

大氣科學概論期末專題報告
海氣交互作用對颱風強度之影響
—以山陀兒為例

第六組 陳欣鈺、高紫恩、洪鈺翔、楊承翰

September 8, 2025

Contents

1	第一章 緒論	3
1.1	研究背景	3
1.2	研究動機	3
1.3	研究目的	4
1.4	研究方法	4
2	第二章 文獻探討	5
2.1	熱帶氣旋強度與表面溫度之關係	5
2.2	海洋熱含量與海氣交互作用對颱風強度之影響	6
3	第三章 研究結果與討論	8
3.1	研究結果	8
3.2	討論	10
4	第四章 結論與未來展望	11
4.1	結論	11
4.2	未來與展望	12
5	參考文獻與資料	12
6	附錄	13
6.1	小組分工表	13
6.2	程式碼	13

摘要

這篇報告為研究山陀兒颱風之颱風強度及海表面溫度與海洋熱含量之關係。我們利用 GrADS 以氣壓描繪颱風路徑，再分析颱風強度（風速）與海洋溫度與熱含量之關係，探討其背後的物理機制。

1 第一章 緒論

1.1 研究背景

全球氣候變遷與全球暖化已成為現代大氣科學之重要議題。而在此背景下，熱帶氣旋作為海氣交互作用之極端表現，其不僅會對於區域性氣象系統造成極大影響，也會對於沿海地區之民生經濟、生活構成威脅。根據聯合國氣候變遷報告，颱風的頻率與強度可能因海洋表面溫度的上升而有所改變，對颱風路徑和強度的精準預測成為氣象科學的核心挑戰之一。

1.2 研究動機

近幾年來臺灣經歷過多次颱風過境，尤其是今年夏秋時節，見到各個颱風都擁有不同的發展過程與強度變化，引起我們想要深入探討颱風與其背後形成之物理機制，以其對於颱風強度進行預測。我們選擇了對於我們較可以實施之海表面溫度與海洋熱含量與颱風強度之關係進行數據分析，希望能夠透過此分析了解海氣交互作用對颱風強度關係，為相關預測提供數據。

1.3 研究目的

透過分析臺灣附近海域海表面溫度與海洋熱含量的變化與近年颱風強度之間的關係，深入探討海氣交互作用的機制。同時，利用數據揭示海洋對颱風強度的影響，為未來改進颱風強度的預測模型提供科學依據。

1.4 研究方法

利用 GrADS 將 ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) 中海表面溫度資料、NOAA CoastWatch 所提供之海洋熱含量資料與 ERA5 中海表面氣壓值、10 公尺 U 風及 V 風資料分別繪製出山陀兒颱風 (Krathon) 生成至消散期間 (取 2024 年 09 月 26 日至 2024 年 10 月 08 日期間) 海表面溫度對比風速以及海洋熱含量對比風速二圖，藉以比較海表面溫度與海洋熱含量對颱風強度 (風速) 的影響。

其中，ERA5 的資料為空間解析度 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 、時間解析度 1 小時的網格資料，因此利用 while 迴圈將每 3 小時資料繪出。而 NOAA CoastWatch 所提供之 OHC 資料為一天一筆，但我們認為 OHC 分佈在一天內不會有太大變化，因此直接將同一天不同時間氣壓與風速資料繪於同一張 OHC 上。

為了呈現海洋對於颱風強度的影響，我們利用色塊等值線各別畫出海表面溫度與海洋熱含量的分布，再將氣壓 (以等值線標示) 與風速 (以風標標示) 一同疊加繪製於圖上，並觀察海洋溫度與熱含量分布對颱風風速造成之影響。

最後我們還利用折線圖繪出海表面溫度、海洋熱含量與颱風最大風速如何隨時間變化，以量化二者對強度的影響。我們以 GrADS 中 `aminlocx()` 與 `aminlocy()` 函數定出颱風大概位置以及 `max()` 函數找出最大風速，並將

該位置海表面溫度、海洋熱含量與風速格式化輸出成文字檔，再以 Python 的 numpy 與 matplotlib 套件讀取並畫出折線圖。

2 第二章 文獻探討

2.1 熱帶氣旋強度與表面溫度之關係

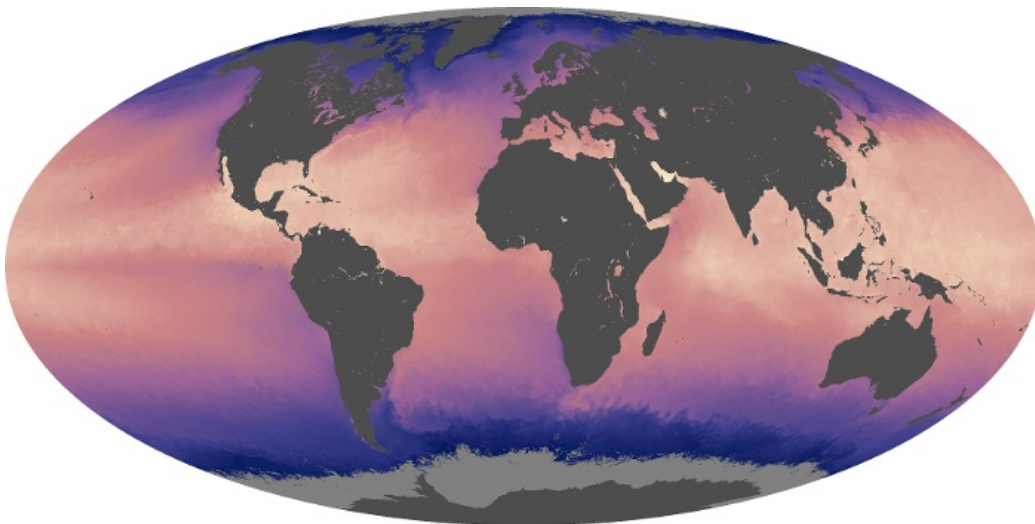


Figure 1: Sea Surface Temperature 202409 (NEO)

海表面溫度 (Sea Surface Temperature, SST)：

海表溫度指的是海洋接近表面的溫度，通常涵蓋從海平面到約 50 米深度範圍內的平均溫度。沿海地區的 SST 變化能夠顯著影響近海風的生成，進而引發上升流現象。這些上升流不僅攜帶營養鹽上升，促進海洋生物的豐富多樣性，還對數值天氣預報的準確性具有關鍵性的影響，因為上升流能改變大氣的動力結構和熱力狀態。

SST 對熱帶氣旋的形成和發展起著至關重要的作用。溫暖的海水為熱

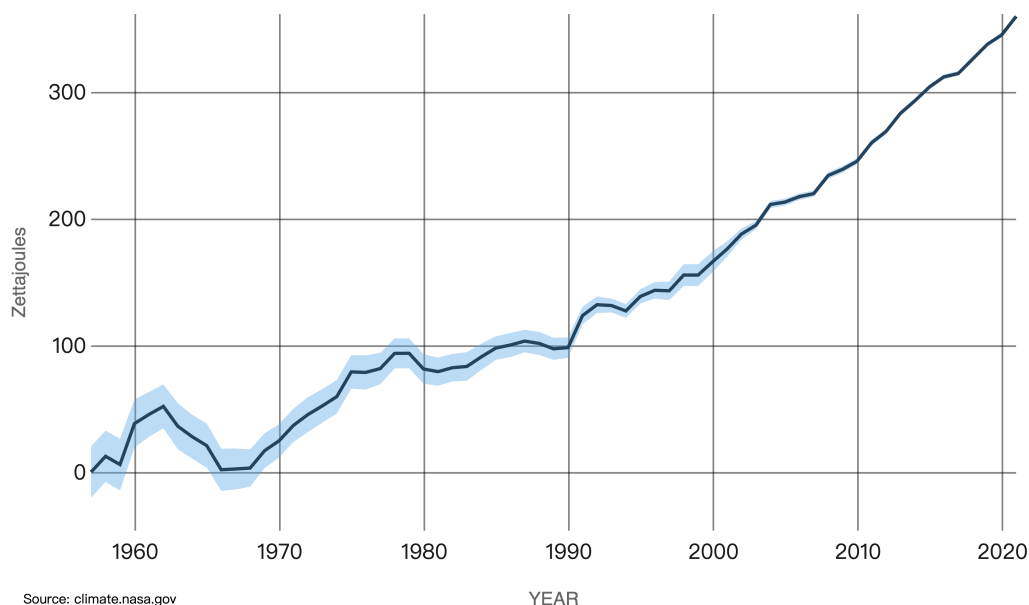


Figure 2: Ocean Heat Content Changes Since 1955 (NOAA)

帶氣旋提供了豐富的能量來源，通過從海水中提取熱能，促進氣旋的生成和增強。高溫的海表水溫不僅增加了大氣中的水氣含量，還降低了氣旋形成所需的能量閾值，從而提升了熱帶氣旋的頻率和強度。隨著全球氣候變遷，海表溫度的整體上升趨勢使得極端天氣事件，如颱風和颶風的威脅程度加劇，對沿海地區的人口和基礎設施構成更大的風險。

這篇研究主旨是統計過往數據以判斷海表面溫度對於熱帶氣旋強度影響之重要性。其結果表示海表面溫度用於預測熱帶氣旋強度是不太適當的，因仍有其他因素對於熱帶氣旋強度也具重要性。

2.2 海洋熱含量與海氣交互作用對颱風強度之影響

海洋熱含量 (Ocean Heat Content, OHC)：

為海洋儲存及吸收之熱能，OHC 吸收 90% 的全球暖化因溫室氣體排放增加導致其上升，OHC 對於海氣交互作用具有重要影響。而 OHC 在過去幾十年就不斷穩定增長，在 2003 - 2008 年在深度小於 2000 公尺平均每年增加 9.3 澤焦耳 ($1 \text{ ZJ} = 1 \times 10^{21} \text{ J}$)。海洋熱含量之計算需測量個海洋之位置和深度及溫度，積分整體海洋熱量面密度即可得出海洋總體熱含量，其數學形式即為如下。其中， c_p 為海水比熱容， h_1 與 h_2 分別為深邊界與淺邊界， $\rho(z)$ 為該深度海水密度， $T(z)$ 則為該深度海水溫度。

$$OHC = c_p \int_{h_1}^{h_2} \rho(z) T(z) dz$$

海氣交互作用:

颱風能量來源大多是藉由可感熱與潛熱通量將海洋能量提供給颱風，當海洋提供能量越多，颱風強度、風速提升，導致更多可感熱與潛熱通量提供能量，使得颱風強度不斷增強，為正回饋。然而強度越強的颱風會使得海洋冷卻越明顯，海洋提供的能量減少使得颱風強度減弱甚至影響其結構，進而抑制颱風本身，為負回饋。

過去位於西太平洋的颱風在經過暖渦時，會因暖渦的暖水層特性而導致海洋熱含量迅速增加，從而使颱風強度快速增強。此外，颱風的風場會通過流切逸入作用影響海洋流場，隨著科氏力的偏轉，洋流逐漸與風場方向一致。特別是右側風場的加成效應會強化流場，導致強烈的流切混合作用。另一方面，Ekman 抽吸作用會引發湧升流，導致海表面溫度冷卻。然而，颱風需要以非常緩慢的移動速度甚至停滯，才能使氣旋式風場對上層海洋的影響持續足夠長的時間，促使 Ekman 運輸作用發生，將洋流質量向風場外圍輻散排開。根據先前研究，颱風移速越慢，越容易引發湧升作用，造成大範圍的冷卻和混合。

即使是暖渦，也無法承受長時間的颱風風場所引發的 Ekman 抽吸湧升

作用，最終會導致大範圍的海溫冷卻。這種冷卻效應會阻斷海面通量的傳輸，穩定內核區邊界層並抑制對流活動，最終削弱颱風的強度。

我們在文獻探討中也了解到 OHC 相較於 SST 更能夠對於颱風強度之預測有更好的效果，由於 SST 是針對海洋表層之水溫狀況，無法描述海洋中層及深層之能量分佈；而 OHC 則考慮了更大深度範圍內之水溫變化，能夠反映熱量在海洋中的垂直分佈，更能夠反映海洋提供給予颱風之能量。

3 第三章 研究結果與討論

3.1 研究結果

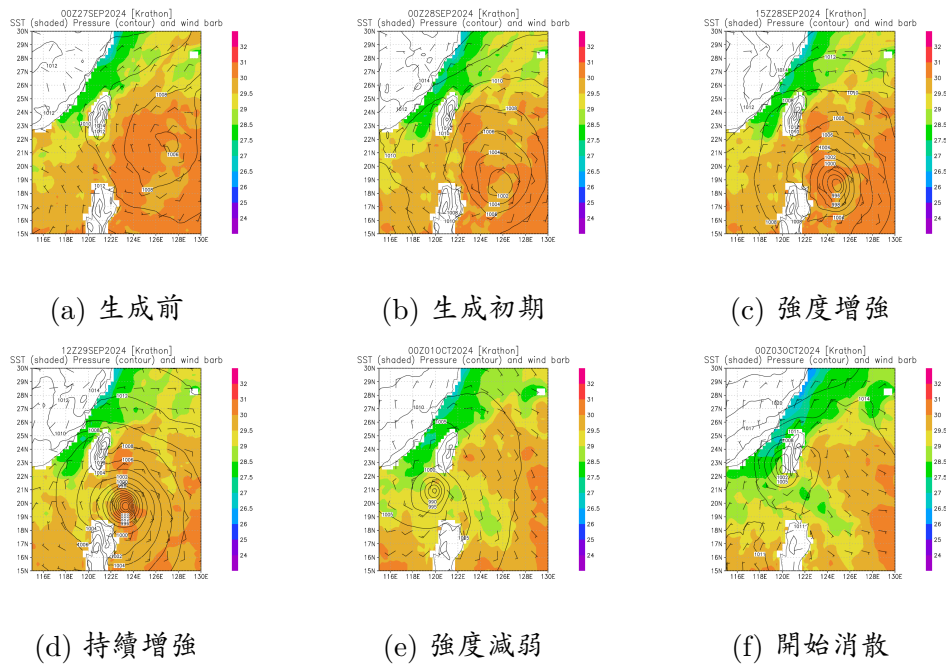


Figure 3: SST 對颱風發展與消散之影響

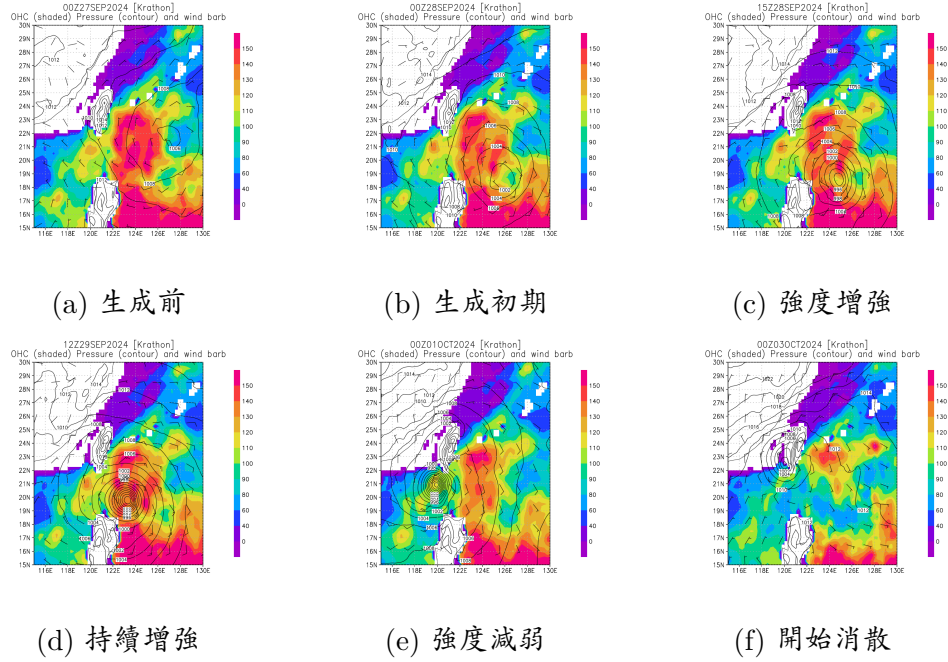


Figure 4: OHC 對颱風發展與消散之影響

本研究發現，海表面溫度（SST）對颱風強度具有顯著影響。在山陀兒颱風生成及增強階段，較高的海表面溫度區域與颱風強度快速增強密切相關。當颱風剛進入溫暖海域時，颱風強度逐漸增強，風速逐漸提高 (Figure 3.a)；待颱風發展一陣子後，進入最大強度階段，此時風速較強並且等壓線密集 (Figure 3.d)；隨著海表面溫度降低，颱風的能量供應受到抑制，強度也逐漸減弱。此時，颱風的風速逐步降低，並且等壓線的密集程度減弱，顯示出颱風的減弱過程 (Figure 3.e)。

然而，海表面溫度僅能表現海洋最表層能量，而颱風所引起的 Ekman 抽送與湧升作用會讓海洋混合層能量重新分配，將較深的能量送往上層，因此若只依據海表面溫度並不足以解釋所有的颱風強度變化。所以我們透過比較更能表示海洋混合層能量的海洋熱含量（OHC）資料與颱風強度的

演變，可以發現 OHC 更能顯示出海洋作為颱風能量供應的角色。颱風生成初期，海洋熱含量分布顯示，颱風尚未進入高 OHC 區域，對流活動較弱，颱風強度仍處於發展階段 (Figure 4.b)；當颱風進入暖渦效應顯著的高 OHC 區域時，較高的 OHC 增強了颱風中心附近的對流活動，促進颱風風速快速增強，顯示出海洋對能量供應的關鍵作用 (Figure 4.d)；颱風長時間停留於暖渦上方，海表面的能量隨著對流湧升並擴散，使海表面溫度下降並導致 OHC 減少，進一步削弱颱風的對流活動和強度 (Figure 4.f)。

在颱風的移動過程中，湧升冷卻效應對其強度削弱的影響也得到了證實。當颱風移速減慢時，湧升作用引發的海表面溫度下降明顯，導致颱風能量供應減弱，風速逐漸下降。此外，湧升效應造成的海洋熱含量下降，也削弱了海氣交互作用對颱風強度的支持。在高海溫區域，颱風強度表現為穩定且持續增強，但當進入低海溫區域後，颱風迅速減弱並逐漸消散。

3.2 討論

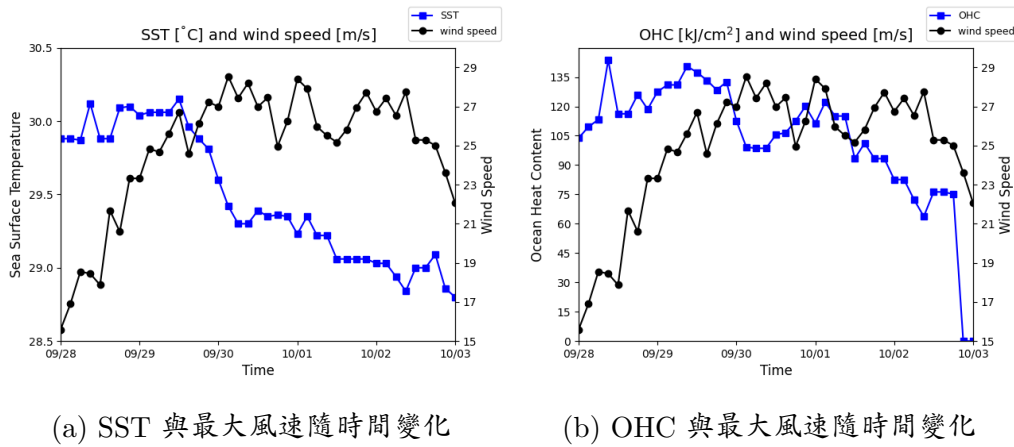


Figure 5: SST 與 OHC 對最大風速的影響

Figure 5 是我們根據山陀兒颱風生成到登陸期間所經過路徑的海表面溫

度與海洋熱含量對於風速隨時間變化的折線圖。在 Figure 5.a 中可以見到 2024 年 09 月 29 日 09 時後海表面溫度開始下降，但颱風強度沒有跟著下降，反而維持甚至緩慢上升，顯示出海表面溫度作為依據的不足。相比之下 Figure 5.b 顯示海洋熱含量並非如海表面溫度般快速降低，而是以相當緩慢的速率逐漸下降，因此颱風強度沒有隨之快速削弱。

研究結果顯示，海表面溫度與颱風強度之間的關係並非線性，高 SST 與高 OHC 雖然是颱風增強的必要條件，但並非唯一因素。颱風強度還受到垂直風切、大氣濕度等其他因子的影響。因此，單獨使用 SST 或 OHC 進行颱風強度預測可能不足，需結合其他環境參數進行多元分析。

本研究的局限性在於僅分析了山陀兒颱風單一案例，未涵蓋更多樣本以進行統計檢驗。此外，使用的數據解析度有限，無法針對颱風特定位置如：颱風眼、颱風外圍對於海表面溫度及海洋熱含量進行精密分析，其可能對結果的精確性造成一定影響。未來的研究可將不同地區的熱帶氣旋納入比較，分析海洋熱含量與其他海洋特性對颱風強度的普適影響。

4 第四章 結論與未來展望

4.1 結論

本研究以山陀兒颱風為案例，探討海表面溫度（SST）與海洋熱含量（OHC）對颱風強度的影響，並結合數據分析和文獻回顧，揭示了海氣交互作用在控制颱風強度中的關鍵角色。結果顯示，高 OHC 能顯著增強颱風強度，而湧升冷卻效應導致海洋熱含量減少則會削弱其強度。然而，颱風減弱還受到乾空氣侵入、冷高壓及垂直風切等因素的影響，顯示單一海洋參數不足以解釋強度變化。

4.2 未來與展望

局限：

- 僅分析單一颱風事件，未涵蓋更多樣本以進行統計檢驗；
- 數據解析度的限制可能影響結果精確性。
- 未考慮更多大氣與海洋參數，對於颱風發展變因不夠全面

展望：

未來可將不同地區的熱帶氣旋進行對比，分析海洋特性對颱風強度的普遍影響。

5 參考文獻與資料

- 張隆男 & 林雨我, (1984). 颱風發展機制之數值模擬—海面溫度對颱風之影響。
- 杜偉聰, (2014). 梅姬颱風 (2010) 之海氣交互作用 觀測與海氣耦合模式整合分析。
- Jenni L. Evans, (1993). Sensitivity of Tropical Cyclone Intensity to Sea Surface Temperature.
- Luke D. Whitney & Jay S. Hobgood, (1997). The Relationship between Sea Surface Temperatures and Maximum Tropical Cyclones in the Eastern North Pacific Ocean.
- Neerja Sharma & Ali MM, (2014). Importance of Ocean Heat Content for Cyclone Studies.

- [NASA Climate - Ocean Warming](#)
- [Sea Surface Temperature wikipedia](#)
- [Sea Surface Temperature earth observatory](#)

6 附錄

6.1 小組分工表

組員	工作
陳欣鈺	海報、1 分鐘簡報報告
高紫恩	書面報告、口頭報告、簡報
洪鈺翔	書面報告、口頭報告
楊承翰	程式、書面報告、口頭報告

6.2 程式碼

Listing 1: 以 GrADS Script 畫 SST 與氣壓、風速

```

1  *SEP
2  'reinit '
3  'sdfopen sst_sep.nc '
4  'sdfopen mslp_sep.nc '
5  'sdfopen u10_sep.nc '
6  'sdfopen v10_sep.nc '
7  'set lon 115 130 '

```

```

8 'set lat 15 30'
9 k=1
10 i=601
11 while i<=720
12 'c'
13 'set pareas 1 10 1 7.5'
14 'set grads off'
15 'set xlopts 1 3 0.15'
16 'set ylopts 1 3 0.15'
17 'set xlint 2'
18 'set dfile 1'
19 'set clefs 24 25 26 26.5 27 27.5 28 28.5 29 29.5 30 31 32'
20 'set lev 0'
21 'set t 'i
22 'q time'
23 Time=subwrd(result,3)
24 say Time
25 'set gxout shaded'
26 'd sst.1-273.15'
27 'cbar'
28 'set dfile 2'
29 'set gxout contour'
30 'set ccolor 1'
31 'set cint 2'
32 'd msl.2/100'
33 'set dfile 3'
34 'set gxout barb'

```

```

35 'set ccolor 1'
36 'd skip(u10.3,6);skip(v10.4,6)'
37 'draw title 'Time' [Krathon]\SST (shaded) Pressure (contour
    ) and wind barb'
38 'printim 'k'_'Time'_SST.png x1100 y850 white'
39 i=i+3
40 k=k+1
41 endwhile
42 'close 4'
43 'close 3'
44 'close 2'
45 'close 1'
46 *OCT
47 'reinit'
48 'sdfopen sst_oct.nc'
49 'sdfopen mslp_oct.nc'
50 'sdfopen u10_oct.nc'
51 'sdfopen v10_oct.nc'
52 'set lon 115 130'
53 'set lat 15 30'
54 k=1
55 i=1
56 while i<=97
57 'c'
58 'set parea 1 10 1 7.5'
59 'set grads off'
60 'set xlopts 1 3 0.15'

```

```

61 'set ylopts 1 3 0.15'
62 'set xlint 2'
63 'set dfile 1'
64 'set clevs 24 25 26 26.5 27 27.5 28 28.5 29 29.5 30 31 32'
65 'set lev 0'
66 'set t 'i
67 'q time'
68 Time=subwrd(result,3)
69 say Time
70 'set gxout shaded'
71 'd sst.1-273.15'
72 'cbar'
73 'set dfile 2'
74 'set gxout contour'
75 'set ccolor 1'
76 'set cint 2'
77 'd msl.2/100'
78 'set dfile 3'
79 'set gxout barb'
80 'set ccolor 1'
81 'd skip(u10.3,6);skip(v10.4,6)'
82 'draw title 'Time' [Krathon]\SST (shaded) Pressure (contour
    ) and wind barb'
83 'printim 'k'_'Time'_SST.png x1100 y850 white'
84 i=i+3
85 k=k+1
86 endwhile

```



```
87 'close 4'
88 'close 3'
89 'close 2'
90 'close 1'
```

Listing 2: 以 GrADS Script 畫 OHC 與氣壓、風速

```
1 'reinit'
2 'sdfopen mslp_sep.nc'
3 'sdfopen mslp_oct.nc'
4 'sdfopen u10_sep.nc'
5 'sdfopen u10_oct.nc'
6 'sdfopen v10_sep.nc'
7 'sdfopen v10_oct.nc'
8 'set lon 115 130'
9 'set lat 15 30'
10 k=1
11 H=1
12 f=270
13 while f<=282
14 'sdfopen ohc_np14QG3_2024_ 'f'.nc'
15 while H<=24
16 'c'
17 'set parea 1 10 1 7.5'
18 'set grads off'
19 'set xlopts 1 3 0.15'
20 'set ylopts 1 3 0.15'
21 'set xlint 2'
```

```

22 'set dfile 7'
23 'set lev 0'
24 'set t 1'
25 'set clevs 0 40 60 80 90 100 110 120 130 140 150'
26 'set gxout shaded'
27 'd ohc.7'
28 'cbar'
29 *SEP
30 if f<=274
31 'set dfile 1'
32 'set t 'H
33 'set gxout contour'
34 'set cint 2'
35 'set ccolor 1'
36 'd msl.1/100'
37 'q time'
38 day=subwrd(result,3)
39 say day
40 'set dfile 3'
41 'set lev 0'
42 'set t 'H
43 'set gxout barb'
44 'set ccolor 1'
45 'd skip(u10.3,6);skip(v10.5,6)'
46 *OCT
47 else
48 'set dfile 2'

```

```

49 'set t 'H
50 'set gxout contour'
51 'set cint 2'
52 'set ccolor 1'
53 'd msl.2/100'
54 'q time'
55 day=subwrd(result,3)
56 say day
57 'set dfile 4'
58 'set lev 0'
59 'set t 'H
60 'set gxout barb'
61 'set ccolor 1'
62 'd skip(u10.4,6);skip(v10.6,6)'
63 endif
64 'draw title 'day' [Krathon]\OHC (shaded) Pressure (contour)
    and wind barb'
65 'printim 'k'_'day'_OHC.png x1100 y850 white'
66 H=H+3
67 k=k+1
68 endwhile
69 'close 7'
70 f=f+1
71 endwhile
72 i=6
73 while i>=1
74 'close 'i

```

```

75 i=i-1
76 endwhile

```

Listing 3: 格式化輸出 SST/OHC 與最大風速資訊

```

1  *SST與風速
2  'reinit'
3  'sdfopen sst_sep.nc'
4  'sdfopen sst_oct.nc'
5  'sdfopen mslp_sep.nc'
6  'sdfopen mslp_oct.nc'
7  'sdfopen u10_sep.nc'
8  'sdfopen v10_sep.nc'
9  'sdfopen u10_oct.nc'
10 'sdfopen v10_oct.nc'
11 s=649
12 say s
13 outfile='CenSST.txt'
14 fmt='%6.2f'
15 header='          Time      SST   speed'
16 write(outfile,header)
17 while s<=720
18 'set dfile 3'
19 'set t 's
20 'q time'
21 date=subwrd(result,3)
22 say date
23 'define Pminx=aminlocx(msl.3,lon=115,lon=130,lat=15,lat=30)

```

```

    '
24 'd Pminx'
25 Px=subwrd(result,4)
26 say Px
27 'define Pminy=aminlocy(msl.3,lon=115,lon=130,lat=15,lat=30)
    '
28 'd Pminy'
29 Py=subwrd(result,4)
30 say Py
31 'set dfile 1'
32 'set x 'Px
33 'set y 'Py
34 'set t 's
35 'define SeaSurTem=sst.1-273.15'
36 'd SeaSurTem'
37 ST=subwrd(result,4)
38 say ST
39 'set dfile 5'
40 'set t 's
41 'define ws=amax(mag(u10.5,v10.6),lon=115,lon=130,lat=15,lat
    =30)'
42 'd ws'
43 wind_data=subwrd(result,4)
44 say wind_data
45 'set gxout print'
46 'set t 's
47 'q time'

```

```

48 time_data=subwrd(result,3)
49 'set x 'Px
50 'set y 'Py
51 sst_data=ST
52 sst_data=math_format(fmt,sst_data)
53 wind_data=math_format(fmt,wind_data)
54 record=time_data ' 'sst_data' 'wind_data
55 rc=write(outfile,record,append)
56 'set gxout contour'
57 'undefine Pminx'
58 'undefine Pminy'
59 'undefine SeaSurTem'
60 'undefine ws'
61 s=s+3
62 endwhile
63 o=1
64 while o<=49
65 'set dfile 4'
66 'set t 'o
67 'q time'
68 date=subwrd(result,3)
69 say date
70 'define Pminx=aminlocx(msl.4,lon=115,lon=130,lat=15,lat=30)
    '
71 'd Pminx'
72 Px=subwrd(result,4)
73 say Px

```

```

74 | 'define Pminy=aminlocy(msl.4,lon=115,lon=130,lat=15,lat=30)
    | '
75 | 'd Pminy'
76 | Py=subwrd(result,4)
77 | say Py
78 | 'set dfile 2'
79 | 'set x 'Px
80 | 'set y 'Py
81 | 'set t 'o
82 | 'define SeaSurTem=sst.2-273.15'
83 | 'd SeaSurTem'
84 | ST=subwrd(result,4)
85 | say ST
86 | 'set dfile 7'
87 | 'set t 'o
88 | 'define ws=amax(mag(u10.7,v10.8),lon=115,lon=130,lat=15,lat
    | =30)'
89 | 'd ws'
90 | wind_data=subwrd(result,4)
91 | say wind_data
92 | 'set gxout print'
93 | 'set t 'o
94 | 'q time'
95 | time_data=subwrd(result,3)
96 | 'set x 'Px
97 | 'set y 'Py
98 | sst_data=ST

```

```

99  sst_data=math_format(fmt,sst_data)
100 wind_data=math_format(fmt,wind_data)
101 record=time_data 'sst_data' 'wind_data'
102 rc=write(outfile,record,append)
103 'set gxout contour'
104 'undefine Pminx'
105 'undefine Pminy'
106 'undefine SeaSurTem'
107 'undefine ws'
108 o=o+3
109 endwhile
110 *OHC與風速
111 'reinit'
112 'sdfopen sst_sep.nc'
113 'sdfopen sst_oct.nc'
114 'sdfopen mslp_sep.nc'
115 'sdfopen mslp_oct.nc'
116 'sdfopen u10_sep.nc'
117 'sdfopen v10_sep.nc'
118 'sdfopen u10_oct.nc'
119 'sdfopen v10_oct.nc'
120 s=649
121 say s
122 outfile='CenSST.txt'
123 fmt='%6.2f'
124 header='          Time      SST    speed'
125 write(outfile,header)

```



```

126 while s<=720
127 'set dfile 3'
128 'set t 's
129 'q time'
130 date=subwrd(result,3)
131 say date
132 'define Pminx=aminlocx(msl.3,lon=115,lon=130,lat=15,lat=30)
    '
133 'd Pminx'
134 Px=subwrd(result,4)
135 say Px
136 'define Pminy=aminlocy(msl.3,lon=115,lon=130,lat=15,lat=30)
    '
137 'd Pminy'
138 Py=subwrd(result,4)
139 say Py
140 'set dfile 1'
141 'set x 'Px
142 'set y 'Py
143 'set t 's
144 'define SeaSurTem=sst.1-273.15'
145 'd SeaSurTem'
146 ST=subwrd(result,4)
147 say ST
148 'set dfile 5'
149 'set t 's
150 'define ws=amax(mag(u10.5,v10.6),lon=115,lon=130,lat=15,lat

```

```

    =30) '
151 'd ws '
152 wind_data=subwrd(result,4)
153 say wind_data
154 'set gxout print'
155 'set t 's
156 'q time'
157 time_data=subwrd(result,3)
158 'set x 'Px
159 'set y 'Py
160 sst_data=ST
161 sst_data=math_format(fmt,sst_data)
162 wind_data=math_format(fmt,wind_data)
163 record=time_data' 'sst_data' 'wind_data
164 rc=write(outfile,record,append)
165 'set gxout contour'
166 'undefine Pminx'
167 'undefine Pminy'
168 'undefine SeaSurTem'
169 'undefine ws'
170 s=s+3
171 endwhile
172 o=1
173 while o<=49
174 'set dfile 4'
175 'set t 'o
176 'q time'

```

```

177 date=subwrd(result,3)
178 say date
179 'define Pminx=aminlocx(msl.4,lon=115,lon=130,lat=15,lat=30)
    '
180 'd Pminx'
181 Px=subwrd(result,4)
182 say Px
183 'define Pminy=aminlocy(msl.4,lon=115,lon=130,lat=15,lat=30)
    '
184 'd Pminy'
185 Py=subwrd(result,4)
186 say Py
187 'set dfile 2'
188 'set x 'Px
189 'set y 'Py
190 'set t 'o
191 'define SeaSurTem=sst.2-273.15'
192 'd SeaSurTem'
193 ST=subwrd(result,4)
194 say ST
195 'set dfile 7'
196 'set t 'o
197 'define ws=amax(mag(u10.7,v10.8),lon=115,lon=130,lat=15,lat
    =30)'
198 'd ws'
199 wind_data=subwrd(result,4)
200 say wind_data

```

```

201 'set gxout print'
202 'set t 'o
203 'q time'
204 time_data=subwrd(result,3)
205 'set x 'Px
206 'set y 'Py
207 sst_data=ST
208 sst_data=math_format(fmt,sst_data)
209 wind_data=math_format(fmt,wind_data)
210 record=time_data' 'sst_data' 'wind_data
211 rc=write(outfile,record,append)
212 'set gxout contour'
213 'undefine Pminx'
214 'undefine Pminy'
215 'undefine SeaSurTem'
216 'undefine ws'
217 o=o+3
218 endwhile

```

Listing 4: 以 Python 繪製 SST 與最大風速折線圖

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3 file1='CenSST.txt'
4 sst,ws=np.loadtxt(file1,skiprows=1,usecols=(1,2),unpack='
    True')
5 t=np.arange(0,122,3)
6 fig,ax1=plt.subplots()

```

```

7 plt.title('SST [ $^{\circ}$ C] and wind speed [m/s]',
           fontsize=14)
8 plt.xlabel('Time',fontsize=12)
9 plt.xticks(np.arange(0,122,24),['09/28','09/29','09/30','
    10/01','10/02','10/03'])
10 plt.xlim([0,120])
11 ax2=ax1.twinx()
12 ax1.set_ylabel('Sea Surface Temperature',color='black',
    fontsize=12)
13 ax1.plot(t,sst,'b-s',label='SST')
14 ax1.set_yticks(np.arange(28.5,30.6,0.5))
15 ax1.set_ylim([28.5,30.5])
16 ax1.tick_params(axis='y',labelcolor='black')
17 ax2.set_ylabel('Wind Speed',color='black',fontsize=12)
18 ax2.plot(t,ws,'k-o',label='wind speed')
19 ax2.set_yticks(np.arange(15,31,2))
20 ax2.set_ylim([15,30])
21 ax2.tick_params(axis='y',labelcolor='black')
22 fig.legend(loc='outside upper right',fontsize=9)
23 plt.savefig('SST-v.png')
24 plt.show()

```

Listing 5: 以 Python 繪製 OHC 與最大風速折線圖

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3 file1='CenOHC.txt'
4 sst,ws=np.loadtxt(file1,skiprows=1,usecols=(1,2),unpack='

```

```

    True')
5 t=np.arange(0,122,3)
6 fig,ax1=plt.subplots()
7 plt.title('OHC [kJ/cm2] and wind speed [m/s]',fontsize
    =14)
8 plt.xlabel('Time',fontsize=12)
9 plt.xticks(np.arange(0,122,24),['09/28','09/29','09/30','
    10/01','10/02','10/03'])
10 plt.xlim([0,120])
11 ax2=ax1.twinx()
12 ax1.set_ylabel('Ocean Heat Content',color='black',fontsize
    =12)
13 ax1.plot(t,sst,'b-s',label='OHC')
14 ax1.set_yticks(np.arange(0,150,15))
15 ax1.set_ylim([0,150])
16 ax1.tick_params(axis='y',labelcolor='black')
17 ax2.set_ylabel('Wind Speed',color='black',fontsize=12)
18 ax2.plot(t,ws,'k-o',label='wind speed')
19 ax2.set_yticks(np.arange(15,31,2))
20 ax2.set_ylim([15,30])
21 ax2.tick_params(axis='y',labelcolor='black')
22 fig.legend(loc='outside upper right',fontsize=9)
23 plt.savefig('OHC-v.png')
24 plt.show()

```