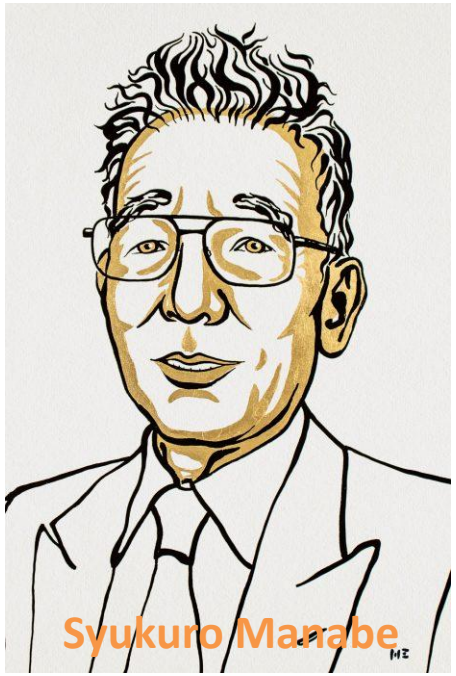
第一章：气候变化—全人类面临的挑战

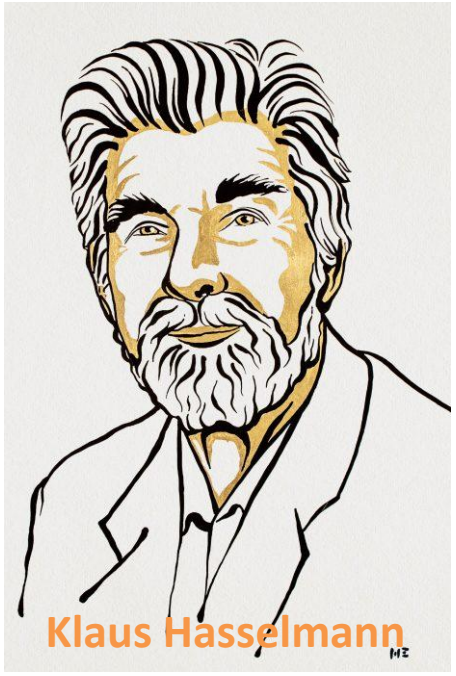
Jintai Lin 林金泰
Dept. of Atmospheric & Oceanic Sciences, School of Physics

linjt@pku.edu.cn
https://www.pku-atmos-acm.org/

课件改编自俞妍老师课件

2021年诺贝尔物理学奖





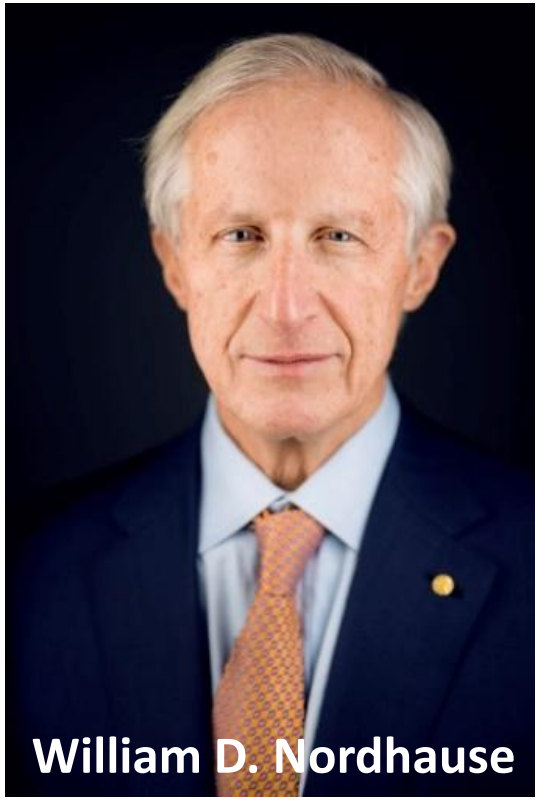


For the **physical modelling of Earth's climate, quantifying variability and reliably predicting global warming**

https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/summary/

For the discovery of the interplay of disorder and fluctuations in physical systems from atomic to planetary scales

2018年诺贝尔经济学奖



for integrating climate change into long-run macroeconomic analysis



for integrating technological innovations into long-run macroeconomic analysis

https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2018/summary/

2007年诺贝尔和平奖

IPCC

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

WMO UNEP



for their efforts to **build up and disseminate greater knowledge about man-made climate change**, and to lay the foundations for the measures that are needed to counteract such change

https://www.nobelprize.org/prizes/peace/2007/summary/

气候变化争议

- ✓ 有没有变暖
- ✓ 变暖是否一定与人类活动有关
- 变暖是否一定不好、有多不好
- 变暖是否会持续/加速
- 我们可否减缓/消除变暖
- 减缓还是适应
- 减缓/适应的手段
- 责任和付出分配

In my view, the aspect of climate change we are concerned most is:

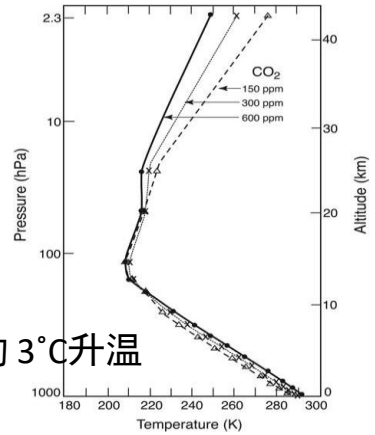
So rapid and so severe anthropogenic climate change that cannot be adapted without enormous, unacceptable costs

由人为活动引起的过于快速和严重的气候变化，以至于适应的代价如此之高而难以承受

气候变化科学历史上的重要节点

理论计算发现：如果不考虑温室效应，那么地表温度将比实测更冷。

理论计算发现：如果大气中的二氧化碳含量翻倍，会造成5-6˚C升温。



CO_2翻倍导致约 3˚C升温

https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/manabe/lecture/

1827 约瑟夫·傅里叶
最早研究了“温室效应”的物理过程 (Fourier等, 1827)

1861 约翰·丁铎尔
在实验室证明温室效应 (Tyndall, 1861)

1896 斯凡特·阿伦尼乌斯
利用气候模型从能量平衡的角度解释CO_2造成的增暖(Arrhenius, 1896)

1901 尼尔斯·古斯塔夫·埃克霍尔姆
提出了“温室效应”的概念 (Ekholm, 1901)

1956 吉尔伯特·普拉斯
准确计算CO_2辐射强迫 (Plass, 1956)

1957 查理斯·基林
开始在夏威夷莫纳罗亚测站观测大气CO_2浓度 (Keeling, 1960,1970)

1967 真锅淑郎 理查德·韦瑟尔德
首次可靠地预测CO_2浓度加倍后所引起的变暖的大小(Manabe和Wetherald, 1967)

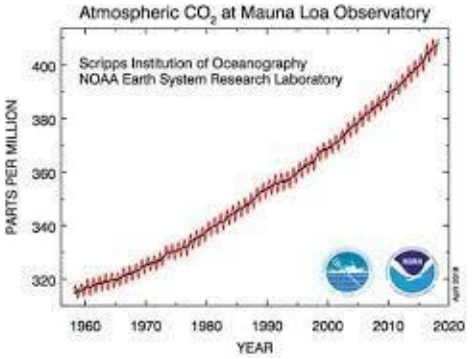
1975 真锅淑郎 理查德·韦瑟尔德
三维大气环流气候模式的诞生 (Manabe和Wetherald, 1975)

1979 朱尔·查尼
编写了著名的《查尼报告》，回答地球气候是否会随化石燃料CO_2的排放而变化的问题(Charney等, 1979)

1984 詹姆斯·汉森
对气候反馈给出定量分析，发现云反馈过程会对气候敏感度产生很大的影响 (Hansen等, 1984)

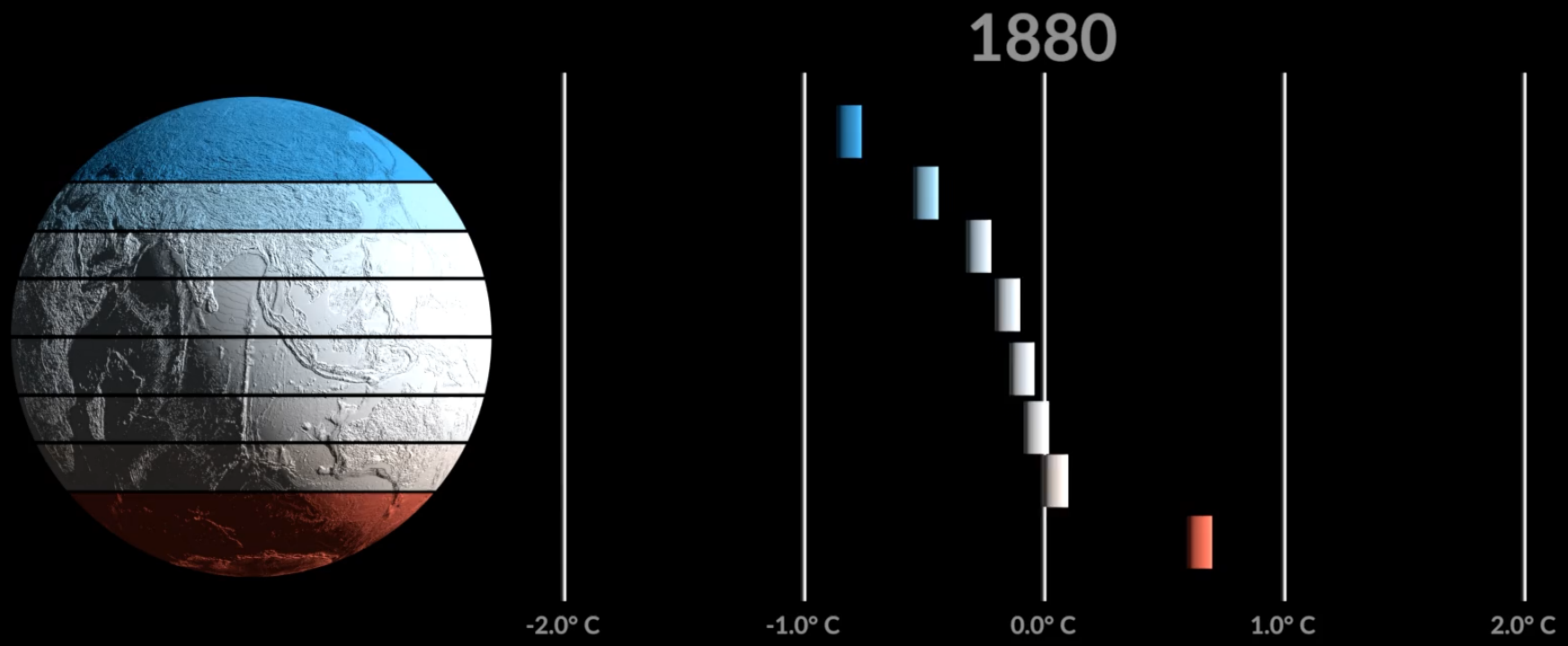
1986 菲利普·琼斯
首次给出全球变暖的确凿观测证据 (Jones等, 1986)

实验发现：二氧化碳、臭氧和水蒸气具有捕获热量的能力。



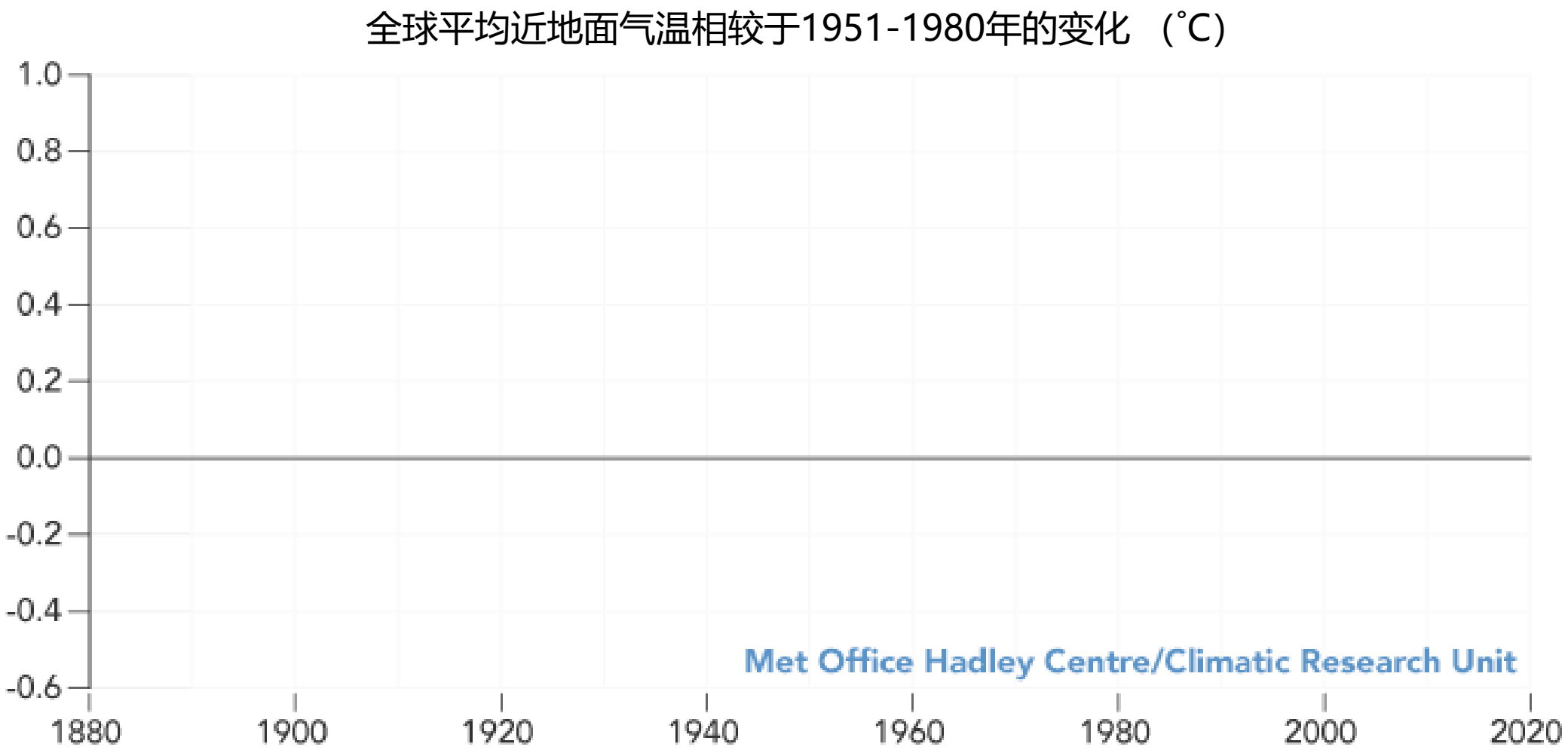
全球不同纬度带上的气温相对于1950年的变化

你观察到了什么？



NASA

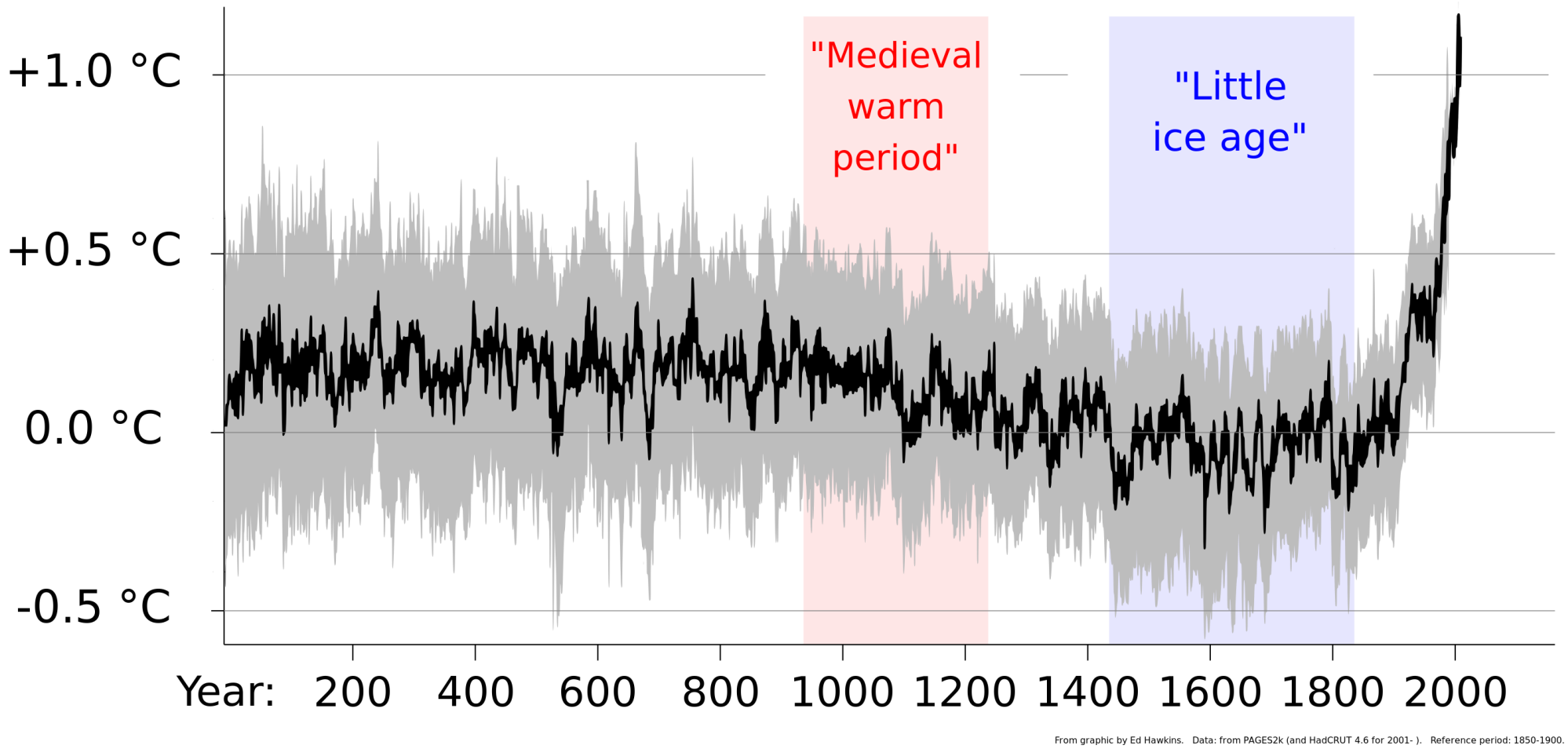
工业时代（近一两百年来）的气候变暖



Q：变暖结果在多大程度上会受到观测数据在时空覆盖率、准确性等方面的不足的影响？

近两千年来的气候变化

全球平均近地面气温相较于工业革命时期（1850-1900年）的变化



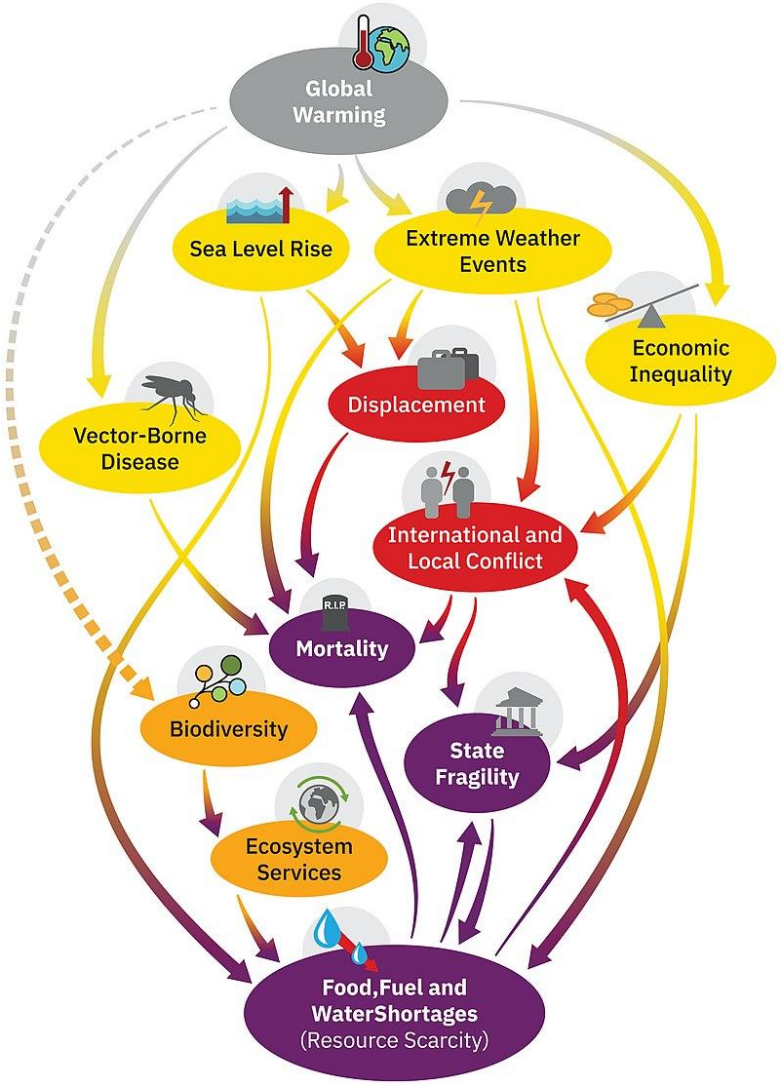
Q：近地面气温的上升是否为证明气候系统变暖的充分条件?

气候变暖


CCTV 13
新闻
网易视频
8月1日 16:39
大爆炸遗存谷物筒仓今年7月以来频繁发生自燃，并于7月31日出现坍塌。

气候变暖的多米诺骨牌效应





气候变暖的多米诺骨牌效应：极端热事件

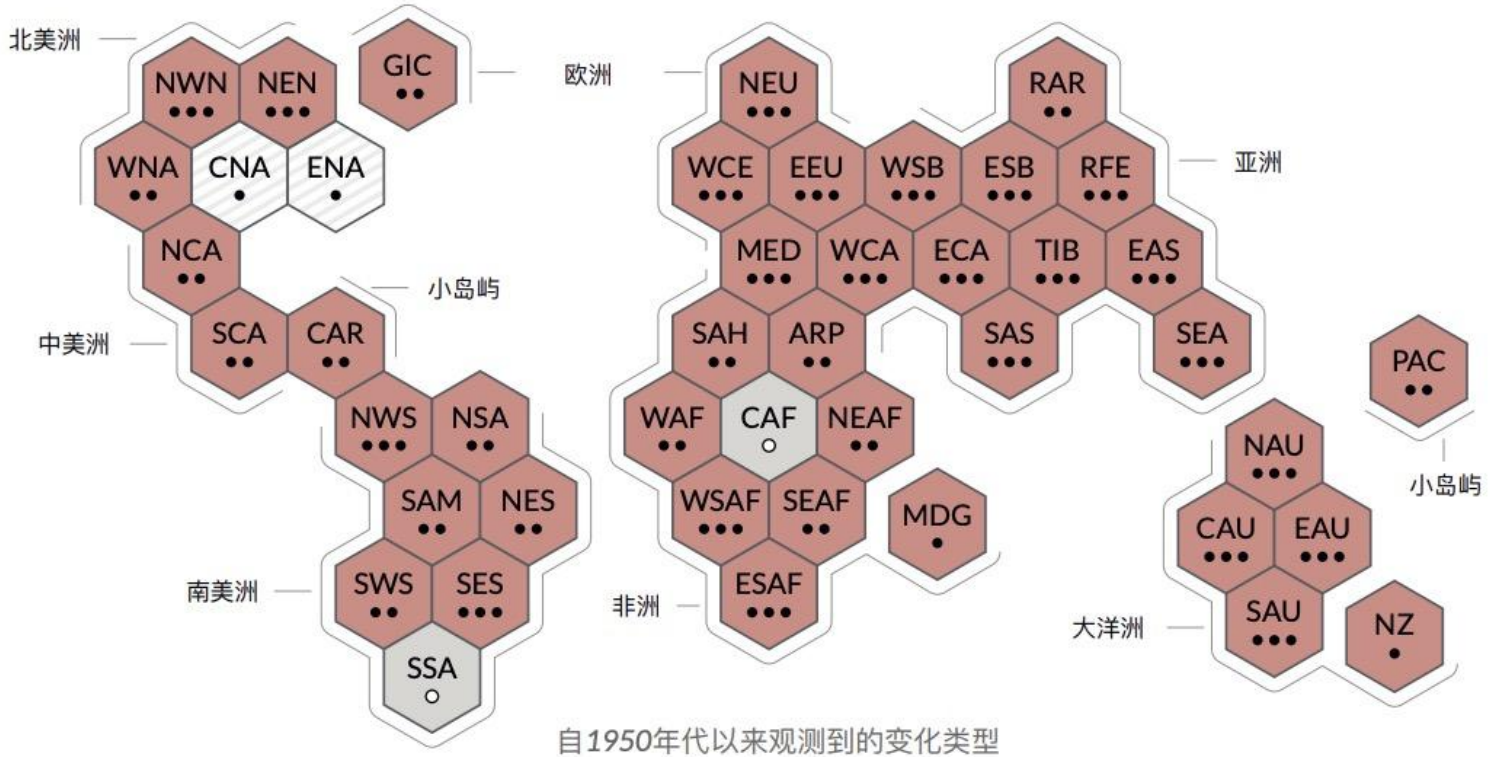
(a) 观测到的各区域**极端热事件**变化以及人为贡献信度的综合评估

观测到的极端热事件
变化类型

- 增加 (41)
- 减少 (0)
- 变化类型一致性低 (2)
- 数据和/或文献有限 (2)

观测变化中
人为贡献的信度

- ●●● 高
- ●● 中等
- ● 低，因一致性有限
- ○ 低，因证据有限



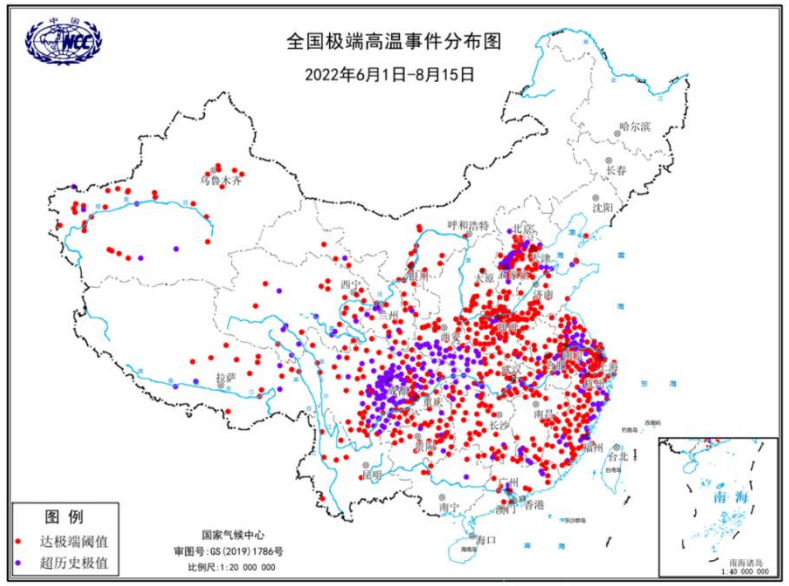
自1950年代以来观测到的变化类型

*IPCC AR6 WGI*参照地区：北美洲：***NWN*** *(北美洲西北部)*、***NEN*** *(北美洲东北部)*、***WNA****(北美洲西部)*、***CNA*** *(北美洲中部)*、***ENA*** *(北美洲东部)*, 中美洲：***NCA*** *(中美洲北部)*、***SCA*** *(中美洲南部)*、***CAR*** *(加勒比地区)*, 南美洲：*NWS* *(南美洲西北部)*、***NSA*** *(南美洲北部)*、***NES*** *(南美洲东北部)*、***SAM*** *(南美洲季风区)*、***SWS*** *(南美洲西南部)*、***SES*** *(南美洲东南部)*、***SSA*** *(南美洲南部)*, 欧洲：***GIC*** *(格陵兰/冰岛)*、***NEU*** *(北欧)*、***WCE*** *(西欧和中欧)*、***EEU*** *(东欧)*、***MED*** *(地中海)*、非洲：***MED*** *(地中海)*, ***SAH*** *(撒哈拉)*、***WAF*** *(非洲西部)*、***CAF*** *(非洲中部)*、***NEAF*** *(非洲东北部)*、***SEAF*** *(非洲东南部)*、***WSAF*** *(非洲西南部)*、***ESAF*** *(非洲东南部)*、***MDG*** *(马达加斯加)*, 亚洲：***RAR*** *(俄罗斯北极地区)*、***WSB*** *(西西伯利亚)*、***ESB*** *(东西伯利亚)*、***RFE*** *(俄罗斯远东)*、***WCA*** *(亚洲中西部)*、***ECA*** *(亚洲中东部)*、***TIB*** *(青藏高原)*、***EAS*** *(东亚)*、***ARP*** *(阿拉伯半岛)*、***SAS*** *(南亚)*、***SEA*** *(东南亚)*, 大洋洲：***NAU*** *(澳大利亚北部)*、***CAU*** *(澳大利亚中部)*、***EAU*** *(澳大利亚东部)*、***SAU*** *(澳大利亚南部)*、***NZ*** *(新西兰)*, 小岛屿：***CAR*** *(加勒比地区)*、***PAC*** *(太平洋小岛屿)*

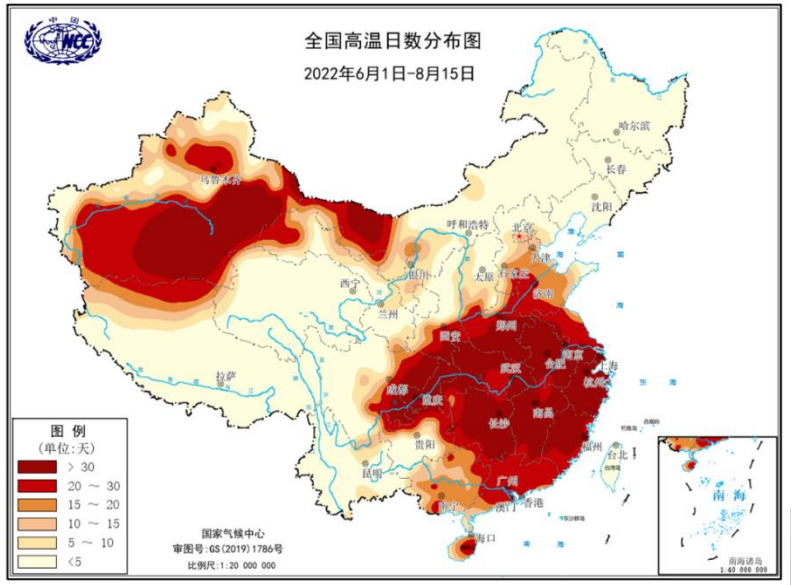
政府间气候变化专门委员会（IPCC）
第六次评估报告（AR6, 2021）

气候变暖的多米诺骨牌效应：极端热事件

极端高温事件（2022年6月1日-8月15日）



高温日数



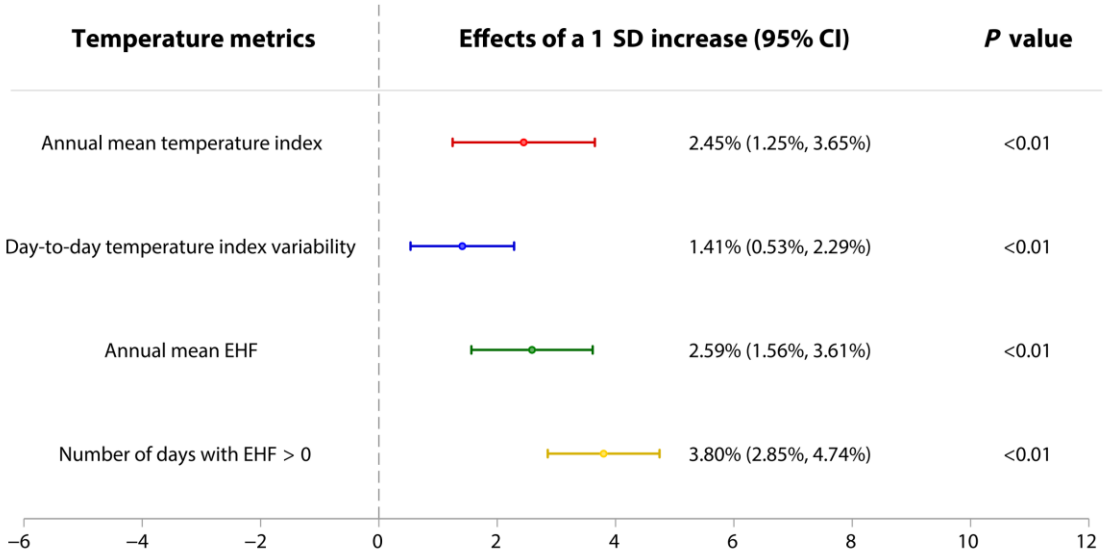
国家气候中心：

综合考虑高温热浪事件的平均强度、影响范围和持续时间，从今年6月13日开始至8月17日的区域性高温事件**综合强度已达到1961年有完整气象观测记录以来最强**



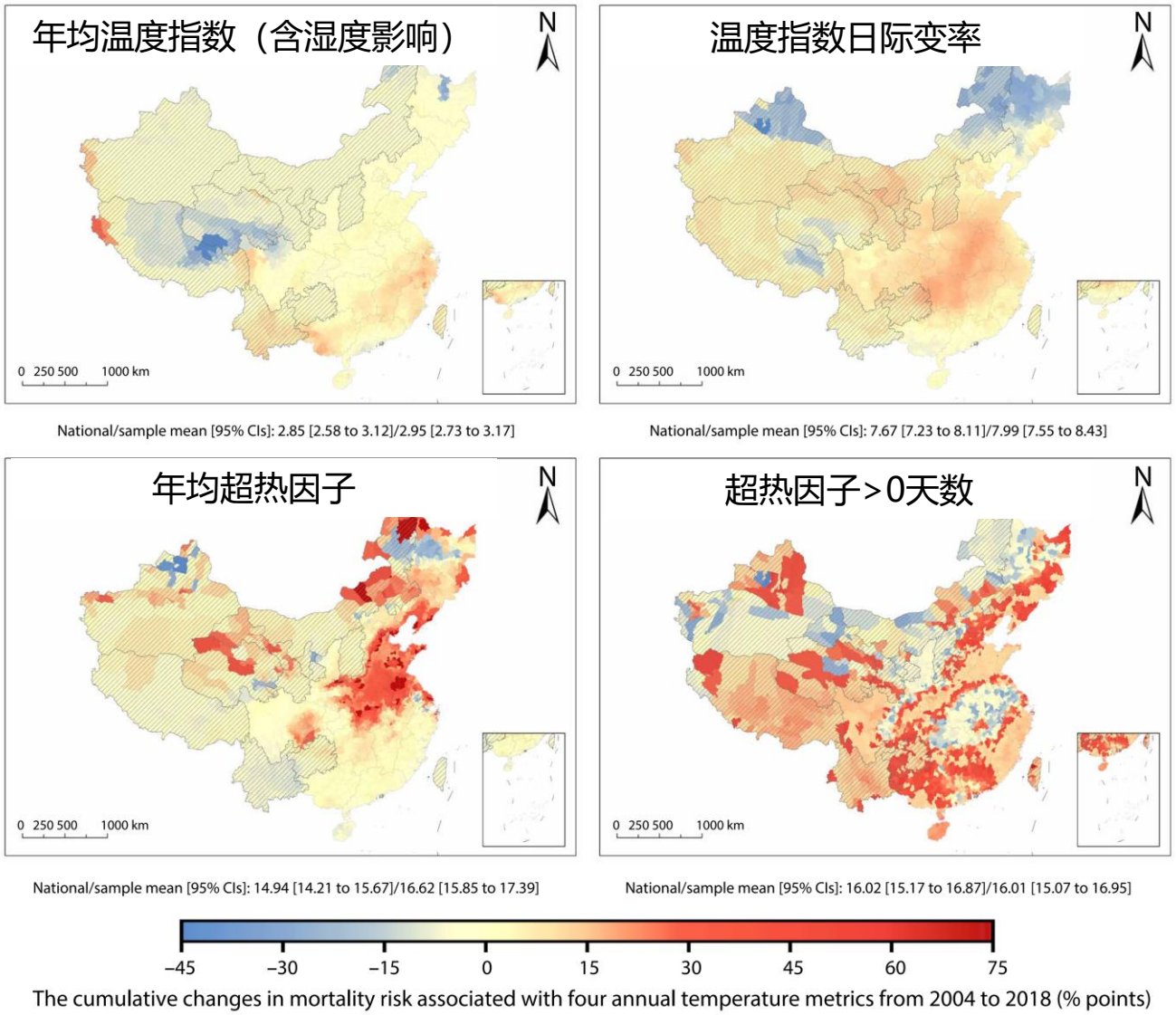
气候变暖引起的健康效应

温湿变化对中国老年人死亡风险的影响



- ✓ CLHLS数据库（2005-2018年）
- ✓ 追踪27,233个65岁以上老年人
- ✓ 多元（线性和非线性）回归

Yao et al., Science Advances, 2025



气候变暖的多米诺骨牌效应：强降水事件

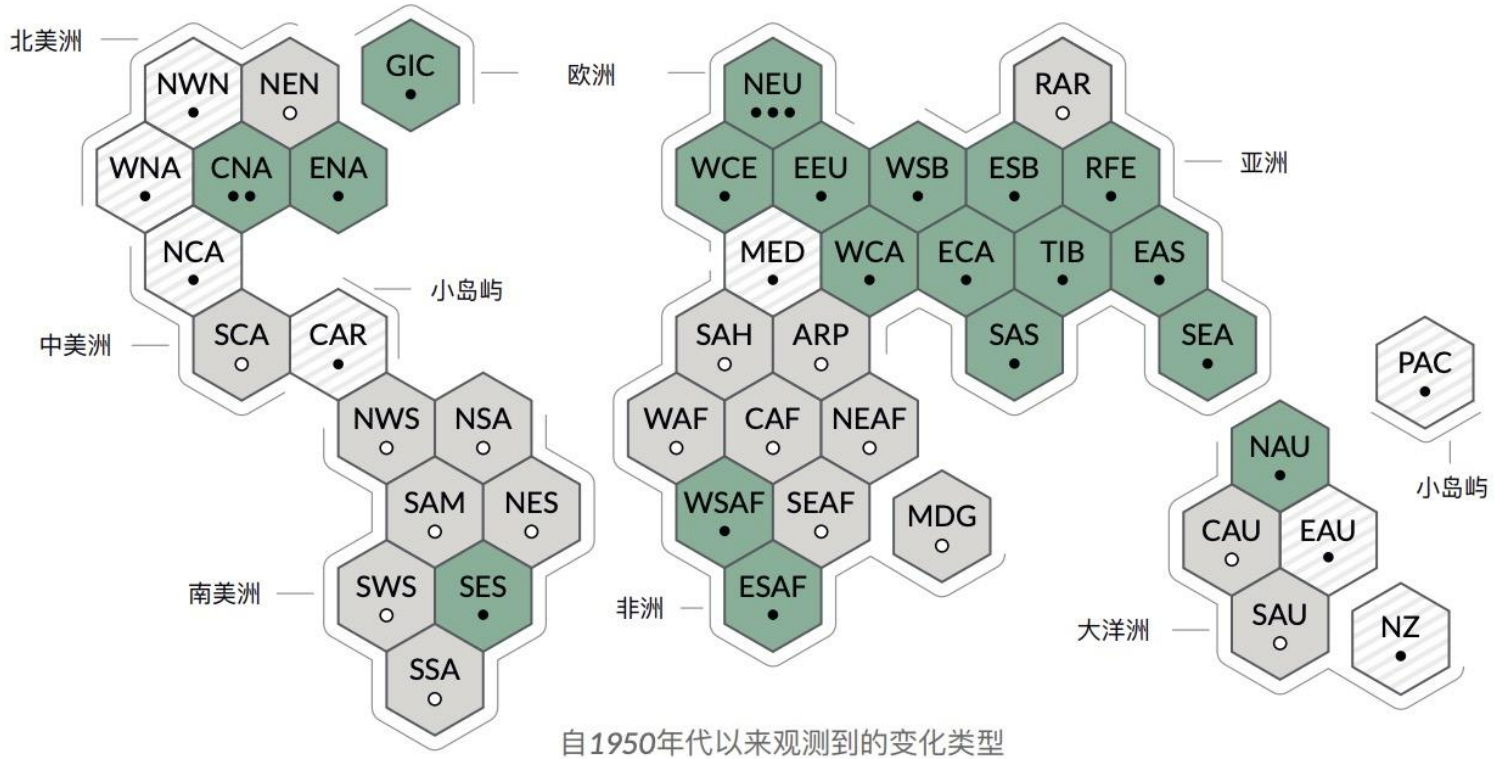
(b) 观测到的各区域**强降水**变化以及人为贡献信度的综合评估

观测到的强降水
变化类型

- 增加 (19)
- 减少 (0)
- 变化类型一致性低 (8)
- 数据和/或文献有限 (18)

观测变化中
人为贡献的信度

- ●●● 高
- ●● 中等
- ● 低，因一致性有限
- ○ 低，因证据有限



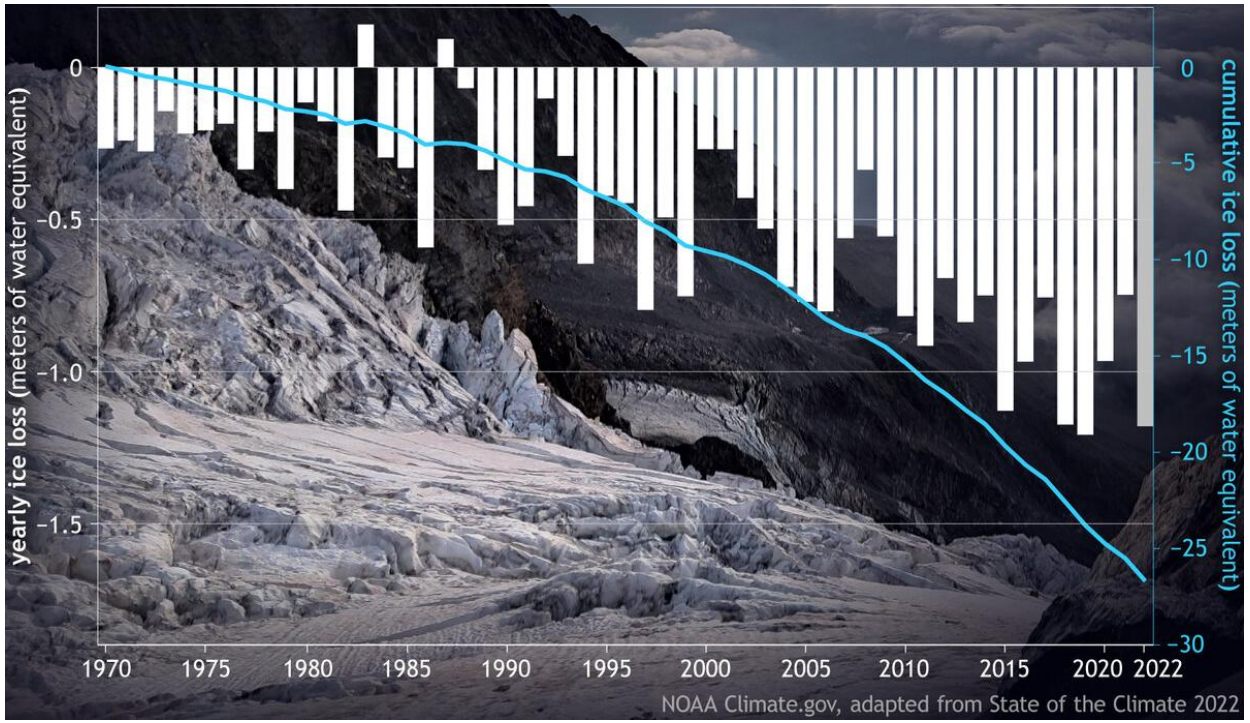
自*1950*年代以来观测到的变化类型

*IPCC AR6 WGI*参照地区：北美洲：***NWN*** *(北美洲西北部)*、***NEN*** *(北美洲东北部)*、***WNA****(北美洲西部)*、***CNA*** *(北美洲中部)*、***ENA*** *(北美洲东部)*, 中美洲：***NCA*** *(中美洲北部)*、***SCA*** *(中美洲南部)*、***CAR*** *(加勒比地区)*, 南美洲：*NWS (南美洲西北部)*、***NSA*** *(南美洲北部)*、***NES*** *(南美洲东北部)*、***SAM*** *(南美洲季风区)*、***SWS*** *(南美洲西南部)*、***SES*** *(南美洲东南部)*、***SSA*** *(南美洲南部)*, 欧洲：***GIC*** *(格陵兰/冰岛)*、***NEU*** *(北欧)*、***WCE*** *(西欧和中欧)*、***EEU*** *(东欧)*、***MED*** *(地中海)*、非洲：***MED*** *(地中海)*, ***SAH*** *(撒哈拉)*、***WAF*** *(非洲西部)*、***CAF*** *(非洲中部)*、***NEAF*** *(非洲东北部)*、***SEAF*** *(非洲东南部)*、***WSAF*** *(非洲西南部)*、***ESAF*** *(非洲东南部)*、***MDG*** *(马达加斯加)*, 亚洲：***RAR*** *(俄罗斯北极地区)*、***WSB*** *(西西伯利亚)*、***ESB*** *(东西伯利亚)*、***RFE*** *(俄罗斯远东)*、***WCA*** *(亚洲中西部)*、***ECA*** *(亚洲中东部)*、***TIB*** *(青藏高原)*、***EAS*** *(东亚)*、***ARP*** *(阿拉伯半岛)*、*SAS (南亚)*、***SEA*** *(东南亚)*, 大洋洲：***NAU*** *(澳大利亚北部)*、***CAU*** *(澳大利亚中部)*、***EAU*** *(澳大利亚东部)*、***SAU*** *(澳大利亚南部)*、***NZ*** *(新西兰)*, 小岛屿：***CAR*** *(加勒比地区)*、***PAC*** *(太平洋小岛屿)*

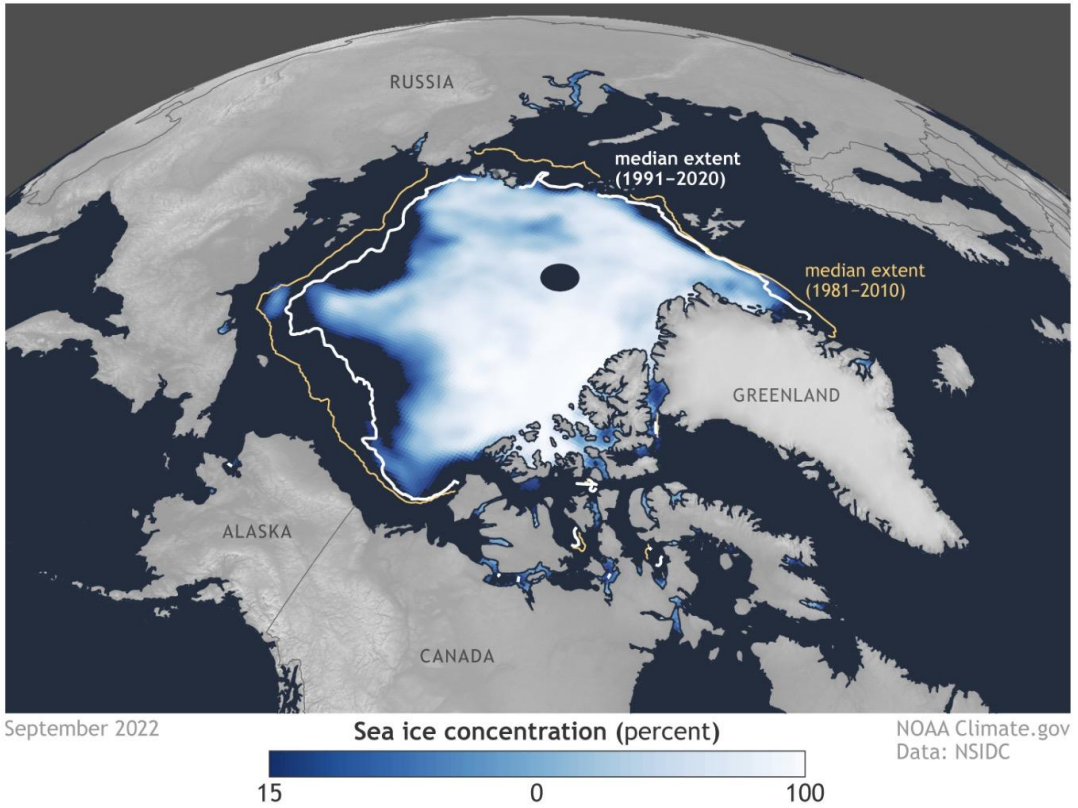
政府间气候变化专门委员会（IPCC）
第六次评估报告（AR6, 2021）

气候变暖的多米诺骨牌效应：冰雪圈缩小

全球山地冰川减少

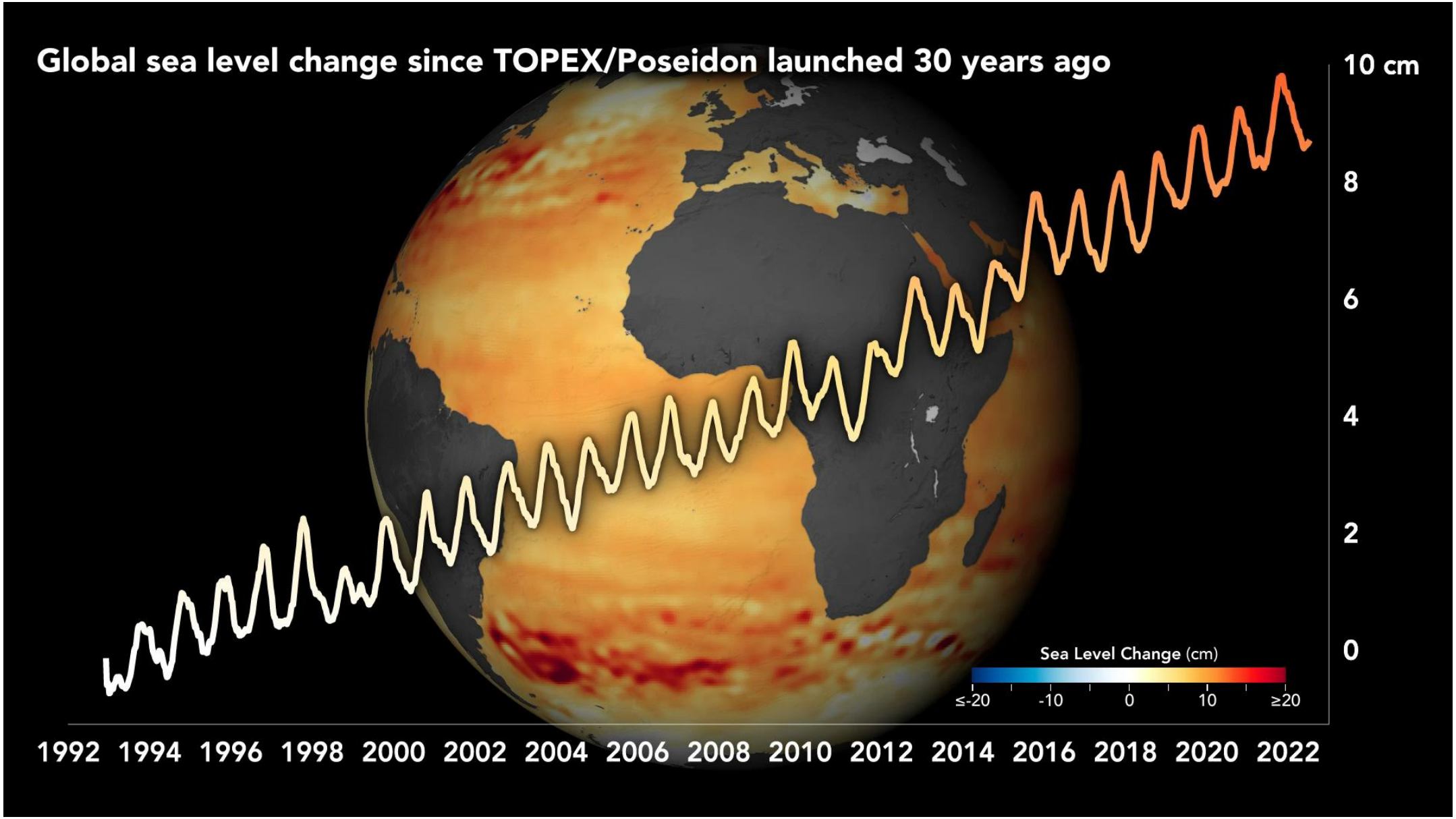


北极海冰减少

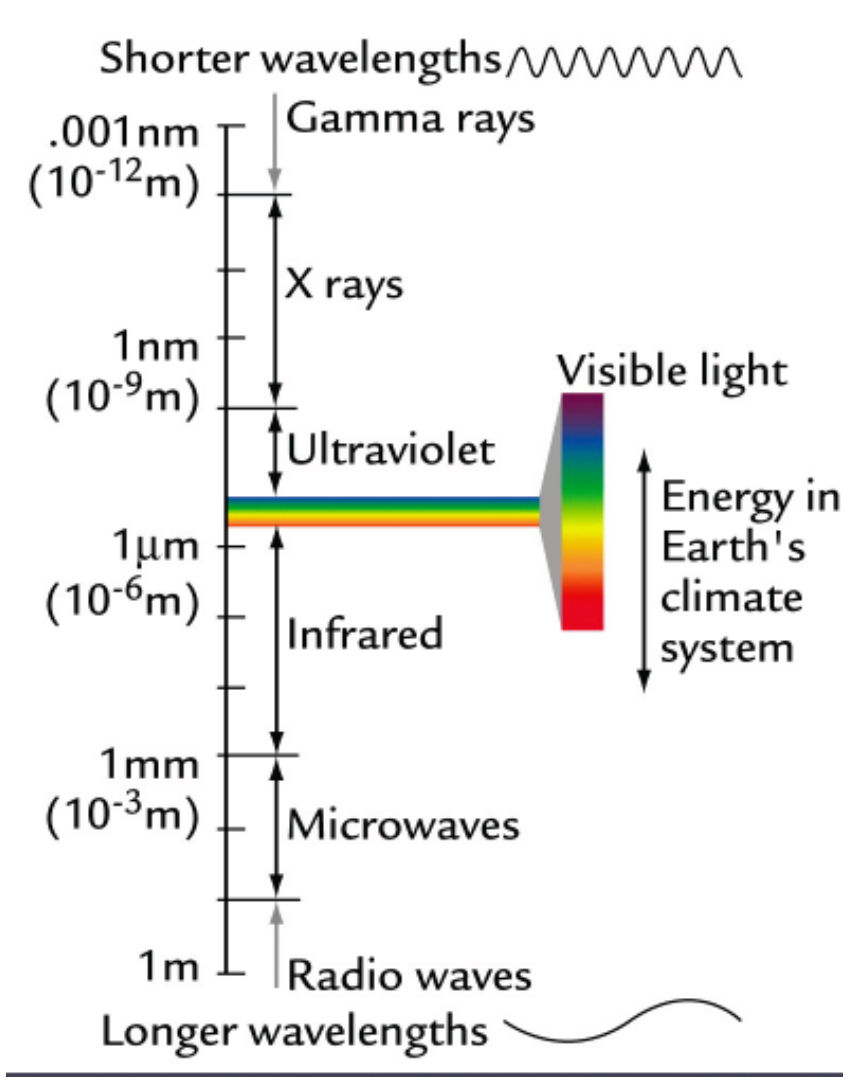


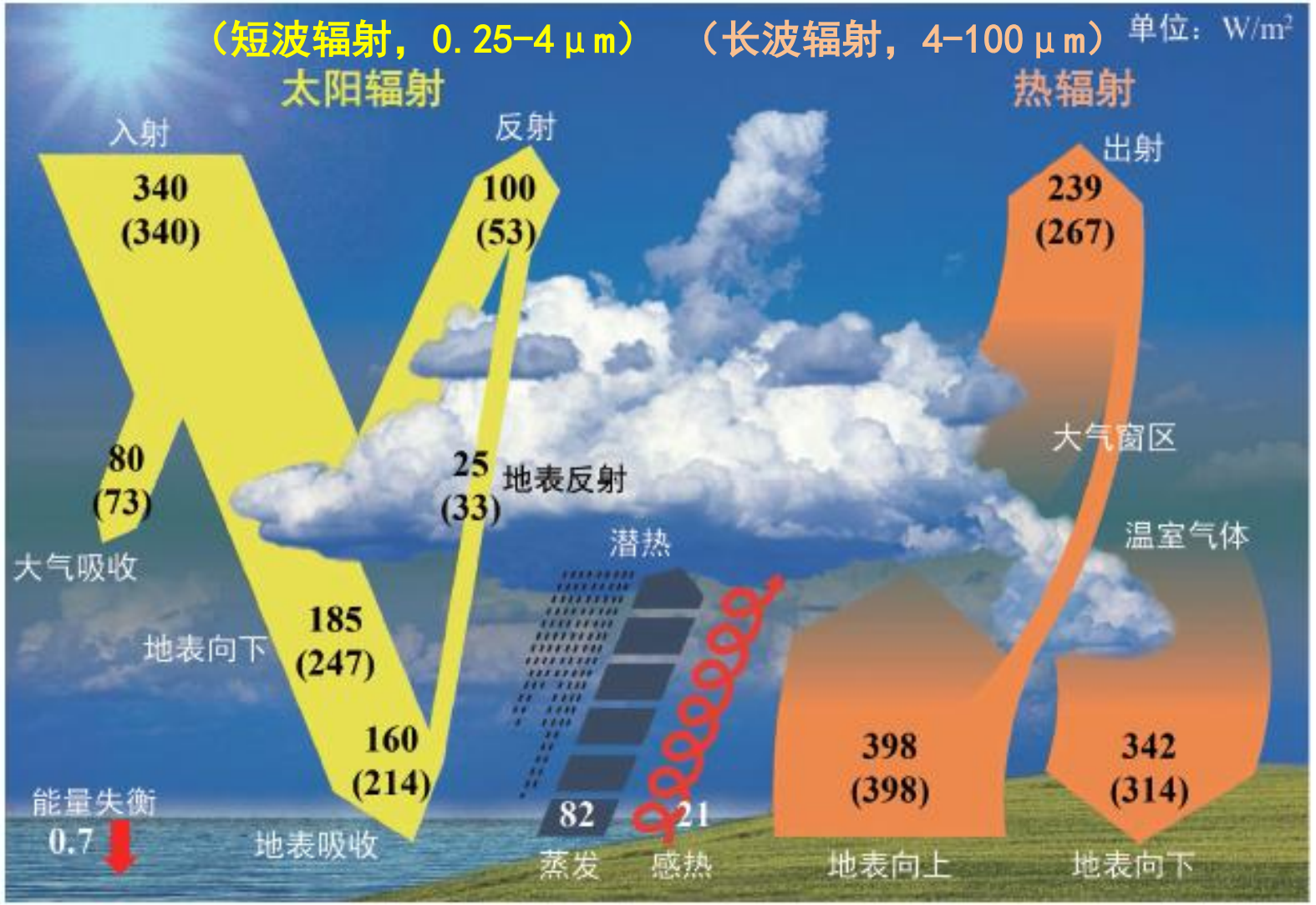
Q：海冰减少会不会导致海平面上升？

气候变暖的多米诺骨牌效应：海平面上升



现代地球气候的能量收支：两箱模型（大气+地表）





括号内为晴空（无云）条件

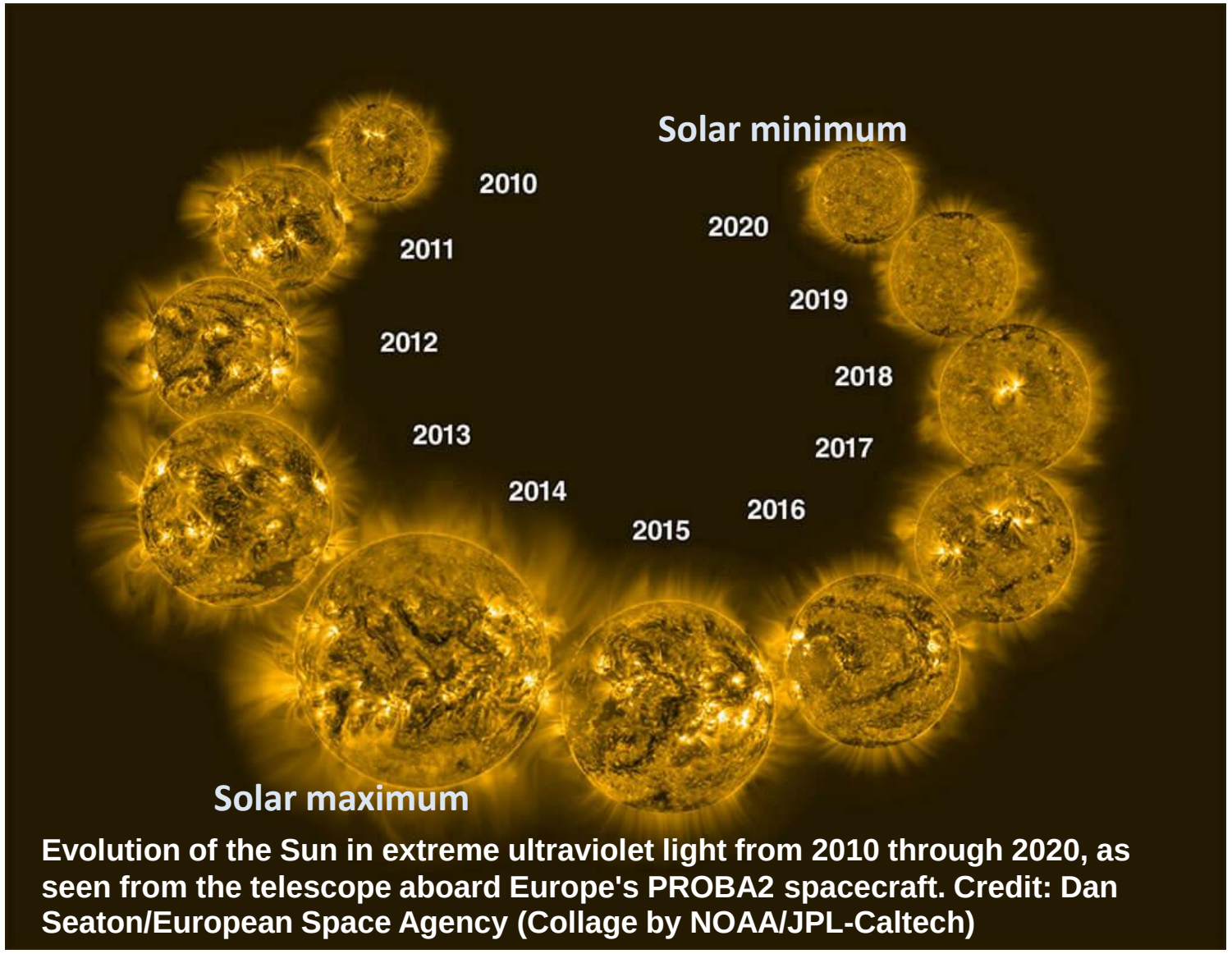
影响气候的因子

改变地球的辐射平衡有三种最基本的方式：
1.改变入射的太阳辐射
2.改变被反射的那部分太阳辐射
3.改变地球向空间的长波辐射

地球工程？

- 内部变率：气候系统自身动态演化
- 自然（外部）因素：
  - 地质运动（板块运动、火山活动、陨石等）
  - 地球轨道变化（偏心率、黄赤交角、岁差）
  - 太阳活动（太阳黑子等）
- 人为强迫：
  - 长寿命温室气体：CO_2、CH_4、N_2O、halocarbons
  - O_3（与NO_x、CO、VOC相关）
  - 气溶胶：BC、OC、sulfate、nitrate、ammonium、dust
  - 植被改变
- 反馈过程：热力、动力、生态系统、碳循环等

辐射收支的变化与太阳变化有关



Evolution of the Sun in extreme ultraviolet light from 2010 through 2020, as seen from the telescope aboard Europe's PROBA2 spacecraft. Credit: Dan Seaton/European Space Agency (Collage by NOAA/JPL-Caltech)

- **太阳周期**，或是**太阳磁场活动周期**反映了太阳的各种现象的内在变率。
- 太阳周期的平均长度为11. 1年，曾观测到最短的只有9年，最长的长达14年之久。

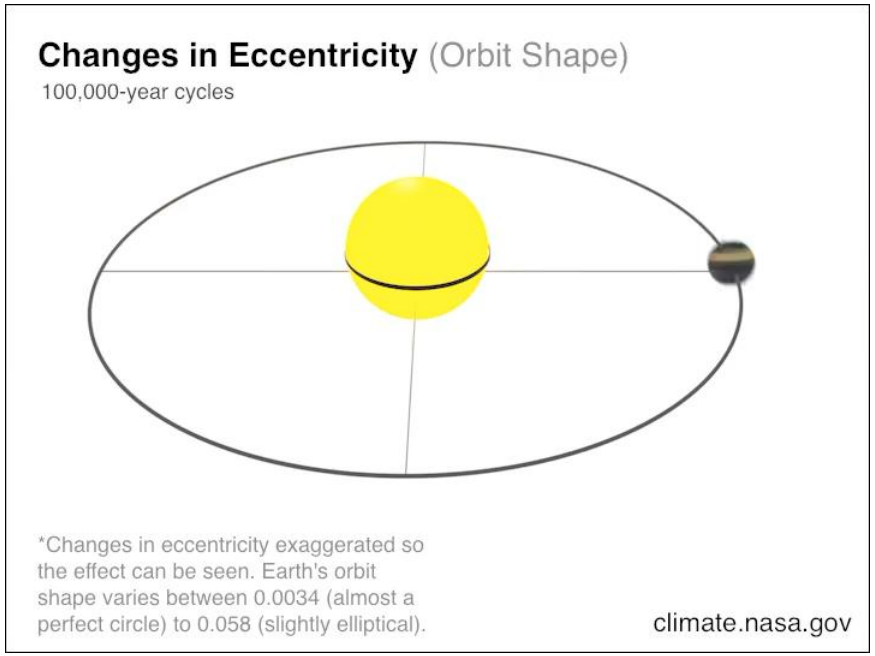
https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/solarcycle-primer.html

辐射收支的变化与地球轨道变化有关

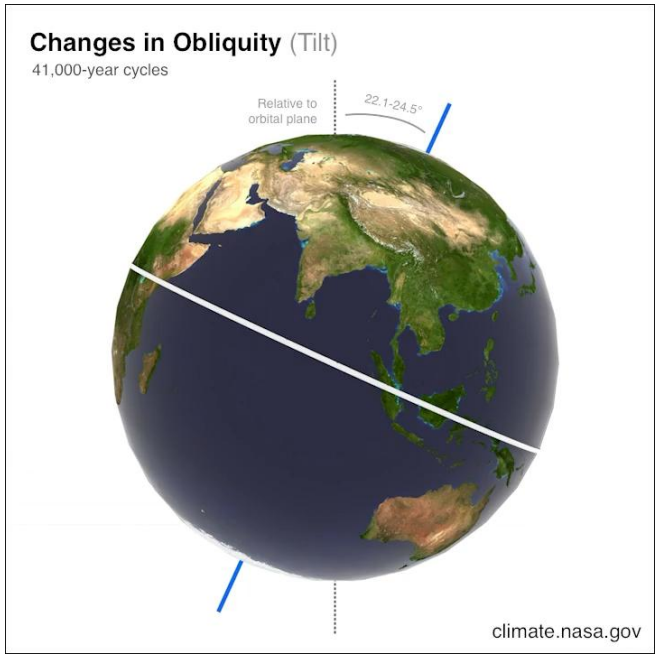
米兰科维奇周期

Q: 考虑到地球轨道变化的周期，你觉得轨道变化能解释近百年来全球变暖吗?

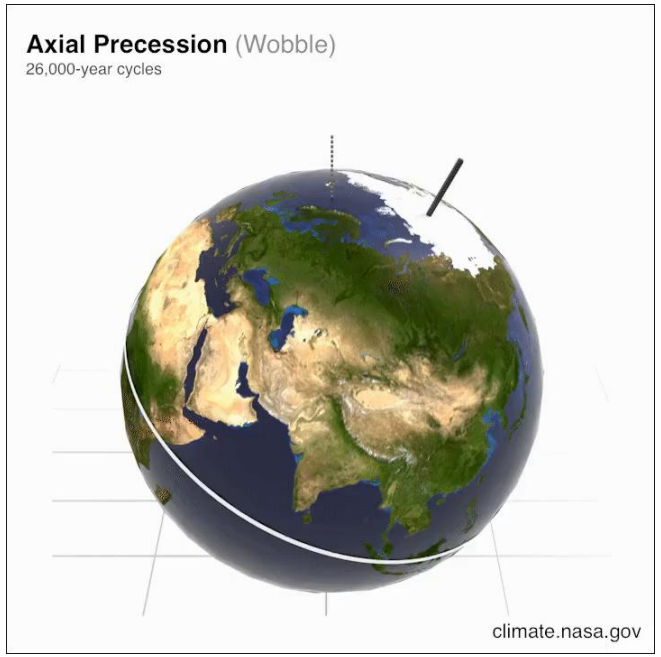
公转轨道偏心率



自转轴倾角



自转轴进动



改变各季节的太阳辐射量

改变日照在不同纬度的分布

https://climate.nasa.gov/news/2948/milankovitch-orbital-cycles-and-their-role-in-earths-climate/

辐射收支的变化与大气成分变化有关

Table 1.1 Composition of the Atmosphere Near the Earth's Surface

PERMANENT GASES			VARIABLE GASES			
Gas	Symbol	Percent (by Volume) Dry Air	Gas (and Particles)	Symbol	Percent (by Volume)	Parts per Million (ppm)*
Nitrogen	N_2	78.08	Water vapor	H_2O	0 to 4	
Oxygen	O_2	20.95	Carbon dioxide	CO_2	0.037	374*
Argon	Ar	0.93	Methane	CH_4	0.00017	1.7
Neon	Ne	0.0018	Nitrous oxide	N_2O	0.00003	0.3
Helium	He	0.0005	Ozone	O_3	0.000004	0.04†
Hydrogen	H_2	0.00006	Particles (dust, soot, etc.)		0.000001	0.01–0.15
Xenon	Xe	0.000009	Chlorofluorocarbons (CFCs)		0.00000002	0.0002

*For CO_2, 374 parts per million means that out of every million air molecules, 374 are CO_2 molecules.

†Stratospheric values at altitudes between 11 km and 50 km are about 5 to 12 ppm.

辐射收支的变化与温室气体浓度变化有关

气体原子内部电子排列的能级变化，或者气体分子的振动和转动改变正负电荷中心的相对分布（偶极矩变化），从而引起辐射吸收

两个原子沿化学键振动不改变正负电荷中心的相对分布

Diatomic (N_2, O_2)



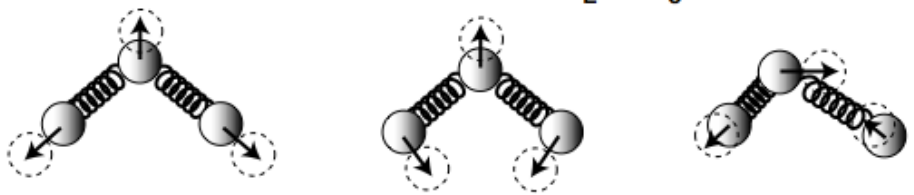
三个原子沿化学键振动可改变正负电荷中心的相对分布

Linear triatomic (CO_2, N_2O)



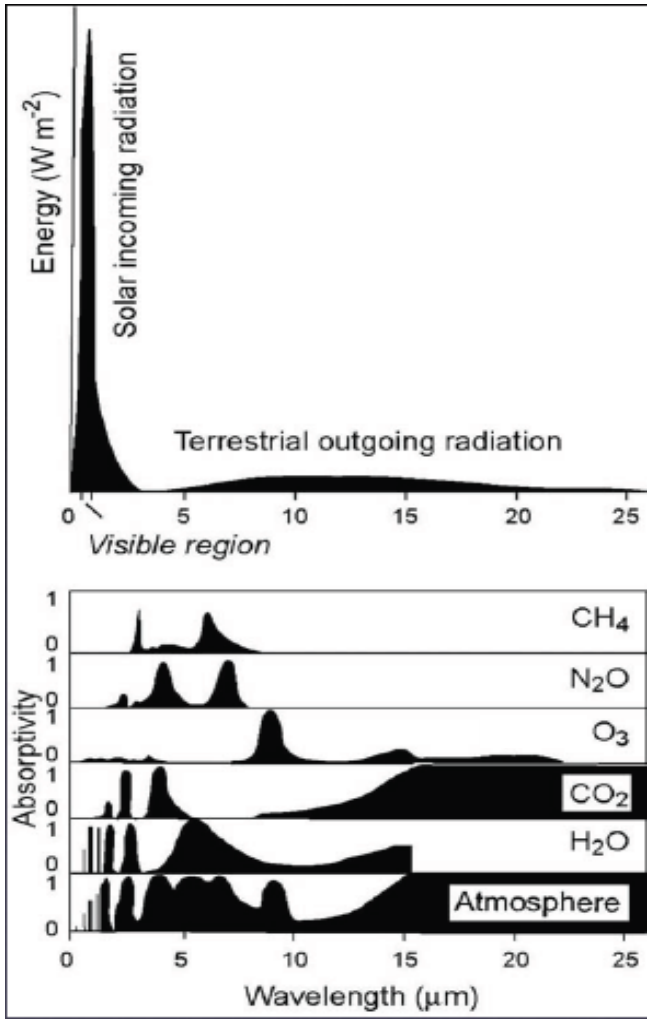
Symmetric stretch ν_1　　*Bending* ν_2　　*Asymmetric stretch* ν_3

Nonlinear Triatomic (H_2O, O_3)



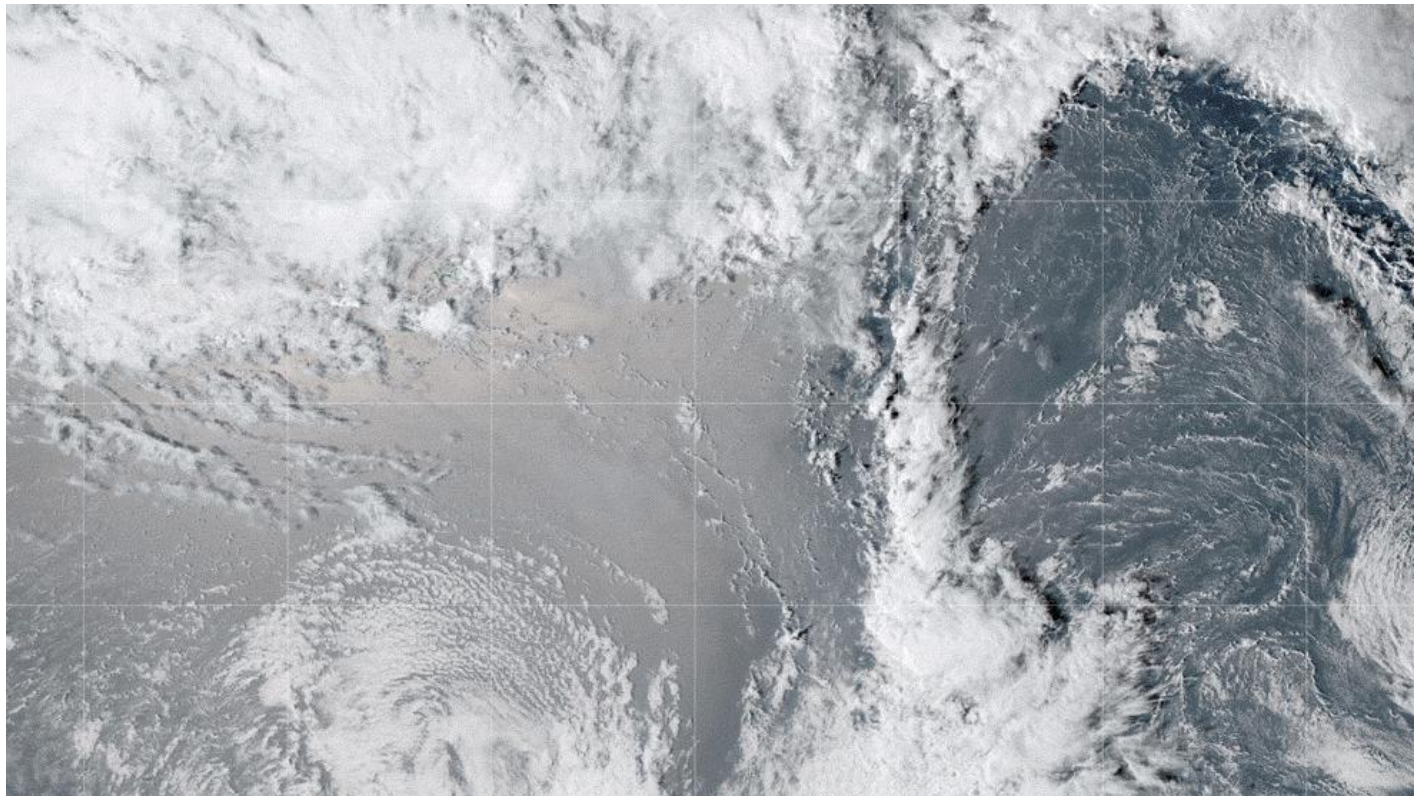
Symmetric stretch ν_1　　*Bending* ν_2　　*Asymmetric stretch* ν_3

温室气体



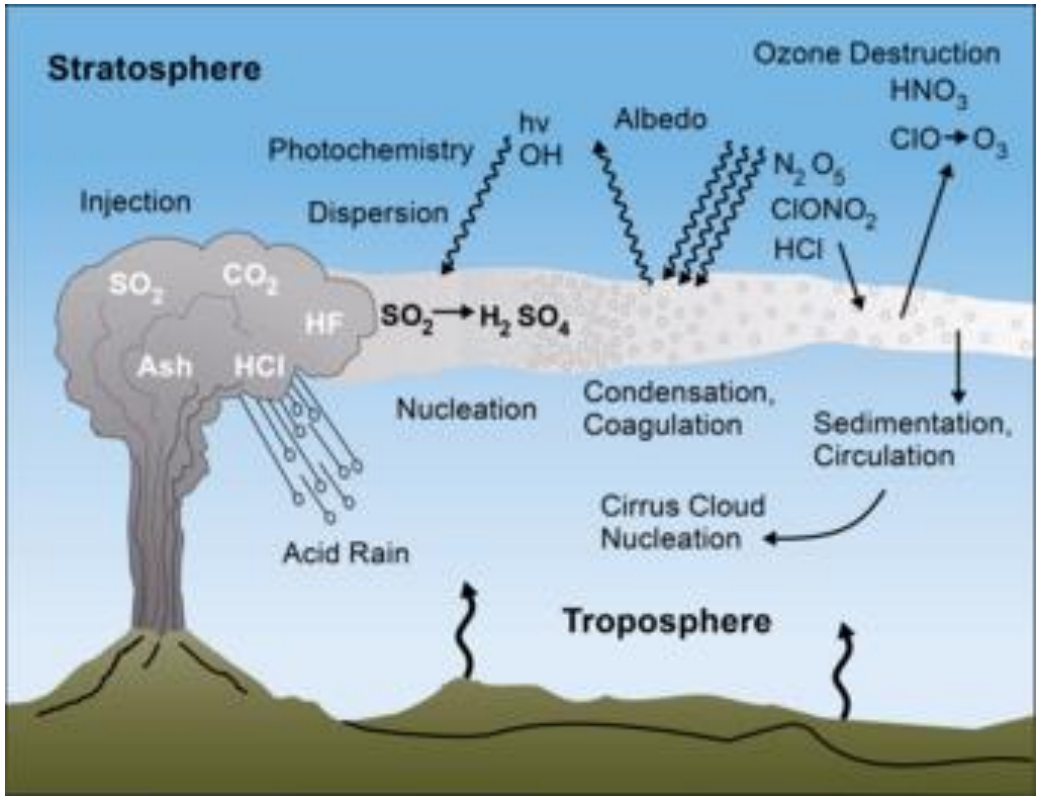
火山活动改变大气成分

2022年1月15日汤加火山爆发



Source: NASA Earth Observatory

火山爆发引起的大气成分改变



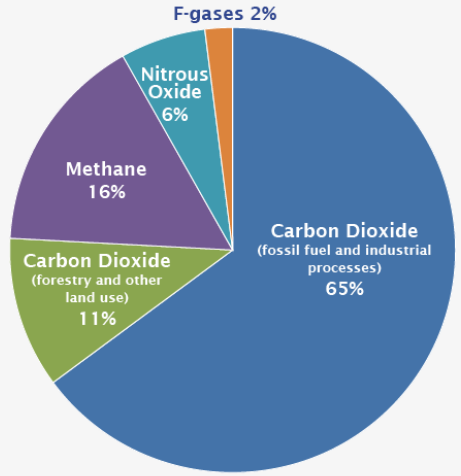
Volcanoes 101 | National Geographic
https://www.youtube.com/watch?v=VNGUdObDoLk

人类活动影响大气成分

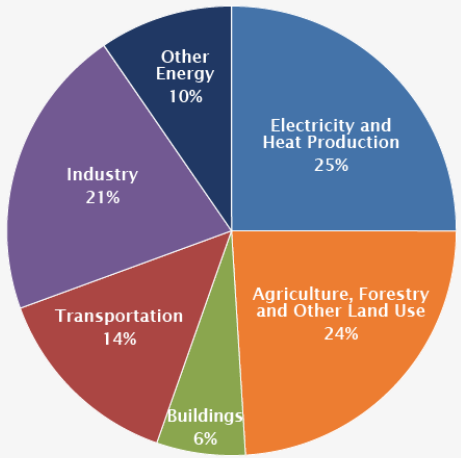
1. 化石燃料和生物质的燃烧导致大气中CO_2含量升高，煤的燃烧导致SO_2含量升高。
2. 汽车等的大量使用导致大气中氮氧化物等污染物增加和黑碳等气溶胶含量增加。
3. 人工固氮导致大气中氮的减少、生态系统中的可用氮增加，可进一步引起大气中活性氮的排放。
4. 人工制造的制冷剂CFCs的泄漏导致大气中CFCs含量增加，CFCs在大气平流层分解后产生的氯造成平流层O_3减少。
5. 温室气体的增加导致气候变暖，温度升高后大气中水汽含量增加。
6. 人类活动直接或间接引起大气成分的自然源排放的变化。

……

全球人为温室气体排放

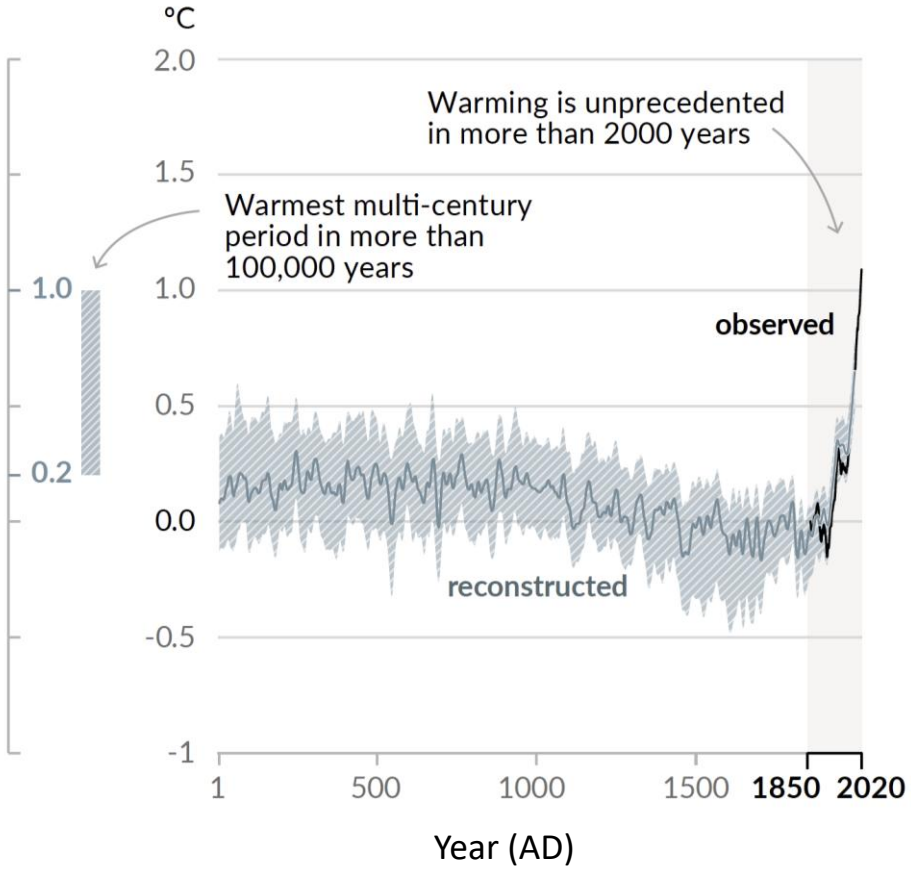


分部门全球温室气体排放

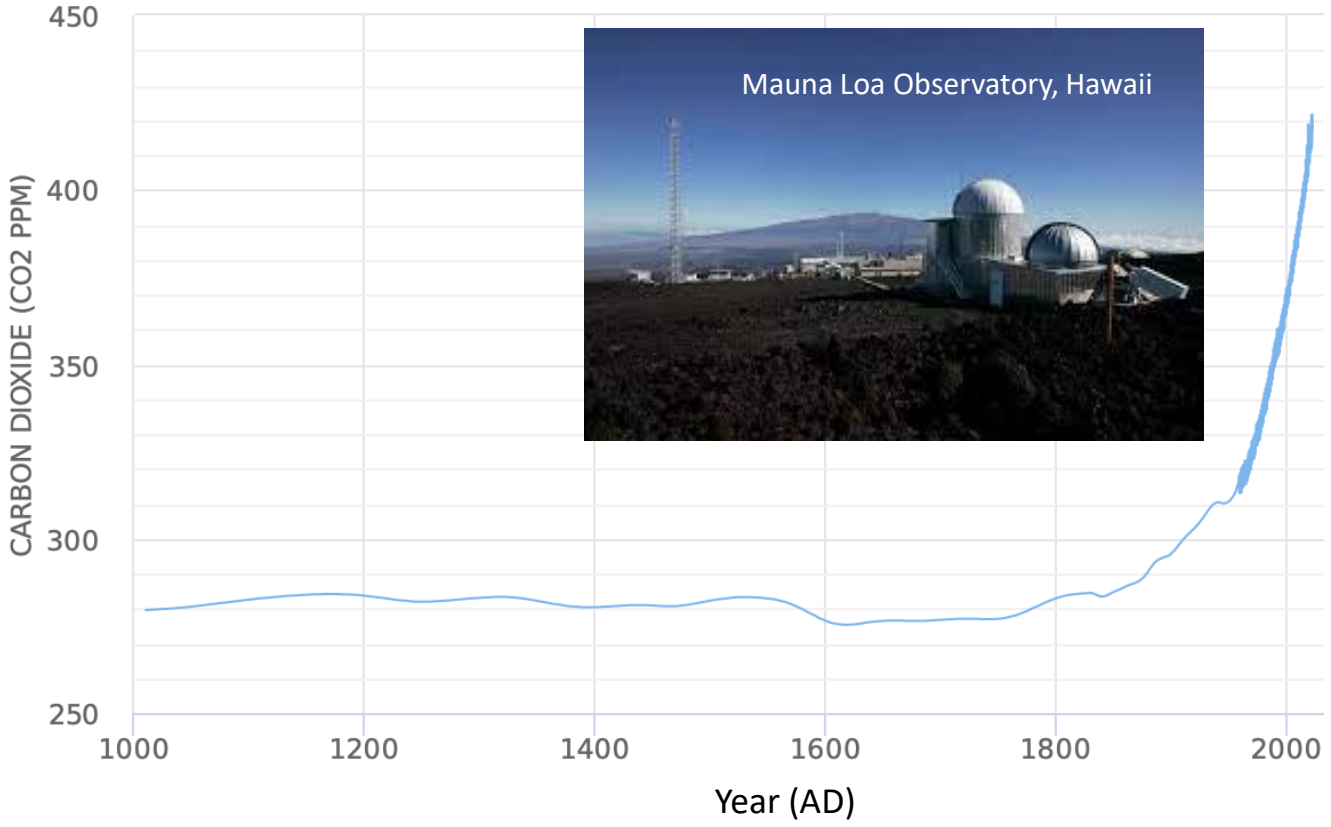


近一两百年来全球变暖和CO_2浓度升高有关

温度变化



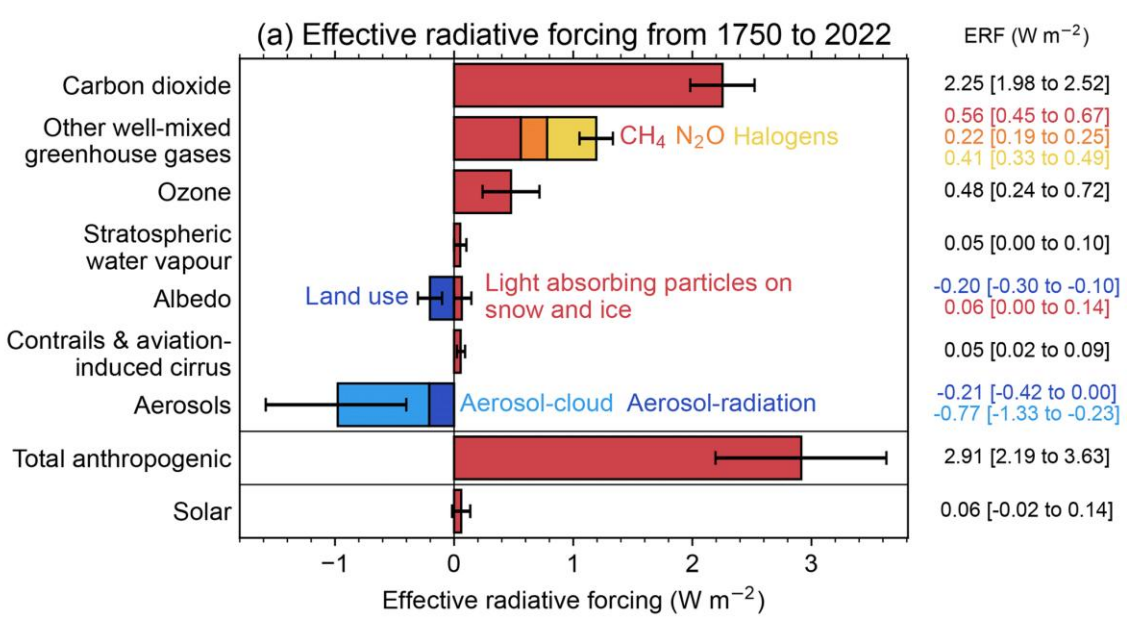
CO_2浓度变化

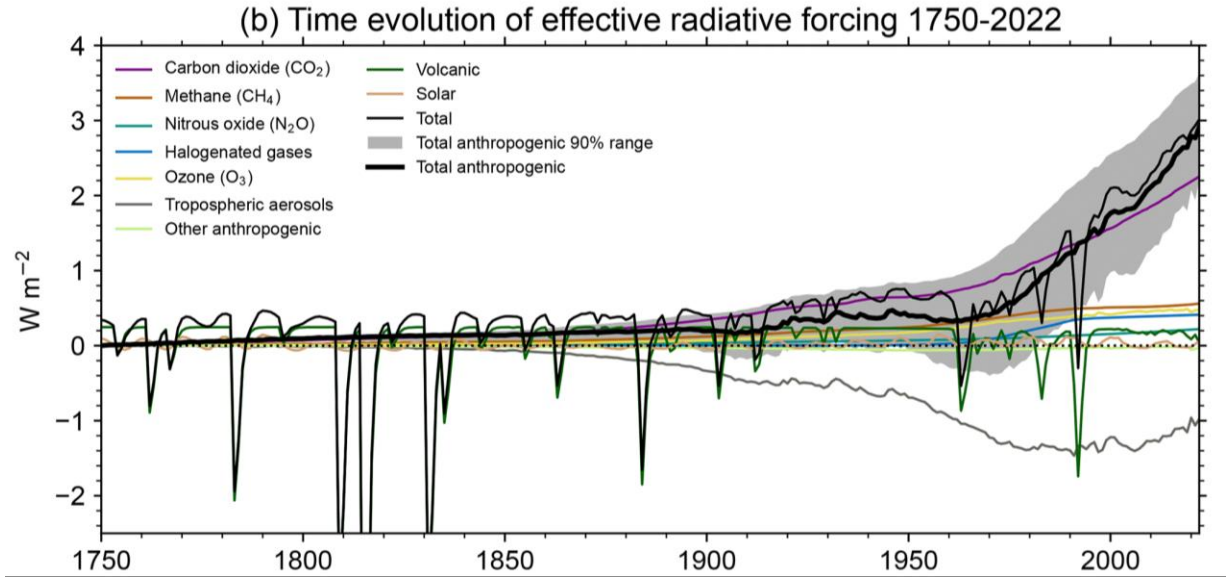


政府间气候变化专门委员会第六次评估报告 (IPCC AR6, 2021)

大气成分的辐射强迫及其不确定性

- **辐射强迫(radiative forcing)**用来衡量当影响气候的因子（太阳、火山、大气成分等）发生改变时，地球–大气系统的能量平衡受到怎样的影响。常用于表示人类活动对辐射的影响。
- 之所以使用“辐射”一词是因为这些因子改变地球大气中入射的太阳辐射和向外的红外辐射。

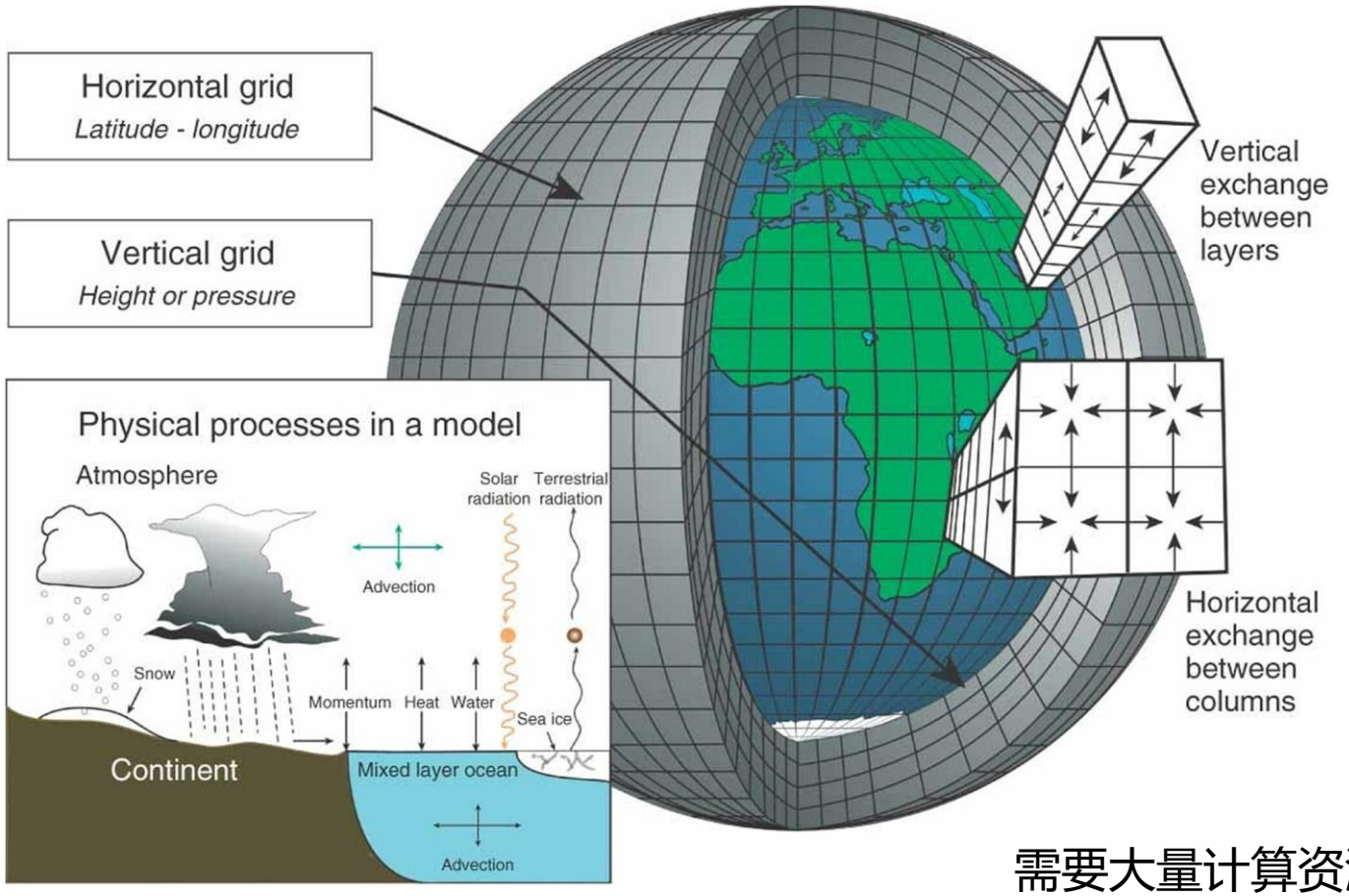




Q：辐射强迫不确定性里面最大来源是什么？为什么？

政府间气候变化专门委员会（IPCC）
第六次评估报告（AR6, 2021）

气候变化量化和归因的数值模拟



- 纳维-斯托克斯方程

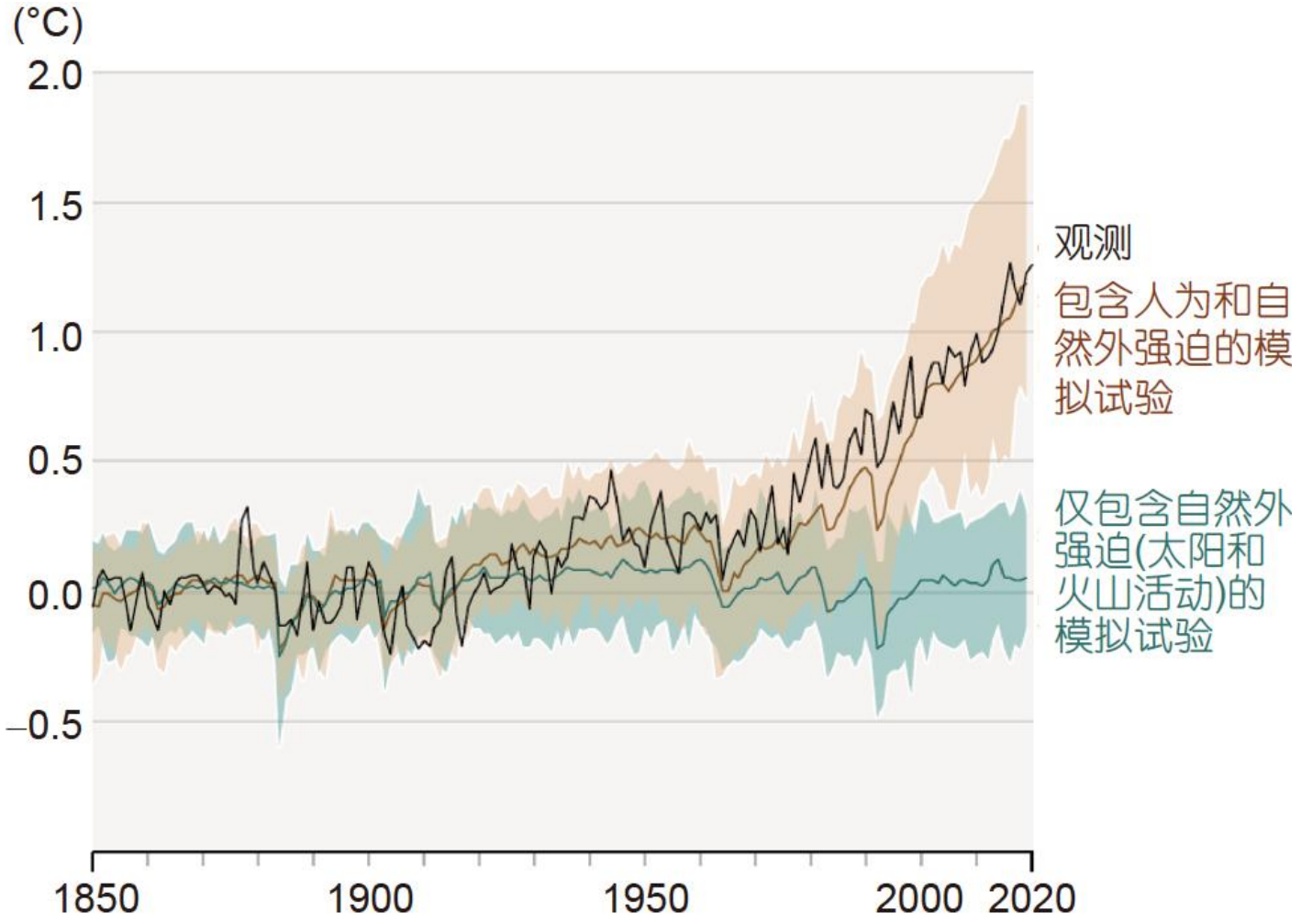
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{r}\frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i d_{i3} - 2e_{ijk}\mathrm{W}_j u_k + \frac{\mathrm{m}\partial^2 u_i}{r\,\partial x_j^2}$$

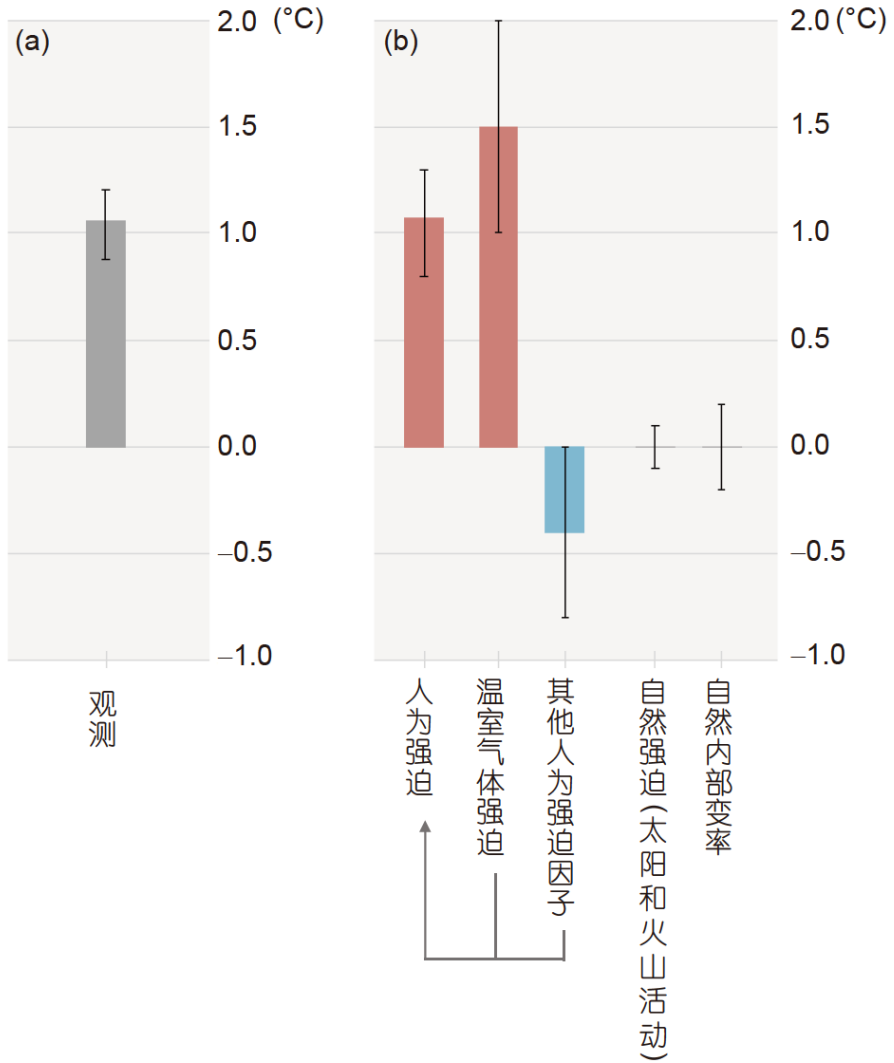
- 黑体辐射定律
- 质量守恒和能量守恒定律
- 理想气体状态方程
- 初条件和边条件

……

需要大量计算资源，大气科学的发展大大依赖计算机技术发展

气候变暖人为贡献的数值模式评估





政府间气候变化专门委员会（IPCC）
第六次评估报告（AR6, 2021）

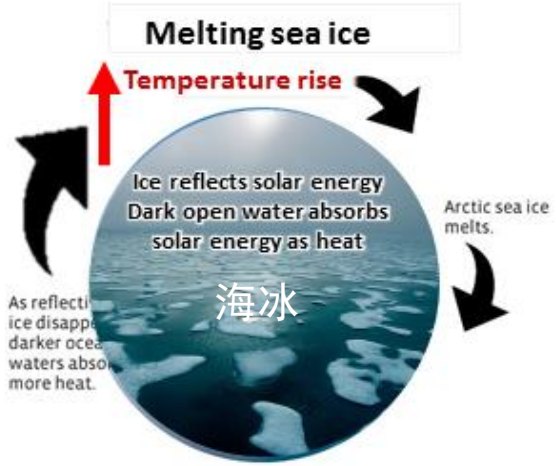
气候变化下的反馈过程

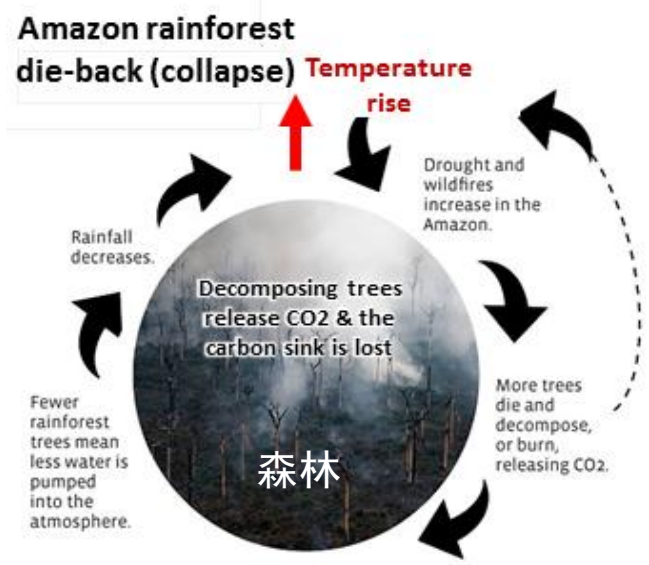
- 温度（热辐射）：（-）
- 水汽：温室效应（+）
- 温度递减率：（-）
- 冰雪圈：返照率（+）
- 云水：返照率（-） 、温室效应（+）
- 海洋：CO_2含量（+,-） 、AMOC （?）
- 生物圈：光合作用（-） 、呼吸（+）、生物物理、生物化学

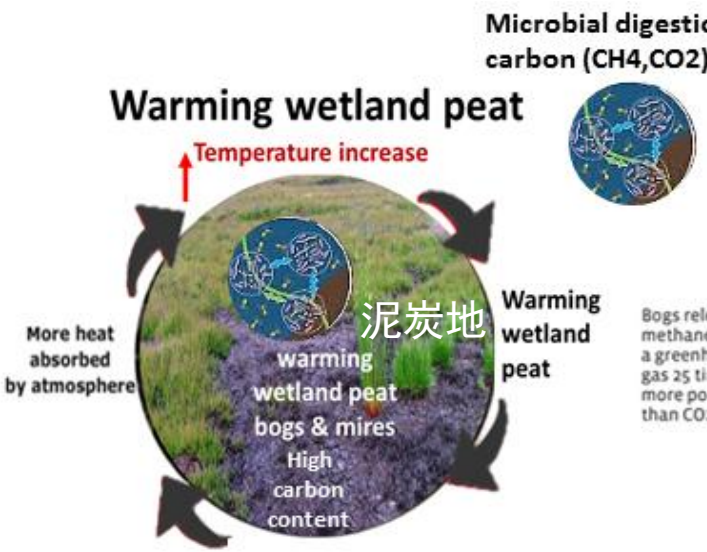


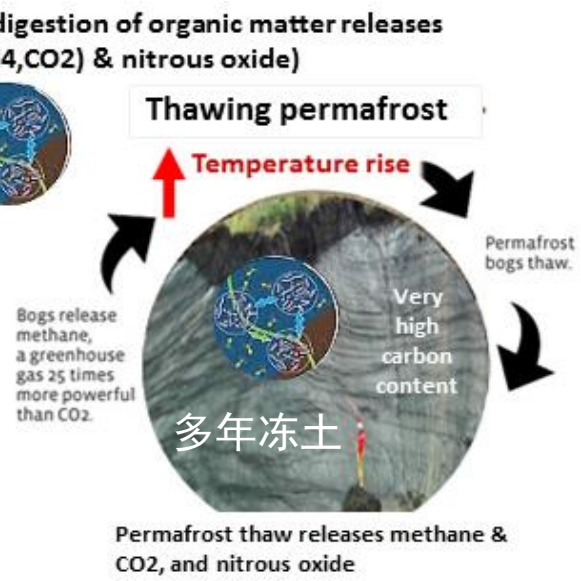
反馈过程举例：碳循环变化

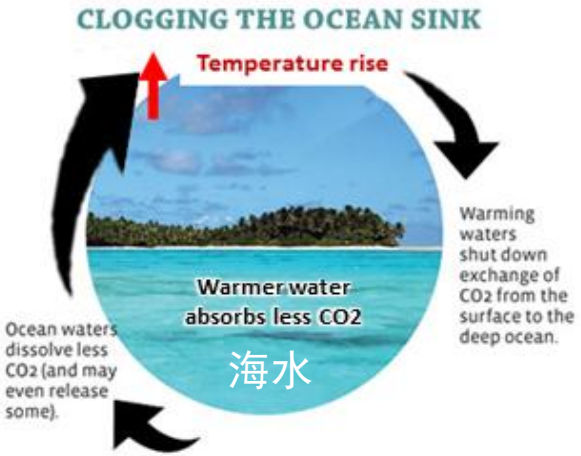
Q:你觉得哪个（些）反馈最有可能已经发生了或者在未来短期内发生？

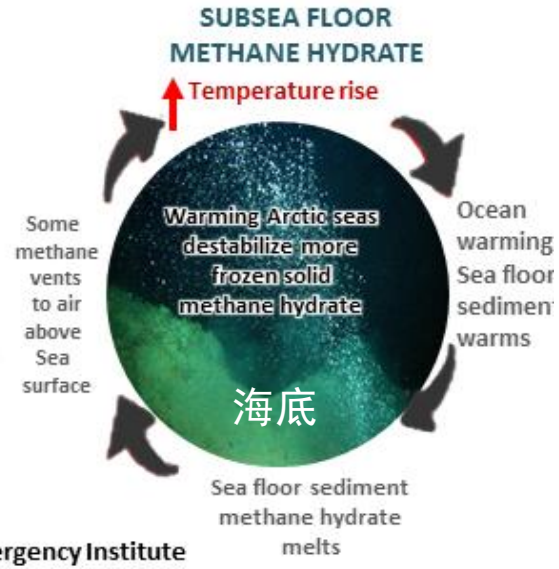






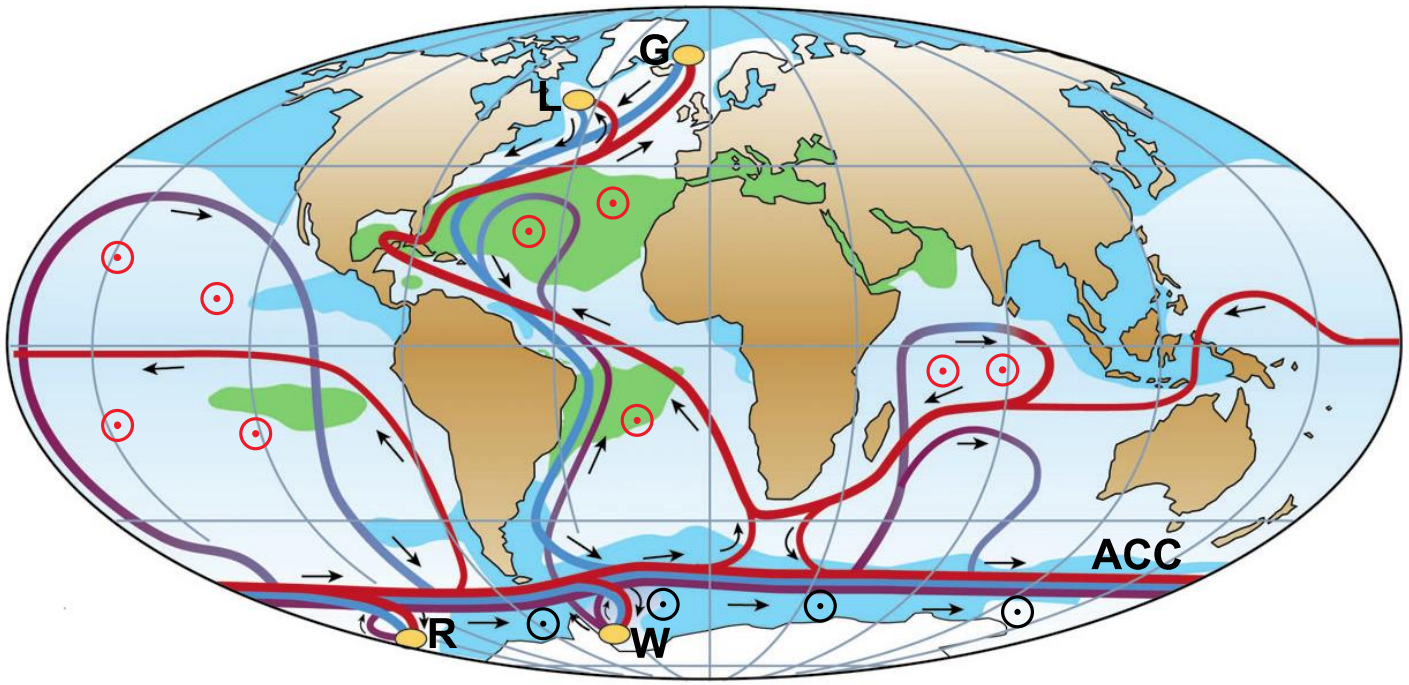






Climate Emergency Institute

反馈过程举例：大西洋经向环流的变化

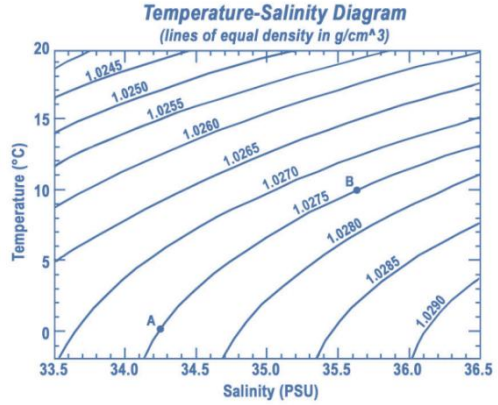


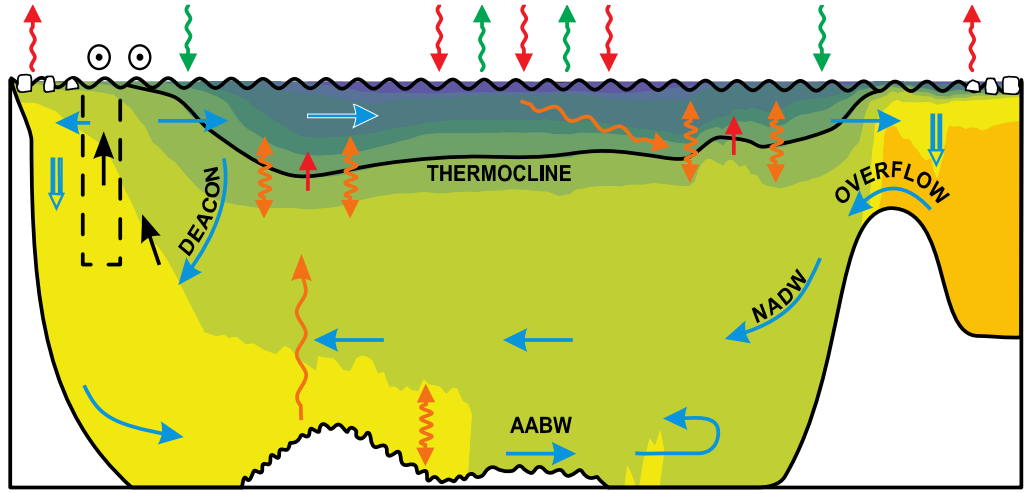
Surface flow
Deep flow
Bottom flow
Deep Water Formation

Wind-driven upwelling
Mixing-driven upwelling
Salinity > 36 ‰
Salinity < 34 ‰

L Labrador Sea
G Greenland Sea
W Weddell Sea
R Ross Sea





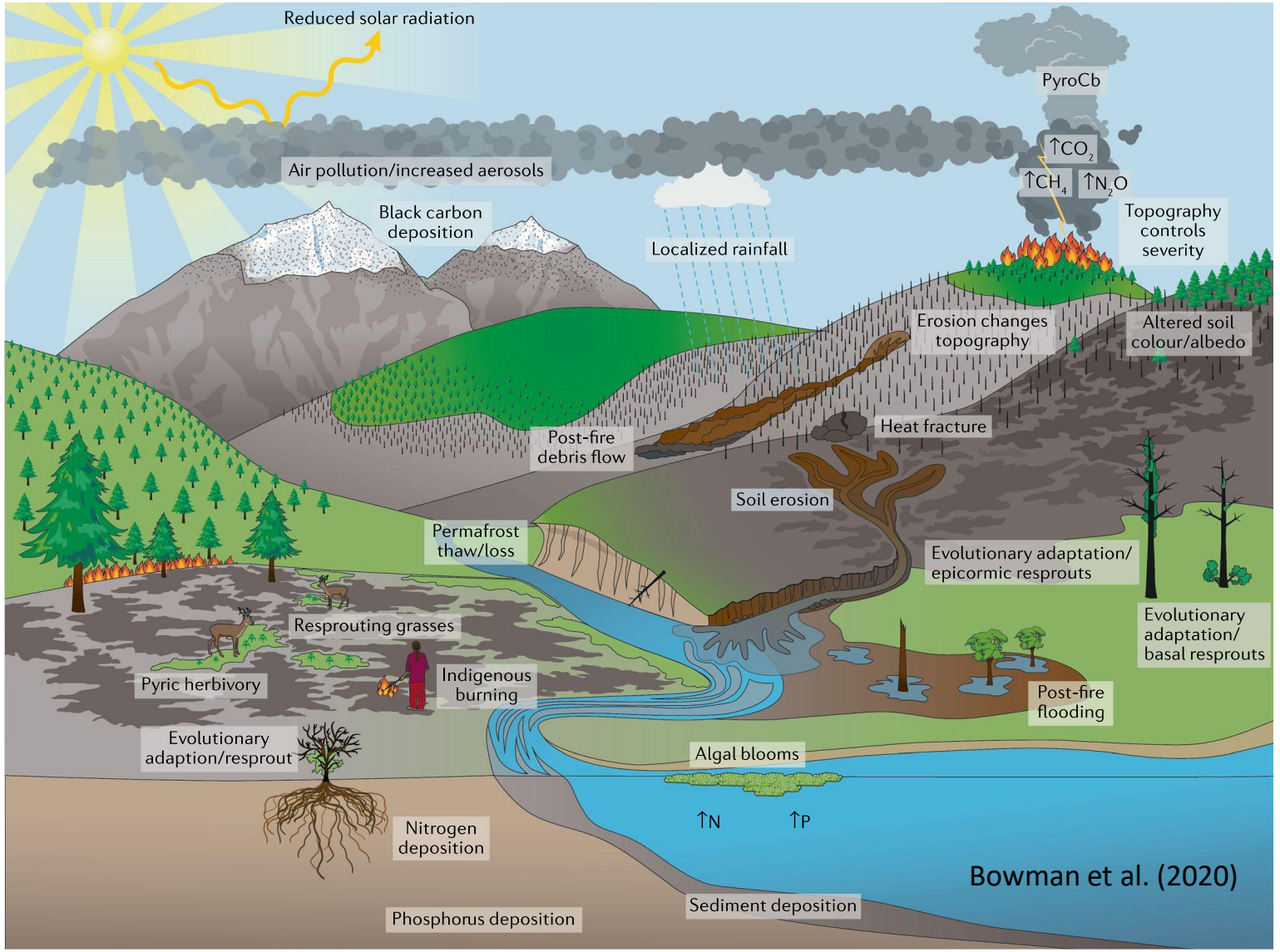


volume transport
wind-driven upwelling
wind
profile of Drake passage

mixing-driven upwelling
internal waves
diapycnal mixing

deep-water formation
heat fluxes
freshwater fluxes
sea ice

反馈过程举例：野火

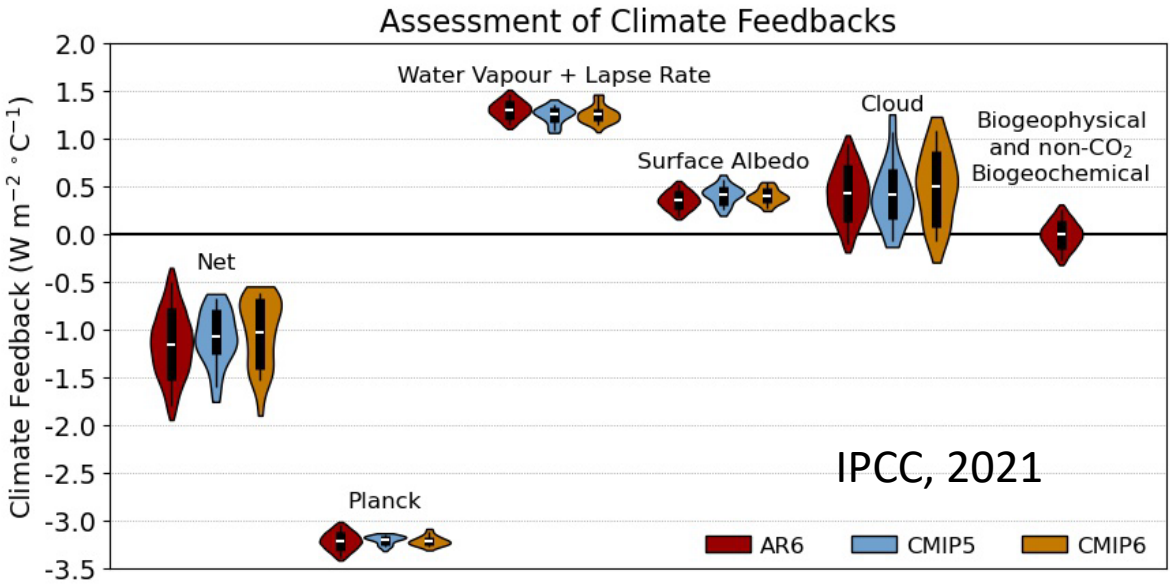


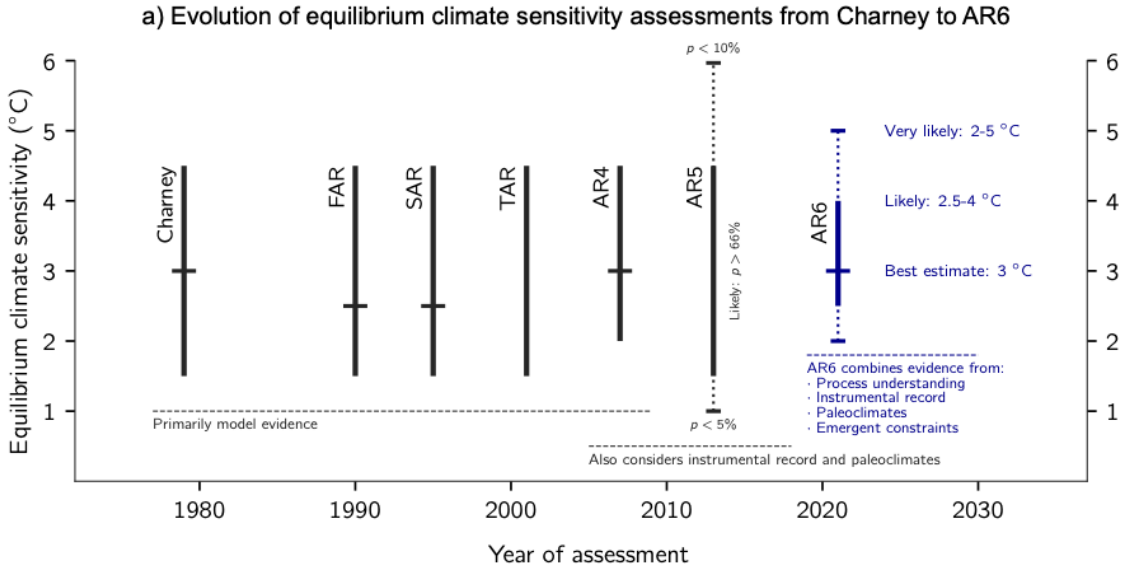

British Columbia, Canada (June, 2023)


Chongqing, China (September, 2022)


New South Wales, Australia (December, 2019)

气候反馈与气候敏感度的不确定性





Science 125

$$F = -\lambda \Delta T$$

Instantaneous forcing = 3.7 w m^{-2} with 2 x CO_2

T increment at new equilibrium

Total Feedback

应对气候变化：政府间气候变化专门委员会（IPCC）

1988年成立于瑞士日内瓦

联合全世界科学家发布权威报告



Year	Name of report	Type of report
2023	AR6 Synthesis Report: *Climate Change 2023* (March 2023)	Synthesis Report
2021 and 2022	Sixth Assessment Report (AR6): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis* (Working Group I, August 2021), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (Working Group II, February 2022), *Mitigation of Climate Change* (Working Group III, April 2022)	Assessment Report (Working Group contributions)
2019	Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC)	Special Report
2019	Special Report on Climate Change and Land (SRCCL)	Special Report
2019	2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories	Methodology Report
2018	Special Report on Global Warming of 1.5 °C (SR15)	Special Report
2014	AR5 Synthesis Report: *Climate Change 2014*	Synthesis Report
2013 and 2014	Fifth Assessment Report (AR5) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (Working Group I, September 2013), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (Working Group II, March 2014), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change* (Working Group III, April 2014)	Assessment (Working Group contributions)
2013	2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands	Methodology Report
2013	2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protoco	Methodology Report
2011	Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)	Special Report
2011	Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN)	Special Report
2007	AR4 Synthesis Report: *Climate Change 2007*	Synthesis Report
2007	Fourth Assessment Report (AR4) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (Working Group I, February 2007), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (Working Group II, April 2007), *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change* (Working Group III, May 2007)	Assessment Report (Working Group contributions)
2006	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories	Methodology Report
2005	Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System	Special Report
2005	Carbon Dioxide Capture and Storage	Special Report
2003	Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry	Methodology Report
2003	Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegatation of Other Vegetation Types	Methodology Report
2001	TAR Synthesis Report: *Climate Change 2001*	Synthesis Report
2001	Third Assessment Report (TAR) *Climate Change 2001: The Scientific Basis* (Working Group I), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (Working Group II), *Climate Change 2001: Mitigation* (Working Group III)	Assessment Report (Working Group contributions)
2000	Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories	Methodology Report
2000	Methodological and Technological Issues in Technology Transfer	Special Report
2000	Land Use, Land-Use Change, and Forestry	Special Report
2000	Special Report on Emissions Scenarios (SRES)	Special Report
1999	Aviation and the Global Atmosphere	Special Report
1997	The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability	Special Report
1996	Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories	Methodology Report
1996	SAR Synthesis Report: *Climate Change 1995*	Synthesis Report
1995	Second Assessment Report (SAR) *Climate Change 1995: The Science of Climate Change* (Working Group I), *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses* (Working Group II), *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change* (Working Group III)	Assessment Report (Working Group contributions)
1994	IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories	Methodology Report
1994	Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios	Special Report
1994	IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations	Special Report
1992	FAR *Climate Change: The IPCC 1990 and 1992 Assessments* (June 1992) (includes an Overview of the whole report)	Assessment Report (Working Group contributions)
1992	FAR *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment* (Working Group I, February 2022), *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Impacts Assessment* (Working Group II, February 2022)	Assessment Report (Working Group contributions)
1990	First Assessment Report (FAR) *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment* (Working Group I), *Climate Change: The IPCC Impacts Assessment* (Working Group II), *Climate Change: The IPCC Response Strategies* (Working Group III)	Assessment Report (Working Group contributions)

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

应对气候变化：IPCC气候变化评估报告

第5次评估报告会议场景



第5次评估报告的中国作者



https://www.atmos.pku.edu.cn/xwzx/64388.htm

应对气候变化：巴黎协定

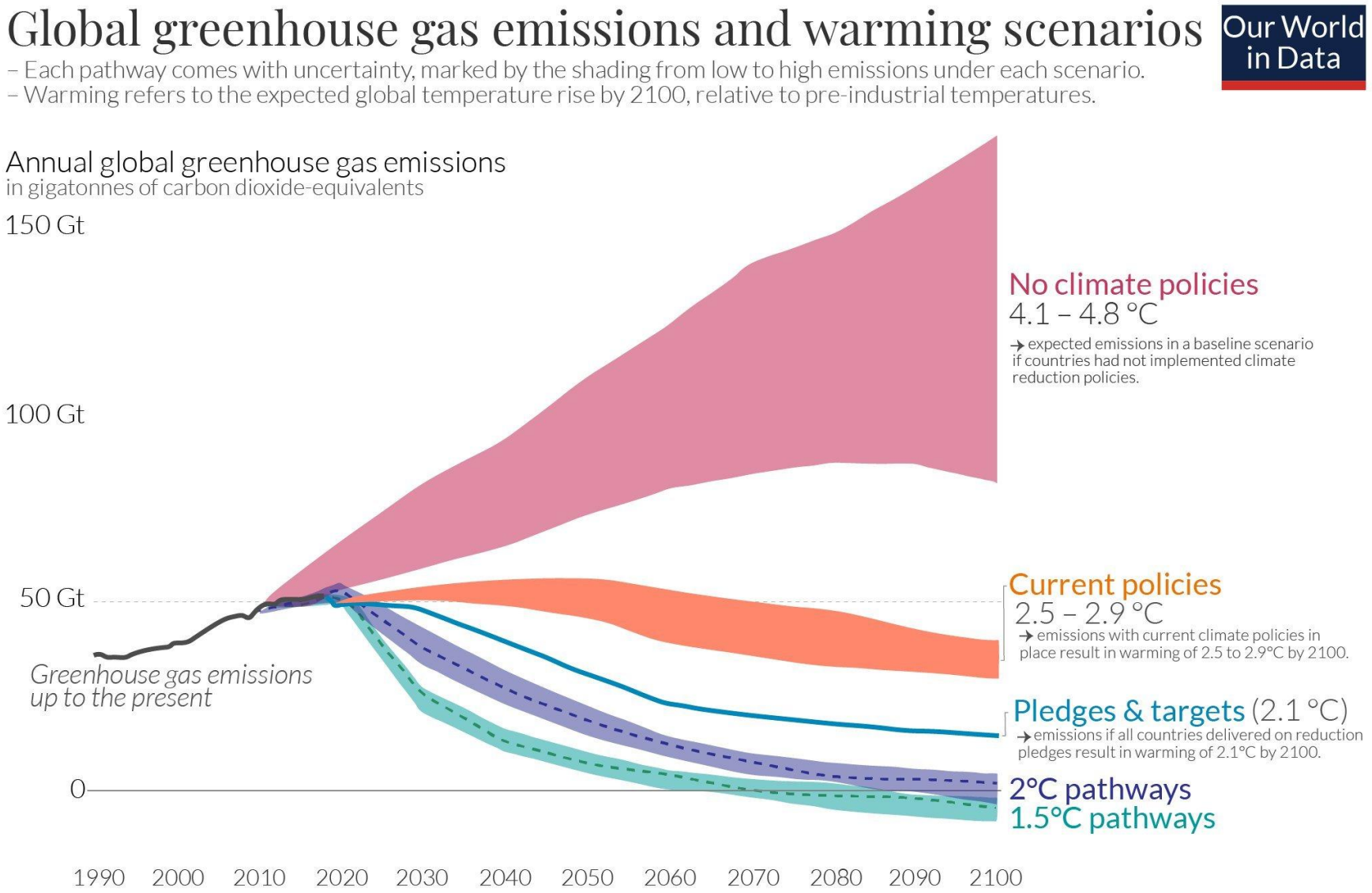
- 《巴黎协定》（The Paris Agreement），是由全世界178个缔约方共同签署的气候变化协定。《巴黎协定》的目标是将全球平均气温较前工业化时期上升幅度控制在2摄氏度以内，并努力将温度上升幅度限制在1.5摄氏度以内。

- 《巴黎协定》于2015年12月12日在第21届联合国气候变化大会（巴黎气候大会）上通过，于2016年4月22日在联合国大厦签署，于2016年11月4日起正式实施。

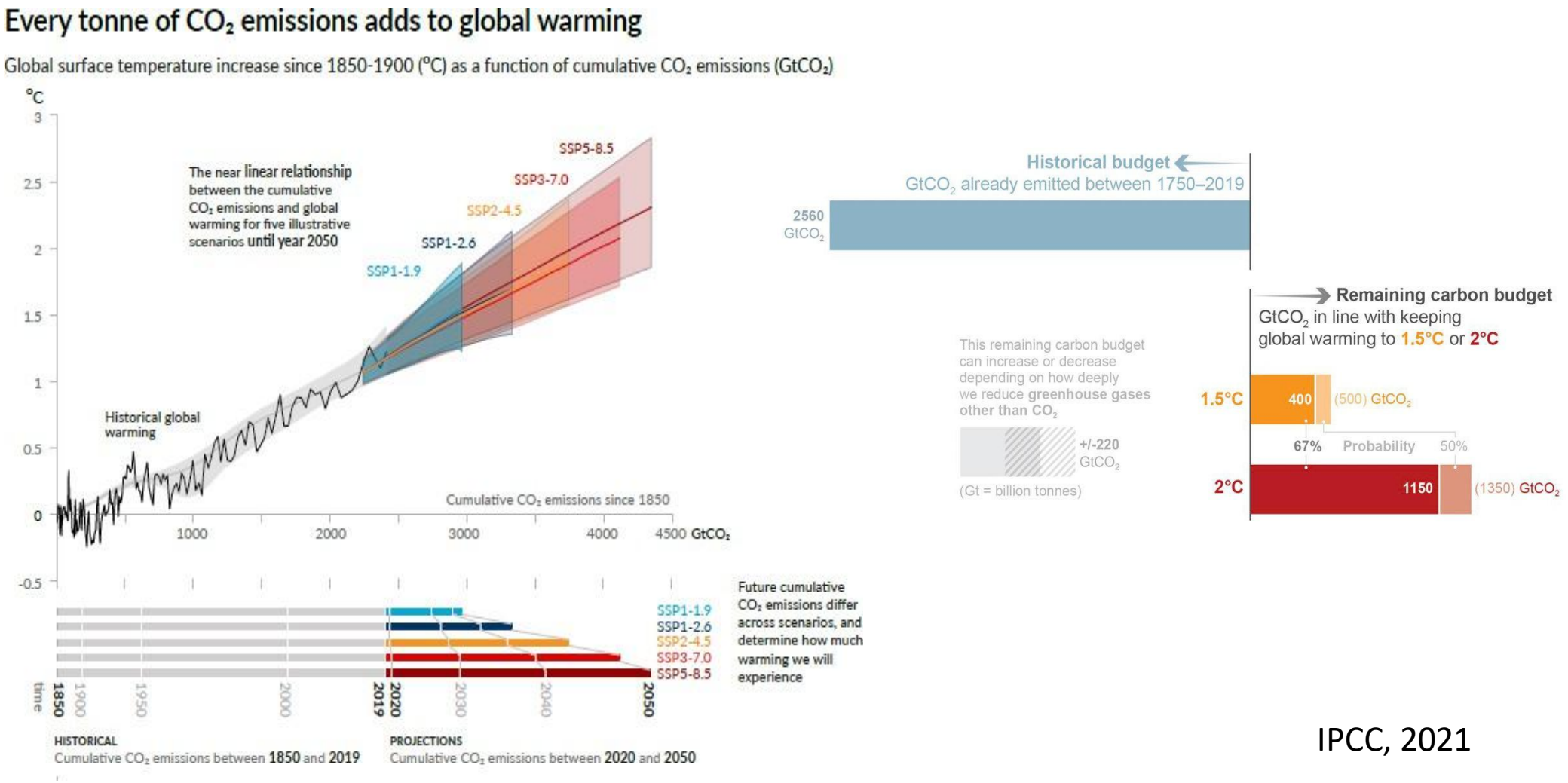
- 2016年4月22日，时任中国国务院副总理张高丽在《巴黎协定》上签字。 同年9月3日，全国人大常委会批准中国加入《巴黎气候变化协定》。

- 2021年11月13日，联合国气候变化大会(COP26)在英国格拉斯哥闭幕。经过两周的谈判，最终完成了《巴黎协定》实施细则。

应对气候变化：未来气候变暖的程度取决于我们如何应对



累计碳排放与变暖的关系



IPCC, 2021

应对气候变化：我国的“双碳政策”

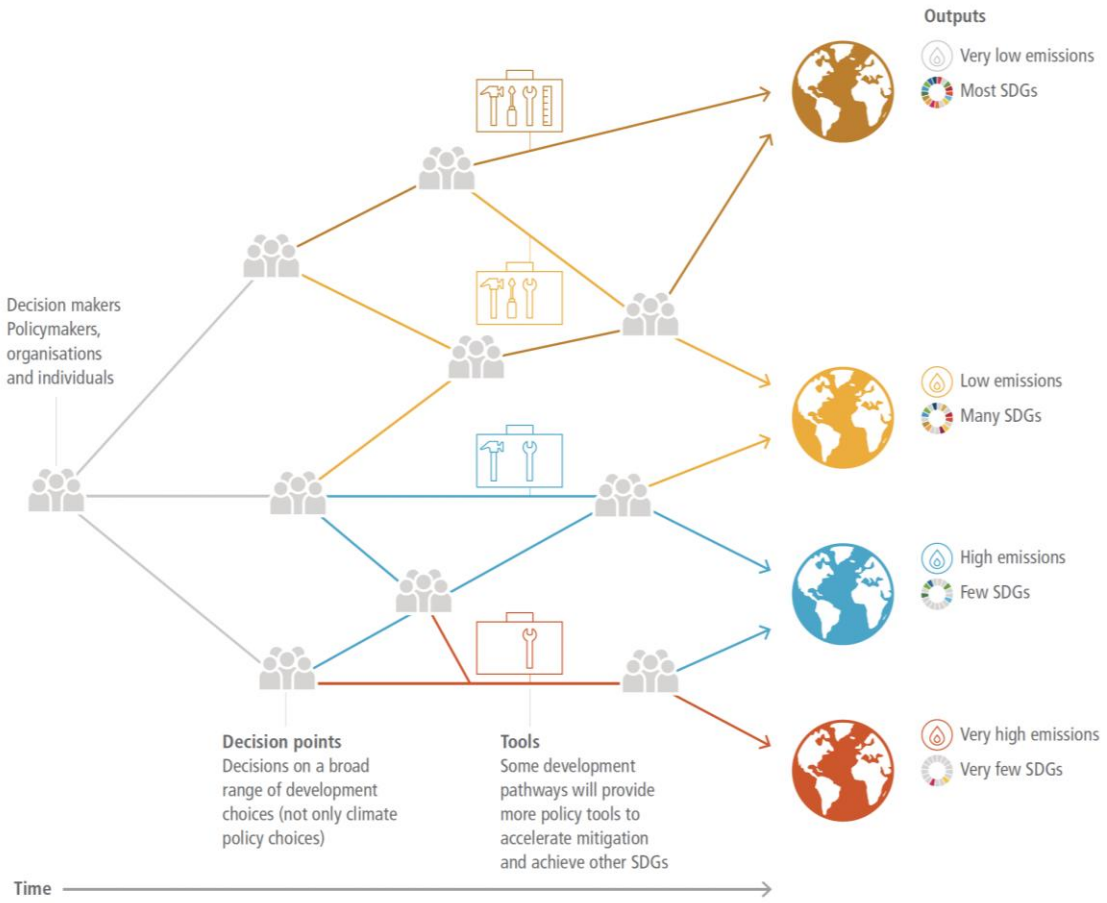
- 2020年9月，在第75届联合国大会上我国提出力争2030年前实现“碳达峰”，2060年前实现“碳中和”
  - ✓ “碳达峰”是指CO_2的人为排放量在2030年达到峰值，之后逐步下降。“碳中和”是指通过减少人为CO_2排放、增加碳汇，使（人为？）碳汇抵消人为CO_2排放，实现CO_2 “净零排放”

- 中国应对气候变化的政策与行动2022年度报告

https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/syqhbh/202210/W020221027551216559294.pdf

- 2035年中国国家自主贡献报告（2025年11月3日提交至UN）

到2035年，中国全经济范围温室气体净排放量比峰值下降7%—10%，力争做得更好。非化石能源消费占能源消费总量的比重达到 30%以上，风电和太阳能发电总装机容量达到 2020 年的 6 倍以上、力争达到 36 亿千瓦，森林蓄积量达到 240 亿立方米以上，新能源汽车成为新销售车辆的主流，全国碳排放权交易市场覆盖主要高排放行业，气候适应型社会基本建成

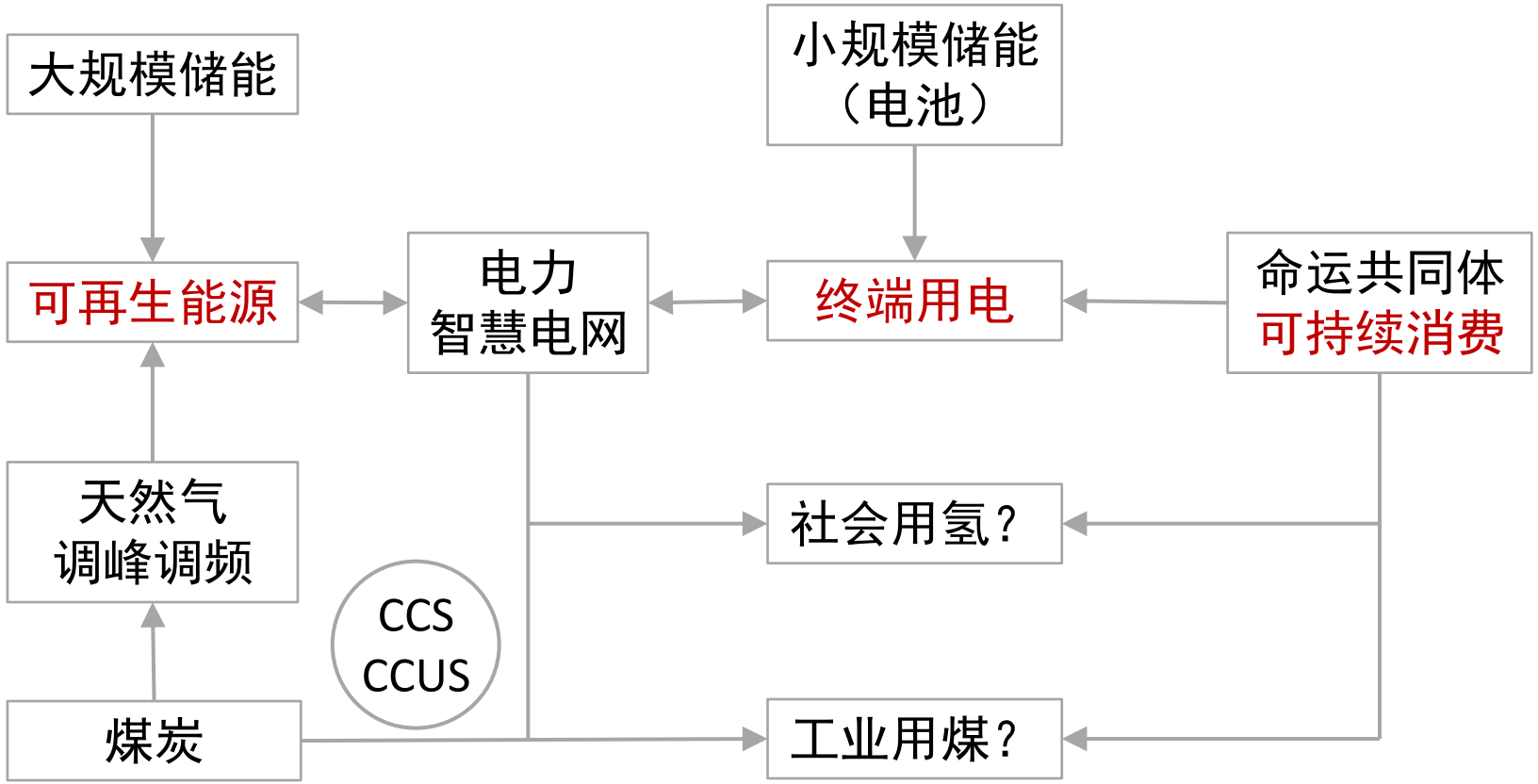


SDG: sustainable development goals

IPCC Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change

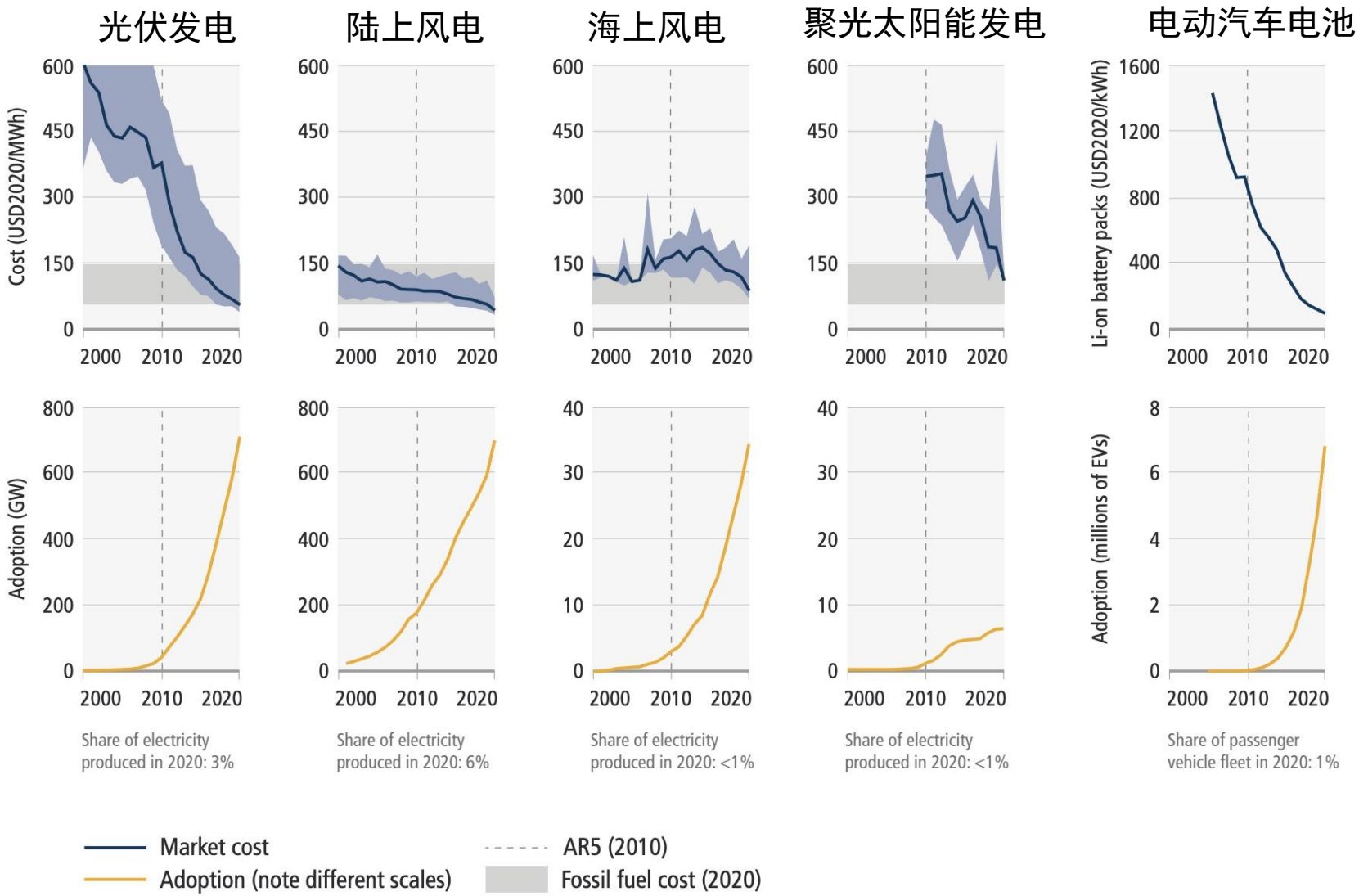
碳中和：未来能源发展方向

经济领导、科技领先、环保领军、国际领袖



碳中和：能源转型是机遇也是挑战

- 新能源技术
- 能源转化利用效率
- 存储、输送
- 生活方式改变
- ……



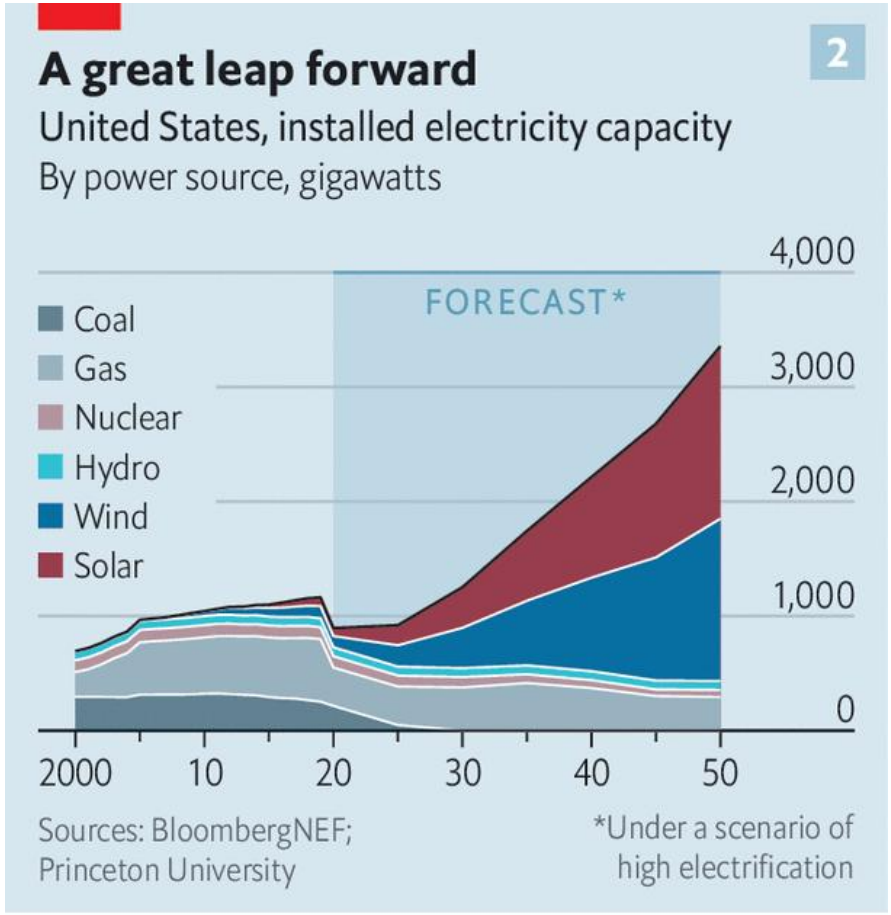
IPCC Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change

https://www.youtube.com/watch?v=7yHcXQoR1zA&t=474s

碳中和：能源转型

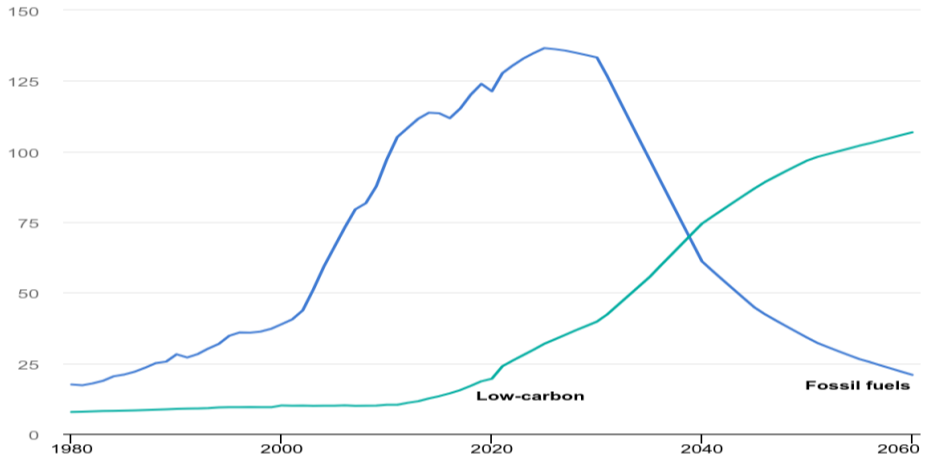
美国

- 特朗普政府退出巴黎协定（2次）的影响?

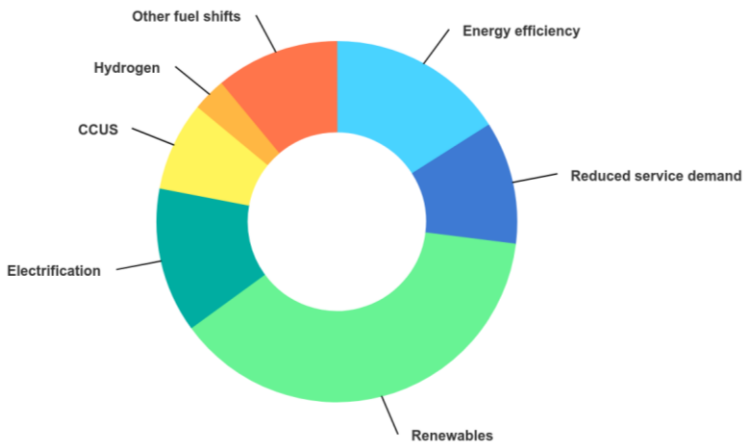


中国

能源消费 (EJ), Announced Pledges Scenario

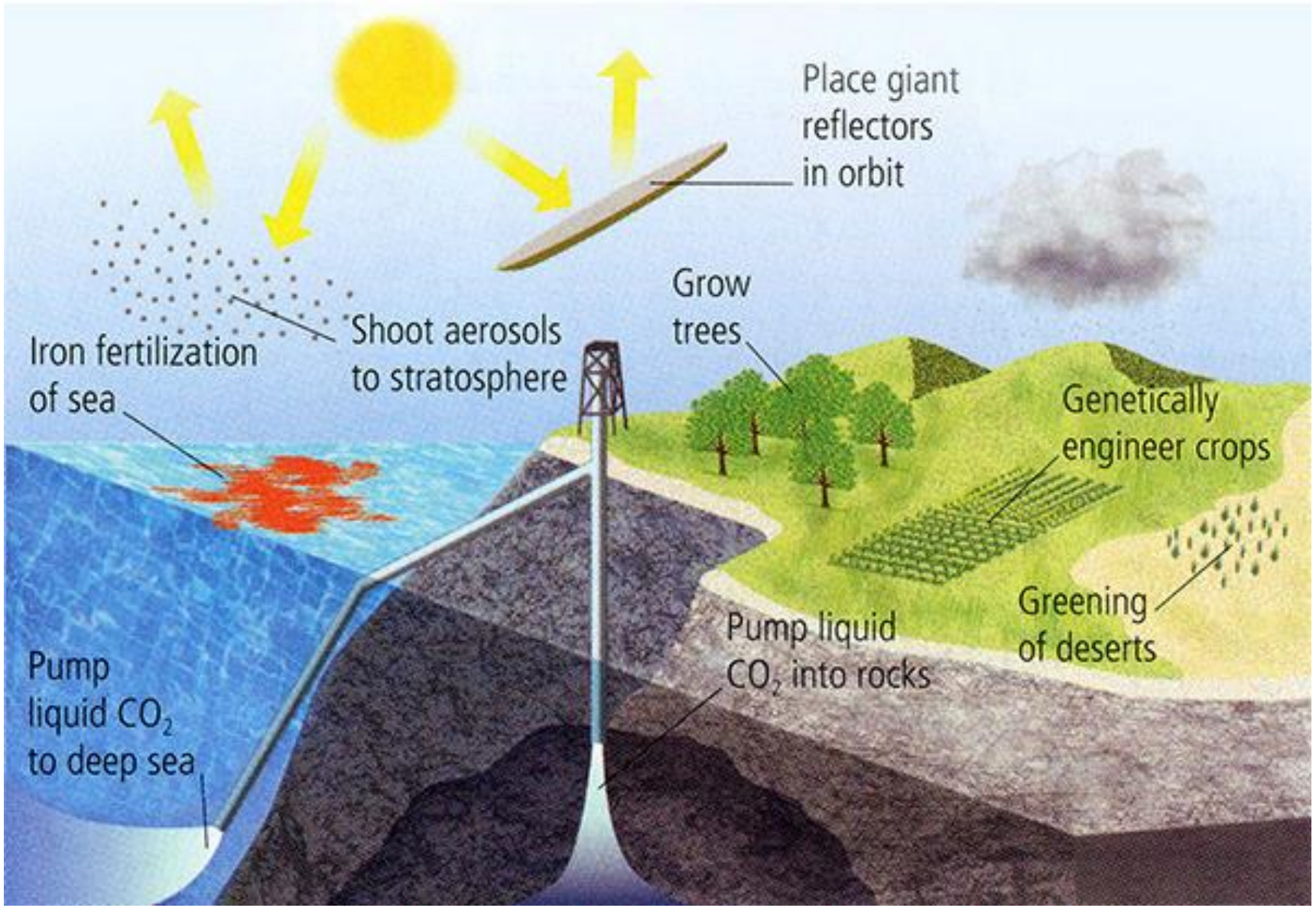


累计减排贡献



IEA预测

应对气候变化：气候工程？


Place giant reflectors in orbit
Grow trees
Shoot aerosols to stratosphere
Iron fertilization of sea
Genetically engineer crops
Greening of deserts
Pump liquid CO_2 into rocks
Pump liquid CO_2 to deep sea

全球变暖还有很多不确定

- 辐射强迫的不确定性
- 全球变暖引起的各种反馈
- 全球变暖后果的不确定性
- 人类应对全球变暖的举措

全球变暖，一桩事先张扬的谋杀案?
https://zhishifenzi.blog.caixin.com/archives/250915

How sure are climate scientists, really?
https://www.youtube.com/watch?v=R7FAAfK78_M&list=LL&index=5&t=227s

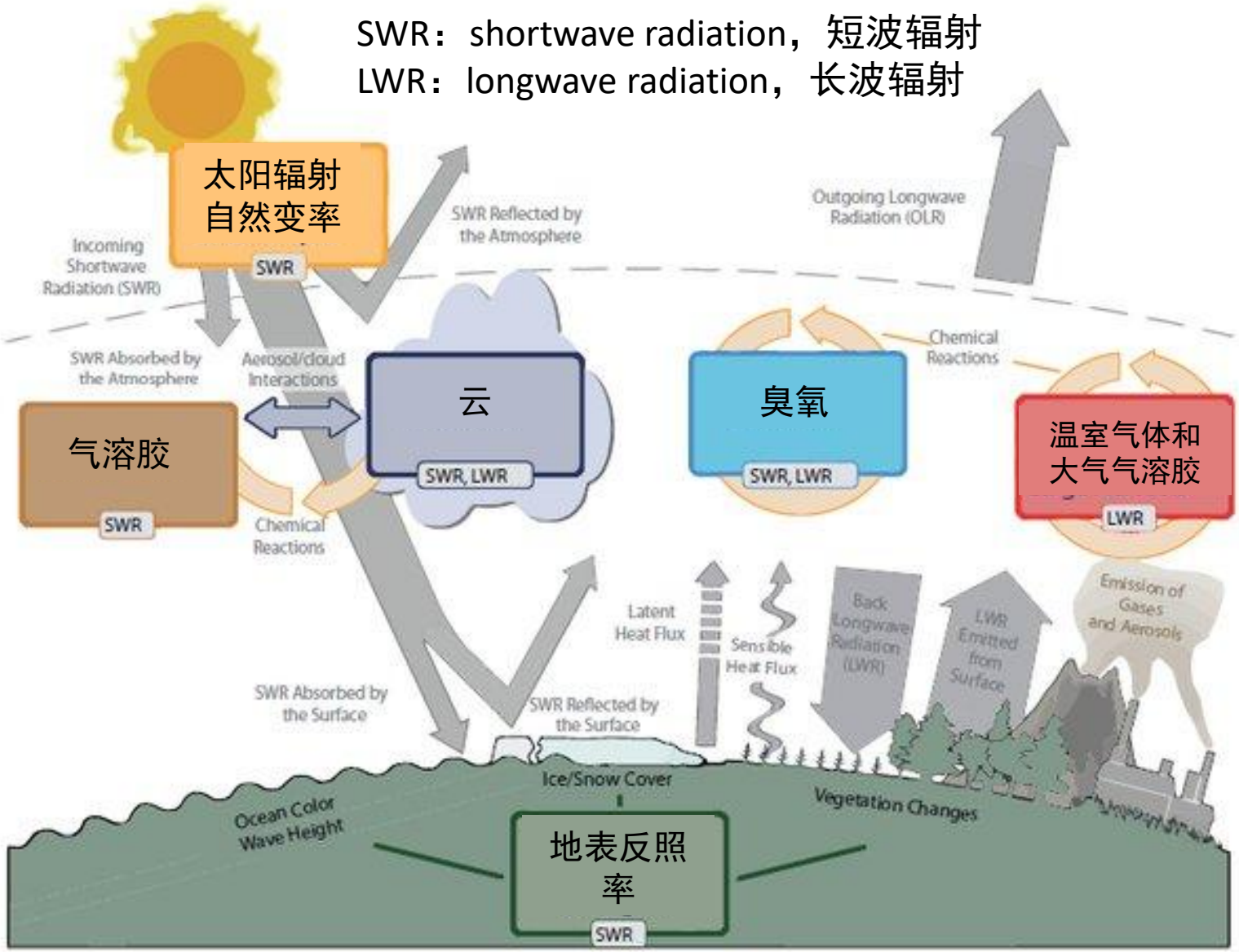
The Biggest Myth About Innovation
https://www.youtube.com/watch?v=thtKslF8zE4&t=179s

作业1：ddl = 2026年3月17日 13:00

1. 导致气候变化的自然因素有哪些？请列举3项，并简要说明他们是否可以用来解释近百年来的气候变暖趋势。
2. 人类活动的哪些因素会加速全球变暖趋势？哪些使气候变冷？总的趋势可能会是什么？
3. 简述气候系统的几种主要反馈机制。请列举3种并作简要解释。

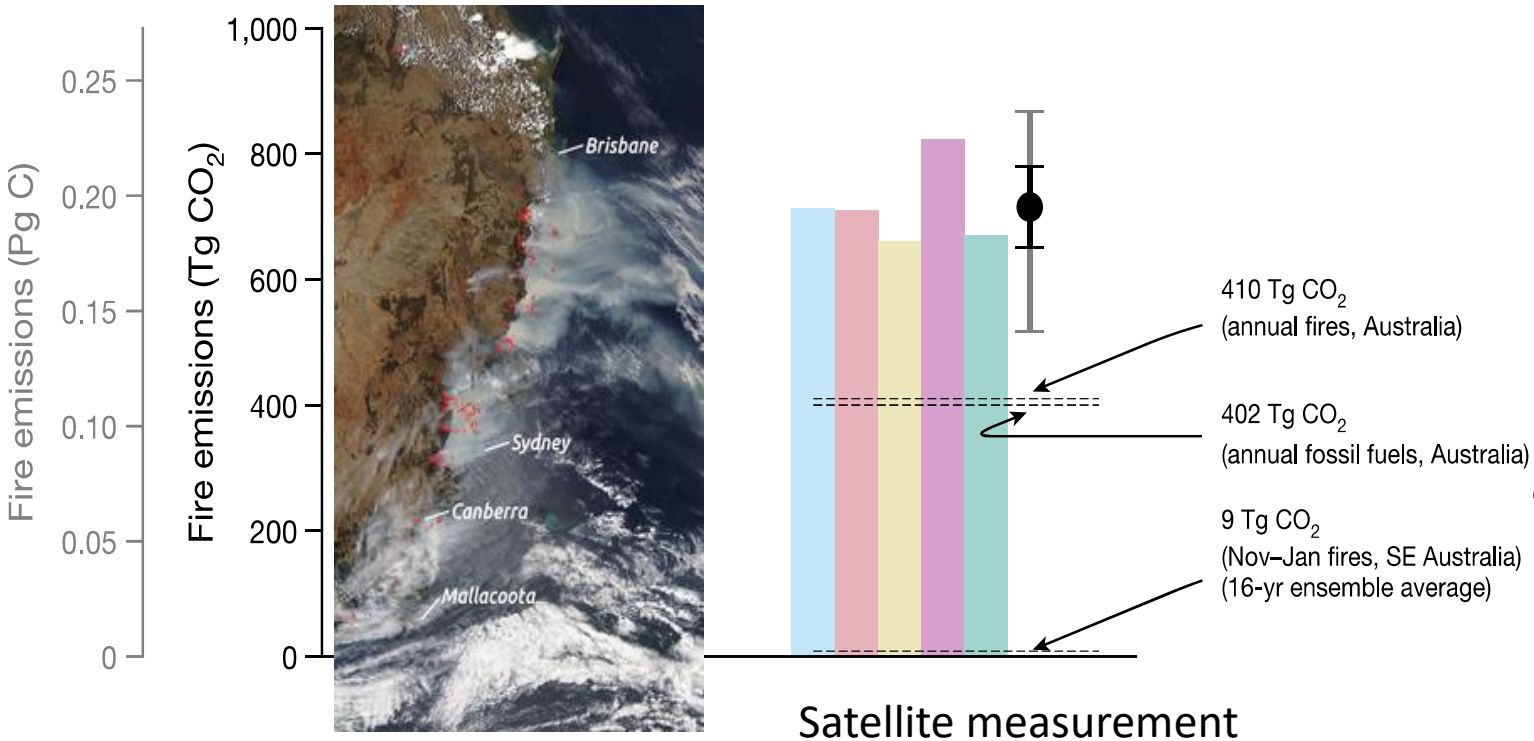
气候变暖与辐射收支的变化有关

SWR：shortwave radiation，短波辐射
LWR：longwave radiation，长波辐射



野火的碳源（正反馈）汇（负反馈）效应

2019—2020澳大利亚丛林大火

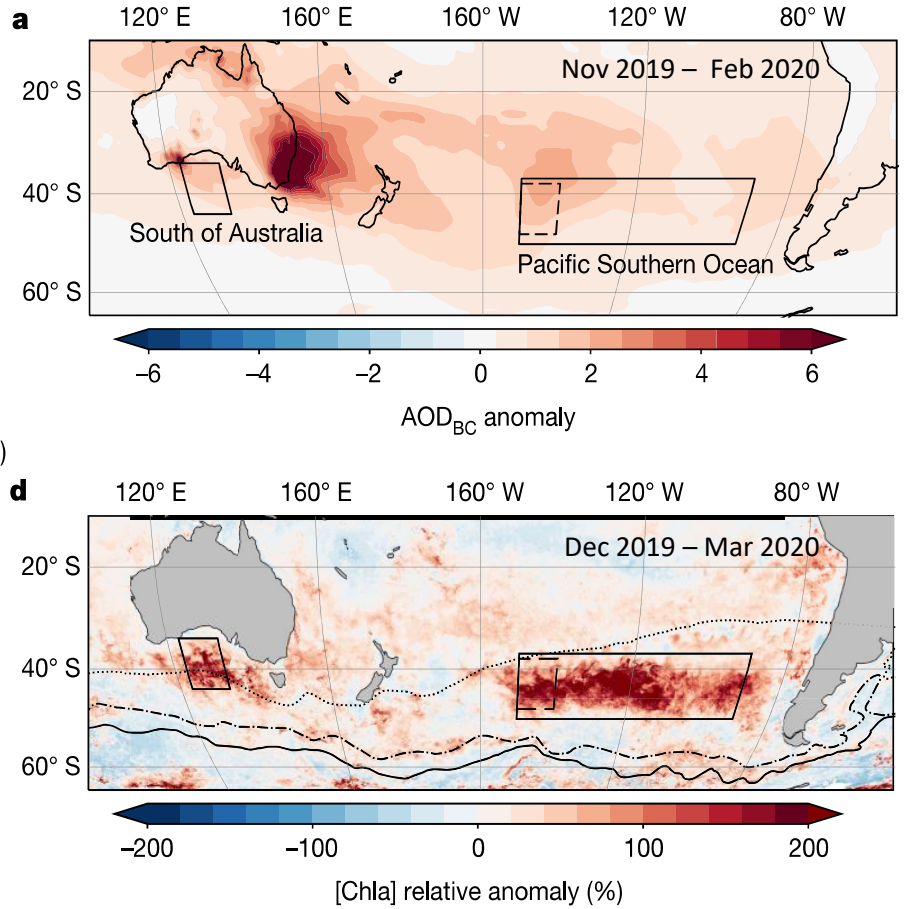


Burned area > 170,000 km^2

Satellite measurement of CO_2 emission from SE Australia during 2019 – 2020 bushfires

van de Velde (2021) Nature

野火气溶胶与海洋初级生产力



Tang et al. (2021) Nature