

“气候变化：尺度、驱动与反馈——架起古气候学与现代气候学间的桥梁” 学术论坛 引导报告



气候变化：尺度、驱动与反馈——架起古气候学与现代气候学间的桥梁

——任国玉
2018.08.26

中国地质大学，武汉
国家气候中心，北京

背景

- **背景：**年初“气候教授群”倡议
- **意义：**现代气候之于古气候，古气候之于现代气候，古今气候融合之于地球系统科学
- **现状：**科学共识，存在问题
- **安排：**一天
- **产出：**相互了解，未来合作，其他

议题（感兴趣人数/百分比）

1. 近现代气候变暖的幅度、速率和历史地位（13/52%）
2. 年代到多年代尺度气候变化与变率机制及可预测性（12/48%）
3. 近千年历史时期极端气候变化特征及成因机制（11/44%）
4. 全新世早中期气温变化特征及成因机制（4/16%）
5. 全球地表温度变化的纬度、高度和尺度依赖性（15/60%）
6. 轨道尺度气候变化的驱动、响应和反馈过程（3/12%）
7. 近60万年南极气温、CO₂、微尘和降水变化的位相关系（2/8%）
8. 冰期和冰消期气候突变的时空特征及机制（3/12%）

科学问题 1

年代到多年代尺度气候变化与变率事实、机制及启示意义：

- 全球、东亚和北极地区气温的多年代尺度波动特征
- 近20年气候变暖减缓现象：时空特征
- 区域以上尺度年代到多年代气温变率的机理
- 多年代尺度气候变率与更长时间尺度变率和变化的相互作用
- 现有气候模式再现年代到多年代尺度气候变率的能力
- 多年代尺度气候变率特别是近20年变暖减缓现象对气候变化检测、归因和预估的意义

科学问题 2

近百年来气候变化的时空尺度依赖性及其启示意义：

- 近百年全球地表温度变化的观测事实
- 近50年来气候变化的检测与归因
- 20世纪80年代以后北极变暖放大现象及其机制
- 20世纪30-40年代北极变暖放大现象观测事实
- 气候变化时空异质性的科学意义
- 气候变化及其影响研究方法学刍议：将今论古vs以古论今
- 全球气候变化的时间尺度依赖性

科学问题 3

近千年历史时期气候变化特征、成因机制及启示意义：

- 过去1000年中国、北半球气温变化重建序列
- 中世纪暖期、小冰期北半球和中国平均气温变化幅度及其空间差异
- 工业革命前（1750s前后）北半球和中国本底温度值
- 近千年地表气温变化的年代到世纪尺度特征、驱动机制
- 过去千年内任何百年和半个世纪气候变暖的幅度、速率及其与现代变暖的异同
- 树轮、历史文献、石笋等代用资料在重建过去大尺度年均气温序列上的优势和问题

科学问题 4

全新世气候变化特征、成因机制及启示意义：

- 代用资料重建的近百年气候变暖速率
- 全新世暖期北半球和中国平均气温变化幅度
- 过去一万年内任何百年和半个世纪的气候变暖速率
- 全新世气温变化的驱动机制
- 近百年北半球和中国平均气温与过去特征气候时期（全新世暖期或其他冷暖阶段）平均气温水平比较
- 全新世东亚季风演化过程及机制
- 全新世早中期和中晚期 ENSO 频率的变化事实、机制

科学问题 5

轨道尺度气候变化的驱动、响应和反馈过程及启示意义：

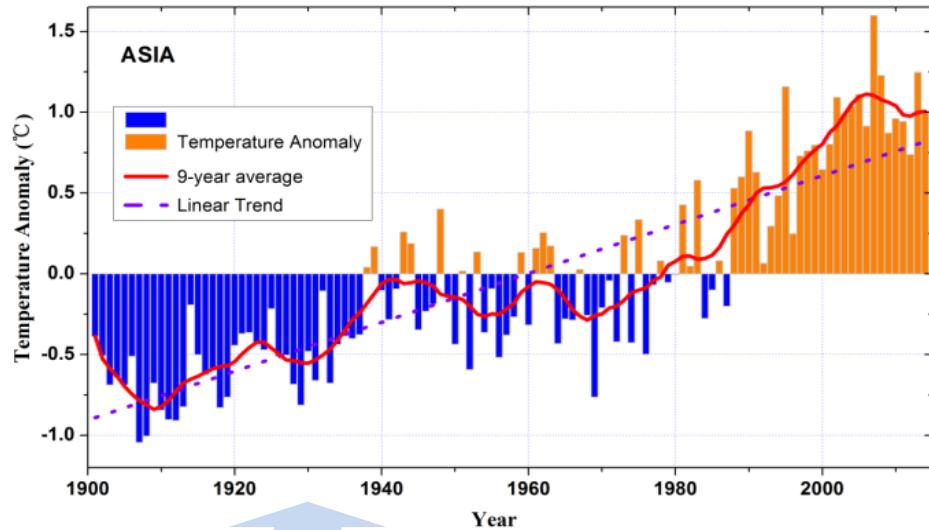
- 近70万年冰期-间冰期循环及轨道理论
- 南极气温和全球CO₂的对应关系
- 上次间冰期和末次盛冰期气温、海平面变化
- 冰消期全球（南极）气温、温室气体、冰雪覆盖、气溶胶、海平面、洋流的变化及其相位关系
- 冰期-间冰期气候系统内部反馈过程
- 冰消期和新仙女木时期内任何百年和半个世纪气候变暖速率
- 轨道尺度气候变化事实及科学认识的启示意义

科学问题 6

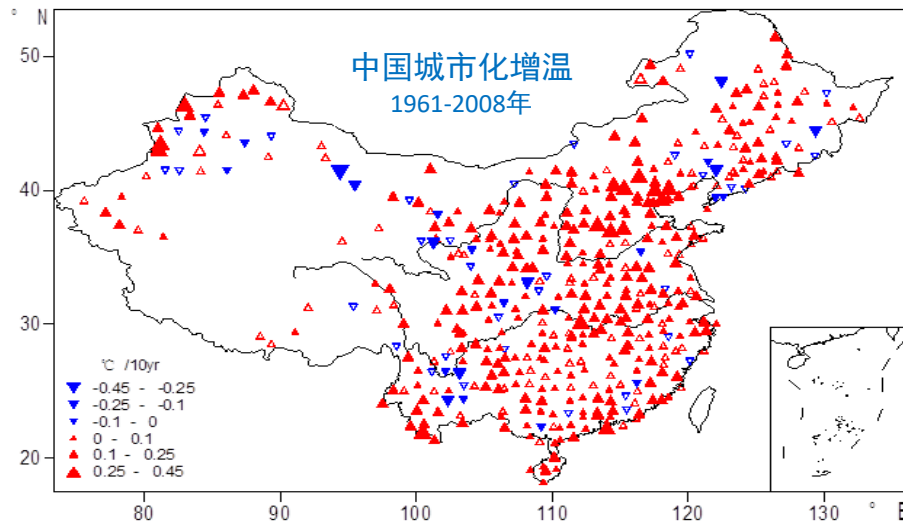
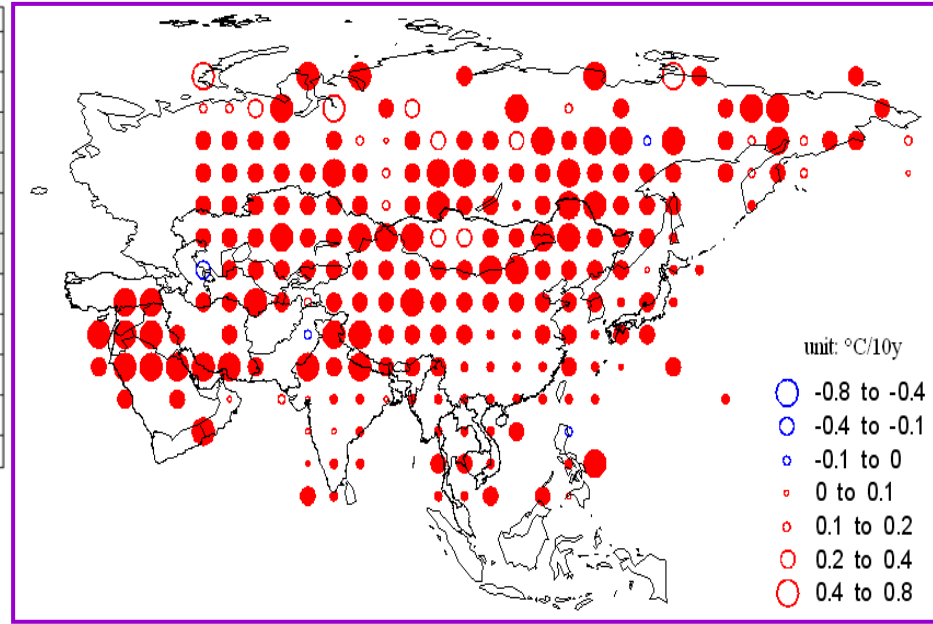
构造尺度特征古气候时期气候变化的事实、驱动及启示意义：

- 中上新世暖期大气CO₂浓度和气温的关系
- 古新世-世新世间“气候极热期”（~55.0mBP）CO₂浓度和气温的关系
- 前新生代地球气候演化特征和机制
- 大陆漂移关键节点及其全球气候效应
- 古特提斯海萎缩和青藏-伊朗高原隆起的气候效应
- 构造尺度气候变化科学认识的启示意义

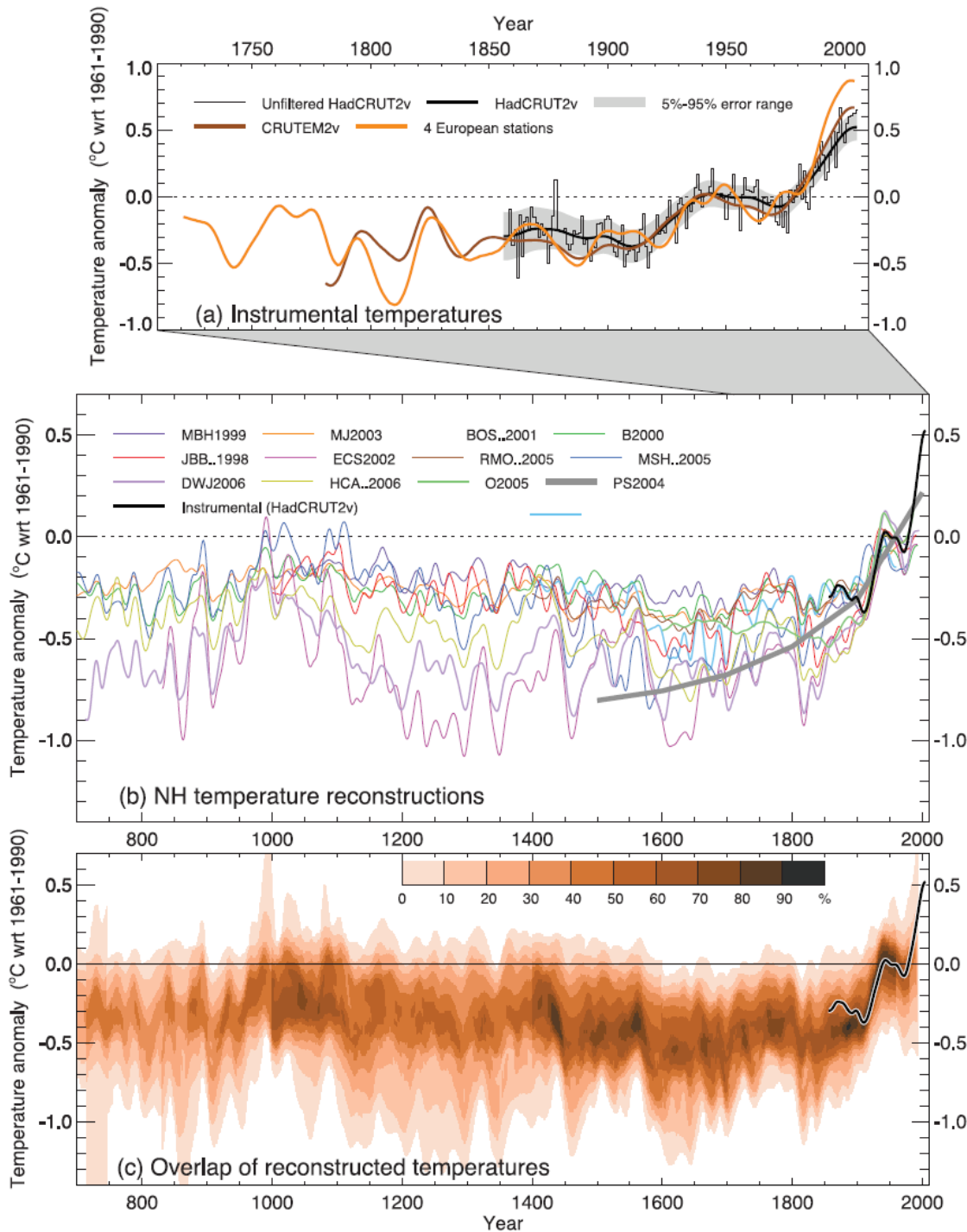
气温明显上升，近50年升温更快



亚洲大陆年平均气温明显上升



消除城市化影响，近半个世纪，中国或东亚地区变暖速率与全球平均相当，大约0.15 °C/10年

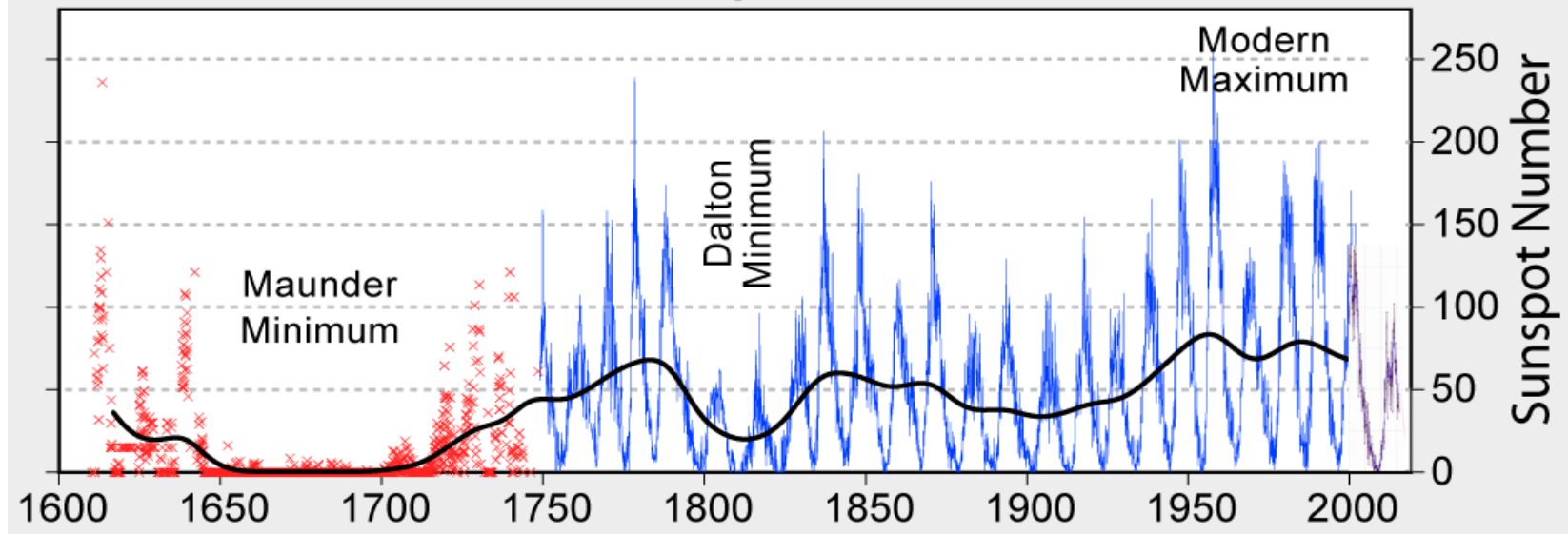


近1300年北半球地表气温距平序列。

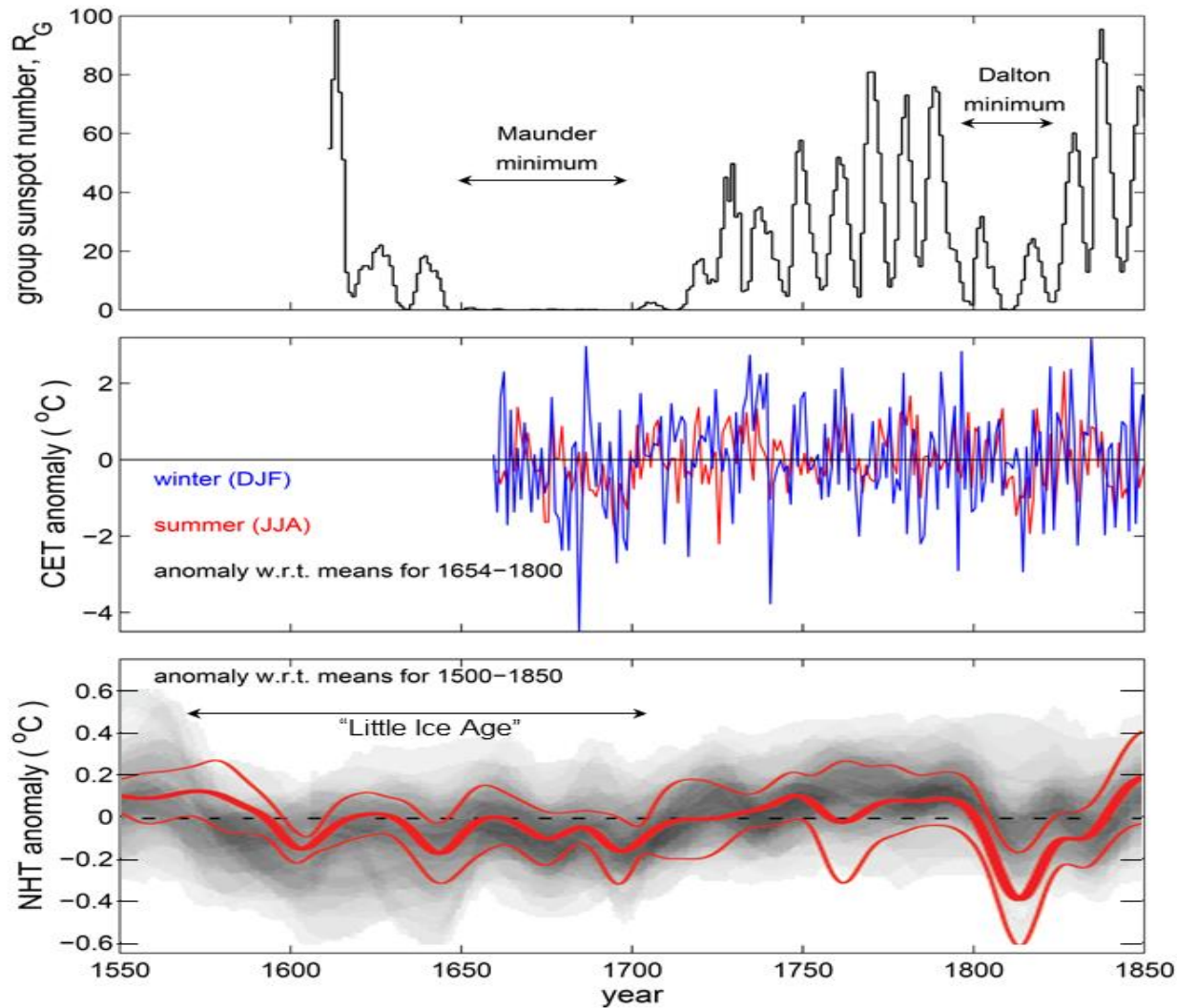
a 仪器观测记录，年平均；
b 各类代用资料重建序列和 HadCRU2v 仪器观测序列（黑线）；
c 发表序列的重叠部分和 HadCRU2v 仪器观测序列（黑线）。
距平相对于1961-1990年平均。

IPCC, 2007

400 Years of Sunspot Observations



The Maunder Minimum occurred between 1645 and 1715 when very few sunspots were observed

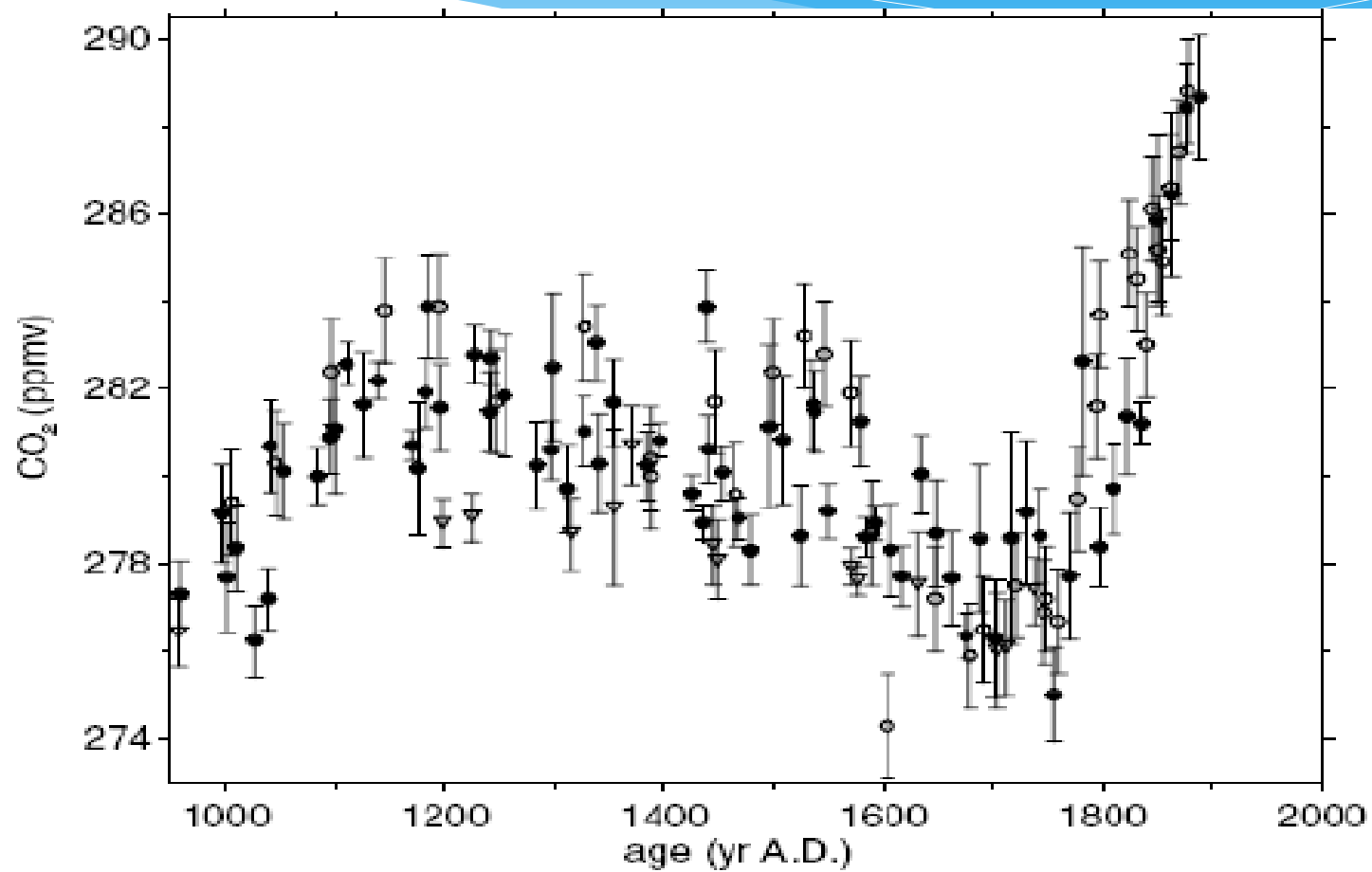


Lockwood,
et al. (2014)

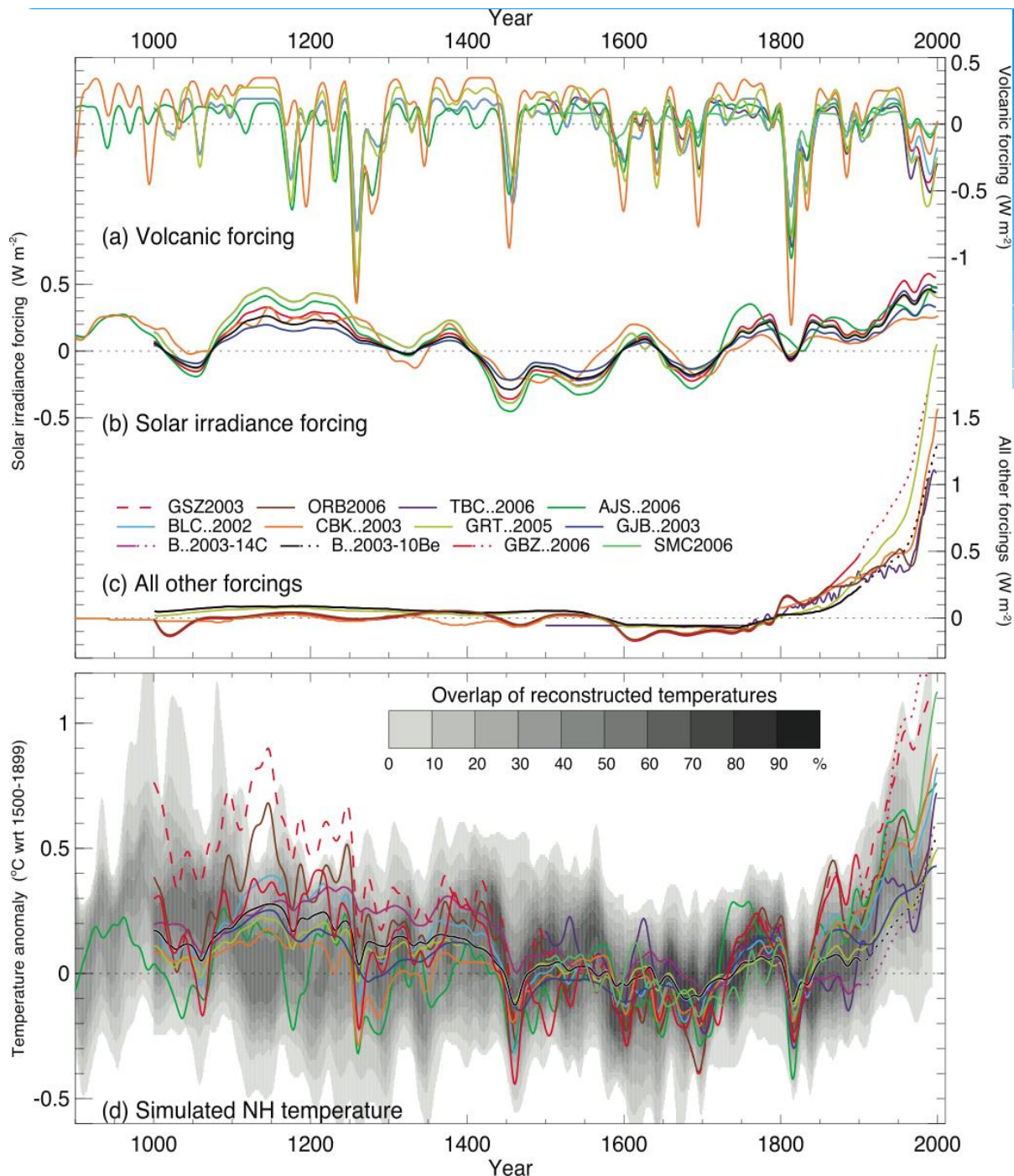
Hadley Centre
(2016)

IPCC (2013)

Comparison of group sunspot numbers (top), Central England Temperature (CET) observations (middle) and reconstructions and modeling of Northern Hemisphere Temperatures (NHT). NHT in grey is the distribution from basket of paleo-climate reconstructions (darker grey showing higher probability values) and in red are from model simulations that account for solar and volcanic variations



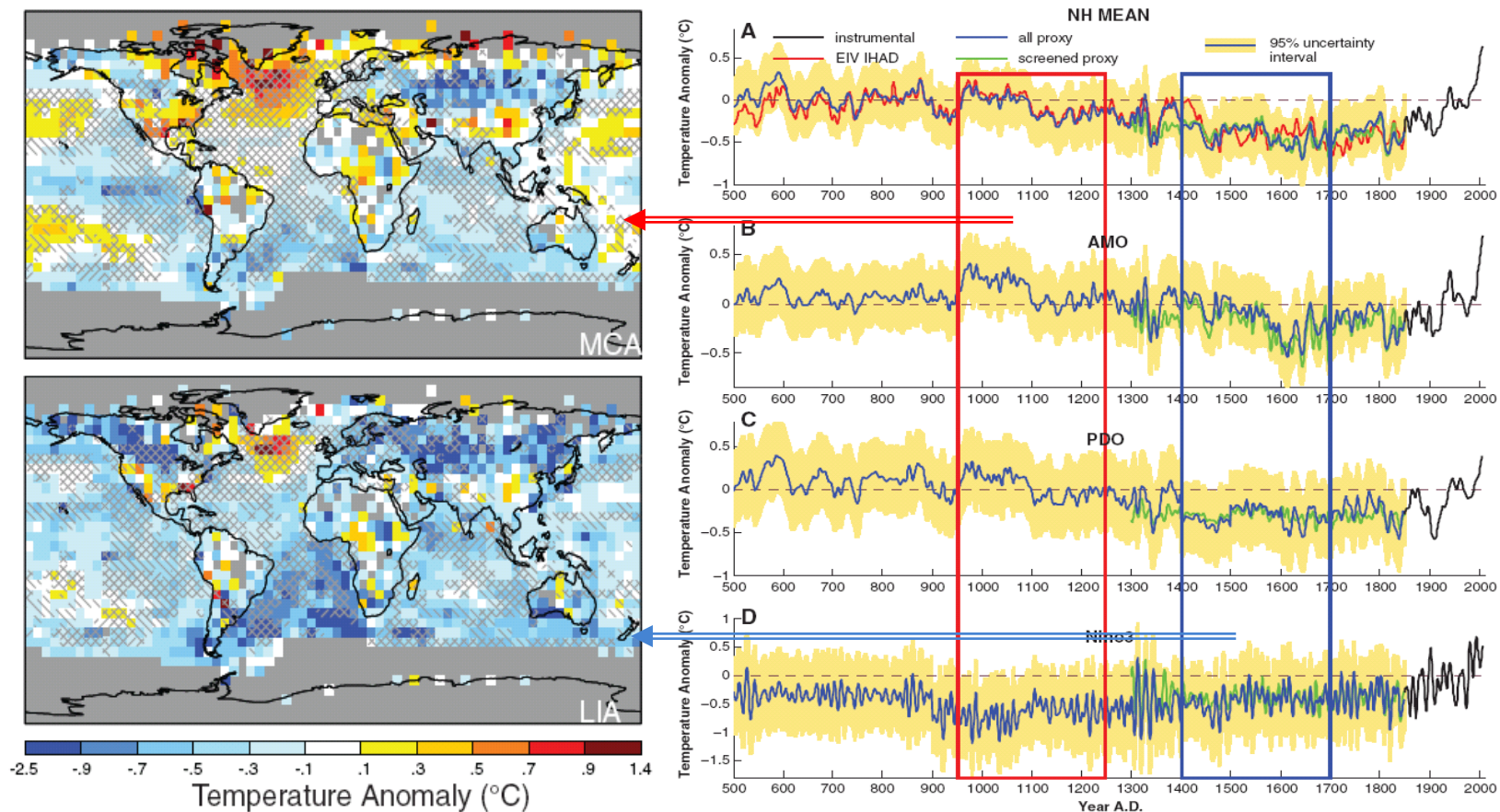
近1千年Law Dome得到的大气CO₂ 浓度变化 (Siegenthaler et al., 2005)



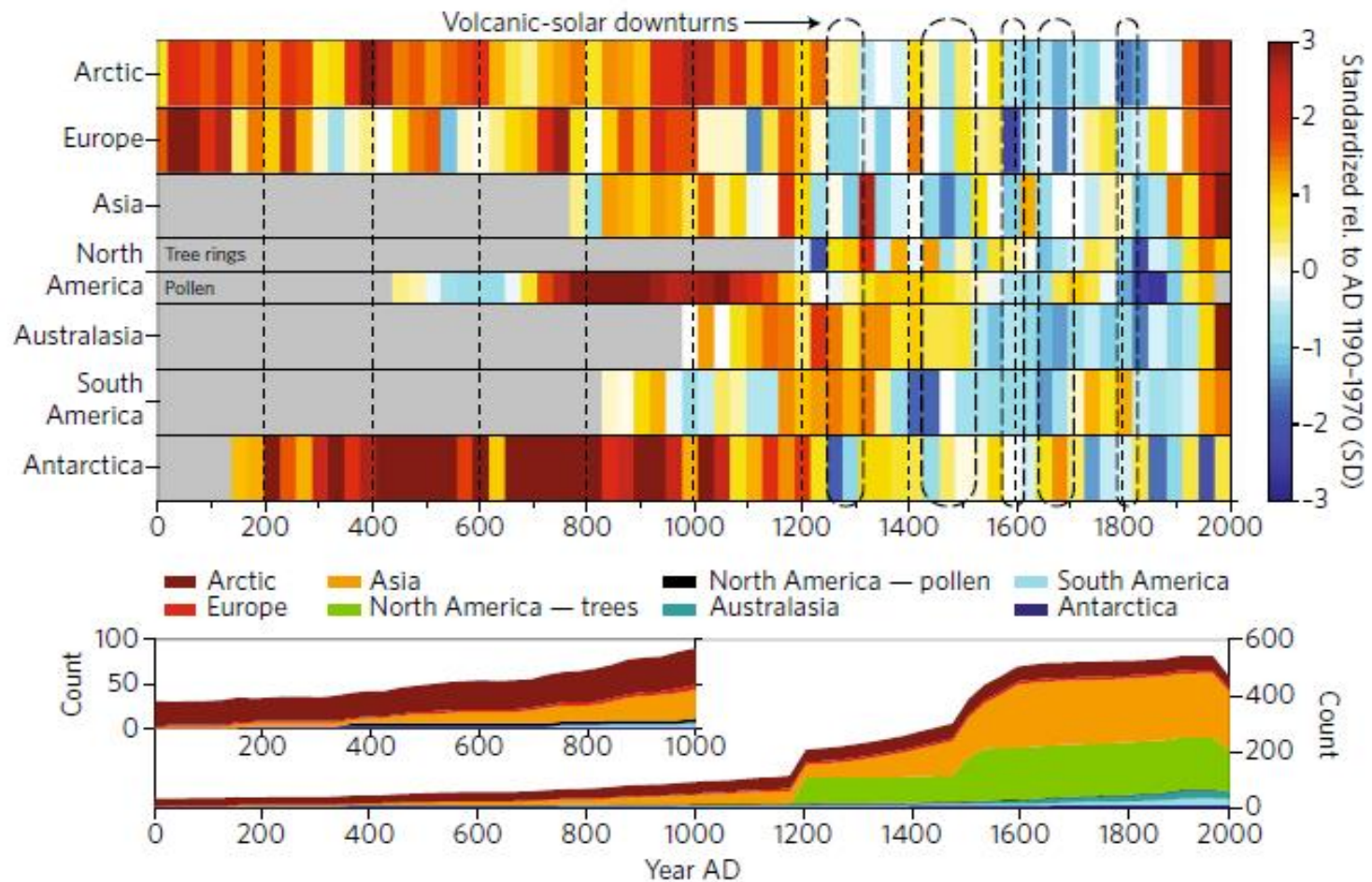
近1300年火山、太阳和人类活动强迫估计，及北半球地表气温距平。

- a 火山
- b 太阳
- c 所有其他强迫
- d 模拟的北半球平均气温

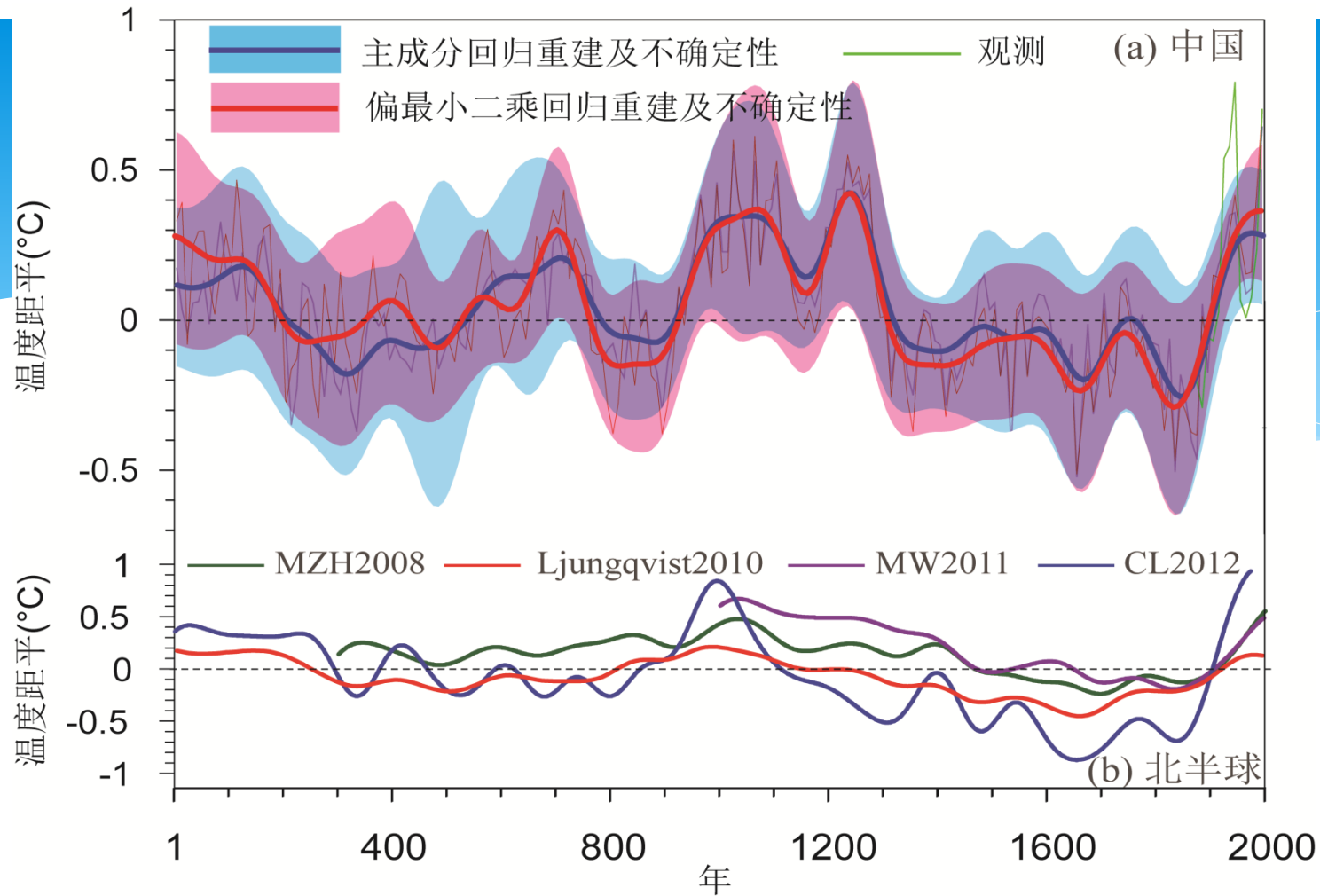
IPCC, 2007



Mann (2009) 重建的北半球及不同地区年平均气温变化(右)，以及中世纪与小冰期气温距平空间型(左)



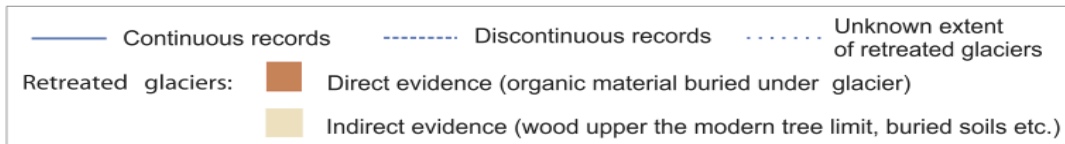
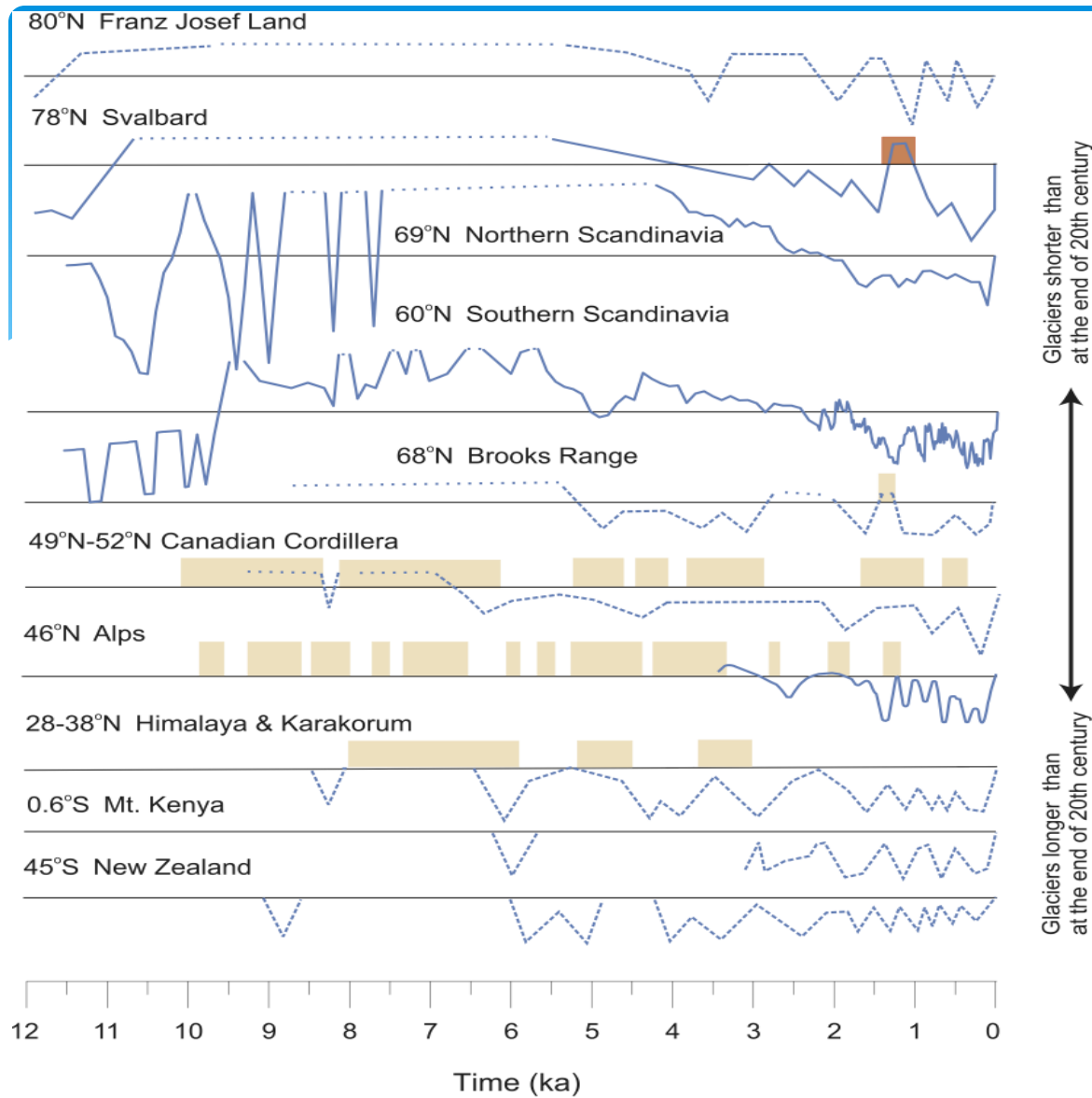
A 2000 yr temperature reconstruction by the PAGES 2k Consortium
(McGregor, 2018, Nature Geosciences)



过去2000年中国温度变化 (a) 及与北半球温度对比 (b)
(葛全胜等, 2014)

a为基于主成分回归和偏最小二乘回归重建曲线, 其中细线: 分辨率10年; 粗线100年滤波; 阴影区域: 在95%置信度水平下的不确定性范围;

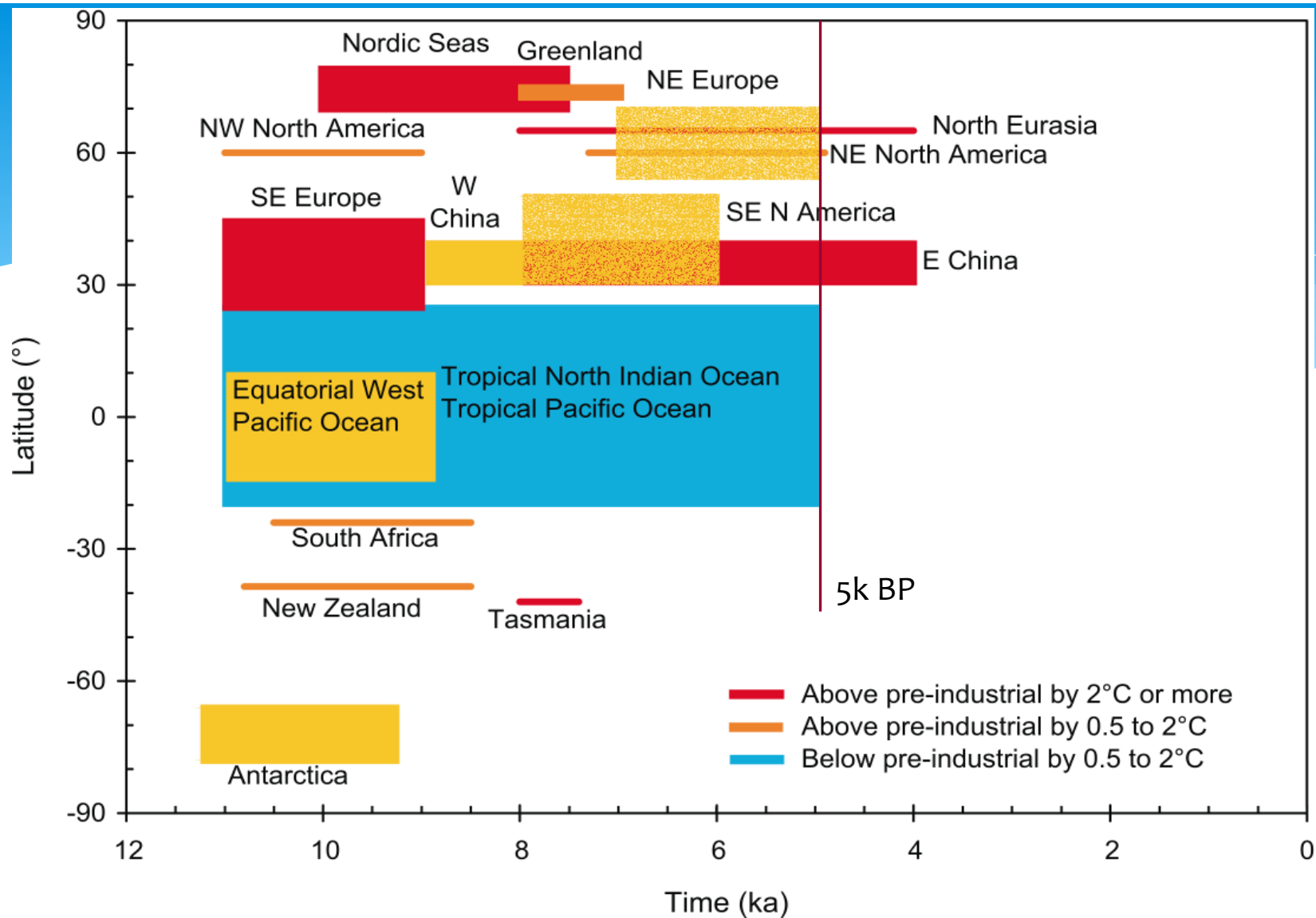
b为100年滤波后的北半球温度曲线, MZH2008、Ljungqvist2010、MW2011和CL2012分别引自文献Mann et al. (2008); Ljungqvist (2010); Mcshane and Wyner (2011); Christiansen and Ljungqvist (2012)



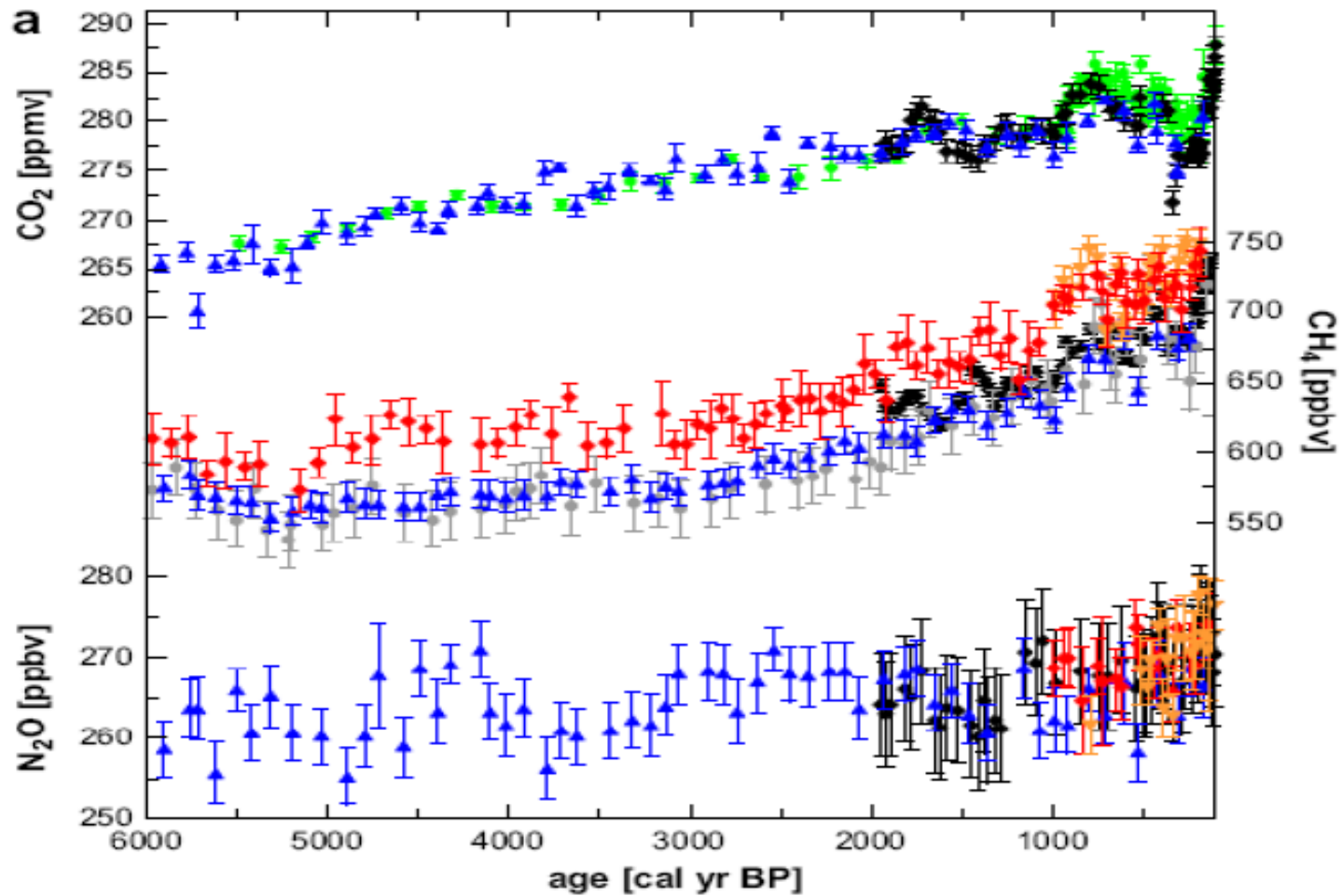
近1.2万年全球山地冰川进退变化总结。

向上表示消融退缩；向下表示前进变长。

IPCC, 2013

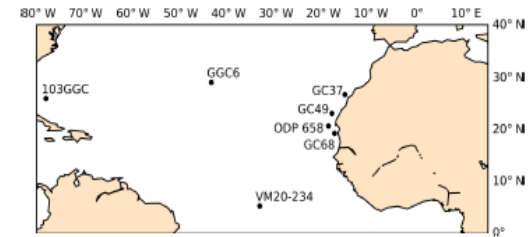
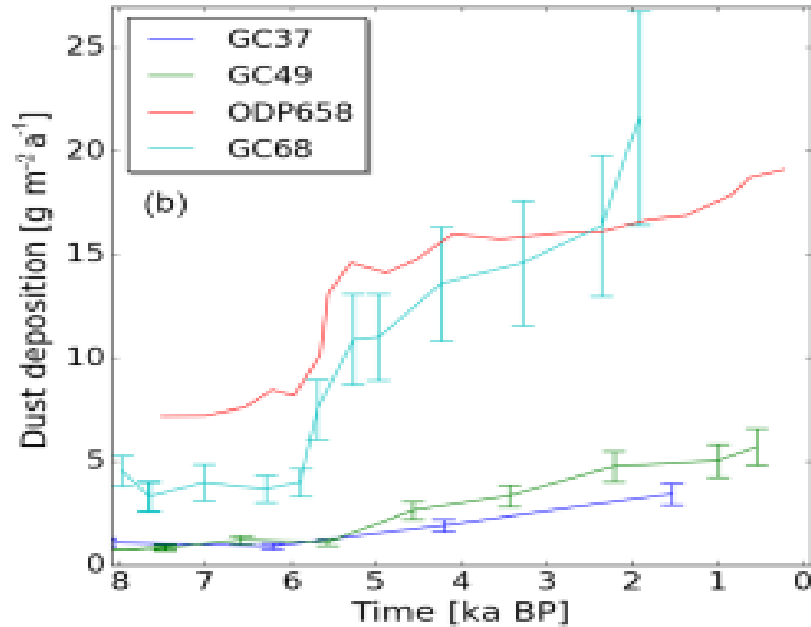


近1.2万年以来全球地表平均气温重建比较
IPCC, 2013



全新世 CO_2 等温室气体的浓度变化 (Wanner et al., /AR5, 2011)

Marine sediment records



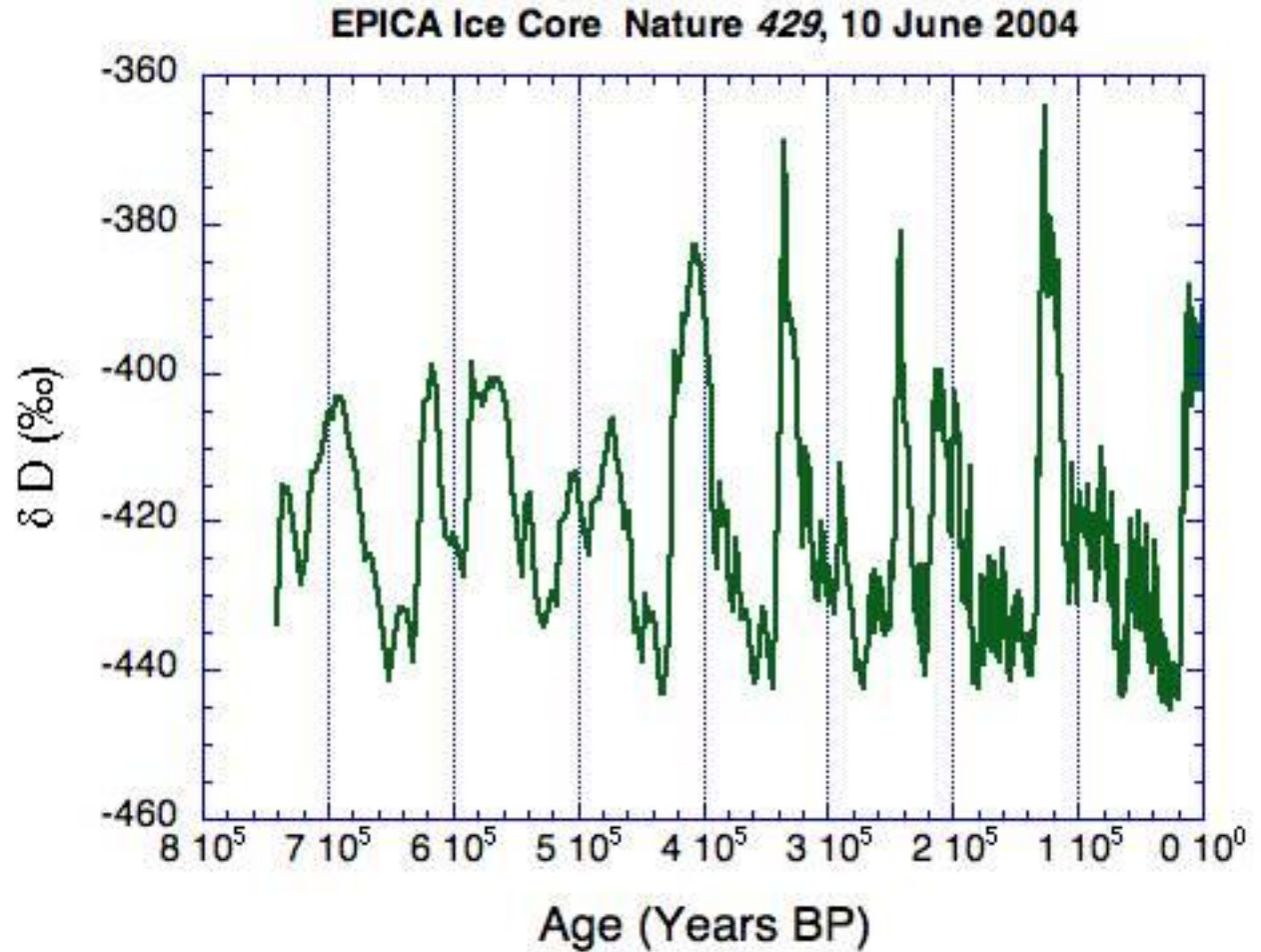
Reconstructed dust fluxes at the sites of marine sediment cores of northern Atlantic Ocean as shown in the small map. Egerer et al. 2018, *Climate of the Past*

75万年的南极冰芯氖同位素记录

A measure of
temperature for
the last 750,000
years

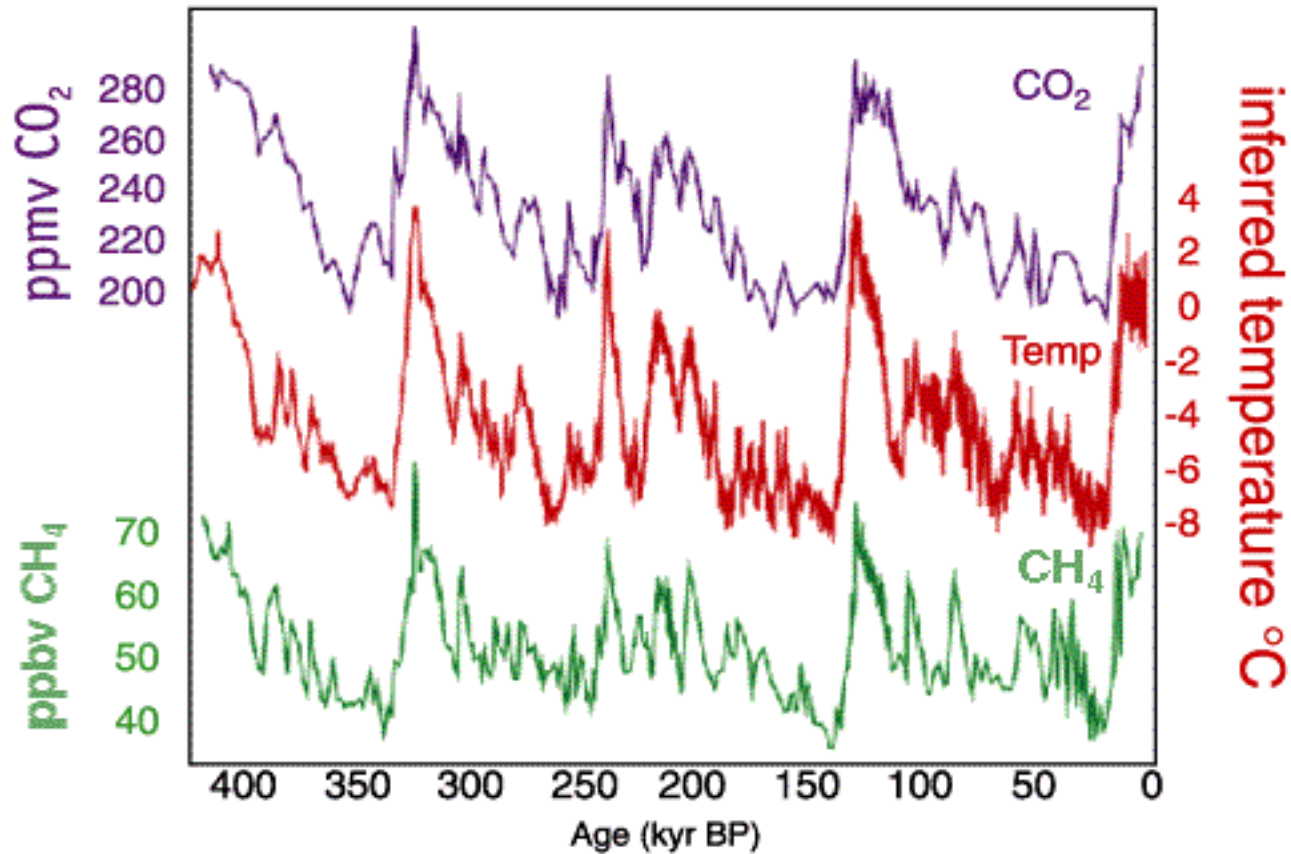


Dome C



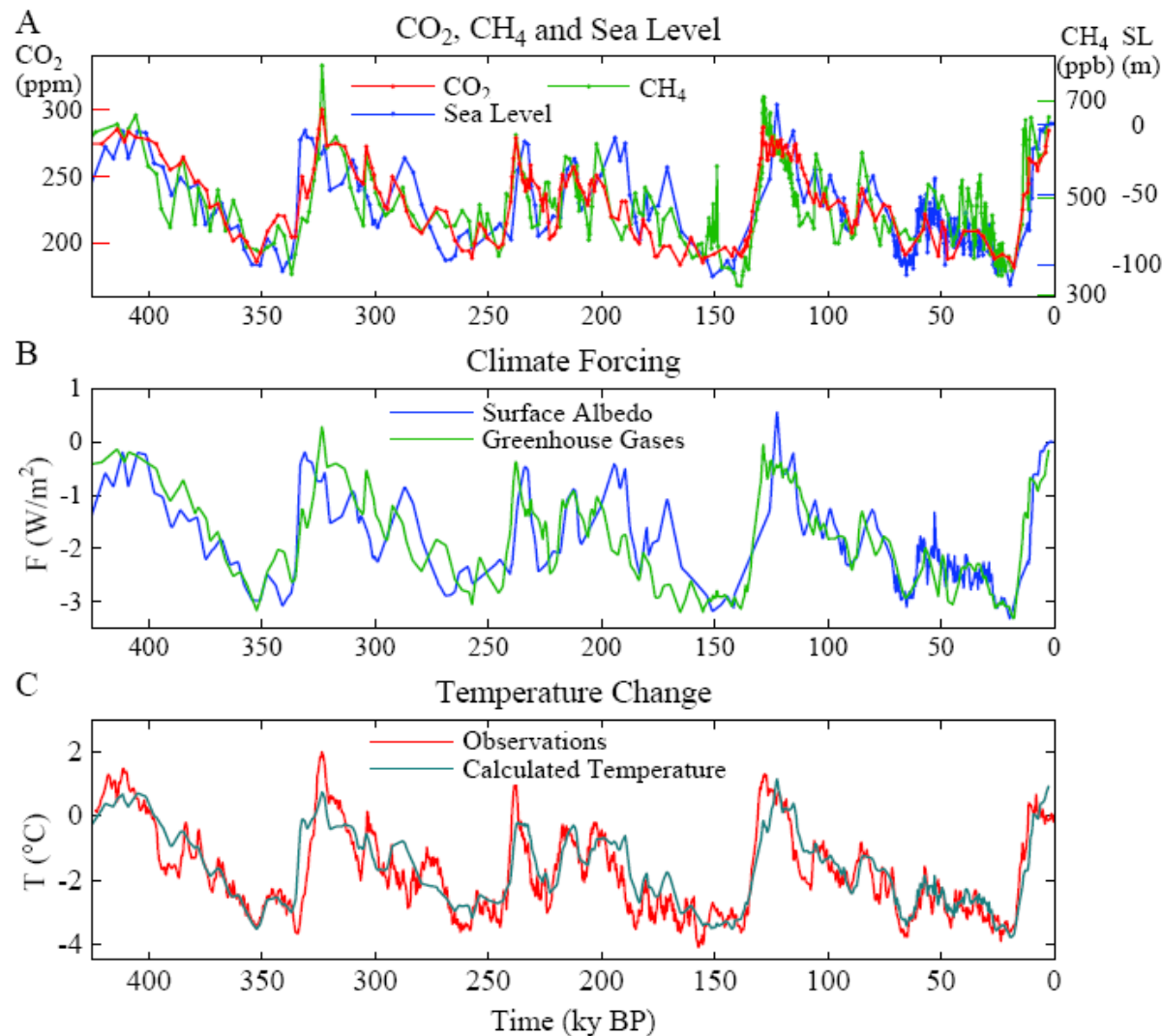
Wolff, et al., *Nature* 429, 623, 2004

4 glacial cycles recorded in the Vostok ice core



J.R. Petit et al., Nature, 399, 429–36, 1999.

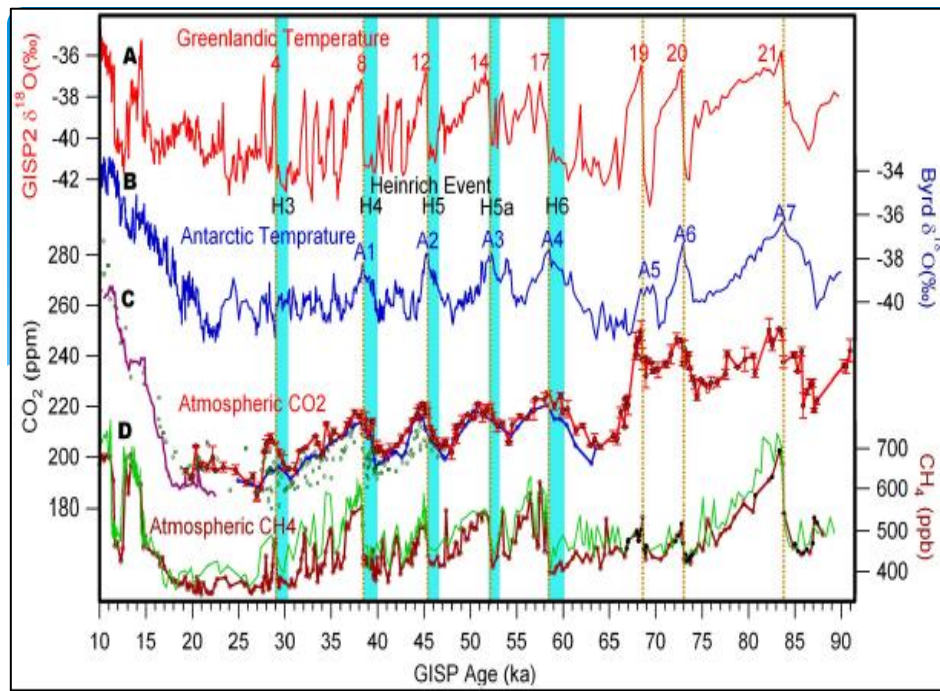
Temperature and CO₂ reconstructed by using ice cores in Antarctic



**Hansen,
2005**

过去42.5万年: (A) GHGs与海平面, (B)地表反照率与GHGs强迫, (C)观测与计算的温度

For past 425 ky, (A) GHGs and sea level, (B) Surface albedo and GHG forcings, (C) Observed and calculated temperatures



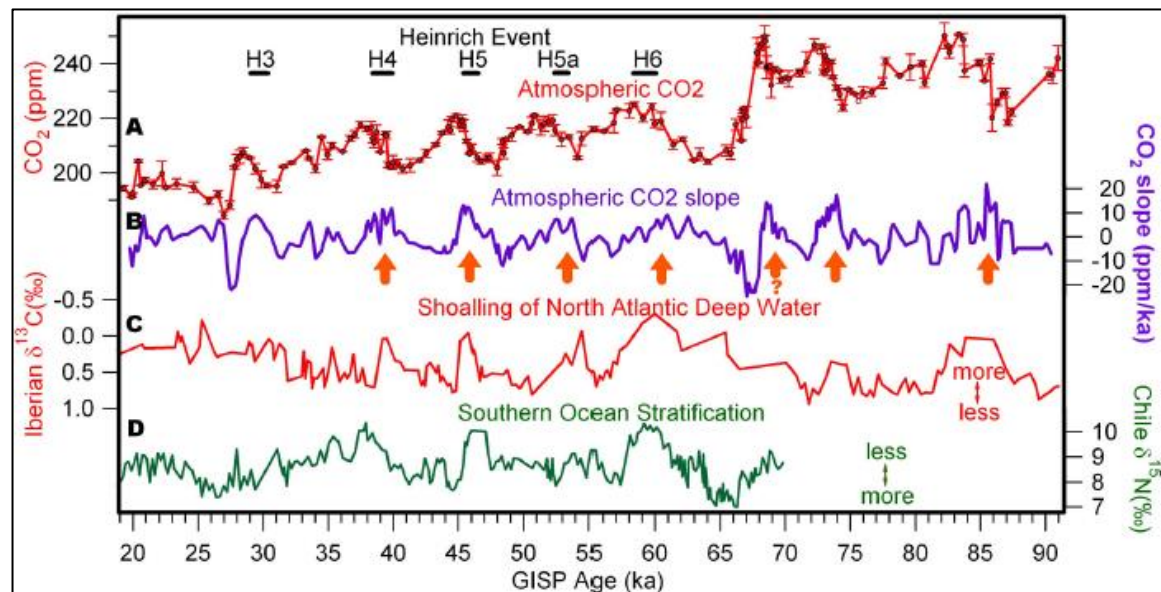
大气中CO₂浓度和气温变化。

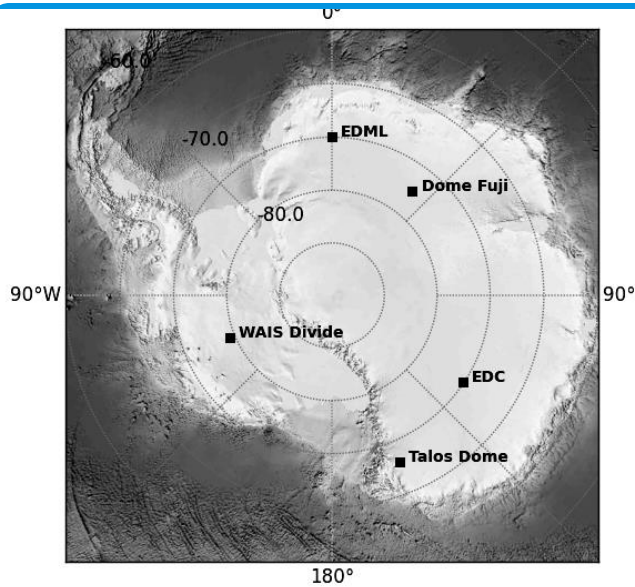
- A 格陵兰冰芯重建的气温
- B 南极Byrd站冰芯重建的气温
- C 全球大气CO₂浓度
- D 全球大CH₄浓度

Ahn and Brook, 2008,
Science

大气中CO₂浓度和海洋环流变化。

- A 全球大气CO₂浓度
- B 全球大气CO₂浓度变化率
- C 北大西洋深层水变薄
- D 南大洋海水分层强度



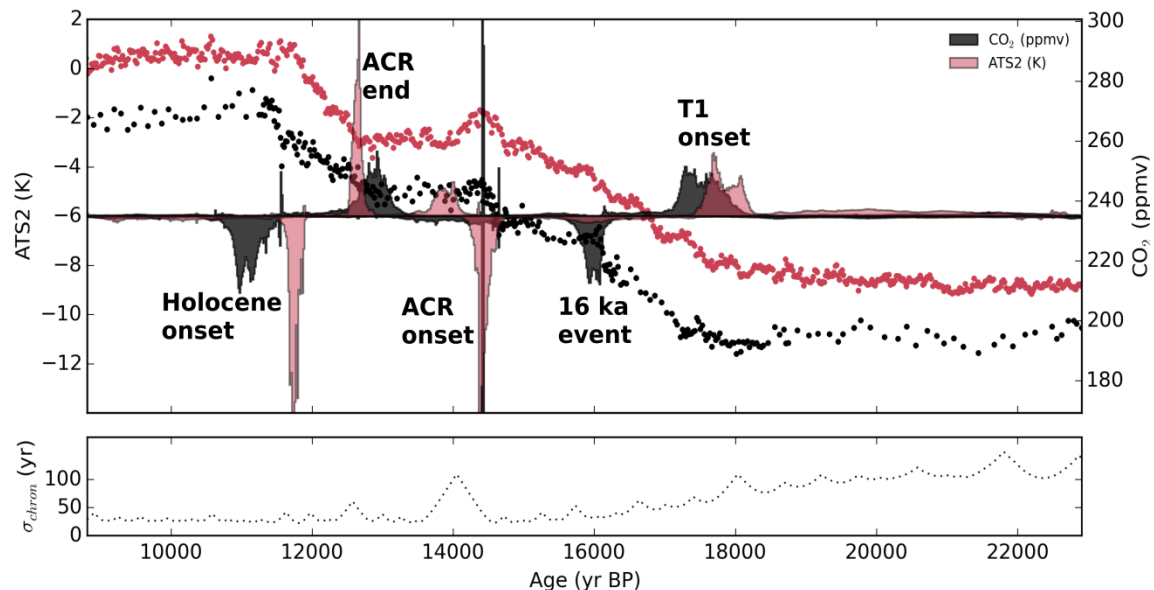


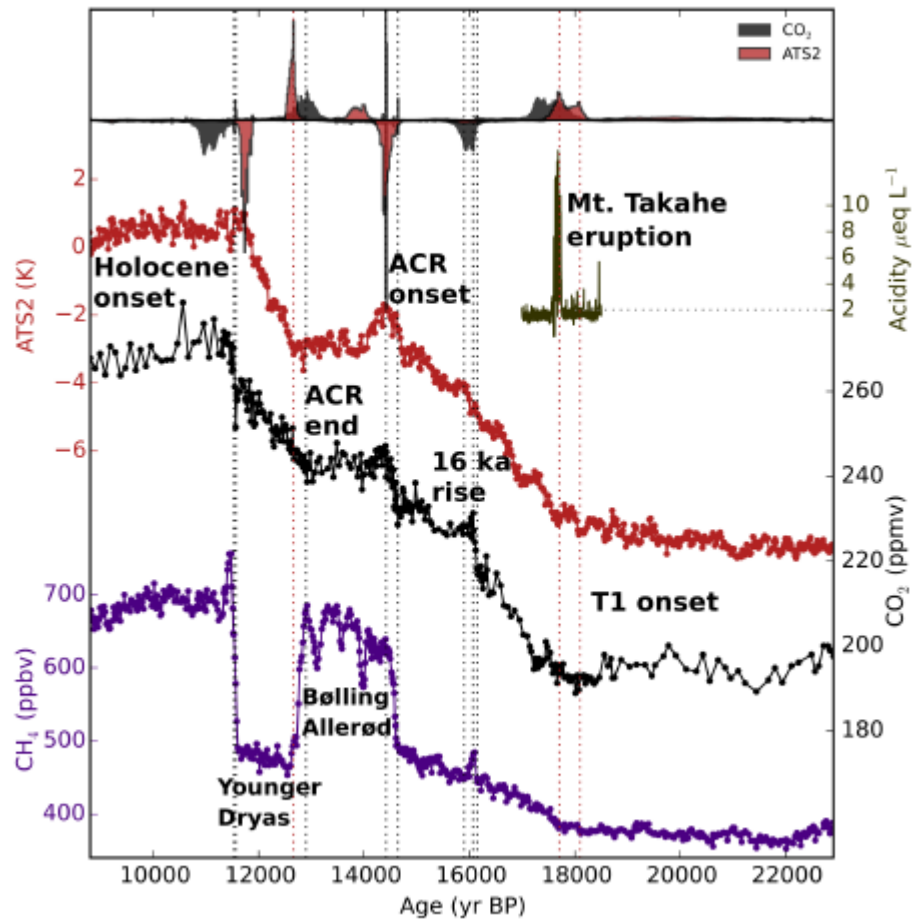
Drilling locations of the ice

Beeman et al. 2018,
Climate of the past

Upper panel: Atmospheric CO₂ (black) and ATS2 (Antarctic Temperature Stack 2)(red) placed on a common time scale, with the normalized histograms of probable change points (8 points) given below. Histograms are plotted downward-oriented when the rate of change decreases and upward-oriented when it increases (same colors, y-axis not shown, probabilities range from 0 (center) to 0.0024 (top/bottom)). Note the multiple modes that are often present in each of these intervals, particularly for the CO₂ series. These modes can be representative of abrupt centennial-scale change preceding a millennial-scale change, or of ambiguity in the overall trend of the series.

Lower panel: Chronological uncertainty, taken as the sum of the age uncertainties and the uncertainty estimate for volcanic synchronization.





Beeman et al. 2018, Climate of the past

Two more recent works (Pedro et al., 2012; Parrenin et al., 2013), used stacked temperature records and improved estimates of the age difference between ice and air records to more accurately estimate the relative timing of changes in Antarctic temperature and atmospheric CO₂ concentration. In the first of these studies, measurements from the higher accumulation ice cores at Siple Dome and Law Dome, used to decrease the uncertainty in the ice-air age shift, indicated that CO₂ lagged Antarctic temperature by 0–400 yr on average during the last deglaciation (Pedro et al., 2012). The second study (Parrenin et al., 2013) used measurements from the low accumulation EDC ice core but circumvented the use of firn densification models by using the nitrogen isotope ratio $\delta^{15}\text{N}$ of N₂ as a proxy of the DZ height, hypothesizing that the height of the CZ was negligible during the study period. CO₂ and Antarctic temperature were found to be roughly in phase at the beginning of TI and at the end of the ACR period, but CO₂ was found to lag Antarctic temperature by several centuries at the beginning of the Antarctic Cold Reversal and Holocene periods.

Figure 5. WD CO₂ and ATS2 change point histograms plotted with WD Acidity, ATS2, WD CO₂ and WD CH₄ series (top to bottom). Vertical lines are plotted to highlight select change point modes for the CO₂ (black) and ATS2 (red) series. CH₄ tracks changes in Northern Hemisphere climate. CO₂ modes correspond with rapid changes in CH₄ at the ACR end, ACR onset, 16 ka rise, and the rapid rise preceding the Holocene onset.

几个重要反馈机制

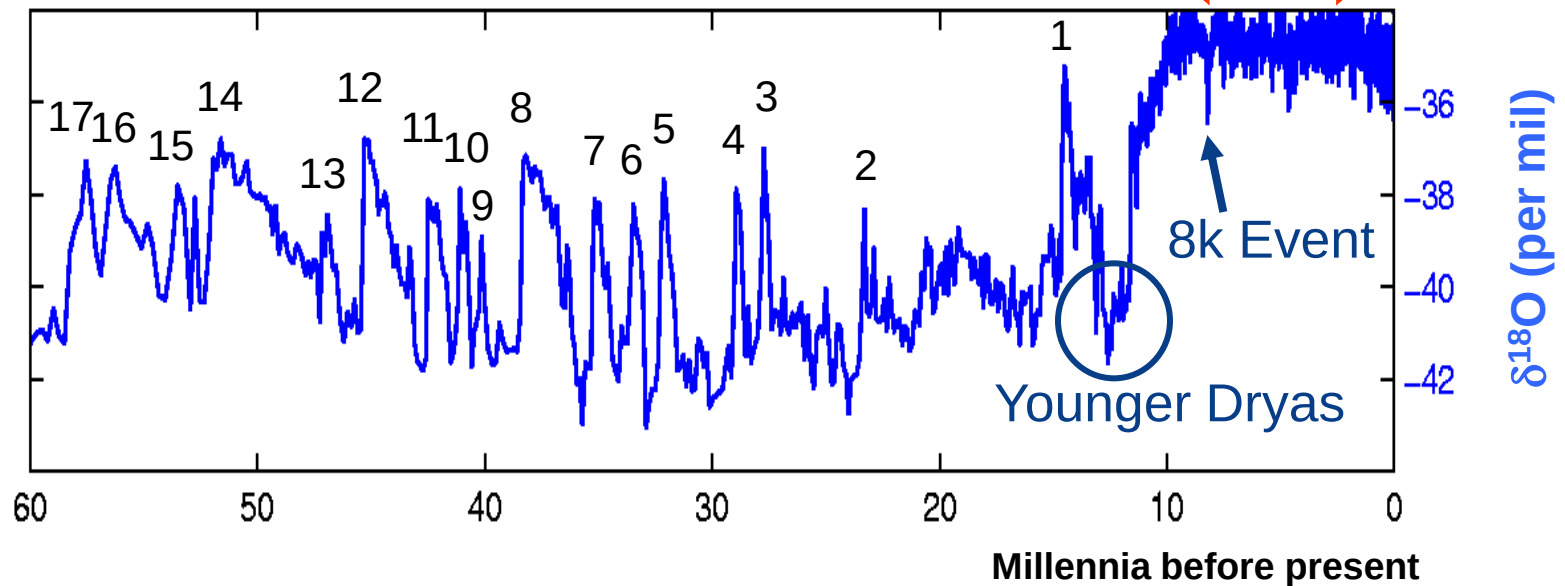
- * **北半球冰盖反馈：**冰雪积累形成冰盖的过程十分缓慢，但冰川融化、冰盖退缩的过程却十分迅速。冰盖随冰期—间冰期的转换发生大幅度的往复进退（以深海 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化为代表），这一过程既是对全球温度变化的响应，同时也对全球温度变化起到强烈的正反馈作用。
- * **冰盖-海平面反馈：**在从间冰期向冰期转换的过程中，水被从海洋转移到冰盖中固定下来，全球海平面大幅度下降。由于冰期大洋缩小、海面蒸发减弱，导致全球降水减少，气候变干，陆地冰盖因缺少水分供应而不会无限制增大，使冰盖—反射率反馈不致无限制增加。
- * **温室气体反馈：**温室气体 CO_2 和 CH_4 含量在冰期时减少，间冰期时增大，呈现与温度变化相同的趋势。这种强相关暗示存在着大气通过温室气体的变化影响温度的反馈作用，使得变冷或变暖的程度加大。变暖过程中， CO_2 的变化与温度的变化几乎是同步的，但前者一般略落后于后者，二者又都落后于日射变化；变冷过程中，温度变化落后于日射变化，而 CO_2 变化又落后于温度变化。
- * **气溶胶反馈：**冰期降水减少、气候干燥、风速增大、经向环流增强、大气温度递减率增加，加之浅海出露为陆地，植被覆盖降低，沙尘暴频率和强度大大上升，大气尘埃含量成倍增加，南极冰盖末次盛冰期冰芯中粉尘浓度是冰后期的70倍。气溶胶粒子在大气中的载荷增大具有正反馈效应。

Rapid climate changes

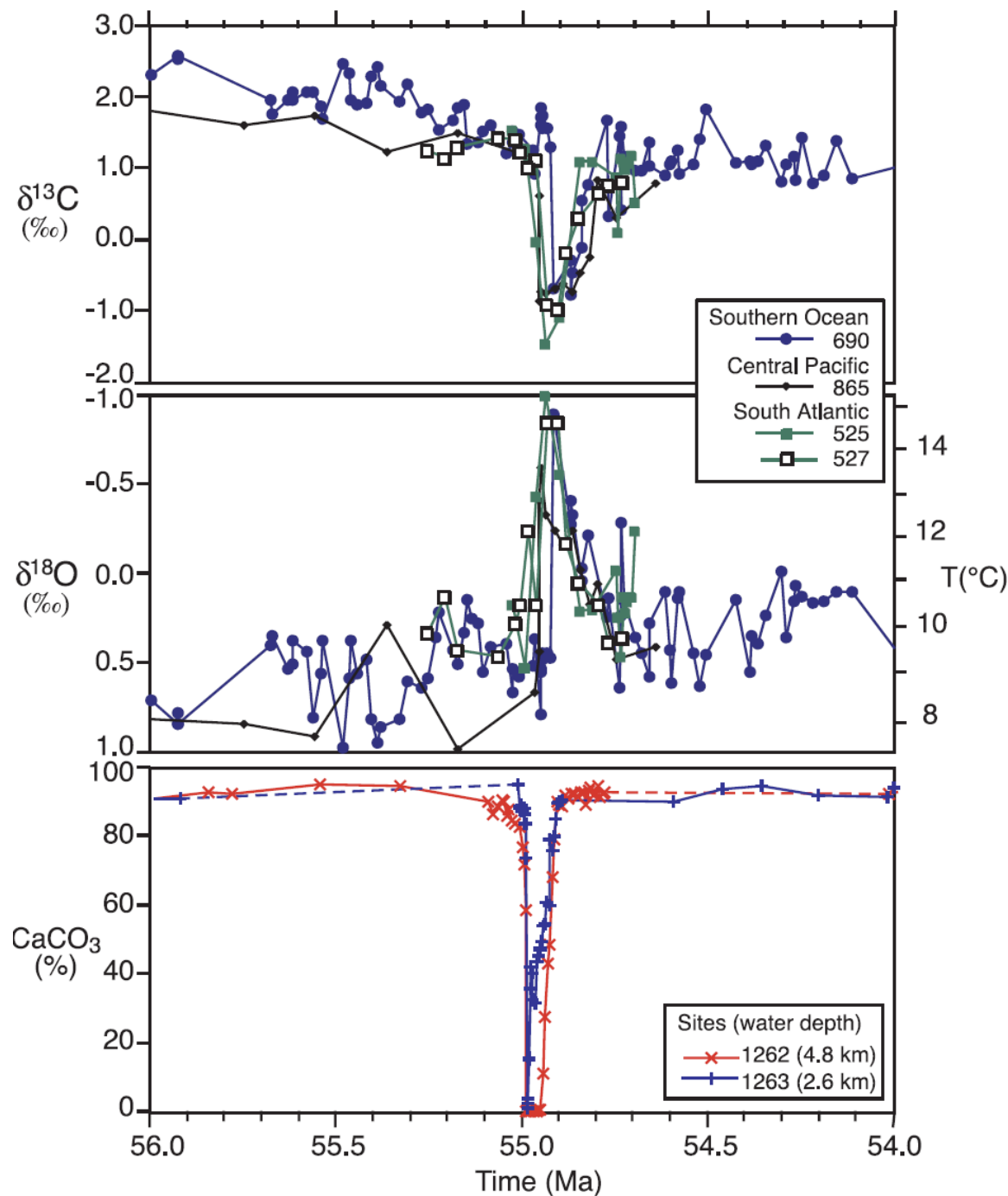
Dansgaard-Oeschger Events

-GISP2 ice core, Greenland

Holocene



Up to 10 °C warming in under ca. 10 years

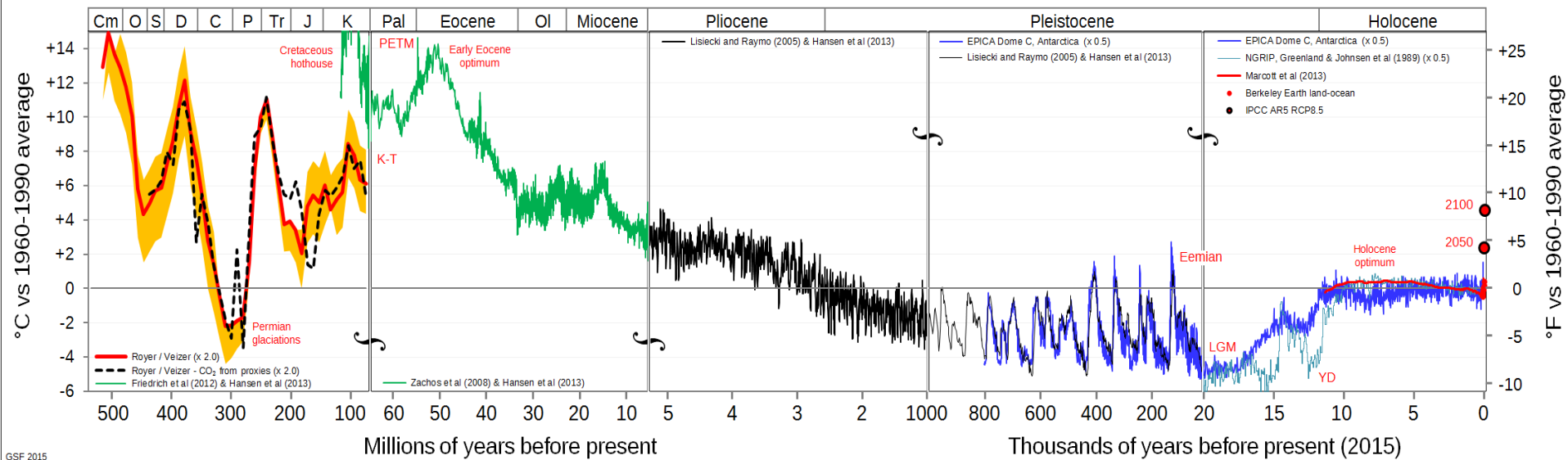


IPCC AR4, 2007

古新世-始新世极热期大气温室气体含量 (CO_2 和 CH_4) (C-13同位素比率) (上)、全球气温 (O-18同位素比率) (中) 和海水酸化 (碳酸钙含量) (下)

六亿年以来地球气候变迁

Temperature of Planet Earth





谢谢各位同事!

欢迎批评指正!