



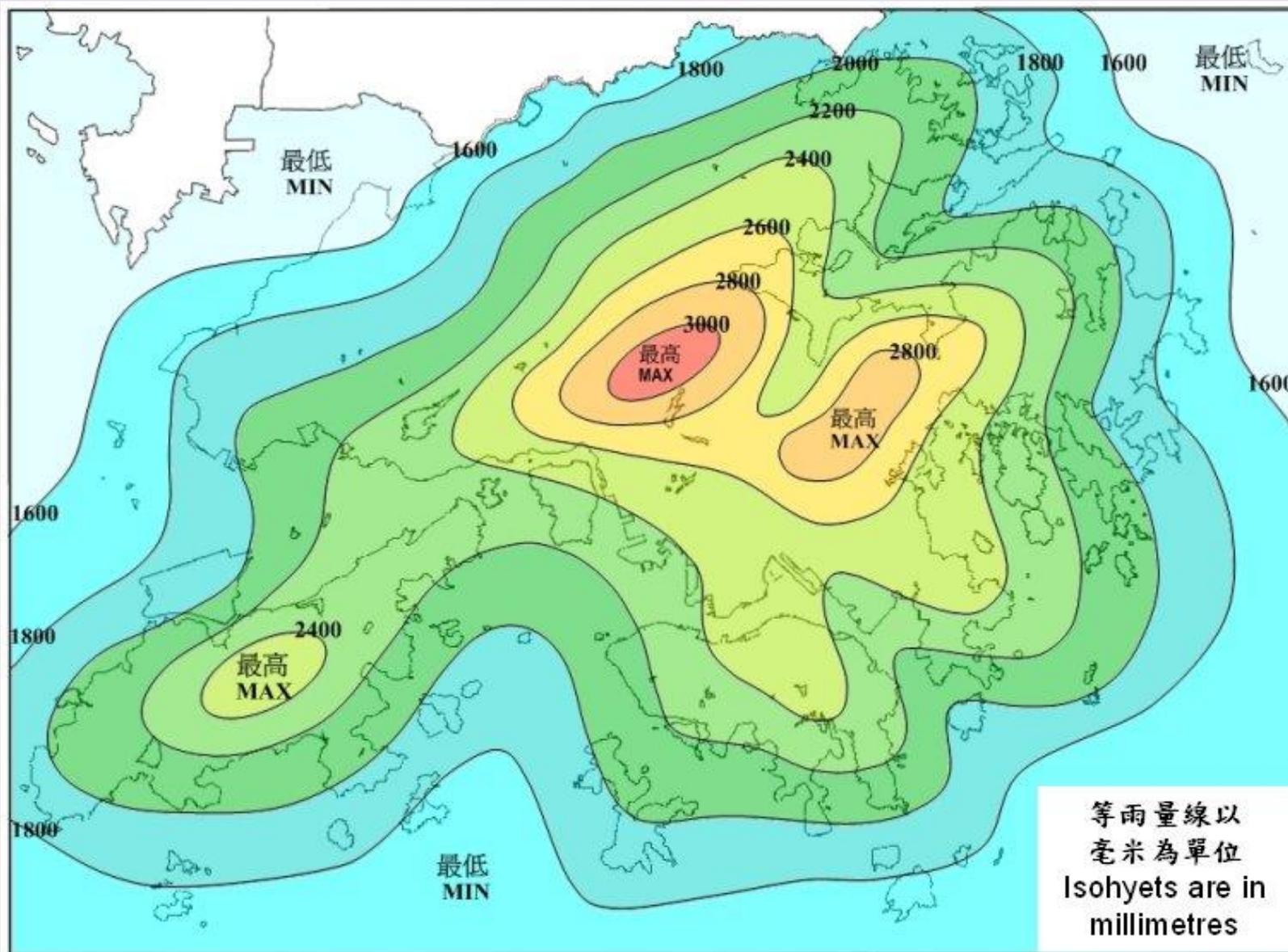
# 氣候變化－燃眉之急

岑富祥  
總學術主任

# 「天氣」 vs 「氣候」

- 天氣 - 大氣每日狀態
- 氣候 - 平均天氣

# 1981-2010年平均降雨量



氣候

# 為什麼我們的氣候正在改變？

- 全球變暖極有可能是由人為的溫室氣體濃度上升所引致。
- 溫室氣體就像無形的大棉被一樣覆蓋地球，引致溫室效應增強，並帶來全球變暖。

# 三大人為溫室氣體

排名	溫室氣體	主要人為排放源
1	二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	使用化石燃料 土地發展/砍伐森林
2	甲烷 (CH <sub>4</sub> )	農業活動 使用化石燃料
3	氧化亞氮 (N <sub>2</sub> O)	農業活動



(c) Ian Britton - FreeFoto.com



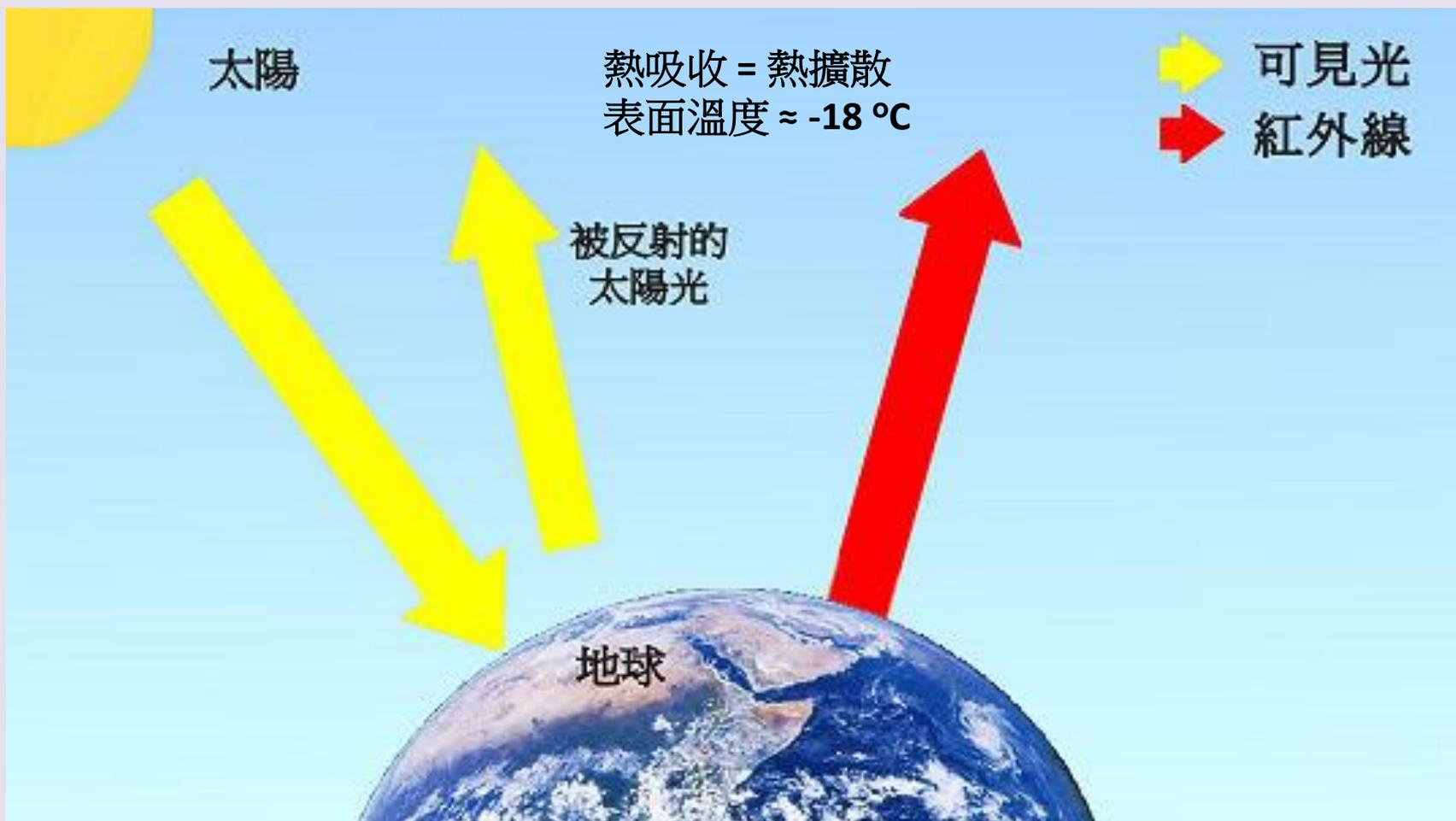
(c) Ian Britton - FreeFoto.com



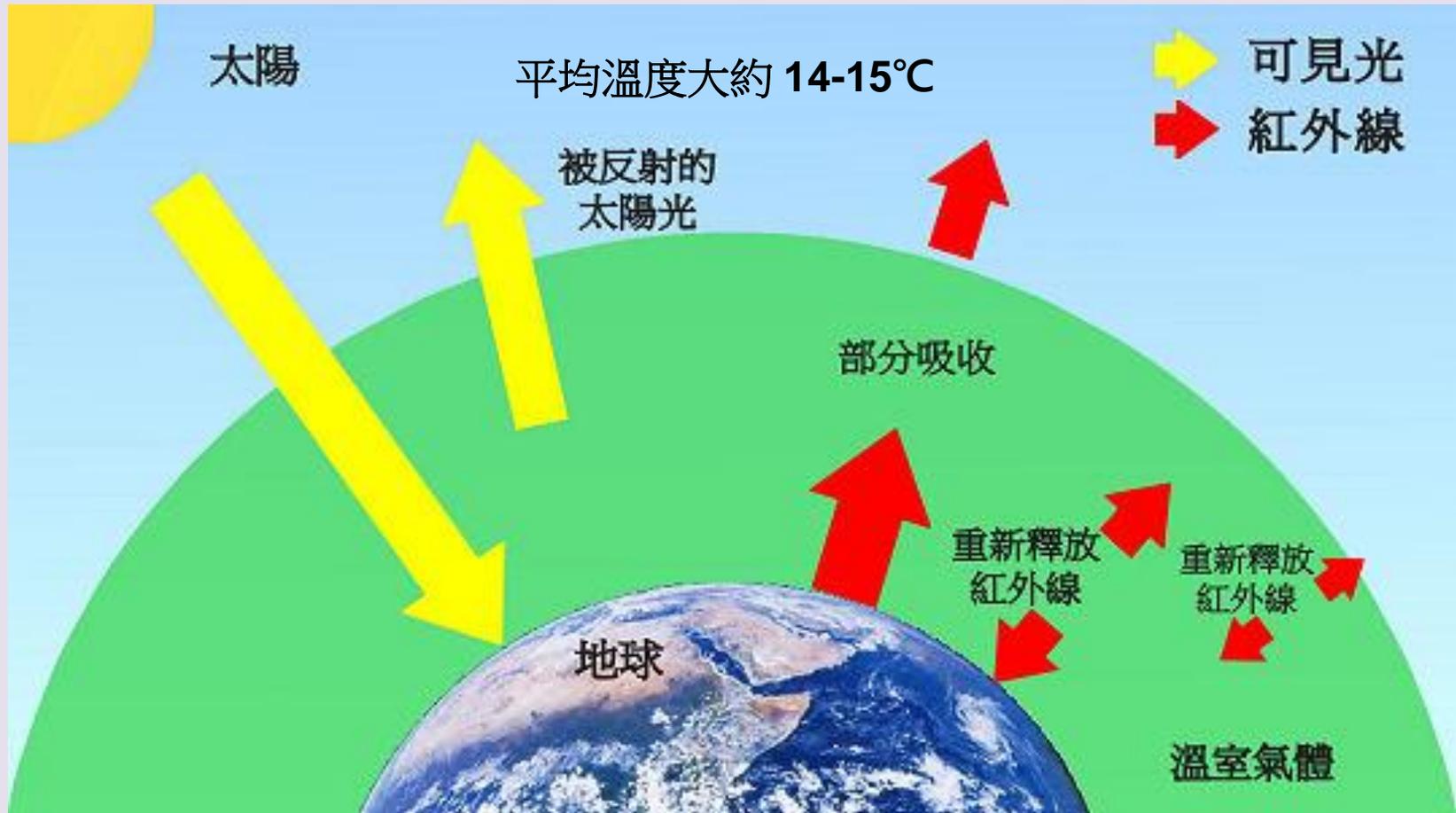
© 2007 Creative Commons  
All Rights Reserved  
http://www.freedownload.com

# 什麼是溫室效應？

大氣層無溫室氣體的情況



# 溫室效應

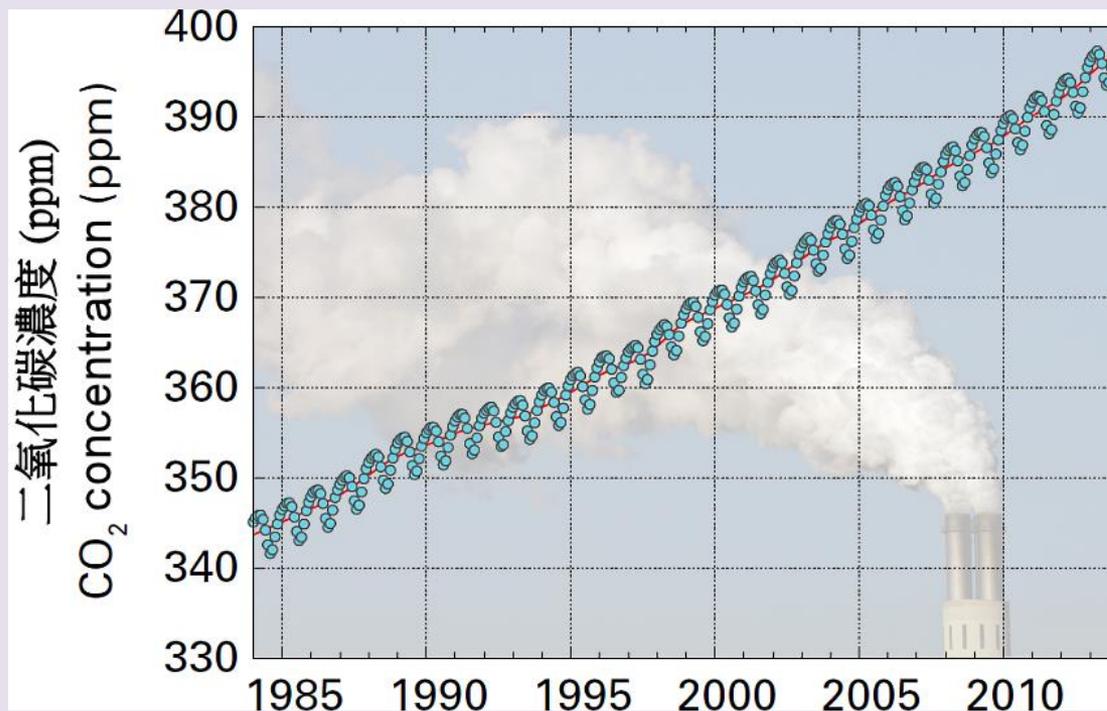


Atmospheric greenhouse gases act like a blanket keeping the earth surface warm.

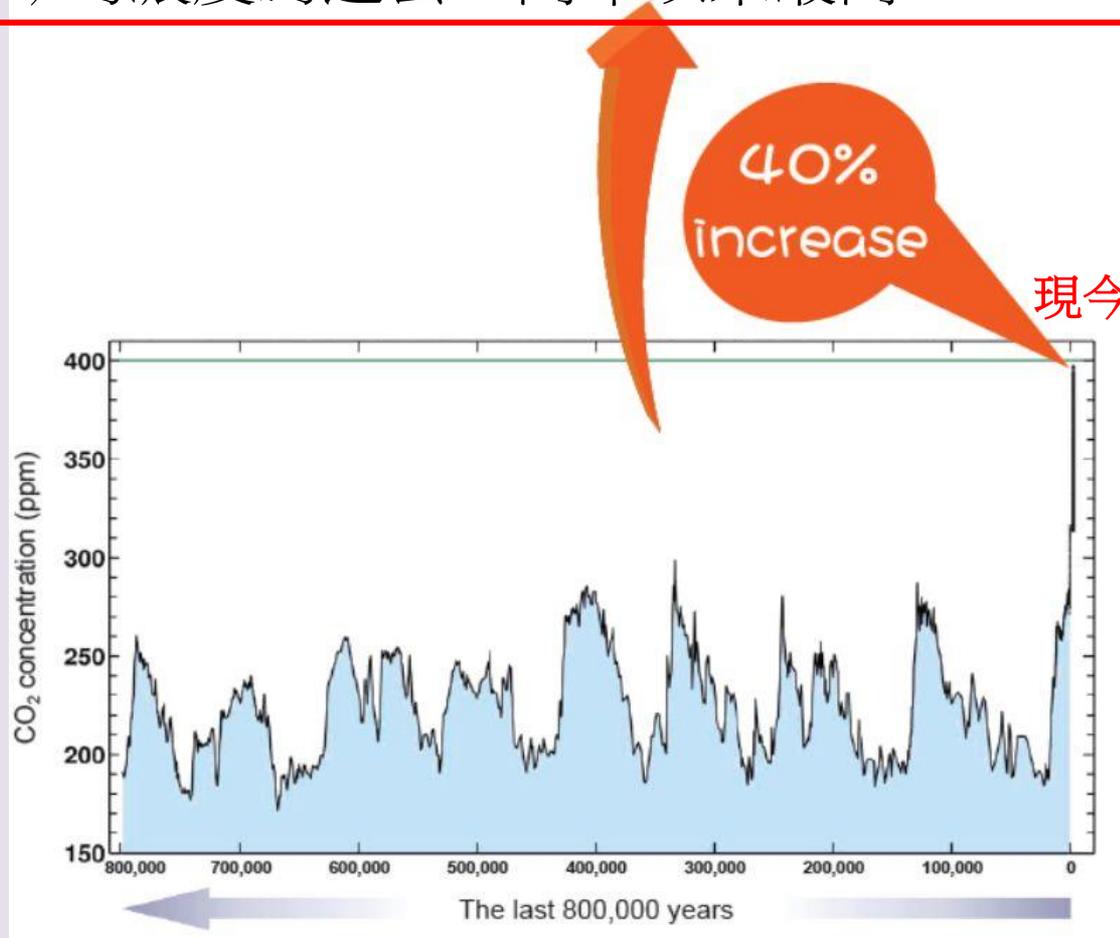
大氣中的溫室氣體就像地球上的一張保暖氈。

# 現今溫室氣體濃度

溫室氣體	2013濃度	與工業革命前比較
CO <sub>2</sub>	396 ppm	+42%
CH <sub>4</sub>	1824 ppb	+153%
N <sub>2</sub> O	326 ppb	+21%



現今的濃度為過去80萬年以來最高



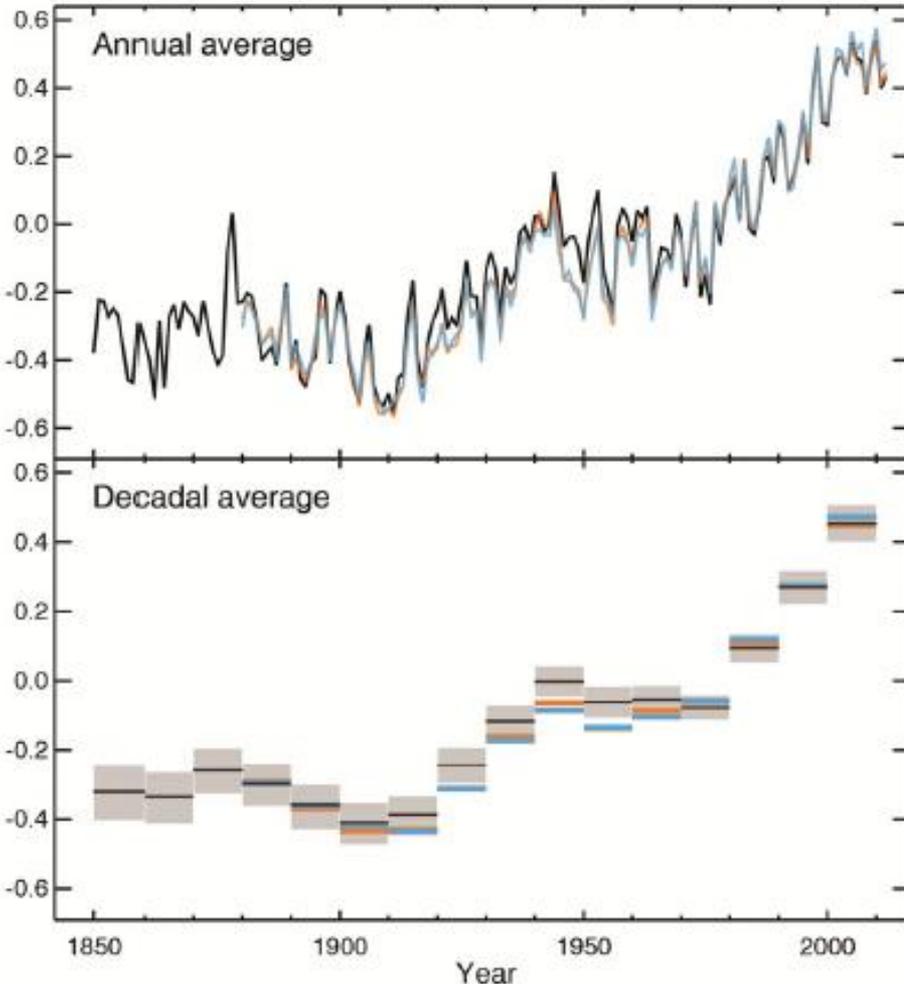
80萬年

人類在1750-2011年期間排放的CO<sub>2</sub>有約40%仍然存留在大氣中，約30%被全球海洋吸收。

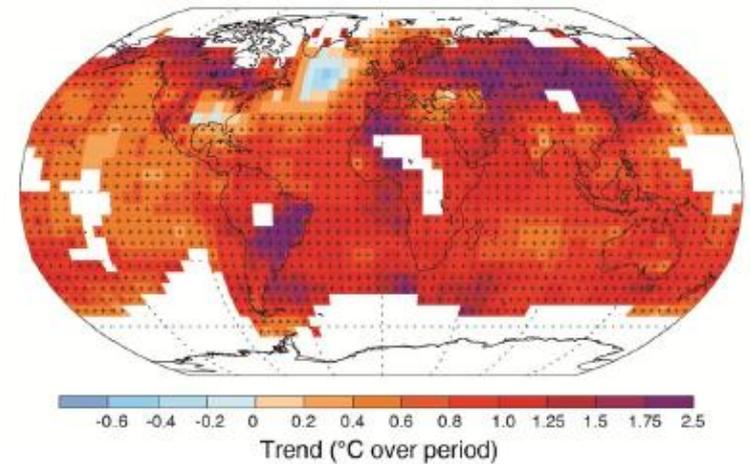
氣候正在改變嗎？

# 全球表面平均溫度在1880至2012年 期間上升了0.85°C

Observed globally averaged combined land and ocean surface temperature anomaly 1850–2012



(b) Observed change in average surface temperature 1901–2012

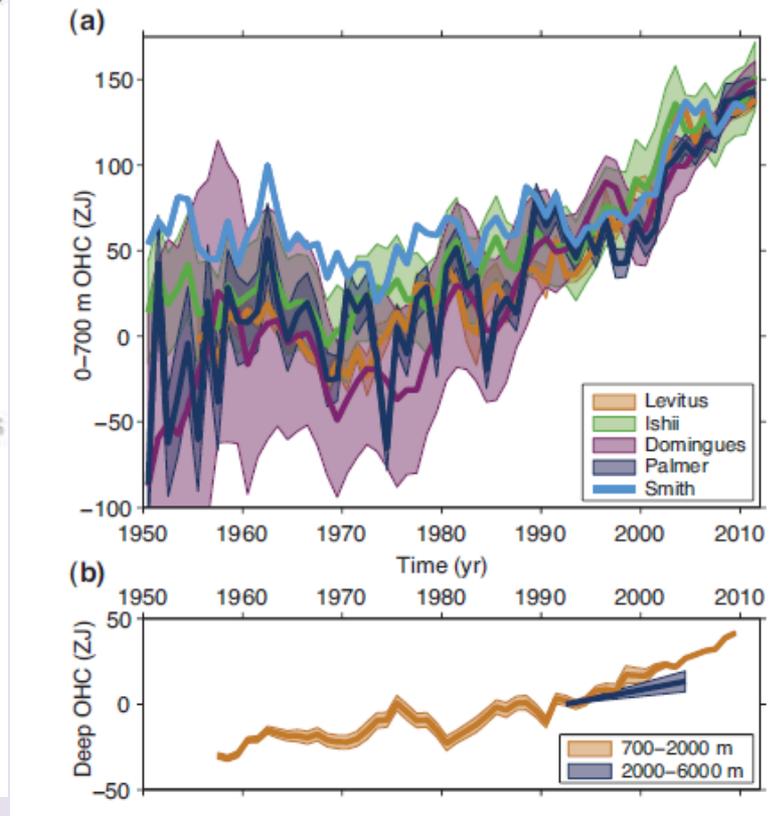
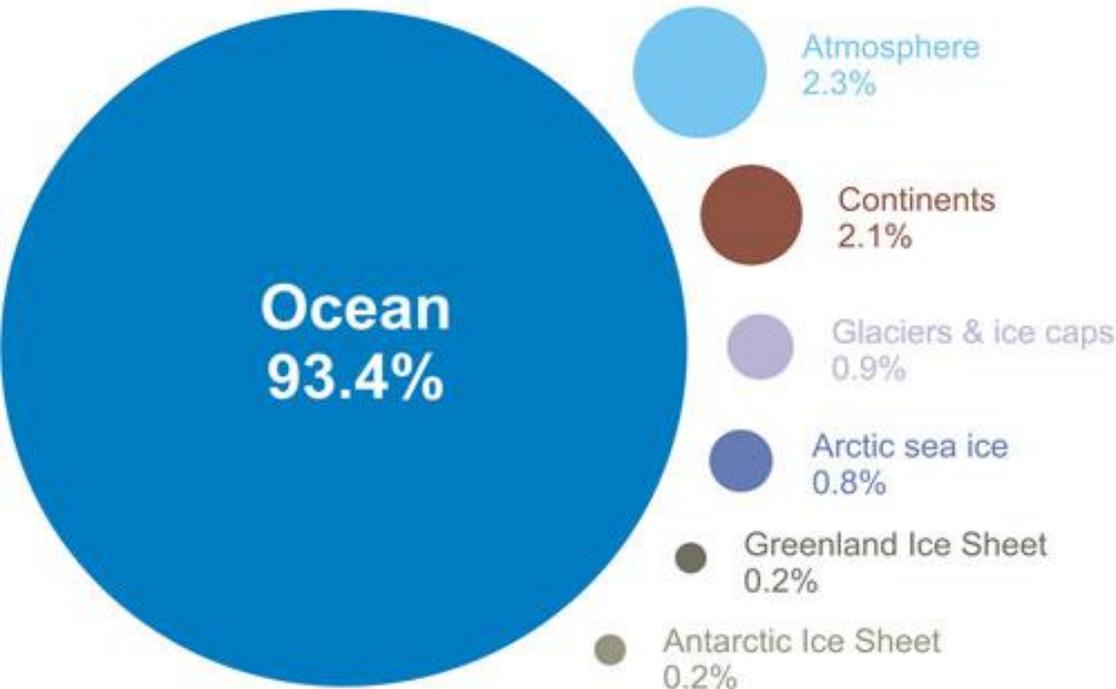


廿一世紀第一個年代是自1850年  
以來最暖的年代

全球幾乎每個角落都變暖了

# 海洋也在變暖

Where is global warming going?



海洋熱含量的變化

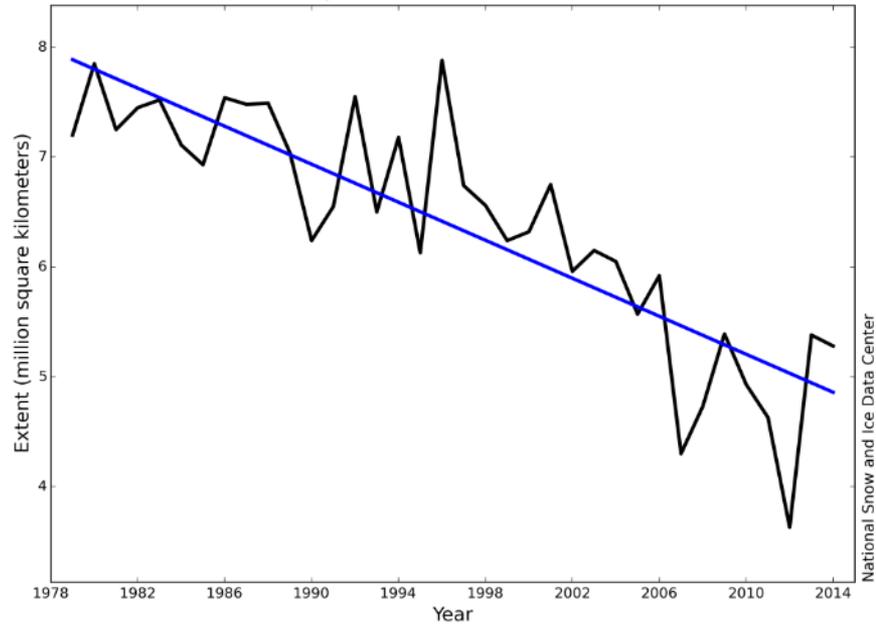
# 北極海冰正減少

1980

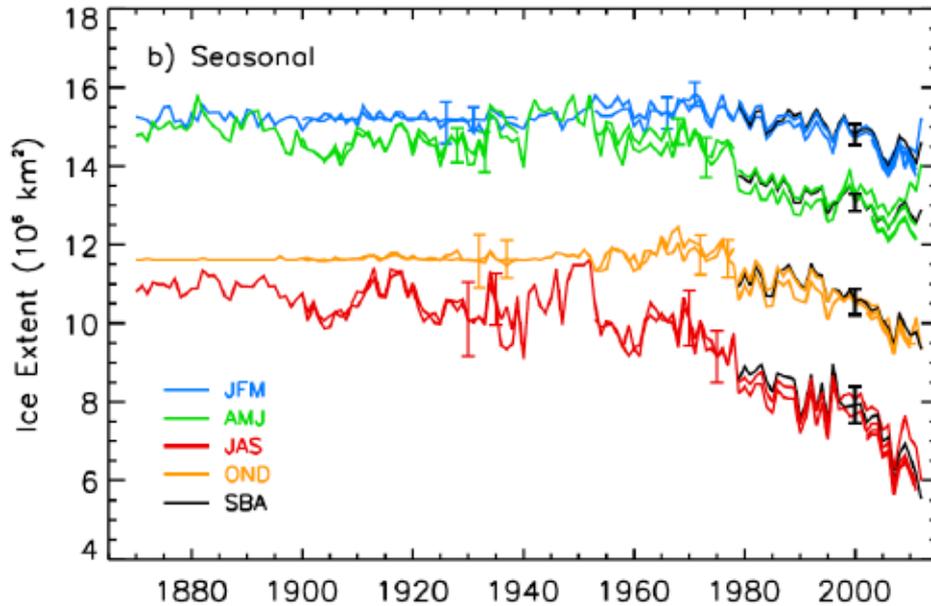
2012

Source: NASA

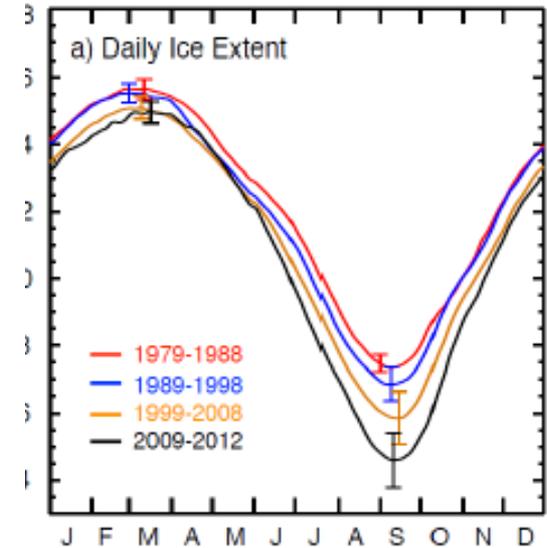
Average Monthly Arctic Sea Ice Extent  
September 1979 - 2014



# 最近30年夏季海冰減少的情況最少在過去1450年來屬於異常



1-3月  
4-6月  
10-12月  
7-9月



1979-2012年海冰範圍



# 冰川融化

阿拉斯加冰川灣 - 謬爾冰川 (Muir Glacier, Alaska's Glacier Bay)



1941年8月13日



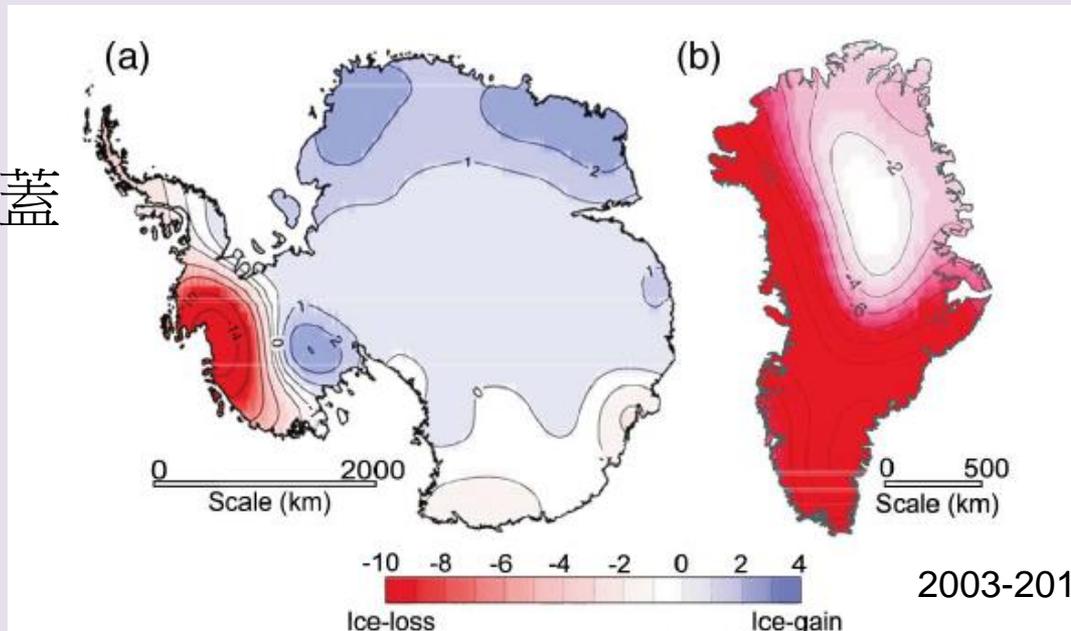
2004年8月31日

在1941年至2004年間冰川撤退了超過十二公里和變薄超過800米。

# 冰蓋質量流失的速度加快

南極冰蓋

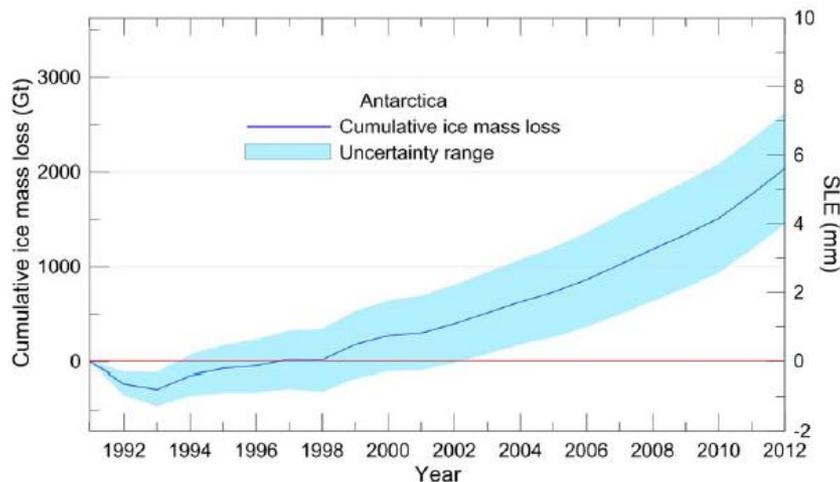
紅色:冰蓋  
質量流失



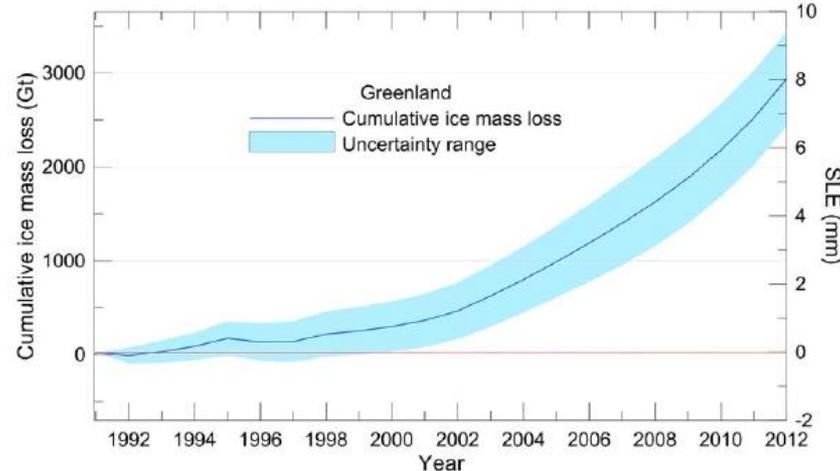
格陵蘭冰蓋

藍色:冰蓋  
質量增加

## 累計質量流失



南極冰蓋

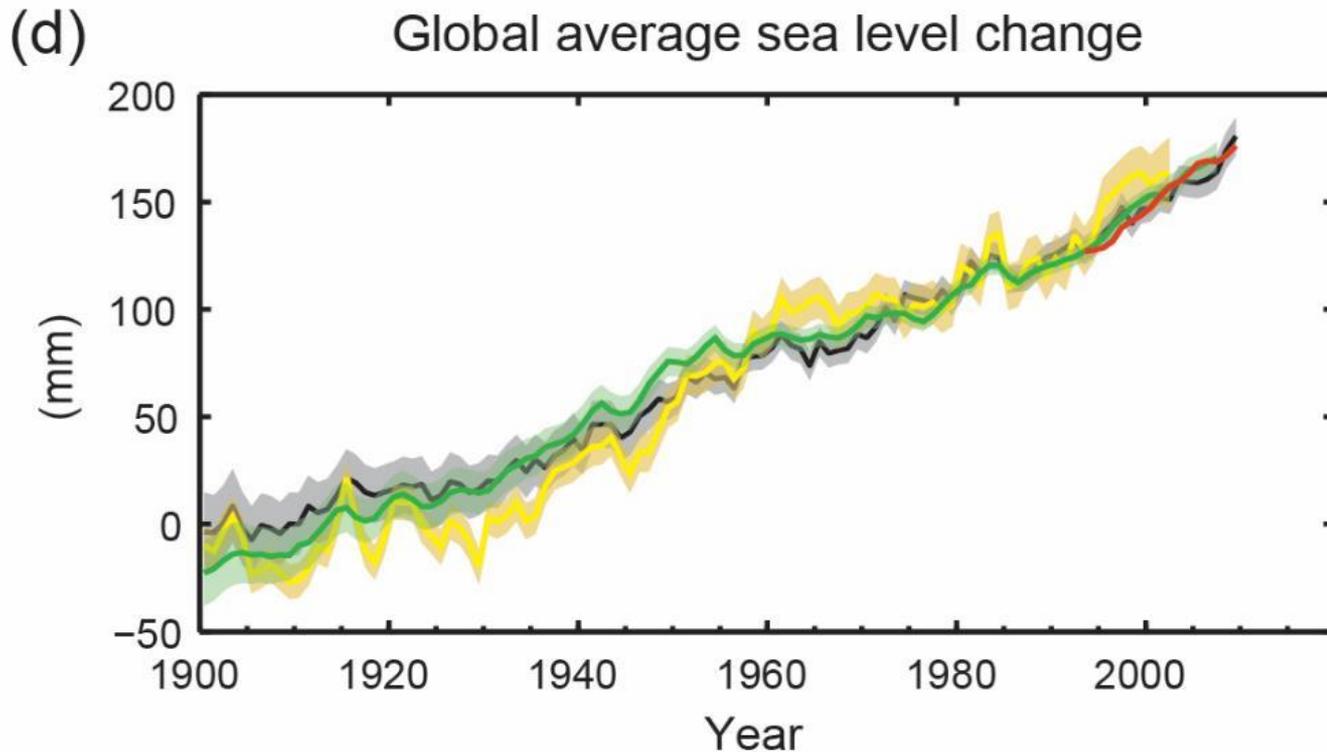


格陵蘭冰蓋

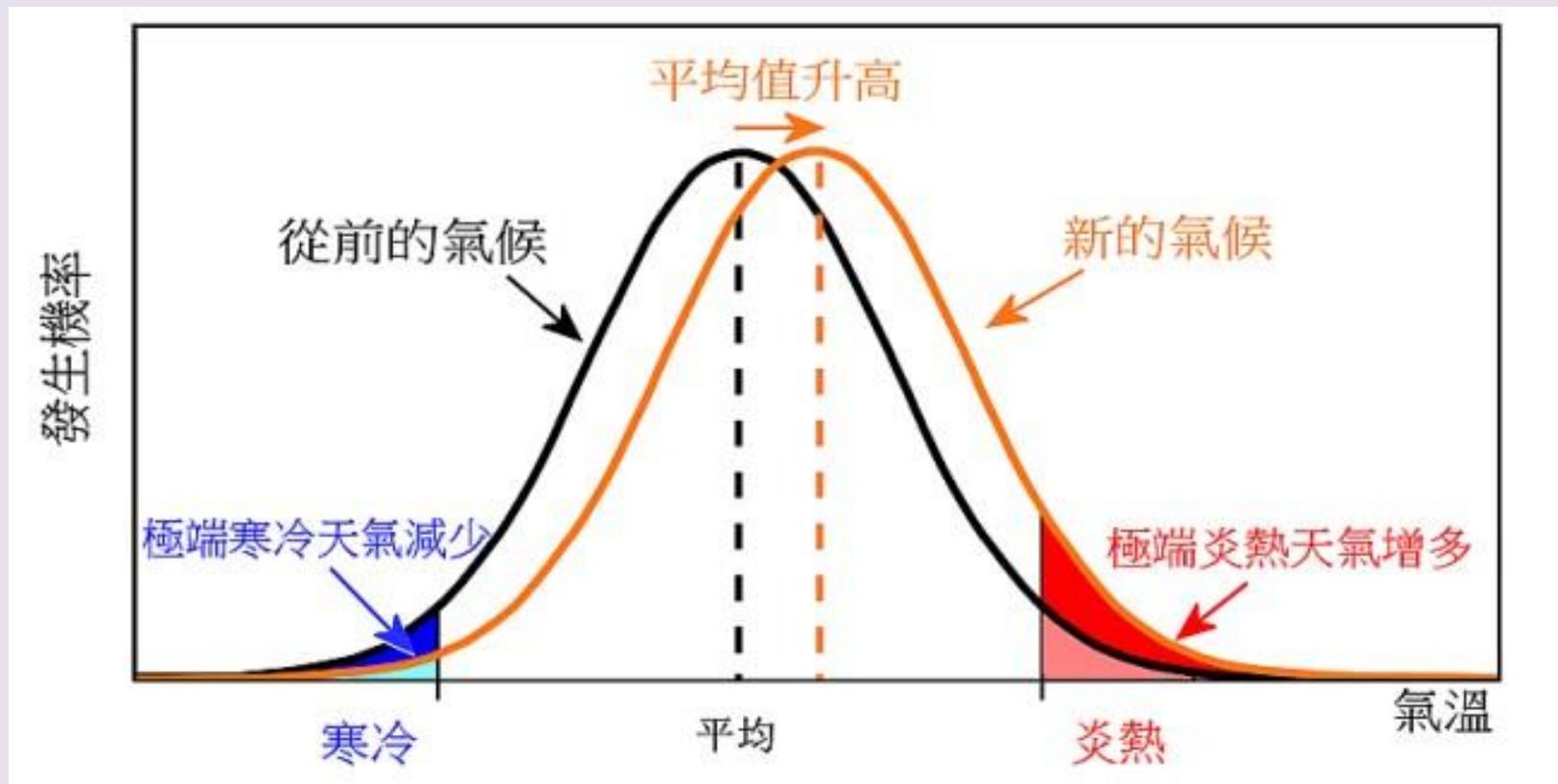
# 自19世紀中期以來全球平均海平面 持續上升

海平面上升因為：

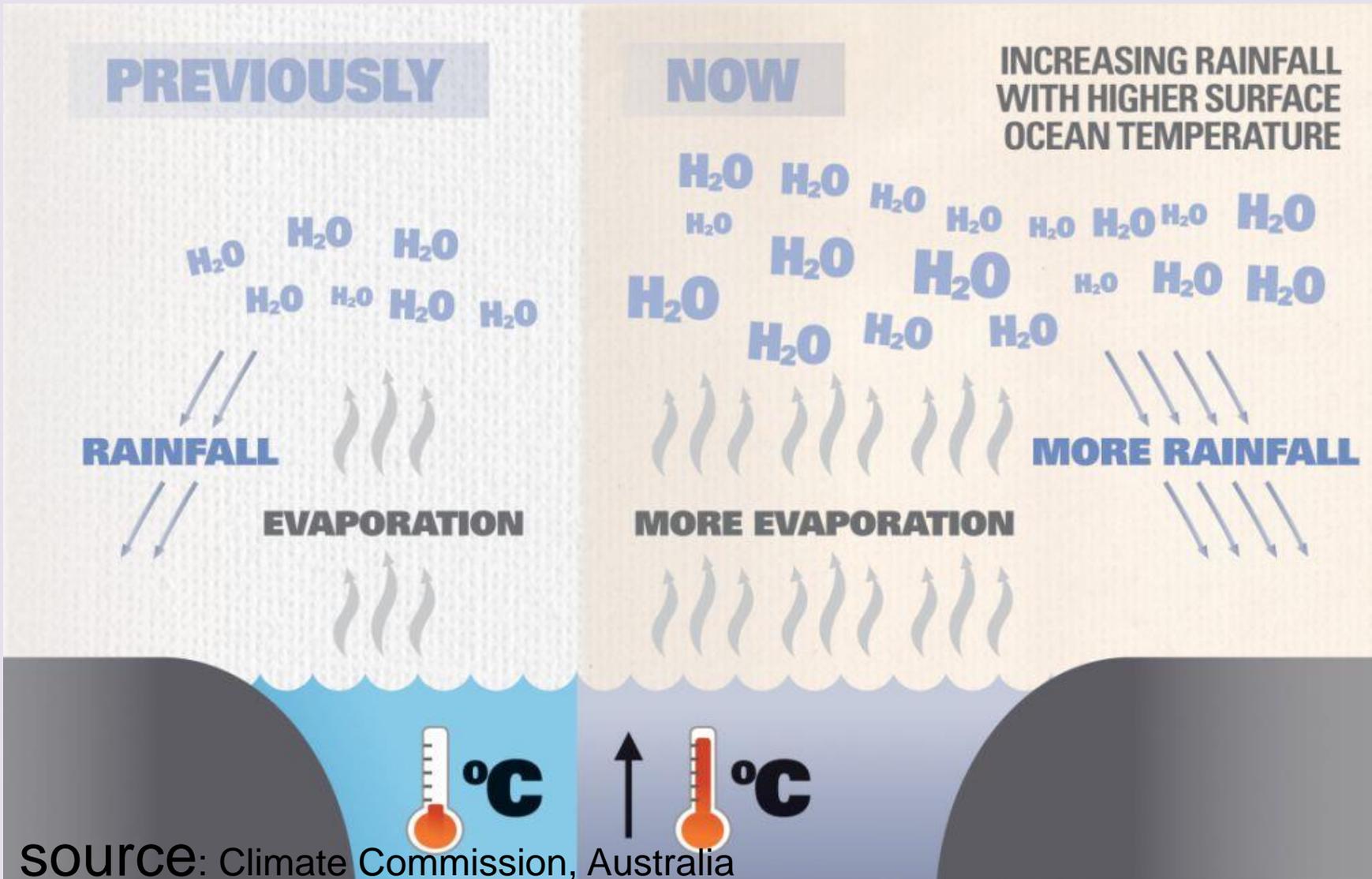
1. 海水受熱膨脹
2. 陸地冰川融化



# 更多極端天氣



# 暖化加劇了水循環



更多乾旱，更多暴雨

自食其果？

# 世界各地的暴雨



boston.com

2011年首爾暴雨



bloomberg.com

2012年7月21日北京暴雨



matome.naver.jp

2012年7月日本九洲暴雨

# 2012/2013年澳洲熱浪

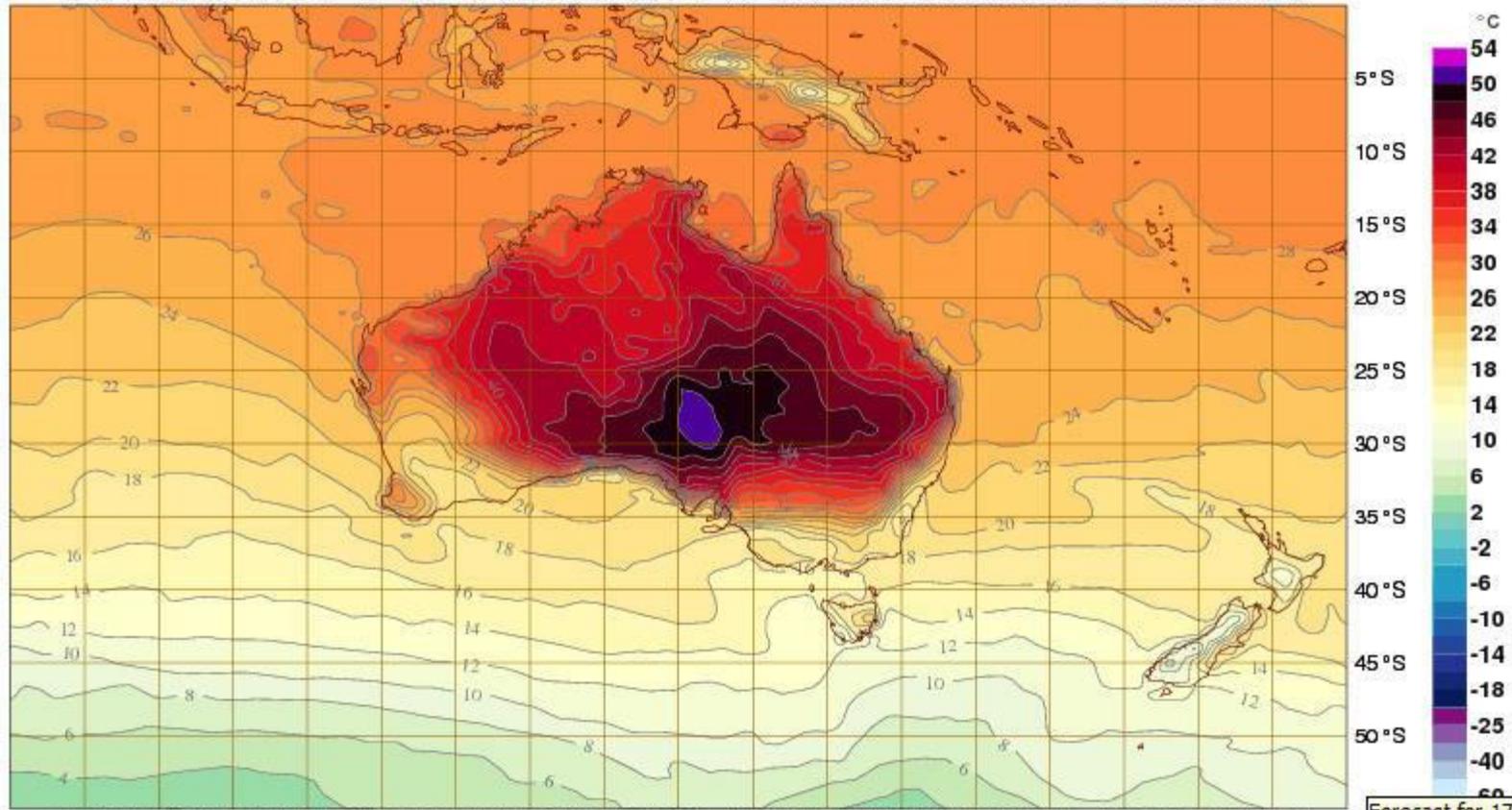
Screen Temperature

Valid 06UTC Mon 14 Jan 2013

ACCESS-Global

t+162

95°E 100°E 105°E 110°E 115°E 120°E 125°E 130°E 135°E 140°E 145°E 150°E 155°E 160°E 165°E 170°E 175°E



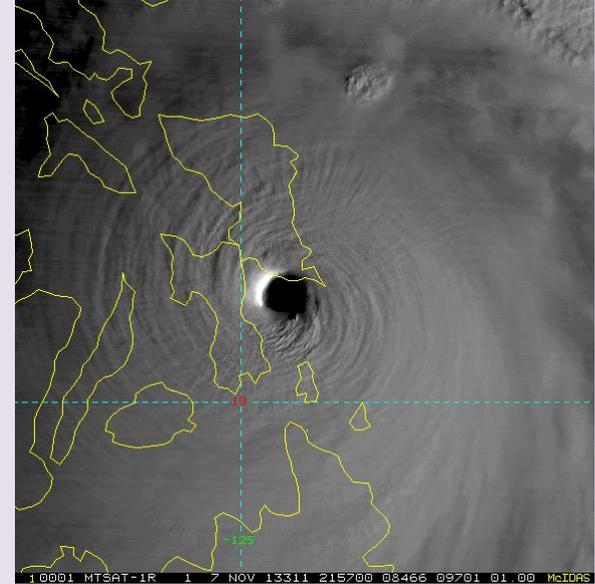
95°E 100°E 105°E 110°E 115°E 120°E 125°E 130°E 135°E 140°E 145°E 150°E 155°E 160°E 165°E 170°E 175°E

© Copyright Commonwealth of Australia 2013, Australian Bureau of Meteorology

Forecast for 17:00 AEDT on Monday 14 January 2013

Source : Bureau of Meteorology

# 2013年超強颱風海燕



Source: Telegraph, UK



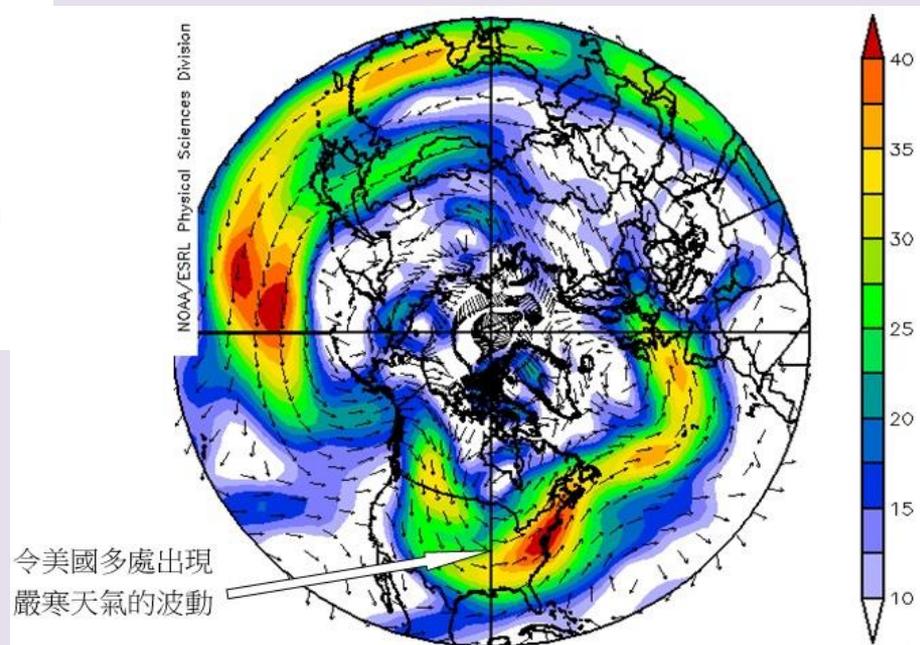
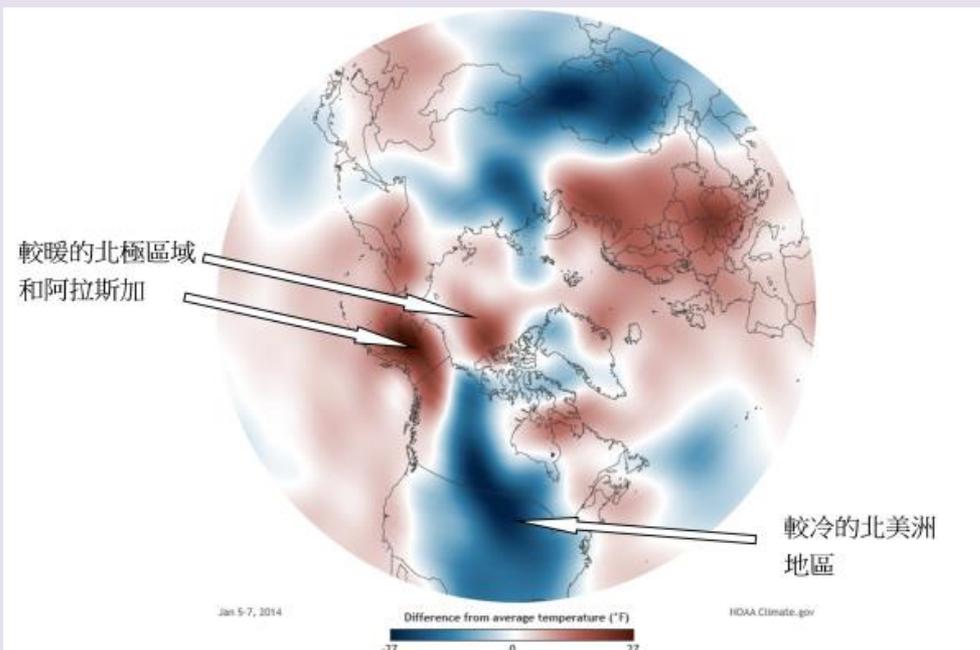
Source: Associated Press

# 2014年初美國東部異常寒冷天氣



來源:英國衛報

海冰減少或令極地與熱帶地區之間的溫差減少，導致北半球高空西風減慢，容易出現波動

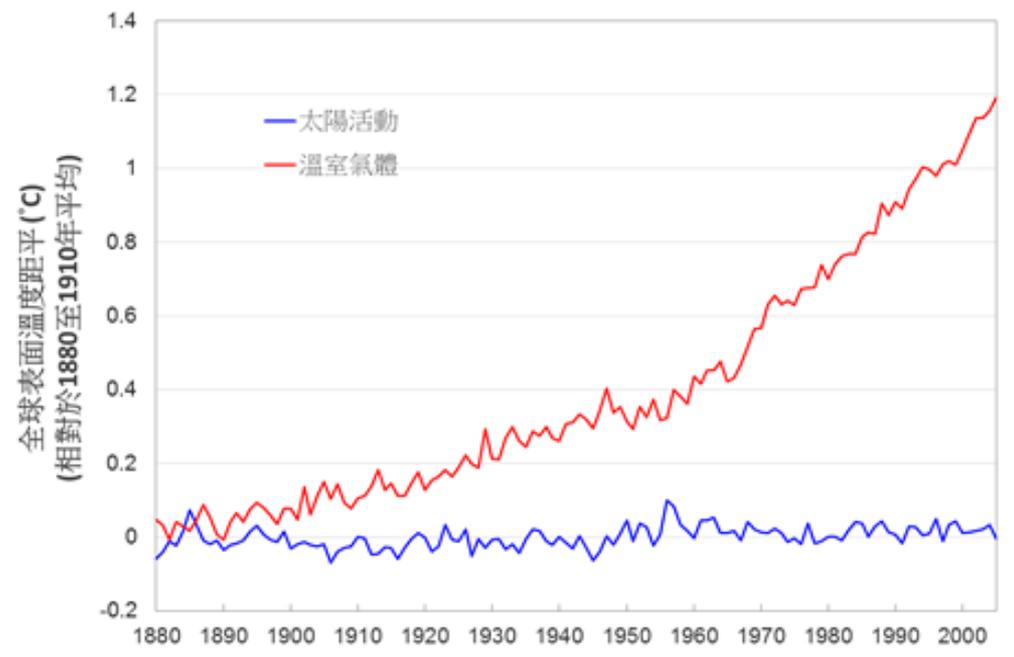
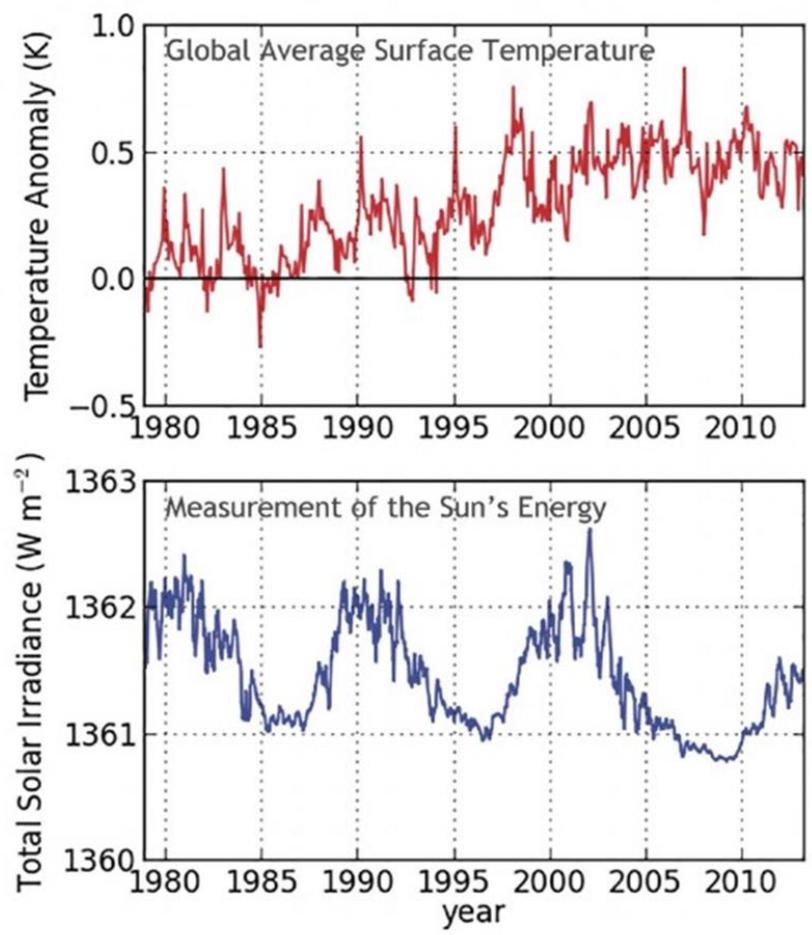




RTHK  
香港電台

誰是罪魁禍首？

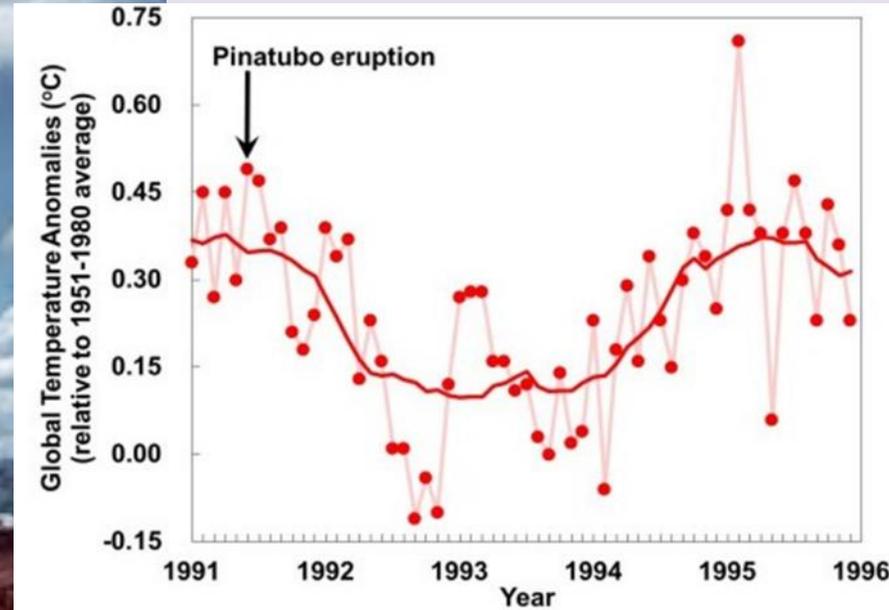
# 是因為大陽嗎?



全球表面溫度距平  
太陽活動及溫室氣體

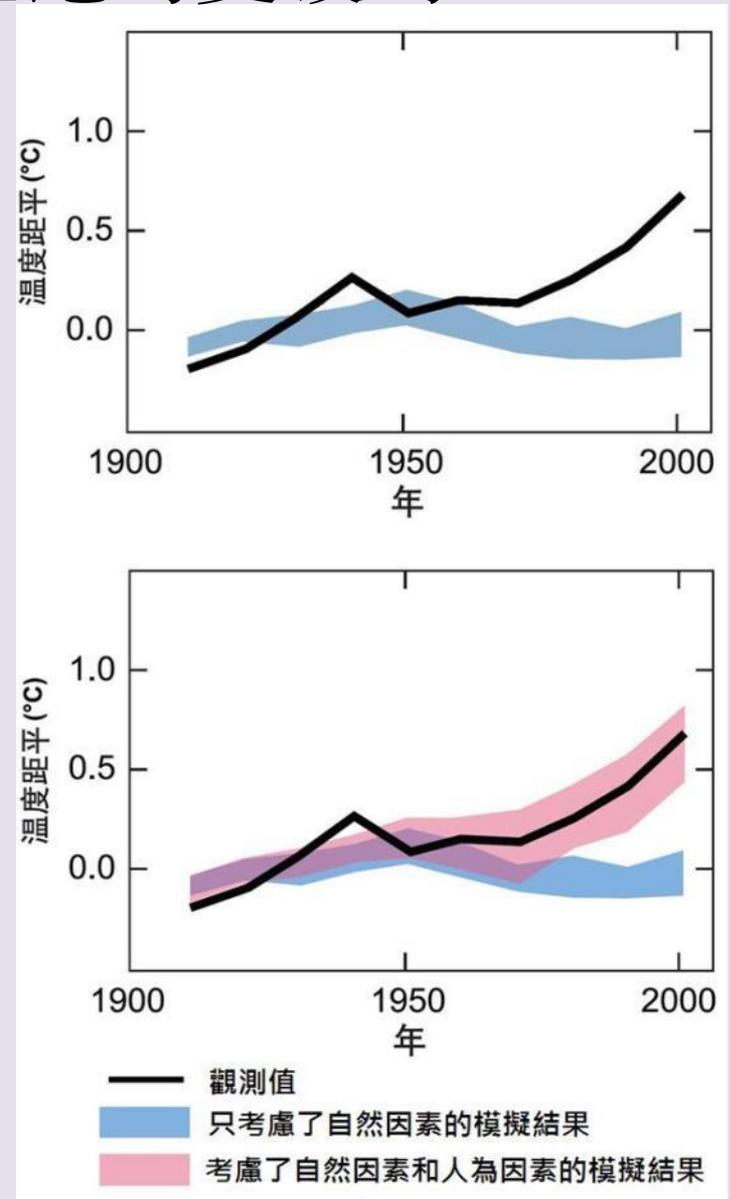
太陽活動最近數十年未有明變化，但地球溫度則明顯上升

# 1991年菲律賓皮納圖博火山爆發令全球氣溫下降



# 能用自然因素解釋20世紀的變暖嗎？

- 影響氣候的自然因素包括
  - 太陽活動、
  - 火山活動、
  - 地球軌道變化等。
- 氣候模式在僅僅考慮自然因素時，無法模擬出最近數十年間觀測到的升溫現象。
- 但當**模式加入溫室氣體排放等人為因素時**，就能模擬出在20世紀觀測到的氣溫上升趨勢。所以20世紀的變暖不太可能只用自然因素來解釋。
- 這表明，在過去50年大部分觀測到的全球升溫很有可能是由人類活動所致。



(源自: IPCC, 2007)

未來會怎樣？

# 研究氣候變化的重要工具-氣候模式

- 包含很多物理公式

Conservation of momentum, energy, mass and moisture:

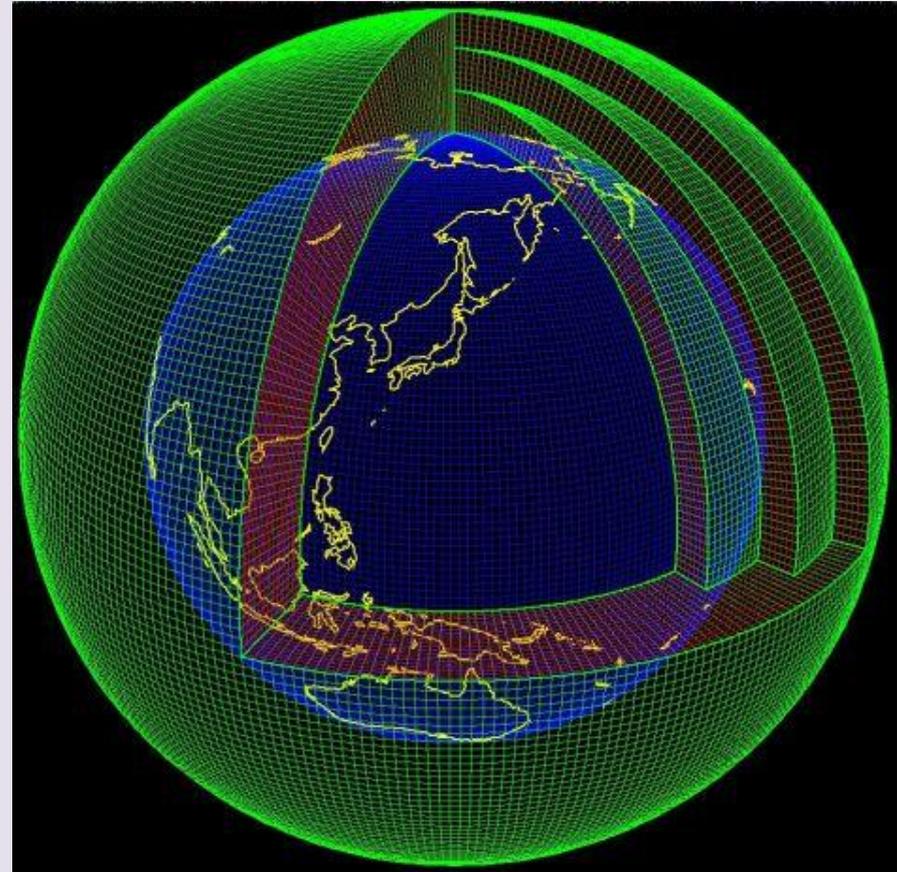
$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p - \vec{g} - 2\vec{\Omega} \times \vec{v} + \nabla \cdot (k_a \nabla \vec{v}) - \vec{F}_d$$
$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\rho c_p (\vec{v} \cdot \nabla) T - \nabla \cdot \vec{R} + \nabla \cdot (k_r \nabla T) + C + S$$
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \rho - \rho (\nabla \cdot \vec{v})$$
$$\frac{\partial q}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) q + \nabla \cdot (k_q \nabla q) + S_q + E$$

Equation of state:

$$p = \rho R_d T$$

$V =$  velocity  
 $T =$  temperature  
 $p =$  pressure  
 $\rho =$  density  
 $q =$  specific humidity  
 $g =$  gravity  
 $\Omega =$  rotation of Earth  
 $F_d =$  drag force of Earth  
 $R =$  radiation vector  
 $C =$  conductive heating  
 $c_p =$  heat capacity, constant  $p$   
 $E =$  evaporation  
 $S =$  latent heating  
 $S_q =$  phase change source  
 $k =$  diffusion coefficients  
 $R_d =$  dry air gas constant

- 描述大氣、海洋、陸地、海冰等系統之間的相互作用
- 假設未來的溫室氣體濃度變化



Source: Japan Meteorological Agency

# 氣候推算

- 氣候推算不是水晶球!
- 無法告訴你**2046年1月28日**的平均溫度
- 未來存在很多不確定性
- 只能推算氣候在不同情景下的長期趨勢

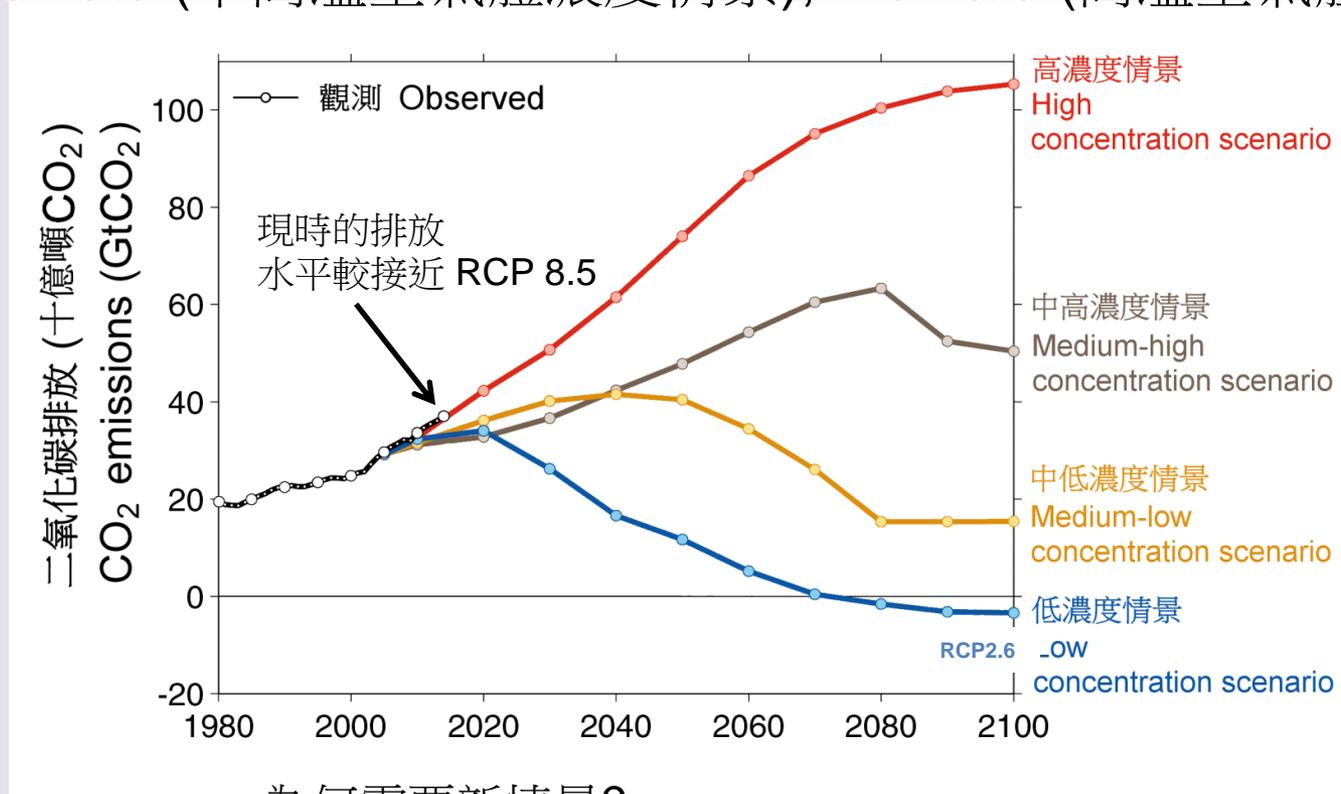
# 未來溫室氣體濃度情景(RCPs)

➤ 總共有4種溫室氣體濃度情景

➤ 濃度由低至高排列:

RCP2.6 (低溫室氣體濃度情景), RCP4.5 (中低溫室氣體濃度情景)

RCP6.0 (中高溫室氣體濃度情景), RCP8.5 (高溫室氣體濃度情景)

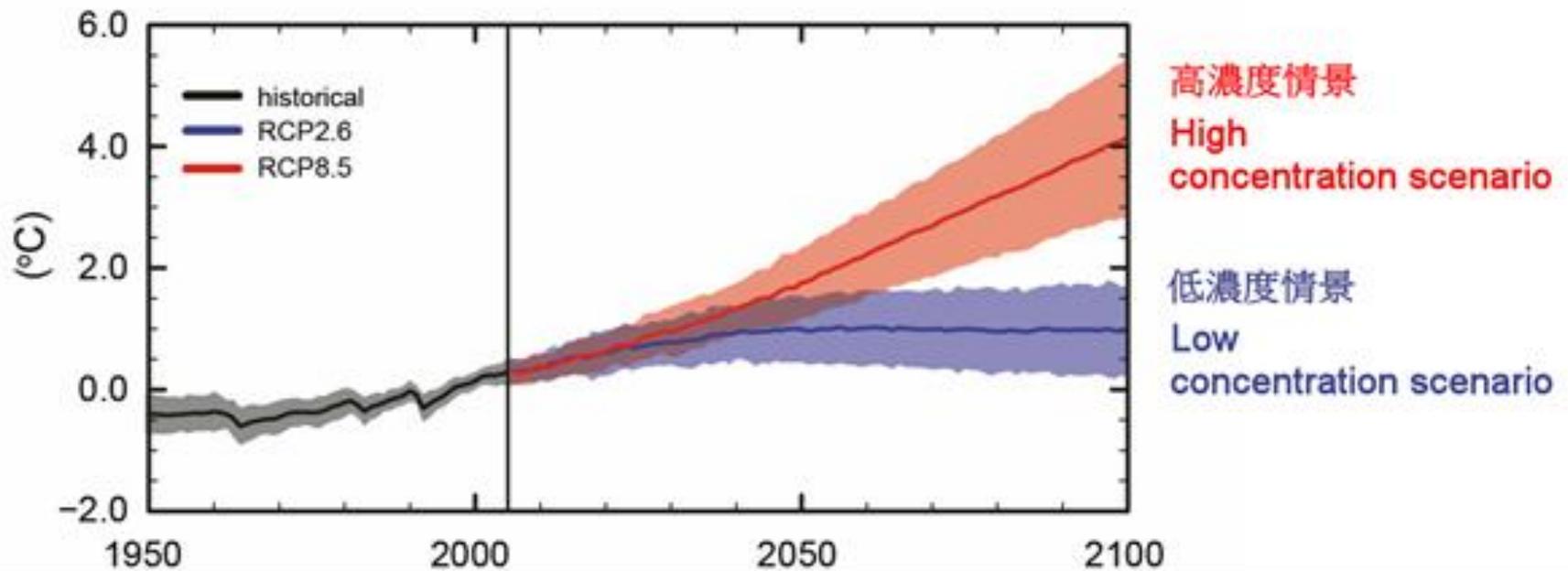


為何需要新情景?

➤ 考慮不同氣候政策(例如不同減排目標)的效果

➤ 更先進的氣候模式需要更仔細的濃度情景

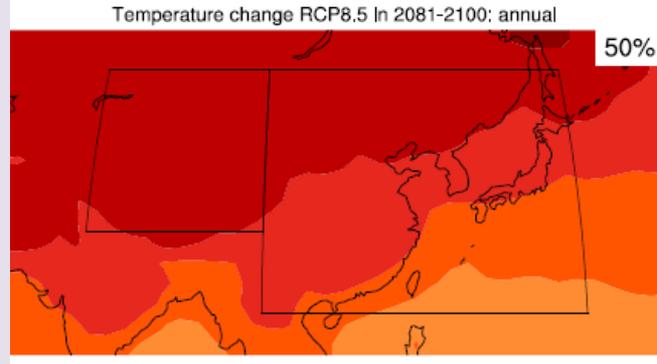
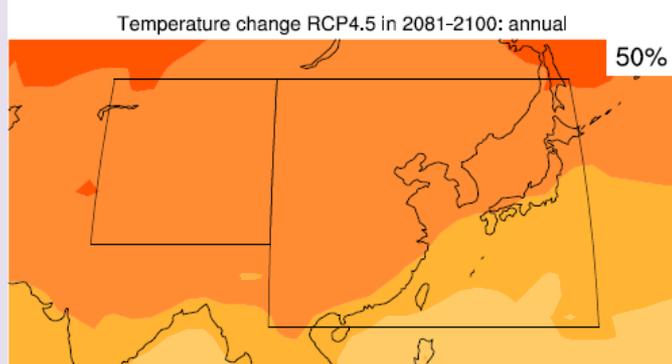
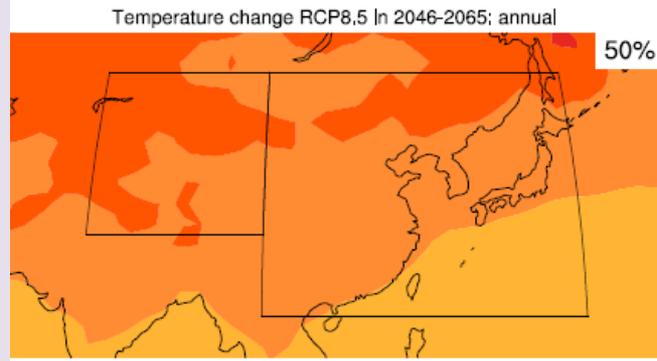
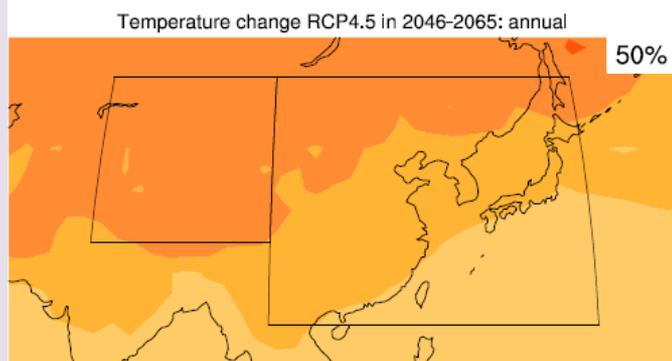
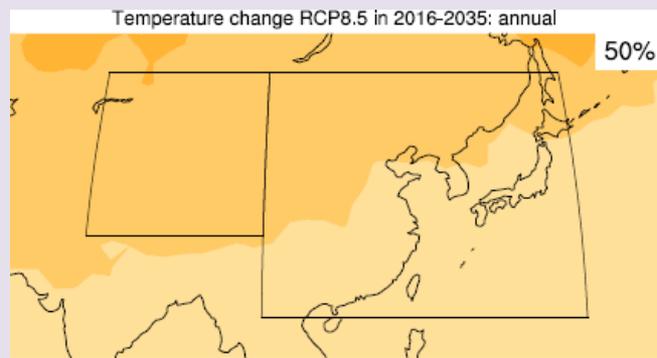
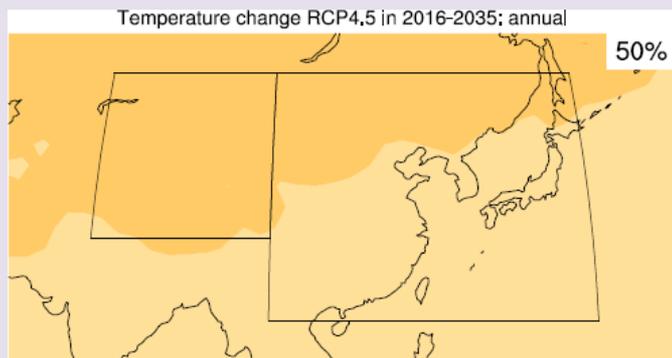
# 未來全球平均溫度推算



- 在高溫室氣體濃度情景下，預料在21世紀末全球平均氣溫會上升4 °C
- 只有在低溫室體濃度情景下，全球升溫才有可能少於 2°C

# 中低溫室氣體濃度情景

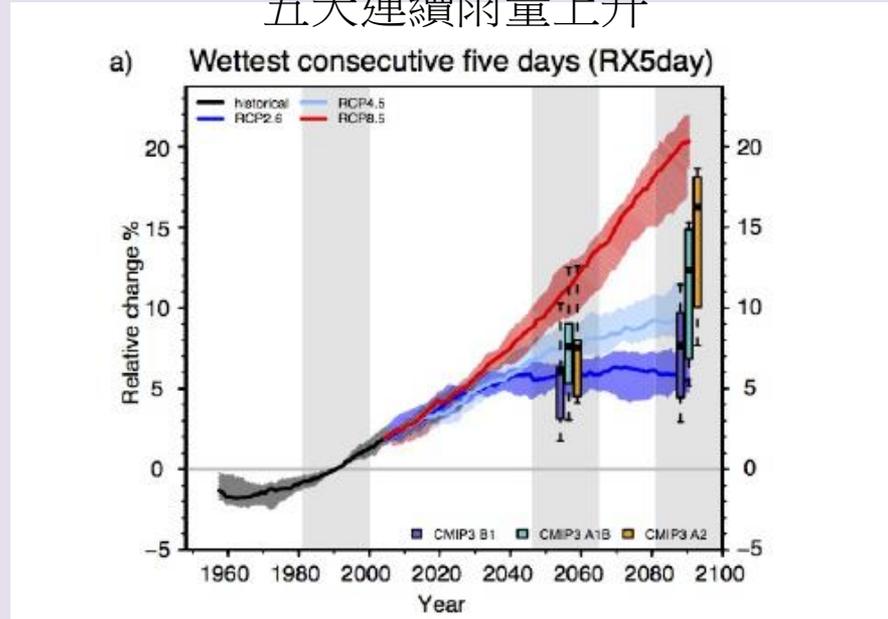
# 高溫室濃度氣體情景



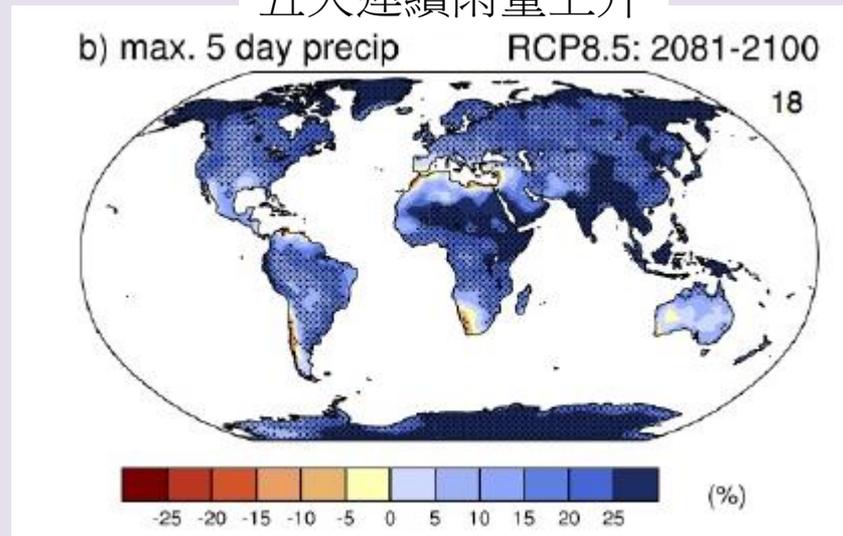
在高溫室氣體濃度情景下,本世紀末華南沿岸地區會升溫約4度

# 極端降水更強、更頻繁

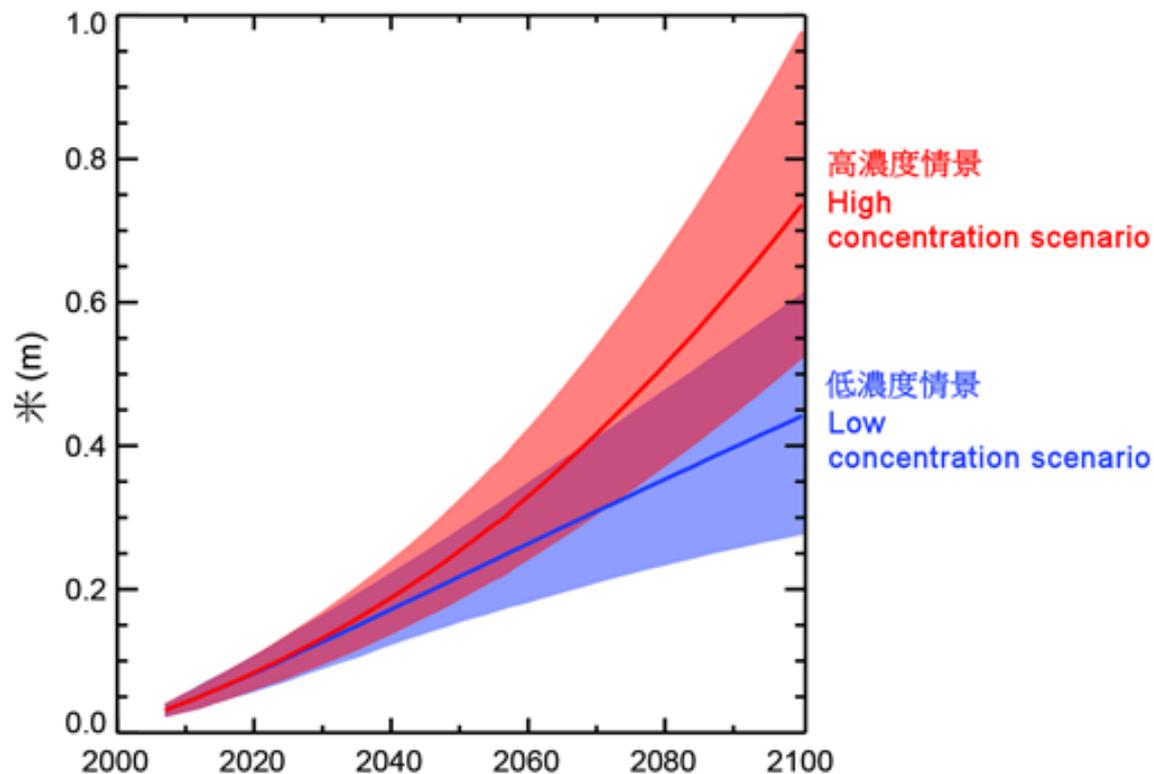
五天連續雨量上升



五天連續雨量上升



# 海平面上升幅度較第四份評估報告高

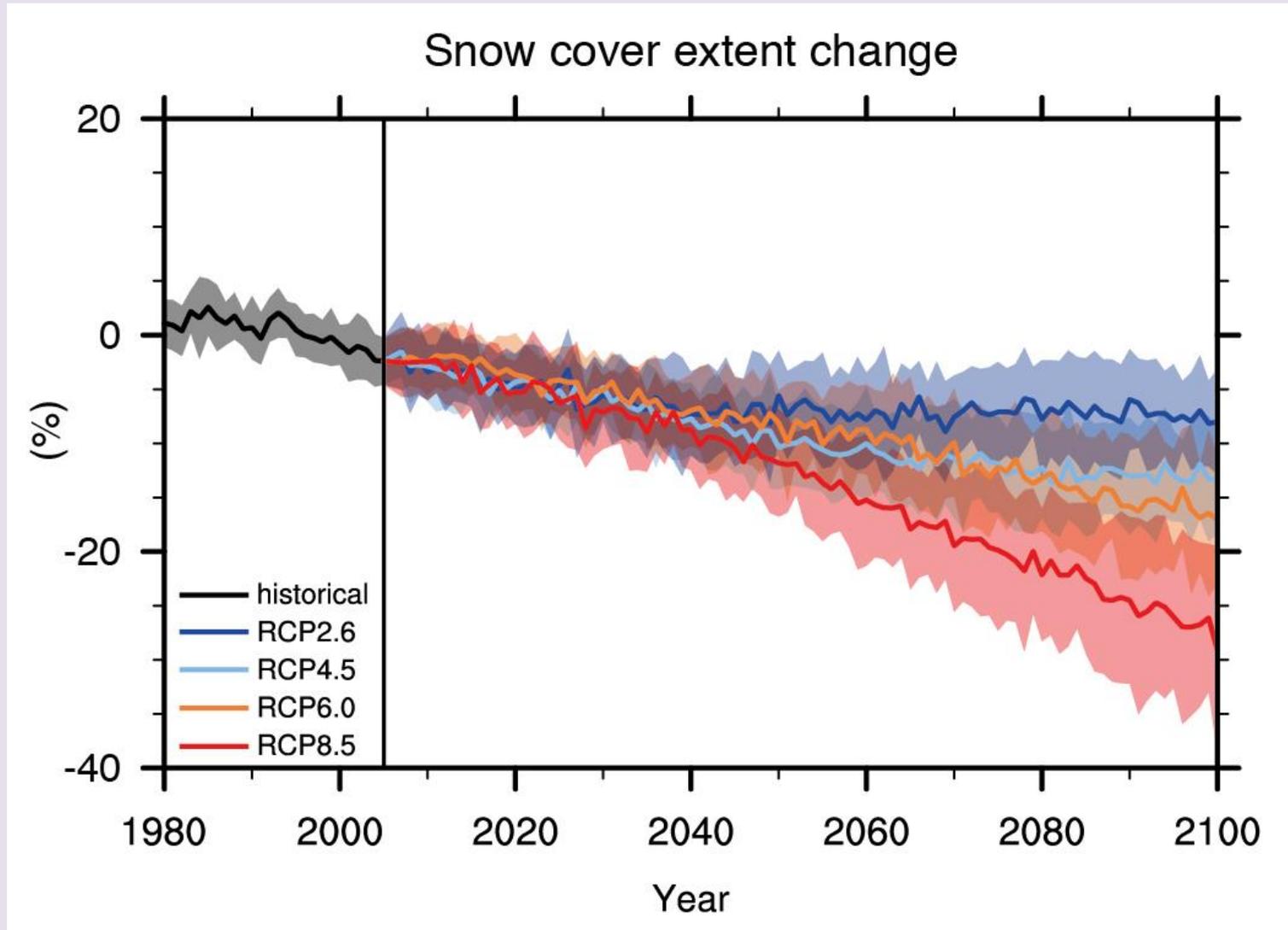


為什麼比第四份  
評估報告高？

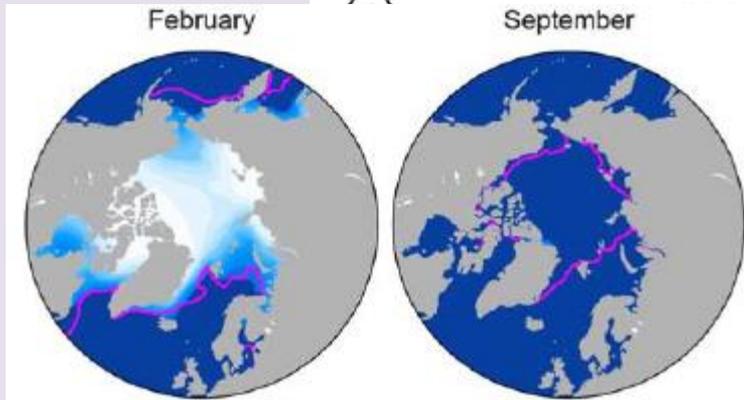
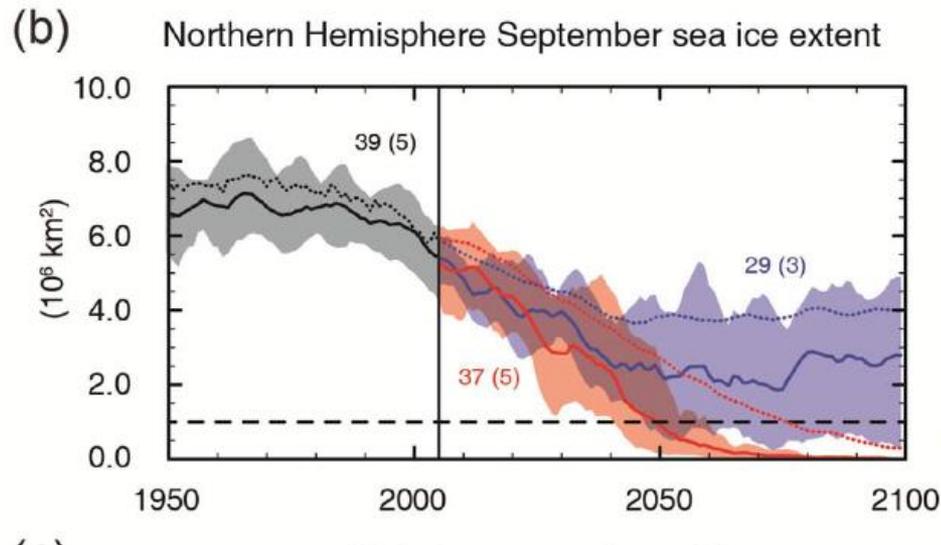
- 有考慮冰蓋快速的變化
- 對物理過程有更好的掌握

情景	2045-2065	2081-2100
RCP2.6	0.17 - 0.32米	0.26 - 0.55米
RCP4.5	0.19 - 0.33米	0.32 - 0.63米
RCP6.0	0.18 - 0.32米	0.33 - 0.63米
RCP8.5	0.22 - 0.38米	0.45 - 0.82米

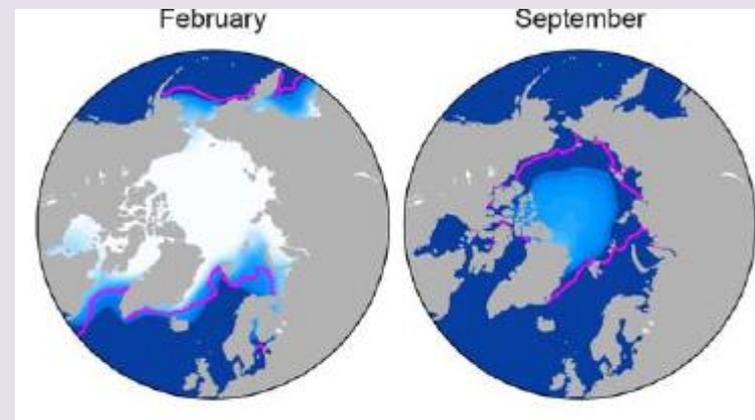
# 冰雪面積會繼續減少



# 在高溫室氣體濃度情景下，北冰洋九月接近無冰的情況可能出現在本世紀中前



在高溫室氣體濃度情景下，2081-2100  
北冰洋的海冰濃度



在中低溫室氣體濃度情景下，2081-2100  
北冰洋的海冰濃度

不能獨善其身

# 天文台1883年成立

- 1884年開始定時作氣象觀測
- 並設立熱帶氣旋警告系統

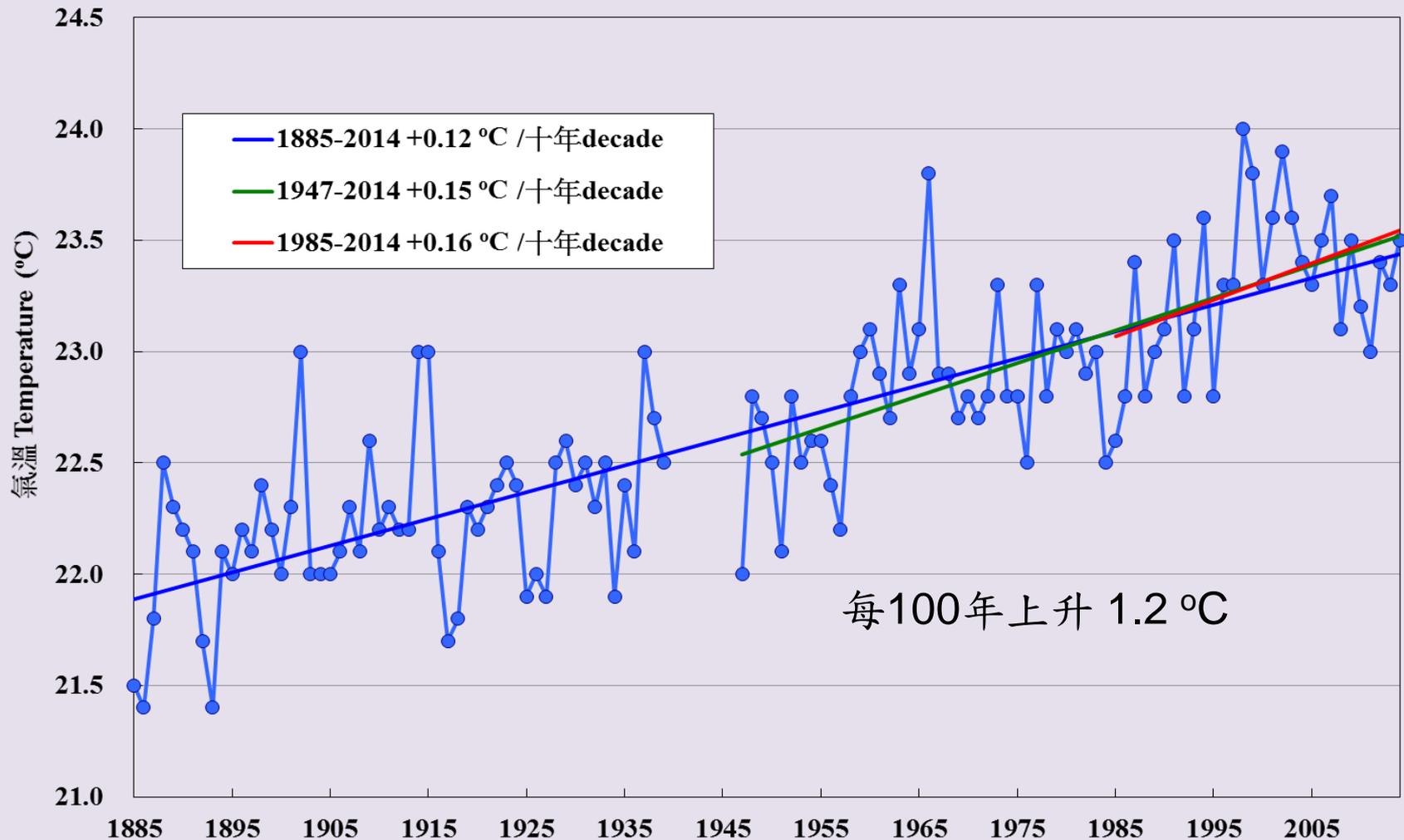


1908



1913

# 香港天文台總部錄得的年平均氣溫(1885-2014)



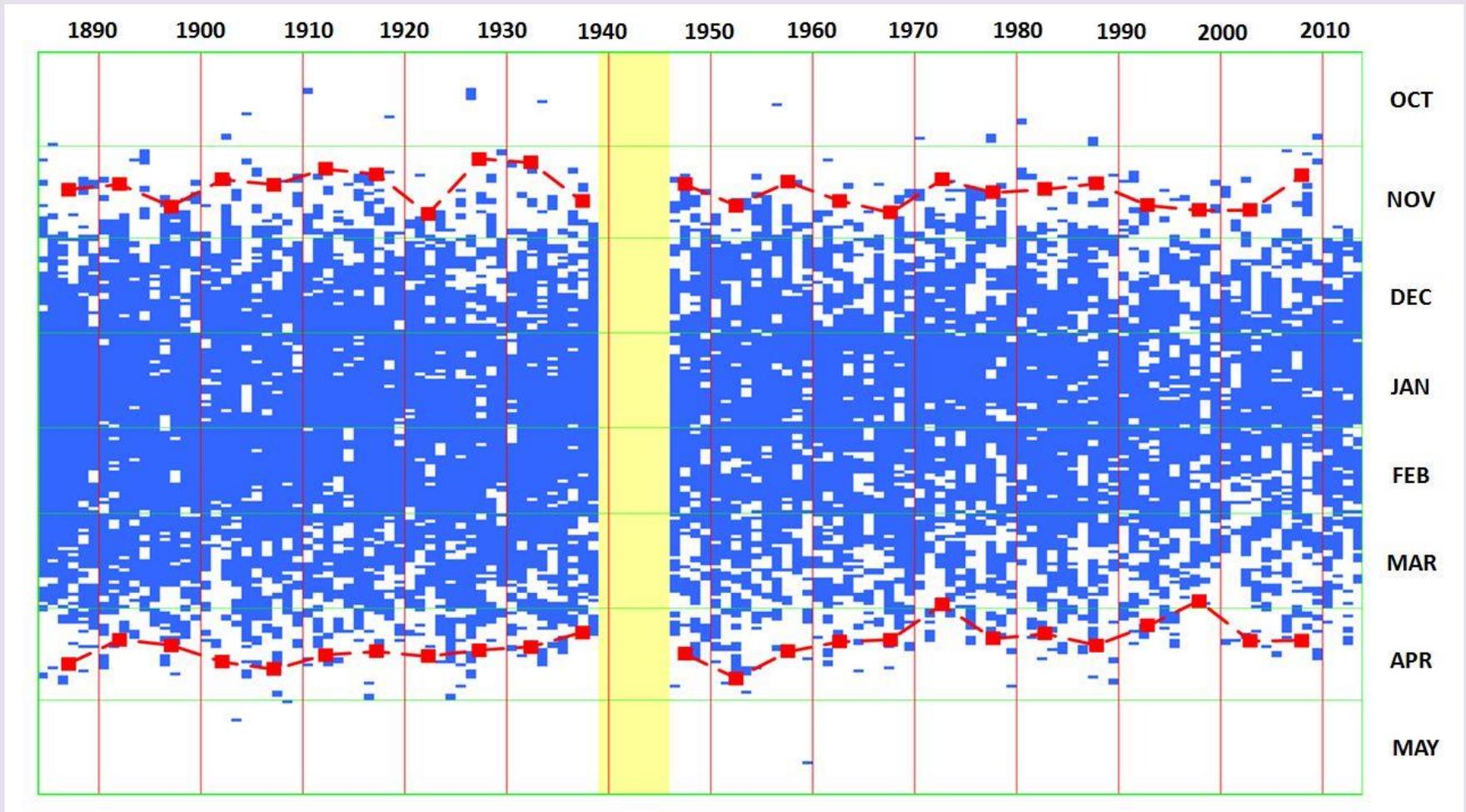
# 香港過去的氣候變化

全球變暖 + 都市化作用 → 香港氣候變化



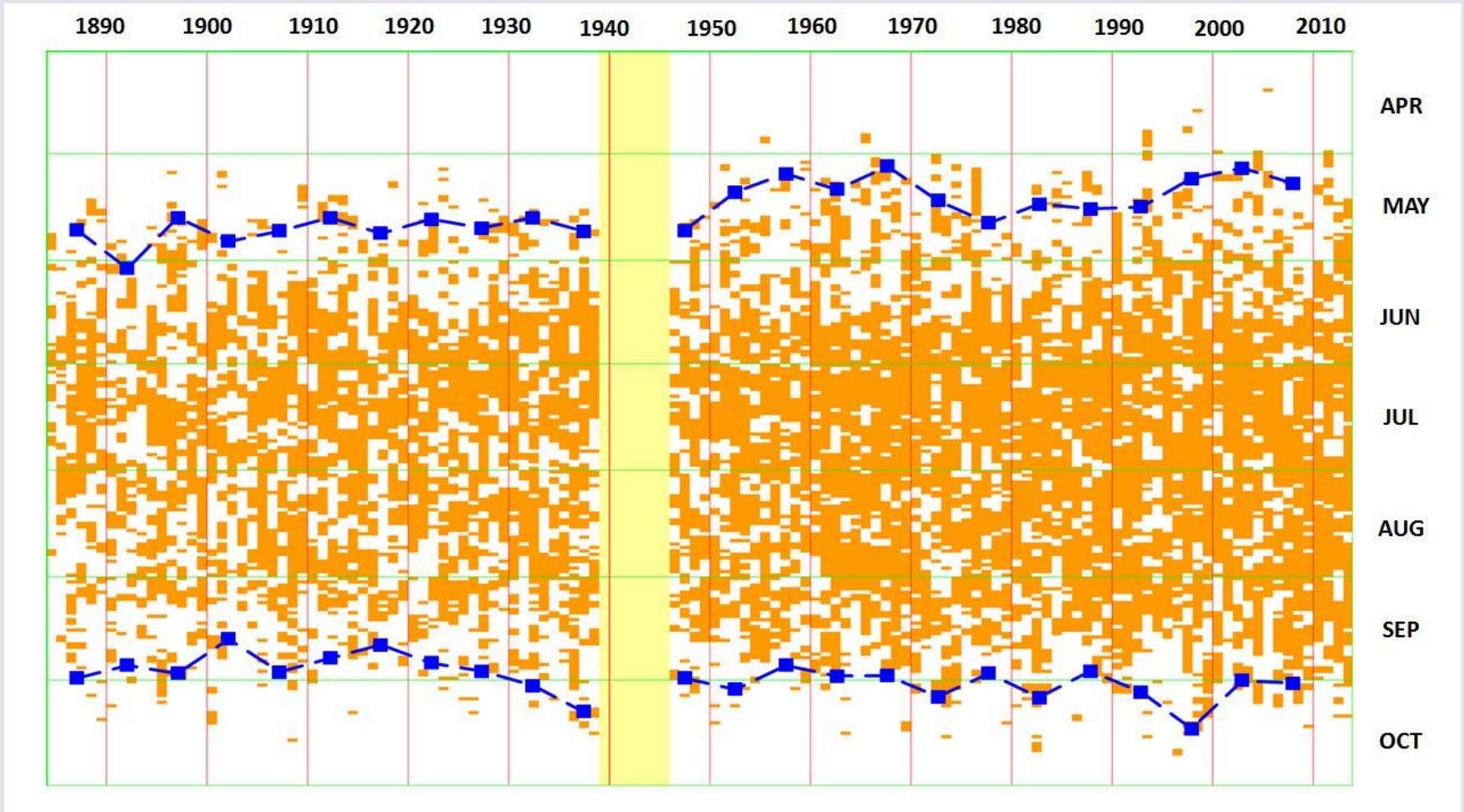
參數	趨勢
氣溫	上升 ↑
雨量	上升 ↑
海平面	上升 ↑

# 冬天日子(10月-5月)越來越少



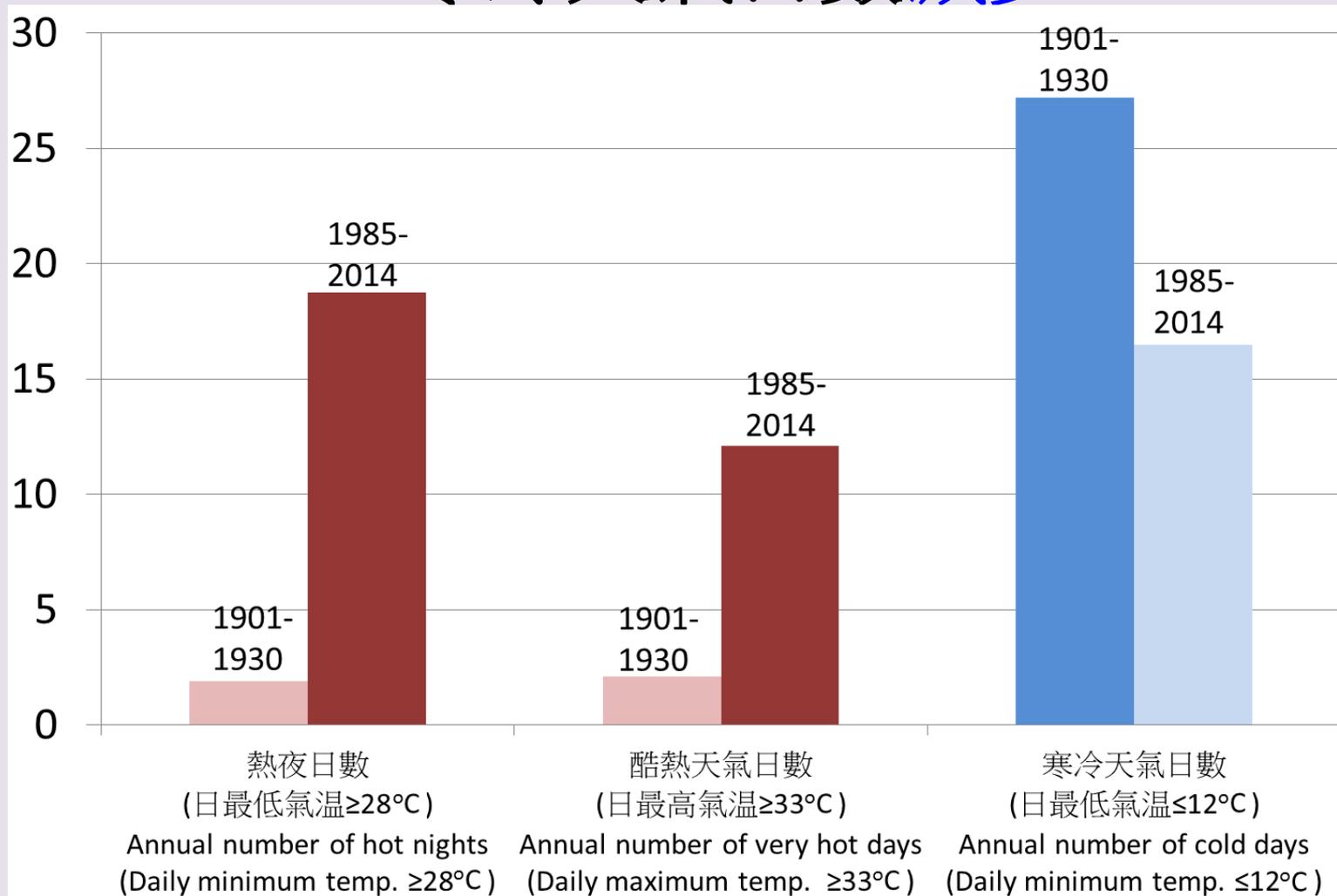
藍色-冬天日子:日平均氣溫 $\leq 19.1^{\circ}\text{C}$  (1981-2010年日平均氣溫分佈的底25個百分位)

# 夏天日子(4月-10月)越來越多



橙色-夏天日子:日平均氣溫  $\geq 27.7^{\circ}\text{C}$  (1981-2010年日平均氣溫分佈的頂25個百分位)

# 香港熱夜、酷熱天氣日數增加； 寒冷天氣日數減少



# 2014年香港溫度屢創新高

排名 Rank	六月平均氣溫 Mean Temperature of June	年 Year
<b>1</b>	<b>29.0 °C</b>	<b>2014</b>
2	28.9 °C	1999
3	28.8 °C	2002
3	28.8 °C	1996

排名 Rank	七月平均氣溫 Mean Temperature of July	年 Year
<b>1</b>	<b>29.8 °C</b>	<b>2014</b>
2	29.7 °C	1967
3	29.6 °C	2007
3	29.6 °C	2003

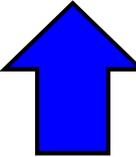
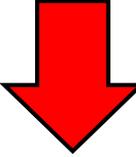
排名 Rank	九月平均氣溫 Mean Temperature of September	年 Year
<b>1</b>	<b>29.0 °C</b>	<b>2014</b>
1	29.0 °C	2008
1	29.0 °C	1969
4	28.9 °C	1992

排名 Rank	六至八月平均氣溫 Mean Temperature of June to August	年 Year
<b>1</b>	<b>29.3 °C</b>	<b>2014</b>
2	29.0 °C	2011
2	29.0 °C	1983
4	28.9 °C	2009

# 2015年六月溫度又破紀錄

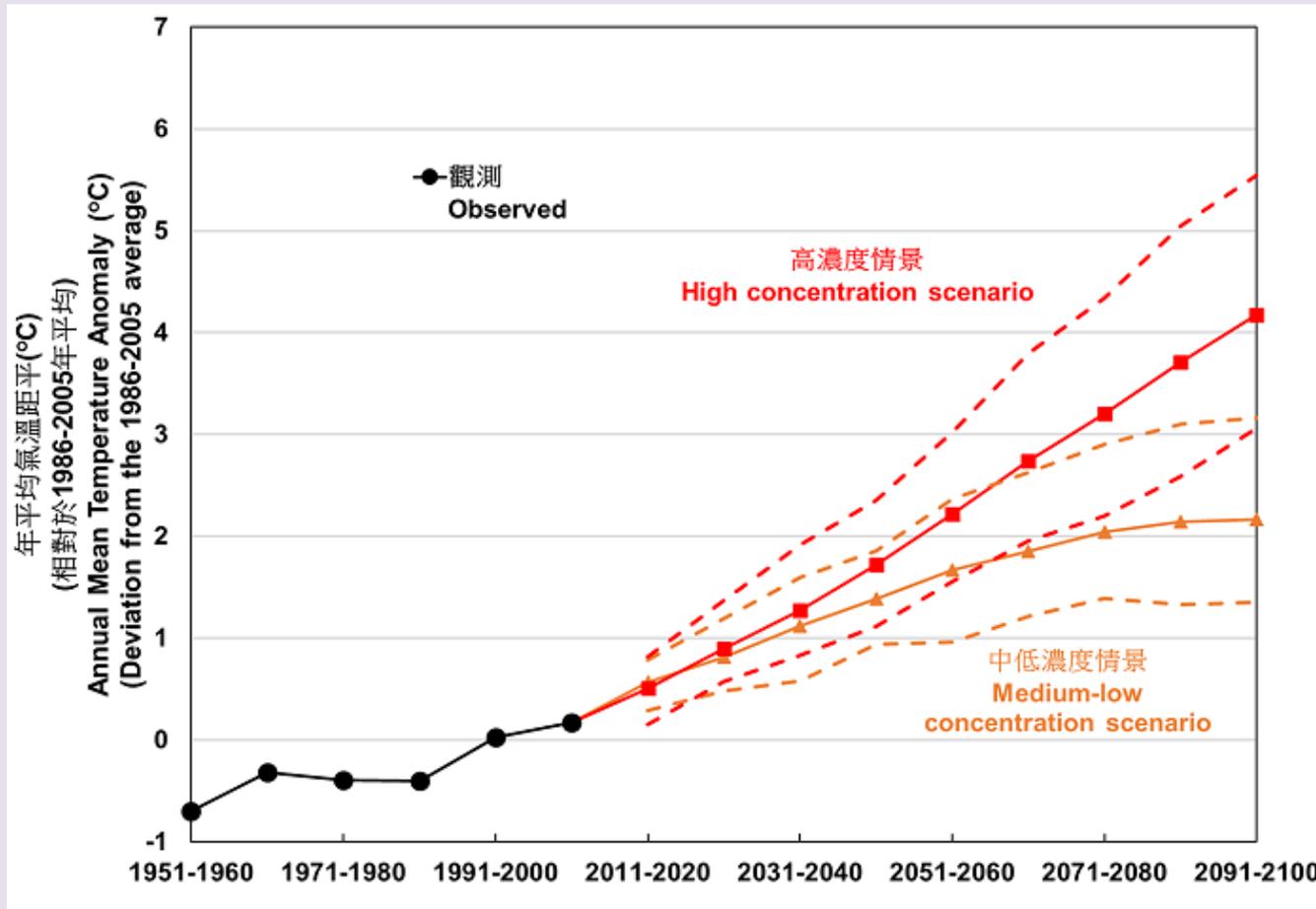


# 回歸期分析

極端天氣事件	1900年時的回歸期	2000年時的回歸期
每日最低氣溫 $\leq 4^{\circ}\text{C}$	6年	 163年
每日最高氣溫 $\geq 35^{\circ}\text{C}$	32年	 4.5年

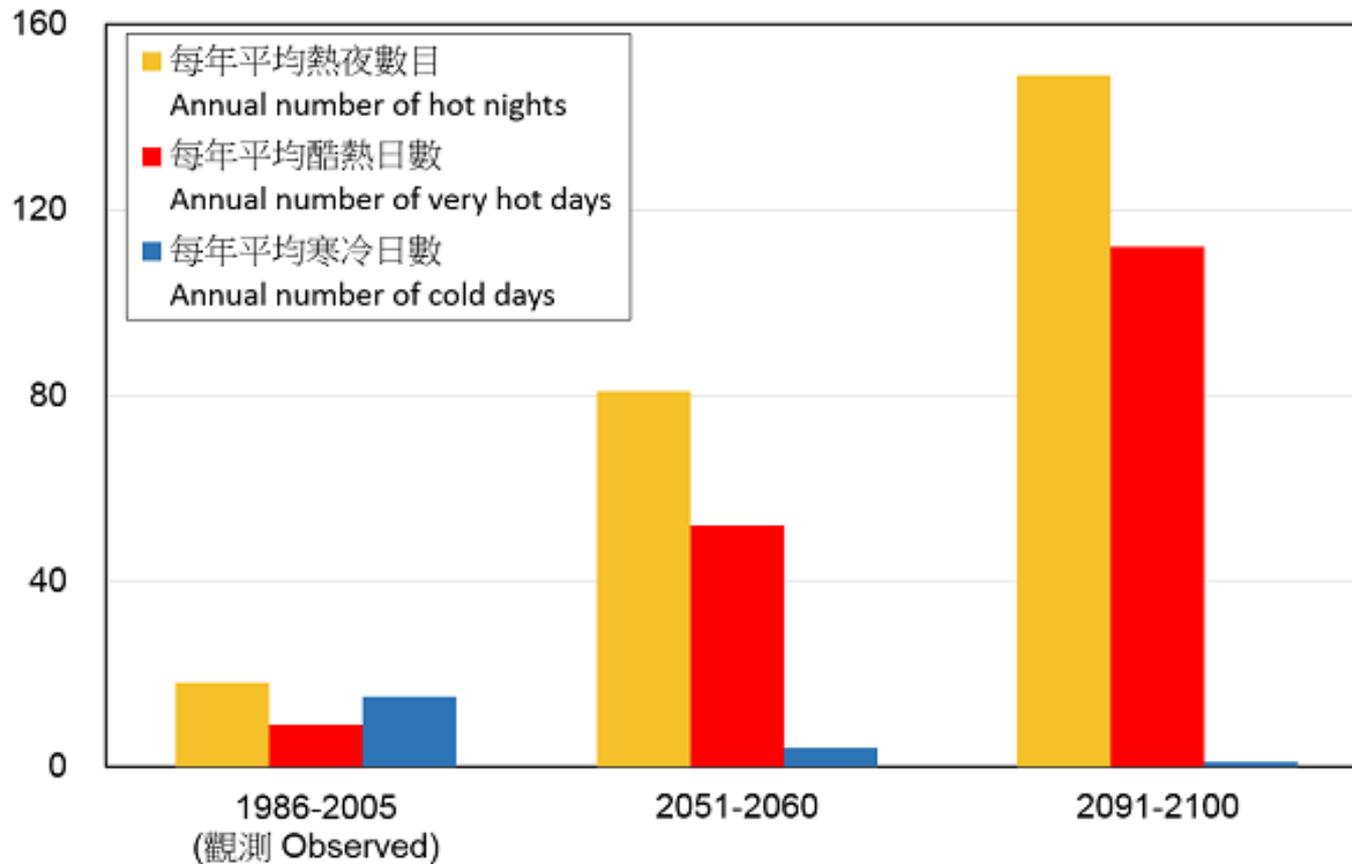
# 香港年平均氣溫未來推算

- 利用了25個第五份評估報告的氣候模式進行統計降尺度
- 考慮了未來城市化的影響



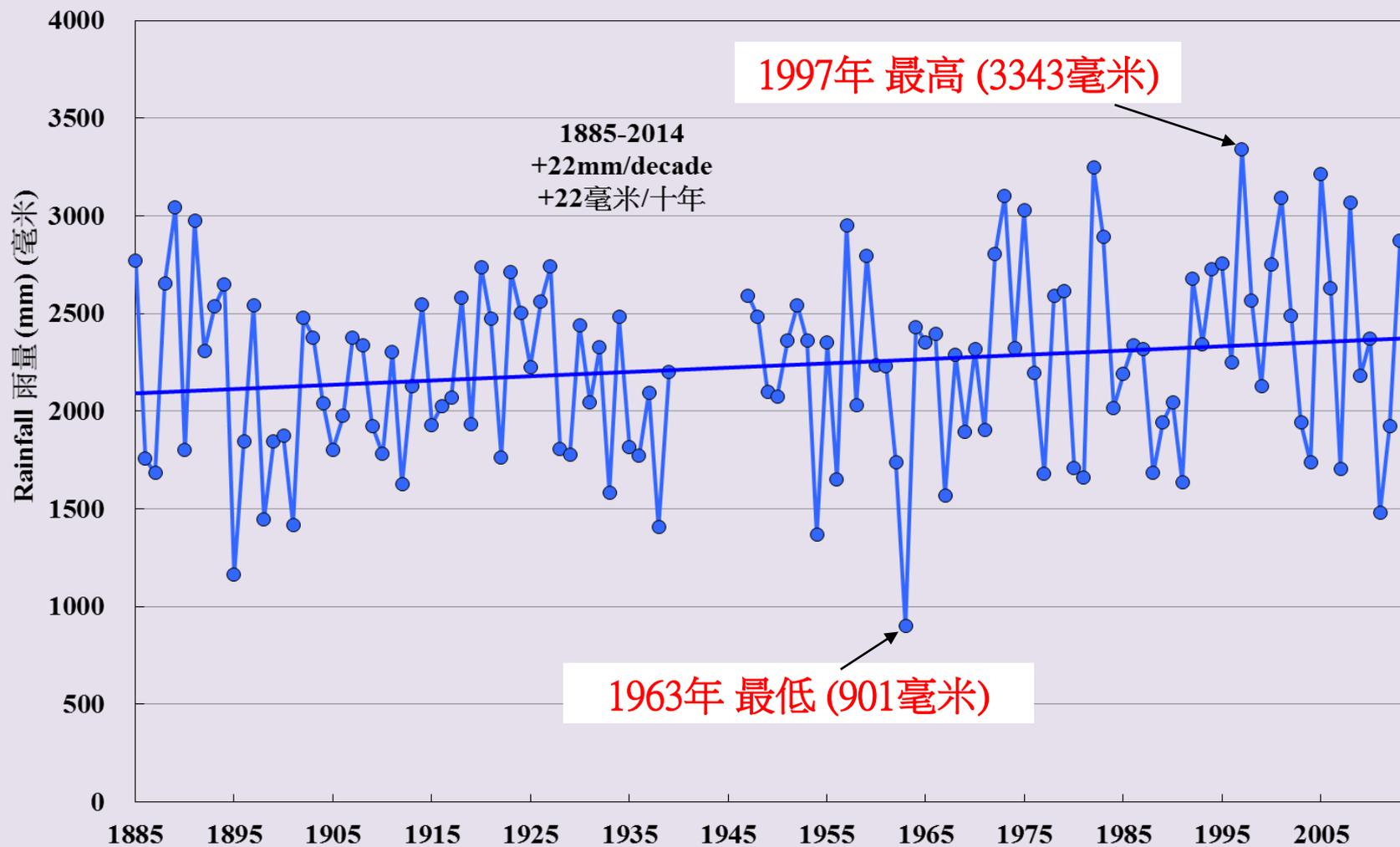
在高溫室氣體濃度情景下，本世紀末（2091-2100年）的本港年平均氣溫會較 1986-2005 年平均 23.3度分別高 3度至 6度

# 香港每年的極端高溫 and 寒冷天氣推算



在高溫室氣體濃度情景下，香港年平均熱夜數目、酷熱日數和寒冷日數的未來推算。

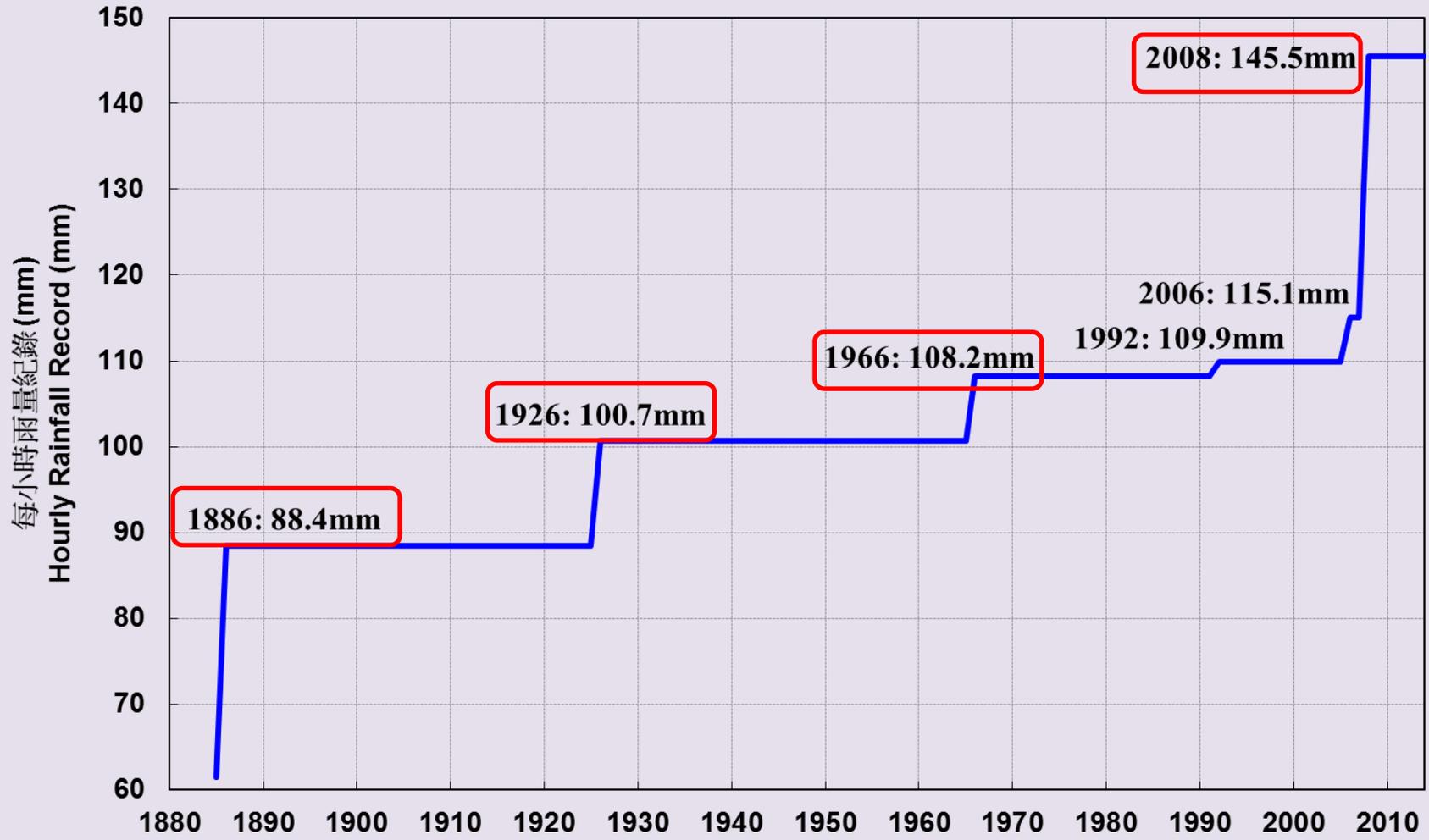
# 香港天文台總部錄得的年雨量 (1885-2014)



# 極端降水事件越趨頻繁

極端天氣事件	1900年時的回歸期	2000年時的回歸期
一小時雨量 ≥ 100mm	37年	18年
兩小時雨量 ≥ 150mm	32年	14年
三小時雨量 ≥ 200mm	41年	21年

# 天文台每小時最高雨量紀錄(1885-2014)



# 2008年6月7日的暴雨和嚴重山泥傾瀉

145.5毫米雨 - 最高時雨量紀錄 307.1毫米 - 六月單日雨量第五高



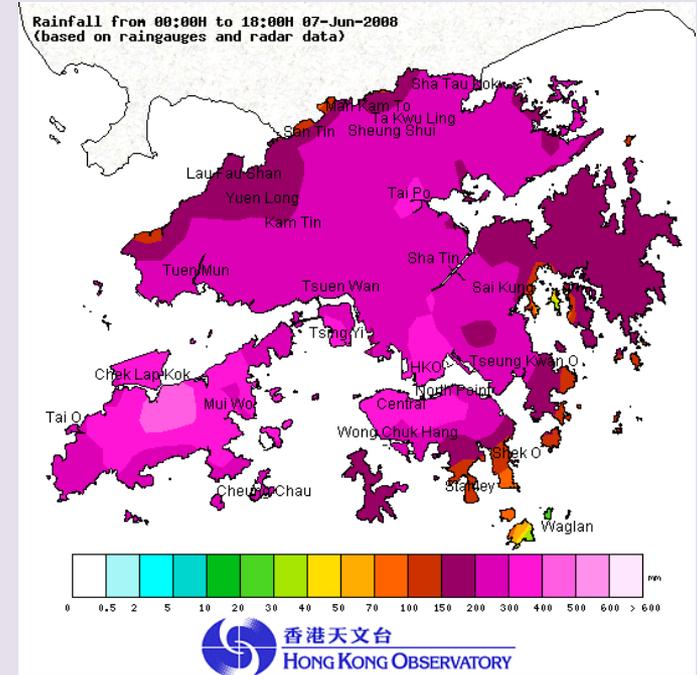
大嶼山快速公路水浸  
(原相: WiNG)



大嶼山東涌路的大型山泥傾瀉  
(Source : GEO, CEDD)



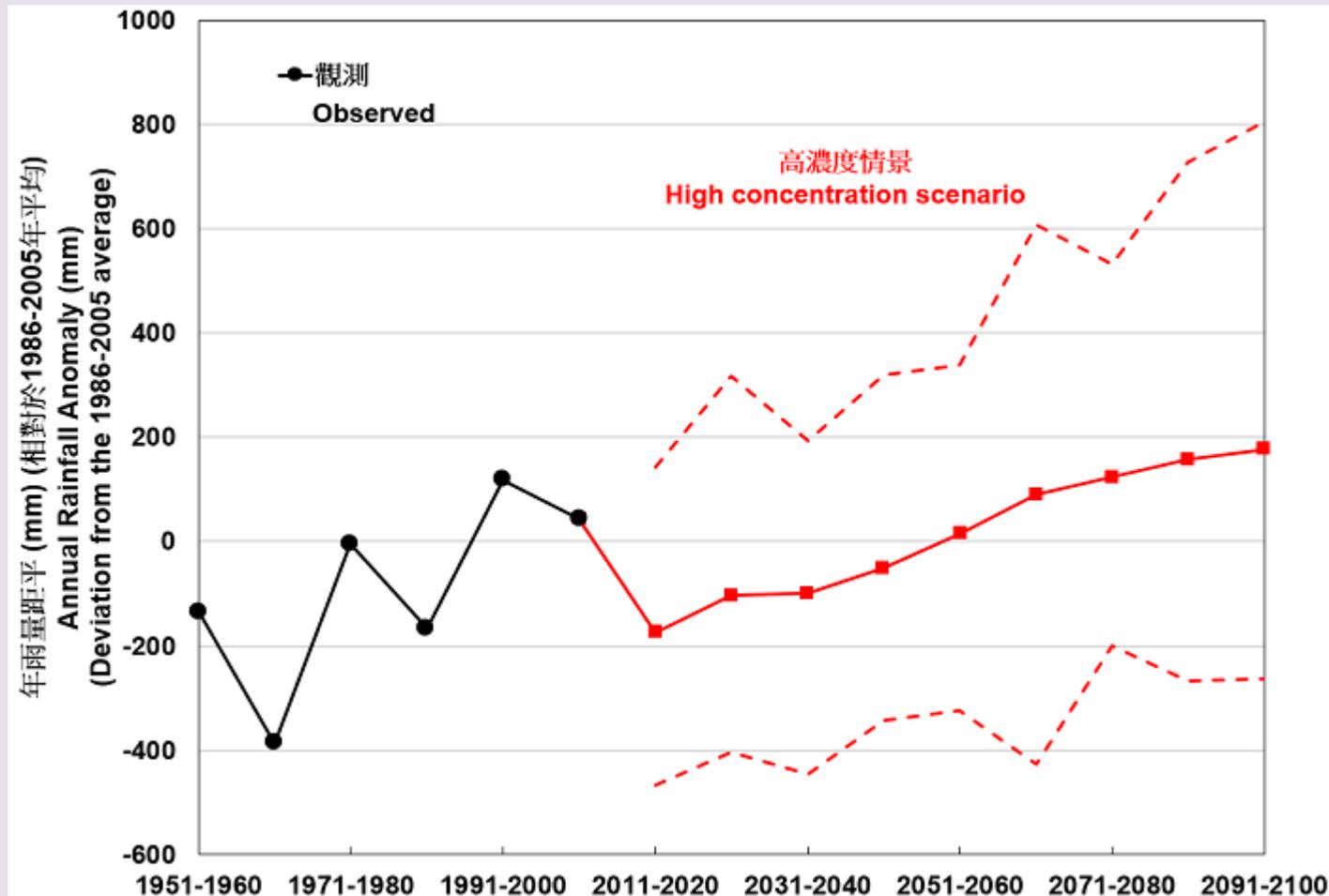
大嶼山破紀錄的泥石流  
(1.8公里長)  
(Source : GEO, CEDD)



2008年6月7日由凌晨起至下午六時的雨量分佈

天文台正與土力工程處合作研究因應氣候變化，如何減低山泥傾瀉的風險

# 香港年雨量過去及未來的變化



在高溫室氣體排放情景下，本港年雨量在21世紀後期會較1986-2005年平均上升約180毫米。

# 高溫室氣體濃度情景下...

	極端少雨的年數	極端多雨的年數
期間	 <p>(相片來源：水務署)</p>	 <p>(相片來源：渠務署)</p>
1885 - 2005	2	3
2006 - 2100	2	12

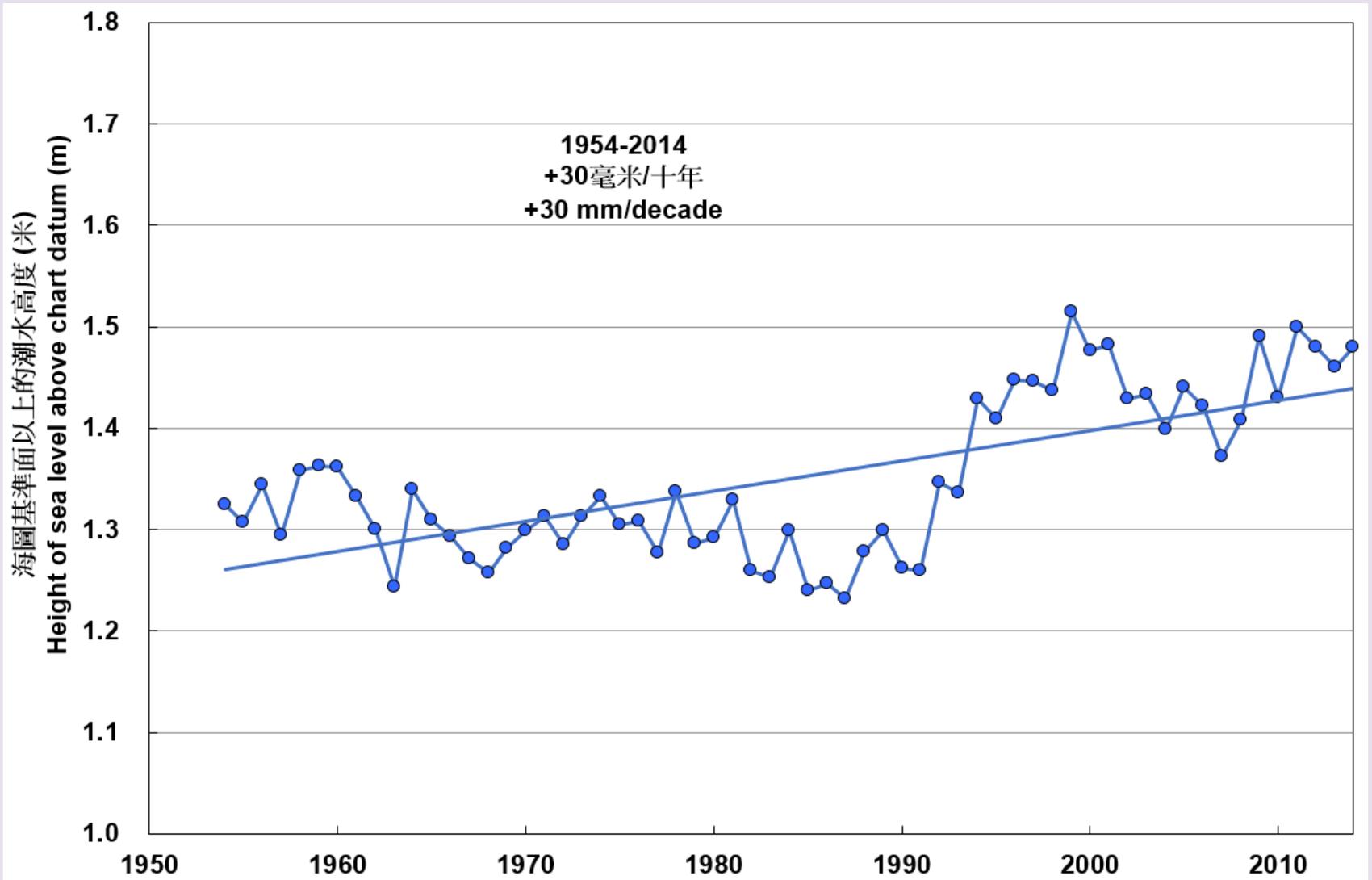
極端多雨的年份會增加，但出現乾旱情況的可能性依然存在

極端少雨的年數 - 年雨量低於1289毫米; 極端多雨的年數 - 年雨量高於3168毫米

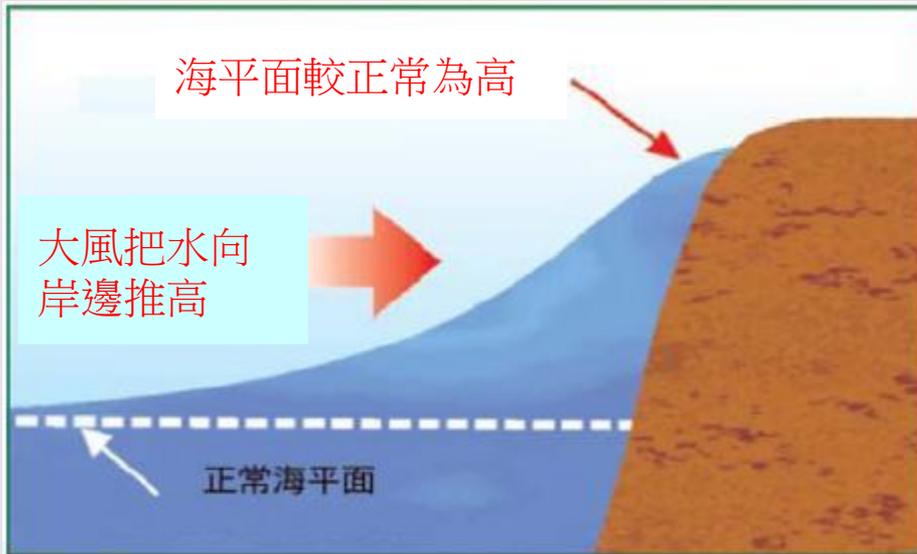
# 極端降雨日數增加

	1980-1999年 觀測的平均值	推算2090-2099年時 的情況
每年降雨日數 (日雨量 $\geq$ 1毫米的日數)	104	77 ↓
每年極端降雨日數 (日雨量 $\geq$ 100毫米的日數)	3.5	5.3 ↑

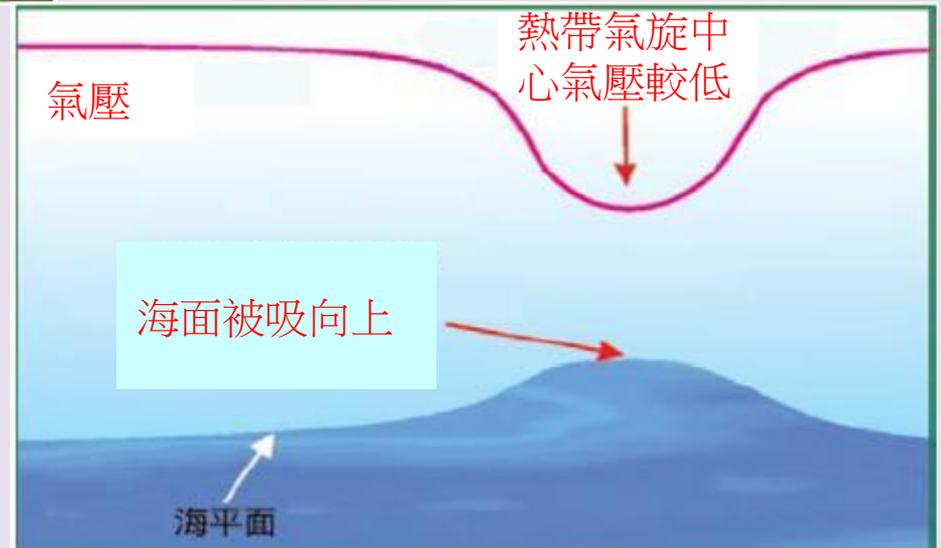
# 北角/鰂魚涌年平均海平面高度 (1954-2014)



# 風暴潮



熱帶氣旋中心附近的大風及低氣壓引致海平面上升



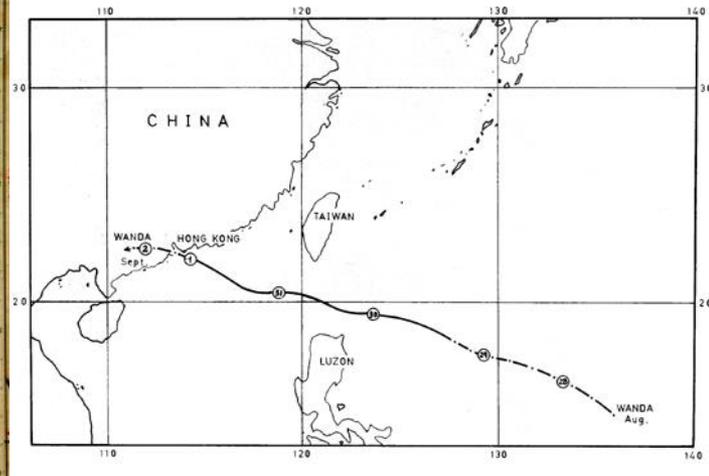
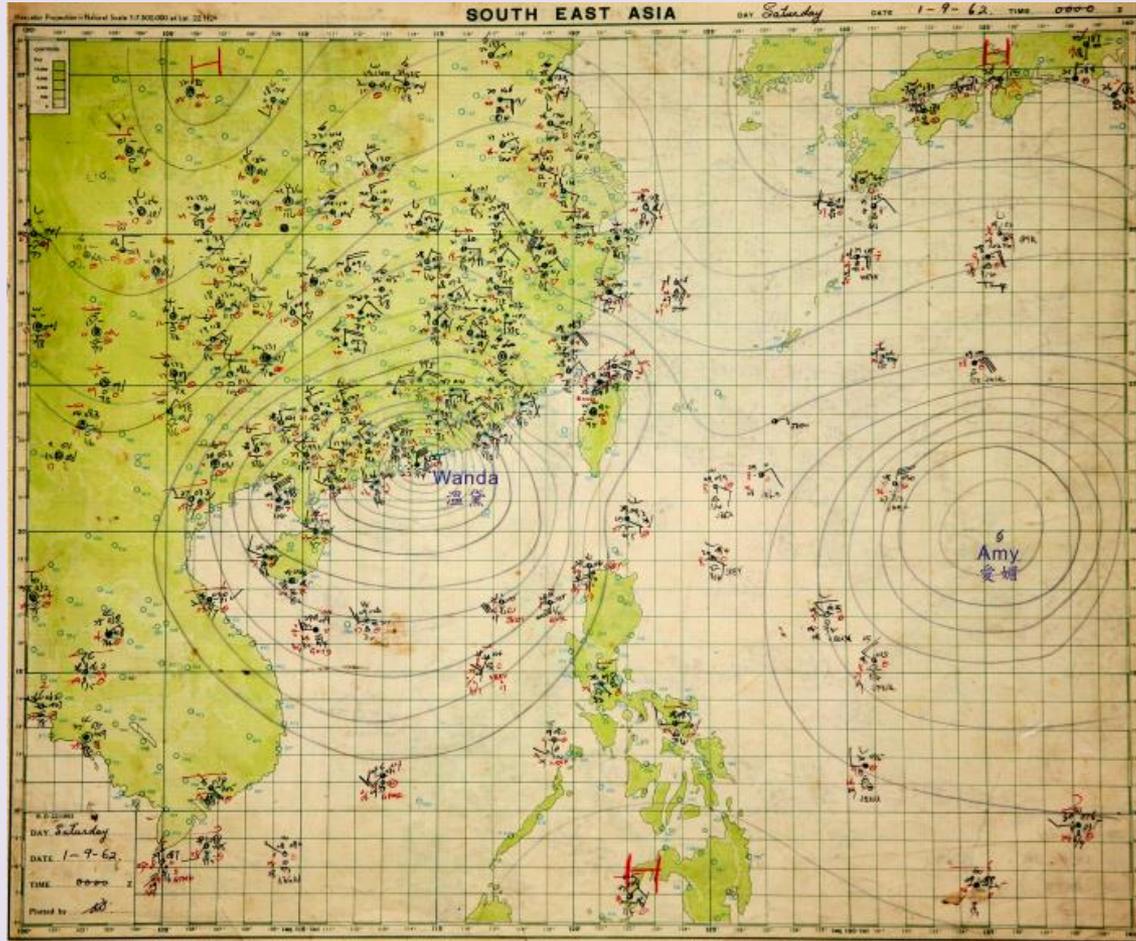
# 香港過去因熱帶氣旋所引起的風暴潮

儀器紀錄 (自1947年起)			鰂魚涌/北角		大埔滘	
排名	熱帶氣旋名稱	年份	最高潮位(米) (海圖基準面以上)	最大風暴潮(米) (天文潮高度以上)	最高潮位(米) (海圖基準面以上)	最大風暴潮(米) (天文潮高度以上)
1	溫黛	1962	3.96	1.77	5.03	3.2
2	艾黛	1954	3.18	1.68	-	-
3	無名字	1949	2.90	1.49	-	-
3	露比	1964	3.14	1.49	3.54	2.96
5	荷貝	1979	2.78	1.45	4.33	3.23
6	黑格比	2008	3.53	1.43	3.77	1.77

歷史紀錄		北角		大埔	
熱帶氣旋名稱	年份	最高潮位(米) (海圖基準面以上)	最大風暴潮(米) (天文潮高度以上)	最高潮位(米) (海圖基準面以上)	最大風暴潮(米) (天文潮高度以上)
無名字	1906	3.35	1.83	-	6.10 (?)
無名字	1937	4.05	1.98	6.25	3.81

歷史紀錄乃根據海港工程部的測潮竿紀錄

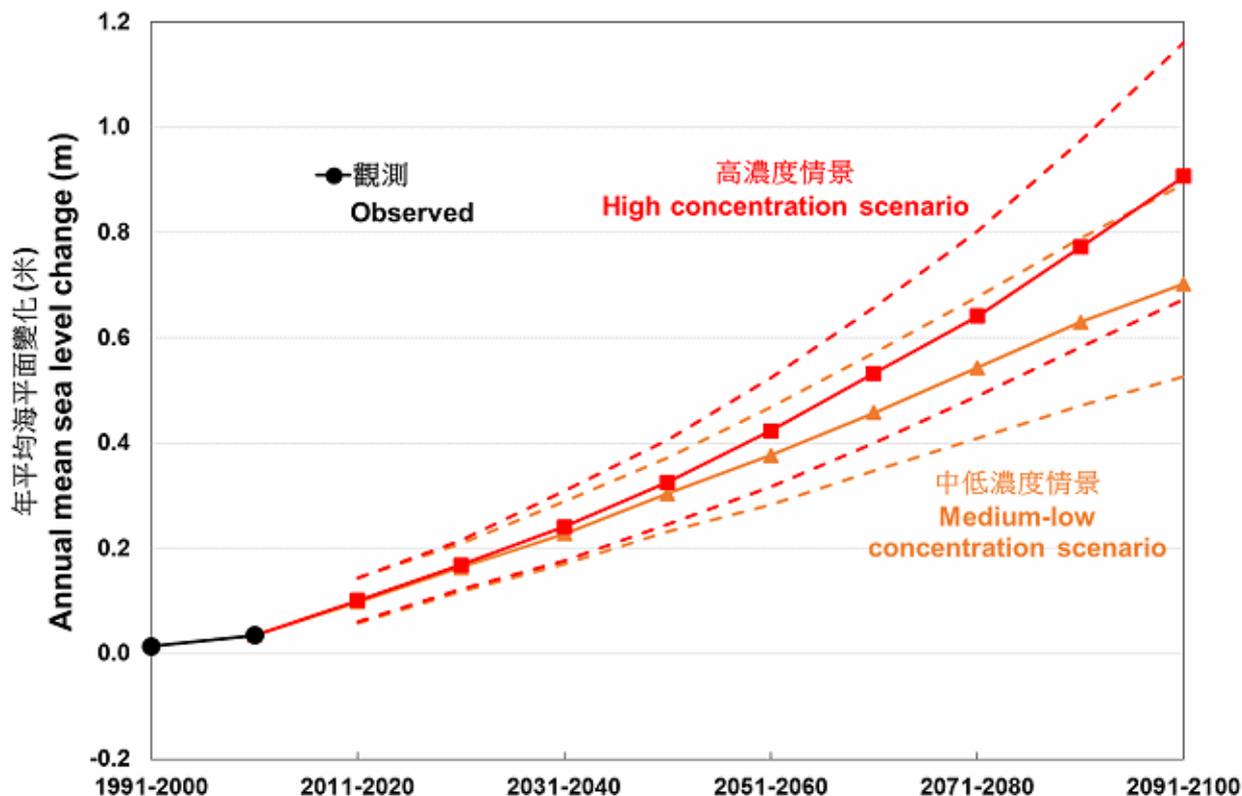
# 1962年溫黛





Source: ISD

# 香港平均海平面推算



在高（紅色）和中低（橙色）溫室氣體濃度情景下香港及鄰近水域的平均海平面高度變化（相對於1986-2005年平均）的未來推算（實線是平均值，虛線是推算結果的可能範圍）。歷史觀測以黑線表示。

在高溫室氣體濃度情景下，2081-2100年香港及鄰近水域的平均海平面高度會較1986-2005年的平均值高0.63至1.07米。

# 海平面上升令風暴潮的風險增加



在高溫室氣體濃度情境下預料香港及鄰近水域的平均海平面到**21世紀末**上升達**1.07米**

回歸期 (年)	海圖基準面#以上的極端水位(米)		
	現時的平均海平面	本世紀中(2046-2065) 平均海平面上升 達0.53米	本世紀末(2081-2100) 平均海平面上升 達1.07米
1	2.7	3.2	3.8
2	2.9	3.4	4.0
5	3.1	3.6	4.2
10	3.3	3.8	4.4
20	3.4	3.9	4.5
50	3.5	4.0	4.6

海圖基準面在主水平基準面下0.146米。

# 國際間的努力

# 聯合國與氣候變化

世界氣象組織  
(WMO)

聯合國環境規劃署  
(UNEP)

政府間氣候變化專門委員會  
(IPCC)

1990年發表第一份評估報告

1995年發表第二份評估報告

2001年發表第三份評估報告

2007年發表第四份評估報告

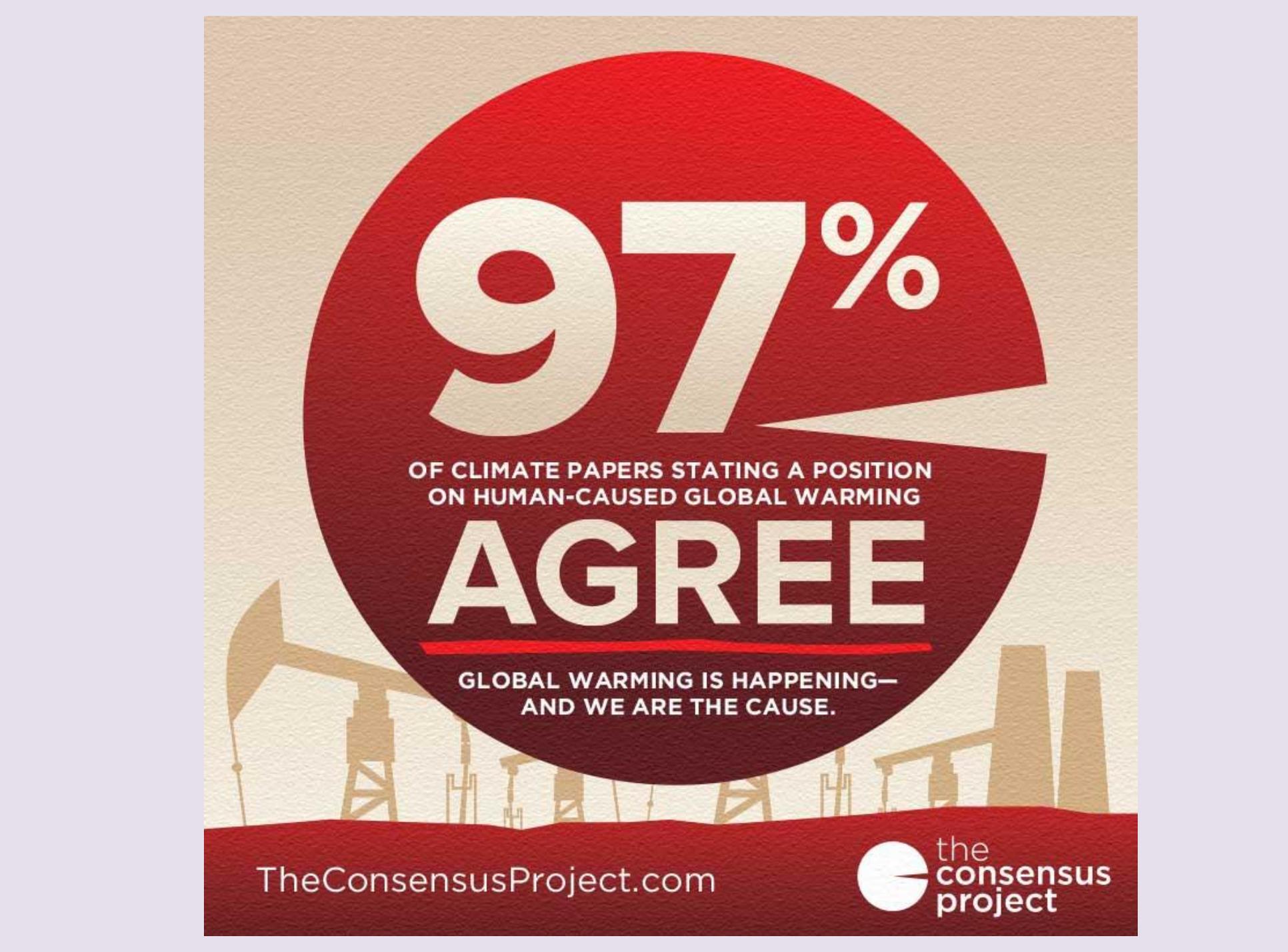
2013/14年發表第五份評估報告

聯合國氣候變化框架公約  
(UNFCCC)

京都議定書 (Kyoto Protocol)

# IPCC是什麼？

- 政府間氣候變化專門委員會（**Intergovernmental Panel on Climate Change**）
- 由世界氣象組織（**WMO**）和聯合國環境規劃署（**UNEP**）於**1988**年共同建立
- 它是一個政府間的組織。認識到氣候變化是一個非常複雜的問題，政策決策者需要一個客觀的資訊來源來評估與理解人為引起的氣候變化、它的潛在影響，以及適應和減緩方案的科學基礎。
- 每隔五至七年發表氣候變化的評估報告（過去的報告發表於**1990**、**1995**、**2001**、**2007**年）
- 最新第一工作組(WGI)第五份評估報告(AR5)的決策者摘要於**2013**年9月底發表
- 第五份評估報告的《綜合報告》在**2014**年**11**月公佈



**97%**

OF CLIMATE PAPERS STATING A POSITION  
ON HUMAN-CAUSED GLOBAL WARMING

**AGREE**

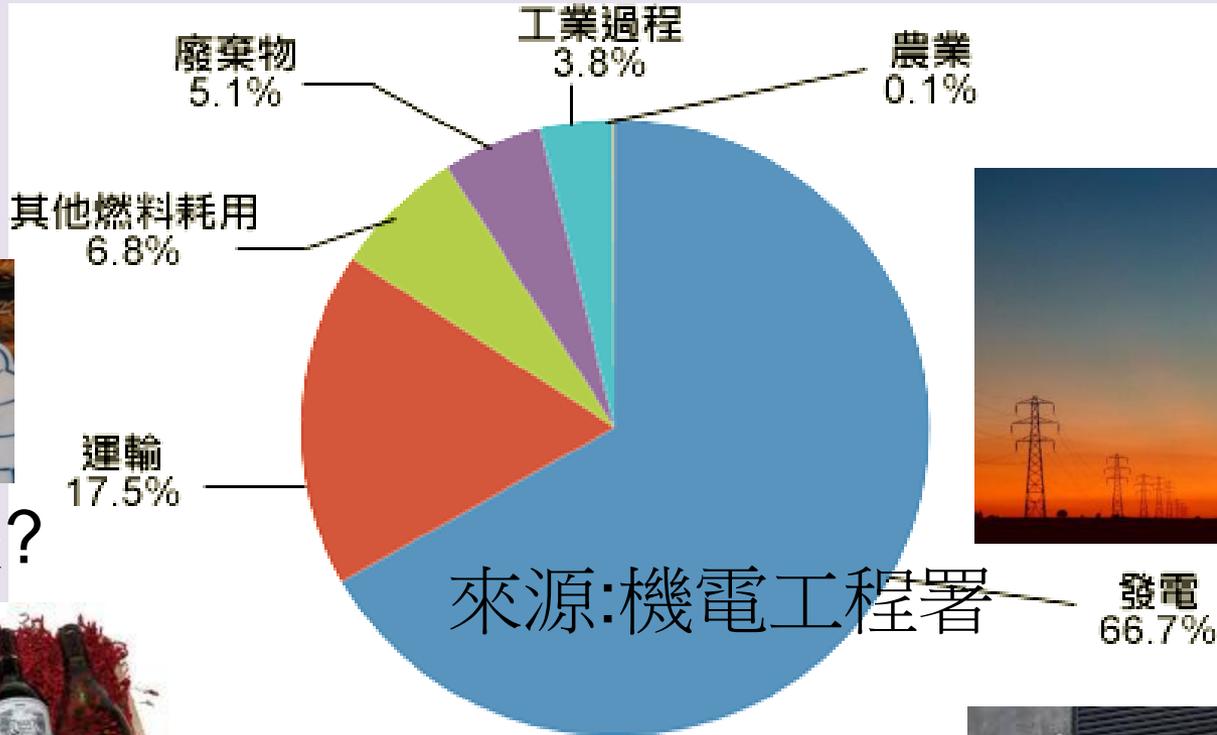
GLOBAL WARMING IS HAPPENING—  
AND WE ARE THE CAUSE.

[TheConsensusProject.com](http://TheConsensusProject.com)



減緩氣候變化，我們可以做些什麼？

# 2008年香港按類別的溫室氣體排放



築地直送?



重要是，我們的行為  
決定了整體用電量



## 如何減少能量…

1度電 (1kWh) 和 1千瓦 (1kW) 相不相同

一度電 = 一千瓦時，**1000瓦×1小時**

耗電量等於功率乘使用時間

耗電量單位千瓦特小時 (kilo-Watt-hour, kWh)。俗稱一度「電」



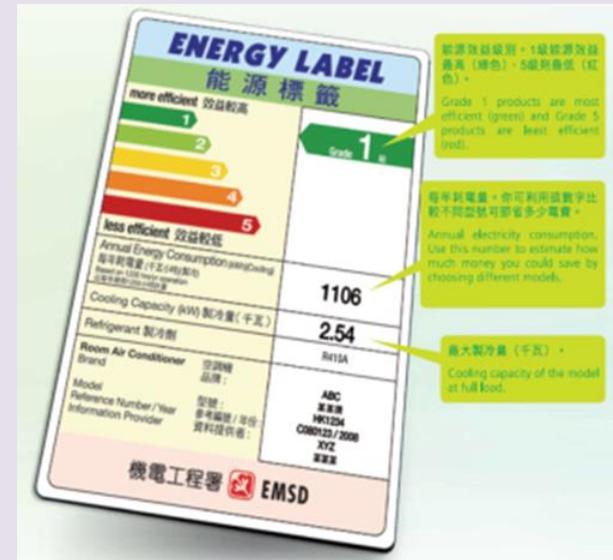
**例子**  
以4人家庭為例：

每天 24 小時開雪櫃、6 小時 32 吋電視機、6 小時電腦、淋浴 3 次、使用電磁爐 4 小時、8 小時照明、1 小時電水爐等

**每兩個月電量(單一帳單)：1400 度**



- 減少浪費能源
- 多使用公共交通工具
- 減少用紙
- 珍惜資源，減少廢物
- 珍惜樹木及愛護環境
- 選購本地及鄰近地區產品，減少運輸和貯存
- 鼓勵親友及他人一起節約



簡單的生活方式以減少全球變暖！



全球變暖的主要起因在人類對能量和資源的過份消耗

# 向公眾推廣氣候變化



氣候變化學校講座



氣候變化網頁



由天文台所製作的氣候變化教材套

多謝