



清华大学  
Tsinghua University



# 政府间气候变化专门委员会 第一工作组第五次评估报告 主要结论解读

罗 勇

清华大学地球系统科学研究中心

2013年10月28日



# IPCC AR5 WGI报告发布



——斯德哥尔摩  
2013年9月27日



清华大学  
Tsinghua University

# 联合国德班气候变化大会

2011年11月28日至12月11日



**COP17/CMP7**

**UNITED NATIONS**

CLIMATE CHANGE CONFERENCE 2011

**DURBAN, SOUTH AFRICA**

# 联合国德班气候变化大会通过的 一揽子成果（Durban Package Outcome）

- 建立**德班增强行动平台特设工作组**：负责制定2020年后适用于公约所有缔约方的新法律条约制度的具体安排。德班平台特设工作组将于2012年上半年开始启动，并尽早且不迟于**2015年**完成其工作，以保证新的法律条款于2020年后生效。
- 决定实施《京都议定书》**第二承诺期**。
- 启动**绿色气候基金**：德国和丹麦分别注资4000万和1500万欧元作为其运营经费和首笔资助资金。
- 最终维护了“共同但有区别责任”的原则，坚持了京都议定书第二承诺期的存在，延续了“双轨制”的国际气候制度谈判框架。

# Headline Statements from the Summary for Policymakers

## 共19条核心结论

- Human influence has been detected in warming of the atmosphere and the ocean, in changes in the global water cycle, in reductions in snow and ice, in global mean sea level rise, and in changes in some climate extremes. This evidence for human influence has grown since AR4. It is **extremely likely** that human influence has been the dominant cause of the observed warming since the mid-20th century.
- **Cumulative emissions** of CO<sub>2</sub> largely determine global mean surface warming by the late 21st century and beyond. Most aspects of climate change will persist for many centuries even if emissions of CO<sub>2</sub> are stopped. This represents a substantial multi-century climate change commitment created by past, present and future emissions of CO<sub>2</sub>.



- 关于不确定性的处理方法
- 关于RCP
- 关于人类活动的作用
- 关于阈值与长期稳定目标



# 关于不确定性的处理方法

- 反映某个发现真实性的置信度，根据某个证据的类别、证据量、质量以及证据本身的一致性（如：认识、理论、资料数据、模式、专家判断）以及达成一致的程​​度。置信度以量化方式表示（见图1）。

(关于某个特定研究结果)的一致性水平

|                   |                   |                   |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| 一致性高，<br>证据量有限 G  | 一致性高，<br>证据量中等 H  | 一致性高，<br>证据量充分 I  |
| 一致性中等，<br>证据量有限 D | 一致性中等，<br>证据量中等 E | 一致性中等，<br>证据量充分 F |
| 一致性低，<br>证据量有限 A  | 一致性低，<br>证据量中等 B  | 一致性低，<br>证据量充分 C  |

证据量(独立研究来源的数量和质量)

“很低”、“低”、“中等”、“高”和“很高”



- 对某个发现中的不确定性进行定量衡量，用概率表示（根据对各种观测或模式结果的统计分析，或根据专家判断）（见表1）。

| 可能性术语                        | 结果的可能性       |
|------------------------------|--------------|
| 几乎确定virtually certain        | 发生概率为99～100% |
| 很可能very likely               | 发生概率为90～100% |
| 可能likely                     | 发生概率为66～100% |
| 或许可能about as likely as not   | 发生概率为33～66%  |
| 不可能unlikely                  | 发生概率为0～33%   |
| 很不可能very unlikely            | 发生概率为0～10%   |
| 几乎不可能 exceptionally unlikely | 发生概率为0～1%    |

# 适当时也可使用的术语

- 极有可能extremely likely 发生概率为 95~100%
- 多半可能more likely than not 发生概率为> 50~100%
- 极不可能extremely unlikely 发生概率为0~5%

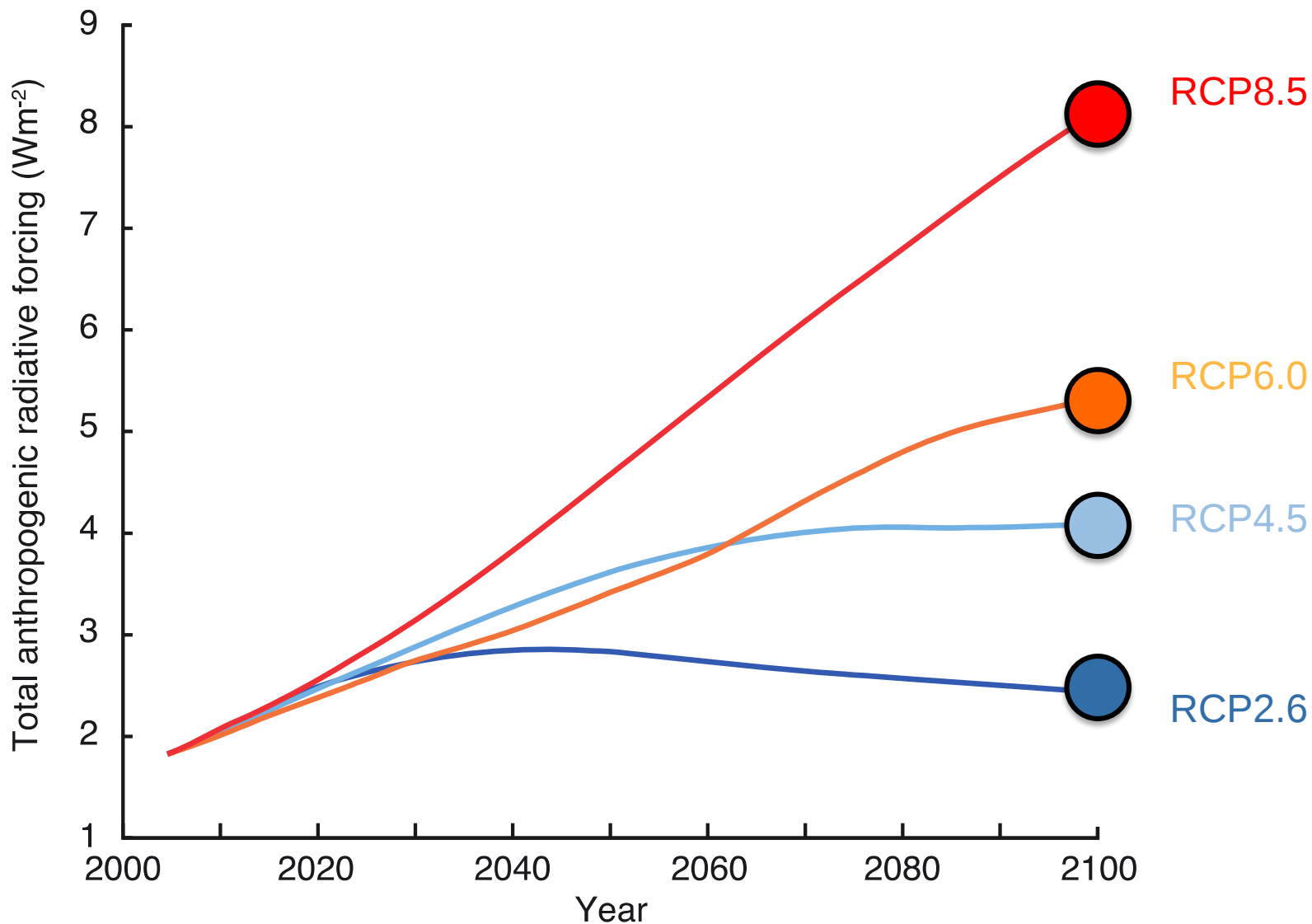


# 报告内容

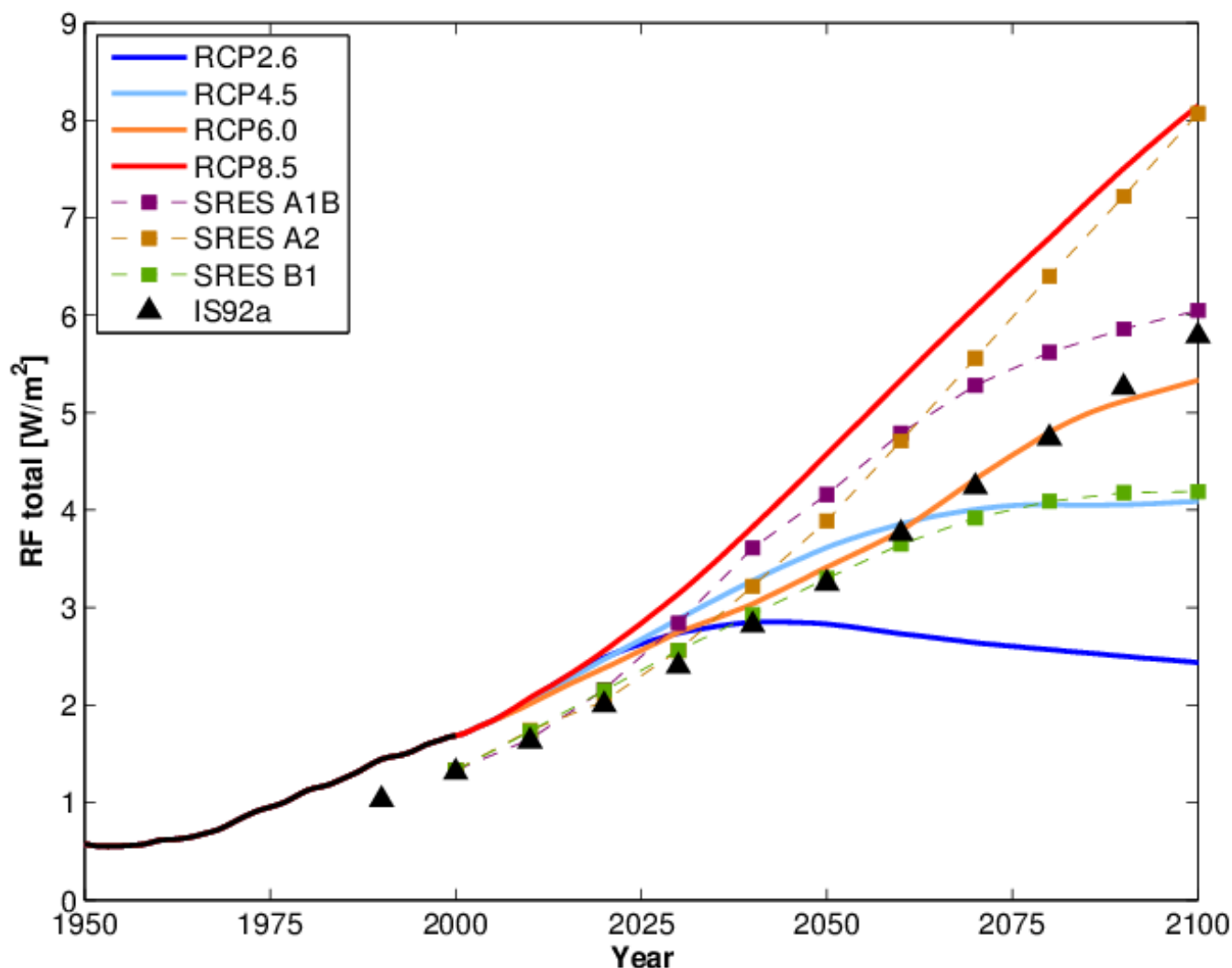
- 关于不确定性的处理方法
- 关于RCP
- 关于人类活动的作用
- 关于阈值与长期稳定目标



## 典型浓度路径（RCPs）



# 使用了新的排放情景RCPs



1950年和2100年之间的历史和预测的人为辐射强迫 ( $\text{W m}^{-2}$ ) 与工业化前 (~1750年) 的对比

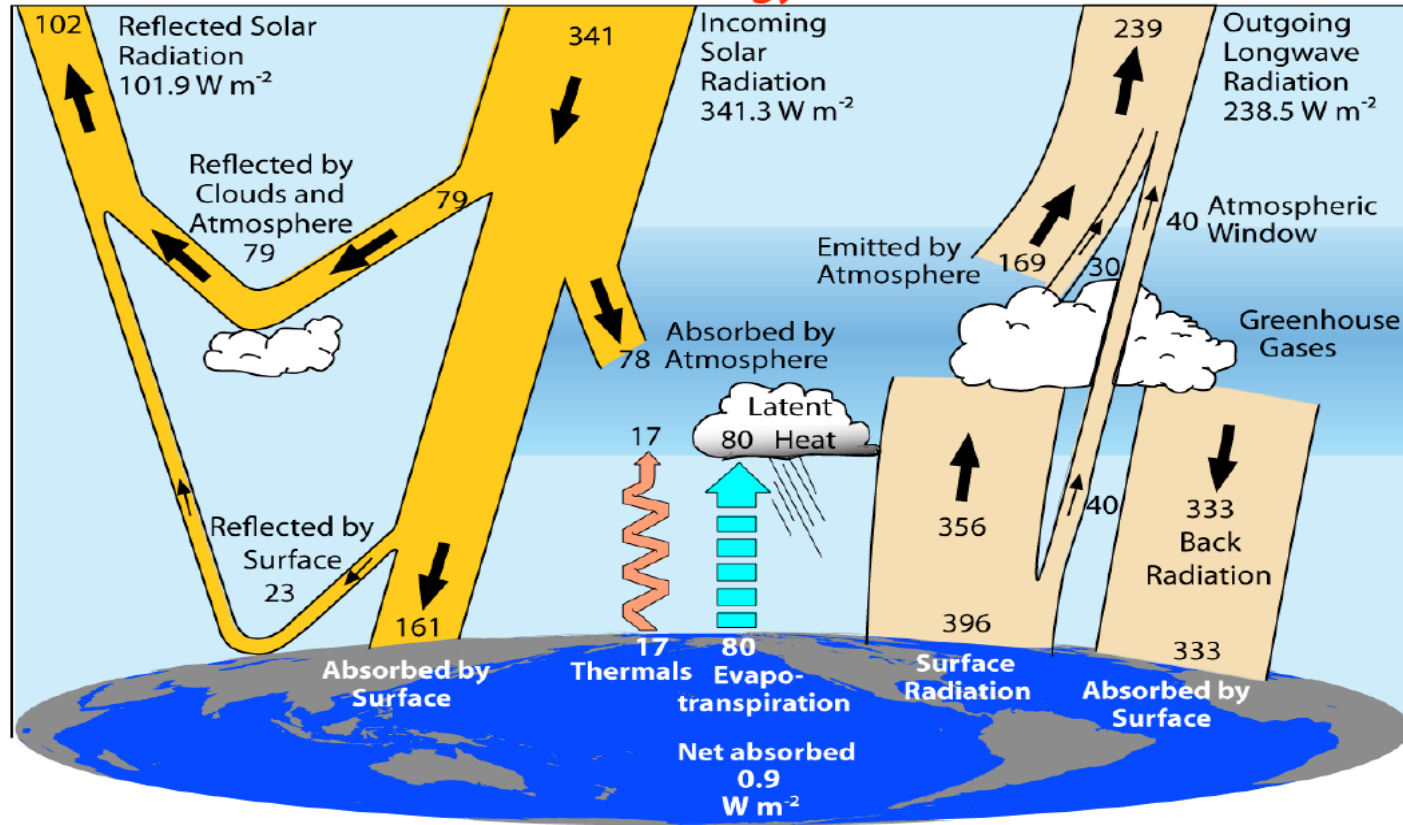
# 能量平衡与辐射强迫

## ● 能量平衡

在气候系统内总入射能量和总外逸能量之间的平衡。如果此差是正值，则出现变暖；如果差是负值，则出现变冷。全球长期平均能量收支差一定为零。由于基本上气候系统所获得的所有能量均来自太阳，能量收支差为零则意味着太阳辐射总入射量一定等于被反射的太阳辐射量与气候系统外逸的热红外辐射量之和。总辐射平衡的扰动称为辐射强迫，无论是自然的还是人为的。



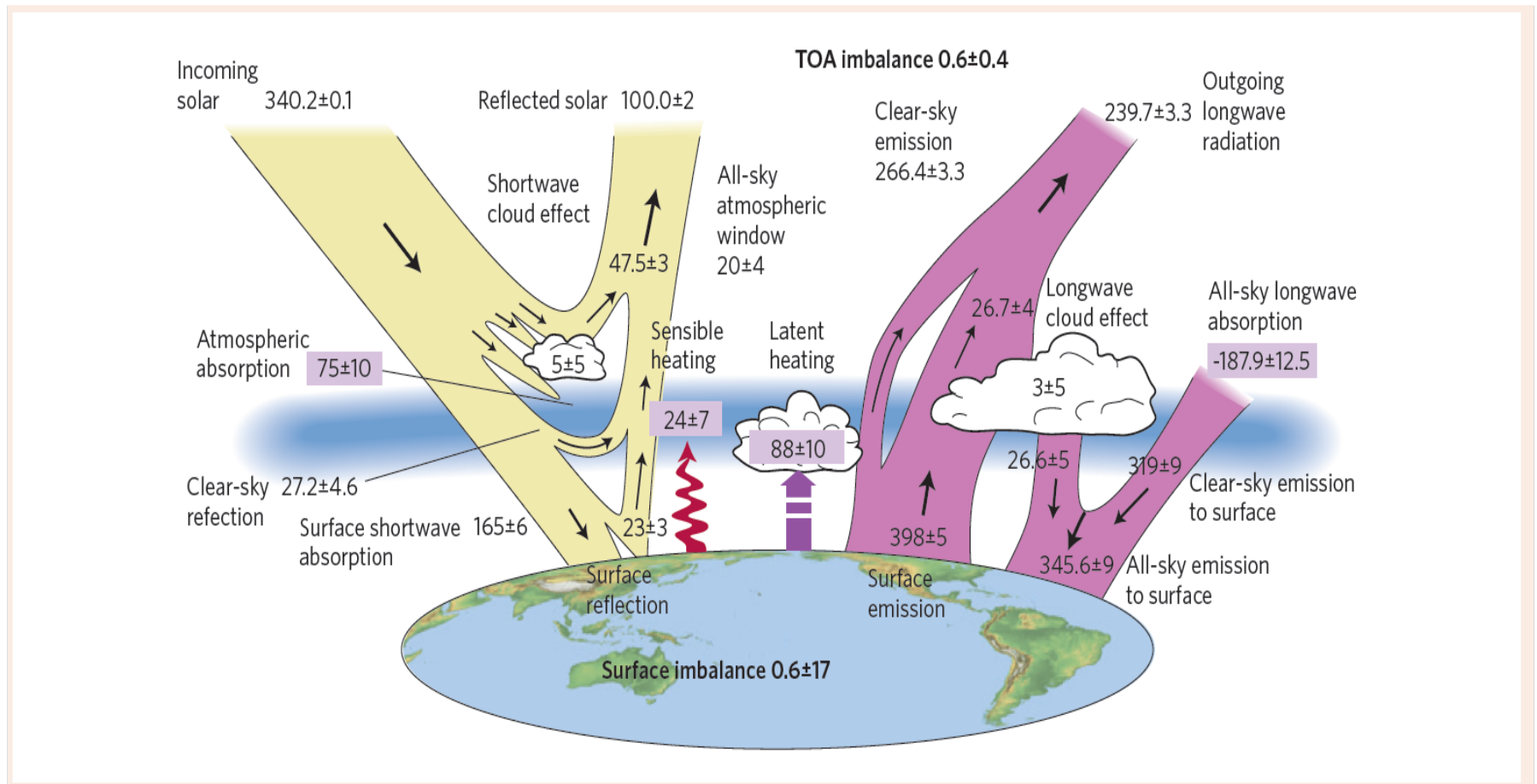
## Global Energy Flows $\text{W m}^{-2}$



地球能量收支各分量的估算值。到达大气顶的入射太阳辐射 ( $341\text{W m}^{-2}$ , 100%) 的三分之一左右被直接反射回太空 ( $102\text{W m}^{-2}$ ), 余下的三分之一 ( $239\text{W m}^{-2}$ , 70%) 由地表 ( $161\text{W m}^{-2}$ )、云和气溶胶等吸收 ( $78\text{W m}^{-2}$ )。为了平衡吸收的入射太阳辐射能 ( $239\text{W m}^{-2}$ ), 地球平均要辐射同样大小的能量 ( $239\text{W m}^{-2}$ ) 到太空。根据维恩辐射定律, 地球主要在红外谱辐射能量。这些由陆地和海洋辐射的红外热辐射被大气 (含云,  $\text{CO}_2$  和其它温室气体等) 吸收并重新辐射回地球表面, 从而导致地球一大气耦合系统的增暖。这叫作自然的温室效应。(Trenberth等, 2009)

# 2000–2010年全球年平均能量收支

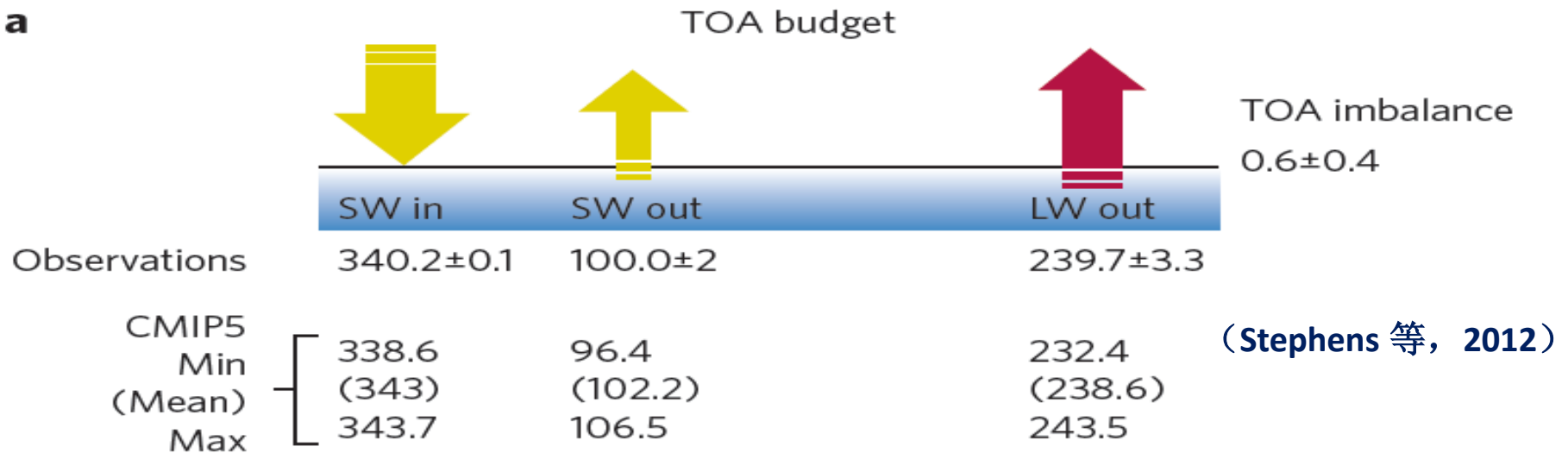
通量单位:  $\text{Wm}^{-2}$



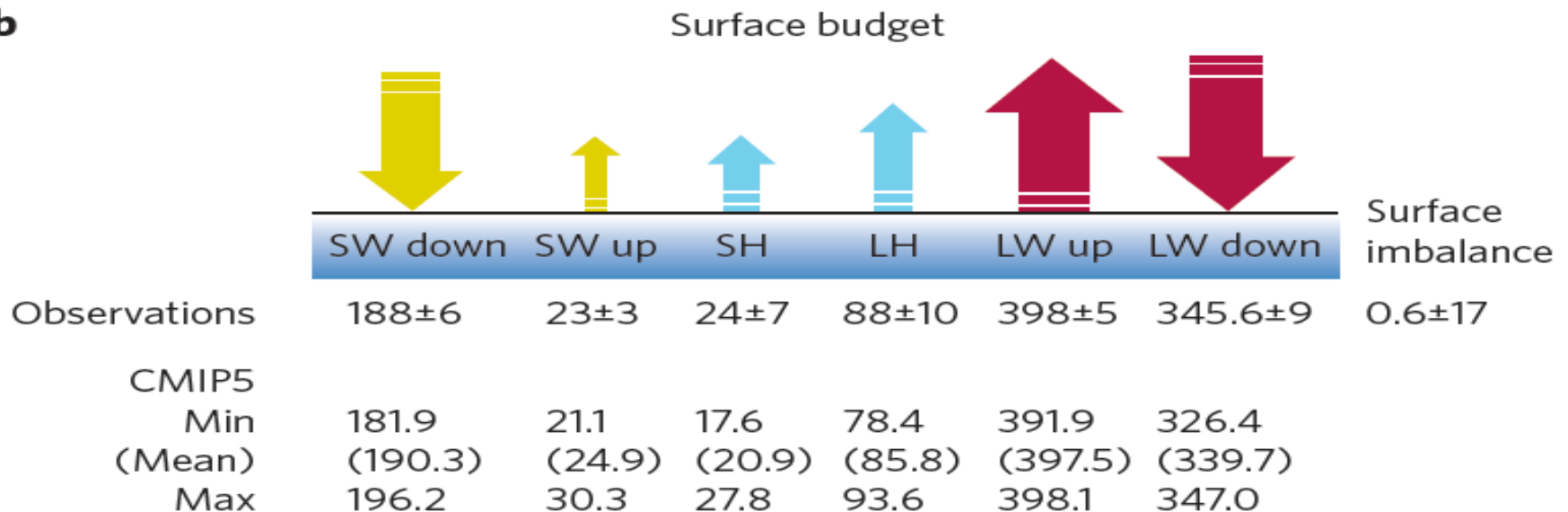
太阳辐射通量：黄色；红外辐射通量：粉红色；四个紫色方框的量为大气能量收支的主要分量（Stephens 等，2012）

# 大气顶和地表能量平衡

a



b



# 小结

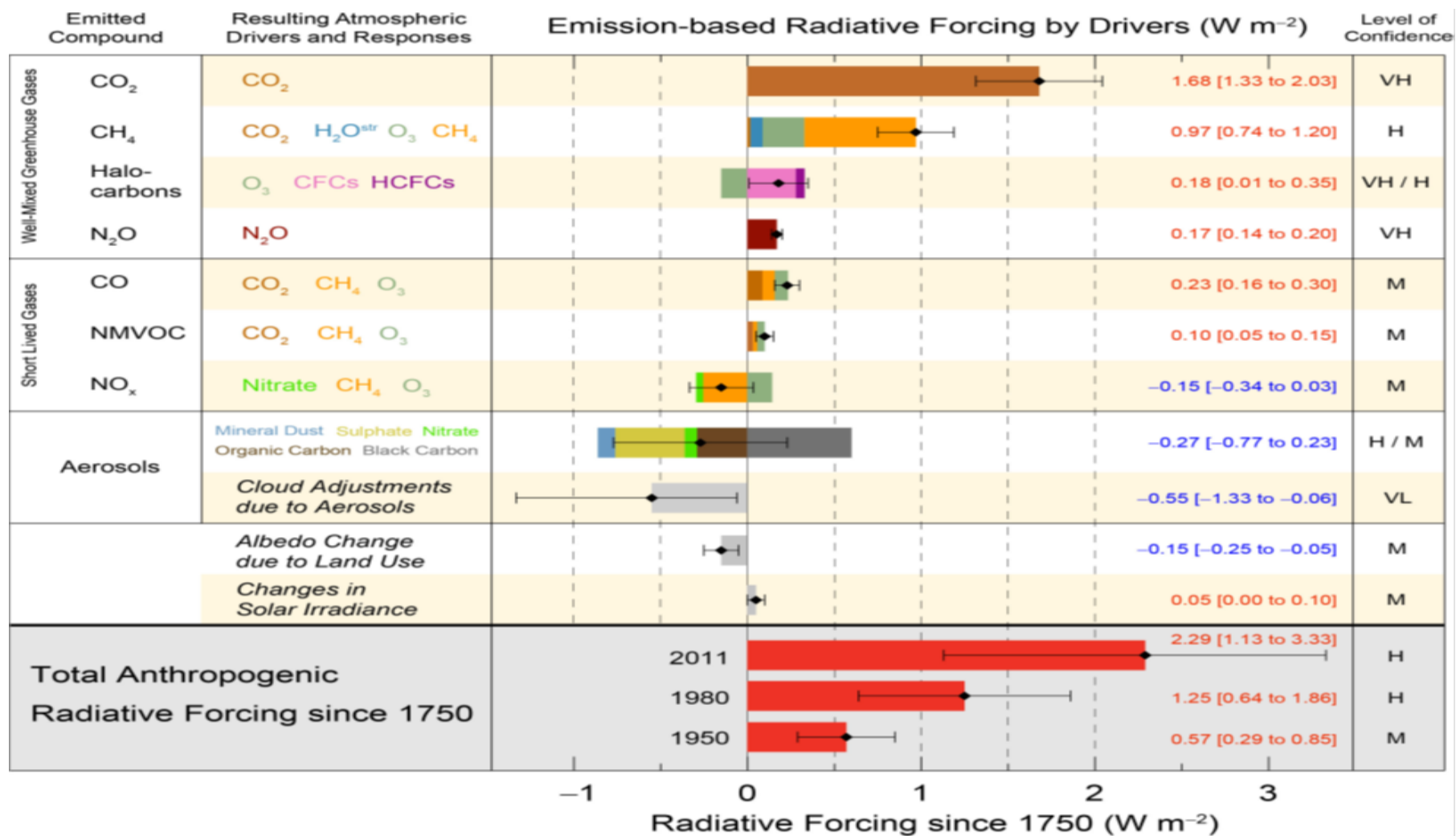
- 最近10年地表接受的长波辐射能量明显增加约在  $10\text{--}17\text{ Wm}^{-2}$ 。它代表大气中温室气体增加产生的温室效应的明显增加。
- 全球降水的卫星观测表明，近10年，产生的降水比过去估计的更多。这主要是由于地表面蒸发的增加造成。
- 由于降水的增加，大气中潜热明显增加，约为  $8\text{Wm}^{-2}$ 。

所以，从近10年全球能量收支的计算表明，导致全球变暖的温室效应，不但没减弱，而且继续在增加。

# 辐射强迫

- 辐射强迫是由于气候变化的某个外部驱动因子的变化（如二氧化碳浓度或太阳辐射量的变化）等造成对流层顶净辐照度（向上辐射与向下辐射的差，单位用  $\text{Wm}^{-2}$  表示）发生变化。
- 用固定在未受扰动值上的所有对流层特性计算辐射强迫；若受到扰动，则在平流层温度重新调整到辐射动力平衡之后再行计算。
- 在不考虑平流层温度变化的情况下，辐射强迫被称为瞬时强迫。
- 在本报告中，辐射强迫被进一步定义为相对于1750年的变化，除非另有说明，辐射强迫是指一个全球年平均值。





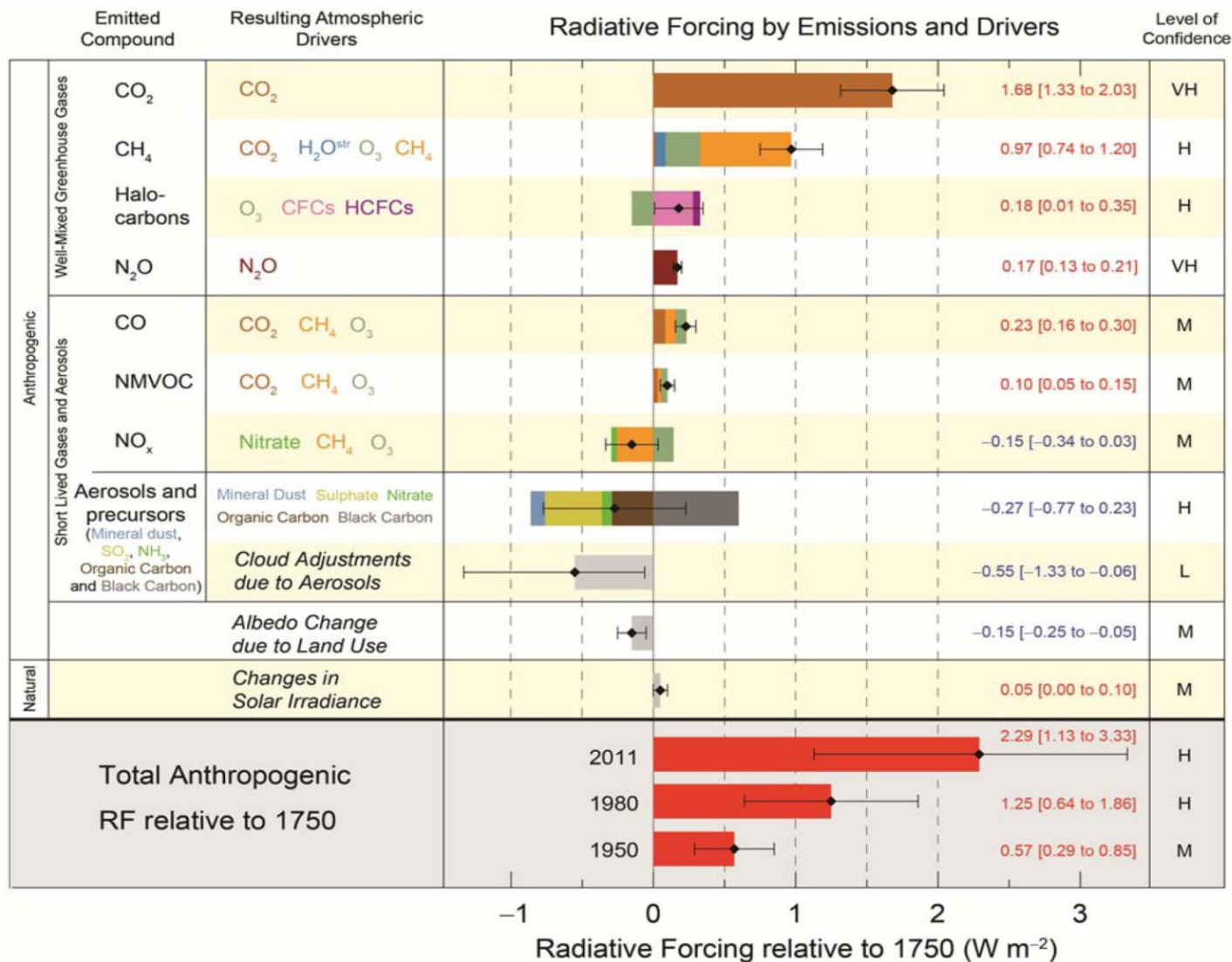
**总人为辐射强迫是正值，并导致了气候系统的能量净吸收。自1750年以来大气 $\text{CO}_2$ 浓度的增加为净辐射强迫做出了最大贡献……太阳总辐照度变化和火山强迫作用为工业化以来的净辐射强迫仅做出了很小一部分贡献。**

# 排放情景

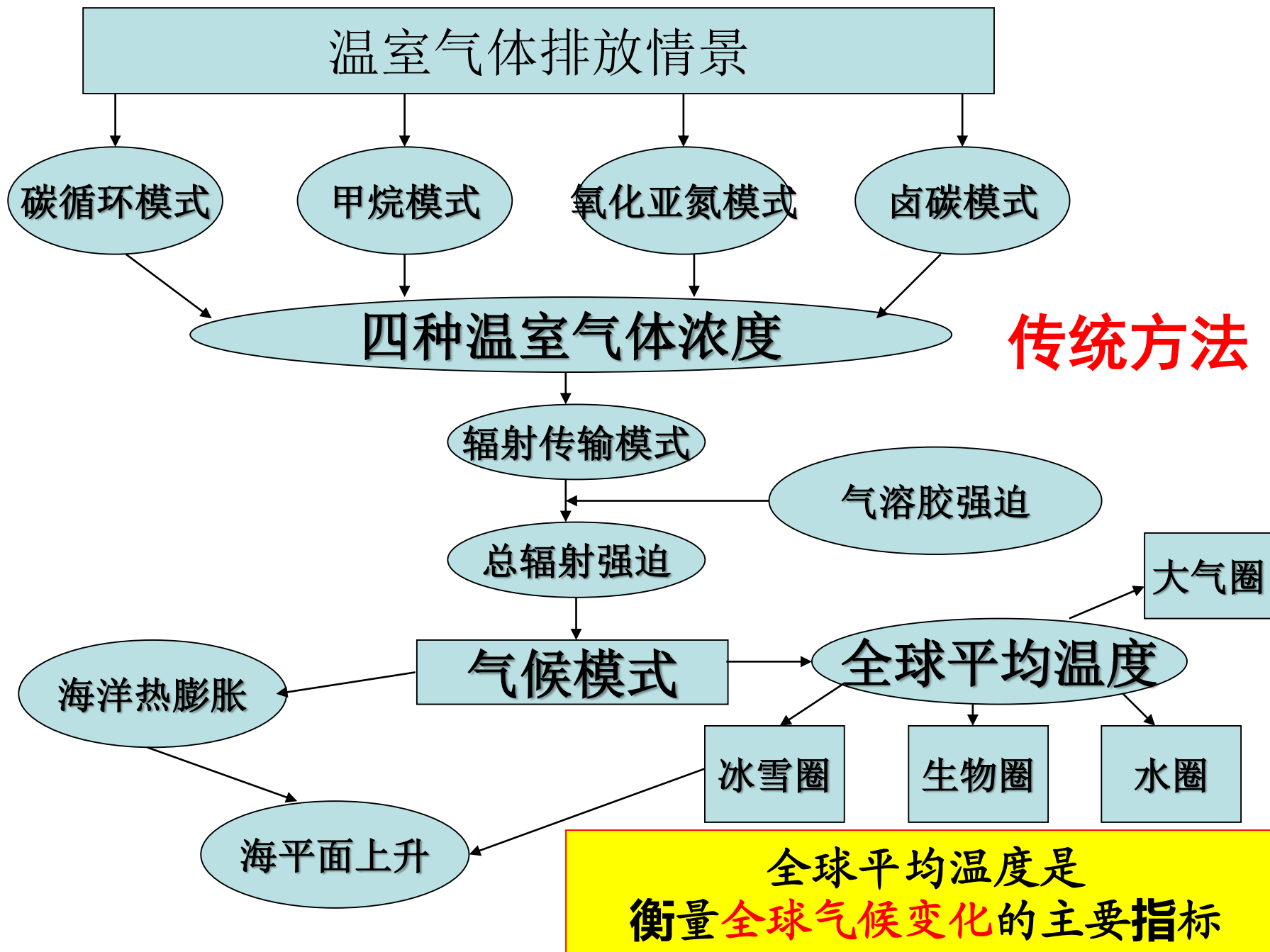
## (一) 气候变化研究的方法论

# 人类活动对气候的影响总体上是增暖

## 辐射强迫分量



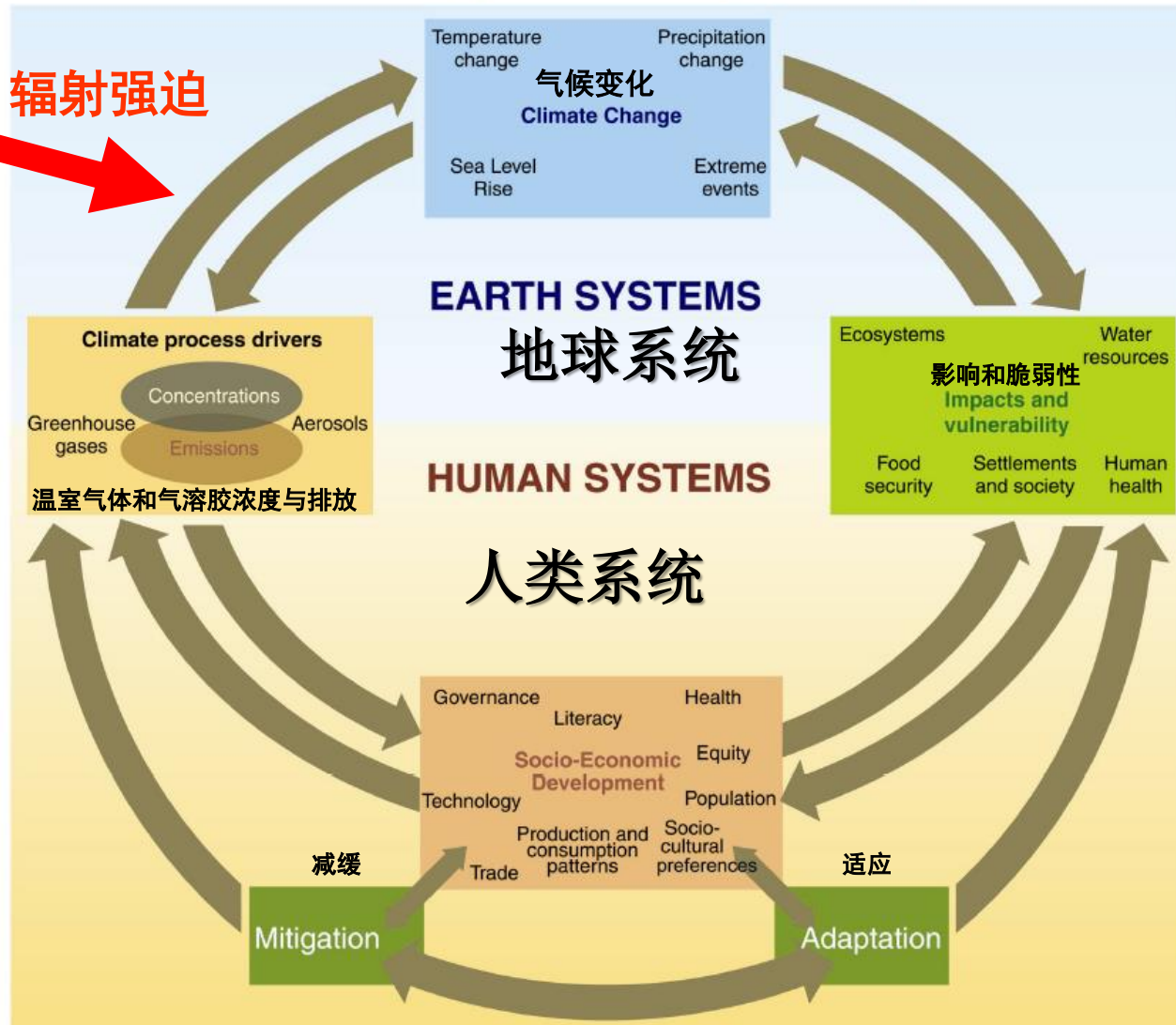
2011年总人为辐射强迫值为2.29[1.13-3.33]瓦/平方米，比AR4时的2005年值高43%，比太阳辐射强迫的0.05[0.00-0.10]瓦/平方米高两个量级。1970年以来其增加速率快于之前的各个年代



# 人类产生的气候变化驱动力影响

Schematic framework of anthropogenic climate change drivers, impacts and responses

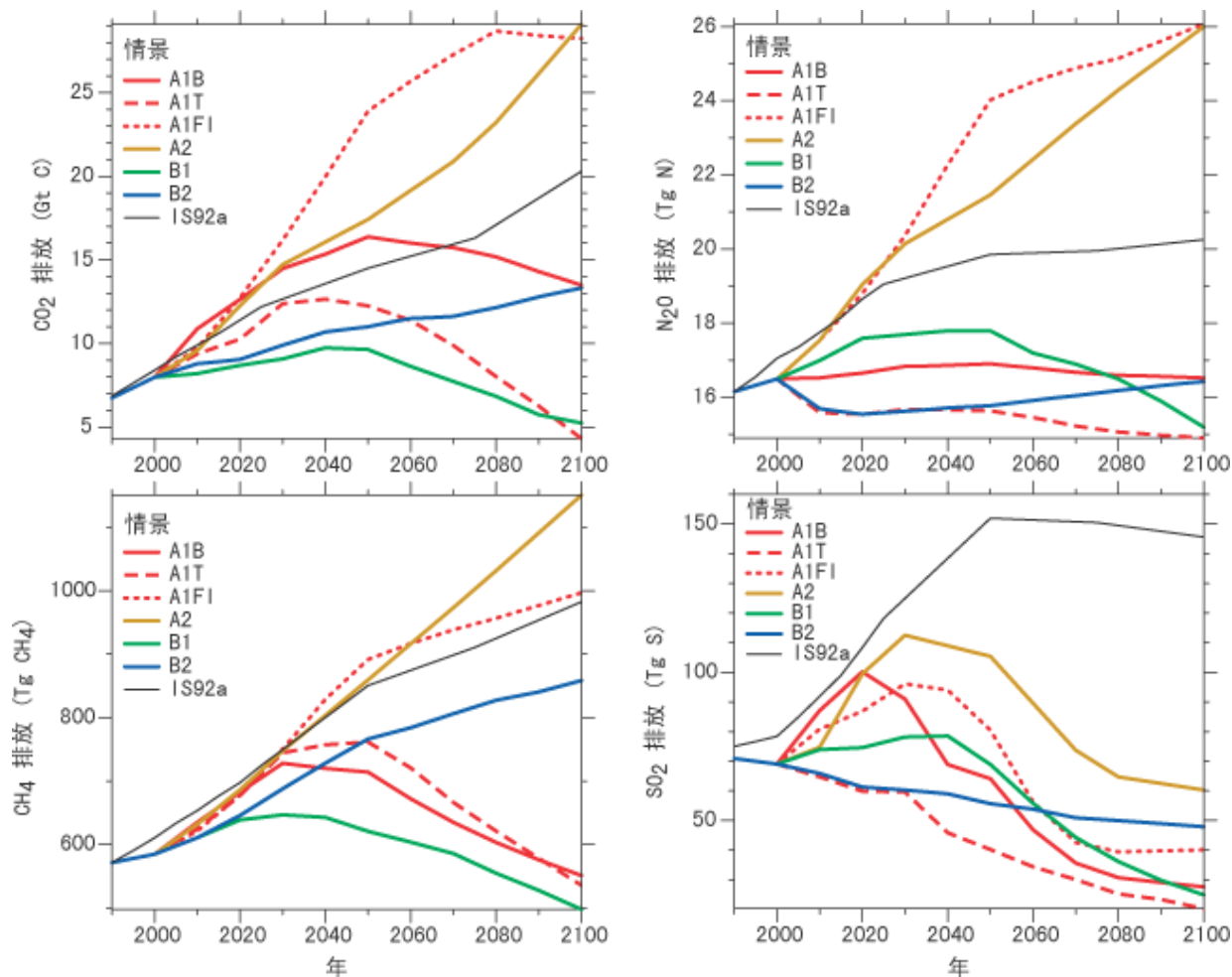
RCP情景：辐射强迫



## (二)新的典型浓度路径情景 ——RCP

## 排放情景

通常是根据一系列因子的假设得到（包括人口增长、经济发展、技术进步、环境条件、全球化、公平原则等）。到目前为止，IPCC先后发展了两套温室气体和气溶胶排放情景，即IS92和SRES排放情景。

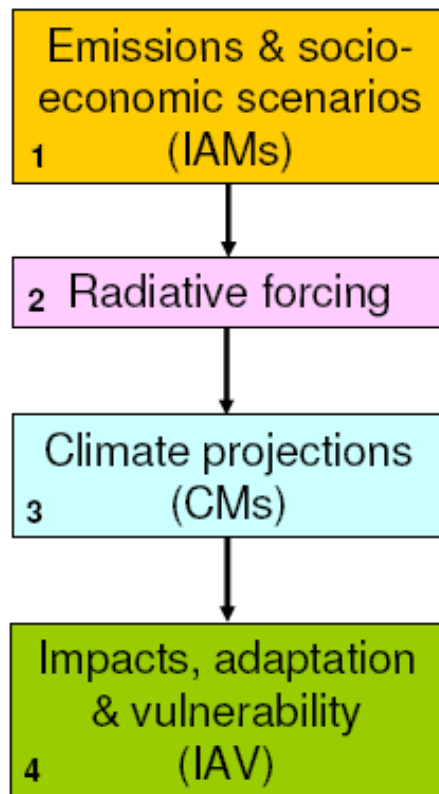


6个SRES示例性情景A1B, A2, B1 和 B2, A1FI 和 A1T中, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O和SO<sub>2</sub>的人为排放量。为了对比, 还给出了IS92a情景的结果。

# 新情景开发的背景

- 过去，**IPCC**负责协调为其评估而开发的各种情景的工作。
- 在第**25**次会议（**2006年4月26日至28日**）期间，**IPCC**决定，与其直接协调和批准各种新情景，还不如现在就将开发各种情景的工作交由研究机构来协调。**IPCC**寻求“催化”由其他机构为可能的第**5**次评估（**AR5**）及时地开发出新情景，**IPCC**将召开专家会议，以考虑科学机构为开发新情景而制订的各种计划，并确定一套“基准排放情景”（在本报告当中称为“典型浓度路径（**RCPs**）”）。
- **RCP**将用于启动气候模式模拟，以开发出适用于范围广泛的气候变化相关研究与评估的各种气候情景，同时，也要求**RCP**“与现有科学文献当中所提供的所有范围的稳定、减缓和基准排放情景”相兼容。

(a) Sequential approach



(b) Parallel approach

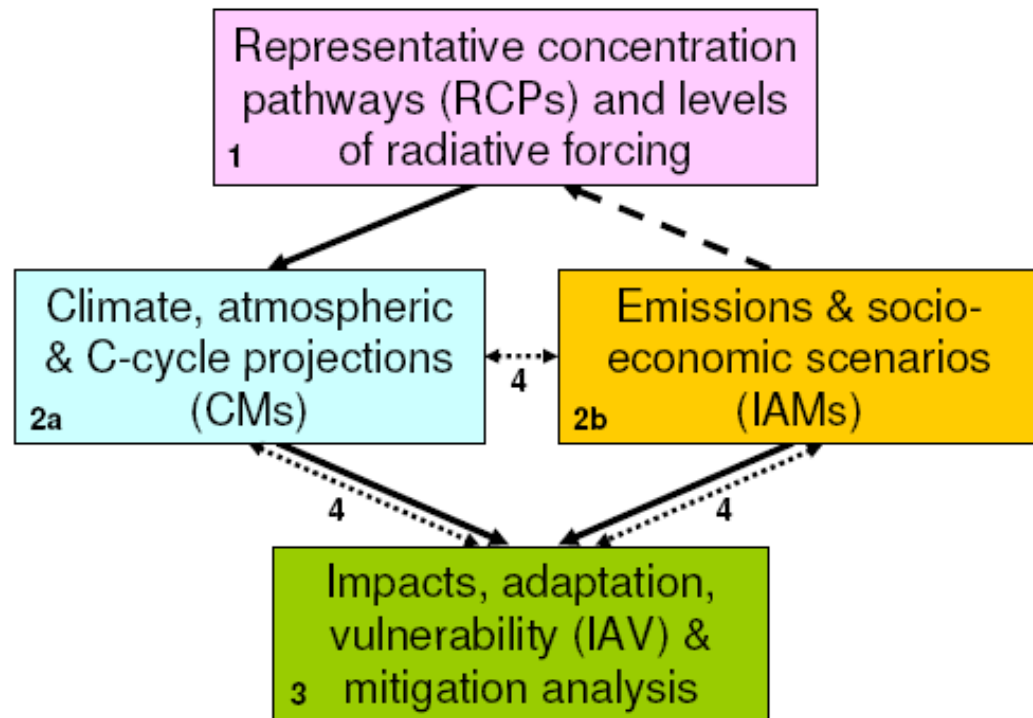


图1 全球情景开发方式：（a）以前的连续方式；（b）建议的并行方式。数字显示分析步骤（2a和2b同时进行）。箭头显示信息转换（实线）、RCP选择（虚线）、以及信息和反馈的集成（点线）。

# 相比以前的连续性方式，这种并行进程是一大进步 因为：

- 并行进程允许更好地使用**CM**机构开展的昂贵而费时的各项模拟，因为这些模拟不再需要在每次排放情景变化时都重新运行。
- 使用**RCP**的并行进程可以部分地使气候科学与社会经济学预测议题分离，因为特定的浓度轨道可以通过不同的社会经济学预测和**IAM**模式结果获得。过去，若社会经济学情景进行了修改，则模式模拟必须再次重新运行，即使这些修改很少导致对模式化的未来气候产生意味深远的（亦即，可检测的）改变。
- 新的强迫情景可用于确定使用更简单模式的现有**CM**模拟的规模，这些更简单的模式已进行过校准，以便为全面的三维气候模式提供可以进行比较的结果。这样就不再需要针对每个新的情景重新运行模式了。
- 计算时间的节省可用于生成分辨率更高的更大规模的全套情景，从而有希望对区域变化和极端事件模拟进行细化，并更确定地展现各种不确定性和/或可能性。当然，尺度细化的使用总是会产生接近于已运行的最佳气候模式可能产生的结果的近似值，而结果的近似值对某些变量而言会更好些。因此，对于气候模式的建立与运行而言，成本和时间的节省是以近似值的代价换来的。

# 预期产品

- **1. 典型浓度路径 (RCP) :** 根据已出版文献当中提供的IAM情景将推出四个RCP: 一个高路径, 至2100年其辐射强迫将达到 $>8.5 \text{ W/m}^2$ , 并在某个时间段之内继续上升; 两个中间“稳定路径”, 其辐射强迫将在2100年之后稳定于大约 $6 \text{ W/m}^2$ 和 $4.5 \text{ W/m}^2$ 之间; 一个辐射强迫峰值在2100年之前大约为 $3 \text{ W/m}^2$ 并逐渐下降的路径。这些情景包括全套GHG和气溶胶以及化学活性气体和土地利用/土地覆盖物的排放和浓度的时间路径。预期完成日期为2008年9月, 实际上是2009年4月。
- **2. 基于RCP的气候模式集合和分布的尺度化 (pattern scaling) :** 由包括大气—海洋环流模式 (AOGCM)、地球系统模式 (ESM)、中等复杂程度地球系统模式、以及区域气候模式在内的多个气候模式产生随时间变化的格点模式集合预测将为四个长期RCP准备好, 而高精度的, 近期的至2035年的预测只为 $4.5 \text{ W/m}^2$ 稳定化RCP准备。长期情景预计将以大约 $2^\circ$  的分辨率运行, 而近期情景的分辨率有可能更高 ( $0.5^\circ$  至  $1^\circ$ )。这些预测可以根据为RCP模拟的全球平均温度和由不同情景强迫的简单CM中定义的温度变化进行升降尺度调整。预计完成时间为2010年秋季。

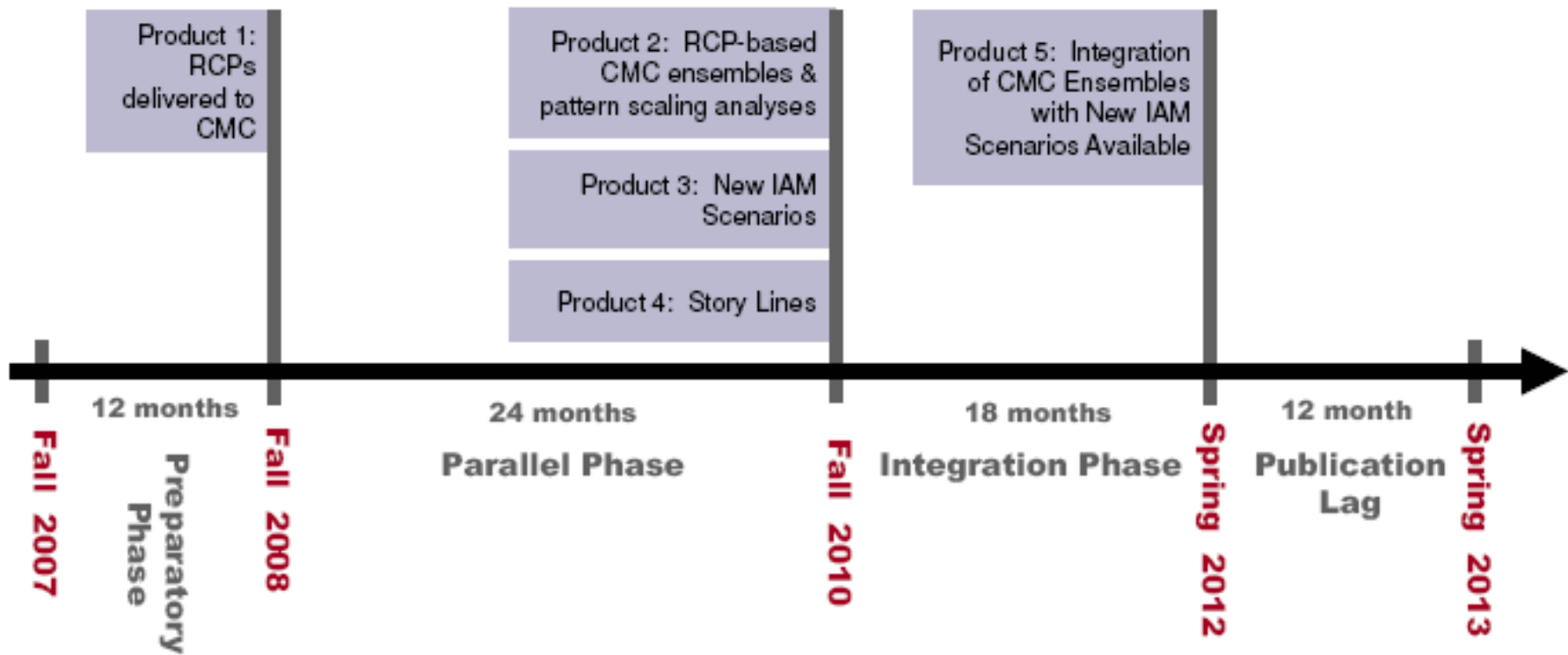


图2 主要情景开发产品时限（CMC = 气候模式机构）。

产品1：提供给CMC的RCP（准备阶段为12个月，从2007年秋至2008年秋）

产品2：基于RCP的CMC集合&尺度细化分析

产品3：新的IAM情景

产品4：叙述情节（并行阶段，24个月）

产品5：CMC情景集合与可供使用的新的IAM情景的综合（综合阶段为18年月，从2010年秋至2012年春）

发布时间为12个月，从2012年春至2013年春

*Table 1. Types of representative concentration pathways.*

| Name                 | Radiative Forcing <sup>1</sup>                              | Concentration <sup>2</sup>                                             | Pathway shape                   |
|----------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| RCP8.5               | $\leq 8.5 \text{ W/m}^2$ in 2100                            | $\leq \sim 1370 \text{ CO}_2\text{-eq}$ in 2100                        | Rising                          |
| RCP6                 | $\sim 6 \text{ W/m}^2$ at stabilization after 2100          | $\sim 850 \text{ CO}_2\text{-eq}$ (at stabilization after 2100)        | Stabilization without overshoot |
| RCP4.5               | $\sim 4.5 \text{ W/m}^2$ at stabilization after 2100        | $\sim 650 \text{ CO}_2\text{-eq}$ (at stabilization after 2100)        | Stabilization without overshoot |
| RCP3-PD <sup>3</sup> | peak at $\sim 3 \text{ W/m}^2$ before 2100 and then decline | peak at $\sim 490 \text{ CO}_2\text{-eq}$ before 2100 and then decline | Peak and decline                |

Notes:

<sup>1</sup> Approximate radiative forcing levels were defined as  $\pm 5\%$  of the stated level in  $\text{W/m}^2$ . Radiative forcing values include the net effect of all anthropogenic GHGs and other forcing agents.

<sup>2</sup> Approximate  $\text{CO}_2$  equivalent ( $\text{CO}_2\text{-eq}$ ) concentrations. The  $\text{CO}_2\text{-eq}$  concentrations were calculated with the simple formula  $\text{Conc} = 278 * \exp(\text{forcing}/5.325)$ . Note that the best estimate of  $\text{CO}_2\text{-eq}$  concentration in 2005 for long-lived GHGs only is about 455 ppm while the corresponding value including the net effect of all anthropogenic forcing agents (consistent with the table) would be 375 ppm  $\text{CO}_2\text{-eq}$ .

<sup>3</sup> PD = peak and decline.

# 气候模拟的优先级排序

- 考虑到科学和计算限制以及所有气候模式研究小组都不同程度具有的资源限制情况，一些气候模式研究小组也许只能够运行所提出的典型浓度路径的子集。因此，气候模式研究团体已经就典型浓度路径的运行分派了优先顺序。气候模式的典型浓度路径模拟运行的优先顺序是：
  - 1. 在最低值下的高和低典型浓度路径（RCP8.5和 RCP3-PD）；
  - 2. 近期分辨率的中间范围典型浓度路径（RCP4.5）；以及
  - 3. RCP6。

# 报告内容

- 关于不确定性的处理方法
- 关于RCP
- 关于人类活动的作用
- 关于阈值与长期稳定目标



# 全球气候变化的原因

```
graph TD; A[全球气候变化的原因] --> B[自然原因]; A --> C[人为原因]; B --> D[海洋]; B --> E[陆地]; B --> F[火山活动]; B --> G[太阳活动]; B --> H[自然变率]; C --> I[温室气体]; C --> J[气溶胶]; C --> K[土地利用]; C --> L[城市化];
```

自然原因

海洋

陆地

火山活动

太阳活动

自然变率

人为原因

温室气体

气溶胶

土地利用

城市化

# 全球碳循环示意图 (以2007年为例)

1吨碳=3.7吨二氧化碳

大气

每年排放  
270亿多吨二氧化碳

自1750年工业革命开始以来，人类主要通过消耗化石燃料已经累积向大气排放CO<sub>2</sub>相当于2750亿吨碳。

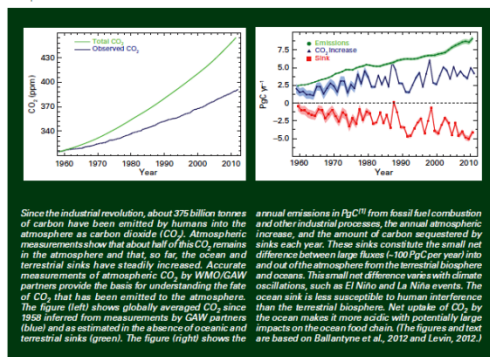


排放到大气中的CO<sub>2</sub>，大约一半在30年内被清除，30%在几百年内被清除，其余的20%通常将在大气中留存数千年。

# 2011年全球温室气体监测



No. 8 | 19 November 2012



## Executive summary

The latest analysis of observations from the WMO Global Atmosphere Watch (GAW) Programme shows that the globally averaged mole fractions of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) reached new highs in 2011, with CO<sub>2</sub> at 390.9 ± 0.1 ppm<sup>0</sup>, CH<sub>4</sub> at 1813 ± 2 ppm<sup>0</sup> and N<sub>2</sub>O at 324.2 ± 0.1 ppb. These values constitute 140%, 259% and 120% of pre-industrial (before 1750) levels, respectively. The atmospheric increase of CO<sub>2</sub> from 2010 to 2011 is similar to the average growth rate over the past 10 years. However, for N<sub>2</sub>O the increase from 2010 to 2011 is greater than both the one observed from 2009 to 2010 and the average growth rate over the past 10 years. Atmospheric CH<sub>4</sub> continued to increase at a similar rate as observed over the last 3 years. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index shows that from 1990 to 2011 radiative forcing by long-lived greenhouse gases increased by 30%, with CO<sub>2</sub> accounting for about 80% of this increase.

## Overview

This eighth WMO/GAW Annual Bulletin reports on the atmospheric burdens and rates of change of the most important long-lived greenhouse gases (LLGHGs) – carbon dioxide, methane, nitrous oxide, CFC-12 and CFC-11 – and

WMO-GAW全球温室气体监测网提供的关键温室气体2011年12个月平均全球含量和相对于2010和1750年的全球含量的变化。

|                   | CO <sub>2</sub>                | CH <sub>4</sub>             | N <sub>2</sub> O               |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 2011全球含量          | 390.9 ± 0.1 <sup>[5]</sup> ppm | 1813 ± 2 <sup>[5]</sup> ppb | 324.2 ± 0.1 <sup>[5]</sup> ppb |
| 2011年相对于1750年*的含量 | 140%                           | 259%                        | 120%                           |
| 2010-11年绝对增量      | 2.0 ppm                        | 5 ppb                       | 1.0 ppb                        |
| 2010-11年相对增量      | 0.51%                          | 0.28%                       | 0.31%                          |
| 过去十年平均年绝对增量       | 2.0 ppm/yr                     | 3.2 ppb/yr                  | 0.78 ppb/yr                    |

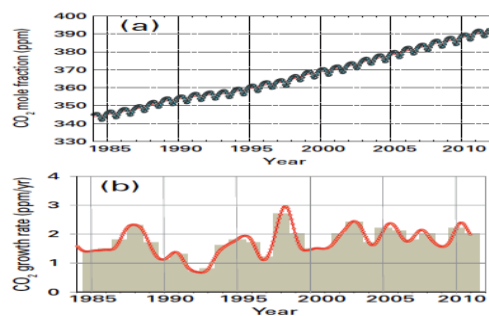


图3. 从1984年至2011年, 全球平均CO<sub>2</sub>摩尔分数 (a) 及其1984-2011年的增长率 (b)。 (b) 中的条形柱为年平均增长率。

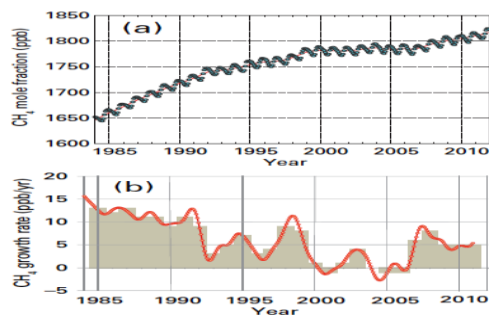


图4. 从1984年至2011年, 按全球平均的甲烷摩尔分数 (a) 及其增长率 (b)。 (b) 中的条形柱表示年平均增长率。

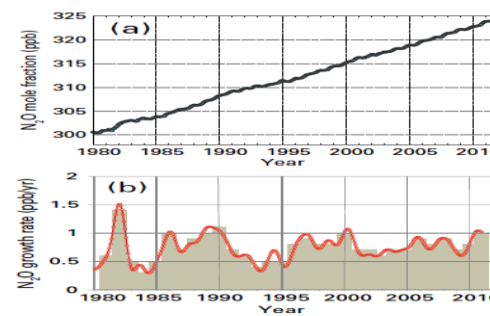
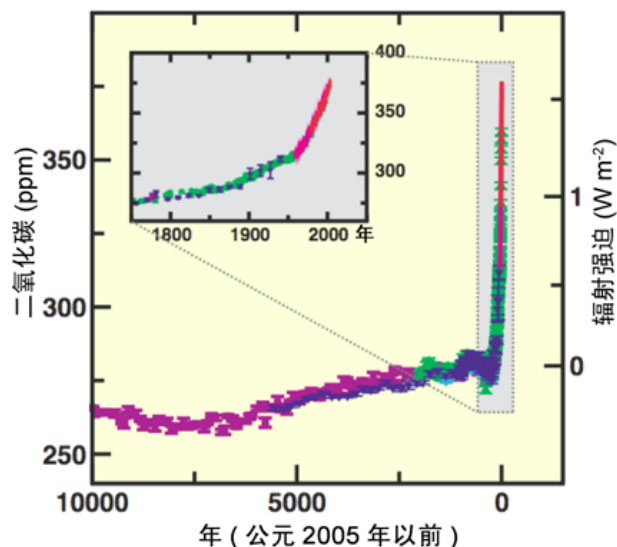


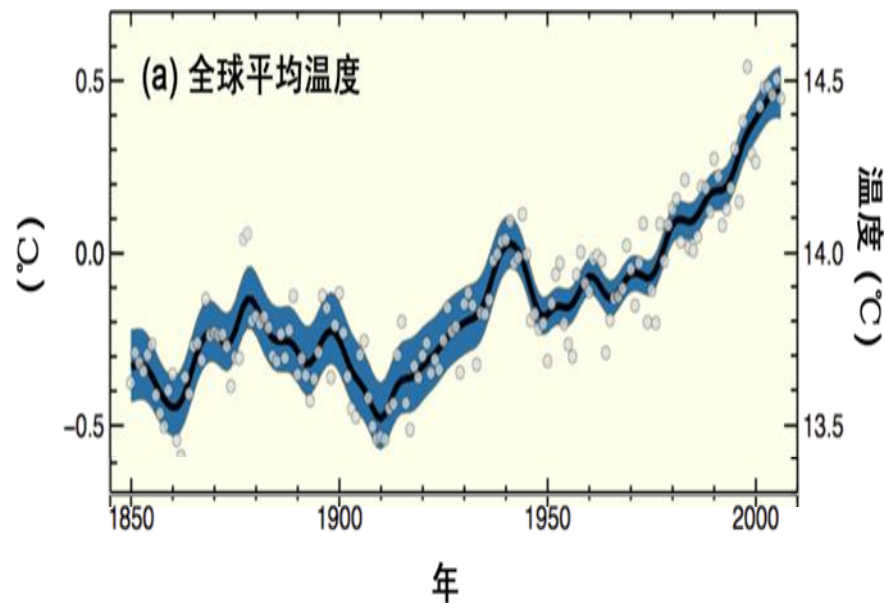
图5. 1980至2011年全球平均N<sub>2</sub>O摩尔分数 (a) 及其增长率 (b)。 (b) 中的条形柱为年平均增长率。

# 全球大气温室气体浓度变化vs地表温度变化

二氧化碳389ppm



↔  
温室效应



2010年二氧化碳浓度超过近65万年自然变化(180 – 280ppm), 其近十年增长速率为1.9ppm/年, 高于连续直接观测以来的平均1.4ppm/年。

IPCC 第四次评估报告 (2007)

# 温室效应

- 人类活动通过温室气体影响地球气候的研究已有近200年的历史。从观测上能够清楚地检测人类产生的温室气体的影响是最近20年的事。它作为现代气候变化的一个主要驱动力是科学上的一个重要发现。
- 二氧化碳等温室气体对地球表面和低层大气产生升温作用的温室效应理论，能够很好地解释地球、火星等行星大气成分与行星表面温度之间的关系，也为科学试验所验证。
- 根据这个理论可以解释近百年和未来气候演变的许多重要特征，而仅由自然变率是无法说明的。因而人类活动是影响全球气候变化的主要因素之一。

# IPCC历次评估报告对人类活动引起的 全球变暖可能性的结论不断增强

**第一次评估报告**确信，人类活动产生的各种排放正在使大气中的温室气体浓度显著增加，这将增强温室效应使地表升温。

**第二次评估报告**指出，当前出现的全球变暖“不太可能全部是自然界造成的”，人类活动已经对全球气候系统造成了“可以辨别”的影响。

**第三次评估报告**强调，近50年观测到的大部分增暖可能归因于人类活动造成的温室气体浓度上升（66%以上可能性）。

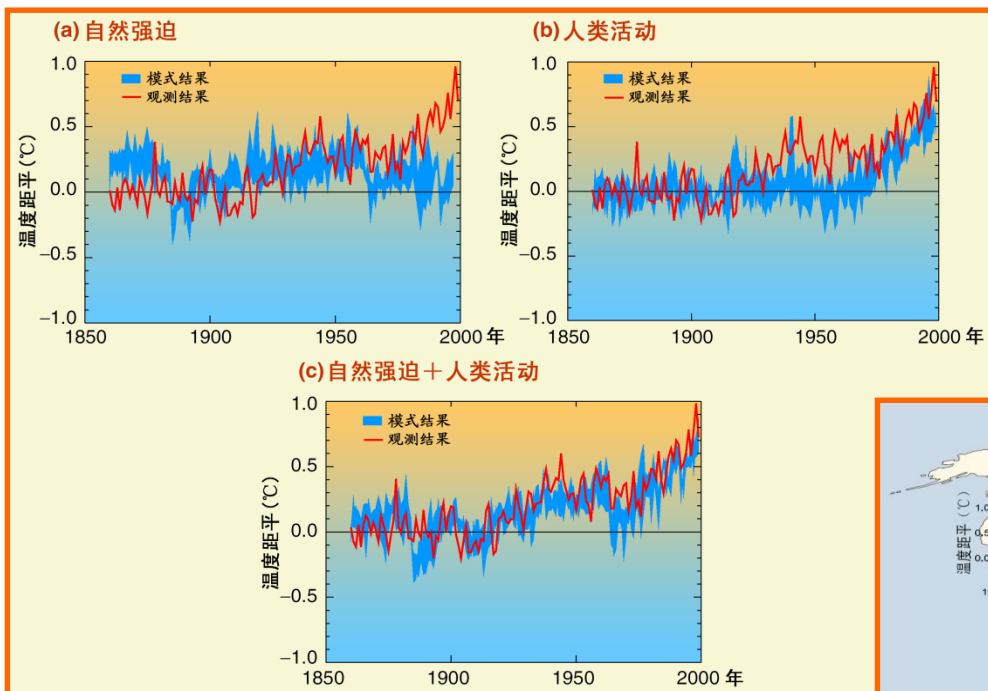
**第四次评估报告**明确指出，全球变暖是不争的事实，近半个世纪以来的气候变化“很可能”是人类活动所致（90%以上可能性）。

**第五次评估报告**进一步指示，观测到的1951–2010年全球地表平均温度的上升，有一半以上是由人为温室气体浓度增加和其他人类强迫共同导致的，这一结论是非常可能的（具有95%以上的可能性）。

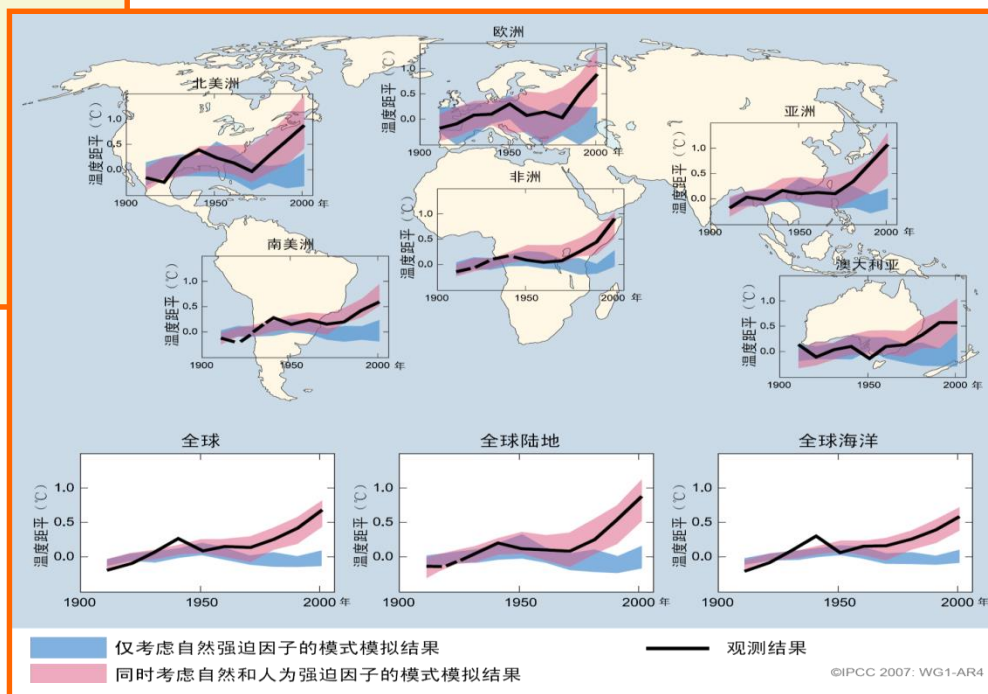
# 人类活动很可能是近50年气候变化的主要原因

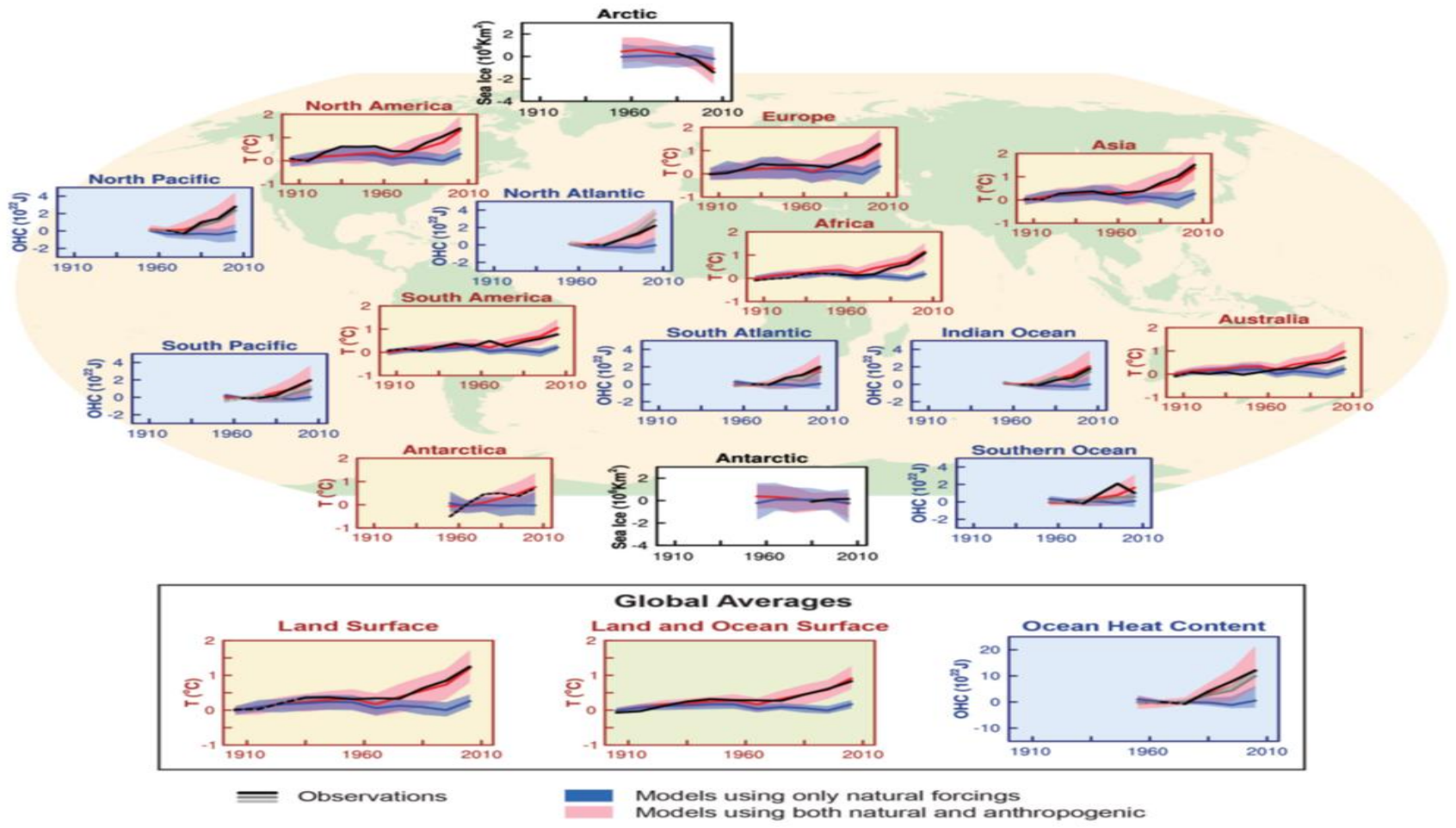
观测到的20世纪中叶以来大部分的全球平均温度的升高，很可能是由于观测到的人为温室气体浓度的增加所致。

IPCC 第四次评估报告 (2007)



IPCC 第三次评估报告 (2001)





观测和模拟的气候变化对比，基于大气、冰冻圈和海洋的三个大尺度指标时间序列，这三项指标分别为陆表气温（黄色填充背景）、北极和南极海冰（白色填充背景）、主要海域的海洋热吸收（蓝色填充背景）。同时，也给出了全球平均变化。所有时间序列都为年代平均，在该年代的中央有标记。在温度图中，如果检测区域的空间覆盖范围小于50%，则观测值用虚线表示。海洋热量和海冰图中实线表示数据覆盖范围较好，质量较高，而虚线表示数据覆盖仅为充足程度，不确定性较高。模式结果为CMIP5多模式均值和集合区间，阴影带表示5-95%的信度区间。<sup>13</sup>

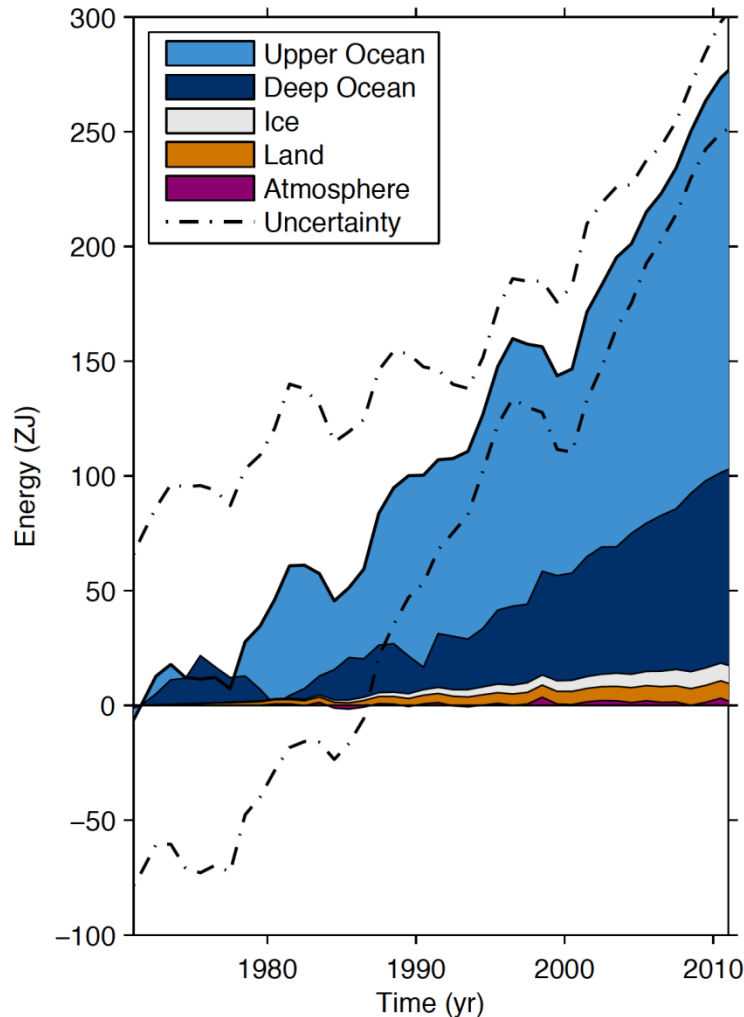
<sup>13</sup> 对于表面温度，蓝色阴影带为基于17个仅使用自然强迫的气候模式的52次模拟，而红色阴影带为基于使用自然和人为强迫的44个气候模式的147次模拟。在海洋热量图中，分别使用了10个模式的10次模拟和13个模式的13次模拟。在海冰范围图中，考虑了一些模式的子集，这些模式模拟了观测到的1981-2005年海冰气候学的20%以内海冰范围的均值和季节循环（北极：红色和蓝色阴影都为11个模式的24次模拟，南极：红色和蓝色阴影都为6个模式的21次模拟）

- 自20世纪中叶以来，人为影响可能对**除南极以外的所有大陆地表温度的升高**都做出了实质贡献；
- 人为强迫很有可能对自20世纪70年代以来观测到的**全球海洋上层热含量**（700米以上）做出了实质性贡献；
- 人类活动可能影响了自1960年以来的**全球水循环**及其类型；
- 人为强迫很可能已对1979年以来**北极海冰的损耗**做出了贡献；
- 人类影响可能对20世纪60年代以来的**冰川退缩**和1990年以来格陵兰岛冰盖表面冰量的消失程度加大做出了贡献；
- 自1970年以来，观测到的**北半球积雪**的减少有可能有人为成分；
- 热膨胀、冰川冰量损耗以及格陵兰岛冰盖表面冰量损耗是人类活动对海平面的三个主要影响因素（高信度），基于此，自20世纪70年代以来的人为活动很可能对**全球平均海平面上升**作出了实质性贡献

■ 1986至2008年对太阳总辐照度（TSI）的直接卫星测量值表明太阳总辐照度的变化未对1986至2008年间的全球变暖作出贡献（高信度）。具有中等信度的是，太阳变率的11年周期通过其它一些放大机制影响了某些地区的年代际气候变化（中等信度）；

■ 宇宙射线加强了自由对流层中新粒子的形成，但是对云凝结核的聚集影响很弱，所以未对一个太阳周期乃至整个上世纪产生任何可检测出的气候影响（中等证据，高一致性）。未发现宇宙射线和云量之间存在确凿的关系。

# Change in Global Energy Inventory 1971 - 2010



- ◆ Ocean warming : 93% of the increase in energy in Earth's climate system (*high confidence*)
- ◆ 3% go into warming the land,
- ◆ 1% into warming the atmosphere
- ◆ 3% into melting of ice (glaciers, ice sheets)

# 报告内容

- 关于不确定性的处理方法
- 关于RCP
- 关于人类活动的作用
- 关于阈值与长期稳定目标



# 《联合国气候变化框架公约》的主要内容

## 1992年世界首脑会议签署

**最终目标：**稳定温室气体浓度水平，以使生态系统能自然适应气候变化、确保粮食生产免受威胁并使经济可持续发展。

**基本原则：**共同但有区别的责任（历史上和目前温室气体排放主要源自发达国家，发展中国家人均温室气体排放仍相对较低）。

目前已有194个国家和地区一体化组织成为缔约方。

# 1、气候变化阈值提出的原因

公约第二条指出：公约以及任何相关的法律条文的最**最终**目的是把大气中温室气体的**浓度**稳定在一定水平上，以**防止**对气候系统产生**危险的人类干扰**，使生态系统有**足够**的时间自然地**适应**气候变化，确保粮食生产不受**威胁**，经济得到可持续发展。

因而需要确定：**什么是危险的人类干扰**？这涉及**价值判断**问题；但科学能够为此提供**信息化依据**，即主要提出**关键脆弱性判据**。因而**关键脆弱性**是确定气候变化**阈值**的前提和条件。

## 2、关键脆弱性的判据与阈值

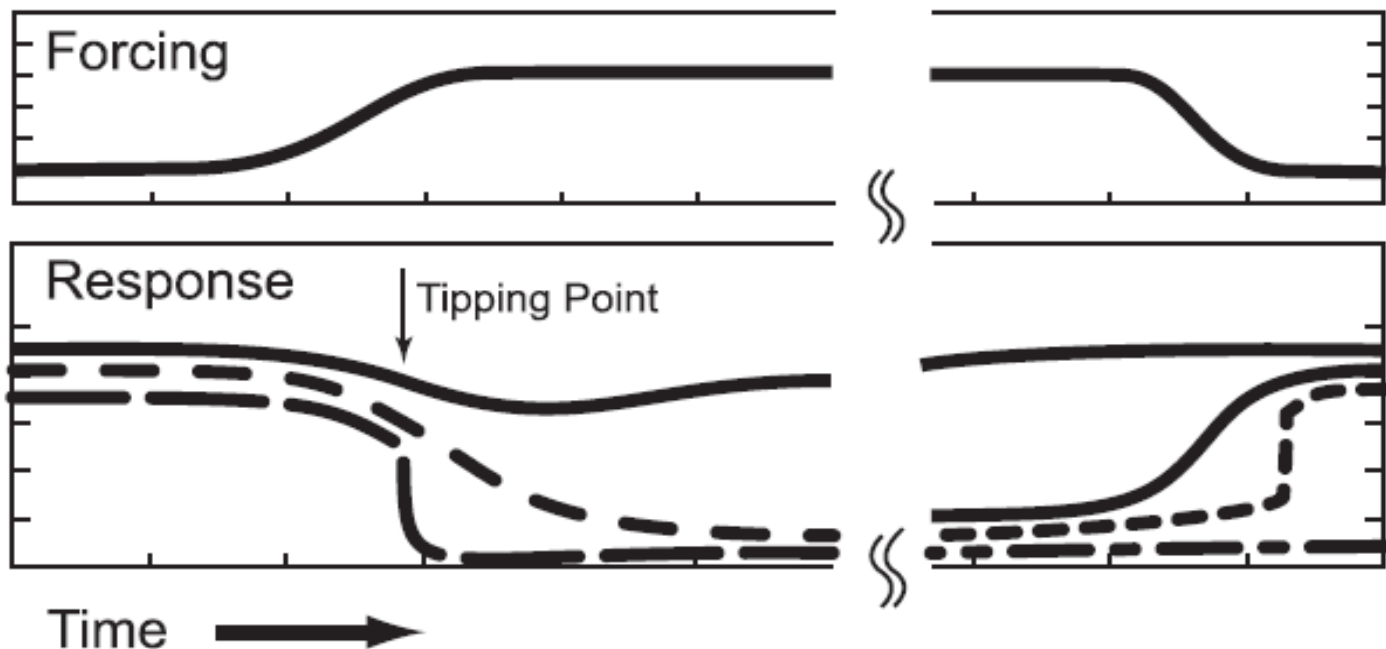
**关键脆弱性与许多气候敏感系统有关。包括粮食供应，基础设施，健康，水资源，沿岸系统，生态系统，全球地球化学循环，冰盖以及海洋和大气环流模态。判据是：**

- 影响的量值
- 影响的时间
- 影响的持续性和可逆性
- 影响与脆弱性发生的可能性与估算的信度
- 适应的潜力
- 影响和脆弱性的分布状况
- 处于风险的系统的重要性

上述判断是考虑了5个“**关切原因**”而得到的：

- (1) **独特和受威胁系统的风险**
- (2) **极端天气事件的风险**
- (3) **影响和脆弱性分布**
- (4) **总体影响**
- (5) **大尺度奇异点（如翻转点、突变点）的风险**

# 气候变量对强迫的各种反应和气候系统的惯性



气候变量对强迫的各种响应的概略示意图。上图表明强迫达到一新的稳定水平（左部），而后通过很长时间又回到原始水平（右部）。下图表明，气候变量的响应能够是平滑的（实线），或通过一分岔点向结构不同的状态过渡（虚线）。过渡可能是快速的（突变，长虚线）或是逐渐的（短虚线），这决定于气候系统的内部动力学而不是强迫。长期行为也显示不同的可能性。当强迫回到其原来值时变化可能是不可逆的，这时系统处于不同的稳定态（虚实线），或是可逆的（实线，点线），这时过渡又可以是逐渐的或突然的。一个明显的例子是北大西洋温盐环流（MOC）对辐射强迫逐渐变化的响应。（IPCC，2007）

### 3、2°C 阈值提出的过程

**欧盟委员会于1996年第一次提出2℃目标，力主要把大气中二氧化碳浓度限定在550ppm以下，并主张把它作为限排和减排的指导目标**

国际科学界在温室气体浓度稳定水平方面的研究是从1994年开始的，对温室气体浓度稳定水平的认识主要依赖于气候模式在特定的减缓路径或情景下对未来气候变化做出的预估。不同的研究团体使用的稳定浓度情景不尽相同。如：1994年由Enting等与Houghton等首先提出了一种排放情景，可使二氧化碳浓度最终稳定在350ppm、450ppm、550ppm、650ppm和750ppm。但这种排放情景在经济上是不现实的，因为该廓线要求在无气候政策干预的基线情景下，从1990年开始就要减少二氧化碳的排放量，这会使得采取对策的时间很短。因此，Wigley在1996年提出了另外一种综合考虑了全球经济系统、人类排放需求与对全球平均温度和海平面上升的影响等因素的WRE廓线，这种廓线不需要立即减排，在1990年之后若干年才考虑开始减排，最终二氧化碳浓度稳定在350ppm、450ppm、550ppm、650ppm、750ppm。随后在2000年，2002年，2007年多个研究团体利用不同的综合评估模式，分析了二氧化碳当量浓度稳定在650ppm，550ppm和450ppm水平时对未来温度的影响，但没有提出2℃阈值问题。

1995年发布的IPCC第二次评估**报告**整合了1000多个科学家的研究成果，提出**如果温度较工业化革命前增加 $2^{\circ}\text{C}$ ，气候变化产生严重影响的风险将显著增加**。因此**欧盟委员会**于1996年6月25日在**卢森堡**的第1939次会议上第一次提出了 $2^{\circ}\text{C}$ 目标，“**欧盟委员会**认为全球平均温度与工业化前的水平相比**不应该**超过 $2^{\circ}\text{C}$ ，因此**二氧化碳的浓度**水平低于550ppm**应该**成为全球温室气体限排和减排的**指导目标**。”

在此之后的科学研究，**包括**2001年发布的IPCC第三次评估**报告**，进一步支持了将全球增温限制在 $2^{\circ}\text{C}$ 以内这一论点。对于生态系统和水资源来说，温度较工业化前增加 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 就会导致明显的影响。但一旦全球增温超过 $2^{\circ}\text{C}$ ，预计气候对粮食生产、水资源供给和生态系统的影响将显著增加，一些不可逆的灾难性的事件将出现。

2004年12月20日，**欧盟**在布鲁塞尔召开的第2632次会议上，**欧盟委员会**采取了如下结论确定了气候变化中、长期战略和目标：“**请注意，在将温度升高 $2^{\circ}\text{C}$ 转化成温室气体浓度和排放路径的过程中存在着科学不确定性；.....然而，近期在IPCC下的科学研究和工作揭示出超过 $450\sim 550\text{ppm}$ 的二氧化碳当量浓度水平与 $2^{\circ}\text{C}$ 的长期目标具有一致性.....，为了尽可能地将全球增温限制在 $2^{\circ}\text{C}$ 以内，稳定的温室气体浓度水平必须低于 $550\text{ppm}$ 的二氧化碳当量水平；要保持这一长期目标能够达到，需要全球温室气体排放在20年内达到峰值，按照至少15%持续减少，或许到2050年比1990年的水平减少50%”。**

在2007年发布的IPCC第四次评估**报告第二工作组报告**中，在对气候变化已经产生的经济、社会和环境**影响**进行科学评估后，将气候变化的未来影响直接与温度升高**密切联系**。**报告中指出：**

- **若**全球平均温度增幅超过 $1.5 \sim 2.5^{\circ}\text{C}$ ，目前评估到的约20% ~ 30%的物种有可能会**灭绝**；
- **若**全球地表气温增暖 $1 \sim 3^{\circ}\text{C}$ ，局地**粮食**生产潜力预计会增加，**但**如果超过这一范围，则预计会降低；
- 当海表温度升高约 $1 \sim 3^{\circ}\text{C}$ ，预计会导致更为频繁的**珊瑚白化**事件和大范围死亡等；
- 如果温度升高超过约 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ ，很可能所有区域都将会减少**净效益**增加**净损失**；
- 如果变暖 $4^{\circ}\text{C}$ ，全球平均损失可达GDP的1 ~ 5%。

同时，给出如果未来升温达到 $2^{\circ}\text{C}$ ，温室气体的排放在450 ~ 550ppm之间，其概率在60 ~ 90%。**但没有明确指出 $2^{\circ}\text{C}$ 是个阈值。**

近年来，国际社会高度关注“2℃阈值”问题，以**欧洲为首**的一些国家或国际组织，利用各种场合，采用多种方式，宣传“2℃阈值”概念，强调立即采取减排措施的紧迫性

在《应对气候挑战》发表后，英国首相**布莱尔**随即于在**瑞士达沃斯**召开的世界经济论坛上发表了演讲，坦言要利用英国担任八国集团和欧盟轮值国主席的机会，推进全球温室气体减排、开发和应用实用能源技术、与经济迅速增长的发展中国家建立减排合作伙伴关系等行动计划。当时，气候变化已列为当年7月在**苏格兰鹰谷**召开的G8峰会的两个主要议题之一（另一议题是援助非洲）。

2005年元月30日，**世界自然基金会**发表了题为“2℃太高：北极危险气候变化的证据和影响”的专项研究报告，预测了全球2℃升温背景下北极气候变化会更为剧烈，北极的生态系统和物种会遭受巨大的破坏，海冰会加速融减，并对全球产生着不良的后果。提出全球升温平均必须控制在2℃以内，与《应对气候挑战》相呼应。

不难看出，英国和一些国际组织当时为了推行2℃升温阈值和400ppm温室气体危险水平这一目标，开展了一系列紧锣密鼓的活动，旨在新一轮国际气候变化谈判中争取世界各国都一致加入到减少温室气体排放的行动中，其中包括美国、澳大利亚以及一些发展中国家。

然而，随后2005年7月在**苏格兰鹰谷**举行的G8峰会上，因美国的反对，缓解气候变化的全球一致减排，未能有任何的实质性进展，“2℃阈值”只好暂时搁置。**布莱尔政府**由此而受到国内人士的普遍批评和责难。2006年在**俄罗斯**举行的G8峰会上，气候变化问题竟然只字未提。

然而在全球度过了2006年酷热难耐的夏季与2006/2007的暖冬之后，特别是有关人类对气候系统变暖影响的科学认知的不断加深，缓解气候变暖国际行动被再次成为了国际政治的重大话题。2006年10月30日英国政府正式发布了由前世界银行首席经济学家、现任英国首相经济顾问的尼古拉斯·斯特恩爵士领导编写的《**斯特恩回顾：气候变化经济学**》评估报告，受到国际社会的高度关注，也引起了广泛的反响。这份报告对全球变暖可能造成的经济影响进行了全面分析，认为如果在未来几十年内不能及时采取行动，那么全球变暖带来的经济和社会危机，将堪比世界性大战以及20世纪前半叶曾经出现过的经济大萧条；届时，全球将损失5%~20%的GDP。如果全球立即采取有力的减排行动，将大气中温室气体浓度稳定在500~550ppm，其成本可以控制在每年全球GDP的1%左右。

2007年1月24日至28日在瑞士东部小镇达沃斯举行的一年一度的**世界经济论坛**，担任今年G8和欧盟轮值国主席的德国总理默克尔在论坛开幕式上明确表示：气候变化和能源安全问题，是G8以及欧盟面临的最重要的挑战。英国首相布莱尔在发表演讲时明确表示：英国将在2050年前削减60%的温室气体排放量；并呼吁国际社会采取进一步的行动。德国总理默克尔在演讲中呼吁：拥有27个成员国的欧盟在2020年前削减30%的温室气体排放量。

2007年2月15~16日在美国华盛顿召开了第二届**G8+5气候变化议员论坛**，会上达成了如下共识：1) 发达国家强烈**希望把大气二氧化碳浓度**稳定在450~550ppm，决心很大，态度很坚决；2) 认为**市场机制可以促进商人和技术开发商开发低碳技术**，如果有利可图，**市场交易**一定会**促进低碳技术的发展**；3) 2012年以后，不仅是发达国家，发展中的大国也应该**承担减排义务**。**浓度的长期目标**。

2009年7月8日，在意大利召开的**G8峰会**发表了应对全球变暖**首脑宣言**，提出了到2050年全球温室气体至少减排50%、发达国家排放总量减少80%以上的长期目标，并从G8峰会的**角度**，**首次认同了全球升温幅度与工业化前相比不应超过2°C的“科学见解”**。

## 4、2°C阈值与长期减排目标

从温室气体减排的角度，即需要**减排多**  
**少**才能**避免**潜在的**关键脆弱性**或**危险**的人类  
干扰气候系统。这**涉及**减排量、时间、**路径**，  
气候**敏感性**与海洋与陆地的**碳循环**等一系列  
问题。因而确定**阈值**的问题**首先**是一个十分  
**复杂**的科学问题。

在从科学上确定**阈值**之后，如何**转**变成  
减排目标与行动**又涉及**到社会，经济，**道德**  
等一系统问题，即**所谓**价值判断问题。目前  
主要有**两种**方法：

# 推导过程

影响与脆弱性

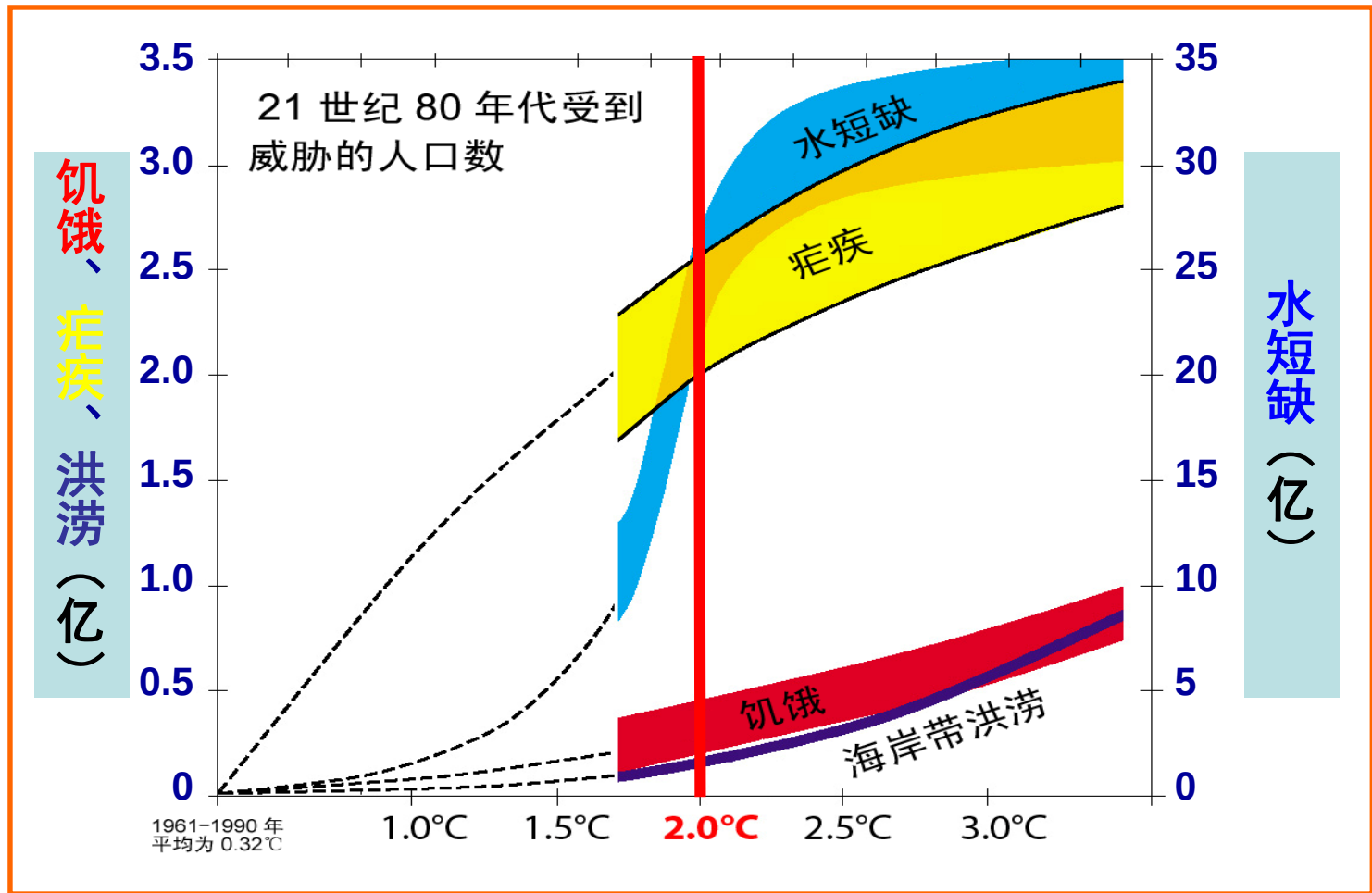
——→ 2°C 阈值

——→ 温室气体**浓度**稳定水平：450ppmCO<sub>2</sub>当量

——→ 排放**峰值**年：2015 ~ 2020年

——→ 2050年**减排量**：>50%（1990年水平）

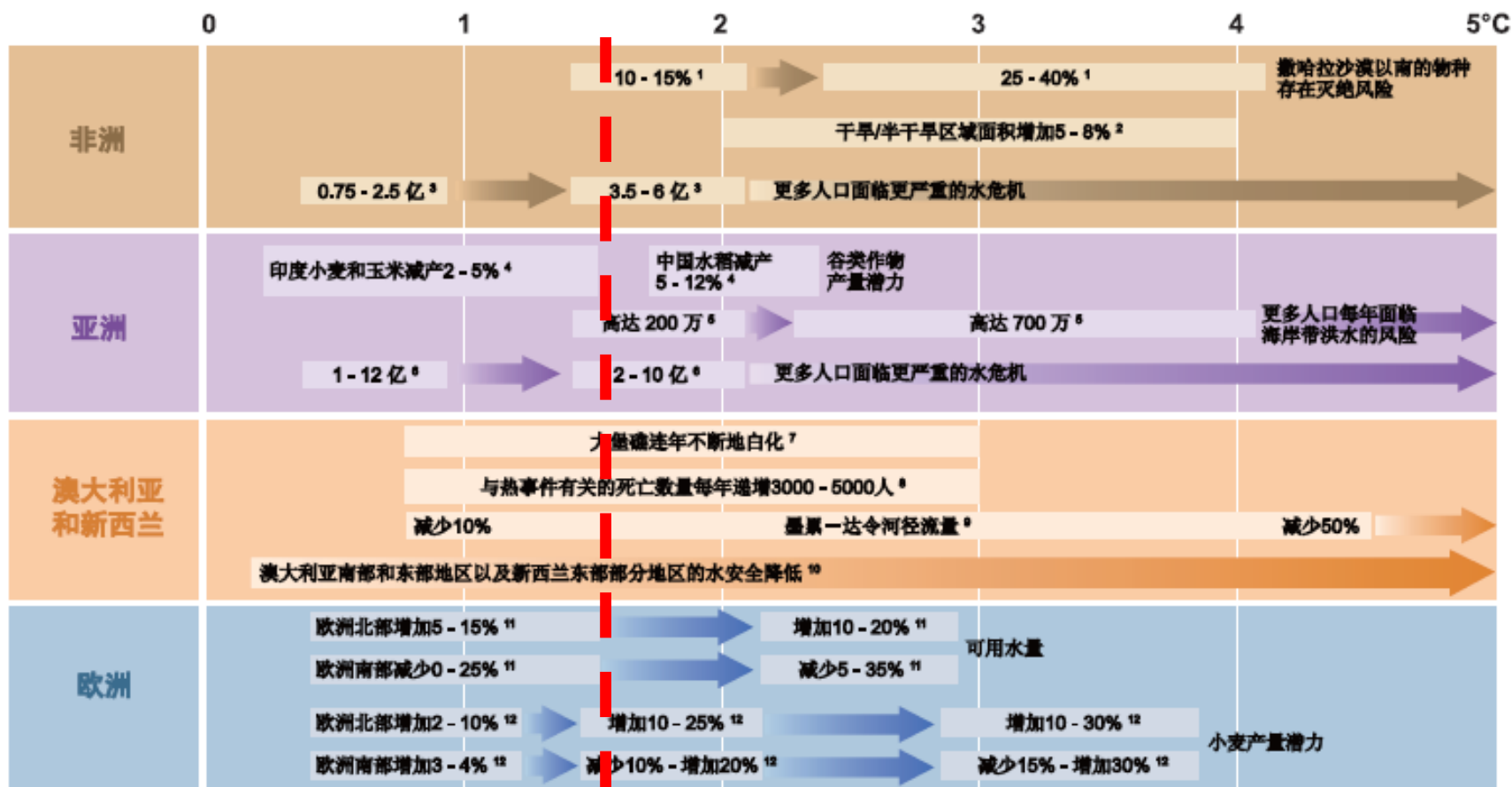
# 温度超过2℃，全球遭遇沿海洪涝、饥饿、疟疾、水短缺的人数将大大增加。



# 未来气候变化对不同部门的影响

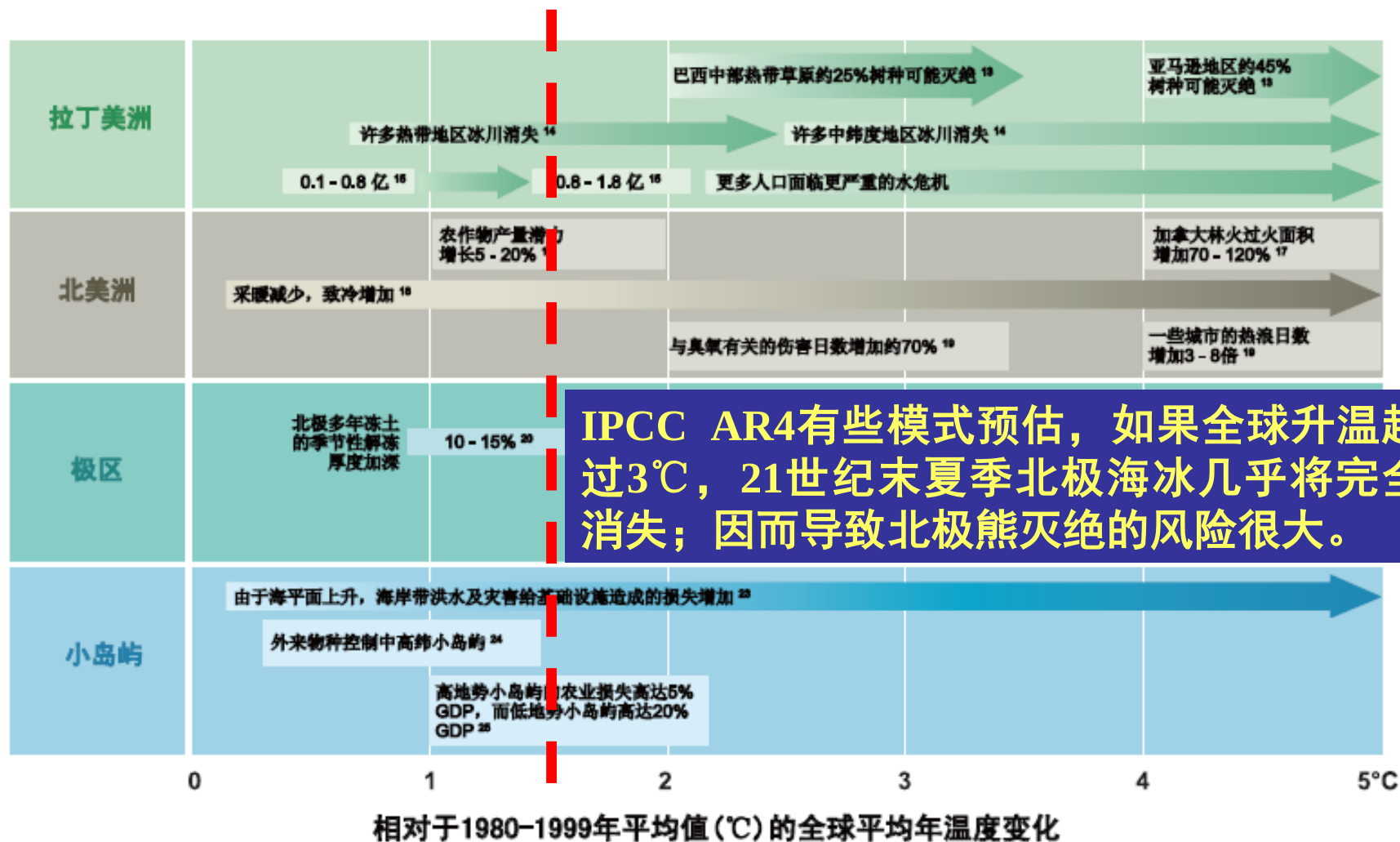


相对于1980-1999年平均值(°C)的全球平均年温度变化



比工业化前升温2°C

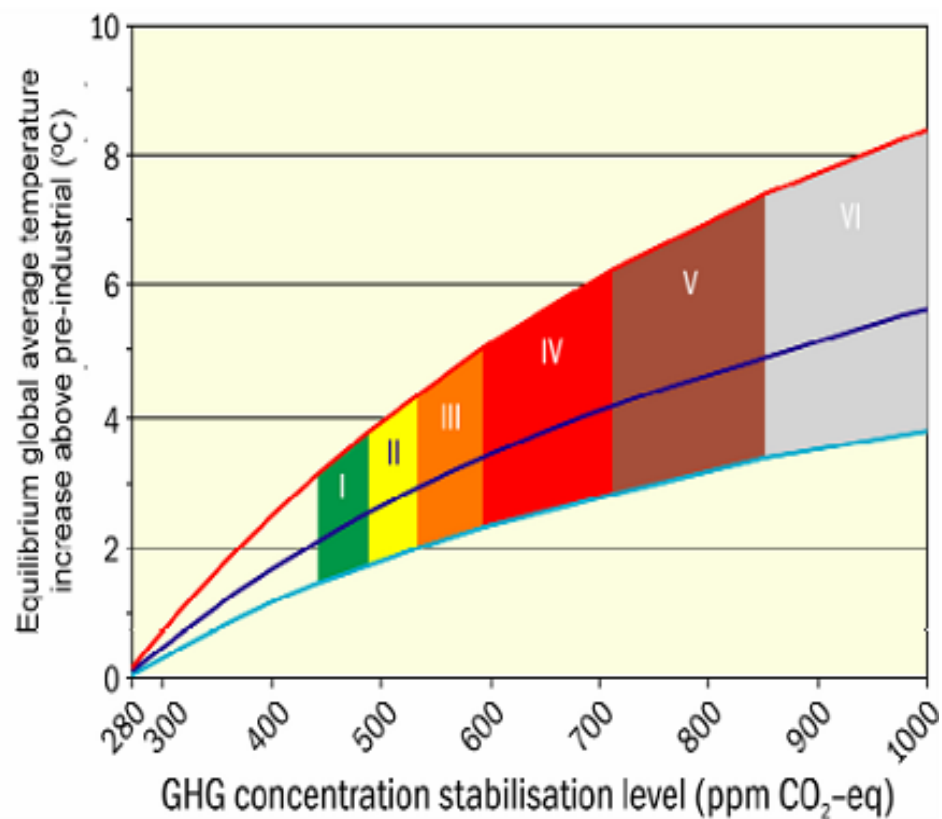
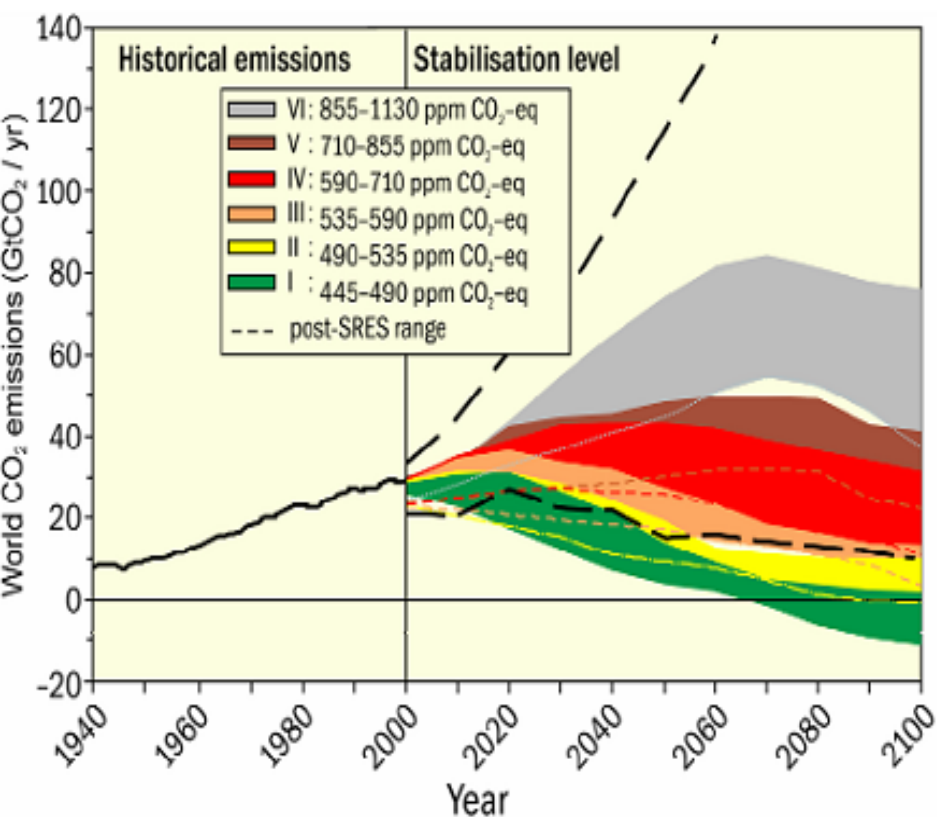
# 比工业化前升温2°C

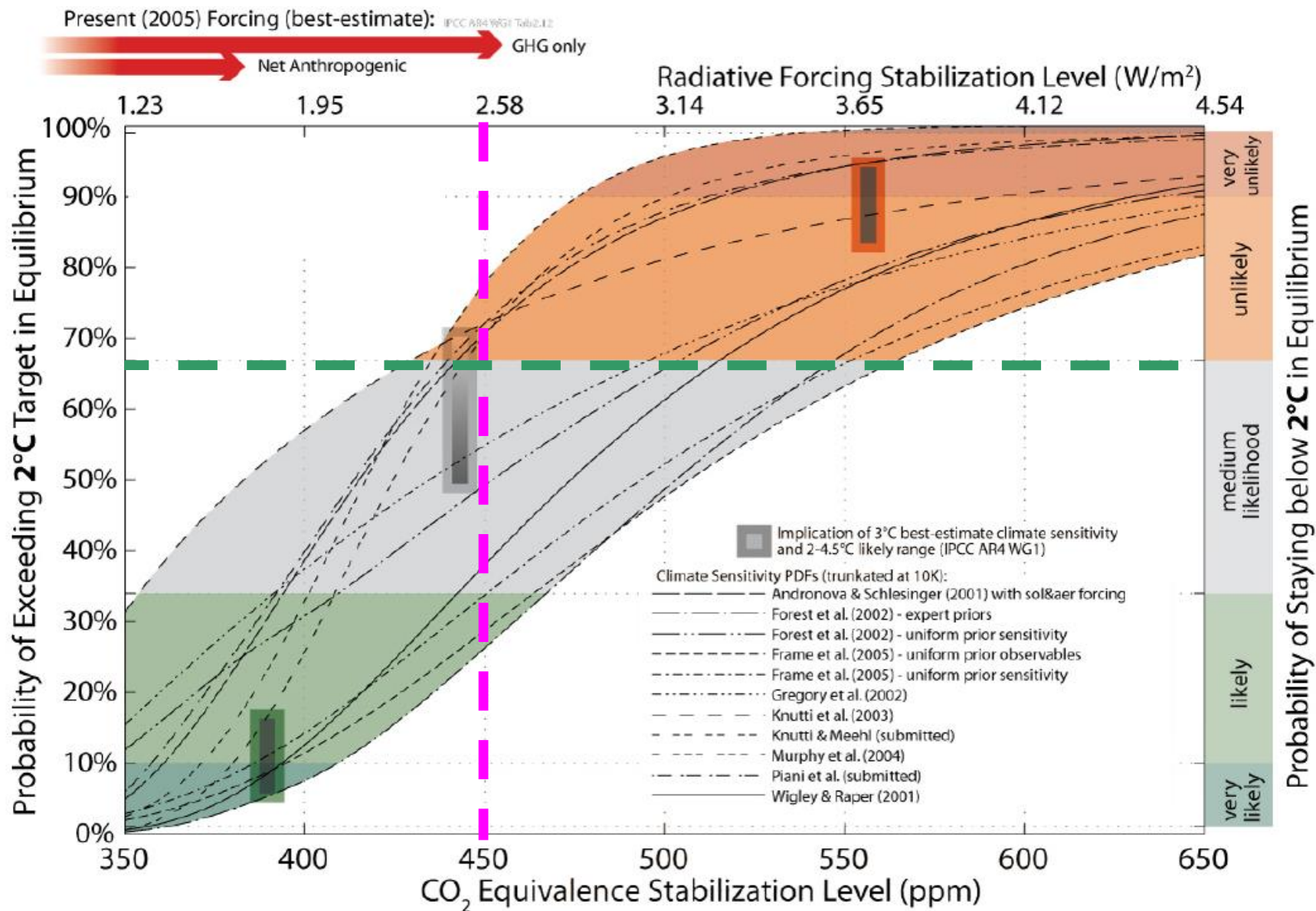


# 未来气候变化对欧洲的影响

- **热浪**：即使增温 $2^{\circ}\text{C}$ ，欧洲热浪也会更强更频；
- **水**：强烈改变降水分布形态。升温 $3 \sim 3.5^{\circ}\text{C}$ ，地中海大部夏季降水减少 $30\% \sim 45\%$ ，南欧和西南欧干旱将频发；
- **山区**：升温 $1^{\circ}\text{C}$ ，奥地利阿尔卑斯山每年能滑雪的天数大约减少70天；
- **经济影响**：本世纪末全球升温 $3-4^{\circ}\text{C}$ ，洪水造成的损失增加10倍以上；

利用上述碳循环模式可以把排放与温度直接关联起来，得到不同排放情景下（无气候政策）不同（6类）稳定浓度下的增温值





二氧化碳当量稳定水平与升温 $2^\circ\text{C}$ 概率的关系（相对于1750年）（IPCC AR4）

表SPM.5: TAR之后的各类稳定情景的特征 [表TS2, 3.10]<sup>a)</sup>

| 类别  | 辐射强迫<br>(W/m <sup>2</sup> ) | CO <sub>2</sub> 浓度 <sup>c)</sup><br>(ppm) | CO <sub>2</sub> 当量浓度 <sup>c)</sup><br>(ppm) | 通过“最佳估值”气候敏感性在工业化前基础上的达到平衡状态全球平均温度 <sup>b), c)</sup><br>(°C) | CO <sub>2</sub> 排放<br>最高峰值年份 <sup>d)</sup> (年份) | 2050年全球CO <sub>2</sub> 排放的变化(2000年排放的%) <sup>d)</sup> | 评估情景的数量 |
|-----|-----------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------|
| 第一类 | 2.5-3.0                     | 350-400                                   | 445-490                                     | 2.0-2.4                                                      | 2000-2015                                       | -85 ~ -50                                             | 6       |
| 第二类 | 3.0-3.5                     | 400-440                                   | 490-535                                     | 2.4-2.8                                                      | 2000-2020                                       | -60 ~ -30                                             | 18      |
| 第三类 | 3.5-4.0                     | 440-485                                   | 535-590                                     | 2.8-3.2                                                      | 2010-2030                                       | -30 ~ +5                                              | 21      |
| 第四类 | 4.0-5.0                     | 485-570                                   | 590-710                                     | 3.2-4.0                                                      | 2020-2060                                       | +10 ~ +60                                             | 118     |
| 第五类 | 5.0-6.0                     | 570-660                                   | 710-855                                     | 4.0-4.9                                                      | 2050-2080                                       | +25 ~ +85                                             | 9       |
| 第六类 | 6.0-7.5                     | 660-790                                   | 855-1130                                    | 4.9-6.1                                                      | 2060-2090                                       | +90 ~ +140                                            | 5       |
| 合计  |                             |                                           |                                             |                                                              |                                                 |                                                       | 177     |

- 要使升温2°C 以下的几率在50% 以上，IPCC AR4 WGIII的稳定情景中第一类和第二类的低端符合条件
- 第一类(低排放)情景意味着峰值为500ppmCO<sub>2</sub>当量，2015~2020年温室气体排放达到峰值，2050年全球在1990年的基础上减排一半以上

# 欧盟 “2℃目标”

欧盟的一些科学家提出2℃（相对于1860年）是人类社会可容忍的最高升温，已在欧盟达成共识。

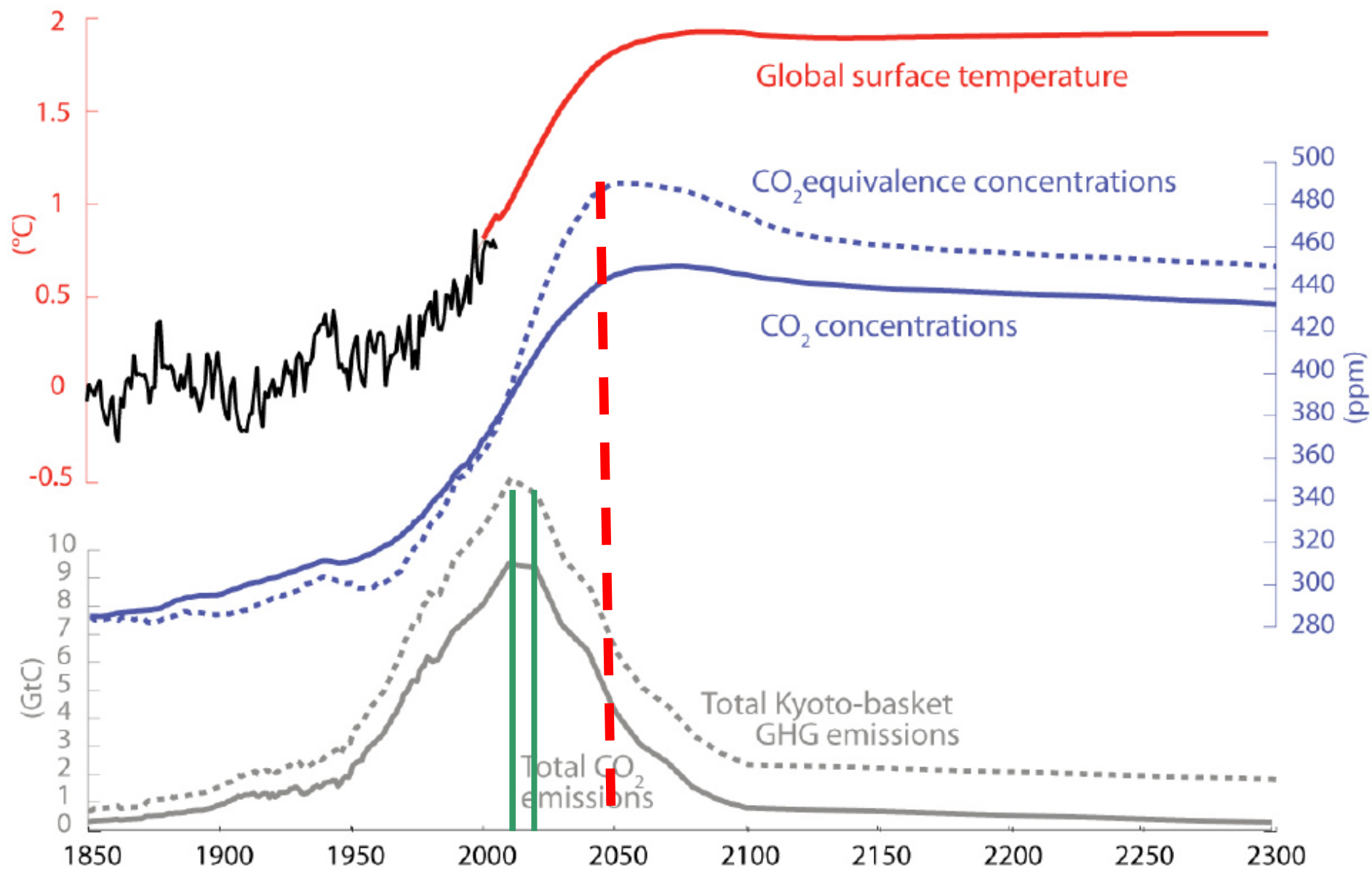
根据这一目标，2020年温度只能比1961～1990年平均值升高约0.8℃，所剩的升温空间已不大。

**欧盟国家的研究声称：**100多个国家已接受了全球增温 $2^{\circ}\text{C}$ 的极限值。

最近用上**述概率法**得到的结果表明：如果2000~2050年**累积** $\text{CO}_2$ 排放总量限制在**1万亿吨**以下，超过 $2^{\circ}\text{C}$ 增温的**概率**将只有25%；如果 $\text{CO}_2$ 排放达到**14400亿吨**，则超过 $2^{\circ}\text{C}$ 的**概率**达到50%。2000年到2006年， $\text{CO}_2$ 排放已有**2340亿吨**，所以，只剩下**7000多亿吨**在2050年之前排放（排放**基准**年为1990年）。把2020年作为**峰值的拐点**年，如果全球温室气体排放这时**仍然**高于2000年水平的25%，则超过 $2^{\circ}\text{C}$ 的**概率**上升到53%~87%。

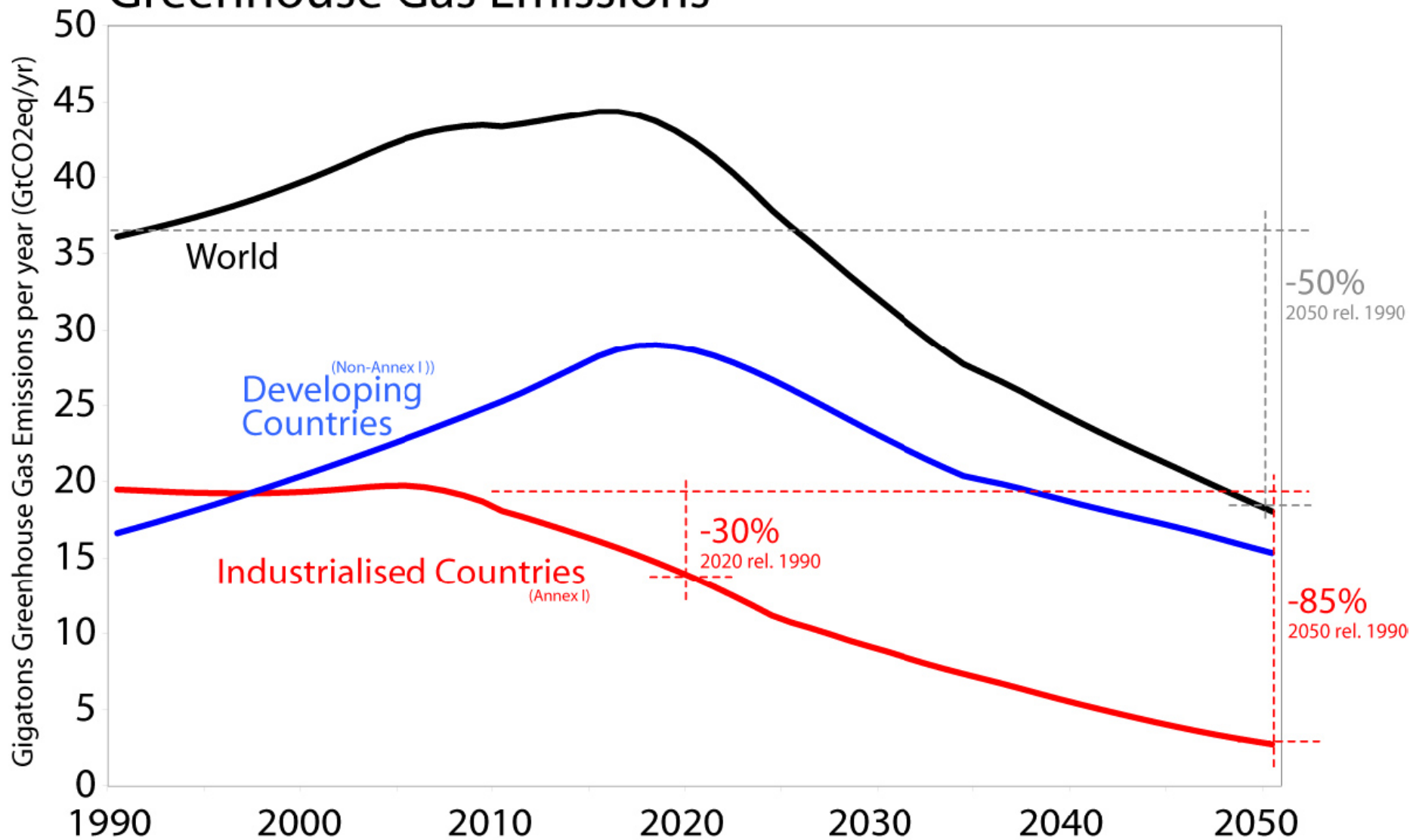
这**说明**达到 $2^{\circ}\text{C}$ 的**概率**与**排放路径**（RCP）（即**什么时候**达到**峰值**，**峰值**的排放率是多少，有**密切关系**。

历史累积排放总量目前被一些欧盟科学家用作确定全球 $2^{\circ}\text{C}$ 变暖的另一阈值，可以不考虑具体的RCP和排放的中长期目标。他们认为这可能是发展中国家可能接受的一种阈值科学计算方法。因为发展中国家倾向于强调历史累积排放。但根据初步估算：10000亿吨 $\text{CO}_2$ 中已用去了近3000亿吨，剩下的7000亿吨以目前排放速度，20~30年后即可达到，大致也在2040前后。这时造成的温度上升在 $1.5 \sim 2.0^{\circ}\text{C}$ 。



CO<sub>2</sub>排放量、浓度和全球平均气温变化关系的示意图

# Greenhouse Gas Emissions



发展中国家**2020**年前排放达到峰值，发达国家2020年和2050年分别比1990年减排30%和**85%**

# 全球2050年排放减半目标的实质

◆ 2005年全球二氧化碳排放量272亿吨，2050年排放减半为136亿吨。

发达国家政治意图明显，试图逃避历史责任！

我国历史人均排放不及世界平均1/4，发达国家1/10。

◆ 如果发达国家到2050年二氧化碳排放减少80%，发展中国家也要减少20%，2050年发展中国家总减排量仅80亿吨。

必须看到 (1) 我国2050年二氧化碳减排量减20%的艰巨性和挑战性。目前我国能源消费60-70%是生产性消费。(2) 发达国家2050年减排80%目标的可行性。目前发达国家能源消费60-70%是非生产性消费。

## 5、不确定性与亟待研究的问题

# 2°C阈值结论中的科学不确定性

虽然**欧盟**科学家针对2°C阈值进行了大量的科学研究和评估工作，**但就**目前已发表的成果上看，**有关2°C阈值的概念**在科学上还存在着**诸多疑问**，如：

- 针对不同的自然生态系统和经济社会系统而言2°C是否都是**阈值**？
- 不同区域升温2°C的后果是否一致？
- 达到2°C的时间不同是否会产生同样的影响效果？
- 如何看待作为评估工具的气候模式或评估模型中存在的**不确定性**？
- 如何解释不同的气候模式或评估模型的模拟结果之间的差异？
- **适应措施**如何减少达到**阈值**的**风险**？

温室气体稳定浓度水平或升温阈值是十分复杂的问题，在科学上还存在着相当大的不确定性

目前，针对温室气体稳定浓度水平、升温阈值或温室气体减排长期目标的研究结论，主要有对危险水平的认定、气候变化趋势的模拟和预估、排放情景的设定、影响评估模型的物理和生物化学过程以及参数的设定等不确定性来源。

一是对危险水平的认定上存在的不确定性。气候变化危险水平似乎从科学上可以得到一定的研究结果，但如何将科研成果转变成减排目标与行动，涉及到经济、社会、道德等一系列的判断问题。此外，不同研究所采用的阈值确定方法不同，得到的结果也存在着差异。

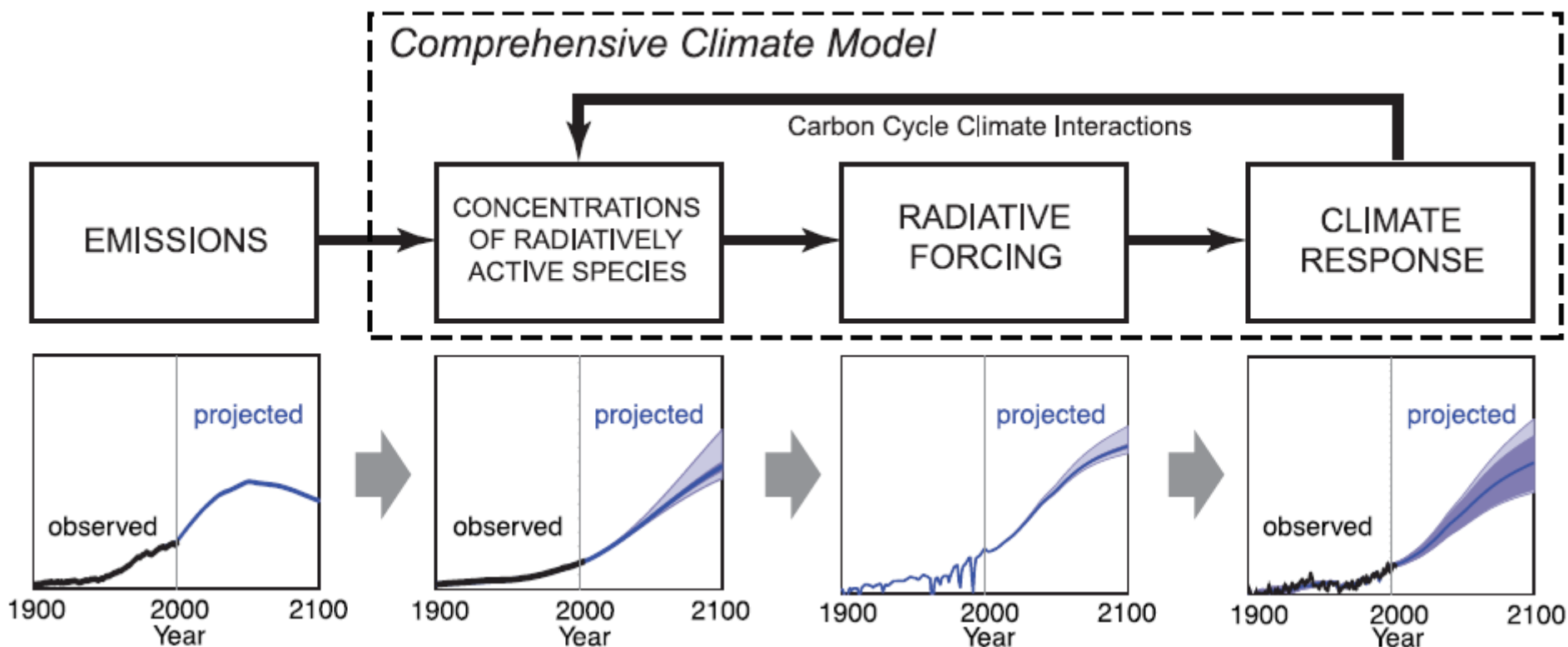
二是对未来气候变化预估结果中存在的不确定性。气候系统各圈层之间存在着复杂的非线性相互作用，目前研发的全球气候模式只具有初步的全球、半球和纬向平均气候状态的模式模拟能力。尽管不同的气候模式给出的气候变化模拟结果在趋势上大致相似，但得到的具体模拟数据差异很大。统计结果表明，没有任何3个或3个以上模式的模拟数值是相同的，模式对极端天气气候事件的模拟能力更差，而这直接关系到气候变化影响的大小。

**三是排放情景设定过程中存在的不确定性。**未来温室气体排放的预测，是气候模式进行气候变化模拟的重要前提条件，而针对未来温室气体排放的预测结果存在着相当大的不确定性，主要来源于无法准确地描述和预测未来社会经济、环境、土地利用和技术进步等非气候要素的变化，这方面的不确定性也必然会影响气候模式的模拟结果。

**四是影响评估过程中存在的不确定性。**目前开展的气候变化影响评估研究，主要采用影响评估模型，如，农作物产量模型、水文模型、生态模型、人体健康统计模型等，利用气候模式预估结果作为驱动因子，估算未来气候变化对农业、水资源、生态系统和人体健康等方面的影响。除气候模式模拟结果的不确定性会直接导致影响评估结果的不确定性外，由于评估模型的结构、参数以及非气候要素输入条件等因素，评估结果也具有很大的不确定性。

# 阈值确定方法不确定性的来源

- 排放情景的不确定性，**包括**温室气体、气溶胶及其前体物排放的不确定性
- 排放向**浓度转换**的不确定性，**包括浓度和辐射强迫**计算的不确定性
- 模式的不确定性，**包括**物理过程**参数化**，地球生物化学过程等**反馈机制**认识上的不确定性等



从排放到气候模式预测的每一步都会产生误差或不确定性

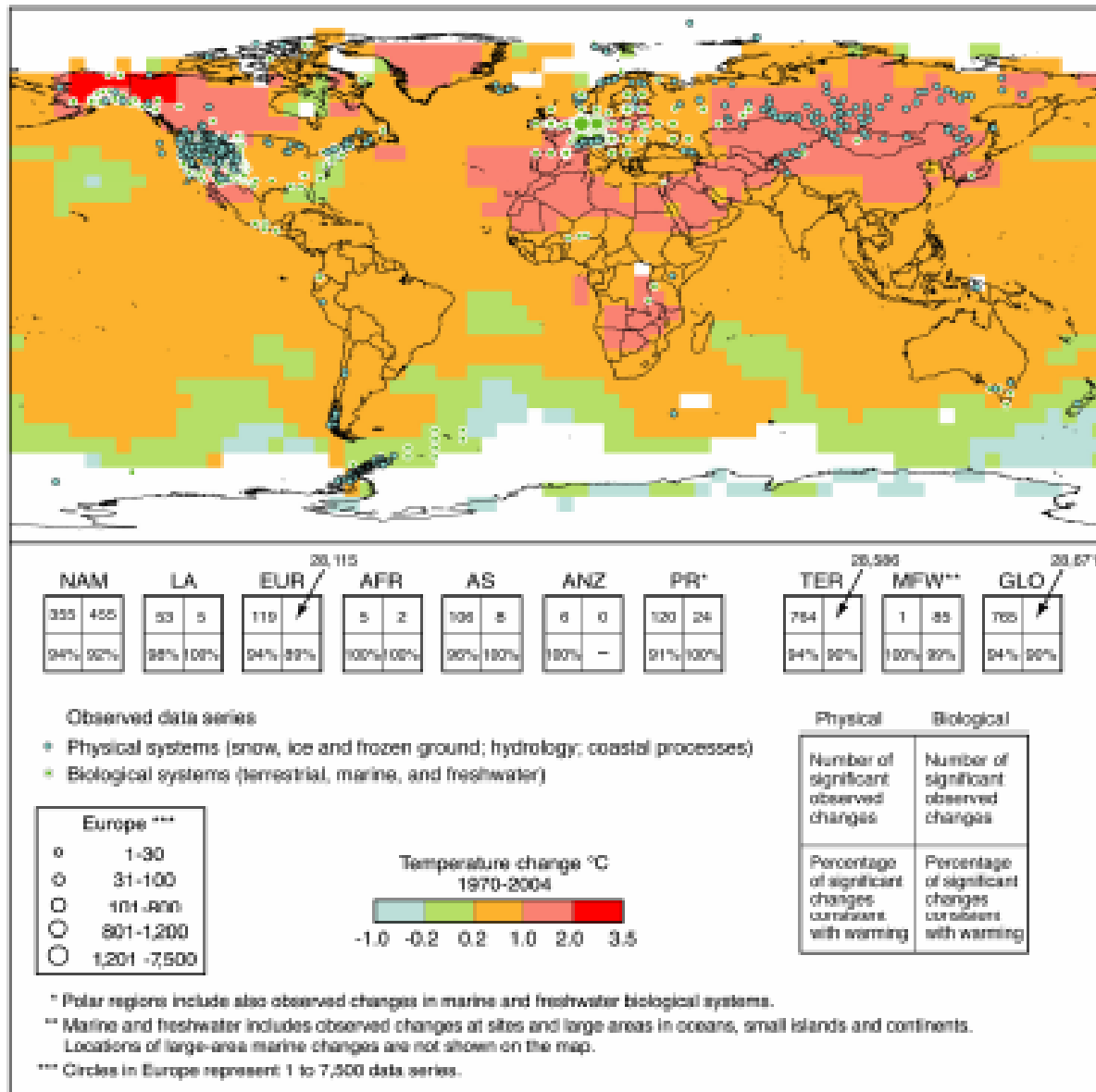
(IPCC, 2007)

对气候模式而言，无论是简单模式（如能量平衡模式），还是复杂模式（如完善的海气耦合模式），在考虑CO<sub>2</sub>加倍对气候的影响时，不同模式模拟出的气候变化并不相同。这种气候响应的差异被认为主要是由于模式间不同气候敏感度的结果。

| AOGCM                | Equilibrium climate sensitivity (°C) | Transient climate response (°C) |
|----------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1: BCC-CM1           | n.a.                                 | n.a.                            |
| 2: BCCR-BCM2.0       | n.a.                                 | n.a.                            |
| 3: CCSM3             | 2.7                                  | 1.5                             |
| 4: CGCM3.1(T47)      | 3.4                                  | 1.9                             |
| 5: CGCM3.1(T63)      | 3.4                                  | n.a.                            |
| 6: CNRM-CM3          | n.a.                                 | 1.6                             |
| 7: CSIRO-MK3.0       | 3.1                                  | 1.4                             |
| 8: ECHAM5/MPI-OM     | 3.4                                  | 2.2                             |
| 9: ECHO-G            | 3.2                                  | 1.7                             |
| 10: FGOALS-g1.0      | 2.3                                  | 1.2                             |
| 11: GFDL-CM2.0       | 2.9                                  | 1.6                             |
| 12: GFDL-CM2.1       | 3.4                                  | 1.5                             |
| 13: GISS-AOM         | n.a.                                 | n.a.                            |
| 14: GISS-EH          | 2.7                                  | 1.6                             |
| 15: GISS-ER          | 2.7                                  | 1.5                             |
| 16: INM-CM3.0        | 2.1                                  | 1.6                             |
| 17: IPSL-CM4         | 4.4                                  | 2.1                             |
| 18: MIROC3.2(hires)  | 4.3                                  | 2.6                             |
| 19: MIROC3.2(medres) | 4.0                                  | 2.1                             |
| 20: MRI-CGCM2.3.2    | 3.2                                  | 2.2                             |
| 21: PCM              | 2.1                                  | 1.3                             |
| 22: UKMO-HadCM3      | 3.3                                  | 2.0                             |
| 23: UKMO-HadGEM1     | 4.4                                  | 1.9                             |

(IPCC,2007)

## Changes in physical and biological systems and surface temperature 1970-2004



可以看到，以气候影响为基础的科学结论主要源自欧洲和美洲的研究与记录，中国几乎是空白区，这需要中国科学家加强区域气候变化的研究

# 定义

- 平衡气候敏感度（ECS）是指大气CO<sub>2</sub>浓度加倍后达到平衡时的全球平均地表温度的变化。
- 瞬时气候响应（TCR）是指浓度每年增加1%直至大气CO<sub>2</sub>浓度加倍时的全球平均地表温度的变化。
- 累积碳排放的瞬时气候响应（TCRE）定义为向大气中每排放1000GtC出现的全球平均地表温度变化。

1 Gigatonne of carbon = 1 GtC =  $10^{15}$  grams of carbon =  
1 Petagram of carbon = 1 PgC. This corresponds to 3.67  
GtCO<sub>2</sub>.



# 观测到的温度变化和模式研究，连同气候反馈和地球能量收支的变化研究一起，增强了全球变暖强迫响应幅度的认识

|             | TAR                  | AR4                                                                                         | AR5                                                                                                              |
|-------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 平衡气候敏感度     | 范围：<br>1.5 to 4.5° C | 可能 (likely) 范围：<br>2.0 to 4.5° C<br>很不可能 (very unlikely)<br><1.5° C<br>—<br>最佳估计值<br>约 3° C | 可能 (likely) 范围：<br>1.5 to 4.5° C<br>极不可能 (extremely unlikely)<br><1.0° C<br>很不可能 (very unlikely)<br>>6.0° C<br>— |
| 瞬时气候响应      |                      | 很可能 very likely<br>>1.0°C<br>很不可能 very unlikely<br>>3.0°C                                   | 可能 likely 范围：<br>1.0 to 2.5° C<br>极不可能 extremely unlikely<br>>3.0° C                                             |
| 累积碳排放瞬时气候响应 |                      |                                                                                             | 可能 likely 分为：<br>0.8—2.5° C<br>/1000 PgC                                                                         |

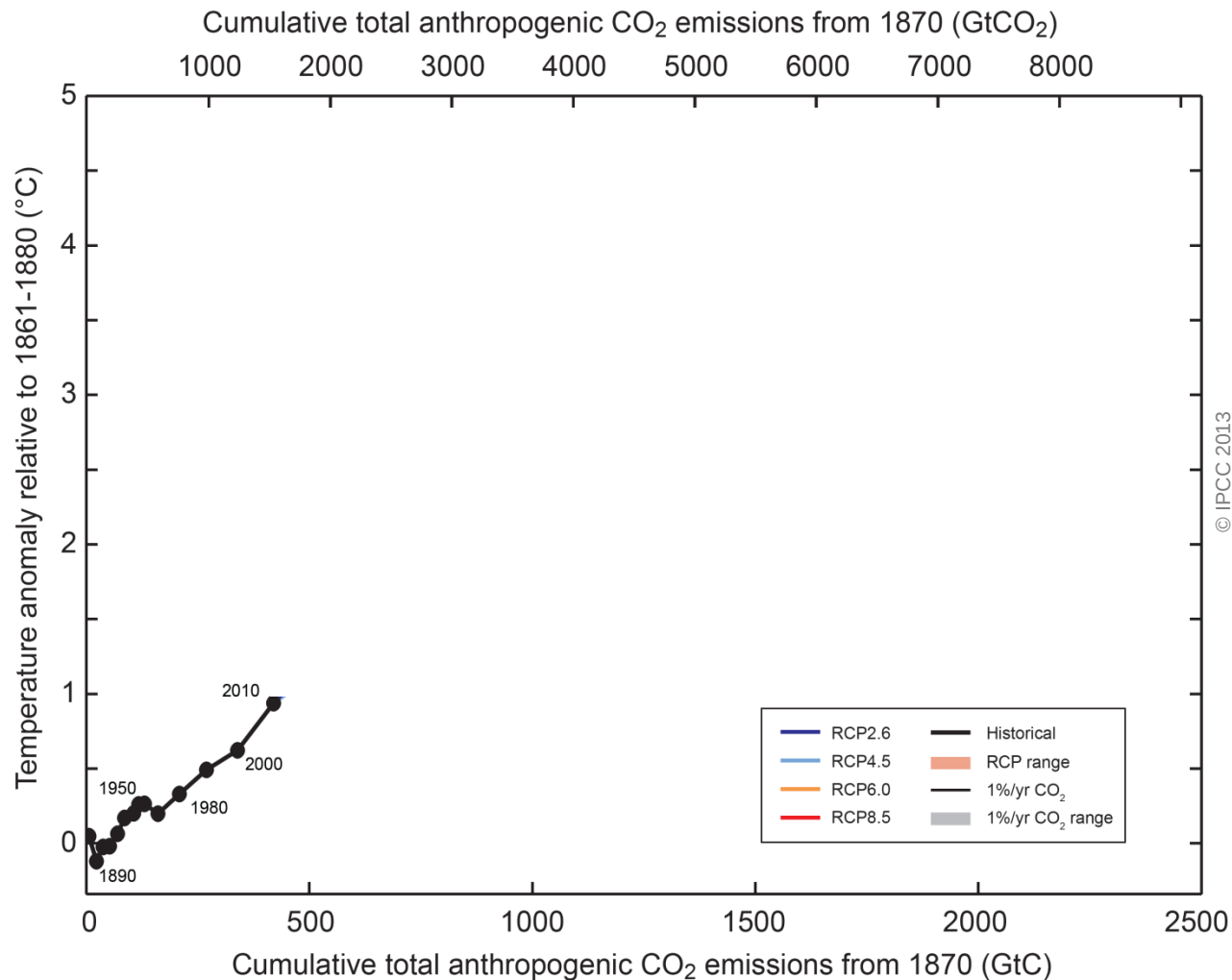


Fig. SPM.10

Cumulative emissions of CO<sub>2</sub> largely determine global mean surface warming by the late 21st century and beyond.

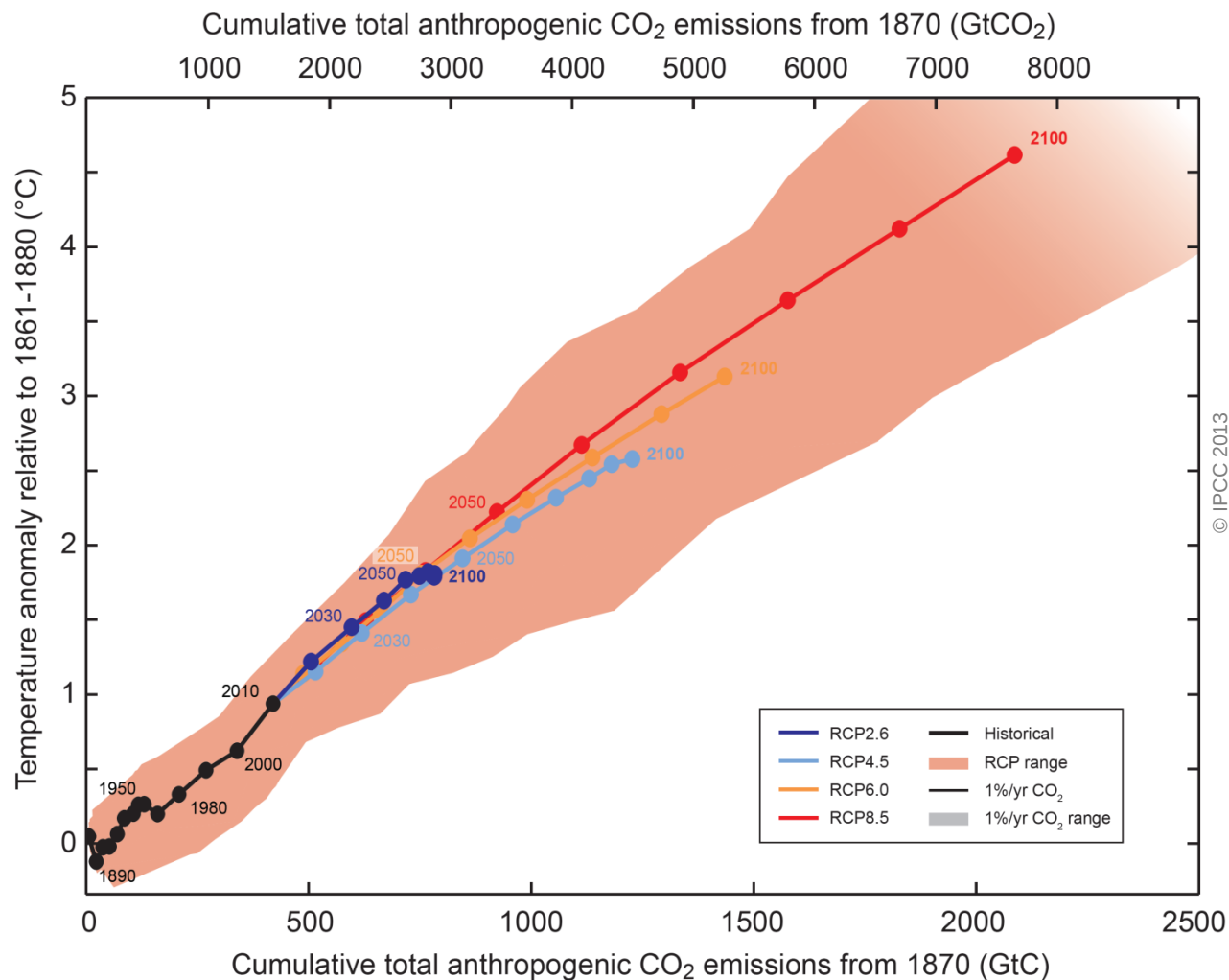


Fig. SPM.10

Limiting climate change will require substantial and sustained reductions of greenhouse gas emissions.

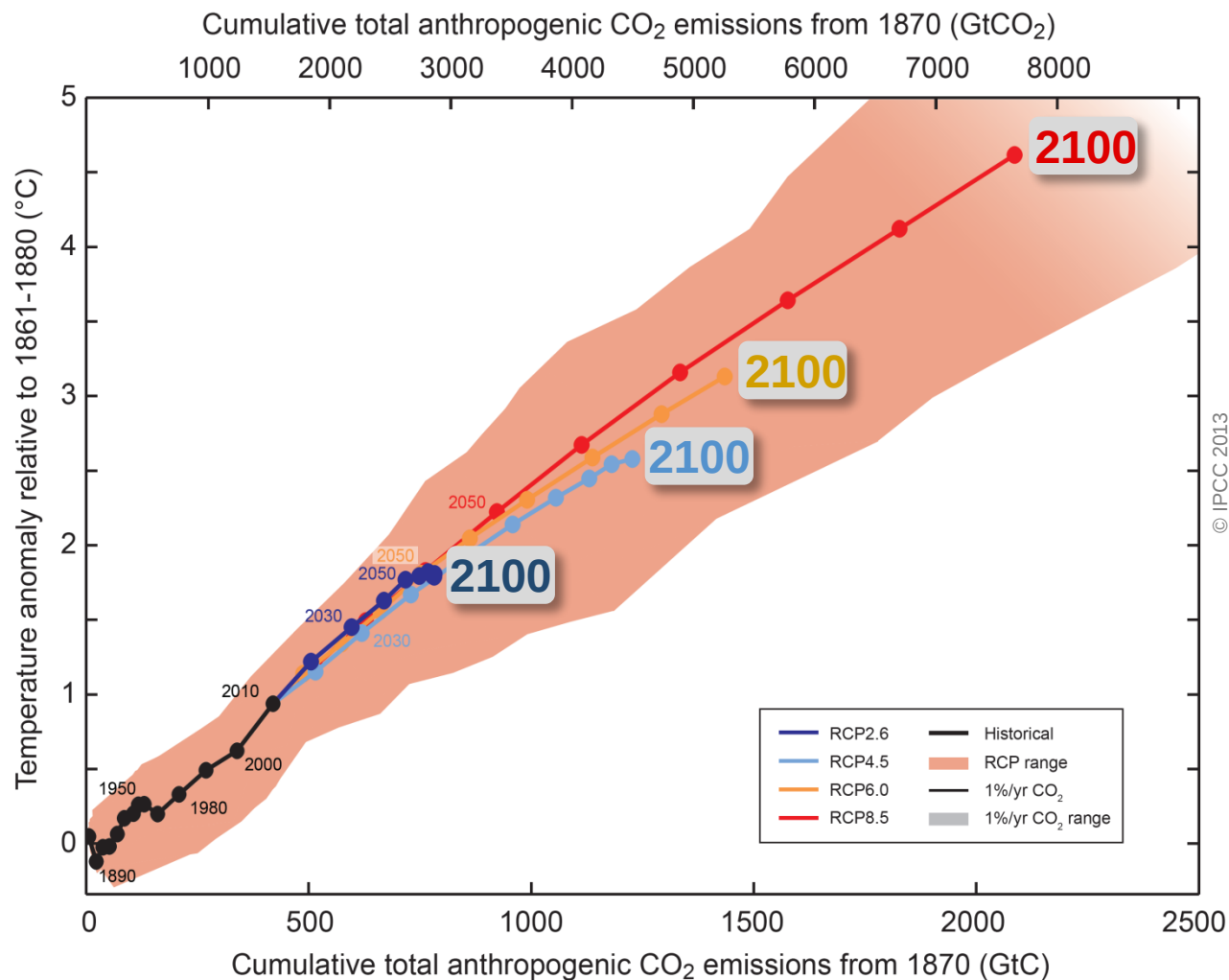


Fig. SPM.10

Limiting climate change will require substantial and sustained reductions of greenhouse gas emissions.

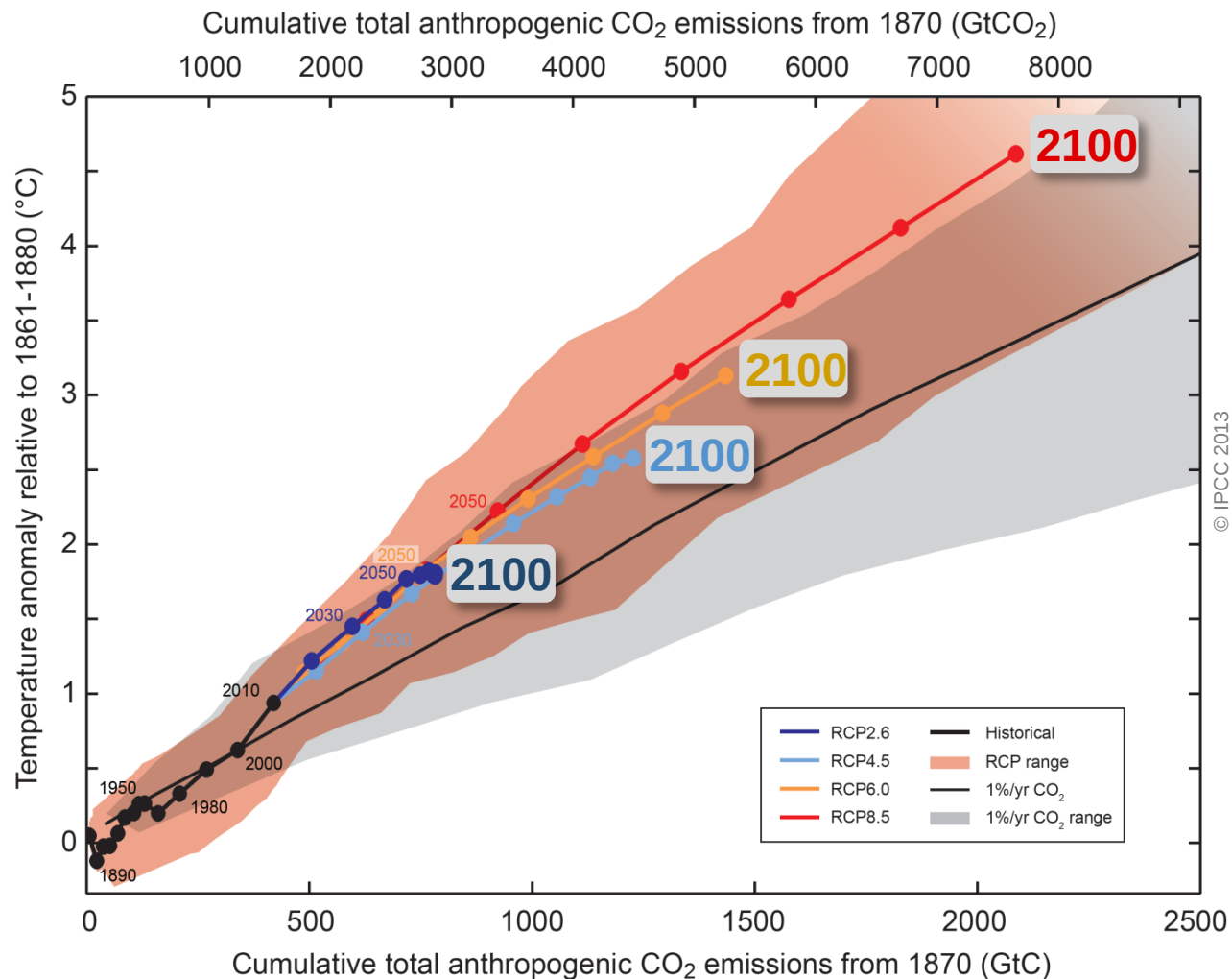
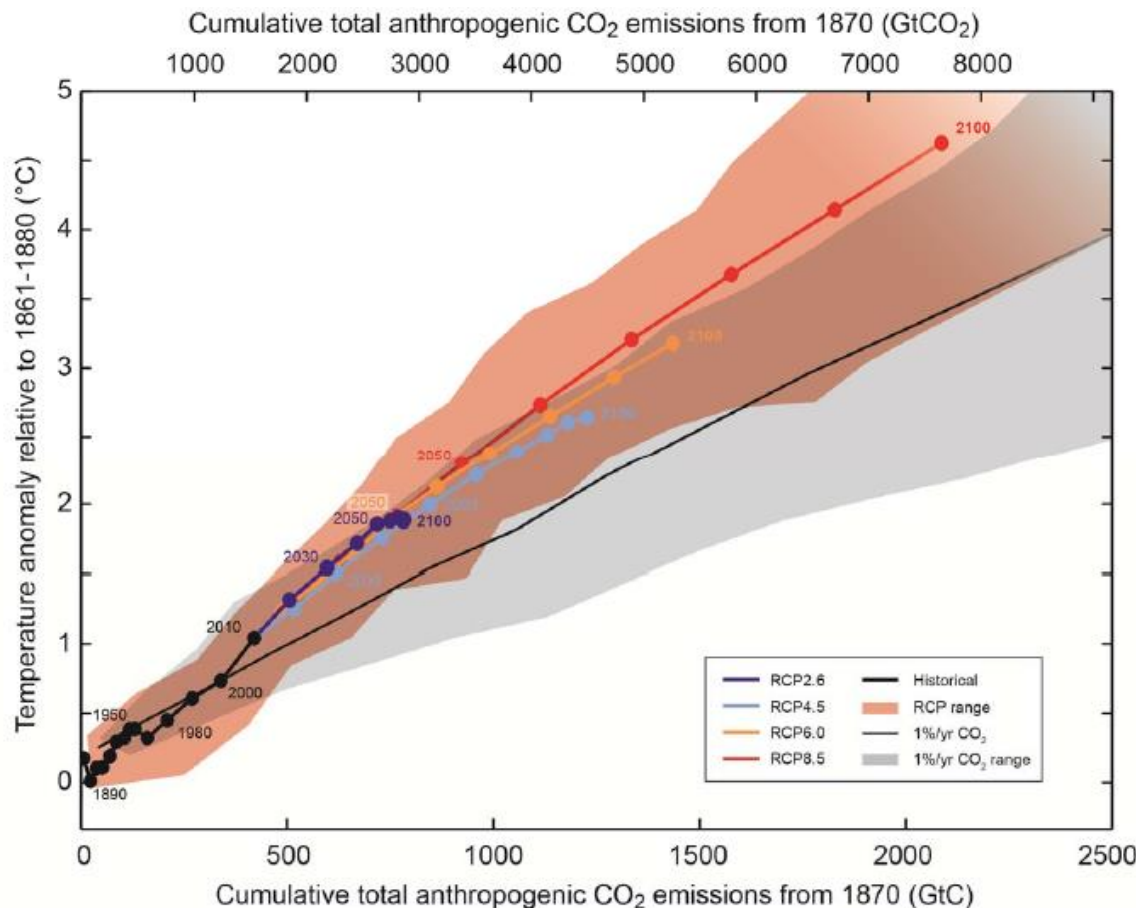


Fig. SPM.10

Limiting climate change will require substantial and sustained reductions of greenhouse gas emissions.

21世纪末期及以后时期的全球平均地表变暖主要取决于累积CO<sub>2</sub>排放。即使停止CO<sub>2</sub>排放，气候变化的许多方面将持续许多世纪。这CO<sub>2</sub>累计排放将产生长达多个世纪的气候变化持续性



如果要在可能性 **>33%** , **>50%** 和 **>66%** 的条件下, 将人为CO<sub>2</sub>排放单独引起的变暖限制在2°C (相对于1861至1880年) 以内, 则需要将所有人为CO<sub>2</sub>累积排放量分别限制在**0至约1560 GtC**、**0至约1210 GtC** 和 **0至约1000 GtC**

# 气候稳定性、气候变化的持续性和不可逆性

长期变暖的首要驱动因子是CO<sub>2</sub>的排放总量，这两个参量近似线性相关。因此，对于任何给定的变暖目标而言，前几十年的较高排放量意味着以后的较低排放。即使停止温室气体排放，气候变化的许多方面将持续许多世纪。这表明过去、现在和将来的CO<sub>2</sub>排放产生了长达多个世纪的持续性。

- 根据TCRE的评估，如果将人为CO<sub>2</sub>排放引起的变暖可能限制在与工业化前相比不超过2° C，则自工业化时代伊始，所有人为源的CO<sub>2</sub>累积排放量大约需要限制在1000 PgC。但2011年估计已经排放了460–630 PgC，约占这一估算的一半。非CO<sub>2</sub>强迫源于冻土或甲烷水合物的可能的温室气体排放，如果要将非CO<sub>2</sub>强迫的预估变暖效应计算在内，或需要使升温不超过2° C的可能性更高，这就意味着要显著降低排放预算。
- 很可能在人为排放停止之后，排放的CO<sub>2</sub>中，20%以上仍会在大气中滞留1000年以上。估计在完全停止排放后，CO<sub>2</sub>引起的变暖仍会持续将近多个世纪。因此，从人类时间尺度而言，大部分气候变化是不可逆转的，除非在很长一段时期，人为CO<sub>2</sub>净排放量出现明显的负排放。



清华大学  
Tsinghua University



谢谢关注!

