

氣候緊急年代的挑戰與契機

許晃雄

人為氣候變遷專題中心

中央研究院 環境變遷研究中心

中研院物理所

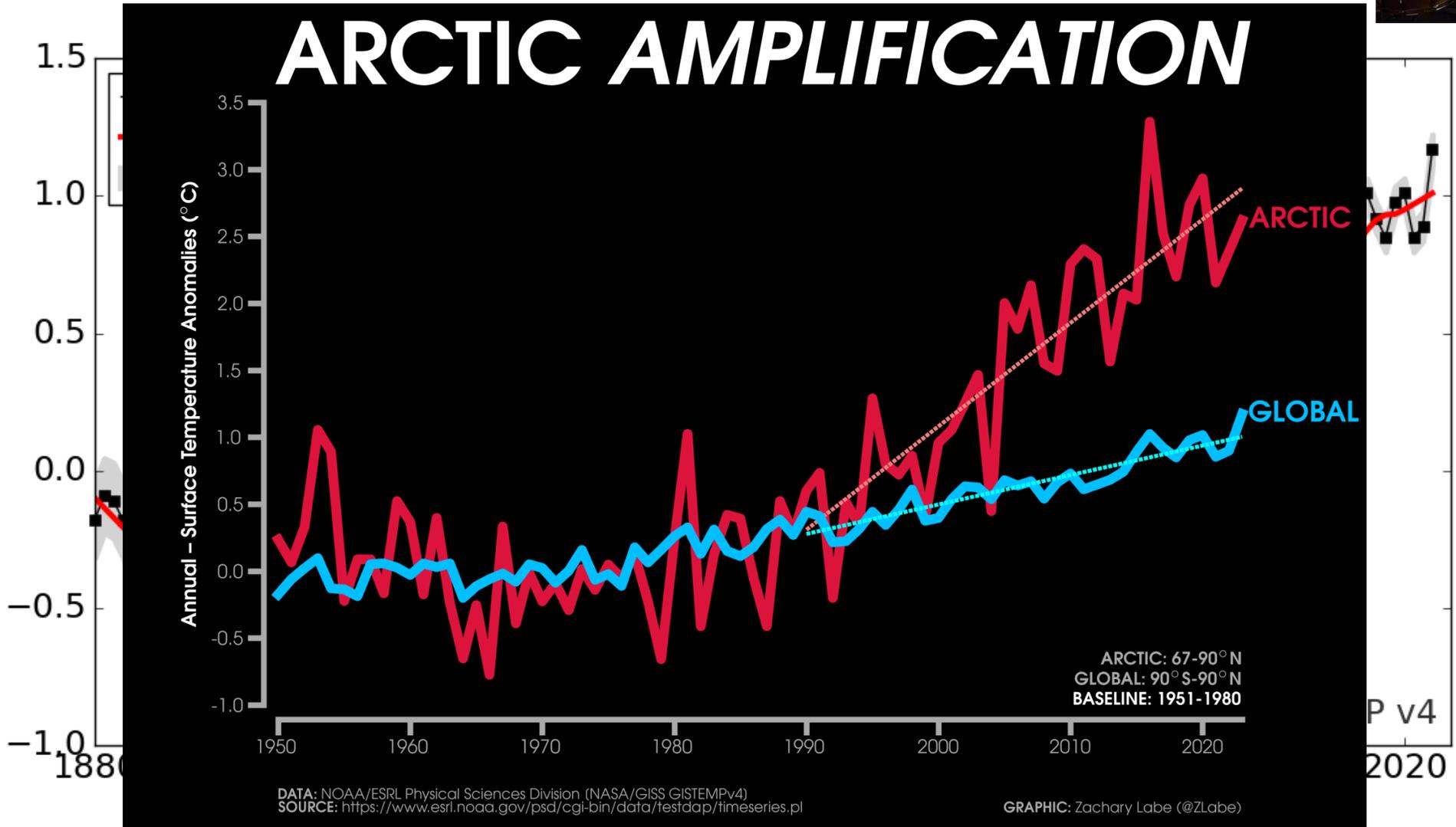
2024年9月3日



進擊、失速的全球暖化



Temperature Anomaly w.r.t. 1951-80 (°C)



氣候螺旋 之暖化杯

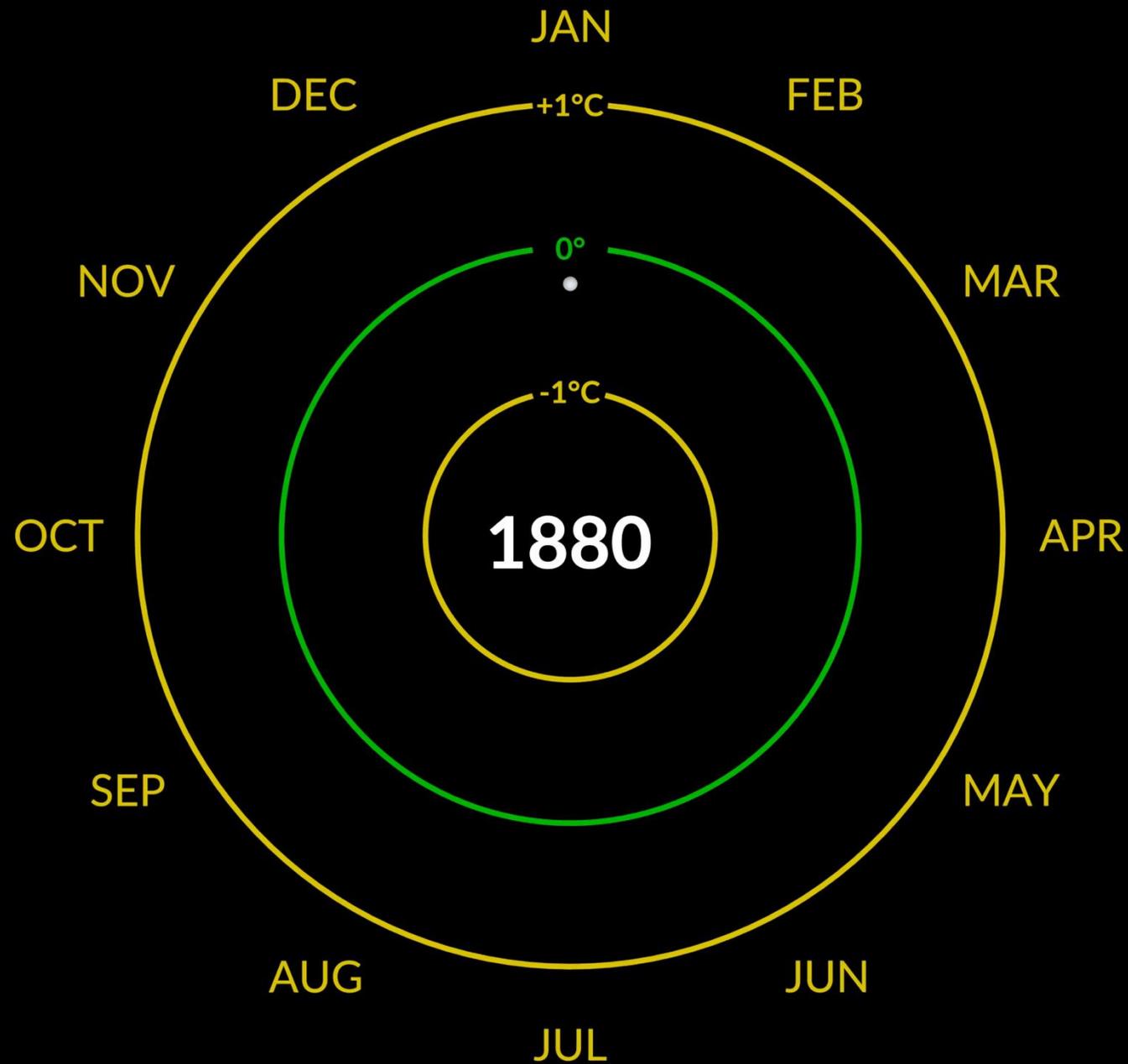
相對於1951-
1980溫度



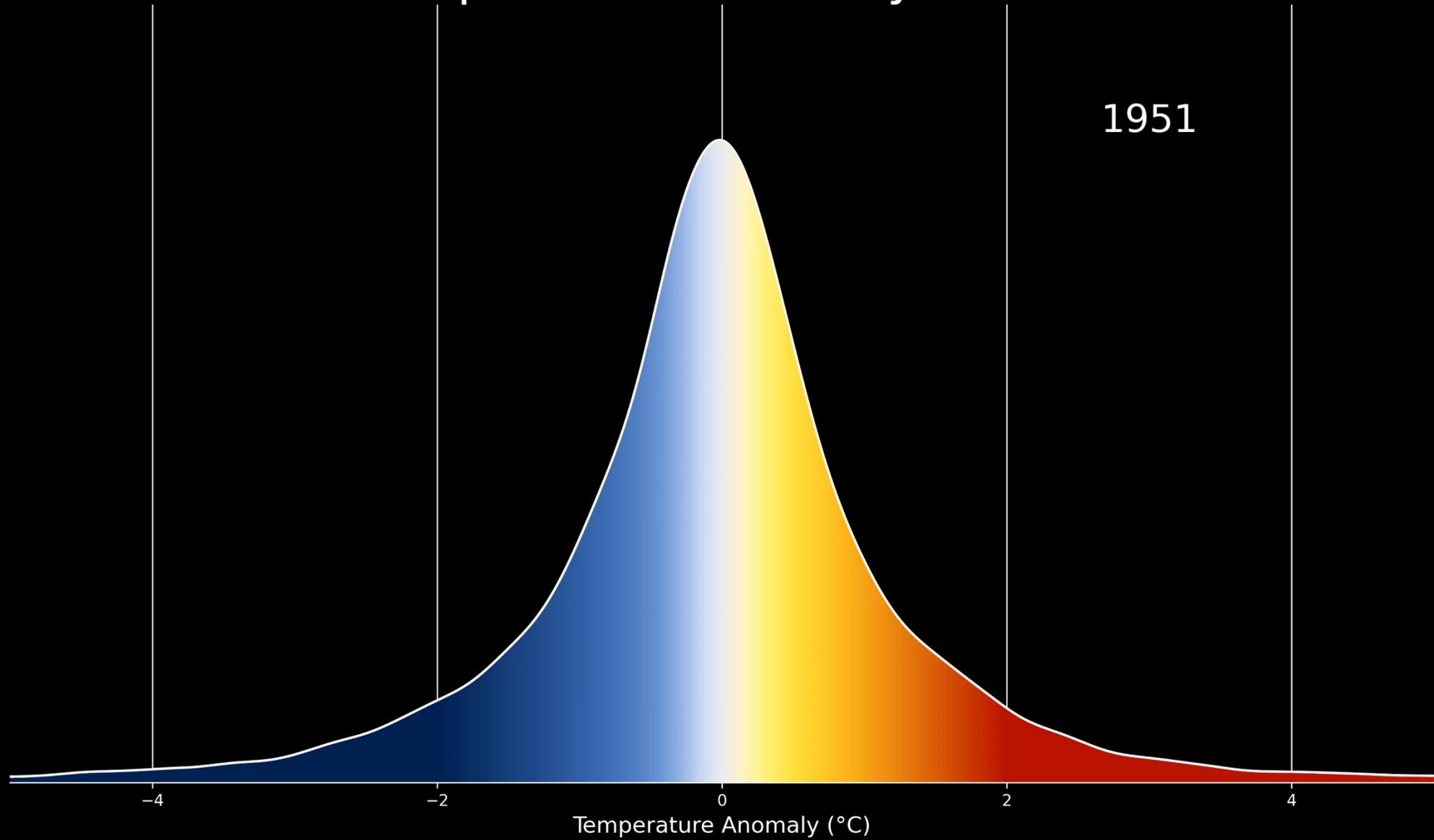
Ed Hawkins: **Climate spirals**

<https://www.climate-lab-book.ac.uk/spirals/>

NASA's Scientific
Visualization Studio



Land Temperature Anomaly Distribution

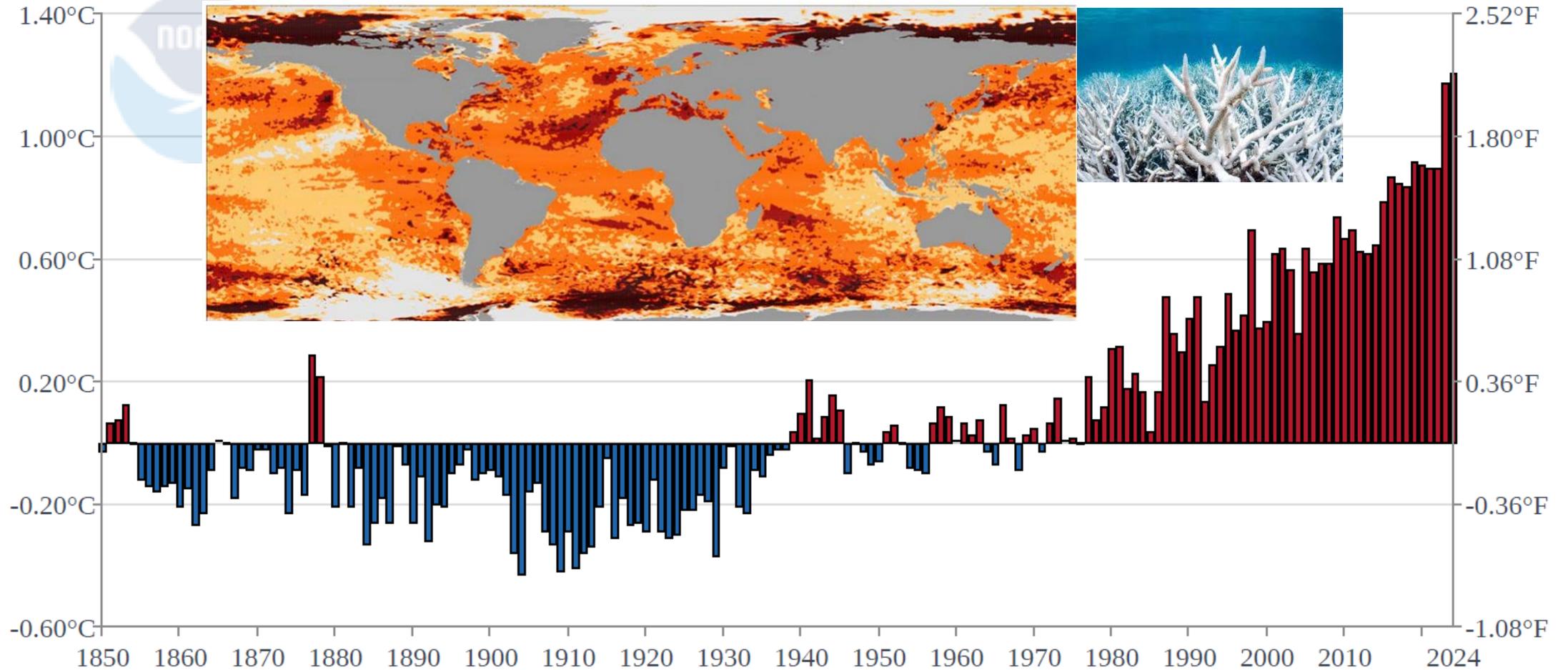


暖化意外加速的2023-2024

Global Land and Ocean

July Average Temperature Anomalies

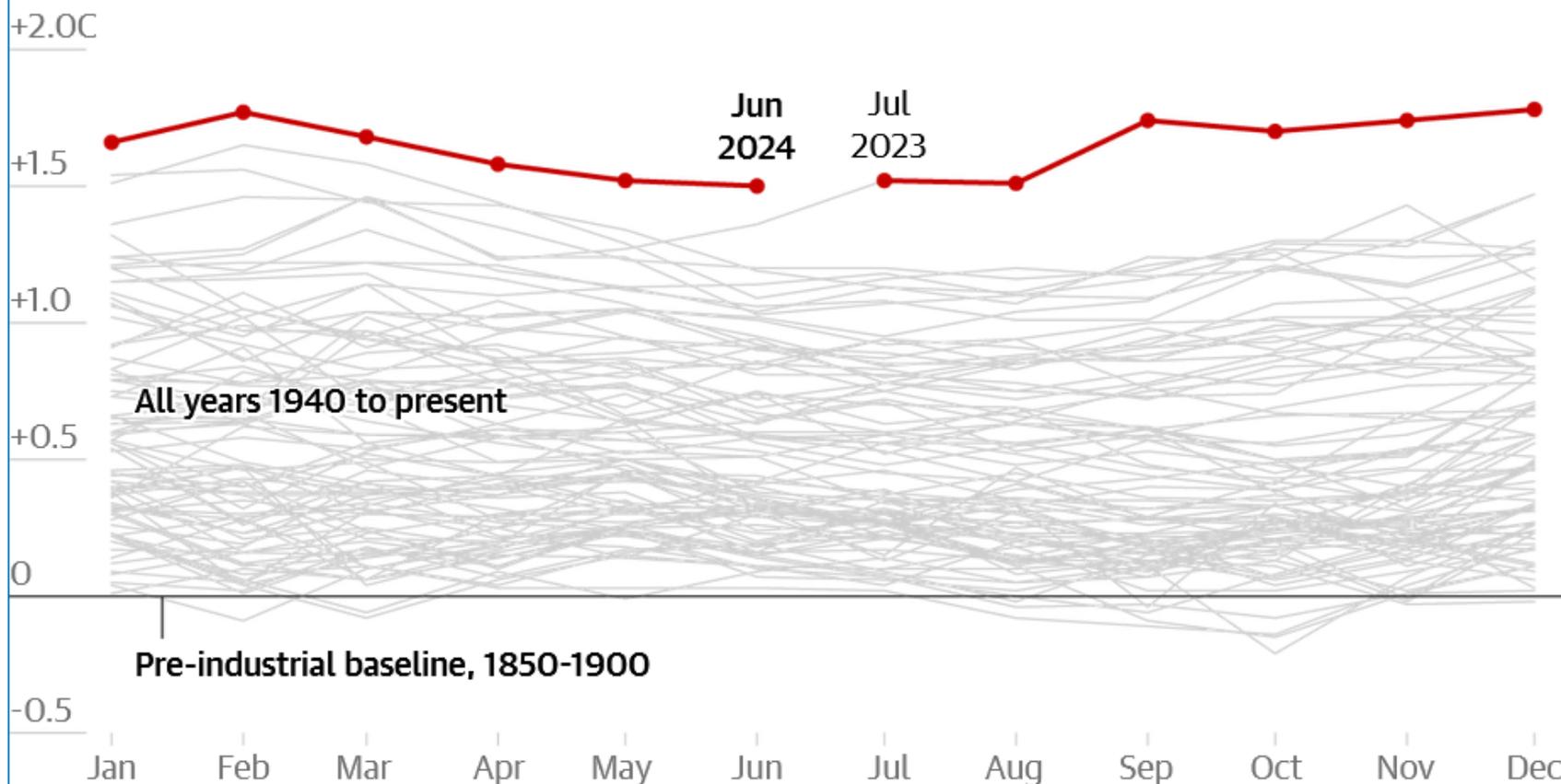
海洋熱浪分布



全球平均氣溫連續12個月超過1.5°C

Global temperatures reached 1.5C above pre-industrial levels for a 12th consecutive month in June

Monthly global surface temperature increase above pre-industrial level, C



Guardian graphic. Source: Copernicus, ERA5, C3S/ECMWF



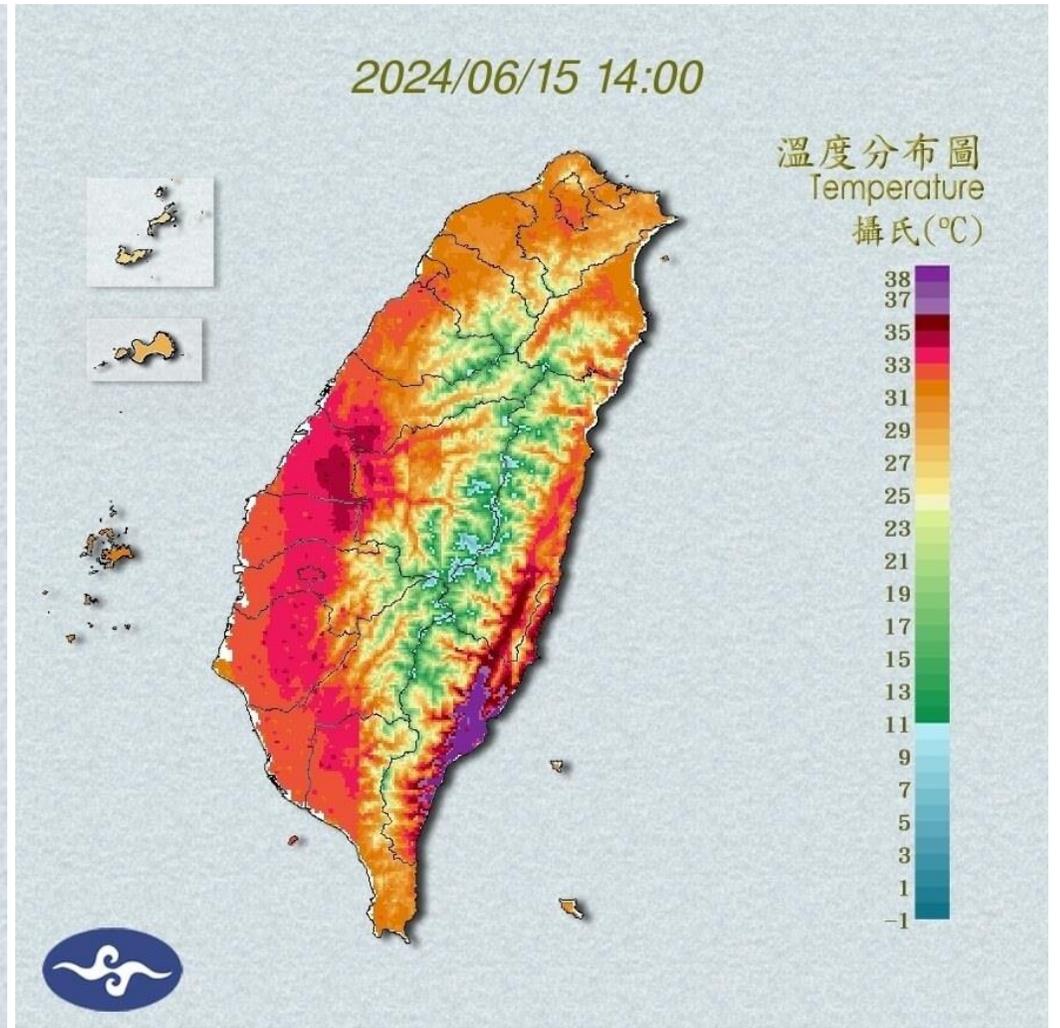
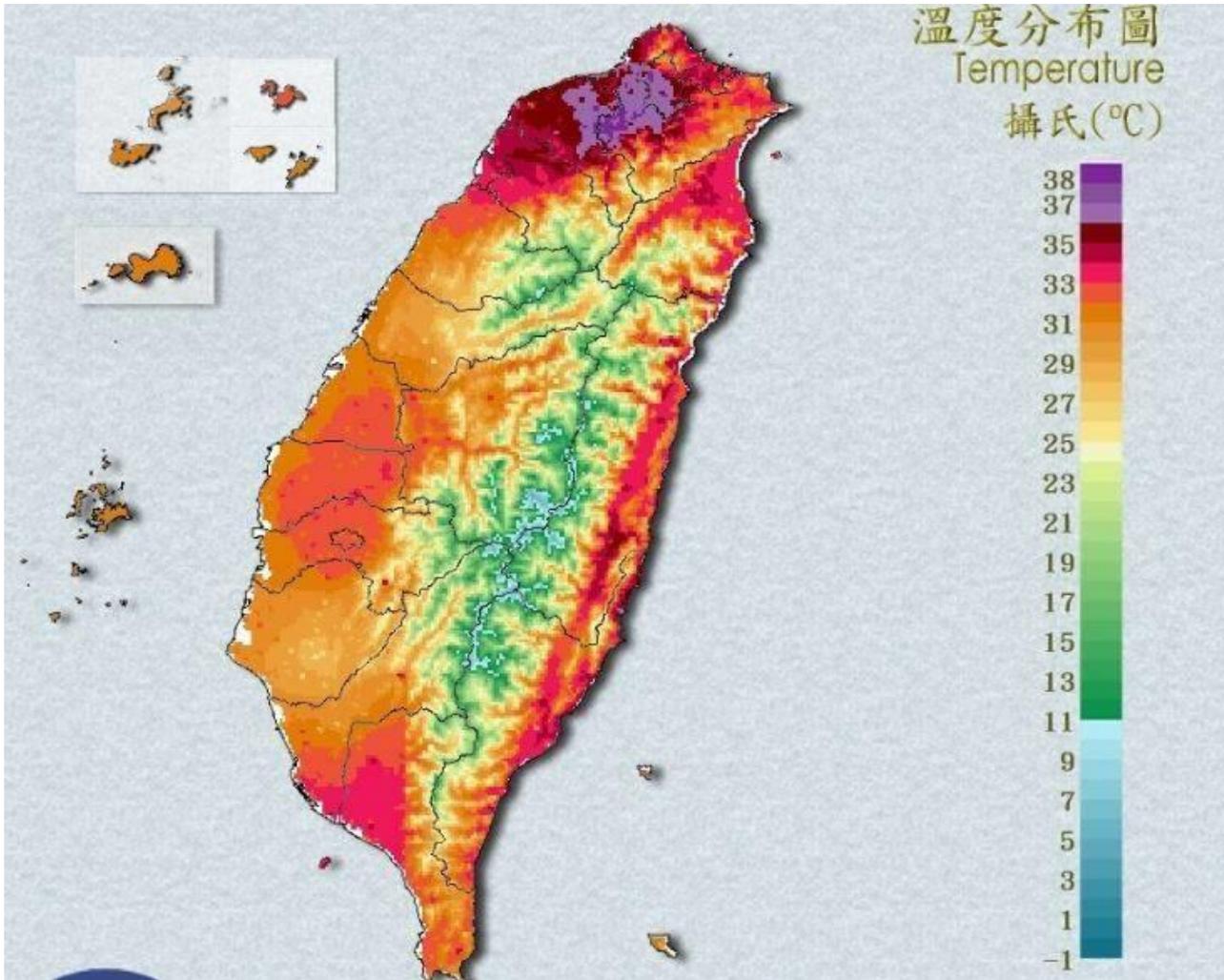
氣候人：
怎會這樣！
真的來了？



夯番薯

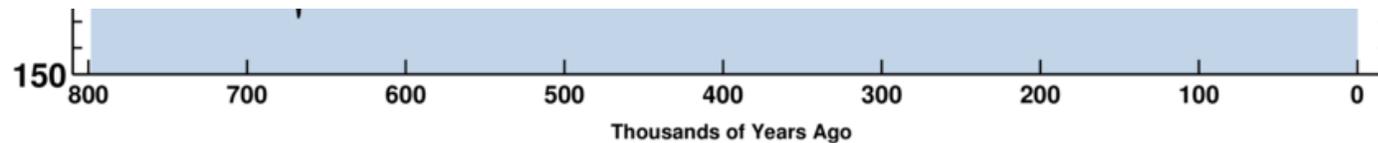
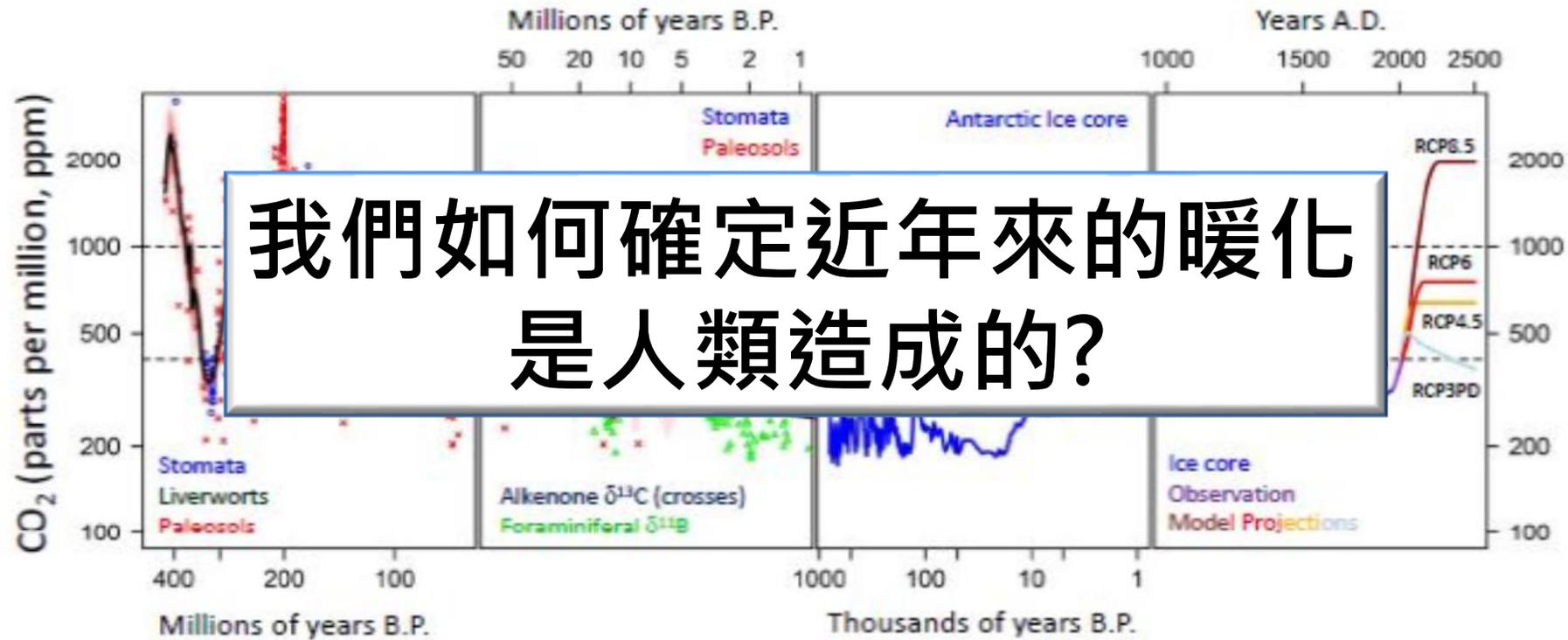
三峽飆40.6度！

6/15台東溫度高達40C!



CO₂濃度遠超過過去80(300-1500)萬年的自然變化範圍

424.83 ppm (July 31, 2024)



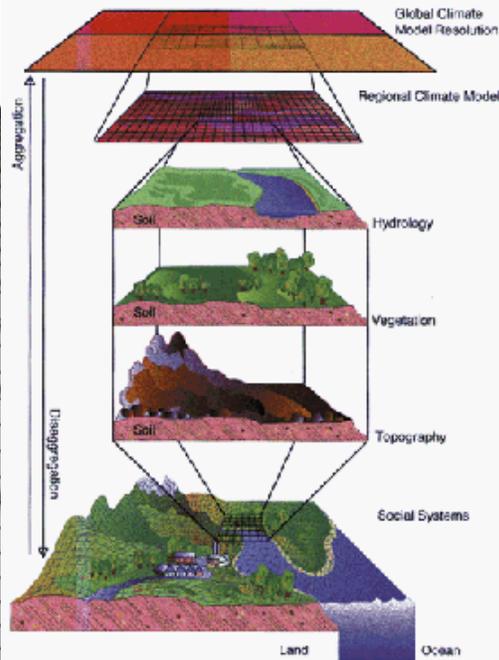
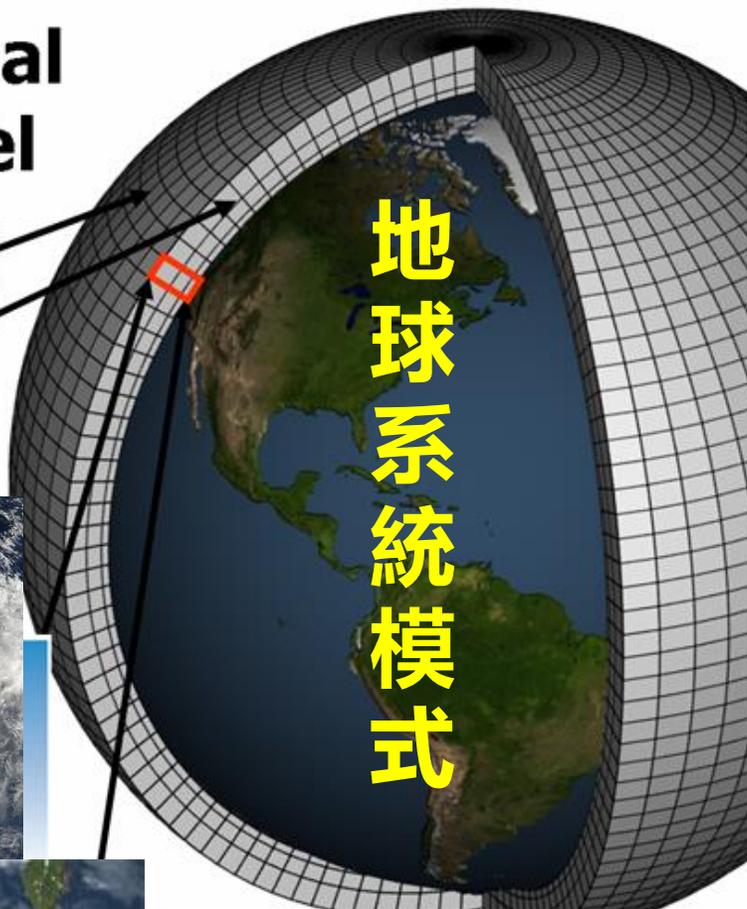


Explosive deep connection in SW Slovenia
© Marko Korosec, Sept 12th, 2011
www.weather-photos.net

Global
Model

e)

essure)



(Based on the World Climate Research Program 1992, Hadley Centre 1996)

降尺度到鄉鎮

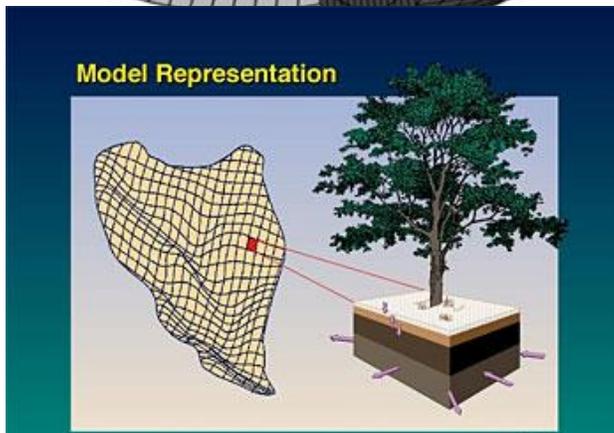
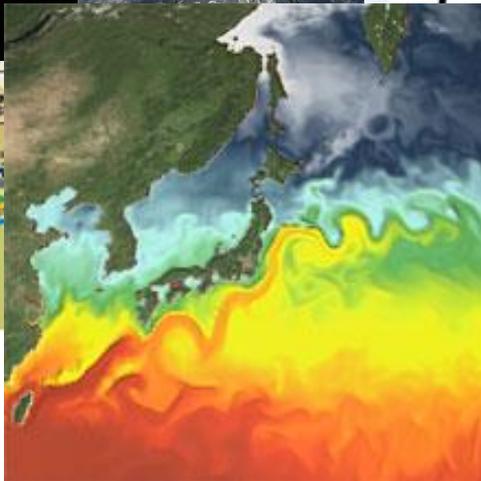
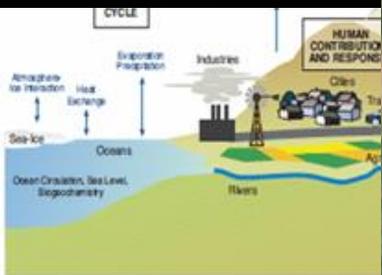


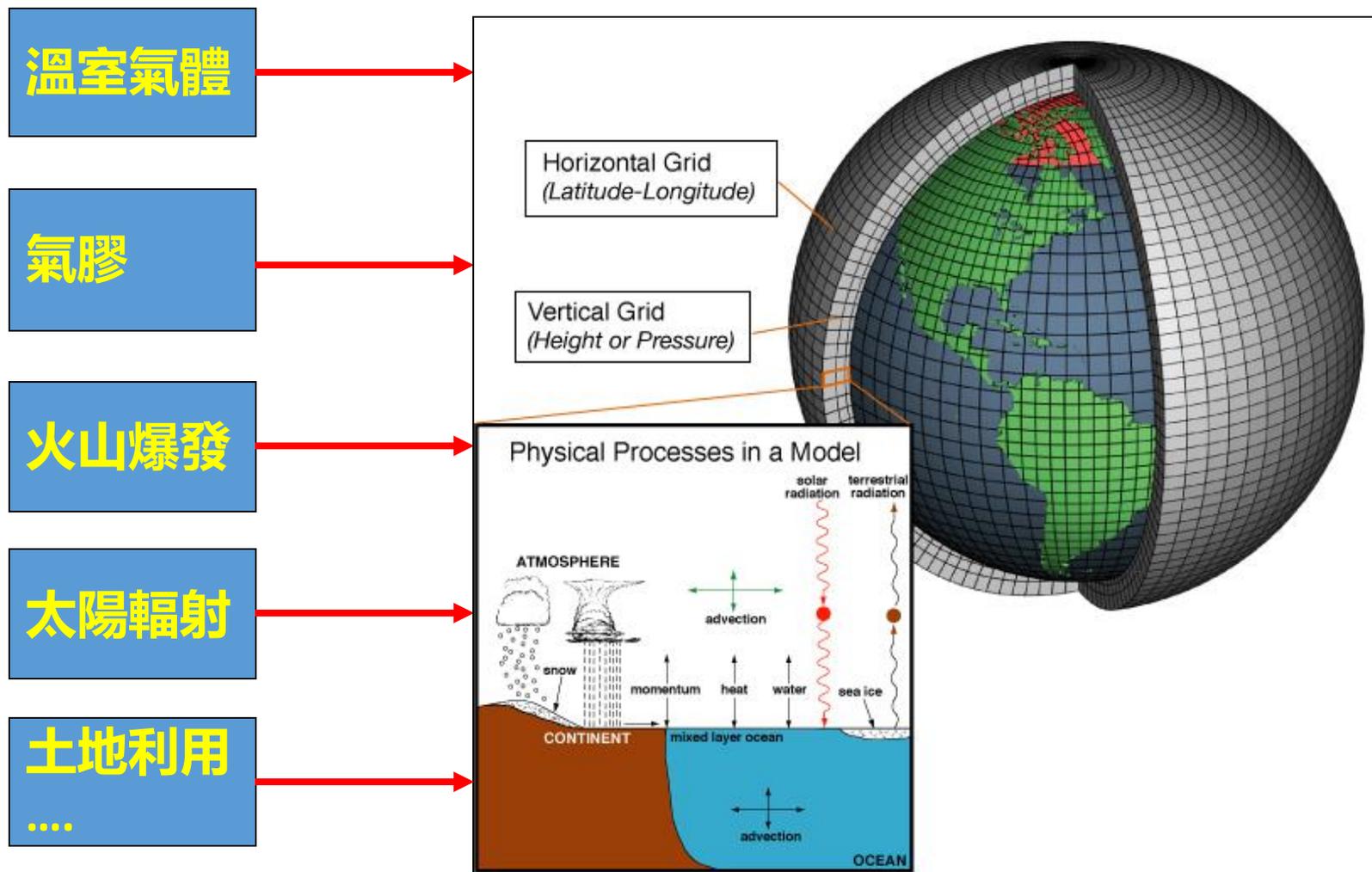
Figure 1. Model representation of a watershed.

Earth System Model (地球系統模式)

- Virtual Earth Laboratory (虛擬地球實驗室, 地球氣候數位學生)
- Climate Game 氣候電遊 (了解過去, 推估未來—水晶球?)

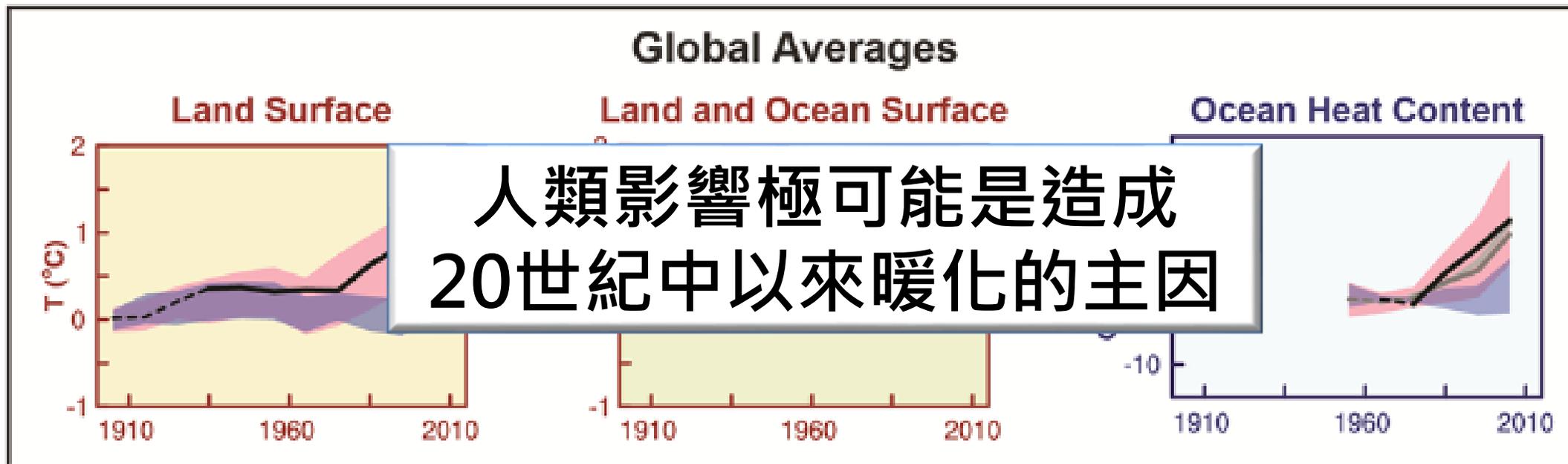


問過去、卜外來



全球/海洋/陸地溫度變遷的「虛擬實境」模擬

自然與人為因素的相對影響



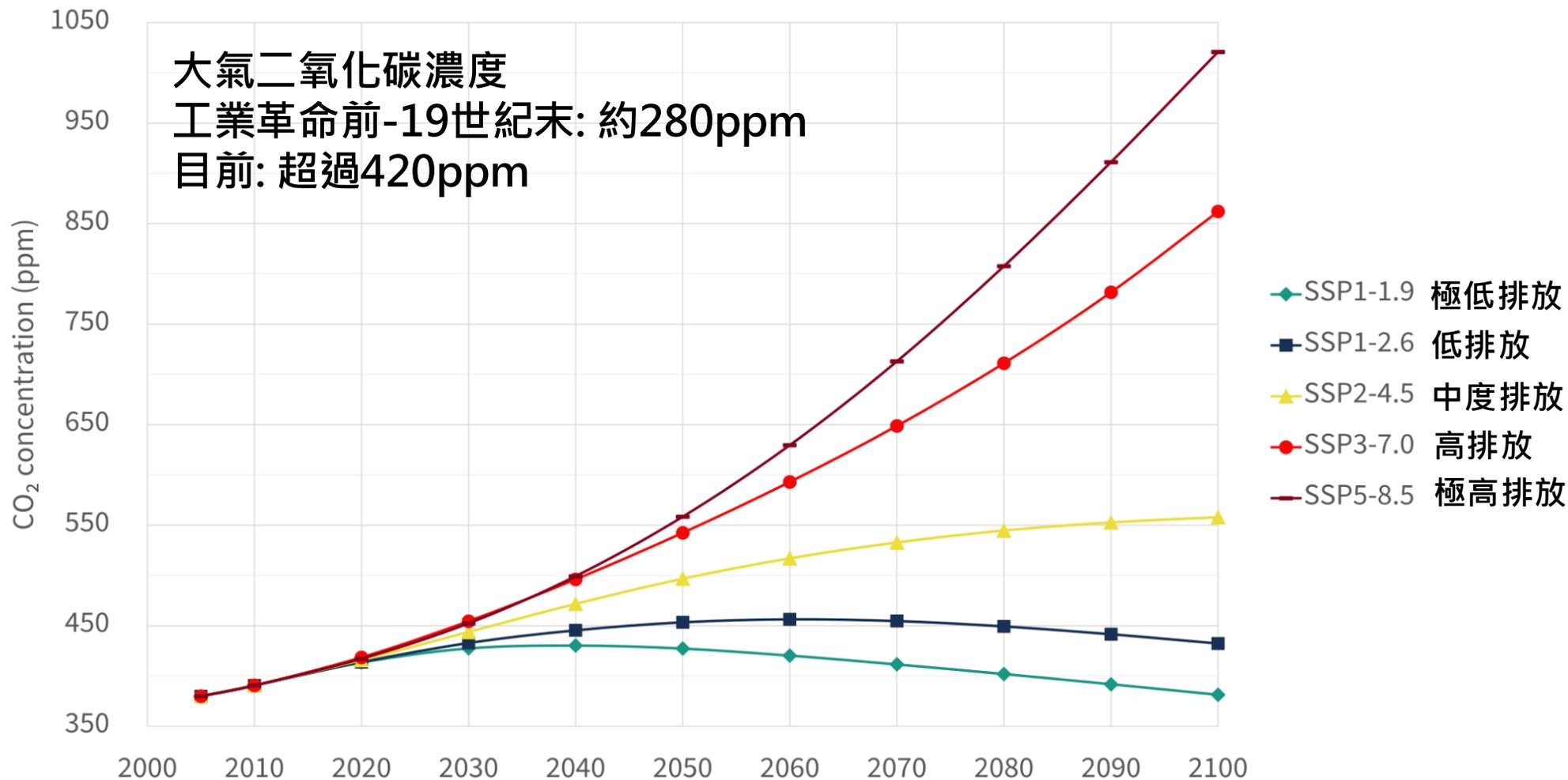
— Observations

■ Models using only natural forcings 自然因素

■ Models using both natural and anthropogenic forcings

自然因素+人為因素(溫室氣體為主)

AR6以經濟社會/排放情境推估未來變遷 Shared Socioeconomic Pathways (SSP)

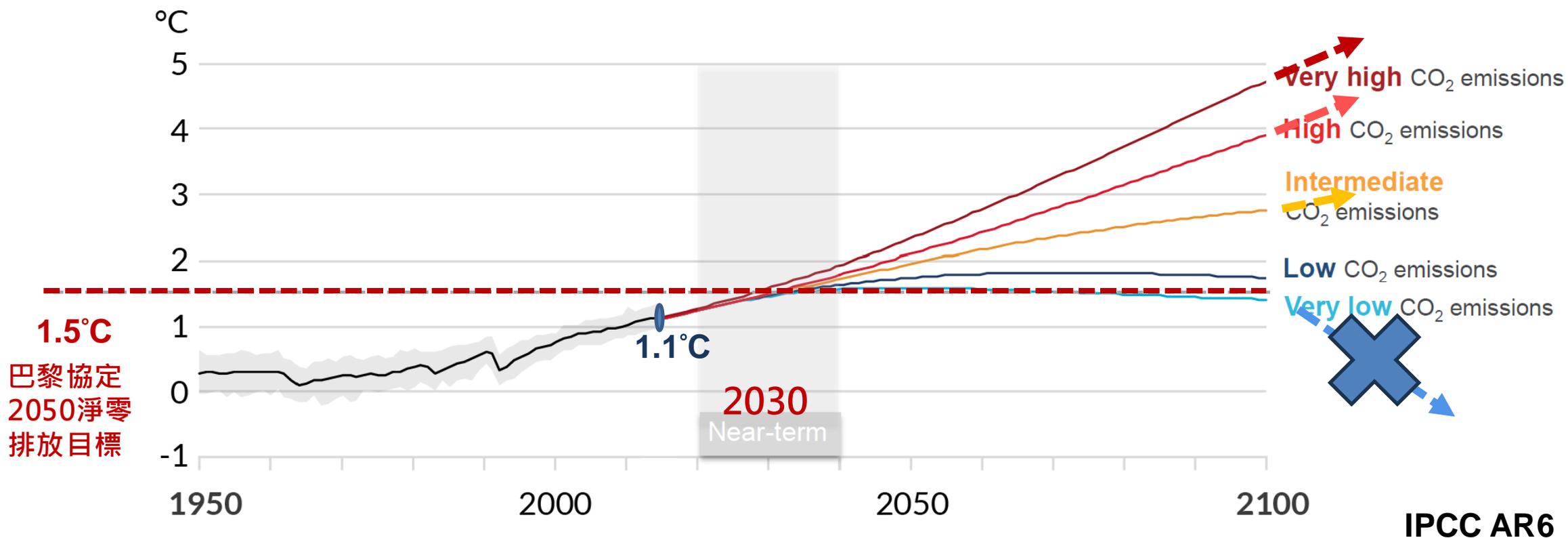


IPCC:以排放情境推估未來溫度變遷

- 排放越多溫室氣體，未來暖化越嚴重
- 無論如何減排，1.5°C暖化將成為新常態，已經無法避免
- 即使達到2050淨零，溫度也不會立即下降!!!

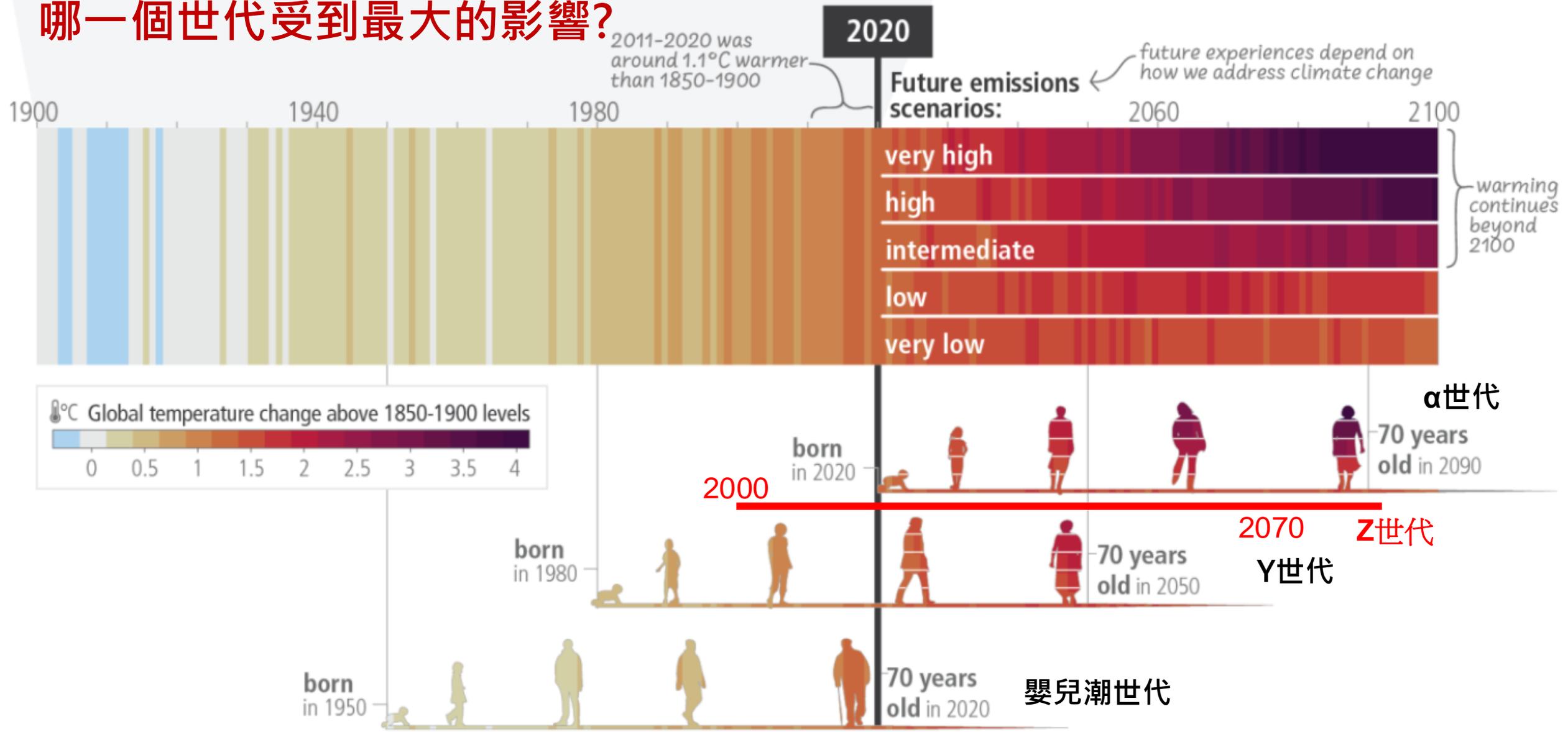


Future emissions cause future additional warming

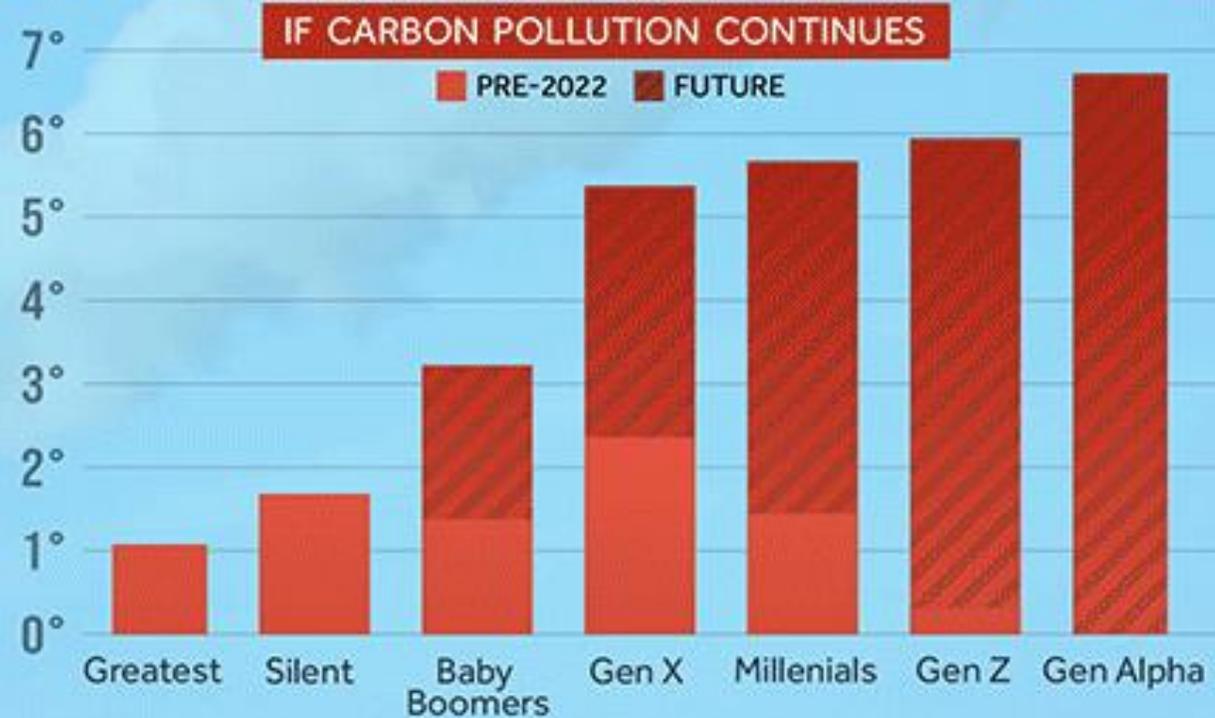


c) The extent to which current and future generations will experience a hotter and different world depends on choices now and in the near-term

哪一個世代受到最大的影響？



HOUSTON WARMING OVER A LIFETIME



Projected lifetime warming (°F) with continued emissions (SSP3-7.0) & significant emissions cuts (SSP1-2.6). Source: NOAA/NCEI and CMIP6

CLIMATE  CENTRAL

https://www.climatecentral.org/climate-matters/warming-across-generations?utm_medium=email&utm_campaign=Development%20-%20Newsletter%20-%20April%202023&utm_content=Development%20-%20Newsletter%20-%20April%202023+CID_8ac9a1ce6f3c7460cfd006b18c6e156&utm_source=Climate%20Central%20Email%20Campaign%20Monitor

二氧化碳濃度

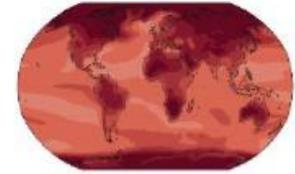
Atmospheric CO₂ concentration (ppm)



紅色警戒

CODE RED

SSP5-8.5 極高排放情境



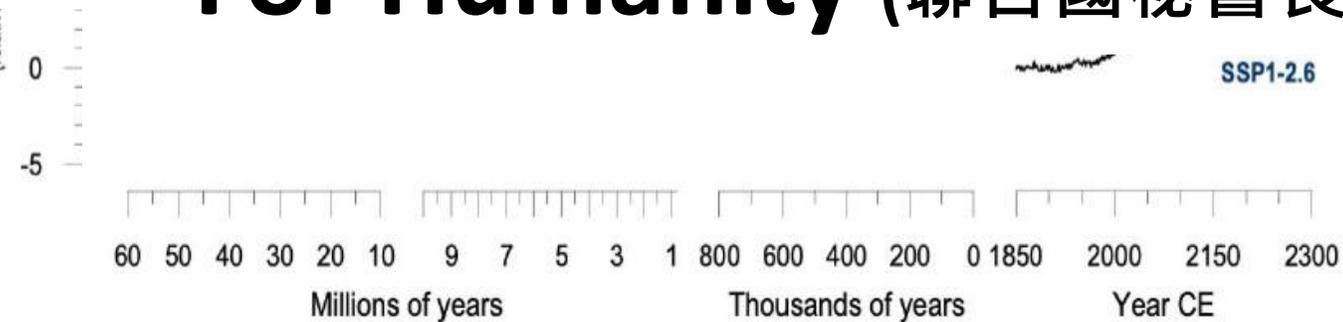
5°C世界



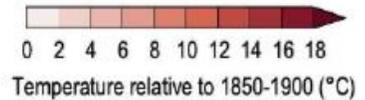
For Humanity (聯合國秘書長古特瑞斯) 5°C世界

溫度變遷

Global surface temperature change (°C) (relative)



SSP1-2.6



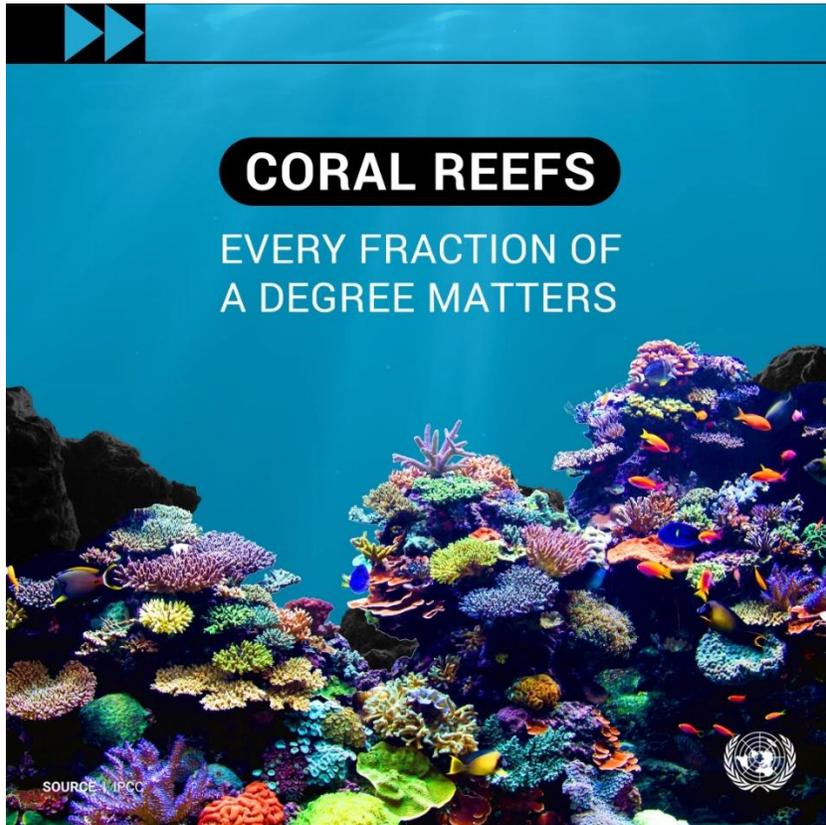
暖化趨勢下的未來景象
(英國衛報,15/8/2024)

“今年(未來每一年)夏天，可能
都是你餘生最涼的夏天”



為何必須錙銖必較每一點點升溫？

Every Fraction of a Degree Matters!

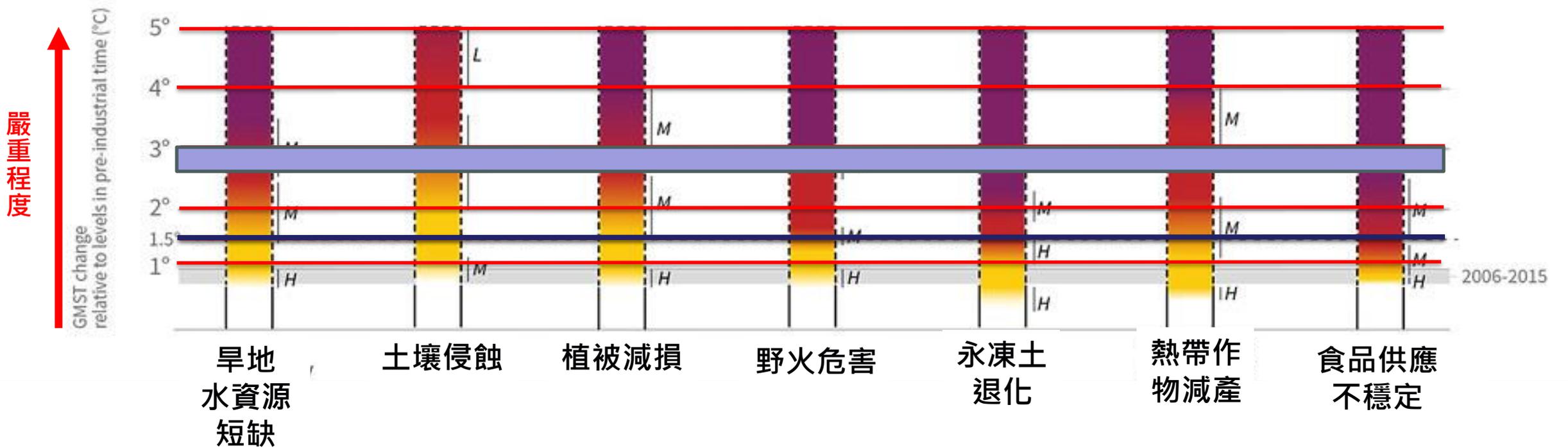


https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/ocean-impacts?fbclid=IwAR32-DxNdGE5qoMrHqns1Qu1oixcr5dhYOwy5_gjtG97TGXU2SwxEUiwGU8

升溫幅度越高(低)，全球衝擊越劇烈(小)

巴黎協定(2015)目標:努力不超過1.5°C (在2100年)!

1.5 °C:微小化衝擊，降低調適困難度；逆轉劣勢，轉型創新的機會
(加護病房 → 普通病房，調整體質，有康復機會)



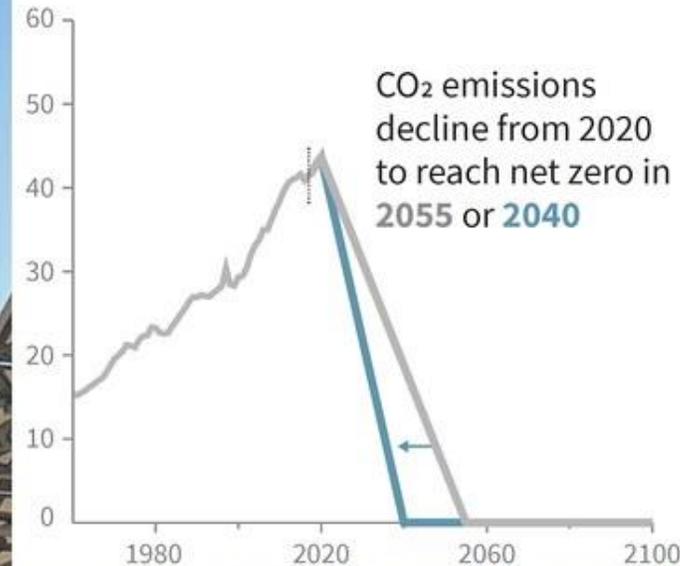
IPCC 1.5°C特別報告系列 (陸地、海洋、冰圈...)

1.5°C目標的嚴峻挑戰: 立即、大幅度減排。

2020-2030間每年需減碳排
7.6% - UNEP emission
gap report 2019

26屆聯合國氣候變遷大會
COP26: 訂定全球**2030減碳
45%**，及本世紀中達成淨零
排放目標。

b) Stylized net global CO₂ emission pathways
Billion tonnes CO₂ per year (GtCO₂/yr)



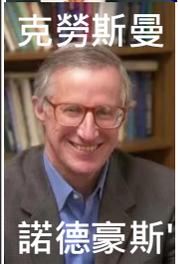
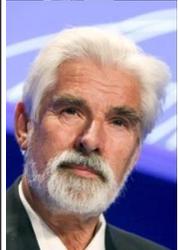
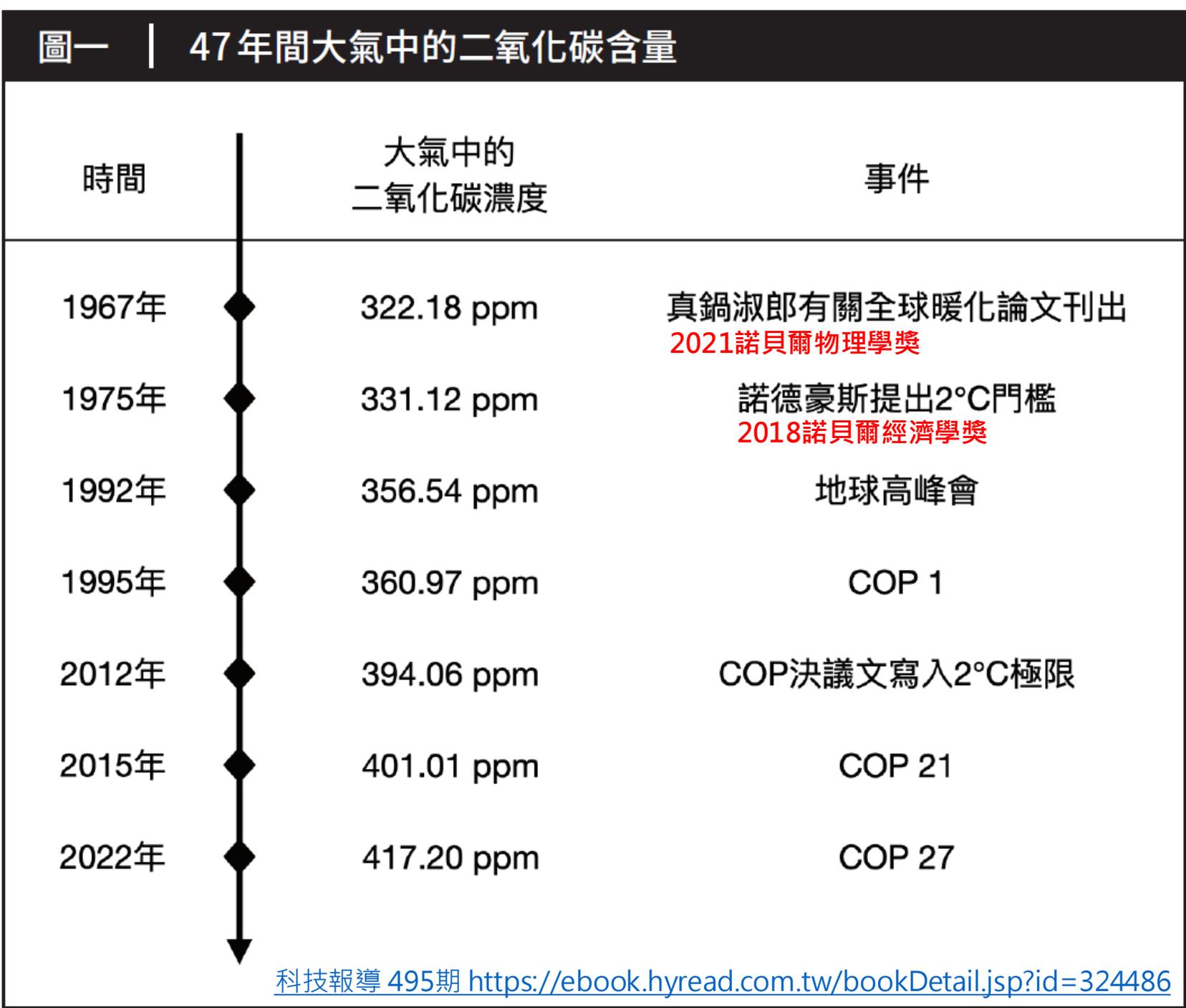
ipcc

Global Warming of 1.5°C

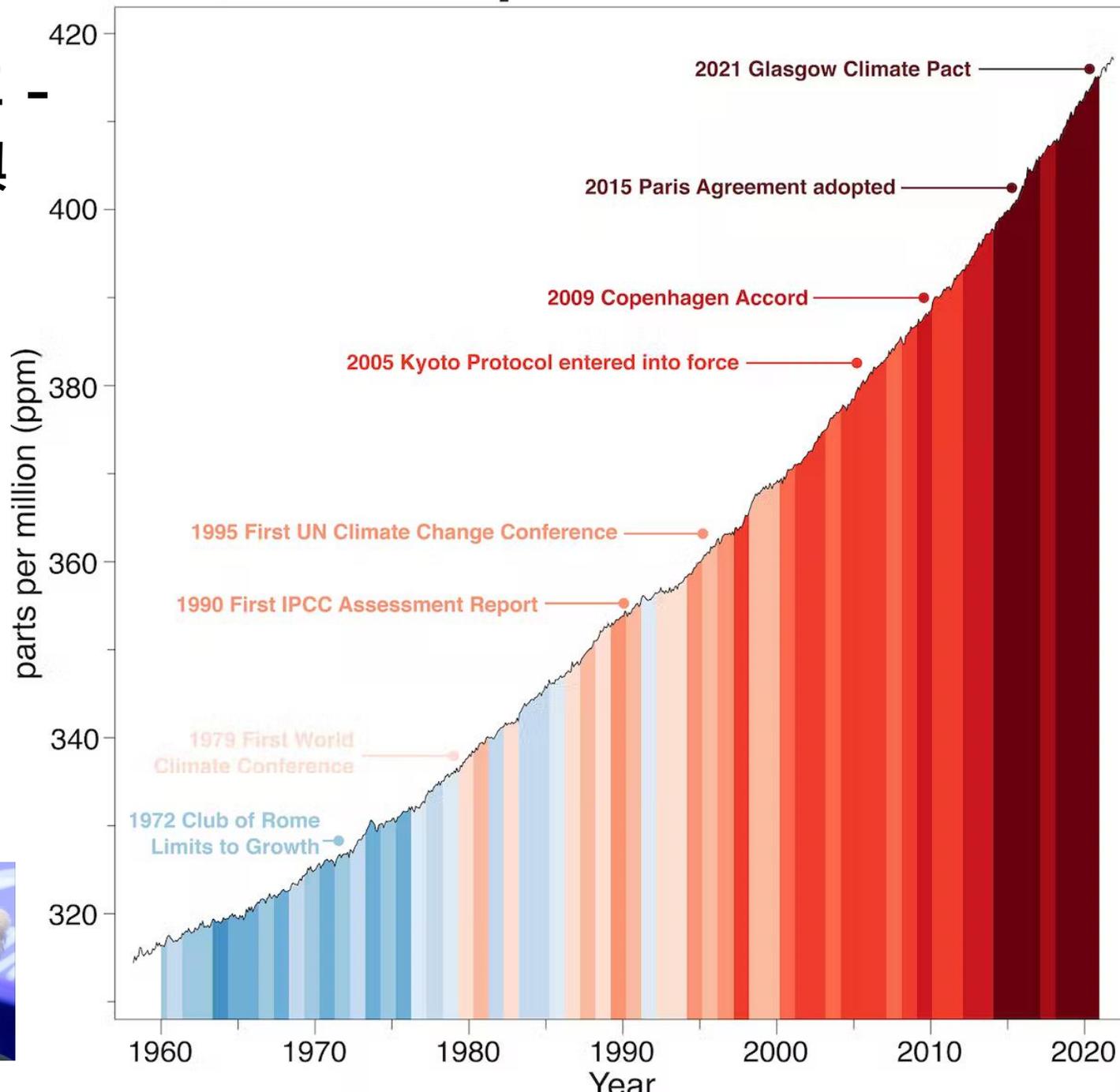
減碳途徑

若要使均溫回到1.5°C以內，
在2030年全球的二氧化碳排放量，應比2010年的排放量少**40%-60%**；
在**2045-2055年歸零**。(C1)

迷途的50年 - 前人的智慧與努力



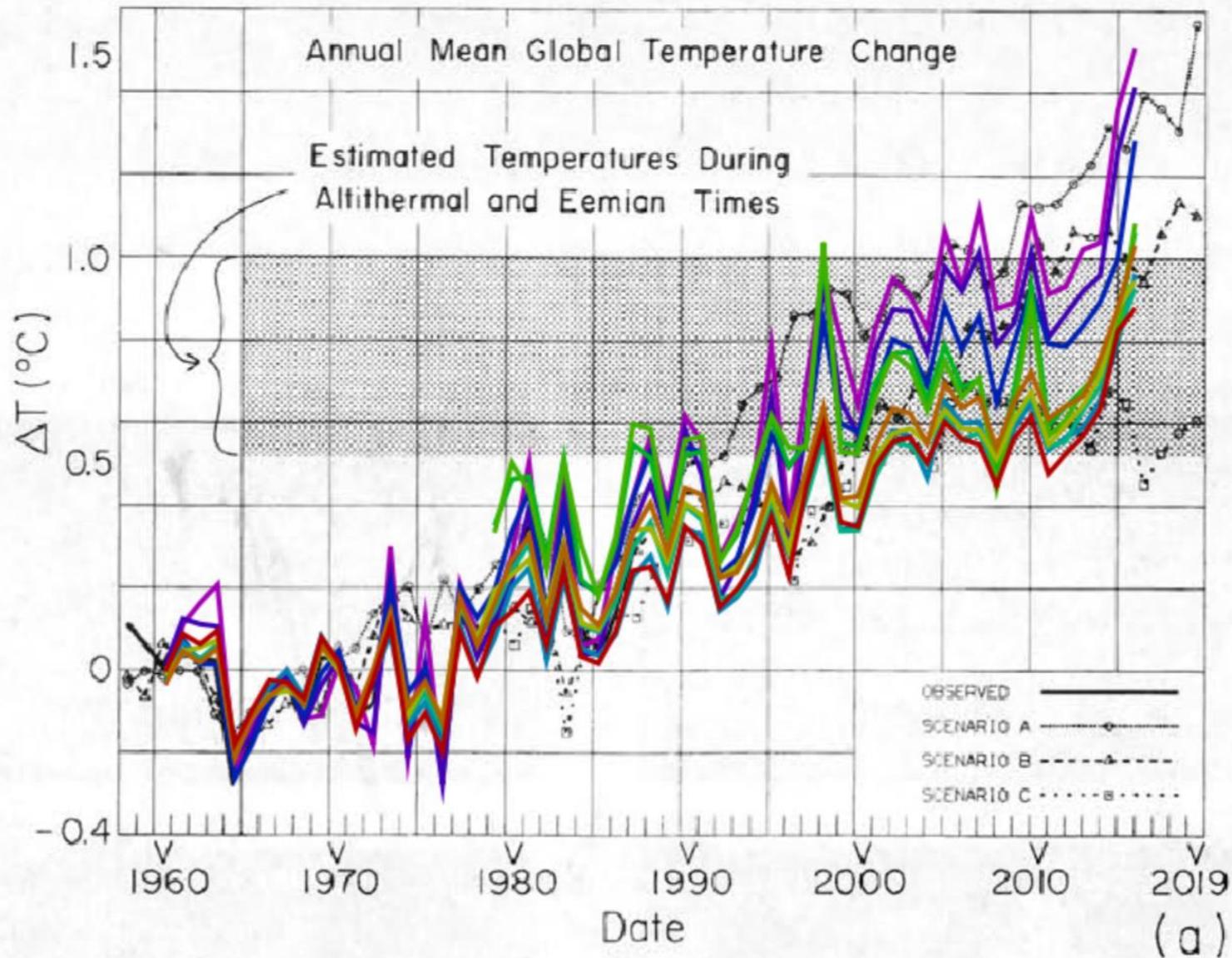
Trends in Atmospheric CO₂ vs Global Temperature Change



迷途的50年 - 前人的智慧與 努力



<https://theconversation.com/cop27-will-be-remembered-as-a-failure-heres-what-went-wrong-194982>



James Hansen presenting early evidence of global warming to the US Congress

**Wallace Broecker (1975)
Charney et al. (1979)**

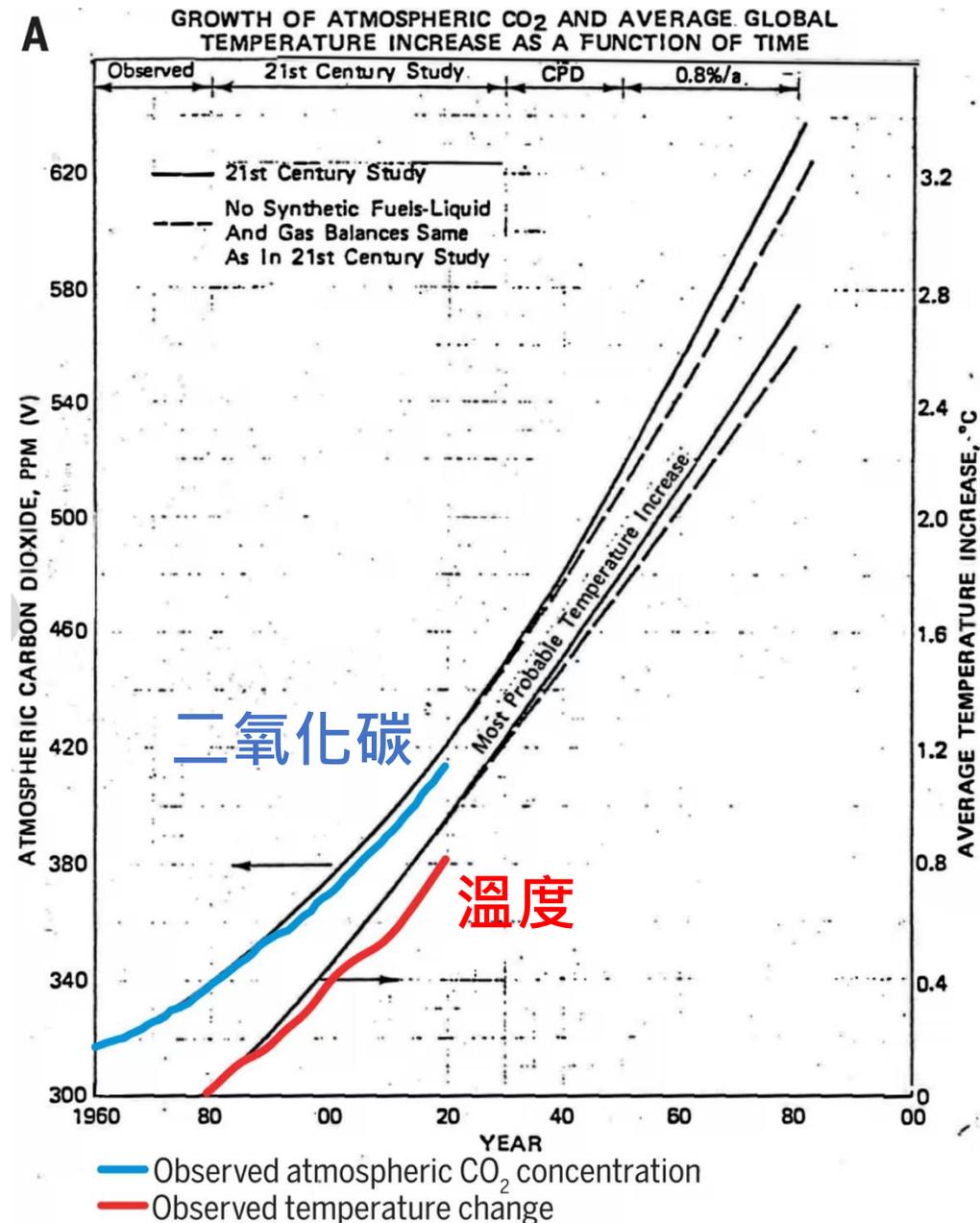
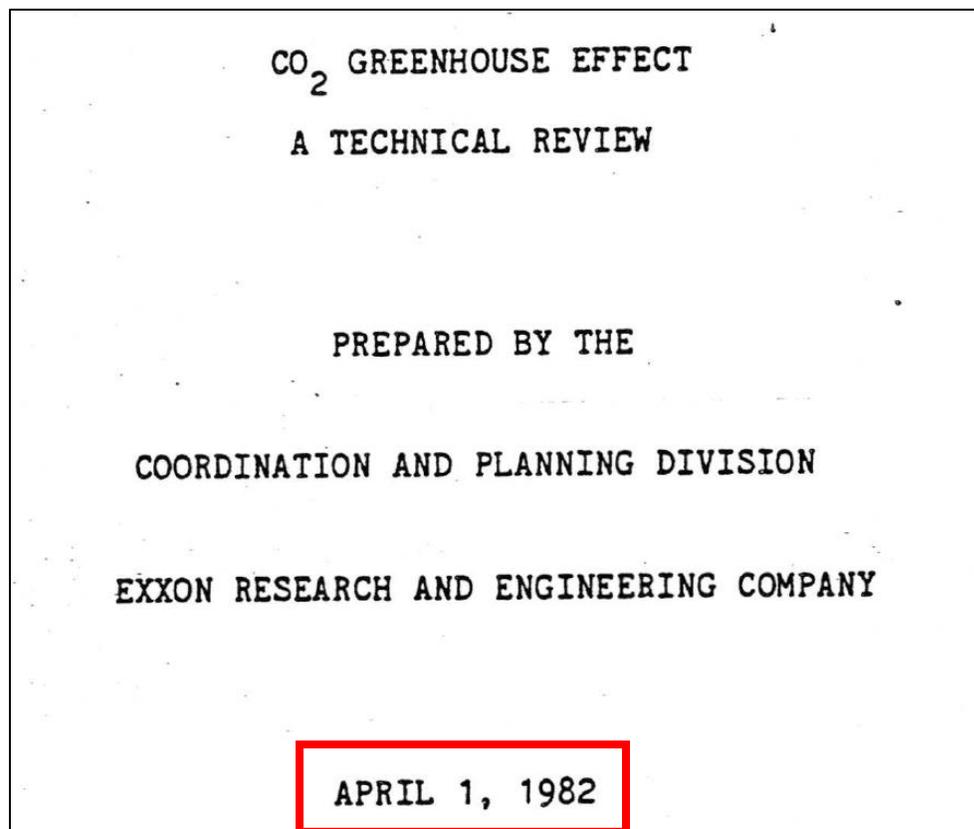
**Jim Hansen 1988 美國國會作證：
人為暖化已經發生
且預測了暖化趨勢**

**結果呢？
趨勢有掌握到。**

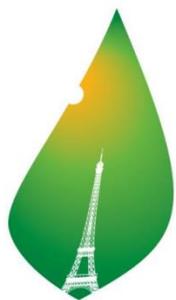
其實，埃克森美孚石油公司也早就知道了！

“Exxon predicted in 1982 exactly how high global carbon emissions would be today”

(Kyla Mandel, Think Progress, May 19, 2019)



爆發的草根力量與去碳政經浪潮
確立了1.5°C淨零轉型目標
– 神奇的轉折!



PARIS2015
CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
COP21·CMP11

UNFCCC - COP21

第21屆聯合國氣候變遷大會

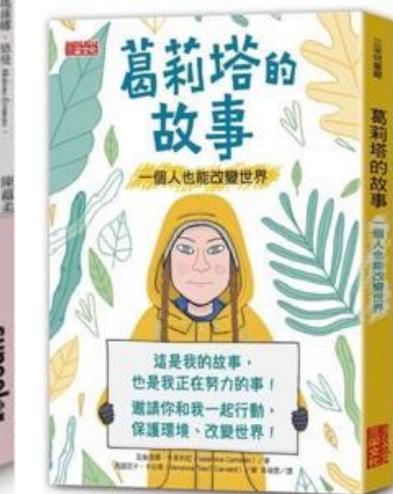
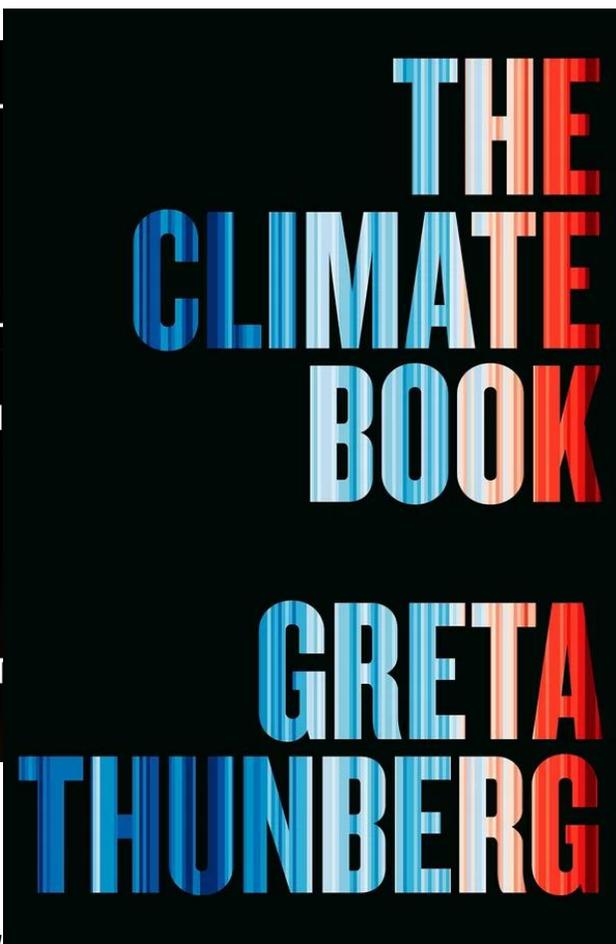
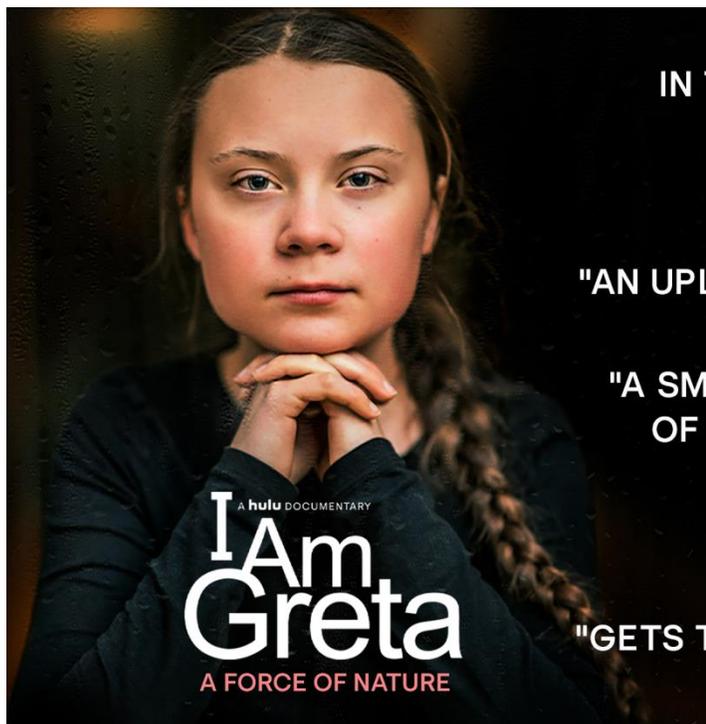
巴黎，2015/11/30-12/11

簽訂巴黎協議



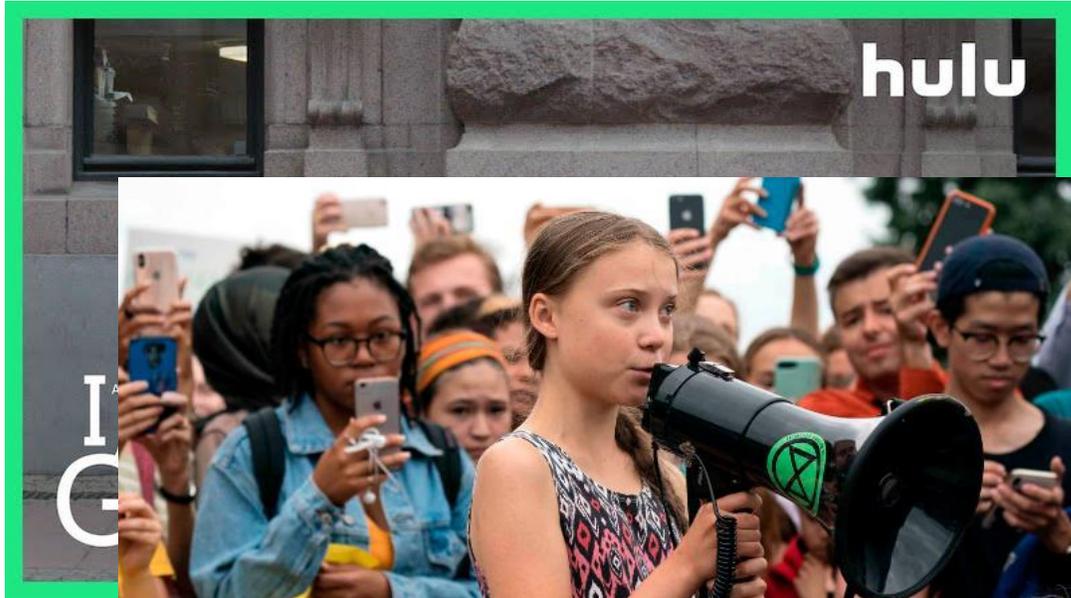
- 減碳目標(以2°C為目標，努力達到1.5°C)
- 規範法制化，5年查核點 (2020更新減碳承諾)
- 節能、減排、再生能源
- 永續發展與調適
- 氣候金融(每年1000億美金， Green Climate Fund)
- 邁向低碳與韌性經濟→新綠色經濟
- 由下而上:社區、企業、地方政府、國際組織

葛莉塔:掀起全球減碳訴求草根力量的傳奇人物



- ★TIME 2019年度風雲人物
- ★2019諾貝爾和平獎被提名者
- ★2019年瑞典年度最重要的女性
- ★2019聯合國氣候行動高峰會青年代表

2018年6月在瑞典國會前發起氣候大罷課，Friday



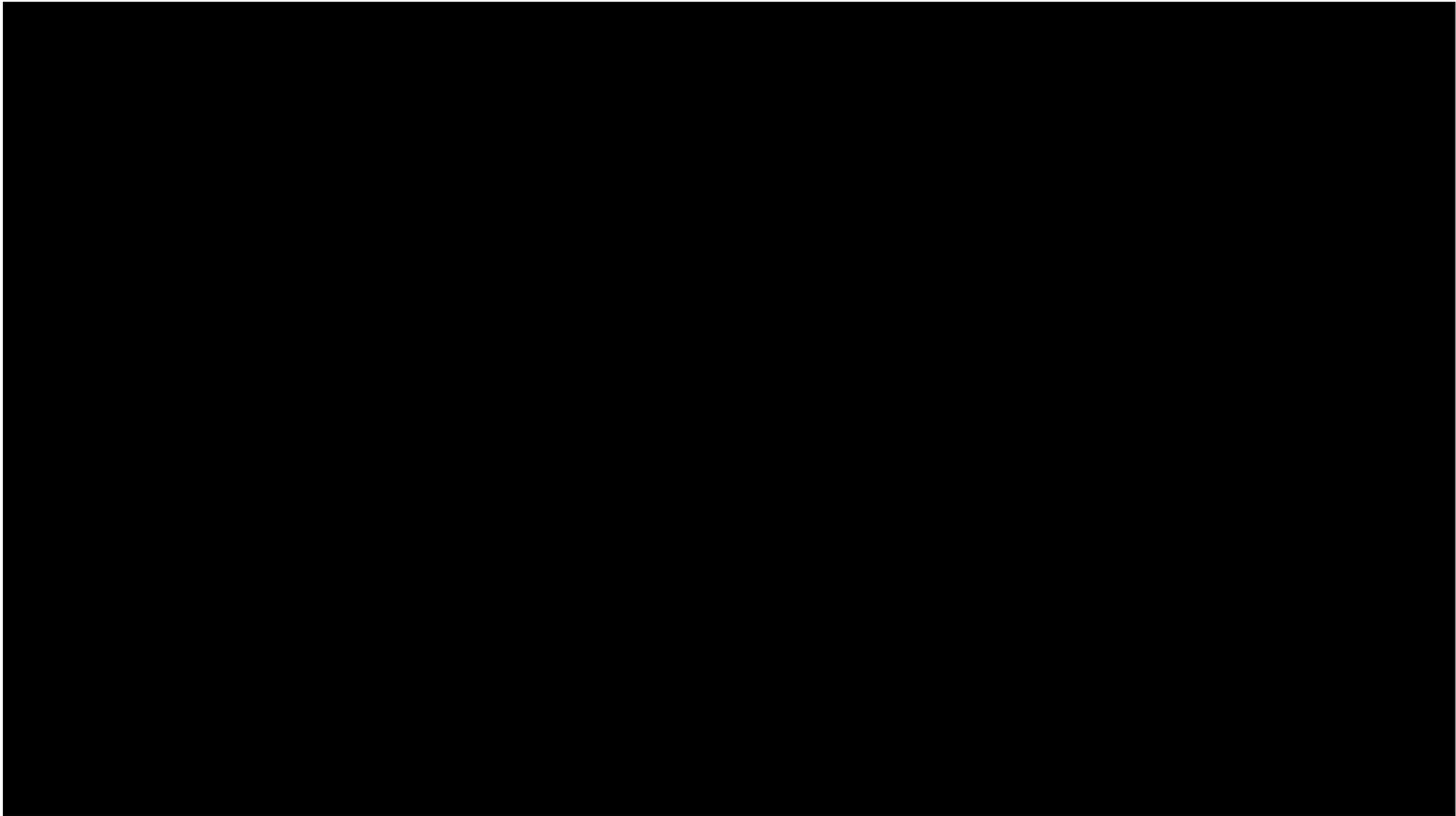
COP25
CHILE
MADRID 2019
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE



#TiempoDeActuar

#TimeForAction





淨零碳排/碳中和/溫室氣體排放目標的宣示

➤ **中國**承諾在2030年前達到排放峰值2060年實現碳中和
(9/23/2020)



➤ **日本**首
- "因
- "我
帶來

碳中和 Carbon Neutral

➤ **南韓**宣
(10/29,

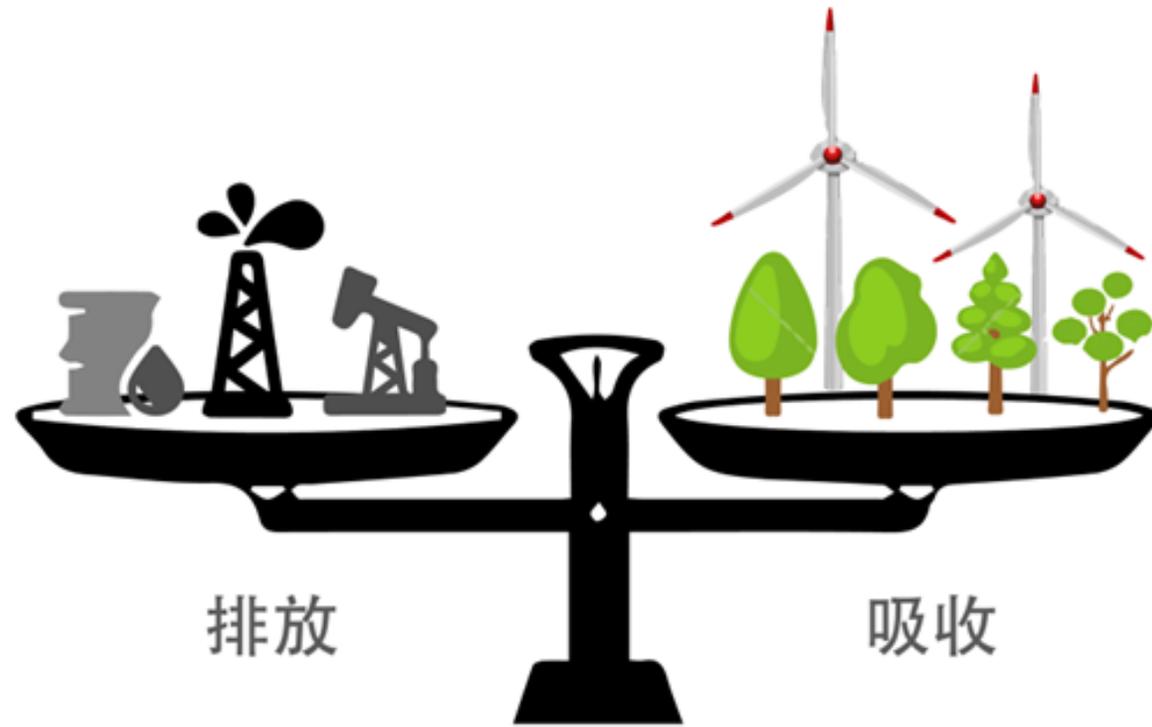


➤ **Boris J**
Indust
(18 Nov



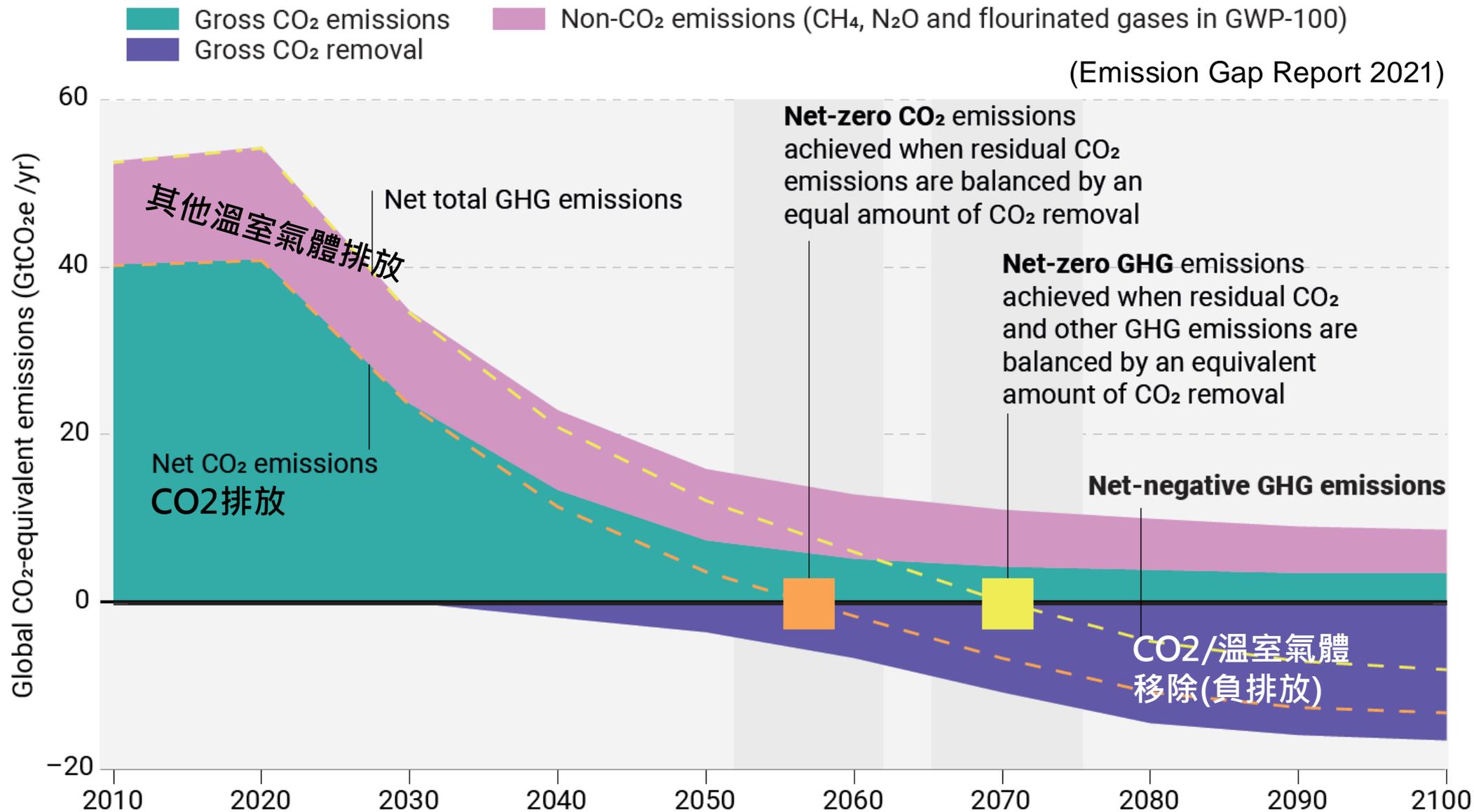
➤ **US, Ca**

(Feb. 23, 2021) <https://www.voanews.com/americas/us-canada-pledge-net-zero-emissions-2050>



**減碳排之外，
也要負碳排(碳移除!)**

如何減排才能限制升溫 < 2°C



2°C與1.5°C目標是嚴峻的挑戰，必須搭配負排放(CO₂)措施

Several carbon dioxide removal options have been proposed:



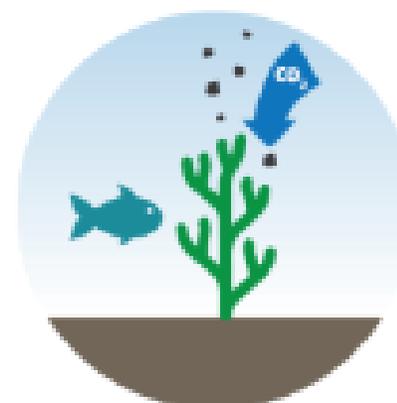
Afforestation and Reforestation
Tree growth takes up CO₂ from the atmosphere.

森林



Bioenergy with carbon capture and storage
Plants turn CO₂ into biomass that fuel power plants. CO₂ captured and stored underground.

生質能
捕集封存



Ocean fertilization
Iron or other nutrients are applied to the ocean increasing CO₂ absorption.

海洋“施肥”
吸收CO₂



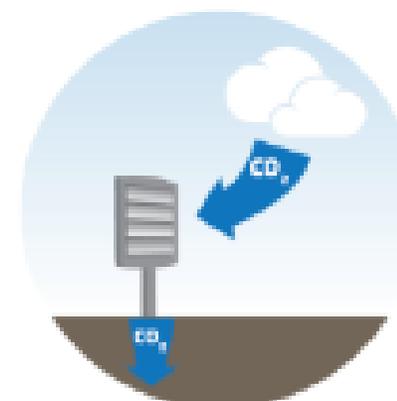
Biochar
Partly burnt biomass is added to soils absorbing additional CO₂.

土壤加「生物炭」
吸收CO₂



Enhanced weathering
Crushed minerals are applied to soil for chemical CO₂ absorption.

加礦物到
土壤吸收
CO₂



Direct Air Capture
CO₂ is removed from ambient air through chemical processes and stored underground.

透過化學作用
直接捕集CO₂封存

化石燃料替代品: 替代能源+ 前瞻能源



Biomass energy



Hydro energy



Wind energy



Wide observation
of the Nature



Geothermal energy

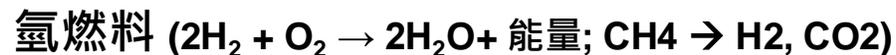


Solar energy

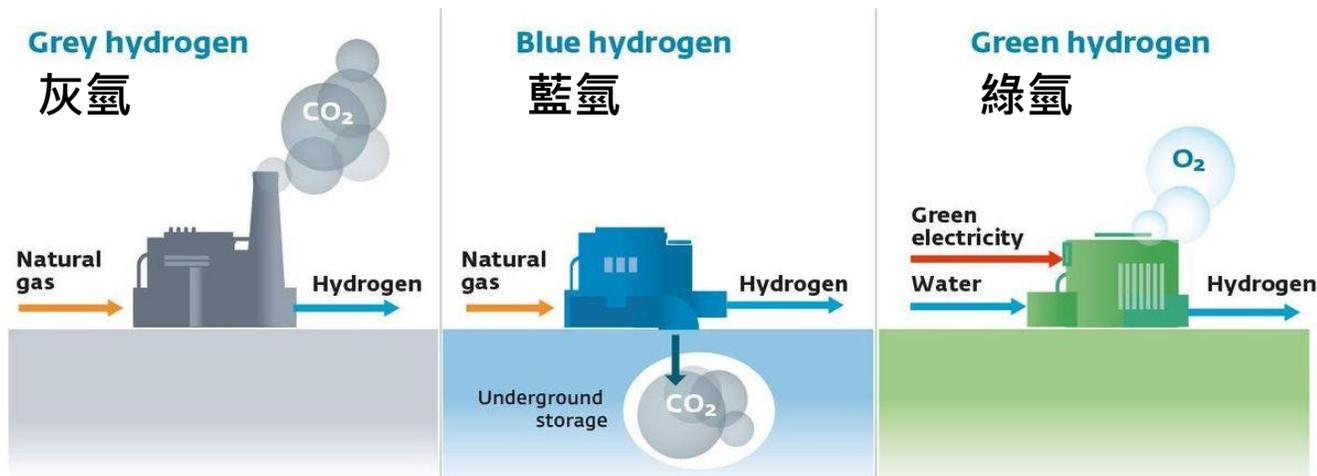


Tidal energy

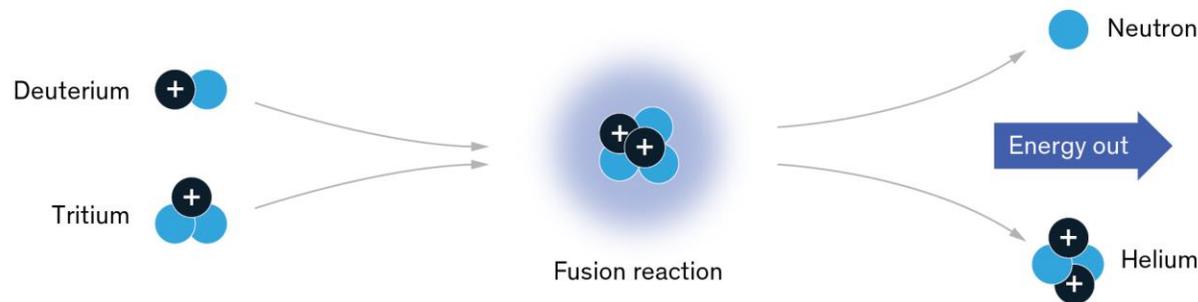
(+ 波浪、洋流能)



+ 藍綠氫 (Turquoise Hydrogen, CH_4 熱裂解 \rightarrow 固態C, H_2)



Deuterium-tritium fusion process 核融合發電



Hydrogen isotopes, in the form of gaseous fuel, are injected into the core of a fusion machine¹

The isotopes are heated to extreme temperatures—on the order of 50 million degrees Celsius—and kept stable under intense pressure long enough to allow the nuclei to fuse

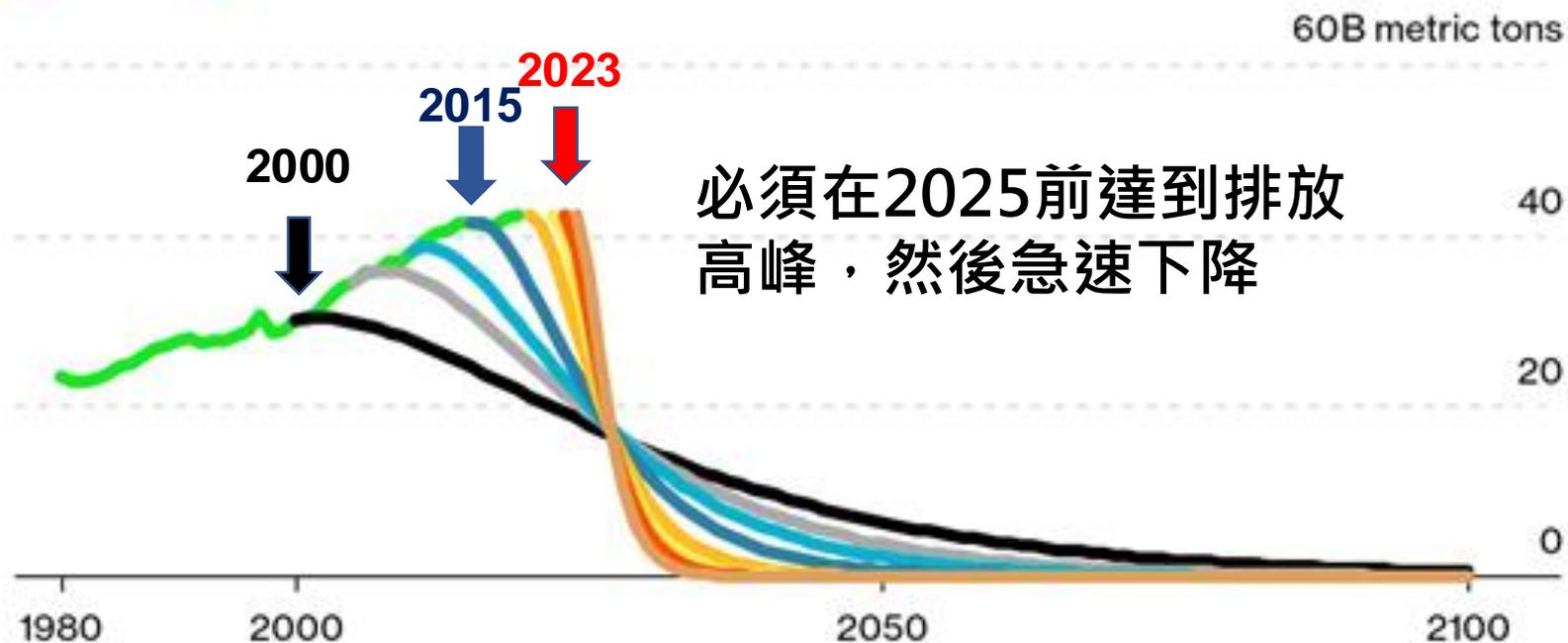
A fusion power plant converts the energy—which is originally in the form of fast-moving helium and neutrons—into electricity that goes into the grid

已經錯過許多減碳時機: 越晚減，必須更急遽減碳

- 要控制21世紀末升溫在1.5 °C以內，還有約440 GtCO₂(4400億噸)可排放，從2020年算起，還有約11年時間(每年排放量約為39.6GtCO₂)。

Slipping Away 溜走中的最後機會 – 1.5 °C 淨零減碳路徑

Cuts required to limit heating to 1.5C, if CO₂ started falling in the year...

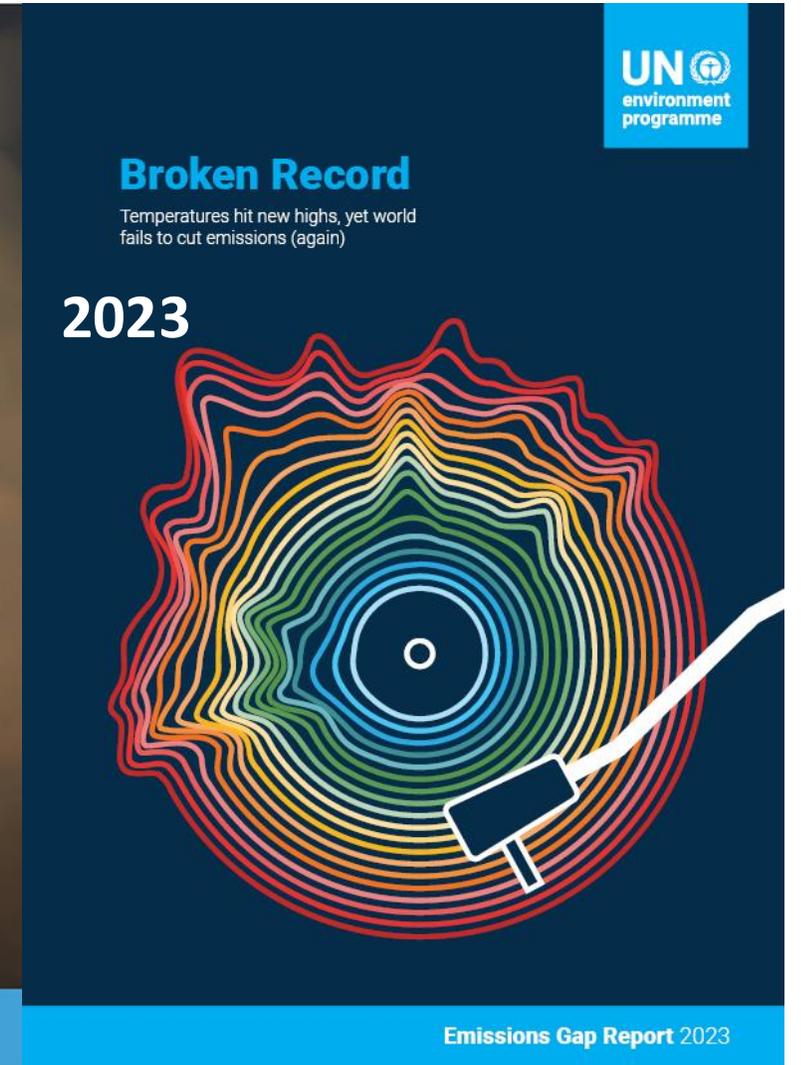
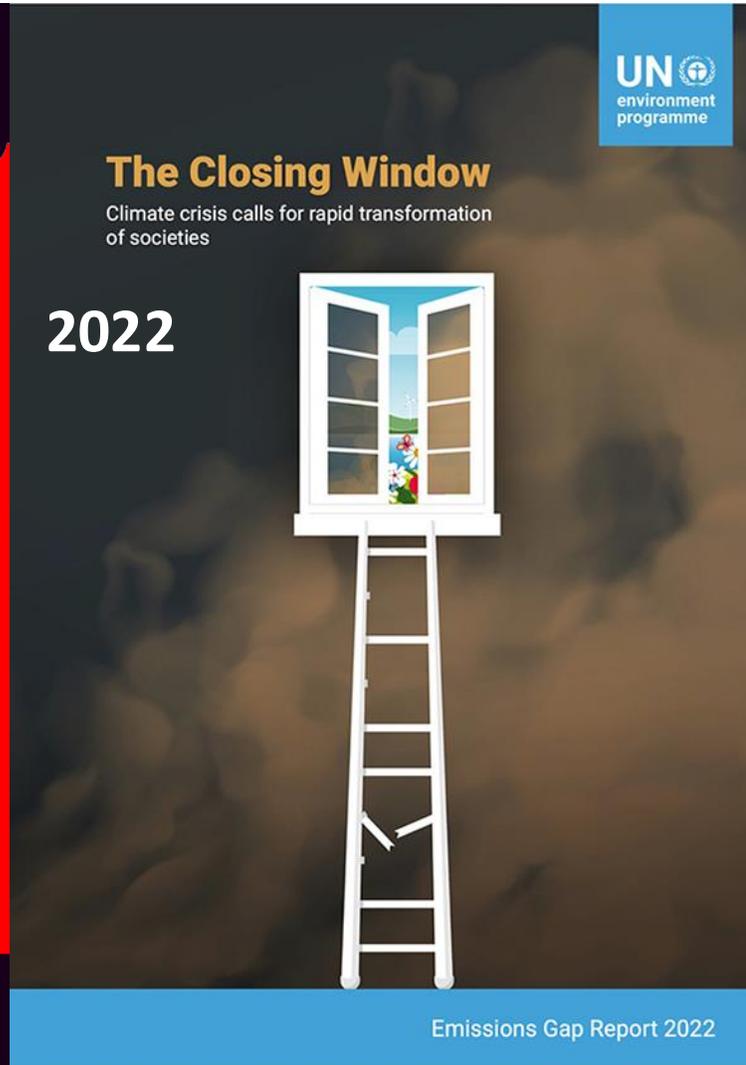


Source: OurWorldInData.org

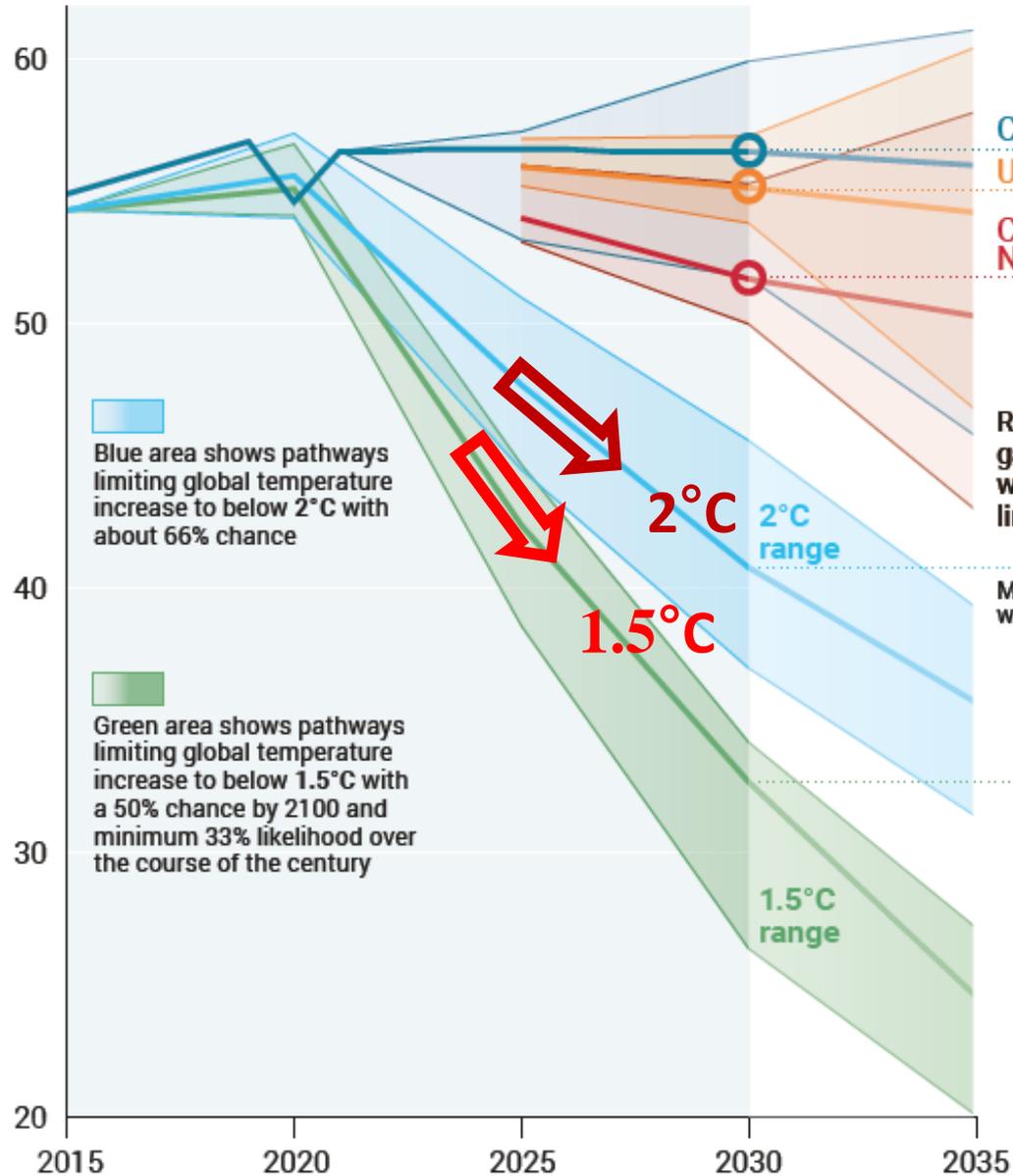
Bloomberg Green

UN (GHG) Emission Gap Report (聯合國排放差距報告) → Sluggish progress in cutting emission

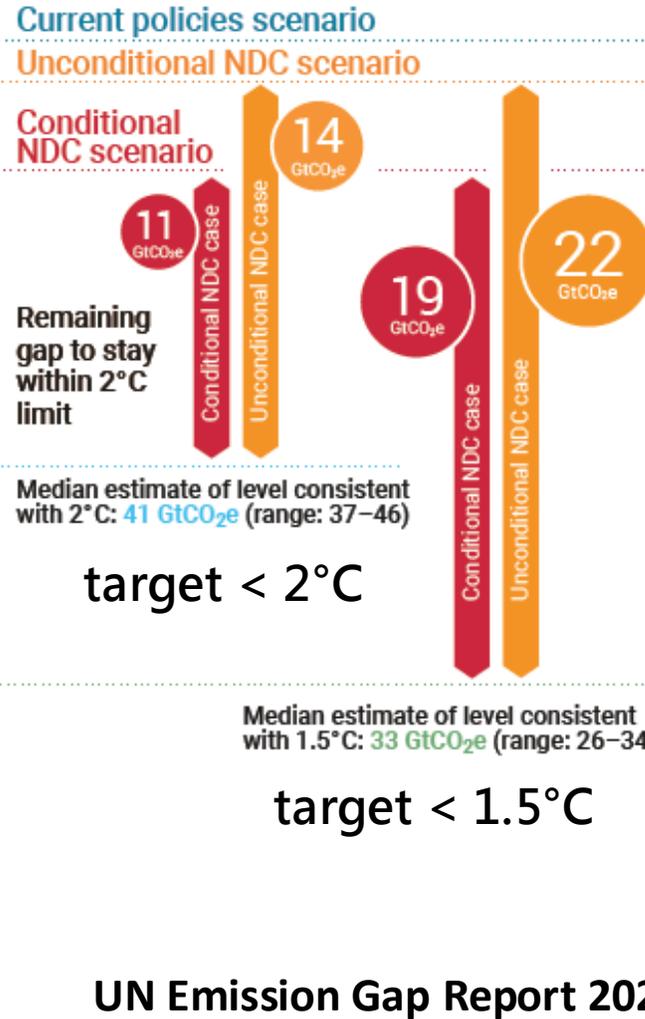
Broken Record !
Temperatures hit new highs,
yet world fails to cut emissions (**again**)



GtCO₂e



離2030減排目標的 巨大差距



UN Emission Gap Report 2023

Huge emission gap by 2030

Need to cut emission dramatically 28% for 2°C, 42% for 1.5°C by 2030

Update (WCRP, Dec. 5 2023) –

- 1.1% CO₂ emission increases in 2023 from 2022
- 1.5°C warming likely to occur in about 7 years

Peak warming throughout the 21st century

There is 66% chance that warming will be **2.5°C - 2.9 °C** according to current National Determined Commitment (NDC).

Peak warming throughout the twenty-first century (°C)			
Scenario	50% chance	66% chance	90% chance
Current policies continuing	2.7°C (range: 1.8–3.5)	3.0°C (range: 1.9–3.8)	3.5°C (range: 2.3–4.5)
Unconditional NDCs continuing	2.6°C (range: 1.8–3.4)	2.9°C (range: 2.0–3.7)	3.4°C (range: 2.3–4.4)
Conditional NDCs continuing	2.3°C (range: 1.7–3.3)	2.5°C (range: 1.9–3.6)	3.0°C (range: 2.2–4.2)
Unconditional NDCs and net-zero pledges using strict criteria	2.5°C (range: 1.8–3.2)	2.7°C (range: 1.9–3.5)	3.2°C (range: 2.3–4.1)
Conditional NDCs and all net-zero pledges (most optimistic case)	1.8°C (range: 1.6–2.3)	2.0°C (range: 1.8–2.5)	2.4°C (range: 2.0–3.0)

**What is the chance that limiting warming to 1.5°C,
if all net-zero pledges are met?**

The best case scenario



This is the world's chance of keeping warming below 1.5°C even in the most optimistic scenario where all net-zero pledges are met, according to the UN's environment program.

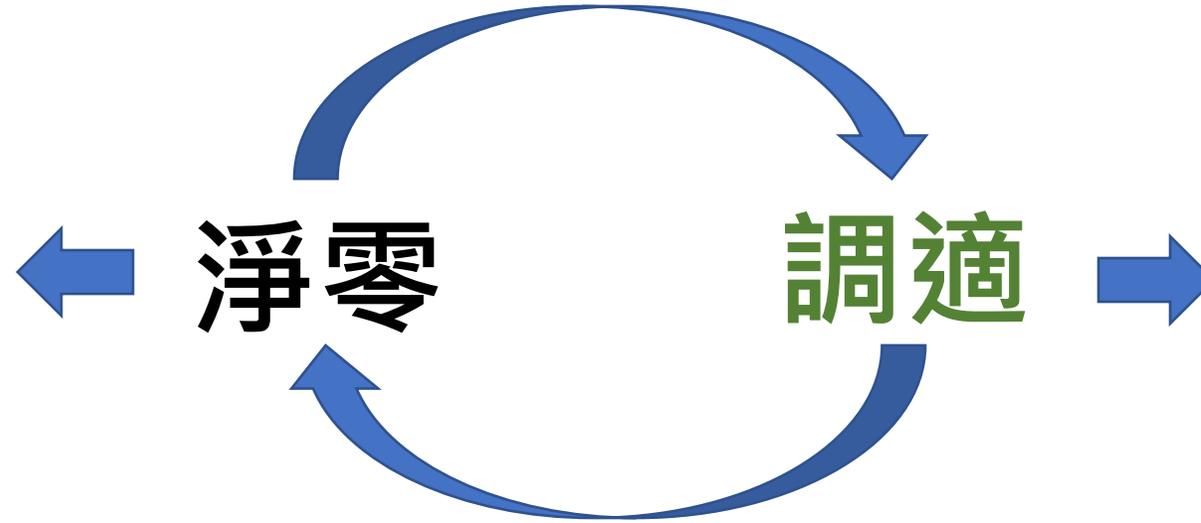
**“To adapt or die” (The Economist, 2023/12/01)
Climate change could no longer be minimised,
let alone averted. It was locked in. All anyone
and any country could do was to adapt and
prepare as best they could.**

**經濟學人：氣候變遷已成定局，無法最小化，
遑論避免。所有人與國家能做的就是極盡所能
去調適與做好準備。**

氣候變遷 \neq 淨零

氣候變遷 = 淨零 + 調適

避免
失控未來



降低
暖化風險

現況! 台灣更嚴重!



IPCC AR6 WGII (憂心忡忡):
調適和減碳要並重
不可偏廢



台灣二氧化碳總排放量佔全世界的總排放量的**0.72%** (排名24, 2022, Worldometer) , 即使淨零 , 減緩暖化幫助有限 , 有必要隨國際趨勢起舞 , 追求淨零碳排?

1. 國際計較排放量 , 都是以人均為依據 , 台灣人均排放量高(18; 小國不計:8)
2. 即使以總量計 , 還是要2050淨零 ; 淨零已經是國際共識 , 難以置身事外
3. 地球暖化進程與衝擊相當迅速 , 所剩時間不多 , 台灣無法置身事外
4. 淨零排放會讓空氣、環境、人與生態變得更好更健康
5. 台灣是國際政治孤兒 , 卻是以製造業為主的外貿經濟大國 , 要繼續賺外貿錢 , 就得淨零
6. 在商言商 , 綠色經濟的新機會 , 台灣當然不能放過

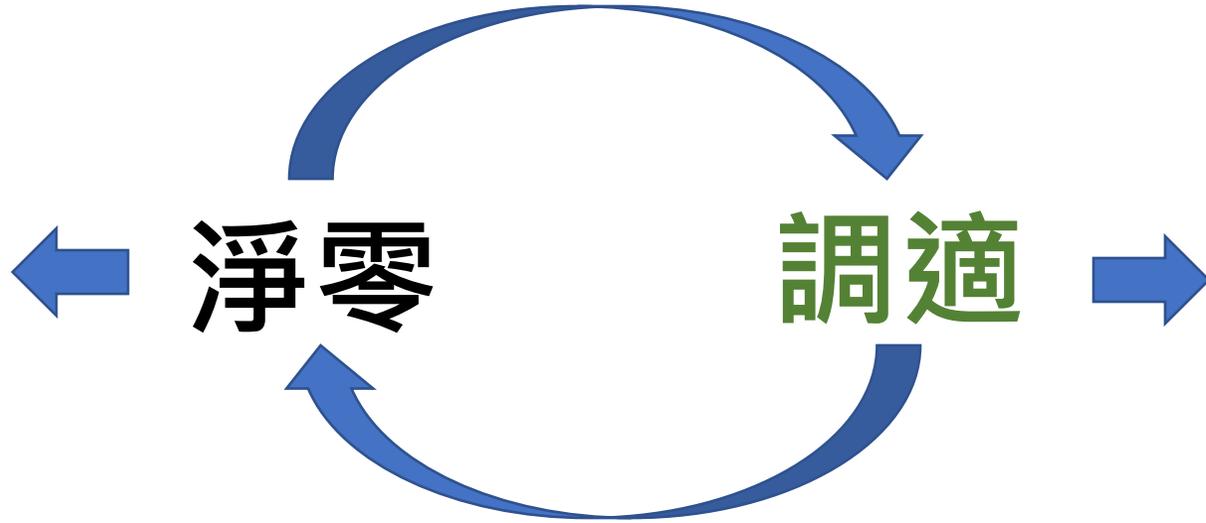
避免
失控未來



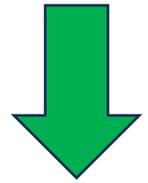
台灣淨零:避免
經濟冷化; 或
可暖化經濟

淨零

調適



降低
暖化風險



調適:強化國土
與社會韌性,
護台灣

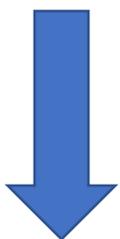
調適之必要

- 無論如何減排，1.5°C暖化已經無法避免
- 即使達到2050淨零，溫度也不會立即下降，暖化可能持續數百年
- 達不到1.5°C、2°C目標的風險很高，需要考慮2°C–3°C(?)的調適措施 → 氣候韌性發展 (強化耐災能力!)
- 境外氣候變遷衝擊，也會是本土風險，必須面對與調適
- 調適幫「淨零」買時間

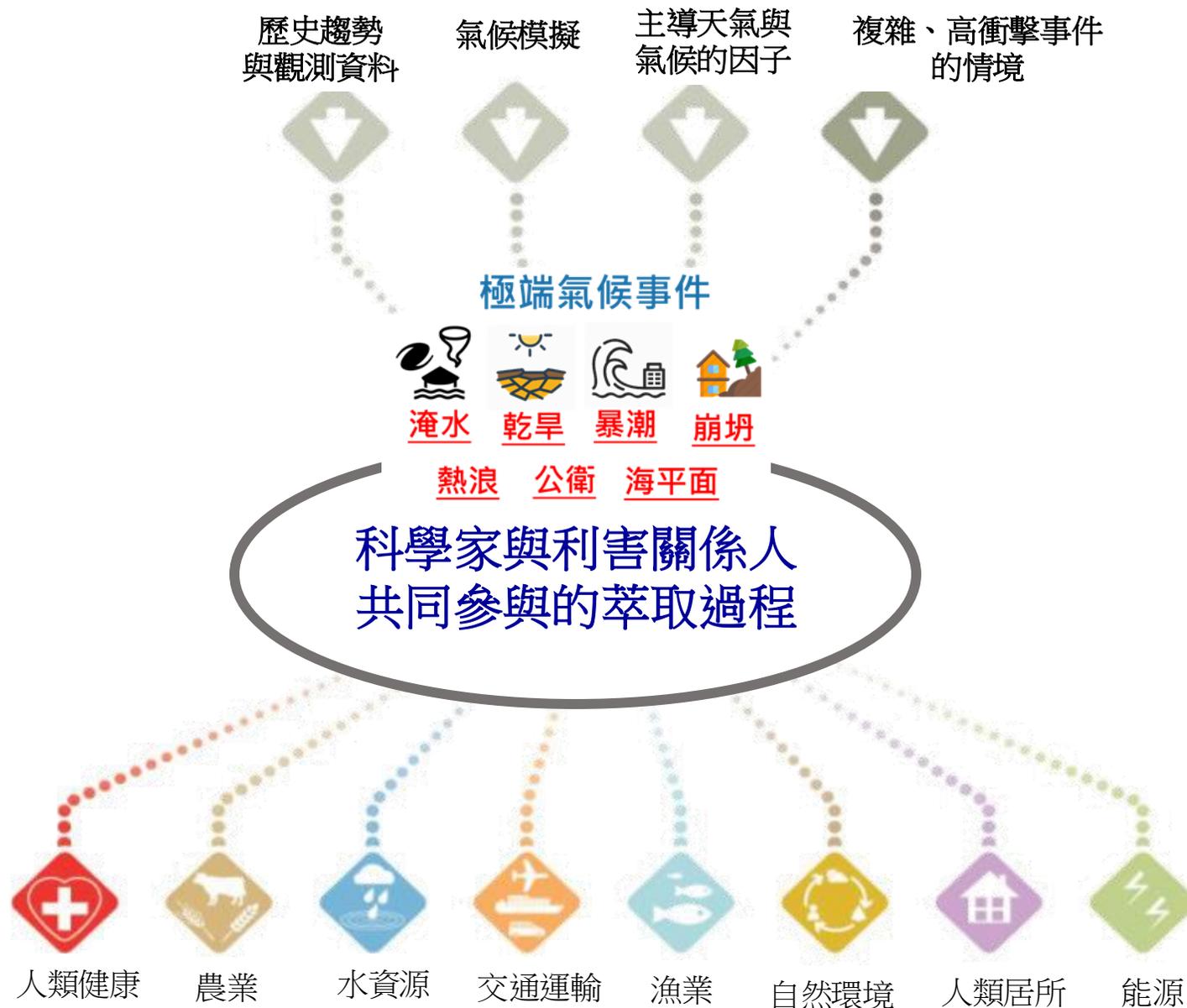
氣候變遷趨勢推估



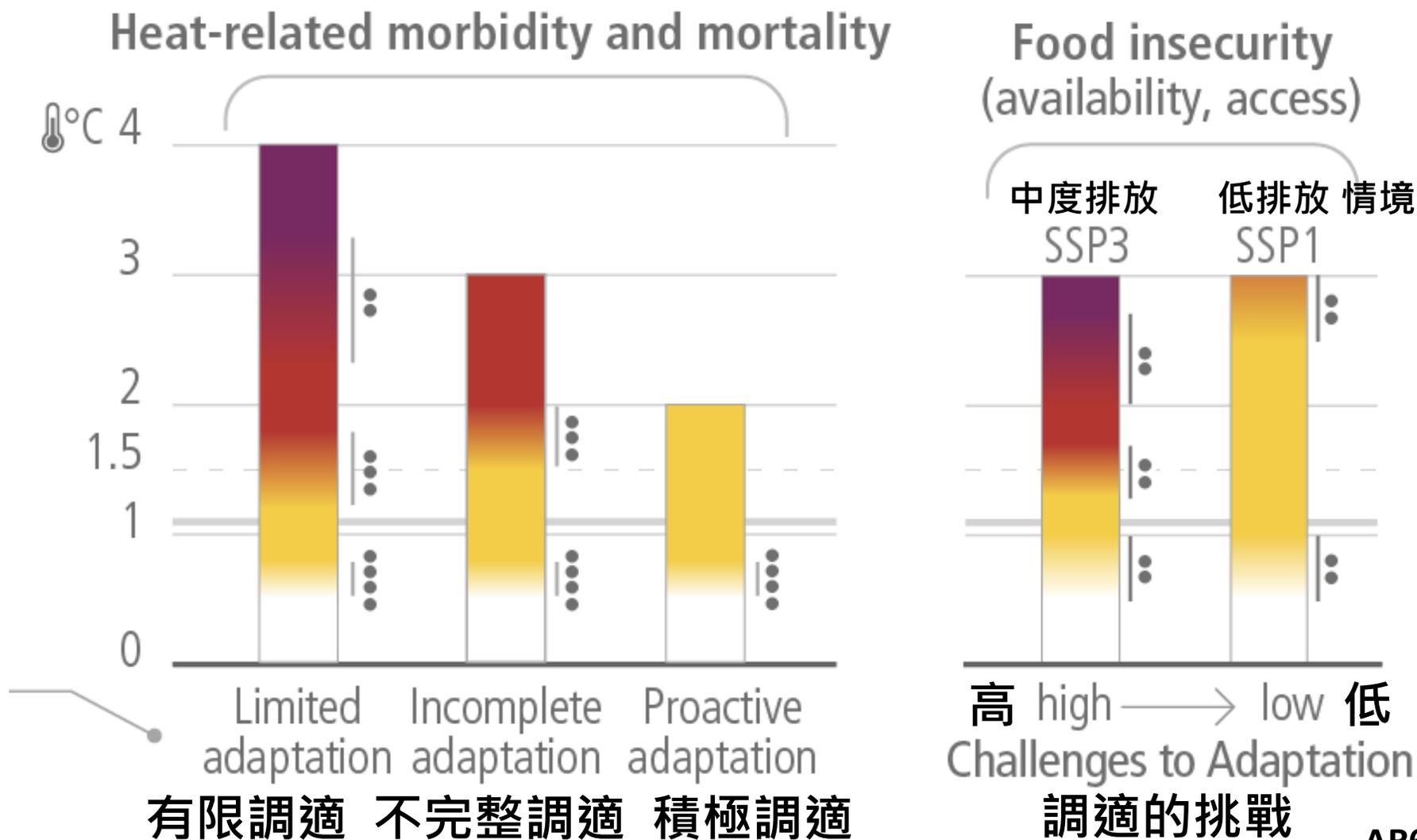
氣候變遷衝擊評估



落實有科學依據的調適策略



積極調適可以有效降低風險



IPCC AR6 綜整報告 (2023.3.20)



Urgent climate action can secure a liveable future for all
緊急氣候行動可讓我們保有宜居的未來
關鍵詞: 急迫、機會與挑戰

聯合國秘書長:

- Humanity is on **thin ice (薄冰)** – and that ice is melting fast.
- IPCC report is a how-to guide to **defuse the climate time-bomb (定時炸彈)**.
- But it will take a **quantum leap (量子跳躍)** in climate action.
- our world needs climate action **on all fronts -- everything, everywhere, all at once (全方位、每個地方、立即)**.
- We have **never been better equipped** to solve the climate challenge – but we must move into **warp speed climate action (曲速行動) now**.

「歐盟綠色政綱」

15 January 2020 歐洲議會通過

- ✓ 2050年前成為世界上第一個氣候中和大陸 (climate-neutral continent)
- ✓ 立法: 《歐洲氣候法》 (European Climate Law)

emissions
reduction
target: a 57%
cut from 1990s
levels, up from
55% ...

- EU climate chief at
COP27 (11/15/2022)



美麗新世界!

綠色政綱架構圖。資料:

<https://e-info.org.tw/node/222594>

環境資訊中心

企業的關鍵角色

「如果說氣候變遷的假想遠景有什麼光明面，足以讓我對永續未來抱持樂觀的期待，那就是淨化科技產業的出現。我始終預期，**企業一旦知道如何透過拯救環境來賺錢，我們的未來也會比較安全。**」



-「超限未來十大趨勢」第6章

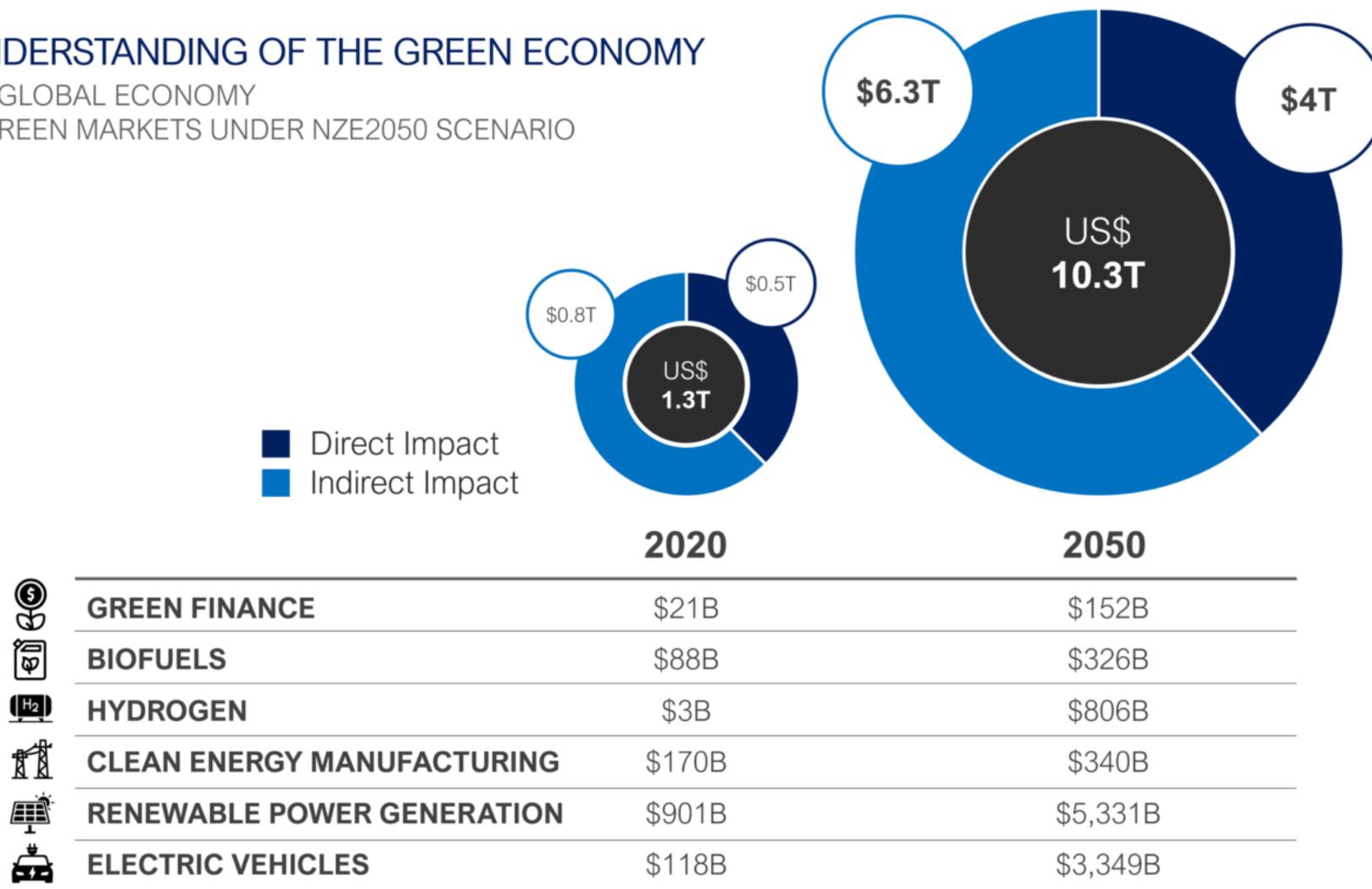
詹姆斯·坎頓，遠流，2007

如果達成2050淨零轉型，綠色產業相當於10.3兆美元經濟規模(5.2%全球GDP) (Oxford Economics, <https://www.oxfordeconomics.com/resource/the-value-of-the-green-opportunity/>)

A NEW UNDERSTANDING OF THE GREEN ECONOMY

SIZE OF THE GLOBAL ECONOMY

GVA FROM GREEN MARKETS UNDER NZE2050 SCENARIO



USD, billions, 2020 prices

Source: Oxford Economics, IEA, Arup

全球企業的積極行動

越來越多企業承諾100%綠電

RE 100

a global corporate leadership initiative bringing together influential businesses committed to 100% renewable electricity

433 RE100 companies have made a commitment to go '100% renewable'.
(2024/09/03)



鴻海氣候行動
100+淨零排放
目標與承諾
(11/05/2020)



<http://there100.org/re100>

DESERTEC

洲際綠電網想像



Sketch of possible infrastructure for a sustainable supply of power to Europe, the Middle East and North Africa (EU-MENA) (Source: DESERTEC Foundation, www.desertec.org)

SunCable Project: Embrace the Sun. Power the Future.

擁抱太陽

驅動未來

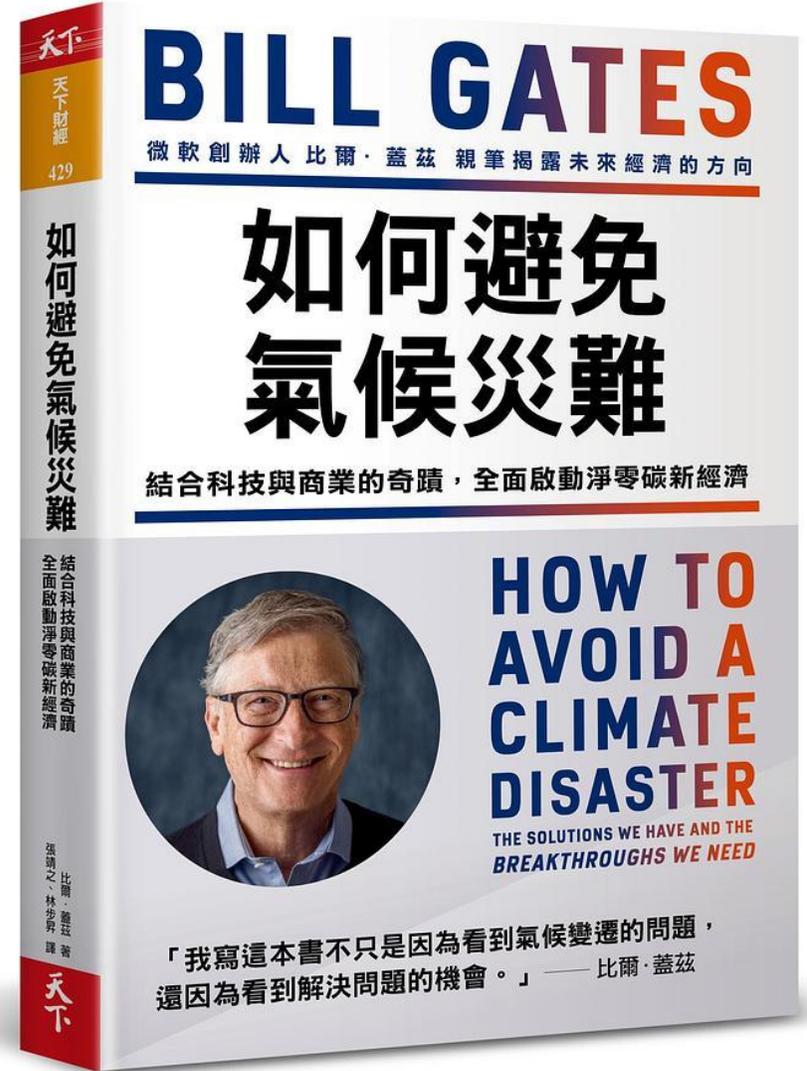
...to harness Australia's incredible renewable energy potential to power cities, drive new economies, and **support communities throughout the Asia Pacific region.**

Regional energy export: developing the infrastructure for **electricity transmission across the Asia Pacific region** via overland and undersea cables, working in collaboration with **Australian, Singaporean and Indonesian** governments.



下定決心，設定目標，很不簡單！
如何達成目標是更大的挑戰！

- 了解問題的難度
- 盤點可用的科技(既有)
- 需要發展哪些創新科技
 - 不排除任何可能的技術
 - 減碳排、吸碳(負排放)、地球工程降溫(爭議性高)
- 計算成本
- 綠色溢價(減碳需要多付出的成本)是否值得？
- 投資與發展必要科技，佈建減碳工具



關鍵: Speed & Scale *Up*

淨零轉型速度要快，幅度要大
→ < 1.5°C



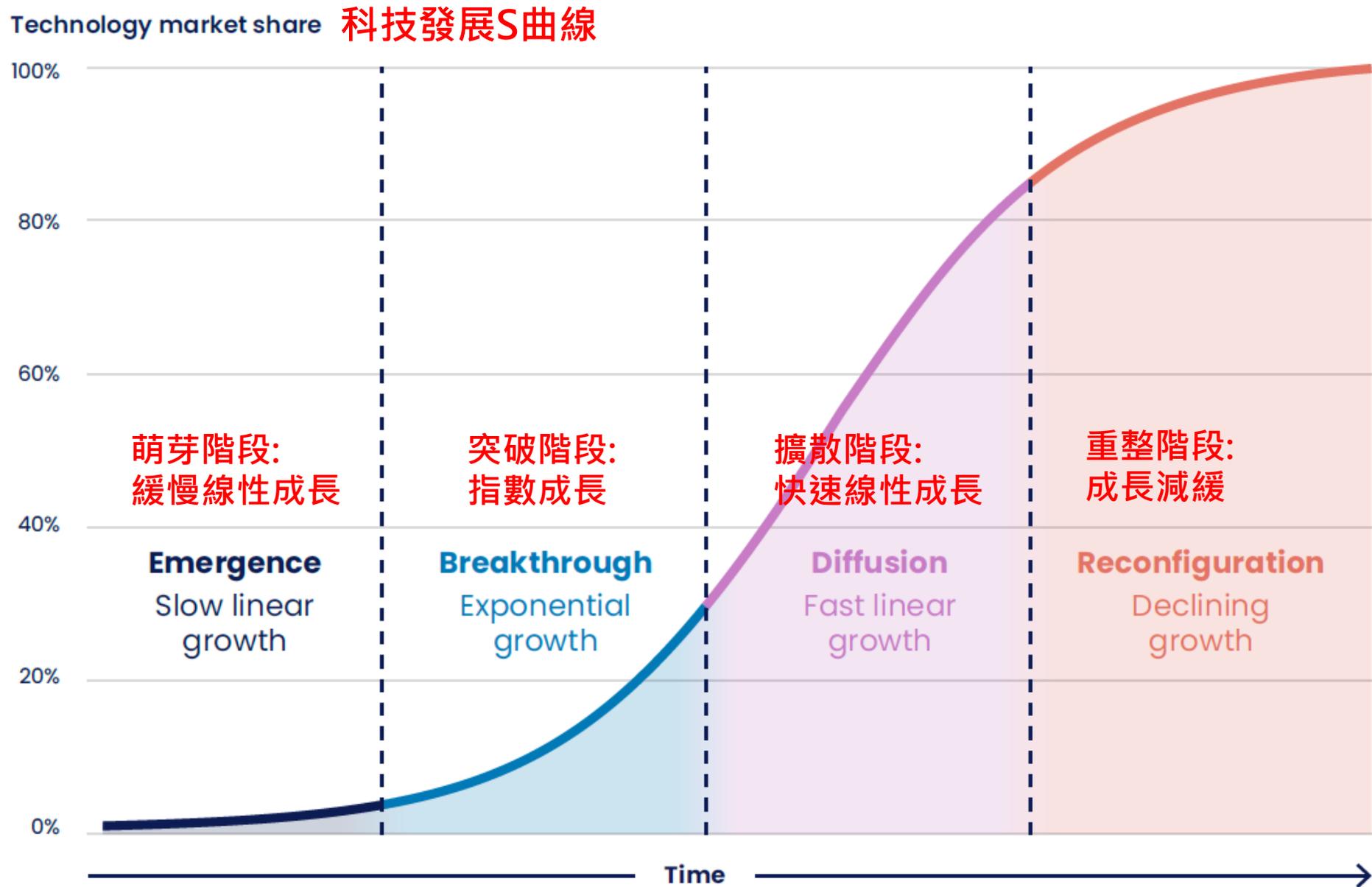
The Stanford Doerr School of Sustainability

- encompassing **climate, water, food** and **other complex problems** the planet faces
- “a global movement to address these challenges **at scale, and at speed.** ... **This decade** is the most important,”
- Arun Majumdar , Appointed Dean



約翰杜爾(創投教父)
捐11億美金給史丹佛大學
成立永續學院(人才與研發)

FIGURE 1 | Illustration of an S-curve



Source: Authors; adapted from Boehm et al. (2021) and Grubb et al. (2021b).

2022年氣候行動狀態報告 (State of Climate Action 2022)

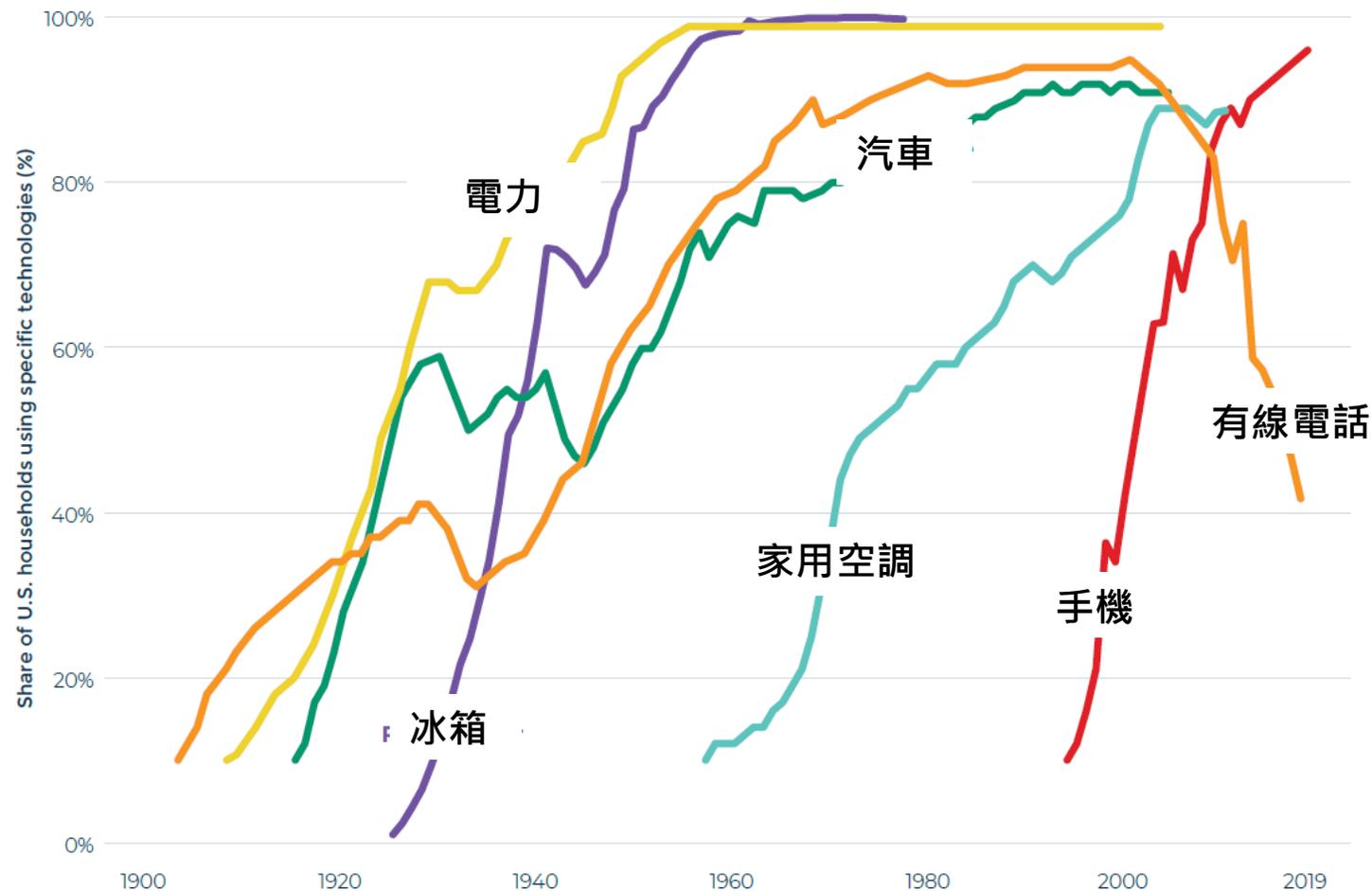
評估**40項轉型指標** (能源、建築、企業、運輸、森林與土地、糧食與農業、碳移除技術與氣候金融的規模放大)進展

上軌道(on track): 0, 不在軌道上(off track): 6, 完全脫軌: 21, 方向錯誤: 5, 資料不足: 8 (2030年為目標)

→ **需要盡早進入指數成長階段(技術突飛猛進、成本陡降)，才能達成2050淨零目標**

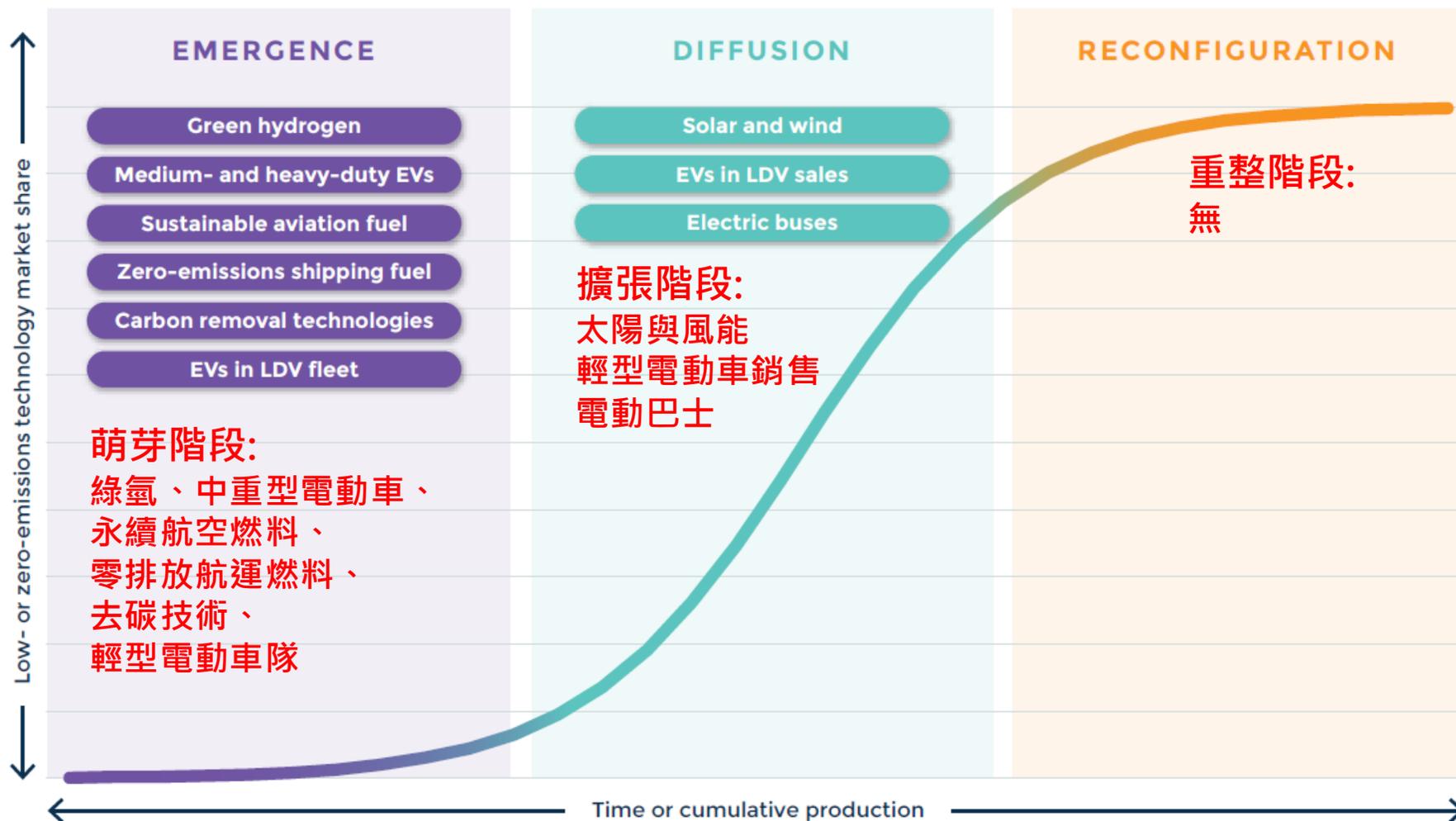
FIGURE 2. Historical examples of S-curves

歷史科技發展S曲線



低碳技術S曲線發展現狀

FIGURE ES-2. Illustration of the stages of S-curve progress for low-carbon technologies



Note: EV = electric vehicle; LDV = light-duty vehicle. These labels include technologies that are directly tracked by our nine indicators that may follow an S-curve.

Source: Authors' judgment, based on Victor et al. (2019) and ETC (2020).

State of Climate Change 2021



單一減碳科技突破無法達成目標，更需要的是系統(性)的改變：政治、經濟、企業、糧食、交通、能源、科技、生活、教育、素養、...



State of Climate Action 2022
(System Change Lab.)



2050 淨零轉型

化危機為轉機並掌握商機

臺灣與世界共同邁向淨零

2022/3/30

氣候緊急全球挑戰

全球暖化將在20年內升溫1.5 °C

淨零碳排國際趨勢

全球已有136個國家宣示淨零排放目標

綠色供應鏈與碳關稅

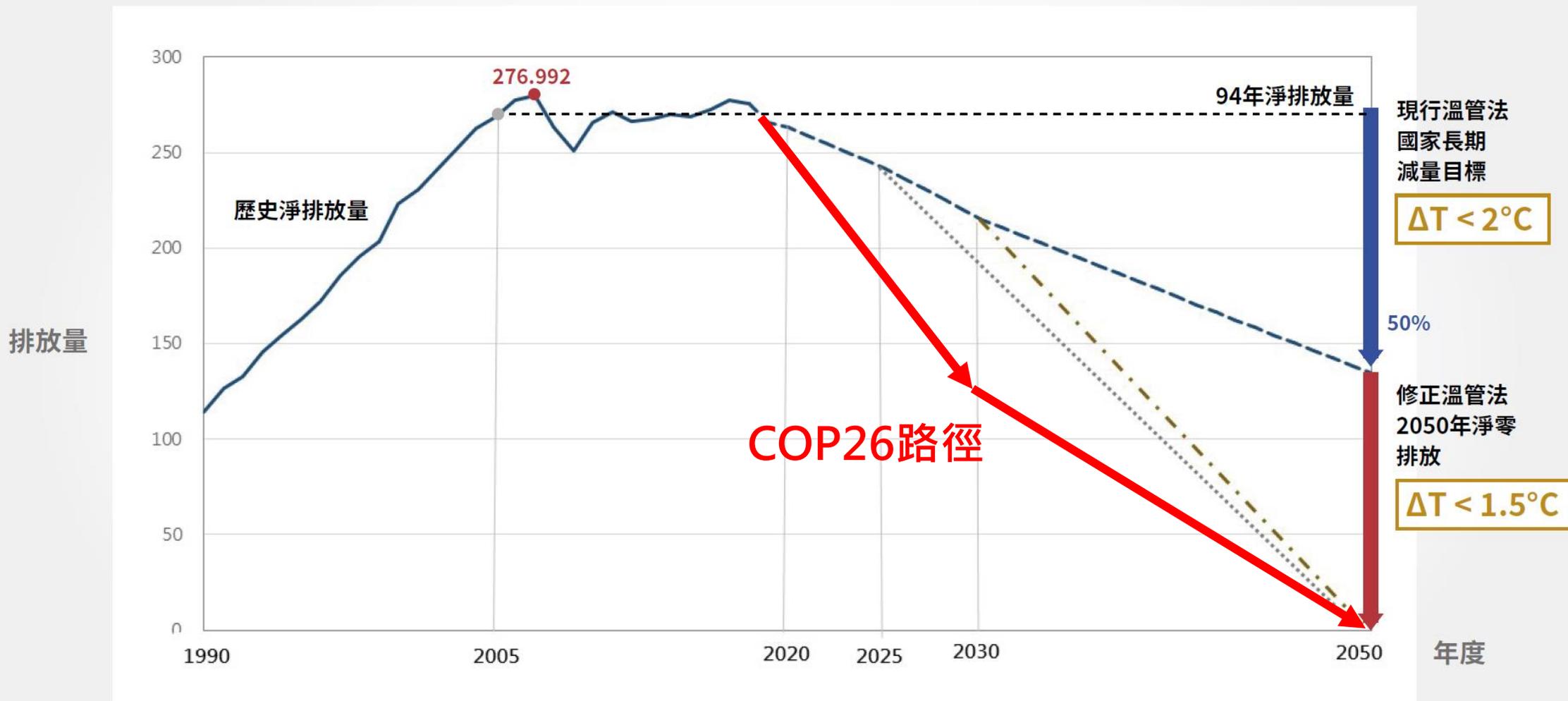
我國為出口導向國家

2021年出口總值達4,463億美元 約佔GDP之57%



國家長期減量路徑規劃

淨零轉型: 2022-2030 ,
投入9000億
氣候調適: 無額外經費!





臺灣2050 淨零轉型

十二項關鍵戰略

相關法案與可行方案仍待提出

- 布建時程?
- 規模夠大?速度夠快?
- 寄望於突破性科技發展?

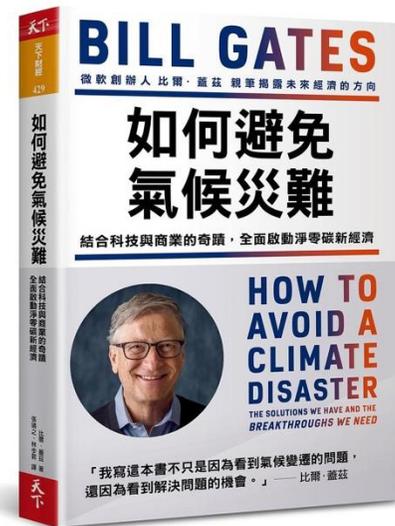
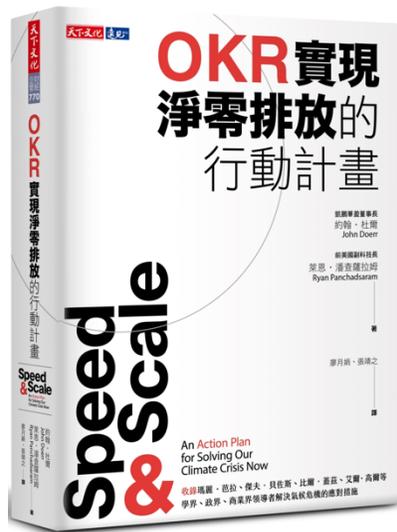
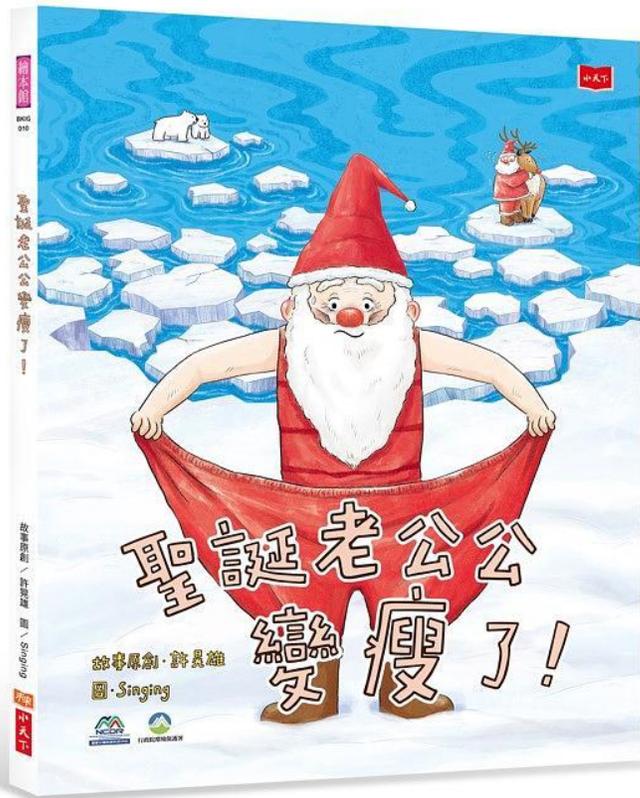


達成淨零目標，需要全民運動

政府、企業、人民三位一體

→ 開源(替代能源)、節流(提高能源效率與能源節約)、調適(因應炙熱化的未來生活方式、強化生活韌性與耐災能力)

- 政府:展現畫靶射箭的魄力、提出完善政策、提供圖利人民與企業的政策工具、讓人民有感(危機感)
- 民眾:生活態度與型態改變(永續素養:需要時間養成)、督促政府與企業
- 企業:靈活有效率，提供無痕的減排與調適措施、敦促政府與服務民眾
 - ✓ “企業如果知道如何透過賺錢拯救地球，我們就有希望了”
 - ✓ 企業是政府與民眾之間的活棋與關鍵樞紐:讓減碳(排)/調適於無形，活化與加速節能、減排、調適作為





謝謝聆聽
歡迎討論

已經發生: 人類排放過多溫室氣體是造成全球暖化的主要原因

無法避免的趨勢: 溫室氣體排放短期內無法抑制

問題: 如果溫室氣體持續累積，大氣與海洋會持續暖化，但如何推測?

困難: 溫室氣體排放趨勢無法預測，因為與經濟發展、人口、生活型態、能源使用方式、政策...有關。

無法預測，怎麼辦?

情境設定: 發展型態、人口、GDP、土地利用、...

→ 估計溫室氣體逐年排放與累積 (Integrated Assessment Model)

→ 驅動地球系統模式

→ 推估不同情境下，未來的地球氣候狀態

→ 情境模擬(氣候數位孿生壓力測試、落點分析、...)

→ 衝擊評估: 天氣/氣候、災害、農林漁牧、生態、經濟、社會、...

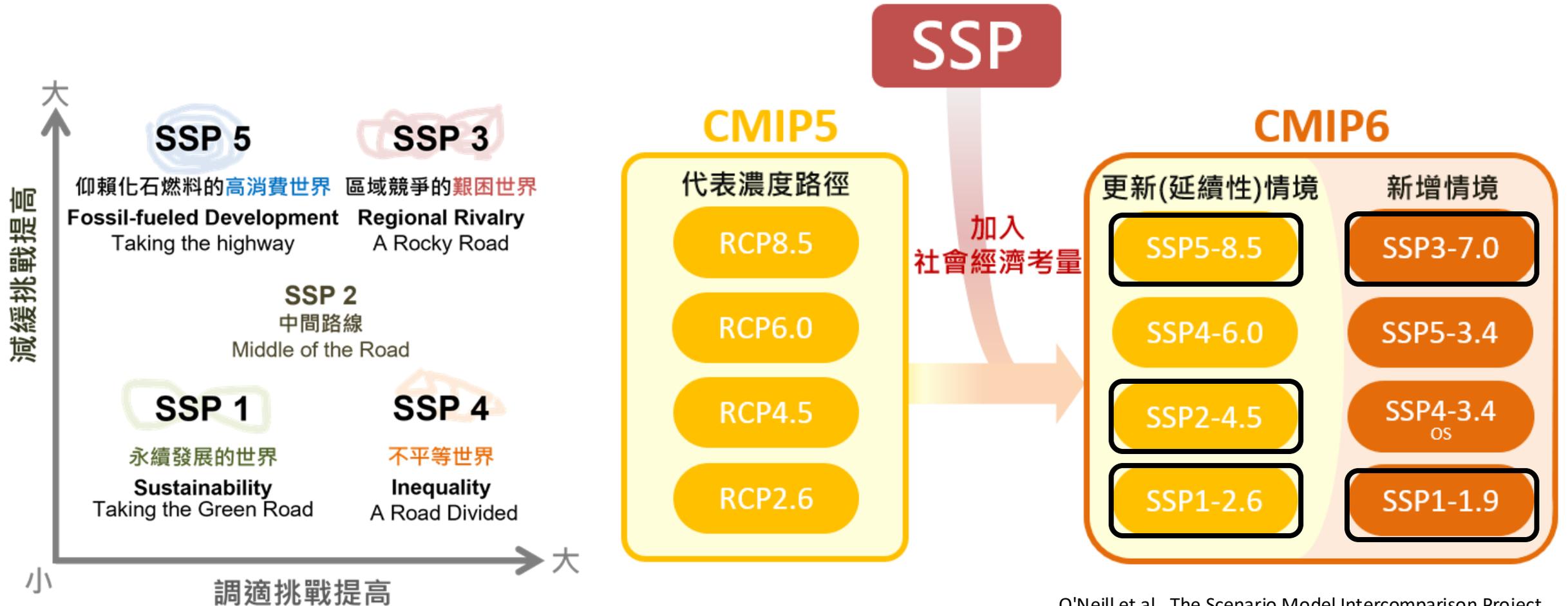
→ 風險評估，決定願意承受的代價，選擇未來情境: 4°C、3°C、2°C、1.5°C暖化

→ 規劃合宜的調適與減緩機制

→ 落實未來發展政策

IPCC AR6(第六次報告)排放情境 Shared Socioeconomic Pathways (SSP)

情境之間主要差異為不同的社會經濟假設，
例如經濟成長、全球化程度、土地利用變化、
技術發展、受教育機會等

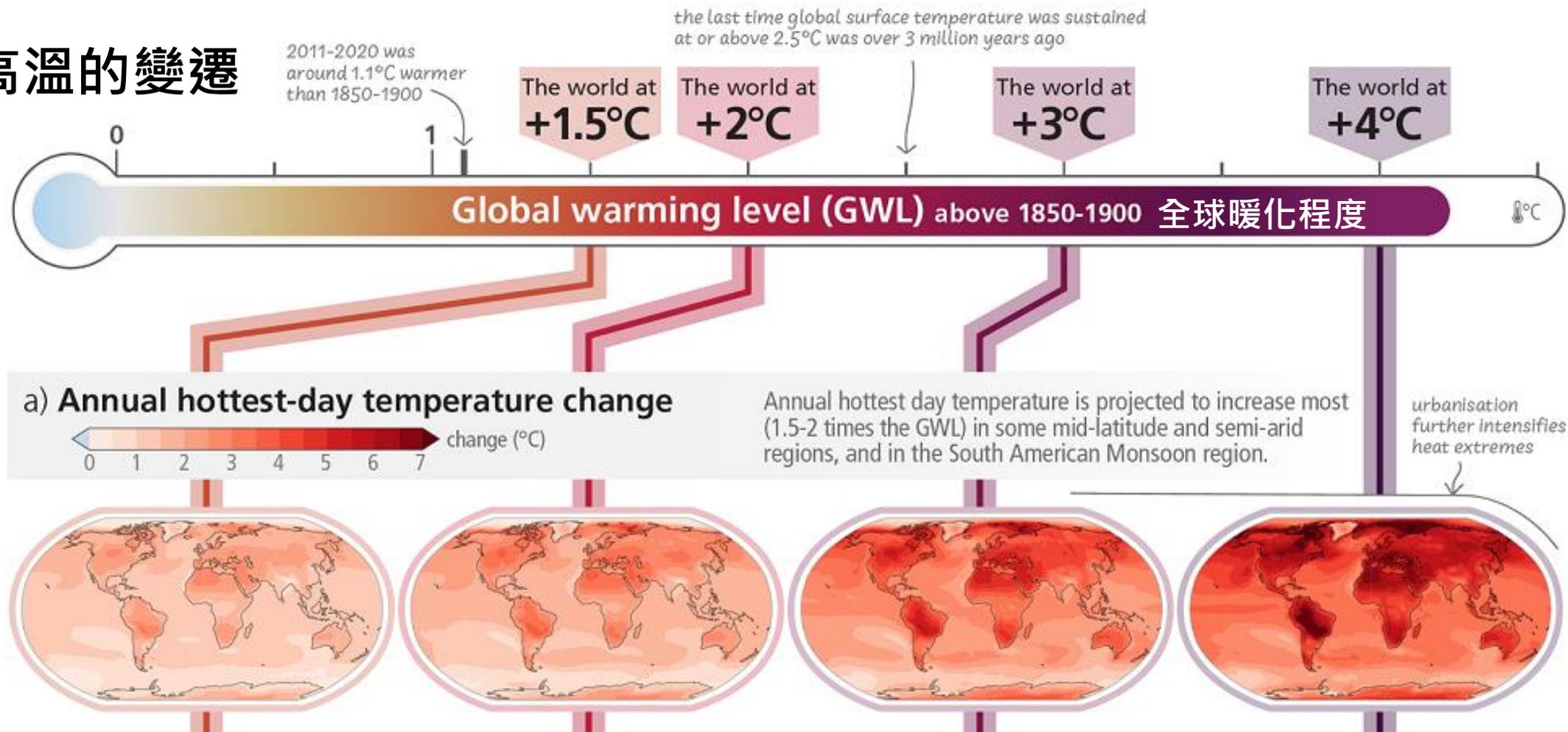


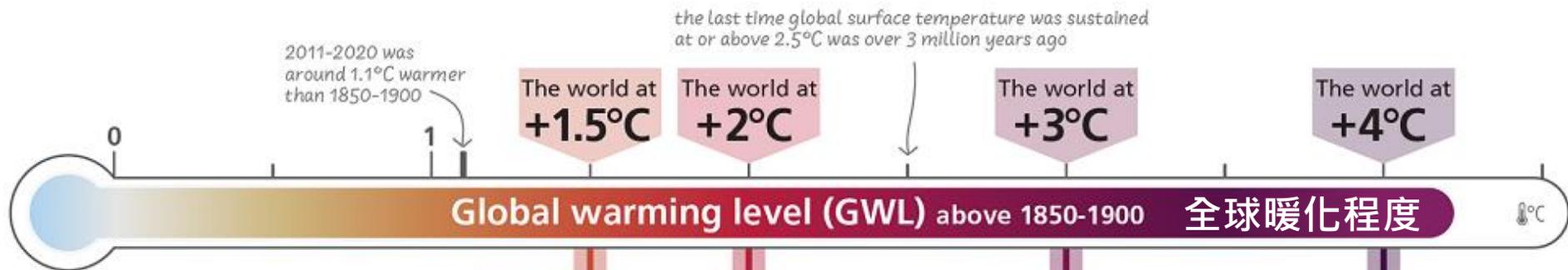
https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_02_06_ar6.aspx

O'Neill et al., The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6, Geosci. Model Dev., 9, 3461–3482, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>, 2016.

With every increment of global warming, regional changes in mean climate and extremes become more widespread and pronounced

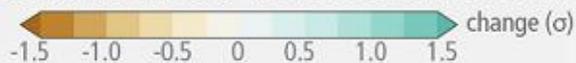
年最高溫的變遷



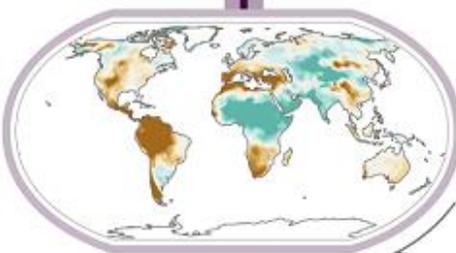
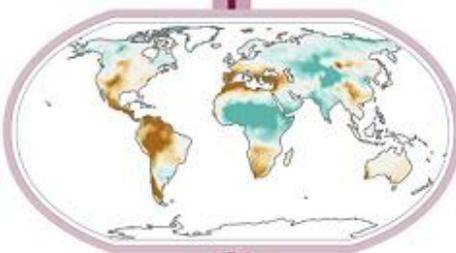
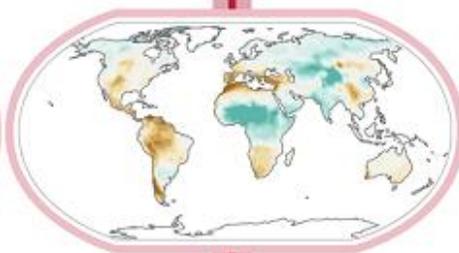
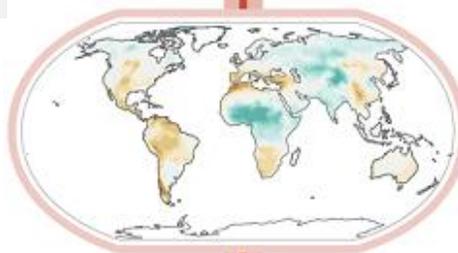


年土壤水分 變遷

b) Annual mean total column soil moisture change

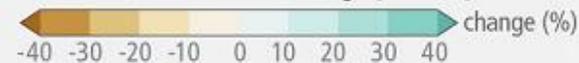


Projections of annual mean soil moisture largely follow projections in annual mean precipitation but also show some differences due to the influence of evapotranspiration.



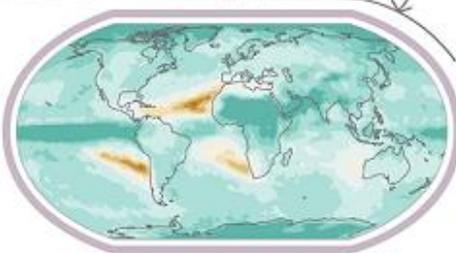
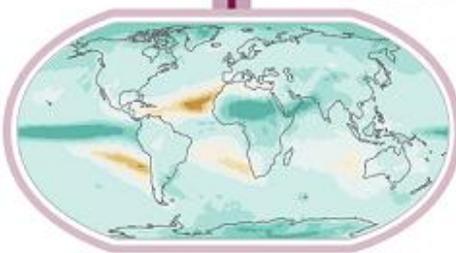
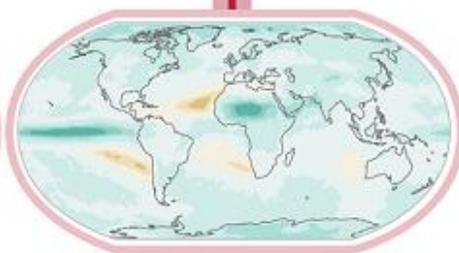
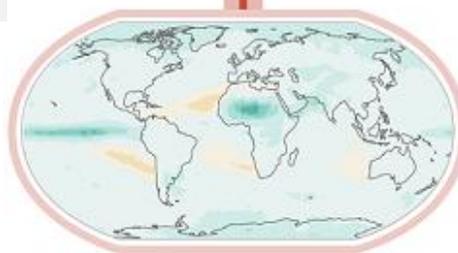
年最大日雨 量變遷

c) Annual wettest-day precipitation change



Annual wettest day precipitation is projected to increase in almost all continental regions, even in regions where projected annual mean soil moisture decline.

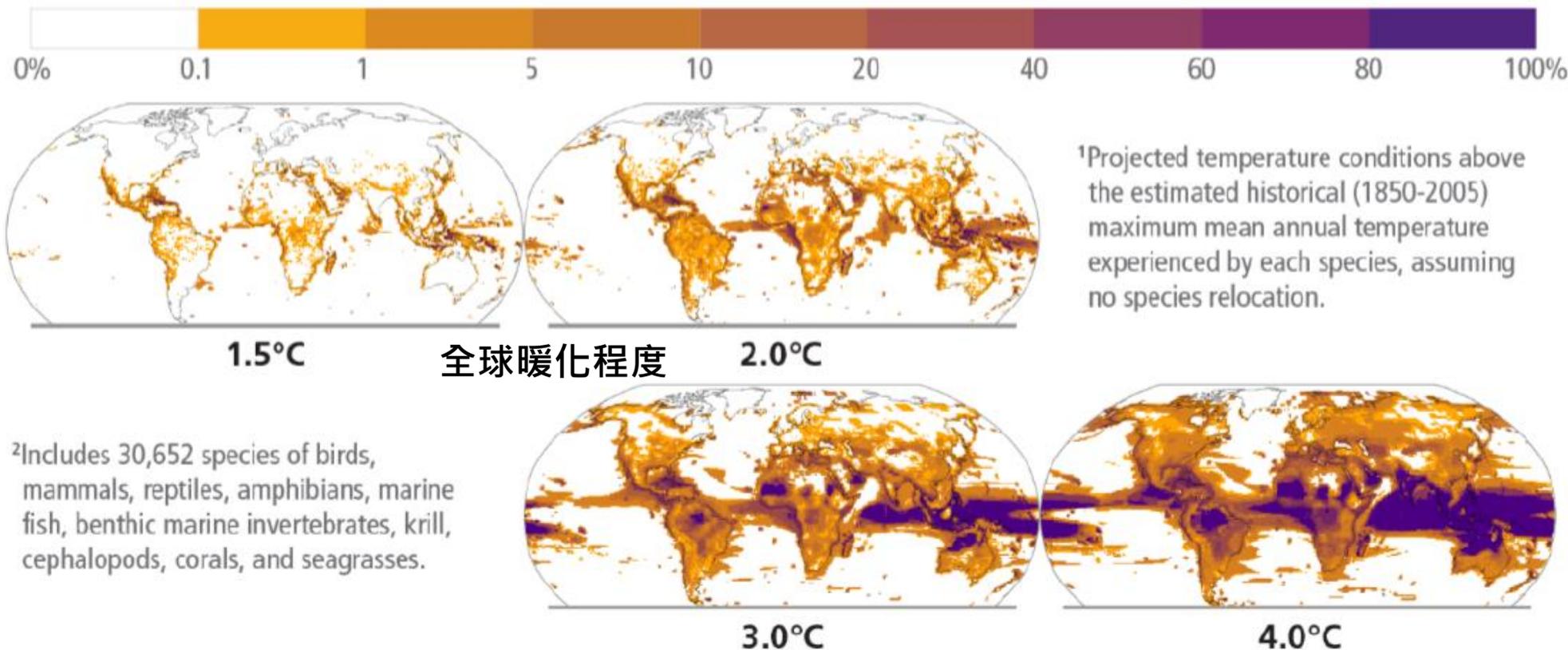
small absolute changes may appear large as % or σ changes in dry regions



a) Risk of species losses

Percentage of animal species and seagrasses exposed to potentially dangerous temperature conditions^{1, 2}

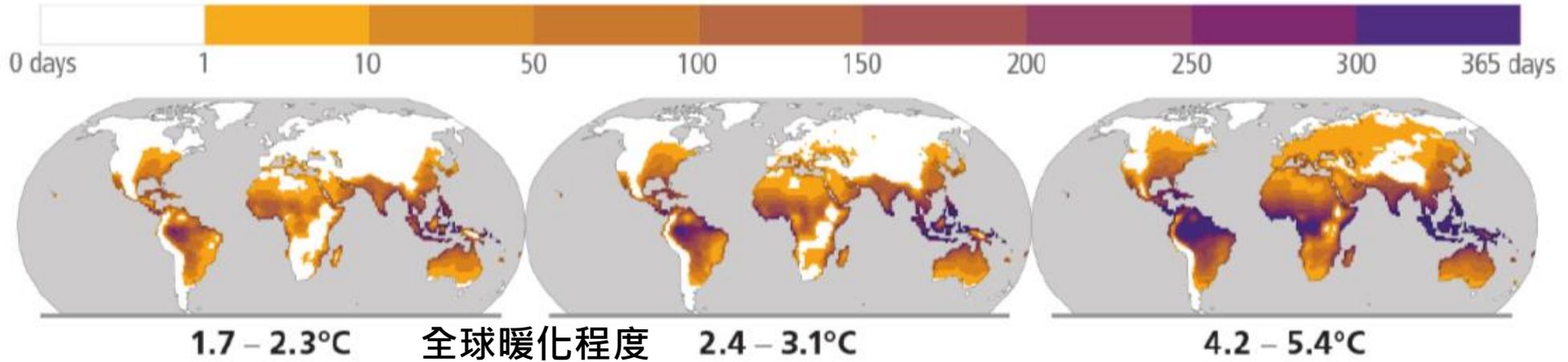
面臨危險高溫的物種比例



危及人類健康的風險 (高溫與濕度的天數)



Days per year where combined temperature and humidity conditions pose a risk of mortality to individuals³



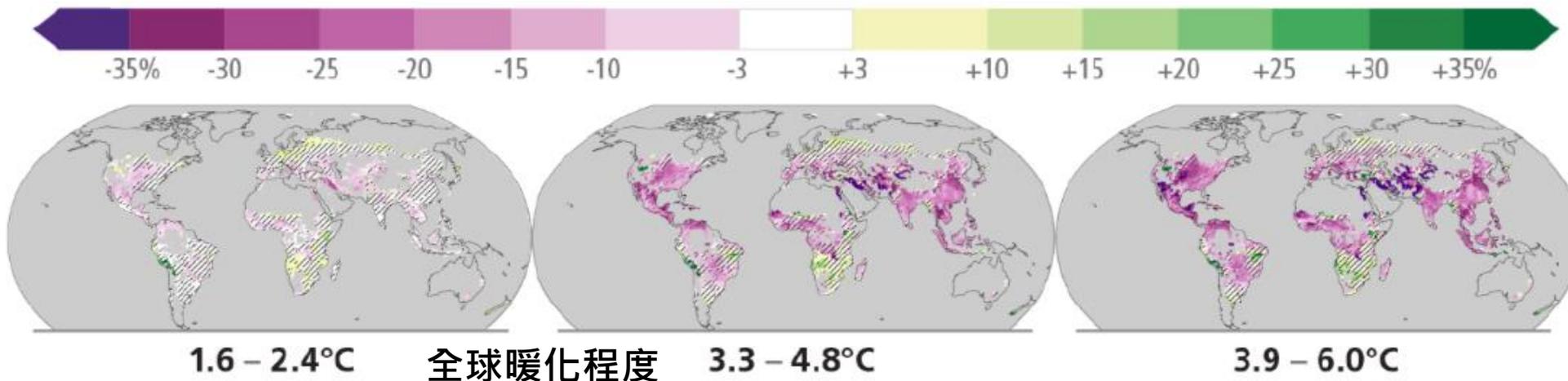
³Projected regional impacts utilize a global threshold beyond which daily mean surface air temperature and relative humidity may induce hyperthermia that poses a risk of mortality. The duration and intensity of heatwaves are not presented here. Heat-related health outcomes vary by location and are highly moderated by socio-economic, occupational and other non-climatic determinants of individual health and socio-economic vulnerability. The threshold used in these maps is based on a single study that synthesized data from 783 cases to determine the relationship between heat-humidity conditions and mortality drawn largely from observations in temperate climates.

食物產量的衝擊

c) Food production impacts



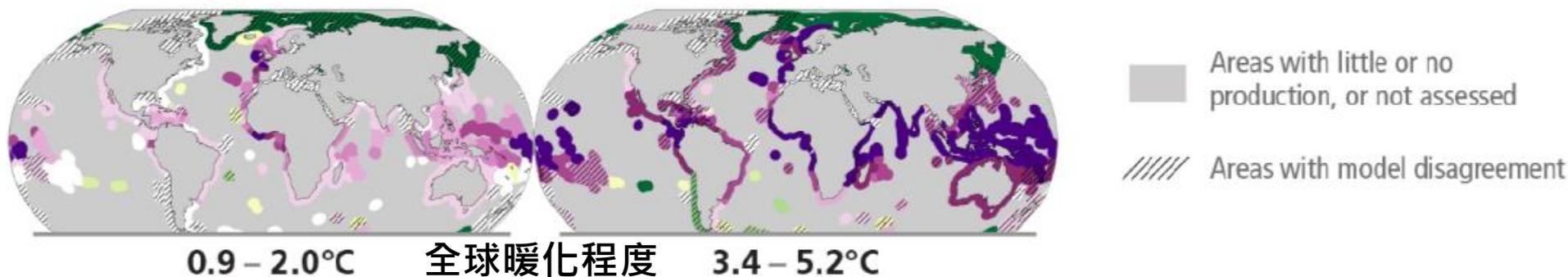
c1) Maize yield⁴ Changes (%) in yield 玉米收成



⁴Projected regional impacts reflect biophysical responses to changing temperature, precipitation, solar radiation, humidity, wind, and CO₂ enhancement of growth and water retention in currently cultivated areas. Models assume that irrigated areas are not water-limited. Models do not represent pests, diseases, future agro-technological changes and some extreme climate responses.



c2) Fisheries yield⁵ Changes (%) in maximum catch potential 漁獲



⁵Projected regional impacts reflect fisheries and marine ecosystem responses to ocean physical and biogeochemical conditions such as temperature, oxygen level and net primary production. Models do not represent changes in fishing activities and some extreme climatic conditions. Projected changes in the Arctic regions have low confidence due to uncertainties associated with modelling multiple interacting drivers and ecosystem responses.

珊瑚白化

我們將失去多少珊瑚？



攝氏1.5度 vs 攝氏2度
70% vs 99%

旱災

2100年有多少城市居民會受影響？



攝氏1.5度 vs 攝氏2度
3.5億人 vs 4.1億人

生態系統消失

我們會失去多少？



攝氏1.5度 vs 攝氏2度
7% vs 13%

物種消失

我們將失去多少動植物？



攝氏1.5度 vs 攝氏2度
6% 昆蟲 vs 18% 昆蟲
8% 植物 vs 16% 植物
4% 脊椎動物 vs 8% 脊椎動物

海平面上升

到了2100年，全球有多少人口會深受其害？



攝氏1.5度 vs 攝氏2度
4,600萬人 vs 4,900萬人
海平面上升48公分 vs 海平面上升56公分
(取自氣候行動)

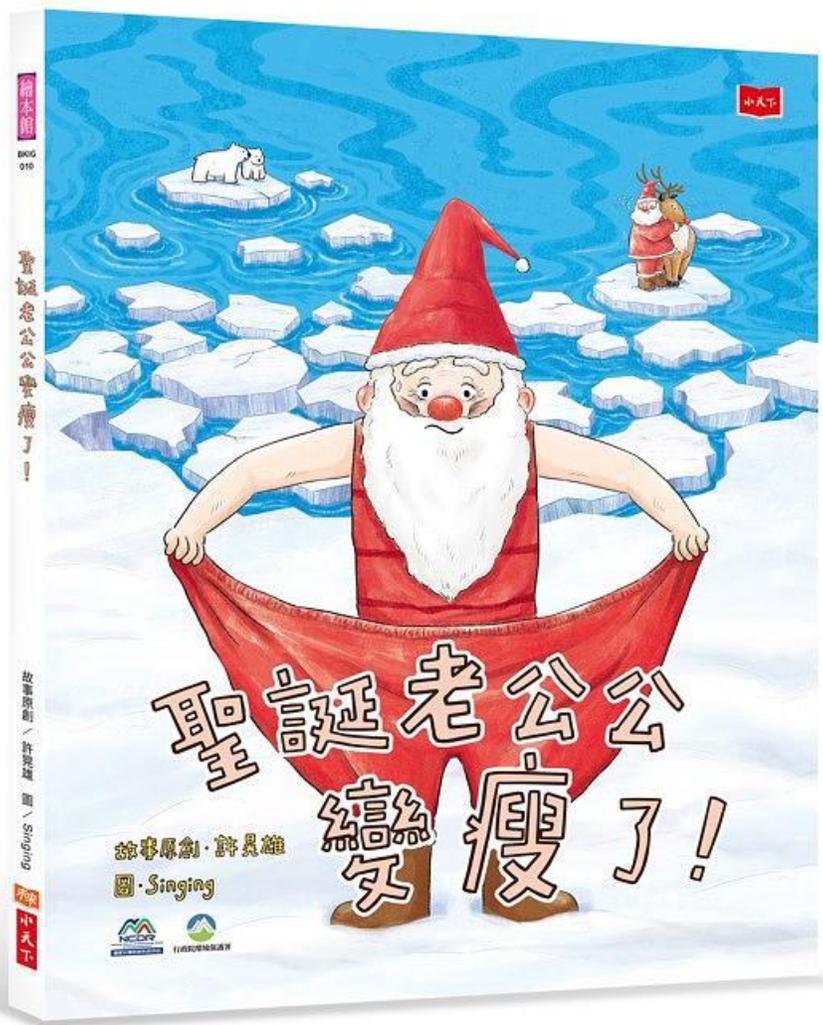
極端高溫

每5年，全球有多少人口會曝露於高溫之中？



攝氏1.5度 vs 攝氏2度
14% vs 37%

工商時間



NCDR 國家環境教育科技中心 行政院環境保護署 聖誕老公公變瘦了! 跟我們一起關心氣候變遷

聖誕老公公變瘦了!

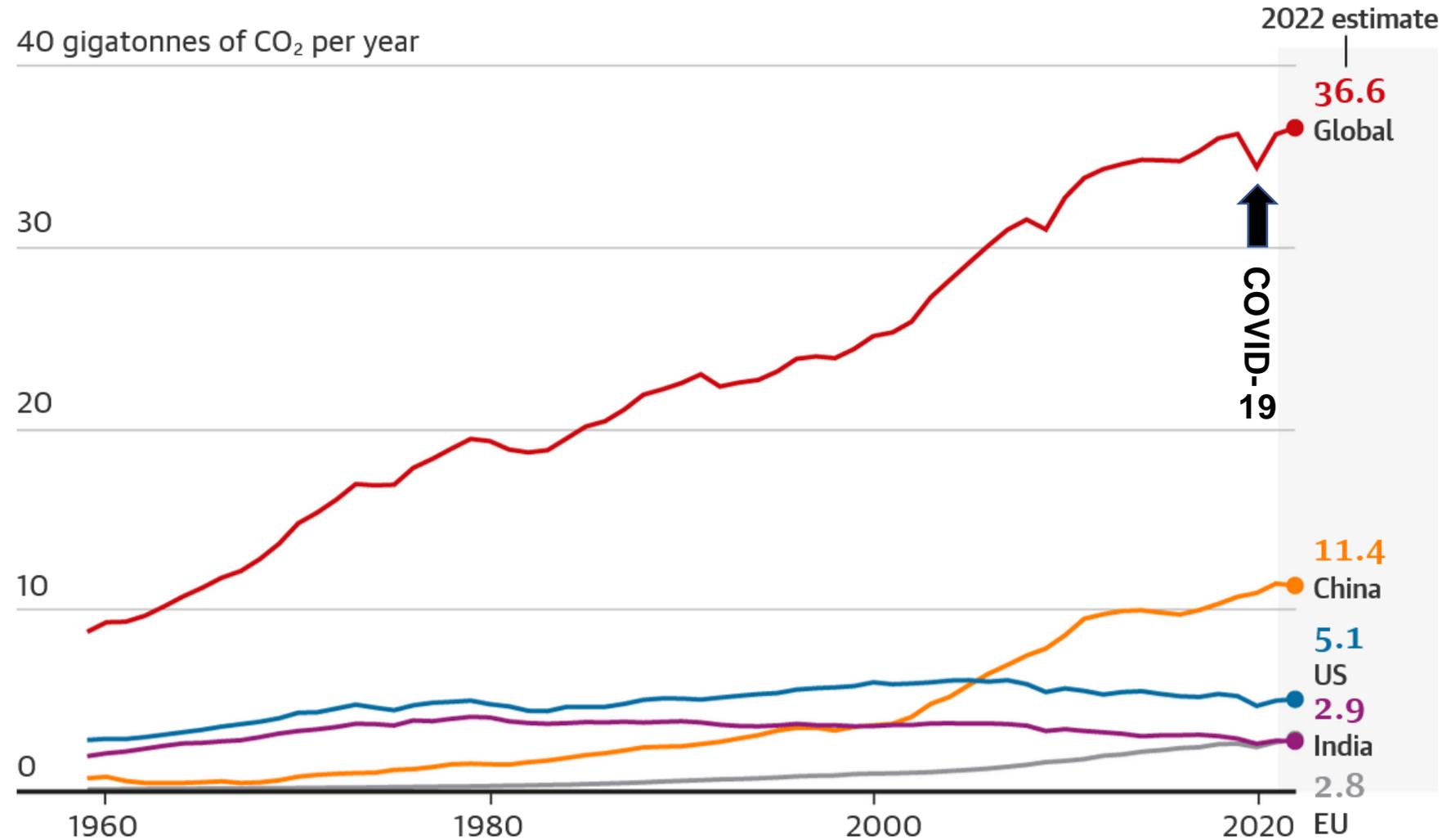
從繪本共讀開始，
攜手重視氣候變遷與全球暖化

<https://www.ncdr.nat.gov.tw/picturebook/>

'Bleak' findings come from report at Cop27 that notes 'no sign' of urgent cuts needed to stop climate breakdown.

<https://www.theguardian.com/environment/2022/nov/10/carbon-emissions-from-fossil-fuels-will-hit-record-high-in-2022-climate-crisis?fbclid=IwAR2690rPSWsq6Ad7e79kTK2aXSt-DjkX1FnIEK0KBLb-K700yOeslhVmV44>

Fossil fuel emissions in 2022 are set to reach a record high



Guardian graphic. Source: Global carbon budget. Friedlingstein et al. Earth System Science Data, 2022

台灣的挑戰

關鍵問題:

- 以往: 視而不見、聽而不聞、動口不動手
- 太晚、太少、太慢

1. 健全與整合氣候變遷相關研發體系(科學、衝擊、調適、減緩)。
2. 全球暖化對台灣衝擊的整體評估，明確化調適指引，有科學與數據依據的策略規劃。
3. 確立與落實全方位的深度減(去)碳途徑。

必須:

- 加速、加深、加廣
- 揚棄射箭畫靶習性! 畫靶射箭才是正道!



台灣科技媒體中心
《IPCC全球升溫1.5度C特別報告》提出之減碳目標與路徑
專家意見 2018年10月8日

"1.5°C報告發布後，國際減排趨勢必加速，在經濟與減排訴求上給台灣的壓力將與日俱增。國際正夯的是經濟與碳排脫鉤的發展型態，我們也需要在**適度經濟發展與深度減碳(以1.5-2°C為目標)雙贏**的前提下，規劃前瞻性的「**國家長期深度減碳與調適藍圖**」，具體落實相關措施。踏出第一步需要**極大的勇氣與決心**，但是是**必要的**。"

- 中央研究院環境變遷研究中心 許晃雄副主任

https://smctw.tw/3760/?fbclid=IwAR1IVHx5vQZIMjkYwWam4I0I3ic29u0Br2FsotENEJJ_y6yABeSd6ic390

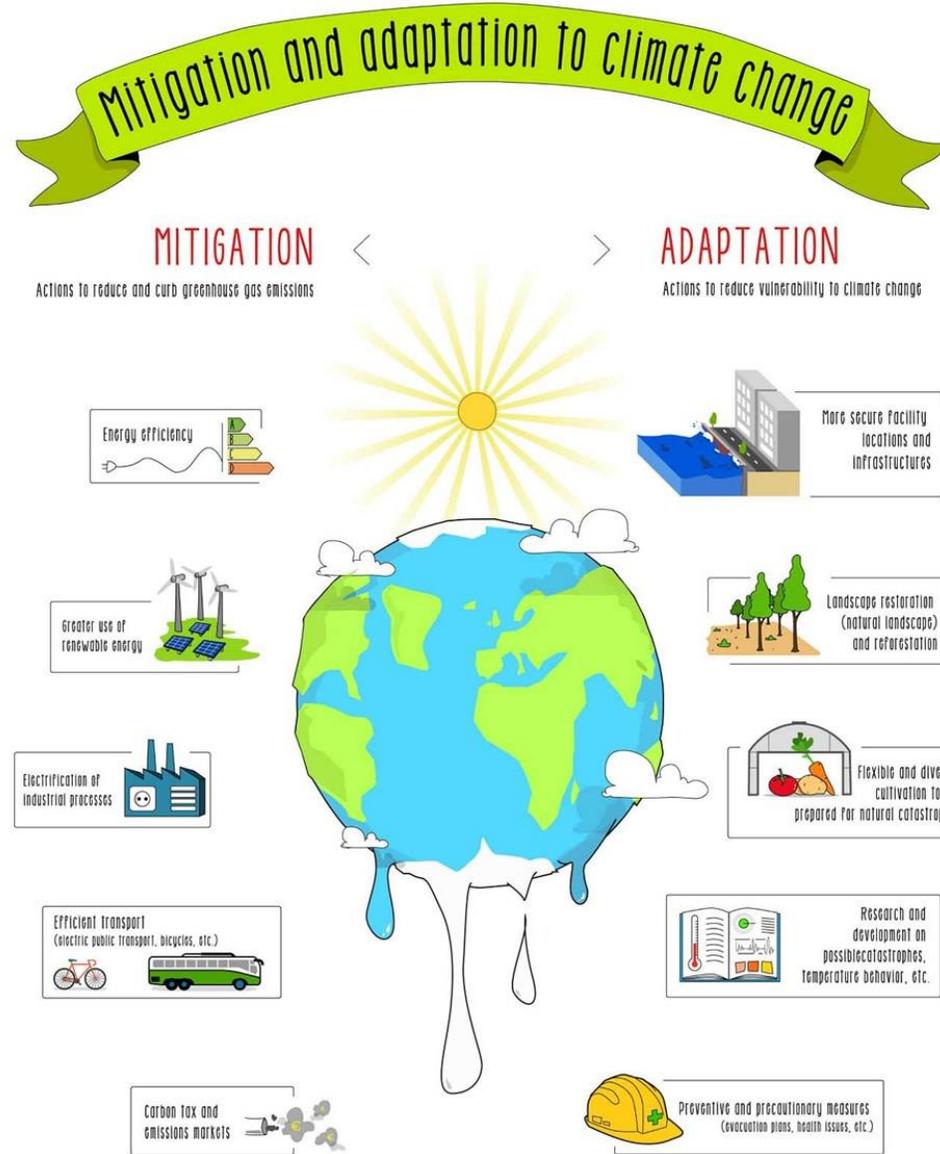
- 達不到1.5°C、2°C目標的風險很高。
- 需要調適措施的配合(2.5–3°C?):
強化耐災能力!

減緩措施

Mitigation measures to avoid the increase of pollutant emissions

- Practice Energy efficiency (能源效率)
- Greater use of renewable energy (再生能源)
- Electrification of industrial processes (工業製程電氣化)
- Efficient means of transport implementation: electric public transport, bicycle, shared cars ... (低碳有效率的運輸系統)
- Carbon tax and emissions markets (碳稅、碳交易)

<https://www.activesustainability.com/climate-change/mitigation-adaptation-climate-change/?fbclid=IwAR2igG6cMeZvZxs4BWn7ixShQzdkGTdb2-lu3WPs-OujjPAZmZSkuDzk2TM>



調適措施 (氣候韌性發展)

Adaptation measures help reducing vulnerability to the consequences of climate change

- More secure facility locations and infrastructures (設施安全)
- Landscape restoration (natural landscape) and reforestation (地貌復育)
- Flexible and diverse cultivation to be prepared for natural catastrophes (開發多元彈性的防災能力)
- Research and (災害議題研發) development on possible catastrophes, temperature behavior, etc.
- Preventive and precautionary measures (evacuation plans, health issues, etc.) (強化預警措施)

抗氣候變遷需要每一個人，
無論哪一學群，都可以找到與氣候變遷的連結！

 大學18學群

資訊學群 8

工程學群 17

數理化學群 7

醫藥衛生學群 17

生命科學學群 8

生物資源學群 9

地球與環境學群 8

建築與設計學群 9

藝術學群 4

社會與心理學群 9

大眾傳播學群 5

外語學群 5

文史哲學群 9

教育學群 11

法政學群 6

管理學群 15

財經學群 7

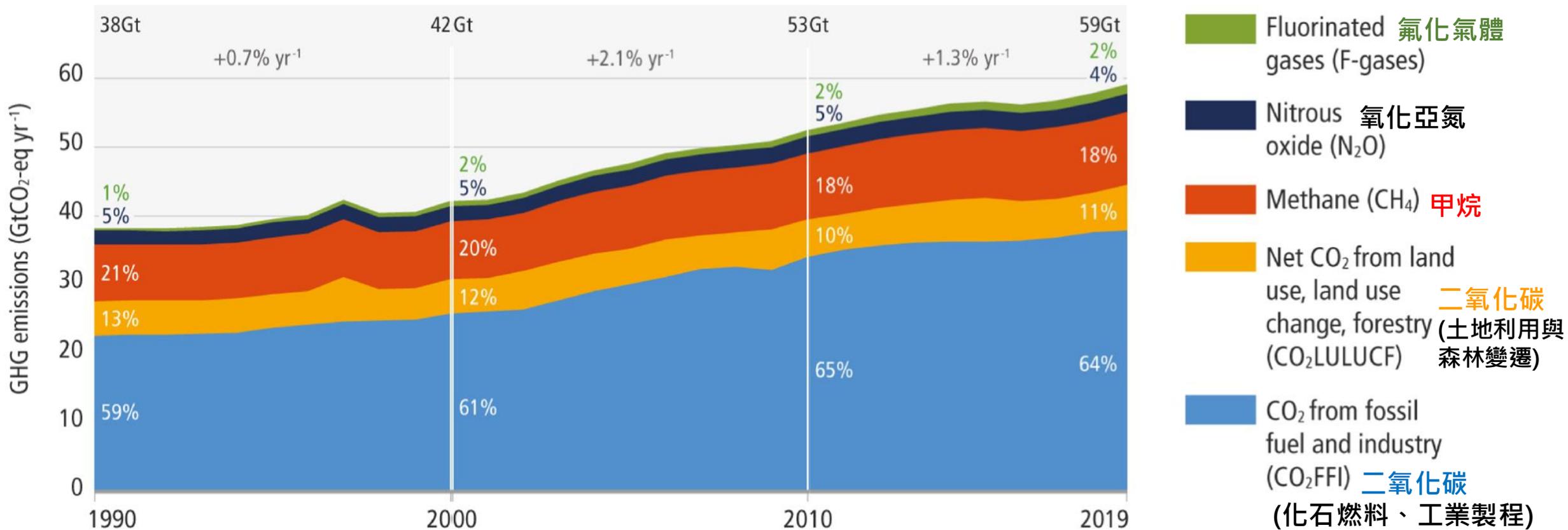
遊憩與運動學群 7

不分系學群 1

目前排放趨勢無法達到限溫1.5°C目標

We are not on track to limit warming to 1.5 °C.

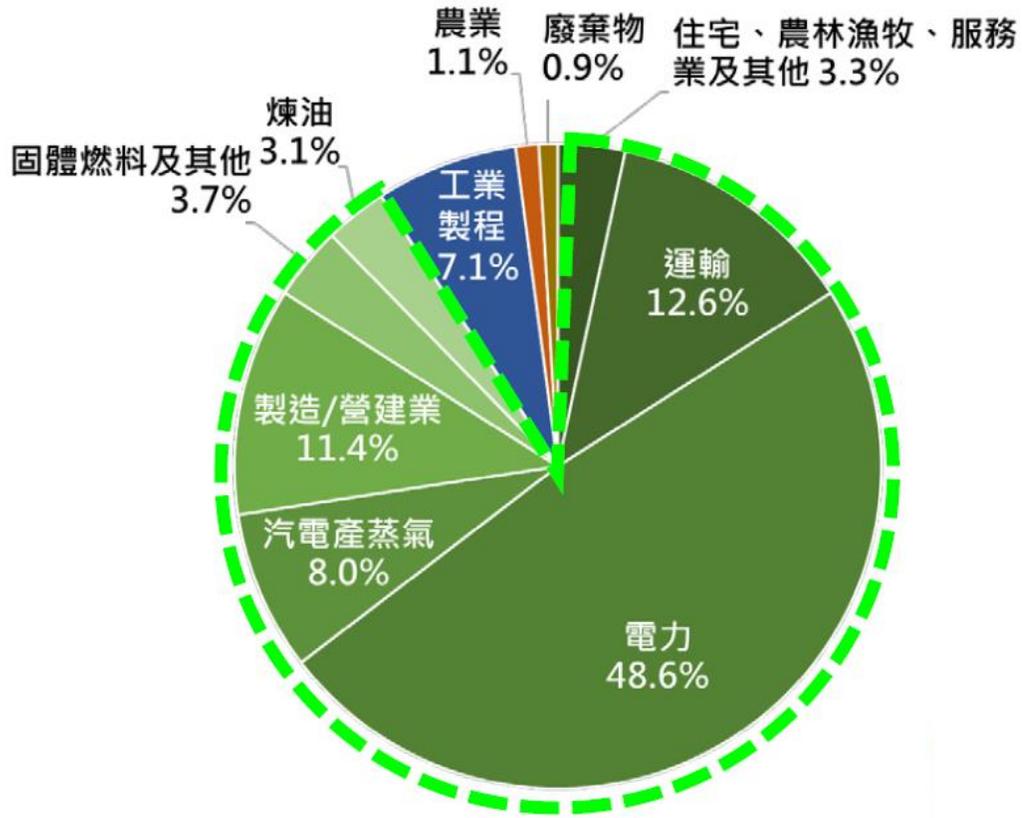
溫室氣體



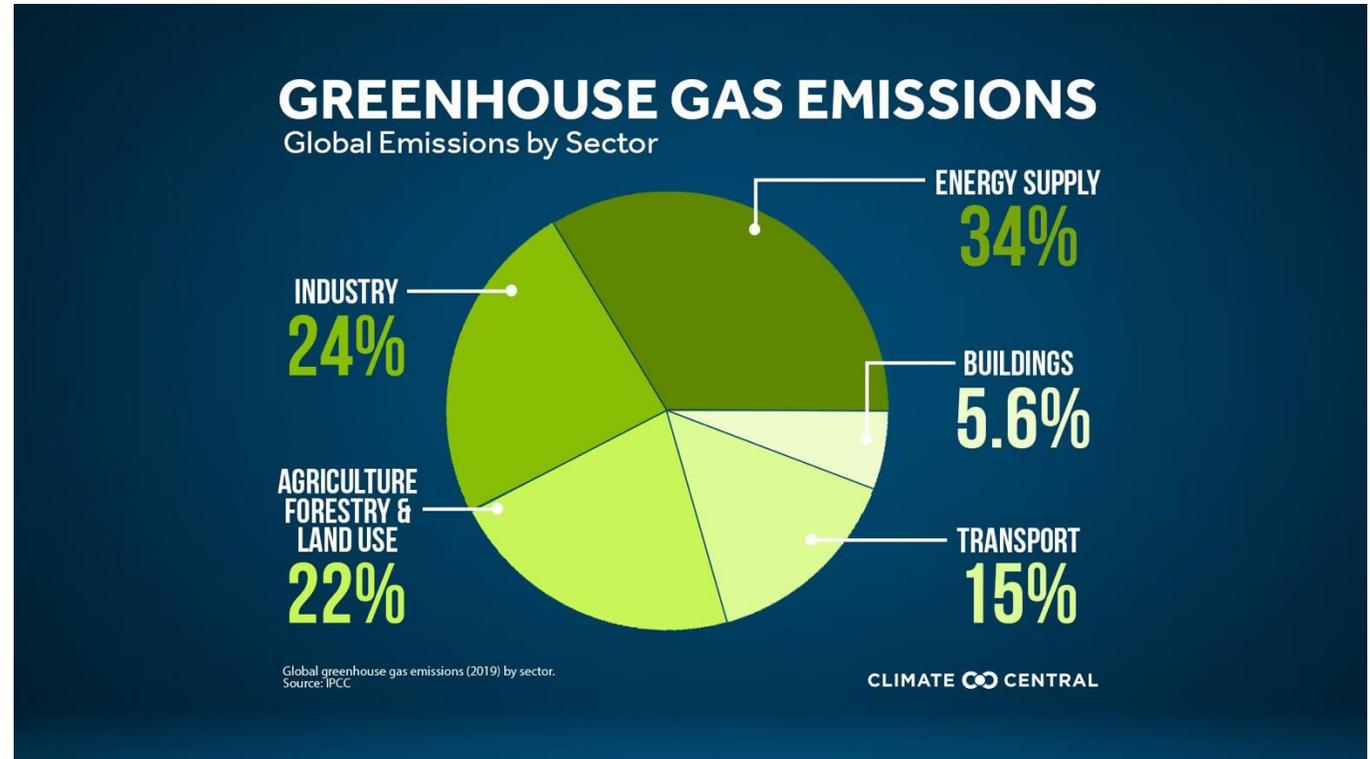
減排: 從哪裡減起?

我國2019溫室氣體總排放量：**287**

Mt CO₂eq



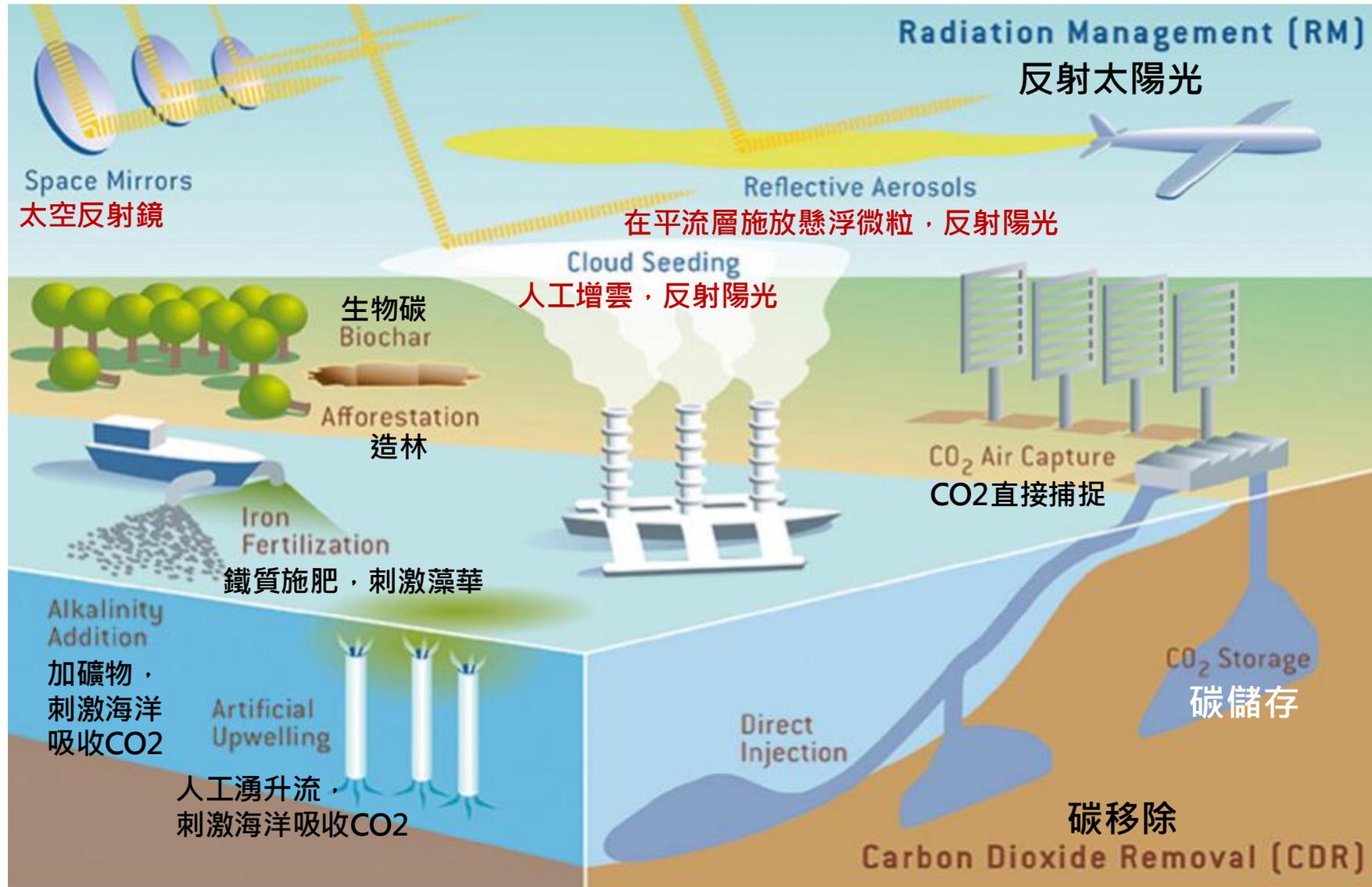
來源: 中研院



Global Emissions by Sector (2019)

<https://www.climatecentral.org/climate-matters/peak-co2-heat-trapping-emissions>

地球工程 (Geoengineering): 緩解暖化，吸收CO2



所需技術

創新科技減碳

生產氫氣但不排碳

維持一整季的電網級
儲電系統

電燃料 (燃料電池)

先進生質燃料

零碳水泥

零碳鋼材

以植物或細胞製成的肉類
與乳製品

零碳肥料

新一代核分裂

核融合

碳捕集 (包括直接空氣捕集
與點捕集)

地下輸電

零碳塑膠

地熱能

抽蓄水力

儲熱系統

耐旱和耐澇的糧食作物

棕櫚油的零碳替代品

不含含氟氣體的冷卻液

— 能源
— 減碳
— 調適

2050 淨零路徑規劃

階段里程碑

建築

提升建築外殼設計、
建築能效及家電能效標準

運輸

改變運輸方式，
降低運輸需求，
運具電氣化

工業

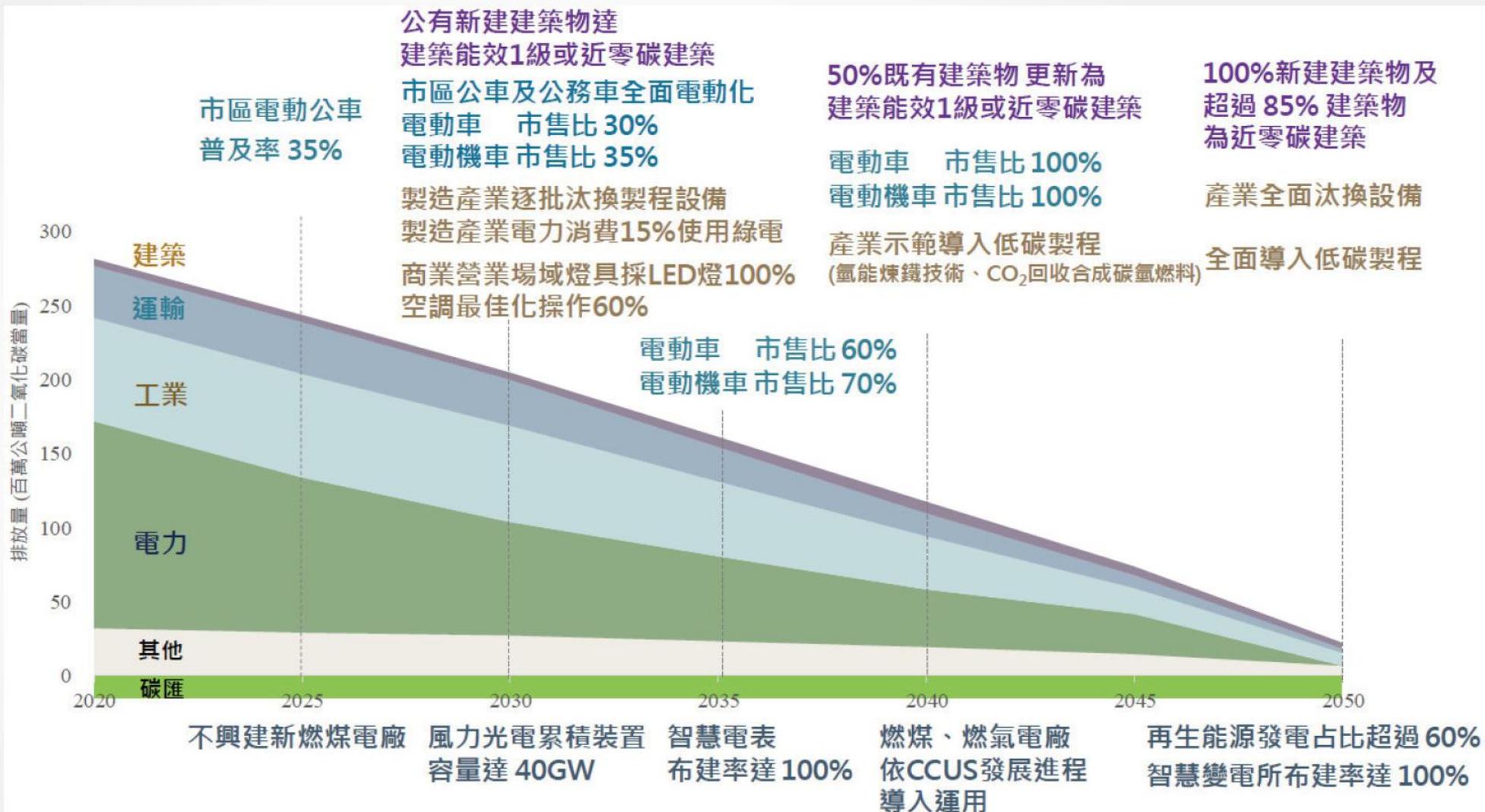
提升能效，燃料
轉換，循環經濟，
創新製程

電力

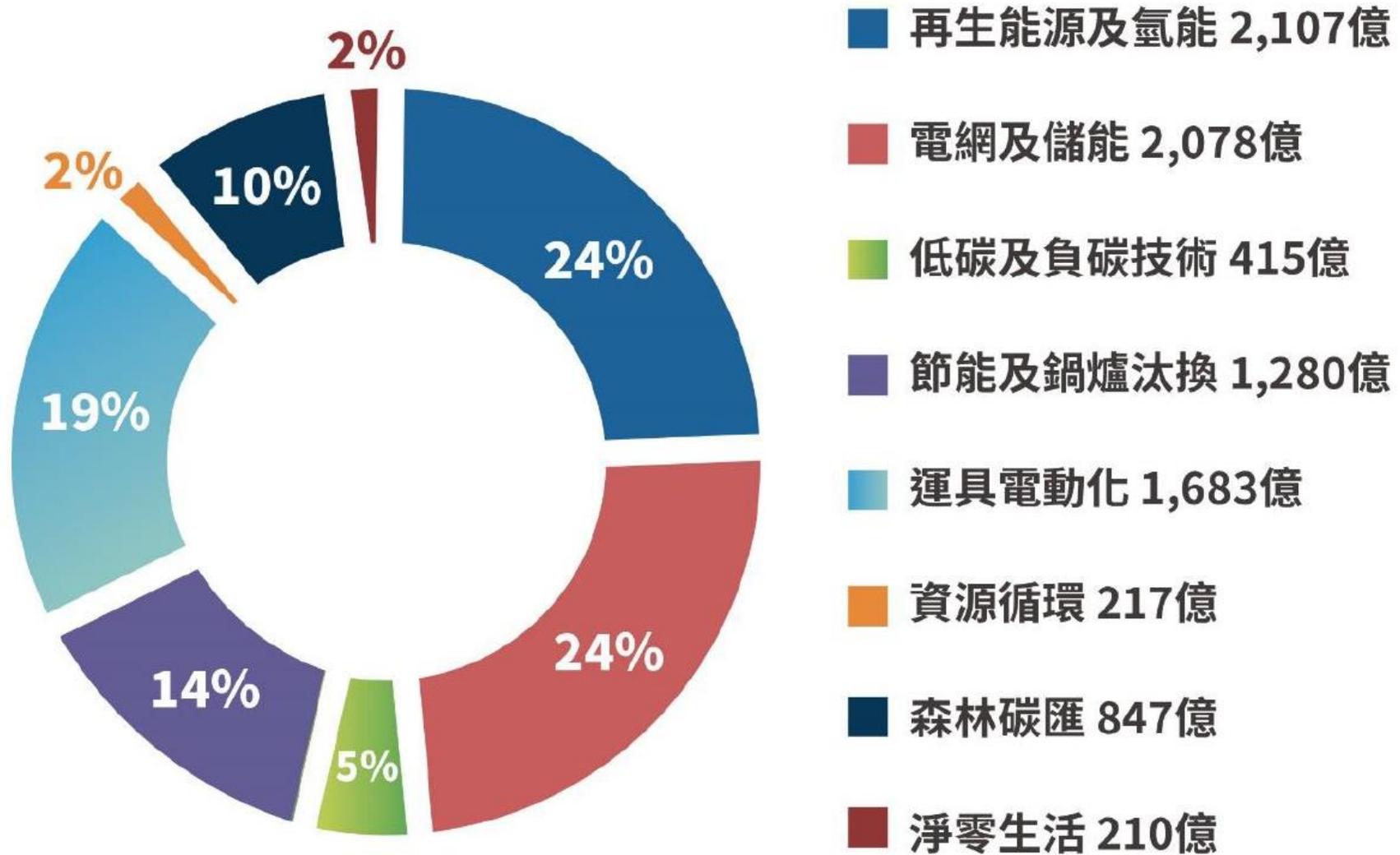
再生能源持續擴大，
發展新能源科技、儲
能、升級電網

負碳技術

2030 進入示範階段
2050 進入普及階段



2022-2030 投入9000億



面對超限的未來

需要超限的思維與作為

**新思維、新的生活形態、新的
商業行為**

危機 = 契機

創意無限的未來！

台灣氣候立法刻不容緩 確立淨零排放轉型策略

周桂田、蕭代基、許晃雄、林木興

2022-01-02 05:30 自由時報 / [自由共和國](#)》

「氣候變遷因應法」草案的修訂建議

➤ 政府應建立氣候會報

比照「科技會報」與「中央災害防救會報」編列預算，由行政院院長督軍，針對各部門訂定淨零排放短中長期程目標

➤ 政府應設置氣候委員會

獨立地、公開地審議氣候變遷相關研究成果，以作為風險決策的科學依據，並且將淨零轉型政策主流化、整合各部門相關法律之修訂

➤ 擬定碳費、碳稅或能源稅

政府為確保淨零排放下公正轉型，應與碳稅機制配套、成立公正轉型基金，進行社會財務再分配。

➤ 氣候調適避免社經衝擊

與各界就評估內容進行討論、擬定因應戰略與健全法制建設，以建立前瞻之社會運作軌道、提供各界審計淨零轉型之管道

➤ 政府應設置氣候變遷科技中心

仿照國家災害科技中心之設置，在科技部以行政法人的形式、設置「國家氣候變遷科技中心」，以便在風險評估之外，也強化治理創新的科研能力

台灣溫室氣體總排放量佔全世界的總排放量的**0.56%**，有必要隨國際趨勢起舞，追求淨零排放？

1. 國際計較排放量，都是以人均為依據，台灣人均排放量高
2. 即使以總量計，還是要2050淨零；淨零已經是國際共識，難以置身事外
3. 台灣是國際政治孤兒，卻是以製造業為主的外貿經濟大國，要繼續賺外貿錢，就得淨零
4. 地球暖化進程與衝擊相當迅速，所剩時間不多，台灣無法置身事外
5. 淨零排放只會讓空氣與環境變得更好
6. 在商言商，綠色經濟的新機會，台灣當然不能放過

COP26的警示

- COP26未如預期提出升溫不超過攝氏1.5度的具體減排承諾，台灣不能因此鬆懈。減碳目標不只是二〇五〇淨零，更迫切的是**二〇三〇減排45%**的挑戰。我們須以面對**COVID-19**的急迫感，來達成台灣的淨零轉型。(COP27?)
- 除了減排，我們不能忽略調適策略的規劃。以目前國際氛圍，升溫高於攝氏2度的機會不小，升溫越高，衝擊越大，調適的挑戰也越高。在追求二〇五〇淨零目標同時，必須**積極規劃氣候變遷調適措施**。
- 為加速整合減排與調適作為，應該參考災害防救法與傳染病防治法的精神，盡速訂定上位的氣候變遷法案。(草擬中的氣候變遷因應法，位階是否足以統一事權、整合資源?)

拜登宣示2030年溫室氣體排放減半

氣候領袖峰會 4/22-23, 2021



<https://www.nytimes.com/live/2021/04/22/us/biden-earth-day-climate-summit#us-says-it-will-sharply-cut-emissions-and-increase-funds-to-vulnerable-countries-to-fight-climate-change>

氣候領袖峰會 各國減碳承諾一覽表

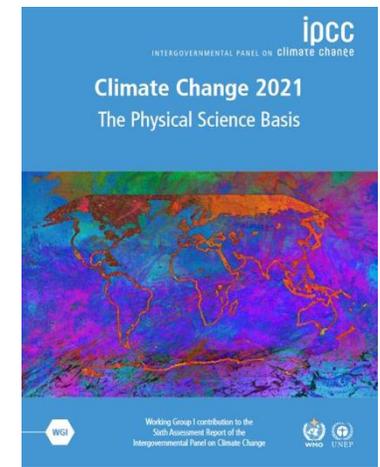
國家	減碳目標
美國	2030年較2005年減碳50至52%
加拿大	2030年較2005年減碳40至45%
巴西	2030年杜絕非法森林砍伐
中國	2030年碳達峰，2060年前碳中和
日本	2030年較2013年減碳46%
韓國	2030年較2017年減碳24.4%
歐盟	2030年較1990年減碳至少55%
英國	2035年前較1990年減碳78%

製圖：許芷榕 資料來源：美國國務院、氣候領袖峰會

IPCCAR6 WGI 的警訊

(聯合國政府間氣候變遷專門委員會第六次氣候變遷評估報告:第一工作小組)

2021/8/9



主要發現

1. 近期

2. 人為
高，

3. 無論
來20
降回

CODE RED

數千年來前所未見的。

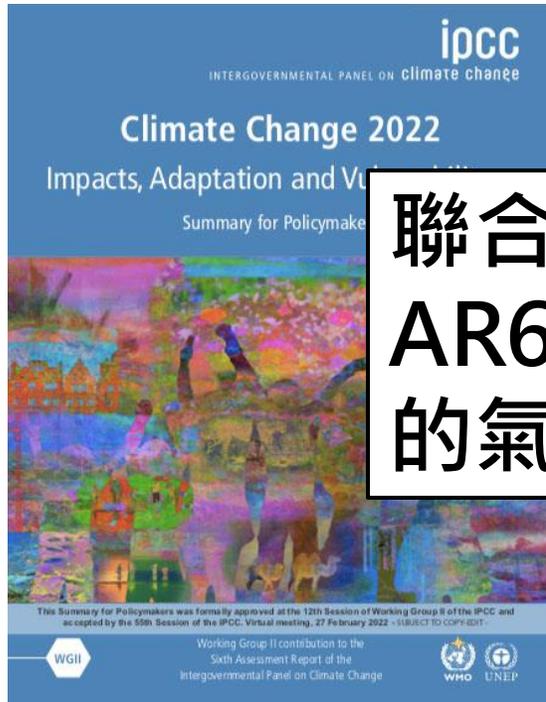


For Humanity (聯合國秘書長古特瑞斯)

4. 要控制**21世紀末**升溫在 1.5°C 以內，還有約440 GtCO₂(4400億噸)可排放，從2020年算起，還有約11年時間(每年排放量約為39.6GtCO₂)。

IPCC AR6 第二工作小組報告: 衝擊、調適、脆弱度

(2022/2/28)



1. 氣候變遷的影響已經比預期的還要更廣泛且嚴重
2. 短期內，我們會被更加嚴峻的氣候變遷影響困住
3. 氣候變遷風險將隨全球升溫而攀升，造成不可逆的衝擊

聯合國秘書長:

AR6 WGII報告是人類受難地圖，以及譴責失敗的氣候領袖們的起訴書；延遲就是死亡！

緊急行動以因應「損失與損害」(Loss and Damage)

7. 「調適」和「減碳」工作要並重 (減碳救地球，調適護台灣)
8. 氣候行動的機會之窗快速閉合中!

修改自World Resources Institute、洪申翰臉書

https://www.wri.org/insights/ipcc-report-2022-climate-impacts-adaptation-vulnerability?utm_campaign=wridigest&utm_source=wridigest-2022-03-01&utm_medium=email&utm_content=arrow

IPCC AR6 第三工作小組報告: 氣候變遷的減緩

(2022/4/4)



聯合國秘書長:
AR6 WGIII報告是恥辱檔案，條列了讓我們牢牢邁向不適生存的世界的空洞承諾。

施的
都須
衝擊

1. 全球溫室氣體排放仍舊持續增加；如要限制升溫不超過1.5 °C，排放需在**2025年前**達到峰值。

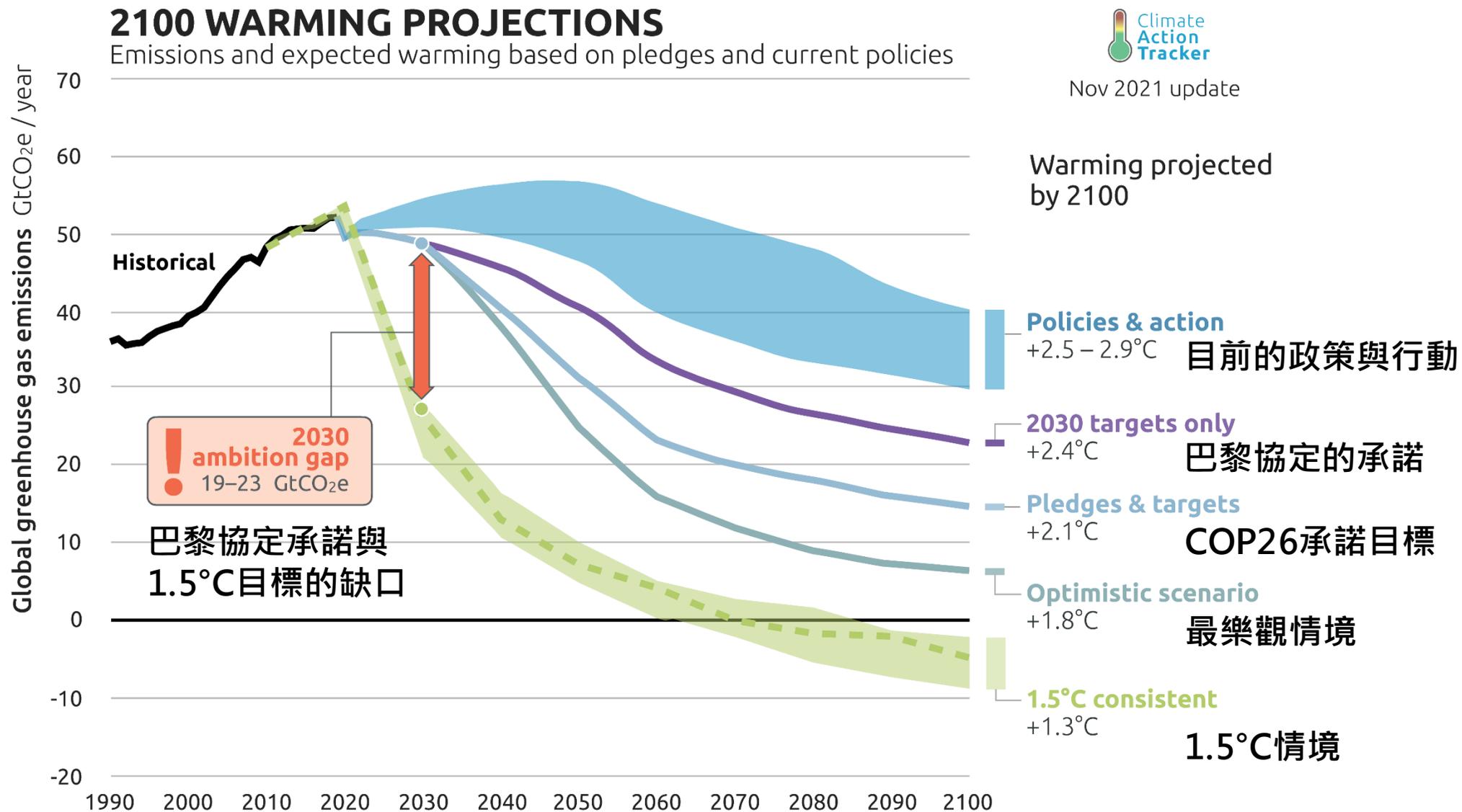
4. 以變生活型態與態度定減緩氣候變遷衝擊的關鍵。

5. (從大氣中)碳移除勢在必行，方能控制升溫在1.5 °C內，

6. 減緩氣候變遷衝擊所需的氣候資金，必須在**2030年前**擴增3-6倍，方能控制升溫在2 °C內。

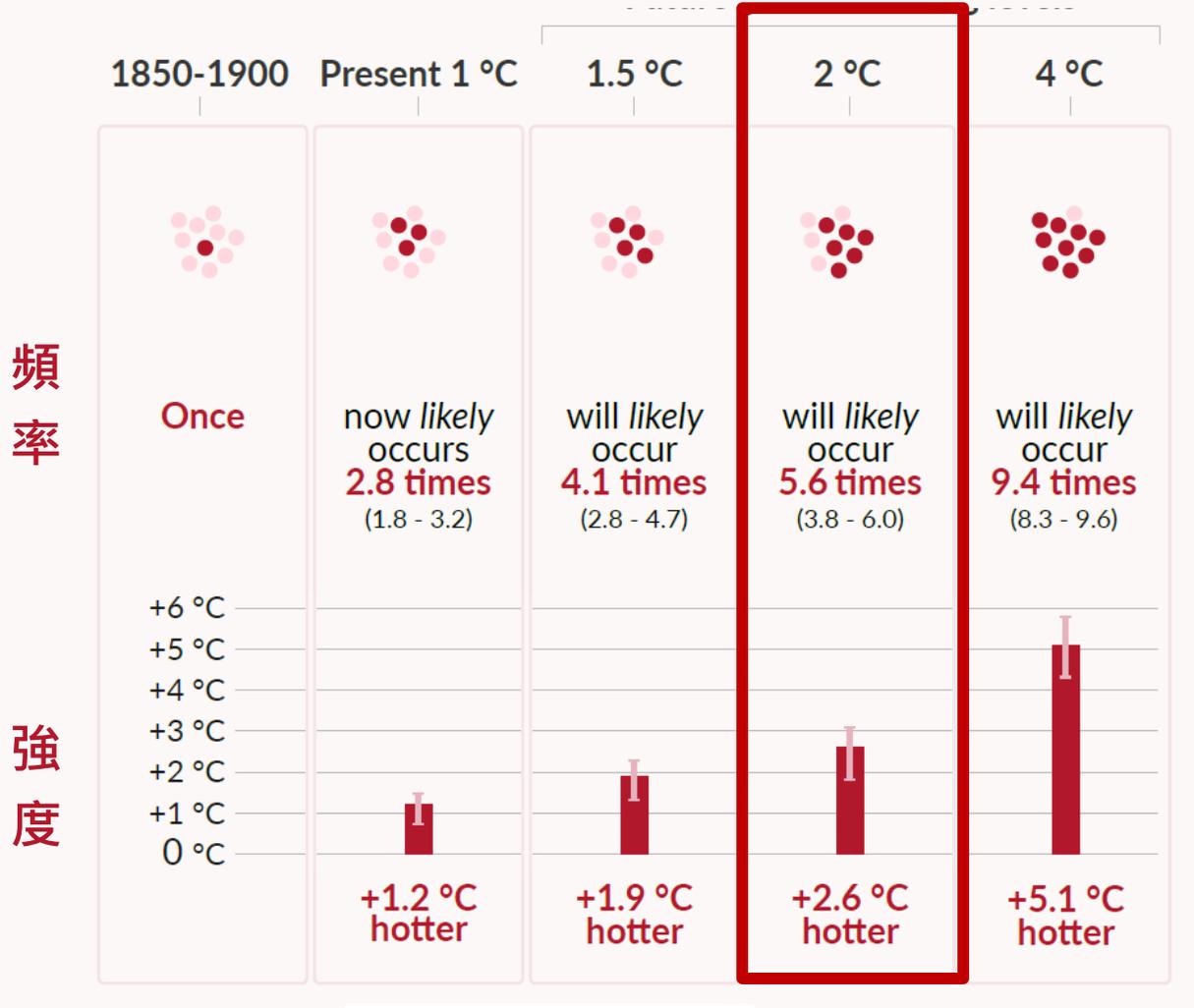
7. 就是現在，我們可以在**2030年將排放減半**；加速氣候行動是永續發展的關鍵；錯過，就沒機會將升溫控制在1.5 °C內。
(It is now or never, if we want to limit global warming to 1.5C.)

目前各國的減碳承諾離1.5°C應有的減排量還差很多，同志仍須努力



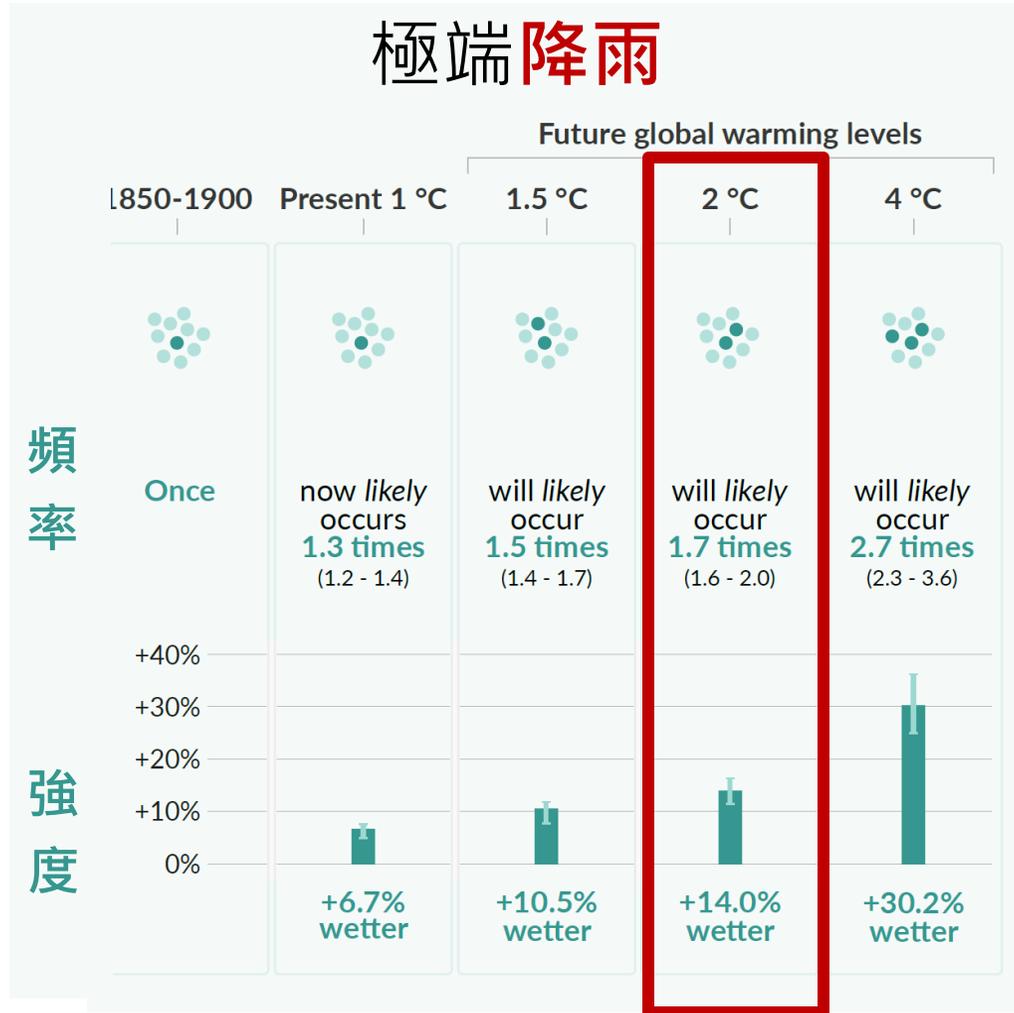
極端高溫頻率/增溫與暖化程度成正比

極端高溫



- ▶ 極端高溫在增溫2°C情境：
10年重現期的熱浪發生頻率會增為**5.6**倍、強度上更熱**2.6°C**
- ▶ 極端高溫在增溫4°C情境：
10年重現期的熱浪發生頻率會增為**9.4**倍、強度上更熱**5.1°C**

強降雨頻率/強度與暖化程度成正比

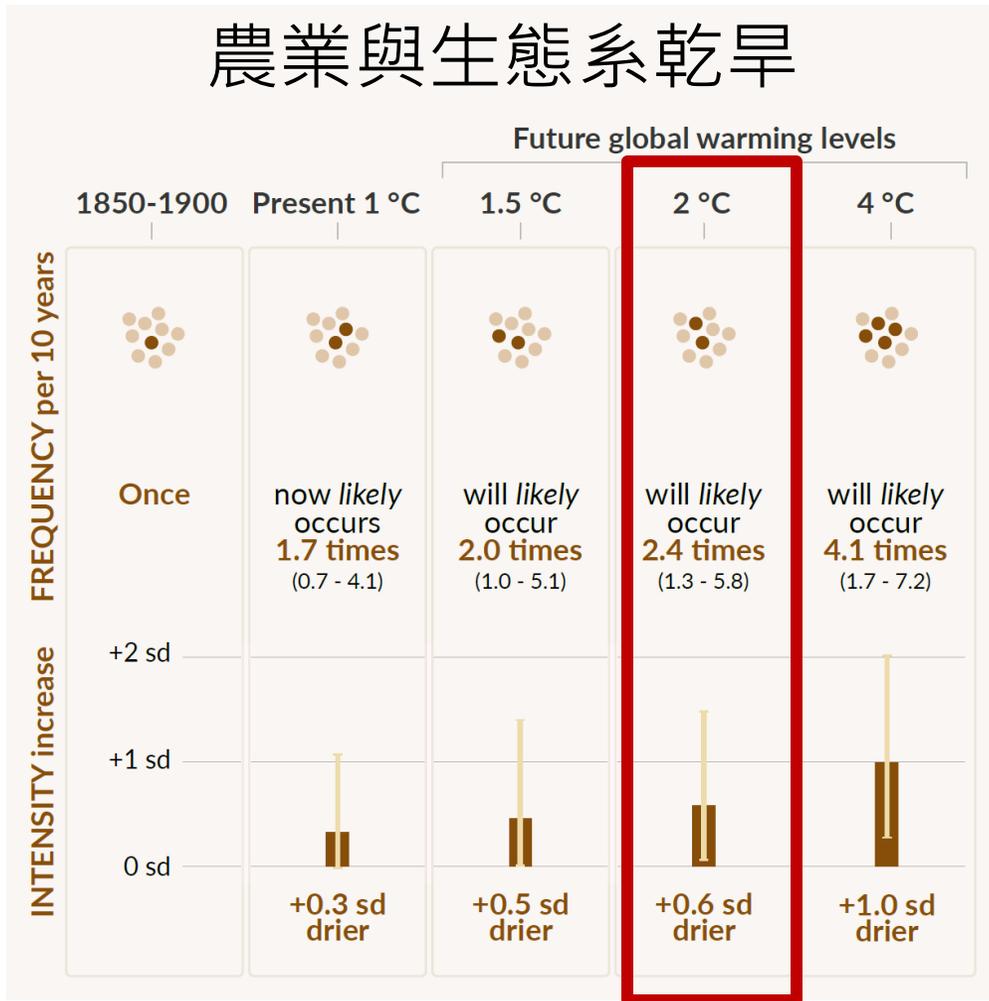


➤ 極端降雨在增溫2°C情境：
10年重現期的降雨發生頻率會增為**1.7**
倍、強度增加**14%**

➤ 極端降雨在增溫4°C情境：
10年重現期的降雨發生頻率會增為**2.7**
倍、強度增加**30.2%**

暖化程度越高，乾旱越嚴重

農業與生態系乾旱



➤ 乾旱在增溫2°C情境：

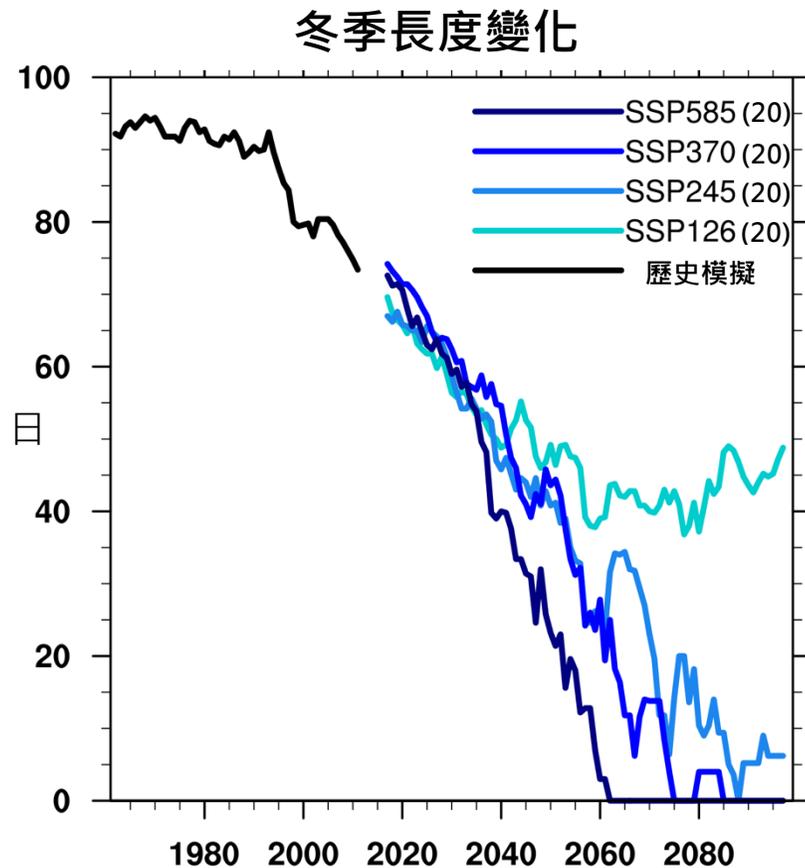
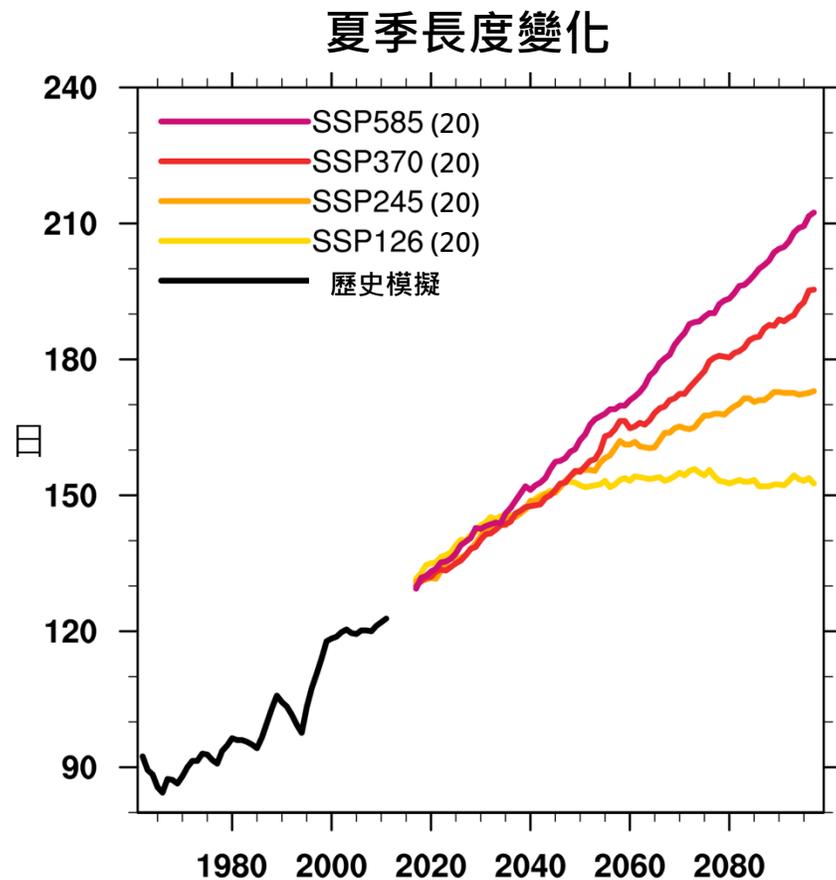
10年重現期的乾旱發生頻率會增為**2.4**倍、強度增加**0.6**個標準差

➤ 乾旱在增溫4°C情境：

10年重現期的乾旱發生頻率會增為**4.1**倍、強度增加**1**個標準差

台灣的未來:漫長的夏日，消失的冬季

- 未來推估臺灣的夏季長度從目前約130天增長為**155-210天**，冬季長度從目前約70天減少為**0-50天**。最劣情境下變遷明顯，理想減緩情境下之變遷相對緩和。



相對於1960-1990

台灣極端降雨(10年重現期距)幅度遠大於全球平均

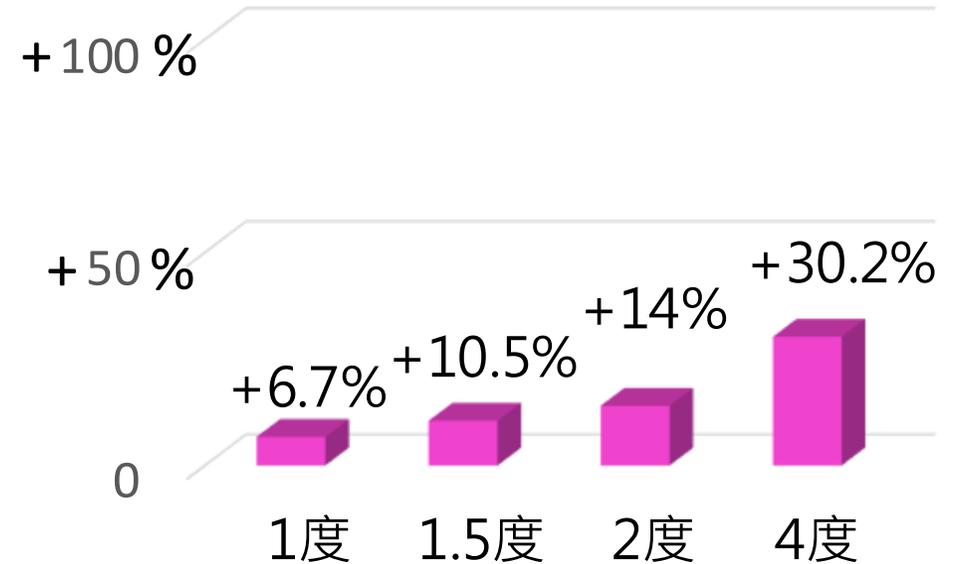
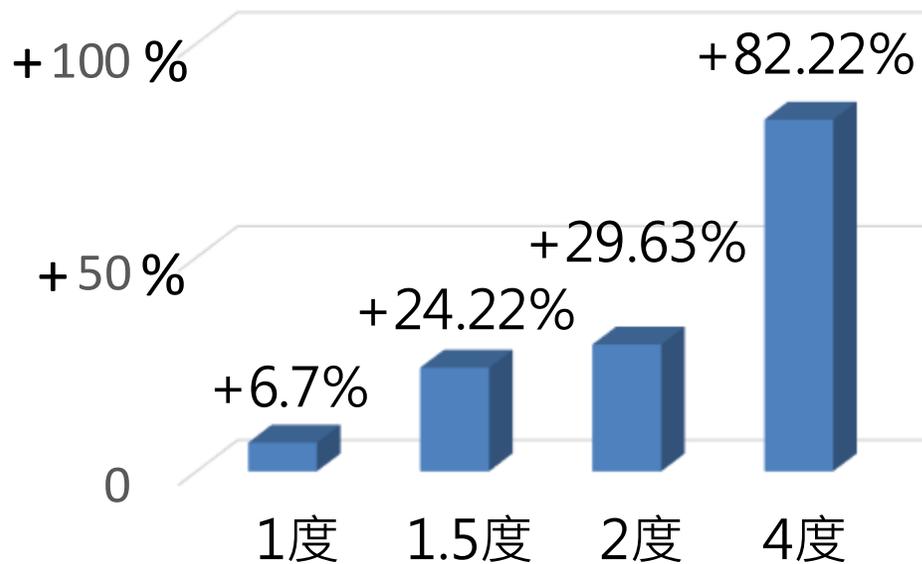
全臺

增溫情境(度C)	1	1.5	2	4
比值之中位數	1.3	1.52	1.73	2.82

全球

增溫情境(度C)	1	1.5	2	4
比值之中位數	1.3	1.5	1.7	2.7

頻率



強度

以增溫情境1度C為比較基準

COVID-19的警示

新冠肺炎疫情 (擬可逆；有疫苗、易感化、影響數年)

預警 (2020/1月) → 惡化 (2月) → 大爆發 (3月-?)

氣候變遷 (不可逆；無藥、難以適應、影響可達數百年)

預警 (1970-2010) → 惡化 (2010-2030) → 驚覺 (2030-2050) → 大爆發 (2050-)

鯉鳥戰爭又來攪局!

經濟學人(2023.03): 俄烏戰爭減緩2025年之前的減碳腳步，但能源轉型可能因此提前5-10年，加速了能源轉型的中程進度。

系統性思維 – 以核融合發電的最近發展為例

為什麼經過幾十年後突然被認為可能性提高? 目標: 2050年

- 技術層面突破: 3-D列印、快速的電腦模擬、反應快速的電子控制系統、...
- 私人企業研發投入
- 官方與私募基金投入

成功條件:

• 技術面:

- ✓ 展現發電效率(溫度>5千萬度, 能量輸出>輸入)
- ✓ 關鍵零件(超導磁鐵、新機壁材料、電漿噴入計、...)成功測試(2025年)
→ 2030年原型電廠測試
- ✓ 2026年可行性評估

• 管理面: 核融合監管框架的建立

• 供應鏈: 具規模的全球供應鏈與人力資源

• 財務金融面: 專案融資、改變能源投資思維、考慮核融合的經濟價值

• 能源配比: 研判核融合在去碳能源中的配比

抗氣候變遷需要每一個人，
無論哪一學群，都可以找到與氣候變遷的連結！

 大學18學群

資訊學群 8

工程學群 17

數理化學群 7

醫藥衛生學群 17

生命科學學群 8

生物資源學群 9

地球與環境學群 8

建築與設計學群 9

藝術學群 4

社會與心理學群 9

大眾傳播學群 5

外語學群 5

文史哲學群 9

教育學群 11

法政學群 6

管理學群 15

財經學群 7

遊憩與運動學群 7

不分系學群 1



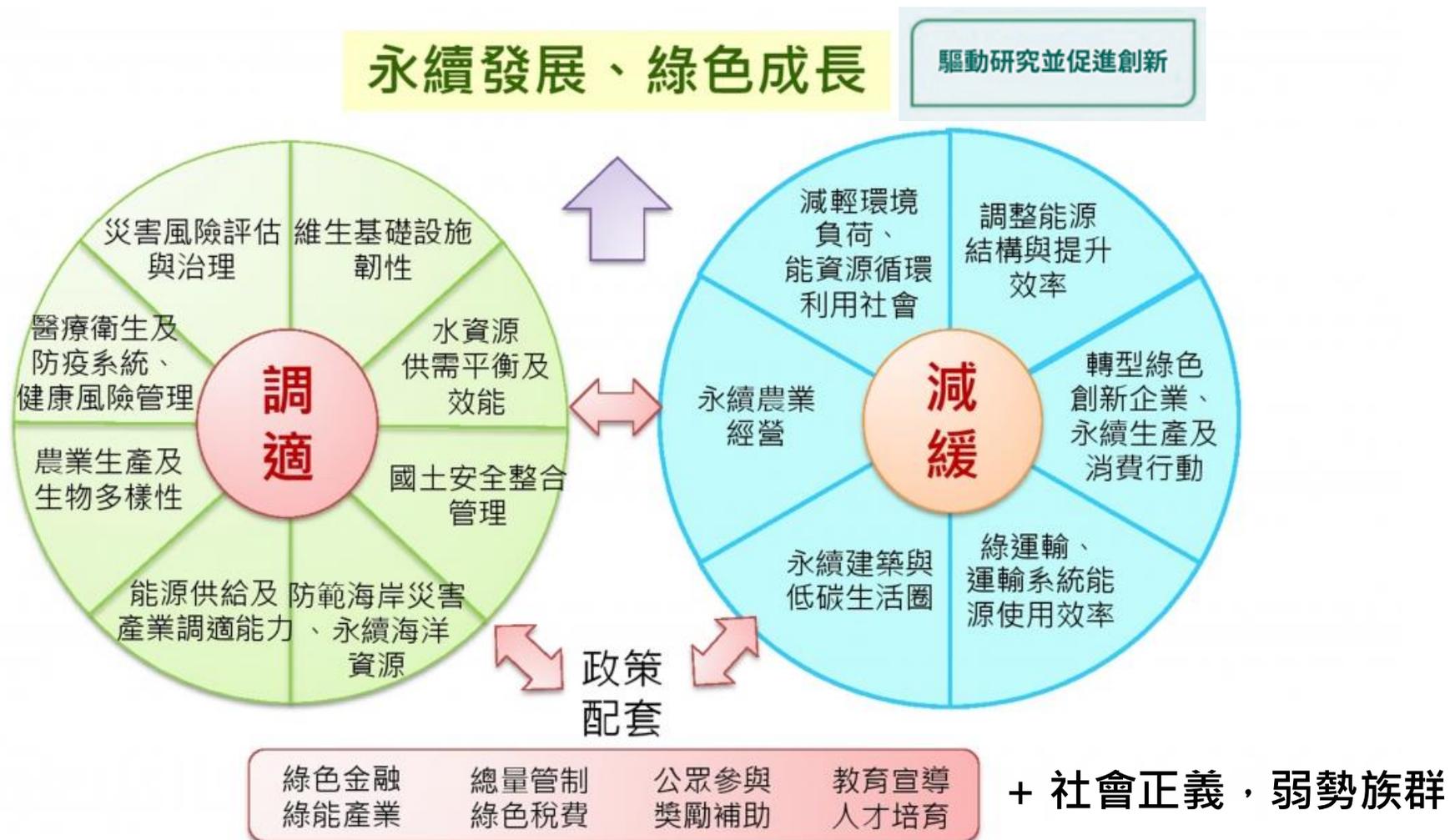
"歐(奧)本海默"的啟示

一個創世紀計畫(曼哈頓計畫)成功的要件:

- 堅定的決策者，
- 有魄力的政策推動者，
- 有魅力、整合力與決斷力的執行者，
- (也是最重關鍵的)實力堅強的科研團隊(基礎)。

台灣淨零轉型與氣候變遷調適(科研生態圈)是否四項具備?

氣候變遷：一個史無前例龐大與複雜的挑戰， 每個人都可以找到自己的位子！



台灣的挑戰

關鍵問題:

- 以往: 視而不見、聽而不聞、動口不動手
- 太晚、太少、太慢

1. 健全與整合氣候變遷相關研發體系(科學、衝擊、調適、減緩)。
2. 全球暖化對台灣衝擊的整體評估，明確化調適指引，有科學與數據依據的策略規劃。
3. 確立與落實全方位的深度減(去)碳途徑。

必須:

- 加速、加深、加廣
- 揚棄射箭畫靶習性! 畫靶射箭才是正道!



青年是社會改革與進步的原動力，
氣候變遷調適與淨零更是！
台灣需要更多年輕人的投入！
青年培力！

台灣青年氣候聯盟
TWYCC(Taiwan Youth Climate Coalition
(9/27, 2020)



💡 我們的訴求 💡

- 🌱 **淨零碳排** | 台灣應於2050年前達到淨零碳排放
- 🏛️ **氣候治理** | 將氣候變遷視為國安危機，並由總統府與行政院負責統籌
- 🏠 **綠色轉型** | 提出台灣版「綠色政綱」，落實產業永續發展
- 📖 **氣候教育** | 強化能力建構，提升全民對氣候變遷的認識與因應衝擊的能力
- 👥 **公民參與** | 納入多元族群共同商議國家氣候政策
- 🔬 **氣候科學** | 增加氣候科學研究資源，並以研究成果作為政策依據

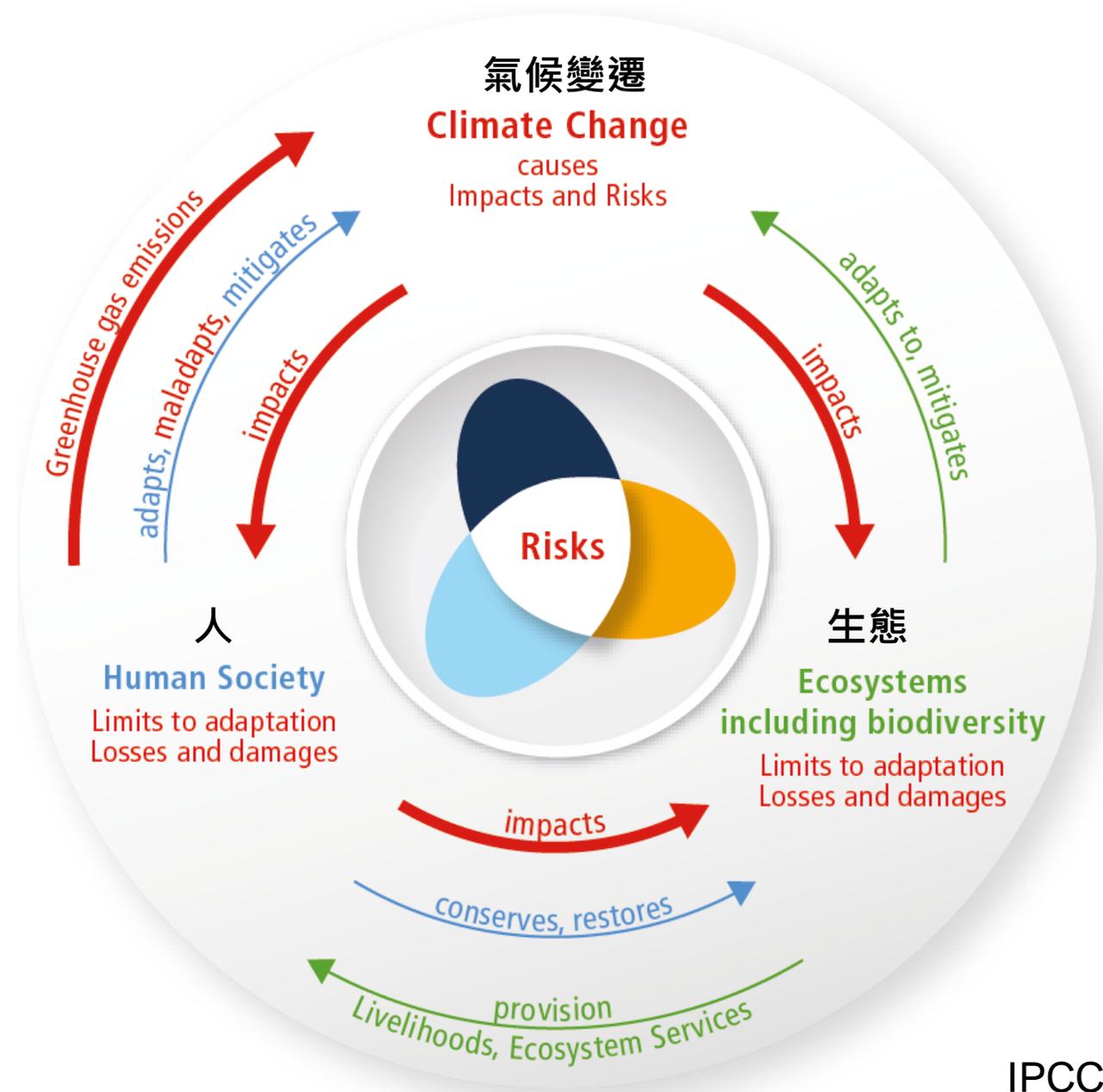
**抗氣候變遷需要每一個人，
無論哪一專業，都可以找到與氣候變遷的連結與機會！**

- 衝擊: 災害、水資源、健康、生態、糧食 ...
- 工程與科學: 前瞻能源、替代能源(風光電、地熱)、負碳排技術、儲能系統、能源效率、...
- 永續循環: 運輸、建築、農林漁牧(糧食)、水資源、生態、廢棄物、
- 經營管理: 企業氣候變遷風險與機會評估、揭露、管理、...
- 綠色金融: " 極端氣候概念基金，帶您把握應對氣候變遷商機" (某基金廣告)、綠能市場、...
- 政治(治理)、經濟、社會(正義)、國際談判、...
- 文學、藝術、教育、...

氣候變遷的挑戰： 氣候-人-生態 互相連動、 無遠弗屆的議題

- 跨領域、新型態問題與挑戰

- 個人:自我跨域學習
- 教育:新型態課程內容與教學(打破學群的藩籬)



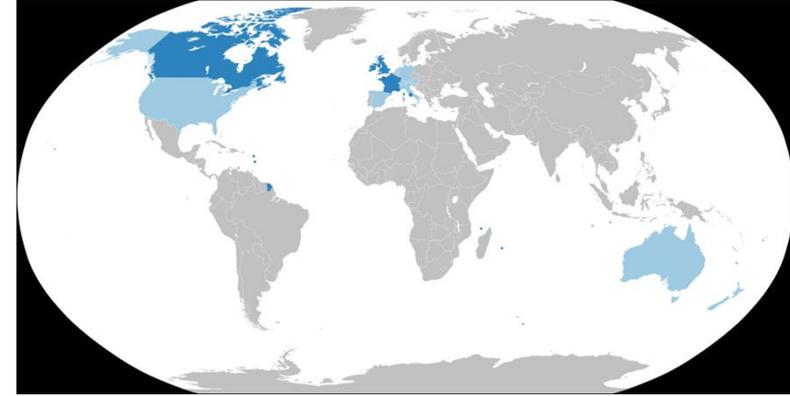
- 面對進擊的全球暖化，如何將危機化為轉機？
- 每個國家、企業與人都有機會，Z世代(妳/你)的在哪裡？

- 發揮創意，減碳救地球，
調適護台灣，成就自己 -

- Speed & Scale *Up* -



Countries where a **climate emergency** has been declared, either for the entire country or only some subdivisions. 氣候緊急狀態 (牛津字典2019詞彙)

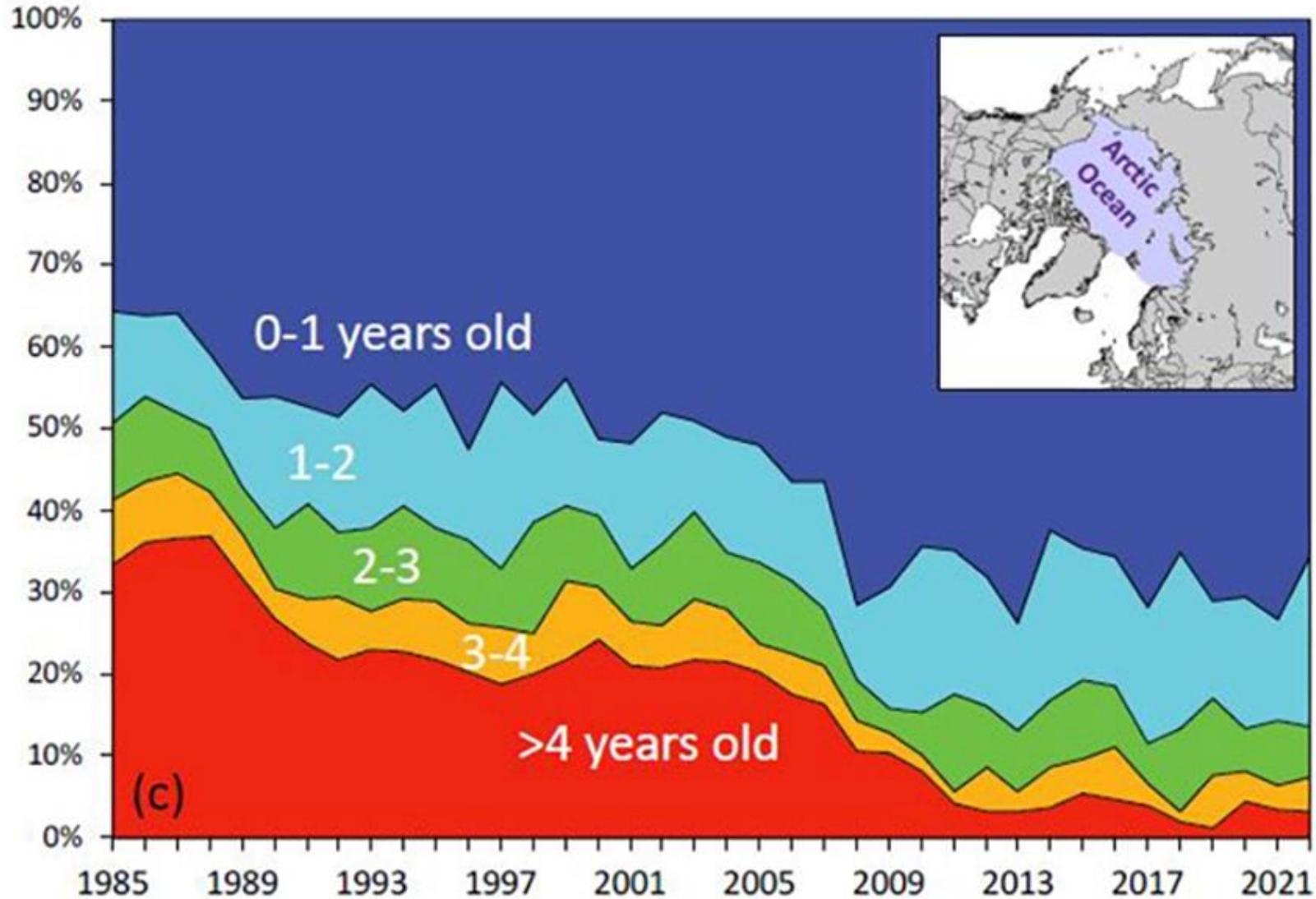


反抗滅絕

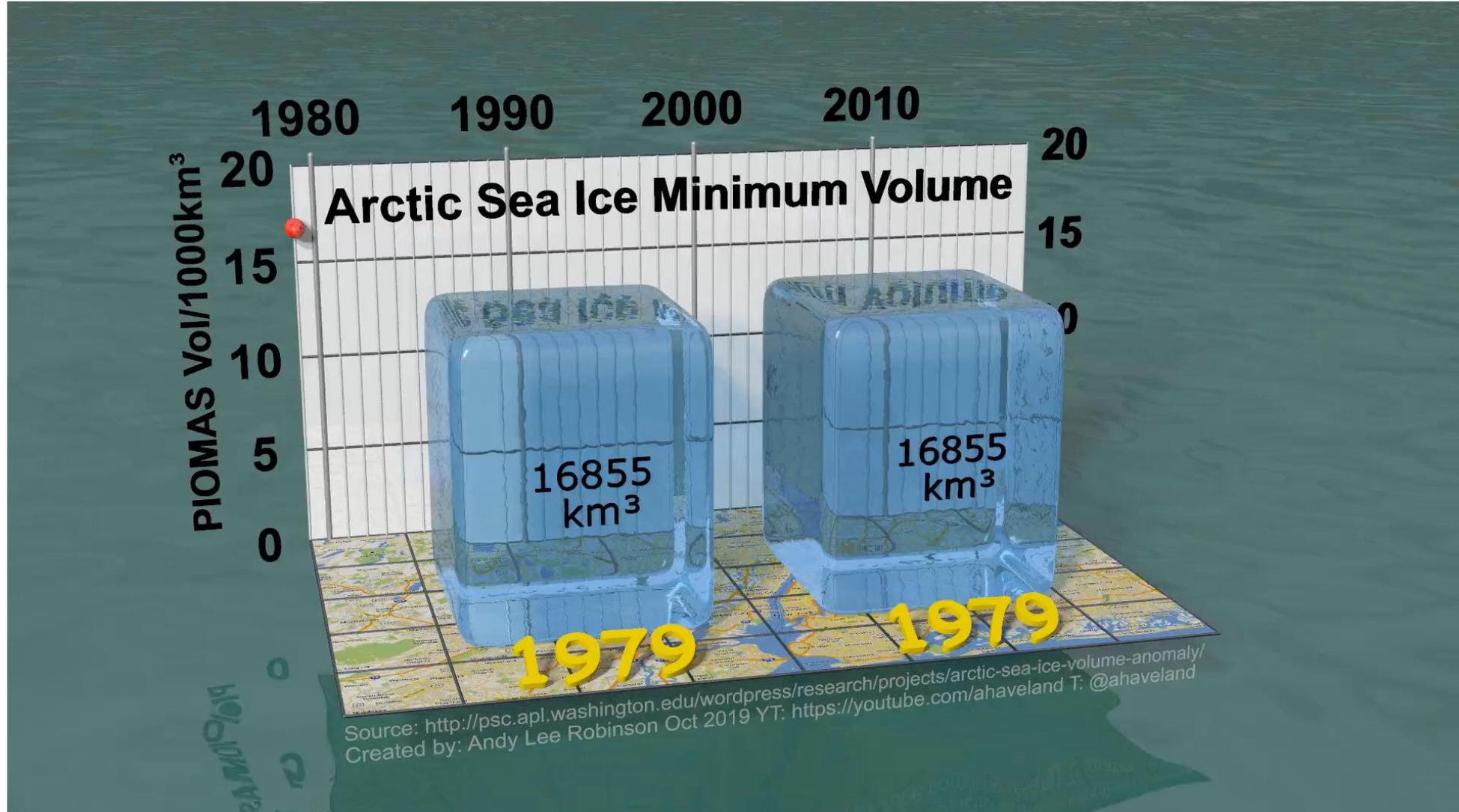


https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_emergency_declaration

海冰年紀的變遷: 多年(“老”)冰越來越少



北極海冰體積少了3/4



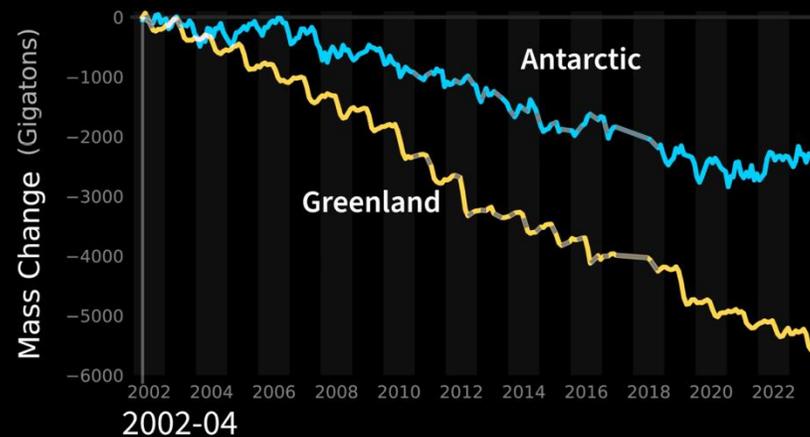
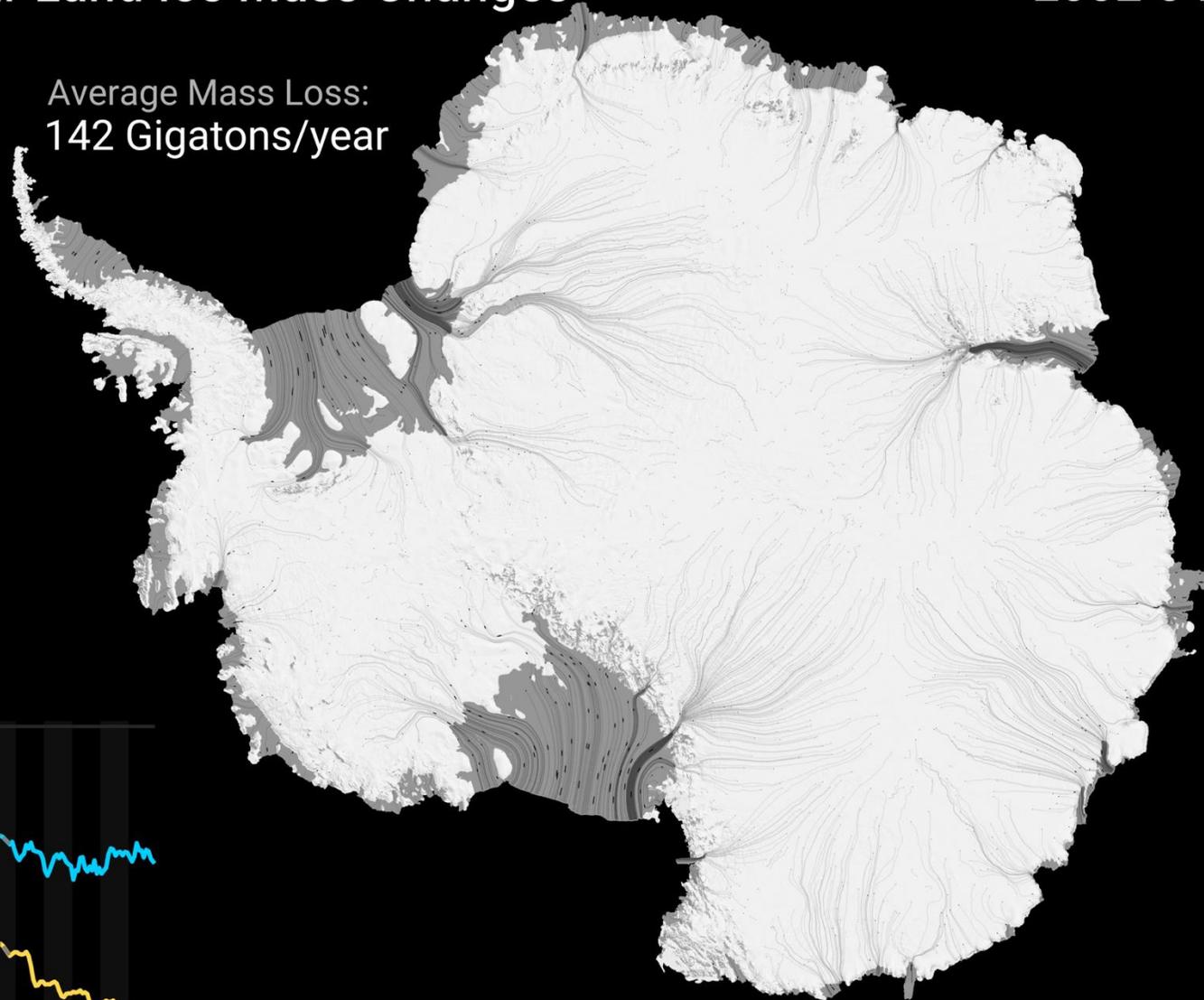
GRACE AND GRACE-FO Observations of Polar Land Ice Mass Changes

2002-04

Average Mass Loss:
269 Gigatons/year



Average Mass Loss:
142 Gigatons/year

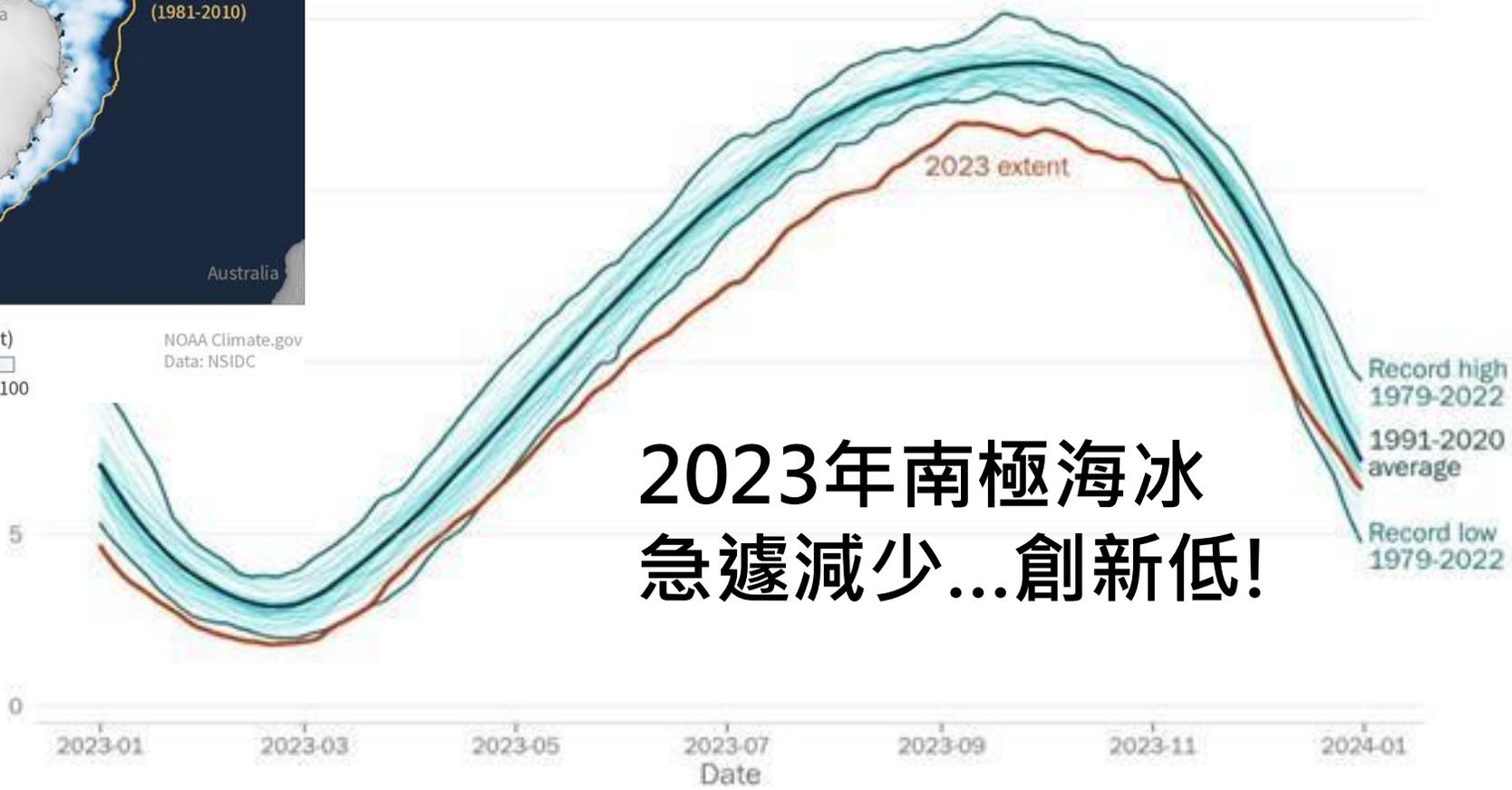


2023 WINTER MAXIMUM



September 10, 2023
Sea ice concentration (percent)
15 100
NOAA Climate.gov
Data: NSIDC

Antarctic Sea-ice Extent 1979-2023 (million km²)



**2023年南極海冰
急遽減少...創新低!**

臺北盆地熱島效應

2023/7/8 13:00 台北溫度分布圖

住宅區

工業區

商業區

盆地中心區域



HiRAM Global Warming Level

+2°C_2034-2053

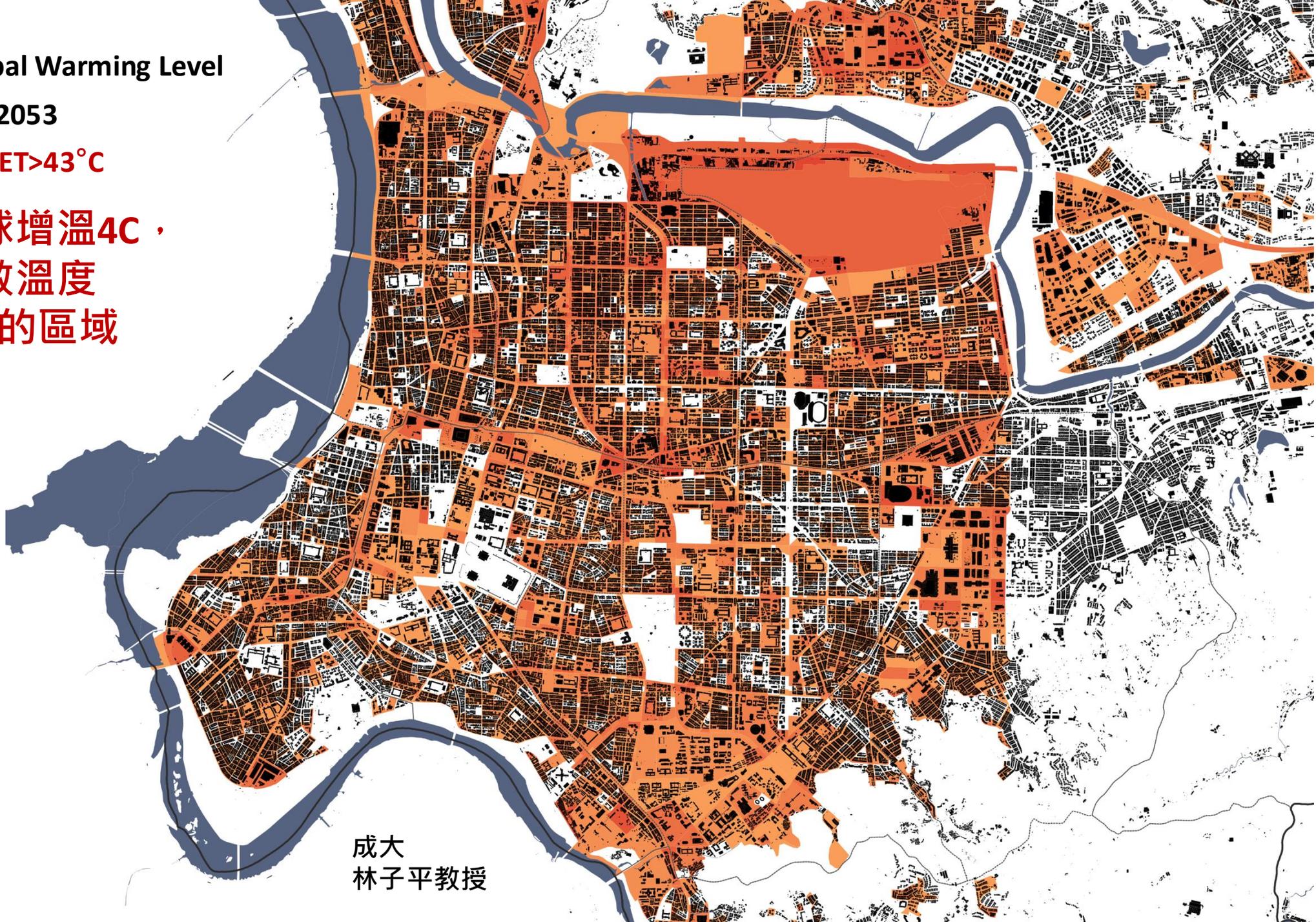
July 14:00 PET>43°C

如果全球增溫4C，
生理等效溫度
高於43C的區域

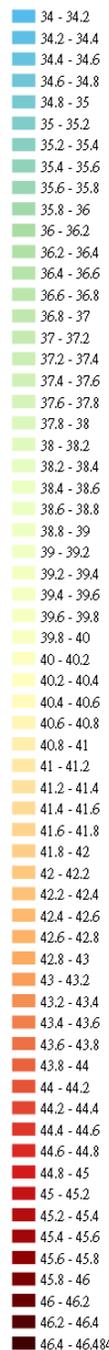


Taipei

成大
林子平教授



Unit: °C



HiRAM Global Warming Level

+4°C_2073-2092

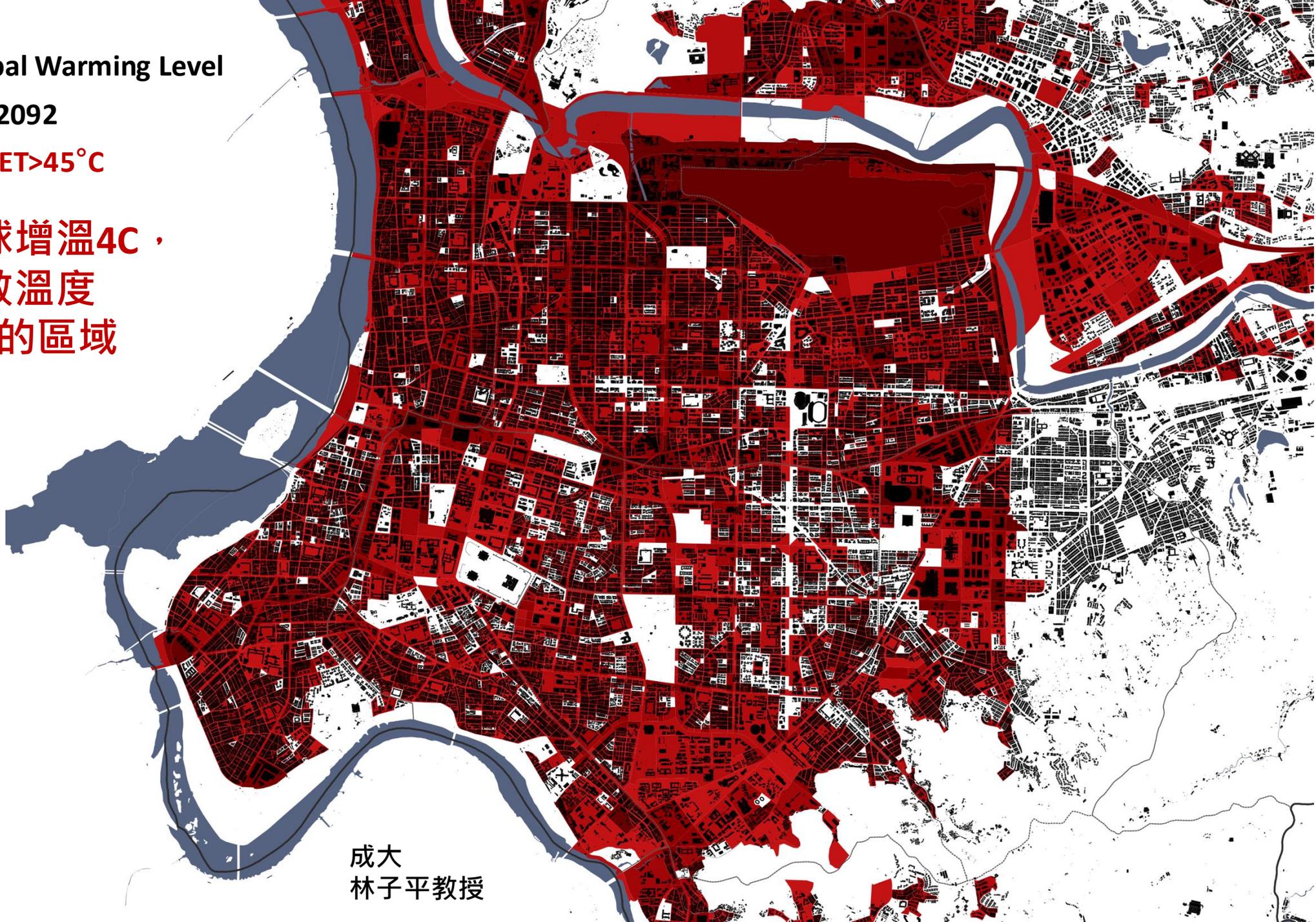
July 14:00 PET>45°C

如果全球增溫4C，
生理等效溫度
高於45C的區域

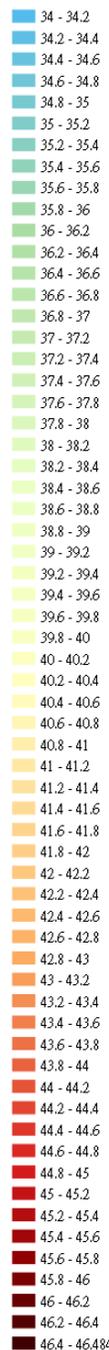


Taipei

成大
林子平教授

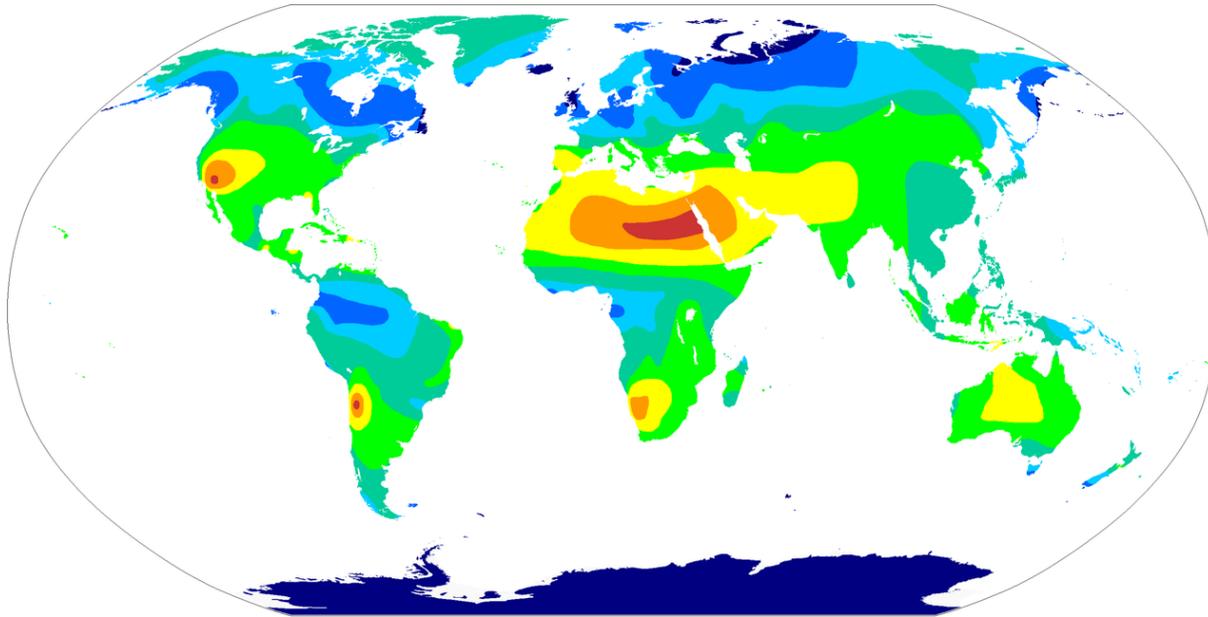


Unit: °C



DESERTEC 撒哈拉送電到歐洲

DESERTEC is a non-profit foundation that focuses on the production of renewable energy in desert regions^[3] The project aims to create a global [renewable energy](#) plan based on the concept of harnessing sustainable powers, from sites where renewable sources of energy are more abundant, and transferring it through [high-voltage direct current](#) transmission to consumption centers.



<https://en.wikipedia.org/wiki/Desertec>

