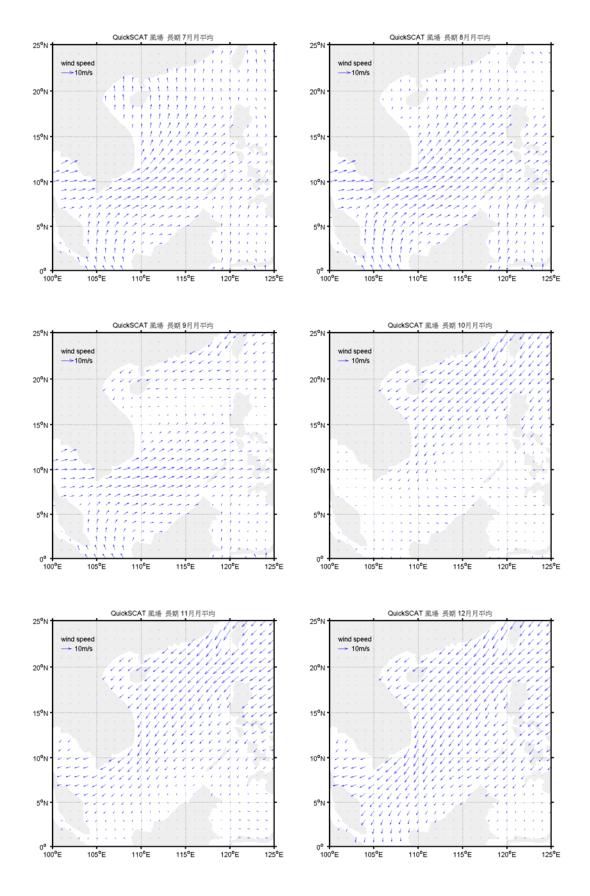


圖 4.1(續) QuikSCAT 風場 7月至 12月長期月平均

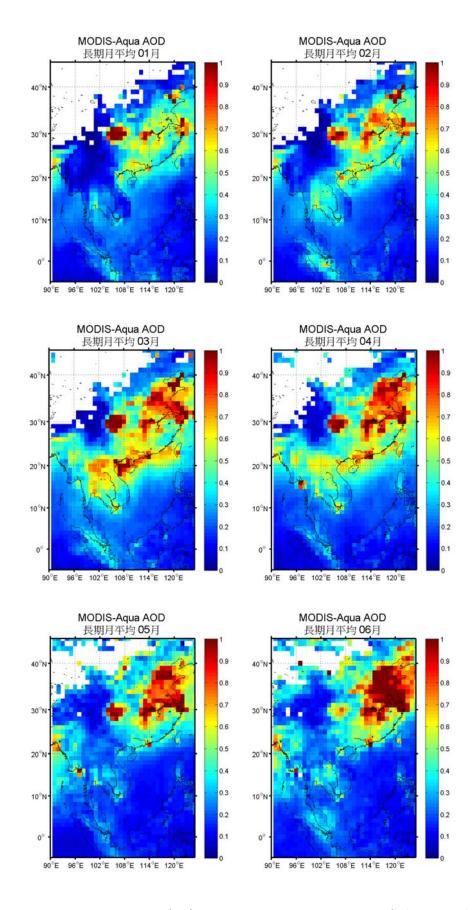


圖 4.2 MODIS 大氣產品 AOD 值 1 月至 6 月長期月平均

64

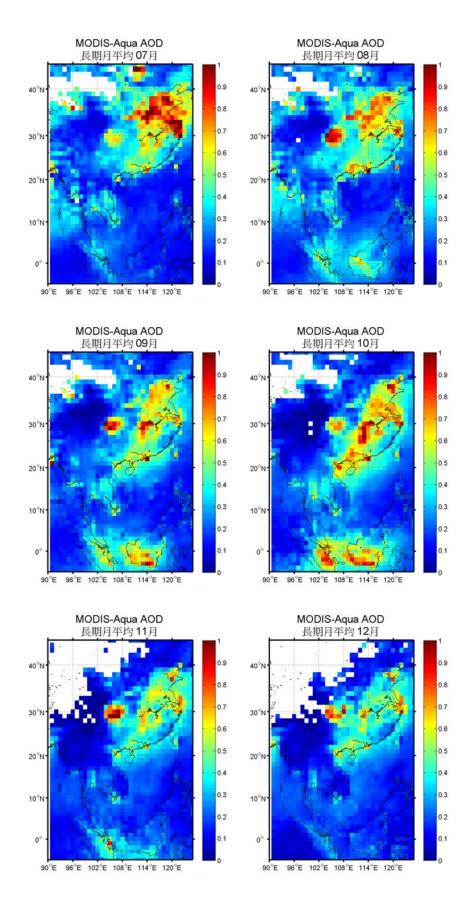


圖 4.2(續) MODIS 大氣產品 AOD 值 7 月至 12 月長期月平均

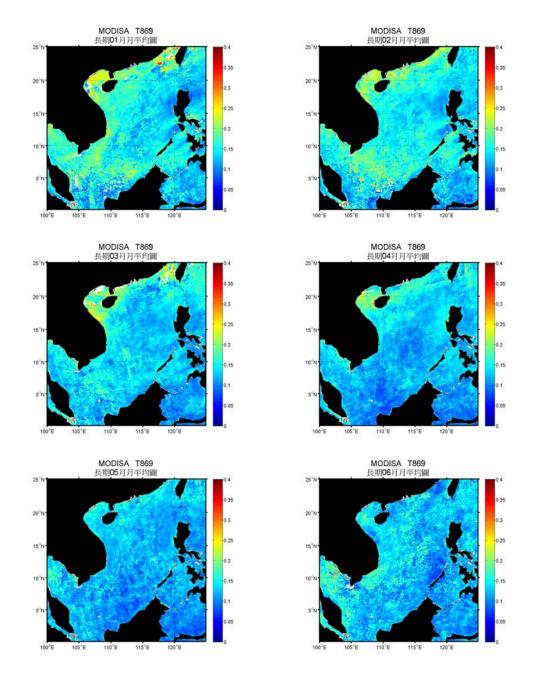


圖 4.3 MODIS Aqua 衛星 AOT869 1 月至 6 月長期月平均

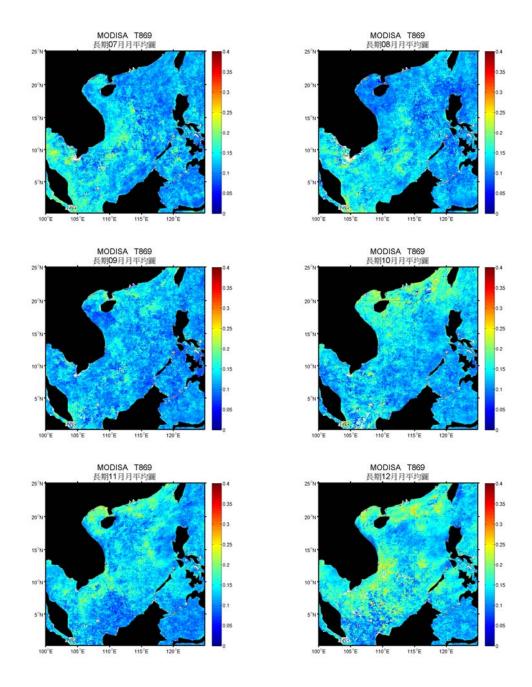


圖 4.3(續) MODIS Aqua 衛星 AOT869 7月至12月長期月平均

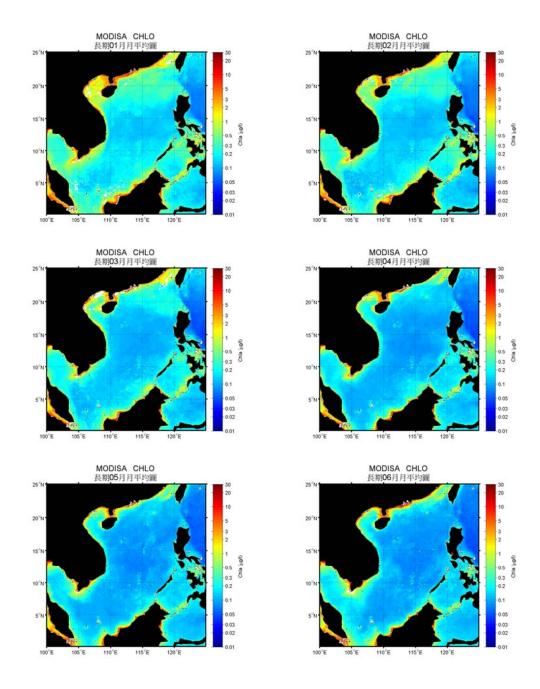


圖 4.4 MODIS Aqua 衛星 Chl-a 1月至 6月長期月平均

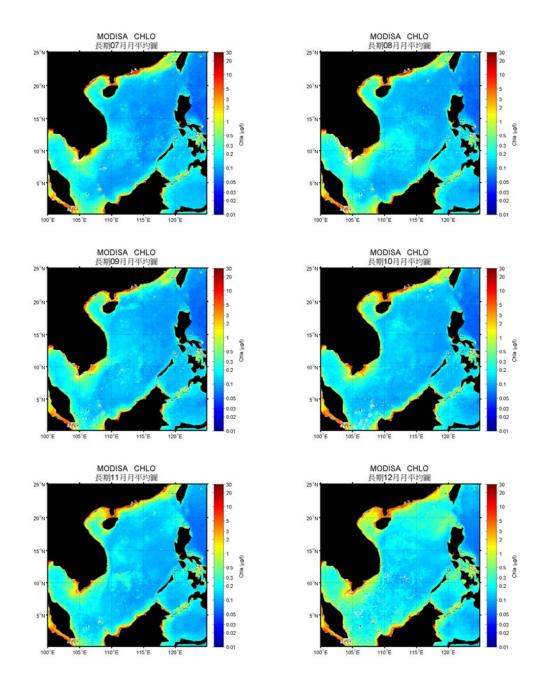


圖 4.4(續) MODIS Aqua 衛星 Chl-a 7月至 12月長期月平均

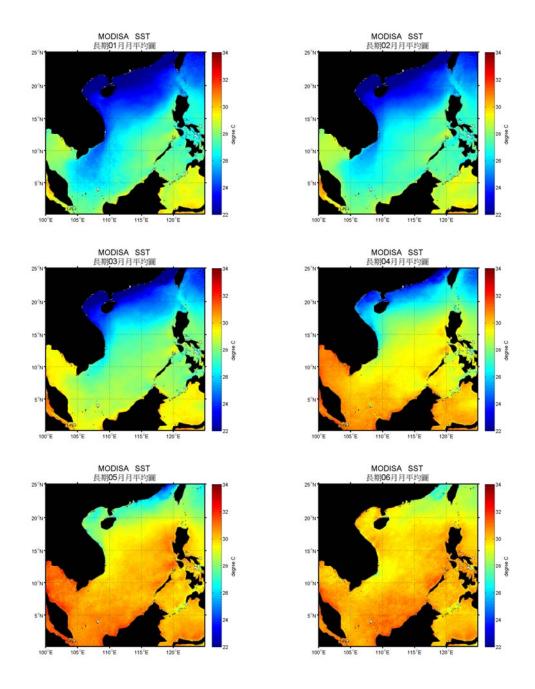


圖 4.5 MODIS Aqua 衛星 SST 1月至6月長期月平均

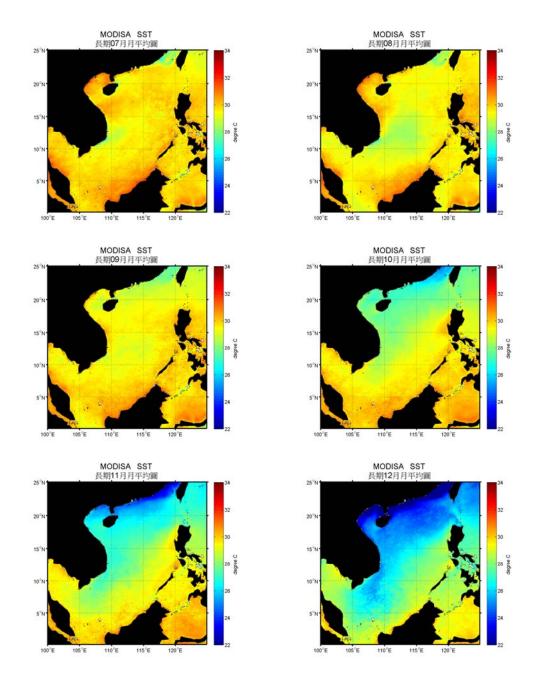


圖 4.5(續) MODIS Aqua 衛星 SST 7月至 12月長期月平均

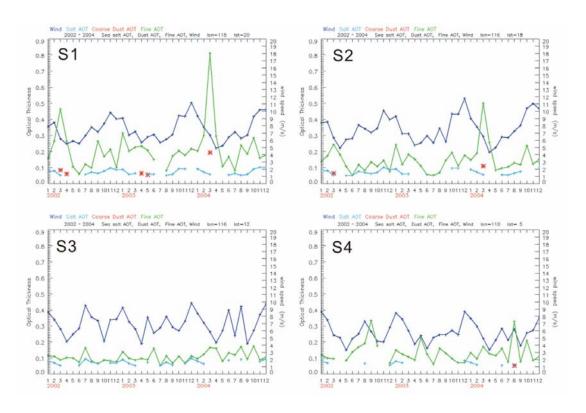


圖 4.6 S1-S4 氣膠與風速時間序列圖 (Lin.,et.al 2007)

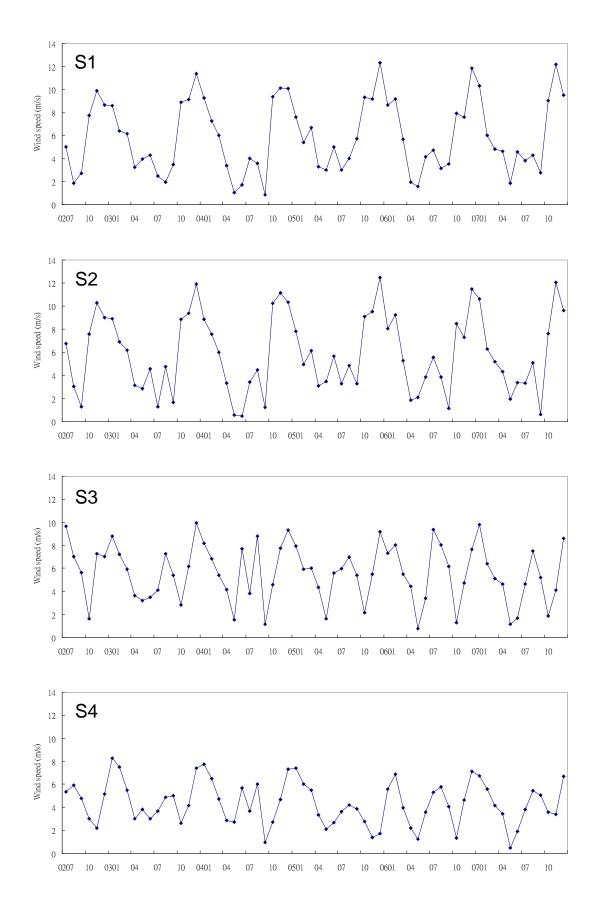


圖 4.7 S1-S4 QuikSCAT 風場長期時間序列

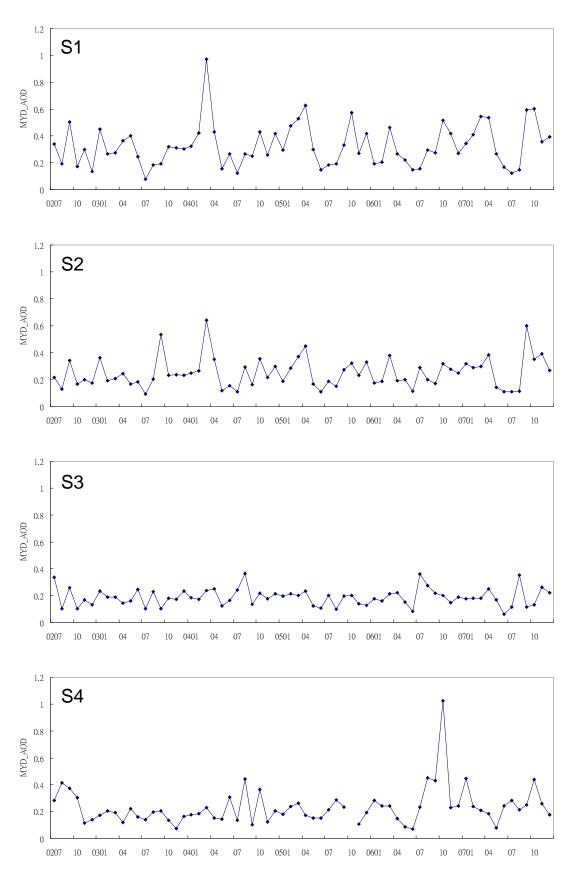


圖 4.8 S1-S4 MODIS AOD 長期時間序列

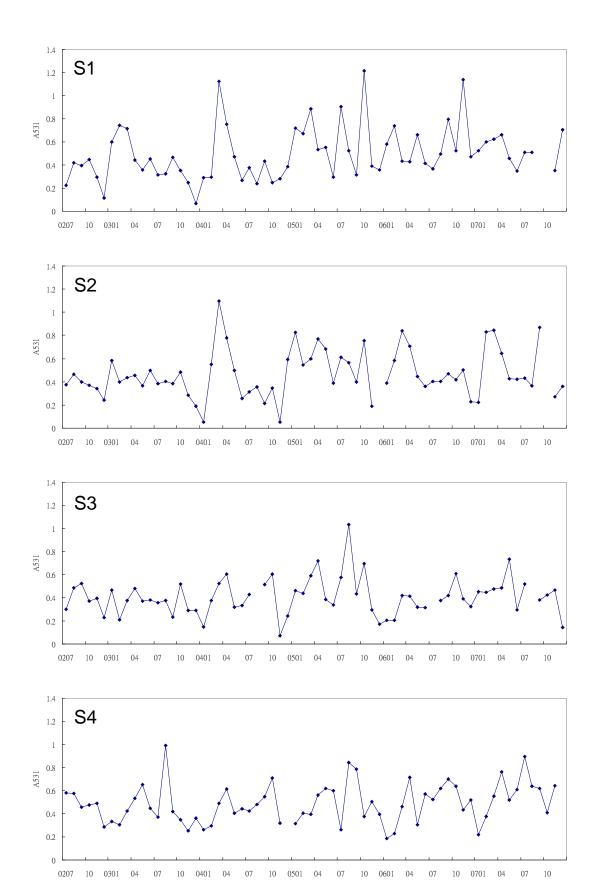


圖 4.9 S1-S4 MODIS A531 長期時間序列



圖 4.10 MODIS True Color 火點位置(時間: 2004年3月9日;

地點:北緯 20.1 度至北緯 39.9 度,東經 107.3 度至東經 125.0 度)

(http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/)

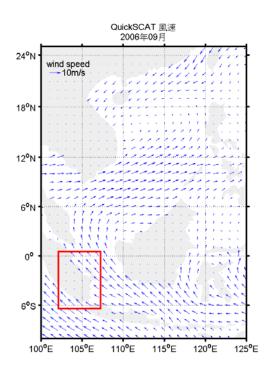


圖 4.11 2006 年 9 月風場 (紅框為火災範圍)



圖 4.12 MODIS True Color 火點位置(時間:2006年9月27日; 地點: 北緯 0.6 度至南緯 6.6 度,東經 102.2 度至東經 107.6 度) (http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/)

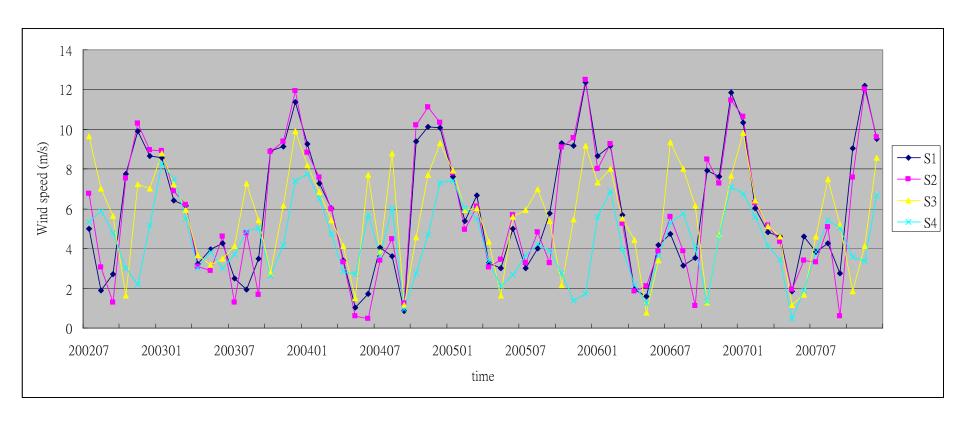


圖 4.13 S1-S4, 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 QuikSCAT 風速月平均時間序列折線圖

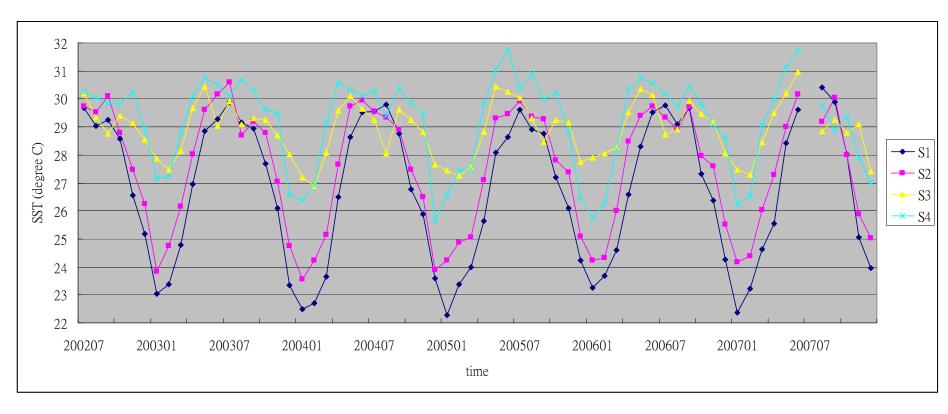


圖 4.14 S1-S4, 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS Aqua 海表溫月平均時間序列折線圖

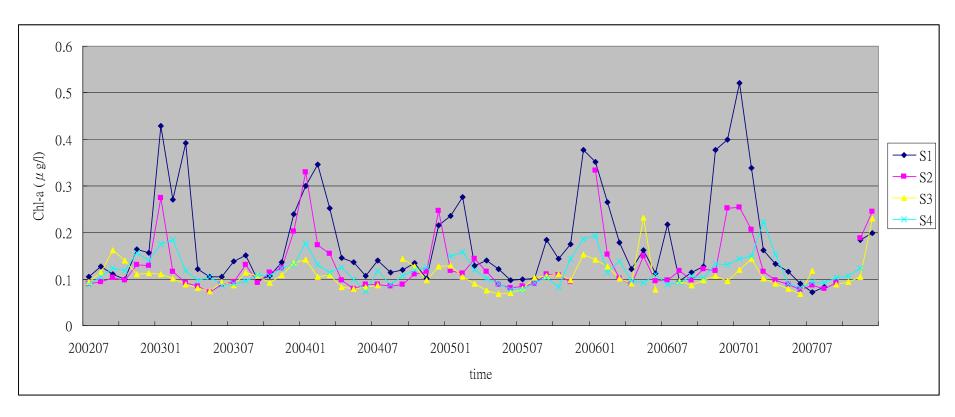


圖 4.15 S1-S4, 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS Aqua 葉綠素月平均時間序列折線圖

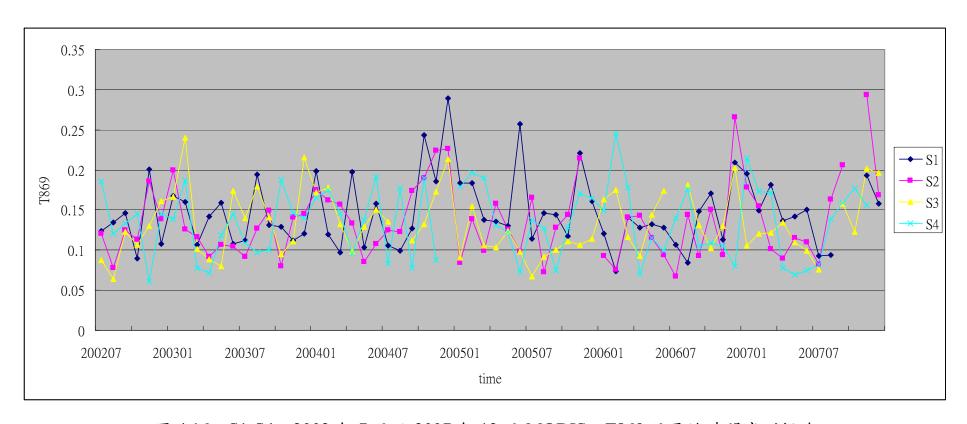


圖 4.16 S1-S4, 2002 年 7 月至 2007 年 12 月 MODIS T869 月平均時間序列折線

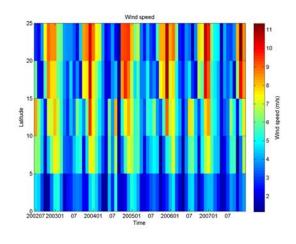


圖 4.17 QuikSCAT 風場長期五度緯度區域平均圖

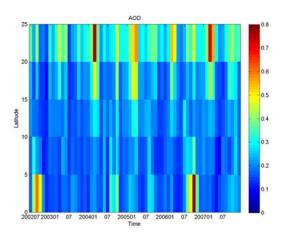


圖 4.18 MODIS AOD 長期五度緯度區域平均圖

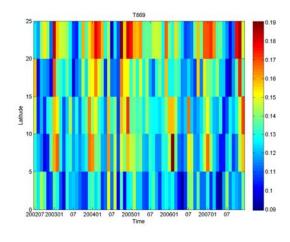


圖 4.19 MODIS T869 長期五度緯度區域平均圖

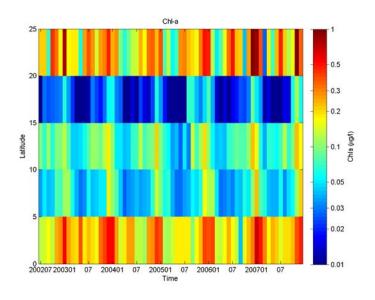


圖 4.20 MODIS Chl-a 長期五度緯度區域平均圖

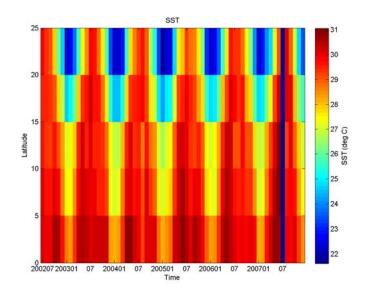


圖 4.21 MODIS SST 長期五度緯度區域平均圖

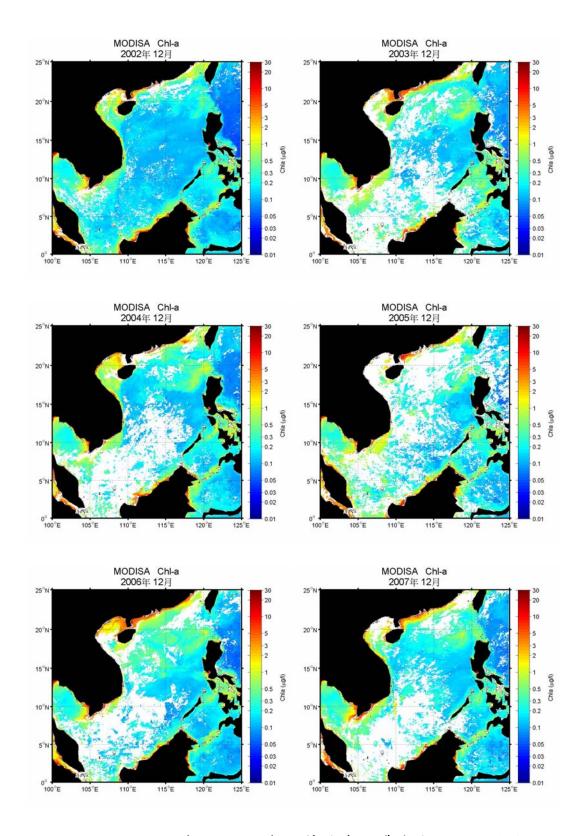


圖 4.22 2002 年至 2007 年,葉綠素甲濃度十二月月平均

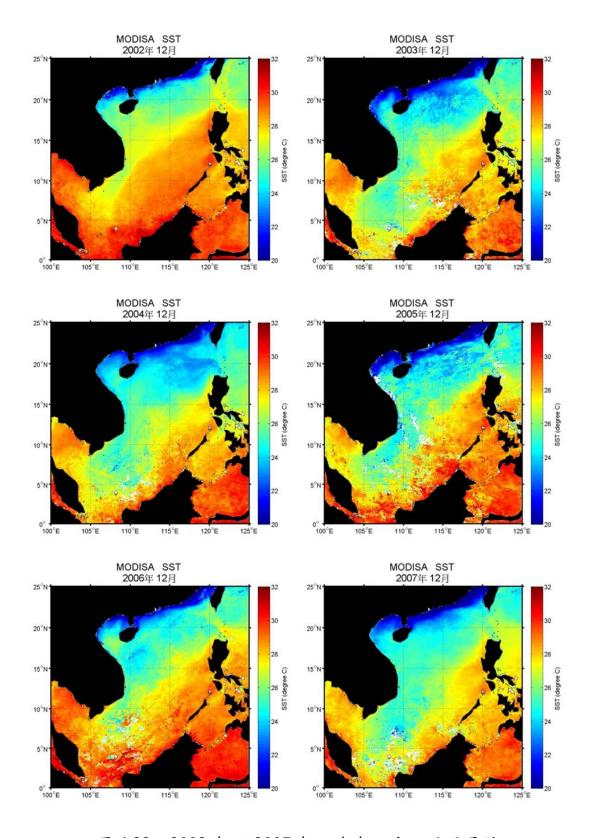


圖 4.23 2002 年至 2007 年,海表溫十二月月平均

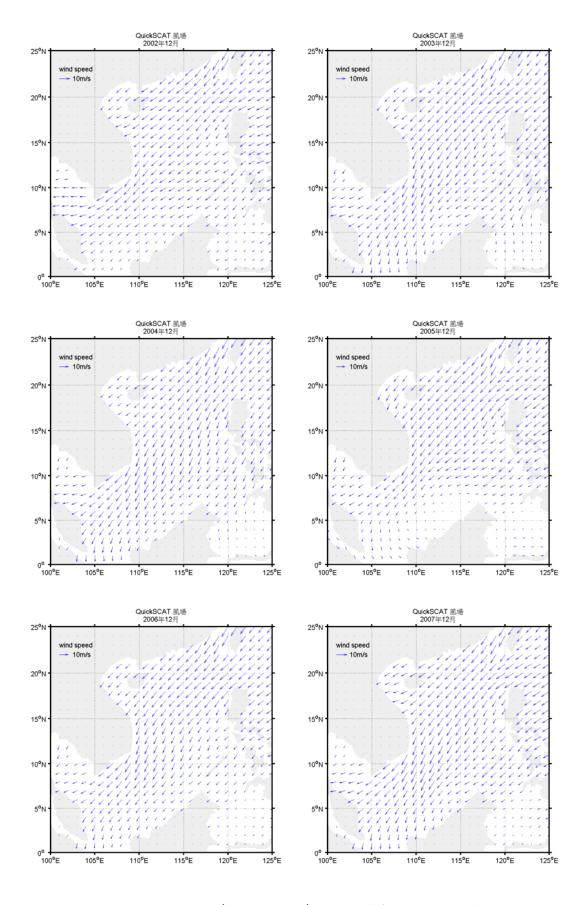


圖 4.24 2002 年至 2007 年, 風場十二月月平均

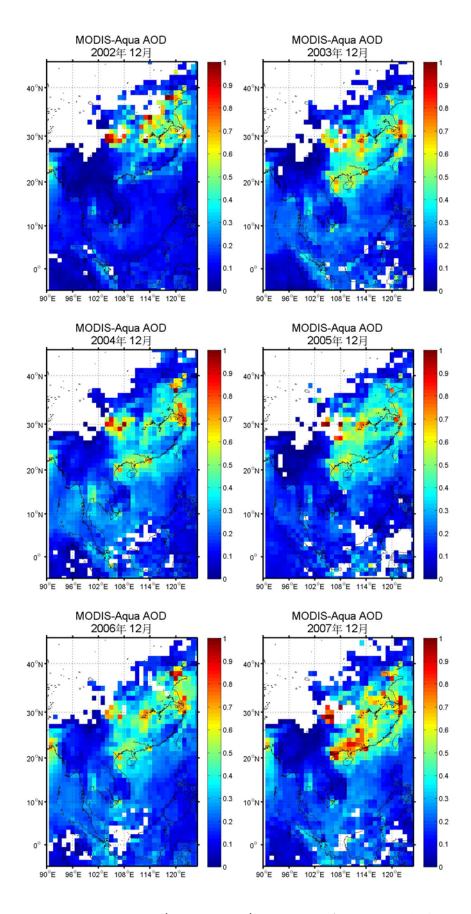


圖 4.25 2002 年至 2007 年, AOD 十二月月平均

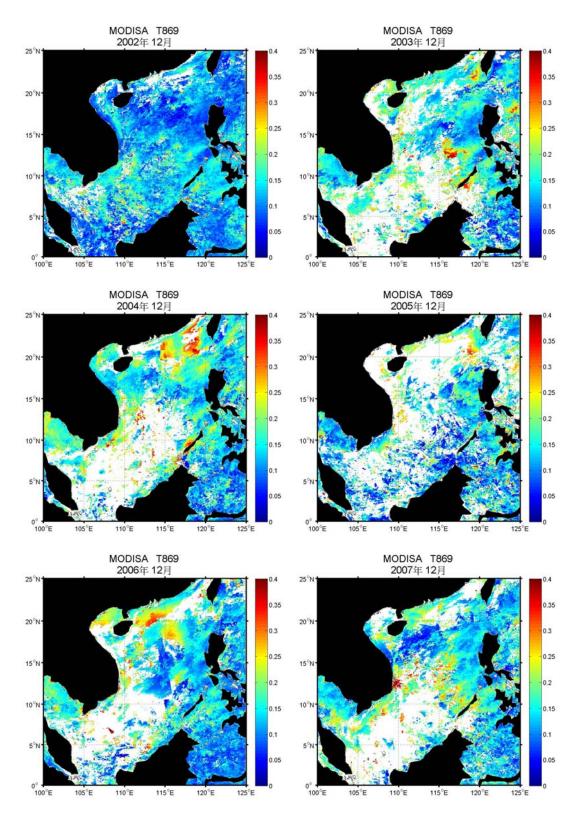


圖 4.26 2002 年至 2007 年, T869 十二月月平均

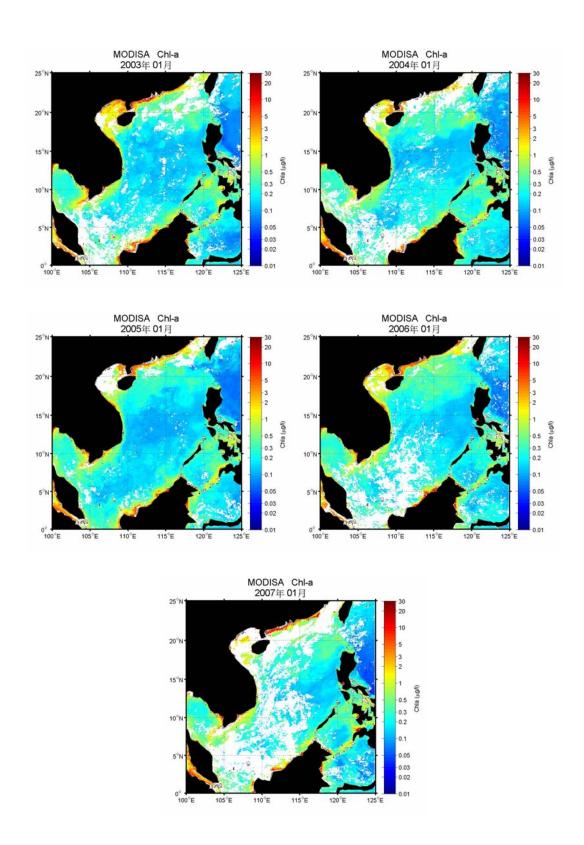


圖 4.27 2003 年至 2007 年, Chl-a 一月月平均

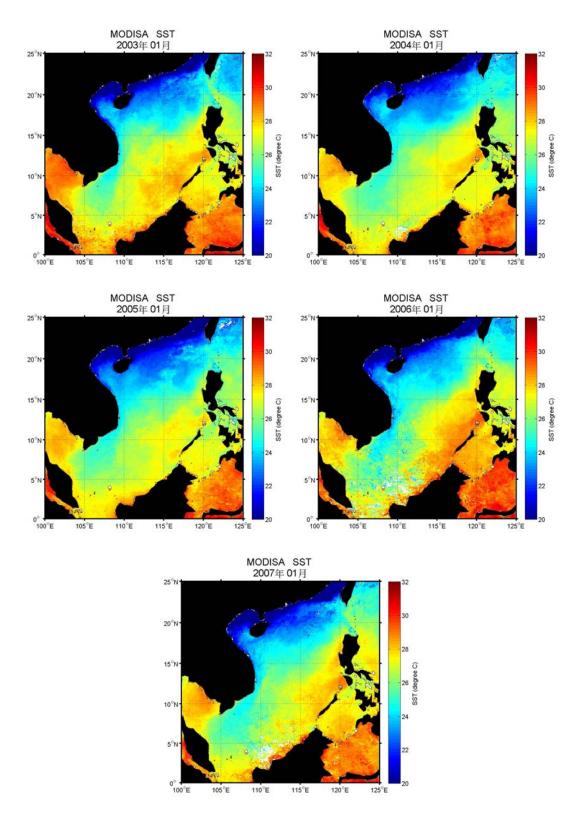


圖 4.28 2003 年至 2007 年, SST 一月月平均

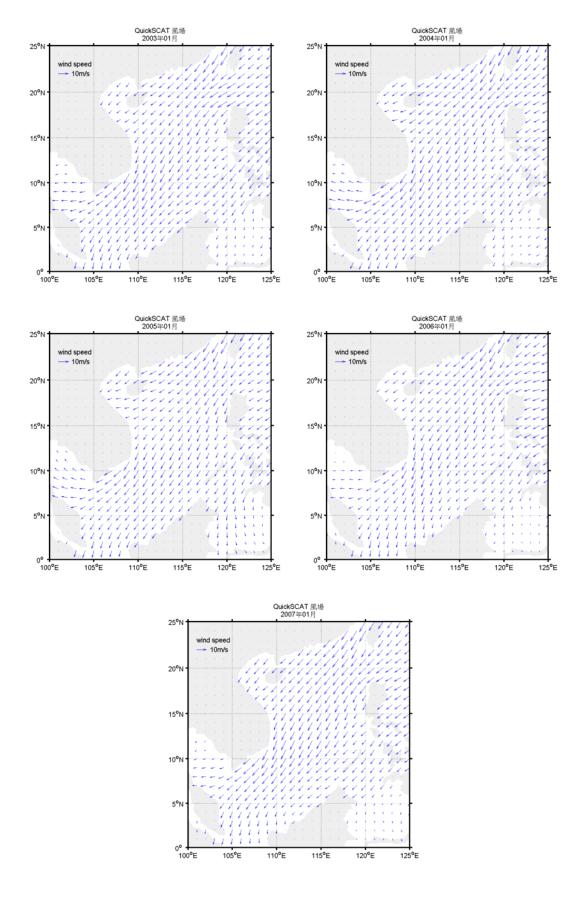


圖 4.29 2003 年至 2007 年, 風場一月月平均

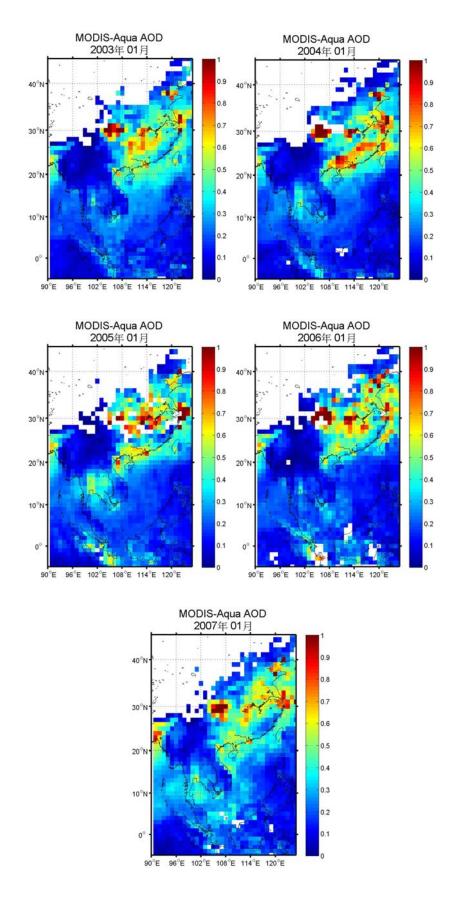


圖 4.30 2003 年至 2007 年, AOD 一月月平均

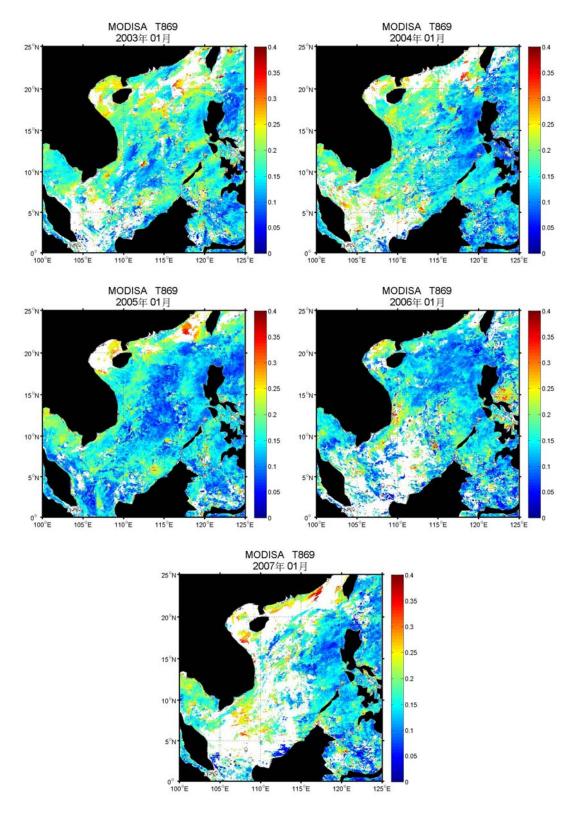


圖 4.31 2003 年至 2007 年, T869 一月月平均

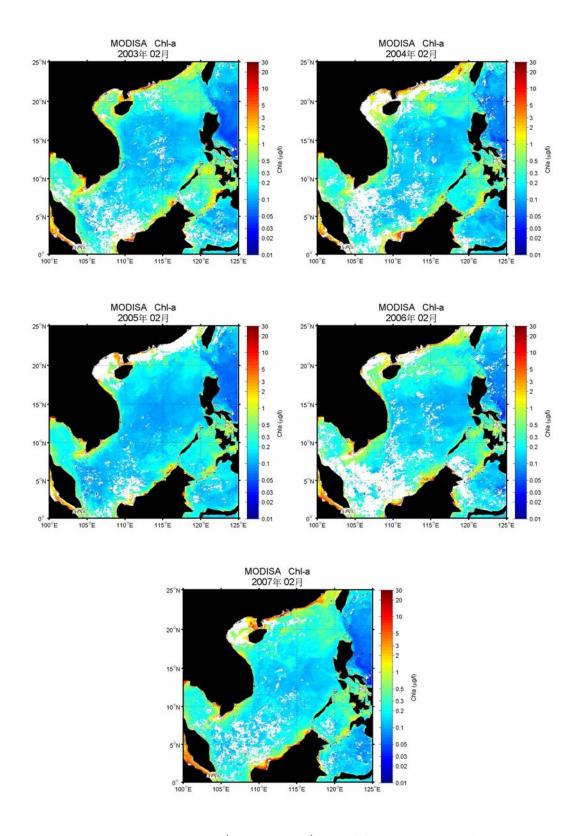


圖 4.32 2003 年至 2007 年, Chl-a 二月月平均

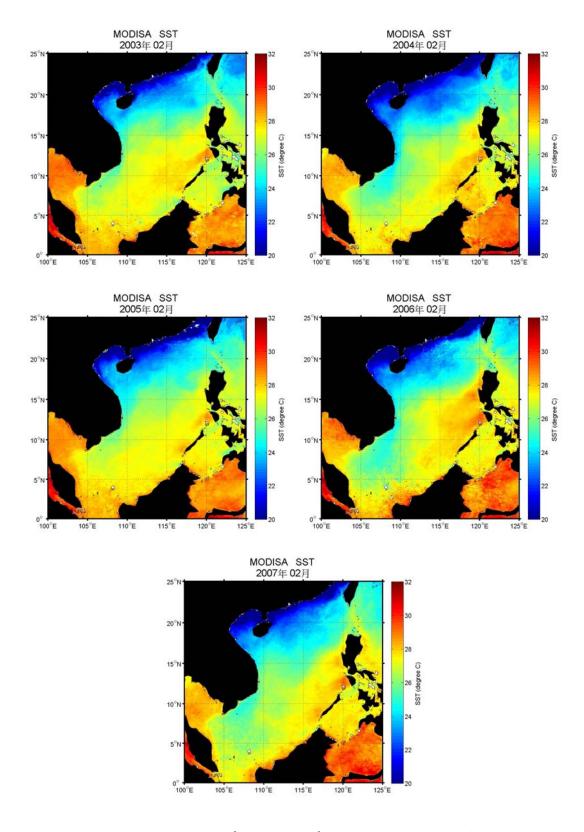


圖 4.33 2003 年至 2007 年, SST 二月月平均

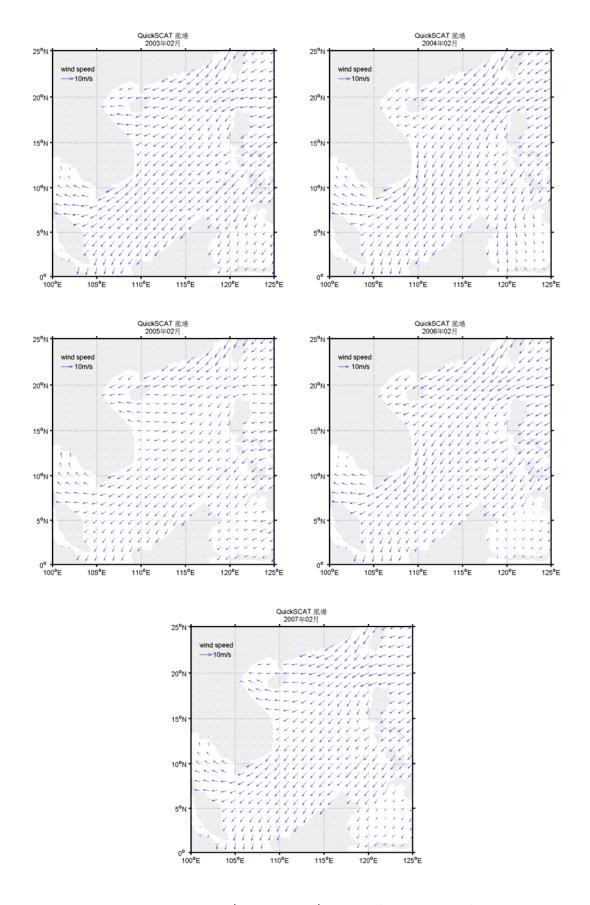


圖 4.34 2003 年至 2007 年, 風場二月月平均

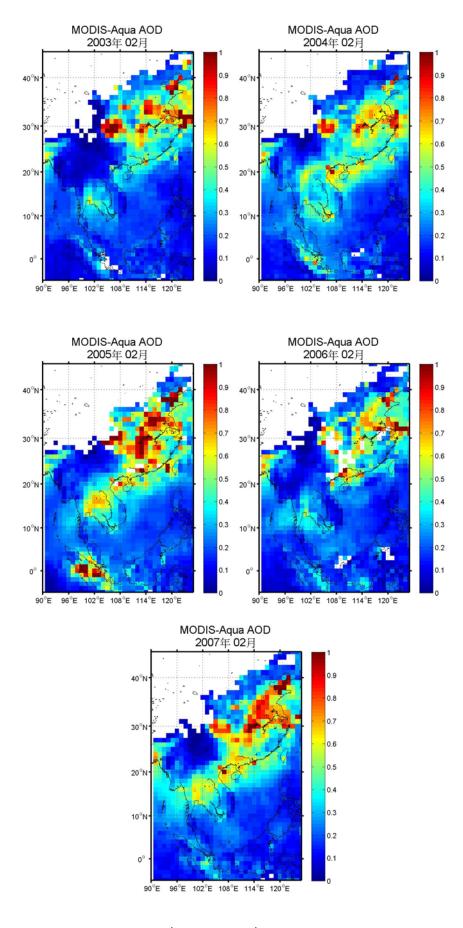


圖 4.35 2003 年至 2007 年, AOD 二月月平均

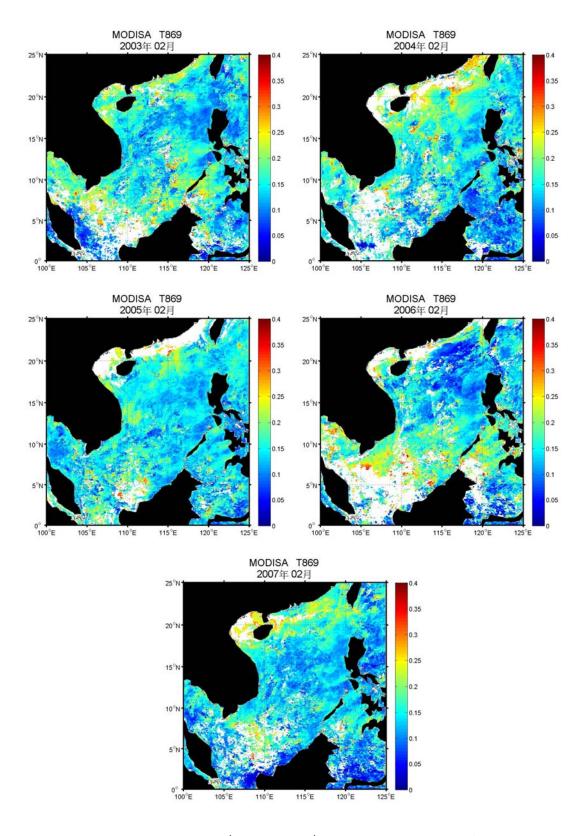


圖 4.36 2003 年至 2007 年, T869 二月月平均

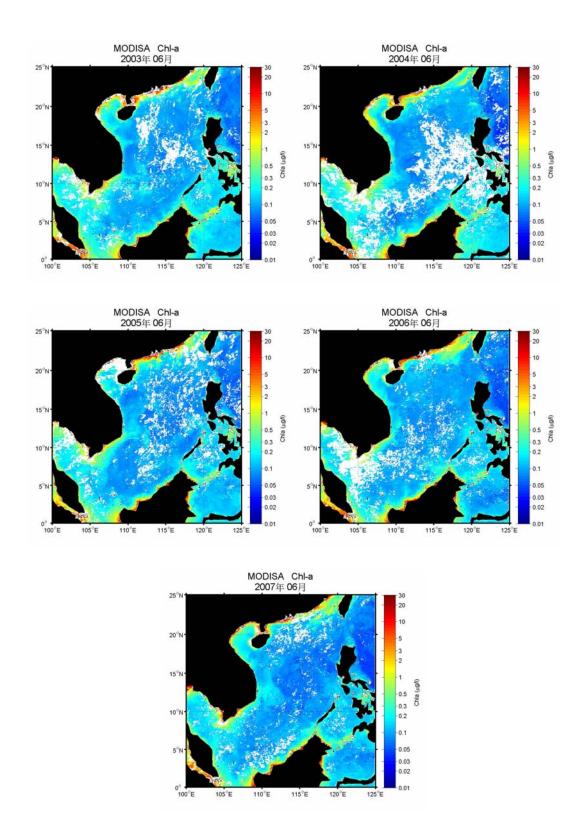


圖 4.37 2003 年至 2007 年, Chl-a 六月月平均

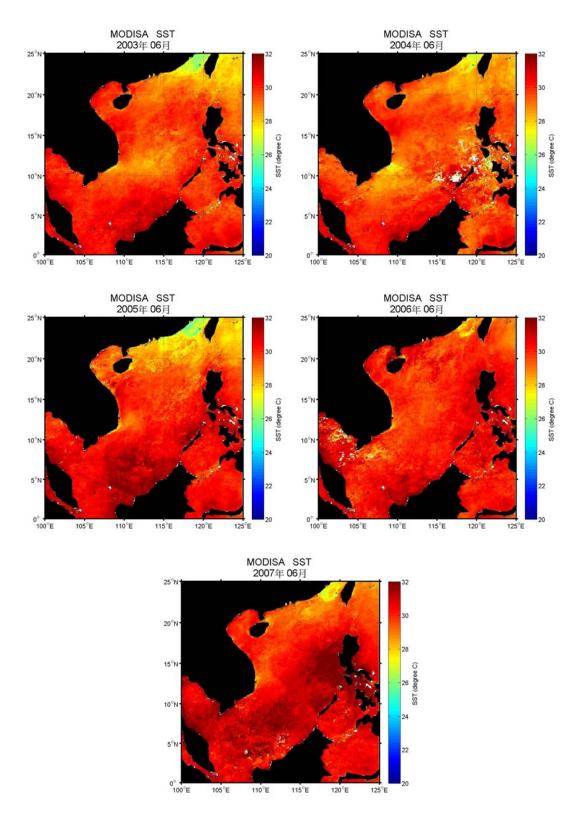


圖 4.38 2003 年至 2007 年, SST 六月月平均

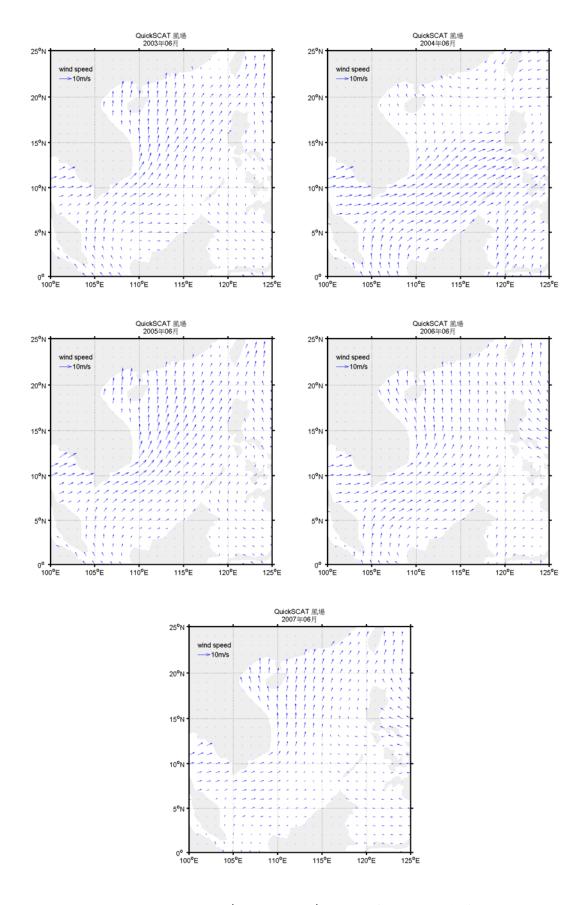


圖 4.39 2003 年至 2007 年, 風場六月月平均

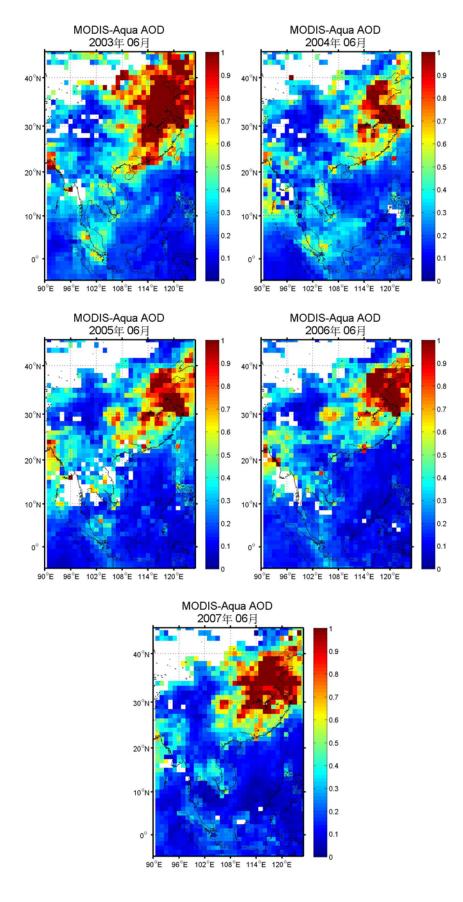


圖 4.40 2003 年至 2007 年, AOD 六月月平均

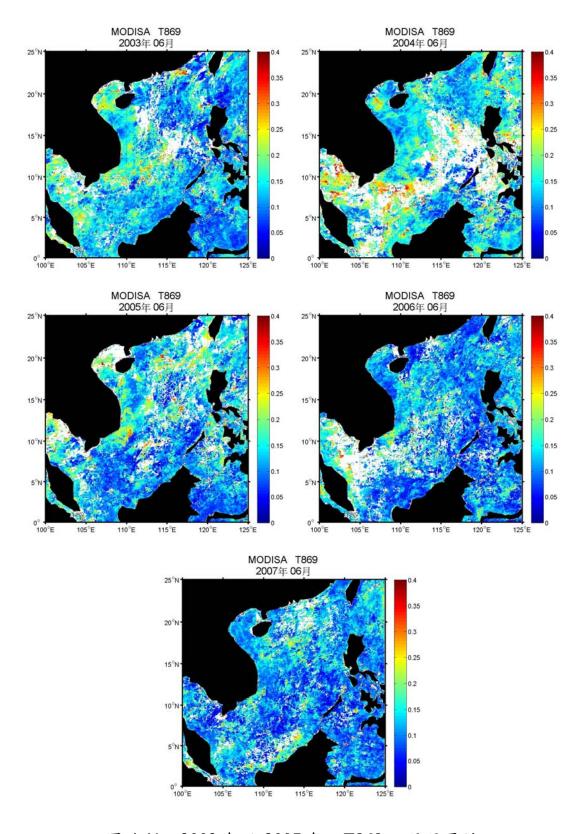


圖 4.41 2003 年至 2007 年, T869 六月月平均

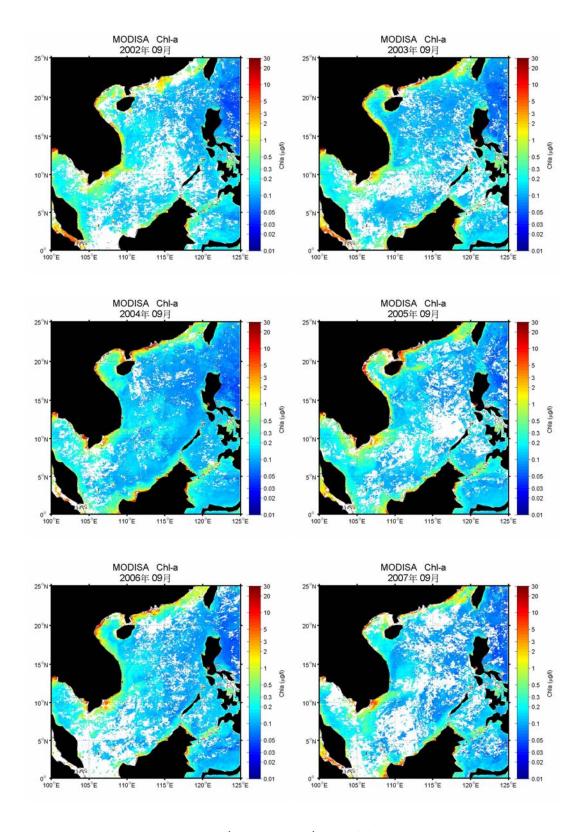


圖 4.42 2002 年至 2007 年, Chl-a 九月月平均

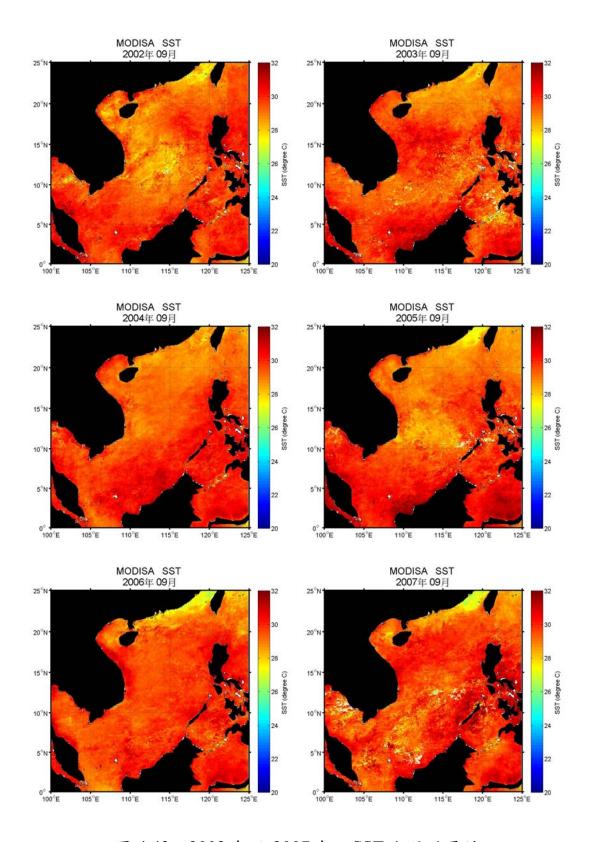


圖 4.43 2002 年至 2007 年, SST 九月月平均

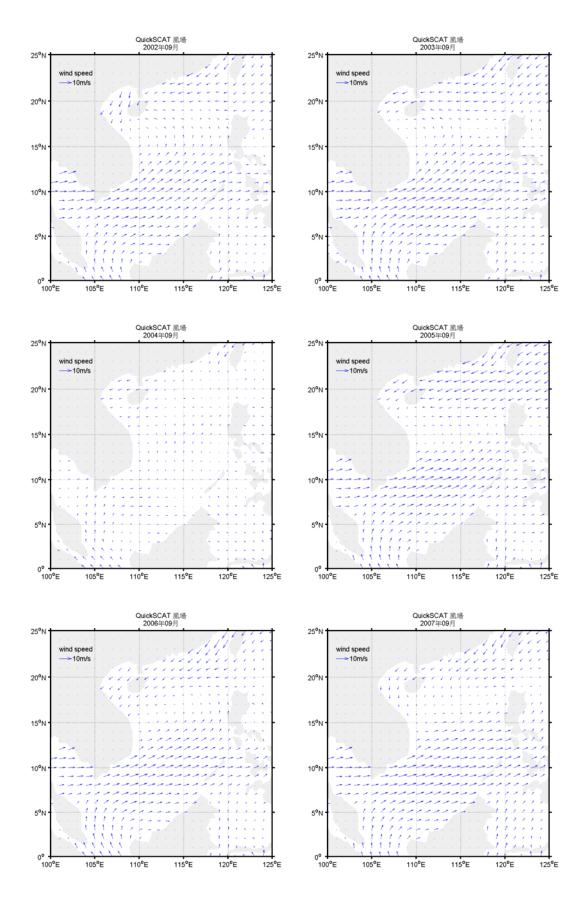


圖 4.44 2002 年至 2007 年, 風場九月月平均

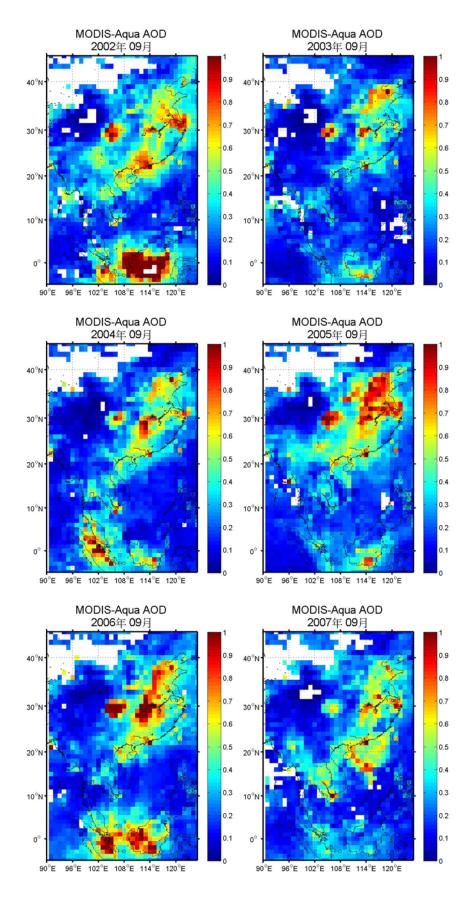


圖 4.45 2002 年至 2007 年, AOD 九月月平均

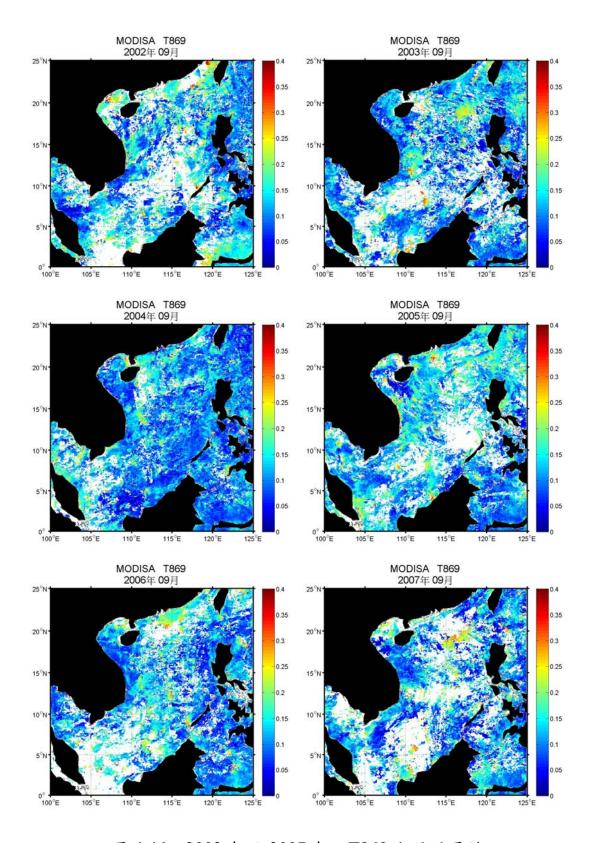


圖 4.46 2002 年至 2007 年, T869 九月月平均

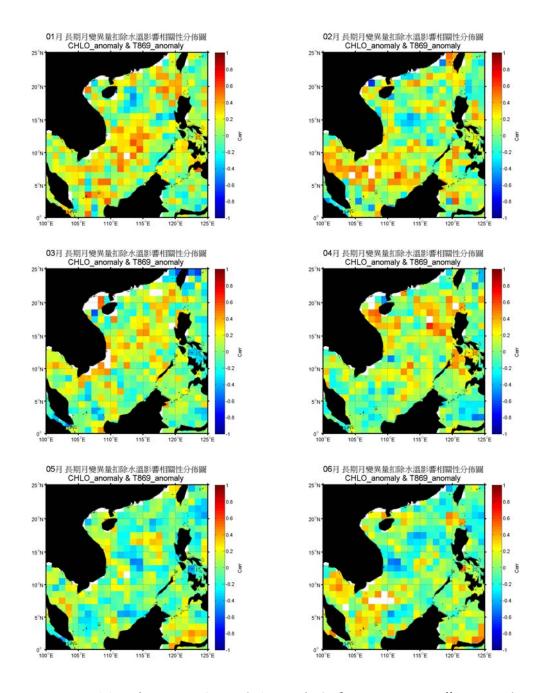


圖 4.47 Chl-a 與 T869 各月長期月變異量排除水溫影響之相關性

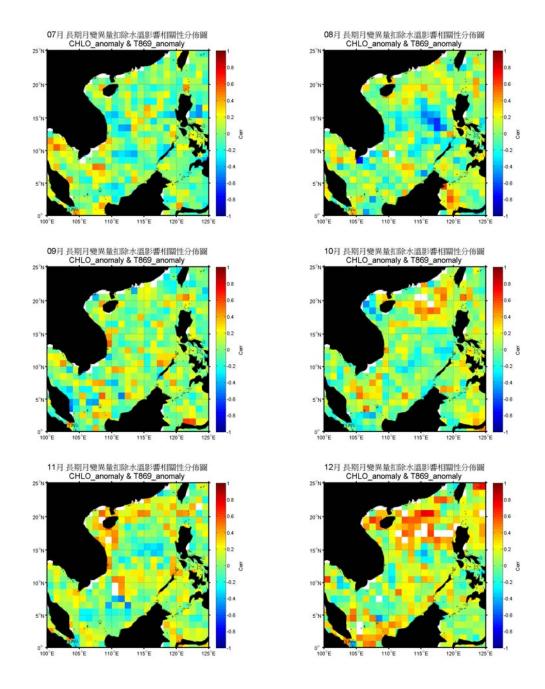


圖 4.47(續)

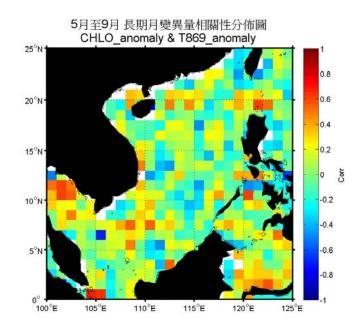


圖 4.48 Chl-a 與 T869 長期時間月變異量排除湧升影響之相關性 (五月至九月)

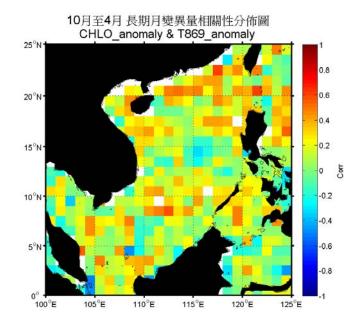


圖 4.49 Chl-a 與 T869 長期時間月變異量排除湧升影響之相關性 (十月至四月)