

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：地球與太空科學

作品名稱：探討太陽黑子與珊瑚生長速率之關連性

學 校：高雄市立高雄高級中學

作 者：林大為

作者簡介

林大為，生於 1988 年高雄市，目前就讀於高雄中學二年級。父親於高雄市三民家喬任教，母親任職於高雄市東光國小，妹妹就讀高縣文山高中。平日以學校課業為主、學術學習研究為輔、空閒時打羽毛球及慢跑。上高中後，參加「基礎科學人才培育計劃」，向游鎮烽教授學習不少研究方法及做事態度，未來希望走學術研究，探索真理。



中英文作品摘要

中文摘要：

微孔珊瑚是優良的生物氣候記錄器，可準確記錄海水表面水溫、陸源沉積物通量和其他微量海水組成等，已成為熱帶氣候變遷研究的重要工具。然而，珊瑚成長速率則顯著受限於海水表溫影響（邱景星，1999）。太陽是地表能量最主要來源，其活動狀態能深遠掌控地球氣候變化，因此其週期性變動規律，已成為近期地球科學家探討環境變遷的重要資訊。

本研究以台灣東南外海綠島採集的微孔珊瑚骨骼樣本，藉由 X-ray 精確測量其年平均生長速率及觀察骨骼內微量腐殖酸螢光特性，並透過比對太陽輻射量、珊瑚生長與太陽黑子數目的相關性分析，以推倒百年來控制地表氣候變遷的主要因素。

本研究經由頻譜分析、主變量計算、平均標準差和太陽輻射角修正，獲得正確太陽黑子數目、地區性輻射、海水表面溫度和珊瑚生長速率等資料，並討論其間的相互關係。

結果顯示，太陽輻射、海水表面溫度和氣溫有高度正相關 ($r^2 > 0.62$)，證實太陽對地球氣候系統的重要性。太陽黑子與輻射資料，則因大氣折射、日照時數等因素影響，正設法解決這些干擾效應；而珊瑚生長速率與海水表面溫度的相關性，則涉及雙極化效應（註）及其他未知因素影響，尚待進一步釐清。

（註）：雙極化效應指珊瑚在過高或過低的環境下，生長速率皆會停止

Abstract

The skeleton of *Porites* corals is one of the most useful biogenic recorders, which provide relevant information of abrupt climate change, such as sea surface temperatures (SSTs), riverine sedimentary flux, and seawater compositional variations. Information retrieved from coral skeleton, therefore, has become a powerful tool for studying tropical climate change. The annual growth rate of *Porites* corals, however, was affected strongly by local SSTs (Chiu, 1999). On the other hand, the climatic condition on Earth surface is regulated significantly by solar activity. Subsequently any intensity or periodicity variation in sunspot activity will cause major global environmental changes.

This research aims to study coral skeleton collected from the Orchid Island (Lan-yu) offshore southeastern Taiwan for precise measurement of annual growth rate using X-ray density bands, as well as the luminous characteristics of trace humic acids in skeleton. A systematic comparison among solar irradiation, SSTs and coral growth rate will provide critical information on major factors that may affect environmental changes occurred during the last millennium.

In this study, we apply spectrum analyses, principal component, mean standard error method, and modified sun irradiation angle to correct biases presented in the available data of observed sunspot number, local irradiation, SSTs and coral annual growth rate and to examine possible relationships among these factors. We have found excellent correlation coefficient ($r^2 > 0.62$) in solar irradiation, SSTs and air-temperature, which support the importance of solar irradiation to the earth surface climate. However, effects on cloud and length of sun irradiation need further investigation to emphasize the importance of sunspot activity to the annual growth rate of *Porites* corals. No straight forward relationships were observed between coral growth rate and local SSTs due to complicated biological effect (1*) or other unknown factors, waits for further investigation in the near future.

1* Complicated biological effect means that coral may stop growing their skeletons when the temperature it lives in is over range for growth.

研究動機、目的與介紹

太陽的差速自轉，使太陽的磁力線糾結，浮出太陽表面的部份就形成高能磁場，阻礙下層電漿物質上昇，形成較低溫的太陽黑子。太陽黑子本身亦是非常亮，不過，和太陽其他地方比較，則較為黑暗；雖然太陽黑子的溫度是比太陽其他地方低，但是，當太陽黑子愈多時，太陽的溫度則愈高。

科學家相信，太陽黑子的多寡，圍著 11 年的週期循環，在最多太陽黑子的時候，太陽本身會因為磁力線過度糾纏而使得核融合反應劇烈，導致溫度上升，而太陽的閃焰和磁爆亦會十分猛烈，在太陽附近形成太陽風，直接影響地球的天氣及通訊系統，也可能損害地球上空的人造衛星。

科學家也懷疑，二百年前十七世紀末地球發生了寒冷天氣，科學家稱為"小冰河時代"("Little Ice Age)，是由於當時太陽黑子數目非常少，而太陽的活動異常地低，在北歐，寒冷的天氣更持續達 50 年之久，而 11 年周而復始的太陽黑子週期，似乎停頓了下來；在 1800 年至 1830 年間，太陽黑子的數目又突然減少，使地球再度變為寒冷的天氣，後來的科學家戲稱 1816 那年為"沒有夏天的年份"("The Year without a Summer)，這個時期，也是在作家狄更斯(Charles Dickens)故事裡，所描寫的冬季「寒冷的倫敦」的年代。

到了西元 1843 年，德國藥劑師施瓦布(H. S. Schwabe) 宣布發現了太陽黑子的週期，加上 1851 年蘇格蘭天文學家拉芒特 (J. Lamont) 發現太陽磁力線的週期和同年的薩比恩爵士 (Sir Edward Sabine) 也發現太陽表面地磁擾亂表現一種週期性的變化，而這三種發現的週期竟然一致，加上之前太陽對地球溫度的改變有相當大的關係，使得太陽黑子變成天文學家的研究焦點。

從小時候，就常看到書上寫到：太陽和我們的生活是息息相關的，而太陽的活動情形又會表現在太陽黑子的數量、大小、和移動速度上。從此我就對於這個影響我們生活的物體感到興趣。等到上高中後，基礎地科和天文社的課程，對於太陽黑子的過去、未來沒有做任何的描述，使我感到非常大的疑惑，經資料查證後發現，其實沒有多少人做以時間間隔較短的研究，使我在做此研究前，有很多未知的變數。

對於太陽與地球各方面的關係的研究方法是以溶解岩心或鐘乳石、粹取重金屬、分析微量元素、或是計算岩心內部單位體積內所含有細小生物的數量，來求得當時氣候。在眾多對天氣研究的文獻中，我查閱到大陸科學家 Ming Tan 等科學家 (2004) 所發表的研究，讓我映象深刻。他們所分析的是北京附近河流水中含有的碳酸鈣累積而成的鐘乳石，研究方法以鋁、鈣等同位素進行微量變化分析，與北大西洋地區的氣候比較，來求出更早的氣候變化。經過瀏覽這些著作、論文、期刊後，我發現這些著作沒有以巨觀的角度看世界、忘記了珊瑚上有藻類，可行光和作用、忽略了太陽輻射量會影響珊瑚的生長速率。我希望以本研究，找出珊瑚生長速率與其生長能量來源-太陽間的關係。太陽發出輻射能，影響地球氣候，而氣候直接反映在生物上，像是溫帶動物冬眠、樹葉枯黃掉落...等。藉由研究會留下氣候刻痕的生物，反推回氣候，間接求出太陽本

身活動，這不只是理論，也是本研究的目的。

如果要研究太陽活動的過去、未來，要找一個忠實的紀錄器，詳細紀錄太陽活動變化。在前人研究氣候中，大部分樣本是使用物質沈積所形成的沈積岩，但是樣本有沈積速度慢、尺度太大、容易被侵蝕等缺點。所以我希望以生物為對象，而且那種生物需要以下特徵：

1. 避免地球表面的風化和侵蝕：

地球表面有各種侵蝕，包括物理風化，還有化學風化，更有板塊擠壓運動，為了避免侵蝕，此生物要有保護機制，保護記錄。

2. 會累積可經辨識的氣候記錄，或形成物具可分析性：

此生物所生成的紀錄，要有樹木年輪般易分辨，以利分年比較。

3. 可以活到上百年，以供比對太陽活動的資料：

太陽的活動週期最有名的是 11 年太陽黑子週期，對地球資料來說，最好有數百年以避免特殊的情況。

4. 生長在熱帶，太陽大都直射熱帶，受陽光影響較大：

太陽輻射集中在南北緯 23.5 度附近，此區生物受太陽輻射影響最多。

5. 直接利用太陽能，能反應太陽活動情形：

對於太陽輻射最直接利用的生物，非光和作用生物莫屬。

6. 前人做過初步的研究：

有了前人的經驗作參考，可以減少錯誤，也可以當證明的證據。

，為了以上的因素，我選擇微孔珊瑚作為我的研究對象。

微孔珊瑚生長於熱帶到副熱帶之間，大部分在水深 10m 內，靠近海岸沙底的邊緣，它們適合生長的溫度為 22°C 到 28°C 左右，溫度太低則不生長、溫度太高則白化，形成「白珊瑚」。其群體往往形成大型的團塊狀或鐘形微孔珊瑚，直徑最大可達數公尺。微孔珊瑚最大的特徵是群體形成團塊狀，可以生長在海流流速強烈的地方，抗海流性高，而且其生命期長，直徑數公尺的珊瑚，大約有數百年的歷史，例如這次研究所使用的珊瑚骨骼標本，長度 1.5m，約一百多歲，所以微孔珊瑚適合做長期分析的生物。

研究步驟

壹、實驗樣本描述

一、地理背景調查：

綠島位於台灣東南方，約距離 33km，島中心位置位在東經 121°29'，北緯 22°40'，氣候上屬於熱帶季風氣候區，陽光可直接反映在珊瑚的骨骼上。黑潮終年通過全島四周海域，水溫四季皆在攝氏 20°C 以上，水質清澈，利於陽光透入水中，適合珊瑚生長。

這次選取的微孔珊瑚骨骼標本，採自綠島北岸公館外海的珊瑚礁地形海底。採集時間在 1988 年 9 月 10 日，深度約 8m，離岸邊約 40m 多，母株生長環境水質清澈，海流穩定，溫度變化不大。在綠島可以遠離都市人們的污染、減少土石流所覆蓋的污泥、海底地形平緩等地理優越位置，加上黑潮一年四季皆通過於此，水溫、鹽度不會差距太大、綠島本身地形不高，降雨量較少造成陸地沈積物少等各項優勢，成為台灣研究珊瑚的好採樣地點。



二、珊瑚採集：

珊瑚骨骼樣本由國立成功大學地科所提供，珊瑚骨骼的狀況可藉由採集過程而瞭解之後作分析中，影響因素的來源。

1. 在綠島公館附近以水肺潛水找大型、外型渾圓的現生微孔珊瑚。外型渾圓是為了使採集樣本時取到生長特別異常的珊瑚。
2. 選定珊瑚後，用水下鑽機取直徑 7cm 的珊瑚骨骼，本研究所採珊瑚長 153cm。

三、挑選樣本：

成功大學提供的微孔珊瑚標本多達 9 株，適合本研究的樣本，生長年代要久，挑選生長刻痕清晰、紋路平行的樣本，而最重要的，生長不能被中斷。微孔珊瑚常會因為水溫太高太低、水質混濁、酸鹼值改變.....等的因素，導致在短時間內，停止生長。最後選擇中研院在綠島外西北方「公館」附近所採的微孔珊瑚骨骼柱，總長 153 cm，直徑 7.2 cm，總年齡約一百多年。樣本分成三段，接合處相當吻合，不怕估算遺漏，而且此樣本中間沒有任何被魚吃過、停止生長、破裂的痕跡。



貳、製備實驗樣本

一、切取樣本截面：

之後的資料分析中，X-Ray 照片和螢光拍攝皆需要平面的樣本，分析數據較精確。本步驟的珊瑚切割工具由成大提供，刀具以圓形鋸片為刀具，刀片下方有水箱，隨時冷卻刀具，以防止珊瑚過熱而產生變質，影響研究數據。



切割珊瑚的情況

剖半的珊瑚標本

二、擷取樣本切片：

原始樣品為半圓柱體，照 X-Ray 時透光率不一，生長刻痕交雜不清楚，不容易計算其生長速率，切成 5 mm 的薄片，方便量測。第一根樣本特別長，怕切割時斷裂，故切成較寬的 0.7 cm。在切削中，切割刀片會磨損消耗珊瑚達 1 mm，在切割時有預留消耗部分。

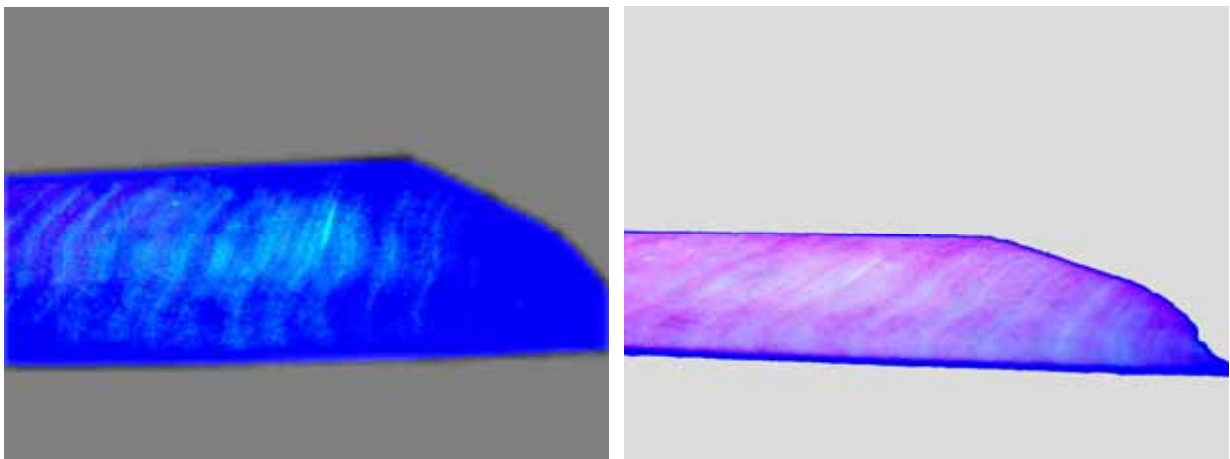


參、估算樣本年齡

為了減少計算誤差，採用兩種方法取珊瑚的圖像資料，其中 X 光底片再分成兩種方法估算珊瑚每年的生長速率，以利互相校正。

一、螢光照射：

樣本本身紋路在日光燈下並不明顯，而珊瑚骨骼是生物遺留物，含有機酸（腐質酸），可以藉紫外線發出螢光。腐質酸依照來源分成兩種，一種是陸源腐質酸，發出綠色的螢光；另一種是海水原生的腐質酸，發出藍色的螢光。我希望藉由螢光照射來校正 X 光照片的誤差。另外也可以藉由珊瑚骨骼的螢光照片，判斷此珊瑚各時期接受陸源有機酸的程度（何學賢等、1995）。



不同拍照角度下的珊瑚骨骼螢光照

二、X-Ray 照相：

珊瑚骨骼很像樹的年輪，夏天長的快，冬天長的慢。海中所富含的 H_2CO_3 和 Ca^{2+} 短時間內不會隨而改變，加上珊瑚內部產生鈣化物（鈣化過程）的組織單位時間產量一定。但是珊瑚的生長長度隨著海水表面溫度而起伏不定，導致夏天沉積的骨骼密度比較低，相對的冬天沉積的骨骼密度比較高。而拍珊瑚骨骼的底片是正片，密度較高的地方曝光率較低，底片顏色較亮，同理可知，骨骼生長密度較低的夏天，在底片上顯示出較暗的色帶。



三、比較螢光照片與 X-ray 照片的差異

在比較 X-ray 照片和螢光照片時主要是確定 X-ray 照片裡的疏密程度有兩個目的，一是比對出珊瑚的生長疏密和所接受的有機酸是否同時隨著一年四季而改變。二是瞭解樣本採集當地的天氣水文狀況。

1. 在台灣冬天與夏天的雨量差距甚大，冬天時雨量少，陸源腐質酸堆積在河床；夏天雨量使河流流量增加，腐質酸隨大量泥沙沖刷入海裡，會分別反映在生長速率及螢光上。

2. 藉由螢光照片上綠色及紫色螢光找出螢光亮度異常處，對應在 X-ray 相對的年份，找出發生異常的時間。經由觀察異常發光帶，對照氣象資料，可以知道影響珊瑚的因素也可以了解當地乾濕季交替時間。

肆、測量各年珊瑚所生長速度

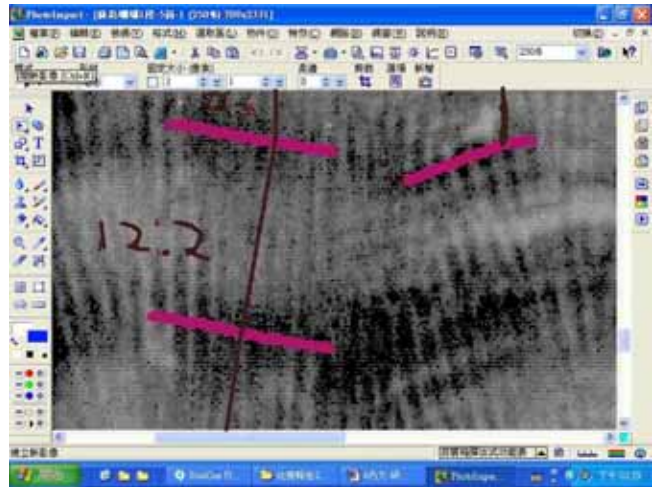
對於珊瑚的生長速率計算方式，牽涉到標準的問題，我以兩種方法（也就是兩種標準）分別量取每年生長長度，完成後出後互相比較，希望藉此求出比較接近實物的數據。

一、尺規量測：

1. 掃瞄 X-ray 照片：

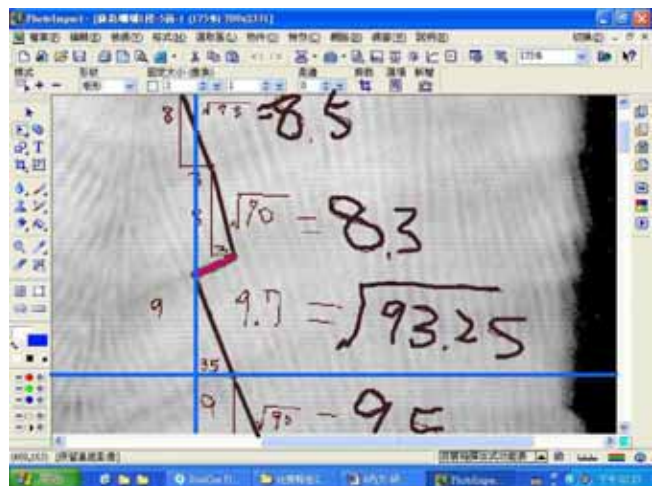
2. 畫年生長長度線

以 Photo Impact 開啟，在影像上以顏色分辨一年長最快、密度最低的夏天，劃上記號，如右圖桃紅色線條。以兩線間，拉垂直線，得最短距離，如棕色線直線。為了符合小珊瑚蟲的生長長度，線段儘量沿一條痕跡畫。

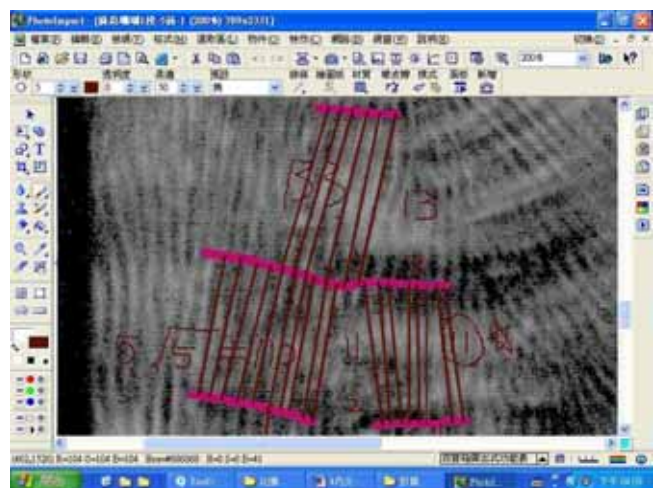


3. 測量每年生長長度：

利用 Photo Impact 內建的輔助工具，如參考線（藍色線段）、座標值（左下角數字），含有數學上的畢氏定理 $C^2 = A^2 + B^2$ ，求出斜線長度。



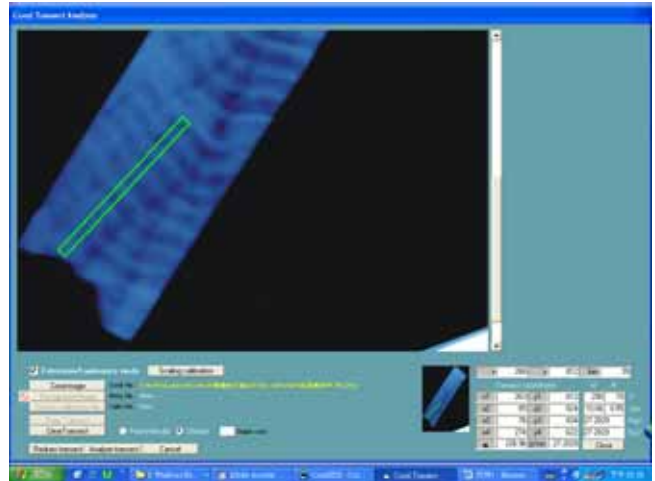
以上三步驟，求得微孔珊瑚一年的生長長度。而中間避免特殊數值，不能反映平均生長長度，在生長界線（桃紅色線）較崎嶇的部分，多量測幾次，取平均值。得到的數據如附錄 1，單位為 mm，準確值達到 0.1mm，小數量位以下四捨六入，五看小數第一位，雙數則進位，奇數則捨去。



二、軟體計算：

利用先前拍攝的 X-Ray 照片所顯示的紋路，掃描進電腦後由 Nova Southeastern University 海研中心提供的 CoralXDS 進行年生長長度分析。取得各年生長的數據、經過尺規量測校正後，再跟太陽黑子數量進行比對。

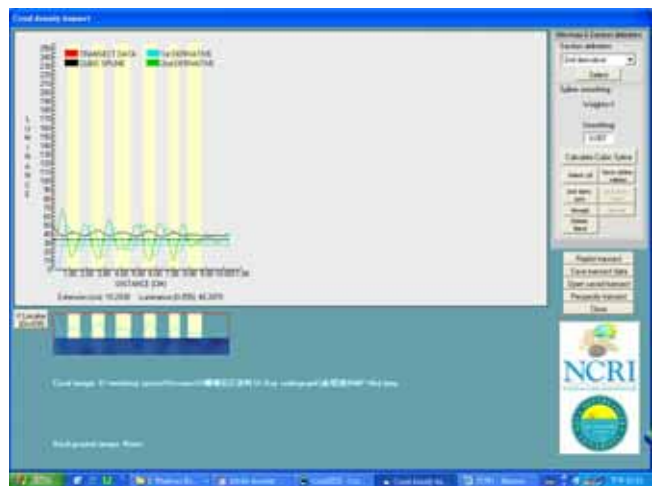
1. 因為圖片在電腦中會縮小，在載入的圖片上，取 1 單位（實際上照片的 1cm）設為 1cm 做為參考長度。以軟體內建成是選取待測的部分。選取測量時，以年分界清晰度為分辨標準。如人工計算長度，在照片較不清楚、明暗不分明和生長圖形陡峭處，多取幾條，求其平均值。



2. 確定選取後，程式會計算被選取部分的名暗度，並以 Y 軸大小表示明暗度，如左圖所示。X-Y 圖需經過單位比例調整，使明暗帶明顯、雜訊縮小。如遇到左圖中不明顯處，則以 X-ray 照片為主。



3. coralXDS 在進入最後步驟時，會將所選部分獨立出，並畫出亮度位置圖，方便使用者便是。經過明暗及顏色比例調整，使程式便是出明暗帶分佈，如途中黃色帶所示，程式並會自動計算以一條黃色帶及一條非黃色帶為單位，每單位間的距離，

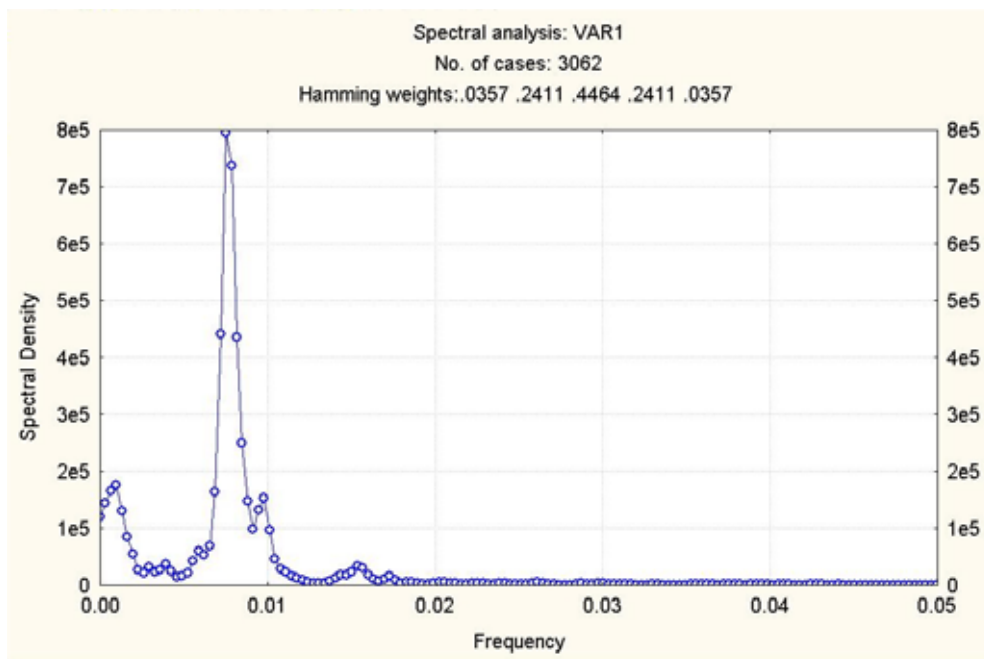


伍、氣候觀測數據取得與分析

一、利用不同性質分組：

1. 利用太陽黑子週期性變化分組：

由比利時皇家天文台的太陽黑子資料中心 (SIDC) 下載太陽黑子歷年數量，輸入進 Statistica 進行頻譜分析。此軟體可以把各種資料的出現頻率以作圖、資料排序等表示資料的出現頻率、週期、強度等資訊。輸入計算後，太陽黑子的週期為 133 個月，相當於 11.1 年，而這是大家最熟悉的週期。之後會以週期為單位，把珊瑚生長速率及太陽黑子數量作每個週期的比對。為了方便計算及比對，太陽黑子數據單位用「資料數」，而不是正常的日、月為單位。



上圖為頻譜分析結果，所得到的數據分析圖

資料大約以最低點為始末，如

- A. 資料第 1-78 項為第一組
- B. 資料第 79-211 項為第二組
- C. 資料第 212-344 項為第三組
- D. 資料第 345-477 項為第四組

等，分成 24 組，其中第一組及第 24 組為不完全組，其餘 22 組為完全週期組。

2. 利用太陽黑子活動程度分組：

由同樣資料，同樣輸進 Statistica 計算活動程度，根據前面太陽黑子時間對數量圖，分成兩組，做分組比對，求出不同組別所影響的特殊因素。同樣的為了方便計算及比對數據，太陽黑子數據單位用「資料

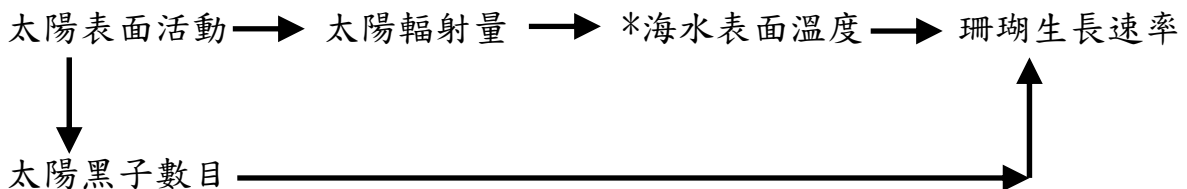
筆數」。在分析太陽黑子數量時，發現太陽黑子以 125 個數量為分界，大於的數據在太陽最活躍的資料點只有一點，但是在小於 125 的數據上時，極大值卻有數個資料，為分析方便，分成兩組。

A. 月數量大於 125 個：

B. 月數量小於 125 個：

二、建立資料間的相關性：

雖然在理論上，太陽黑子會間接影響珊瑚生長，但理論終究是理論，沒有驗證，不知對或錯。以下是理論的關係，箭號（→）為影響關係。為了要把理論轉成實用，要先連結這些相關資料的關連性，才能直接比對太陽黑子與珊瑚生長速率的變化。其中在星號箭頭（→*）處，是變因最多、數據有出入的地方。



而又因為後來資要比對時發現資料相關性不大，所以轉成以分析為主的資料比對方式，而連結資料間的相關性的動作，也順便融入分析資料特性之中。而資料解釋的順序，採用從上到下，從天空到海底的順序排列。

1. 分析太陽黑子數量特性：

太陽整體活動的表現方式之一。太陽活動採輻射變化、日珥、日冕、太陽風、太陽黑子等方式表現整體的能量變化大部分能量是以輻射能的方式傳到地球，而其中以太陽黑子是唯一可以以簡單儀器觀測到的數據，所以這也是本研究的目的。

2. 分析全球輻射量變化：

地球上各種生物的能量大部分皆來自太陽，而太陽的能量皆藉著輻射傳遞，而且前人的研究發現（Judith Lean 等、1999），全球輻射量與地球海水表面溫度有九成的符合率，所以需要對此資料作分析工作。

3. 分析地區性輻射量變化：

雖然說太陽會影響的是全球性變化，但是不可能每次要做有關太陽的研究就要蒐集全世界的資料，而世界性的資料庫是最近幾年才建構出，20 世紀皆沒有資料，所以把全球性的輻射量轉成地區性的輻射量，以利比對。

4. 分析地區性溫度變化

在氣溫，對於人是最切身感受的到，也是擁有最多前人研究的數據。有前人的發現探索，和問題的討論提出（黃淑惠、2001），發現溫度和太陽黑子的11年週期有重疊，但未做深入探討，可作為本研究的中繼資料，或成為有力的證據。

5. 分析海水表面溫度：

對珊瑚的影響最大的就是海水表面溫度，尤其珊瑚裡面含有的 Sr/Ca 同位素比可以回推海水表面溫度，而且誤差只有 0.02°C ，代表珊瑚與海水表面溫度密不可分。又依前人研究，太陽輻射會影響海水表面溫度，所以海水表面溫度是資料連結的中繼站。

6. 分析珊瑚生長速率：

本實驗主要目的是連結太陽黑子與珊瑚生長的關係，對於得到計算生長長度，要分析其受影響的長期因素與各種突發狀況，如在1936年在生長長度方面異常的緩慢，相對的在螢光照片上，1938年附近出現明顯綠色螢光發光帶，值得分析。根據文獻研究，珊瑚的成長速度跟周圍水溫成一正相關（Weber、1973；Weber等、1975）

三、排除可能影響數據的因素：

因為在數值比對時，一定會有誤差，所以在比對前，要先把可能影響結果的因素去掉，但是實體上不可能把所有干擾去除，因此改用數學方法（回歸公式、公事推導）和資料討論，儘量把干擾消除。

1. 聖嬰與反聖嬰現象：

綠島在台灣外海，當聖嬰現象發生時，綠島和其他台灣東部的島嶼成為首當其衝的地區，這時大概是由於東北風減弱，或黑潮海流流速產生變化，使綠島北部海域的湧升流減弱所造成（邱景星、1999）。

2. 黑潮：

在綠島，黑潮會隨著季節而在台灣與綠島之間徘徊。而黑潮會影響附近水溫，讓珊瑚生長產生偏差。但是後來在蒐集相關資料時，由台灣東部黑潮流域之海水探化學研究（李福祥、2001）知道在黑潮流過的地區，海水溫度鹽度有很大的變化，可以用這方法看出黑潮是否至流綠島。所以從「國家海洋研究中心」以及IGOSS下載綠島附近的海水溫鹽圖，觀察結果跟典型的黑潮溫鹽圖相似，代表黑潮一年四季皆有流過綠島，影響SST變化中，年週期的變率最大的是太陽直射角度改變所引起的黑潮消長，反而黑潮變成主要影響因素的中繼資料，而不是干擾結果的雜訊。

3. 太陽直射角度：

雖然採樣的地點在熱帶，太陽與中天的角度不大，但太陽的直射角度會隨著四季不停的改變對珊瑚的直射角度。再加上地球對於太陽的軌道年年在變，太陽所發出的輻射量，不能由地區性所測得的數據直接推算，所以要求得全球輻射接受量。取地區和全球間的差異，解開各影響來源，如不同大氣的透光率、太陽直射角度、大氣折射率.....等，再加以扣除。或者是計算太陽輻射到地面中經過的大氣與角度關係。

1. 假設：

A. 以大氣總質量 99% 的 40Km 作為大氣垂直厚度的計算：

陽光經過大氣干擾，但是高空的大氣稀薄，所佔質量甚小，如果把全大氣層帶入計算，誤差將會很大。

B. 40Km 內的大氣密度是一樣的：

雖然 99% 的大氣聚集在高度 40Km 內，但是越下層，大氣密度越大，但是因為大氣不停的擾動，不可能算出所有的密度。

C. 太陽為無窮遠處的平行光：

從太陽到地球的距離比大氣厚度，有 $1.496 \times 10^8 \text{Km}$ ，而有效大氣厚度只有 40Km，太陽到地球是大氣厚度的 3740000 倍，幾乎算是平行光。

D. 陽光照射到地表能以定值的吸收能量：

地球不是完全黑體，會反射部分太陽光及發射某些紅外線到太空中，而這些卻不是定值，而且同大氣密度，不停變動。

E. 地球為完全圓形：

地球是橢圓形，但是長短半徑差是 21Km，但是跟平均半徑(6371Km)比，影響甚小，不列入考慮。

2. 計算輻射經過不同大氣的距離：

A. 令地球半徑 R

太陽直射角 a

大氣厚度 H

輻射射入地球所經大氣厚度 L

另外令 a 的補角為 b ($b = \pi - a$)

B. 距離推導

由餘弦定理

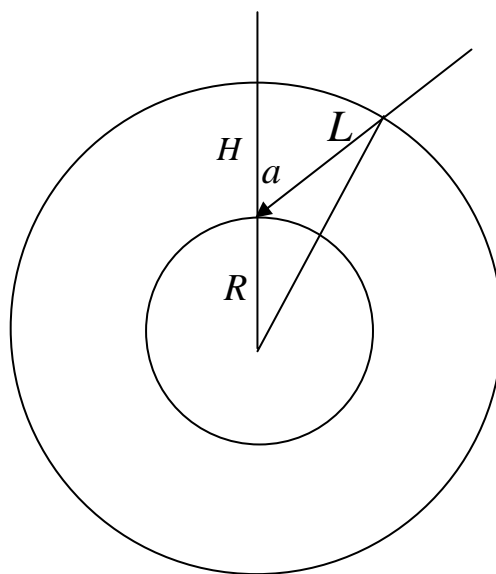
$$(R+H)^2 = R^2 + L^2 - 2 \times R \times L \times \cos(b)$$

$$L^2 - (2 \times R \cos(b))L - (H^2 + 2 \times R \times H) = 0$$

$$L = R \cos(b) + \sqrt{(R^2 \cos^2(b) + H^2 + 2 \times H \times R)}$$

代入數據 $R = 6371 \text{Km}$ $H = 40 \text{Km}$

$$L = 6371 \times \cos(b) + \sqrt{(40589641 \times \cos^2(b) + 511280)}$$



3 計算輻射角度不同，單位面積能量變化：

A. 令太陽直射角 a

直射單位面積為正方形 $E1$ ，邊長為 X

太陽輻射量 T

以 a 角度照射的多邊形 $E2$



B. 單位面積推導：

由三角函數表示 $E2$ 的邊長為 T 和 $T \times \sec(a)$

則面積比：
$$E1 : E2 = X^2 : X^2 \sec(a)$$

因為面積比 = 能量反比

單位面積接收的能量比：
$$E1 : E2 = 1/1 : 1/\sec(a) = 1 : \cos(a)$$

得到在同樣強度的輻射下，直射角度和單位接收光度的關係為 $\cos(a)$

4. 求不同角度及經過不同長度的單位面積中的輻射能量比：

A. 假設如上兩是之假設：

地球半徑 R

太陽直射角 a ， a 的補角為 b ($b = \pi - a$)

大氣厚度 H ，輻射射入地球所經大氣厚度 L

另假設垂直地面的光線單位能量 $E3$ ，以 a 角度射入的輻射單位能量 $E4$

B. 推算能量比：

由光度對距離公式

$E3 : E4 = L^2 : H^2 \cos(b)$ 又使用 \cos 函數，有正負值，要加絕對值

$$E3 : E4 = 1 : \left| \frac{H^2 \cos(b)}{L^2} \right|$$

代入 $L = 6371 \times \cos(b) + \sqrt{(40589641 \times \cos^2(b) + 511280)}$

$$E3 : E4 = 1 : \left| \frac{40^2 \times \cos(b)}{\left[6371 \times \cos(b) + \sqrt{40589641 \times \cos^2(b) + 511280} \right]^2} \right|$$

$$E3 : E4 = 1 : \left| \frac{1600 \times \cos(b)}{81179282 \times \cos^2(b) + 12742 \times \cos(b) \times \sqrt{40589641 \times \cos^2(b) + 511280} + 511280} \right|$$

得到公式後，將修正後台東輻射代入，求出直射能量後，與太陽黑子比較。

4. 天氣變化：

當陰天或是雨天時，會直接影響珊瑚對陽光的吸收率，但我們又不能準確的知道何時有雲、何時有雨，所以利用綠島附近的數個氣象觀測站測得的輻射接收量，比對各個地方的輻射量在短時間內的細微差異。因為天氣變化是不可精確測量，處理方式是藉討論來消去定性的因素，而不能以定量方式處理。

陸、綜合比對網路數據及樣本數據

直接比較數據，無有意義的。先把每個數據的特殊性、獨特性，和其他數據的影響方式，分析、解讀出，到最後在綜合解釋、比較差異，以間接比對數據。

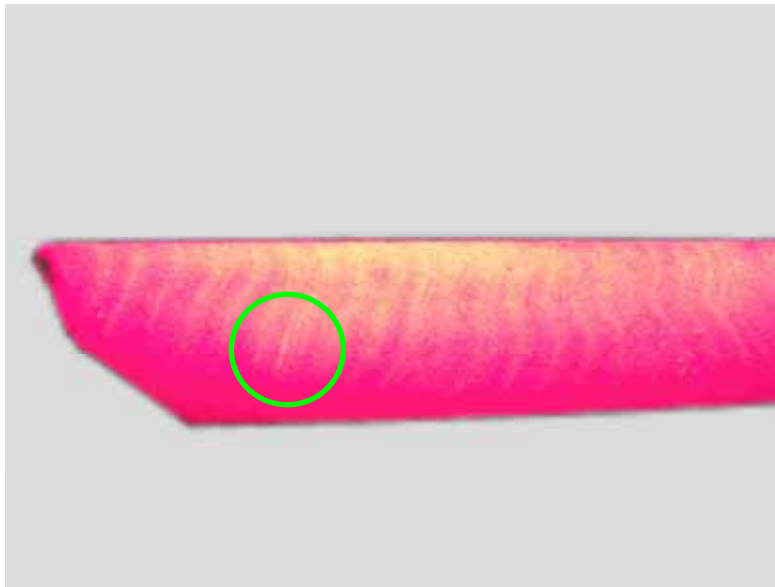
研究結果與討論

壹、樣本照片分析：

比較螢光照片與 X-ray 照片間的差異。

一、螢光照片分析：

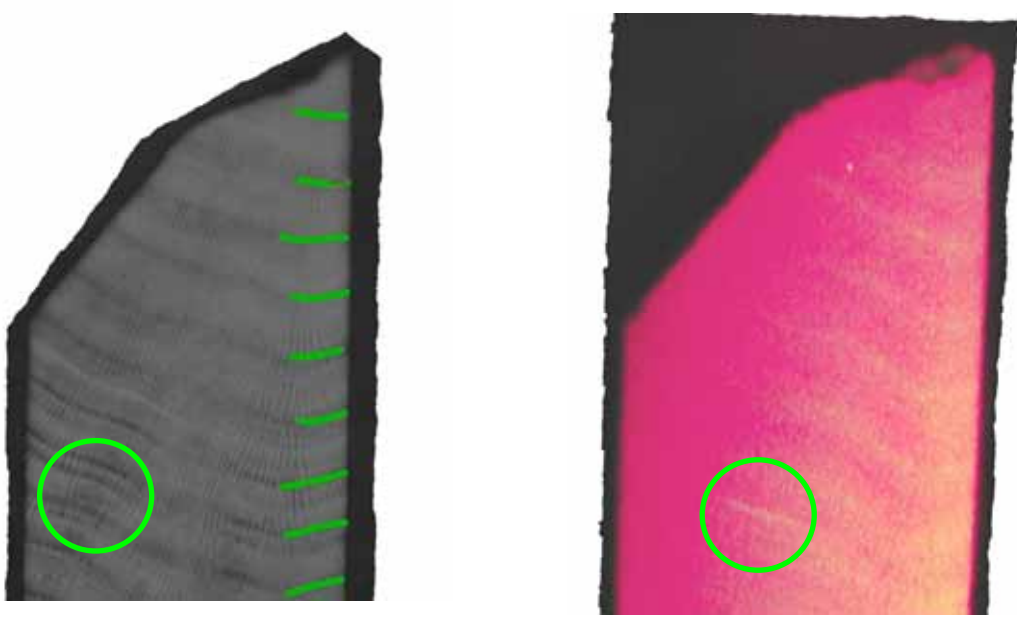
看螢光照片的目的，是找出發出藍色螢光的海水腐質酸和發出綠色螢光的陸源腐質酸。一年之中，當地夏天降雨較多，冬天較少，使河水的逕流量改變。冬天時，沒有雨水補充，河流呈現乾溪狀態；初夏，第一波雨水把累積在河床的大量陸源腐質酸沖刷到近海大陸棚，導致珊瑚生長的骨骼中含有較多的陸源腐質酸，呈現綠色螢光；反觀盛夏，之前大量沖刷，盛夏的雨水反而乾淨。



上圖經過調色，使圈內螢光異常帶較容易辨識，以利比對時間

二、X-ray 照片分析：

計算珊瑚生長速率主要資料來源是 X-ray 照片，為求其正確性，要證明其生長速率受當地氣候有一定相關影響。利用 X-ray 照片下的明暗帶長短比對螢光照片，發現某些年的陸源腐質酸出現在 6、7 月部分，有些出現在 5、6 月。根據氣象局得到的歷年降雨量得知，梅雨季節有時早，有時晚，大致符合腐質酸出現時間。在照片上出現一段綠色異常發光帶，比對 X-ray 照片後，在 1938 年，螢光照片大約在 5、6 月時出現明顯綠色螢光，比對氣象局資料應該是聖嬰現象的影響。聖嬰現象會讓台灣附近夏天雨量增加 3 到 5 倍，沖刷大量陸源腐質酸到海底，被珊瑚重吸收，鈣化在珊瑚生長骨骼裡。另一方面，相同時期，在 X-ray 底片上的擷取生長速率特別慢，正好符合陸源腐質酸的出現時段。



利用上兩圖找出異常的年代

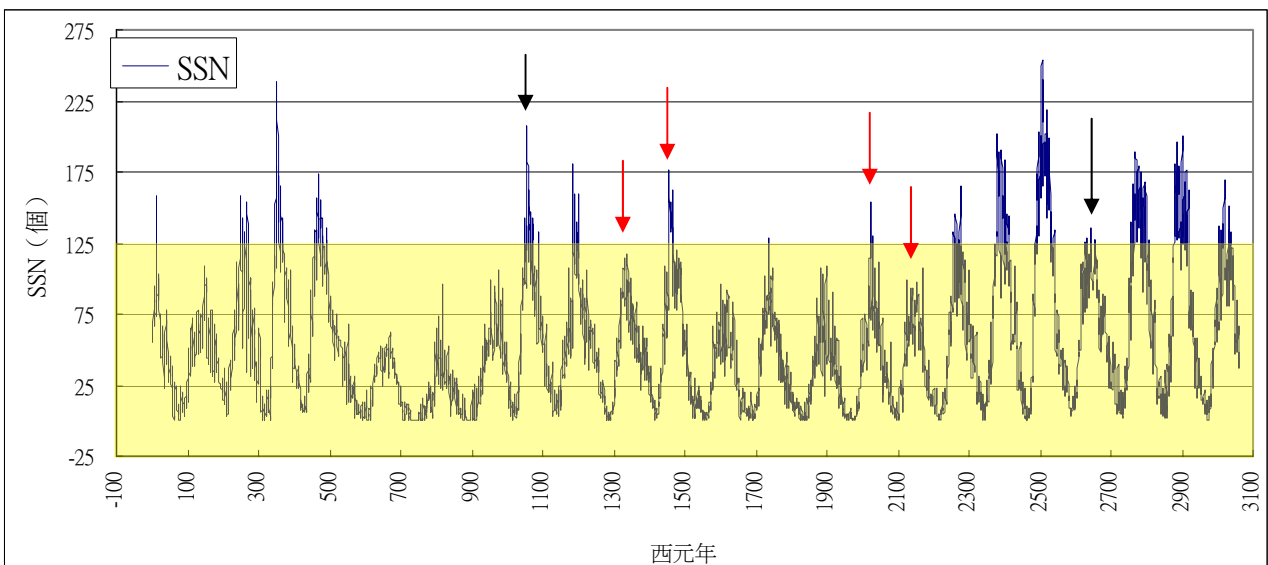
在螢光照片上，常出現肉眼看的到異常，在照片上不明顯，造成判讀困難。解決方法以調整色調 RGB 讓特殊狀況顯現。上右圖是調整後，約略可見異常帶。

貳、比對太陽黑子與珊瑚生長速率

經過比對，數據有很大的出入，如：太陽黑子數量升到一定高度，珊瑚的生長速率反而快速下降，或是生長的取現不像黑子般陡峭。經過線性回歸，吻合率最高只有 0.0997（吻合率最高為 1，越低代表資料越鬆散）。改變以決定採用其他路徑的比對模式如關係，以定性的圖形討論代替數字上的數學比對。證實太陽黑子與珊瑚生長速率關係的分析部分，融入了資料分析當中

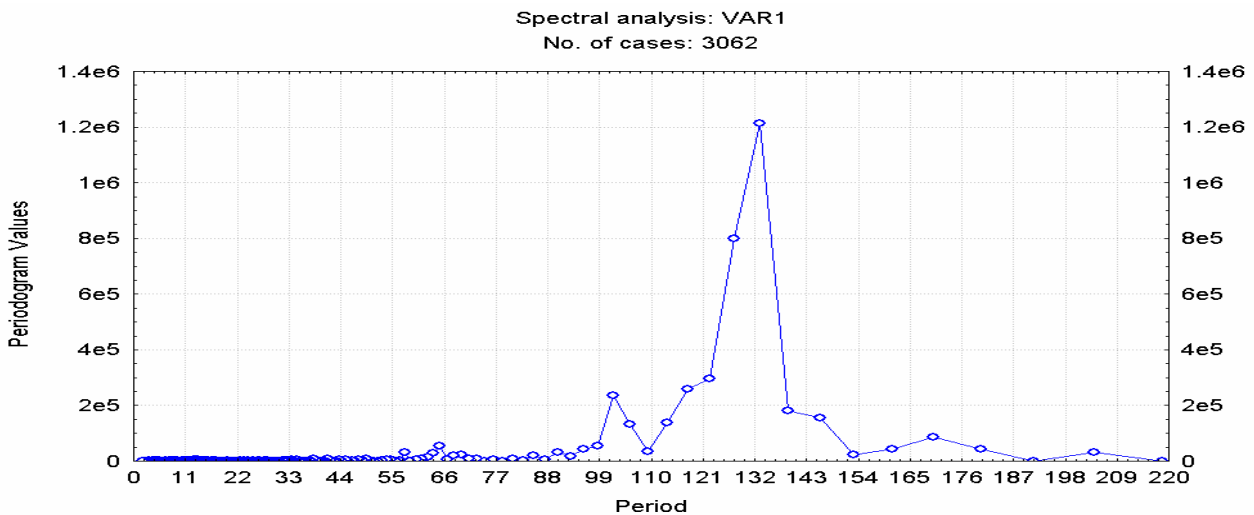
一、太陽黑子數據描述：

1. 時間-數量：



依照研究過程的分組，由左到右，每 133 個月為單位，分成 24 組，其中第 1、24 組為不完全組，其餘為完整組。在週期方面，明確的顯示出太陽黑子的 11 年小週期，每個週期的最低點皆相差不多，週期的時間大小相同。雖然每個週期的震幅並不一致，但是除了少數特殊情形，如上圖箭頭所指週期。大部分的最高點（數量最多）呈現漸進式的推移。另外，由上圖可以看出，週期有特別的特性，震幅越大、太陽黑子數目的極大值可以很容易判斷，如數據編組第 1、3、4、5、9、10、12、14、16、18、19、20、21、22、23、24 組。反之，週期的震幅越小、比較看不出所謂的極大值，但是有很多的次大值，如數據編組第 2、6、7、8、11、13、17 組，具猜測應該是太陽表面磁力線扭曲的變化程度所致，未證實。在強度方面，太陽黑子數據還有一個特色，從最低點回升後，大部分的數據都集中在上部二分之一的數量，相當於太陽黑子在週期中，大部分處在活躍的狀態下。

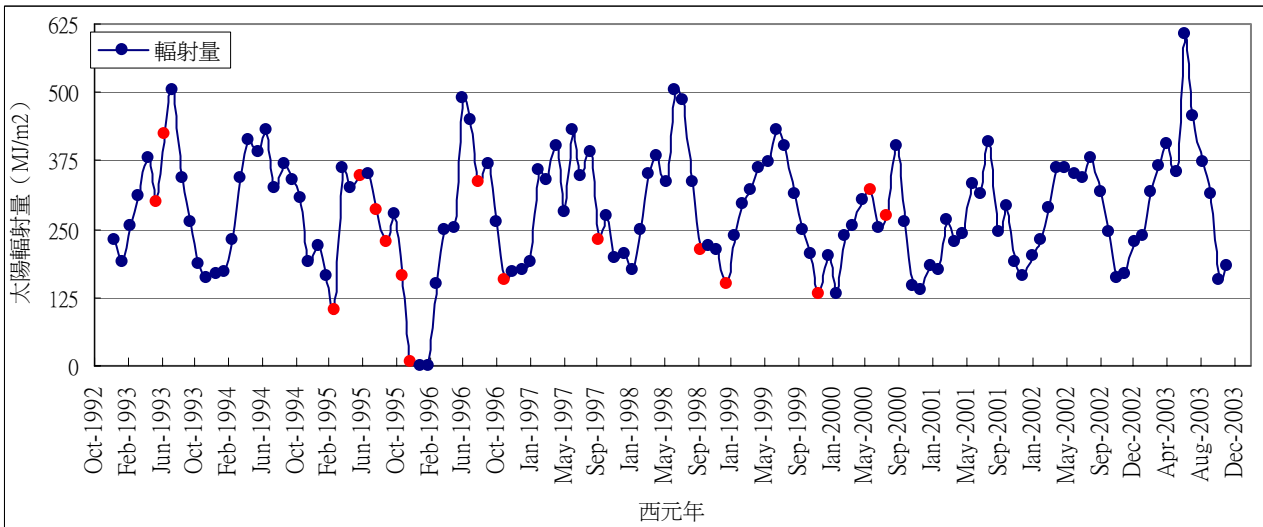
2. 頻譜分析:



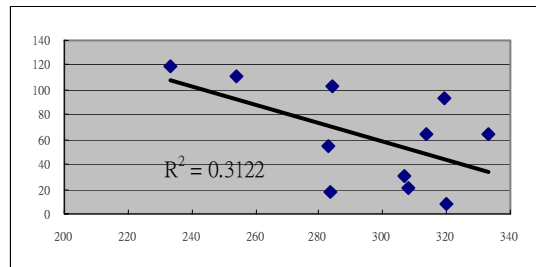
經由數據輸入 Statistica，求出不同時間間距的數量圖。在上圖，縱軸為強度筆直，沒有單位、橫軸為週期單位是月，而在圖中最高點的週期為 133，也就是 133 月為一週期，換算成 11.08 年，即為眾所皆知的 11 年週期。雖然在天文學上，太陽黑子的完整周期為 22 年，但是在頻譜分析上，在 20 幾年的附近，看不到強烈的頻率，根據比對時間-數量圖後，加上理論上太陽表面的黑子活動並不會因為磁場的反轉的極性不同而有不同的變化，所以推論應該是融入了 11 年的週期當中。另外發現位在 102 個月、117 個月的週期點，也就是週期為 8.5 年和 9.8 年，跟 1974 年 Theodore Cohen 與 Paul Lintzan 在 Nature 發表的研究成果 8.3 年以及 9.8 年相近，而他們是觀測太陽輻射總量所做的研究，而數據竟與太陽黑子數量分析所得到的結果一致。由此也可以順便證明，太陽黑子也是一種真實反映太陽本身活動的自然現象。

二、地區性輻射量數據描述：

1. 時間-能量：



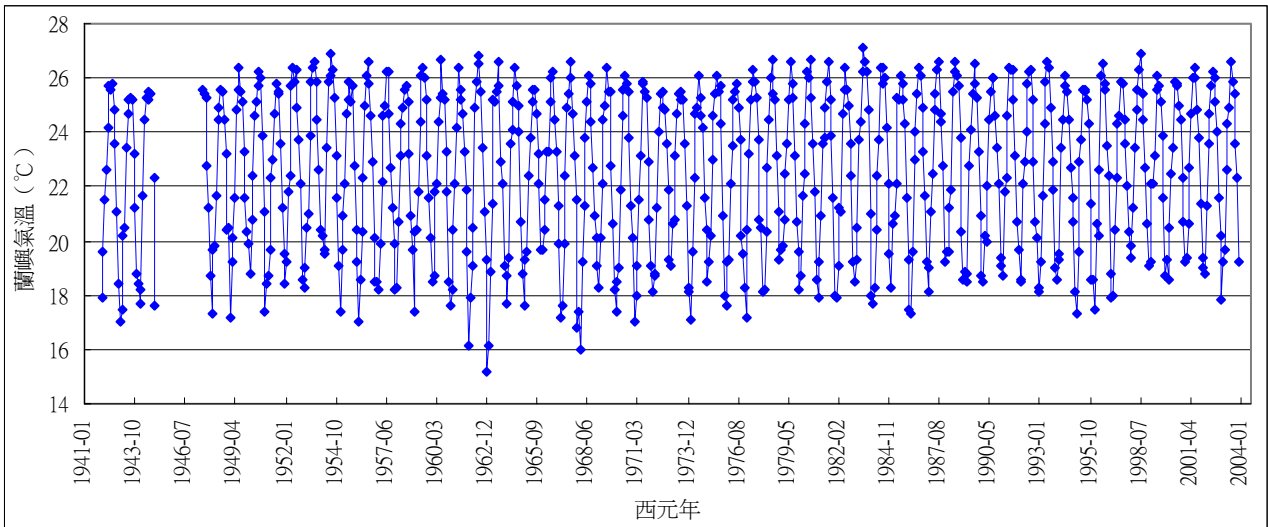
上圖藍點為正常輻射接收，紅點為有大量天氣異常、厚雲、氣候異常等特殊變化，在資料統計過程中，應該要去掉。在週期方面，當地所接收到的月輻射量，明顯有以「年」為單位的週期性變化，長一點的，看得到5-7年的週期，約等於近年來的聖嬰現象發生週期，但是在對於太陽黑子的11年週期，比對後，雖然 $R^2 = 0.3122$ ，但是資料量方面，因為當地的氣象站只有從1993年開始有輻射量記錄，所以只有11年的各月資料，相當於合併後11筆的年資料，與太陽黑子量相比，沒有多大意義。再加上根據前人的研究經驗 (Judith Lean等、1999)，太陽輻射量和黑子數量變化應該不是呈反比的趨勢。根據推測，應該是因為天空中雲量的變化。在熱帶海島行氣候地區，常有因輻射氣流而形成層積雲、捲積雲，反射、擋住射向地表的輻射能。



三、地區性溫度描述：

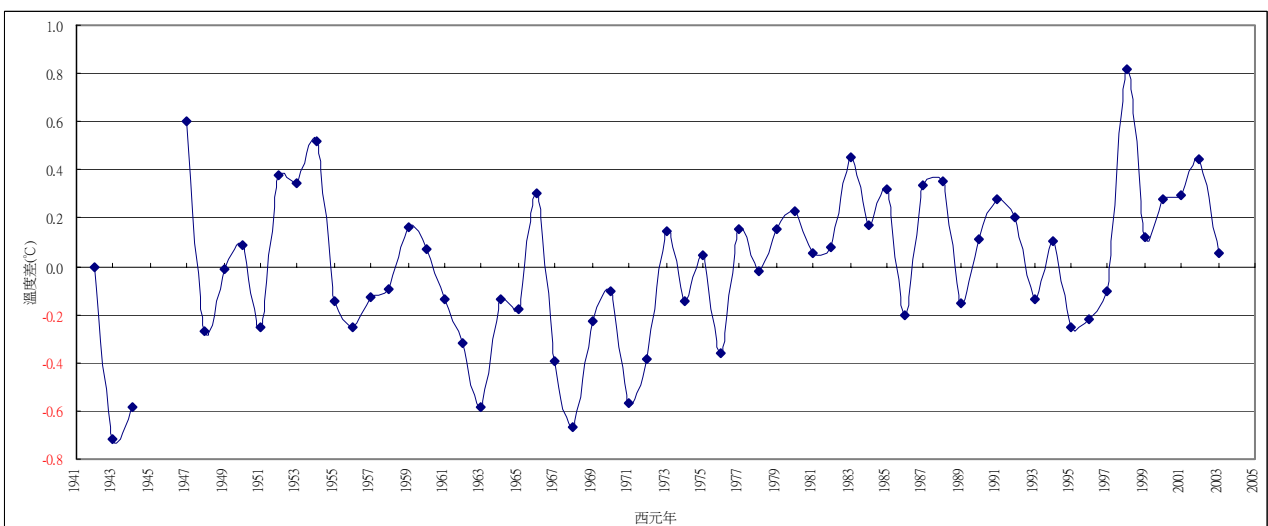
1. 時間-溫度：

A. 以「月」為單位：



上圖中，很容易看出溫度的週期為一年，也很容易解釋。當地緯度為 23 度，太陽在夏天時，太陽照射角度大約為 $90^{\circ} \pm 10^{\circ}$ 左右，一天中單位面積得到的輻射量大。反觀冬天時，太陽照射角度只有 $43^{\circ} \pm 10^{\circ}$ 左右，相當於單位面積內只有 33.33% 的能量接收，而地球表面溫度的熱源來自於太陽輻射，所以溫度當然會降低，形成年的週期。從上圖可以看出當地溫度年與年之間變化並不大，也看不出溫室效應帶來的平均升高，要利用 B 的分析來看。在氣溫上，每年的最低溫大都出現在 1 月或 2 月，少有在 12 月出現。根據氣象局寒流預報，強勁的寒流大都在 1、2 月進入台灣，和數據資料符合。而根據比對聖嬰現象和反聖嬰現象的作用期間，在資料修正時會區分討論。

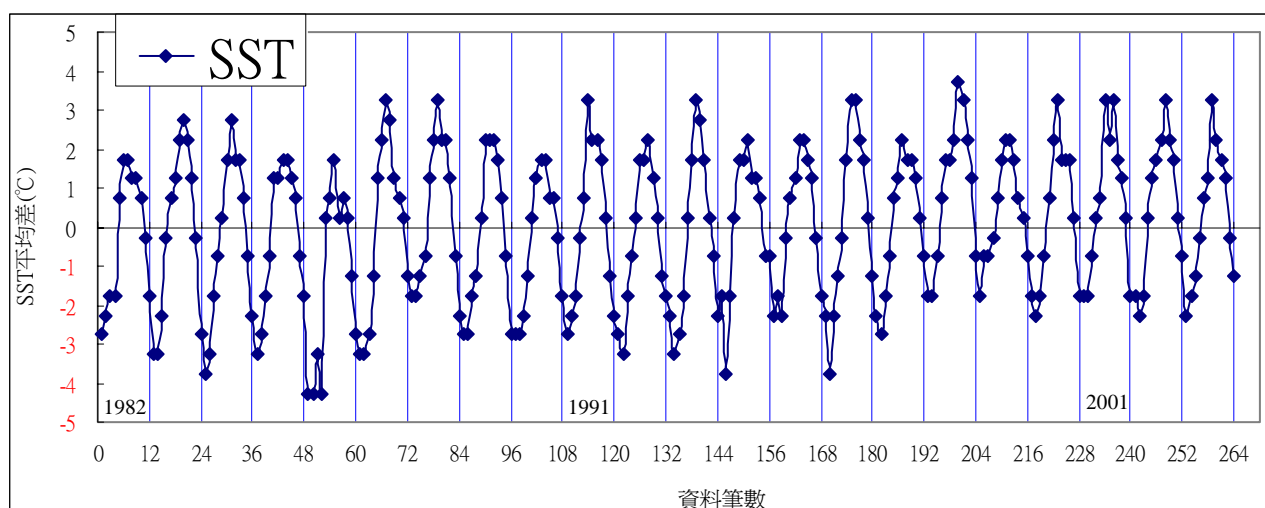
B. 以「年」為單位：



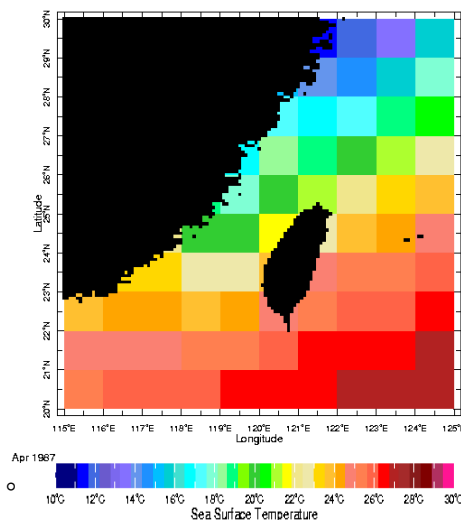
上圖 X 軸單位為西元年，Y 軸單位為 $^{\circ}\text{C}$ ，數值為各年平均溫度 22.57°C ，取資料平均後，各年平均溫度減去平均值後得到的數據。這種取法好處是資料的分散程度可以用肉眼觀察出。在上圖中，1944 年 11 月、1945 年 1 月到 1947 年 6 月的數據因為氣象局遺失，沒有數據。從上圖也看出每年的平均有升高的趨勢，而且後段的溫度曲線和前段相比，明顯振幅較小而且曲線較高，可見溫室效應還是會反應在長期溫度上。在長週期方面，有 5 到 7 年的聖嬰週期，大部分看來和太陽黑子的 11 年週期沒有明顯關係。據推測應該是因為影響地區性溫度最大的是當地輻射接收量，而不是太陽黑子的全球性變化。

四、海水表面溫度特性描述：

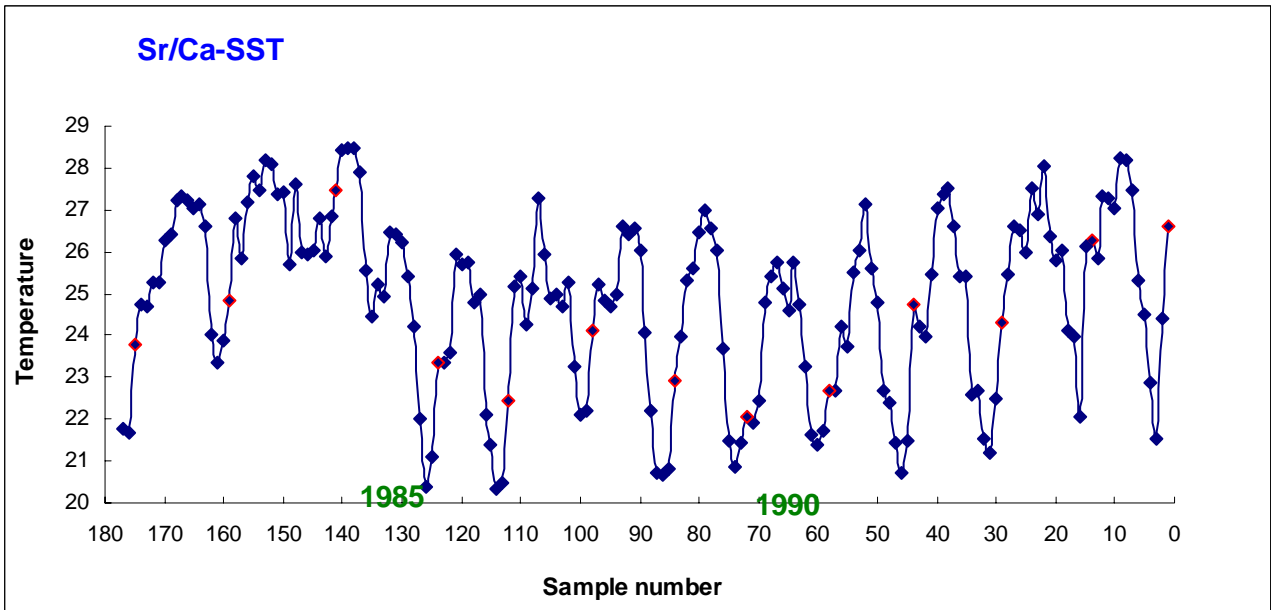
1. 綠島附近海水表面溫度：



上圖是綠島附近地區的月平均海水表面溫度，平均溫度是 26.74242°C ，地面範圍為經度 1 度乘緯度 1 度，藍色直線是年分界，資料範圍從 1982 到 2003 年。資料是人造衛星記錄地表海水溫度，下載自世界氣象組織(World meteorological organization)，原始檔案為圖檔，以顏色分溫度，如下圖。上圖中最低溫時大都出現在每年的 1、2 月，與氣溫觀察相同。拿 SST 以及地面接收輻射比較，會看到部分的 SST 吻合輻射能量，但在及值，也就是最高最低值，月到後面時間，有出入的年份越多，根據比對聖嬰現象時間，推斷應該是聖嬰現象的干擾，導致 SST 有超過輻射能所提供的能量，而溫度較高。在聖嬰年的範圍內，冬天溫度較高，夏天氣溫較低，如 1982 年、1987 年、1991 年、1994 年、1997 年，而在反聖嬰年的範圍中，夏天溫度特別高，冬天較冷，如 1984 年、1988 年、1995 年、1998 年。

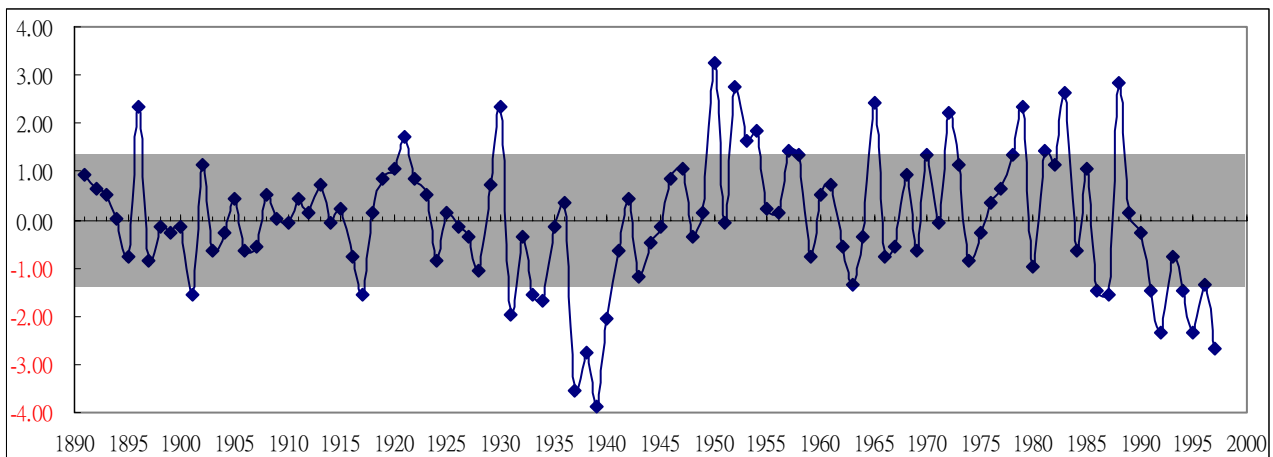


2. 小範圍海水表面溫度分析：



在上圖資料來自於前人研究推算（邱景星、1995）紅點代表一年的開始。此研究利用珊瑚骨骼所含 Sr 和 Ca 的同位素含量回推海水表面溫度，而準確度可達 0.5°C。因為數據取自珊瑚，而所採測量樣本是以每 1mm 取一個樣本去化驗。但珊瑚每年生長速率不一，使得有些年的數據有 16 個之多，使這些年長的寬度較寬，所以畫紅框以區分年，但這也可以證實海水表面溫度平均越高，珊瑚長的越快。以上圖的海水表面溫度，看得出每年大約 1 月到 2 月之間，是海水表溫的最低值，與當地氣溫和大範圍海水表面溫度比較，時間和變動幅度相同，表示控制溫度和海水表面溫度的來源相同。s

五、珊瑚生長速率描述：



上圖 Y 軸單位為公分 (mm)，尺度為和平均值的差，平均值為 10.96。在研究過程已經說明了此實驗樣本的各项基本資料，因為 1890 年的樣本在開採的斷口處，而尾端 1998 年的樣本只有生長到 9 月中，故在資料比對、數據統計上要略去。以年的尺度看生長速率，可以消除單日的影響因素，

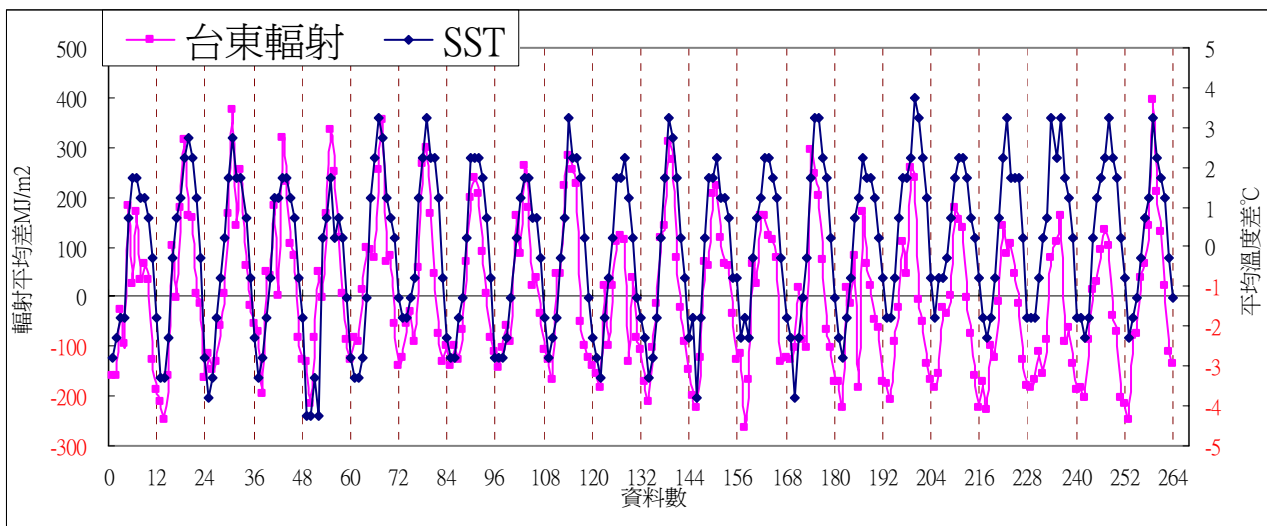
如暴雨，也可以消除一年四季的週年變化，如太陽直射角度。在週期方面，根據前人研究結果（邱景星、1994），珊瑚骨骼生長速率隨著生長環境的海水溫度、海水透光度（也就是接收幅照度）、海水中Ca的含有率、海水混濁度（海水太混濁則珊瑚不能正常生長）等因素產生變化。在圖形方面，利用標準差（1.3381983）的模式算出68.5%的數據包含在內，找出超過範圍的資料。訂出範圍後，發現從1930年開始，生長速率超過標準差的數據數量暴增，代表著年與年之間溫度劇烈變化，或是聖嬰年的發生頻率上升。就單週期資料點來看，生長特別慢的1936-1942年海底生態應該受到強烈而長久的巨大變化，阻礙到珊瑚生長發展，根據K. Halimeda Kilbourne等人的研究資料中，發現有一個超強聖嬰現象發生於1940-1941年，而根據此人對聖嬰現象對台灣影響指出，在聖嬰發生期間台灣各地降雨量是氣候平均值的三到五倍，可能因此沖刷大量腐質酸以及泥沙覆蓋到珊瑚，使珊瑚生長緩慢，而微孔珊瑚切片在螢光下，此區有明顯綠色螢光。根據郭陳濤（1999）和的研究發現，在1800-1900間的聖嬰現象發生週期約十幾年；但是到了1900-1990年，週期縮短成為5-7年；更勝者，1990-2004年的聖嬰週期，縮短令人費解的到了3-4年，而這也是有可能影響珊瑚生長的因素。

參、校正數據不合原因

一、聖嬰現象：

在外國文獻指出，聖嬰現象雖然影響全球氣候，但在西太平洋幾乎不受影響，但在台灣的研究中，綠島在台灣外海，當聖嬰現象發生時，綠島和其他台灣東部的島嶼成為首當其衝的地區，這時由於東北風減弱，或黑潮流速產生變化，使綠島北部海域的湧升流減弱所造成（邱景星、1999）。而聖嬰現象對台灣能量收支的影響如下：

1. 冬天平均溫度升高1°C到2°C（郭陳濤、1999）；
2. 夏天平均溫度降低：



上圖是當地接收輻射和海水表面溫度的比較，溫度平均值為 26.7°C ，輻射的平均值為 $469.594\text{MJ}/\text{m}^2$ ，X軸以資料數代替年月，每一條直需線為一年。利用輻射及溫度比較，可以知道聖嬰現象的時間以及溫室效應帶來的影響。上圖以 1992 年分成前後兩部分，前部 SST 與輻射吻合度較高，應該是溫室效應影響力較弱的時間；後部為溫室效應的影響區，SST 明顯比輻射所供給的溫度高。前部由圖中 24-48 (1984-1985)、72-84 (1988)、96-108 (1990) 筆顯示聖嬰現象的開始。而後部因為溫室效應，較難判斷，但原則不變，還是可以看出 204-216 (1999)、252-264 (2003) 是聖嬰現象。

二、黑潮：

雖然黑潮在四季中，會不停的變動位置、強弱，但由「國家海洋研究中心」取得的資料顯示，綠島不管何時都在黑潮的影響下。後來由 IGOSS 下載的衛星溫度圖發現在每年 1、2 月間，太陽直射角度偏移至最大角，而大陸冷氣團所激起的海水表面洋流也會影響黑潮的強度，使得黑潮影響力減弱，海水溫度略微下降，與氣溫同步下降。

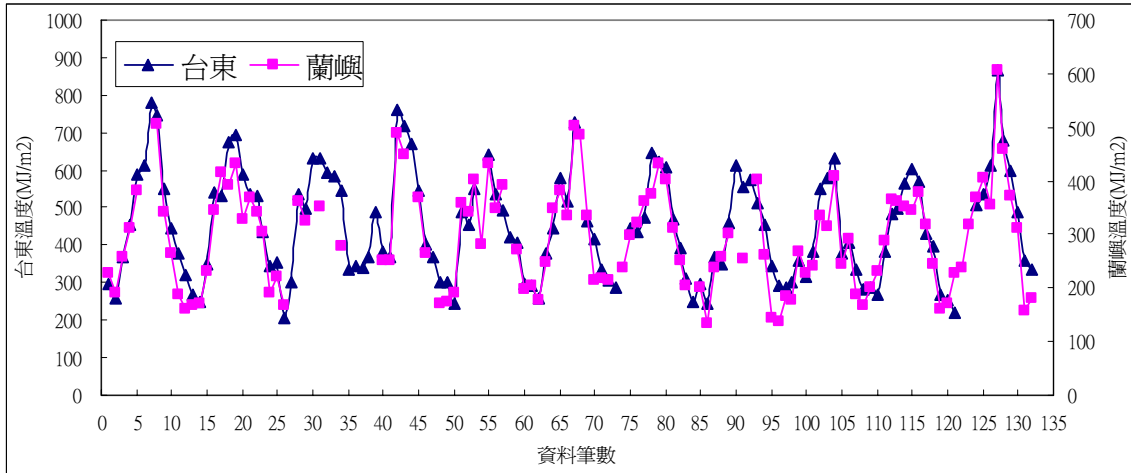
SST 圖見附錄 4。圖中顏色依照顏色溫度標準，也就是溫度越低，越偏向寒色系，反之越熱，越偏向暖色系。SST 從 1995 年 2 月最低溫開始上升，從右下朝左上，依序溫度增加，此高溫洋流即代表黑潮強度增強。在 15 圖中，因為溫度單位是 1 經度乘 1 緯度，冬天較弱的黑潮會被附近低溫拉平，看不出。但在夏天中，因強度大，範圍廣，影響的數據也廣泛，如 1995/07 到 1995/09。而從 11 月開始黑潮消退到 1、2 月北方大陸寒流增強，週而復始。所以影響 SST 變化中，年週期的變率最大的是太陽直射角度改變所引起的黑潮消長，反而黑潮變成主要掌控水溫變化的能量中繼，而不是干擾研究結果的雜訊。

三、天氣變化：

陰天或是雨天時，會直接影響珊瑚對陽光的吸收率，但我們又不能準確的知道何時有雲、何時有雨，所以利用綠島附近的數個氣象觀測站測得的輻射接收量，比對各個地方的輻射亮在短時間內的細微差異。因為去離相差不遠，所以其餘如大器氣團反射率、測站高度以及同時間太陽直射角度相同等因素會變成同時變化卻不同比例的圖形，如圖。當取得差值後，就可以消除雲雨對於區域性太陽輻射的干擾。

下圖為蘭嶼及台東氣象站資料比較，X 軸用資料數代替時間記錄，時間從 1993 到 2003 年。從左右的刻度知道，台東的輻射接受量為同時蘭嶼的大約 9/7 倍。其中有些點不見了，那是因為天氣不佳而數據不準確，而補上空缺和消去雲雨量以求得正確輻照量，是這一部份的重點。在策略上是

以理想圖形（理想值是利用台東和蘭嶼輻射量的走勢和根據完整一年的輻射推算而應該有的理想值去比對。）和實際兩筆數據相比，如果兩地數據皆同時起伏，與理想值不符，就不是地區性的雲害。如 2002 年夏天，台東的輻射量與理想輻射量吻合，而蘭嶼輻射量明顯過低，討論後，取台東的數據作為標準，調整蘭嶼輻射量。



四、太陽直射角度：

地球自轉軸心和繞行公轉軌道成 23.5 度交角，所以地球才有一年四季的變化，形成多采多姿的氣候變化，但相對的也增加了對氣候研究的困難度。綠島位於東經 121°29′，北緯 22°40′，一年太陽直射有兩次，時間上大約在夏至附近，接受的太陽輻射較多，能反映太陽本身狀態。太陽輻射除了角度所影響的兆度不同外，還有大氣厚度的因素

1. 假設：

A. 以大氣總質量 99% 的 40Km 作為大氣垂直厚度的計算：

陽光經過大氣干擾，但是高空的大氣稀薄，所佔質量甚小，如果把全大氣層帶入計算，誤差將會很大。

B. 太陽為無窮遠處的平行光：

從太陽到地球的距離比大氣厚度，有 $1.496 \times 10^8 \text{Km}$ ，而大氣厚度只有 40Km，太陽到地球是大氣厚度的 3740000 倍，幾乎算是平行光。

C. 40Km 內的大氣密度是一樣的：

雖然 99% 的大氣聚集在高度 40Km 內，但是越下層，大氣密度越大，但是因為大氣不停的擾動，不可能算出所有的密度。

D. 陽光照射到地表能以定值的吸收能量：

地球不是完全黑體，會反射部分太陽光及發射某些紅外線到太空中，而這些卻不是定值，而且同大氣密度，不停變動。

E. 地球為完全圓形：

地球是橢圓形，但是長短半徑差是 21Km，但是跟平均半徑(6371Km)比，影響甚小，不列入考慮。

2. 計算輻射經過不同大氣的距離：

$$L=6371 \times \cos(b) + \sqrt{(40589641 \times \cos^2(b) + 509720)}$$

3 計算輻射角度不同，單位面積能量變化：

得到在同樣強度的輻射下，直射角度和單位接收光度的關係為 $\cos(a)$

4. 求不同角度及經過不同長度的單位面積中的輻射能量比：

$$E3 : E4 = 1 : \frac{1600 \times \cos(b)}{81179282 \times \cos^2(b) + 12742 \times \sqrt{40589641 \times \cos^2(b) + 509720} + 509720}$$

算出比例後，代入太陽直射角，用地區性輻射轉換太陽直射的能量，藉此比較太陽黑子與總輻射間的差異。

5. 數據代入：

年	月	資料數	太陽黑子	輻射量	修正後數據	年	月	資料數	太陽黑子	輻射量	修正後數據
1982	1	1	111.20	309.03	648.88780	1984	1	25	57.00	352.80	740.79415
	2	2	163.60	311.86	499.94110		2	26	85.40	324.32	519.91566
	3	3	153.80	444.07	581.73381		3	27	83.50	339.35	444.55011
	4	4	122.00	373.80	423.01516		4	28	69.70	409.64	463.57392
	5	5	82.20	652.82	676.05463		5	29	76.40	475.77	492.70321
	6	6	110.40	494.86	495.58347		6	30	46.10	633.96	634.88683
	7	7	106.10	641.90	650.81015		7	31	37.40	846.85	858.60505
	8	8	107.60	501.81	543.92979		8	32	25.50	612.61	664.02987
	9	9	118.80	537.39	658.19259		9	33	15.70	725.03	888.01312
	10	10	94.70	504.79	742.36503		10	34	12.00	531.23	781.24879
	11	11	98.10	341.44	645.76042		11	35	22.80	449.59	850.30292
	12	12	127.00	281.80	711.76062		12	36	18.70	413.43	1044.2271
1983	1	13	84.30	258.39	542.55612	1985	1	37	16.50	398.74	837.25697
	2	14	51.00	220.66	353.73887		2	38	15.90	274.11	439.42428
	3	15	66.50	309.87	405.93117		3	39	17.20	517.68	678.16326
	4	16	80.70	571.80	647.08419		4	40	16.20	509.30	576.35533
	5	17	99.20	466.91	483.52788		5	41	27.50	651.08	674.25270
	6	18	91.10	646.76	647.70554		6	42	24.20	469.63	470.31658
	7	19	82.20	785.16	796.05873		7	43	30.70	788.39	799.33357
	8	20	71.80	632.18	685.24250		8	44	11.10	701.35	760.21833
	9	21	50.30	628.22	769.44072		9	45	3.90	577.57	707.40485
	10	22	55.80	474.28	697.49577		10	46	18.60	550.98	810.29396
	11	23	33.40	454.17	858.96501		11	47	16.20	387.68	733.21345
	12	24	33.40	306.00	772.88414		12	48	17.30	341.39	862.27096

研究結果與討論

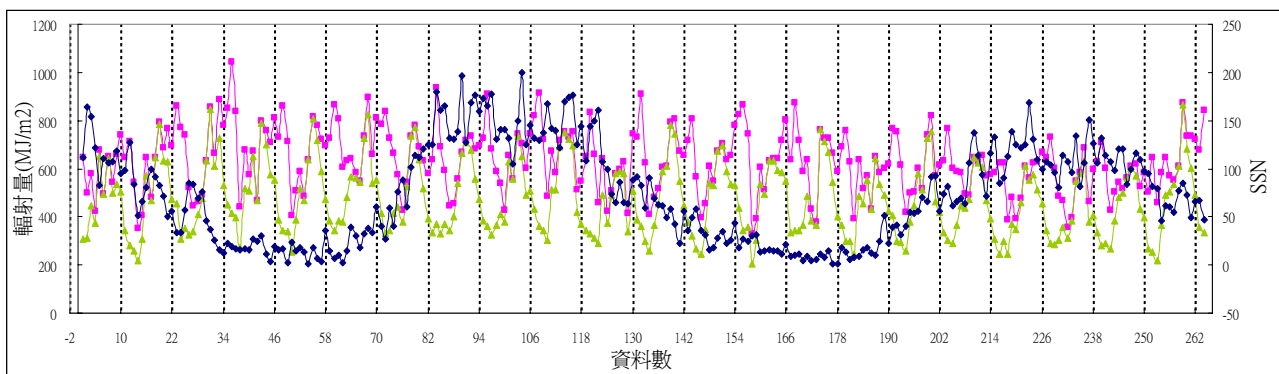
年	月	資料數	太陽黑子	輻射量	修正後數據	年	月	資料數	太陽黑子	輻射量	修正後數據
1986	1	49	2.50	338.99	711.79651	1988	1	73	59.00	345.44	725.33994
	2	50	23.20	253.64	406.60893		2	74	40.00	414.53	664.53083
	3	51	15.10	387.63	507.79714		3	75	76.20	440.58	577.16190
	4	52	18.50	519.00	587.33245		4	76	88.00	377.74	427.47391
	5	53	13.70	469.01	485.70262		5	77	60.10	526.25	544.97986
	6	54	1.10	636.00	636.92981		6	78	101.80	735.68	736.75554
	7	55	18.10	806.19	817.38065		7	79	113.80	769.65	780.33344
	8	56	7.40	720.28	780.73723		8	80	111.60	635.99	689.37229
	9	57	3.80	588.72	721.06131		9	81	120.10	515.94	631.92073
	10	58	35.50	474.20	697.37812		10	82	125.10	393.68	578.96208
	11	59	14.70	384.36	726.93439		11	83	125.10	336.71	636.81465
	12	60	6.70	343.20	866.84260		12	84	179.20	370.96	936.95784
1987	1	61	10.40	385.46	809.37220	1989	1	85	161.30	330.04	693.00369
	2	62	2.40	378.01	605.98581		2	86	165.10	370.89	594.57178
	3	63	14.80	482.19	631.67119		3	87	131.40	342.19	448.27053
	4	64	39.30	565.98	640.49792		4	88	130.60	403.12	456.19549
	5	65	30.60	564.03	584.10449		5	89	138.50	538.22	557.37588
	6	66	17.50	546.45	547.24889		6	90	196.20	666.87	667.84494
	7	67	33.00	726.24	736.32087		7	91	126.90	707.89	717.71616
	8	68	38.60	825.42	894.70224		8	92	168.90	677.33	734.18219
	9	69	33.50	538.11	659.07444		9	93	176.70	558.82	684.43994
	10	70	60.50	552.05	811.86754		10	94	159.40	473.70	696.64280
	11	71	39.90	414.21	783.38925		11	95	173.00	384.90	727.95568
	12	72	27.10	331.90	838.30145		12	96	165.50	359.42	907.81051
年	月	資料數	太陽黑子	輻射量	修正後數據	年	月	資料數	太陽黑子	輻射量	修正後數據
1990	1	97	177.30	325.69	683.86974	1992	1	121	150.00	313.56	658.39970
	2	98	130.50	367.44	589.04110		2	122	161.10	287.95	461.61111
	3	99	140.30	412.33	540.15426		3	123	106.70	489.44	641.16873
	4	100	140.30	380.32	430.39360		4	124	99.80	372.55	421.60059
	5	101	132.20	631.12	653.58230		5	125	73.80	490.87	508.34064
	6	102	105.40	557.46	558.27499		6	126	65.20	579.55	580.39728
	7	103	149.40	734.11	744.30011		7	127	85.70	590.66	598.85890
	8	104	200.30	649.86	704.40648		8	128	64.50	581.82	630.65549
	9	105	125.20	492.50	603.21154		9	129	63.90	337.42	413.27033
	10	106	145.50	507.35	746.12988		10	130	88.70	507.57	746.45342
	11	107	131.40	434.81	822.34973		11	131	91.80	387.37	732.62715
	12	108	129.70	362.09	914.55430		12	132	82.60	361.15	912.18008
1991	1	109	136.90	343.75	721.79135	1993	1	133	59.30	297.42	624.50962

研究結果與討論

	2	110	167.50	302.36	484.71170		2	134	91.00	256.98	411.96326
	3	111	141.90	515.03	674.69175		3	135	69.80	367.16	480.98135
	4	112	140.00	515.06	582.87370		4	136	62.20	455.78	515.78879
	5	113	121.30	691.94	716.56696		5	137	61.30	587.71	608.62729
	6	114	169.70	751.06	752.15802		6	138	49.80	611.58	612.47411
	7	115	173.70	722.53	732.55937		7	139	57.90	781.62	792.46959
	8	116	176.30	695.10	753.44373		8	140	42.20	745.59	808.17165
	9	117	125.30	419.22	513.45856		9	141	22.40	549.48	673.00036
	10	118	144.10	372.09	547.21093		10	142	56.40	446.91	657.24431
	11	119	108.20	345.13	652.73927		11	143	35.60	379.21	717.19427
	12	120	144.40	329.40	831.98704		12	144	48.90	320.52	809.55825
年	月	資料數	太陽黑子	輻射量	修正後數據	年	月	資料數	太陽黑子	輻射量	修正後數據
1994	1	145	57.80	269.80	566.51435	1996	1	169	11.50	341.60	717.27687
	2	146	35.50	247.12	396.15675		2	170	4.40	367.20	588.65636
	3	147	31.70	348.16	456.09126		3	171	9.20	486.60	637.44831
	4	148	16.10	538.99	609.95437		4	172	4.80	383.93	434.47890
	5	149	17.80	530.81	549.70215		5	173	5.50	367.64	380.72474
	6	150	28.00	674.57	675.55620		6	174	11.80	762.70	763.81504
	7	151	35.10	694.11	703.74488		7	175	8.20	715.43	725.36082
	8	152	22.50	587.36	636.66050		8	176	14.40	671.19	727.52683
	9	153	25.70	536.16	656.68609		9	177	1.60	544.46	666.85189
	10	154	43.80	532.25	782.74884		10	178	0.90	401.29	590.15366
	11	155	18.00	436.64	825.81078		11	179	17.90	366.09	692.38061
	12	156	26.70	342.87	866.00910		12	180	13.30	300.03	757.80532
1995	1	157	24.20	355.34	746.12753	1997	1	181	5.70	299.64	629.17108
	2	158	29.90	205.90	330.07719		2	182	7.60	244.98	392.72613
	3	159	31.10	301.30	394.70443		3	183	8.70	488.05	639.34782
	4	160	14.00	537.28	608.01923		4	184	15.50	456.45	516.54701
	5	161	14.50	496.62	514.29529		5	185	18.50	551.36	570.98355
	6	162	15.60	631.88	632.80379		6	186	12.70	433.94	434.57326
	7	163	14.50	632.20	640.97551		7	187	10.40	641.12	650.01933
	8	164	14.30	592.15	641.85255		8	188	24.40	537.17	582.25776
	9	165	11.80	585.21	716.76228		9	189	51.30	491.50	601.98674
	10	166	21.10	547.39	805.01435		10	190	22.80	422.00	620.61064
	11	167	9.00	336.59	636.58769		11	191	39.00	405.12	766.19747
	12	168	10.00	345.49	872.62660		12	192	41.20	298.28	753.38523
年	月	資料數	太陽黑子	輻射量	修正後數據	年	月	資料數	太陽黑子	輻射量	修正後數據
1998	1	193	31.90	292.47	614.11583	2000	1	217	90.10	297.25	624.15267
	2	194	40.30	260.75	418.00693		2	218	112.90	243.21	389.88865

	3	195	54.80	379.81	497.55291		3	219	138.50	369.46	483.99436
	4	196	53.40	445.82	504.51744		4	220	125.50	348.01	393.82961
	5	197	56.30	580.70	601.36780		5	221	121.60	459.69	476.05091
	6	198	70.60	514.71	515.46249		6	222	124.90	611.79	612.68442
	7	199	66.20	729.21	739.33210		7	223	169.10	554.17	561.86238
	8	200	91.70	755.55	818.96377		8	224	130.50	575.87	624.20607
	9	201	92.90	464.58	569.01526		9	225	109.90	513.44	628.85875
	10	202	55.60	418.32	615.19868		10	226	99.40	454.57	668.50943
	11	203	73.60	334.35	632.35121		11	227	106.80	342.90	648.52170
	12	204	81.60	303.99	767.80735		12	228	104.30	290.46	733.63375
1999	1	205	62.00	287.74	604.18398	2001	1	229	95.60	286.17	600.88736
	2	206	66.30	366.52	587.55934		2	230	80.60	303.28	486.18655
	3	207	68.80	445.21	583.22722		3	231	113.50	358.17	469.20440
	4	208	63.70	436.42	493.87982		4	232	107.70	313.60	354.88913
	5	209	106.40	472.90	489.73107		5	233	96.60	383.24	396.87996
	6	210	137.60	646.70	647.64545		6	234	134.00	549.36	550.16315
	7	211	113.50	622.51	631.15100		7	235	81.80	578.53	586.56052
	8	212	93.80	606.27	657.15772		8	236	106.40	633.36	686.52154
	9	213	71.40	466.59	571.47710		9	237	150.70	378.21	463.22972
	10	214	116.70	392.81	577.68262		10	238	125.70	405.03	595.65386
	11	215	133.20	309.55	585.44734		11	239	106.50	333.64	631.00840
	12	216	84.60	247.55	625.25316		12	240	132.20	280.86	709.38640

上表為地區性輻射資料代入公式後所得的結果，畫成時間順序圖，如下圖所示。



綠線為原始輻射資料，粉紅線為修正後資料，藍線為太陽黑子數量（SSN）。圖中原始資料經過角度換算，明顯修正，但是在夏天的5、6、7月，角度修正幅度不大，使得修正後資料還是有年的週期，意義不大。根據數學空間概念，球體與球體間沒有以等差數列作為運動模式，因該是角度猜測錯誤，有待改進。

肆、校正數據整合：

在做本研究之前，已經推想過各種狀況，包括照射角度、生物的互相影響、

人類所造成的改變等因素。但是經過多種影響因素分析，只得到若干相關的結果，仍無法實際的將珊瑚生長速率與太陽黑子間互相連結，大體來說是未完成的研究。在太陽與地方輻射方面，修正係數正確，但與太陽直射的角度求得不當，應該是主因。

結論與應用

壹、結論

一、太陽部分：

1. 依照太陽黑子數量及太陽輻射能的性質能夠瞭解太陽本身的活動狀態。
2. 根據頻譜分析，太陽黑子除了 11 年週期，還有 8.5 年、9.8 年的週期，可見除了太陽本身磁場轉變外，還有數個穩定事件使得太陽黑子有其他週期。

二、能量轉移過程：

1. 全球性的輻射能量能夠以地區性的輻射能量推算，不用作大規模大範圍的觀測。利用地區性的區域輻射，還可回推以往人力、資金無法測量的全球性輻射總能量。
2. 輻射對於氣溫及海水表面溫度 (SST) 在修正前皆有相關性 ($R^2=0.616$ 以及 $R^2=0.674$)，未來根據兩項資料可繼續深入瞭解氣溫與海水表面溫度的關係。

三、微孔珊瑚部分：

1. 珊瑚的生長速率，如分別以人工計算或電腦軟體判讀，發現年與年之間有些許差異，可見客觀的電腦標準以及人眼的判斷還是有差別。但總量的計算則無明顯不同。
2. 綠島當地微孔珊瑚所含的陸源腐質酸 (綠色螢光) 的多寡能反映當地雨量的強度，可以藉此粗略判斷四季的輪替及氣候是否異常。

四、誤差部分：

經由消除各種影響因素，包含：1. 溫室效應所帶來的溫度提升。2. 聖嬰現象影響海水溫度。3. 太陽輻射對於直射大氣層的角度及經過大氣厚度，所改變的能量接收度。4. 大氣對流層中的雲量所遮蔽的輻射量。再加上數學線性的歸納，以容易測量的珊瑚生長速率可以代替部分昂貴儀器分析的實驗，而且也可以較快得到結果。

1. 近年來由於溫室效應，平均氣溫及海水表面溫度略微提升，使珊瑚平均生長速率跟著增加，後段珊瑚反而因為水溫過高，產生白化現象且生長速率趨緩。
2. 聖嬰現象雖然主要起源於東太平洋，台灣不在其主要影響範圍內，但海水中各項特殊事件發生的時間，都與聖嬰現象時期吻合。聖嬰現象頻率及強度增加，使珊瑚生長速率趨於不穩定，是研究珊瑚與太陽黑子間關係的兩大障礙。
3. 大氣厚度及直射角度雖然表面上只是光線所經過的大氣過程中，能量消耗的簡單計算，但是在仔細討論下，其中牽涉到的大氣折反光率、光源不為一點、海水折反光所消耗的能量、珊瑚利用太陽輻射的功率.....等的，無法全數討論，只能就影響比較大的角度和大氣厚度計算、討論。經過修正後的數據還是不符，經過畫圖比較討論後，主要原因是直射夾角的推算以及日照時數長短。本研究採用以最大最小夾角為基準，以等差數列方式算出其餘角度，代

入公式，但實際太陽投影在地球緯度的變化並非等差級數的增減。另外，每日的日照輻射時數也是因素之一。夏天日照時數較長，接收輻射的時數多，冬天照射時數少，接收輻射的時間也少。未來可以根據此進行誤差修正。

4. 雲漂流於空中，沒有任何方法預測、回推，算是隨機出現，影響力也是隨機，只能用討論方式，不能定量。

五、校正後結論：

1. 珊瑚的生長速率能直接反應當地的海水表面溫度，間接反應海水表面溫度的能量來源-太陽。
2. 「太陽輻射經過的大氣厚度」與「輻射對直射角度的能量差」兩項對太陽輻射的能量傳遞，以台灣附近的緯度做討論，同樣的數據，不同角度代入竟然有3倍的影響，是不能忽略的。
3. 「珊瑚生長速率」對當地「海水表面溫度」比較出無相關性，也許影響原因不只表面上能量變化，有待探索。

貳、實際應用

- 一、藉由太陽黑子的紀錄可推知微孔珊瑚的生長速度，可當作珊瑚的生長指標。
- 二、藉由珊瑚生長速率回推更早的太陽黑子數量，以印證天文學家的推測。
- 三、由現在的地球狀況推測未來的走向，以及預測太陽未來的活動情形。
- 四、因為此研究所涉及的因素眾多，可以推導出的公式，推算每項因素的數據。
- 五、藉由此研究，希望以改變公式的k值(常數假設值)，來應用到世界各地的不同環境。
- 六、剛好黑潮和聖嬰現象的發生點大都在中低緯度，所以可以藉由研究赤道的珊瑚所記錄的聖嬰現象發生經過，來推算其成因，這樣也不用對此區域的海洋做大範圍的測量，耗費精神、金錢。
- 七、藉由珊瑚骨骼發出的不同顏色之螢光，來瞭解當地氣候、水文、河流狀況。

參、未來展望

一、太陽直射與地區性輻射：

1. 在帶入公式時，可加入更多的變量參數，以解決如水氣折返射、不同季節的氣團、地表吸收能量，溫室效應等太陽輻射的能量流向。
2. 實際測量太陽直射在地球的緯度範圍，以推知太陽相對於地球的運動模式。

二、珊瑚生長與海水表面溫度：

1. 依照多位前人的研究，珊瑚生長與海水表面溫度，理論上應該有很好的相關性，但在本研究中，卻沒有發現顯著的相關。或許是此次取樣的珊瑚，其生長速率受本體生病或水中酸鹼值等其他因素之干擾所致。
2. 近幾年化學微量元素探測器的蓬勃發長，使得利用微量同位素觀察氣候，成為一種趨勢。本研究期望以簡單方式得出相同結果，但因測量技術尚未十分成熟，且無先例可循，有待再多方嘗試，以得到更精確的結論。

(五)、參考文獻

1. 中文：

- 王姿允、2003、「渦」藏「聖」機-以渦流脫離重新詮釋聖嬰發生的原因、92年臺灣國際科學展覽會
- 蘇妙變、馬鈺婷、2003、以 $H\alpha$ 、K-Line、UV、Soft X-ray 波段太陽影像試求太陽光球層之上的徑向較差自轉、92年臺灣國際科學展覽會
- 福股拉爾 著 李曉風 譯、1990、天文學簡史、明文書局 p. 83-85
- 邱景星、1999、利用珊瑚鋁鈣比重重建綠島長時間尺度海表溫記錄之研究、國立台灣大學博士論文。
- 黃淑惠、2001、台灣地區氣溫變遷之研究、中國文化大學地學研究所地理組碩士論文。
- 李福祥、2001、台灣東部黑潮流域之海水探化學研究、國立中山大學海洋地質及化學研究所碩士論文。
- 太陽黑子的週期：
<http://www.c-science.com/txt/tc/un/981107un.htm>
- 太陽的表面活動：
http://www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/sun/sun_activities.html
- 太陽黑子週期：
http://www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/sun/captions/sun_spot_cycle.html
- 行星對太陽黑子週期有無影響？：
<http://www.tam.gov.tw/faq/98041801.htm>
- 太陽週期新預測：<http://www.tas.idv.tw/news/2000/00032301.htm>
- 台灣氣象局網站：www.cwb.gov.tw
- 台灣水利署網站：www.wra.gov.tw
-

2. 英文：

- Ming Tan, Juzhi Hou and Tungsheng Liu、2004、Sun-coupled climate connection between eastern Asia and northern Atlantic、Geophysical Research Letter VOL. 31, L07207, doi:10.1029/2003GL019085, 2004
- Yali Sun, Min Sun, Gangjian Wei, Typhoon Lee, Baofu Nie, and Zhiwei Yu、2004、Strontium contents of a Porites coral from Xisha Island, South China Sea: A proxy for sea-surface temperature of the 20th century、PALEOCEANOGRAPHY VOL. 19, PA2004, doi:10.1029/2003PA000959, 2004
- YU Kefu, CHEN Tegu, HUANG Dingcheng, ZHAO Huanting, ZHONG Jinliang and LIU Dongsheng、2001、The high-resolution climate recorded in the $\delta^{18}O$ of Porites lutea from the Nansha Island of China、Chinese

- Science Bulletin Vol.46 No.24 December 2001
- F. Bessat *, D. Buigues 、2001 、Two centuries of variation in coral growth in a massive Porites colony from Moorea (French Polynesia): a response of ocean-atmosphere variability from south central Pacific 、Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 175 p. 381-392
 - Ryuji Asami,*, Tsutomu Yamada, Yasufumi Iryu, Christopher P. Meyer, Terrence M. Quinn, Gustav Paulay 、2004 、Carbon and oxygen isotopic composition of a Guam coral and their relationships to environmental variables in the western Pacific 、Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2004
 - LEI REN,*, BRADDOCK K. LINSLEY, GERARD M. WELLINGTON, DANIEL P. SCHRAG and OVE HOEGH-GULDBERG 、2002 、Deconvolving the $\delta^{18}\text{O}$ seawater component from subseasonal coral $\delta^{18}\text{O}$ and Sr/Ca at Rarotonga in the southwestern subtropical Pacific for the period 1726 to 1997 、PII S0016-7037(02)00917-1
 - K. Halimeda Kilbourne, Terrence M. Quinn, Frederick W. Taylor, Thierry Delcroix, and Yves Gouriou 、2004 、El Niño-Southern Oscillation-related salinity variations recorded in the skeletal geochemistry of a Porites coral from Espiritu Santo, Vanuatu 、PALEOCEANOGRAPHY, VOL. 19, PA4002, doi:10.1029/2004PA001033,
 - Judith Leana, David Rindb 、1999 、Evaluating sun climate relationships since the Little Ice Age 、Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 61
 - Weber, J. N. (1973) Incorporation of strontium into reef coral skeletal carbonate. Geochimical et Cosmochimica Acta 37:2173-2190.
 - Weber, J. N., E. W. White, and P. H. Weber. (1975) Correlation of density banding in reef coral skeletons with environmental parameters: The basis for interpretation of chronological records preserved in the coralla of corals. Paleobiology, 1, 137-149.
 -
 - 美國太空總署：<http://www.NASA.org>.
 - 美國國家氣候變遷中心資料庫：<http://www.ncdc.noaa.gov>
 - 世界氣象組織(World meteorological organization)設於美國歌倫比亞大學的資料庫：
http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.data_products.html

附錄一：珊瑚生長速率

本研究使用綠島採集的微孔珊瑚，生長速率數據由 CoralXDS 所計算，經過人工肉眼計算後的校正，有加星號 (*) 數字代表當年生長長度無法由軟體及肉眼辨識，開頭以及末端因有破損，無法確切判讀當年生長長度，故不列入統計。

年(西元)	珊瑚生長速率(mm)	年(西元)	珊瑚生長速率(mm)	年(西元)	珊瑚生長速率(mm)
1890	7*	1927	10.6	1964	10.6
1891	11.9	1928	9.9	1965	13.4
1892	11.6	1929	11.7	1966	10.2
1893	11.5	1930	13.3	1967	10.4
1894	11	1931	9	1968	11.9
1895	10.2	1932	10.6	1969	10.3
1896	13.3	1933	9.4	1970	12.3
1897	10.1	1934	9.3	1971	10.9
1898	10.8	1935	10.8	1972	13.2
1899	10.7	1936	11.3	1973	12.1
1900	10.8	1937	7.4	1974	10.1
1901	9.4	1938	8.2	1975	10.7
1902	12.1	1939	7.1	1976	11.3
1903	10.3	1940	8.9	1977	11.6
1904	10.7	1941	10.3	1978	12.3
1905	11.4	1942	11.4	1979	13.3
1906	10.3	1943	9.8	1980	10
1907	10.4	1944	10.5	1981	12.4
1908	11.5	1945	10.8*	1982	12.1
1909	11	1946	11.8	1983	13.6
1910	10.9	1947	12	1984	10.3
1911	11.4	1948	10.6	1985	12
1912	11.1	1949	11.1	1986	9.5
1913	11.7	1950	14.2	1987	9.4
1914	10.9	1951	10.9	1988	13.8
1915	11.2	1952	13.7	1989	11.1
1916	10.2	1953	12.6	1990	10.7
1917	9.4	1954	12.8	1991	9.5
1918	11.1	1955	11.2	1992	8.6
1919	11.8	1956	11.1	1993	10.2
1920	12	1957	12.4	1994	9.5

附錄一：珊瑚生長速率

1921	12.7		1958	12.3		1995	8.6
1922	11.8		1959	10.2		1996	9.6
1923	11.5		1960	11.5		1997	8.3
1924	10.1		1961	11.7		1998	9.4*
1925	11.1		1962	10.4			
1926	10.8		1963	9.6			

附錄二：太陽黑子 1749-2004 數量 (download from SIDC)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1749	58.0	62.6	70.0	55.7	85.0	83.5	94.8	66.3	75.9	75.5	158.6	85.2
1750	73.3	75.9	89.2	88.3	90.0	100.0	85.4	103.0	91.2	65.7	63.3	75.4
1751	70.0	43.5	45.3	56.4	60.7	50.7	66.3	59.8	23.5	23.2	28.5	44.0
1752	35.0	50.0	71.0	59.3	59.7	39.6	78.4	29.3	27.1	46.6	37.6	40.0
1753	44.0	32.0	45.7	38.0	36.0	31.7	22.0	39.0	28.0	25.0	20.0	6.7
1754	0.0	3.0	1.7	13.7	20.7	26.7	18.8	12.3	8.2	24.1	13.2	4.2
1755	10.2	11.2	6.8	6.5	0.0	0.0	8.6	3.2	17.8	23.7	6.8	20.0
1756	12.5	7.1	5.4	9.4	12.5	12.9	3.6	6.4	11.8	14.3	17.0	9.4
1757	14.1	21.2	26.2	30.0	38.1	12.8	25.0	51.3	39.7	32.5	64.7	33.5
1758	37.6	52.0	49.0	72.3	46.4	45.0	44.0	38.7	62.5	37.7	43.0	43.0
1759	48.3	44.0	46.8	47.0	49.0	50.0	51.0	71.3	77.2	59.7	46.3	57.0
1760	67.3	59.5	74.7	58.3	72.0	48.3	66.0	75.6	61.3	50.6	59.7	61.0
1761	70.0	91.0	80.7	71.7	107.2	99.3	94.1	91.1	100.7	88.7	89.7	46.0
1762	43.8	72.8	45.7	60.2	39.9	77.1	33.8	67.7	68.5	69.3	77.8	77.2
1763	56.5	31.9	34.2	32.9	32.7	35.8	54.2	26.5	68.1	46.3	60.9	61.4
1764	59.7	59.7	40.2	34.4	44.3	30.0	30.0	30.0	28.2	28.0	26.0	25.7
1765	24.0	26.0	25.0	22.0	20.2	20.0	27.0	29.7	16.0	14.0	14.0	13.0
1766	12.0	11.0	36.6	6.0	26.8	3.0	3.3	4.0	4.3	5.0	5.7	19.2
1767	27.4	30.0	43.0	32.9	29.8	33.3	21.9	40.8	42.7	44.1	54.7	53.3
1768	53.5	66.1	46.3	42.7	77.7	77.4	52.6	66.8	74.8	77.8	90.6	111.8
1769	73.9	64.2	64.3	96.7	73.6	94.4	118.6	120.3	148.8	158.2	148.1	112.0
1770	104.0	142.5	80.1	51.0	70.1	83.3	109.8	126.3	104.4	103.6	132.2	102.3
1771	36.0	46.2	46.7	64.9	152.7	119.5	67.7	58.5	101.4	90.0	99.7	95.7
1772	100.9	90.8	31.1	92.2	38.0	57.0	77.3	56.2	50.5	78.6	61.3	64.0
1773	54.6	29.0	51.2	32.9	41.1	28.4	27.7	12.7	29.3	26.3	40.9	43.2
1774	46.8	65.4	55.7	43.8	51.3	28.5	17.5	6.6	7.9	14.0	17.7	12.2
1775	4.4	0.0	11.6	11.2	3.9	12.3	1.0	7.9	3.2	5.6	15.1	7.9
1776	21.7	11.6	6.3	21.8	11.2	19.0	1.0	24.2	16.0	30.0	35.0	40.0
1777	45.0	36.5	39.0	95.5	80.3	80.7	95.0	112.0	116.2	106.5	146.0	157.3
1778	177.3	109.3	134.0	145.0	238.9	171.6	153.0	140.0	171.7	156.3	150.3	105.0
1779	114.7	165.7	118.0	145.0	140.0	113.7	143.0	112.0	111.0	124.0	114.0	110.0
1780	70.0	98.0	98.0	95.0	107.2	88.0	86.0	86.0	93.7	77.0	60.0	58.7
1781	98.7	74.7	53.0	68.3	104.7	97.7	73.5	66.0	51.0	27.3	67.0	35.2
1782	54.0	37.5	37.0	41.0	54.3	38.0	37.0	44.0	34.0	23.2	31.5	30.0
1783	28.0	38.7	26.7	28.3	23.0	25.2	32.2	20.0	18.0	8.0	15.0	10.5
1784	13.0	8.0	11.0	10.0	6.0	9.0	6.0	10.0	10.0	8.0	17.0	14.0

附錄二：太陽黑子數量

1785	6.5	8.0	9.0	15.7	20.7	26.3	36.3	20.0	32.0	47.2	40.2	27.3
1786	37.2	47.6	47.7	85.4	92.3	59.0	83.0	89.7	111.5	112.3	116.0	112.7
1787	134.7	106.0	87.4	127.2	134.8	99.2	128.0	137.2	157.3	157.0	141.5	174.0
1788	138.0	129.2	143.3	108.5	113.0	154.2	141.5	136.0	141.0	142.0	94.7	129.5
1789	114.0	125.3	120.0	123.3	123.5	120.0	117.0	103.0	112.0	89.7	134.0	135.5
1790	103.0	127.5	96.3	94.0	93.0	91.0	69.3	87.0	77.3	84.3	82.0	74.0
1791	72.7	62.0	74.0	77.2	73.7	64.2	71.0	43.0	66.5	61.7	67.0	66.0
1792	58.0	64.0	63.0	75.7	62.0	61.0	45.8	60.0	59.0	59.0	57.0	56.0
1793	56.0	55.0	55.5	53.0	52.3	51.0	50.0	29.3	24.0	47.0	44.0	45.7
1794	45.0	44.0	38.0	28.4	55.7	41.5	41.0	40.0	11.1	28.5	67.4	51.4
1795	21.4	39.9	12.6	18.6	31.0	17.1	12.9	25.7	13.5	19.5	25.0	18.0
1796	22.0	23.8	15.7	31.7	21.0	6.7	26.9	1.5	18.4	11.0	8.4	5.1
1797	14.4	4.2	4.0	4.0	7.3	11.1	4.3	6.0	5.7	6.9	5.8	3.0
1798	2.0	4.0	12.4	1.1	0.0	0.0	0.0	3.0	2.4	1.5	12.5	9.9
1799	1.6	12.6	21.7	8.4	8.2	10.6	2.1	0.0	0.0	4.6	2.7	8.6
1800	6.9	9.3	13.9	0.0	5.0	23.7	21.0	19.5	11.5	12.3	10.5	40.1
1801	27.0	29.0	30.0	31.0	32.0	31.2	35.0	38.7	33.5	32.6	39.8	48.2
1802	47.8	47.0	40.8	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0	51.8	38.5	34.5	50.0
1803	50.0	50.8	29.5	25.0	44.3	36.0	48.3	34.1	45.3	54.3	51.0	48.0
1804	45.3	48.3	48.0	50.6	33.4	34.8	29.8	43.1	53.0	62.3	61.0	60.0
1805	61.0	44.1	51.4	37.5	39.0	40.5	37.6	42.7	44.4	29.4	41.0	38.3
1806	39.0	29.6	32.7	27.7	26.4	25.6	30.0	26.3	24.0	27.0	25.0	24.0
1807	12.0	12.2	9.6	23.8	10.0	12.0	12.7	12.0	5.7	8.0	2.6	0.0
1808	0.0	4.5	0.0	12.3	13.5	13.5	6.7	8.0	11.7	4.7	10.5	12.3
1809	7.2	9.2	0.9	2.5	2.0	7.7	0.3	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0
1810	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1811	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	2.4	6.1	0.8	1.1
1812	11.3	1.9	0.7	0.0	1.0	1.3	0.5	15.6	5.2	3.9	7.9	10.1
1813	0.0	10.3	1.9	16.6	5.5	11.2	18.3	8.4	15.3	27.8	16.7	14.3
1814	22.2	12.0	5.7	23.8	5.8	14.9	18.5	2.3	8.1	19.3	14.5	20.1
1815	19.2	32.2	26.2	31.6	9.8	55.9	35.5	47.2	31.5	33.5	37.2	65.0
1816	26.3	68.8	73.7	58.8	44.3	43.6	38.8	23.2	47.8	56.4	38.1	29.9
1817	36.4	57.9	96.2	26.4	21.2	40.0	50.0	45.0	36.7	25.6	28.9	28.4
1818	34.9	22.4	25.4	34.5	53.1	36.4	28.0	31.5	26.1	31.6	10.9	25.8
1819	32.8	20.7	3.7	20.2	19.6	35.0	31.4	26.1	14.9	27.5	25.1	30.6
1820	19.2	26.6	4.5	19.4	29.3	10.8	20.6	25.9	5.2	8.9	7.9	9.1
1821	21.5	4.2	5.7	9.2	1.7	1.8	2.5	4.8	4.4	18.8	4.4	0.2
1822	0.0	0.9	16.1	13.5	1.5	5.6	7.9	2.1	0.0	0.4	0.0	0.0
1823	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	20.4

附錄二：太陽黑子數量

1824	21.7	10.8	0.0	19.4	2.8	0.0	0.0	1.4	20.5	25.2	0.0	0.8
1825	5.0	15.5	22.4	3.8	15.5	15.4	30.9	25.7	15.7	15.6	11.7	22.0
1826	17.7	18.2	36.7	24.0	32.4	37.1	52.5	39.6	18.9	50.6	39.5	68.1
1827	34.6	47.4	57.8	46.0	56.3	56.7	42.3	53.7	49.6	56.1	48.2	46.1
1828	52.8	64.4	65.0	61.1	89.1	98.0	54.2	76.4	50.4	54.7	57.0	46.9
1829	43.0	49.4	72.3	95.0	67.4	73.9	90.8	77.6	52.8	57.2	67.6	56.5
1830	52.2	72.1	84.6	106.3	66.3	65.1	43.9	50.7	62.1	84.4	81.2	82.1
1831	47.5	50.1	93.4	54.5	38.1	33.4	45.2	55.0	37.9	46.3	43.5	28.9
1832	30.9	55.6	55.1	26.9	41.3	26.7	14.0	8.9	8.2	21.1	14.3	27.5
1833	11.3	14.9	11.8	2.8	12.9	1.0	7.0	5.7	11.6	7.5	5.9	9.9
1834	4.9	18.1	3.9	1.4	8.8	7.8	8.7	4.0	11.5	24.8	30.5	34.5
1835	7.5	24.5	19.7	61.5	43.6	33.2	59.8	59.0	100.8	95.2	100.0	77.5
1836	88.6	107.6	98.2	142.9	111.4	124.7	116.7	107.8	95.1	137.4	120.9	206.2
1837	188.0	175.6	134.6	138.2	111.7	158.0	162.8	134.0	96.3	123.7	107.0	129.8
1838	144.9	84.8	140.8	126.6	137.6	94.5	108.2	78.8	73.6	90.8	77.4	79.8
1839	105.6	102.5	77.7	61.8	53.8	54.6	84.8	131.2	132.7	90.9	68.8	63.7
1840	81.2	87.7	67.8	65.9	69.2	48.5	60.7	57.8	74.0	55.0	54.3	53.7
1841	24.1	29.9	29.7	40.2	67.5	55.7	30.8	39.3	36.5	28.5	19.8	38.8
1842	20.4	22.1	21.7	26.9	24.9	20.5	12.6	26.6	18.4	38.1	40.5	17.6
1843	13.3	3.5	8.3	9.5	21.1	10.5	9.5	11.8	4.2	5.3	19.1	12.7
1844	9.4	14.7	13.6	20.8	11.6	3.7	21.2	23.9	7.0	21.5	10.7	21.6
1845	25.7	43.6	43.3	57.0	47.8	31.1	30.6	32.3	29.6	40.7	39.4	59.7
1846	38.7	51.0	63.9	69.3	59.9	65.1	46.5	54.8	107.1	55.9	60.4	65.5
1847	62.6	44.9	85.7	44.7	75.4	85.3	52.2	140.6	160.9	180.4	138.9	109.6
1848	159.1	111.8	108.6	107.1	102.2	129.0	139.2	132.6	100.3	132.4	114.6	159.5
1849	157.0	131.7	96.2	102.5	80.6	81.1	78.0	67.7	93.7	71.5	99.0	97.0
1850	78.0	89.4	82.6	44.1	61.6	70.0	39.1	61.6	86.2	71.0	54.8	61.0
1851	75.5	105.4	64.6	56.5	62.6	63.2	36.1	57.4	67.9	62.5	51.0	71.4
1852	68.4	66.4	61.2	65.4	54.9	46.9	42.1	39.7	37.5	67.3	54.3	45.4
1853	41.1	42.9	37.7	47.6	34.7	40.0	45.9	50.4	33.5	42.3	28.8	23.4
1854	15.4	20.0	20.7	26.5	24.0	21.1	18.7	15.8	22.4	12.6	28.2	21.6
1855	12.3	11.4	17.4	4.4	9.1	5.3	0.4	3.1	0.0	9.6	4.2	3.1
1856	0.5	4.9	0.4	6.5	0.0	5.2	4.6	5.9	4.4	4.5	7.7	7.2
1857	13.7	7.4	5.2	11.1	28.6	16.0	22.2	16.9	42.4	40.6	31.4	37.2
1858	39.0	34.9	57.5	38.3	41.4	44.5	56.7	55.3	80.1	91.2	51.9	66.9
1859	83.7	87.6	90.3	85.7	91.0	87.1	95.2	106.8	105.8	114.6	97.2	81.0
1860	82.4	88.3	98.9	71.4	107.1	108.6	116.7	100.3	92.2	90.1	97.9	95.6
1861	62.3	77.7	101.0	98.5	56.8	88.1	78.0	82.5	79.9	67.2	53.7	80.5
1862	63.1	64.5	43.6	53.7	64.4	84.0	73.4	62.5	66.6	41.9	50.6	40.9

附錄二：太陽黑子數量

1863	48.3	56.7	66.4	40.6	53.8	40.8	32.7	48.1	22.0	39.9	37.7	41.2
1864	57.7	47.1	66.3	35.8	40.6	57.8	54.7	54.8	28.5	33.9	57.6	28.6
1865	48.7	39.3	39.5	29.4	34.5	33.6	26.8	37.8	21.6	17.1	24.6	12.8
1866	31.6	38.4	24.6	17.6	12.9	16.5	9.3	12.7	7.3	14.1	9.0	1.5
1867	0.0	0.7	9.2	5.1	2.9	1.5	5.0	4.8	9.8	13.5	9.6	25.2
1868	15.6	15.7	26.5	36.6	26.7	31.1	29.0	34.4	47.2	61.6	59.1	67.6
1869	60.9	59.9	52.7	41.0	103.9	108.4	59.2	79.6	80.6	59.3	78.1	104.3
1870	77.3	114.9	157.6	160.0	176.0	135.6	132.4	153.8	136.0	146.4	147.5	130.0
1871	88.3	125.3	143.2	162.4	145.5	91.7	103.0	110.1	80.3	89.0	105.4	90.4
1872	79.5	120.1	88.4	102.1	107.6	109.9	105.5	92.9	114.6	102.6	112.0	83.9
1873	86.7	107.0	98.3	76.2	47.9	44.8	66.9	68.2	47.1	47.1	55.4	49.2
1874	60.8	64.2	46.4	32.0	44.6	38.2	67.8	61.3	28.0	34.3	28.9	29.3
1875	14.6	21.5	33.8	29.1	11.5	23.9	12.5	14.6	2.4	12.7	17.7	9.9
1876	14.3	15.0	30.6	2.3	5.1	1.6	15.2	8.8	9.9	14.3	9.9	8.2
1877	24.4	8.7	11.9	15.8	21.6	14.2	6.0	6.3	16.9	6.7	14.2	2.2
1878	3.3	6.6	7.8	0.1	5.9	6.4	0.1	0.0	5.3	1.1	4.1	0.5
1879	1.0	0.6	0.0	6.2	2.4	4.8	7.5	10.7	6.1	12.3	13.1	7.3
1880	24.0	27.2	19.3	19.5	23.5	34.1	21.9	48.1	66.0	43.0	30.7	29.6
1881	36.4	53.2	51.5	51.6	43.5	60.5	76.9	58.4	53.2	64.4	54.8	47.3
1882	45.0	69.5	66.8	95.8	64.1	45.2	45.4	40.4	57.7	59.2	84.4	41.8
1883	60.6	46.9	42.8	82.1	31.5	76.3	80.6	46.0	52.6	83.8	84.5	75.9
1884	91.5	86.9	87.5	76.1	66.5	51.2	53.1	55.8	61.9	47.8	36.6	47.2
1885	42.8	71.8	49.8	55.0	73.0	83.7	66.5	50.0	39.6	38.7	30.9	21.7
1886	29.9	25.9	57.3	43.7	30.7	27.1	30.3	16.9	21.4	8.6	0.3	13.0
1887	10.3	13.2	4.2	6.9	20.0	15.7	23.3	21.4	7.4	6.6	6.9	20.7
1888	12.7	7.1	7.8	5.1	7.0	7.1	3.1	2.8	8.8	2.1	10.7	6.7
1889	0.8	8.5	6.7	4.3	2.4	6.4	9.4	20.6	6.5	2.1	0.2	6.7
1890	5.3	0.6	5.1	1.6	4.8	1.3	11.6	8.5	17.2	11.2	9.6	7.8
1891	13.5	22.2	10.4	20.5	41.1	48.3	58.8	33.0	53.8	51.5	41.9	32.5
1892	69.1	75.6	49.9	69.6	79.6	76.3	76.5	101.4	62.8	70.5	65.4	78.6
1893	75.0	73.0	65.7	88.1	84.7	89.9	88.6	129.2	77.9	80.0	75.1	93.8
1894	83.2	84.6	52.3	81.6	101.2	98.9	106.0	70.3	65.9	75.5	56.6	60.0
1895	63.3	67.2	61.0	76.9	67.5	71.5	47.8	68.9	57.7	67.9	47.2	70.7
1896	29.0	57.4	52.0	43.8	27.7	49.0	45.0	27.2	61.3	28.7	38.0	42.6
1897	40.6	29.4	29.1	31.0	20.0	11.3	27.6	21.8	48.1	14.3	8.4	33.3
1898	30.2	36.4	38.3	14.5	25.8	22.3	9.0	31.4	34.8	34.4	30.9	12.6
1899	19.5	9.2	18.1	14.2	7.7	20.5	13.5	2.9	8.4	13.0	7.8	10.5
1900	9.4	13.6	8.6	16.0	15.2	12.1	8.3	4.3	8.3	12.9	4.5	0.3
1901	0.2	2.4	4.5	0.0	10.2	5.8	0.7	1.0	0.6	3.7	3.8	0.0

附錄二：太陽黑子數量

1902	5.5	0.0	12.4	0.0	2.8	1.4	0.9	2.3	7.6	16.3	10.3	1.1
1903	8.3	17.0	13.5	26.1	14.6	16.3	27.9	28.8	11.1	38.9	44.5	45.6
1904	31.6	24.5	37.2	43.0	39.5	41.9	50.6	58.2	30.1	54.2	38.0	54.6
1905	54.8	85.8	56.5	39.3	48.0	49.0	73.0	58.8	55.0	78.7	107.2	55.5
1906	45.5	31.3	64.5	55.3	57.7	63.2	103.6	47.7	56.1	17.8	38.9	64.7
1907	76.4	108.2	60.7	52.6	42.9	40.4	49.7	54.3	85.0	65.4	61.5	47.3
1908	39.2	33.9	28.7	57.6	40.8	48.1	39.5	90.5	86.9	32.3	45.5	39.5
1909	56.7	46.6	66.3	32.3	36.0	22.6	35.8	23.1	38.8	58.4	55.8	54.2
1910	26.4	31.5	21.4	8.4	22.2	12.3	14.1	11.5	26.2	38.3	4.9	5.8
1911	3.4	9.0	7.8	16.5	9.0	2.2	3.5	4.0	4.0	2.6	4.2	2.2
1912	0.3	0.0	4.9	4.5	4.4	4.1	3.0	0.3	9.5	4.6	1.1	6.4
1913	2.3	2.9	0.5	0.9	0.0	0.0	1.7	0.2	1.2	3.1	0.7	3.8
1914	2.8	2.6	3.1	17.3	5.2	11.4	5.4	7.7	12.7	8.2	16.4	22.3
1915	23.0	42.3	38.8	41.3	33.0	68.8	71.6	69.6	49.5	53.5	42.5	34.5
1916	45.3	55.4	67.0	71.8	74.5	67.7	53.5	35.2	45.1	50.7	65.6	53.0
1917	74.7	71.9	94.8	74.7	114.1	114.9	119.8	154.5	129.4	72.2	96.4	129.3
1918	96.0	65.3	72.2	80.5	76.7	59.4	107.6	101.7	79.9	85.0	83.4	59.2
1919	48.1	79.5	66.5	51.8	88.1	111.2	64.7	69.0	54.7	52.8	42.0	34.9
1920	51.1	53.9	70.2	14.8	33.3	38.7	27.5	19.2	36.3	49.6	27.2	29.9
1921	31.5	28.3	26.7	32.4	22.2	33.7	41.9	22.8	17.8	18.2	17.8	20.3
1922	11.8	26.4	54.7	11.0	8.0	5.8	10.9	6.5	4.7	6.2	7.4	17.5
1923	4.5	1.5	3.3	6.1	3.2	9.1	3.5	0.5	13.2	11.6	10.0	2.8
1924	0.5	5.1	1.8	11.3	20.8	24.0	28.1	19.3	25.1	25.6	22.5	16.5
1925	5.5	23.2	18.0	31.7	42.8	47.5	38.5	37.9	60.2	69.2	58.6	98.6
1926	71.8	69.9	62.5	38.5	64.3	73.5	52.3	61.6	60.8	71.5	60.5	79.4
1927	81.6	93.0	69.6	93.5	79.1	59.1	54.9	53.8	68.4	63.1	67.2	45.2
1928	83.5	73.5	85.4	80.6	77.0	91.4	98.0	83.8	89.7	61.4	50.3	59.0
1929	68.9	62.8	50.2	52.8	58.2	71.9	70.2	65.8	34.4	54.0	81.1	108.0
1930	65.3	49.9	35.0	38.2	36.8	28.8	21.9	24.9	32.1	34.4	35.6	25.8
1931	14.6	43.1	30.0	31.2	24.6	15.3	17.4	13.0	19.0	10.0	18.7	17.8
1932	12.1	10.6	11.2	11.2	17.9	22.2	9.6	6.8	4.0	8.9	8.2	11.0
1933	12.3	22.2	10.1	2.9	3.2	5.2	2.8	0.2	5.1	3.0	0.6	0.3
1934	3.4	7.8	4.3	11.3	19.7	6.7	9.3	8.3	4.0	5.7	8.7	15.4
1935	18.6	20.5	23.1	12.2	27.3	45.7	33.9	30.1	42.1	53.2	64.2	61.5
1936	62.8	74.3	77.1	74.9	54.6	70.0	52.3	87.0	76.0	89.0	115.4	123.4
1937	132.5	128.5	83.9	109.3	116.7	130.3	145.1	137.7	100.7	124.9	74.4	88.8
1938	98.4	119.2	86.5	101.0	127.4	97.5	165.3	115.7	89.6	99.1	122.2	92.7
1939	80.3	77.4	64.6	109.1	118.3	101.0	97.6	105.8	112.6	88.1	68.1	42.1
1940	50.5	59.4	83.3	60.7	54.4	83.9	67.5	105.5	66.5	55.0	58.4	68.3

附錄二：太陽黑子數量

1941	45.6	44.5	46.4	32.8	29.5	59.8	66.9	60.0	65.9	46.3	38.4	33.7
1942	35.6	52.8	54.2	60.7	25.0	11.4	17.7	20.2	17.2	19.2	30.7	22.5
1943	12.4	28.9	27.4	26.1	14.1	7.6	13.2	19.4	10.0	7.8	10.2	18.8
1944	3.7	0.5	11.0	0.3	2.5	5.0	5.0	16.7	14.3	16.9	10.8	28.4
1945	18.5	12.7	21.5	32.0	30.6	36.2	42.6	25.9	34.9	68.8	46.0	27.4
1946	47.6	86.2	76.6	75.7	84.9	73.5	116.2	107.2	94.4	102.3	123.8	121.7
1947	115.7	133.4	129.8	149.8	201.3	163.9	157.9	188.8	169.4	163.6	128.0	116.5
1948	108.5	86.1	94.8	189.7	174.0	167.8	142.2	157.9	143.3	136.3	95.8	138.0
1949	119.1	182.3	157.5	147.0	106.2	121.7	125.8	123.8	145.3	131.6	143.5	117.6
1950	101.6	94.8	109.7	113.4	106.2	83.6	91.0	85.2	51.3	61.4	54.8	54.1
1951	59.9	59.9	55.9	92.9	108.5	100.6	61.5	61.0	83.1	51.6	52.4	45.8
1952	40.7	22.7	22.0	29.1	23.4	36.4	39.3	54.9	28.2	23.8	22.1	34.3
1953	26.5	3.9	10.0	27.8	12.5	21.8	8.6	23.5	19.3	8.2	1.6	2.5
1954	0.2	0.5	10.9	1.8	0.8	0.2	4.8	8.4	1.5	7.0	9.2	7.6
1955	23.1	20.8	4.9	11.3	28.9	31.7	26.7	40.7	42.7	58.5	89.2	76.9
1956	73.6	124.0	118.4	110.7	136.6	116.6	129.1	169.6	173.2	155.3	201.3	192.1
1957	165.0	130.2	157.4	175.2	164.6	200.7	187.2	158.0	235.8	253.8	210.9	239.4
1958	202.5	164.9	190.7	196.0	175.3	171.5	191.4	200.2	201.2	181.5	152.3	187.6
1959	217.4	143.1	185.7	163.3	172.0	168.7	149.6	199.6	145.2	111.4	124.0	125.0
1960	146.3	106.0	102.2	122.0	119.6	110.2	121.7	134.1	127.2	82.8	89.6	85.6
1961	57.9	46.1	53.0	61.4	51.0	77.4	70.2	55.8	63.6	37.7	32.6	39.9
1962	38.7	50.3	45.6	46.4	43.7	42.0	21.8	21.8	51.3	39.5	26.9	23.2
1963	19.8	24.4	17.1	29.3	43.0	35.9	19.6	33.2	38.8	35.3	23.4	14.9
1964	15.3	17.7	16.5	8.6	9.5	9.1	3.1	9.3	4.7	6.1	7.4	15.1
1965	17.5	14.2	11.7	6.8	24.1	15.9	11.9	8.9	16.8	20.1	15.8	17.0
1966	28.2	24.4	25.3	48.7	45.3	47.7	56.7	51.2	50.2	57.2	57.2	70.4
1967	110.9	93.6	111.8	69.5	86.5	67.3	91.5	107.2	76.8	88.2	94.3	126.4
1968	121.8	111.9	92.2	81.2	127.2	110.3	96.1	109.3	117.2	107.7	86.0	109.8
1969	104.4	120.5	135.8	106.8	120.0	106.0	96.8	98.0	91.3	95.7	93.5	97.9
1970	111.5	127.8	102.9	109.5	127.5	106.8	112.5	93.0	99.5	86.6	95.2	83.5
1971	91.3	79.0	60.7	71.8	57.5	49.8	81.0	61.4	50.2	51.7	63.2	82.2
1972	61.5	88.4	80.1	63.2	80.5	88.0	76.5	76.8	64.0	61.3	41.6	45.3
1973	43.4	42.9	46.0	57.7	42.4	39.5	23.1	25.6	59.3	30.7	23.9	23.3
1974	27.6	26.0	21.3	40.3	39.5	36.0	55.8	33.6	40.2	47.1	25.0	20.5
1975	18.9	11.5	11.5	5.1	9.0	11.4	28.2	39.7	13.9	9.1	19.4	7.8
1976	8.1	4.3	21.9	18.8	12.4	12.2	1.9	16.4	13.5	20.6	5.2	15.3
1977	16.4	23.1	8.7	12.9	18.6	38.5	21.4	30.1	44.0	43.8	29.1	43.2
1978	51.9	93.6	76.5	99.7	82.7	95.1	70.4	58.1	138.2	125.1	97.9	122.7
1979	166.6	137.5	138.0	101.5	134.4	149.5	159.4	142.2	188.4	186.2	183.3	176.3

附錄二：太陽黑子數量

1980	159.6	155.0	126.2	164.1	179.9	157.3	136.3	135.4	155.0	164.7	147.9	174.4
1981	114.0	141.3	135.5	156.4	127.5	90.9	143.8	158.7	167.3	162.4	137.5	150.1
1982	111.2	163.6	153.8	122.0	82.2	110.4	106.1	107.6	118.8	94.7	98.1	127.0
1983	84.3	51.0	66.5	80.7	99.2	91.1	82.2	71.8	50.3	55.8	33.3	33.4
1984	57.0	85.4	83.5	69.7	76.4	46.1	37.4	25.5	15.7	12.0	22.8	18.7
1985	16.5	15.9	17.2	16.2	27.5	24.2	30.7	11.1	3.9	18.6	16.2	17.3
1986	2.5	23.2	15.1	18.5	13.7	1.1	18.1	7.4	3.8	35.4	15.2	6.8
1987	10.4	2.4	14.7	39.6	33.0	17.4	33.0	38.7	33.9	60.6	39.9	27.1
1988	59.0	40.0	76.2	88.0	60.1	101.8	113.8	111.6	120.1	125.1	125.1	179.2
1989	161.3	165.1	131.4	130.6	138.5	196.2	126.9	168.9	176.7	159.4	173.0	165.5
1990	177.3	130.5	140.3	140.3	132.2	105.4	149.4	200.3	125.2	145.5	131.4	129.7
1991	136.9	167.5	141.9	140.0	121.3	169.7	173.7	176.3	125.3	144.1	108.2	144.4
1992	150.0	161.1	106.7	99.8	73.8	65.2	85.7	64.5	63.9	88.7	91.8	82.6
1993	59.3	91.0	69.8	62.2	61.3	49.8	57.9	42.2	22.4	56.4	35.6	48.9
1994	57.8	35.5	31.7	16.1	17.8	28.0	35.1	22.5	25.7	44.0	18.0	26.2
1995	24.2	29.9	31.1	14.0	14.5	15.6	14.5	14.3	11.8	21.1	9.0	10.0
1996	11.5	4.4	9.2	4.8	5.5	11.8	8.2	14.4	1.6	0.9	17.9	13.3
1997	5.7	7.6	8.7	15.5	18.5	12.7	10.4	24.4	51.3	22.8	39.0	41.2
1998	31.9	40.3	54.8	53.4	56.3	70.7	66.6	92.2	92.9	55.5	74.0	81.9
1999	62.0	66.3	68.8	63.7	106.4	137.7	113.5	93.7	71.5	116.7	133.2	84.6
2000	90.1	112.9	138.5	125.5	121.6	124.9	170.1	130.5	109.7	99.4	106.8	104.4
2001	95.6	80.6	113.5	107.7	96.6	134.0	81.8	106.4	150.7	125.5	106.5	132.2
2002	114.1	107.4	98.4	120.7	120.8	88.3	99.6	116.4	109.6	97.5	95.5	80.8
2003	79.7	46.0	61.1	60.0	54.6	77.4	83.3	72.7	48.7	65.5	67.3	46.5
2004	37.2	46.0	48.9									

SIDC 網站：<http://sidc.oma.be/index.php3>

附錄三：綠島附近氣候資料

壹、蘭嶼、台東全天空輻射量

一、蘭嶼全天空輻射量：單位MJ/m²

YM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1993	229.2	190.45	257.1	310.98	381.74	*301.5	*424.77	505.47	342.95	263.19	187.53	159.91
1994	166.65	171.95	230.91	344.23	414.42	390.64	432.84	326.75	368.29	341.35	305.64	190.03
1995	220.2	166.1	*103.6	361.6	324.6	*346.7	350.7	*283.5	*228.1	277.1	*164.0	*7.2
1996	X	X	*150.23	249.58	250.8	489.06	448.29	*336.99	368.26	263.48	*158.01	170.55
1997	174.44	191.28	357.49	341.12	402.87	280.86	431.46	347.08	391.02	*230.35	272.9	198.23
1998	204.6	176.58	246.94	349.8	383.23	335.52	503.57	484.92	334.62	*212.85	218.94	213.03
1999	*148.67	238.08	297.07	322.32	360.7	373.45	431.06	401.58	312.82	250.25	205.78	*132.22
2000	200.84	133.07	237.87	256.58	302.2	*320.18	253.19	*275.41	403.03	262.58	144.8	138.26
2001	183.35	176.47	267.91	227.36	242.6	334	315.63	409.44	243.74	290.58	189.02	166.12
2002	200.63	230.97	289.01	363.46	361.33	352.59	344.12	378.85	317.26	245.54	159.3	169.24
2003	228.2	237.01	317.87	367.13	406.33	353.74	604.94	457.69	372.03	313.14	155.81	181.05

上表有(*)者，表示當月數具有受特殊事件影響

二、台東全天空輻射量：單位MJ/m²

YM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1956	401.74	505.8	598.01	627.41	683.33	616.68	729.01	552.59	545.91	532.25	383.54	438.47
1957	301.86	371.31	470.31	521.2	581.37	650.86	700.56	586	352.99*	406.95	352.06	289.97
1958	321.72	276.36	298.82	466.17	455.78	381.44	605.15	535.83	429.42	382.36	366.39	X
1959	272.28	261.64	329.27	433.68	413.52	X	431.68	465.97	349.48	469.92	523.61	419.84
1960	367.65	380.74	491.67	475.71	571.96	619.31	701.21	583.51	596.33	545.14	448.23	426.97
1961	417.37	418.68	532.4	396.39	537.76	543.58	748.97	520.27	581.57	501.05	474.98	355.25
1962	396.13	308.57	453.89	456.22	602.46	749.74	638.34	605.03	511.09	609.33	461.37	427.07
1963	301.5	354.09	414.2	440.47	647.06	670.37	710.79	718.38	702.65	596.43	458.56	464.69
1964	384.45	364.73	470.04	532.58	772.75	593.77*	749.22	833.99	639.37	588.22	511.43	424.24
1965	394.56	428.64	509.97	786.36	663.03	687.3	818.9	670.98	585.79	520.97	449.54	421.27
1966	459.21	477.78	492.06	532.51	604.34	621.93	746.08	789.15	575.06	508.26	410.24	439.99
1967	507.73	456.73	531.07	575.67	567.76	594.2	648.41	719.18	567.36	561.33	435.64	411.34
1968	362.03	425.35	497.59	588.18	682.51	712.36	809.87	681.94	611.68	522.77	452.83	379.09
1969	372.43	314.68	392.01	512.33	591.14	603.96	701.61	622.69	522.44	508.44	476.69	481.34
1970	396.37	372.96	419.35	546.51	607.17	509.38	717.93	714.73	508.03	450.63	413.2	354.93
1971	339.08	366.5	326.28	449.15	511.72	605.41	666.48	609.53	556.24	445.92	392.67	339.43
1972	302.56	287.02	418.09	398.38	539.92	626.16	582.6	645.52	506.95	437.9	358.61	274
1973	323.78	293.33	449.01	399.43	482.16	505.41	488.18	509.56	528.03	501.83	328.31	296.12

附錄三：綠島附近氣候資料

1974	344.8	378.46	353.44	461.9	484.71	475.87	512.01	450.44	532.5	362.05*	274.25	277.58
1975	204.44*	248.67*	252.96	416	430.78	442.21	628.02	478.76	517.7	404.09	311.24	292
1976	278.16	342.6	358.11	423.84	405.54	486.98	528.81	566.48	424.15	394.6	337.41	359.86
1977	354.97	286.72	442.9	585.98	572.42	532.57	612.01	619.13	515.87	535.04	350.57	339.64
1978	307.43	263.2	353.59	441.69	507.64	599.39	721.15	498.65	534.94	399.19	357.26	302.11
1979	375.48	318.76	334.43	442.81	400.34	537.01	690.65	573.66	538.72	497.58	311.23	354.52
1980	315.78	317.49	452.73	428.59	518.21	711.52	685.09	656.92	506.61	438.82	314.42	302.97
1981	283.56	277.84	295.28	482.36	413.18	473.88	539.21	620.34*	452.67	502.09*	318.73*	289.97
1982	309.03*	311.86	444.07*	373.8*	652.82	494.86*	641.9*	501.81*	537.39	504.79*	341.44	281.8*
1983	258.39	220.66	309.87	571.8	466.91	646.76	785.16	632.18*	628.22	474.28	454.17	306*
1984	352.8	324.32	339.35*	409.64	475.77	633.96*	846.85	612.61	725.03	531.23	449.59	413.43
1985	398.74	274.11	517.68	509.3	651.08	469.63	788.39	701.35	577.57	550.98	387.68	341.39
1986	338.99	253.64	387.63	519	469.01	636	806.19	720.28	588.72	474.2	384.36	343.2
1987	385.46	378.01	482.19	565.98	564.03	546.45	726.24	825.42	538.11	552.05	414.21	331.9
1988	345.44*	414.53	440.58	377.74	526.25	735.68	769.65	635.99	515.94	393.68	336.71	370.96
1989	330.04	370.89	342.19	403.12	538.22	666.87	707.89	677.33	558.82	473.7	384.9	359.42
1990	325.69	367.44	412.33*	380.32	631.12	557.46	734.11	649.86	492.5*	507.35	434.81	362.09
1991	343.75	302.36	515.03	515.06	691.94	751.06	722.53	695.1	419.22	372.09	345.13	329.4
1992	313.56	287.95	489.44	372.55	490.87	579.55	590.66*	581.82*	337.42*	507.57	387.37	361.15
1993	297.42	256.98	367.16	455.78	587.71	611.58	781.62	745.59	549.48	446.91	379.21	320.52
1994	269.8	247.12	348.16	538.99	530.81	674.57	694.11	587.36	536.16	532.25	436.64	342.87
1995	355.34	205.9	301.3	537.28	496.62	631.88	632.2	592.15	585.21	547.39	336.59	345.49
1996	341.6	367.2	486.6	383.93	367.64	762.7	715.43	671.19	544.46	401.29	366.09	300.03
1997	299.64	244.98	488.05	456.45	551.36	462.17*	641.12	537.17	491.5	422	405.12	298.28
1998	292.47	260.75	379.81	445.82	580.7	514.71	729.21	708.38*	464.58	418.32*	334.35	303.99
1999	287.74	314.81*	445.21	436.42	472.9	646.7	622.51	606.27	466.59	392.81	309.55	247.55
2000	297.25	243.21	369.46	348.01	459.69	611.79	554.17	575.87	513.44	454.57	342.9	290.46
2001	286.17	303.28	358.17	313.6	383.24	549.36	578.53	633.36	378.21	405.03	333.64	280.86
2002	287.74	266.95	384.27	482.11	499.38	562.35	604.09	570.43	431.19	397.3	265.73	255.51
2003	219.85	126.08*	276.97*	506.13	535.74	611.45	864.13	681.02	600.28	490.27	358.78	333.42

上表有 (*) 者，表示當月數具有受特殊事件影響

貳、蘭嶼地方氣溫

YM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1942	17.9	19.6	21.5	22.6	24.2	25.7	25.6	25.8	24.8	23.6	21.1	18.4
1943	17	17.5	20.2	20.5	23.4	24.7	25.2	25.3	25.2	23.2	21.2	18.8

附錄三：綠島附近氣候資料

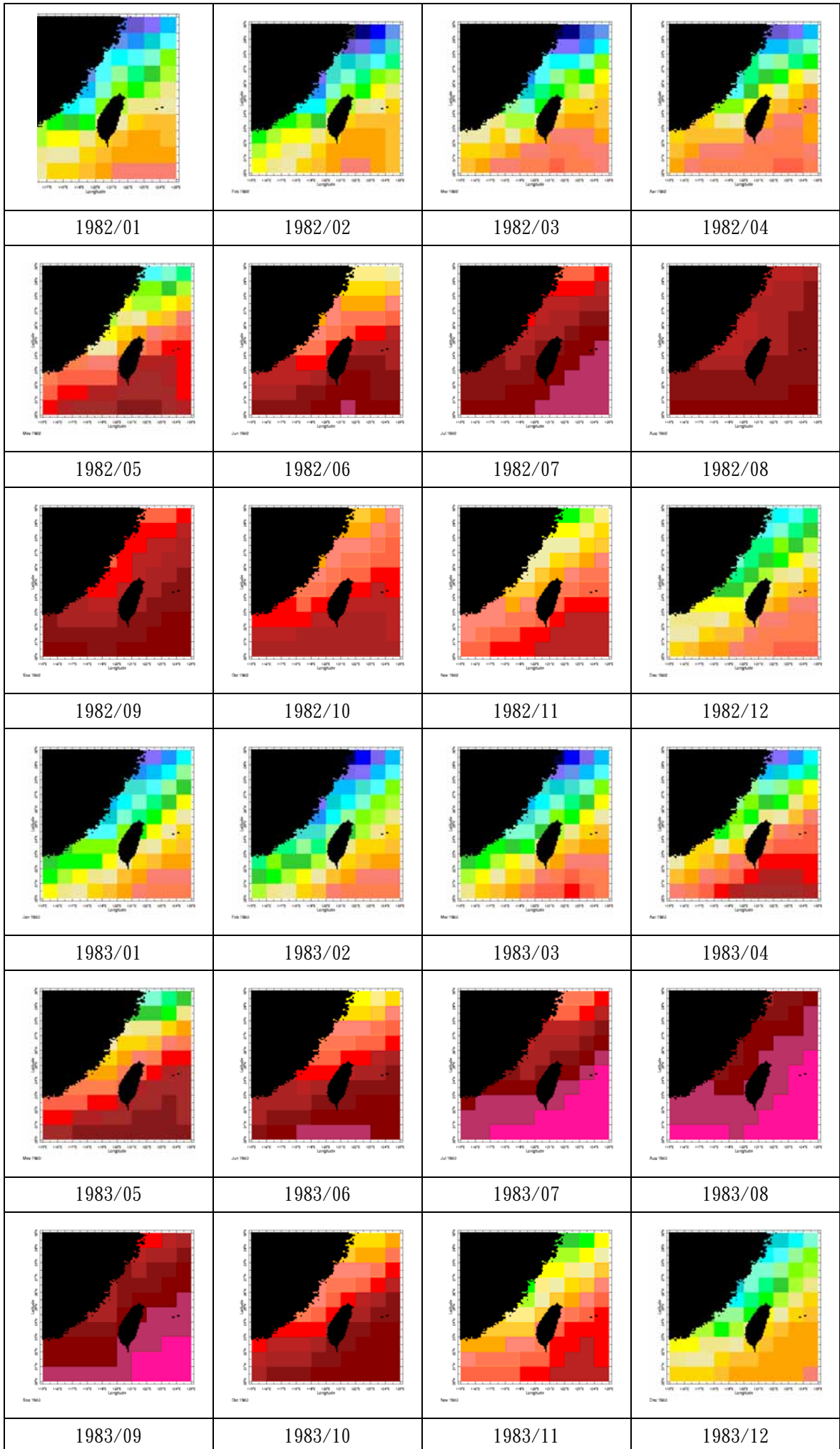
1944	18.4	17.7	18.2	21.7	24.5	25.3	25.5	25.2	25.4	X	22.3	17.6
1947	X	X	X	X	X	X	25.6	25.4	25.3	22.8	21.2	18.7
1948	17.3	19.7	19.8	21.7	24.5	24.9	25.6	25.5	24.5	23.2	20.4	20.5
1949	17.2	19.2	20.1	21.6	24.8	25.6	26.4	25.5	25.1	23.3	21.6	20.3
1950	19.9	18.8	20.8	22.4	24.6	25.1	26.2	25.7	26	23.9	21.1	17.4
1951	18.4	18.7	19.7	22.3	23	24.7	25.8	25.4	25.5	23.6	21.2	19.5
1952	18.4	19.2	21.8	22.4	25.7	26.4	25.9	26.3	24.9	23.7	22.1	18.6
1953	18.3	19	20.5	21	23.9	25.9	26.4	26.6	25.9	24.5	22.6	20.4
1954	20.2	19.5	19.7	23.4	25.9	26.1	26.9	26.3	25.3	23.1	21.6	19.1
1955	17.4	19.7	20.9	22.1	24.7	25.2	25.9	25.1	25.7	22.8	20.4	19.2
1956	17	18.6	20.3	22.3	25	26.1	26.6	25.8	24.6	22.9	20.1	18.5
1957	18.5	18.2	19.9	22.2	24.6	25	26.2	26.2	24.7	22.7	21.2	19.9
1958	18.2	18.3	20.7	23.1	24.3	24.9	25.6	25.7	25.1	23.2	20.9	19.7
1959	17.4	20.3	20.4	21.8	24.4	26.1	26.4	26	25.2	23.1	21.6	20.1
1960	18.5	18.7	21.8	22.1	24.4	25.3	26.7	25.4	25.2	23.3	21.8	18.5
1961	17.6	18.2	20.4	22.1	24.2	26.4	25.2	25.6	24.7	23.3	21.9	19.6
1962	16.1	17.9	19.1	20.5	24.9	25.9	26.8	26.5	25.5	23.4	21.1	19.3
1963	15.2	16.1	18.9	21.4	25.2	25.1	25.5	26.6	25.7	22.9	22.1	19.1
1964	18.7	17.7	19.4	23.6	24.1	25.1	26.4	25.7	25	24	20.7	18.8
1965	17.6	19.3	19.6	22.4	23.8	25.1	25.6	25.6	24.7	23.2	22.1	19.7
1966	19.7	20.4	21.5	23.3	23.3	25.1	26	26.2	24.5	23.3	21.3	19.9
1967	17.2	17.6	19.9	22.4	24.9	25.4	26.6	26	24.7	23.1	21.5	16.8
1968	17.4	16	19.2	21.3	23.8	25.1	26.1	25.8	24.4	22.7	20.9	20.1
1969	19.1	18.3	20.1	22.1	24.5	25	26.4	25.5	25.5	22.8	20.6	18.2
1970	17.4	18.5	19	21.9	24.6	25.6	26.1	25.8	25.5	23.8	21.3	20.1
1971	17	18	19.1	21.5	23.1	25.8	25.9	25.5	25.3	22.9	20.8	19.1
1972	18.1	18.7	18.8	21.2	24	25.4	25.5	24.9	24.8	23.6	21.9	19.3
1973	19.1	20.6	20.8	23.1	24.7	25.4	25.5	25.2	25.2	23.6	21.3	18.1
1974	18.3	17.1	19.6	22.3	24.7	24.9	26.1	25.3	24.6	24.2	21.6	20.4
1975	18.5	19.2	20.2	23	24.6	25.4	26.1	25.5	25.7	24.3	20.9	18
1976	17.6	19.2	19.3	22.1	23.5	25.2	25.5	25.8	24.9	23.7	20.2	19.5
1977	18.3	17.2	20.4	23.2	25.2	25.9	26.3	25.9	25.3	23.7	20.8	20.5
1978	18.1	18.2	20.3	22.7	24.5	26	26.7	25.4	25.2	23.1	21.1	19.3
1979	19.7	19.8	20.8	22.5	23.6	25.2	26.6	25.8	25.3	23.1	20.7	19.6
1980	18.2	18.7	21.7	22.5	24.3	26.2	26	26.7	25.3	23.6	21.8	18.6
1981	17.9	19.2	20.9	23.6	23.8	24.9	25.9	26.6	25.2	23.9	21.6	18
1982	17.9	19.1	21.2	21.1	24.7	25.6	26.4	25.6	25	23.6	22.4	19.2
1983	18.5	19.3	20.5	23.7	24.4	26.2	27.1	26.6	26.2	24.8	21	18
1984	17.7	18.3	20.4	22.4	23.7	26.4	26.4	25.8	26	24.2	22.1	19.5

附錄三：綠島附近氣候資料

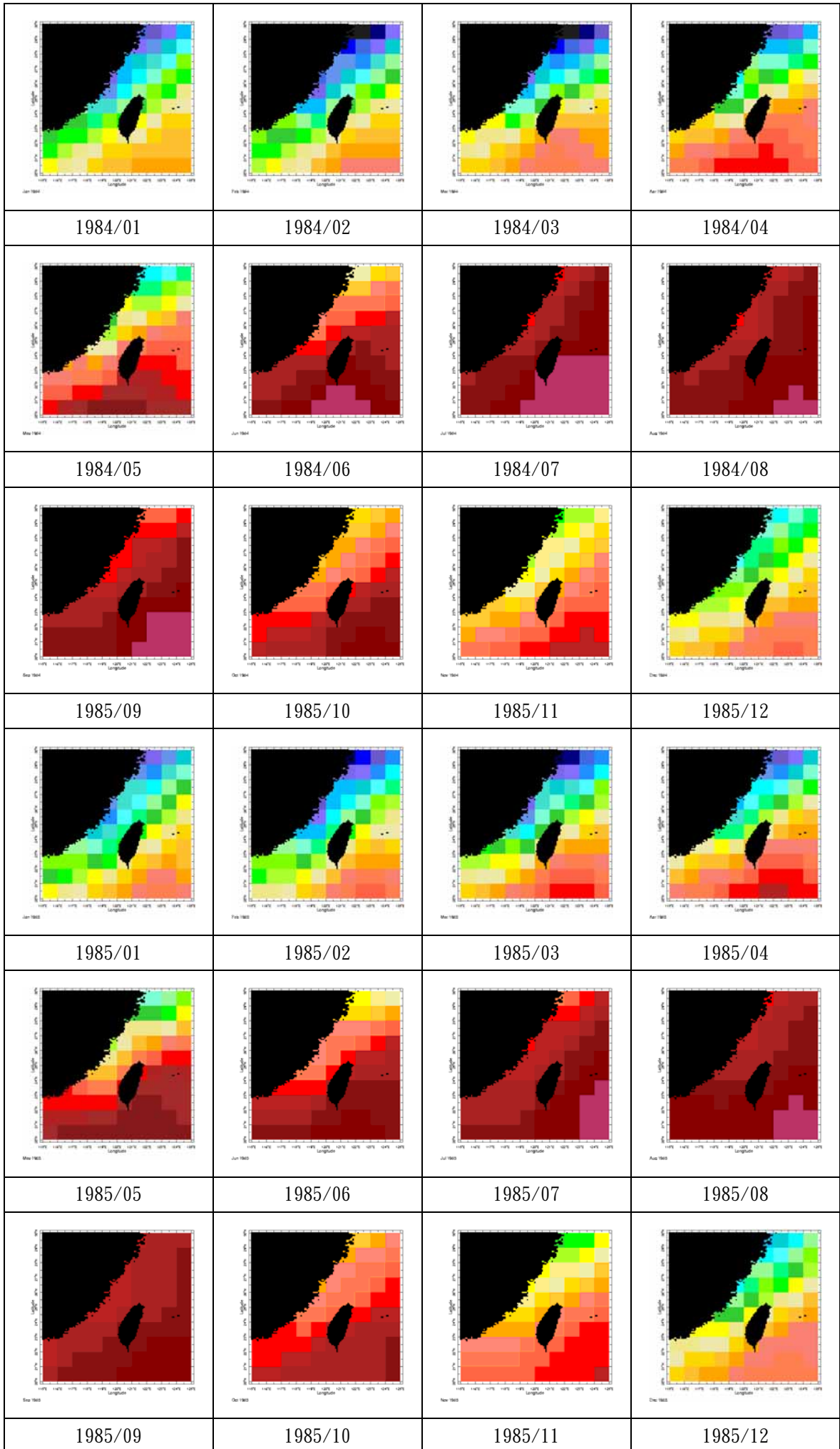
1985	18.3	20.6	20.9	22.1	25.3	25.2	26.1	25.8	25.2	24.3	21.6	19.3
1986	17.5	17.3	19.6	23	24	25.4	26.4	26.1	24.9	23.3	21.7	19.2
1987	18.1	19	21.1	22.5	24.8	25.4	26.3	26.6	24.7	24.4	22.8	19.2
1988	19.6	19.6	21.2	21.9	25.5	26.2	26.6	26.1	25.7	23.8	20.3	18.6
1989	18.9	18.5	18.8	22.8	24.1	25.4	26.5	25.8	25.3	23.3	20.9	18.7
1990	18.5	20.2	20	22	24.5	25.5	26	26	24.6	23.4	22.1	19.4
1991	19.1	18.7	21.8	22.3	24.6	26.4	26.3	26.3	25.2	23.1	20.7	19.7
1992	18.6	18.5	22.1	22.9	24	25.8	26.2	26.3	25.2	22.9	20.7	20.1
1993	18.3	18.1	19.2	21.7	24.3	25.9	26.6	26.4	24.9	22.9	21.9	19
1994	18.6	19.3	19.5	23.4	24.5	25.7	26.1	25.5	24.5	22.7	21.6	20.7
1995	18.1	17.3	19.6	22.9	23.7	25.6	25.5	25.6	25.2	24.3	21.4	18.6
1996	18.6	17.5	20.6	20.2	22.6	26.1	26.5	25.8	25.6	23.5	22.4	18.8
1997	17.9	18	20.4	22.3	24.3	24.6	25.9	25.8	24.5	23.6	22	20.3
1998	19.4	19.8	21.2	23.4	24.8	25.6	26.3	26.9	25.4	24.5	22.7	20.6
1999	19.1	19.2	22.1	22.1	23.1	25.6	26.1	25.7	25.1	23.9	21.6	18.7
2000	19.3	18.6	20.5	22.5	23.4	25.9	25.7	25.8	25	24.5	22.3	20.7
2001	19.2	19.4	20.6	22.7	24.7	26	26	26.4	24.8	23.8	21.4	19.4
2002	19	18.8	21.3	23.6	24.7	25.7	26.2	26	25.1	24	21.6	20.2
2003	17.8	19.2	19.7	22.6	24.3	24.9	26.6	25.9	25.4	23.6	22.3	19.2

註：1945-1946 年的資料因氣象局遺漏，無資料

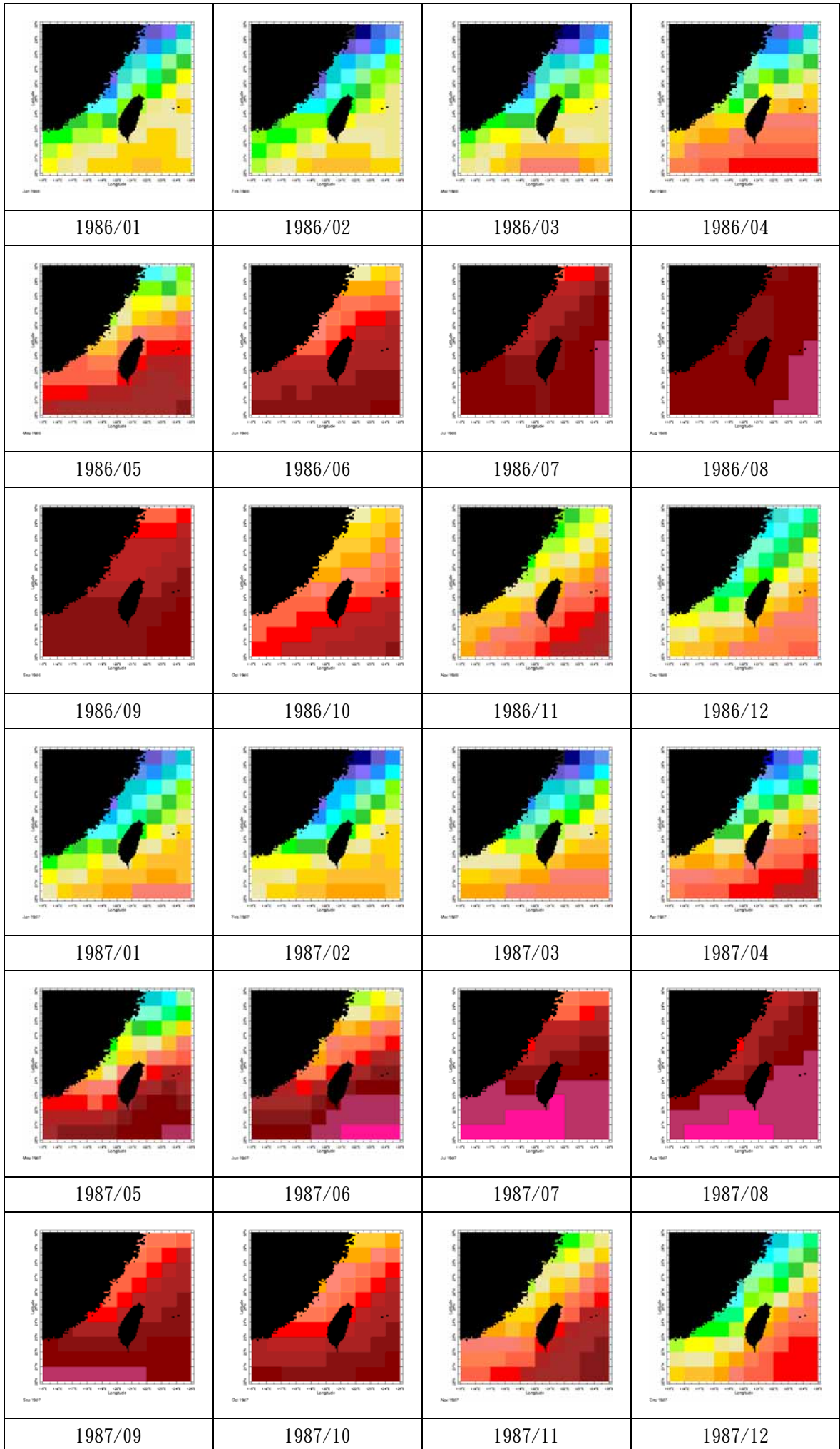
附錄四、綠島附近 SST 圖片



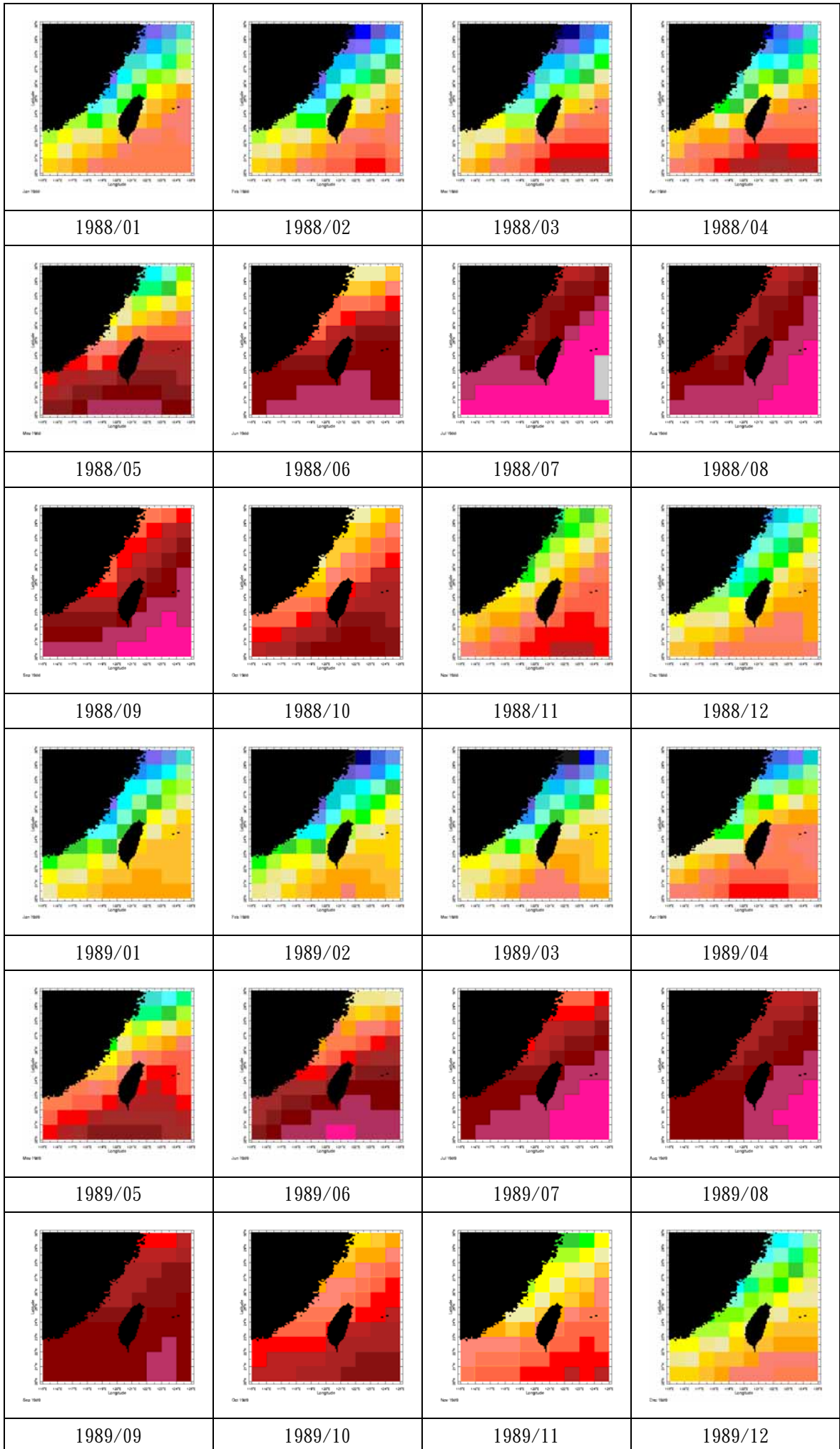
附錄四、綠島附近 SST 圖片



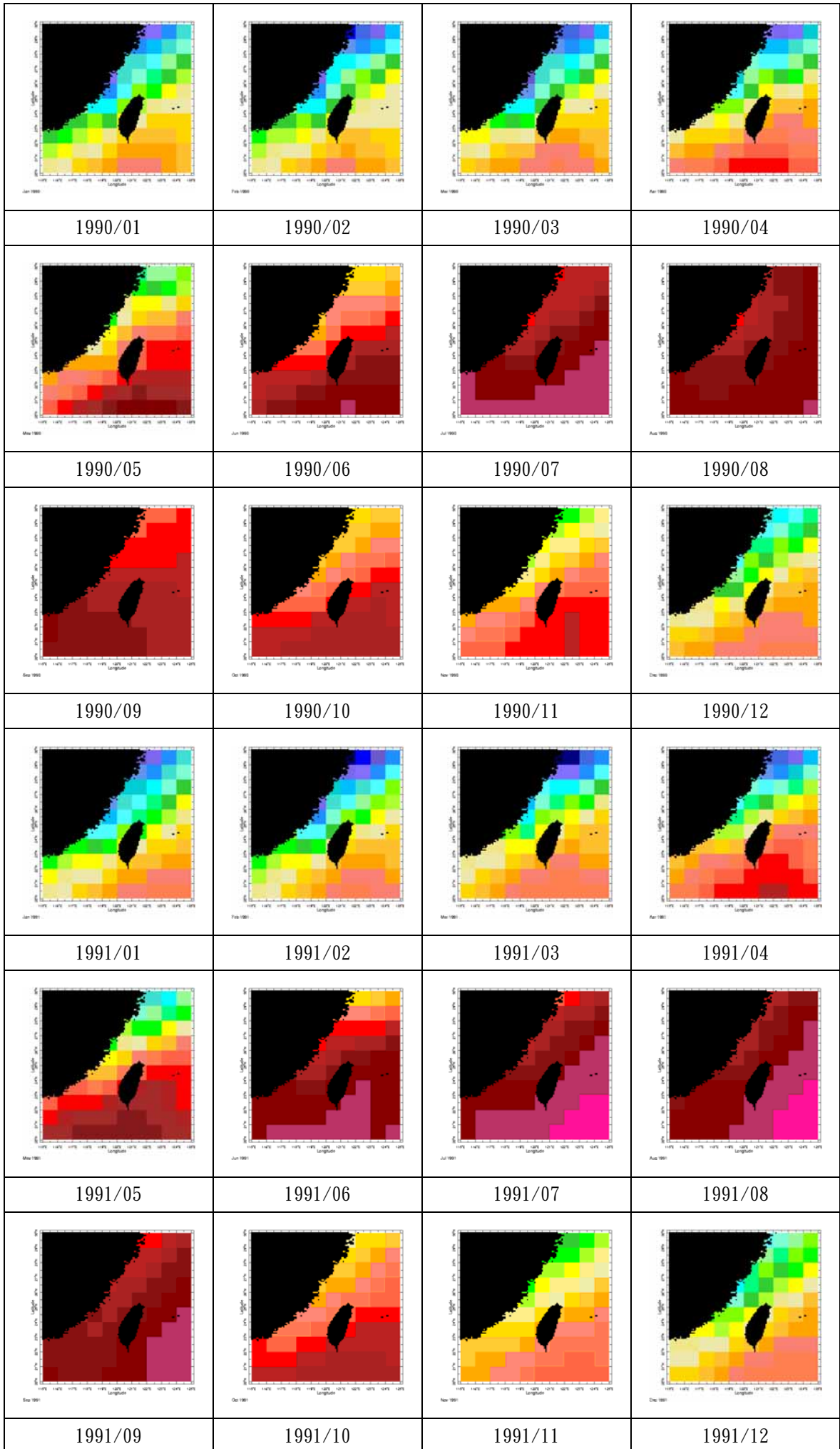
附錄四、綠島附近 SST 圖片



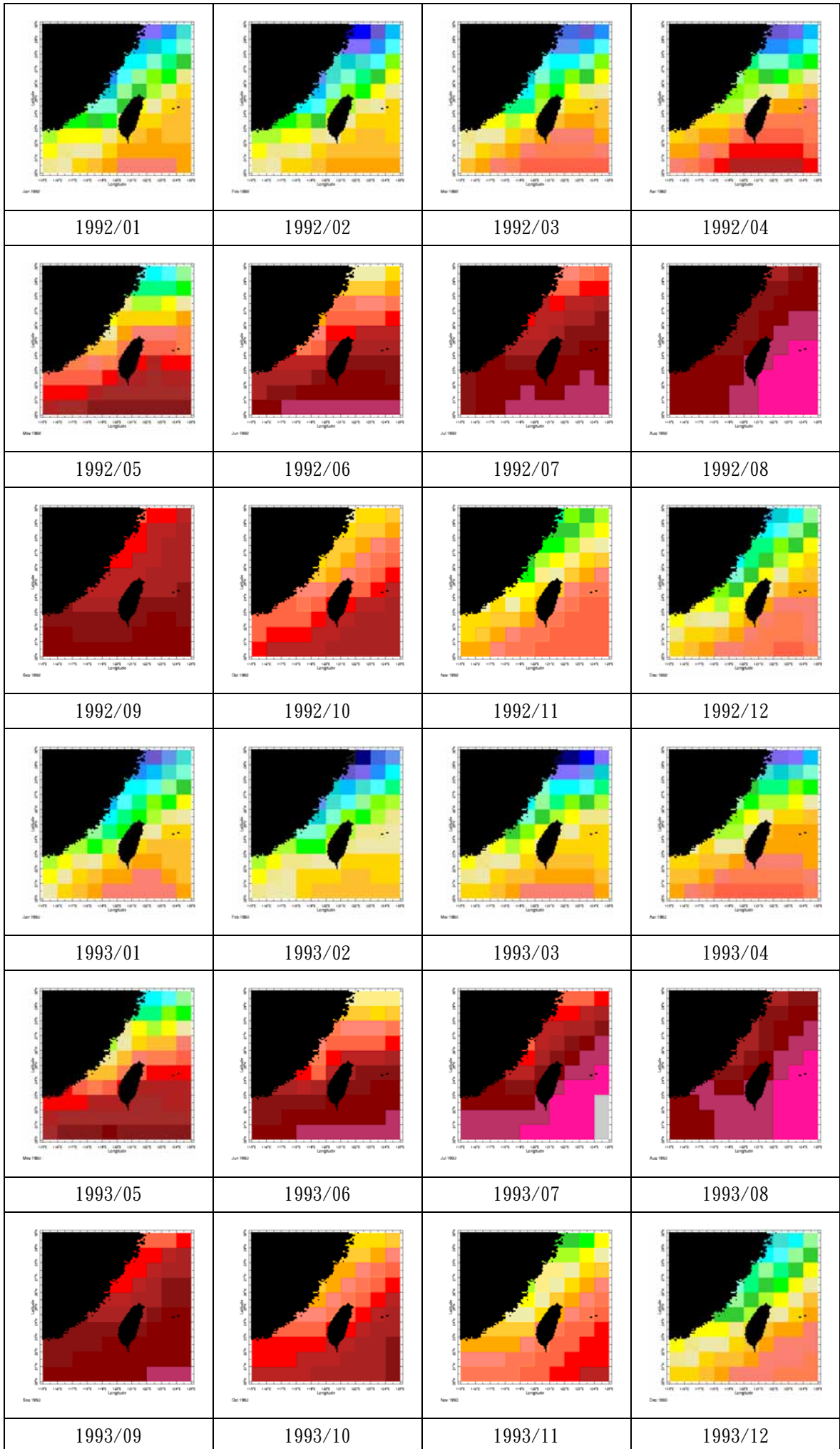
附錄四、綠島附近 SST 圖片



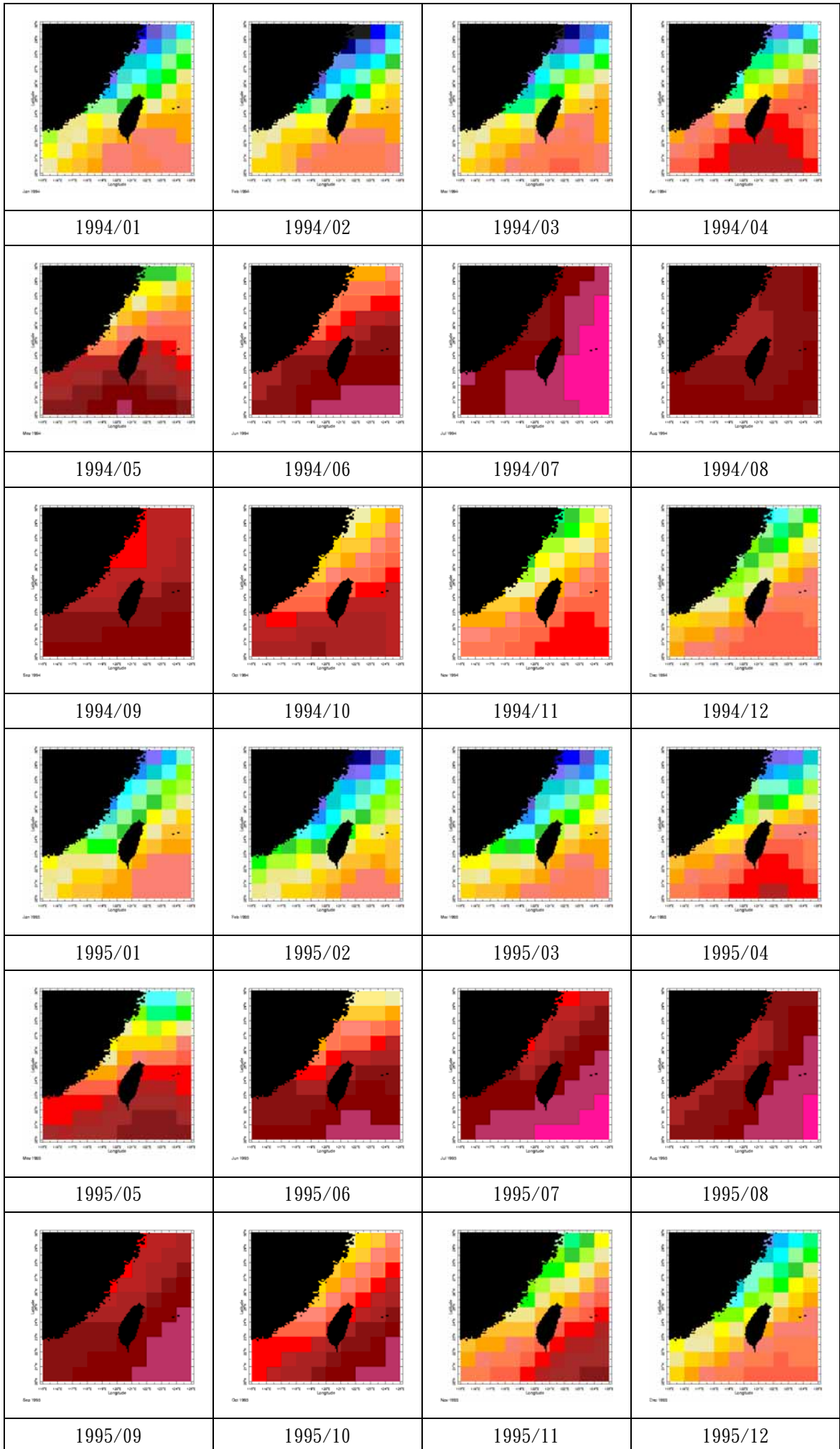
附錄四、綠島附近 SST 圖片



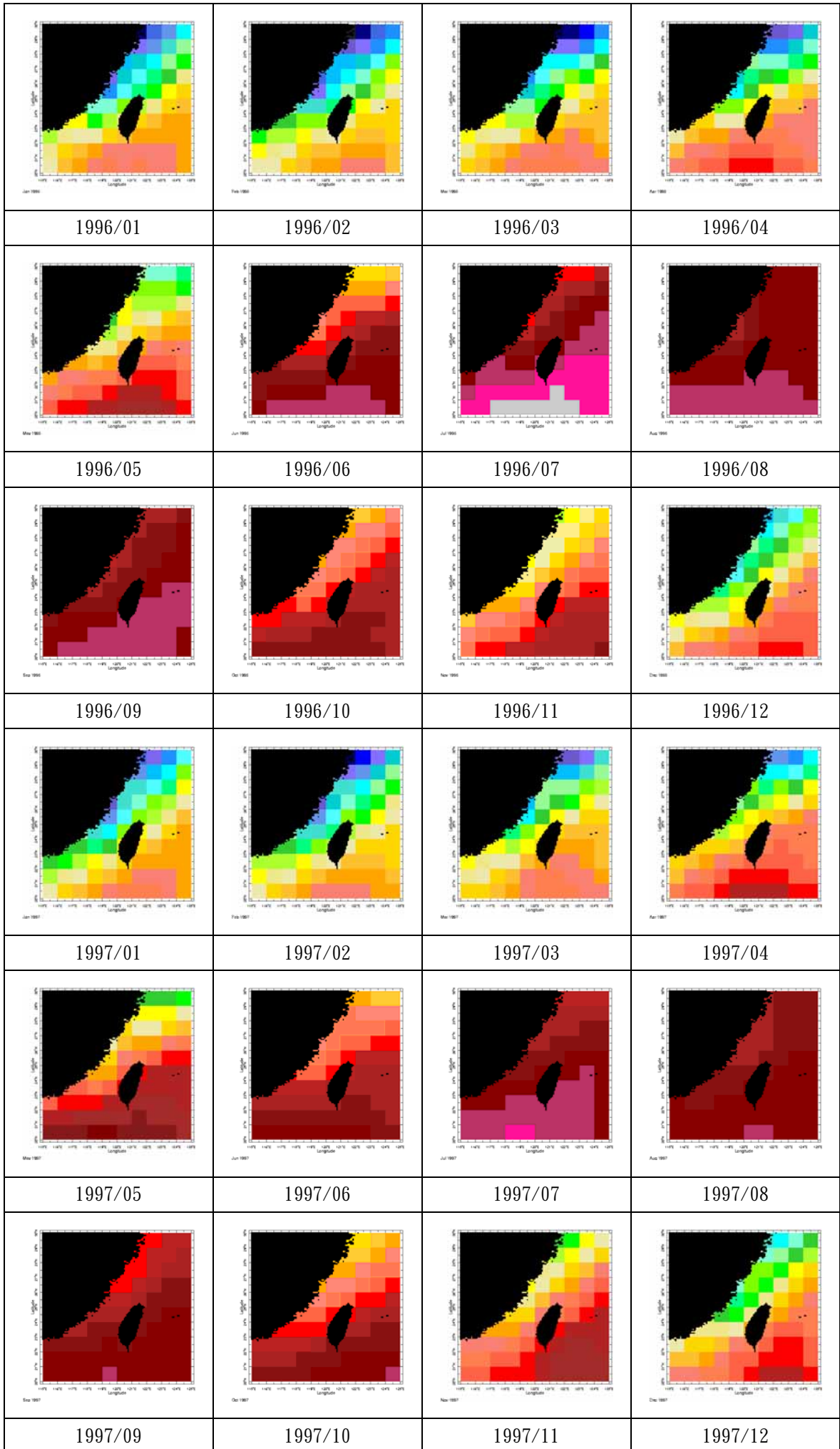
附錄四、綠島附近 SST 圖片



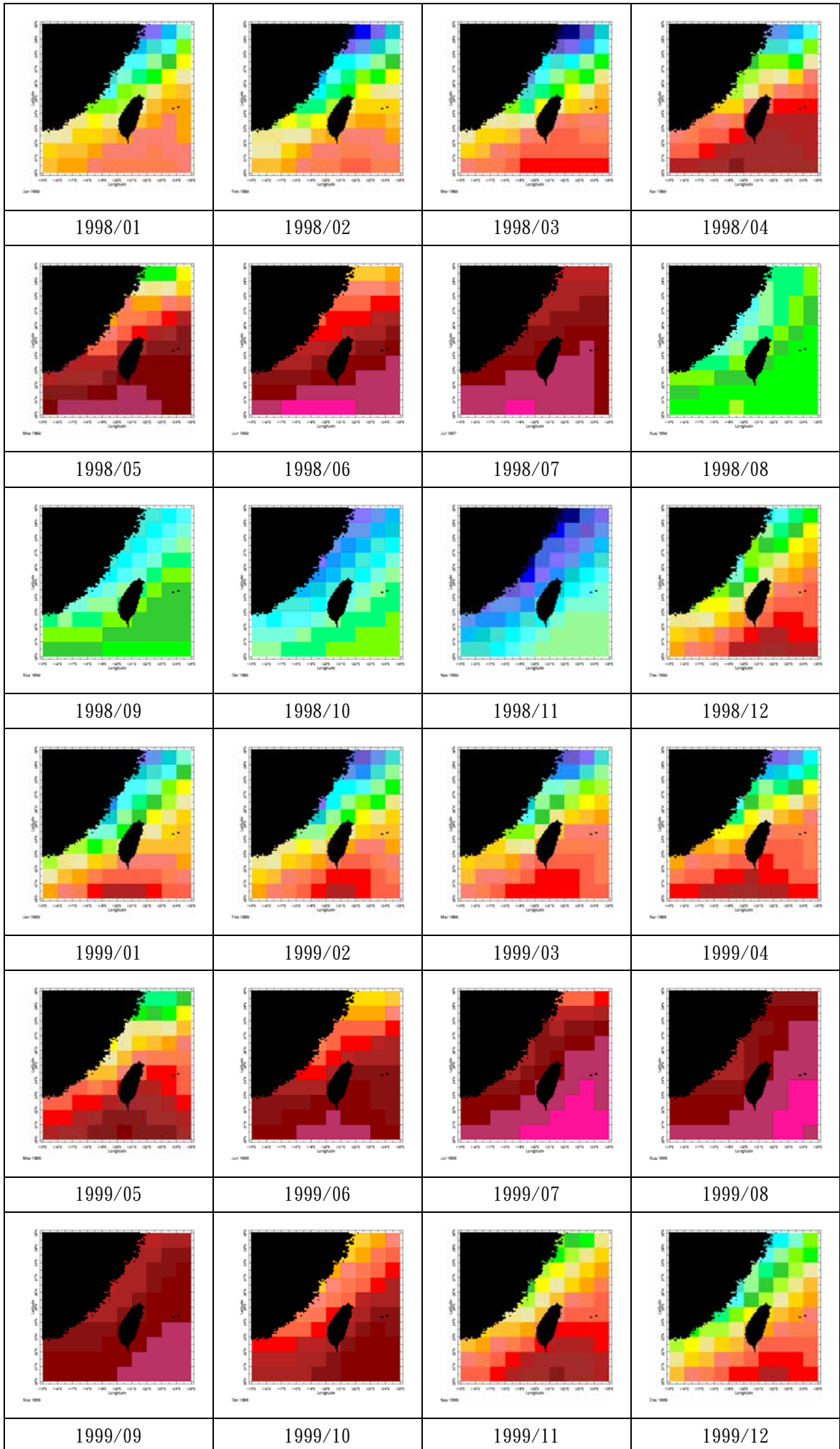
附錄四、綠島附近 SST 圖片



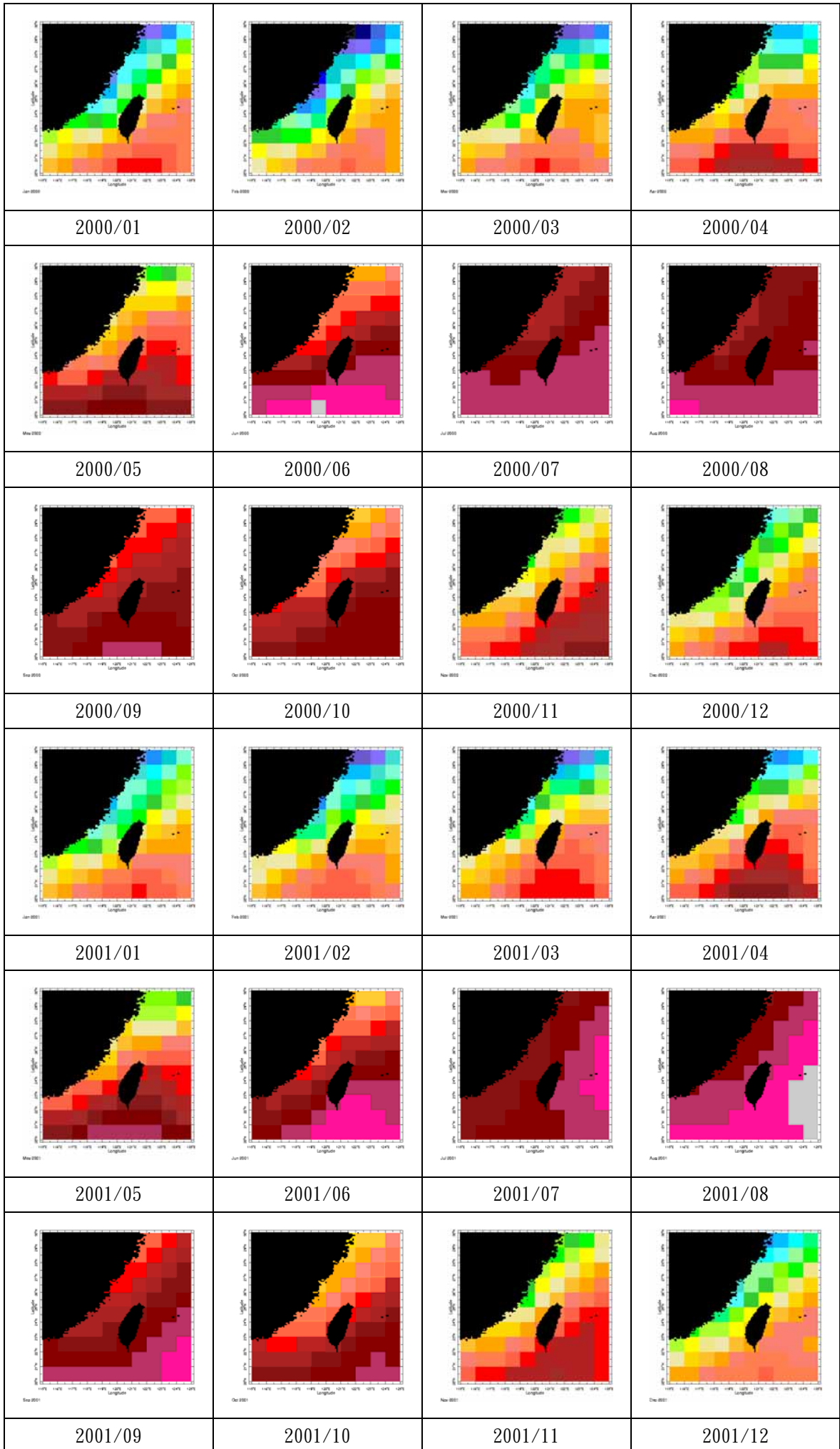
附錄四、綠島附近 SST 圖片



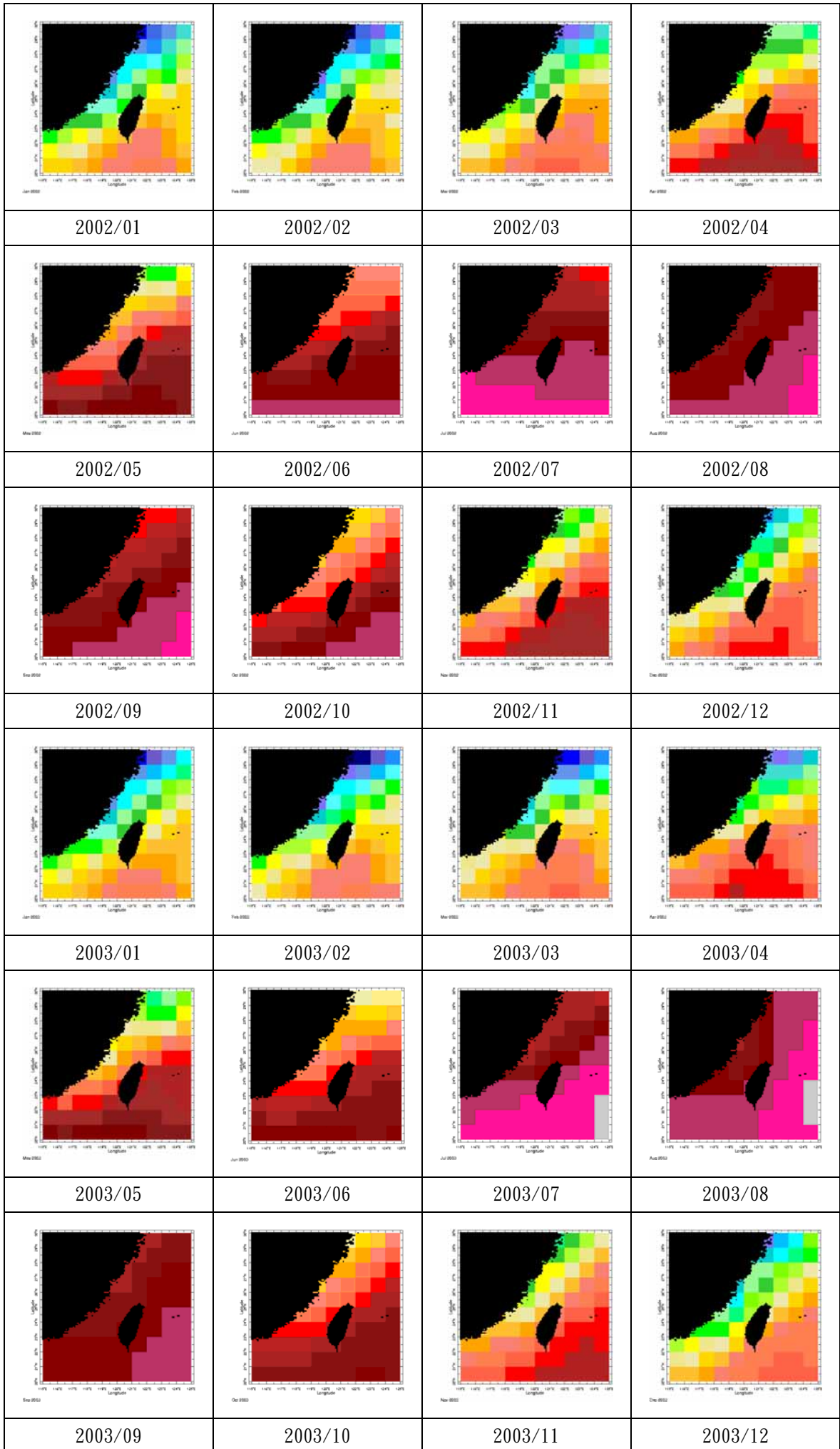
附錄四、綠島附近 SST 圖片



附錄四、綠島附近 SST 圖片



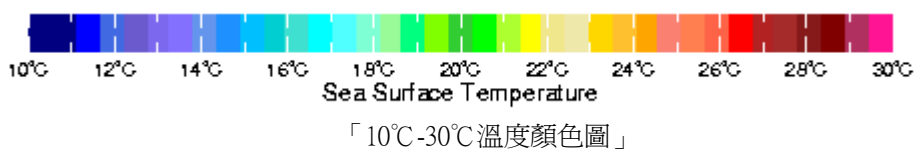
附錄四、綠島附近 SST 圖片



附錄四、綠島附近 SST 圖片

在綠島，黑潮會隨著季節而在台灣與綠島之間徘徊。而黑潮會影響附近水溫，讓珊瑚生長產生偏差。後來在蒐集相關資料時，由台灣東部黑潮流域之海水探化學研究（李福祥、2001）知道在黑潮流過的地區，海水溫度鹽度有很大的變化，可以用這方法看出黑潮是否至流綠島。所以從「國家海洋研究中心」以及IGOSS下載綠島附近的海水溫鹽圖，觀察結果跟典型的黑潮溫鹽圖相似，代表黑潮一年四季皆有流過綠島。由IGOSS 下載的1982-2003 衛星溫度圖看每到每年1、2月間，黑潮影響力減弱、水溫迅速下降，據推測是太陽直射角度偏移至最大角，加上大陸冷氣團所激起的海水表面洋流影響黑潮的強度，使得表面海水溫度略微下降，在比對空氣座標圖時，發現變化量與時間順序與氣溫同步。影響SST變化中，年週期的變率最大的是太陽直射角度改變所引起的黑潮消長，黑潮變成主要掌控水溫變化的能量中繼，不是干擾研究結果的雜訊。

本附錄所列 SST 圖的資料判讀標準如下：



另外，1998年8月、9月、10月所使用的標準與其他不同。在1998年發生超強反聖嬰現象，導致當年夏天水溫遽增，超過平時標準，故這幾個月份的溫度判別標準如下圖：

