

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

第二名

051904

探討 IOD 現象對熱帶氣旋之影響

學校名稱：國立斗六高級中學

作者： 高二 薛勻婷 高二 賴辰昕 高二 李咨蓉	指導老師： 鄭光佑 陳英嫻
---	-----------------------------

關鍵詞：IOD、熱帶氣旋、北印度洋

摘要

本研究意旨探討印度洋偶極震盪（IOD）與北印度洋熱帶氣旋之間的關係。因氣旋原始數據過於複雜，在簡化氣旋各項數據後與再與不同 IOD 年份做比對，找出 IOD 與氣旋間的趨勢，並以 T 檢定驗證兩者間關係的信心度，增加研究可信度。

研究結果顯示發生印度洋偶極現象的年度，其年最大氣旋強度平均值與年總氣旋能量指數平均值，均顯著高於正常年。且東印度洋生成的氣旋傾向生命週期較短但強度較強，西印度洋生成的氣旋則傾向生命週期長而強度較弱。

壹、研究動機

在 2019 澳洲經歷了前所未見的大火後，我們看到一篇相關報導指出：「印度洋偶極事件正是造成澳洲大火的主因」。在我們進一步查詢印度洋偶極事件時，我們發現印度洋偶極事件似乎和太平洋赤道上的聖嬰現象有多處相似，因此引起了我們的好奇。一如聖嬰現象會造成太平洋地區颱風的路徑偏移、生成位置與強度改變等，我們想知道當北印度洋的熱帶氣旋是否會因正偶極（正 IOD 時期）與負偶極（負 IOD 時期）現象的出現，而發生改變？於是我們產生研究這份主題的想法。

貳、研究目的

- 一、正（負）偶極現象發生時，該年北印度洋氣旋之個數、強度、生成位置、路徑及氣旋長度是否會有不同變化？
- 二、較強的正（負）偶極年度出現時，該年氣旋強度與能量指數是否有增加情形？
- 三、較強的正（負）偶極年度出現時，對東、西印度洋氣旋強度、能量指數是否有不同影響？
- 四、探討印度洋偶極現象影響氣旋強度、能量指數的可能原因？

參、研究設備與器材

- 一、電腦
- 二、軟體：Microsoft Excel、Microsoft Word、小畫家、Google Earth Pro

肆、研究過程與方法

【第一部分：前置作業】

一、文獻探討

日本氣象廳定義：

(一) 印度洋偶極震盪 (Indian Ocean Dipole, IOD)

正 IOD 時期：DMI 數值大於 0.4°C 並持續三個月。

負 IOD 時期：DMI 數值小於 -0.4°C 並持續三個月。

正常年：非負 IOD 時期且非正 IOD 時期。

表一：正 IOD 時期與負 IOD 時期已知現象比較

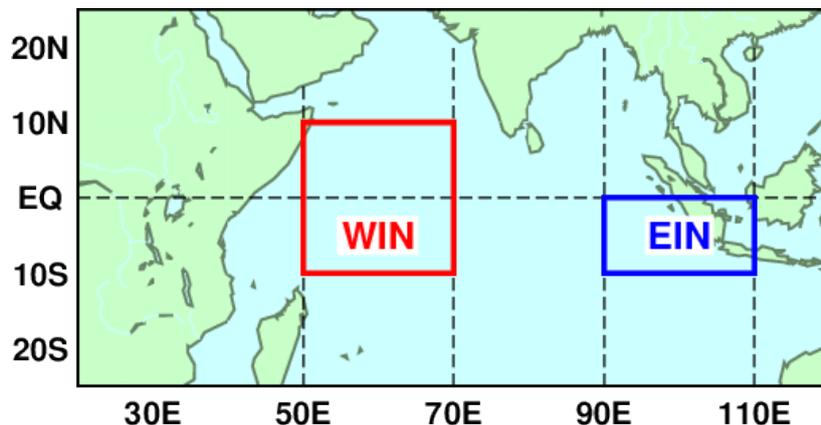
(印度洋)	西側海面溫度	西側大氣對流	東側海面溫度
正 IOD 時期	異常地持續變暖	變得活躍	下降
負 IOD 時期	異常地持續低溫	變得緩慢	變暖

(二) DMI (Dipole Mode Index)

DMI 指數定義：WIN 數值－EIN 數值。

1. WIN 數值 (紅)：該月 WIN 海域之海均溫與過去 30 年 (即 2 年前至 31 年前) 之海均溫的差值。

2. EIN 數值 (藍)：該月 EIN 海域之海均溫與過去 30 年 (即 2 年前至 31 年前) 之海均溫的差值。



圖一：WIN 海域與 EIN 海域範圍示意圖 (取自日本氣象廳)

【WIN 海域 (紅)： $50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{E}$ 、 $10^{\circ}\text{S}\sim 0^{\circ}\text{N}$ ；EIN 海域 (藍)： $90^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 、 $10^{\circ}\text{S}\sim 0^{\circ}$ 】

NOAA 定義：

(三) 氣旋能量指數 (Accumulated cyclone energy, ACE)

“ACE” = 累積氣旋能量 - 結合系統數量的指數。

$$ACE = 10^{-4} \sum v_{\max}^2$$

計算方式為每 6 小時熱帶氣旋的預估最強持續風速進行平方，然後加總。其指數的單位為 10^4 kn^2 。若一個熱帶氣旋橫跨了兩季，則這個熱帶氣旋的氣旋能量指數會歸入到前一季。

二、數據取得

(一) DMI 數值

本研究自日本氣象廳取得 1980~2020 年，共 41 年每月的 DMI 數值（如表二）。

表二：1980~2020 年每月的 DMI 數值

年度	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1980	-0.03	-0.1	-0.58	0.13	0.32	-0.57	-0.6	-0.31	-0.47	-0.34	-0.17	-0.08
1981	0.03	0.1	-0.24	0.28	0.08	-0.49	-0.57	-0.46	-0.61	-0.22	0.05	-0.27
1982	0.22	0.29	0.29	0.16	0.36	0.31	0.33	0.4	0.65	0.75	0.67	-0.16
1983	-0.42	-0.49	-0.82	-0.9	-0.28	0.02	0.51	0.21	0.18	-0.05	0.04	-0.3
1984	-0.17	-0.27	-0.01	0.13	-0.74	-0.92	-0.68	-0.53	-0.34	-0.54	-0.61	-0.37
1985	-0.42	-0.37	-0.1	-0.23	-0.08	-0.86	-0.77	-0.32	-0.34	-0.47	0.22	-0.01
1986	0.22	0.19	0.66	-0.09	-0.05	-0.32	-0.71	-0.33	-0.01	0.09	0.02	-0.23
1987	-0.15	-0.14	-0.47	-0.43	-0.05	-0.34	-0.25	0.3	0.35	0.48	0.05	0.09
1988	0.45	0.32	0.03	0	-0.77	-0.22	-0.04	0.02	-0.18	-0.13	-0.32	0.08
1989	-0.48	0.21	-0.07	-0.15	-0.41	-0.55	-0.17	-0.78	-0.41	-0.52	-0.45	-0.19
1990	0.54	-0.07	0.14	-0.25	-0.44	-0.42	-0.06	-0.2	-0.2	-0.43	-0.21	-0.17
1991	0.02	0.25	0.15	0.47	0.57	0.14	-0.02	-0.01	0.32	0.55	0.3	0.31
1992	-0.46	-0.61	-0.52	-0.37	-0.58	-0.58	-0.23	-0.36	-0.49	-0.58	0.17	0.24
1993	0.06	0.24	0.01	-0.08	0.3	0.53	0.15	0.17	-0.11	0.25	-0.12	-0.12
1994	-0.03	-0.31	0.53	0.53	0.57	0.61	0.58	1.27	0.93	2.01	0.4	0.13
1995	0.03	0.84	0.58	0.1	-0.09	0.04	-0.36	-0.3	-0.12	-0.32	-0.38	0.49
1996	0.44	0.25	-0.01	-0.39	-0.13	-0.1	-0.23	-0.57	-0.53	-0.98	-0.69	-0.38
1997	-0.03	0.4	0.49	0.03	-0.15	0.3	0.76	0.65	0.68	1.25	1.48	0.67
1998	0.74	0.66	0.42	0.13	0.14	0.33	-0.43	-0.57	-0.24	-0.9	-0.7	-0.38
1999	-0.44	0.08	0.34	-0.05	-0.41	-0.02	0.31	0.23	0.08	-0.38	-0.24	-0.18
2000	-0.18	0.22	0.7	0.4	0.26	0.16	0.41	0.25	0.13	-0.2	-0.36	-0.04
2001	0.33	0.18	0.55	0.03	-0.3	0.14	-0.43	-0.29	-0.13	-0.14	0.25	0.01
2002	-0.28	-0.31	-0.48	-0.4	-0.33	0.05	-0.23	-0.13	0.42	0.47	0.16	-0.11
2003	-0.47	0.04	0.02	0.05	0.39	0.65	0.48	0.41	0.23	0.05	-0.14	0.24
2004	-0.13	-0.17	0.03	-0.18	-0.46	-0.46	-0.21	0.1	0.22	0.15	-0.15	-0.1
2005	-0.27	-1.14	-1.03	0.07	0.24	-0.05	-0.31	-0.19	-0.62	-0.42	0	-0.19
2006	-0.21	-0.49	-0.36	0.26	0.31	0.19	0.2	0.41	0.66	1.2	0.97	0.37
2007	0.25	0	0.25	0.31	0.58	0.49	0.56	0.46	0.41	0.38	-0.01	-0.27
2008	0.14	0.02	0.09	-0.27	0.33	0.67	0.83	0.59	0.14	0.07	-0.1	-0.11
2009	-0.13	0.31	0.36	0.09	0.28	0.18	-0.3	-0.08	-0.25	-0.14	-0.11	0.36
2010	0.51	-0.13	0.21	0.49	-0.29	-0.05	-0.16	-0.37	-1.14	-0.98	-0.02	-0.2
2011	0.17	-0.03	-0.01	0.14	0.13	0.05	0.32	0.47	0.71	0.72	0.24	-0.01
2012	0.21	-0.19	0.03	-0.23	0.13	0	0.54	0.88	0.78	0.27	0.14	0.11
2013	0.02	-0.06	-0.44	-0.26	-0.52	-0.64	-0.43	-0.47	-0.48	-0.32	0	-0.21
2014	-0.06	-0.1	-0.67	-0.25	0.04	-0.39	-0.53	-0.66	-0.38	0.05	0.03	-0.28
2015	-0.47	-0.36	-0.25	0.07	0.49	0.25	0.25	0.45	0.82	0.78	0.5	0.14
2016	-0.34	-0.14	-0.14	-0.05	-0.36	-0.74	-1.13	-0.8	-1.32	-0.85	-0.35	-0.04
2017	0.08	0.31	0.14	0.5	0.38	0.35	0.42	0.6	0.22	-0.18	0.04	-0.13
2018	0.1	0.46	-0.27	0.04	0.01	-0.21	0.23	0.12	0.61	0.26	0.4	0.32
2019	0.1	-0.29	-0.16	-0.08	0.59	0.6	0.64	0.93	1.06	1.92	1.7	0.73
2020	0.21	-0.07	-0.17	-0.11	0.37	0.6	0.25	-0.82	-0.69	-0.35	-0.44	0.15

(二) 北印度洋熱帶氣旋數據

本研究自美軍聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center)取得 1980~2019 年，共 40 年期間各北印度洋熱帶氣旋的數據（如表三）。

表三：以 1995、1996 年北印度洋熱帶氣旋數據為例

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	氣旋編號	生成			結束			最大強度		
2		經度 (°E)	緯度 (°N)	日期 (年/月/日)	經度 (°E)	緯度 (°N)	日期 (年/月/日)	經度 (°E)	緯度 (°N)	中心風速 (節)
3	1995-01	103.7	14.2	1995/09/12	78	27.8	1995/09/20	87.4	21.6	45
4	1995-02	73.5	16.9	1995/10/11	57.8	17.5	1995/10/18	68.3	17.1	50
5	1995-03	96.4	8.6	1995/11/05	87.6	26.5	1995/11/10	84.2	16.5	70
6	1995-04	97.2	5.4	1995/11/18	95.5	23.6	1995/11/25	85.7	15.1	105
7	1996-01	91.5	7.5	1996/05/01	96.2	23.7	1996/05/08	90.9	20.4	40
8	1996-02	62.7	16.6	1996/06/09	55.4	21	1996/06/12	58.7	18.6	40
9	1996-03	87.8	8.2	1996/06/11	80.7	22.1	1996/06/18	83.7	12.2	45
10	1996-04	72	15.6	1996/06/15	79.2	29.7	1996/06/25	70.8	20.3	65
11	1996-05	91.7	9.1	1996/10/14	51.9	7.7	1996/11/02	70.2	16.8	65
12	1996-06	93.2	9.1	1996/10/21	90.2	25.6	1996/10/29	85.4	13.6	45
13	1996-07	97.3	15	1996/11/01	77.7	17.8	1996/11/07	82.9	16.2	115
14	1996-08	92.3	8.9	1996/11/26	76.3	11.9	1996/12/07	82.3	14.5	75

【第二部分：數據處理】

一、DMI 數據呈現

(一) IOD 時期判斷

- 將日本氣象廳中取得 1980~2020 年之 DMI 數值逐月輸入 excel，並將 DMI 數值大於 0.4°C 且持續三個月以上標示為淡紅色，表示符合日本氣象廳正 IOD 年定義，DMI 數值小於 -0.4°C 且持續三個月以上標示為淡藍色（如表四），表示符合日本氣象廳負 IOD 年定義（如表四）。

表四：1980~2020 年依日本氣象廳 IOD 時期定義標示

正IOD時期：DMI數值大於0.4°C且連續三個月以上的月份
負IOD時期：DMI數值小於0.4°C且連續三個月以上的月份

年度	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1980	-0.03	-0.1	-0.58	0.13	0.32	-0.57	-0.6	-0.31	-0.47	-0.34	-0.17	-0.08
1981	0.03	0.1	-0.24	0.28	0.08	-0.49	-0.57	-0.46	-0.61	-0.22	0.05	-0.27
1982	0.22	0.29	0.29	0.16	0.36	0.31	0.33	0.4	0.65	0.75	0.67	-0.16
1983	-0.42	-0.49	-0.82	-0.9	-0.28	0.02	0.51	0.21	0.18	-0.05	0.04	-0.3
1984	-0.17	-0.27	-0.01	0.13	-0.74	-0.92	-0.68	-0.53	-0.34	-0.54	-0.61	-0.37
1985	-0.42	-0.37	-0.1	-0.23	-0.08	-0.86	-0.77	-0.32	-0.34	-0.47	0.22	-0.01
1986	0.22	0.19	0.66	-0.09	-0.05	-0.32	-0.71	-0.33	-0.01	0.09	0.02	-0.23
1987	-0.15	-0.14	-0.47	-0.43	-0.05	-0.34	-0.25	0.3	0.35	0.48	0.05	0.09
1988	0.45	0.32	0.03	0	-0.77	-0.22	-0.04	0.02	-0.18	-0.13	-0.32	0.08
1989	-0.48	0.21	-0.07	-0.15	-0.41	-0.55	-0.17	-0.78	-0.41	-0.52	-0.45	-0.19
1990	0.54	-0.07	0.14	-0.25	-0.44	-0.42	-0.06	-0.2	-0.2	-0.43	-0.21	-0.17
1991	0.02	0.25	0.15	0.47	0.57	0.14	-0.02	-0.01	0.32	0.55	0.3	0.31
1992	-0.46	-0.61	-0.52	-0.37	-0.58	-0.58	-0.23	-0.36	-0.49	-0.58	0.17	0.24
1993	0.06	0.24	0.01	-0.08	0.3	0.53	0.15	0.17	-0.11	0.25	-0.12	-0.12
1994	-0.03	-0.31	0.53	0.53	0.57	0.61	0.58	1.27	0.93	2.01	0.4	0.13
1995	0.03	0.84	0.58	0.1	-0.09	0.04	-0.36	-0.3	-0.12	-0.32	-0.38	0.49
1996	0.44	0.25	-0.01	-0.39	-0.13	-0.1	-0.23	-0.57	-0.53	-0.98	-0.69	-0.38
1997	-0.03	0.4	0.49	0.03	-0.15	0.3	0.76	0.65	0.68	1.25	1.48	0.67
1998	0.74	0.66	0.42	0.13	0.14	0.33	-0.43	-0.57	-0.24	-0.9	-0.7	-0.38
1999	-0.44	0.08	0.34	-0.05	-0.41	-0.02	0.31	0.23	0.08	-0.38	-0.24	-0.18
2000	-0.18	0.22	0.7	0.4	0.26	0.16	0.41	0.25	0.13	-0.2	-0.36	-0.04
2001	0.33	0.18	0.55	0.03	-0.3	0.14	-0.43	-0.29	-0.13	-0.14	0.25	0.01
2002	-0.28	-0.31	-0.48	-0.4	-0.33	0.05	-0.23	-0.13	0.42	0.47	0.16	-0.11
2003	-0.47	0.04	0.02	0.05	0.39	0.65	0.48	0.41	0.23	0.05	-0.14	0.24
2004	-0.13	-0.17	0.03	-0.18	-0.46	-0.46	-0.21	0.1	0.22	0.15	-0.15	-0.1
2005	-0.27	-1.14	-1.03	0.07	0.24	-0.05	-0.31	-0.19	-0.62	-0.42	0	-0.19
2006	-0.21	-0.49	-0.36	0.26	0.31	0.19	0.2	0.41	0.66	1.2	0.97	0.37
2007	0.25	0	0.25	0.31	0.58	0.49	0.56	0.46	0.41	0.38	-0.01	-0.27
2008	0.14	0.02	0.09	-0.27	0.33	0.67	0.83	0.59	0.14	0.07	-0.1	-0.11
2009	-0.13	0.31	0.36	0.09	0.28	0.18	-0.3	-0.08	-0.25	-0.14	-0.11	0.36
2010	0.51	-0.13	0.21	0.49	-0.29	-0.05	-0.16	-0.37	-1.14	-0.98	-0.02	-0.2
2011	0.17	-0.03	-0.01	0.14	0.13	0.05	0.32	0.47	0.71	0.72	0.24	-0.01
2012	0.21	-0.19	0.03	-0.23	0.13	0	0.54	0.88	0.78	0.27	0.14	0.11
2013	0.02	-0.06	-0.44	-0.26	-0.52	-0.64	-0.43	-0.47	-0.48	-0.32	0	-0.21
2014	-0.06	-0.1	-0.67	-0.25	0.04	-0.39	-0.53	-0.66	-0.38	0.05	0.03	-0.28
2015	-0.47	-0.36	-0.25	0.07	0.49	0.25	0.25	0.45	0.82	0.78	0.5	0.14
2016	-0.34	-0.14	-0.14	-0.05	-0.36	-0.74	-1.13	-0.8	-1.32	-0.85	-0.35	-0.04
2017	0.08	0.31	0.14	0.5	0.38	0.35	0.42	0.6	0.22	-0.18	0.04	-0.13
2018	0.1	0.46	-0.27	0.04	0.01	-0.21	0.23	0.12	0.61	0.26	0.4	0.32
2019	0.1	-0.29	-0.16	-0.08	0.59	0.6	0.64	0.93	1.06	1.92	1.7	0.73
2020	0.21	-0.07	-0.17	-0.11	0.37	0.6	0.25	-0.82	-0.69	-0.35	-0.44	0.15

2. 依據表四，我們觀察到其實有數筆資訊非常接近符合標準，修改後會較符合日本氣象廳判釋的 IOD 年度類別，因此我們定義：

若該月 DMI 數值未超過絕對值 0.40°C ，但該月 DMI 數值之絕對值大於 0.37°C ，且前後有因此筆數據算入而超過三個月者（即符合正 IOD 時期或負 IOD 時期定義），我們亦採計。故我們增加以下 3 筆數據（如表五）。

(1) 1998 年 12 月：

由於該月 DMI 數值為 -0.38°C ，接近標準，且前兩個月、後一個月 DMI 數值均小於 -0.4°C ，因此我們增加採計為「1998 年 10 月到 1999 年 1 月」為一次「負 IOD 時期」。

(2) 2010 年 8 月：

由於該月 DMI 數值為 -0.37°C ，接近標準，且後兩個月 DMI 數值均小於 -0.4°C ，因此我們增加採計為「2010 年 8 月到 2010 年 10 月」為一次「負 IOD 時期」。

(3) 2014 年 6 月、9 月：

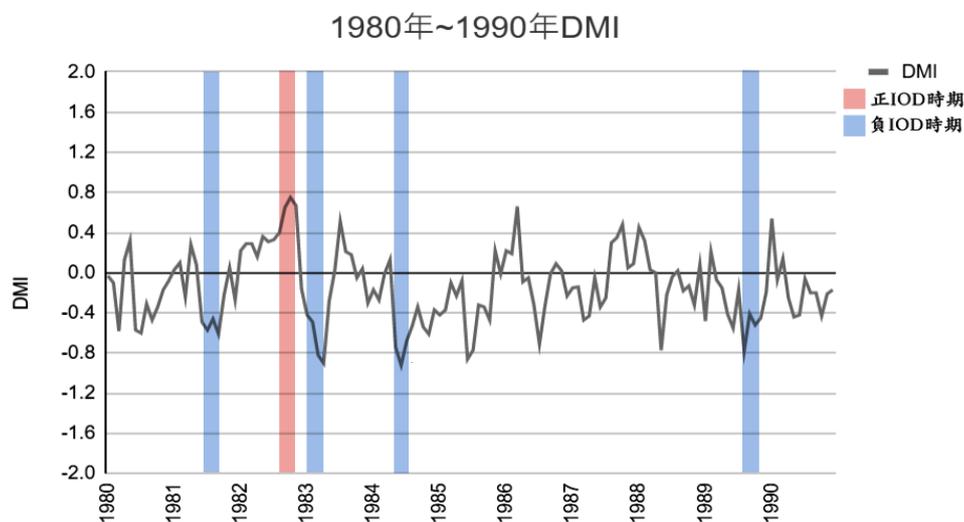
由於 6 月 DMI 數值為 -0.39°C 、9 月 DMI 數值為 -0.38°C ，均接近標準，且兩者中間兩個月 DMI 數值均小於 -0.4°C ，因此我們增加採計為「2014 年 6 月到 2014 年 9 月」為一次「負 IOD 時期」。

表五：1980~2020 年 IOD 時期標示 (框線者表示增加之時期) 正IOD時期：DMI數值大於 0.4°C 且連續三個月以上的月份
負IOD時期：DMI數值小於 0.4°C 且連續三個月以上的月份

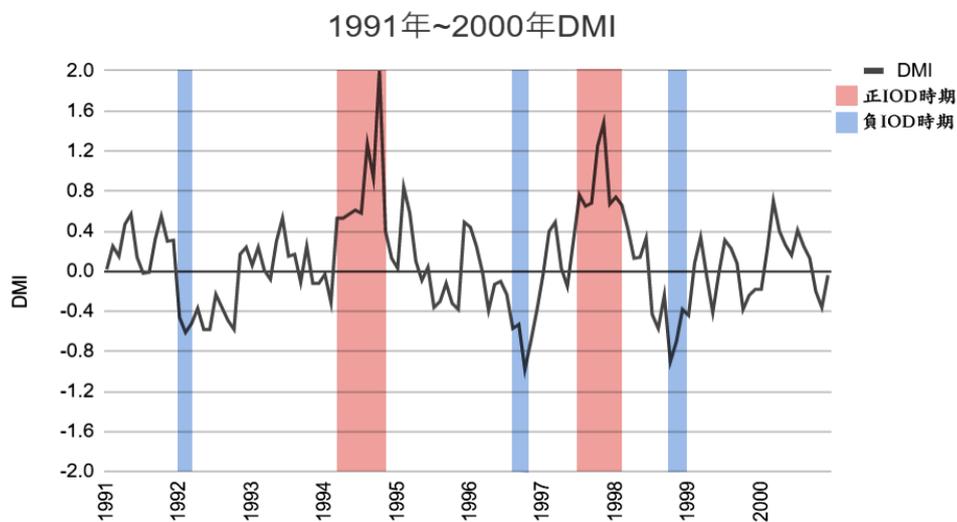
年度	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1980	-0.03	-0.1	-0.58	0.13	0.32	-0.57	-0.6	-0.31	-0.47	-0.34	-0.17	-0.08
1981	0.03	0.1	-0.24	0.28	0.08	-0.49	-0.57	-0.46	-0.61	-0.22	0.05	-0.27
1982	0.22	0.29	0.29	0.16	0.36	0.31	0.33	0.4	0.65	0.75	0.67	-0.16
1983	-0.42	-0.49	-0.82	-0.9	-0.28	0.02	0.51	0.21	0.18	-0.05	0.04	-0.3
1984	-0.17	-0.27	-0.01	0.13	-0.74	-0.92	-0.68	-0.53	-0.34	-0.54	-0.61	-0.37
1985	-0.42	-0.37	-0.1	-0.23	-0.08	-0.86	-0.77	-0.32	-0.34	-0.47	0.22	-0.01
1986	0.22	0.19	0.66	-0.09	-0.05	-0.32	-0.71	-0.33	-0.01	0.09	0.02	-0.23
1987	-0.15	-0.14	-0.47	-0.43	-0.05	-0.34	-0.25	0.3	0.35	0.48	0.05	0.09
1988	0.45	0.32	0.03	0	-0.77	-0.22	-0.04	0.02	-0.18	-0.13	-0.32	0.08
1989	-0.48	0.21	-0.07	-0.15	-0.41	-0.55	-0.17	-0.78	-0.41	-0.52	-0.45	-0.19
1990	0.54	-0.07	0.14	-0.25	-0.44	-0.42	-0.06	-0.2	-0.2	-0.43	-0.21	-0.17
1991	0.02	0.25	0.15	0.47	0.57	0.14	-0.02	-0.01	0.32	0.55	0.3	0.31
1992	-0.46	-0.61	-0.52	-0.37	-0.58	-0.58	-0.23	-0.36	-0.49	-0.58	0.17	0.24
1993	0.06	0.24	0.01	-0.08	0.3	0.53	0.15	0.17	-0.11	0.25	-0.12	-0.12
1994	-0.03	-0.31	0.53	0.53	0.57	0.61	0.58	1.27	0.93	2.01	0.4	0.13
1995	0.03	0.84	0.58	0.1	-0.09	0.04	-0.36	-0.3	-0.12	-0.32	-0.38	0.49
1996	0.44	0.25	-0.01	-0.39	-0.13	-0.1	-0.23	-0.57	-0.53	-0.98	-0.69	-0.38
1997	-0.03	0.4	0.49	0.03	-0.15	0.3	0.76	0.65	0.68	1.25	1.48	0.67
1998	0.74	0.66	0.42	0.13	0.14	0.33	-0.43	-0.57	-0.24	-0.9	-0.7	-0.38
1999	-0.44	0.08	0.34	-0.05	-0.41	-0.02	0.31	0.23	0.08	-0.38	-0.24	-0.18
2000	-0.18	0.22	0.7	0.4	0.26	0.16	0.41	0.25	0.13	-0.2	-0.36	-0.04
2001	0.33	0.18	0.55	0.03	-0.3	0.14	-0.43	-0.29	-0.13	-0.14	0.25	0.01
2002	-0.28	-0.31	-0.48	-0.4	-0.33	0.05	-0.23	-0.13	0.42	0.47	0.16	-0.11
2003	-0.47	0.04	0.02	0.05	0.39	0.65	0.48	0.41	0.23	0.05	-0.14	0.24
2004	-0.13	-0.17	0.03	-0.18	-0.46	-0.46	-0.21	0.1	0.22	0.15	-0.15	-0.1
2005	-0.27	-1.14	-1.03	0.07	0.24	-0.05	-0.31	-0.19	-0.62	-0.42	0	-0.19
2006	-0.21	-0.49	-0.36	0.26	0.31	0.19	0.2	0.41	0.66	1.2	0.97	0.37
2007	0.25	0	0.25	0.31	0.58	0.49	0.56	0.46	0.41	0.38	-0.01	-0.27
2008	0.14	0.02	0.09	-0.27	0.33	0.67	0.83	0.59	0.14	0.07	-0.1	-0.11
2009	-0.13	0.31	0.36	0.09	0.28	0.18	-0.3	-0.08	-0.25	-0.14	-0.11	0.36
2010	0.51	-0.13	0.21	0.49	-0.29	-0.05	-0.16	-0.37	-1.14	-0.98	-0.02	-0.2
2011	0.17	-0.03	-0.01	0.14	0.13	0.05	0.32	0.47	0.71	0.72	0.24	-0.01
2012	0.21	-0.19	0.03	-0.23	0.13	0	0.54	0.88	0.78	0.27	0.14	0.11
2013	0.02	-0.06	-0.44	-0.26	-0.52	-0.64	-0.43	-0.47	-0.48	-0.32	0	-0.21
2014	-0.06	-0.1	-0.67	-0.25	0.04	-0.39	-0.53	-0.66	-0.38	0.05	0.03	-0.28
2015	-0.47	-0.36	-0.25	0.07	0.49	0.25	0.25	0.45	0.82	0.78	0.5	0.14
2016	-0.34	-0.14	-0.14	-0.05	-0.36	-0.74	-1.13	-0.8	-1.32	-0.85	-0.35	-0.04
2017	0.08	0.31	0.14	0.5	0.38	0.35	0.42	0.6	0.22	-0.18	0.04	-0.13
2018	0.1	0.46	-0.27	0.04	0.01	-0.21	0.23	0.12	0.61	0.26	0.4	0.32
2019	0.1	-0.29	-0.16	-0.08	0.59	0.6	0.64	0.93	1.06	1.92	1.7	0.73
2020	0.21	-0.07	-0.17	-0.11	0.37	0.6	0.25	-0.82	-0.69	-0.35	-0.44	0.15

(二) IOD 時期觀察

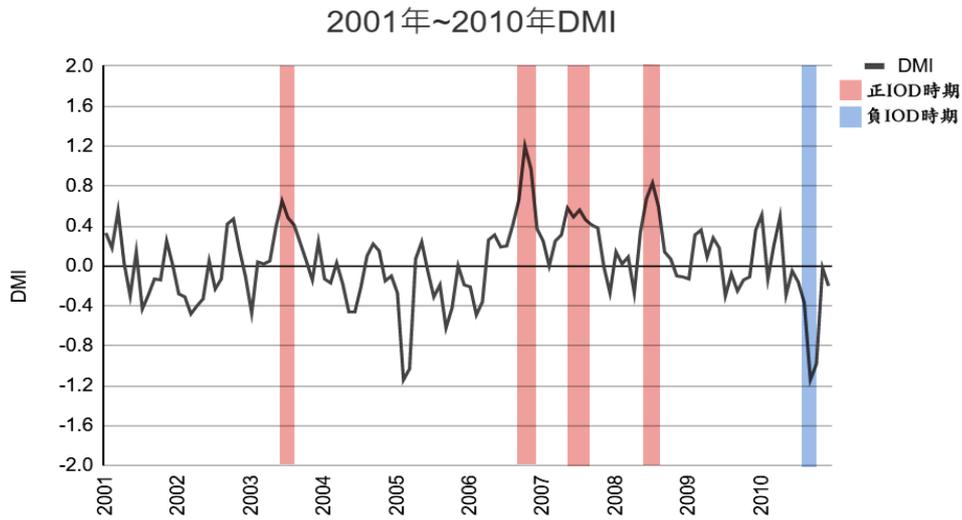
為了方便觀察，我們將表五定義出的正 IOD 時期標示為紅色，負 IOD 時期標示為藍色，以折線圖方式呈現（如圖二～五）。



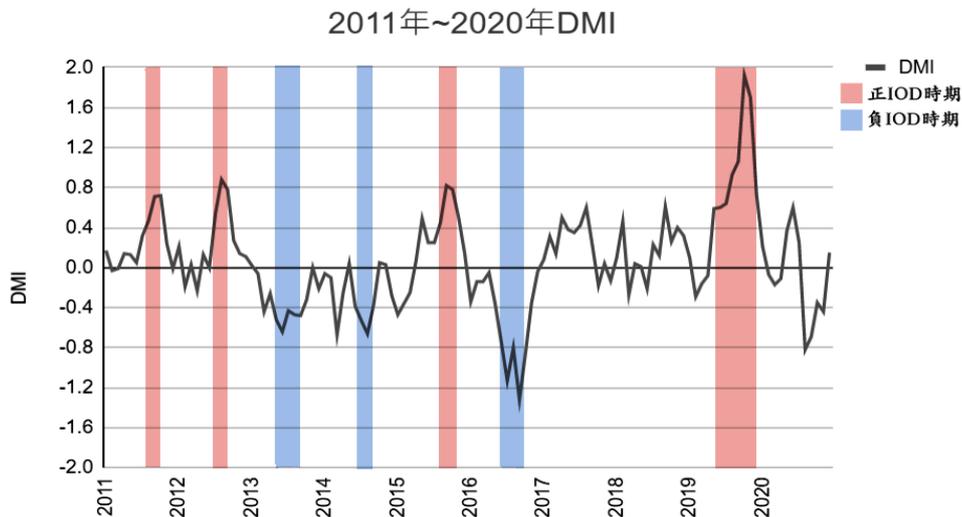
圖二：1980~1990 年的 DMI 數值



圖三：1991~2000 年的 DMI 數值



圖四：2001~2010 年的 DMI 數值



圖五：2011~2020 年的 DMI 數值

二、北印度洋熱帶氣旋數據呈現

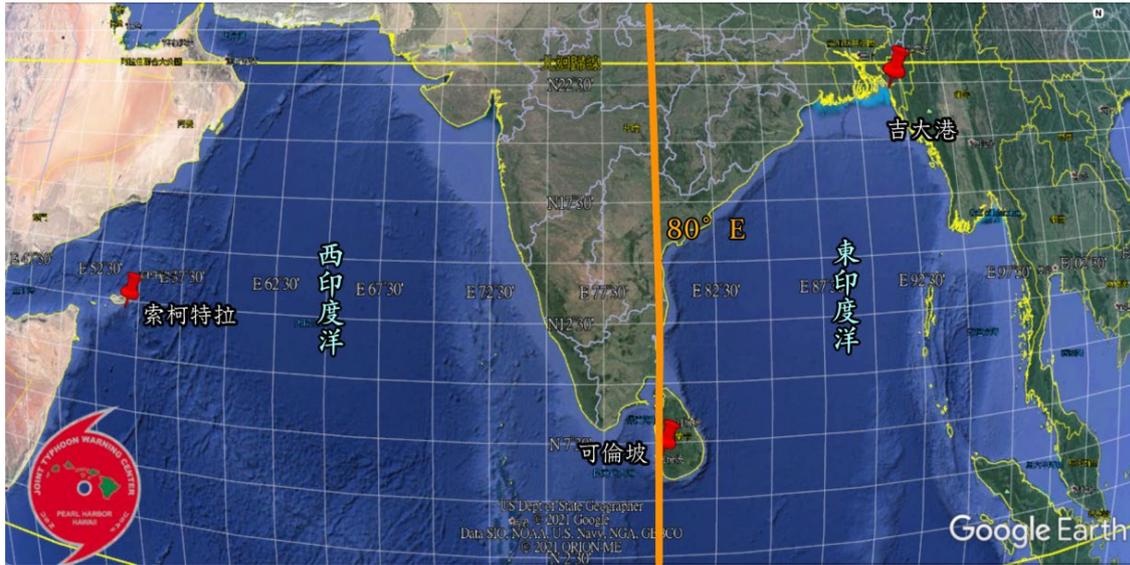
(一) 定義北印度洋熱帶氣旋活動方式

1. 東印度洋、西印度洋位置

我們透過 Google Earth 呈現北印度洋熱帶氣旋路徑，發現氣旋的生成地點大致可歸類為東經 80 度（斯里蘭卡的首都可倫坡）東側及西側，因此我們以接近可倫坡的 80°E 為分界，定義：

東印度洋：80°E 以東的印度洋地區。

西印度洋：80°E 以西的印度洋地區。（如圖六）



圖六：Google Earth 上東印度洋與西印度洋位置示意圖

2. 西行與拋物線行路徑定義

我們先將北印度洋熱帶氣旋資料輸入 Google Earth 並判讀其路徑，觀察最強風速位置經度及結束經度的相對位置。由於將全部氣旋資料置於 Google Earth 上並不易於整理，於是我們改從氣旋資料中取出各氣旋的生成、結束、最強風速位置經度，並輸入 Excel，使用公式判斷。

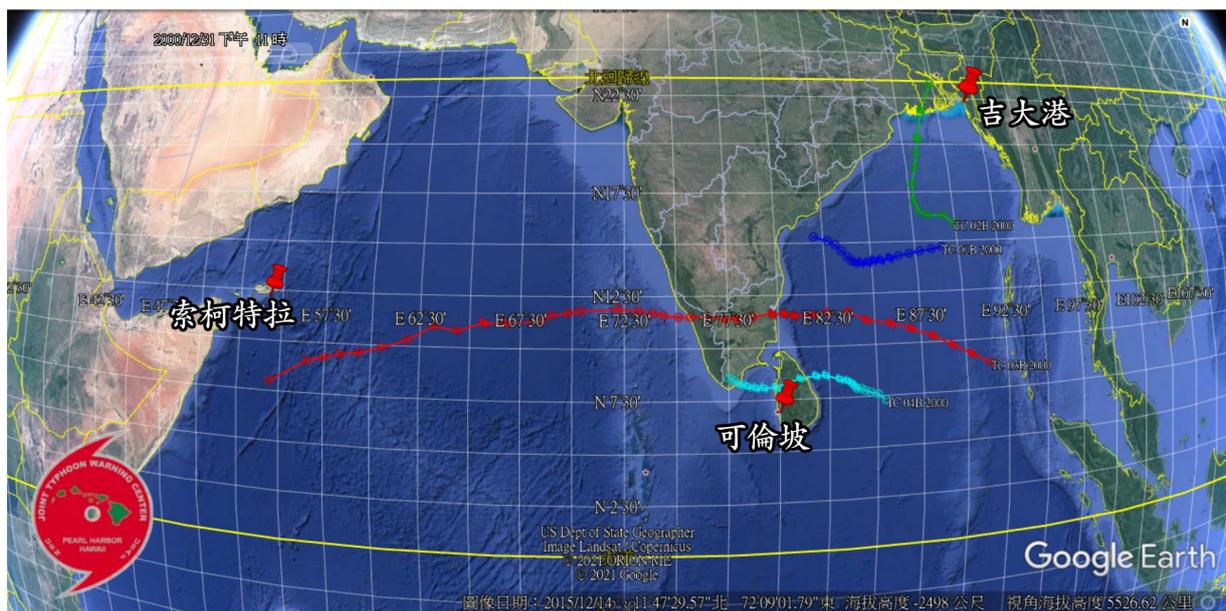
若最強風速位置經度相對結束經度較偏東邊，意即結束經度減去最強風速位置經度為負值，定義此氣旋路徑為西行；反之，若最強風速位置經度相對結束經度較西邊，即結束經度減去最強風速位置經度為正值，則定義此氣旋路徑為拋物線行。即：

西行：結束經度減去最強風速位置經度為負值。

拋物線行：結束經度減去最強風速位置經度為正值。（如圖七、八）

	A	B	C	D	E
E72					=IF((D72-C72)<0,"west","parabola")
71	氣旋編號	生成經度	最強風速位置經度	結束經度	路徑判斷
72	200001	89	86	82	west
73	200002	89.9	88.4	89.8	parabola
74	200003	91.4	81.9	54.5	west
75	200004	85.4	81	77.5	west
76	"west"表西行，"parabola"表拋物線行				

圖七：Excel 判斷氣旋路徑



圖八：2000 年的北印度洋熱帶氣旋在 Google Earth 上的示意圖（淺藍、紅、深藍路徑為西行氣旋，綠色路徑為拋物線行氣旋。）

(二) 北印度洋熱帶氣旋西行與拋物線行結果（如表六）

表六：北印度洋熱帶氣旋於正常年、正 IOD 年及負 IOD 年西行與拋物線行之平均與標準差

正常年	西行氣旋數	拋物線行氣旋數	正IOD年	西行氣旋數	拋物線行氣旋數	負IOD年	西行氣旋數	拋物線行氣旋數
1995	2	2	1997	2	2	1996	5	3
1999	3	1	2003	1	2	1998	5	4
2000	3	1	2006	4	1	2013	6	1
2001	3	1	2007	4	2	2014	3	1
2002	2	3	2008	2	3	2016	4	1
2004	5	2	2011	5	1	2010	2	3
2005	4	2	2012	4	0			
2009	2	3	2015	5	0			
2017	0	4	2019	5	2			
2018	7	1						
平均	3.10	2.00		3.56	1.44		4.17	2.17
標準差	1.91	1.05		1.51	1.01		1.47	1.33

(三) 北印度洋熱帶氣旋季長度

北印度洋熱帶氣旋季長度的計算參考 JWTC 所提供之各年最初氣旋生成日期及各年最後氣旋結束日期，再利用日期計算工具將每年的氣旋季長度（單位：日）算出（如表七）。

表七：各年氣旋季長度（單位：日）

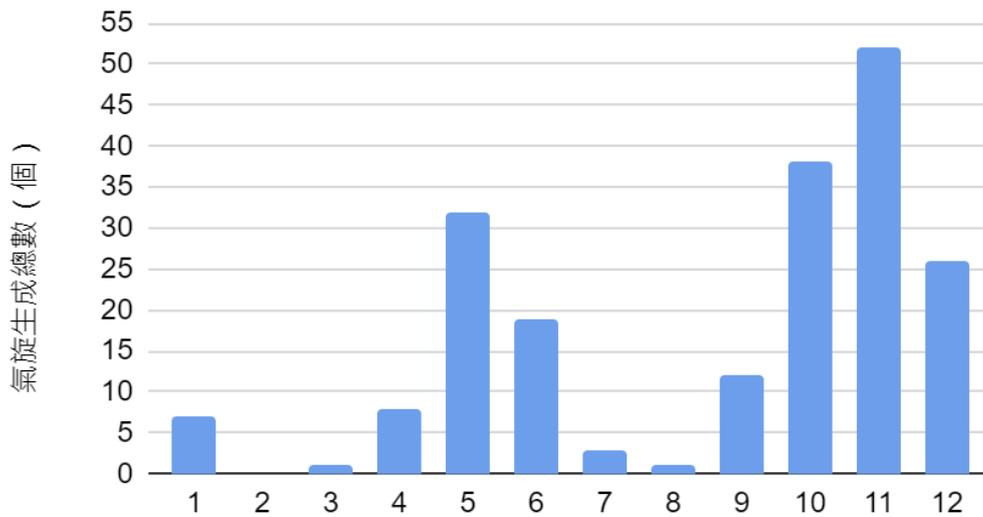
年度	氣旋季長度	年度	氣旋季長度	年度	氣旋季長度
1995	75	2004	258	2013	244
1996	220	2005	110	2014	154
1997	185	2006	189	2015	157
1998	267	2007	187	2016	216
1999	173	2008	228	2017	240
2000	75	2009	244	2018	216
2001	176	2010	174	2019	225
2002	234	2011	204	*單位：日	
2003	222	2012	64		

三、配合氣旋季時間重新切割 DMI 資料

(一) 定義印度洋熱帶氣旋季時間

1. 自美軍聯合颱風警報中心（Joint Typhoon Warning Center）取得 1980～2019 年期間各北印度洋氣旋生成時間，分別統計出這 40 年每個月的北印度洋熱帶氣旋生成數。將這 40 年個別一月、二月、三月……十二月生成氣旋數累加，並以柱狀圖呈現（如圖九）。

各月分氣旋生成總數



圖九：1980~2019 年一月到十二月各月北印度洋熱帶氣旋總數

- 根據圖九，我們可明顯觀察到北印度洋氣旋生成時間大致以四到七月、九月到隔年一月為氣旋數量主要出現的時間。其中，九到一月與四到七月兩波生成潮之間的斷層，即二到三月生成的氣旋數明顯較其他時期少。由此可知，北印度洋熱帶氣旋各年生成的時間大致由四月開始，因此為了配合熱帶氣旋數據計算，我們將 IOD 數據重新切割，定義「該年四月至隔年三月為一個氣旋年」。其中，2020 年由於數據僅有 8 個月，不完整，因此不採計，故往後步驟僅使用 1980~2019 年共 40 年的 DMI 數值進行計算。

表八：1980~2020 年依印度洋熱帶氣旋季切割後每月的 DMI 標示數值

年度	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	一月	二月	三月
1980	0.13	0.32	-0.57	-0.6	-0.31	-0.47	-0.34	-0.17	-0.08	0.03	0.1	-0.24
1981	0.28	0.08	-0.49	-0.57	-0.46	-0.61	-0.22	0.05	-0.27	0.22	0.29	0.29
1982	0.16	0.36	0.31	0.33	0.4	0.65	0.75	0.67	-0.16	-0.42	-0.49	-0.82
1983	-0.9	-0.28	0.02	0.51	0.21	0.18	-0.05	0.04	-0.3	-0.17	-0.27	-0.01
1984	0.13	-0.74	-0.92	-0.68	-0.53	-0.34	-0.54	-0.61	-0.37	-0.42	-0.37	-0.1
1985	-0.23	-0.08	-0.86	-0.77	-0.32	-0.34	-0.47	0.22	-0.01	0.22	0.19	0.66
1986	-0.09	-0.05	-0.32	-0.71	-0.33	-0.01	0.09	0.02	-0.23	-0.15	-0.14	-0.47
1987	-0.43	-0.05	-0.34	-0.25	0.3	0.35	0.48	0.05	0.09	0.45	0.32	0.03
1988	0	-0.77	-0.22	-0.04	0.02	-0.18	-0.13	-0.32	0.08	-0.48	0.21	-0.07
1989	-0.15	-0.41	-0.55	-0.17	-0.78	-0.41	-0.52	-0.45	-0.19	0.54	-0.07	0.14
1990	-0.25	-0.44	-0.42	-0.06	-0.2	-0.2	-0.43	-0.21	-0.17	0.02	0.25	0.15
1991	0.47	0.57	0.14	-0.02	-0.01	0.32	0.55	0.3	0.31	-0.46	-0.61	-0.52
1992	-0.37	-0.58	-0.58	-0.23	-0.36	-0.49	-0.58	0.17	0.24	0.06	0.24	0.01
1993	-0.08	0.3	0.53	0.15	0.17	-0.11	0.25	-0.12	-0.12	-0.03	-0.31	0.53
1994	0.53	0.57	0.61	0.58	1.27	0.93	2.01	0.4	0.13	0.03	0.84	0.58
1995	0.1	-0.09	0.04	-0.36	-0.3	-0.12	-0.32	-0.38	0.49	0.44	0.25	-0.01
1996	-0.39	-0.13	-0.1	-0.23	-0.57	-0.53	-0.98	-0.69	-0.38	-0.03	0.4	0.49
1997	0.03	-0.15	0.3	0.76	0.65	0.68	1.25	1.48	0.67	0.74	0.66	0.42
1998	0.13	0.14	0.33	-0.43	-0.57	-0.24	-0.9	-0.7	-0.38	-0.44	0.08	0.34
1999	-0.05	-0.41	-0.02	0.31	0.23	0.08	-0.38	-0.24	-0.18	-0.18	0.22	0.7
2000	0.4	0.26	0.16	0.41	0.25	0.13	-0.2	-0.36	-0.04	0.33	0.18	0.55
2001	0.03	-0.3	0.14	-0.43	-0.29	-0.13	-0.14	0.25	0.01	-0.28	-0.31	-0.48
2002	-0.4	-0.33	0.05	-0.23	-0.13	0.42	0.47	0.16	-0.11	-0.47	0.04	0.02
2003	0.05	0.39	0.65	0.48	0.41	0.23	0.05	-0.14	0.24	-0.13	-0.17	0.03
2004	-0.18	-0.46	-0.46	-0.21	0.1	0.22	0.15	-0.15	-0.1	-0.27	-1.14	-1.03
2005	0.07	0.24	-0.05	-0.31	-0.19	-0.62	-0.42	0	-0.19	-0.21	-0.49	-0.36
2006	0.26	0.31	0.19	0.2	0.41	0.66	1.2	0.97	0.37	0.25	0	0.25
2007	0.31	0.58	0.49	0.56	0.46	0.41	0.38	-0.01	-0.27	0.14	0.02	0.09
2008	-0.27	0.33	0.67	0.83	0.59	0.14	0.07	-0.1	-0.11	-0.13	0.31	0.36
2009	0.09	0.28	0.18	-0.3	-0.08	-0.25	-0.14	-0.11	0.36	0.51	-0.13	0.21
2010	0.49	-0.29	-0.05	-0.16	-0.37	-1.14	-0.98	-0.02	-0.2	0.17	-0.03	-0.01
2011	0.14	0.13	0.05	0.32	0.47	0.71	0.72	0.24	-0.01	0.21	-0.19	0.03
2012	-0.23	0.13	0	0.54	0.88	0.78	0.27	0.14	0.11	0.02	-0.06	-0.44
2013	-0.26	-0.52	-0.64	-0.43	-0.47	-0.48	-0.32	0	-0.21	-0.06	-0.1	-0.67
2014	-0.25	0.04	-0.39	-0.53	-0.66	-0.38	0.05	0.03	-0.28	-0.47	-0.36	-0.25
2015	0.07	0.49	0.25	0.25	0.45	0.82	0.78	0.5	0.14	-0.34	-0.14	-0.14
2016	-0.05	-0.36	-0.74	-1.13	-0.8	-1.32	-0.85	-0.35	-0.04	0.08	0.31	0.14
2017	0.5	0.38	0.35	0.42	0.6	0.22	-0.18	0.04	-0.13	0.1	0.46	-0.27
2018	0.04	0.01	-0.21	0.23	0.12	0.61	0.26	0.4	0.32	0.1	-0.29	-0.16
2019	-0.08	0.59	0.6	0.64	0.93	1.06	1.92	1.7	0.73	0.21	-0.07	-0.17
2020	-0.11	0.37	0.6	0.25	-0.82	-0.69	-0.35	-0.44	0.15			

(二) 界定正 IOD 年、負 IOD 年以及正常年

透過表八，我們發現以月份分割 IOD 時期過於零碎、不利計算，我們觀察數據後決定採 1980 年~2019 年，共 40 年界定正 IOD 年、負 IOD 正常年。

1. 正常年：當年未出現持續三個月（含）以上的正 IOD 現象及負 IOD 現象。是正常年的有：1980、1983、1985、1986、1987、1988、1990、1992、1993、1995、1999、2000、2001、2002、2004、2005、2009、2017、2018，共 19 年。
2. 正 IOD 年：當年出現至少一次正 IOD 現象，並持續三個月（含）以上。是正 IOD 年的有：1982、1994、1997、2003、2006、2007、2008、2011、2012、2015、2019，共 11 年。

(其中 1982 年雖然同時出現正 IOD 與負 IOD 現象，但其年 DMI 總值仍為正值，因此歸類為正 IOD 年。)

3. 負 IOD 年：當年出現至少一次負 IOD 現象，並持續三個月（含）以上。

是負 IOD 年的有：1981、1984、1989、1991、1996、1998、2010、2013、2014、2016，共 6 年。

表九：1980 年～2019 年 DMI 數值界定正 IOD 年、負 IOD 年以及正常年之年份

年度	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	一月	二月	三月	IOD類型
1980	0.13	0.32	-0.57	-0.6	-0.31	-0.47	-0.34	-0.17	-0.08	0.03	0.1	-0.24	正常
1981	0.28	0.08	-0.49	-0.57	-0.46	-0.61	-0.22	0.05	-0.27	0.22	0.29	0.29	負IOD
1982	0.16	0.36	0.31	0.33	0.4	0.65	0.75	0.67	-0.16	-0.42	-0.49	-0.82	正IOD
1983	-0.9	-0.28	0.02	0.51	0.21	0.18	-0.05	0.04	-0.3	-0.17	-0.27	-0.01	正常
1984	0.13	-0.74	-0.92	-0.68	-0.53	-0.34	-0.54	-0.61	-0.37	-0.42	-0.37	-0.1	負IOD
1985	-0.23	-0.08	-0.86	-0.77	-0.32	-0.34	-0.47	0.22	-0.01	0.22	0.19	0.66	正常
1986	-0.09	-0.05	-0.32	-0.71	-0.33	-0.01	0.09	0.02	-0.23	-0.15	-0.14	-0.47	正常
1987	-0.43	-0.05	-0.34	-0.25	0.3	0.35	0.48	0.05	0.09	0.45	0.32	0.03	正常
1988	0	-0.77	-0.22	-0.04	0.02	-0.18	-0.13	-0.32	0.08	-0.48	0.21	-0.07	正常
1989	-0.15	-0.41	-0.55	-0.17	-0.78	-0.41	-0.52	-0.45	-0.19	0.54	-0.07	0.14	負IOD
1990	-0.25	-0.44	-0.42	-0.06	-0.2	-0.2	-0.43	-0.21	-0.17	0.02	0.25	0.15	正常
1991	0.47	0.57	0.14	-0.02	-0.01	0.32	0.55	0.3	0.31	-0.46	-0.61	-0.52	負IOD
1992	-0.37	-0.58	-0.58	-0.23	-0.36	-0.49	-0.58	0.17	0.24	0.06	0.24	0.01	正常
1993	-0.08	0.3	0.53	0.15	0.17	-0.11	0.25	-0.12	-0.12	-0.03	-0.31	0.53	正常
1994	0.53	0.57	0.61	0.58	1.27	0.93	2.01	0.4	0.13	0.03	0.84	0.58	正IOD
1995	0.1	-0.09	0.04	-0.36	-0.3	-0.12	-0.32	-0.38	0.49	0.44	0.25	-0.01	正常
1996	-0.39	-0.13	-0.1	-0.23	-0.57	-0.53	-0.98	-0.69	-0.38	-0.03	0.4	0.49	負IOD
1997	0.03	-0.15	0.3	0.76	0.65	0.68	1.25	1.48	0.67	0.74	0.66	0.42	正IOD
1998	0.13	0.14	0.33	-0.43	-0.57	-0.24	-0.9	-0.7	-0.38	-0.44	0.08	0.34	負IOD
1999	-0.05	-0.41	-0.02	0.31	0.23	0.08	-0.38	-0.24	-0.18	-0.18	0.22	0.7	正常
2000	0.4	0.26	0.16	0.41	0.25	0.13	-0.2	-0.36	-0.04	0.33	0.18	0.55	正常
2001	0.03	-0.3	0.14	-0.43	-0.29	-0.13	-0.14	0.25	0.01	-0.28	-0.31	-0.48	正常
2002	-0.4	-0.33	0.05	-0.23	-0.13	0.42	0.47	0.16	-0.11	-0.47	0.04	0.02	正常
2003	0.05	0.39	0.65	0.48	0.41	0.23	0.05	-0.14	0.24	-0.13	-0.17	0.03	正IOD
2004	-0.18	-0.46	-0.46	-0.21	0.1	0.22	0.15	-0.15	-0.1	-0.27	-1.14	-1.03	正常
2005	0.07	0.24	-0.05	-0.31	-0.19	-0.62	-0.42	0	-0.19	-0.21	-0.49	-0.36	正常
2006	0.26	0.31	0.19	0.2	0.41	0.66	1.2	0.97	0.37	0.25	0	0.25	正IOD
2007	0.31	0.58	0.49	0.56	0.46	0.41	0.38	-0.01	-0.27	0.14	0.02	0.09	正IOD
2008	-0.27	0.33	0.67	0.83	0.59	0.14	0.07	-0.1	-0.11	-0.13	0.31	0.36	正IOD
2009	0.09	0.28	0.18	-0.3	-0.08	-0.25	-0.14	-0.11	0.36	0.51	-0.13	0.21	正常
2010	0.49	-0.29	-0.05	-0.16	-0.37	-1.14	-0.98	-0.02	-0.2	0.17	-0.03	-0.01	負IOD
2011	0.14	0.13	0.05	0.32	0.47	0.71	0.72	0.24	-0.01	0.21	-0.19	0.03	正IOD
2012	-0.23	0.13	0	0.54	0.88	0.78	0.27	0.14	0.11	0.02	-0.06	-0.44	正IOD
2013	-0.26	-0.52	-0.64	-0.43	-0.47	-0.48	-0.32	0	-0.21	-0.06	-0.1	-0.67	負IOD
2014	-0.25	0.04	-0.39	-0.53	-0.66	-0.38	0.05	0.03	-0.28	-0.47	-0.36	-0.25	負IOD
2015	0.07	0.49	0.25	0.25	0.45	0.82	0.78	0.5	0.14	-0.34	-0.14	-0.14	正IOD
2016	-0.05	-0.36	-0.74	-1.13	-0.8	-1.32	-0.85	-0.35	-0.04	0.08	0.31	0.14	負IOD
2017	0.5	0.38	0.35	0.42	0.6	0.22	-0.18	0.04	-0.13	0.1	0.46	-0.27	正常
2018	0.04	0.01	-0.21	0.23	0.12	0.61	0.26	0.4	0.32	0.1	-0.29	-0.16	正常
2019	-0.08	0.59	0.6	0.64	0.93	1.06	1.92	1.7	0.73	0.21	-0.07	-0.17	正IOD
2020	-0.11	0.37	0.6	0.25	-0.82	-0.69	-0.35	-0.44	0.15				負IOD

【第三部分：計算】

一、正常年與正、負 IOD 年氣旋的特徵分析

(一) 氣旋特徵分析的項目

1. 年度各氣旋最強強度累加值

2. 年度氣旋平均強度
3. 最強氣旋強度
4. 氣旋季長度
5. 西印度洋氣旋生成數對總氣旋個數比
6. 拋物線行氣旋對總氣旋個數比
7. 氣旋個數

(二) 分析時間範圍：1995 年~2019 年，共 25 年

由於分析項目較多，選取 1995 年~2019 年，共 25 年的 IOD 年度進行全面分析，這些年份中：

1. 正常年：當年未出現持續三個月（含）以上的正 IOD 現象及負 IOD 現象。
是正常年的有：1995、1999、2000、2001、2002、2004、2005、2009、2017、2018，共 10 年。
2. 正 IOD 年：當年出現至少一次正 IOD 現象，並持續三個月（含）以上。
是正 IOD 年的有：1997、2003、2006、2007、2008、2011、2012、2015、2019，共 9 年。
3. 負 IOD 年：當年出現至少一次負 IOD 現象，並持續三個月（含）以上。
是負 IOD 年的有：1996、1998、2010、2013、2014、2016，共 6 年。

表十：1995 年~2019 年 DMI 數值界定正 IOD 年、負 IOD 年及正常年之年份

年度	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	一月	二月	三月	IOD 類型
1995	0.1	-0.09	0.04	-0.36	-0.3	-0.12	-0.32	-0.38	0.49	0.44	0.25	-0.01	正常
1996	-0.39	-0.13	-0.1	-0.23	-0.57	-0.53	-0.98	-0.69	-0.38	-0.03	0.4	0.49	負IOD
1997	0.03	-0.15	0.3	0.76	0.65	0.68	1.25	1.48	0.67	0.74	0.66	0.42	正IOD
1998	0.13	0.14	0.33	-0.43	-0.57	-0.24	-0.9	-0.7	-0.38	-0.44	0.08	0.34	負IOD
1999	-0.05	-0.41	-0.02	0.31	0.23	0.08	-0.38	-0.24	-0.18	-0.18	0.22	0.7	正常
2000	0.4	0.26	0.16	0.41	0.25	0.13	-0.2	-0.36	-0.04	0.33	0.18	0.55	正常
2001	0.03	-0.3	0.14	-0.43	-0.29	-0.13	-0.14	0.25	0.01	-0.28	-0.31	-0.48	正常
2002	-0.4	-0.33	0.05	-0.23	-0.13	0.42	0.47	0.16	-0.11	-0.47	0.04	0.02	正常
2003	0.05	0.39	0.65	0.48	0.41	0.23	0.05	-0.14	0.24	-0.13	-0.17	0.03	正IOD
2004	-0.18	-0.46	-0.46	-0.21	0.1	0.22	0.15	-0.15	-0.1	-0.27	-1.14	-1.03	正常
2005	0.07	0.24	-0.05	-0.31	-0.19	-0.62	-0.42	0	-0.19	-0.21	-0.49	-0.36	正常
2006	0.26	0.31	0.19	0.2	0.41	0.66	1.2	0.97	0.37	0.25	0	0.25	正IOD
2007	0.31	0.58	0.49	0.56	0.46	0.41	0.38	-0.01	-0.27	0.14	0.02	0.09	正IOD
2008	-0.27	0.33	0.67	0.83	0.59	0.14	0.07	-0.1	-0.11	-0.13	0.31	0.36	正IOD
2009	0.09	0.28	0.18	-0.3	-0.08	-0.25	-0.14	-0.11	0.36	0.51	-0.13	0.21	正常
2010	0.49	-0.29	-0.05	-0.16	-0.37	-1.14	-0.98	-0.02	-0.2	0.17	-0.03	-0.01	負IOD
2011	0.14	0.13	0.05	0.32	0.47	0.71	0.72	0.24	-0.01	0.21	-0.19	0.03	正IOD
2012	-0.23	0.13	0	0.54	0.88	0.78	0.27	0.14	0.11	0.02	-0.06	-0.44	正IOD
2013	-0.26	-0.52	-0.64	-0.43	-0.47	-0.48	-0.32	0	-0.21	-0.06	-0.1	-0.67	負IOD
2014	-0.25	0.04	-0.39	-0.53	-0.66	-0.38	0.05	0.03	-0.28	-0.47	-0.36	-0.25	負IOD
2015	0.07	0.49	0.25	0.25	0.45	0.82	0.78	0.5	0.14	-0.34	-0.14	-0.14	正IOD
2016	-0.05	-0.36	-0.74	-1.13	-0.8	-1.32	-0.85	-0.35	-0.04	0.08	0.31	0.14	負IOD
2017	0.5	0.38	0.35	0.42	0.6	0.22	-0.18	0.04	-0.13	0.1	0.46	-0.27	正常
2018	0.04	0.01	-0.21	0.23	0.12	0.61	0.26	0.4	0.32	0.1	-0.29	-0.16	正常
2019	-0.08	0.59	0.6	0.64	0.93	1.06	1.92	1.7	0.73	0.21	-0.07	-0.17	正IOD

二、T 檢定表說明

儘管由前述實驗步驟已可大略發現氣旋數據在不同 IOD 年份中呈現不同趨勢，為了確認各組資料有足夠的差異性，我們將正常年、IOD 年、負 IOD 年三個族群的數據兩兩進行 F 檢定，確認變異數是否相等。若結果小於預先設定的顯著水準 0.1，則可以推斷兩族群的變異數不同，反之則可推斷兩族群的變異數相同。

F 檢定結果皆遠大於 0.1，因此得知正常年、正 IOD 年、負 IOD 年的樣本其變異數並無顯著差異。而因各群的資料彼此獨立，因此對這三群的資料兩兩進行變異數相同的獨立雙樣本 T 檢定。在 T 檢定的結果中，我們設定顯著水準為 0.1，若 T 檢定結果小於 0.1，則判斷兩資料間有顯著差異。

三、T 檢定表所需數據取得與整理

表十一：以 1995~2019 年間正常年的北印度洋熱帶氣旋數據

正常年	氣旋個數	氣旋開始出現月份	氣旋結束出現月份	各氣旋最 強強度累 加值	年度氣旋 平均強度	最強氣旋 強度	最強氣旋 出現月份	西印度洋 氣旋生成 數	東印度洋 氣旋生成 數	西行氣旋 數	拋物線行 氣旋數	氣旋風暴 數	強烈氣旋 風暴數	特強烈氣 旋風暴數	極強氣旋 風暴數	超級氣旋 風暴數	
1995	-0.26	4	9	11	270	67.5	105	11	1	3	2	2	1	1	0	2	0
1999	0.08	4	5	11	405	101.25	140	10	1	3	3	1	1	0	0	1	2
2000	2.07	4	10	12	200	50	65	12	0	4	3	1	2	0	2	0	0
2001	-1.93	4	5	11	210	52.5	110	5	3	1	3	1	2	0	0	1	0
2002	-0.51	5	5	12	225	45	55	11	2	3	2	3	4	1	0	0	0
2004	-3.53	7	5	1	315	45	65	5,11	4	3	5	2	5	0	1	0	0
2005	-2.53	6	10	1	270	45	60	12	6	0	4	2	5	1	0	0	0
2009	0.62	5	4	12	250	50	65	5	2	3	2	3	2	2	1	0	0
2017	2.49	4	4	12	275	68.75	100	11	0	4	0	4	1	1	1	1	0
2018	1.43	8	5	12	570	71.25	105	10	3	5	7	1	2	2	2	2	0
平均		5.10			299.00	59.63	87.00		2.20	2.90	3.10	2.00					
標準差	1.45				111.95	17.92	28.60		1.87	1.45	1.91	1.05					
總數量													25	8	7	7	2

表十二：以 1995~2019 年間正 IOD 年的北印度洋熱帶氣旋數據

正IOD	氣旋個數	氣旋開始出現月份	氣旋結束出現月份	各氣旋最 強強度累 加值	年度氣旋 平均強度	最強氣旋 強度	最強氣旋 出現月份	西印度洋 氣旋生成 數	東印度洋 氣旋生成 數	西行氣旋 數	拋物線行 氣旋數	氣旋風暴 數	強烈氣旋 風暴數	特強烈氣 旋風暴數	極強氣旋 風暴數	超級氣旋 風暴數	
1997	7.49	4	5	11	270	67.5	115	5	1	3	2	2	1	1	1	1	0
2003	2.09	3	5	12	195	65	80	11	1	2	1	2	0	2	1	0	0
2006	5.07	5	4	12	300	60	120	4	2	3	4	1	2	2	0	0	1
2007	3.16	6	5	11	485	80.8	145	5	2	4	4	2	2	1	1	0	2
2008	2.69	5	5	10	435	87	135	10	3	2	2	3	0	2	1	0	2
2011	2.82	6	6	12	285	47.5	90	12	4	2	5	1	4	1	0	1	0
2012	2.14	4	10	12	155	38.75	50	10	2	2	4	0	3	1	0	0	0
2015	3.13	5	6	11	375	75	130	10	4	1	5	0	2	1	0	1	1
2019	8.06	7	4	12	680	97.14	150	4	5	2	5	2	1	1	0	3	2
平均		5.00			353.33	68.74	112.78		2.67	2.33	3.56	1.44					
標準差	1.22				162.04	18.60	33.18		1.41	0.87	1.51	1.01					
										1.14		2.46					
													15	12	4	6	8

表十三：以 1995~2019 年間負 IOD 年的北印度洋熱帶氣旋數據

負IOD	氣旋個數	氣旋開始出現月份	氣旋結束出現月份	各氣旋最 強強度累 加值	年度氣旋 平均強度	最強氣旋 強度	最強氣旋 出現月份	西印度洋 氣旋生成 數	東印度洋 氣旋生成 數	西行氣旋 數	拋物線行 氣旋數	氣旋風暴 數	強烈氣旋 風暴數	特強烈氣 旋風暴數	極強氣旋 風暴數	超級氣旋 風暴數	
1996	-3.14	8	5	12	490	61.25	115	11	2	6	5	3	4	0	0	4	0
1998	-2.64	9	5	1	545	60.56	105	6	5	4	5	4	4	0	4	1	0
2013	-4.16	7	5	1	500	71.43	140	10	1	6	6	1	3	0	3	0	1
2014	-3.45	4	6	11	320	80	115	10	2	2	3	1	1	1	0	2	0
2016	-5.11	5	6	12	270	54	85	12	1	4	4	1	3	1	1	0	0
2010	-2.59	5	5	10	435	87	135	10	2	3	2	3	0	2	1	0	2
平均		6.60			426.67	69.04	115.83		2.17	4.17	4.17	2.17					
標準差	2.07				108.98	12.71	20.10		1.47	1.60	1.47	1.33					
								0.52				1.92					
													15	4	9	7	3

我們將各類別年度的資料整理成如表十一、表十二、表十三所示的格式，分別採用了正常年、正 IOD 年、負 IOD 年的氣旋最強強度累加值、年度氣旋平均強度、最強氣旋強度、總氣旋個數。由表十一、表十二、表十三的總氣旋個數與西印度洋生成氣旋數算出西印度洋氣旋生成數對總氣旋個數比（如圖十），以及從總氣旋個數與拋物線行氣旋數算出拋物線行氣旋數對總氣旋個數比（如圖十一）。不同 IOD 年度的氣旋季長度由表七取得。

	A	B	C	D	E	F
92	正常年	氣旋個數	西印度洋氣旋生成數	西印度洋氣旋生成數對總氣旋個數比		
93	1995	4	1	0.25		
94	1999	4	1	0.25		
95	2000	4	0	0		
96	2001	4	3	0.75		
97	2002	5	2	0.4		
98	2004	7	4	0.57		
99	2005	6	6	1		
100	2009	5	2	0.4		
101	2017	4	0	0		
102	2018	8	3	0.38		

圖十：計算西印度洋氣旋生成數對總氣旋個數比（以正常年為例）

	A	B	C	D	E	F
104	正常年	氣旋個數	拋物線行氣旋數	拋物線行氣旋數對總氣旋個數比		
105	1995	4	2	0.5		
106	1999	4	1	0.25		
107	2000	4	1	0.25		
108	2001	4	1	0.25		
109	2002	5	3	0.6		
110	2004	7	2	0.29		
111	2005	6	2	0.33		
112	2009	5	3	0.6		
113	2017	4	4	1		
114	2018	8	1	0.13		

圖十一：計算拋物線行氣旋數對總氣旋個數比（以正常年為例）

四、較強 IOD 年度的挑選

（一）分析時間範圍：1980 年~2019 年，共 40 年。

1. 為了更明確看出 IOD 年度的影響，我們需針對 IOD 現象進行進一步的強度過濾，選取 IOD 趨勢較強的年份，進一步進行分析。然而，若只從 1995~2019 這 25 年的資料中挑出較強 IOD 年度，由於時間較短，正負 IOD 年度較少，若再從中進行篩選，資料會變得更少。由於資料變少可能使統計誤差增大，因此我們將分析年度拉長至 1980 年~2019 年，共 40 年。
2. 由於強度可能與能量有關，我們加入氣旋能量指數的分析。

（二）較強 IOD 年的過濾方法與結果

1. 較強 IOD 年過濾方式：

- （1）計算 1980 年~2019 年，共 40 年之年 DMI 總值的平均（0.0815）與標準差（3.408）

(2) 取大於 N 個標準差的年度為較強正 IOD 年的過濾標準、小於 N 個標準差的年度為較強負 IOD 年的過濾標準。

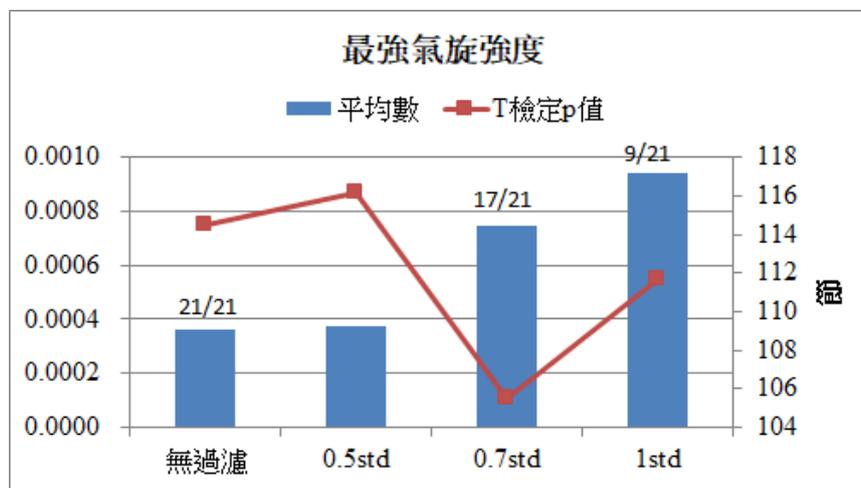
2. 由圖十二、圖十三、圖十四結果顯示：當分別取 0 個標準差（未過濾，共有 21 年）、0.5 個標準差（共有 19 年）、0.7 個標準差（共有 17 年）、1 個標準差（共有 9 年），其強度及能量指數的平均數皆隨標準差數值上升而增加，然而取 1 個標準差時年份數量較少，使得正常年、較強 IOD 年的 T 檢定 P 值增加。因此雖然較強 IOD 年的氣旋平均強度與能量指數傾向增加，但仍具有年度間的差異。綜合上述考量，標準差的個數 N 值取 0.7 時的 T 檢定 P 值最低，也最利於數據呈現，因此我們定義：

(1) 較強正 IOD 年：

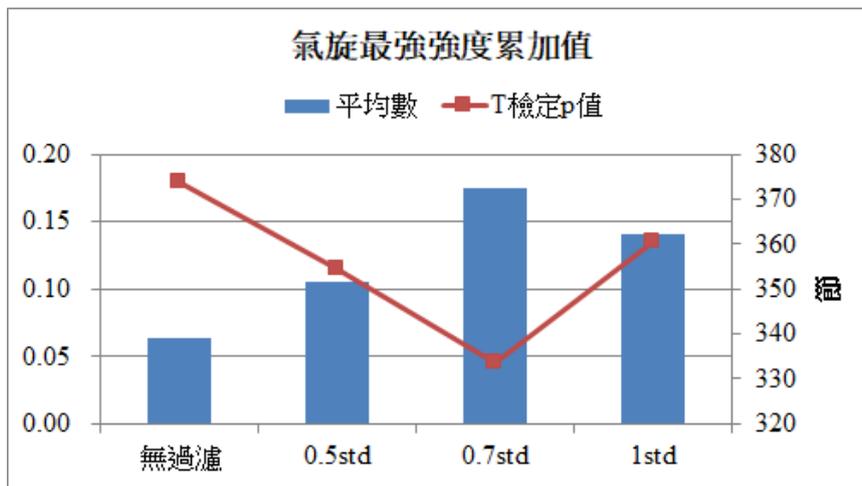
年 DMI 總值 > 0.0815 (DMI 總值的平均) $+3.408$ (標準差) $\times 0.7$

(2) 較強負 IOD 年：

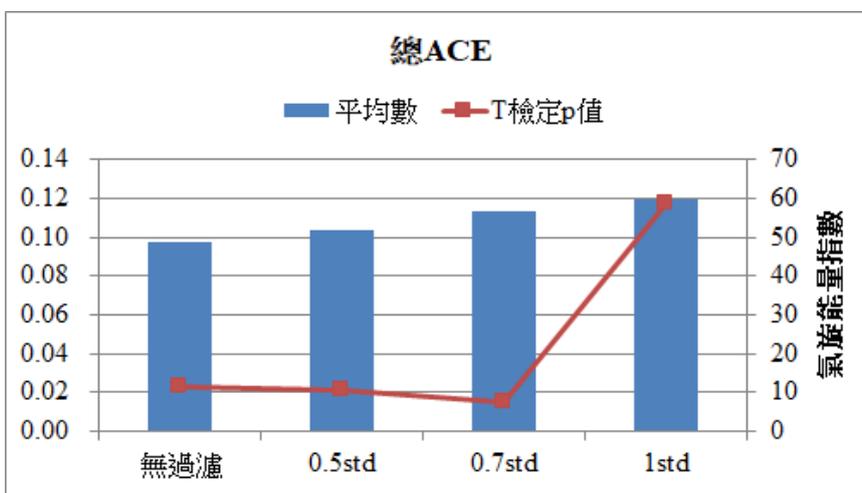
年 DMI 總值 < 0.0815 (DMI 總值的平均) -3.408 (標準差) $\times 0.7$



圖十二：不同過濾標準顯示氣旋最強氣旋強度之平均數及 T 檢定 P 值



圖十三：不同過濾標準顯示氣旋最強強度累加值之平均數及 T 檢定 P 值



圖十四：不同過濾標準顯示氣旋總能量指數之平均數及 T 檢定 P 值

3. 結果挑出：

(1) 較強正 IOD 年：當年出現至少一次正 IOD 現象，並持續三個月（含）以上且符合強正 IOD 年公式。

是較強正 IOD 年的有：1982、1994、1997、2006、2007、2008、2011、2015、2019，共 9 年。

（其中 1982 年雖然同時出現正 IOD 與負 IOD 現象，但其年 DMI 總值符合較強正 IOD 年公式，因此歸類為較強正 IOD 年。）

(2) 較強負 IOD 年：當年出現至少一次負 IOD 現象，並持續三個月（含）以上且符合強負 IOD 年公式。

是較強負 IOD 年的有：1984、1989、1996、1998、2010、2013、2014、2016，共 8 年。

我們進一步以這些年度討論研究目的（二）、研究目的（三）。

表十四：1980年~2019年以0.7過濾標準界定正常年、較強正IOD年、較強負IOD年

年度	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	一月	二月	三月	IOD類型
1980	0.13	0.32	-0.57	-0.6	-0.31	-0.47	-0.34	-0.17	-0.08	0.03	0.1	-0.24	正常
1981	0.28	0.08	-0.49	-0.57	-0.46	-0.61	-0.22	0.05	-0.27	0.22	0.29	0.29	負IOD
1982	0.16	0.36	0.31	0.33	0.4	0.65	0.75	0.67	-0.16	-0.42	-0.49	-0.82	正IOD
1983	-0.9	-0.28	0.02	0.51	0.21	0.18	-0.05	0.04	-0.3	-0.17	-0.27	-0.01	正常
1984	0.13	-0.74	-0.92	-0.68	-0.53	-0.34	-0.54	-0.61	-0.37	-0.42	-0.37	-0.1	負IOD
1985	-0.23	-0.08	-0.86	-0.77	-0.32	-0.34	-0.47	0.22	-0.01	0.22	0.19	0.66	正常
1986	-0.09	-0.05	-0.32	-0.71	-0.33	-0.01	0.09	0.02	-0.23	-0.15	-0.14	-0.47	正常
1987	-0.43	-0.05	-0.34	-0.25	0.3	0.35	0.48	0.05	0.09	0.45	0.32	0.03	正常
1988	0	-0.77	-0.22	-0.04	0.02	-0.18	-0.13	-0.32	0.08	-0.48	0.21	-0.07	正常
1989	-0.15	-0.41	-0.55	-0.17	-0.78	-0.41	-0.52	-0.45	-0.19	0.54	-0.07	0.14	負IOD
1990	-0.25	-0.44	-0.42	-0.06	-0.2	-0.2	-0.43	-0.21	-0.17	0.02	0.25	0.15	正常
1991	0.47	0.57	0.14	-0.02	-0.01	0.32	0.55	0.3	0.31	-0.46	-0.61	-0.52	負IOD
1992	-0.37	-0.58	-0.58	-0.23	-0.36	-0.49	-0.58	0.17	0.24	0.06	0.24	0.01	正常
1993	-0.08	0.3	0.53	0.15	0.17	-0.11	0.25	-0.12	-0.12	-0.03	-0.31	0.53	正常
1994	0.53	0.57	0.61	0.58	1.27	0.93	2.01	0.4	0.13	0.03	0.84	0.58	正IOD
1995	0.1	-0.09	0.04	-0.36	-0.3	-0.12	-0.32	-0.38	0.49	0.44	0.25	-0.01	正常
1996	-0.39	-0.13	-0.1	-0.23	-0.57	-0.53	-0.98	-0.69	-0.38	-0.03	0.4	0.49	負IOD
1997	0.03	-0.15	0.3	0.76	0.65	0.68	1.25	1.48	0.67	0.74	0.66	0.42	正IOD
1998	0.13	0.14	0.33	-0.43	-0.57	-0.24	-0.9	-0.7	-0.38	-0.44	0.08	0.34	負IOD
1999	-0.05	-0.41	-0.02	0.31	0.23	0.08	-0.38	-0.24	-0.18	-0.18	0.22	0.7	正常
2000	0.4	0.26	0.16	0.41	0.25	0.13	-0.2	-0.36	-0.04	0.33	0.18	0.55	正常
2001	0.03	-0.3	0.14	-0.43	-0.29	-0.13	-0.14	0.25	0.01	-0.28	-0.31	-0.48	正常
2002	-0.4	-0.33	0.05	-0.23	-0.13	0.42	0.47	0.16	-0.11	-0.47	0.04	0.02	正常
2003	0.05	0.39	0.65	0.48	0.41	0.23	0.05	-0.14	0.24	-0.13	-0.17	0.03	正IOD
2004	-0.18	-0.46	-0.46	-0.21	0.1	0.22	0.15	-0.15	-0.1	-0.27	-1.14	-1.03	正常
2005	0.07	0.24	-0.05	-0.31	-0.19	-0.62	-0.42	0	-0.19	-0.21	-0.49	-0.36	正常
2006	0.26	0.31	0.19	0.2	0.41	0.66	1.2	0.97	0.37	0.25	0	0.25	正IOD
2007	0.31	0.58	0.49	0.56	0.46	0.41	0.38	-0.01	-0.27	0.14	0.02	0.09	正IOD
2008	-0.27	0.33	0.67	0.83	0.59	0.14	0.07	-0.1	-0.11	-0.13	0.31	0.36	正IOD
2009	0.09	0.28	0.18	-0.3	-0.08	-0.25	-0.14	-0.11	0.36	0.51	-0.13	0.21	正常
2010	0.49	-0.29	-0.05	-0.16	-0.37	-1.14	-0.98	-0.02	-0.2	0.17	-0.03	-0.01	負IOD
2011	0.14	0.13	0.05	0.32	0.47	0.71	0.72	0.24	-0.01	0.21	-0.19	0.03	正IOD
2012	-0.23	0.13	0	0.54	0.88	0.78	0.27	0.14	0.11	0.02	-0.06	-0.44	正IOD
2013	-0.26	-0.52	-0.64	-0.43	-0.47	-0.48	-0.32	0	-0.21	-0.06	-0.1	-0.67	負IOD
2014	-0.25	0.04	-0.39	-0.53	-0.66	-0.38	0.05	0.03	-0.28	-0.47	-0.36	-0.25	負IOD
2015	0.07	0.49	0.25	0.25	0.45	0.82	0.78	0.5	0.14	-0.34	-0.14	-0.14	正IOD
2016	-0.05	-0.36	-0.74	-1.13	-0.8	-1.32	-0.85	-0.35	-0.04	0.08	0.31	0.14	負IOD
2017	0.5	0.38	0.35	0.42	0.6	0.22	-0.18	0.04	-0.13	0.1	0.46	-0.27	正常
2018	0.04	0.01	-0.21	0.23	0.12	0.61	0.26	0.4	0.32	0.1	-0.29	-0.16	正常
2019	-0.08	0.59	0.6	0.64	0.93	1.06	1.92	1.7	0.73	0.21	-0.07	-0.17	正IOD

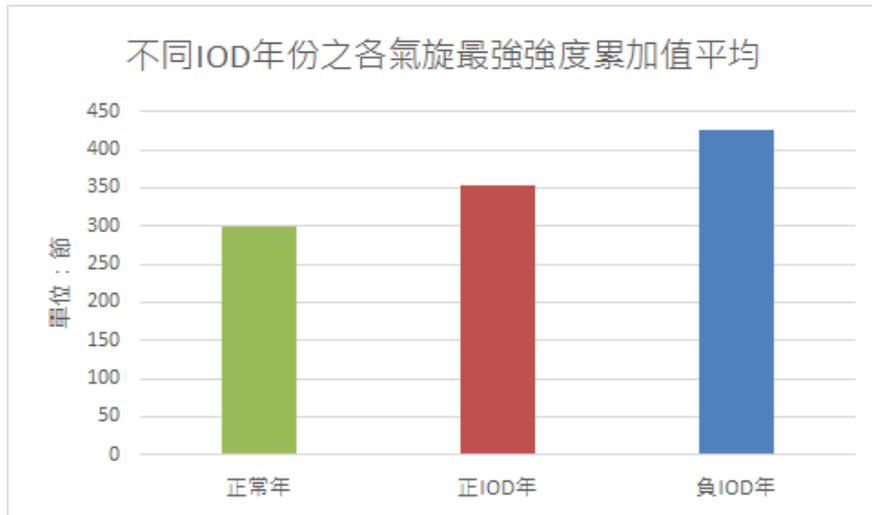
伍、研究結果與討論

一、正（負）偶極現象發生時，該年北印度洋氣旋之氣旋特徵（個數、強度、生成位置、路徑及氣旋季長度）是否會有不同變化？

經採 1995~2019 等 25 年度資料計算結果，僅「（三）最強氣旋強度」在正、負 IOD 年時，最大氣旋強度皆明顯大於正常年，T 檢定結果分別為 **0.087**（通過.1 檢定標準）及 **0.049**（通過.05 檢定標準），與「（一）年度各氣旋最強強度累加值」負 IOD 年的最強強度累加值亦明顯大於正常年，T 檢定結果為 **0.043**（通過.05 檢定標準），此三筆數據通過

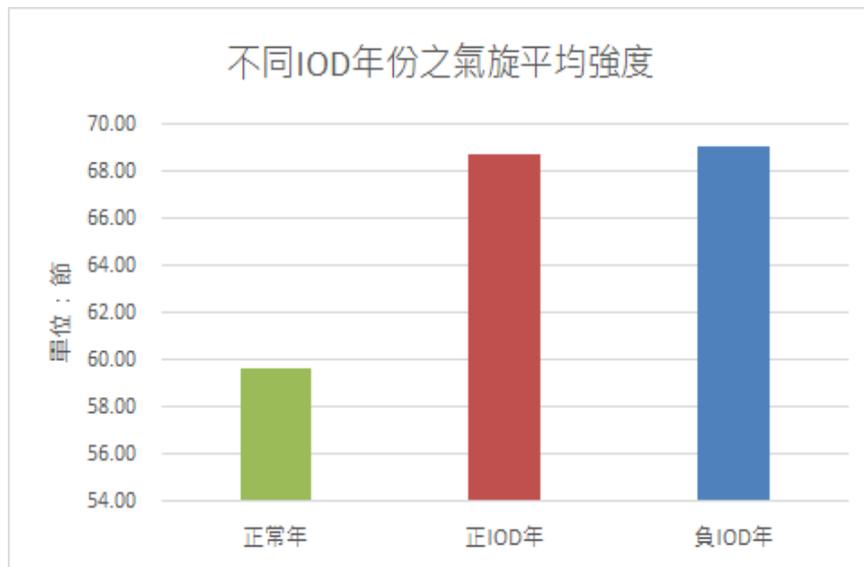
T 檢定外，其餘項目之氣旋特徵正、負 IOD 年皆未達顯著差異，因此以下只針對氣旋強度和與其相關的氣旋能量指數做進一步的分析。

(一) 年度各氣旋最強強度累加值



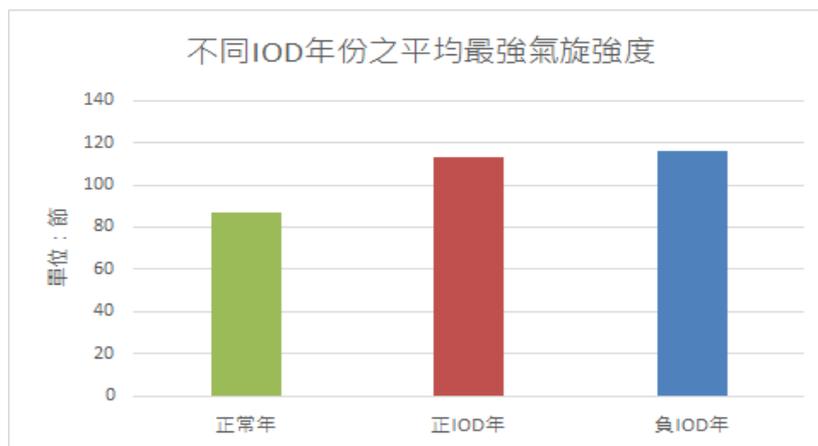
圖十五：各氣旋最強強度累加值柱狀圖

(二) 年度氣旋平均強度



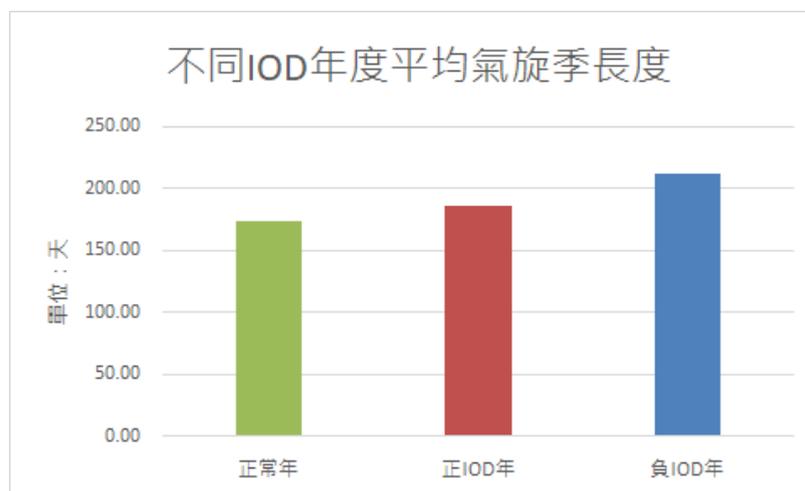
圖十六：年度氣旋平均強度柱狀圖

(三) 最強氣旋強度



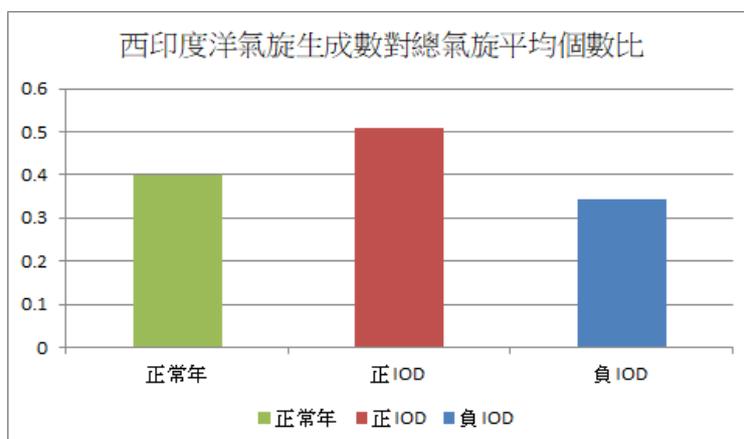
圖十七：最強氣旋強度柱狀圖

(四) 氣旋季長度



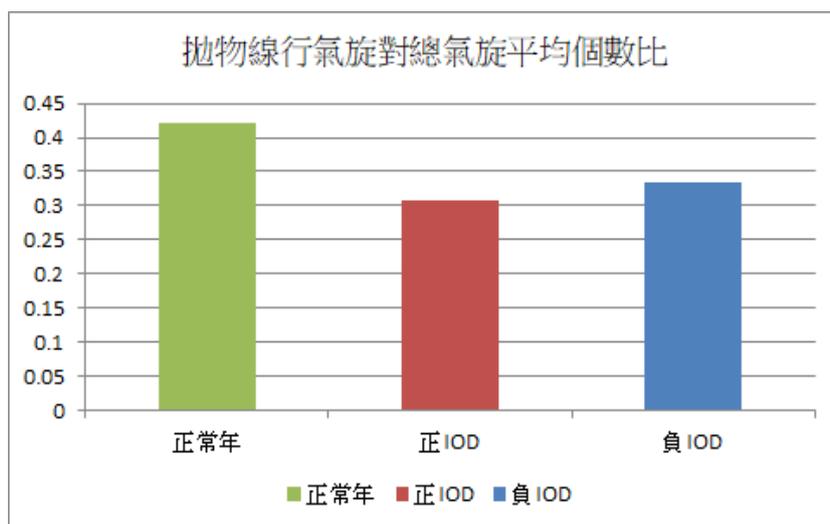
圖十八：氣旋季長度柱狀圖

(五) 西印度洋氣旋生成數對總氣旋個數比



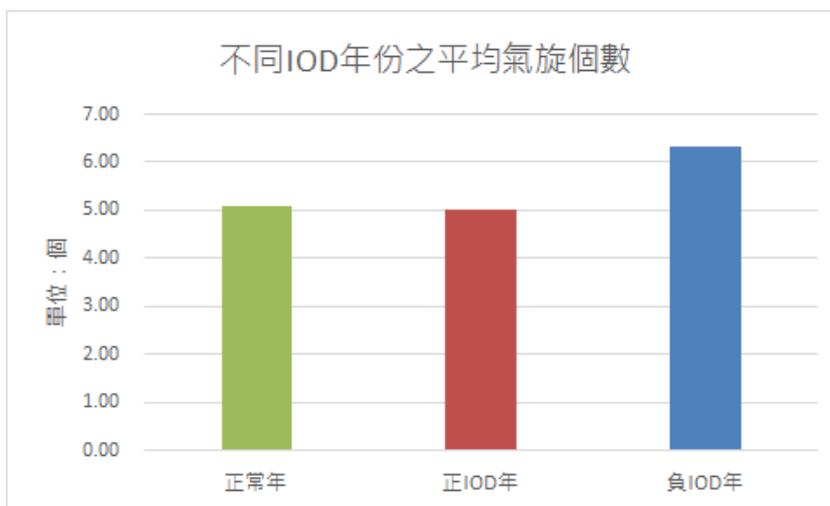
圖十九：西印度洋氣旋生成數對總氣旋個數比柱狀圖

(六) 拋物線行氣旋對總氣旋個數比



圖二十：拋物線行氣旋對總氣旋個數比柱狀圖

(七) 氣旋個數



圖二十一：氣旋個數柱狀圖

表十五：各種 T 檢定組合的 P 值及檢定結果

年度氣旋特徵	正常年 V.S. 正 IOD 年	正常年 V.S. 負 IOD 年	正 IOD 年 V.S. 負 IOD 年
年度氣旋強度累加值	0.403(未通過)	0.043(通過.05 檢定標準)	0.351(未通過)
年度氣旋平均強度	0.292(未通過)	0.281(未通過)	0.974(未通過)
年度最強氣旋強度	0.087(通過.1 檢定標準)	0.049(通過.05 檢定標準)	0.844(未通過)
氣旋季長度	0.878(未通過)	0.329(未通過)	0.286(未通過)
西印度洋生成氣旋比例	0.371(未通過)	0.682(未通過)	0.105(接近通過)
拋物線行氣旋比例	0.340(未通過)	0.494(未通過)	0.801(未通過)
氣旋個數	0.847(未通過)	0.170(接近通過)	0.127(接近通過)

二、較強的正（負）偶極年度出現時，該年氣旋強度與能量指數是否有增加情形？

根據表十六、表十七的 IO 欄位，可看出在強正 IOD、強負 IOD 年時，比起正常年，其最大氣旋強度及總能量指數 ACE 皆明顯大於正常年。此外，強正 IOD 年的氣旋最強強度累加值也明顯大於正常年。而強正 IOD、強負 IOD 年間的氣旋強度與總 ACE 則均無顯著差異。

表十六：不同 IOD 類別年度印度洋（IO）、西印度洋（WIO）與東印度洋（EIO）的年度最大氣旋強度、年度總能量指數（ACE）平均值

平均數 年份數	IOD類別	IO最大強度	IO總ACE	WIO最大強度	WIO總ACE	EIO最大強度	EIO總ACE
19	正常年	76.58	18.30	48.68	6.98	72.11	11.31
9	強正IOD年	<u>123.33</u>	<u>66.66</u>	<u>80.56</u>	32.96	<u>113.33</u>	<u>33.69</u>
8	強負IOD年	<u>104.38</u>	<u>45.63</u>	71.88	13.12	<u>101.88</u>	<u>32.50</u>

註：（一）表中有底線數據表示通過 0.1 信心水準的 T 檢定，與正常年數據有顯著差異。

（二）ACE 計算定義請考前前文文獻探討。

表十七：不同 IOD 類別年度印度洋（IO）、西印度洋（WIO）與東印度洋（EIO）的年度最大氣旋強度、年度總能量指數（ACE）之 T 檢定結果

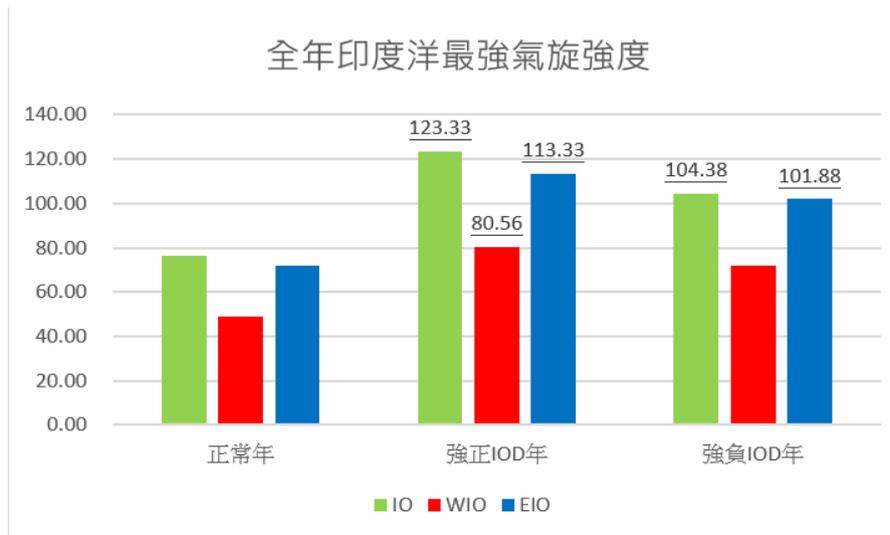
正常年VS強正IOD年	IO最大強度	IO總ACE	WIO最大強度	WIO總ACE	EIO最大強度	EIO總ACE
F檢定	0.2216	0.0000	0.3304	0.0000	0.6833	0.0001
T檢定	0.0001	0.0809	0.0482	0.1610	0.0015	0.0646
正常年VS強負IOD年						
F檢定	0.8094	0.0505	0.7417	0.2320	0.8008	0.0003
T檢定	0.0238	0.0601	0.1307	0.3160	0.0188	0.0865
強正IOD年VS強負IOD年						
F檢定	0.2095	0.0599	0.6268	0.0130	0.9097	0.9279
T檢定	0.1143	0.4489	0.6729	0.2909	0.4432	0.9369

三、較強的正（負）偶極年度出現時，對東、西印度洋氣旋強度、能量指數是否有不同影響？

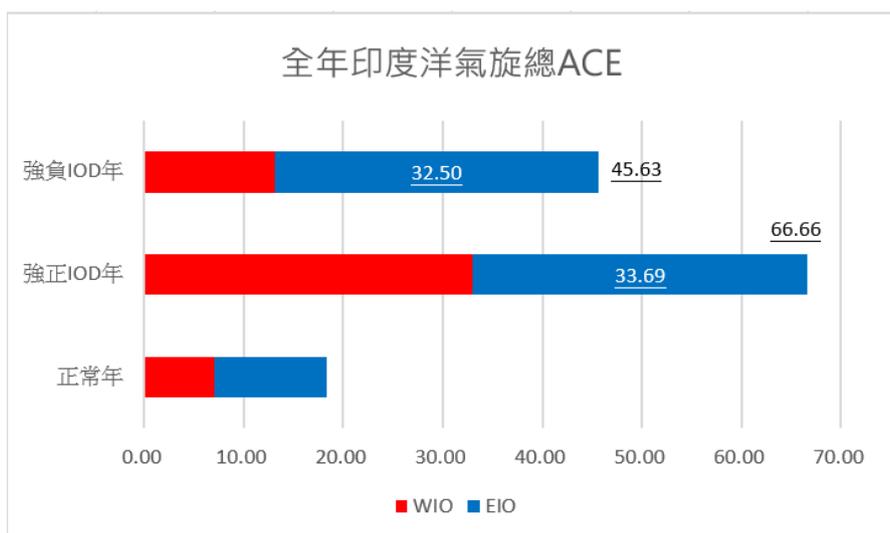
（一）我們將分析年份依前述標準分為正常年 19 年、強正 IOD 年 9 年、強負 IOD 年 8 年，並將印度洋分為全印度洋、東印度洋、西印度洋三種分析範圍。再將數據兩兩進行 T 檢定，觀察不同 IOD 年份類別對全印度洋、東印度洋、西印度洋的氣旋強度及能量指數有何影響。

（二）前段研究結果與討論二之表十六、表十七與以下圖二十二、圖二十三呈現此分析的結果：

1. 就全印度洋而言，就如同前段研究結果與討論二的結果，強正 IOD 年與強負 IOD 年的最大氣旋強度與能量指數皆明顯大於正常年，而強正 IOD 年與強負 IOD 年間則無顯著差異。
2. 就西印度洋而言，只有強正 IOD 年的最大氣旋強度明顯大於正常年，其餘組別皆未達顯著差異。
3. 就東印度洋而言，強正 IOD 及強負 IOD 年的最大氣旋強度與能量指數皆明顯大於正常年，而強正、負 IOD 年間則無顯著差異。



圖二十二：不同 IOD 類別年度全印度洋、西印洋、東印度洋的年度最強氣旋強度平均值比較。圖中有底線的數據表示該數值通過 T 檢定 0.1 信心水準，與正常年數值有顯著差異，詳細數據請見表十六。



圖二十三：不同 IOD 類別年度全印度洋、西印洋、東印度洋的年總氣旋能量指數 ACE 平均值比較。圖中有底線的數據表示該數值通過 T 檢定 0.1 信心水準，與正常年數值有顯著差異，詳細數據請見表十六。

(三) 可見不論正、負 IOD 年，東印度洋的氣旋強度和能量指數皆會明顯增強，而西印度洋則只有在正 IOD 年時，其氣旋強度才會明顯高於正常年。

(四) 另外，我們也分別分析了正常年、強正、強負 IOD 年時，東西印度洋的最大氣旋強度和能量指數是否有明顯差異，結果如表十八所示，不論是正常年還是正、負 IOD 年，東印度洋的最大氣旋強度皆明顯高於西印度洋，但能量指數則東、西印度洋

並無顯著差異。可推論東印度洋較容易出現強度較大的氣旋，但氣旋生命週期較短，西印度洋的氣旋則傾向出現強度較小，而生命週期較長的氣旋。

表十八：西印度洋（WIO）與東印度洋（EIO）的年度最大氣旋強度、年度總能量指數（ACE）於不同 IOD 類別年度之 T 檢定結果

正常年WIO VS EIO			
		氣旋強度	氣旋能量指數
	F檢定P值	0.3648	0.4367
	T檢定P值	0.0267	0.2573
強正IOD年WIO VS EIO			
		氣旋強度	氣旋能量指數
	F檢定P值	0.2978	0.1979
	T檢定P值	0.0895	0.9707
強負IOD年WIO VS EIO			
		氣旋強度	氣旋能量指數
	F檢定P值	0.5387	0.1952
	T檢定P值	0.0938	0.1361

四、探討印度洋偶極現象影響氣旋強度、能量指數的可能因素？

由前面的分析可以確定 IOD 出現年度，印度洋氣旋的最強強度和總 ACE 皆有提升，明顯比正常年要來的高。但其影響的原因或機制為何呢？

因 IOD 現象的定義是東或西印度洋洋面溫度連續三個月絕對值大於長年平均值 0.4°C 以上，因此我們想是否海溫提升，會導致氣旋強度和能量指數增加？表十九為不同 IOD 類別年度，東、西印度洋的年度氣旋最大強度、總 ACE 占全印度洋的比例。由表十九可以發現，不論是最大強度或總 ACE，任何 IOD 類別年度，東印度洋的數據皆比西印度洋高。而在強正 IOD 年時，東印度洋最大氣旋強度占全印度洋比例下降了，且強正 IOD 年時西印度洋總 ACE 比例明顯高於正常年和強負 IOD 年，顯示當西印度洋海溫異常增高時，西印度洋的氣旋能量會提高，且東印度洋的氣旋強度會傾向降低。

此外，在強負 IOD 年時，東印度洋的氣旋強度與總 ACE 比例皆較強正 IOD 年及正常年提高，可見當東印度洋海溫異常增加時，會使東印度洋的氣旋強度和能量皆提高。

由以上觀察，我們推論東、西印度洋海溫的異常提高，可能是 IOD 年度影響氣旋強度與能量的因素之一。

表十九：西印度洋（WIO）與東印度洋（EIO）的年度最大氣旋強度、年度總能量指數（ACE）於不同 IOD 類別年度占全印度洋的比例

IOD類別	最大強度		總ACE	
	WIO	EIO	WIO	EIO
正常年	63.60%	94.20%	38.20%	61.80%
強正IOD年	65.30%	91.90%	49.50%	50.50%
強負IOD年	68.90%	97.60%	28.80%	71.20%

陸、結論

一、不論是以 25 年（1995~2019）或 40 年（1980~2019）的時間尺度，北印度洋的空間尺度來看，印度洋發生偶極現象的年度，其年最大氣旋強度平均值與年總氣旋能量指數平均值，均顯著高於正常年。但氣旋之發生個數、路徑、氣旋季長度等則和正常年無明顯差異。

二、以全年總 DMI 數值輔助選取較強 IOD 年度，可發現年總 DMI 絕對值愈大的 IOD 年份，其最大氣旋的強度平均值越強，年總 ACE 的平均值也愈高。可知當有 IOD 現象出現時，則東或西印度洋海溫全年異常累加程度愈大，全印度洋氣旋的強度與 ACE 也傾向愈強。

三、經資料分析及統計檢定後，我們發現，不論正常年還是正、負 IOD 年，東印度洋的最大氣旋強度平均值皆明顯大於西印度洋，但東、西印度洋的總氣旋能量指數的平均值則無顯著差異。故推論發源於東印度洋的氣旋傾向生命週期較短但強度較強，西印度洋的氣旋則傾向生命週期長而強度較弱。

四、經資料分析及統計檢定後，當正 IOD 年時，西印度洋總 ACE 比例提升，反之負 IOD 年時，東印度洋總 ACE 比例提高。故推論海溫的上升，應是 IOD 年氣旋強度、能量指數顯著較高的原因之一。

柒、參考資料及其他

1. 日本氣象廳

<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>

2. 美軍聯合颱風警報中心（Joint Typhoon Warning Center）

<https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html?north-indian-ocean>

3. 美國國家海洋暨大氣總署（NOAA）

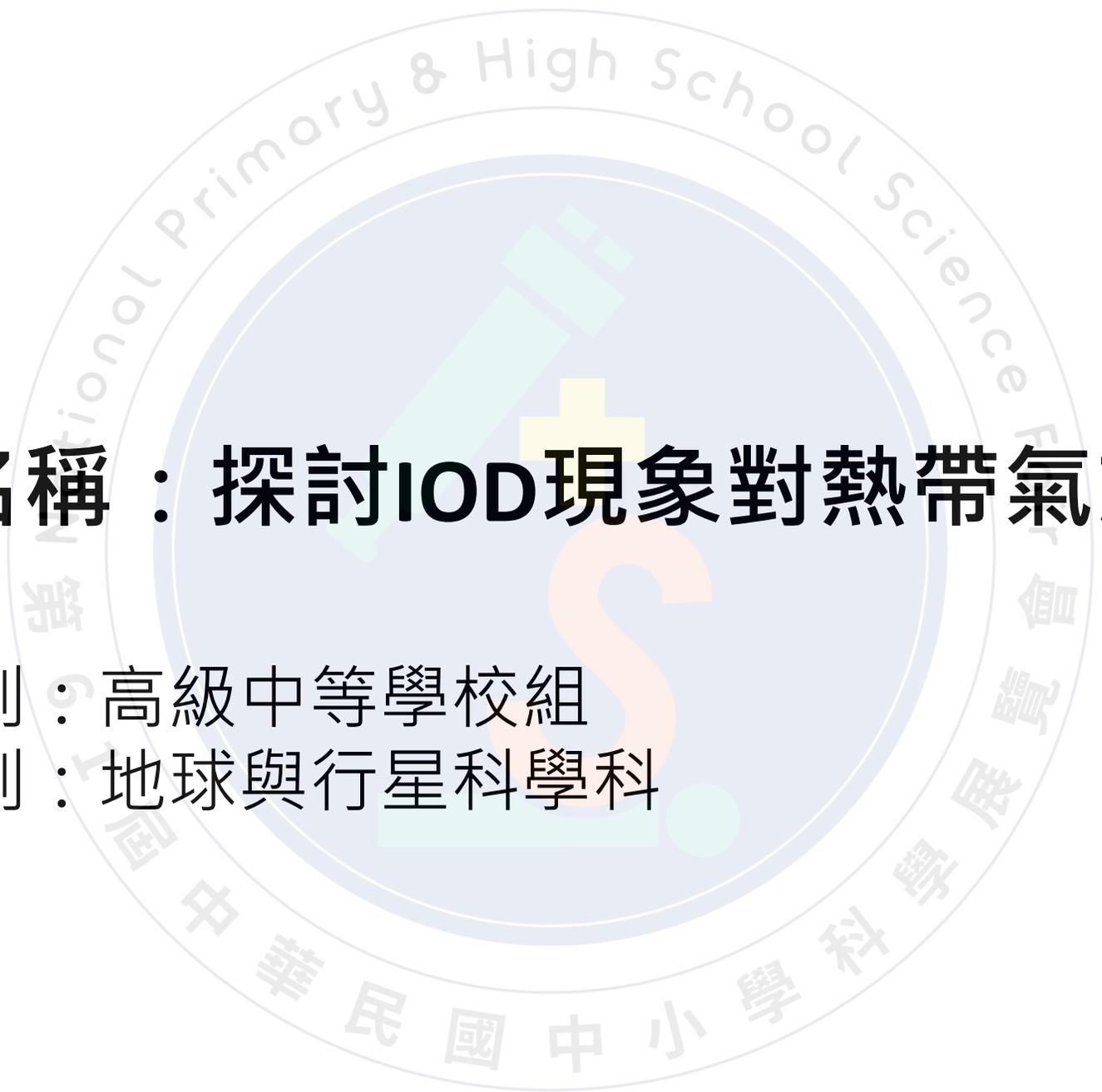
<https://www.noaa.gov/>

【評語】 051904

以大數據分析方法探討印度洋偶極震盪 IOD 與熱帶氣旋生成與發展之影響，並以印度洋東西兩側 IOD 相位變化連結熱帶氣旋活動的空間變化，透過數據科學探究了解 IOD 變動與熱帶氣旋活動之關係，研究分析完整，研究結果明確。問題回答還有加強之空間。

數據研究分析完整，氣旋分類的分析能呈現出研究目的，顯示分析規劃架構清晰，結果具參考價值。對各種氣候名詞宜解釋清楚，特別是對不同變數間之關聯性建議多作解釋。動機中提到澳洲大火和印度洋偶極事件，但整篇研究並沒有說明這兩者有何關聯性，第二頁中 WIN 海域範圍圖文不符(圖包含到北緯 10 度)，宜再檢視修正。

作品簡報



作品名稱：探討IOD現象對熱帶氣旋之影響

組別：高級中等學校組
科別：地球與行星科學科

研究問題

- Q1. 正（負）偶極現象發生時，該年北印度洋氣旋之氣旋特徵（個數、強度、生成位置、路徑及氣旋季長度）是否會有不同變化？
- Q2. 較強的正（負）偶極年度出現時，該年氣旋強度與能量指數是否有增加情形？
- Q3. 較強的正（負）偶極年度出現時，對東、西印度洋氣旋強度、能量指數是否有不同影響？
- Q4. 探討印度洋偶極現象影響氣旋強度、能量指數的可能因素？

文獻探討

(一) 印度洋偶極震盪 (Indian Ocean Dipole , IOD)

正IOD時期：DMI數值大於 0.4°C 並持續三個月

負IOD時期：DMI數值小於 -0.4°C 並持續三個月

正常年：非負IOD時期且非正IOD時期

(二) DMI (Dipole Mode Index) 指數

定義：WIN數值 - EIN數 (取自日本氣象廳)

(三) 氣旋能量指數 (Accumulated cyclone energy , ACE)

$$\text{ACE} = 10^{-4} \sum v_{\max}^2 \quad (\text{取自NOAA定義})$$

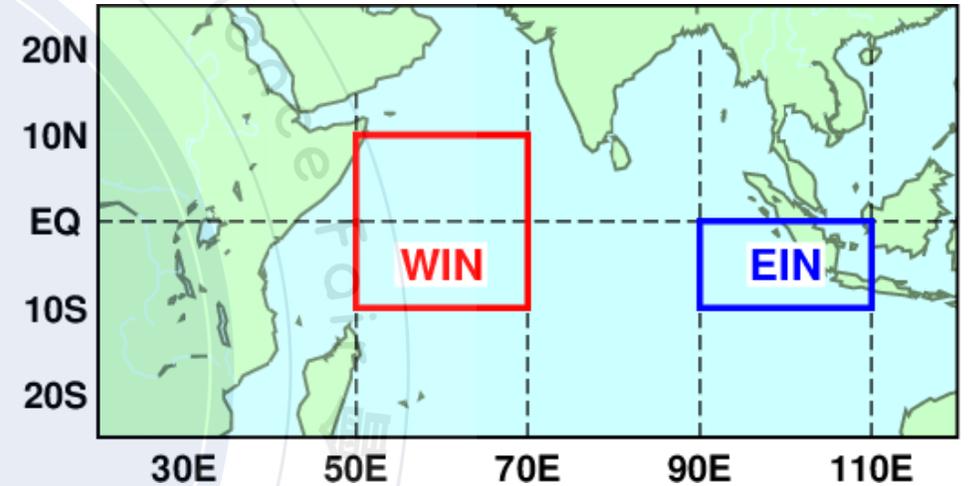


圖1.日本氣象廳計算DMI海溫數據採用範圍

【WIN海域 (紅) : $50^{\circ} \sim 70^{\circ}\text{E}$ 、 $10^{\circ}\text{S} \sim 0^{\circ}\text{N}$;
EIN海域 (藍) : $90^{\circ} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 、 $10^{\circ}\text{S} \sim 0^{\circ}$ 】

研究過程1--北印度洋熱帶氣旋數據整理

(一) 資料來源：

自Joint Typhoon Warning Center取得1980~2019年，共40年期間各北印度洋熱帶氣旋的數據。

(二) 數據處理：

將上述資料用Excel，整理、計算定義時間區間內的氣旋資料

1. 氣旋個數
2. 氣旋強度(節)
3. 氣旋能量指數(ACE)
4. 氣旋生成地點(東、西印度洋)
5. 氣旋路徑(西行、拋物線行)

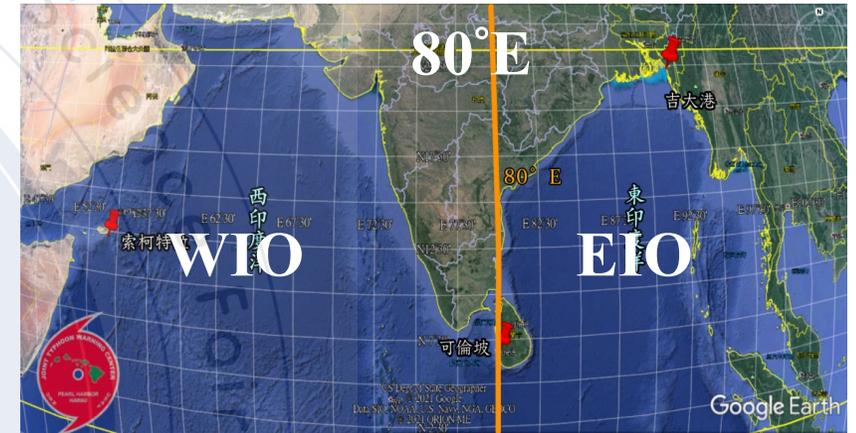


圖2.劃分東印度洋 (EIO)、西印度洋 (WIO)

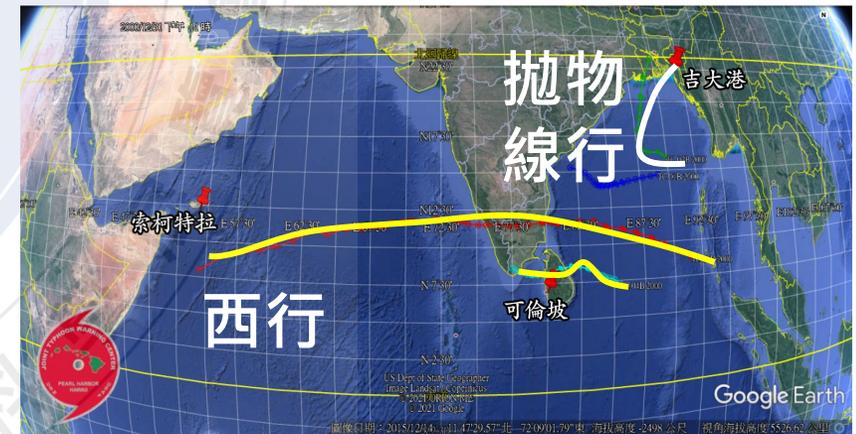


圖3.西行與拋物線行氣旋路徑示意圖

研究過程2--DMI數據整理與確定IOD事件發生時間

(一) 資料來源與時間範圍：

自日本氣象廳取得1980~2020年每月DMI數值

(二) 數據處理：

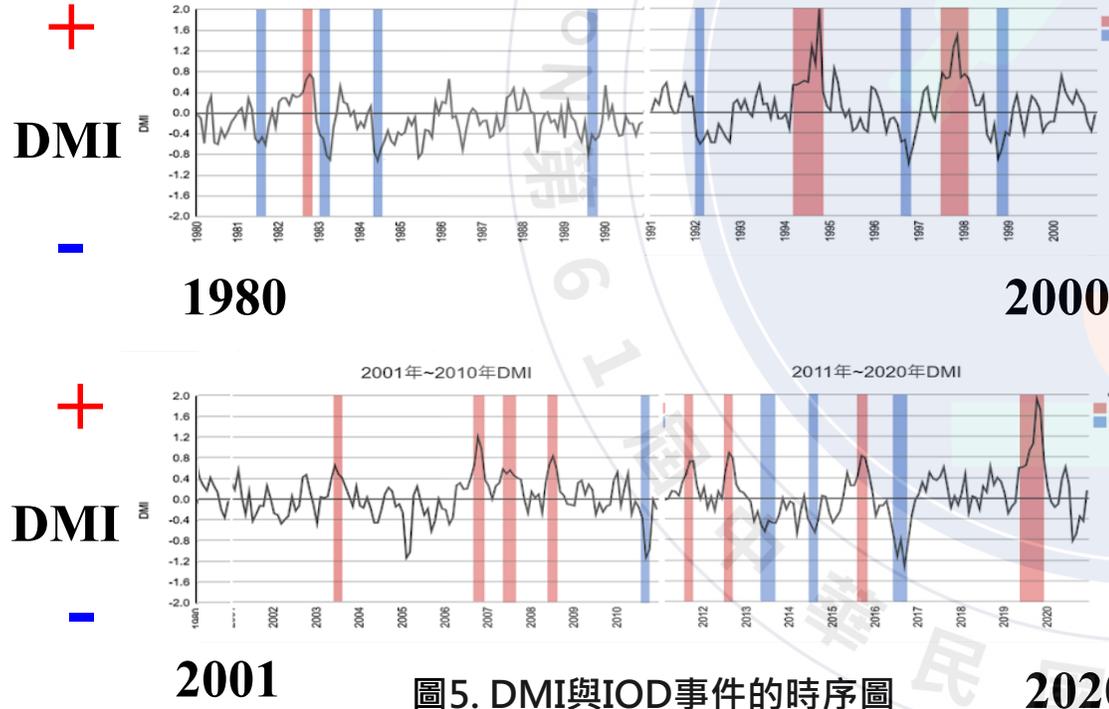


圖5. DMI與IOD事件的時序圖

1月~12月

年度	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
1980	-0.03	-0.1	-0.58	0.13	0.32	-0.57	-0.6	-0.31	-0.47	-0.34	-0.17	-0.08	
1981	0.03	0.1	-0.24	0.28	0.08	-0.49	-0.57	-0.46	-0.61	-0.22	0.05	-0.27	
1982	0.22	0.29	0.29	0.16	0.36	0.31	0.33	0.4	0.65	0.75	0.67	-0.16	
1983	-0.42	-0.49	-0.82	-0.9	-0.28	0.02	0.51	0.21	0.18	-0.05	0.04	-0.3	
1984	-0.17	-0.27	-0.01	0.13	-0.74	-0.92	-0.68	-0.53	-0.34	-0.54	-0.61	-0.37	
1985	-0.42								-0.34	-0.47	0.22	-0.01	
1986	0.22								-0.01	0.09	0.02	-0.23	
1987	-0.15								0.35	0.48	0.05	0.09	
1988	0.45								-0.18	-0.13	-0.32	0.08	
1989	-0.48	0.21	-0.07	-0.15	-0.41	-0.55	-0.17	-0.78	-0.41	-0.52	-0.45	-0.19	
1990	0.54	-0.07	0.14	-0.25	-0.44	-0.42	-0.06	-0.2	-0.2	-0.43	-0.21	-0.17	
1991	0.02	0.25	0.15	0.47	0.57	0.14	-0.02	-0.01	0.32	0.55	0.3	0.31	
1992	-0.46	-0.61	-0.52	-0.37	-0.58	-0.58	-0.23	-0.36	-0.49	-0.58	0.17	0.24	
1993	0.06	0.24	0.01	-0.08	0.3	0.53	0.15	0.17	-0.11	0.25	-0.12	-0.12	
1994	-0.03	-0.31	0.53	0.53	0.57	0.61	0.58	1.27	0.93	2.01	0.4	0.13	
1995	0.03	0.84	0.58	0.1	-0.09	0.04	-0.36	-0.3	-0.12	-0.32	-0.38	0.49	
1996	0.44	0.25	-0.01	-0.39	-0.13	-0.1	-0.23	-0.57	-0.53	-0.98	-0.69	-0.38	
1997	-0.03	0.4	0.49	0.03	-0.15	0.3	0.76	0.65	0.68	1.25	1.48	0.67	
1998	0.74	0.66	0.42	0.13	0.14	0.33	-0.43	-0.57	-0.24	-0.9	-0.7	-0.38	
1999	-0.44	0.08	0.34	-0.05	-0.41	-0.02	0.31	0.23	0.08	-0.38	-0.24	-0.18	
2000	-0.18	0.22	0.7	0.4				0.25	0.13	-0.2	-0.36	-0.04	
2001	0.33	0.18	0.55	0.03				1.29	-0.13	-0.14	0.25	0.01	
2002	-0.28	-0.31	-0.48	-0.4				1.13	0.42	0.47	0.16	-0.11	
2003	-0.47	0.04	0.02	0.05				1.41	0.23	0.05	-0.14	0.24	
2004	-0.13	-0.17	0.03	-0.18	-0.46	-0.46	-0.21	0.1	0.22	0.15	-0.15	-0.1	
2005	-0.27	-1.14	-1.03	0.07	0.24	-0.05	-0.31	-0.19	-0.62	-0.42	0	-0.19	
2006	-0.21	-0.49	-0.36	0.26	0.31	0.19	0.2	0.41	0.66	1.2	0.97	0.37	
2007	0.25	0	0.25	0.31	0.58	0.49	0.56	0.46	0.41	0.38	-0.01	-0.27	
2008	0.14	0.02	0.09	-0.27	0.33	0.67	0.83	0.59	0.14	0.07	-0.1	-0.11	
2009	-0.13	0.31	0.36	0.09	0.28	0.18	-0.3	-0.08	-0.25	-0.14	-0.11	0.36	
2010	0.51	-0.13	0.21	0.49	-0.29	-0.05	-0.16	-0.37	-1.14	-0.98	-0.02	-0.2	
2011	0.17	-0.03	-0.01	0.14	0.13	0.05	0.32	0.47	0.71	0.72	0.24	-0.01	
2012	0.21	-0.19	0.03	-0.23	0.13	0	0.54	0.88	0.78	0.27	0.14	0.11	
2013	0.02	-0.06	-0.44	-0.26	-0.52	-0.64	-0.43	-0.47	-0.48	-0.32	0	-0.21	
2014	-0.06	-0.1	-0.67	-0.25	0.04	-0.39	-0.53	-0.66	-0.38	0.05	0.03	-0.28	
2015	-0.47	-0.36	-0.25	0.07	0.49	0.25	0.25	0.45	0.82	0.78	0.5	0.14	
2016	-0.24	-0.14	-0.14	-0.05	-0.36	-0.74	-1.13	-0.8	-1.32	-0.85	-0.35	-0.04	
2017	0.08	0.31	0.14	0.5	0.38	0.35	0.42	0.6	0.22	-0.18	0.04	-0.13	
2018	0.1	0.46	-0.27	0.01	-0.21	0.23	0.12	0.61	0.26	0.4	0.32		
2019	0.1	-0.29	-0.16	-0.08	0.59	0.6	0.64	0.93	1.06	1.92	1.7	0.73	
2020								5	-0.82	-0.69	-0.35	-0.44	0.15

負IOD

DMI連續3個月≤ -0.4

正IOD

DMI連續3個月≥ 0.4

圖4.判定IOD事件的方法

研究過程3--配合氣旋季時間重新切割DMI資料

(一) 各月份北印度洋 (NIO) 氣旋個數

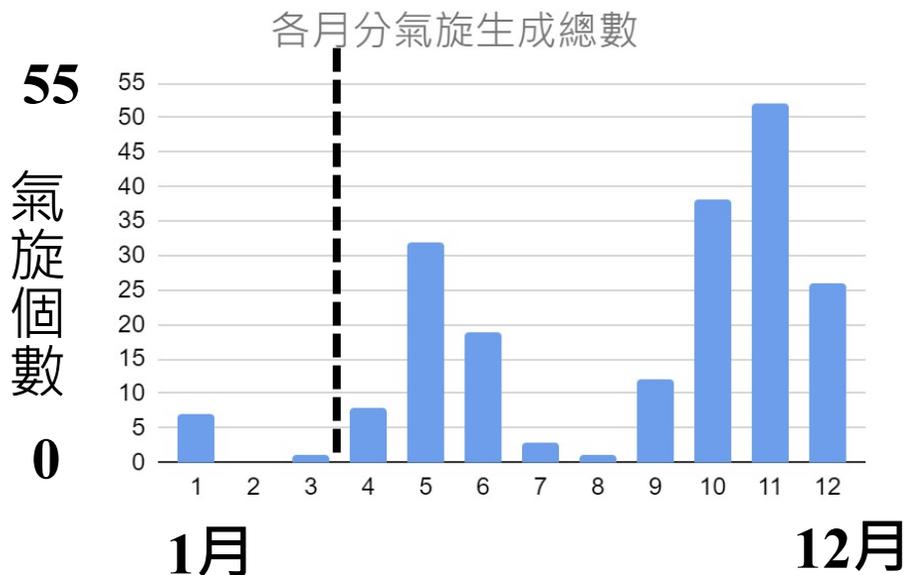


圖6. NIO 1980~2019各月分氣旋總數

根據圖6，且考慮春分時間，我們定義「該年四月至隔年三月為一個北印度洋氣旋年」

(二) 依照氣旋年調整DMI(圖7.)

年度	年份IOD類別												
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	IOD類型
1980	0.13	0.32	-0.57	-0.6	-0.31	-0.47	-0.34	-0.17	-0.08	0.03	0.1	-0.24	正常
1981	0.28	0.08	-0.49	-0.57	-0.46	-0.61	-0.22	0.05	-0.27	0.22	0.29	0.29	負IOD
1982	0.16	0.36	0.31	0.33	0.4	0.65	0.75	0.67	-0.16	-0.42	-0.49	-0.82	正IOD
1983	-0.9	-0.28	0.02	0.51	0.21	0.18	-0.05	0.04	-0.3	-0.17	-0.27	-0.01	正常
1984	0.13	-0.74	-0.92	-0.68	-0.53	-0.34	-0.54	-0.61	-0.37	-0.42	-0.37	-0.1	負IOD
1985	-0.23	-0.08	-0.86	-0.77	-0.32	-0.34	-0.47	0.22	-0.01	0.22	0.19	0.66	正常
1986	-0.09	-0.05	-0.32	-0.71	-0.33	-0.01	0.09	0.02	-0.23	-0.15	-0.14	-0.47	正常
1987	-0.43	-0.05	-0.34	-0.25	0.3	0.35	0.48	0.05	0.09	0.45	0.32	0.03	正常
1988	0	-0.77	-0.22	-0.04	0.02	-0.18	-0.13	-0.32	0.08	-0.48	0.21	-0.07	正常
1989	-0.15	-0.41	-0.55	-0.17	-0.78	-0.41	-0.52	-0.45	-0.19	0.54	-0.07	0.14	負IOD
1990	-0.25	-0.44	-0.42	-0.06	-0.2	-0.2	-0.43	-0.21	-0.17	0.02	0.25	0.15	正常
1991	0.47	0.57	0.14	-0.02	-0.01	0.32	0.55	0.3	0.31	-0.46	-0.61	-0.52	負IOD
1992	-0.37	-0.58	-0.58	-0.23	-0.36	-0.49	-0.58	0.17	0.24	0.06	0.24	0.01	正常
1993	-0.08	0.3	0.53	0.15	0.17	-0.11	0.25	-0.12	-0.12	-0.03	-0.31	0.53	正常
1994	0.53	0.57	0.61	0.58	1.27	0.93	2.01	0.4	0.13	0.03	0.84	0.58	正IOD
1995	0.1	-0.09	0.04	-0.36	-0.3	-0.12	-0.32	-0.38	0.49	0.44	0.25	-0.01	正常
1996	-0.39	-0.13	-0.22	-0.22	-0.57	-0.57	-0.98	-0.58	-0.28	-0.93	0.4	0.48	負IOD

正常年
 正IOD年
 負IOD年

1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019

圖8.氣旋年IOD年份類別判定結果

研究過程4--不同IOD類別年份氣旋特徵值的統計檢定

(一) F檢定與T檢定的意義

1. F檢定：用以判定兩組數據之變異數是否相等。
2. T檢定（獨立雙樣本）：用來比較兩樣本平均數的差異，平均數差異夠大時，則可以判定兩樣本來自兩個不同的母體，即具有顯著差異。而因兩樣本的變異數相同與不同時，T檢定的公式有所不同，所以需先進行F檢定以確定兩樣本的變異數是否相同。

(二) 執行F檢定與T檢定的方法與通過標準

1. F檢定：以Excel函數 F.test，算出P值，若 $P < 0.1$ ，則認定兩樣本變異數不同；若 $P \geq 0.1$ ，則兩樣本的變異數無明顯差異。
2. T檢定：以Excel函數T.test，算出P值，若 $P < 0.1$ ，則認定兩樣本平均數有顯著差異；若 $P \geq 0.1$ ，則兩樣本的平均數無明顯差異。

(三) 將正常年、IOD年、負IOD年氣旋特徵樣本，兩兩做統計檢定

研究過程5--較強IOD年度的挑選

(一) 分析資料採用的時間區間：
1980~2019年，共40年（拉長時間避免資料少）

(二) 挑選較強IOD年分析的目的與分法

目的：為了更明確看出IOD年度對氣旋的影響，選取IOD趨勢較強的年份進一步分析。

分法：較強IOD年：

$$|\text{年DMI總值}| > 0.0815 + 3.408 \times N$$

(三) 挑選結果

1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019

圖10.

0.7個標準差：
樣本數量較多、T檢定P值最小

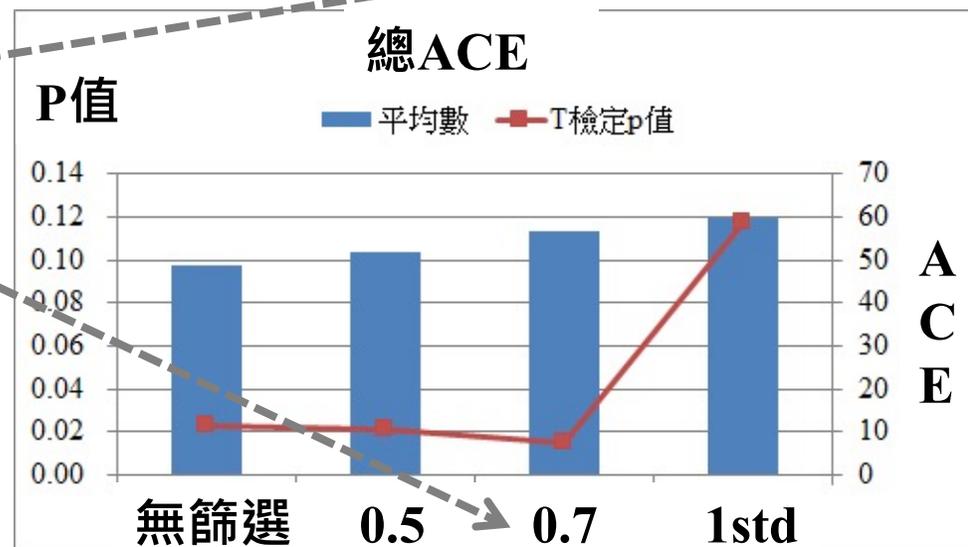


圖9.以DMI0.7個標準差為強IOD年篩選標準的原因

研究結果與討論1--不同IOD年份與氣旋特徵的關係

(一) 氣旋特徵統計值與 T 檢定結果 (1995~2019) 正常年10年，**正IOD年9年**，**負IOD年6年**

通過0.1檢定標準：正常年vs **正IOD年**、
 正常年vs**負IOD年**、正IOD年 vs負IOD年

表1.

氣旋特徵	1.氣旋最強強度累加值(節)		2.氣旋平均強度 (節)		3.最強氣旋強度 (節)	
	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
正常年	299	119.1	59.6	17.9	87	28.6
正IOD年	353.3	162	68.7	18.6	112.8	33.2
負IOD年	426.7	109	69	12.7	115.8	20.1

氣旋特徵	4.氣旋季長度(日)		5.西印度洋氣旋個數比例		6.拋物線行氣旋比例		7.氣旋個數	
	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
正常年	180.1	70.7	0.4	0.31	0.42	0.26	5.1	1.45
正IOD年	184.6	50.8	0.51	0.19	0.31	0.24	5	1.22
負IOD年	212.5	42.3	0.34	0.17	0.34	0.17	6.3	1.97

(二) 小結

只有「氣旋最強強度累加值」**負IOD年**的平均數，與「最強氣旋強度」**正、負IOD年**的平均數，明顯大於正常年。其餘組合的平均數差異皆未達0.1的顯著水準(表1)

研究結果與討論2--較強IOD年度對印度洋氣旋的影響

表 2. ↓

分析期間：1980~2019

(一) 氣旋特徵平均值
與T檢定結果 (表 2、3)

(二) 全印度洋(IO)

1. 強正 IOD、強負

IOD年時，最強氣旋強度及總能量指數 ACE 皆明顯大於正常年。

2. 強正 IOD、強負

IOD年間的氣旋強度與總ACE 無顯著差異

(表3)。

IOD類別	年數	統計量	IO		WIO		EIO	
			最強強度	總ACE	最強強度	總ACE	最強強度	總ACE
正常年	19	平均數	76.58	18.30	48.68	6.98	72.11	11.31
		標準差	27.03	19.18	34.43	12.62	27.70	10.48
強正IOD年	9	平均數	123.33	66.66	80.56	32.96	113.33	33.69
		標準差	17.68	72.11	44.96	50.01	30.62	31.01
強負IOD年	8	平均數	104.38	45.63	71.88	13.12	101.88	32.50
		標準差	28.34	33.73	37.12	17.74	29.15	29.77

表 3. →

	IO		WIO		EIO	
	最強強度	總ACE	最強強度	總ACE	最強強度	總ACE
正常年vs強正IOD年						
F檢定P值	0.222	0.000	0.330	0.000	0.683	0.000
T檢定P值	0.000	0.081	0.048	0.161	0.002	0.065
正常年vs強負IOD年						
F檢定P值	0.809	0.051	0.742	0.232	0.801	0.000
T檢定P值	0.024	0.060	0.131	0.316	0.019	0.087
強正IOD年vs強負IOD年						
F檢定P值	0.210	0.060	0.627	0.013	0.910	0.928
T檢定P值	0.114	0.449	0.673	0.291	0.443	0.937

研究結果與討論3--東西印度洋氣旋強度與ACE的比較

表4. ↓

(一) WIO和EIO氣旋強度和能量指數差異

1. 西印度洋：僅強正 IOD 年的最強氣旋強度明顯大於正常年(表4,圖11)
2. 東印度洋：強正 IOD 及強負 IOD 年的最強氣旋強度與ACE皆明顯大於正常年(表4, 圖11)
3. EIO最強氣旋強度皆明顯大於WIO；但總ACE皆無顯著差異(表5,圖11)

IOD類別	WIO		EIO	
	最強強度	總ACE	最強強度	總ACE
正常年	48.68	6.98	72.11	11.31
強正IOD年	80.56	32.96	113.33	33.69
強負IOD年	71.88	13.12	101.88	32.50

表 5. WIO vs EIO

正常年	最強強度	總ACE
T檢定P值	0.02767	0.2573
強正IOD年	最強強度	總ACE
T檢定P值	0.0895	0.9707
強負IOD年	最強強度	總ACE
T檢定P值	0.0938	0.1361

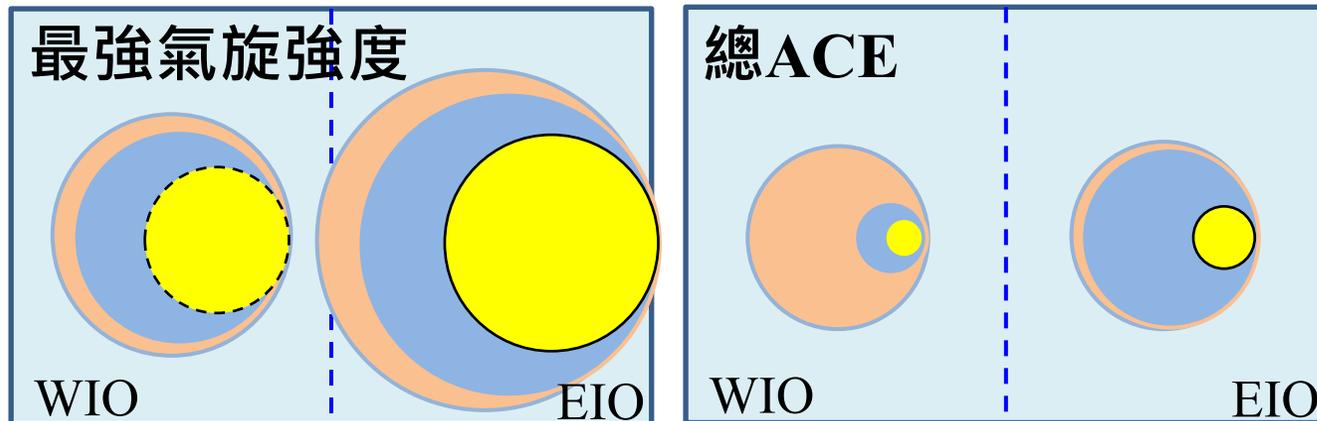


圖 11.

● 正常年 ● 正IOD年 ● 負IOD年

(二) 推論：

1. 印度洋面異常增溫是造成氣旋增強、能量提高的原因之一。
2. WIO氣旋生命長而弱；EIO氣旋生命短而強。

結論

1. **偶極現象**發生的年份，北印度洋熱帶氣旋的**強度**、**能量指數**顯著提高；氣旋個數、路徑、氣旋季長度、西印度洋生成氣旋個數比例則與正常年無明顯差異。
2. **年總 DMI** 絕對值愈大的 IOD 年份，北印度洋氣旋強度、ACE的平均值愈高。
3. **不論**正常年、正、負IOD年，東印度洋氣旋強度均顯著高於西印度洋，但ACE則無顯著差異。
4. **西印度洋**僅正IOD年氣旋強度明顯大於正常年，東印度洋則正、負IOD年氣旋強度、ACE皆顯著大於正常年。
5. **推論**：(1)印度洋洋面異常增溫是造成氣旋增強、能量提高的原因之一。
(2)西印度洋氣旋傾向生命週期長強度小；東印度洋氣旋生命週期短強度大。

參考資料

1. 日本氣象廳
2. 美軍聯合颱風警報中心 (Joint Typhoon Warning Center)
3. 美國國家海洋暨大氣總署 (NOAA)