

交通部中央氣象局委託研究計畫期末報告

由衛星資料估計臺灣附近地區大氣潛勢分析之研究

計畫編號：MOTC-CWB-97-2M-04

計畫主持人：劉振榮

共同主持人：劉崇治、林唐煌

執行單位：國立中央大學太空及遙測研究中心

委任單位：交通部中央氣象局

中華民國 九十七 年 十二 月 五 日

計畫摘要

審議編號： x 部會署原計畫編號：MOTC-CWB-97-2M-04
主管機關： 交通部中央氣象局 執行單位： 國立中央大學
太空及遙測研究中心
計畫主持人： 劉振榮 聯絡人： 袁怡婷
電話號碼： (03)4227151 #57634 傳真號碼： (03)4220842
期程： 97 年 2 月 22 日至 97 年 12 月 31 日
經費：(全程) 730 仟元 經費(年度) 730 仟元

執行情形：

1.執行進度：

	預定 (%)	實際 (%)	比較 (%)
當年	100	100	100
全程	100	100	100

2.經費支用：

	預定	實際	支用率 (%)
當年	730000	730000	100
全程	730000	730000	100

3.主要執行成果：

- (1) 衛星與相關資料收集、船舶觀測資料收集
- (2) 海面溫度、近海面空氣濕度、近海面空氣溫度反演、SSM/I 及 QuikSCAT 近海面風場在可感熱及潛熱通量之反演比較、客觀潛力指數之建立。(請參閱後列之報告)

4.計畫變更說明： 無

5.落後原因： 無

6.主管機關之因應對策（檢討與建議）： 無

主要執行成果：

計畫摘要

梅雨季期間經常出現伴隨鋒面雲帶的組織性中尺度對流系統(MCS)，這種 MCS 往往是在海面上發展，然後移進台灣地區造成災害，因此大環境海氣之間的交互作用可能扮演相當重要的角色。由於目前海上傳統觀測資料的嚴重不足，劉和劉(2000、2001) 便利用各種衛星觀測資料反演的海氣參數，定性地探討梅雨期海上中尺度對流系統與海氣交互作用的關係。Liu et al.(2002)更利用衛星資料反演出來的各種海氣參數，發展出一套可以應用在梅雨期海上中尺度對流系統發展與否的客觀預估法，這方面的研究初步看來結果還算不錯，惟仍需拓展其適用性及作業化程序，以發揮其最大之研究成效，包括適合台灣地區附近使用的各種海氣參數反演方法的建立與驗證，其次則是客觀預估法的改進與作業適用性之評估。

關於利用衛星資料在海上 MCSs 發展的研究方面，本計畫除了要繼續發展或更新各種海氣參數的反演方法與客觀預報法外，亦將研究成果引入實際 CWB 作業系統。另一方面，本研究所建立的衛星資料反演各種海氣參數資料庫具有相當的應用性，未來可以提供其他相關研究者進行更深入、更廣泛的研究。

因此，本計畫共分為兩個階段進行。第一階段（97 年度）的主要目的除了要建立適合台灣地區附近海域使用的各種海氣參數反演之方法外(海面溫度、近海面空氣溫度、近海面空氣濕度、近海面風場以及潛熱與可感熱通量等參數)，同時也將透過各種海氣參數發展海上中尺度對流系統發展與否的熱力參考指標。第二個階段(98 年度)則總整前一階段的研究成果，規劃並引入 CWB 作業單位以期成為作業上的一個天氣診斷與豪大雨預報參考因子。

總目錄

目錄?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	...	I
圖目錄?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□?	...II
表目錄?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	...	VIII
一、 背景說明?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□	1
二、 海氣參數與客觀潛力指數之建立?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□	..? 3
三、 客觀潛力指數(OPI)之應用與分析?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□	17
3.1 2008 年梅雨季節之觀測與分析?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□	17
3.2 2008 年颱風個案?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□	23
四、 海氣參數反演之更新?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□	...26
4.1 資料收集與處理?	□?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□?	26
4.1.1 SSM/I 衛星資料?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	26
4.1.2 船舶或浮球觀測資料?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□?	.26
4.1.3 衛星資料與海面觀測的匹配取樣?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	.28
4.2 迴歸方法?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□	29
4.3 海水表面溫度反演分析?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□	30
4.4 近海面空氣溼度反演分析.....?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	41
4.5 近海面空氣溫度反演分析?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□	45
4.6 可感熱及潛熱通量反演分析?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	□	50

4.7	客觀潛力指數之計算結果.....	54
五、	結論? ? ? ? ? ? ? ? ? ? ...	57
六、	後續工作? ? ? ? ? ? ? ? □ ?	58
七、	參考文獻.....	59
八、	附錄一 期中審查問題回覆及討論? ? ? □ ?	61
九、	附錄二 期末審查問題回覆及討論? ? ? ? □ ...	63

圖目錄

- 圖 1 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均海面溫度。
- 圖 2 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均近海面空氣溫度。
(單位：K)。
- 圖 3 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均近海面空氣溼度。
(單位：g/kg)。
- 圖 4 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均海氣間溫度差異。
(單位：K)。
- 圖 5 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均海氣間溼度差異。
(單位：g/kg)。
- 圖 6 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均近海面風速。
(單位：m/sec)。
- 圖 7 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均海氣間可感熱通量。
(單位：W/m**2)。
- 圖 8 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均海氣間潛熱通量。
(單位：W/m**2)。
- 圖 9 1997 年到 1999 年，範圍在經度 110°到 125°E，緯度 15°到 30°N 之內，所有五、六月份各種海氣參數值所出現次數的頻率直方圖及其高斯函數的曲線擬合，(a) 海面溫度(K)，(b) 近海面空氣溫度(K)，(c) 近海面空氣溼度(g/kg)，(d) 海氣間溫度差異(K)，(e) 海氣間溼度差異(g/kg)，(f) 近海面風速(m/sec)，(g) 海氣間潛熱通量(W/m**2)，(h) 海氣間可感熱通量(W/m**2)。
- 圖 10 1997 年到 1999 年，範圍在經度 110°到 125°E，緯度 15°到 30°N 之內，所有五、六月份各種海氣參數日變化值所出現次數的頻率直方圖及其高斯函數的曲線擬合，(a) 海面溫度(K)，(b) 近海面空氣溫度(K)，(c) 近海面空氣溼度(g/kg)，(d) 海氣間溫度差異(K)，(e) 海氣間溼度差異(g/kg)，(f) 近海面風速(m/sec)，(g) 海氣間潛熱通量(W/m**2)，(h) 海氣間可感熱通量(W/m**2)。

- 圖 11 1997 年至 1999 年 5、6 月份各種海氣參數旗標和紅外線亮溫旗標每天之相關性係數對應圖。
- 圖 12 海氣交互作用客觀潛力指數(OPI)的建立流程。
- 圖 13 1997 年至 1999 年 5、6 月份期間 OPI 值與 MTSAT IR1 亮度溫度小於 235K 頻率圖。圖中縱座標為亮度溫度小於 235K 的次數和所有出現亮溫次數的比值。
- 圖 14 1997 年至 1999 年 5、6 月份，分析區域內所有 OPI 出現的頻率以及高斯分布曲線分析。
- 圖 15 OPI 三個實驗區域的相關位置圖。
- 圖 16 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 I 及 II 實驗區域內，逐日 OPI 與 TB 的變化曲線。
- 圖 17 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 I 實驗區域內，OPI 與 TB 離散分佈圖。
- 圖 18 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 II 實驗區域內，OPI 與 TB 離散分佈圖。
- 圖 19 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 I 實驗區域內，將 OPI 值由 0 至 1，每間格 0.05 取一區段，然後將區對內所有 TB 值作算術平均後的離散分佈圖。
- 圖 20 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 II 實驗區域內，將 OPI 值由 0 至 1，每間格 0.05 取一區段，然後將區對內所有 TB 值作算術平均後的離散分佈圖。
- 圖 21 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 III 實驗區域內，逐日 OPI 與 TB 的變化曲線。
- 圖 22 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 III 實驗區域內，將 OPI 值由 0 至 1，每間格 0.05 取一區段，然後將區對內所有 TB 值作算術平均後的離散分佈圖。

- 圖 23 卡玫基颱風期間(2008/7/17~19)MTSAT 的紅外影像(左圖)，及由 SSM/I 微波資料所計算之 OPI 的分布(右圖)。
- 圖 24 同圖 23，但為鳳凰颱風期間(2008/07/27~29)。
- 圖 25 2003 年至 2006 年，符合 SSM/I 衛星資料與船舶資料之匹配取樣標準且晴空的資料點位置(資料量：113197)。
- 圖 26 2003 年至 2006 年，北緯 10~32 度、東經 105~130 度範圍內所有 SSM/I 迴歸樣本(資料量：48602，相關係數：0.548，均方根誤差：2.55)的海面溫度與相對應船舶觀測海面溫度的相關圖。
- 圖 27 圖 26 中所有船舶觀測海溫小於 290K 的觀測點位置。
(紅色為海溫介於 270~280K 的觀測點、紫紅色為海溫介於 280~285K 的觀測點、綠色為海溫介於 285~290K 的觀測點)
- 圖 28 圖 26 中所有船舶觀測海溫大於 310K 的觀測點位置(紅色點)。
- 圖 29 2003 年至 2006 年，北緯 10~30 度、東經 105~130 度範圍內所有 SSM/I 迴歸資料(資料量：94621，相關係數：0.77)的海面溫度與相對應船舶觀測海面溫度的相關圖)。
- 圖 30 2003 年至 2006 年，北緯 10~30 度、東經 105~130 度範圍內所有 SSM/I 驗證資料(資料量：46582，相關係數：0.76，均方根誤差：2.236)的海面溫度與相對應船舶觀測海面溫度的相關圖。
- 圖 31 2003 年至 2006 年，北緯 10~30 度、東經 105~130 度範圍內，雨標為 0，且符合 SSM/I 衛星資料與船舶觀測資料的匹配取樣標準的船舶位置(濾除風速資料為負？之資料點，資料點數：46582)。
- 圖 32 (a)為更新前的海面溫度反演之個案結果，2008/08/10。
(b)為更新後的海面溫度反演之個案結果，2008/08/10。

- 圖 33 應用 SSM/I 資料反演近海面風速結果，2008/07/16。
- 圖 34 應用 SSM/I 資料反演近海面風速結果，2008/07/24。
- 圖 35 原始海溫之反演結果，2007 年 1 月 1 日，印度洋地區。
- 圖 36 圖 36 同圖 35，但考慮風速。
- 圖 37 2003 年至 2006 年，北緯 10~32 度、東經 105~130 度範圍內所有 SSM/I 迴歸資料(資料量：16694，相關係數：0.835，均方根誤差：3.9g/kg)的近海面空氣濕度與相對應船舶觀測近海面空氣濕度的相關圖。
- 圖 38 2003 年至 2006 年，北緯 10~32 度、東經 105~130 度範圍內所有 SSM/I 驗證資料(資料量：7953，相關係數：0.872，均方根誤差：3.84g/kg)的近海面空氣濕度與相對應船舶觀測近海面空氣濕度的相關圖。
- 圖 39 (a)為更新前的近海面空氣濕度反演之個案結果，2008/08/10。
(b)為更新後的近海面空氣濕度反演之個案結果，2008/08/10。
- 圖 40 2003 年至 2006 年，北緯 10~30 度、東經 105~130 度範圍內所有 SSM/I 迴歸資料(資料量：16917，相關係數：0.865，均方根誤差：2.24)的近海面空氣溫度與相對應船舶觀測近海面空氣溫度的相關圖。
- 圖 41 (a)為更新前的近海面空氣溫度反演之個案結果，2008/08/10。
(b)為更新後的近海面空氣溫度反演之個案結果，2008/08/10。
- 圖 42 應用 SSM/I 資料反演潛熱通量(W/m^2)，200/06/16。
- 圖 43 應用 SSM/I 資料反演可感熱通量(W/m^2)，200/06/16。
- 圖 44 (a)為更新前的可感熱通量反演之個案結果，2008/08/10。
(b)為更新後的可感熱通量反演之個案結果，2008/08/10。
- 圖 45 (a)為更新前的潛熱通量反演之個案結果，2008/08/10。
(b)為更新後的潛熱通量反演之個案結果，2008/08/10。

圖 46 (a)為更新前的客觀潛力指數之個案結果，2008/08/10。

(b)為更新後的客觀潛力指數於 2008 年 8 月 10 日之個案結果。

圖 47 (a) 應用 SSM/I 資料反演近海面風速計算客觀潛力指數之結果，2008/04/23。

(b) 應用 QuikSCAT 近海面風場資料計算至客觀潛力指數之結果，2008/04/23。

圖 48 (a) 應用 SSM/I 資料反演近海面風速計算客觀潛力指數之結果，2008/04/24。

(b) 應用 QuikSCAT 近海面風場資料計算客觀潛力指數之結果，2008/04/24。

表目錄

- 表 1 1997 年至 1999 年 5、6 月份期間，以 OPI 值 0.5 為標準，分別出現亮度溫度小於或大於 235K 的百分比。
- 表 2 SSM/I 微波頻道海面溫度(T_s)反演迴歸方程式之係數
(單位為 K)。
- 表 3 SSM/I 微波頻道海面溫度(T_s)重新反演迴歸方程式之係數
(單位為 K)。
- 表 4 SSM/I 微波頻道近海面風速(w_s)反演迴歸方程式之係數
(單位為 m/sec)。
- 表 5 SSM/I 微波頻道近海面空氣濕度(q_a)反演迴歸方程式之係數
(單位為 g/kg)。

一、背景說明：

臺灣地區常常受到中尺度對流系統(Mesoscale Convective System, MCS)的影響而出現豪大雨。一般而言，在不穩定度高、水氣量充足且有舉升機制的情形下，是有利於對流系統發生的。事實上影響台灣地區天氣之 MCS 往往是在海面上生成，然後移向台灣造成災害。根據 Liu et al.(2002)的研究指出，利用 SSM/I 衛星資料反演的海氣參數(包含海水表面溫度、近海面空氣的溫溼度、風速、海氣間的潛熱與可感熱通量)所建立的客觀潛力指數(Objective Potential Index ; OPI)，可以有效的掌握海上中尺度對流系統之消長情形。換句話說，若能有效的掌握大氣穩定度和水氣含量並加上 OPI 來偵測中尺度對流系統，相信對於台灣地區附近海面生成與發展之 MCS 的監測與預報定有相當的助益，然而礙於傳統觀測資料是利用探空測站施放探空氣球來獲取上述相關資料，易受到時間與空間的限制，導致獲取的資料有限，倘若能應用衛星觀測資料進行研究，不僅能克服空間和時間上的限制，相信也可獲得較廣泛的資訊。

然而，臺灣地區除了因梅雨期中尺度對流系統產生的豪大雨外，颱風亦是一個相當嚴重的天然災害，雖說對臺灣而言，颱風亦是主要的降水來源，但登陸時帶來的強風豪雨，往往造成生命與財產的損失，因此假使能提早偵測到颱風是否形成，不僅能使防颱措施的準備時間充裕，亦可增加對其強度與降雨大小變化的預測能力。根據 Gray(1968)提出有利熱帶氣旋形成的環境條件來看，2001 年的畫眉颱風，生成的位置是在南北緯 5 度內，理論上是不適合颱風生成的環

境，但在 Chang et al.(2003)的研究中指出，畫眉颱風形成前夕，婆羅洲渦旋上游有強烈且持續的寒潮存在，這證明了當時的動力條件是支持颱風發展的，然而，在 1999 年也有相同的動力條件產生，但卻無法形成颱風。

因此我們依據 Emanuel(1986)提出海氣之間的交互作用對於颱風生成扮演很重要角色的理論進行研究，利用 SSM/I 資料反演海氣參數(海氣間的可感熱通量、海氣間的潛熱通量、潛熱釋放量)，來分析環境場提供的能量差異，發現 2001 年的海氣間能量約為 1999 年的 1.7 倍，因此推斷在動力條件是有利於熱帶氣旋發展的環境場下，仍需熱力能量的支持，才能形成颱風。礙於海洋上的傳統觀測資料嚴重不足，使得相關研究無法提出有效且及時的方法來預測颱風的生成，而目前能解決此困難的方法，就是利用衛星觀測資料，衛星資料不但能估算各種海氣參數(包括海面溫度、海面溼度、風場、潛熱釋放量、海氣間的可感熱通量、海氣間的潛熱通量)，而且能提供海面上大氣狀況的資訊與降水估算，相信對颱風在海洋上形成的機制與發展研究，以及後續的分析或預報都會是相當好的應用資料。

二、海氣參數之反演與客觀潛力指數(OPI)之建立

理論上，各種海氣參數應該都具有空間及時間上的分布特性。圖 1 是 1997 到 1999 年，連續 3 年 5 月份之 SSM/I 平均海面溫度的分布情形，由圖中可知，海水表面溫度基本上呈現南高北低(緯度較低溫度較高)的分布情形，不過巴士海峽及 112°到 115°E 之南海地區屬於相對高溫區；圖 2 是近海面空氣溫度的平均分布狀況，由圖中也可以清楚的看見這種因為區域分布的差異特性；圖 3 到 8 分別是近海面空氣溼度、海氣間溫度差異、海氣間溼度差異、近海面風速及海氣間可感熱及潛熱通量的 5 月份平均分布情形。整體而言，近海面空氣溼度及近海面風速的平均空間分布，都有這種明顯南北向的區域分布特性，而其他幾個海氣參數的分布此現象則不明顯，不過由圖中仍可知，菲律賓呂宋島北部是處在海氣溫溼度差異與能量通量相對為較大的區域，而位於東經 114°E 到 118°E 的南海北部地區則約略處於相對的低值區。雖然海上中尺度對流系統的消長，和海氣交互作用可能具有相當程度的關聯性，但由於各種海氣參數本身已具有空間分布的差異特性，因此無法藉由歸納一組海氣參數的絕對閾值，作為分析目標區域內有利系統發展與否的海氣交互作用客觀參考指標，取而代之的是一組不受緯度或區域限制，又能夠包含時間序列變化趨勢資訊在內的海氣交互作用客觀參考指數。因此本計畫利用各種海氣參數設計了一個新的參考指標，基本上這個指標除了隱含各種海氣參數值的訊息之外，另外也包含了該參數在時間序列變化趨勢的資訊在內。

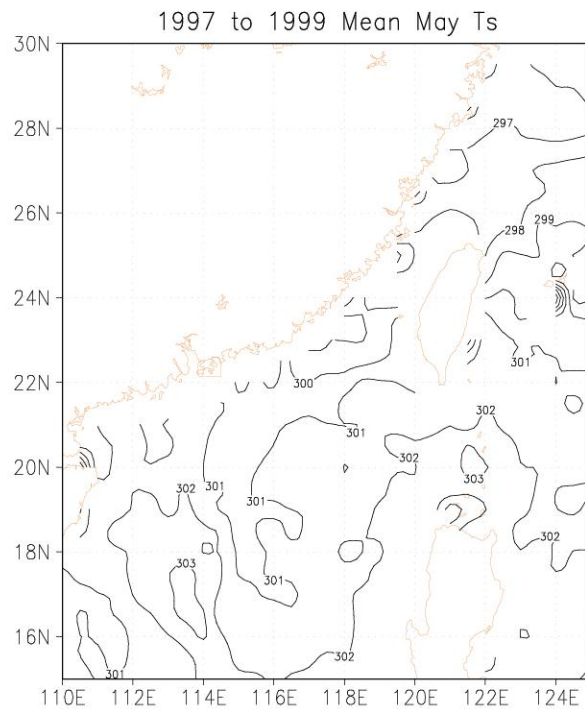


圖 1 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均海面溫度。

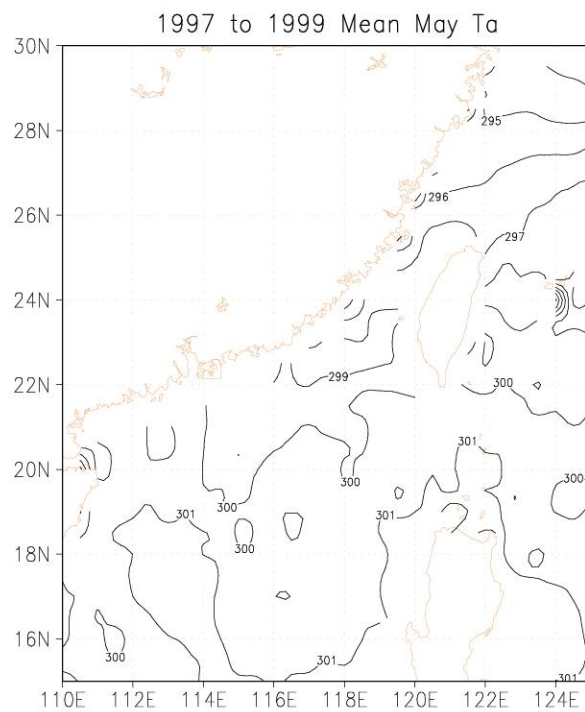


圖 2 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均近海面空氣溫度。
(單位：K)。

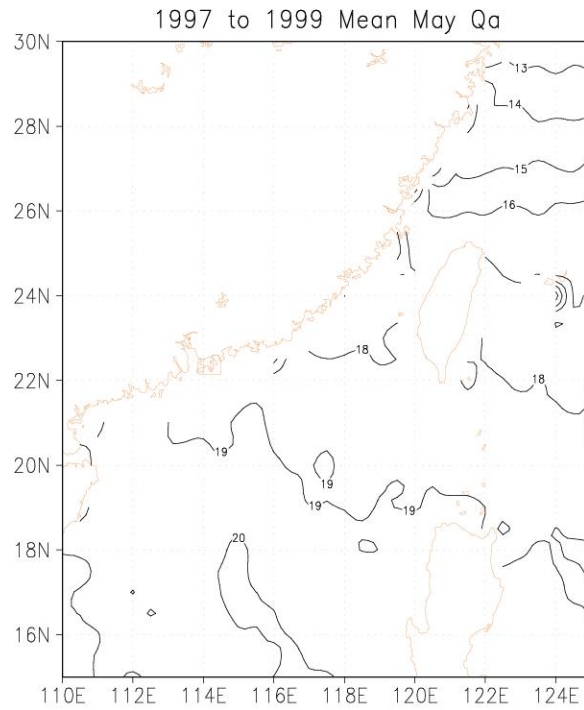


圖 3 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均近海面空氣溼度。
(單位：g/kg)。

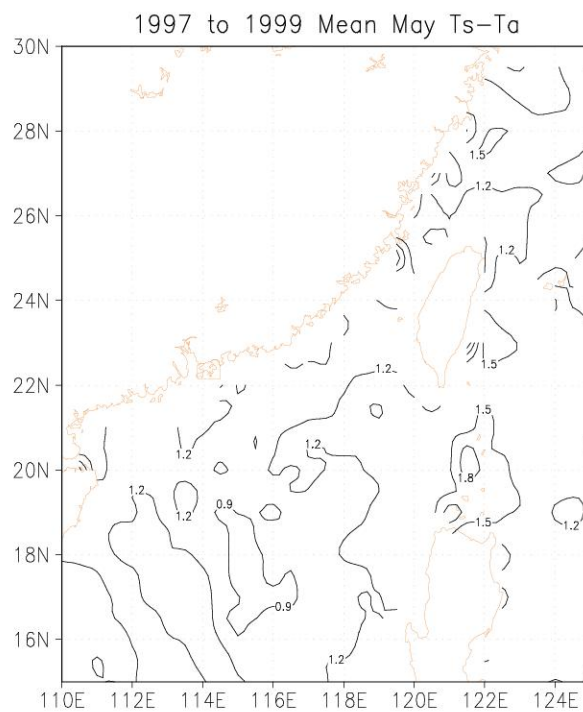


圖 4 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均海氣間溫度差異。
(單位：K)。

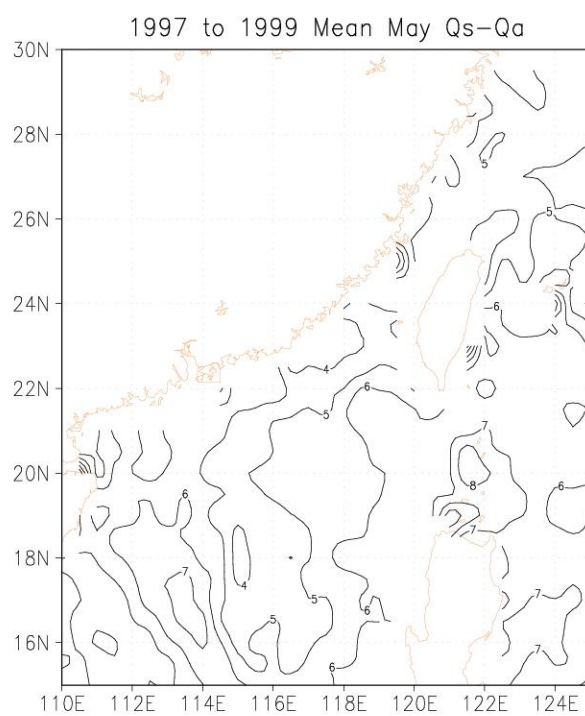


圖 5 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均海氣間溼度差異。
(單位：g/kg)。

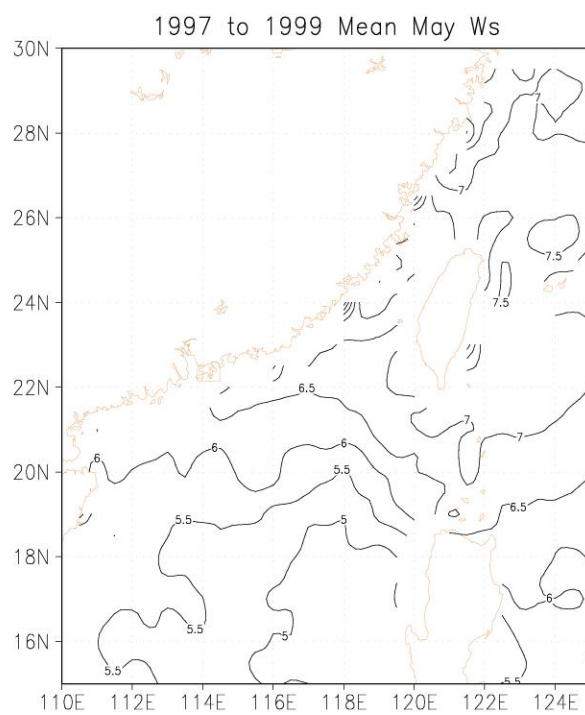


圖 6 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均近海面風速。
(單位：m/sec)。

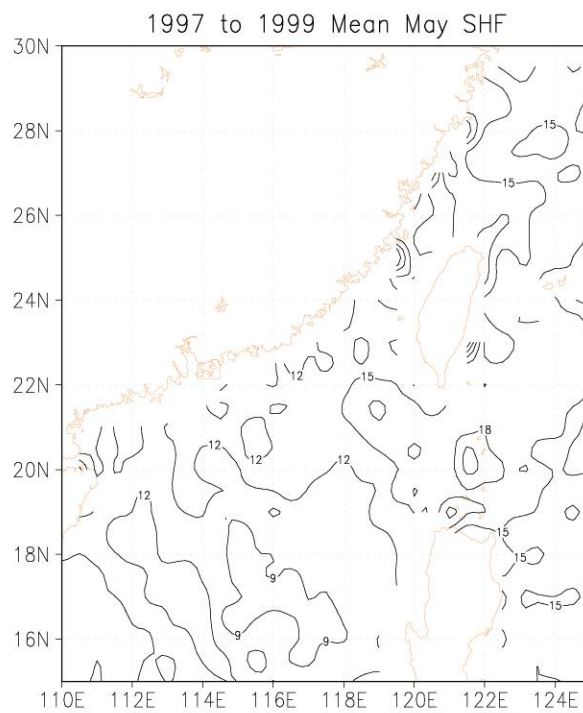


圖 7 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均海氣間可感熱通量。
(單位： W/m^2)。

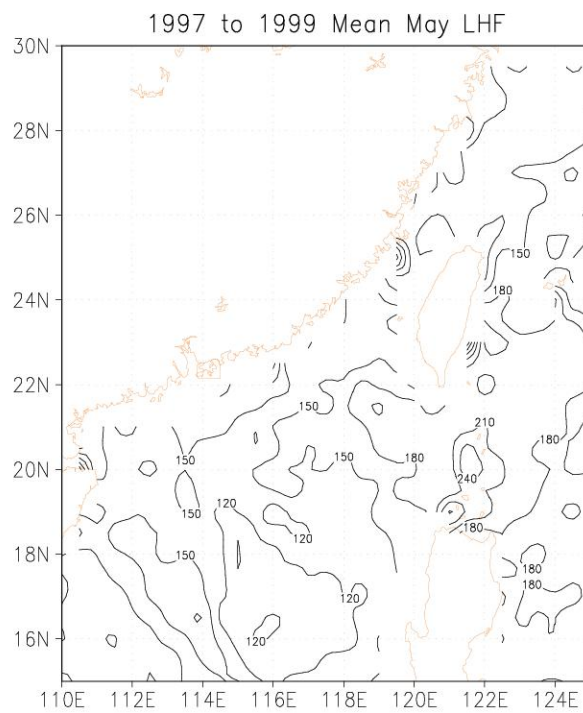


圖 8 1997 年至 1999 年，5 月份之 SSM/I 反演平均海氣間潛熱通量。
(單位： W/m^2)。

首先，本計畫將 1997 年到 1999 年，範圍在經度 110° 到 125°E ，緯度 15° 到 30°N 之研究試區中，所有五、六月份網格點上各種海氣參數的資料計算出來，並利用統計的方法，繪製對應各種海氣參數值所出現次數的頻率直方圖，然後再利用高斯函數來做該直方圖的曲線擬合(如圖 9)。由於各種海氣參數的擬合高斯函數之最大值所在的位置可以視之為該參數的平均值，而該函數標準差值的大小可以用來決定該函數由中央鋒值向左右兩側擴展的程度，一般來說幾乎所有的樣本都會落在以平均值為中心之正負三倍的標準差範圍內($\pm 3\sigma$ ；Wilks, 1995)，所以在此本計畫是以平均值加上 3 倍的標準差值做為最大值，以平均值減去 3 倍的標準差值做為最小值。圖 10 是各種海氣參數日變化值的頻率直方圖以及高斯擬合曲線，用相同的方法可以決定最大和最小值。

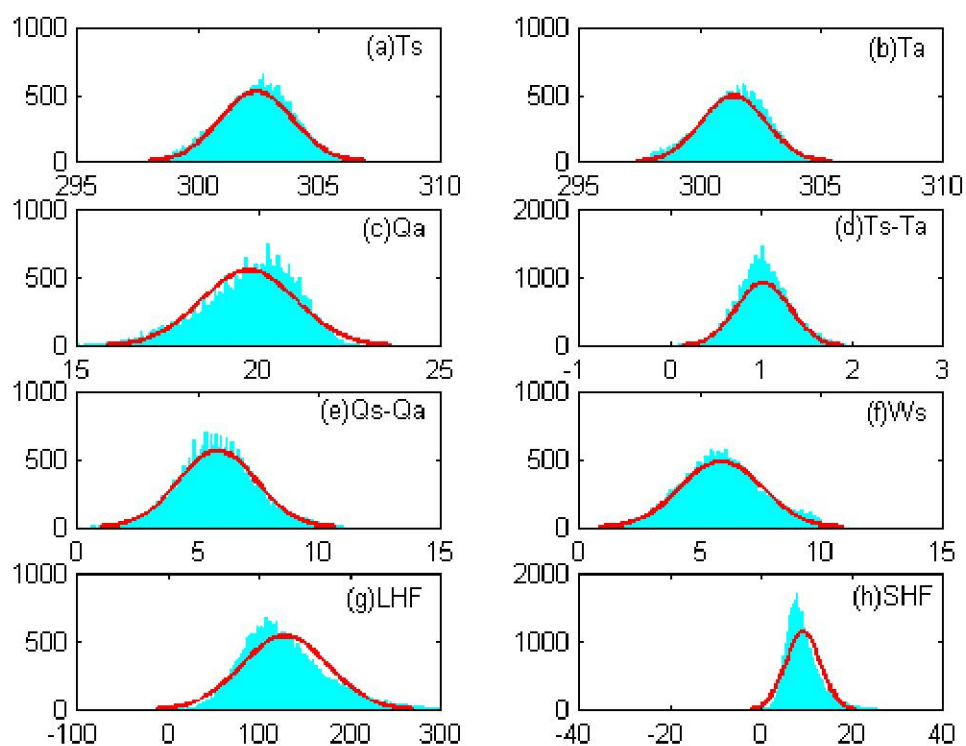


圖 9 1997 年到 1999 年，範圍在經度 110° 到 125°E ，緯度 15° 到 30°N 之內，所有五、六月份各種海氣參數值所出現次數的頻率直方圖及其高斯函數的曲線擬合，(a) 海面溫度(K)，(b) 近海面空氣溫度(K)，(c) 近海面空氣溼度(g/kg)，(d) 海氣間溫度差異(K)，(e) 海氣間溼度差異(g/kg)，(f) 近海面風速(m/sec)，(g) 海氣間潛熱通量(W/m^2)，(h) 海氣間可感熱通量(W/m^2)。

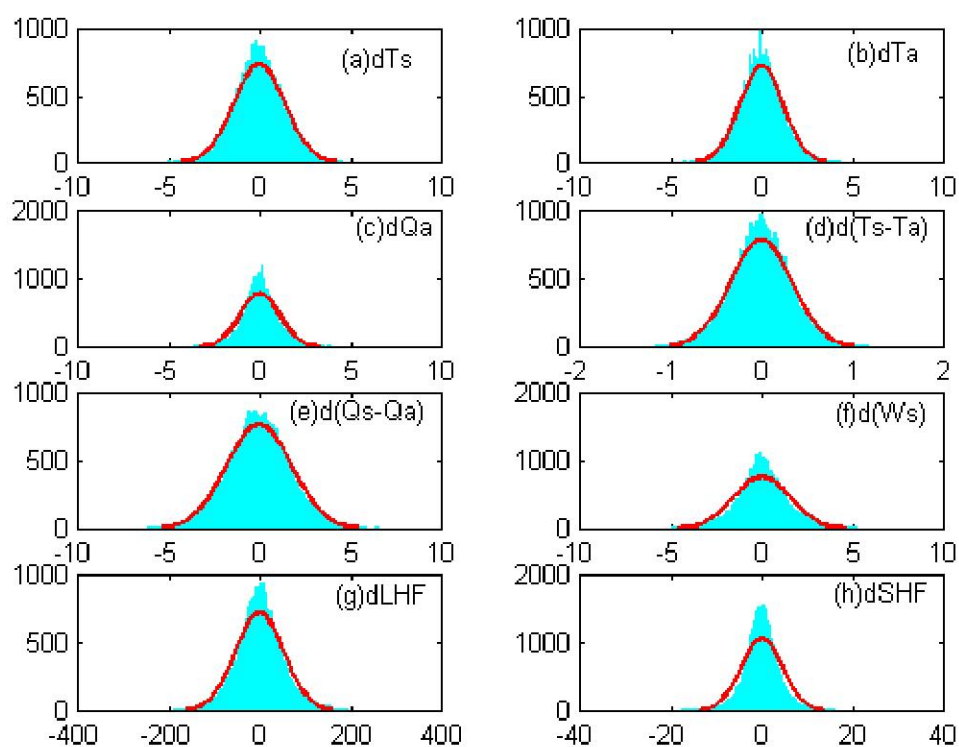


圖 10 1997 年到 1999 年，範圍在經度 110° 到 $125^{\circ}E$ ，緯度 15° 到 $30^{\circ}N$ 之內，

所有五、六月份各種海氣參數日變化值所出現次數的頻率直方圖及其高斯函數的曲線擬合，(a) 海面溫度(K)，(b) 近海面空氣溫度(K)，(c) 近海面空氣溼度(g/kg)，(d) 海氣間溫度差異(K)，(e) 海氣間溼度差異(g/kg)，(f) 近海面風速(m/sec)，(g) 海氣間潛熱通量(W/m^2)，(h) 海氣間可感熱通量(W/m^2)。

其次將所有參數及其日變化的最小及最大值分別映射至 0 與 1，至於實際的衛星估算值則再透過線性差分的技巧，得到一個無因次的數值。在此將任一參數的無因次數值表示為 a ，該參數的日變化無因次數值表示為 b ，那麼當 a 和 b 都趨近於 1 的時候，表示海氣參數值接近最大值，並且有明顯增大的趨勢，將可以預期有利海上對流系統的生成或發展；當 a 或 b 都趨近於 0 的時候，表示海氣參數值接近最小值，並且有明顯減小的趨勢，將可以預期不利海上對流系統的生成或發展。因此數值 a 乘以數值 b (即合成指數)，便同時包含各種海氣參數值及其變化趨勢的資訊在內。假如以 0.5 做為一個標準來說明的話，當 a 大於 0.5 時表示海氣參數值大於氣候平均值，當 a 小於 0.5 時則表示海氣參數值小於氣候平均值，同理當 b 大於 0.5 時表示海氣參數值的日增加量大於氣候平均增加值，當 b 小於 0.5 時則表示海氣參數值的日增加量小於氣候平均值的增加；對合成指數來說，假如合成指數大於 0.25 則有三種可能的情況，第一種是海氣參數大於氣候平均值，而且正逐漸增加當中，第二種情況是海氣參數顯著的大於氣候平均值，但是稍微的有減小的趨勢，第三種情況是海氣參數稍微低於氣候平均值，但有顯著的增加趨勢。以上三種情形基本上對於海氣間的正向交互作用(由海面向空氣中傳遞能量)都有增強的貢獻。同理假如合成指數小於 0.25 則也有三種可能的情況，第一種是海氣參數小於氣候平均值，而且正逐漸減小當中，第二種情況是海氣參數顯著的小於氣候平均值，但是稍微的有增加的趨勢，第三種情況是海氣參數稍微高於氣候平均值，但有顯著的減小趨勢。以上三種情形基本上對於海氣間的正向交互作用都有減弱的影響。

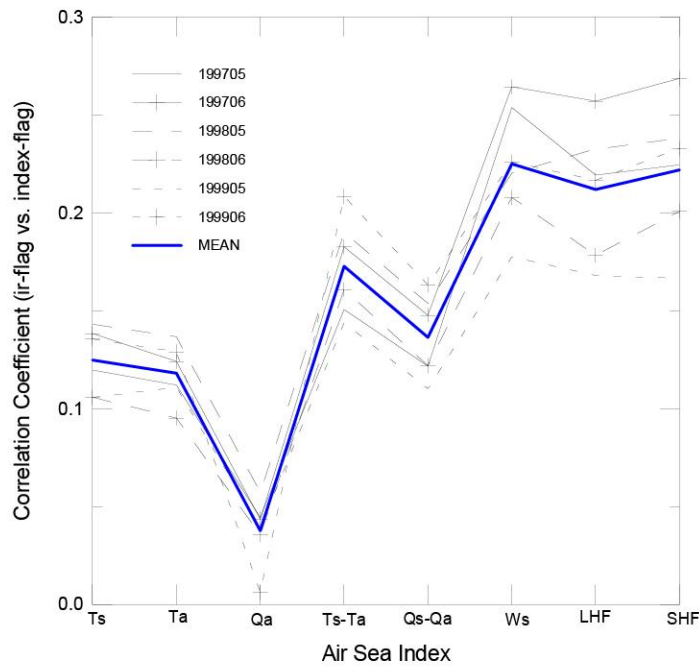


圖 11 1997 年至 1999 年 5、6 月份各種海氣參數旗標和紅外線亮溫旗標每天之相關性係數對應圖。

接著將就各種海氣參數的合成指數與雲系發展的相關進行初步的相關性分析。為了將正向海氣交互作用顯著的區域標示出來，這裡的做法是將所有衛星反演出來的各種日平均海氣參數合成指數大於 0.5 的衛星反演值都設為旗標 1，否則定為旗標 0；類似的做法用在 GMS-5 IR1 亮度溫度的衛星逐時觀測之上，凡是一天之內亮度溫度曾經小於 235K 的衛星觀測都設定為旗標 1，否則便定為旗標 0。到此為止本計畫已經可以推導出逐日的各種海氣指數旗標以及紅外線亮度溫度旗標的分布情況，圖 11 是 1997 年至 1999 年 5、6 月份各種海氣參數旗標和紅外線亮溫旗標每天之相關性係數對應圖，由圖中可知，相關係數的大小可分為三個群組，第一個群組包括近海面風速、海氣間可感熱通量及潛熱通量指數旗標，第二個群組包括海氣間的溫度差異與溼度差異之指數旗標，第三個群組則是海面溫度與近海面空

氣氣溫之指數旗標。另外由圖 11 的結果也可看出近海面空氣溼度指數旗標和亮溫旗標的相關性最低。在此需要特別說明的是，圖 11 中各種海氣參數之指數旗標和亮溫旗標的相關係數都不大，最主要的原因可能是因為海上對流系統基本上是移動的，而且生命期只有幾個小時，再加上本計畫的旗標設計為不是 1 就是 0，因此降低了各海氣參數指數和亮溫指數的相關性。

最後本研就以各種海氣參數的合成指數與 GMS-5 IR1 亮溫值(代表雲系發展的高低)的相關係數，並做為各海氣參數的權重係數，建立關於海氣交互作用的客觀潛力指數(Objective Potential Index; OPI)，如下：

$$OPI = \sum_{n=1,8} \omega_x I_x \quad (1)$$

其中 ω 是標準化後的權重係數， I 為各種海氣參數的合成指數， x 則代表不同的海氣參數。整個 OPI 的建立流程如圖 12。

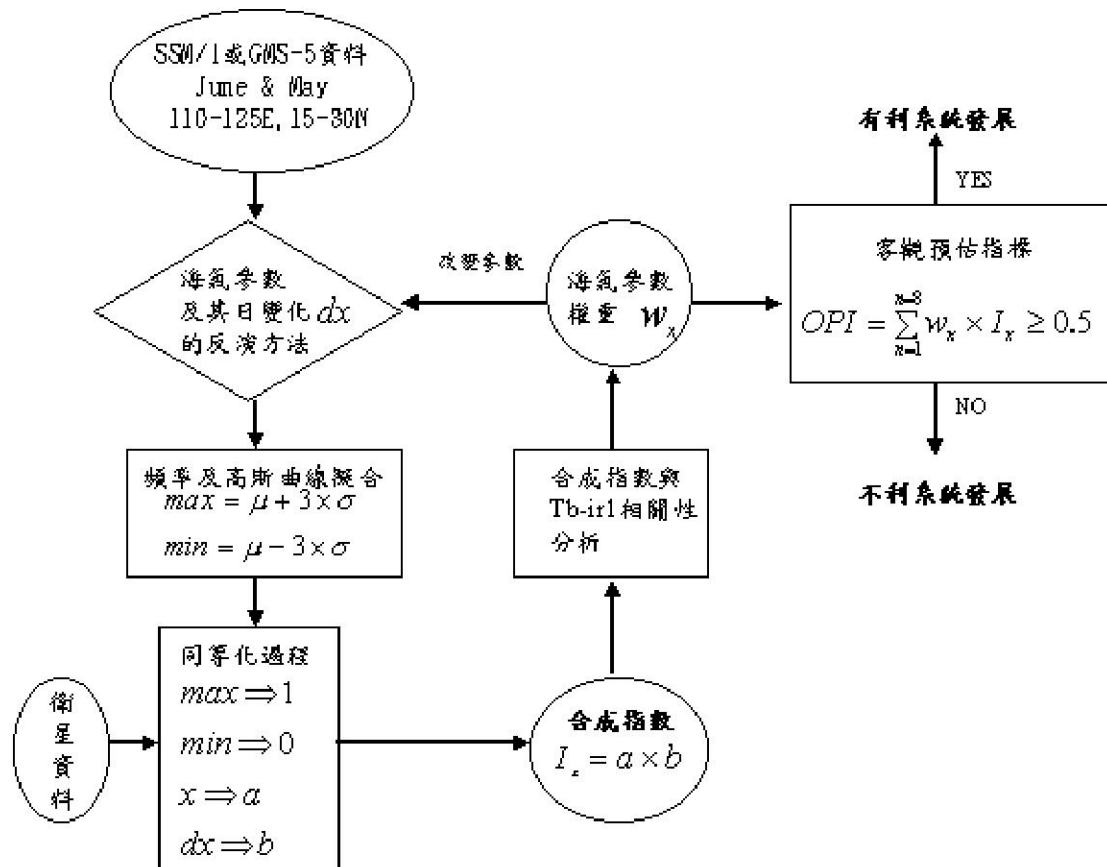


圖 12 海氣交互作用客觀潛力指數(OPI)的建立流程。

圖 13 是 1997 年至 1999 年 5、6 月份，OPI 指數與所對應亮度溫度小於 235K 的次數和所有出現亮溫次數的統計結果，圖中左側的縱座標為亮度溫度小於 235K 的次數和所有出現亮溫的次數(以方塊柱表示之)，圖中右側縱座標則表示亮度溫度小於 235K 的次數和所有出現亮溫次數的比值(以實線表示之)，由圖中可知當 OPI 小於 0.3 時，其所對應之亮度溫度小於 235K 的次數和所有出現亮溫次數的平均比值不太有變化，而且很低(僅 0.3 左右)，一旦 OPI 繼續增大，則出現亮度溫度小於 235K 的機會也顯著增大，其增大率在 OPI 介於 0.3 到 0.7 間最為明顯。圖 14 是 1997 年至 1999 年 5、6 月份，分析區域內所有 OPI 出現的頻率以及高斯分布曲線擬合的分析，由圖中可知，

OPI 的氣候平均值為 0.28，標準差為 1.78，並且 OPI 反演結果顯示，超過一半以上的海洋與大氣，是屬於微弱的正向(或負向)海氣交互作用條件影響之下。表 1 是以 OPI 值 0.5 為標準，分別出現亮度溫度小於或大於 235K 的百分比，由表中可知，OPI 值大於 0.5 時有 58% 的機會 IR1 亮度溫度會小於 235K，當 OPI 值小於 0.5 時則有 69% 的機會 IR1 亮度溫度會高於 235K。另外要特別提出說明的是，為什麼可以用 OPI 來描繪出可能發生海上中尺度對流系統的區域？原因是 OPI 為一個無因次且較不受區域分布影響的獨立指數，不僅僅具有海氣交互作用強弱的資訊，也同時具有其時間的變化趨勢，這是單獨利用各種海氣參數值無法(至少比較不容易)正確得到的資訊。除了海氣交互作用的主要影響因素外，中尺度對流系統的生成與發展亦受其他因素之影響，例如綜觀環境條件和天氣系統結構也是相當重要的因子，不過本計畫現階段的重點主要為海氣交互作用之影響，環境條件和天氣系統結構等因素將是下一階段之探討重點。

表 1 1997 年至 1999 年 5、6 月份期間，以 OPI 值 0.5 為標準，分別出現亮度溫度小於或大於 235K 的百分比。

	OPI>0.5	OPI<0.5
IR1 Tb<235K	58%	31%
IR1 Tb>235K	42%	69%

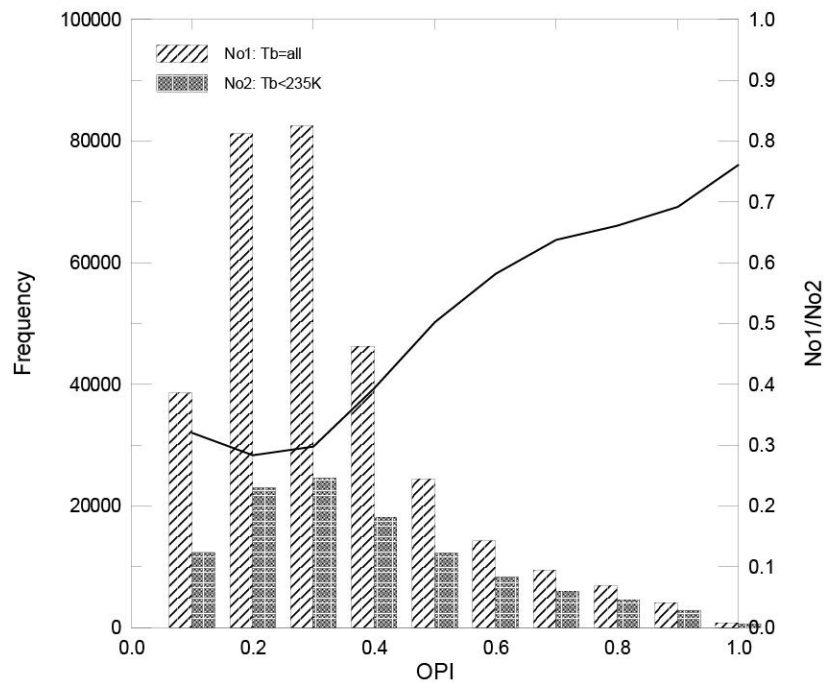


圖 13 1997 年至 1999 年 5、6 月份期間 OPI 值與 MTSAT IR1 亮度溫度小於 235K 頻率圖。圖中縱座標為亮度溫度小於 235K 的次數和所有出現亮溫次數的比值。

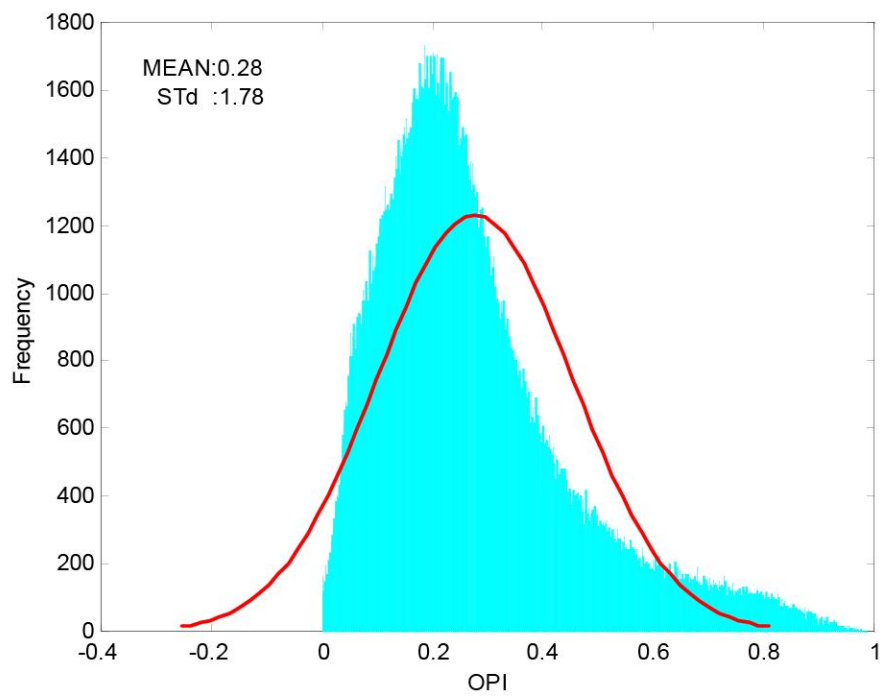


圖 14 1997 年至 1999 年 5、6 月份，分析區域內所有 OPI 出現的頻率以及高斯分布曲線分析。

三、客觀潛力指數(OPI)之應用與分析

3.1 2008 年梅雨季節之觀測與分析

為了探討台灣地區附近梅雨期海上中尺度對流系統生成發展和海氣交互作用的關係，本計畫選取三個獨立的實驗區域 ($20^{\circ}\text{N}\sim 22^{\circ}\text{N}$ 、 $116^{\circ}\text{E}\sim 118^{\circ}\text{E}$ ； $10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 、 $114^{\circ}\text{E}\sim 116^{\circ}\text{E}$ ； $16^{\circ}\text{N}\sim 18^{\circ}\text{N}$ 、 $112^{\circ}\text{E}\sim 114^{\circ}\text{E}$)，分別計算區域範圍內平均之 OPI 與 MTSAT IR1 亮度溫度值，並做時間序列的相關初步分析。圖 15 是三個實驗區域的相關位置圖。圖 16 是 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間實驗區域內，逐日 OPI 與 TB 的變化曲線，在 I 及 II 實驗區域內，TB 平均值主要有四次(五月下旬、六月上旬、六月中旬及六月下旬)明顯的降低，顯示該區域時段內共有四次雲系出現。所對應的 OPI 變化值雖然沒有立即對應的關係，不過一般來說 OPI 值越大，紅外線雲頂亮度溫度值越低(如圖 17 及 18)。假如我們將 OPI 值由 0 至 1，每間格 0.05 取一區段，然後將區對內所有 TB 值作算術平均，如此更可得到清楚的反比關係(如圖 19 及 20)，相關係數分別為 -0.84 and -0.91。在 III 實驗區域內，TB 平均值主要有三次(五月中旬、六月中旬及六月下旬)明顯的降低，顯示該區域內時段內共有三次 cloud systems 出現(如圖 21)。大致上來說，仍可以顯示 OPI 值越大，紅外線雲頂亮度溫度值越低。不過 5 月 20 日 III 區域內的 OPI 值日平均值接近 0.5，屬於高值區，理論上來說應該具有很明顯的海氣交互作用，也就是說應該有能量由海洋上傳至大氣，不過 MTSAT IR1 亮度溫度值並

無如預期變小，這個情形也許可以說明海上中尺度對流系統的發展原因可能很多，海氣交互作用可能只是其中之一，其他像大氣的穩定度、水氣的含量等等可能都扮演關鍵的角色。因此 III 區域內 MTSAT IR1 亮度溫度值與 OPI 平均值的反比關係不如 I 及 II 區域明顯，相關係數僅-0.63(如圖 22)。不過值得一提的是，由圖 19、20、22 大致可以看出，OPI 與 TB 值確實呈現反比例的關係，甚至還有某個程度的時間延遲關係。這個延遲量是我們很想知道的時間參數，它在作業上非常具有應用價值。不過是由於 SSM/I 資料的觀測不若 MTSAT 之密集，現階段對於 OPI 潛勢預報的延遲時間尚無定論，未來可透過較長期資料組的分析與探討，嘗試歸納出 OPI 潛勢預報延遲時間的特性，期能在豪大雨的預報方面有所貢獻。

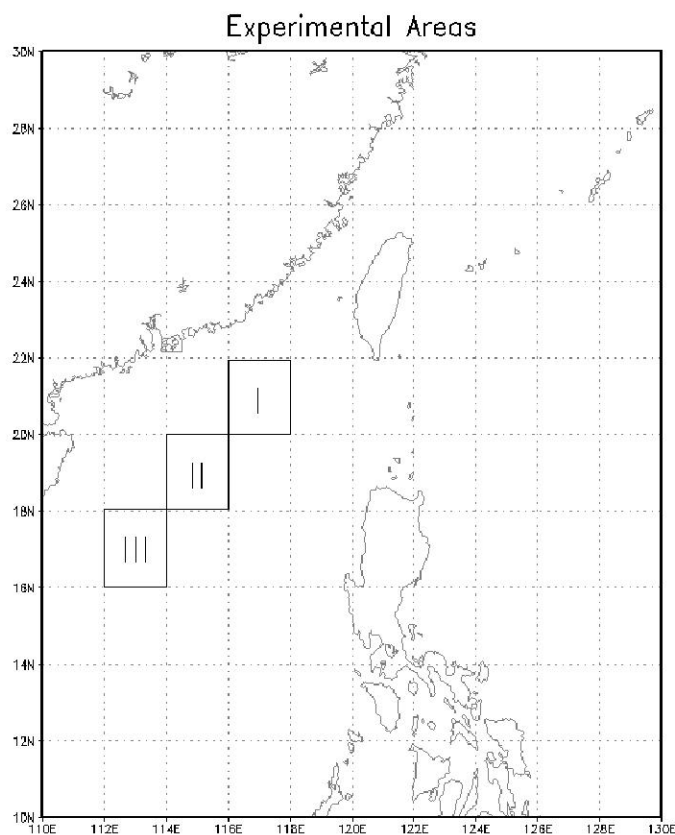
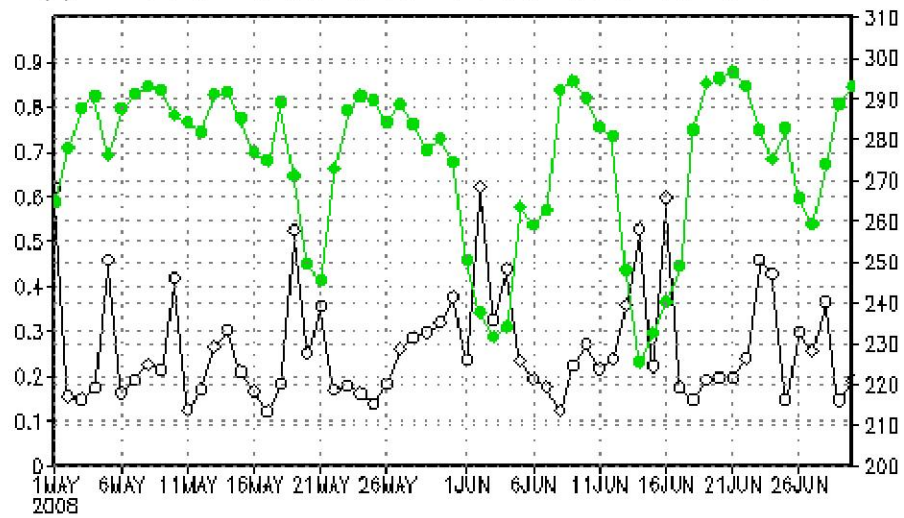


圖 15 OPI 三個實驗區域的相關位置

(I) 116-118E, 20-22N OPI vs TB



(II) 114-116E 18-20N OPI vs TB

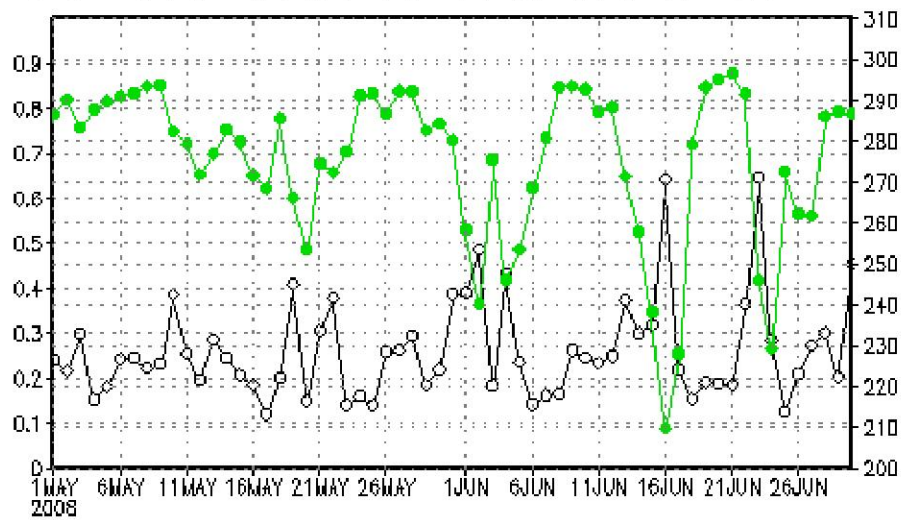


圖 16 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 I 及 II 實驗區域內，逐日 OPI 與 TB 的變化曲線。

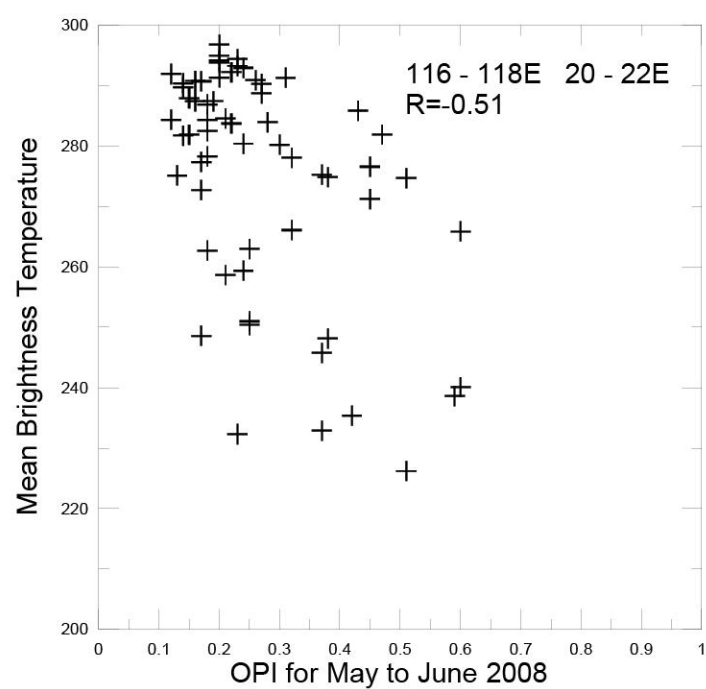


圖 17 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 I 實驗區域內，OPI 與 TB 離散分佈圖。

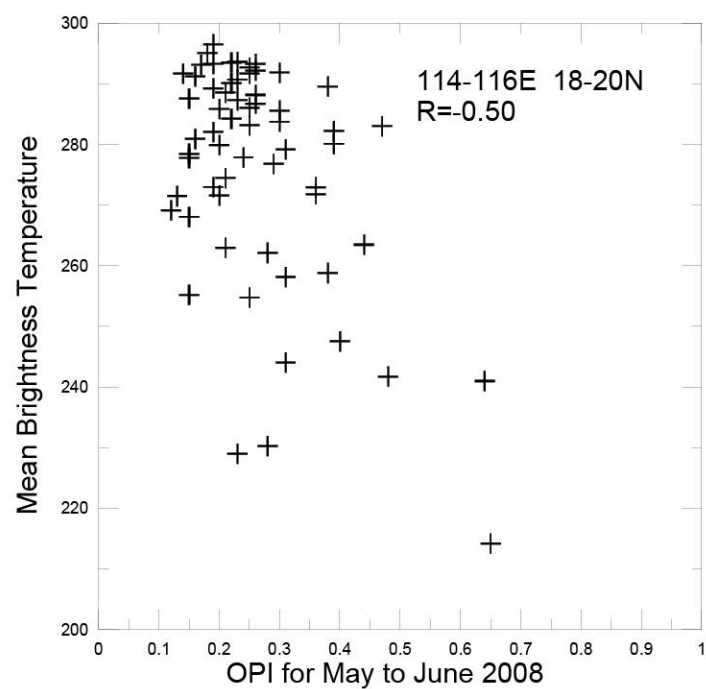


圖 18 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 II 實驗區域內，OPI 與 TB 離散分佈圖。

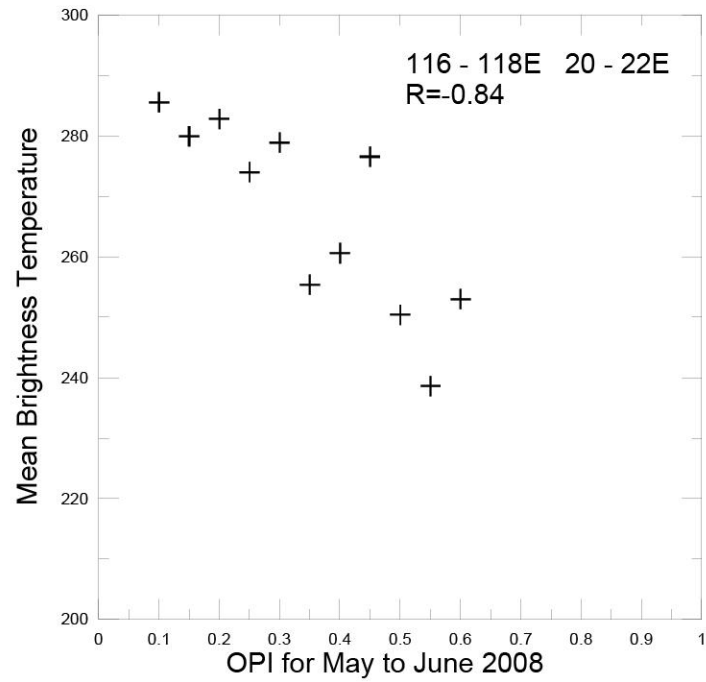


圖 19 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 I 實驗區域內，將 OPI 值由 0 至 1，每間格 0.05 取一區段，然後將區對內所有 TB 值作算術平均後的離散分佈圖。

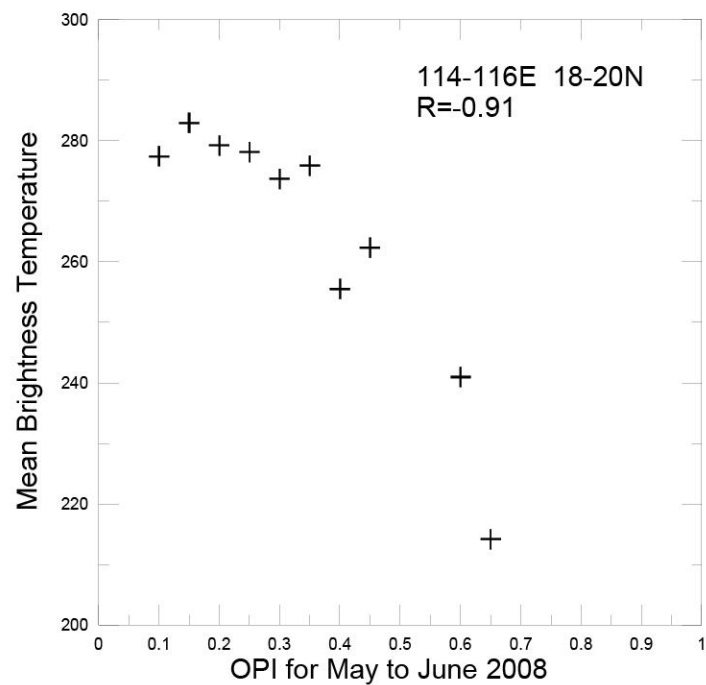


圖 20 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 II 實驗區域內，將 OPI 值由 0 至 1，每間格 0.05 取一區段，然後將區對內所有 TB 值作算術平均後的離散分佈圖。

(III) 112-114E 16-18N OPI vs TB

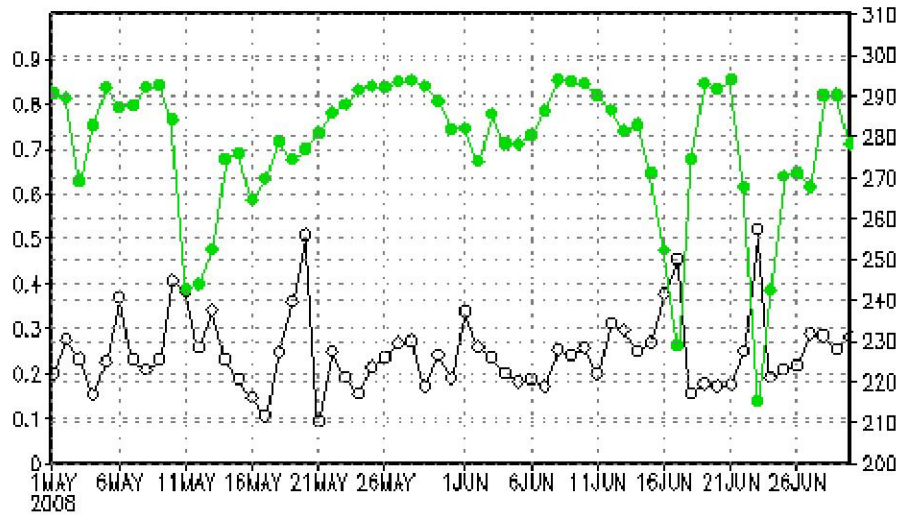


圖 21 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 III 實驗區域內，逐日 OPI 與 TB 的變化曲線。

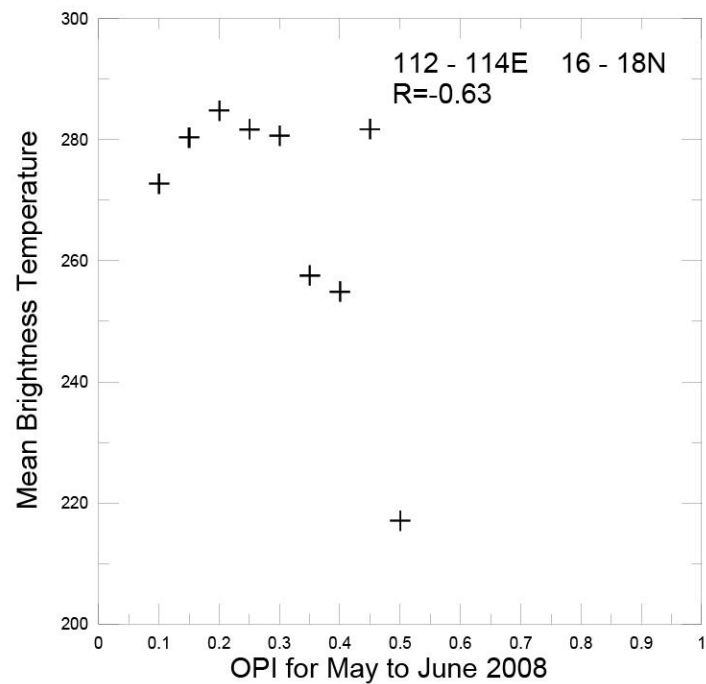


圖 22 2008 年 5 月 1 日至 6 月 30 日期間 III 實驗區域內，將 OPI 值由 0 至 1，每間格 0.05 取一區段，然後將區對內所有 TB 值作算術平均後的離散分佈圖。

3.2 2008 年颱風個案

應用前述所建立之 OPI 計算模式於 2008 年 7 月間的 2 個侵台的颱風個案，結果如圖 23 及圖 24 所示，分別為卡玫基及鳳凰颱風。由圖中 OPI 日平均分布圖可知，除了颱風本身的環流外，在其附近週邊的海域仍然可以發現一些 OPI 相對高值區，也就是說以海氣交互作用的觀點來看，是有利海上對流雲系的發展的，事實上由逐時紅外線衛星雲圖的分析追蹤可以發現有些地方確實後續有雲系出現，不過也有部分地區卻沒有明顯的對流雲系生出，這方面的研究還必須繼續進行。

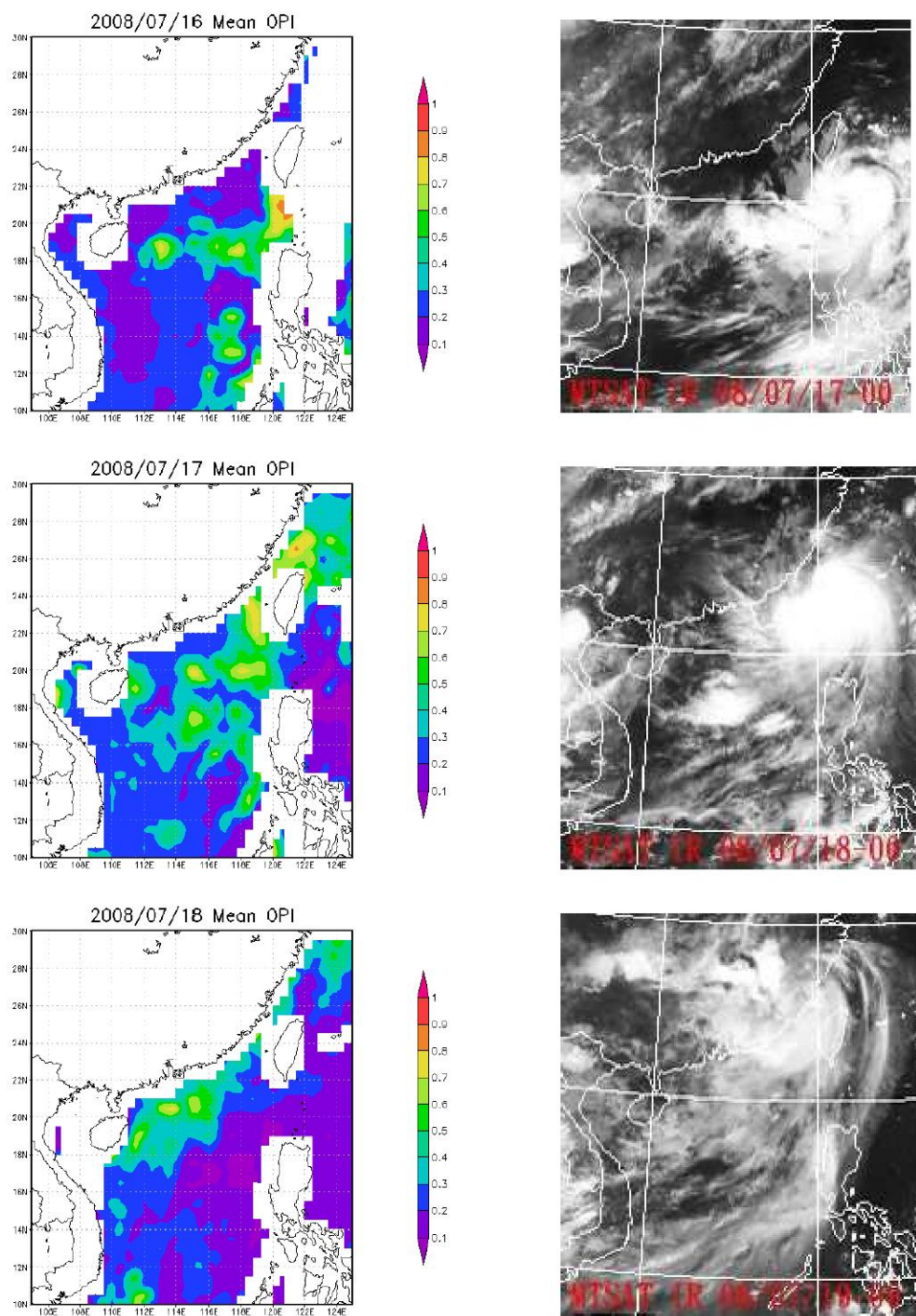


圖 23 卡玫基颱風期間(2008/7/17~19)MTSAT 的紅外影像(左圖)，及由 SSM/I 微波資料所計算之 OPI 的分布(右圖)。

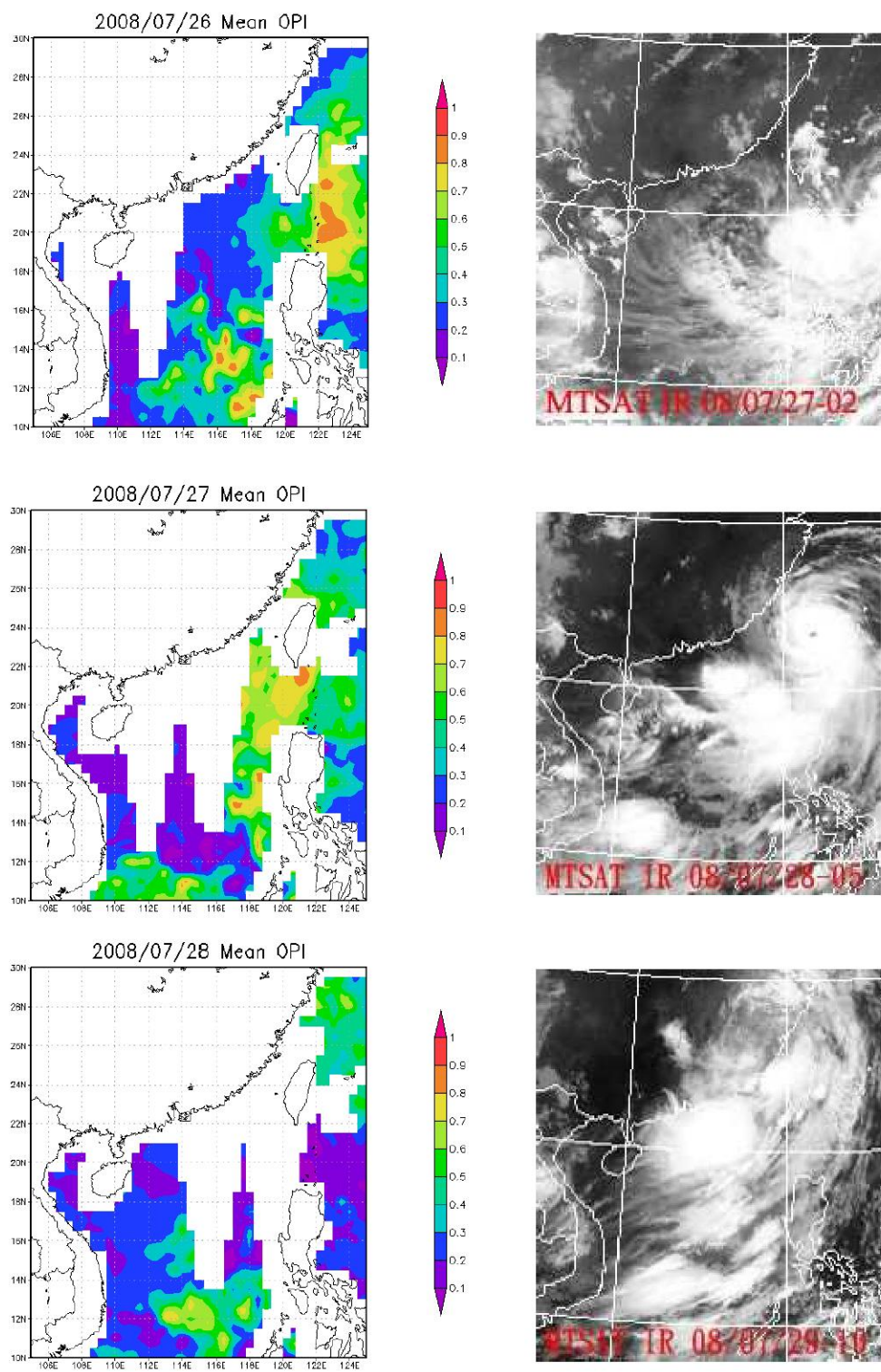


圖 24 同圖 23，但為鳳凰颱風期間(2008/07/27~29)。

四、海氣參數反演之更新

4.1 資料收集與處理

4.1.1 SSM/I 衛星資料

裝載 SSM/I 微波輻射計的衛星為一太陽同步衛星(近似繞極軌道)，軌道高度約為 833km，以傾角 98.8° 繞地球飛行(Hollinger et al., 1990)。除了南北極半徑 280km 之圓形區域外，其餘均可在 72 小時內為衛星所掃瞄。SSM/I 輻射計共包含 19.35GHz、22.23GHz、37.0GHz 及 85.5GHz 等四個微波頻道(可分別以 19GHz、22GHz、37GHz 及 85GHz 來表示)，其中 19GHz、37GHz 及 85GHz 三個頻道又各分為垂直極化(vertical polarization)及水平極化(horizontal polarization)兩個分量，不過 22GHz 則只有垂直極化一個分量。SSM/I 頻道的掃瞄方式分為 Scan A 及 Scan B 兩種，Scan A 包含了所有頻道的亮度溫度資料，Scan B 則只有 85GHz 的資料，在此為了資料解析度的一致性，故只採用 Scan A 之各頻道資料。目前已收集的資料期間為 1998~2007 年。

4.1.2 船舶或浮球觀測資料

本計畫應用衛星資料反演各種海氣參數，是以國外實驗室的研究資料庫(Computational and Information Systems Laboratory；CISL，<http://dss.ucar.edu/>)中所提供的海上船舶資料做為海面觀測的真？。目前已使用 2003 年至 2006 年船舶資料，預期 2007~2008 年的資料亦將持續納入計畫中。船舶資料內容主要包

含：空氣溫度 (Air Temperature)、露點溫度 (Dew Point Temperature)、降雨量 (Precipitation Amount)、海溫 (Sea Surface Temperature)、風速(wind speed).....等。其中的風速資料明顯不足(絕大多屬於無資料點)，且能配合其他參數的對應點數相當有限，也就是說有海溫資料時，不一定有風速資料這類的狀況。另外，船舶實測資料的一致性有明顯的差異，例如在夏季(5、6月份)於北緯 10°N ~ 15°N 地區的實測海溫值有低於攝氏 10 度以下的資料，或有實測海溫低於攝氏 0 度以下的資料，這類的明顯錯誤很容易透過人工的方式將錯誤的資料挑出來。然而有些資料的錯誤並沒有這麼顯而易見，若透過人工的方式挑錯，這些潛藏的錯誤便會被忽略，而被納入迴歸中進而影響迴歸方程的準確性。在本計畫中，則以任意接受檢定的某船舶觀測為圓心，取 500 公里為影響半徑，假若該船測資料和影響半徑內資料的加權平均之差值大於該同心圓內所有觀測資料的標準差值，那麼此接受檢定的觀測資料即為錯誤的，便捨棄不用。假若在半徑為 500 公里的同心圓中，觀測資料少於 10 筆，則影響半徑向外擴張 100 公里，直到觀測資料大於 10 筆為止。應用此方式將潛藏的錯誤資料予以刪除。

4.1.3 衛星資料與海面觀測的匹配取樣

本計畫對於 SSM/I 衛星資料與船舶觀測資料的匹配取樣，是採平均取樣代替單點取樣，使異常的亮溫資料所造成的反演誤差減到最低。首先以船舶觀測的位置與時間作為基準，檢視距離小於 50 公里，時間差距一小時內的所有 SSM/I 觀測像元，並歸納成為同一組的觀測資料。

雖然 SSM/I 微波頻道具有較佳的透雲性，但部份高頻仍然會受到降水的影響。為了將降水及冰晶粒子所造成的影響減到最低，本計畫也對微波頻道資料進行雨區之濾除，主要是根據 Goodberlet 等人(1992)所提出的雨標閾值作為標準，凡是符合下列任一條件的像元都視為受雨影響而予以刪除：

$$T_b(19V) > 165 K$$

$$[T_b(37V) - T_b(37H)] < 50 K$$

經過此篩選後的船舶資料共 113197 筆，圖 25 為所有通過篩選資料點的位置分布情形。

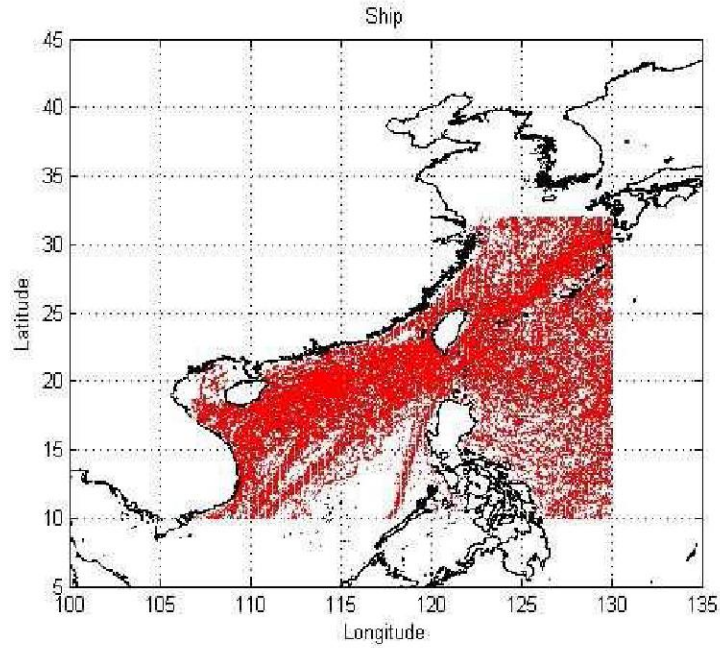


圖 25 2003 年至 2006 年，符合 SSM/I 衛星資料與船舶資料之匹配取樣標準且晴空的資料點位置(資料量：113197)。

4.2 迴歸方法

本計畫在應用衛星資料建立海氣參數的反演模式，主要利用迴歸統計法，亦即應用衛星多頻道的觀測資料，配合實測資料(如船舶觀測)進行迴歸分析以獲得反演模式之各項係數。透過統計學上多元迴歸(multiple regression)中的「逐步迴歸法」(stepwise regression)選取最適合的頻道來建立最佳的迴歸方程式。此方法的概念為使用多個解釋變數進行迴歸，再由各變項(各 SSM/I 頻道)的相關性決定每一個預測變數是否納入迴歸方程或捨棄不用，最後得到一個最好的解釋變項(各 SSM/I 頻道)解釋最多依變項(觀測真?)變異量的最佳迴歸方程式。也就是先將與依變項(觀測真?)相關性最佳的解釋變項(各 SSM/I 頻道)優先選入，其次為

未被選入的解釋變項與依變項(觀測真?)有最大的偏相關者納入，並設定一個標準閥值，當預測能力大於此標準閥值時，便納入迴歸方程中，反之則捨棄不用。依此原則反覆進行檢驗，直到沒有任何變項(各個 SSM/I 頻道)可以被選入或排除時，即可得到最後的迴歸方程。因進行納入變數的方式為逐步檢驗納入，故稱「逐步迴歸」法。

4.3 海面溫度之反演分析

關於海面溫度的反演，本計畫的實驗區域設定在台灣及南海附近海域，而所選用的資料則為 SSM/I 資料。主要有兩個原因，首先為本計畫除了建立海面溫度的反演方法之外，同時也要建立其他海氣參數的反演方法(例如，近海面空氣溼度、溫度及風速)，並就各種海氣參數進行整合性的應用，假如各個海氣參數都可以由同一種衛星資料來獲得，那麼將可避免因為時間或空間內插所帶來的誤差。此外，衛星反演各種海氣參數是否具備合理的空間分布與時間的連續性也相當重要，而利用 SSM/I 衛星資料來進行海水表面溫度的反演正可以符合這樣的要求。

由微波理論推導可知，利用衛星微波資料進行海面溫度及近海面空氣溼度的反演基本上是可行的。不過在實際的反演中，為了減少受到降水或冰晶粒子的影響，我們首先收集北緯 10°N~32°N、東經 105°E~130°E 範圍內之 SSM/I 資料，並參考 Goodberlet 等人(1992)的做法只保留非降水的微波觀測樣本(rain flag=0)，然後再選擇與船測資料相同位置、相同時間之各微波頻

道亮度溫度做為分析樣本。最後則利用隨機選出的 2/3 的資料組，根據各頻道亮度溫度與海面溫度之間的相關特性，透過統計學上的「逐步迴歸法」(詳見 4.2 節之迴歸方法)進行迴歸方程的建立。其餘的 1/3 資料組則用來檢驗所建立迴歸方程式的精確度。

經過逐步迴歸法進行頻道篩選後，應用於海溫反演模式之頻道為 19GHz、37GHz 及 85GHz 的水平及垂直極化頻道資料，其反演方程式則如下所示：

$$T_s = a_0 + a_1 T_b(19V) + a_2 T_b(19H) + a_3 T_b(37V) + a_4 T_b(37H) + a_5 T_b(85V) + a_6 T_b(85H) \quad (2)$$

其中建立海溫之反演方程的資料量為 97104 組，而檢核資料組則為 48602 組。海面溫度之反演方程式的係數如表 2 所示，圖 26 則為 SSM/I 迴歸樣本的海面溫度與船舶觀測海面溫度相關分布，其中反演的均方根誤差是 2.55(K)，相關係數為 0.548。由圖 26 可以明顯看出，此反演結果並不如預期，尤其在海溫小於 290K 的區域。圖 27 及圖 28 分別顯示圖 26 中船舶實測資料值小於 290K 及大於 310K 差異較大的資料點位置，圖中地域分佈的特性並不明顯。而造成海溫反演結果不佳的主要原因為，最適合反演海面溫度的微波頻道為 5.6GHz，其次為 10GHz，但 SSM/I 的觀測頻道均未包含此二頻道，以致於海溫反演的效果不佳。

表 2 SSM/I 微波頻道海面溫度(T_s)反演迴歸方程式之係數(單位為 K)。

常數項	19V	19H	22V	37V	37H
265.371	0.185	-0.044	0.144	-0.12	-0.039

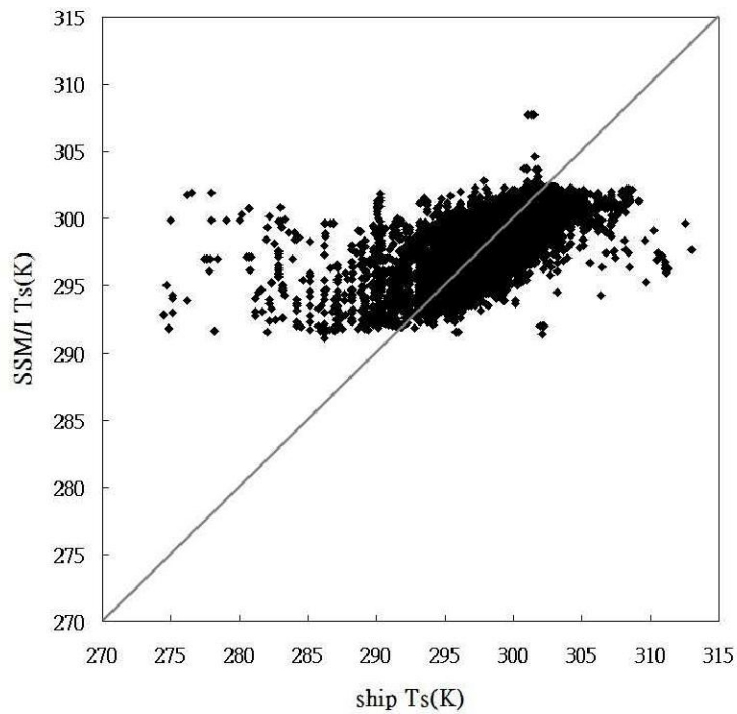


圖 26 2003 年至 2006 年，北緯 10~32 度、東經 105~130 度範圍內所有 SSM/I 迴歸樣本(資料量：48602，相關係數：0.548，均方根誤差：2.55)的海面溫度與相對應船舶觀測海面溫度的相關圖。

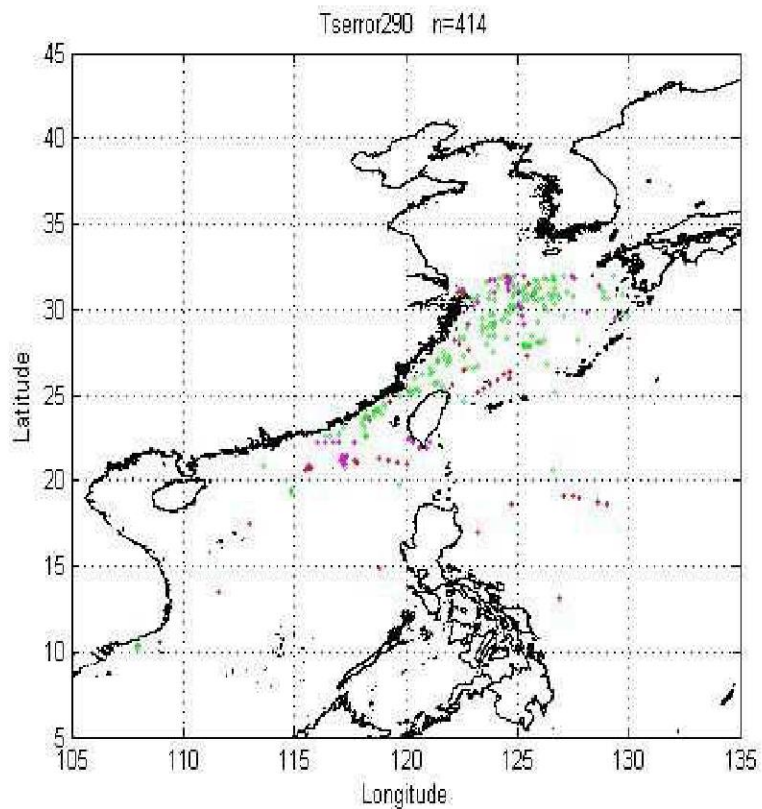


圖 27 圖 26 中所有船舶觀測海溫小於 290K 的觀測點位置。
(紅色為海溫介於 270~280K 的觀測點、紫紅色為海溫介於 280~285K 的觀測點、綠色為海溫介於 285~290K 的觀測點)

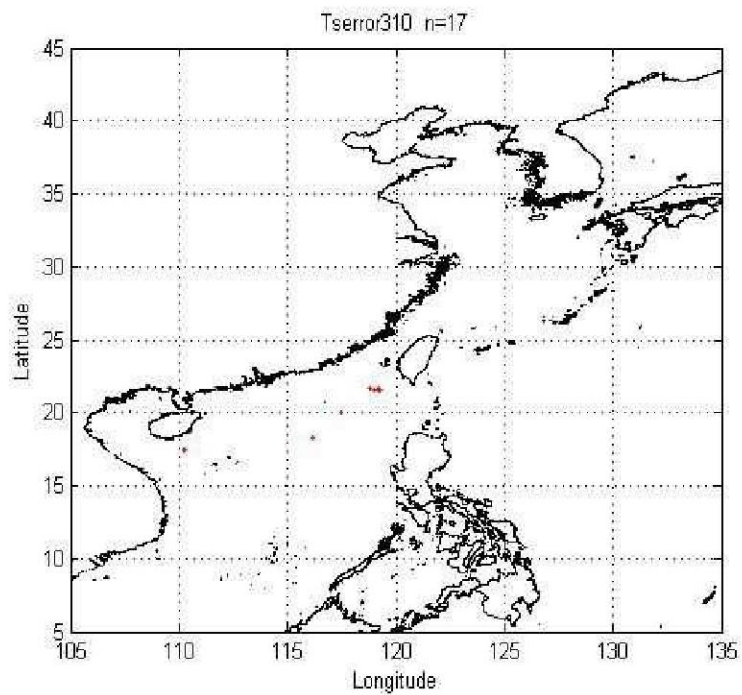


圖 28 圖 26 中所有船舶觀測海溫大於 310K 的觀測點位置(紅色點)。

另一方面，由圖 27 可看出，產生誤差較大的資料點有不少的位置是落在緯度大於 30 度的區域，且本計畫的研究區域著重在台灣及南海等區域，故將資料點的緯度由原 $10^{\circ}\text{N}\sim 32^{\circ}\text{N}$ 縮小至 $10^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$ ，並利用風速反演方程式(如式 3 與表 4 所示，詳如下段落所述)作為資料篩選的參考，亦即去除反演風速小於 0 的資料點。反演方程式如表 3 所示，反演結果則如圖 29 所示，整體海面溫度之反演已有相當的改善，但在溫度小於 290K 時，乃具有較大的誤差。由於此海溫的反演結果較佳，故後續的研究範圍，將重新設定為北緯 $10^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 、東經 $105^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$ 度間。圖 30 則為檢核資料組(1/3 資料作為驗證資料，如圖 31 之分布)在海溫反演結果之分析比較，檢核結果與迴歸資料組的結果(圖 29)相當。

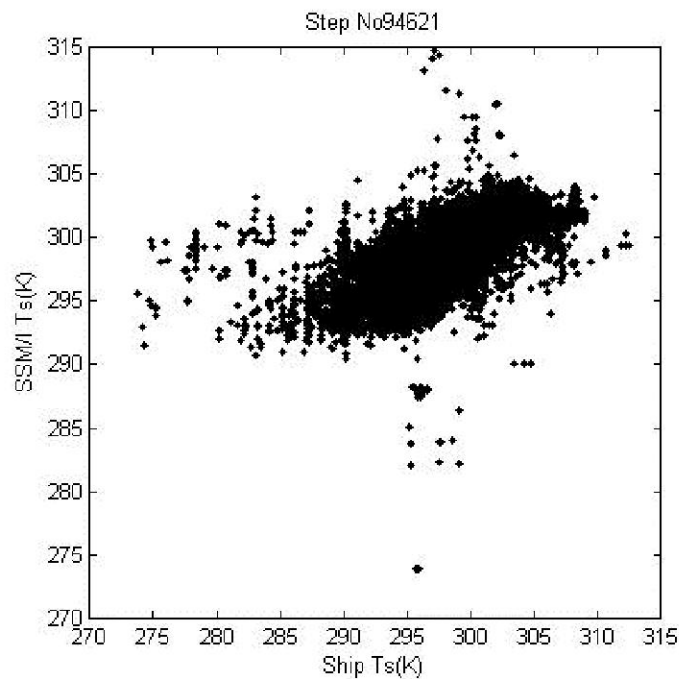


圖 29 2003 年至 2006 年，北緯 $10\sim 30$ 度、東經 $105\sim 130$ 度範圍內所有 SSM/I 迴歸資料(資料量：94621，相關係數：0.77)的海面溫度與相對應船舶觀測海面溫度的相關圖。

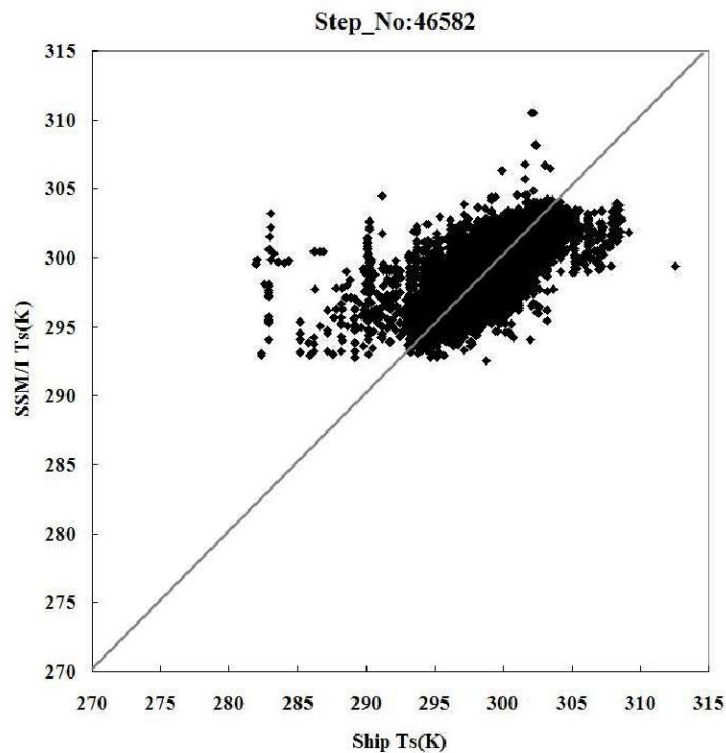


圖 30 2003 年至 2006 年，北緯 10~30 度、東經 105~130 度範圍內所有 SSM/I 驗證資料(資料量：46582，相關係數：0.76，均方根誤差：2.236)的海面溫度與相對應船舶觀測海面溫度的相關圖。

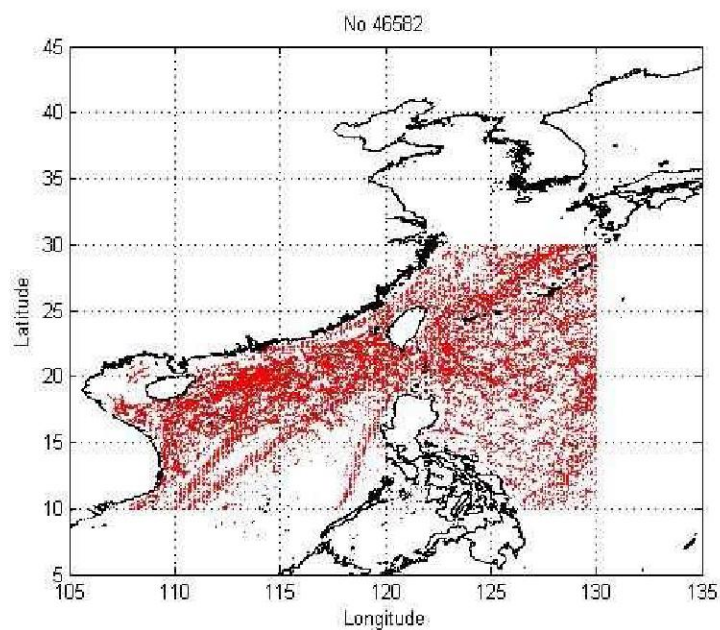


圖 31 2003 年至 2006 年，北緯 10~30 度、東經 105~130 度範圍內，雨標為 0，且符合 SSM/I 衛星資料與船舶觀測資料的匹配取樣標準的船舶位置(濾除風速資料為負？之資料點，資料點數：46582)。

表 3 SSM/I 微波頻道海面溫度(T_s)重新反演迴歸方程式之係數(單位為 K)。

常數項	19V	19H	22V	37V	37H	85V	85H
177.246	0.902	-0.408	0.065	-0.473	0.272	0.374	-0.249

圖 32 為更新前、後的海面溫度反演模式應用於 2008 年 8 月 10 日 SSM/I 觀測資料之結果與比較。圖中顯示，更新後的海溫反演結果略低於更新前，平均約有 1~2 度之差異，部分地區的差異可達 3 度左右，但整體的分布型態頗為吻合。

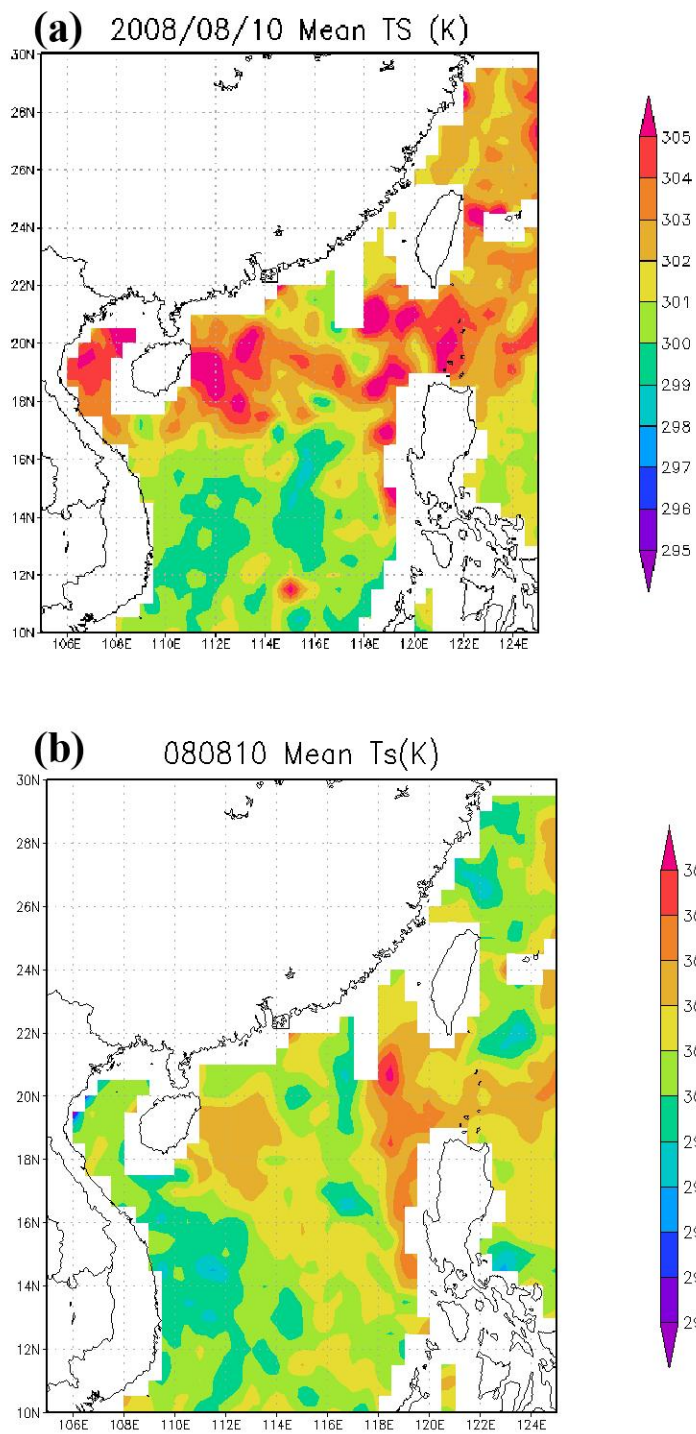


圖 32 (a)為更新前的海面溫度反演之個案結果，2008/08/10。
(b)為更新後的海面溫度反演之個案結果，2008/08/10。

關於風速的反演，由於近海面的風速大小，會直接影響海面上波浪的高低，而該波浪的高低又會改變海水表面的微波頻道發射率，因此衛星微波頻道所接收到的亮度溫度值，間接會受到海面風速大小的影響。國際上許多微波頻道的近海面風速反演方法，都是建立在這樣的理論基礎之上。為了降低反演的誤差，我們仍然選取非降水的觀測資料進行測試，首先是利用 Goodberlet 等人(1989)提出的閾值(雨標)將非降水的資料組收集起來，然後選擇 SSM/I 19GHz、22GHz 及 37GHz 垂直極化亮度溫度與 37GHz 水平極化亮度溫度與相對應的浮標在十公尺所觀測的風速，建立一套適合台灣及南海附近海域使用的近海面風速(W_s)的線性迴歸反演方程式，如式(3)所示，其中式(3)的係數則如表 4 所列：

$$W_s = a_0 + a_1 T_b(19V) + a_2 T_b(22V) + a_3 T_b(37V) + a_4 T_b(37H) \quad (3)$$

表 4 SSM/I 微波頻道近海面風速(W_s)反演迴歸方程式之係數(單位為 m/sec)。

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
96.0158	0.1624	-0.2286	-0.7018	0.5276

由於 2003~2006 年的近海面風速資料仍嫌不足，因此本計畫暫時以定性分析代替定量分析。圖 33 及圖 34 分別為 2008/07/16 及 2008/07/24 的 SSM/I 資料反演近海面風速之結果。由圖中可知，在有天氣系統發展的地方，近海面風速似乎比晴空區域的風

速大，這樣的結果雖然和真實的物理現象一致，但風速反演受降雨的影響，仍需進一步的探討。

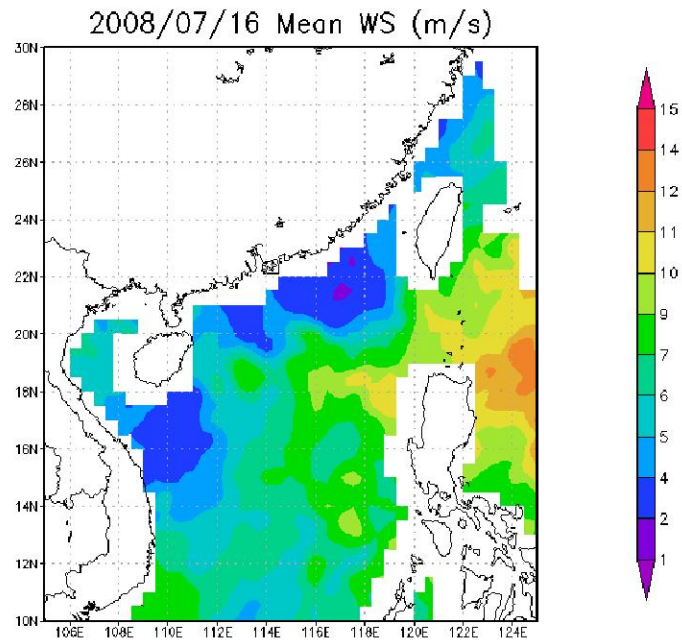


圖 33 應用 SSM/I 資料反演近海面風速之結果，2008/07/16。

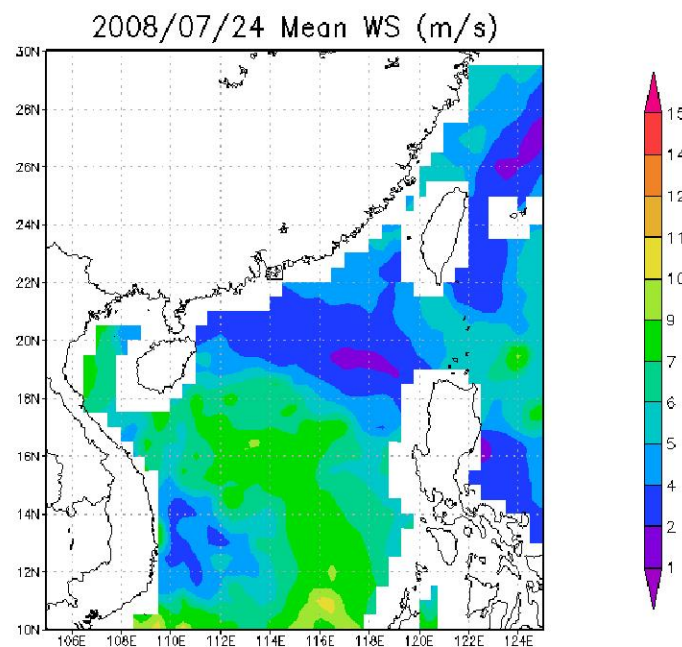


圖 34 應用 SSM/I 資料反演近海面風速之結果，2008/07/24。

另一方面，如前所述近海面風速亦會影響海面溫度之反演，因此本計畫也將風速納入海面溫度的反演模式進行探討，如式(4)所示：

$$LSST = g_0 + g_1 D1 + g_2 D2 + g_3 D3 + g_4 D4 + g_5 U \quad (4)$$

其中 $D1 = T_b(19V) - T_b(22V)$ 、 $D2 = T_b(37V) - T_b(22V)$ 、 $D3 = T_b(37H) - T_b(19H)$ 、 $D4 = T_b(85V) - T_b(22V)$ 、 U 為風速。

測試結果如圖 35 及圖 36 所示，圖 35 為原始海面溫度之反演結果，而圖 36 則為加入風速參數的海面溫度之結果，比較其間海溫反演結果約有 1 度的差異，尤其在風速較大的地區。

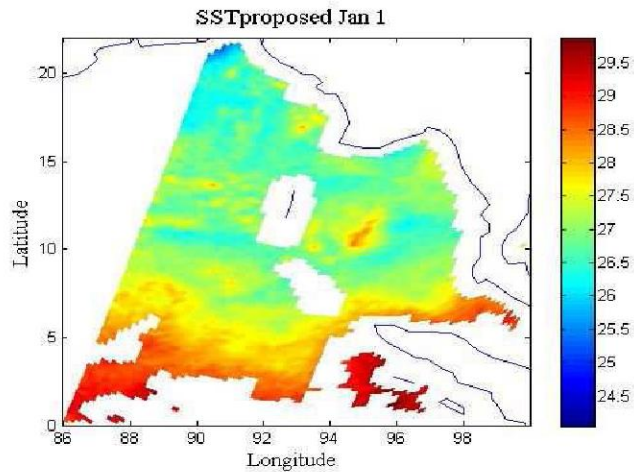


圖 35 原始海溫之反演結果，2007 年 1 月 1 日，印度洋地區。

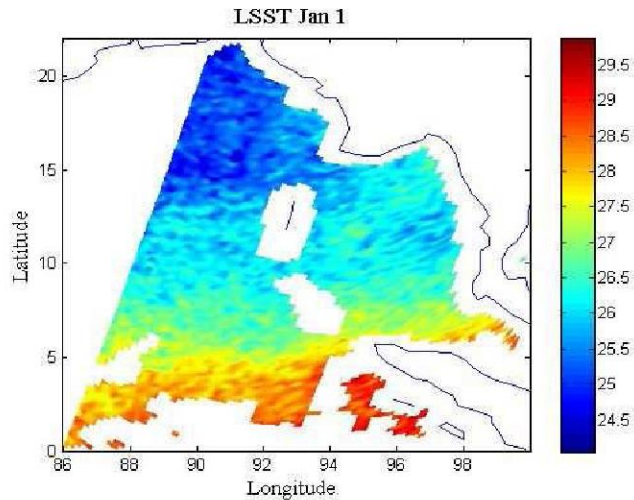


圖 36 同圖 35，但考慮風速。

4.4 近海面空氣濕度反演與分析

由微波輻射理論可知，衛星微波資料可以用來遙測大氣的總水氣含量(也就是可降水量)，進而推求近海面空氣的濕度。經過逐步迴歸法進行適當頻道的篩選後，本計畫選擇 19GHz 垂直頻道及 37GHz 與 85GHz 的水平和垂直極化頻道資料做為近海面空氣濕度之反演頻道，如下所示：

$$q_a = a_0 + a_1 T_b(19V) + a_2 T_b(37V) + a_3 T_b(37H) + a_4 T_b(85V) + a_5 T_b(85H) \quad (5)$$

在建立反演方法過程中，我們仍然隨機選取 2/3(資料量：16755)的資料組供擬合多頻道線性迴歸反演方程式之用，其餘 1/3(資料量：7953)的資料組則用來測試此迴歸方程的精確度。

表 5 SSM/I 微波頻道近海面空氣濕度(q_a)反演迴歸方程式之係數(單位為 g/kg)。

常數項	19V	19H	22V	37V	37H	85V
-91.897	0.311	0.14	0.038	0.078	-0.233	0.2

近海面空氣濕度的迴歸方程式係數如表 5 所示，而圖 37 則為 SSM/I 迴歸樣本的近海面空氣濕度與船舶觀測近海面空氣濕度相關分布圖，其中的均方根誤差是 3.9(g/kg)，相關係數為 0.835，顯示出 SSM/I 資料在反演近海面空氣濕度具有不錯的反演能力。圖 38 則為迴歸結果套用於驗證資料組的結果，其均方根誤差為 3.84(g/kg)，相關係數為 0.872，與迴歸資料組同樣具有不錯之反演結果。

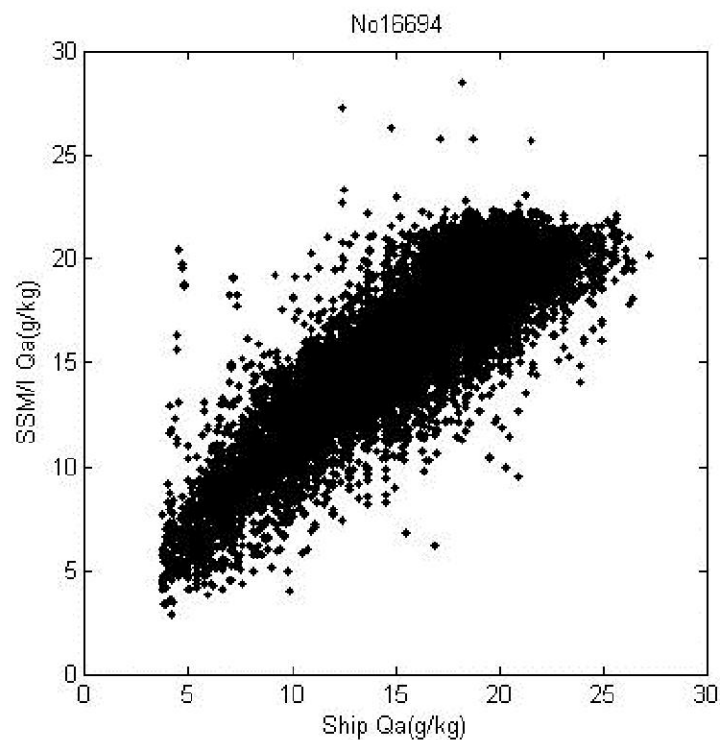


圖 37 2003 年至 2006 年，北緯 10~32 度、東經 105~130 度範圍內所有 SSM/I 迴歸資料(資料量：16694，相關係數：0.835，均方根誤差：3.9g/kg)的近海面空氣濕度與相對應船舶觀測近海面空氣濕度的相關圖。

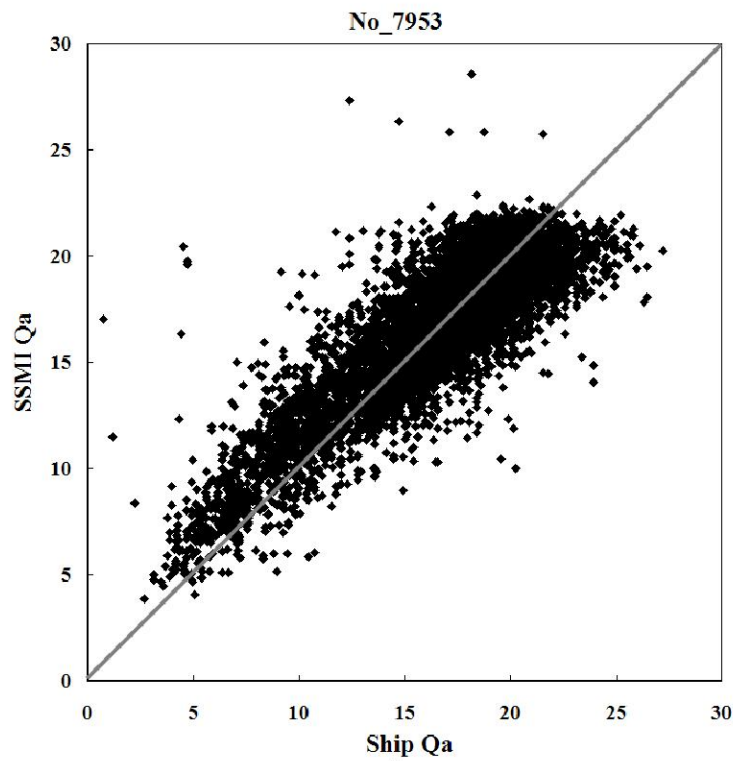


圖 38 2003 年至 2006 年，北緯 10~32 度、東經 105~130 度範圍內所有 SSM/I 驗證資料(資料量：7953，相關係數：0.872，均方根誤差：3.84g/kg)的近海面空氣濕度與相對應船舶觀測近海面空氣濕度的相關圖。

圖 39 為更新前、後近海面空氣濕度反演模式應用於 2008 年 8 月 10 日 SSM/I 觀測資料之結果與比較。圖中顯示，更新後的反演結果略高於更新前的反演結果，平均約有 1~2(g/kg)的差異，但整體的分布型態非常吻合。

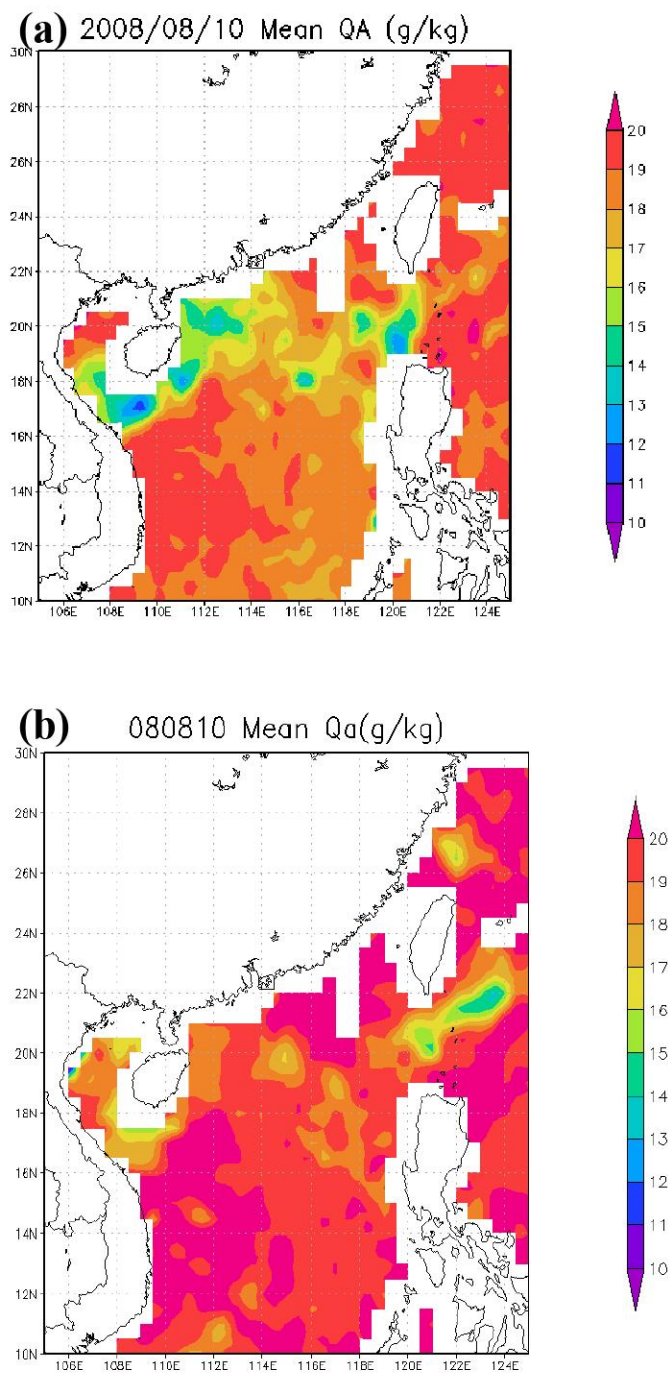


圖 39 (a)為更新前的近海面空氣濕度反演之個案結果，2008/08/10。
 (b)為更新後的近海面空氣濕度反演之個案結果，2008/08/10。

4.5 近海面空氣溫度反演與分析

關於紅外線及微波頻道近海面空氣溫度的反演方面，首先透過通量垂直剖面分布的關係(flux profile relationship)將可感熱通量(sensible heat flux; SHF)及潛熱通量(latent heat flux; LHF)分別寫為

$$SHF = -\rho c_p k_h (\partial T / \partial z) \quad (6)$$

$$LHF = -l \rho k_e (\partial q / \partial z) \quad (7)$$

其中 T 表示溫度， z 是高度， q 為溼度， ρ 表示空氣的密度， l 表示蒸發潛熱， c_p 為定壓比熱， k_h 及 k_e 則分別為可感熱及潛熱的擴散係數。因此 Bowen 比(β)便可寫成

$$\beta = \frac{SHF}{LHF} = \frac{c_p}{l} \frac{k_h}{k_e} \frac{\partial T}{\partial q} \quad (8)$$

在此假設空氣中的可感熱及潛熱的擴散能力約略相同，也就是說其擴散係數相等，那麼(8)式便可進一步簡化為

$$\beta = \frac{SHF}{LHF} = \frac{c_p}{l} \frac{\partial T}{\partial q} \quad (9)$$

另一方面本計畫也透過總體參數公式將可感熱通量及潛熱通量分別寫成

$$SHF = -\rho c_p c_h (T_s - T_a) u \quad (10)$$

$$LHF = -l \rho c_e (q_s - q_a) u \quad (11)$$

其中 c_h 和 c_e 分別表示可感熱及潛熱的總體係數，下標 s 表示位於

海平面之量場值，下標 a 表示近海面 10 公尺參考層之量場值， u 則為近海面 10 公尺參考層之風速。此時 Bowen 比(β)便可寫成下式

$$\beta = \frac{SHF}{LHF} = \frac{c_p c_h (T_s - T_a) u}{l c_e (q_s - q_a) u} \quad (12)$$

由(9)及(12)可得

$$\left. \frac{l}{c_p} \frac{\partial q}{\partial T} \right|_{T=T_a} = \frac{l c_e (q_s - q_a)}{c_p c_h (T_s - T_a)} \quad (13)$$

因為溼度 q 為氣溫的函數，並且可以用相對溼度 α 和飽和比溼 q_*

表示為 $q = \alpha q_*(T)$ ，所以(13)式可進一步寫成

$$\left. \frac{l}{c_p} \left(\frac{q_a}{q_*(T_a)} \frac{\partial q_*(T)}{\partial T} \right) + \frac{l}{c_p} (q_*(T_a)) \frac{\partial \alpha}{\partial T} \right|_{T=T_a} = \frac{l c_e (q_s - q_a)}{c_p c_h (T_s - T_a)} \quad (14)$$

由於相對溼度隨溫度的變化會遠小於飽和比溼隨溫度的變化量 (Priestly, 1996)，因此(14)式等號左邊第二項可以忽略不計，並且經過簡化以後可寫成

$$T_a = T_s - \left\{ \frac{c_e}{c_h} (q_s - q_a) \frac{q_*(T)}{q_a} \left[\frac{1}{\frac{\partial q_*}{\partial T}} \right]_{T=T_a} \right\} \quad (15)$$

首先應用衛星資料所反演之海面溫度 T_s 及近海面空氣的溼度 q_a ，代入 Tetten 的公式計算，可分別計算水氣壓 e_s 及飽和溼度 q_s ，如下式

$$e_s = 6.11 \exp \frac{a(T - 273.16)}{(T - b)} \quad (16)$$

$$q_s = 0.622 \frac{e_s}{p - 0.378 e_s} \quad (17)$$

(16)式中 T 是溫度， a 和 b 為常數(分別為 17.26 及 35.86)，(17) 式中 p 為海平面氣壓值。在此必須特別提出說明的是，本計畫是將海平面氣壓視為常數，並以 1013hPa 代入(17)式計算，雖然海平面氣壓高(低)估會造成溼度的低(高)估，不過這種誤差相當小。如此(15)式剩下來的未知數便只有近海面空氣溫度 T_a 及總體係數 c_h 和 c_e 。為了避免總體係數的不確定性以及使其更具有實驗區域的代表性，本計畫另外定義一常數 K ，並表示如下 $K = c_e / c_h$ ，接著暫時先假設 K 值為已知，並且由 0 到 1，每間格 0.01(共 100 個)給出一個定值當作 K 。隨後將已知的 K 值及衛星資料同時代入(15)，如此一來對每一個 K 值而言，都可以得到一組近海面空氣溫度衛星估算值與和船舶觀測值。最後在 100 組資料當中取均方根誤差最小、相關係數最大的一組，當作最佳 K 值。而(15)式中剩下來的未知數便只有近海面空氣溫度 T_a ，所以我們已經可以很容易地利用衛星資料所估算出來的海面溫度與近海面空氣的溼度來進行近海面空氣溫度的反演了，最後同樣地將用 1/3 的資料組進行迴歸模式準確度的測試。

圖 40 為 2003 年至 2006 年，北緯 $10^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 、東經 $105^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$ 範圍內所有 SSM/I 迴歸樣本組(資料量：16917，相關係數：0.865，均方根誤差：2.24)的近海面空氣溫度與相對應船舶觀測近海面空氣溫度的相關圖。圖中顯示，SSM/I 資料在近海面空氣溫度之反演能力頗佳，其相關係數為 0.856，均方根誤差為 2.24。圖 41 則為更新前、後近海面空氣溫度反演模式應用於 2008 年 8 月 10 日之個案結果。由圖中可看出，更新前、後台灣南方至海南島部分差異較大，約差 1 至 2 度，且整體的分布型態頗為吻合。

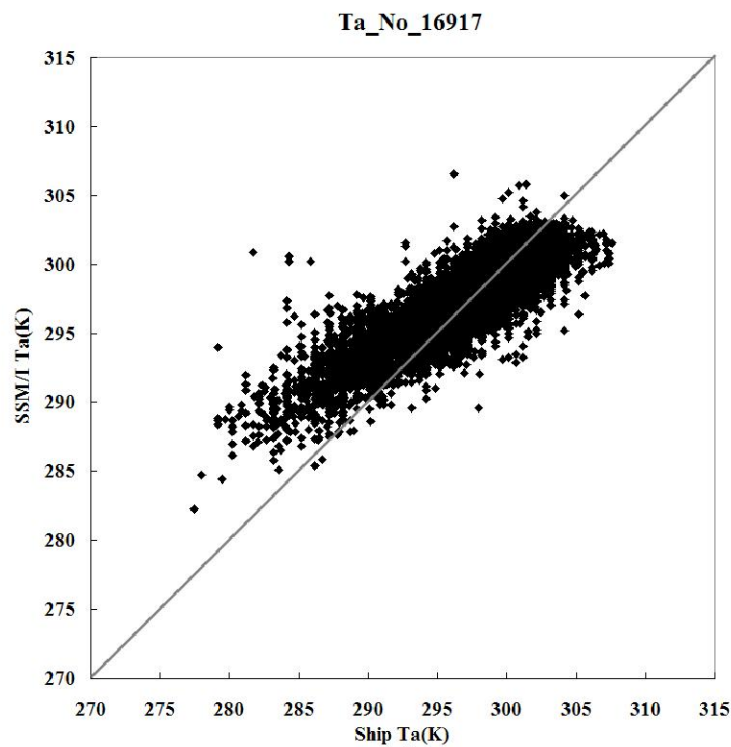


圖 40 2003 年至 2006 年，北緯 $10\sim 30$ 度、東經 $105\sim 130$ 度範圍內所有 SSM/I 迴歸樣本(資料量：16917，相關係數：0.865，均方根誤差：2.24)的近海面空氣溫度與相對應船舶觀測近海面空氣溫度的相關圖。

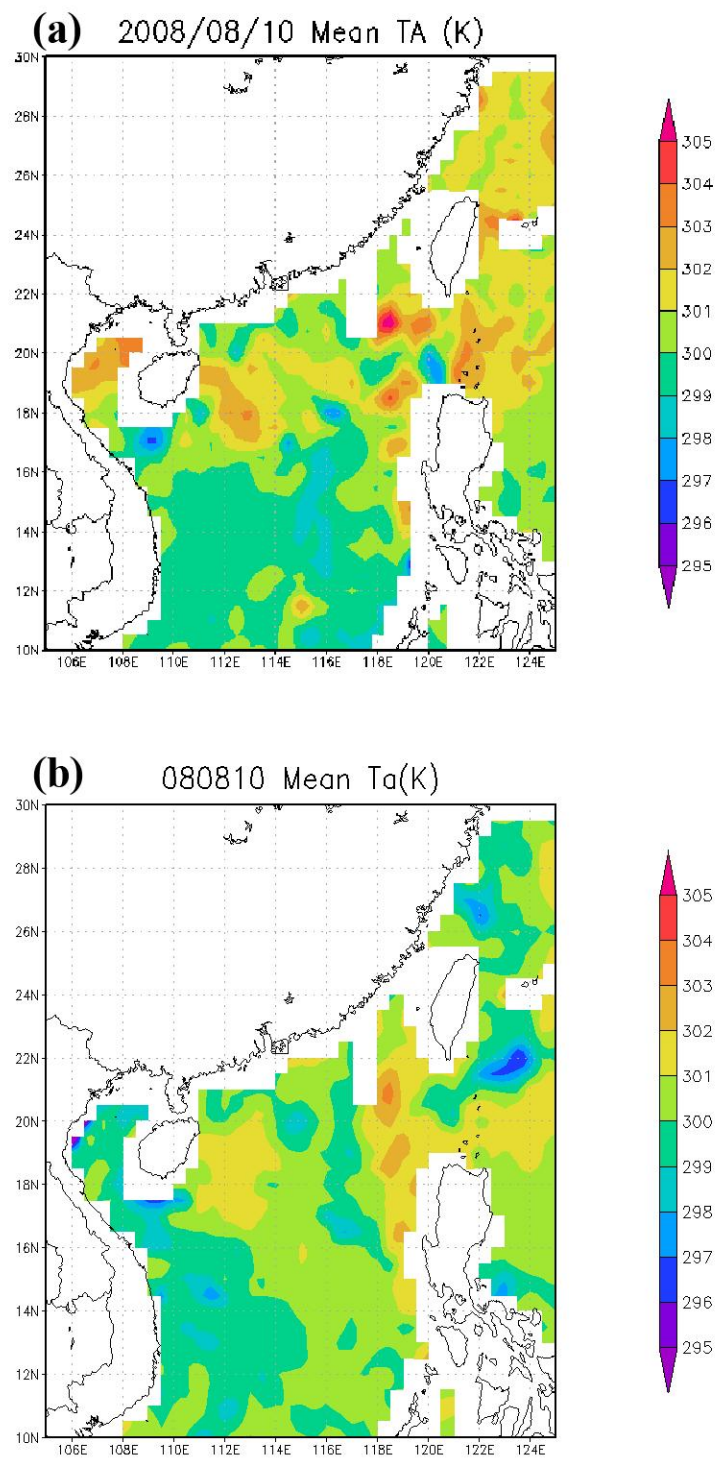


圖 41 (a)為更新前的近海面空氣溫度反演之個案結果，2008/08/10。
 (b)為更新後的近海面空氣溫度反演之個案結果，2008/08/10。

4.6 可感熱及潛熱通量反演

目前為止，我們已經可以利用衛星紅外線及微波資料將海面溫度、近海面空氣溫濕度反演出來。對微波而言，甚至可以求出近海面的風速，因此很容易便可以透過總體參數公式(如(10)及(11)式)將海氣之間的可感熱通量及潛熱通量計算出來。其中海面溫度 T_s 、近海面空氣的溫度 T_a 、近海面空氣的濕度 q_a 以及近海面風速 W_s 可先利用 SSM/I 衛星微波或 MTSAT 紅外資料反演出來，另外 q_s 是將海面溫度 T_s 代入 Tetten 公式計算得到。由於本計畫目前使用的船舶實測在近海面風場資料仍嫌不足，在此本計畫在可感熱及潛熱通量反演部分，則選擇個案之定性分析，如圖 42 及 43 所示。

而圖 44 為與圖 45 則分別更新前、後之可感熱與潛熱通量反演模式應用於 2008 年 8 月 10 日之結果與分析。

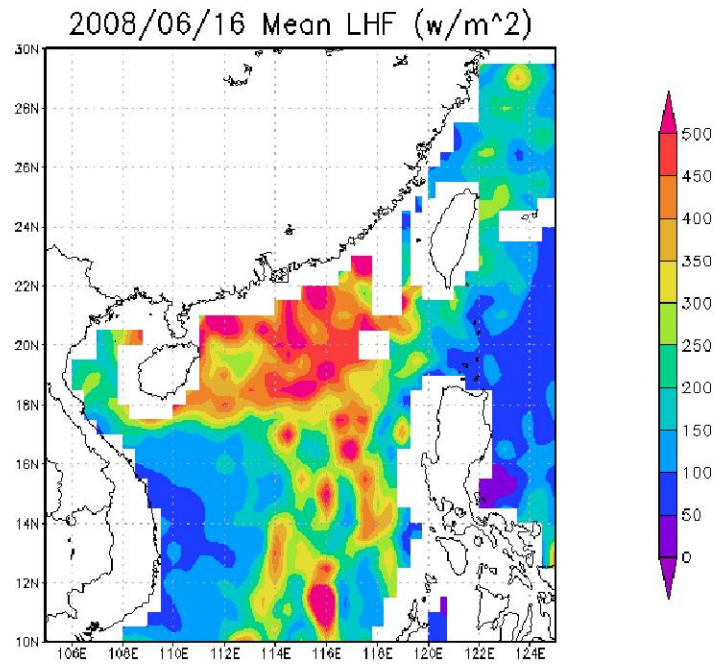


圖 42 應用 SSM/I 資料反演潛熱通量(w/m^2)，200/06/16。

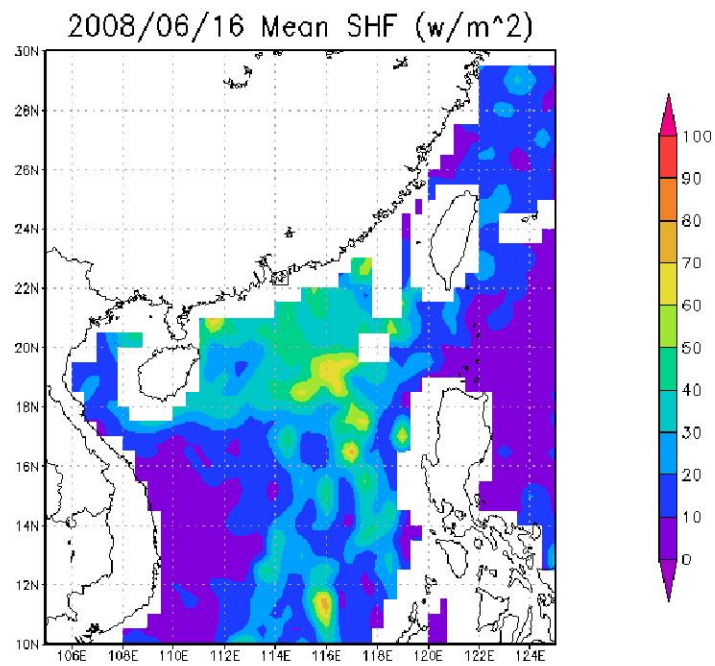


圖 43 應用 SSM/I 資料反演可感熱通量(w/m^2)，200/06/16。

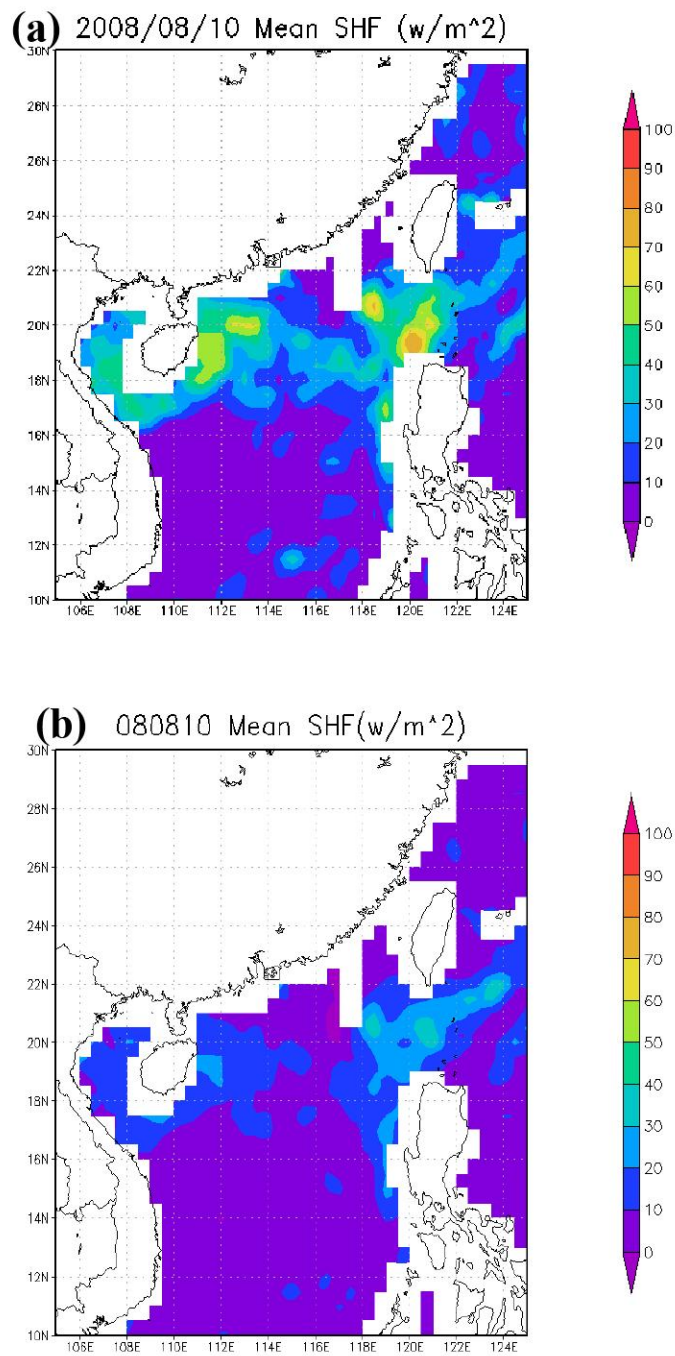


圖 44 (a)為更新前的可感熱通量反演之個案結果，2008/08/10。
(b)為更新後的可感熱通量反演之個案結果，2008/08/10。

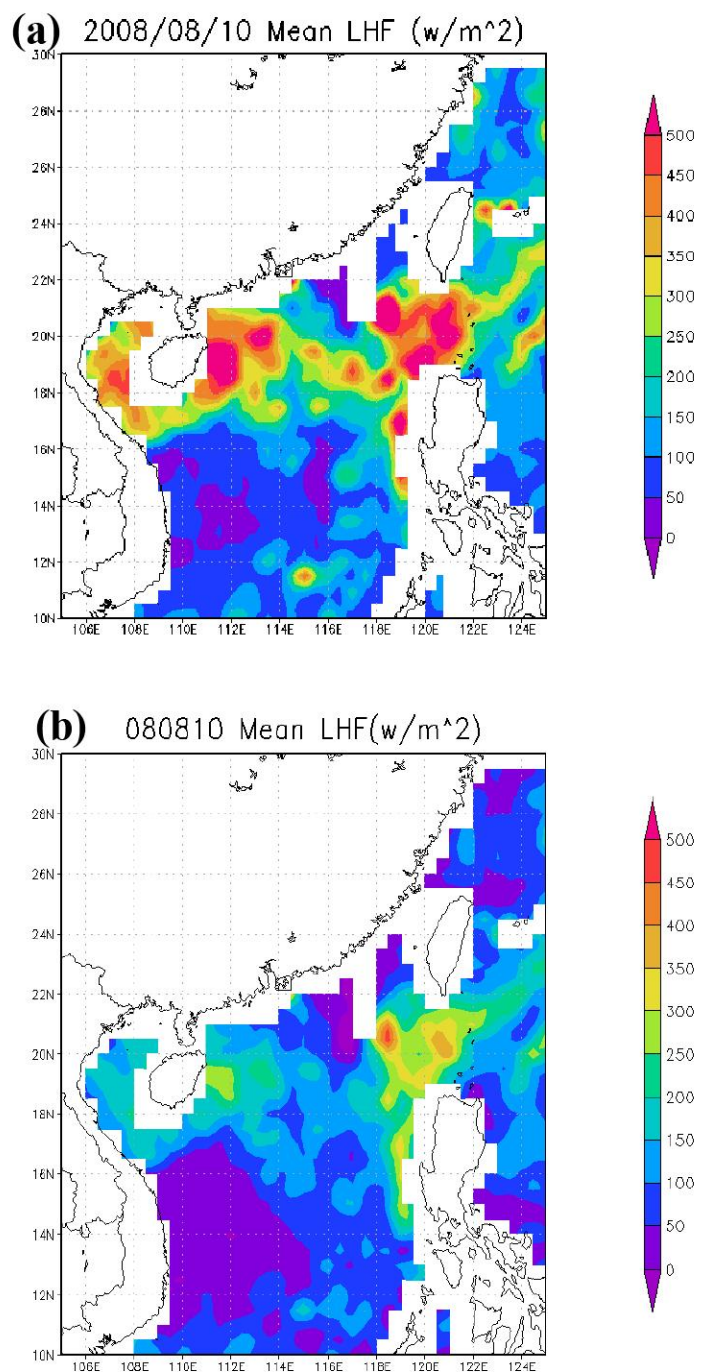


圖 45 (a)為更新前的潛熱通量反演之個案結果，2008/08/10。
 (b)為更新後的潛熱通量反演之個案結果，2008/08/10。

4.7 客觀潛力指數之計算結果

應用前述各項海氣參數之反演結果，便可進行客觀潛力指數 (OPI) 之計算，圖 46 為更新前、後之客觀潛力指數於 2008 年 8 月 10 日之計算結果。圖中顯示，更新後的 OPI 計算結果略低於更新前的計算，但整體的分布型態極為相似。

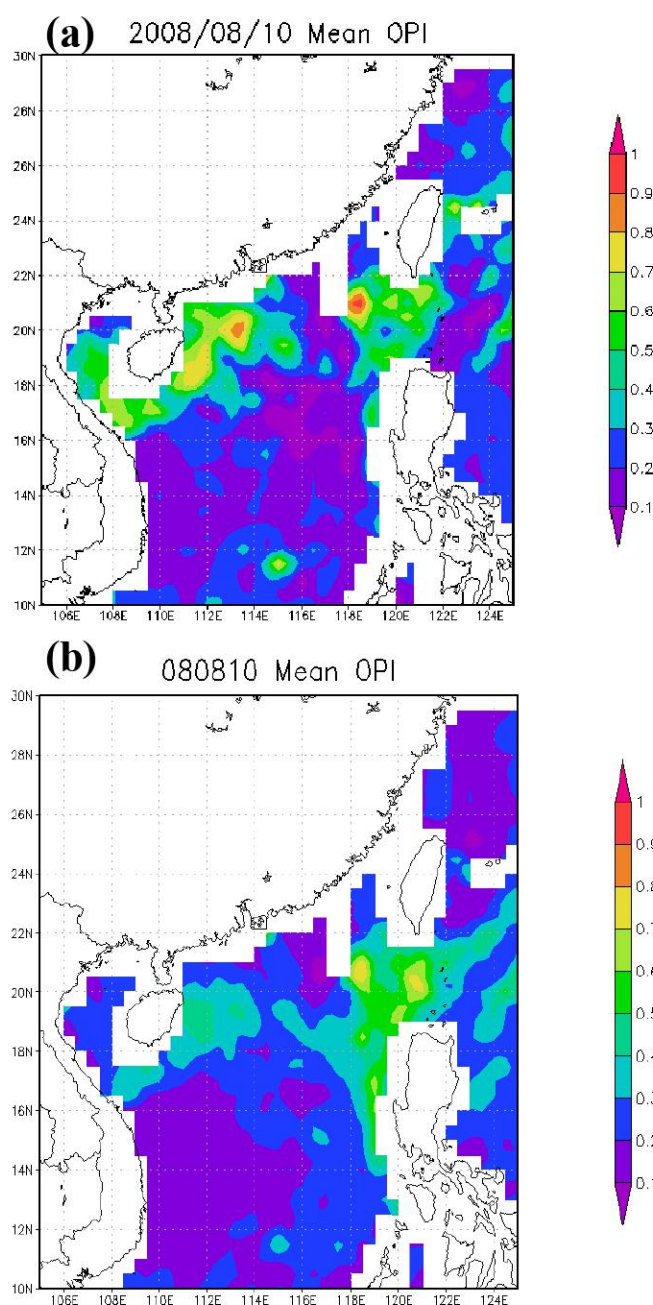


圖 46 (a)為更新前的客觀潛力指數之個案結果，2008/08/10。
(b)為更新後的客觀潛力指數之個案結果，2008/08/10。

另一方面，本計畫也使用以 QuikSCAT 計算出來的近海面風場資料應用於客觀潛力指數之計算，並與 SSM/I 反演的風速資料計算客觀潛力指數之結果進行比較與分析，如圖 47 所示。圖 47(a) 為應用 2008/04/23 SSM/I 衛星資料所計算的客觀潛力指數結果，圖 47(b) 為應用 2008/04/23 QuikSCAT 近海面風場資料計算客觀潛力指數之結果。圖 47 中可看出由 SSM/I 衛星資料建立的客觀潛力指數與 QuikSCAT 應用在客觀潛力指數的結果差異並不明顯，也就是說二者呈現出來的結果一致性極高。再由圖 48 中分析出，SSM/I 衛星資料建立的客觀潛力指數 >0.5 的區域，同樣的於 QuikSCAT 也明顯的呈現出來。故此，可以瞭解用 SSM/I 衛星資料或 QuikSCAT 近海面風場資料應用在建立客觀潛力指數具有相同的效果。

圖 47 (a) : SSM/I

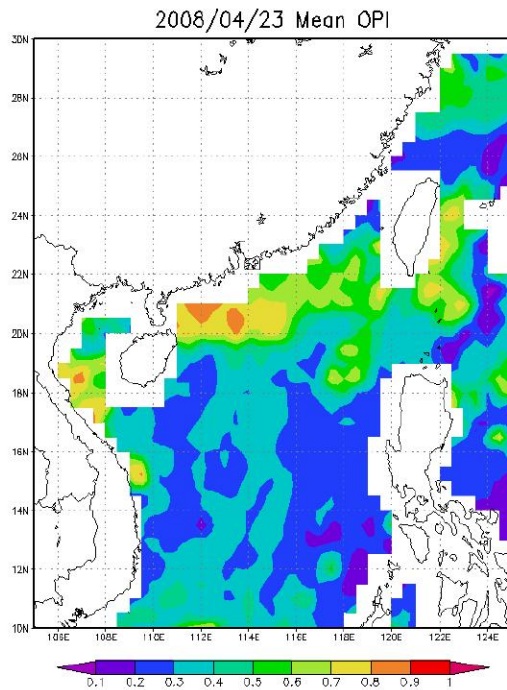


圖 47 (b) : QuikSCAT

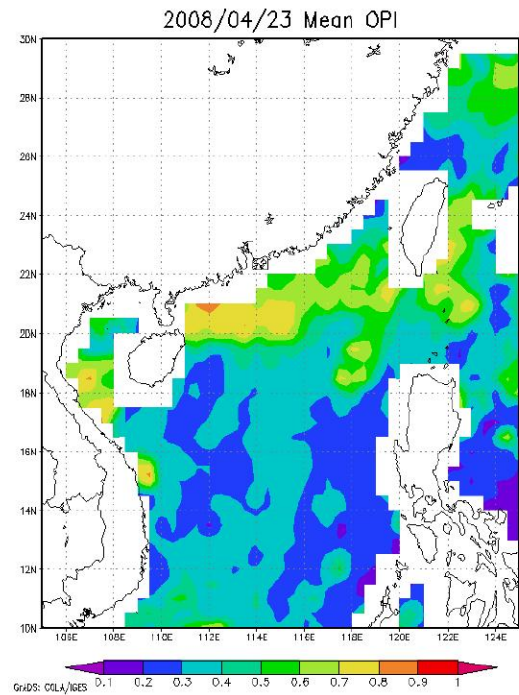


圖 47 (a)應用 SSM/I 資料反演近海面風速計算客觀潛力指數之結果，2008/04/23。
(b)應用 QuikSCAT 近海面風場資料計算客觀潛力指數之結果，2008/04/23。

圖 48 (a) : SSM/I

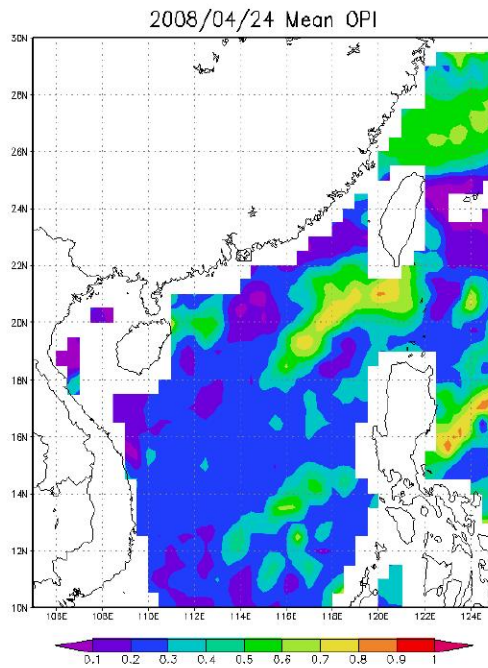


圖 48 (b) : QuikSCAT

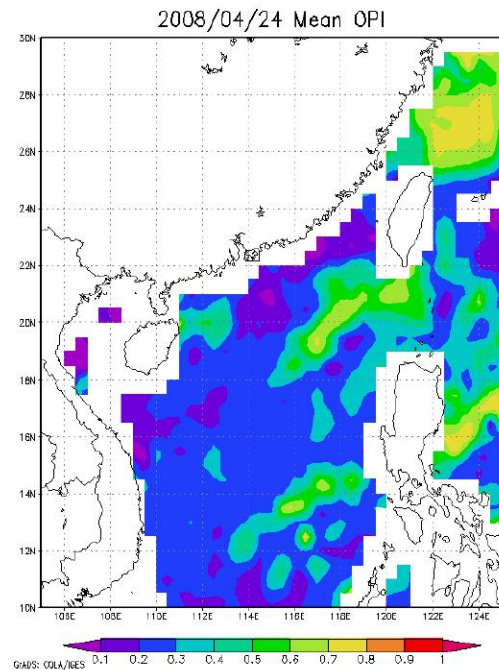


圖 48 (a)應用 SSM/I 資料反演近海面風速計算客觀潛力指數之結果，2008/04/24。
(b)應用 QuikSCAT 近海面風場資料計算客觀潛力指數之結果，2008/04/24。

五、結論

台灣地區附近海域，每年在梅雨期間，常常有中尺度對流系統在海面上生成與發展。而這些中尺度對流系統有的是伴隨在梅雨鋒面雲系之內，由華南一帶向東移至海上，然後在海面上逐漸發展；有的則純粹直接在海面上生成並發展，然後移向台灣造成豪雨。由於許多的研究都證明，海氣之間的交互作用和海上中尺度對流系統的生成與發展關係可能非常密切。不過由於海面上傳統觀測資料實在太少，除非大型的實驗計畫，一般來講很難有足夠的資料進行分析。本計畫是利用衛星資料建立一套各種海氣參數(包括海水表面溫度、近海面空氣的溫/溼度、風速、海氣間的潛熱與可感熱通量)的反演方法與流程，並利用衛星反演出來的各種海氣參數，建立一個可以描述海氣交互作用強弱程度與其趨勢的客觀潛力指數。

在 SSM/I 微波資料的海溫反演方面，基本上而言，反演結果還算不錯，不過當海溫約略小於 290K 時，存在有系統性的高估，而造成這種高估的情形可能歸因於緯度太高，海溫相對較低。由於對微波而言海面發射率本來就不高(約 0.5)，所以微波亮溫值對此時的海水溫度而言不夠敏感所致。如文中(4.3 節)所述，最適合反演海面溫度的微波頻道為 5.6GHz，其次為 10GHz，但 SSM/I 微波觀測頻道均未包含此二頻道，故假如要利用 SSM/I 頻道建立全區域海溫反演方程式，未來須就不同區域與季節分別建立之。由於本計畫的主要研究區域是在台灣及南海附近海域，因此可以用單一的反演方程式來計算。本計畫 SSM/I 海面溫度的反演值與船舶觀測的相關係數及均方根分別為

0.76、2.24K。另外在 SSM/I 微波頻道近海面空氣溼度的反演方面，則不會出現類似微波海溫反演時所出現的系統性誤差。應用 SSM/I 近海面空氣濕度的反演值與船舶觀測的相關係數及均方根分別為 0.87、3.84g/kg。本計畫所更新的近海面空氣濕度較之前的反演方法有更好的反演能力。在 SSM/I 微波頻道的近海面空氣溫度反演方面，SSM/I 近海面空氣溫度的反演？與船舶觀測的相關係數及均方根誤差分別為 0.865、2.24K。

六、後續工作

- (1) 持續更新各種海氣參數反演的資料庫，其中包括 MTSAT 兩紅外頻道 SSM/I 微波資料及船舶或浮球觀測資料，並建立及更新更適合的反演方法。
- (2) 微波頻道海面溫度反演能力的相關研究與分析將持續進行，特別未來將分區域及區分季節來反演海面溫度，以期達到更佳的反演能力。
- (3) 未來也將加入更多的客觀潛力指數（OPI）個案分析，以分析了解海氣參數及客觀潛力指數的優勢，並更進一步了解海氣間的交互作用和海上天氣系統的存在及發展。
- (4) 海上對流系統的發展與否，除了海氣交互作用之外，大氣的環境條件也可能扮演重要的角色，因此本計畫未來也將於研究中加入大氣，包含熱力及動力條件，以期達到建立更合適的客觀潛力指數(OPI)。

七、參考文獻

- 劉崇治, 劉振榮, 2000: 應用衛星資料在梅雨季海上中尺度對流系統生成前兆之初步探討, 大氣科學, Vol. 28, No. 4, 317-341.
- Chang, C. P., C. H. Liu, and H. C. Kuo, 2003: Typhoon Vamei: An equatorial tropical cyclone formation. Geo. Res. Let., 30, No.3, 50-1-50-4.
- Goodberlet, M. A., C. T. Swift, and J. C. Wilkerson, 1989: Remote sensing of ocean surface winds with the Special Sensor Microwave/Imager, J. Geophys. Res., 94, C10, 14547-14555.
- Gray, W. M., 1968: Global view of the origin of the tropical disturbances and storm. Mon. Wea Rev., 96, 669-700.
- Hollinger, J. P., J. L. Peirch, and G. A. Poe, 1990: SSM/I instrument evaluation, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 28, 781-790.
- Liu, G.-R., C.-C. Liu, and T.-H. Kuo, 2001: A Contrast and Comparison of Near-Sea Surface Air Temperature/Humidity from GMS and SSM/I Data with an Improved Algorithm. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, No. 10, 2148-2157.(SCI)_
- Liu, G.-R. , P.-J. Kao and T.-H. Kuo, 2001: An Improved Non-regression-Coefficients Method to Find Sea Surface Temperature with AVHRR Data. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 9, No. 2, pp.145-152. (EI)

- Liu, G.-R., C.-C. Liu and T.-H. Kuo, 2002: A Satellite-derived Objective Potential Index for MCS Development during the Mei-Yu Period. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 80, No. 3, pp. 503-517. (SCI)
- Liu C.-C., G.-R. Liu, W.-J. Chen, and H.-Y. Yang, 2003: Modified Bowen Ratio Method in Near-Sea-Surface Air Temperature Estimation by Using Satellite Data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 5, pp 1025-1033. (SCI)
- Li, C-C, and G.-R. Liu, 2006, June : An Empirical Study of Surface Wind Retrievals using the TMI over the South China Sea in the Summer Monsoon Season. *TAO*, Vol. 17, No. 2, 447-459. (SCI)
- Liu C. C., G. R. Liu, C. C. Chao, D. G. Pan and J. E. Li, 2006: Evaluation of Satellite-derived Objective Potential Index for Oceanic Cloud System during the Mei-Yu Period, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 14, No. 2, 65-72. (EI)
- Priestly, C. H. B., 1996: The limitation of temperature by evaporation in hot climates, *Agric. Meteorol.*, vol. 3, pp. 241-246, 1996.
- Wilks, D. S., 1995: Statistical methods in the atmospheric science, Academic Press: New York, 467pp.

八、附錄一 期中審查問題回覆及討論

1. 期中報告中公式 $SHF = -\rho c_p c_h (T_s - T_a)u$ 及 $LHF = -l\rho c_e (q_s - q_a)u$ 如何得到?

回覆：期中報告中公式為總體參數法中得到(Schulz et al. 1997 ; Smith,1980 ; Large and Pond,1982,1999)。

2. $\kappa = \frac{c_e}{c_h}$ 是否隨時間或季節、區域做調整?假設成常數是否合理?對一些個案是否會不適用?

回覆：總體係數 c_e 、 c_h 理論上確實會隨時間、季節、區域改變，為目前測試結果顯示：應用於台灣地區梅雨季時，此比值變化不大，因此可假設為常數。對於一些個案有可能會不適用，會繼續分析研究。

3. 客觀潛力指數(OPI)有考慮大氣穩定度指數或探空剖面以及水氣含量嗎?這些資料如何得到?如果不是由 SSM/I 取得，時間上會不會差太遠?可適用於大部分颱風個案嗎?

回覆：本計畫階段尚未加入大氣穩定度因素。這些資料由探空、衛星反演溫濕度剖面。其應用在颱風時需做修正，目前已有初步成果，正持續研究發展中。

4. 顯示出來的都是良好的個案，有不好的個案嗎?不好的個案佔所有個案的百分比是多少?可能有哪些因素造成不好的個案?

回覆：也有不好的個案，為大部分成效良好。不好的個案百分比及原因，需持續研究，正進行中！未考慮大氣穩定度可能是造成不好的個案的主要因素。

5. 本計畫方法與使用模式資料(分析場)資料計算的優缺點。

回覆：

	優點	缺點
OPI (客觀潛力指數)	➤ 衛星資料具高時空解析力。 ➤ 不受地理環境因素影響觀測。 ➤ 觀測範圍廣泛，反演海氣參數分布具參考價值。	➤ 實際的預測(警)能力需持續觀察與研究。 ➤ 未考慮大氣穩定條件。
數值天氣預報模式資料	➤ 物理觀念完整，可提供完整資料。 ➤ 資料具預報特性。	➤ 需要輸入的初始資料可能不夠完整。 ➤ 若預報資料具有誤差，即會影響指數計算的準確度。

九、附錄二 期末審查問題回覆及討論

1. 建議加強「逐步迴歸法」建立最佳迴歸方程之資料處理程序，並說明其不確定性。

回覆：已修正並納入報告內文中，詳見 4.2 節迴歸方法(29 頁)。

2. 增加所反演之海氣參數之個別應用說明與限制。

回覆：已修正並納入報告內文中，詳見第四章(30 頁)。

3. 增加 OPI 與對流系統發展之相關分析。

回覆：已修正並納入報告內文中，詳見第三章客觀潛力指數 (OPI)之應用與分析 (17 頁)。

4. 說明船舶實測資料如何做 Q.C.處理。

回覆：已修正並納入報告內文中，詳見 4.1.2 節 船舶或浮球觀測資料(26 頁)。

5. 風速估計會受降雨量影響，可用性的研究值得進一步研究。

回覆：這方面的探討將於下階段計畫執行中進行分析與評估。

6. 統計方法為基礎的研究，時間變化趨勢有必要於次年進一步了解。

回覆：在客觀潛力指數(OPI)的建立過程中，各參數已經過標準化的處理，理論上應不受時間的影響。本計畫目前使用多年(2003 年~2006 年)的觀測資料建立海氣參數之反演方程，並建立穩定性高且可以長時間使用的客觀潛力指數。本計畫將考慮進行跨年度、長時間的分析與探討。